

**WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA**

---

**WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ**

**ROZPRAWA DOKTORSKA**

ppłk mgr inż. Tomasz Dariusz GOLIASZ

**KONCEPCJA  
WSPOMAGANIA SYSTEMU EKSPLOATACJI  
SPRZĘTU WOJSKOWEGO**

Promotor:  
dr hab. inż. Józef Sławomir PSZCZÓŁKOWSKI, prof. WAT

**WARSZAWA**

---

**2021 r.**



*Składam serdeczne podziękowania Promotorowi  
Panu dr hab. Józefowi Sławomirowi Pszczółkowskiemu, prof. WAT  
za cenne porady i wsparcie  
udzielone podczas realizacji niniejszej pracy.*

*Dziękuję również wszystkim tym, którzy wspierali mnie  
w czasie opracowywania rozprawy doktorskiej.*



*Praca powstała z myślą o wzmocnieniu bezpieczeństwa narodowego  
poprzez dalszy rozwój potencjału obsługowo-naprawczego  
istotnie determinującego gotowość operacyjną wojsk.*



## **SPIS TREŚCI:**

WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ.....	9
WSTĘP .....	11
1. CYKL ŻYCIA SYSTEMU UZBROJENIA .....	12
1.1. Opis etapów w cyklu życia .....	15
1.2. Procesy towarzyszące etapom cyklu życia systemu .....	18
1.3. Wykorzystanie danych eksploatacyjnych w cyklu życia systemu .....	23
2. CHARAKTERYSTYKA PODSYSTEMU TECHNICZNEGO SIŁ ZBROJNYCH .....	26
2.1. Systemy uzbrojenia a środowisko sieciocentryczne .....	28
2.2. Zarządzanie informacją .....	29
2.3. Główne zadania komórek wchodzących w skład podsystemu technicznego .....	31
2.4. Kluczowe ogniwa SZ RP zabezpieczające podsystem techniczny .....	34
2.5. Ocena sprawności technicznej sprzętu wojskowego .....	36
3. GENEZA I CEL PRACY .....	40
3.1. Cel pracy .....	41
3.2. Zakres pracy .....	41
4. ANALIZA STRATEGII I METOD BADAŃ PROCESÓW EKSPLOATACJI .....	43
4.1. Literaturowy podział strategii eksploatacji .....	44
4.2. Badania w obszarze niezawodności .....	47
4.3. Eksploatacja SpW w SZ RP w ujęciu doktrynalnym .....	49
4.4. Planowanie i etapy badania ankietowego .....	50
4.5. Narzędzia wykorzystywane w analizie danych .....	52
4.6. Podstawy matematyczne teorii zbiorów rozmytych .....	55
4.7. Możliwości prognozowania w obszarze eksploatacji .....	64
5. BADANIA WSTĘPNE I ANKIETOWE SYSTEMU EKSPLOATACJI SpW .....	79
5.1. Przedmiot i wyniki badań wstępnych .....	80
5.2. Przygotowanie badania ankietowego .....	86

5.3.	Prezentacja opinii ekspertów uczestniczących w badaniu ankietowym.....	91
5.4.	Wykorzystanie logiki rozmytej do oceny czasu realizacji zadań.....	121
6.	BADANIE CHARAKTERYSTYK PROCESU EKSPLOATACJI SpW.....	130
6.1.	Wyniki analizy w oparciu o PST i KUT.....	130
6.2.	Wyniki analizy eksploatacji KTO Rosomak na podstawie danych z ZWSI RON ..	135
6.3.	Zarządzanie zasobami części zamiennych KTO Rosomak .....	155
6.4.	Przekazywanie technicznych środków materiałowych poza Siły Zbrojne.....	165
7.	INFORMACJA EKSPLOATACYJNA W SIECIOCENTRYCZNYM SI.....	169
8.	KONCEPCJA WSPARCIA SYSTEMU EKSPLOATACJI SpW .....	200
	WNIOSKI KOŃCOWE ROZPRAWY .....	212
	SPIS RYSUNKÓW .....	214
	SPIS TABEL.....	218
	WYKAZ LITERATURY .....	219



## WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ

$a$	– parametr kształtu;
$b$	– parametr skali;
BLog	– Brygada Logistyczna;
BON	– Baza Obsługowo-Naprawcza;
e-PST, e-KUT, e-PZP	– elektroniczne wersje PST, KUT, PZP;
$F(t)$	– dystrybuanta funkcji zawodności, parametr czas;
$f(t)$	– funkcja intensywności uszkodzeń, parametr czas;
GO	– gotowość operacyjna;
$H_0$	– hipoteza zerowa testu Chi-kwadrat;
$H_1$	– hipoteza alternatywna testu Chi-kwadrat;
HD	– hurtownia danych;
IUszk	– intensywność uszkodzeń;
IWsp SZ	– Inspektorat Wsparcia Sił Zbrojnych;
$j$	– parametr resursu np. droga, czas, praca, strzał;
JW	– jednostka wojskowa;
$K_g$	– gotowość stacjonarna;
KTO	– Kołowy Transporter Opancerzony;
KUT	– karta usługi technicznej;
KZ	– kontrola zarządcza;
L	– droga;
LR	– liczba różnic;
LU	– liczba unikatów (numerów rejestracyjnych);
LZ	– liczba zdarzeń;
LZW	– liczba zdarzeń wielokrotnych;
MNK	– metoda najmniejszych kwadratów;
mtg	– motogodzina;
$N$	– liczba OT w populacji;
$n$	– liczba zdarzeń eksploatacyjnych;
NB	– naprawa bieżąca;
OG	– oddział gospodarczy;
O-N	– obsługowo – naprawczy;
OO-k	– obsługa okresowa k-tego rzędu (np.. OO-1,OO-2);
OT	– obiekt techniczny;
OT	– obiekt techniczny;
PNBZZ	– prawdopodobieństwo naprawy bez zbędnej zwłoki;

PST	– protokół stanu technicznego;
PT	– podsystem techniczny;
PZP	– Ustawa „Prawo zamówień publicznych”;
$Q(t)$	– funkcja aproksymująca stan tśm w magazynie;
$r$	– wykorzystanie resurs;
$r(l)$	– wykorzystanie ресурсu w funkcji drogi;
$r(m)$	– wykorzystanie ресурсu w funkcji pracy (mtg);
$r(t)$	– wykorzystanie ресурсu w funkcji czasu;
$R(t)$	– dystrybuenta funkcji niezawodności, parametr czas;
rbh	– roboczogodzina;
RBLog	– Regionalna Baza Logistyczna;
RCM	– Reliability Centered Maintenance (strategia eksploatacji sprzętu);
$r_j = [r_1, r_2, \dots, r_n]$	– tablica parametrów ресурсu;
RN	– rozkład normalny;
RON	– resort Obrony Narodowej;
RP	– Rzeczpospolita Polska;
RW	– rozkład Weibulla;
S-4	– sekcja logistyki;
SF	– środki finansowe;
SI	– system informatyczny;
SO/PS	– stacja obsługi/punkt serwisowy;
SOI	– System of Interest (system/obiekt zainteresowania);
SON	– system obsługowo-naprawczy;
SP	– siły powietrzne;
SpW	– sprzęt wojskowy;
SU	– system uzbrojenia;
SZ	– Siły Zbrojne;
$t$	– czas;
$T$	– okres planistyczny;
tśm	– techniczne środki materiałowe (w tym części zamienne);
WLąd	– wojska lądowe;
WOG	– Wojskowy Oddział Gospodarczy;
WOT	– Wojska Obrony Terytorialnej;
ZE	– zdarzenie eksploatacyjne;
ZRE	– zapas ресурсu eksploatacyjnego;
ZWSI RON	– Zintegrowany Wieloszczeblowy System Informatyczny RON;
$\lambda$	– intensywność uszkodzeń.

## WSTĘP

Rewolucja przemysłowa, a także globalny rozwój technologiczny sprawiły, że sprawność sprzętu stanowi sprawę coraz większej wagi w obszarze cywilnym, jak również wojskowym. Podyktowane jest to potrzebami korzystania z urządzeń w czasie pokoju, kryzysu, a także wojny. Aspekt bezpieczeństwa krajów, wspólnot czy sojuszy sprawia, że użytkowanie i przywracanie do stanu zdatności maszyn, czyli obsługi i naprawy, coraz częściej odbywają się w sieciocentrycznym otoczeniu wymiany danych. Dlatego też byt urządzenia, a w szczególności sprzętu wojskowego, powinien być rozpatrywany całościowo, tj. od koncepcji (potrzeby) jego stworzenia, poprzez fazę produkcyjną, wdrożeniową, eksploatacyjną, aż do momentu jego utylizacji. Powyższy proces określa się mianem cyklu życia sprzętu. Urządzenia wojskowe lub obiekty techniczne coraz częściej określane są mianem systemów uzbrojenia z uwagi na zawieranie w sobie elementów mechanicznych, elektrycznych, elektronicznych, informatycznych, jak i kryptograficznych, które funkcjonują w sieciocentrycznym systemie wymiany informacji. W systemy te włączone są również dowództwa i sztaby jednostek wojskowych.

Koncepcja wsparcia eksploatacji sprzętu wojskowego obejmuje kluczowe kwestie utrzymania systemów uzbrojenia w sprawności technicznej poprzez zwiększenie wykorzystania potencjału obsługowo-naprawczego Sił Zbrojnych RP, jak również korzystania z zasobów gospodarki narodowej. Jest to istotne w dobie, gdy obsługa i naprawa sprzętu staje się dziedziną interdyscyplinarną, łączącą wiedzę z zakresu budowy sprzętu, stosowanego oprogramowania, zarządzania informacją oraz planowania użycia wszelkich zasobów materialnych i potencjału osobowego.

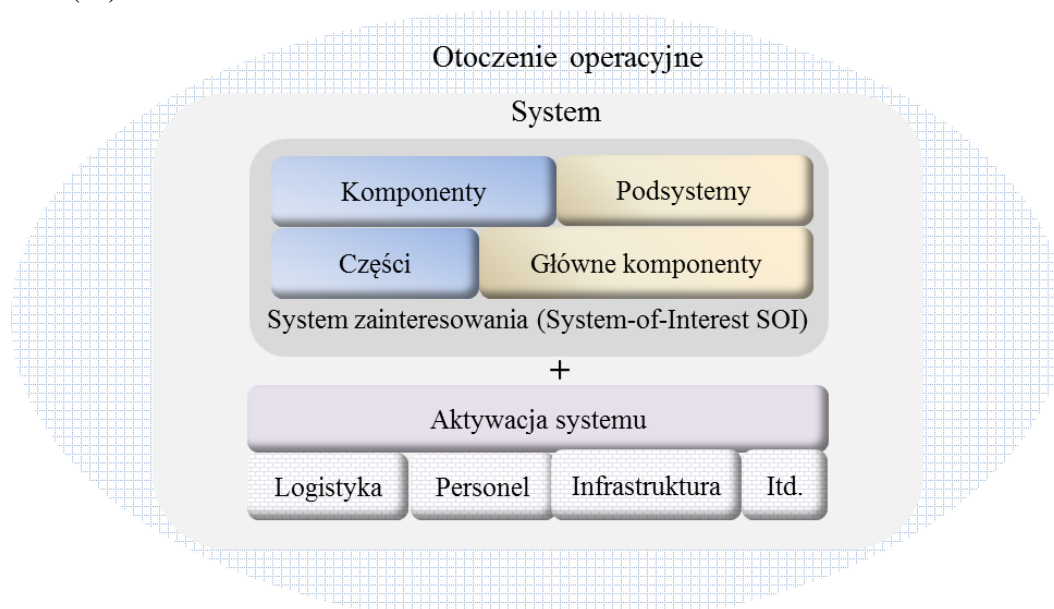
Praca przedstawia innowacyjne spojrzenie na fazę eksploatacyjną cyklu życia systemów uzbrojenia, która jest najdłuższą trwającą fazą w cyklu życia urządzeń. Zaprezentowano ogólną ocenę zdolności obsługowych Sił Zbrojnych oraz możliwość praktycznego wykorzystania informacji o niezawodności sprzętu w procesie planowania zabezpieczenia obsługi i napraw sprzętu z wykorzystaniem strategii eksploatacji opartej na niezawodności sprzętu (ang. Reliability Centered Maintenance). Przybliżono również kwestię elastyczności obiegu informacji w systemie obsługowo-naprawczym pracującym w ramach ustawy „Prawo zamówień publicznych”. Autor wskazuje również na istotę prognozowania potrzeb technicznych środków materiałowych na potrzeby procesów obsługowo-naprawczych w długoterminowej perspektywie planistycznej w celu tworzenia optymalnych struktur zapasów, przy uwzględnieniu tzw. zasady ABC/XYZ.

Dysertacja przedstawia istotę procesów obsługowych w ujęciu kompleksowym poprzez przedstawienie zagadnień związanych z odnową sprzętu oraz zabezpieczeniem realizacji procesów towarzyszących. Autor poprzez połączenie kluczowych elementów warunkujących proces obsługi, m.in. sieci teleinformatyczne oraz kompleksowy system informatyczny sprzyjający użytkownikowi, dostrzega potrzebę oraz możliwość zarządzania bazą obsługowo-naprawczą z wykorzystaniem narzędzi matematyczno-statystycznych, m.in. do planowania obciążenia pojedynczych stanowisk obsługowo-naprawczych. Będzie to obszarem analiz pracy naukowej, której założeniem jest możliwość wdrożenia rozwiązań w niej zawartych w obszarze systemu obsługowo-naprawczego Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej.

## 1. CYKL ŻYCIA SYSTEMU UZBROJENIA

System można zdefiniować jako zestaw zintegrowanych komponentów współdziałających ze sobą, których celem jest osiągnięcie funkcjonalności, do jakiej został zaprojektowany. Składa się z sumy podsystemów, głównych komponentów, zespołów i części służących do spełnienia określonego i zdefiniowanego celu. Ich podstawowe właściwości wynikają z relacji między elementami. Podsystemy, komponenty i części mogą być bezpośrednio lub pośrednio zależne od siebie, być połączone, ewentualnie współdziałać ze sobą. Na potrzeby analizy cyklu życia sprzętu system określany jest jako system zainteresowania (ang. System of Interest SOI).

System może być rozpatrywany jako mniejszy podsystem lub komponent, ale jednocześnie może być częścią większego systemu tworząc system systemów, tzw. „System of systems”. Osiągnięcie takiego stanu jest wynikiem długotrwałego procesu gromadzenia doświadczeń w projektowaniu i wykorzystywania ich w kolejnych rozwiązaniach technicznych (Rys. 1.1). Analizą powyższego obszaru zajmuje się inżynieria systemów (IS).



Rys. 1.1. Koncepcja systemu – na podstawie AAP-20, NATO Programme Management Framework

Należy wspomnieć, że dwa główne etapy rozwoju nauki o systemach doprowadziły bezpośrednio do rozwoju dziedziny inżynierii systemów, tj. wiek maszyn oraz wiek systemów, które bazują na różnym podejściu do otaczającej rzeczywistości. Wiek maszyn jest w dużej mierze oparty na redukcjonizmie, który opiera się na zasadzie przyczynowości, to znaczy, że zachowanie systemu można całkowicie wytłumaczyć jego podstawowymi elementami. Zakłada się, że składniki systemu działają tak samo razem jak również oddzielnie. Redukcjonizm zaczął wykazywać swoje ograniczenia w obliczu rosnącego poziomu złożoności m.in. obiektów technicznych [1].

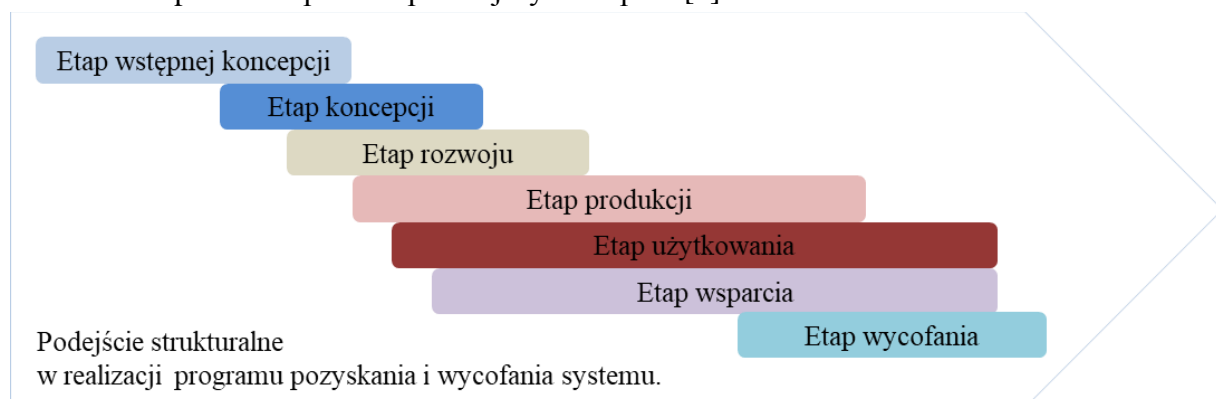
Rozwój sprzętu, oprogramowania w latach 80. i 90. ubiegłego stulecia, zapoczątkował erę informacji, komputerów oraz cyfryzacji. Dzięki szybko rozwijającym się innowacyjnym rozwiązaniom, takim jak internet, osiągnięto stan najbardziej efektywnego i szybkiego rozwoju technologicznego doprowadzając do oceny urządzeń w kontekście systemowym. Podejście systemowe wyraża pogląd, że jeżeli każda część systemu działa dobrze ze względu

na swój cel, to cały system może nie działać dobrze dla celu systemu, jeśli części są niedoskonale zorganizowane.

Projektowanie systemów zostało przeniesione z wieku maszyny do wieku systemów. W erze systemów podejścia systemowe traktują systemy jako zintegrowaną całość. Unikalną cechą epoki systemów jest projektowanie systemów z podejścia odgórnego, tj. myślenie systemowe zaczyna się od systemu jako całości, patrząc na ogólny obraz systemu, identyfikując cele (wymagania) systemów, wchodząc we współpracę jego poszczególnych komponentów.

W związku z powyższym, a także rozwojem otaczających nas systemów, zaistniała potrzeba większej racjonalizacji w czasie ich projektowania, tzn. wykorzystania zagadnień naukowych (matematycznych), doświadczeń, praktyk, które łącznie stosowane umożliwiają ekonomiczne wykorzystanie materiałów oraz sił natury dla dobra ludzkości. Powyższe dało początek do stworzenia interdyscyplinarnej dziedziny określanej jako inżynieria systemów [2, 3]. Jest to interdyscyplinarne podejście do tworzenia skutecznych systemów. Koncentruje się na definiowaniu potrzeb klientów i wymaganych funkcjonalnościach na wczesnym etapie rozwoju cyklu życia urządzeń, dokumentowaniu wymagań, a następnie przejściu do syntezy projektu i walidacji systemu z uwzględnieniem całości problemu. Inżynieria systemów bierze pod uwagę zarówno kwestie biznesowe, jak i techniczne potrzeby klientów w celu zapewnienia wysokiej jakości produktu spełniającego potrzeby użytkownika [4]. Obecnie inżynieria systemów stała się powszechnie akceptowanym standardem w przemyśle na całym świecie i jest wykorzystywana od chwili pomysłu stworzenia wyrobu, do czasu jego wycofania z użytkowania i utylizacji.

Cykl życia można zdefiniować jako zbiór etapów, przez które system lub wyrób (obiekt techniczny) przechodzi. Zgodnie ze zwiększoną świadomością kwestii środowiskowych, cykl życia każdego systemu, będącego przedmiotem zainteresowania, musi obejmować nie tylko etapy rozwoju, produkcji, użytkowania i wsparcia, ale także zapewniać wczesne skupienie się na etapie wycofywania z eksploatacji i jego utylizacji (Rys. 1.2). Potrzeby na każdym z kolejnych etapów muszą być uwzględnione na wcześniejszych etapach, zwłaszcza na etapie koncepcji i rozwoju, aby w przystępny i efektywny sposób podejmować odpowiednie decyzje w celu zabezpieczenia potrzeb późniejszych etapów [5].



Rys. 1.2. Etapy cyklu życia systemu. Opracowanie na podstawie AAP-20

Rola inżyniera systemowego obejmuje cały cykl życia systemu. Inżynierowie systemowi tworzą rozwiązania od zdefiniowania wymagań poprzez projektowanie, budowanie, integrację, weryfikację, operacje i ostatecznie wycofanie systemu. Zgodnie z ISO/IEC/IEEE

15288 [6], cykle życia różnią się w zależności od charakteru, celu, zastosowania i okoliczności, w jakich działa system.

Zadania inżynierii systemów (IS) są zwykle skoncentrowane na początku cyklu życia, ale organizacje uznają potrzebę stosowania IS przez cały okres eksploatacji systemu, często w celu modyfikacji lub zmiany produktu lub usługi systemu po rozpoczęciu produkcji lub uruchomieniu. W konsekwencji IS jest ważną częścią wszystkich etapów cyklu życia. Na przykład na etapach użytkowania i wsparcia IS przeprowadza analizę wydajności, monitorowania interfejsów, analizę awarii, analizę logistyczną, śledzenie, zarządzanie itp., które są niezbędne do ciągłego działania i wsparcia systemu.

Należy nadmienić, że w dokumentacji standaryzacyjnej w tym ISO 15288, wskazuje się dodatkowo na szereg procesów istniejących w czasie cyklu życia systemów i dzieli się je na cztery grupy, tj.: procesy umowy, procesy zarządzania technicznego, procesy techniczne, procesy umożliwiające realizację projektów. Wybrane procesy zostaną przybliżone w dalszej części pracy. Procesy zachodzą w całym cyklu życia systemu i mogą przechodzić przez kilka etapów.

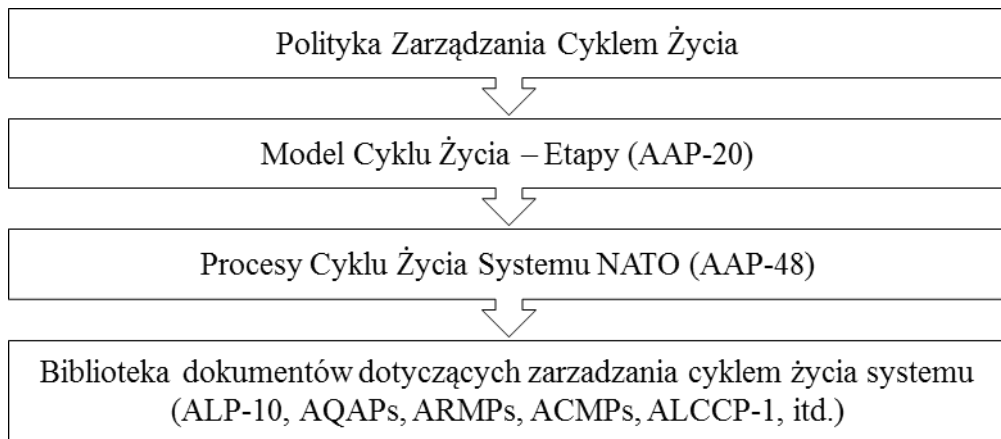
Przedstawione powyżej podejście w budowaniu systemów staje się bardzo popularne na całym świecie. Jest ono wykorzystywane również przez Organizację Traktatu Północnoatlantyckiego (NATO – North Atlantic Treaty Organization) i implementowane w ramach dokumentów standaryzacyjnych (STANAG), które wykorzystywane są w ramach współpracy sojuszniczych państw członkowskich, także w aspekcie globalnego spojrzenia na budowanie różnorodnych systemów wykorzystywanych na potrzeby wzmocnienia bezpieczeństwa państw tworzących sojusz [7].

W konsekwencji polityki NATO dotyczącej zarządzania cyklem życia systemu, państwa członkowskie w projektach zbrojeniowych wspierających zdolności NATO zgadzają się na stosowanie ram zarządzania cyklem życia systemu zgodnie ze STANAG 4728. Ogólne ramy zarządzania cyklem życia systemu opisano w AAP-20 NATO, a procesy towarzyszące cyklowi życia systemu wymieniano w AAP-48 NATO [8], które bazują na normie ISO/IEC 15288 (Inżynieria systemów i oprogramowania – Procesy w cyklu życia systemu).

Celem zarządzania cyklem życia systemu jest optymalizacja zdolności obronnych w całym okresie cyklu jego istnienia poprzez uwzględnienie wydajności, kosztów, harmonogramów, jakości, środowiska operacyjnego, zintegrowanego wsparcia logistycznego i wycofania systemu, w tym utylizacji [9].

AAP-20 to ogólny dokument zawierający wytyczne dotyczące cyklu życia i wymaga stosowania w połączeniu z AAP-48, a także biblioteką dokumentów zarządzania cyklem życia systemu (System Life Cycle Management). AAP-48 definiuje procesy zarządzania cyklem życia systemu według NATO. Uzupełnienie stanowi biblioteka dokumentów zarządzania cyklem życia systemu (SLCM) zawierająca procedury, szablony, podręczniki i inne dokumenty (Rys. 1.3).

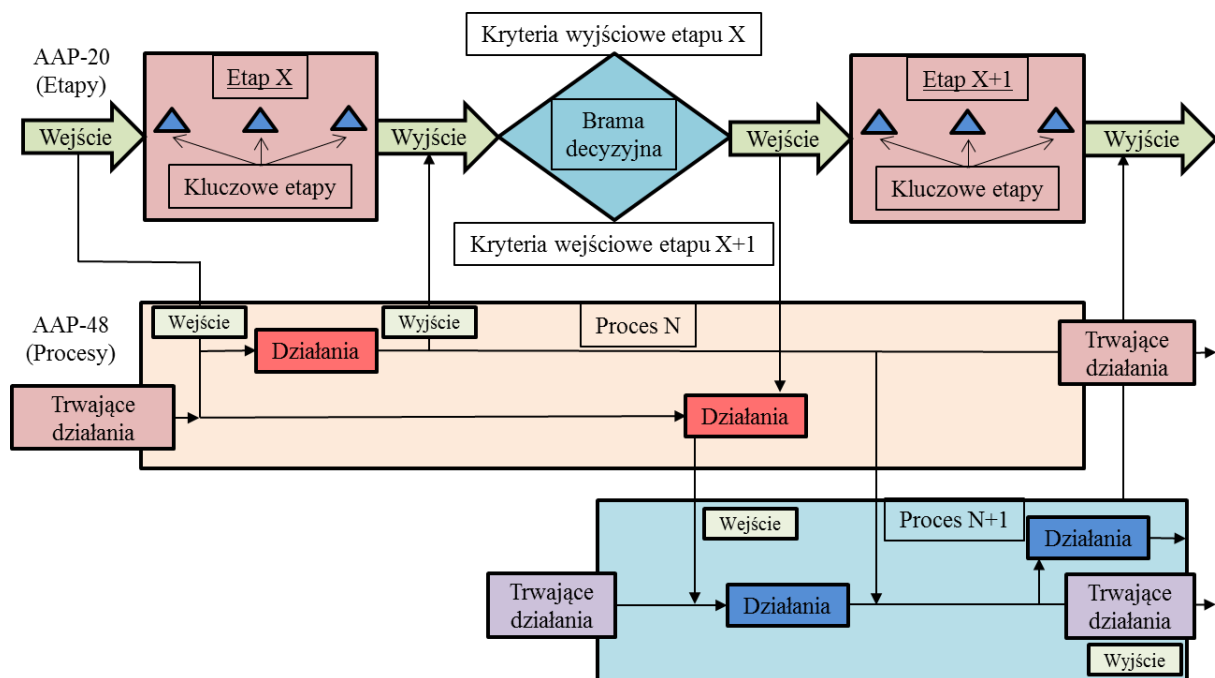
Zarządzanie cyklem życia opisuje, w jaki sposób SOI i systemy wspomagające są zarządzane przez cały cykl życia przy użyciu metod zarządzania programami lub projektami. Integracja wszystkich niezbędnych SOI i systemów wspomagających na końcu etapu produkcji skutkuje dostarczeniem zdolności wojskowej.



Rys. 1.3. Ramowe dokumenty zarządzania cyklem życia systemu [NATO - AAP-20]

### 1.1. Opis etapów w cyklu życia

Zasadniczymi elementami każdego etapu są dane wejściowe, wyniki i kryteria wejścia/wyjścia, a także towarzyszące im procesy opisane w dokumencie AAP-48. Wejścia etapu to produkty, które można wykorzystać na tym etapie do dalszego rozwoju systemu. Produkty etapu są generowane w procesach w wyniku jego wykonania. Etapy mogą być wykonywane sekwencyjnie lub nakładać się (Rys. 1.4).



Rys. 1.4. Elementy etapu programu. Opracowanie na podstawie AAP-20

Etapy typowego programu to: wstępna koncepcja, koncepcja, rozwój, produkcja, użytkowanie, wsparcie i wycofanie.

#### Etap wstępnej koncepcji (ang. Pre-Concept Stage).

Celem etapu poprzedzającego koncepcję jest zidentyfikowanie i udokumentowanie wymagań interesariuszy (np. celów). Ważna jest również identyfikacja obszarów ryzyka w dostarczaniu zdolności. Gwarantuje to skupienie się na zdolnościach w zakresie badań i rozwoju, aby zapewnić dostępność technologii w akceptowalnych ramach czasowych i optymalnych kosztach. Etap wstępnej koncepcji należy postrzegać jako interfejs pomiędzy

procesem planowania obronnego NATO (The NATO Defence Planning Process – NDPP), a ramami zarządzania programem NATO.

### **Etap koncepcji (ang. Concept Stage )**

Celem etapu koncepcyjnego jest udoskonalenie i poszerzenie badań, eksperymentów i modeli inżynierskich realizowanych na etapie przed koncepcją oraz opracowanie wstępnych wymagań systemowych i wykonanie rozwiązań projektowych. Jednym z kluczowych celów etapu koncepcyjnego jest upewnienie się, że uzasadnienie biznesowe jest racjonalne, a proponowane rozwiązania są osiągalne.

### **Etap rozwoju (ang. Development Stage)**

Celem etapu jest walidacja rozwiązania technicznego. Etap rozwoju prowadzi do opracowania systemu, który spełnia lub przekracza określone wymagania i może być produkowany, testowany, oceniany, obsługiwany, wspierany i wycofywany.

### **Etap produkcji (ang. Production Stage)**

Celem etapu produkcyjnego jest wytworzenie i przetestowanie systemu oraz stworzenie powiązanego wsparcia i systemów wspomagających.

### **Etap użytkowania/eksploatacji (ang. Utilization Stage)**

W etapie użytkowania system jest celowo wykorzystywany w zamierzonym systemie operacyjnym. W czasie jego trwania system jest modyfikowany, a także modernizowany, aby zapewnić oczekiwany poziom jego wykorzystania, tj. efektywność operacyjną i kosztową.

Etap rozpoczyna się, gdy system jest aktywowany w zamierzonym środowisku operacyjnym. Działanie systemu, jego użytkowanie, powinno być monitorowane, a zdarzenia poprzez obsługi i naprawy powinny być odpowiednio rejestrowane, identyfikowane i usuwane. Rejestracja zdarzeń w postaci cyfrowej oraz opracowana forma prezentacji danych wspomaga proces zarządzania konfiguracją systemu w aspekcie modyfikacji lub modernizacji. Eksploatacja systemu wymaga przygotowania infrastruktury operacyjnej obejmującej obiekty, wyposażenie, wyszkolony personel oraz instrukcje i procedury, które powinny zostać opracowane lub nabyte na wcześniejszych etapach. Działania na etapie eksploatacji są ściśle powiązane i wielokrotnie pokrywają się z działaniami na etapie wsparcia. Etap ten wymaga wykonywania następujących zadań i czynności:

1. Monitorowania gotowości systemu.
2. Przydzielania wyszkolonych i wykwalifikowanych operatorów.
3. Aktywowania systemu w przewidzianym dla niego środowisku operacyjnym.
4. Monitorowania działania systemu zgodnie z planem, przepisami bezpieczeństwa pracy, ochrony środowiska, a także międzynarodowym prawem humanitarnym.
5. Pozyskiwania danych dotyczących niezawodności, łatwości konserwacji i dostępności.
6. Wykonywania działań związanych z identyfikacją awarii.
7. Określenia sposobu postępowania naprawczego.
8. Gromadzenia opinii użytkowników.
9. Przeglądu i wdrażania zmian inżynierskich poprzez etapowe podejście według AAP-20.
10. Szacowania kosztów cyklu życia – dokument NATO ALCCP-1.



### **Etap wsparcia (ang. Support Stage)**

Etap wsparcia jest realizowany w celu świadczenia usług logistycznych i zabezpieczenia użytkownika, które umożliwiają ciągłe działanie systemu. Etap ten rozpoczyna się od zapewnienia systemowi utrzymania w stanie gotowości do użycia. Obejmuje on wszystkie działania, które świadczą usługi wsparcia dla użytkowników systemu. Zawiera to monitorowanie działania systemu, identyfikację, klasyfikację, zgłaszanie problemów dotyczących awarii systemów oraz rozwiązywanie tych trudności. Etap ten wymaga wykonywania następujących zadań i czynności:

1. Wdrożenia strategii eksploatacji i planu konserwacji.
2. Zbudowania systemu wspomagającego elementy systemu i usługi, które są używane podczas konserwacji/utrzymywania.
3. Wdrożenia planu ILS (Integrated Logistic Support).
4. Budowania obszarów wzajemnego wsparcia logistycznego.
5. Monitorowania zdolności systemu do świadczenia usług.
6. Podejmowania działań korygujących, adaptacyjnych i zapobiegawczych, a także potwierdzających przywrócenie gotowości systemu do użycia.
7. Prowadzenia historii zgłoszeń problemów, działań naprawczych i trendów w celu informowania użytkowników oraz personelu konserwującego system.
8. Zapewniania dostępności materiałów eksploatacyjnych.
9. Zarządzania produktami starzejącymi się.

### **Etap wycofania (ang. Retirement Stage)**

Celem etapu wycofania jest zdemilitaryzowanie i pozbycie się systemu pod koniec jego okresu użytkowania oraz usunięcie powiązanych usług operacyjnych i wsparcia. Utylizację należy przeprowadzić w sposób zgodny ze wszystkimi wymaganiami prawnymi i regulacyjnymi dotyczącymi bezpieczeństwa, a także w zgodzie z wymogami ochrony środowiska. Etap wycofania przynosi efekt w postaci:

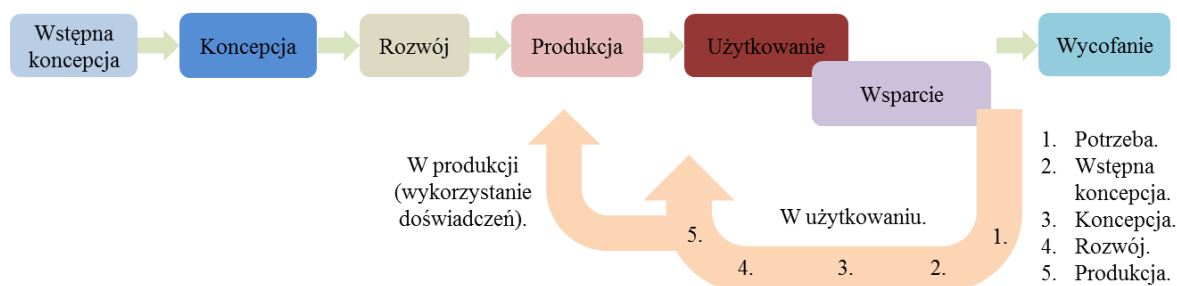
1. Konsolidacji programów.
2. Redukcji kosztów eksploatacji i utrzymania.
3. Pozyskiwania nadających się do użytku części zamiennych z wycofanego systemu.

Funkcjonowanie systemu w środowisku operacyjnym kończy się z chwilą wycofania systemu, co może być podyktowane grupą czynników, do których należy zaliczyć przede wszystkim zabezpieczenie zdolności operacyjnych (ZO) wojsk. Brak zabezpieczenia ZO może być wynikiem zużycia starzeniowego systemu i trudnościami zabezpieczenia gotowości operacyjnej do użycia na oczekiwanym przez operatorów poziomie. Budowanie wiedzy o eksploatowanym systemie w kolejnych etapach jego życia, a także możliwość szybkiego, standaryzowanego sposobu prezentacji stanu eksploatowanego systemu, wspiera proces decyzyjny dotyczący wycofania i pozyskania nowych systemów. Analiza danych eksploatacyjnych może wygenerować potrzebę zmiany konfiguracji systemu, tj. jego modyfikacji lub modernizacji, optymalizując tym samym koszty zabezpieczenia eksploatacji systemów wojsk. Taki proces został również zdefiniowany w ramach dokumentu AAP-20. Proces ten określany jest mianem Procedura Modyfikacji/Modernizacji w ramach Etapów Użytkowania i Wsparcia.

## Procedura Modyfikacji/ Modernizacji w ramach Etapów Użytkowania i Wsparcia

Celem Procedury Modyfikacji/Modernizacji w ramach Etapów Użytkowania i Wsparcia jest zapewnienie systemowych ram dla promowania zmian istniejącego systemu w etapach użytkowania i wsparcia, na podstawie zidentyfikowanej potrzeby modyfikacji/modernizacji systemu. Procedura ta powinna uwzględniać złożoność systemu w celu skutecznego i wydajnego dostarczania wyników procedury. Efektem tego procesu jest zazwyczaj zmiana fizycznych lub funkcjonalnych charakterystyk konfiguracji bazowej systemu i podlega kontroli konfiguracji zgodnie z odpowiednimi procesami zarządzania konfiguracją.

Modyfikacja/Modernizacja systemu może również wynikać z potrzeby dostosowania istniejącego systemu do innego środowiska operacyjnego, poprawy niezawodności, dostępności, możliwości utrzymania, obsługi lub testowalności. Proces modyfikacji i aktualizacji systemu przebiega zgodnie z niezależnym cyklem życia osadzonym w cyklu życia systemu. Poniższy diagram (Rys. 1.5) ilustruje ten proces i jego współdziałanie z podstawowym cyklem życia systemu.



Rys. 1.5. Procedura Modyfikacji/Modernizacji - etap użytkowania [AAP-20]

### 1.2. Procesy towarzyszące etapom cyklu życia systemu

Definiowanie systemu, jego architektury i elementów zależy od interesów i obowiązków interesariusza. System będący przedmiotem zainteresowania jednego z interesariuszy może być postrzegany jako element systemu w szerszym systemie stanowiącym przedmiot zainteresowania innego interesariusza. Dodatkowo system stanowiący przedmiot zainteresowania może być postrzegany jako część środowiska dla systemu stanowiącego przedmiot zainteresowania innego interesariusza.

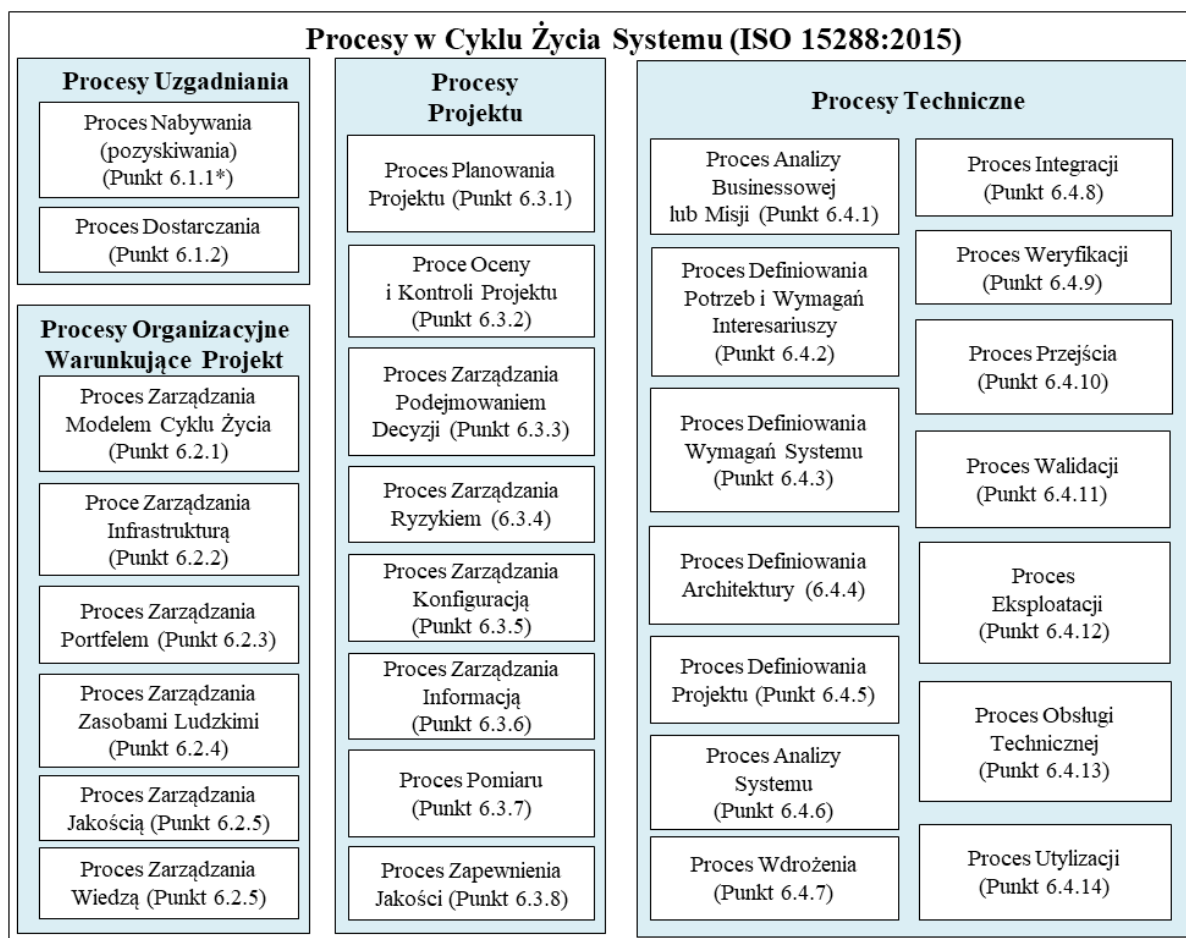
Tworzeniu dowolnego systemu towarzyszą działania, które można przedstawić jako procesy. Pomaga w tym Norma Międzynarodowa ISO/IEC 15288 grupująca działania, które mogą być wykonywane podczas cyklu życia systemu, w cztery grupy procesów (Rys. 1.6).

W kontekście analizowanego obszaru badawczego uwagę należy zwrócić na niżej wymienione procesy<sup>1</sup>:

1. Proces Zarządzania Zasobami Ludzkimi (6.2.4).
2. Proces Zarządzania Podejmowaniem Decyzji (6.3.3).
3. Proces Zarządzania Ryzykiem (6.3.4).
4. Proces Zarządzania Konfiguracją (6.3.5).
5. Proces Zarządzania Informacją (6.3.6).
6. Proces Pomiaru (6.3.7).
7. Proces Przejścia (6.4.10).

<sup>1</sup> Na podstawie System Engineering Handbook (INCOSE).

8. Proces Eksploatacji (6.4.12).
9. Proces Obsługi Technicznej (6.4.13).
10. Proces Utylizacji (6.4.14).



\*Oznaczenie procesu zgodnie z ISO 15288:2015

Rys. 1.6. Procesy w cyklu życia systemu [ISO/IEC 15288]

### **Proces Zarządzania Zasobami Ludzkimi (6.2.4)**

Celem procesu Zarządzania Zasobami Ludzkimi (PZZL) jest zapewnienie organizacji niezbędnych zasobów ludzkich i utrzymanie ich kompetencji, zgodnie z potrzebami biznesowymi. Proces ten zapewnia pozyskiwanie wykwalifikowanego i doświadczonego personelu posiadającego kwalifikacje do wykonywania procesów w cyklu życia w celu osiągnięcia celów organizacji, projektu i interesariusza. PZZL wymaga od organizacji wdrożenia następujących działań:

- zdefiniowania umiejętności;
- rozwijania umiejętności;
- pozyskania i zapewnienia umiejętności.

### **Proces Zarządzania Podejmowaniem Decyzji (6.3.3)**

Celem procesu Zarządzania Podejmowaniem Decyzji (PZPD) jest zapewnienie ustrukturalizowanych, analitycznych ram obiektywnego identyfikowania, charakteryzowania i oceny zestawu alternatyw dla decyzji w dowolnym momencie cyklu życia oraz wybrania najkorzystniejszego kierunku działania. Najczęściej stosowanymi metodami PZPD są badania

handlowe i analizy inżynierskie. Alternatywy oceniane są na podstawie kryteriów decyzyjnych (np. wpływ na koszty, wpływ na harmonogram, charakterystyki techniczne, krytyczne cechy jakościowe i ryzyko). Wyniki tych porównań są klasyfikowane, a następnie wykorzystywane do podjęcia decyzji o optymalnym rozwiązaniu. PZPD wymaga od organizacji wdrożenia następujących działań:

- przygotowania do podjęcia decyzji;
- przeanalizowania informacji dotyczących decyzji;
- podejmowania i zarządzania decyzjami.

#### **Proces Zarządzania Ryzykiem (6.3.4)**

Proces Zarządzania Ryzykiem jest to ciągły proces systematycznego zajmowania się ryzykiem przez cały cykl życia produktu lub usługi systemu. Może być stosowany do ryzyka związanego z nabyciem, opracowaniem, utrzymaniem lub eksploatacją systemu.

#### **Proces Zarządzania Konfiguracją (6.3.5)**

Celem Zarządzania Konfiguracją (ZK) jest zarządzanie i kontrole elementów systemu i konfiguracji w całym cyklu życia. ZK wymaga od organizacji wdrożenia następujących działań:

- planowania zarządzania konfiguracją;
- wykonania identyfikacji konfiguracji;
- wykonania zarządzania zmianą konfiguracji;
- wykonania oceny stanu konfiguracji;
- wykonania kontroli nowych wersji rozwiązań.

#### **Proces Zarządzania Informacją (6.3.6)**

Celem procesu zarządzania informacją (ZI) jest generowanie, uzyskanie, potwierdzanie, przekształcanie, zatrzymywanie, pobieranie, rozpowszechnianie i rozdysponowanie informacji do wyznaczonych interesariuszy. Proces zarządzania informacjami zapewnia dostęp do wiedzy wyznaczonym interesariuszom. Są one jednoznaczne, kompletne, weryfikowalne, spójne, modyfikowalne, identyfikowalne i możliwe do zaprezentowania. Obejmują one informacje techniczne, projektowe, organizacyjne, umowy i informacje użytkownika. Informacje pochodzą z zapisów danych organizacji, systemu, procesu lub projektu. ZI wymaga od organizacji wdrożenia następujących działań:

- przygotowania do zarządzania informacją;
- wykonywania zarządzania informacją;
- publikowania, rozpowszechniania lub zapewnienia dostępu do informacji i elementów informacji wyznaczonym interesariuszom;
- archiwizowania określonych informacji;
- usuwania niechcianych, nieważnych lub niepotwierdzonych informacji.

#### **Proces Pomiaru (6.3.7)**

Celem procesu pomiaru jest gromadzenie, analiza i raportowanie obiektywnych danych i informacji w celu wsparcia efektywnego zarządzania oraz wykazania jakości produktów, usług i procesów. W wyniku udanej realizacji Procesu Pomiaru:

- zostają zidentyfikowane potrzebne informacje;

- zostaje zidentyfikowany lub opracowany odpowiedni zestaw środków w oparciu o potrzeby informacyjne;
- wymagane dane są gromadzone, weryfikowane i przechowywane;
- dane są analizowane, a wyniki interpretowane;
- elementy informacji dostarczają obiektywnych danych, które wspierają podejmowanie decyzji.

#### **Proces Przejścia (6.4.10)**

Celem Procesu Przejścia jest ustanowienie zdolności systemu do świadczenia usług określonych przez wymagania interesariusza w środowisku operacyjnym. Proces ten przenosi system, w uporządkowany i zaplanowany sposób, do stanu operacyjnego tak, aby system był funkcjonalny, sprawny i kompatybilny z innymi systemami operacyjnymi. Instaluje on zweryfikowany system wraz z odpowiednimi systemami wspomagającymi, np. systemem planowania, systemem wsparcia, systemem szkolenia operatora, systemem szkolenia użytkownika. Proces ten jest wykorzystywany na każdym poziomie struktury systemu i na każdym etapie w celu wypełnienia kryteriów ustalonych dla wyjścia z etapu. Obejmuje on przygotowanie odpowiednich systemów magazynowania, obsługi i transportu.

#### **Proces Eksploatacji (6.4.12)**

Celem procesu eksploatacji (PE) jest wykorzystanie systemu do świadczenia usług. Proces ten określa i przydziela personel do obsługi systemu oraz monitoruje usługi i działanie w relacji operator – system. W celu utrzymania usług, identyfikuje i analizuje anomalie operacyjne w odniesieniu do umów, wymagań interesariusza i ograniczeń organizacyjnych. Norma ISO/IEC 20000-1:2011 (IEEE Std 20000-1:2013) podaje wymagania dotyczące ustanowienia systemu zarządzania usługą, który wspiera PE, aby osiągnąć cel. Efektem PE są:

- identyfikacja ograniczeń eksploatacyjnych, które mają wpływ na wymagania systemu, architekturę i projekt;
- dostępność wszelkich systemów, usług, materiałów potrzebnych do eksploatacji;
- dostępność wyszkolonych operatorów;
- dostarczenie usług systemu, które spełniają wymagania interesariusza;
- monitorowanie systemu podczas pracy;
- zapewnienie wsparcia dla klienta.

Proces Eksploatacji wymaga od organizacji wdrożenia następujących działań:

- przygotowania do eksploatacji;
- prowadzenia eksploatacji;
- zarządzania wynikami eksploatacji;
- wsparcia klienta/operatora/użytkownika.

#### **Proces Utrzymania (6.4.13)**

Celem procesu (PU) jest utrzymanie zdolności systemu do świadczenia usług. W ramach procesu monitoruje się zdolność systemu do świadczenia usług, rejestruje się incydenty do analizy, podejmuje się działania korygujące, adaptacyjne, doskonalące i zapobiegawcze oraz potwierdza się przywrócenie sprawności. Efektem PU są:

- identyfikacja ograniczeń obsługi technicznej, które mają wpływ na wymagania systemu, architekturę i projekt;

- uzyskanie dostępu do wszelkich systemów wspomagających lub usług niezbędnych do obsługi technicznej;
- udostępnione zostają informacje o wymianie, naprawie lub zmianie elementów systemu.
- określenie danych dotyczących awarii i okresu użytkowania, w tym związanych z tym kosztów.

Proces Obsługi Technicznej wymaga od organizacji wdrożenia następujących działań:

- przygotowania do obsługi technicznej;
- przeprowadzenia obsługi technicznej;
- przeprowadzenia wsparcia logistycznego;
- zarządzania wynikami obsługi technicznej i logistyki.

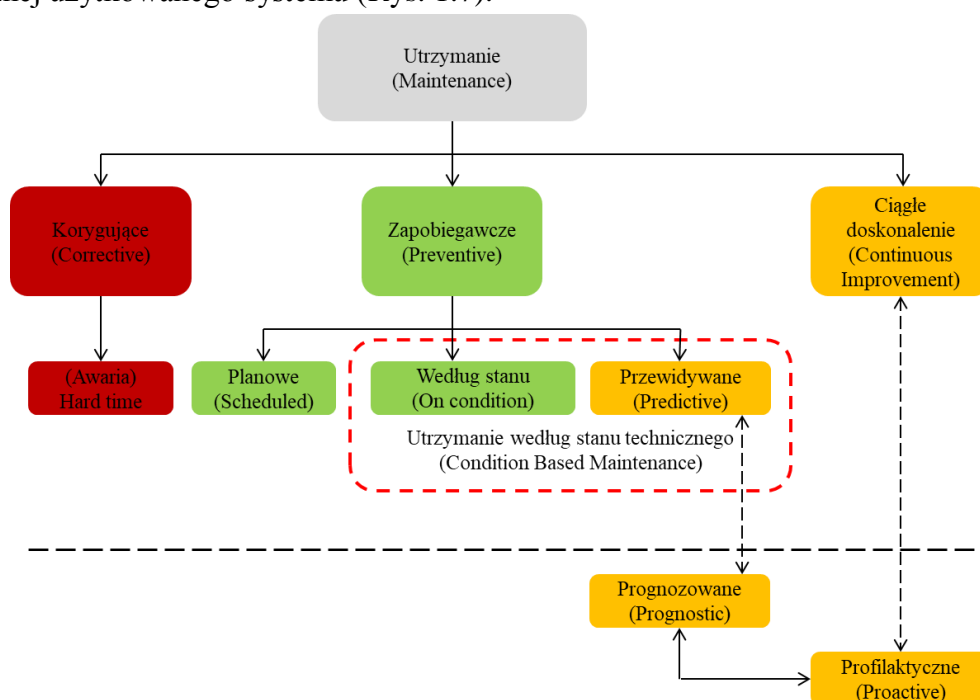
### Proces Wycofania (6.4.14)

Celem procesu (PW) jest zakończenie istnienia elementu systemu lub systemu o określonym przeznaczeniu, odpowiednie postępowanie z wymienianymi lub wycofywanymi elementami oraz właściwe uwzględnienie zidentyfikowanych krytycznych potrzeb związanych z utylizacją (np. zgodne z umową, zgodne z polityką organizacji lub z uwagi na aspekty środowiskowe, prawne, a także bezpieczeństwo).

Obecnie procedowana jest aktualizacja AAP-48 do wersji C. W dokumencie zakłada się połączenie procesów w grupie Umowy, a także łączenie procesu utrzymania (maintenance) ze wsparciem logistycznym (logistic support). Dodatkowo zauważa się potrzebę wprowadzenia dodatkowych procesów względem dokumentacji ISO. Należą do nich:

- procesy zarządzania kosztami cyklu życia;
- procesy zarządzania identyfikowalnością w czasie cyklu życia.

Na uwagę zasługuje fakt, że w procedowanej aktualizacji dokumentu AAP-48 wprowadza się podział zdarzeń eksploatacyjnych związanych z przywróceniem i utrzymaniem sprawności technicznej użytkowanego systemu (Rys. 1.7).



Rys. 1.7. Opcje Utrzymania (Maintenance Options). Na podstawie projektu AAP-48 edycja C

### **1.3. Wykorzystanie danych eksploatacyjnych w cyklu życia systemu**

Zarządzanie cyklem życia systemu wymaga ciągłego monitorowania jego stanu, również w kontekście procedury modyfikacji/modernizacji. Niezawodny system uzbrojenia, musi być wytrzymały nawet w otoczeniu trudnych warunków, zmieniających się wymagań operacyjnych i wewnętrznego pogorszenia stanu. W tym aspekcie istotną sprawą jest ewidencja i dostęp do historii zdarzeń eksploatacyjnych [10].

Należy nadmienić, że w każdym przypadku analizując eksploatację nawet najmniejszego urządzenia trzeba zwrócić uwagę na dwa aspekty, tj. użytkowanie i obsługiwane. Użytkowanie można zdefiniować, jako wykorzystanie sprzętu, m.in. wojskowego (SpW), w celu wykonania określonych zadań i wykorzystania jego funkcji użytkowych zgodnie z jego przeznaczeniem i właściwościami funkcjonalnymi. Obsługiwane zaś definiowane jest jako celowe działanie z SpW umożliwiające jego użytkowanie oraz zabezpieczenie procesu jego przechowywania. Eksploatacja sprzętu powinna być tak ukierunkowana, aby sprzęt był utrzymany w pełnej sprawności technicznej w możliwie najdłuższym okresie. Czas wymagany na wykonanie stosownych obsług powinien być skrócony do minimum. Zdaniem autora, proces ten może być wsparty poprzez optymalizację kilku obszarów, m.in. całkowitej informatyzacji bazy obsługowo-naprawczej (gromadzenie danych o stanach eksploatacji SpW, podejmowanie decyzji), automatyzacji planowania zakupów technicznych środków materiałowych (tśm) oraz automatyzacji obiegu dokumentów księgowych wewnątrz jednostki wojskowej, a także w relacjach z wykonawcami. Wyłączenie jednostki sprzętowej z użytkowania generuje obniżenie gotowości bojowej. Z powyższego nasuwa się wniosek, że czas wyłączenia sprzętu z użytkowania, wynikający z konieczności przeprowadzenia czynności obsługowych, powinien być minimalny.

Inżynieria niezawodności odnosi się do wyspecjalizowanej dyscypliny inżynierskiej, która zajmuje się niezawodnością systemu w całym jego cyklu życia. Obejmuje powiązane aspekty, takie jak dostępność i łatwość konserwacji systemu.

#### **Niezawodność (Reliability)**

Niezawodność można postrzegać jako cechę zapewniającą prawidłowe funkcjonowanie systemu podczas przewidywanego okresu jego użytkowania w pełnym zakresie warunków występujących w terenie.

Działania z zakresu inżynierii niezawodności wspierają inne procesy inżynierii systemów na dwa sposoby. Po pierwsze, działania z zakresu inżynierii niezawodności powinny mieć wpływ na projekt systemu (np. architekturę systemu zależną od wymagań dotyczących niezawodności). Po drugie, działania z zakresu inżynierii niezawodności powinny być wykorzystywane do weryfikacji systemu [11].

Niezawodność tradycyjnie definiowana jest jako prawdopodobieństwo, że dany element spełnia wymaganą funkcję w określonych warunkach przez określony czas. Nowoczesne podejście do niezawodności kładzie nacisk na procesy inżynierskie wymagane do zapobiegania awariom podczas oczekiwanego okresu eksploatacji systemu, tj. bezawaryjnej pracy. Koncepcja projektowania pod kątem niezawodności spowodowała przesunięcie punktu ciężkości z reaktywnego podejścia „testuj – analizuj – naprawiaj” na proaktywne podejście do projektowania niezawodności w systemie. Podejścia „unikania trybu awaryjnego” są zgodne z innymi procesami inżynierii systemów i dążą do poprawy niezawodności systemu na

wczesnych etapach rozwoju. Odbywa się to poprzez ocenę funkcji systemu, dojrzałość technologii, architektury systemu, redundancji itp. pod kątem potencjalnych awarii. Najbardziej znaczącą poprawę niezawodności systemu można osiągnąć przede wszystkim poprzez unikanie fizycznych uszkodzeń (RCM – Reliability Centered Maintenance), nie zaś poprzez drobne ulepszenia po zaprojektowaniu i wyprodukowaniu systemu.

### **Zdolność Utrzymania (ZU)/(Maintainability)**

Jednym z celów inżynierii systemów jest zaprojektowanie i opracowanie systemu, który może być utrzymywany skutecznie, bezpiecznie, przywracany do stanu zdatności w jak najkrótszym czasie, przy minimalnych kosztach i przy minimalnym zużyciu zasobów pomocniczych, bez negatywnego wpływu na misję tego systemu.

ZU można wyrazić w kategoriach czasu obsługiwanego, współczynników częstotliwości obsługiwań, czasu prac obsługowych i kosztów obsługiwań. Obsługiwanie można podzielić na obsługi (tj. zaplanowane w celu utrzymania systemu na określonym poziomie wydajności poprzez zapewnienie systematycznej kontroli i serwisowania lub zapobieganie zbliżającym się awariom poprzez okresowe wymiany elementów) i na naprawy (tj. nieplanowane, realizowane w wyniku awarii w celu przywrócenia systemu do określonego poziomu wydajności) [12].

### **Dostępność systemu (Availability)**

Dostępność to prawdopodobieństwo, że system użytkowany w określonych warunkach, będzie działał zadowalająco w dowolnym momencie, zgodnie z wymaganiami. Dostępność zależy od niezawodności i możliwości utrzymania systemu, a także od środowiska pomocniczego na etapach użytkowania i wsparcia. Literatura zasadniczo definiuje trzy rodzaje dostępności:

1. Oczekiwana dostępność (Inherent Availability,  $A_i$ ). Zakłada idealne środowisko użytkowania (np. łatwo dostępne narzędzia, części zamienne, personel konserwacyjny) i wyklucza konserwację prewencyjną (zaplanowaną), czas opóźnienia logistycznego i czas opóźnienia administracyjnego. Odzwierciedla przede wszystkim jakość systemu.
2. Osiągnięta dostępność (Achieved Availability,  $A_a$ ) jest podobna do dostępności operacyjnej. Obejmuje działania obsługowe i naprawcze. Nie obejmuje czasu opóźnienia logistycznego i czasu opóźnienia administracyjnego.
3. Dostępność operacyjna (Operational Availability,  $A_o$ ) zakłada rzeczywiste środowisko operacyjne i obejmuje czas opóźnienia logistycznego i czas opóźnienia administracyjnego.

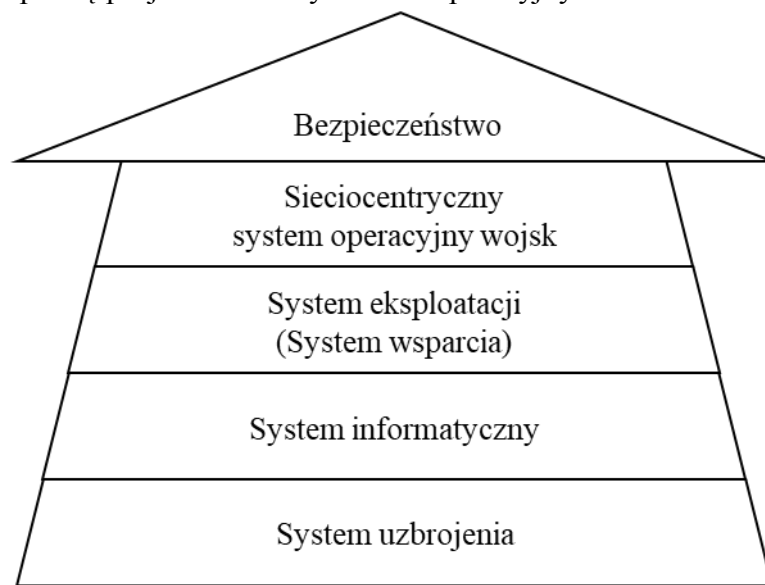
W celu precyzyjnego wykorzystania przedstawionych parametrów oraz uniknięcia przeszacowania poszczególnych wartości, rekomenduje się prowadzenie analiz powyższych wartości w ujęciu czasowym. Zasadne jest przejście z wartości średnich na charakterystyki funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa umożliwiające określenie stanu systemu w wybranej chwili czasowej z określonym prawdopodobieństwem [13].

Wykorzystanie powyższych aspektów/parametrów wymaga definiowania przebiegu procesów wynikających z cyklu życia systemu, które są wymienione w dokumentacji standaryzacyjnej dotyczącej cyklu życia systemu, w tym ISO 15288 oraz AAP-48, a także ISO 12207 w odniesieniu do systemów informatycznych. Uporządkowanie



i dostosowanie ich przebiegu w kontekście systemu daje możliwość sprawnej wizualizacji jego stanu, a także umożliwia trafne stawianie wniosków i podejmowanie decyzji.

Powyższa analiza wskazuje na wieloaspektowość przedstawionego obszaru, a także podobszarów współzależnych w czasie całego cyklu. Istotnym aspektem jest obszar wsparcia eksploatacji sprzętu, który ma kluczowe znaczenie w kontekście życia sprzętu, ale również gotowości operacyjnej wojsk, które realizują swoje zadania coraz częściej w otoczeniu sieciocentrycznym. Jednym z celów podejścia systemowego do analizowanego zagadnienia jest zapewnienie, że tradycyjne procesy dotyczące obsługi logistycznej zostaną włączone do wymagań systemowych, tj. niezawodność (reliability), dostępność (availability), zdolność utrzymania (maintainability). Na rysunku (Rys. 1.8) przedstawiono ideowy schemat funkcjonowania systemu uzbrojenia we właściwie zaprojektowanym otoczeniu informatycznym oraz wpływ proponowanego połączenia na bezpieczeństwo. Powyższe stanowi wkład w poprawę projektowania systemów operacyjnych.



Rys. 1.8. Piramida relacji: systemu uzbrojenia - bezpieczeństwo. Opracowanie własne

## 2. CHARAKTERYSTYKA PODSYSTEMU TECHNICZNEGO SIŁ ZBROJNYCH

Doktryna Logistyczna Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej [14] określa składowe Systemu Funkcjonalnego Logistyki Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej<sup>2</sup> w następujący sposób:

1. Podsystem Kierowania (PK).
2. Podsystem Materiałowy (PMat).
3. Podsystem Techniczny (PT).
4. Podsystem Transportu i Ruchu Wojsk (PTiRW).
5. Podsystem Infrastruktury Wojskowej (PIW).
6. Podsystem Medyczny (PMed).
7. Obszaru Wsparcia przez Państwo-Gospodarza (OWPG).
8. Obszar Mobilizacji Gospodarki i Rezerw Strategicznych<sup>3</sup> (OMGiRS).

Podsystem Techniczny jest częścią Systemu Funkcjonalnego Logistyki Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej i przeznaczony jest do planowania, organizowania, realizacji oraz kontrolowania procesów eksploatacji SpW. Składa się on ze zbioru powiązanych wzajemnymi relacjami elementów, obejmujących potencjał kadrowy, techniczny, zasoby rzeczowo-finansowe, dokumentację techniczną oraz procedury przeznaczone do realizacji jego funkcji itd.

Do podstawowych funkcji Podsystemu Technicznego SZ RP zalicza się:

1. Kierowanie i zarządzanie eksploatacją SpW.
2. Normowanie eksploatacji.
3. Przechowywanie.
4. Zaopatrywanie techniczne.
5. Obsługiwanie techniczne.
6. Rozpoznanie techniczne.
7. Ewakuację techniczną.
8. Naprawę.
9. Realizację biuletynów technicznych.
10. Pomiar i minimalizację pól fizycznych.
11. Inne przedsięwzięcia (dozór techniczny, metrologię, energetykę).

Kierowanie i zarządzanie eksploatacją SpW to wszelkie procesy planistyczno-decyzyjne oraz sprawozdawczo-analityczne mające na celu utrzymanie na wymaganym poziomie gotowości technicznej<sup>4</sup> SpW. Kierowanie i zarządzanie eksploatacją SpW wyraża się poprzez planowanie, organizowanie, pobudzanie oraz kontrolowanie procesów eksploatacji SpW na wszystkich szczeblach organizacyjnych SZ RP.

---

<sup>2</sup> System Funkcjonalny Logistyki Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej to zbiór elementów struktury organizacyjnej oraz obszarów funkcjonalnych, których przeznaczenie, a także wzajemne relacje zapewniają warunki do właściwego funkcjonowania Sił Zbrojnych w czasie pokoju, kryzysu i wojny.

<sup>3</sup> Rezerwy strategiczne to zgromadzone na poziomie gospodarki narodowej zasoby, które przeznaczone są do wykorzystania w przypadku: 1) zagrożenia bezpieczeństwa i obronności państwa oraz bezpieczeństwa, porządku i zdrowia publicznego; 2) wystąpienia klęski żywiołowej lub sytuacji kryzysowej.

<sup>4</sup> Gotowość techniczna – zdolność techniki wojskowej do zgodnego z przeznaczeniem użycia w określonym czasie (źródło: doktryna D-4(B)).

Doktryna Logistyczna SZ RP eksploatację określa jako zespół celowych działań organizacyjno-technicznych i ekonomicznych podejmowanych przez personel wobec SpW oraz wzajemne relacje między nimi, od chwili wprowadzenia do Sił Zbrojnych RP do jego wycofania. Zasadniczymi kryteriami w zarządzaniu eksploatacją są:

1. Gotowość techniczna SpW.
2. Bezpieczeństwo.
3. Ekonomia eksploatacji.

Podstawowymi strategiami eksploatacji sprzętu wojskowego stosowanymi w SZ RP są:

1. Strategia eksploatacji według zużycia ресурсu.
2. Strategia eksploatacji według stanu technicznego.
3. W uzasadnionych organizacyjnie i ekonomicznie specyficznych przypadkach, można przyjąć inne strategie eksploatacji, uwzględniające aspekty niezawodności oraz postęp techniczny i technologiczny.

Proces sprawnej eksploatacji SpW wymaga właściwej organizacji procedur planowania technicznego. Planowanie realizowane jest na wszystkich szczeblach organizacyjnych SZ RP. Jego celem jest określenie:

1. Potrzeb i przedsięwzięć niezbędnych dla zabezpieczenia właściwej eksploatacji SpW.
2. Terminów zabezpieczenia potrzeb oraz realizacji przedsięwzięć w podsystemie technicznym.
3. Środków finansowych.

Zasadniczymi systemami eksploatacji SpW w Siłach Zbrojnych RP, wynikającymi z przyjętych strategii eksploatacji są:

1. Planowo-zapobiegawczy system eksploatacji SpW.
2. Planowo-zapobiegawczy system eksploatacji SpW z diagnozowaniem.
3. System eksploatacji SpW według stanu technicznego.

W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się stosowanie innych, niż zasadnicze systemy eksploatacji SpW. Postęp techniczny i technologiczny powinien stanowić przesłankę do optymalizacji oraz rozwoju systemów eksploatacji SpW w SZ RP, a diagnostyka techniczna i ocena niezawodności powinna stanowić podstawowy czynnik uwzględniany w procesie eksploatacji SpW w celu zapewnienia optymalizacji realizowanych przedsięwzięć.

System eksploatacji można podzielić, ze względu na kierowanie eksploatacją sprzętu wojskowego, na podsystem realizacji (PR) i podsystem sterowania (PS). W skład systemu realizacji eksploatacji sprzętu zaliczyć należy podsystem użytkowania (PU) oraz podsystem obsługi (PO). W skład podsystemu sterowania eksploatacją systemów uzbrojenia wchodzi podsystem ewidencyjno-sprawozdawczy oraz podsystem planistyczno-decyzyjny.

System eksploatacji powinien być sprzężony z systemem operacyjnym (szkolenia, walki) oraz systemem zaopatrzenia. Powyższe dwa systemy dostarczają do systemu eksploatacji informacji w zakresie zadań do wykonania i materiałów eksploatacyjnych. Podsystem eksploatacji i system zaopatrzenia tworzą system logistyczny [15].

Wojskowy system eksploatacji można opisać również jako zbiór pododdziałów, pracowników resortu Obrony Narodowej, infrastruktury eksploatacyjnej, ogniw kierowania oraz relacji między nimi. Infrastruktura systemu eksploatacji obejmuje Warsztaty Techniczne (WT), Rejonowe Warsztaty-Techniczne (RWT), stacje obsługi jednostek wojskowych, punkty

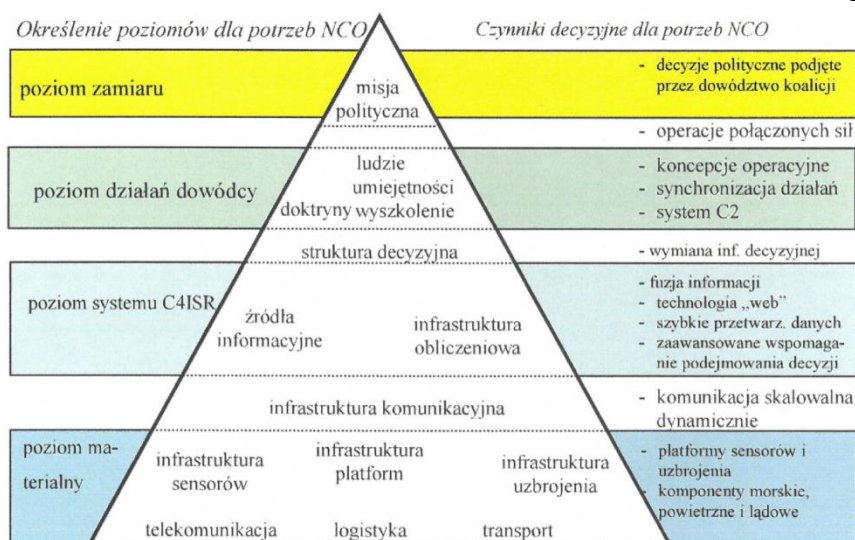
obsługi codziennej (POC), zakłady gospodarki narodowej (ZGN), urządzenia obsługowe i naprawcze oraz urządzenia diagnostyczne.

## 2.1. Systemy uzbrojenia a środowisko sieciocentryczne

Zmieniająca się struktura zagrożeń oraz konieczność monitorowania otoczenia w obszarze potencjalnych zagrożeń, w trosce o bezpieczeństwo narodowe, generuje potrzebę rozwijania systemów zdolnych do gromadzenia i przetwarzania informacji o otoczeniu. Informacje przekazywane do komórek analityczno-decyzyjnych są w nich przetwarzane, a w przypadku wystąpienia zagrożenia może nastąpić reakcja w postaci decyzji o eliminacji zagrożenia. Decyzja, wygenerowana na podstawie danych zgromadzonych z wykorzystaniem sensorów lub rejestratorów, musi być podjęta na podstawie wcześniejszej analizy możliwości zaangażowania sprzętu bojowego, a także sprzętu logistycznego stanowiącego zaplecze do użycia systemu uzbrojenia.

Powyższe określane jest jako Network Centric Warfare, a także NATO Network Enabled Capability (NNEC)<sup>5</sup>. W Polsce używa się terminu zdolności sieciocentrycznych [16]. Network Centric Warfare (NCW – doktryna wojny sieciocentrycznej) została stworzona przez adm. Arthura Cebrowskiego, szefa Biura Transformacji Sił Zbrojnych w Pentagonie. Zarys tej koncepcji pojawił się już w 1995 roku, jednak z biegiem czasu uległa i ulega ona ciągłym modyfikacjom [17]. Wynika ona ze zmiany struktury zagrożeń zewnętrznych, ich asymetryczności oraz bardzo szybkiego rozwoju technologicznego i logistycznego [18].

Na rysunku (Rys. 2.1) przedstawiono poglądowy schemat sieciocentrycznej architektury. Należy nadmienić, że działania wojskowe powinny być wsparte płynnym i elastycznym przepływem informacji między poszczególnymi elementami analityczno-decyzyjnymi systemu (C4ISR – Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance, C2 – Command, Control, NCO – Net Centric Operation).

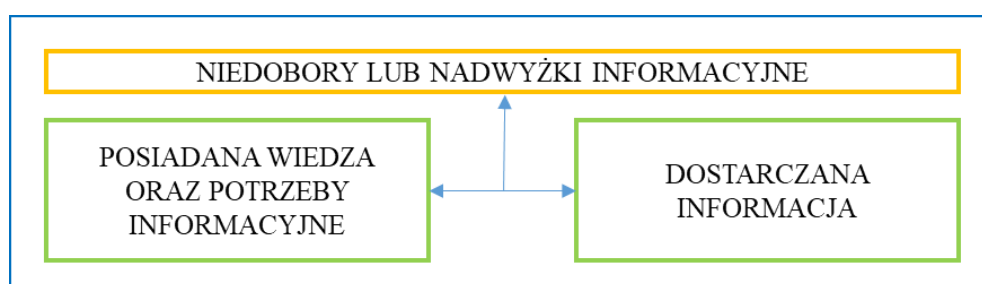


Rys. 2.1. Model sieciocentrycznej architektury [19]

<sup>5</sup> NNEC – zdolność NATO do prowadzenia działań w oparciu o sieci teleinformatyczne obejmuje elementy, które będą zaangażowane w proces integracji systemów zbierania i przetwarzania danych z elementami decyzyjnymi oraz wykonawcami. Umożliwiają osiągnięcie sieciocentrycznych, wysoce skutecznych, operacyjnych zdolności NATO. Jest to istotne z punktu widzenia kierunków możliwej przyszłej transformacji sojuszu.

W związku z powyższym znaczenia nabierają aspekty gotowości do użycia techniki wojskowej, w tym procesy planowania w obszarze organizacji obsługi i napraw, które zapewniają osiągnięcie wymaganej gotowości operacyjnej systemów walki. W aspekcie działań połączonych przedmiotowe procesy powinny być ukierunkowane na maksymalizowanie synergii dwóch światów: materialnego i cyfrowego oraz wzajemnego przenikania się tych światów.

Planowanie w procesie utrzymania gotowości operacyjnej systemów uzbrojenia jest procesem wymagającym dostępu do szeregu danych. Rozpoczyna się w momencie gromadzenia danych, ich selekcji, przetworzenia, a następnie dystrybucji do komórek analityczno-decyzyjnych w celu ich wykorzystania na potrzeby zabezpieczania zasobów materialnych i niematerialnych pozwalających utrzymać i odtworzyć sprawność sprzętu wojskowego (Rys. 2.2).



Rys. 2.2. Informacja w procesie decyzyjnym. Opracowanie własne

Proces gromadzenia danych powinien być tak zorganizowany, aby uzyskanie dostępu do nich nastąpiło bez zbędnej zwłoki, tak aby proces planowania przebiegał z uniknięciem tak zwanych braków informacyjnych, tj. różnicy między potrzebami informacyjnymi analityka, a jego wiedzą i dostarczoną informacją. W przypadku dużych niedoborów wiedzy informacja niepełna może być uznana w pewnych przypadkach i okolicznościach jako wystarczająca do podjęcia decyzji o realizacji przedsięwzięcia. Konsekwencją może być błąd dotyczący przygotowania zasobów do odtworzenia gotowości do użycia systemu uzbrojenia, np. utrzymania zapasów lub ich struktury.

## 2.2. Zarządzanie informacją

W dokumentacji doktrynalnej SZ RP [20] zarządzanie informacją obejmuje jej pozyskiwanie, przetwarzanie i dystrybucję. Celem powyższego jest:

1. Zmniejszenie kosztów realizacji i zarządzania przedsięwzięciami wsparcia i zabezpieczenia logistycznego (w tym technicznego) wojsk.
2. Skrócenie czasu dostaw środków zaopatrzenia (w tym tśm) i usług [21].
3. Zwiększenie efektywności narodowego wsparcia oraz zabezpieczenia logistycznego sił sojusznicznych, przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa informacji.

Celem zarządzania informacją jest wsparcie dowództw w procesach planistyczno-decyzyjnych poprzez zapewnienie im aktualnej informacji o możliwości wykorzystania potencjału podsystemu technicznego. Jedną z funkcji zarządzania informacją jest wspomaganie komórek planowania logistycznego poprzez optymalizację procesów zachodzących w trakcie:

1. Planowania logistycznego.
2. Kalkulacji potrzeb i pozyskiwania zasobów logistycznych.

3. Identyfikacji, przechowywania i eksploatacji zasobów logistycznych.
4. Prowadzenia ewidencji zasobów logistycznych i zdarzeń gospodarczych.
5. Monitorowania transportów.
6. Monitorowania i prowadzenia sprawozdawczości logistycznej.

Sojuszniczy system zarządzania informacją logistyczną obejmuje sporządzanie i wymianę informacji logistycznej przez struktury organizacyjne logistyki NATO, wykorzystując w tym celu wspierające narzędzia informatyczne, w tym oprogramowanie z pakietu LOG FS (ang. Logistic Functional Services).

Narodowy system zarządzania informacją logistyczną obejmuje zasady i procedury sporządzania i wymiany informacji logistycznych, stosowane przez organy logistyki na wszystkich poziomach kierowania i dowodzenia przy wykorzystaniu wsparcia narodowych, logistycznych systemów informatycznych.

Narodowe systemy informatyczne wspierają kierowanie logistyką i zarządzanie zasobami logistycznymi. Należą do nich, między innymi:

1. Zintegrowany Wieloszczeblowy System Informatyczny Resortu Obrony Narodowej (ZWSI RON), który jest scentralizowanym, zintegrowanym i zunifikowanym systemem informatycznym wspomagającym zarządzanie logistyką, finansami i kadrami na wszystkich poziomach kierowania resortu ON. Zakłada się, że docelowo ma zapewnić standaryzację procedur, działań i informacji w tych obszarach oraz automatyczną wymianę i integrację danych pomiędzy jednostkami organizacyjnymi resortu obrony narodowej. W ramach architektury funkcjonalnej, system ten zawiera następujące moduły:
  - Jednolitego Indeksu Materiałowego, który umożliwi identyfikację wyrobów obronnych i usług na potrzeby zarządzania zasobami;
  - Zintegrowanej ewidencji zasobów logistycznych – wsparcia gospodarki materiałowej;
  - Wsparcia gospodarki magazynowej;
  - Planowania zasobów logistycznych w aspekcie rzeczowym i finansowym;
  - Wsparcia procesów eksploatacji sprzętu wojskowego, zarządzania nieruchomościami, wsparcia transportu;
  - Sprawozdawczości logistycznej, dostarczającej informacji o ilości, stanie i lokalizacji zasobów logistycznych.
2. Teleinformatyczny System Monitorowania Położenia Wojsk (SI KONWÓJ).
3. System wsparcia eksploatacji statków powietrznych (SI SAMANTA).
4. System wspierający rejestrację pojazdów (SI CEP-S).
5. Centralna baza danych o narodowych zasobach obronnych przeznaczonych do realizacji zadań wsparcia przez państwo-gospodarza (SI EKOZ).

W resorcie ON wykorzystywane są także inne oprogramowania wspomagające pracę komórek odpowiedzialnych za realizację zadań eksploatacyjnych.

### **2.3. Główne zadania komórek wchodzących w skład podsystemu technicznego**

Organami kierowania w podsystemie technicznym SZ RP, stosownie do kompetencji i właściwości, są:

1. Organizator Systemu Funkcjonalnego Logistyki OSFLog SZ RP, który planuje i programuje rozwój podsystemu technicznego SZ RP.
2. Jednostka organizacyjna RON właściwa do spraw wsparcia logistycznego SZ RP, która kieruje i odpowiada za fazę eksploatacyjną SpW, opracowując oraz wydając w tym celu dokumenty normujące zasady eksploatacji, a także prowadzi stosowne analizy i nadzór nad eksploatacją SpW. Podległe jej komórki realizujące zadania Centralnego Organu Logistycznego. Do jej zadań należą m. in.:
  - a. ustalenie szczegółowych zasad kierowania, planowania i zarządzania zabezpieczeniem technicznym w SZ RP;
  - b. opracowanie zasad i norm zabezpieczenia technicznego SpW, w tym norm eksploatacyjnych;
  - c. koordynowanie procesu planowania oraz realizacji zadań obsługowo-naprawczych i zaopatrywania technicznego przez RBLLog/BLog/WOG;
  - d. koordynowanie procesu pozyskiwania tśm, w ramach zakupów zleczanych, wskazując realizatorów oraz określając sposób ich realizacji;
  - e. planowanie i organizowanie procesu zabezpieczenia potrzeb SZ RP w SpW oraz tśm;
  - f. opracowanie zasad gospodarowania SpW oraz tśm, ustalenie wielkości oraz zasad ich gromadzenia i rozmieszczenia;
  - g. planowanie środków budżetowych państwa na wsparcie i zabezpieczenie techniczne, usługi oraz zakup tśm, w tym na zakup SpW, dla którego pełnią funkcję gestora SpW;
  - h. współpracowanie z gestorami SpW w zakresie określania perspektyw użytkowania i potrzeb modernizacyjnych SpW;
  - i. nadzorowanie działalności użytkowników SpW w zakresie realizacji eksploatacji;
  - j. prowadzenie baz danych w zakresie stanu ilościowego i jakościowego SpW;
  - k. określenie i aktualizacja zbiorczych potrzeb resortu Obrony Narodowej do Programu Mobilizacji Gospodarki (PMG), w zakresie napraw oraz dostaw SpW i tśm;
  - l. określenie sposobu zagospodarowywania SpW wycofywanego z eksploatacji.
3. Główny Inżynier Wojsk Lotniczych (GIWL) sprawuje nadzór nad systemem zapewnienia zdatności do lotu wojskowych statków powietrznych – wpisanych do rejestru wojskowych statków powietrznych.
4. Gestorzy SpW są odpowiedzialni za określanie kierunków rozwoju SpW w SZ RP oraz organizację procesu wdrażania, użytkowania (w tym wykorzystania bojowego) i wycofywania określonego typu i rodzaju SpW.
5. Centralne Organy Logistyczne (COL) są odpowiedzialne za organizację procesów eksploatacji SpW, w tym organizację wsparcia i zabezpieczenia technicznego oraz szkolenia personelu technicznego dla określonych rodzajów SpW.
6. Departament Polityki Zbrojeniowej (DPZ) – odpowiada za system pozyskiwania, a także realizację przedsięwzięć dotyczących działalności Ministerstwa Obrony Narodowej w zakresie problematyki wojskowo-techniczno-przemysłowej.

7. Wojskowy Dozór Techniczny (WDT) – odpowiada za realizację działań zmierzających do zapewnienia bezpiecznego funkcjonowania urządzeń technicznych podlegających dozorowi.
8. Wojskowe Centrum Metrologii (WCM) – odpowiada, w ramach działalności metrologicznej w RON, za zapewnienie jednolitości miar i dokładności pomiarów, jako integralnej części wsparcia i zabezpieczenia technicznego SpW, zgodnie z wymaganiami taktyczno-technicznymi.
9. Wojskowa Inspekcja Gospodarki Energetycznej (WIGE) – odpowiada za prowadzenie działań analityczno-kontrolnych, zgodność eksploatacji urządzeń, instalacji, a także sieci elektroenergetycznych zgodnie z wymogami prawa.
10. Komórki logistyczne rozmieszczone w strukturach wewnętrznych Dowództw RSZ/równorzędnych kierują realizacją przedsięwzięć podsystemu technicznego, wypracowując procedury i określając główne kierunki działalności w podległych im związkach taktycznych i oddziałach. Do ich głównych zadań należą:
  - a. znajomość stanu ilościowego i jakościowego SpW;
  - b. określanie priorytetów w zakresie planowania i realizacji napraw SpW;
  - c. gromadzenie niezbędnych danych o możliwościach podległego potencjału technicznego na potrzeby planowania wsparcia i zabezpieczenia technicznego sił własnych i sojusznicznych;
  - d. sprawowanie nadzoru w zakresie realizacji ustaleń dotyczących eksploatacji SpW w podległych związkach taktycznych i oddziałach;
  - e. koordynowanie współpracy komórek pełniących funkcję gestora i COL w zakresie planowania potrzeb naprawczych oraz wycofywania nieperspektywicznego SpW;
  - f. sprawowanie nadzoru nad przestrzeganiem zasad gospodarowania SpW i zapasami tśm.
11. Do głównych zadań realizowanych przez komórki wewnętrzne RBLog/BLog właściwe do spraw wsparcia logistycznego należą:
  - a. organizowanie i kierowanie procesem eksploatacji SpW w rejonie odpowiedzialności;
  - b. kierowanie podległymi stacjonarnymi/mobilnymi organami wykonawczymi w zakresie realizacji zadań zabezpieczenia technicznego w rejonie odpowiedzialności;
  - c. planowanie gromadzenia, utrzymywania i dostarczania SpW i zapasów tśm oraz innego wyposażenia technicznego niezbędnego do pełnego zabezpieczenia potrzeb;
  - d. sprawowanie nadzoru w zakresie ustalonych zasad eksploatacji SpW w rejonie odpowiedzialności;
  - e. planowanie rzeczowo-finansowe oraz realizowanie procedur zakupów SpW oraz tśm w ramach przydzielonych środków finansowych i posiadanych kompetencji;
  - f. opracowywanie dokumentacji technicznej oraz systematyczne jej aktualizowanie, stosownie do otrzymywanych zadań, potrzeb wynikających ze zmian konstrukcyjnych SpW, wyposażenia diagnostycznego i warsztatowego oraz postępu technicznego;
12. Do głównych zadań realizowanych przez komórki logistyczne rozmieszczone w związkach taktycznych, oddziałach/równorzędnych należą:
  - a. racjonalne wykorzystywanie informacji o stanie ilościowym i technicznym SpW oraz danych dotyczących możliwości podległych organów wykonawczych;



- b. nadzór nad funkcjonowaniem podległych organów wykonawczych;
  - c. opracowywanie dokumentów planistycznych i sprawozdawczych, w tym dotyczących planowania potrzeb tśm;
13. Do głównych zadań realizowanych przez komórki logistyczne rozmieszczone w WOG należą:
- a. prowadzenie ewidencji SpW i tśm, zgodnie z obowiązującymi przepisami;
  - b. planowanie zaopatrywania technicznego zabezpieczanych JW w SpW i tśm;
  - c. monitorowanie stanu realizacji zadań wsparcia i zabezpieczenia technicznego, zbieranie potrzeb z zabezpieczanych JW;
  - d. nadzorowanie i planowanie eksploatacji SpW w odniesieniu do SpW własnego oraz zabezpieczanych JW, w tym monitorowanie gotowości technicznej zasadniczego SpW;
  - e. nadzór nad przestrzeganiem rocznych norm zużycia resursów technicznych SpW oraz przydzielonych limitów eksploatacyjnych;
  - f. prowadzenie gospodarki magazynowej, organizacja miejsc i sposobu przechowywania SpW i tśm;
  - g. gromadzenie i składanie potrzeb w zakresie napraw i obsługiwań technicznych SpW;
  - h. opracowywanie planu rzeczowo-finansowego w zakresie realizacji zadań wsparcia i zabezpieczenia technicznego;
  - i. przygotowywanie propozycji zagospodarowania zbędnego mienia.

Powyższa syntetyczna analiza pokazuje, że bardzo szerokie spektrum zadań dotyczących eksploatacji sprzętu wojskowego realizowane jest na wielu szczeblach kierowania i dowodzenia SZ RP. Zadania realizowane są przez powołane to tego komórki mające określony zakres kompetencyjny.

Nowoczesne, zaawansowane technologicznie systemy uzbrojenia wymuszają potrzebę monitorowania gotowości technicznej sprzętu poprzez narzędzia informatyczne wspomagające ten proces. Proces ten jest wspierany przez system informatyczny ZWSI RON, ale występują w nim obszary, które powinno się optymalizować i rozwijać stosownie do cyklu życia systemów uzbrojenia. Stosownej modyfikacji wymaga implementacja rozwiązań generujących prognozy w celu podjęcia decyzji w aspekcie gotowości SpW, bezpieczeństwa i racjonalności nakładów finansowych, a także zarządzania bazą obsługowo-naprawczą RON, tj. skrócenie czasu przebywania w obsłudze sprzętu wojskowego (minimalizacja efektu opóźnienia logistycznego). Proces ten wymaga elastycznego dostępu do danych generowanych w infrastrukturze teleinformatycznej znajdującej się częściowo na stanowiskach obsługowo-naprawczych Parku Sprzętu Technicznego (PST) i w bazie obsługowo-naprawczej<sup>6</sup>. W przypadku wdrożenia na potrzeby wojska Internetu Rzeczy, proces rozpoczynałby się w eksploatowanym obiekcie technicznym. Zależne jest to jednak od pomyślnego zakończenia w przyszłości skomplikowanych i czasochłonnych procedur bezpieczeństwa teleinformatycznego, certyfikujących rozwiązania bezprzewodowego przesyłu informacji pomiędzy mobilnym obiektem, a elementami stacjonarnej infrastruktury

---

<sup>6</sup> Obecnie sieć teleinformatyczna nie jest doprowadzona do wszystkich punktów PST i BON. Powoduje to potrzebę przesyłania informacji w tradycyjnej formie papierowej, z czym związana jest częściowa utrata danych.

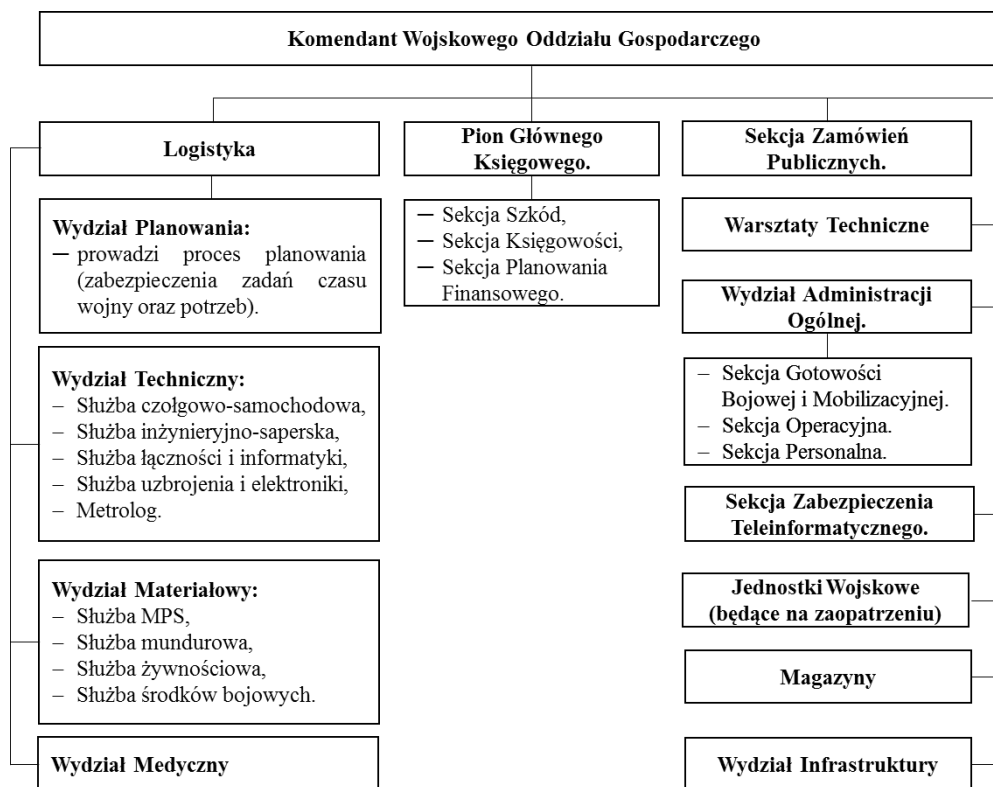
teleinformatycznej (Parkiem Sprzętu Technicznego). Jednak powyższe jest nieuniknione z uwagi na szybki rozwój działań w systemach sieciocentrycznych.

## 2.4. Kluczowe ogniwa SZ RP zabezpieczające podsystem techniczny

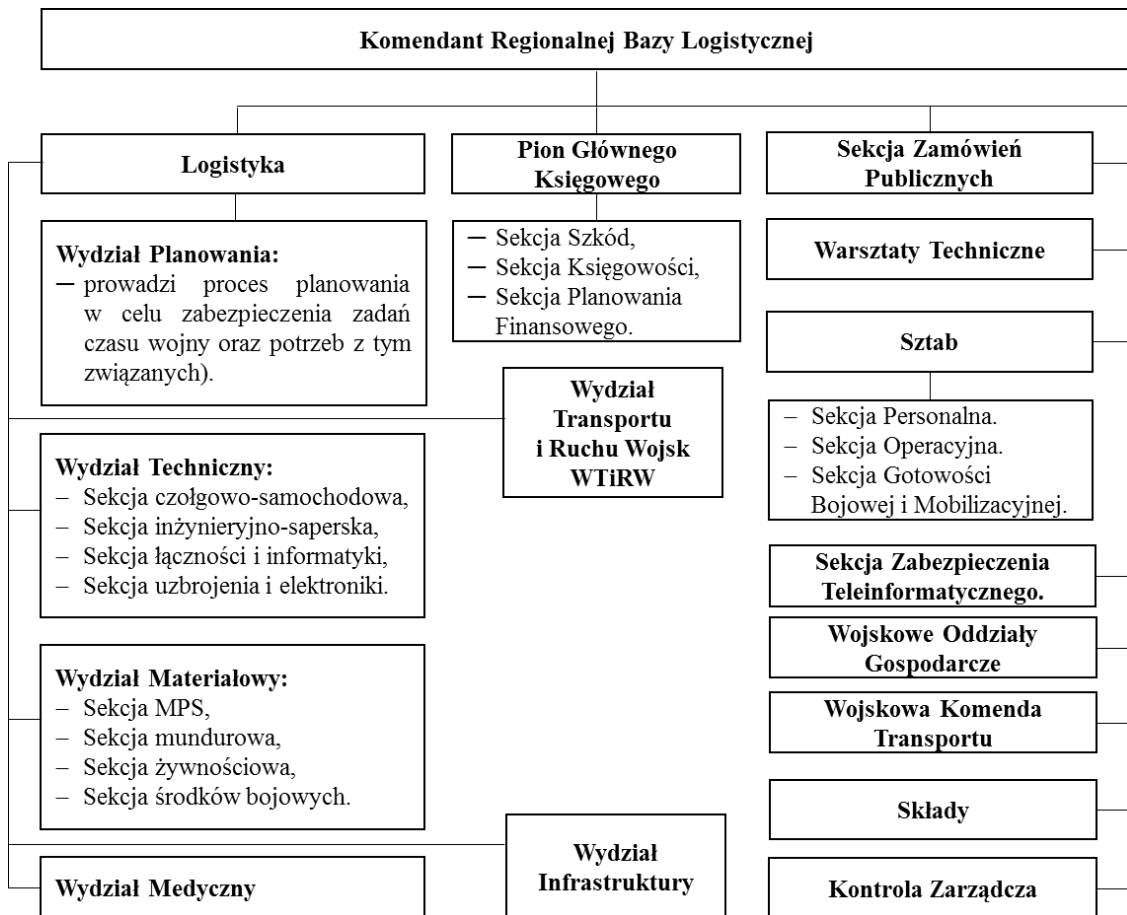
*Wojskowy Oddział Gospodarczy (WOG)* to jednostka wojskowa będąca dysponentem środków budżetowych III stopnia, prowadząca samodzielną gospodarkę materiałową i finansową, w tym realizującą funkcje zarządzania SpW. Zadania przypisane do WOG mogą być również realizowane przez inne jednostki wojskowe pełniące funkcje oddziału gospodarczego. W skład struktury organizacyjnej WOG, istotne z punktu widzenia podsystemu technicznego, wchodzi elementy opisane na schemacie (Rys. 2.3).

*Regionalna Baza Logistyczna (RBLog)* jest jednostką wojskową, prowadzącą samodzielną gospodarkę materiałową i finansową. W jej podległości znajdują się m. in. Wojskowe Oddziały Gospodarcze znajdujące się w rejonie odpowiedzialności. W skład struktury organizacyjnej RBLog wchodzi elementy opisane na schemacie (Rys. 2.4) – istotne z punktu widzenia podsystemu technicznego [22].

*Inspektorat Wsparcia Sił Zbrojnych (IWsp SZ)* jest komórką organizacyjną odpowiedzialną za zarządzanie i kierowanie procesami logistycznymi jak również gospodarką finansową. Do jego zadań należy m. in. bilansowanie potrzeb. W podległości IWsp SZ, w kontekście podsystemu technicznego, znajdują się Regionalne Bazy Logistyczne oraz Brygady Logistyczne zabezpieczające m.in. usługi remontowe na potrzeby jednostek wojskowych. W skład struktury organizacyjnej IWsp SZ, wchodzi następujące, kluczowe elementy opisane na schemacie (Rys. 2.5).



Rys. 2.3. Uogólniona struktura WOG. Opracowanie własne



Rys. 2.4. Uogólniona struktura RBLog. Opracowanie własne



Rys. 2.5. Uogólniona struktura IWsp SZ. Opracowanie własne

## 2.5. Ocena sprawności technicznej sprzętu wojskowego

W odniesieniu do warunków wojskowych można stwierdzić, że jednym ze sposobów oceny prawidłowego funkcjonowania systemu obsługowo-naprawczego jest ocena sprawności sprzętu. Zasady oceny sprawności technicznej sprzętu wojskowego zostały ujęte w instrukcji DD/4.22.12 „Zasady oceny stanu technicznego uzbrojenia i sprzętu wojskowego w Siłach Zbrojnych RP.” Instrukcja podaje kryteria oceny sprawności technicznej sprzętu wojskowego oraz zasady jej określenia również w kontekście ilościowym, czyli opisującym sprawność w skali ocen od dwa do pięć.

Instrukcja jest dokumentem normującym prowadzenie kontroli m.in. w obszarze działalności bieżącej, tj. pokojowego funkcjonowania komórek organizacyjnych Ministerstwa Obrony Narodowej i jednostek organizacyjnych resortu Obrony Narodowej, przygotowania dowództw i sztabów do działania zgodnie z przeznaczeniem oraz struktur doraźnie organizowanych do wykonania zadania.

W myśl dokumentu ocenę stanu technicznego grupy sprzętowej ustala się na podstawie średniej arytmetycznej uzyskanej ze sprawności sprzętu oraz jego utrzymania:

$$\text{Stan techniczny} = \frac{\text{sprawność} + \text{utrzymanie}}{2}. \quad (2.1)$$

W myśl zapisów instrukcji ocenę bardzo dobrą uzyskuje sprzęt, którego wszystkie parametry techniczne są zgodne z dokumentacją techniczną, a sprzęt ma wymagane dopuszczenia eksploatacyjne. Ocenę niedostateczną za sprawność sprzęt uzyskuje, gdy:

- jedno z podstawowych urządzeń decydujących o wykorzystaniu sprzętu zgodnie z przeznaczeniem jest niesprawne, np. armata w czołgu, podwozie samochodowe w radiostacji, napęd główny okrętu, stacja hydroakustyczna okrętu podwodnego;
- narzędzia pomiarowe, energetyczne urządzenia techniki wojskowej lub uzbrojenia oraz urządzenia podlegające dozorowi technicznemu, będące integralną częścią sprzętu wojskowego są niesprawne;
- sprzęt wojskowy lub wyposażenie nie spełniają warunków dozoru technicznego, ochrony przeciwpożarowej lub nie są poddane kontroli metrologicznej.

W związku z powyższym oraz uwzględniając fakt, że sprzęt wojskowy w zdecydowanej większości wypadków jest sprzętem specjalistycznym, jego ocena składa się z sumy ocen składowych w tzw. działach zaopatrzenia. W przypadku czołgu mogą to być następujące podsystemy (działy, służby):

- Podsystem Uzbrojenia i Elektroniki ( $P_{UiE}$ ) – uzbrojenie;
- Podsystem Czołgowo-Samochodowy ( $P_{Czołg-sam}$ ) – podwozie;
- Podsystem Łączności i Informatyki ( $P_{ŁiI}$ ) – środki łączności;
- Podsystem Inżynierijno-Saperski, obrona przed bronią masowego rażenia ( $P_{Inż-Sap}$ ).

Zatem opis sprawności i utrzymania sprzętu w tym przypadku ma postać:

$$\begin{aligned} \text{sprawność} &= \frac{P_{UiE} + P_{Czołg-sam} + P_{ŁiI} + P_{Inż-Sap} + P_{DE2MP}}{5}, \\ \text{utrzymanie} &= \frac{P_{UiE} + P_{Czołg-sam} + P_{ŁiI} + P_{Inż-Sap} + P_{DE2MP}}{5}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Wybrany do analizy sprawności czołg otrzymuje w poszczególnych działach zaopatrzenia oceny cząstkowe jak w tabeli (Tab. 2.1), zatem na podstawie wzorów otrzymujemy wynik o wartości 4.1:

Tab. 2.1. Ocena sprawności i utrzymania czołgu. Opracowanie własne

Lp.	Numer rejestracyjny	Ocena w służbach					Parametr	Ocena ogólna
		P <sub>UiE</sub>	P <sub>Czołg-sam</sub>	P <sub>inż-Sap</sub>	P <sub>Lil</sub>	P <sub>DE2MP</sub>		
1	PT-91 BT 2030	4	4	4	5	4	Sprawność	4,2
		3	5	4	4	4	Utrzymanie	4

Dodatkowo należy uwzględnić sprawność wyposażenia oraz ważność dozoru, ważność sprawdzeń energetycznych oraz metrologicznych.

Proces utrzymania sprawności sprzętu jest procesem ciągłym. Za nadzór nad eksploatacją poszczególnych układów zasadniczo odpowiadają różne osoby funkcyjne, które nie muszą posiadać danych z innych obszarów sprawności sprzętu. W związku z powyższym zasadne jest prowadzenie bieżącej oceny w systemie połączonym (sieciocentrycznym) dającym obraz aktualnej, całościowej wartości oceny stanu technicznego sprzętu.

Powyższe nasuwa wniosek, że określenie sprawności i jej kontrolowanie w przypadku czołgu, np. PT-91 wymaga porównywania danych o sprawności z kilku obszarów. Jest to już procesem skomplikowanym w przypadku pojedynczego egzemplarza sprzętu. Dalsze trudności mogą się pojawić w przypadku określania sprawności drużyny, plutonu czołgów, kompanii czy batalionu, a nawet brygady, np. pancernej. Powyższe nasuwa wniosek o potrzebie uwzględniania w strategii zarządzania eksploatacją sprzętu SZ RP szerszej skali sieciocentrycznych narzędzi informatycznych służących do administrowania aktualną oceną sprawności SpW od pojedynczego egzemplarza do brygady/równorzędnej włącznie. Manualna ocena sprawności jest metodą pracochłonną i mało efektywną w stosunku do współczesnej techniki wojskowej oraz w odniesieniu do struktur wojskowych, a także oczekiwań uczestników podsystemu operacyjnego.

W przypadku opisu zdolności SpW w kontekście wykonania zadania, np. na odległość lub wykonania zadania operacyjnego, zasadne jest monitorowanie dodatkowych parametrów określających gotowość operacyjną (GO) [23]. Zgodnie z procedurą badawczą AVTP gotowość definiowana jest następująco: „Pomiar stopnia, do którego element jest w stanie do działania oraz do wykonania określonego zadania, określany na początku tego zadania w warunkach, gdy zadanie to może być do wykonania w nieznannej (losowo wybranej) chwili czasu”. GO odnoszona jest do obiektów technicznych, dla których ustalona jest charakterystyka zadania, zaś wystąpienie potrzeby jego wykonania jest zdarzeniem losowym w czasie.

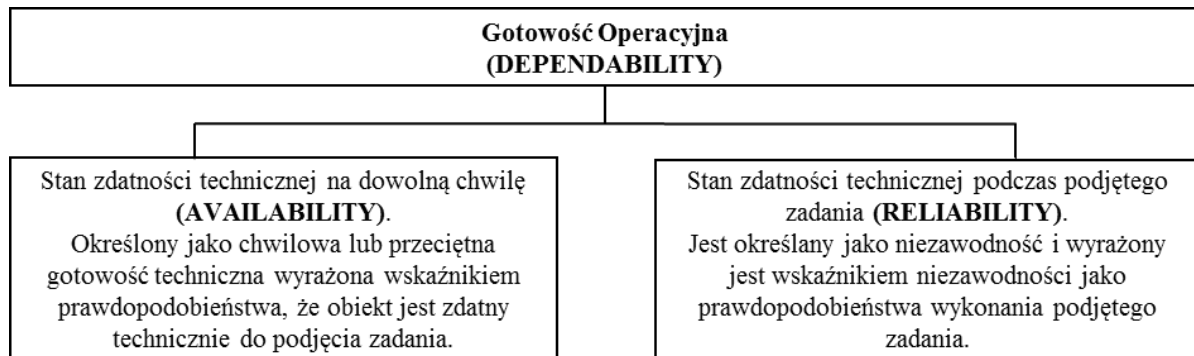
Gotowość operacyjną (dependability) pojazdów eksploatowanych w systemie wyznaczają zasadniczo dwa czynniki:

1. Stan zdadności technicznej na dowolna chwilę, może być utożsamiony z gotowością stacjonarną (ang. availability):

$$K_g = \frac{T_u}{T_u + T_o}, \quad (2.3)$$

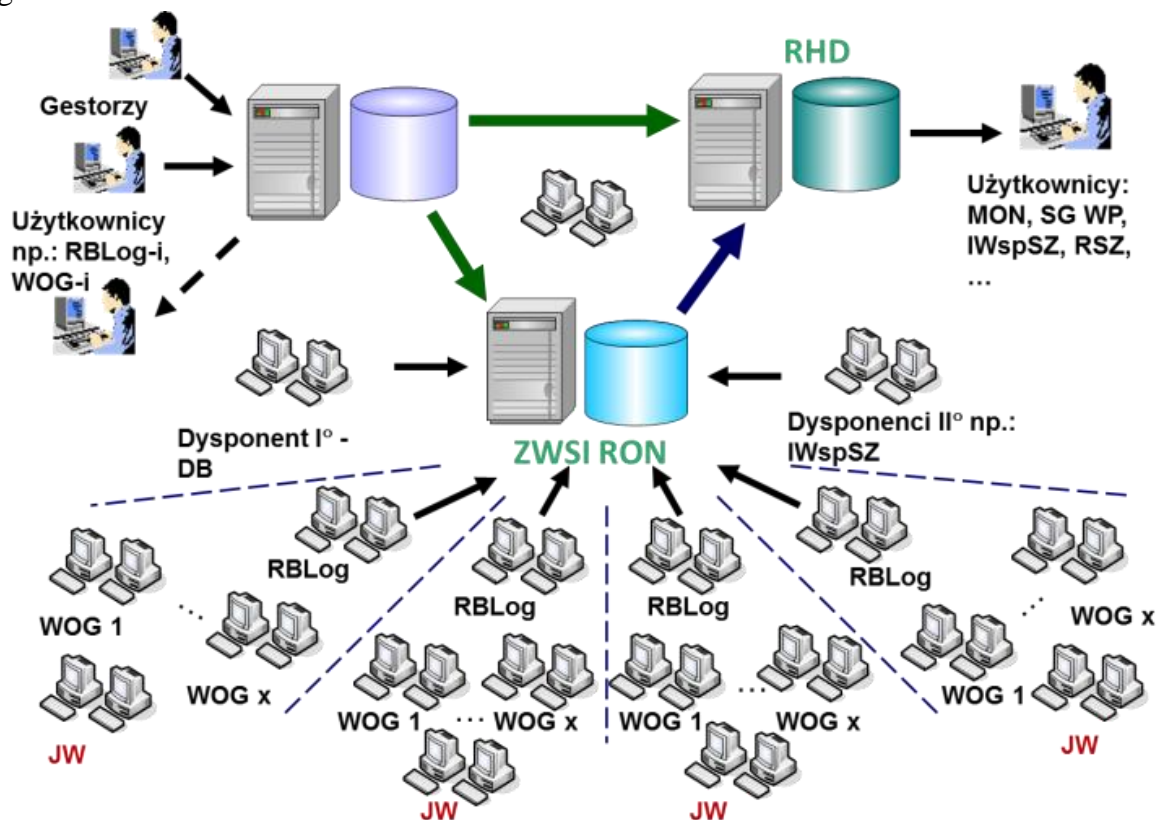
gdzie:  $T_u$  – wartość oczekiwana czasu przebywania obiektu w stanie zdadności;  
 $T_o$  – wartość oczekiwana czasu przebywania obiektu w stanie niezdadności.

2. Stan zdatości technicznej podczas podjętego zadania, może być kwantyfikowany parametrami niezawodnościowymi – prawdopodobieństwo wykonania zadania względem parametrów eksploatacyjnych (ang. reliability), (Rys. 2.6).



Rys. 2.6. Czynniki determinujące gotowość operacyjną [24, 25]

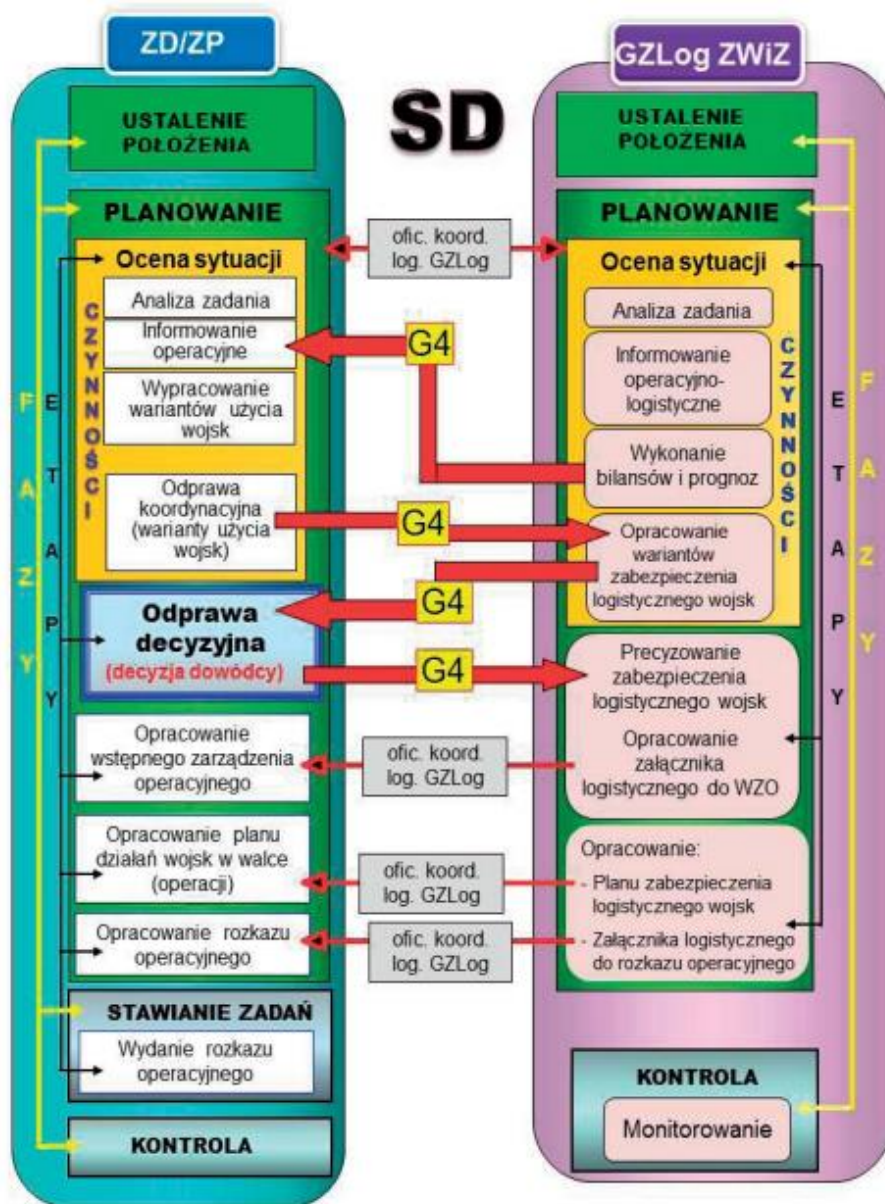
Połączenie globalnej sieci teleinformatycznej (Rys. 2.7) oraz procesu decyzyjnego na stanowisku dowodzenia (Rys. 2.8) powinno wspierać kalkulację możliwości realizacji zadań przez pion operacyjny w czasie działań, tj. głębokości realizacji zadania, użycia systemów ognia itd.



Rys. 2.7. Sieci komputerowe RON

W kontekście powyższego istotne jest przedstawienie procesu decyzyjnego na stanowisku dowodzenia realizowanego przez poszczególne podzespoły w celu wypracowania optymalnych wariantów działania. Przy rozważaniu wariantów zabezpieczenia logistycznego w podsystemie technicznym ważna jest znajomość parametrów niezawodnościowych sprzętu wojskowego, bowiem znajdują one zastosowanie w określeniu gotowości operacyjnej sprzętu, głębokości wykonania zadania operacyjnego, możliwych strat wynikających

z przemieszczenia, określenie miejsc rozwinięcia punktów zbiórki uszkodzonego sprzętu PZUS, potrzeb asortymentu części zamiennych, kompetencji personelu remontowego oraz urządzeń obsługowych i diagnostycznych, a także środków ewakuacji.



Rys. 2.8. Rytm pracy GZLog, ZD i ZP SD [26]

### Bezpieczeństwo i ochrona danych w sieciach informatycznych

Ważnym aspektem funkcjonowania systemu O-N z punktu widzenia funkcjonowania Sił Zbrojnych jest bezpieczeństwo teleinformatyczne oraz ochrona danych, w tym danych dotyczących eksploatacji sprzętu wojskowego.

W związku z powyższym procesy należy organizować w taki sposób, aby dzięki zastosowaniu odpowiednich, bezpiecznych technologii chronić dane, ale jednocześnie umożliwić komórkom organizacyjnym resortu Obrony Narodowej, w tym uczelniom wojskowym, dostęp do nich. Będzie to wspierało zarządzanie oraz wykonywanie analiz w aspekcie wykorzystania zasobów podsystemu technicznego SZ, a także pozwoli przygotować przyszłe kadry eksperckie na potrzeby SZ RP.

### 3. GENEZA I CEL PRACY

Rozwój techniczny sprawia, że działania podejmowane przez człowieka są wspomagane przez szerokie spektrum maszyn i urządzeń. Współcześnie są to urządzenia o dużym stopniu złożoności pod względem zastosowanych rozwiązań techniczno-technologicznych, które łączą w sobie wiele systemów i instalacji wymagających nadzorowania przez specjalistów z różnych obszarów jednocześnie w celu zapewnienia ich sprawności. Utrzymanie maszyn w gotowości do użycia wymusza tworzenie właściwych warunków do zabezpieczenia obsługiwanego sprzętu. Wymieniona kwestia dotyczy w szczególności sprzętu wojskowego. W związku z powyższym autor podejmuje analizę funkcjonowania wojskowego systemu technicznego w obszarze obsługowo-naprawczym sprzętu wojskowego oraz możliwości optymalizacji wydajności jego elementów. Pozwoli to na ewentualne przedstawienie propozycji kierunków rozwoju podsystemu technicznego, który stanowi integralną część kompleksowej platformy operacyjnej Sił Zbrojnych.

Z uwagi na złożoność współczesnych systemów uzbrojenia, zarządzanie procesem eksploatacji, a także definiowania zapobiegawczych zabiegów konserwacyjnych nie jest zagadnieniem łatwym. Kwestia zarządzania sprzętem wojskowym komplikuje się dodatkowo, gdy rozważamy sprzęt całego pododdziału, a nawet jednostki wojskowej (brygady lub pułku). Należy pamiętać, że do realizacji zadań wojskowych niezbędny jest sprzęt wojskowy, który powinien znajdować się w stanie wymaganej sprawności technicznej, w szczególności gdy żołnierz musi realizować zadania w ograniczonych reżimach czasowych.

Jest to istotne w kontekście czasu reakcji na potencjalne zagrożenie. Należy zwrócić uwagę, że przepływ informacji powinien być zsynchronizowany zarówno w czasie działań bojowych, jak również w czasie pokoju, gdy żołnierze wykonują zadania szkoleniowe i przygotowują się do czasu kryzysu oraz jego dalszych faz. Zatem system pozyskiwania danych powinien skutecznie działać w czasie pokoju, kiedy zdefiniowane dane mogą być wykorzystane do analizy dotyczącej podsystemów, w tym np. oceny efektywności działania systemu obsługowo-naprawczego sprzętu wojskowego. Maksymalizowanie efektywności powyższego systemu ma istotne znaczenie dla utrzymania sprzętu wojskowego w pełnej i zbliżonej do permanentnej gotowości operacyjnej, aby w przypadku konieczności przejścia z czasu pokoju na czas kryzysu lub wojny proces przebiegał bez zakłóceń.

Autor zauważał, że problemem funkcjonowania systemu jest sprawna realizacja obsługiwań i napraw, których zakładane czasy trwania wydłużają się z uwagi na niewłaściwe zaplanowanie obsługi, brak wymaganych technicznych środków materiałowych w magazynach, zbyt długi czas obiegu dokumentów wytwarzanych w czasie obsługiwań, a także realizację zakupów w ramach ustawy „Prawo zamówień publicznych”. Prowadzone obserwacje omawianego problemu dodatkowo wskazywały na niski stopień doprowadzenia sieci informatycznych do elementów bazy obsługowo-naprawczej, czy jedynie częściowo elektroniczny obieg dokumentów wytwarzanych w czasie realizacji procesów eksploatacyjnych. Ponadto, w ocenie autora, również istotnym czynnikiem wydłużającym naprawy jest niewykorzystanie w pełni systemu informatycznego wspierającego funkcjonowanie podsystemu technicznego – począwszy od szczebla pododdziału poprzez elementy Parku Sprzętu Technicznego JW. Powyższe stało się impulsem do zajęcia się omawianą problematyką w ramach działalności naukowej.



Należy pamiętać, że system obsługowy Sił Zbrojnych jest uzupełniany przez zdolności podmiotów przemysłu obronnego, krajowych, a także zagranicznych. Doświadczenia zawodowe związane ze współpracą z podmiotami przemysłu obronnego realizującymi zadania również na rzecz Sił Zbrojnych, nasunęły pytanie: „Czy eksploatacja sprzętu wojskowego może być programowana w sposób pozwalający utrzymywać kluczowe/krytyczne zdolności produkcyjne krajowych zakładów przemysłu obronnego w celu utrzymania wymaganych zdolności operacyjnych sprzętu wojskowego będącego w zasobach armii”, a tym samym uniknąć utraty kompetencji w związku z np. potrzebą rozwoju firm.

Przedstawione zagadnienie spowodowało chęć prowadzenia dalszych rozważań, analiz, a także badań w kontekście istotnego obszaru funkcjonowania wojska, który bez wątpienia ma krytyczne znaczenie w kontekście procesu mobilizacji i operacyjnego użycia wojsk w celu zapewnienia bezpieczeństwa kraju.

### **3.1. Cel pracy**

Celem pracy przedstawienie koncepcji wspomagania systemu eksploatacji sprzętu wojskowego poprzez analizę funkcjonowania systemu obsługowo-naprawczego Sił Zbrojnych, a także określenie kierunków jego dalszego rozwoju w aspekcie zarządzania zasobami obsługowo-naprawczymi SZ RP dedykowanymi do zapewnienia sprawności floty pojazdów Sił Zbrojnych RP, w tym zwiększenia gotowości technicznej i operacyjnej SpW.

W związku z powyższym sformułowano cele szczegółowe pracy w zakresie:

- skrócenia czasu realizacji obsługiwań i napraw sprzętu wojskowego;
- zwiększenia potencjału bazy obsługowo-naprawczej Sił Zbrojnych RP;
- koncepcyjnego przedstawienia możliwości wykorzystania strategii eksploatacji sprzętu wojskowego opartej na niezawodności (Reliability Centered Maintenance) na potrzeby monitorowania stanu technicznego SpW;
- określenia wpływu dostępności części zamiennych, obiegu dokumentów generowanych w związku z realizacją procesów technicznych obsług i napraw oraz realizacji procedur przetargowych, na czas przebywania sprzętu wojskowego w stacji serwisowej;
- określenia metod wspierających procesy planistyczne w systemie O-N, z uwzględnieniem wyzwań wynikających z realizacji zadań wojsk w środowisku sieciocentrycznym, a także z uwagi na potrzebę postrzegania sprzętu wojskowego z perspektywy całego cyklu życia.

### **3.2. Zakres pracy**

Przedstawienie zagadnień dotyczących postrzegania sprzętu wojskowego w aspekcie jego cyklu życia, wyzwań dotyczących realizacji zadań w otoczeniu sieciocentrycznym oraz osiągnięcie celu pracy wymaga identyfikacji cech analizowanego systemu eksploatacji SpW.

W tym celu zrealizowano badania wstępne wybranej grupy sprzętu w zakresie awaryjności oraz czasów realizacji zadań obsługowych. Następnie zaplanowano i wykonano badania ankietowe wśród oficerów starszych i zgromadzono na ich podstawie opinie dotyczące funkcjonowania podsystemu technicznego, w którym realizują zadania.

W dalszej części przedstawiono możliwość wykorzystania logiki rozmytej do określenia wpływu opóźnienia logistycznego na czas realizacji obsługiwań i napraw. Pokazano wpływ opóźnienia logistycznego na czas realizacji zadań bez zbędnej zwłoki, tj.

przestojów związanych z oczekiwaniem na zakończenie realizacji wymienionych wyżej procesów.

Przedstawiono również możliwość wykorzystania modelu rozmytego do monitorowania realizacji zadań na stanowiskach obsługowo-naprawczych w podsystemie technicznym. Monitorowanie umożliwia użytkownikom, personelowi zarządzającemu, a także komórkom audytu wewnętrznego weryfikację wykorzystania potencjału bazy obsługowo-naprawczej stacji serwisowych.

W wyniku analizy zdarzeń eksploatacyjnych wybranej grupy sprzętu opracowano charakterystyki (dystrybuanty) uszkodzeń badanego SpW. Przedstawiono również porównanie rozkładów empirycznych uszkodzeń z teoretycznymi modelami matematycznymi. Autor zaprezentuje koncepcję modelu monitorowania stanu technicznego SpW umożliwiającą planowanie obciążenia bazy obsługowo-naprawczej oraz zabezpieczenia realizacji zadań bez zbędnej zwłoki, łączący dystrybuanty uszkodzeń z charakterystykami prognozy wykorzystania rewersu eksploatacyjnego.

Dalsza część pracy to przedstawienie wyjściowej struktury raportów, które generowane przez system informatyczny, wspierający funkcjonowanie podsystemu technicznego, umożliwią wykonywanie badań niezawodnościowych dowolnej grupy sprzętu w odniesieniu do całej jednostki sprzętowej, jej układów oraz technicznych środków materiałowych, z podziałem na komórki odpowiedzialne za nadzór nad eksploatacją (Centralne Organy Logistyczne).

Ponadto, zostanie przedstawiona struktura podsystemu technicznego z uwzględnieniem kompetencji dotyczących generowania danych eksploatacyjnych na potrzeby badań niezawodnościowych. Zaprezentowana zostanie struktura podziału pracy (Work Breakdown Structure) optymalizująca podział miejsc wprowadzania danych do systemu.

Jedną z części pracy jest również koncepcja zastosowania strategii eksploatacji RCM na potrzeby eksploatacji SpW, a także podziału zapasów według zasady ABC/XYZ, w celu optymalizacji wykorzystania technicznych środków materiałowych i optymalizacji kosztów ponoszonych na ich pozyskanie, magazynowanie oraz przekazywanie poza SZ RP. Ogólny algorytm realizacji pracy przedstawiono w tabeli (Tab. 3.1).

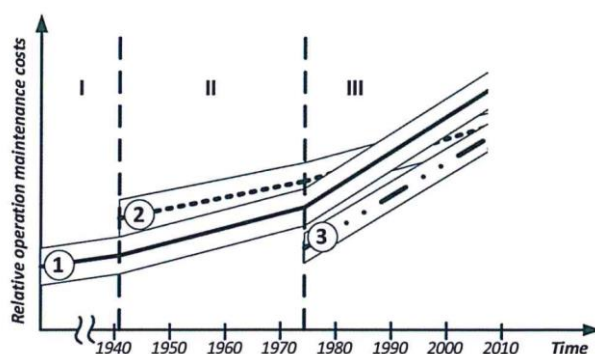
Tab. 3.1. Algorytm realizacji pracy

Geneza pracy – uogólnienie doświadczeń z zakresu eksploatacji SpW.	
Sformułowanie celu pracy, jej zakresu i harmonogramu.	
Realizacja badań wstępnych sprzętu wojskowego.	
Wnioskowanie statystyczne.	
Wywiady eksperckie w zakresie procesu eksploatacji SpW	
Analiza dokumentacji tradycyjnej uszkodzeń SpW.	Przygotowanie i realizacja badania ankietowego.
Wnioskowanie statystyczne w zakresie uszkodzeń SpW.	Określenie aktualnego stanu gospodarki eksploatacyjnej.
Pozyskanie danych eksploatacyjnych ZWSI RON.	Badanie ankietowe uzupełniające – weryfikacja.
Budowa modeli monitorowania stanu technicznego sprzętu wojskowego, zużycia rewersu, czasu naprawy.	Analiza statystyczna wyników badań ankietowych.
Analiza gospodarowania częściami zamiennymi.	
Opracowanie koncepcji wspomaganie systemu eksploatacji.	
Ustalenie potrzeb informacyjnych.	
Planowanie zużycia rewersu SpW.	Prognozowanie uszkodzeń SpW.
Prognozowanie zapasów części zamiennych.	Programowanie pracy systemu obsługi sprzętu wojskowego.

#### 4. ANALIZA STRATEGII I METOD BADAŃ PROCESÓW EKSPLOATACJI

Proces ewolucji strategii zarządzania systemami obsługowo-naprawczymi jest podyktowany m.in. podejściem do utrzymania urządzeń w sprawności technicznej, a także kosztami utrzymania sprzętu. Zasadniczo daje się zauważyć trzy okresy w ewolucji zarządzania procesami obsługowo-naprawczymi [27, 28, 29, 30] (Rys. 4.1).

1. Okres reaktywnego utrzymania ruchu (reactive maintenance) – naprawy po pojawieniu się uszkodzenia.
2. Okres prewencyjnego utrzymania ruchu, planowo-zapobiegawcze obsługi i naprawy (preventive maintenance).
3. Okres prognostycznego (proaktywnego) utrzymania ruchu (predictive (proactive) maintenance) – inspekcje zapobiegawcze, monitorowanie stanu technicznego, udział operatorów urządzeń i maszyn w utrzymaniu ruchu.



Rys. 4.1. Okresy rozwoju i odpowiadające im trzy koncepcje utrzymania maszyn [31]

Okres pierwszy, trwający począwszy od początku stosowania urządzeń do początku II Wojny Światowej [32] charakteryzował się doraźnym reagowaniem na wystąpienie awarii (reactive maintenance). Z uwagi na niski stopień mechanizacji awarie nie miały istotnego wpływu na przebieg procesów produkcyjnych. Obsługiwanie sprzętu było uważane za działalność pomocniczą, trudną do zaplanowania pod względem czasu wystąpienia oraz wysokości kosztów obsług czy napraw. Analizowano jednak możliwość przeciwdziałania wystąpieniu uszkodzeń. Wynikiem tych działań było stworzenie koncepcji systemu planowo-zapobiegawczego obsługi i remontów, którego istotą jest podejmowanie czynności obsługowych w ustalonych odstępach czasu lub po wykonaniu określonej ilości pracy. Zmieniono sposób myślenia na temat utrzymania maszyn i urządzeń w kontekście:

1. Zapobiegania uszkodzeniom spowodowanym zwiększeniem zależności procesów wytwarzania od stanu urządzeń.
2. Znaczenia systemów planowania i sterowania utrzymaniem spowodowanego wzrostem kosztów eksploatacji w porównaniu do innych kosztów operacyjnych.
3. Wydłużenia czasu eksploatacji obiektów technicznych w związku ze wzrostem wartości kapitału zaangażowanego w systemy techniczne.

Połowa lat siedemdziesiątych dwudziestego wieku to początek trzeciej fazy ewolucji strategii eksploatacji. Kluczowym elementem tej fazy było zapewnienie bezawaryjnej pracy urządzeń i maszyn w całym okresie życia obiektu technicznego. Na taką zmianę spojrzenia miały wpływ następujące czynniki:

1. Szybko postępujące zmiany w przemyśle polegające na wzroście ilości oraz stopnia złożoności obiektów technicznych oraz automatyzacja i robotyzacja procesów wytwarzania.
2. Nowe spojrzenie na eksploatację w związku z rozwojem diagnostyki technicznej [33].
3. Nowe koncepcje organizacji i zarządzania przedsiębiorstwem, szczególnie w skali globalnej, dążenie do zarządzania zapasami w duchu koncepcji Just In Time oraz doskonalenie wyrobów metodą Total Quality Management.
4. Wzrost kosztów utrzymania ruchu. Obecnie ograniczenie kosztów jest jednym z priorytetów w zakresie ich kontroli.
5. Ulepszanie standardów bezpieczeństwa i higieny pracy oraz standardów w zakresie ochrony środowiska.
6. Nowe poglądy w zakresie relacji starzenia się maszyn i urządzeń i intensywności uszkodzeń.

Wśród koncepcji, które zaczęły powstawać w związku z trzecią fazą ewolucji zarządzania systemami eksploatacji, największego znaczenia zaczęła nabierać strategia utrzymania sprzętu skierowana na niezawodność, tzw. RCM (Reliability Centered Maintenance) – strategia oparta na niezawodności [34]. Równoległe zaczął zmieniać się sposób myślenia o utrzymaniu sprzętu skierowany na produktywność – całościowe utrzymanie ruchu zintegrowane z produkcją (Total Productive Maintenance, TPM).

#### 4.1. Literaturowy podział strategii eksploatacji

W literaturze można spotkać następujący podział strategii eksploatacji [35, 36]:

1. Bierna i reaktywna.
2. Według ресурсu (potencjału eksploatacyjnego).
3. Według stanu technicznego.
4. Mieszana strategia eksploatacji.
5. Według efektywności ekonomicznej.
6. Według niezawodności.
7. Autoryzowana strategia istnienia maszyn.
8. Holistyczna strategia eksploatacji.
9. Strategia skoncentrowana na niezawodność (Reliability Centered Maintenance), która jest nowoczesną wersją strategii według niezawodności – czy też jej rozwinięciem.

**Strategia reaktywna (bierna)** – utrzymanie ruchu zgodnie z tą strategią zakłada możliwość wystąpienia usterki, lecz nie są podejmowane żadne specjalne działania, mogące kontrolować i przeciwdziałać jej występowaniu.

**Strategia prewencyjna (profilaktyczna)** – oparta na zapobieganiu awariom i uszkodzeniom maszyn. U podstaw tej strategii leży założenie dotyczące cyklu życia urządzenia i możliwego ryzyka uszkodzenia. Profilaktyka obsługowa może przybierać przy tym następujące formy: okresową (planową – według upływu czasu), rewersową (planową – według wykonania pracy – kilometry, motogodziny, strzały), diagnostyczną (uwarunkowaną rzeczywistym stanem maszyny).

W dobie intensywnego rozwoju techniczno-technologicznego jednoznaczny wybór strategii w dużym przedsiębiorstwie jest skomplikowanym zadaniem. Dostrzega się stosowanie różnych strategii dotyczących utrzymania sprzętu w ramach jednej organizacji

w szczególności, gdy rozpatrywana struktura jest rozległa [37]. A. Góralczyk zwraca uwagę, że „w zarządzaniu dyspozycyjnością maszyn najważniejsze jest biznesowe myślenie, a nie analiza technicznych możliwości jej zapewnienia” [38]. Elementy rachunku techniczno-ekonomicznego, które w tym obszarze uwzględnia się to: nakłady materiałowo-pieniężne, wymuszone i planowe czynności obsługowo-naprawcze oraz koszty straconych szans. Ostatni z wymienionych aspektów nabiera znaczenia np. w przypadku przedsiębiorstw transportowych. Do podstawowych trudności, które generują dalsze problemy w czasie realizacji zadań można zaliczyć:

1. Problem utrzymania właściwego poziomu zapasów.
2. Problem tworzenia się kolejek oczekiwania na obsługiwanie.
3. Problem kolejności realizacji zgłoszeń do systemu obsługowo-naprawczego (SON).
4. Problem wyboru trasy realizacji naprawy, np. warsztat, lakiernia.
5. Problemy decyzji w zakresie regeneracji i wymiany.

Powyższe czynniki mają zasadniczy wpływ na wybór strategii zarządzania, a także realizację zadań obsługowo-naprawczych.

### **Strategia według resursu – potencjału eksploatacyjnego**

Ten typ strategii jest oparty na przyjęciu normatywu np. przejechanych kilometrów lub przepracowanych godzin, który staje się wyznacznikiem do kierowania sprzętu do określonej naprawy lub obsługi. Doświadczenia pokazały, że jest to metoda mało efektywna pod względem ekonomii.

### **Strategia według stanu technicznego**

Strategia ta jest oparta na ciągłym monitorowaniu stanu technicznego eksploatowanego obiektu poprzez sprawdzanie jego parametrów eksploatacyjnych. Na podstawie informacji diagnostycznej uzyskanej podczas wykonywanych pomiarów i sprawdzeń podejmowana jest decyzja dotycząca sposobu postępowania z eksploatowanym obiektem. Wadą tej strategii jest wysoki koszt projektowania i budowy niezawodnych podsystemów diagnostycznych oraz systemów informatycznych.

### **Strategia mieszana**

Zarządzanie dużym skomplikowanym systemem obsługowym wymaga łączenia, np. dwóch powyższych strategii zarządzania systemem eksploatacji. Łączenie dwóch powyższych systemów określane jest jako system pośredni (mieszany).

### **Strategia według efektywności ekonomicznej**

Strategia ta jest oparta na kryterium minimalizacji kosztów eksploatacji maszyn i urządzeń, a decyzje eksploatacyjne podejmowane są w oparciu o wskaźnik zysków. Podstawą do podjęcia decyzji dotyczącej sposobu eksploatacji maszyn jest analiza danych dotyczących niezawodności, kosztów utrzymania i napraw maszyn.

### **Strategia według niezawodności**

Strategia niezawodności, zwana również strategią według uszkodzeń, zakłada użytkowanie maszyn do chwili wystąpienia uszkodzenia. Znalazła ona zastosowanie w obszarach eksploatacji, gdzie następstwa uszkodzenia maszyn nie mają wpływu na bezpieczeństwo użytkownika sprzętu lub nie powstają dodatkowe koszty związane

z wykonywaniem napraw. Może być ona stosowana wówczas, gdy następstwa uszkodzeń nie naruszają zasad bezpieczeństwa pracy i nie zwiększają kosztów ich eksploatacji [39].

### **Autoryzowana strategia istnienia maszyny**

Przedmiotowa strategia jest bezpośrednio związana z twórcą wyrobu, który jest odpowiedzialny za produkt od momentu pojawienia się zamysłu o nim, poprzez fazę projektowania, wytwarzania, eksploatacji, aż do utylizacji lub likwidacji obiektu. W tej strategii producent tworzy własne rozwiązania dotyczące sposobu serwisowania urządzenia. Ponadto wyposaża obiekty we własne środki i systemy diagnostyczne.

### **Holistyczna strategia eksploatacji**

Według tej strategii eksploatacji wszelkie zjawiska tworzące układ całościowy podlegają pewnym prawidłowościom, według których nie można wnioskować o właściwościach całego systemu na podstawie wiedzy o prawidłowościach rządzących pojedynczymi podsystemami. Całości systemu nie da się sprowadzić do sumy jego komponentów.

### **Strategia eksploatacji zorientowana na niezawodność (RCM)**

Powstanie tej koncepcji to przełom lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku. RCM to strategia określająca niezbędne działania i czynności ukierunkowane na utrzymanie w sprawności eksploatacyjnej obiektów technicznych z uwzględnieniem warunków użytkowania. Uwzględnia się także kwestie warunków pracy, stanu technicznego oraz historię zdarzeń eksploatacyjnych maszyny. Opisywana strategia jest szczególnie istotna w przypadku zagrożenia zdrowia i bezpieczeństwa publicznego.

Istotą koncepcji RCM jest siedem podstawowych pytań sformułowanych w 1999 roku przez International Society of Automotive Engineers [40]:

1. Jakie funkcje spełnia urządzenie i jakie ma osiągać standardy (wydajność, jakość produktu, koszty eksploatacji, bezpieczeństwo) w odniesieniu do zadań, jakie są stawiane przed obiektem technicznym?
2. W jaki sposób obiekt może nie zrealizować zadań, do jakich został skonstruowany?
3. Co może być przyczyną wystąpienia uszkodzeń funkcjonalnych?
4. Jakie mogą być konsekwencje wystąpienia awarii?
5. Jakie znaczenie ma każdy ze skutków tych uszkodzeń?
6. Jakie czynności należy wykonać, aby prognozować lub ochronić maszynę przed ewentualnym uszkodzeniem?
7. Co należy zrobić, jeśli nie zdefiniowano działania zapobiegawczego?

Warto wspomnieć, że koncepcja RCM jest uzupełniana przez strategię Total Productive Management, która jest koncepcją charakterystyczną dla trzeciego okresu rozwoju idei utrzymania ruchu. Według S. Nakajimmy utrzymanie ruchu maszyn i urządzeń to zapewnienie im własnej „kondycji zdrowotnej” [41]. Definiuje on TPM jako działanie realizowane przez każdego pracownika będącego członkiem organizacji w celu zapewnienia wzrostu produktywności urządzeń i maszyn. Dodatkową metodą jest filozofia 5S, nazywana też praktykami 5S, której założeniem jest dbałość o dyscyplinę, porządek i optymalne gospodarowanie. Nazwa 5S pochodzi od japońskich słów: selekcja (pozbądź się rzeczy niepotrzebnych), sprzątnięcie (posprzątaj miejsce pracy), systematyka (miejsce na wszystko i wszystko na swoim miejscu), schludność (ustalaj standardy), samodyscyplina (utrzymuj

standardy). Stosowanie TPM i 5S powoduje wydłużenie przedziałów czasu między obsługami lub naprawami zwiększając trwałość obiektów technicznych.

Filozofia zarządzania systemem utrzymania ruchu czy eksploatacji zorientowana na niezawodność jest przedmiotem ciągłego rozwoju i analiz, szczególnie w ostatnich dekadach, m. in. w przemyśle lotniczym, a także energetyce jądrowej [42, 43].

Głównym celem RCM jest zwiększenie wydajności sprzętu. Jednym z najważniejszych narzędzi wspomagających proces RCM jest analiza przyczyn i skutków wad – FMEA (ang. Failure Mode Effects Analysis – FMEA). Podczas wdrażania RCM stosuje się podejście systemowe. Pozwala ono na ochronę funkcji systemu, identyfikację możliwych uszkodzeń, wskazanie uszkodzeń krytycznych oraz zadań dla prewencyjnego utrzymania ruchu [44, 45].

### **Kryteria doboru strategii eksploatacji**

Niezawodność maszyn ma ścisły związek z ich utrzymaniem w czasie eksploatacji. Eksploatacja to zakres czynności związany z użytkowaniem i obsługiwaniem. Informacje o parametrach niezawodnościowych mają kluczowy wpływ na kształt systemu obsługowo-naprawczego oraz strategię eksploatacji sprzętu, która została określona dla systemu. Strategia w znaczeniu powszechnym to pewna orientacja, która wyraża dominujący kierunek działania systemu, dla którego jest definiowana. Przyjęcie określonego kierunku w strategii zarządzania jest wytyczną dla kierownictwa systemu w związku ze zdarzeniami, jakie w nim zachodzą. Optymalnie dobrana strategia uwzględnia: potencjał kadrowy, organizacyjny, finansowy, technologiczny oraz techniczno-produkcyjny. Zatem w odniesieniu do eksploatacji maszyn i urządzeń strategię utrzymania ruchu można zdefiniować, jako ciąg określonych algorytmów postępowania związanych z zapobieganiem oraz wyborem optymalnego momentu kierowania sprzętu do serwisu celem jego najbardziej efektywnego wykorzystania.

#### **4.2. Badania w obszarze niezawodności**

Niezawodność sprzętu to parametr wpływający na możliwość użycia systemów uzbrojenia w celu realizacji zadań. Im wyższa jej wartość, tym prawdopodobieństwo wykonania zadania jest większe. Badacze w opracowaniach naukowych poszukują rozwiązań, aby zapewnić możliwość użycia sprzętu w dowolnym momencie. Analiza tego zagadnienia została podjęta w rozprawie doktorskiej [46]. Autor w pracy zaznaczył, że podjęta tematyka wynika z analizy cyklu życia sprzętu wojskowego w ujęciu wymagań niezawodnościowych w Siłach Zbrojnych RP. Przeprowadzona analiza pokazuje, iż międzynarodowe standardy stosowane w dziedzinie funkcjonowania systemów to podejście interdyscyplinarne. Cykl życia SpW z powodzeniem stosowany w NATO integruje wszystkie dyscypliny i grupy specjalistyczne, tworząc zorganizowany proces, który przechodzi od koncepcji do produkcji i eksploatacji. Daje to możliwość sterowania niezawodnością w zamkniętym cyklu przekazywania informacji o zdarzeniach eksploatacyjnych SpW przez wszystkie strony odpowiedzialne za jego niezawodność i bezpieczeństwo. Autor pracy, na podstawie analizy zidentyfikował procesy determinujące politykę NATO dotyczącą niezawodności w cyklu życia sprzętu wojskowego, oparte na metodzie FRACAS (Failure reporting, analysis and correction action system). Rozpoznanie teoretycznych aspektów definiowania wymagań niezawodnościowych opartych głównie na liczbowych wskaźnikach niezawodnościowych zaproponowanych w Normach Obronnych pozwoliło Autorowi przytoczonej rozprawy na

wyciągnięcie wniosków, że ich stosowanie nie zapewnia właściwego zabezpieczenia potrzeb operacyjnych Sił Zbrojnych RP. Na podstawie powyższych konkluzji stwierdzono, że najbardziej adekwatnym rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie funkcyjnych wskaźników niezawodnościowych opartych na probabilistycznych metodach oceny niezawodności, a ich stosowanie będzie zapewniało odpowiednie narzędzie do sterowania i modelowania niezawodnością SpW w całym cyklu życia. Autor w pracy zaznaczył, że badania wykonano na podstawie danych zgromadzonych w systemie informatycznym SI SAMANTA. Badania oparte zostały o technikę lotniczą dlatego, że jest to jedyny obszar w Siłach Zbrojnych RP, dla którego gromadzona jest informacja o zdarzeniach eksploatacyjnych w wiarygodny i sformalizowany sposób.

Zagadnienie niezawodności zostało podjęte również w pracy pt. „Metoda wyznaczania wskaźników niezawodności dla wojskowych pojazdów mechanicznych eksploatowanych nieregularnie”. Celem pracy Autora było opracowanie i wdrożenie metody doboru danych eksploatacyjnych, pozwalających na wyznaczenie wskaźników niezawodności wojskowych pojazdów mechanicznych na poziomie pojedynczego egzemplarza sprzętu. W pracy stwierdzono, że możliwe jest określenie danych eksploatacyjnych, pozwalających na wyznaczenie wskaźników niezawodności wojskowych pojazdów mechanicznych na poziomie pojedynczego egzemplarza sprzętu, co przy wykorzystaniu innowacyjnego systemu informatycznego przyczyni się do lepszego zarządzania flotą pojazdów Sił Zbrojnych [47].

Temat eksploatacji sprzętu został podjęty również w rozprawie doktorskiej nt. „Metoda analizy procesu eksploatacji pojazdów Wojskowych w aspekcie gotowości”, której celem było zbudowanie modelu i opracowanie metody oceny gotowości funkcjonalnej pojazdów w systemie eksploatacji. W pracy wykorzystano modele Markowa, które umożliwiają opisanie wiele stanów eksploatacyjnych, w jakich może znajdować się system uzbrojenia, jednak wykorzystanie procesów Markowa jest skomplikowane w aspekcie implementacji na potrzeby użytkowników [48].

Ocena niezawodności może być prowadzona również na podstawie metod logiki rozmytej. Zostało to przedstawione w opracowaniu pt. „Zastosowanie logiki rozmytej do oceny niezawodności systemów uzbrojenia lotniczego”. W pracy podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, czy logika rozmyta może być stosowana do oceny niezawodności uzbrojenia lotniczego. Realizacja założonych celów badawczych obejmowała analizę danych statystycznych, analizę niezawodności w podejściu klasycznym, analizę niezawodności w podejściu teorii zbiorów rozmytych oraz porównanie otrzymanych wyników. Prowadzone badania pozwoliły stwierdzić m.in., że logika rozmyta daje możliwość wyznaczania niezawodności na podstawie różnych parametrów, a także pozwala na analizę i interpretację zależności pomiędzy wartościami parametrów wejściowych a niezawodnością [49].

Obszar niezawodności podejmowany jest również w publikacjach, m.in. w opracowaniu pt. „Badania niezawodności pojazdów wojskowych”. Tematem publikacji jest problematyka badań niezawodności pojazdów wojskowych, określenie wskaźników niezawodności wybranych grup pojazdów, przyjęcie złożonych modeli eksploatacji do analizy na podstawie rejestrowanych zdarzeń eksploatacyjnych. W celu weryfikacji modeli i przyjętych wskaźników niezawodności przeprowadzono symulacje numeryczne odzwierciedlające stany eksploatacji. Wykazano, że istnieje możliwość zastosowania uzyskanych wyników badań w systemie zarządzania eksploatacją pojazdów wojskowych ukierunkowanym na



efektywność ekonomiczną, w celu minimalizacji nadmiarów strukturalnych i podwyższenia sprawności parku sprzętu techniki lądowej [50].

W analizowanym obszarze badawczym prowadzono analizy z wykorzystaniem modelowania neuronowego. Wyniki przedstawiono w publikacji pt. „Modelowanie neuronowe w zastosowaniu do oceny ryzyka w eksploatacji środków transportu”. W artykule przedstawiono problematykę wykorzystania modelowania matematycznego opartego na sztucznych sieciach neuronowych do oceny ryzyka w procesach eksploatacji środków transportu. Scharakteryzowano zagadnienia eksploatacji pojazdów, teorii ryzyka i jego oceny oraz modelowania neuronowego [51].

#### **4.3. Eksploatacja SpW w SZ RP w ujęciu doktrynalnym**

Pod pojęciem eksploatacji sprzętu wojskowego SpW rozumie się zespół celowych działań organizacyjno-technicznych i ekonomicznych podejmowanych przez personel wobec SpW oraz wzajemne relacje między nimi, od chwili wprowadzenia do SZ RP, aż do jego wycofania. Eksploatacja w Siłach Zbrojnych prowadzona jest w określonym systemie wynikającym z przyjętej, optymalnej dla SpW, strategii eksploatacji. Strategia eksploatacji obejmuje swoim zakresem ustalenie sposobu użytkowania oraz wsparcia i zabezpieczenia technicznego oraz relacje między nimi, w odniesieniu do przyjętych kryteriów, tj.:

1. Gotowość techniczna.
2. Bezpieczeństwo.
3. Ekonomia eksploatacji.

Podstawowymi strategiami eksploatacji SpW stosowanymi w SZ RP są:

1. Strategia eksploatacji według zużycia ресурсu.
2. Strategia eksploatacji według stanu technicznego.

W uzasadnionych organizacyjnie i ekonomicznie specyficznych przypadkach można przyjąć inne strategie eksploatacji, uwzględniając aspekty niezawodności oraz postęp techniczny i technologiczny [52].

Zasadniczymi systemami eksploatacji SpW w SZ RP, wynikającymi z przyjętych strategii eksploatacji są:

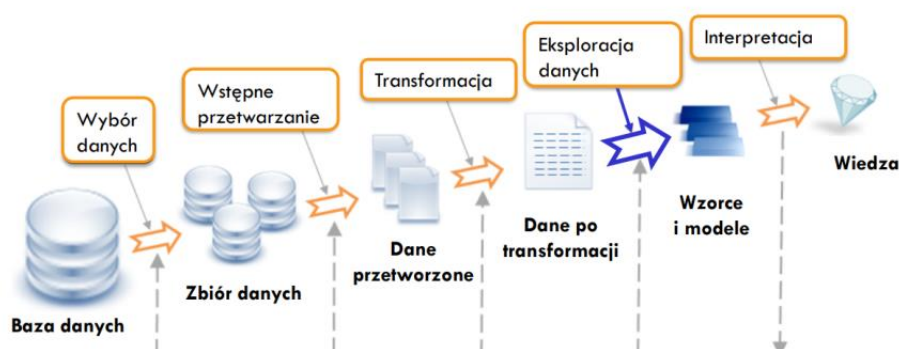
1. Planowo-zapobiegawczy system eksploatacji SpW.
2. Planowo-zapobiegawczy system eksploatacji SpW z diagnozowaniem.
3. System eksploatacji według stanu technicznego.
4. System mieszany – jeden z powyższych systemów z wybranymi elementami pozostałych systemów eksploatacji.

Przyporządkowanie SpW do właściwego systemu eksploatacji wynika z ustalonych norm eksploatacyjnych, określonych normatywną lub planistyczną wartością liczbową. Normatywy ujmowane są w stosowanych katalogach eksploatacji. Wybór systemu eksploatacji jest domeną Centralnego Organu Logistycznego (COL), który może być uzgadniany z Gestorem SpW i wynikać ze specyfiki użytkowania sprzętu, w tym oceny ryzyka niesprawności, czasu jej usuwania oraz kosztów eksploatacji. W uzasadnionych organizacyjnie i ekonomicznie przypadkach (wyczerpaniu docelowego ресурсu eksploatacji) dopuszcza się zmianę systemu eksploatacji w fazie eksploatacyjnej.

Wdrożone systemy sieciowe oraz informatyczne w Siłach Zbrojnych dają podstawy do dalszego rozważania strategii eksploatacji systemów uzbrojenia w kontekście strategii

RCM. Wykorzystując doświadczenia eksploatacyjne w ramach tej samej grupy obiektów technicznych eksploatowanych w różnych jednostkach wojskowych, ale w zbliżonych warunkach eksploatacyjnych, zasadne jest agregowanie informacji i wykorzystywanie ich do określania m.in. rozkładów uszkodzeń w odniesieniu do obiektów technicznych jako całości, a także ich układów oraz pojedynczych części zamiennych, a następnie wykorzystanie tych informacji do podejmowania decyzji eksploatacyjnych (Rys. 4.2).

## Proces pozyskiwania wiedzy z baz danych (ang. *knowledge discovery in databases*)



Rys. 4.2. Proces pozyskiwania wiedzy z baz danych [53]

W pracy wykorzystano niżej scharakteryzowane narzędzia badawcze na potrzeby prowadzonej analizy i przedstawienia propozycji rozwiązań optymalizujących funkcjonowanie systemu obsługowo-naprawczego, jak również strategii eksploatacji wykorzystywanych w systemie do zarządzania eksploatacją floty SpW Sił Zbrojnych RP.

#### 4.4. Planowanie i etapy badania ankietowego

Badania ankietowe mogą być źródłem obszernej wiedzy. Można je wykorzystać zarówno do weryfikacji hipotez, jak i diagnozy oraz opisu badanego problemu. Przedmiotem badań mogą być procesy, ich charakter, rodzaj i istota [54]. W kontekście powyższego istotną kwestią jest dobór właściwej metody<sup>7</sup>, techniki oraz narzędzia badawczego.

Według T. Pilcha oraz T. Wujka [55] narzędzie badawcze to przedmiot służący do realizacji wybranej techniki badań. O ile technika badawcza oznacza czynność, np. obserwowanie, prowadzenie wywiadu, o tyle narzędzie badawcze to instrument służący do technicznego gromadzenia danych z badań. W tym rozumieniu narzędziem badawczym będzie kwestionariusz ankiety lub wywiadu.

Etymologię słowa kwestionariusz znajduje się w łacinie: *questo* – pytanie oraz z francuskiego *enquete* – ankieta. W słowniku socjologii i nauk społecznych kwestionariusz, to druk zawierający wszystkie pytania (zamknięte i otwarte) w sondażu [56]. W technikach standaryzowanych wyróżniamy kwestionariusz wywiadu oraz kwestionariusz ankiety. Podstawowa różnica między tymi narzędziami badawczymi jest taka, że kwestionariusz wywiadu przyporządkowany jest technice wywiadu kwestionariuszowego, natomiast kwestionariusz ankiety stosowany jest w technice ankiety [57, 58].

<sup>7</sup> Metoda to pewna procedura postępowania, np. obserwacja, eksperyment, czy wywiad, a technika to uszczegółowiona procedura tego postępowania.

Punktem wyjścia jest zestaw pytań, na które badacz chce uzyskać odpowiedzi [59]. Na tej podstawie można formułować hipotezy oraz wystawiać oceny w stosunku do zależności między badanymi zjawiskami [60]. Następnie należy określić zakres badania oraz populację generalną, czyli zdefiniować jednostki, jakie będą przedmiotem badania. Stanowi to podstawę sposobu doboru próby badawczej, czyli zbiorowości próbnej podlegającej badaniu, którego wynik może zostać uogólniony na zbiorowość generalną w przypadku, gdy nie prowadzi się badania na całej populacji. Do najbardziej popularnych metod doboru próby zalicza się: prostą próbę losową, próbę kwantową, próbę warstwową, próbę grupową (zespołową), losowanie dwustopniowe, próbą losowo-kwotową, próbę systematyczną lub próbę ekspercką (dobór celowy). Obszerne opracowania o metodach doboru próby można znaleźć w następujących publikacjach: Mayntz, Holm i Hubner (1985) [61], Sawiński, Sztabiński P.B., Sztabiński F. (2000) i Szreder (2010) [62].

Po określeniu celu, zakresu i charakteru badania przystępuje się do opracowania stosownego narzędzia badawczego, tj. kwestionariusza ankietowego celem pozyskania danych empirycznych. Następnie przeprowadza się badanie pilotażowe w celu sprawdzenia i weryfikacji narzędzia i jeśli to konieczne, dokonuje jego korekty. Po przeprowadzeniu powyższej procedury wykonuje się właściwe badanie ankietowe, a następnie, w celu przedstawienia wyników, przeprowadza się m.in. analizę statystyczną wyników ankiety. Dzięki temu możliwe jest zweryfikowanie początkowych hipotez lub ocena weryfikowanych zjawisk.

### **Formy i sposoby prowadzenia badania ankietowego**

Badania ankietowe klasyfikować można według różnych kryteriów. Podstawową metodą jest technika zwana ankietą. Pilch i Bauman [63, 64] definiują ankietę, jako „technikę gromadzenia informacji polegającą na wypełnieniu najczęściej samodzielnie przez badanego specjalnych kwestionariuszy na ogół o wysokim stopniu standaryzacji.

Ze względu na poufność wyróżnia się badania jawne i anonimowe. Innym kryterium podziału jest technika wypełniania kwestionariusza, która klasyfikuje badanie na tradycyjne (kwestionariusz w formie papierowej) oraz elektroniczne [65].

W literaturze można zetknąć się również z podziałem kategoryzującym badanie ze względu na sposób rozprawdzania kwestionariusza, tj.:

- pocztowe – rozesłane przez pocztę na adres poszczególnych osób wybranych do badania;
- elektroniczne – dostarczone za pośrednictwem poczty elektronicznej lub strony internetowej;
- telefoniczne – kwestionariusz wypełniany jest przez ankietera podczas rozmowy telefonicznej z ankietowanym;
- prasowe – zamieszczane na łamach gazety czy czasopisma;
- rozdawane – wręczane osobiście respondentom, a potem zbierane lub składane w określonym miejscu;
- ogólnodostępne – wyłożone w miejscach publicznych;
- dołączane do kupowanych towarów.

Ponadto można zetknąć się z podziałem badań ankietowych ze względu na sposób wypełniania kwestionariusza, tj.:

- z udziałem ankietera (wywiad);

- bez udziału ankietera (ankieta).

Klasyfikując badania ze względu na zasięg można podzielić je na:

- wyczerpujące (pełne) – obejmujące wszystkie jednostki badanej zbiorowości;
- niewyczerpujące (niepełne) – obejmujące tylko wybrane jednostki badanej zbiorowości.

Wyróżniamy szereg klasyfikacji wywiadu, jako metody badawczej. Począwszy od charakteru wywiadu, standaryzacji, struktury, poprzez swobodę zadawania pytań i udzielania odpowiedzi czy miejsca jego wykonywania. Klasyfikację technik badawczych wg J. Lutyńskiego przedstawiono w tabeli (Tab. 4.1).

Tab. 4.1. Klasyfikacja technik badawczych.

	Techniki obserwacyjne (obserwacja właściwa)	Techniki oparte na wzajemnym komunikowaniu się.	
		bezpośrednim	pośrednim
Techniki niestandardyzowane	Techniki obserwacji niekontrolowanej	Techniki wywiadu swobodnego (wolnego) <sup>8</sup>	Techniki otrzymywania wypowiedzi pisemnych niestandardyzowanych
Techniki standaryzowane	Techniki obserwacji kontrolowanej	Techniki wywiadu kwestionariuszowego	Techniki ankiety

Za pomocą ankiety można prowadzić badania ilościowe i jakościowe. Badania jakościowe stosowane są w sytuacjach, gdy badacza interesuje pogłębiona wiedza na jakiś temat, dotarcie do sedna problemu. Zebrane informacje przedstawione są w sposób opisowy. Z kolei wyniki badań ilościowych mają formę wartości liczbowych i są prezentowane w tabelach i na wykresach. Ze względu na charakter danych istnieje znacznie szerszy wachlarz metod do ich analizy. Badania ilościowe i jakościowe nie stanowią wobec siebie alternatywy, lecz zazwyczaj są komplementarne. Opis powyższych typów opisano w opracowaniach, tj. Babbie (2004) [66] oraz Read i Marsh (2006) [67].

#### 4.5. Narzędzia wykorzystywane w analizie danych

##### Test Grubbs'a

Jedną z metod, która umożliwia odrzucenie danych wątpliwych jest metoda Grubbsa'a. Poniżej przedstawiono schemat postępowania w odniesieniu do wskazanego narzędzia zakłada wyznaczenie poniższych parametrów i wykonanie następujących operacji [68]:

1. Określenie średniej arytmetycznej zmiennej losowej:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (4.1)$$

2. Obliczenie odchylenia standardowego zmiennej losowej - estymator nieobciążony:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (4.2)$$

3. Wyznaczenie współczynnika Grubbs'a  $\eta$  ze wzoru:

$$\eta = \frac{|X_i - \bar{X}|}{S}. \quad (4.3)$$

<sup>8</sup> Wywiad swobodny należy do grupy metod jakościowych. Jest to wywiad, który prowadzi się tylko według pewnego określonego planu w postaci dyspozycji do rozmowy. W tym przypadku nie jest wymagana kolejność, ani ścisłość w zadawaniu pytań. Daje to możliwość swobody w formułowaniu pytań oraz zmieniania ich kolejności, a umożliwia zadawanie pytań w celu pogłębienia obszaru analizy.

4. Założenie poziomu istotności w badaniu (poziom pięciu procent) i odczytanie z tabeli wartości krytycznej testu Grubbs'a.
5. Sprawdzenie warunku na wartości odstające [69]:

$$\eta_g \leq \eta, \quad (4.4)$$

gdzie:  $\eta_g$  = kryterium Grubbs'a odczytane z tablicy wartości krytycznych.

Wyniki odstające (spełniające nierówność) zostają pominięte, a wartość średniej i odchylenia standardowego, na potrzeby dalszej analizy, oblicza się ponownie.

### Miara korelacji liniowej

W celu określenia charakteru oddziaływania na siebie zmiennych losowych opisujących określony problem wykorzystano miary korelacji liniowej. Podstawowe znaczenie w analizach współzależności zmiennych losowych  $X$  i  $Y$  ma współczynnik korelacji liniowej Pearsona  $r_{xy}$ , który jest estymatorem korelacyjnym nieznanego parametru  $\rho_{XY}$  i którego konstrukcja wiąże się z teoretyczną macierzą kowariancji i wariancji:

$$\begin{bmatrix} D^2(X) & cov(X,Y) \\ cov(X,Y) & D^2(Y) \end{bmatrix}, \quad (4.5)$$

gdzie:  $D^2(X)=\sigma^2_X$  i  $D^2(Y)=\sigma^2_Y$  są wariancjami rozkładów bezwarunkowych (brzegowych) zmiennych losowych  $X$  i  $Y$ , natomiast  $cov(X,Y)$  jest kowariancją zmiennych losowych  $X$  i  $Y$ , definiowana jako:

$$cov(X,Y) = E[(X - m_x)(Y - m_y)], \quad (4.6)$$

gdzie:  $m_x=E(X)$  oraz  $m_y=E(Y)$  oznaczają wartości oczekiwane rozkładów brzegowych zmiennych losowych  $X$  i  $Y$ , przy czym udowadnia się, że przedziałem zmienności kowariancji jest:

$$-D(X)D(Y) \leq cov(X,Y) \leq D(X)D(Y). \quad (4.7)$$

Ostatecznie, nieznaną parametr, jakim jest współczynnik korelacji liniowej  $\rho_{XY}$ , jest definiowany w postaci standaryzowanej, jako:

$$\rho_{XY} = cov(X,Y)/[D(X)D(Y)], \quad (4.8)$$

przy czym granicami dopuszczalnej zmienności tego współczynnika są:  $\rho_{XY} = -1$ , w przypadku ujemnego związku funkcyjnego (najsilniejsza negatywna korelacja  $X$  i  $Y$ ) oraz  $\rho_{XY} = 1$ , w przypadku dodatniego związku funkcyjnego (najsilniejsza pozytywna korelacja  $X$  i  $Y$ ).

Jest zatem oczywiste, że przy korelacyjnej niezależności obserwowanych zmiennych losowych współczynnik korelacji liniowej  $\rho_{XY} = 0$ . W praktyce analiz korelacyjnych zarówno związki funkcyjne (ujemne lub dodatnie), jak i ścisła niezależność korelacyjna nie występują i dlatego zachodzi, że:  $-1 < \rho_{XY} < 0$  w przypadku ujemnych związków korelacyjnych oraz  $0 < \rho_{XY} < 1$  w przypadku dodatnich związków korelacyjnych.

Współczynnik korelacji (4.8) ma ograniczenia liniowe. Oznacza to, że parametr ten efektywnie mierzy siłę i prawidłowo wskazuje kierunek korelacji zmiennych losowych  $X$  i  $Y$

jedynie wtedy, kiedy obie teoretyczne regresje ( $Y/X$  oraz  $X/Y$ ) mają przebieg liniowy lub zbliżony do liniowego. W innych przypadkach (nieliniowe regresje) współczynnik korelacji liniowej Pearsona za nisko szacuje rzeczywistą siłę współzależności obserwowanych zmiennych losowych i często (np. w przypadku regresji parabolicznej) błędnie wskazuje na kierunek tej współzależności.

Parametr korelacyjny  $\rho_{XY}$  jest niewiadomą i jego nieobciążonym estymatorem jest pewna funkcja wyników obserwacji  $X, Y$ , oparta na empirycznej macierzy kowariancji i wariancji:

$$\begin{bmatrix} \hat{S}_x^2 & c\hat{\sigma}_{xy} \\ c\hat{\sigma}_{xy} & \hat{S}_y^2 \end{bmatrix}, \quad (4.9)$$

gdzie:  $\hat{S}_x^2$  oraz  $\hat{S}_y^2$  są nieobciążonymi estymatorami wariancyjnych parametrów  $\sigma_x^2$  oraz  $\sigma_y^2$ , natomiast nieobciążonym estymatorem  $cov(X, Y)$  jest kowariancja  $c\hat{\sigma}_{xy}$  postaci:

$$c\hat{\sigma}_{xy} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{n-1}, \quad (4.10)$$

przy własnościach analogicznych jak we wzorze nr 4.6, przy czym udowadnia się, że:

$$-\hat{S}_x \hat{S}_y \leq c\hat{\sigma}_{xy} \leq \hat{S}_x \hat{S}_y. \quad (4.11)$$

Na tej podstawie jest definiowany estymator współczynnika korelacji liniowej  $\hat{r}_{xy} = r_{xy}$  obserwowanych dwóch mierzalnych zmiennych losowych:

$$\hat{r}_{xy} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{(n-1)\hat{S}_x \hat{S}_y} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{n\hat{S}_x \hat{S}_y} = r_{xy}. \quad (4.12)$$

Współczynnik korelacji liniowej  $r_{xy} = r_{yx} = \hat{r}_{xy} = \hat{r}_{yx}$  jest standaryzowany i analogicznie do parametru korelacyjnego  $\rho_{XY}$  przyjmuje wartości liczbowe z przedziału od  $-1$  do  $1$ . Ma też takie same ograniczenia liniowe jak parametr  $\rho_{XY}$ . Jeżeli liczba niezależnych doświadczeń losowych wzrasta nieograniczenie ( $n$  dąży do nieskończoności), to estymator  $r_{xy}$  ma asymptotyczny rozkład normalny z parametrami:

$$r_{xy} \Rightarrow \sim N[E(r_{xy}) = \rho_{XY}, D(r_{xy}) = \sigma_r], \quad (4.13)$$

gdzie:  $\sigma_r$  jest średnim błędem losowym oceny parametru  $\rho_{XY}$ , czyli inaczej – odchyleniem standardowym estymatora  $r_{xy}$ . Jego przybliżonym oszacowaniem jest statystyka  $S_r$  postaci:

$$S_r = \sqrt{\frac{1-r_{xy}^2}{n-2}} \approx \sigma_r, \quad (4.14)$$

gdzie:  $s = n - 2$  jest liczbą stopni swobody przy pomiarze korelacji liniowej dwóch zmiennych losowych.

W celu oceny statystycznej istotności otrzymanego liczbowego oszacowania  $r_{xy}$  formułowana jest hipoteza zerowa postaci:

$$H_0: \rho = 0, \quad (4.15)$$

przy dwustronnych lub jednostronnych hipotezach alternatywnych i dobierany jest właściwy test istotności weryfikacji  $H_0$ . Jest nim zazwyczaj statystyka t-Studenta postaci:

$$t = \frac{r_{xy}}{\rho_r} \Rightarrow \sim S(n - 2), \quad (4.16)$$

która ma asymptotyczny rozkład t-Studenta z  $s = n - 2$  stopniami swobody, a w przypadku dużych liczebnie prób losowych ( $s > 120$ ) graniczny standaryzowany rozkład normalny postaci  $\sim SN(0,1)$ . Na deklarowanym poziomie istotności  $\alpha$  można uzyskać wynik oszacowania siły korelacji  $X, Y$  jako statystycznie istotny wtedy, kiedy jednoznacznie zachodzi, że:

- $|t| \geq t_{\alpha,s}$  w przypadku sformułowania dwustronnej hipotezy alternatywnej  $H_1: \rho_{XY} \neq 0$ ,
  - $-t \leq -t_{2\alpha,s}$  w przypadku sformułowania lewostronnej hipotezy alternatywnej  $H_1: \rho_{XY} < 0$ ,
  - $t > t_{2\alpha,s}$  w przypadku sformułowania prawostronnej hipotezy alternatywnej  $H_1: \rho_{XY} > 0$ ,
- przy czym każdorazowo deklarowany poziom istotności jest wyższy od krytycznego poziomu istotności ( $\alpha > \tilde{\alpha}$ ).

### Narzędzia zarządzania jakością – diagram Ishikawy

Wykres Ishikawy (ze względu na charakterystyczny wygląd nazywany wykresem rybiej ości) pozwala na rozpoznanie przyczyn rzeczywistych lub potencjalnych niepowodzeń różnego rodzaju przedsięwzięć. Z tego powodu nazywa się metodę także wykresem przyczynowo-skutkowym. Zakres stosowania tej metody początkowo był ograniczony jedynie do przemysłu, obecnie jest przydatny w wielu innych dziedzinach [70].

Sporządzanie wykresu musi być wysiłkiem wielu pracowników organizacji, ponieważ przyczyny niepowodzeń mają swoje źródła zwykle w różnych dziedzinach działania. Dlatego zespół powinien składać się z ludzi o dużej wiedzy specjalistycznej, którzy dodatkowo mają wolę ujawnienia przyczyn wadliwości, w tym także spowodowanych przez siebie. Bardzo przydatne jest stosowanie w trakcie budowy schematu metod heurystycznych. Przedmiotowy diagram przyczynowo-skutkowy znajduje zastosowanie w rozwiązywaniu problemów, a analiza może przebiegać następująco:

1. Identyfikacja problemu: analiza rozważanego zagadnienia mająca na celu zdefiniowanie problemu. Problem ten jest wybierany m.in. poprzez zastosowanie burzy mózgów, analizy Pareto, analizy kosztów jakości.
2. Określenie głównych grup przyczyn: ustalenie głównych kategorii przyczyn, które mają wpływ na zdefiniowany problem.
3. Uszczegółowienie przyczyn: szukanie przyczyn i podprzyczyn dla każdej zidentyfikowanej grupy.
4. Analiza wyników.

### 4.6. Podstawy matematyczne teorii zbiorów rozmytych

Za twórcę teorii zbiorów rozmytych i logiki rozmytej uważa się Lotfiego A. Zadeha, który w 1965 roku opublikował artykuł „Fuzzy Sets”. Pierwsze próby wyjścia poza dwuwartościową logikę można znaleźć się już u Platona stwierdzającego, że istnieje jakiś dodatkowy obszar pomiędzy prawdą i fałszem. Na początku XX. wieku polski uczyony Jan Łukasiewicz zaproponował system logiki trójwartościowej stanowiącej bazę dla logiki rozmytej [49].

Na systemy rozmyte składają się te techniki i metody, które służą do obrazowania informacji nieprecyzyjnych, nieokreślonych bądź niekonkretnych, których nie jest w stanie

ując teoria klasyczna i logika dwuwartościowa. Systemy rozmyte znajdują zastosowanie tam, gdzie nie mamy wystarczającej wiedzy o modelu matematycznym rządzącym danym zjawiskiem oraz tam, gdzie odtworzenie tego modelu staje się nieopłacalne lub nawet niemożliwe.

Logika rozmyta jest stosowana m.in. w bardzo złożonych zagadnieniach, jak przetwarzanie obrazu, rozwiązywanie problemu korków ulicznych czy unikanie kolizji. Sterowniki wykorzystujące logikę rozmytą są również używane na przykład w połączeniu z sieciami neuronowymi. Mogą być również wykorzystane do planowania zużycia ресурсu eksploatacyjnego w połączeniu z podziałem na grupy eksploatacyjne i kalendarzem ćwiczeń wojskowych. Logika rozmyta znajduje bardzo szerokie i różnorodne zastosowanie zarówno w elektronice, systemach sterowania jak również w medycynie, a także w różnych gałęziach przemysłu, np. układy sterowania rozrusznika serca, układy sterowania samochodu, układy energetyczne, układy autopilotów samolotów i okrętów [71]. Proponuje się zastosowanie logiki rozmytej w modelowaniu, ocenie ryzyka, optymalizacji, podejmowaniu decyzji, kontroli lub diagnostyce [72, 73, 74].

Logika rozmyta jest rozszerzeniem znanej powszechnie logiki dwuwartościowej, która przyjmuje dwie wartości logiczne, tj. prawdę lub fałsz. W logice rozmytej mamy do czynienia z wieloma wartościami, które mogą przynależeć do rozważanego zbioru z pewnym założonym stopniem przynależności. Wartości te, określane mianem wartości lingwistycznych, wprowadzają dodatkowy przedział wartości między wartościami granicznymi. Dzięki logice rozmytej mamy możliwość opisać informacje nieprecyzyjne, niepewne, bądź których nie możemy dokładnie określić.

Podstawowym elementem teorii, na którym opiera się zaproponowana przez prof. Zadeha logika rozmyta, jest zbiór rozmyty. W logice klasycznej każdy element przynależy albo do zbioru, albo do jego dopełnienia. W teorii zbiorów rozmytych, każdy element może przynależeć do zbioru, może do niego nie należeć, albo może do niego należeć tylko w pewnym stopniu. Stopień ten w teorii zbiorów rozmytych określany jest mianem stopnia przynależności i przyjmuje wartości z przedziału od zera do jedności. Przynależność każdego elementu do zbioru rozmytego opisana jest funkcją przynależności [75]. Z logiką rozmytą związane są również terminy: zmienna lingwistyczna, wartość lingwistyczna, przestrzeń lingwistyczna. Zmienna lingwistyczna opisana jest przez pojęcia lingwistyczne, np. wiek, wzrost. Zmienna lingwistyczna ma cechy opisane przez wartości lingwistyczne, np. młody, stary, niski, wysoki. Przestrzeń lingwistyczna jest zbiorem wszystkich możliwych wartości lingwistycznych opisujących daną zmienną.

Matematycznym opisem zbioru rozmytego  $A$  w rozważanej przestrzeni  $X$  nazywamy zbiór par opisany jako:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) : x \in X\}, \quad (4.17)$$

gdzie:

$x$  – element zbioru

$\mu_A(x)$  – funkcja przynależności elementu  $x$  do zbioru  $A$  przyjmująca wartości  $\langle 0, 1 \rangle$ .

Funkcja przynależności każdemu elementowi  $x$  rozważanej przestrzeni  $X$  przypisuje odpowiedni stopień przynależności  $\mu_A(x) \in \langle 0, 1 \rangle$ . Zbiór rozmyty  $A$  jest zbiorem

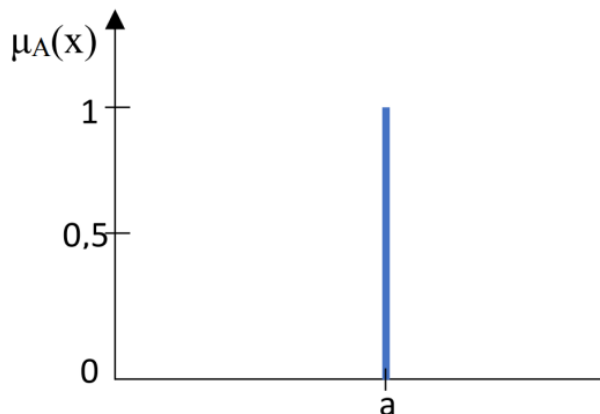


elementów, które należą do niego w stopniu określonym przez funkcję przynależności. Mogą one należeć do niego w zróżnicowanym stopniu.

Funkcje przynależności opisane teorią zbiorów rozmytych najczęściej mają następującą postać:

1. Wielokątne funkcje przynależności – zbudowane z odcinków prostych:

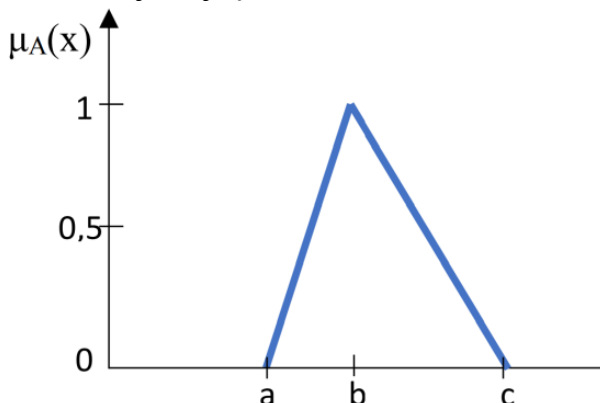
a. funkcja singleton:



$$\mu_A(x; a) = \begin{cases} 1, & x = a \\ 0, & x \neq a \end{cases} \quad (4.18)$$

Rys. 4.3. Funkcja przynależności typu „singleton”

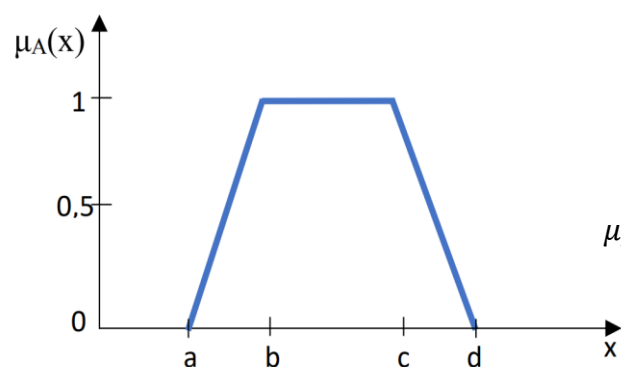
b. funkcja trójkąt:



$$\mu_A(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \geq c \end{cases} \quad (4.19)$$

Rys. 4.4. Funkcja przynależności typu „trójkątna”

c. funkcja trapezoidalna:

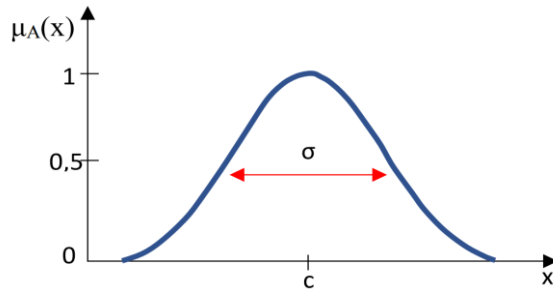


$$\mu_A(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x \geq d \end{cases} \quad (4.20)$$

Rys. 4.5. Funkcja przynależności typu „trapez”

## 2. Intuicyjne funkcje przynależności:

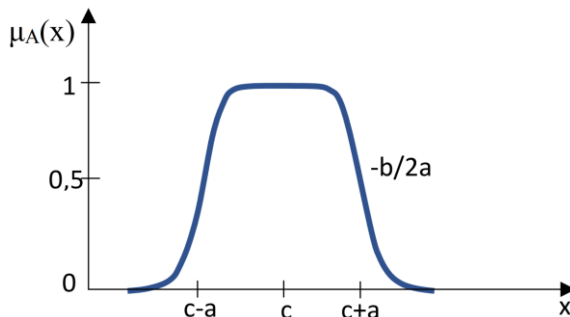
a. funkcja gaussowska:



Rys. 4.6. Gaussowska funkcja przynależności

$$\mu_A(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2}, \quad (4.21)$$

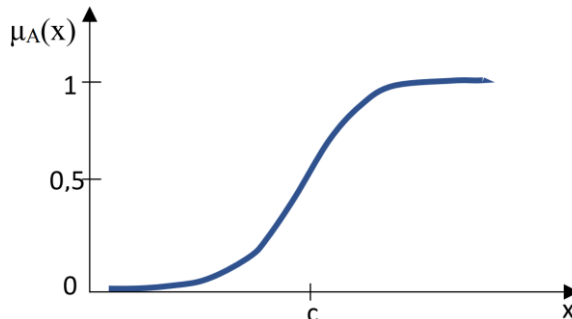
b. funkcja dzwonowa:



Rys. 4.7. Dzwonowa funkcja przynależności

$$\mu_A(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}}, \quad (4.22)$$

c. funkcja sigmoidalna:



Rys. 4.8. Sigmoidalna funkcja przynależności

$$\mu_A(x; a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}}. \quad (4.23)$$

Zaprezentowane funkcje przynależności są wykorzystywane w zależności od analizowanego problemu badawczego. Dobór funkcji przynależności przekłada się na dokładność oszacowania zmiennych lingwistycznych i w konsekwencji na dokładność wnioskowania [76].

Każda z wymienionych funkcji ma mocne i słabe strony. W przypadku posiadania niewielkiej ilości danych znaczące efekty obliczeniowe otrzymujemy w przypadku zastosowania funkcji wielokątnych, które pozwalają utrzymać warunek jedności sumy zbiorów rozmytych.

Intuicyjne funkcje przynależności, ze względu na charakter zakrzywienia umożliwiają uzyskanie różniczkowalnie ciągłych powierzchni modelu rozmytego, co stanowi zaletę modelu. Ten typ funkcji ma pochodną dowolnego stopnia umożliwiając tym samym teoretyczną analizę modelu. Jednak z uwagi na symetryczność omawianych modeli uzyskanie

dopełnienia sumy zbiorów jest utrudnione. Z uwagi na określenie większej liczby parametrów niż w przypadku funkcji wielokątnych strojenie modelu jest procesem bardziej skomplikowanym.

### Operacje na zbiorach rozmytych

Analiza funkcjonowania wybranego systemu (obsługowo-naprawczego) w oparciu o teorię zbiorów rozmytych wymaga przedstawienia podstawowych definicji związanych z operacjami na zbiorach [77].

Dla zbioru rozmytego  $A$ , określonego przez funkcję przynależności  $\mu_A(x)$ , która każdemu elementowi  $x$ , z przestrzeni  $X$  przyporządkowuje wartość z zakresu  $\langle 0, 1 \rangle$  definiuje się następujące parametry:

1. Nośnik zbioru rozmytego jest to zbiór elementów  $x$  należących do rozważanej przestrzeni  $X$ , których stopień przynależności do zbioru  $A$  jest niezerowy:

$$\text{supp}(A) = \{x \in X: A(x) > 0\}. \quad (4.24)$$

2. Jądro zbioru rozmytego  $A$  to taki zbiór elementów  $x$  należących do rozważanej przestrzeni  $X$ , których stopień przynależności do zbioru  $A$  jest równy jedności:

$$\text{core}(A) = \{x \in X: A(x) = 1\}. \quad (4.25)$$

3. Wysokość zbioru rozmytego  $A$  to największy stopień przynależności do tego zbioru:

$$\text{hgt}(A) = \bigvee_{x \in X} A(x), \quad (4.26)$$

gdzie:  $\bigvee_{x \in X} A(x)$  oznacza operację „maximum”.

Dodatkowo w odniesieniu do omawianych zbiorów można wykazać, że:

1. Zbiór rozmyty  $A$  zawiera się w zbiorze rozmytym  $B$ , jeżeli dla każdego elementu  $x$  należącego do rozważanej przestrzeni  $X$  zachodzi zależność:

$$A(x) \leq B(x). \quad (4.27)$$

2. Zbiory rozmyte  $A$  i  $B$  są równe, jeżeli dla każdego elementu zbioru  $x$  należącego do rozważanej przestrzeni  $X$  zachodzi zależność:

$$A(x) = B(x). \quad (4.28)$$

3. Pusty zbiór rozmyty to taki zbiór dla którego dla każdego  $x$  spełniony jest warunek:

$$A(x) = \emptyset. \quad (4.29)$$

W literaturze spotyka się następujące definicje operacji na zbiorach rozmytych [78]:

1. Sumą zbiorów rozmytych  $A$  i  $B$ , oznaczaną jako  $A \cup B$ , nazywamy taki zbiór  $C$ , w którym dla każdego  $x$  należącego do rozważanej przestrzeni  $X$  zachodzi:

$$C(x) = A \cup B = A(x) \cup B(x). \quad (4.30)$$

Stopień przynależności elementu do sumy dwóch zbiorów  $A$  i  $B$  wyznacza się najczęściej stosując operację  $S$ -normy, która spełnia następujące warunki:

- 1.1. Warunek monotoniczności funkcji  $S$ :

$$S(a, b) \leq S(a, c) \text{ dla } b \leq c. \quad (4.31)$$

1.2. Warunek przemienności funkcji  $S$ :

$$S(S(a, b), c) = S(a, S(b, c)). \quad (4.32)$$

1.3. Warunek łączności funkcji  $S$ :

$$S(a, b) = S(b, a). \quad (4.33)$$

1.4. Funkcja  $S$  spełnia warunek brzegowy:

$$S(a, 0) = a. \quad (4.34)$$

Literatura przedmiotu podaje następujące metody wyznaczenia funkcji przynależności, z których najczęściej stosowana jest zależność podana przez prof. Zadeha. W tabeli (Tab. 4.2) podano wybrane zależności wyznaczenia funkcji przynależności:

Tab. 4.2. Postać  $S$ -normy najczęściej wykorzystywana w analizie zbiorów rozmytych

Lp	Nazwa operatora	Postać matematyczna	Numer
1	Suma Zadeha	$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max}[\mu_A(x), \mu_B(x)]$	(4.35)
2	Suma algebraiczna	$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$	(4.36)
3	Suma Łukasiewicza	$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Min}(1, \mu_A(x) + \mu_B(x))$	(4.37)
4	Suma Einsteina	$\mu_{A \cup B}(x) = \frac{\mu_A(x) + \mu_B(x)}{1 + \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}$	(4.38)
5	Suma Hamachera	$\mu_{A \cup B}(x) = \frac{\mu_A(x) + \mu_B(x) - 2\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{1 - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}$	(4.39)

2. Iloczynem logicznym (przecięciem) zbiorów rozmytych  $A$  i  $B$  nazywamy taki zbiór  $C$ , w którym dla każdego  $x$  należącego do rozważanej przestrzeni  $X$  jest spełniony warunek:

$$C(x) = A \cap B = A(x) \cap B(x) = \text{Min}[A(x), B(x)]. \quad (4.40)$$

Stopień przynależności elementu do iloczynu dwóch zbiorów  $A$  i  $B$  wyznacza się stosując  $T$ -normę, która spełnia niżej przedstawione warunki:

2.1. Warunek monotoniczności funkcji  $T$ :

$$T(a, b) \leq T(a, c) \text{ dla } b \leq c. \quad (4.41)$$

2.2. Warunek przemienności funkcji  $T$ :

$$T(T(a, b), c) = T(a, T(b, c)). \quad (4.42)$$

2.3. Warunek łączności funkcji  $T$ :

$$T(a, b) = T(b, a). \quad (4.43)$$

2.4. Funkcja  $T$  spełnia warunek brzegowy:

$$T(a, 1) = a. \quad (4.44)$$

Zależność podana przez prof. Zadeha wykorzystywana jest najczęściej do określenia stopnia przynależności elementu do iloczynu zbiorów rozmytych. Literatura podaje także następujące metody obliczenia  $T$ -normy (Tab. 4.3):

Tab. 4.3. Postać  $T$ -normy najczęściej wykorzystywana w analizie zbiorów rozmytych

Lp	Nazwa operatora	Postać matematyczna	Numer
1	Iloczyn Zadeha	$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min}[\mu_A(x), \mu_B(x)]$	(4.45)
2	Iloczyn algebraiczny	$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$	(4.46)
3	Iloczyn Łukasiewicza	$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Max}(0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1)$	(4.47)
4	Iloczyn Einsteina	$\mu_{A \cap B}(x) = \frac{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{2 - \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}$	(4.48)
5	Iloczyn Hamachera	$\mu_{A \cup B}(x) = \frac{\mu_A(x) + \mu_B(x) - 2\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{1 - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}$	(4.49)

3. Dopełnieniem zbioru rozmytego  $A$  lub negacją zbioru  $A$  (oznaczane  $A'$ ) nazywamy taki zbiór elementów  $x$  należących do rozważanej przestrzeni  $X$ , gdzie dla każdego  $x$  spełniony jest następujący warunek:

$$A'(x) = 1 - A(x). \quad (4.50)$$

### Systemy wnioskowania rozmytego

System wnioskowania rozmytego (Fuzzy Inference System – FIS) pozwala na odwzorowanie przestrzeni wejściowej na przestrzeń wyjściową. Jego działanie jest uwarunkowane regułami wnioskowania. Reguły przyjmują postać „Jeżeli..., to...” (ang. If..., then...). Przedmiotowe reguły mogą być definiowane w sposób następujący [79]:

1. Jako reguły zdefiniowane przez eksperta na podstawie jego doświadczenia.
2. Jako opis fizycznych właściwości obiektów na podstawie wcześniejszych obserwacji.

Omawiane systemy rozmyte charakteryzują się różnym stopniem zaawansowania. Dzieli się je na poniższe grupy:

1. System SISO (ang. single input single output) posiadający jedno wejście i jedno wyjście.
2. System MISO (ang. multi input single output) posiadający więcej niż jedno wejście i jedno wyjście.
3. System MIMO (ang. multi input multi output) posiadający wiele wejść i wyjść.

Przebieg procesu wnioskowania rozmytego przedstawiono poniżej – w postaci graficznej (Rys. 4.9), jak również opisowej.

#### 1. Fuzyfikacja – blok rozmywania

Fuzyfikacja to proces polegający na rozmywaniu zmiennych dyskretnych  $x$  na zmienne rozmyte, tj. określać stopień przynależności zmiennej  $x$  do zdefiniowanych zbiorów rozmytych.

#### 2. Interferencja – blok wnioskowania

Na podstawie wejściowych funkcji przynależności blok interferencyjny wyznacza wartości wynikowej funkcji przynależności  $\mu_w(Y)$ . Wyznaczenie wartości wyjściowej funkcji

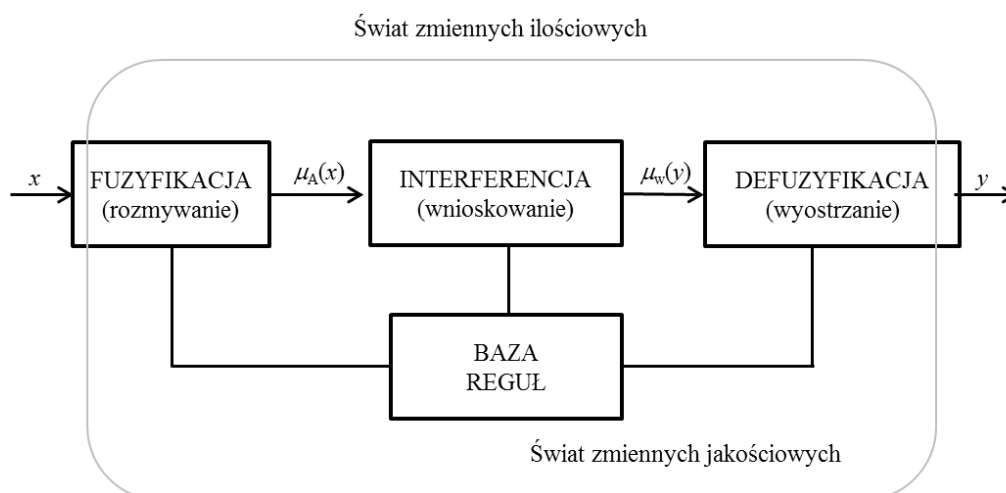
przynależności jest możliwe na podstawie określenia zależności między funkcjami przynależności na podstawie bazy reguł wnioskowania rozmytego, zawierających odpowiednie przesłanki (poprzedniki) oraz wynikające z nich konkluzje (następniki). Przesłanki będące wyrażeniami lingwistycznymi mogą być łączone ze sobą za pomocą operacji koniunkcji lub alternatywy. W przypadku koniunkcji, konkluzja będzie minimalną wartością odpowiednich wartości aktywacyjnych funkcji przynależności. Jeżeli funkcje przynależności są łączone ze sobą alternatywnie, konkluzja będzie stanowiła maksymalną wartość funkcji aktywacyjnych.

W związku z powyższym do opisywanego etapu procesu rozmywania badacz musi określić następujące parametry:

- bazę reguł;
- algorytmy wnioskowania;
- funkcje przynależności.

### 3. Defuzyfikacja – blok wyostżenia

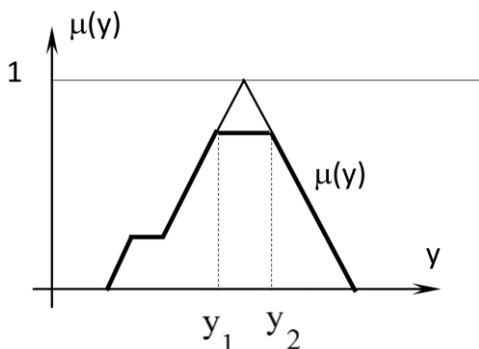
Ostatnim etapem jest zamiana wynikowej funkcji przynależności  $\mu_w(y)$  na wartość ostrą sygnału wyjściowego (sterującego). Wśród mechanizmów defuzyfikacji najczęściej wykorzystuje się metody opisane poniżej.



Rys. 4.9. Generalny schemat wnioskowania rozmytego. Opracowanie własne

### Metody defuzyfikacji

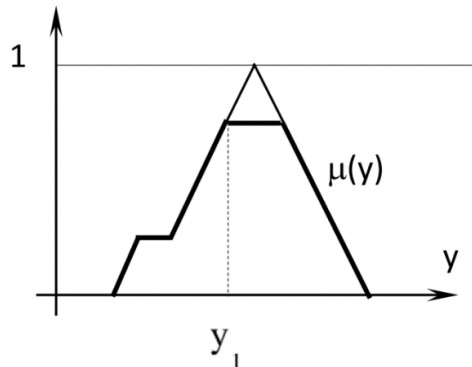
Metoda środka maksimum polegająca na wskazaniu reprezentanta rozwiązań zbioru rozmytego, dla którego stopień przynależności jest najwyższy. Z uwagi na fakt występowania wielu rozwiązań  $y$  wynikiem konkluzji jest wartość średnia określona wzorem  $y^*$ :



$$y^* = \frac{y_1 + y_2}{2}. \quad (4.51)$$

Rys. 4.10. Defuzyfikacja metodą środka maksimum

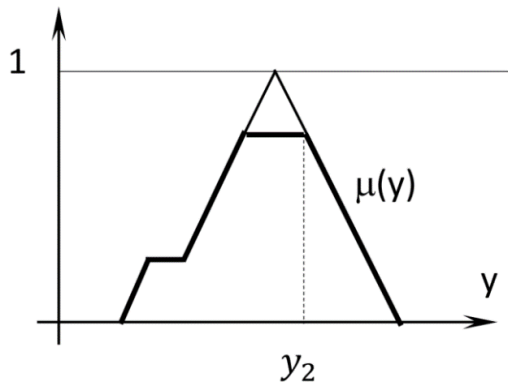
Metoda pierwszego maksimum polega na określeniu wartości maksymalnej funkcji przynależności dla analizowanego rozwiązania, a następnie wskazanie wartości minimalnej  $y$  w zbiorze jej rozwiązań:



$$y^* = y_1. \quad (4.52)$$

Rys. 4.11. Defuzyfikacja metodą pierwszego maksimum

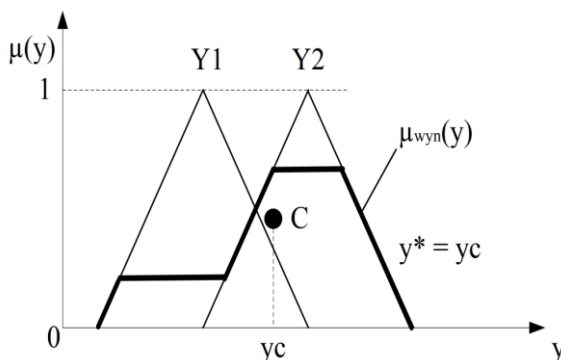
Metoda ostatniego maksimum polega na określeniu wartości maksymalnej funkcji przynależności dla analizowanego rozwiązania, a następnie wskazanie wartości maksymalnej  $y$  w zbiorze jej rozwiązań:



$$y^* = y_2. \quad (4.53)$$

Rys. 4.12. Defuzyfikacja metodą ostatniego maksimum

Metoda środka ciężkości za rozwiązanie przyjmuje współrzędną  $y_c$  środka ciężkości powierzchni pod krzywą wynikową funkcji przynależności:



$$y^* = \frac{\int y\mu(y)dy}{\int \mu(y)dy}. \quad (4.54)$$

Rys. 4.13. Defuzyfikacja metodą środka ciężkości

Zaletą omawianej metody jest fakt, że wszystkie aktywne reguły biorą udział w procesie defuzyfikacji, co gwarantuje większą czułość modelu. Jego wadą jest potrzeba wykorzystania dużej mocy obliczeniowych z uwagi na zastosowanie rachunku całkowego w przedmiotowym modelu.

#### 4.7. Możliwości prognozowania w obszarze eksploatacji

Zarządzanie częściami zamiennymi (Spare Parts Management SPM) ma zasadniczy wpływ na obsługiwane systemy uzbrojenia. Zadaniem SPM jest zapewnienie dostępności części zamiennych we właściwej ilości, jakości i właściwym czasie. Koszt części zamiennych ma istotny wpływ na efektywność finansową przedsiębiorstwa (ulokowanie kapitału w częściach zamiennych). Części zamienne utrzymywane są zasadniczo na zabezpieczenie takich potrzeb jak np.: wymiany części szybko zużywających się, zapewnienie ciągłości realizacji napraw głównych [80, 81].

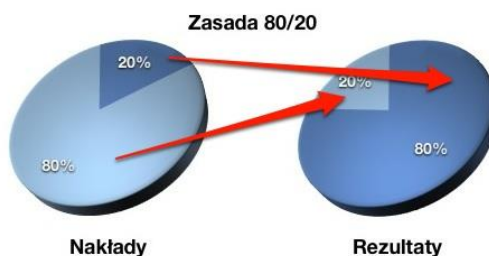
Innym ważnym aspektem w procesie zarządzania częściami zamiennymi jest ich dostępność u dostawców. Oczekiwanie na części zamienne generuje przestoje oraz powoduje blokowanie stanowisk obsługowo-naprawczych.

Jedną z najczęściej stosowanych metod w określeniu optymalnej struktury zapasów jest metoda ABC/XYZ (Rys. 4.14) uwzględniająca wartość części zamiennych oraz cykliczność wydawania ich z magazynu (ABC – wartości części, XYZ – regularność wydań z wybranego magazynu Wojskowego Oddziału Gospodarczego).

		Wartość materiałów			
		Grupa materiałów	A	B	C
Regularność wydań	X	Koszty materiałowe <b>duże</b> . Dokładność prognozowania <b>wysoka</b> .	Koszty materiałowe <b>średnie</b> . Dokładność prognozowania <b>wysoka</b> .	Koszty materiałowe <b>małe</b> . Dokładność prognozowania <b>wysoka</b> .	
	Y	Koszty materiałowe <b>duże</b> . Dokładność prognozowania <b>średnia</b> .	Koszty materiałowe <b>średnie</b> . Dokładność prognozowania <b>średnia</b> .	Koszty materiałowe <b>małe</b> . Dokładność prognozowania <b>średnia</b> .	
	Z	Koszty materiałowe <b>duże</b> . Dokładność prognozowania <b>niska</b> .	Koszty materiałowe <b>średnie</b> . Dokładność prognozowania <b>niska</b> .	Koszty materiałowe <b>małe</b> . Dokładność prognozowania <b>niska</b> .	

Rys. 4.14. Podział grup zapasów w myśl zasady ABC/XYZ

Punktem wyjścia do podziału na asortyment grupy A, B, C jest reguła Pareto „Vital Few and Trivial Many Rule”. W myśl zasady Pareto 20% przyczyn ma wpływ na 80% skutków (Rys. 4.15).



Rys. 4.15. Zasada Pareto



Części zamienne, w tym przypadku, dzieli się na następujące grupy:

- grupa *A* – 70-80% wartości części i zawiera do 20% asortymentu. W przypadku tej grupy dąży się do utrzymania zasady „Just in time” w obszarze zaopatrywania w części zamienne [82];
- grupa *B* – zawiera 15-20% wartości części i zawiera do 30-40% asortymentu;
- grupę *C* – zawiera 5-10% wartości części i zawiera 40-50% asortymentu.

Metodę *A, B, C* rozszerza się o informacje dotyczące cykliczności zużycia materiałów tzn. o grupy *X, Y, Z*, które skupiają materiały ubywające z magazynu w zależności od okresowości ich wydawania, tj.:

- *X* – materiały, dla których odchylenie od stałego zużycia sięga do 20% (duża dokładność prognozy, można utrzymywać niskie poziomy magazynowe);
- *Y* – materiały, dla których odchylenie od stałego zużycia sięga od 20-50% (umiarkowana wiarygodność prognozy, potrzebne jest utrzymywanie wyższych poziomów zapasów);
- *Z* – materiały, dla których odchylenie od stałego zużycia przekracza 50% (niska wiarygodność prognozy, z uwagi na duże okresowe skoki należy utrzymywać wysokie stany magazynowe).

Podziału na grupy *X, Y, Z* można dokonać na podstawie współczynnika zmienności, będącego ilorazem odchylenia standardowego oraz wartości średniej zużycia. Jeśli wartość współczynnika zmienności jest bliższa zeru to regularność zużycia jest wysoka.

Rezultatem powyższej analizy *ABC/XYZ* jest uzyskanie podziału zapasów magazynowych na 9 grup o zróżnicowanych kosztach materiałowych i zróżnicowanej precyzji prognozowania (Rys. 4.14).

Analiza *ABC/XYZ* pozwala estymować strukturę zapasów. Dzięki temu możliwe jest prowadzenie analizy dotyczącej wyboru metody sterowania zamówieniem: jego częstotliwością oraz wielkością [83]. Zarządzanie zapasami wymaga gospodarności finansowej oraz gospodarności w zakresie utrzymania ciągłości procesów produkcyjnych, w tym przypadku utrzymania ciągłości wykonywania prac obsługowo-naprawczych. W kontekście obwarowania procesów zapisami ustawy „Prawo zamówień publicznych” jest to szczególnie ważne.

Model może mieć zastosowanie do różnych kategorii części zamiennych, ale zasadniczo jest używany w przypadku części wolnorotujących oraz o dużej wartości, gdy zapotrzebowanie na części ma charakter losowy. Wadą tego modelu jest wykonanie szerokiej analizy dotyczącej opisanie rozkładu prawdopodobieństwa uszkodzeń. W przypadku wykorzystania modelu opartego o rozkład prawdopodobieństwa uszkodzeń należy wskazać punkt podjęcia decyzji dotyczącej złożenia zamówienia względem prawdopodobnego punktu wystąpienia ponownego uszkodzenia. Im upływ czasu od wydania części jest większy tym prawdopodobieństwo ponownego uszkodzenia jest większe.

Najczęściej stosuje się następujące rozkłady prawdopodobieństwa do ustalania zapasów części zamiennych do pojazdów:

- Poissona,
- Weibulla,
- normalny i logarytmiczno-normalny.

### **Prognozowanie zdarzeń eksploatacyjnych na podstawie niezawodności.**

Prognozowanie stanów obiektów technicznych można oprzeć na określeniu ich niezawodności, która jest definiowana, jako „prawdopodobieństwo wykonania pracy przez obiekt w określonym czasie i określonym środowisku” [84].

W literaturze przedmiotu „niezawodność” oznacza obszar wiedzy o eksploatacji i właściwość obiektu technicznego. Niezawodność charakteryzuje zdolność urządzenia technicznego do spełnienia powierzonych mu funkcji zgodnie z założonymi warunkami. Przyczyną zaburzenia wypełniania powierzonych funkcji przez obiekt techniczny jest wystąpienie uszkodzeń. Nauka o niezawodności, to dyscyplina nauki, która zajmuje się badaniami występowania i przewidywania uszkodzeń, określaniem metod zapewnienia żądanej niezawodności obiektów technicznych i biologicznych, a także zasad projektowania niezawodnych maszyn i urządzeń [85]. Przy omawianiu kwestii niezawodności wygodne jest używanie pojęcia obiektu rozumianego jako pojedynczy element, zespół, układ, kompletne urządzenie lub zbiór urządzeń.

Wyróżniamy dwa podstawowe stany niezawodności obiektu: stan zdatności i niezdatności. Niekiedy istnieje uzasadniona technicznie potrzeba stosowania dodatkowych pojęć i wyrażania stanów niezawodności, takich jak stan sprawności i niesprawności. W stanie sprawności parametry urządzenia nie przekraczają ich wartości dopuszczalnych. W takim kontekście niesprawność może być rozumiana jako tzw. zdatność zadaniowa, czyli zdolność obiektu do wykonania pewnych tylko funkcji ze zbioru tych, do realizacji których obiekt techniczny został przeznaczony. Zdatność jest stanem chwilowym obiektu, a niezawodność jego właściwością w czasie. Zatem podstawowe stany niezawodnościowe obiektu to stan zdatności i niezdatności oraz stan sprawności i niesprawności [86].

Niezawodność jest właściwością ogólną, złożoną, obejmującą cechy składowe, takie jak poprawność działania, trwałość, naprawialność i zachowawczość. Wyrażają one określone właściwości obiektu i mają także zdefiniowane właściwe im miary:

- poprawność działania (nieuszkodzalność, bezawaryjność). Jest to właściwość obiektu polegająca na zachowaniu zdolności do pracy w ciągu określonego przedziału czasu (przebiegu) bez nieplanowych, wymuszonych uszkodzeniami przestoju;
- trwałość, czyli właściwość obiektu technicznego polegająca na zachowaniu w wymaganych granicach głównych parametrów roboczych określających jego stan graniczny;
- naprawialność (podatność naprawcza) jest to właściwość obiektu technicznego polegająca na przystosowaniu go do odnowy stanu zdatności przez zapobieganie i usuwanie uszkodzeń drogą obsługi technicznych i napraw (bez wymiany zespołów na nowe). Kryterium naprawialności klasyfikuje obiekty na naprawialne i nienaprawialne;
- zachowawczość jest to właściwość obiektu polegająca na zachowaniu ustalonych wartości wskaźników eksploatacyjnych w trakcie i po upływie okresu przechowywania i transportu.

## Charakterystyki opisujące niezawodność

Zdarzenia eksploatacyjne, w tym uszkodzenia obiektów, mają charakter losowy, w związku z tym ich opis może być przedstawiony za pomocą odpowiednich narzędzi, funkcji i parametrów rachunku prawdopodobieństwa, które zostaną wprowadzone poniżej:

I. Charakterystyki skumulowane (sumaryczne, całkowite) określają całkowite prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia od chwili wyprodukowania do zadanej chwili.

1. Funkcja zawodności  $F(t)$  oznacza prawdopodobieństwo uszkodzenia w przedziale resursu  $(0, t)$ . Jest dystrybuantą resursu i w sensie probabilistycznym oznacza, że zmienna losowa  $T$  przyjmie wartość mniejszą od  $t$ . Dystrybuanta określa zawodność obiektu technicznego. Funkcja zawodności jest funkcją niemalejącą – ze wzrostem resursu sprawnej pracy wzrasta prawdopodobieństwo uszkodzenia obiektu technicznego. Opisują to poniższe wyrażenia:

– wyrażenie probabilistyczne:

$$F(t) = P(T < t), \quad (4.55)$$

– wyrażenie statystyczne:

$$F(t) = \frac{n(t)}{N(0)}, \quad (4.56)$$

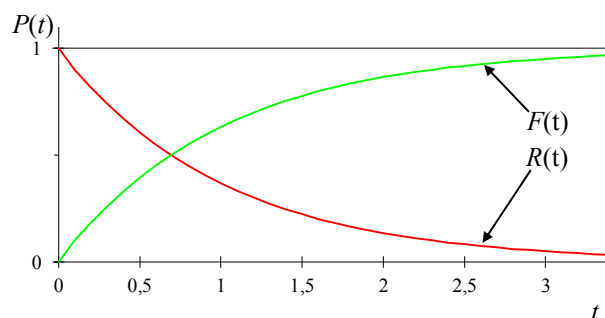
gdzie:

$n(t)$  – liczba elementów, które uległy uszkodzeniu do chwili  $t$ ;

$N(0)$  – liczba elementów zdalnych w chwili początkowej.

2. Funkcja niezawodności  $R(t)$  wyraża prawdopodobieństwo, że obiekt nie ulegnie uszkodzeniu w przedziale  $(0, t)$ , – zmienna losowa  $T$  przyjmie wartość nie mniejszą od  $t$  i można ją opisać następującymi zależnościami:

$$R(t) = P(T \geq t), \quad F(t) + R(t) = 1, \quad R(t) = 1 - \frac{n(t)}{N(0)} = \frac{N(0) - n(t)}{N(0)}. \quad (4.57)$$



Rys. 4.16. Funkcja zawodności  $F(t)$  i funkcja niezawodności  $R(t)$  obiektu technicznego.

II. Charakterystyki właściwe (jednostkowe) określają prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia w danej chwili przypadające na jednostkę resursu:

1. Funkcja gęstości prawdopodobieństwa powstania uszkodzenia  $f(t)$ . Oznacza przypadające na jednostkę resursu prawdopodobieństwo powstania uszkodzenia w chwili  $t$ :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}, \quad f(t) = \frac{n(t+\Delta t) - n(t)}{N(t) \cdot \Delta t}. \quad (4.58)$$

2. Funkcja intensywności uszkodzeń  $\lambda(t)$  – przypadająca na jednostkę ресурсu wartość prawdopodobieństwa warunkowego uszkodzenia obiektu w chwili  $t$  (w przedziale  $< t, t + \Delta t >$ ) pod warunkiem, że nie uległ on uszkodzeniu w przedziale  $(0, t)$ :

$$\lambda(t) = \frac{n(t+\Delta t) - n(t)}{N(t) \cdot \Delta t}, \quad (4.59)$$

$N(t)$  – liczba elementów zdalnych na początku rozpatrywanego przedziału  $\Delta t$ , czyli przy wartości ресурсu  $t$  - (warunek braku uszkodzenia).

Powyżej przedstawione postacie funkcji empirycznych mogą zostać wykorzystane do określenia przebiegu rzeczywistych funkcji opisujących rozkłady zmiennych rzeczywistych zdarzeń eksploatacyjnych obiektów technicznych.

### Metodyka prognozowania niezawodności

Teoria niezawodności jest nauką interdyscyplinarną, która wyrosła z potrzeby sprostania rosnącym oczekiwaniom wobec obiektów technicznych – większej trwałości w czasie eksploatacji urządzenia. Jednym z ważniejszych aspektów tej teorii jest ilościowe ujęcie niezawodności obiektu, pozwalające oszacować resurs jego zdolności do realizacji zadań do jakich został zbudowany. Posiadając rzetelną ocenę jego niezawodności można podjąć decyzję dotyczącą wyłączenia obiektu z użytkowania celem dokonania wymiany jego części, regulacji, modyfikacji lub modernizacji tak, aby zapewnić optymalne wykorzystanie urządzenia w stosunku do ponoszonych kosztów. Do tych celów wykorzystuje się techniki prognozowania.

Prognozowanie w eksploatacji jest związane z regułami statystyki matematycznej. Statystyka matematyczna zajmuje się zasadami i metodami przedstawienia wyników wybranej do badania próby losowej [87, 88]. Podstawę do wnioskowania stanowią rozkłady zmiennych losowych, które wykorzystuje się do określenia rozkładów prawdopodobieństwa statystyk<sup>9</sup> z próby.

Rozkład jest to funkcja przyporządkowująca wartościom zmiennej losowej prawdopodobieństwa ich wystąpienia. Określa on częstość występowania danej wartości zmiennej losowej lub częstość jej wartości w zdefiniowanym przedziale. Często rozkład empiryczny można w przybliżeniu opisać określonym rodzajem popularnej funkcji matematycznej, analogicznie jak funkcję regresji – wówczas przez pojęcie rozkładu rozumie się typ funkcji opisującej przebieg (zmiennosc) cechy – w tym przypadku niezawodności.

Wyniki wieloletnich badań eksploatacyjnych niezawodności wskazują, że określonym elementom i urządzeniom oraz typowym rodzajom uszkodzeń można przypisać charakterystyczne dla nich rozkłady charakterystyk niezawodności. Podstawowymi stosowanymi w niezawodności typami rozkładów są: rozkład wykładniczy, rozkład Weibulla, rozkład normalny (rozkład Gaussa albo Gaussa-Laplace'a), rozkład potęgowy i inne.

<sup>9</sup> Statystyka – funkcja mierzalna określona na przestrzeni statystycznej, służąca do wyodrębnienia pewnych istotnych cech danych doświadczalnych. Jest szczególnym przypadkiem miary rozkładu. Pojęcie statystyki w statystyce matematycznej jest odpowiednikiem zmiennej losowej w rachunku prawdopodobieństwa. Statystyki są często estymatorami parametrów rozkładu zmiennej losowej w populacji generalnej.

Rozkłady niezawodności są zdefiniowanym modelem niezawodności urządzenia. Znajomość typu rozkładu niezawodności urządzenia jest niezwykle ważna do uzyskania danych niezbędnych w procesie zarządzania eksploatacją, prognozowania zapasu ресурсu i działań eksploatacyjnych.

### **Prognozowanie wystąpienia uszkodzenia według rozkładu wykładniczego**

Jednym z modeli opisujących charakter uszkodzeń obiektów jest rozkład wykładniczy. Rozkład ten jest rozkładem jednoparametrycznym z parametrem  $\lambda$  – intensywność uszkodzeń. Dla tego rozkładu intensywność uszkodzeń jest stała. Słuszna jest zależność:

$$\lambda = \frac{1}{T_0}. \quad (4.60)$$

Rozkład trwałości w omawianym przypadku może być modelowany wykładniczym prawem niezawodności, z którego wynika, że:

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t}. \quad (4.61)$$

Biorąc pod uwagę wcześniejsze rozważania o powiązaniach między wskaźnikami niezawodności otrzymuje się dla rozkładu wykładniczego:

1. Dystrybuantę trwałości:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}. \quad (4.62)$$

2. Funkcję gęstości rozkładu prawdopodobieństwa:

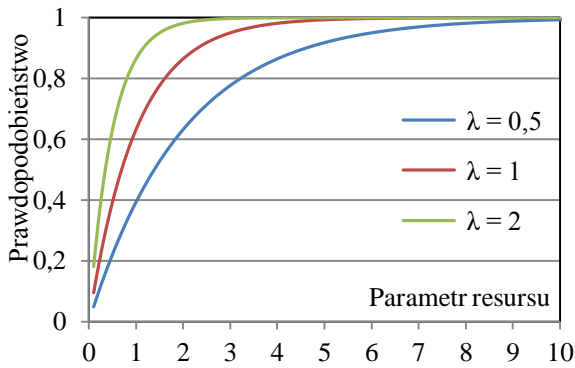
$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}. \quad (4.63)$$

Powyższe wymienione wzory stosuje się, gdy badania trwałości prowadzone są w warunkach laboratoryjnych. W przypadku innych warunków współczynnik  $\lambda$  zwiększa się odpowiednio  $k$  razy. Konieczne jest uwzględnienie we wzorze współczynnika  $k$  do przyjętych warunków środowiska uzyskując wzór ogólny postaci:

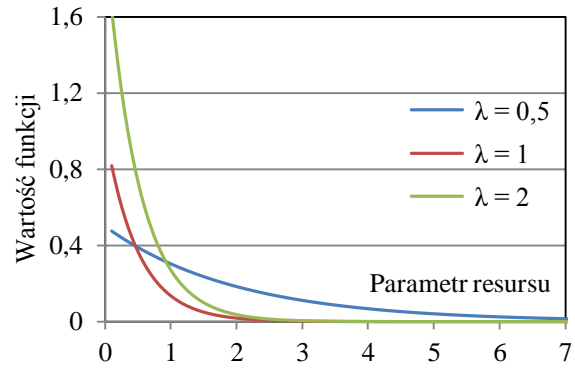
$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t \cdot k}. \quad (4.64)$$

Podstawowa zaletą rozkładu wykładniczego jest jego prostota, gdyż jest on rozkładem jednoparametrycznym. Zakres jego praktycznych zastosowań jest ograniczony, gdyż opisuje niezawodność obiektów niestarzejących się, tzn. zgodnie z przyjmowanym założeniem funkcja intensywności uszkodzeń jest stała w czasie eksploatacji. Uszkodzenie obiektu następuje w wyniku przyczyn losowych, a nie wskutek zmian jego stanu wraz z upływem okresu eksploatacji.

Poniżej przedstawiono przebieg dystrybuanty rozkładu wykładniczego (Rys. 4.17) oraz przebieg funkcji gęstości prawdopodobieństwa (Rys. 4.18) rozkładu wykładniczego dla wybranych wartości intensywności uszkodzenia  $\lambda$ .



Rys. 4.17. Dystrybuanta rozkładu wykładniczego. Opracowanie własne



Rys. 4.18. Funkcja gęstości prawdopodobieństwa rozkładu wykładniczego. Opracowanie własne

### Prognozowanie wystąpienia uszkodzenia według rozkładu Weibulla (RW)

W tym rozkładzie prawdopodobieństwo zmienia się w czasie. Charakteryzuje się tym, że intensywność uszkodzeń  $\lambda$  jest zmienna [89]. Jest on wykorzystywany do opisu trwałości zmęczeniowej materiałów i konstrukcji mechanicznych, które ulegają uszkodzeniu w sposób nagły (np. pęknięcie, wyłamanie itd.).

Omawiany rozkład występuje w dwóch odmianach:

1. Rozkład dwuparametryczny (podstawowy) – opisany przez parametr kształtu  $a$  i parametr skali  $b$ .
2. Rozkład w postaci trójparametrowej – zawiera parametry rozkładu podstawowego oraz trzeci parametr czasu pracy początkowej [90, 91].

Dystrybuantę rozkładu Weibulla można przedstawić w postaci:

$$F(t) = 1 - e^{(-bt^a)} \text{ lub } F(t) = 1 - e^{(-\frac{t}{b})^a} \text{ dla } t \geq 0. \quad (4.65)$$

Obydwa zapisy są równoważne i istnieje możliwość ich wzajemnego przekształcania. Większość obserwowanych rozkładów uszkodzeń można opisać rozkładem Weibulla ze względu na istnienie dwu parametrów rozkładu. Funkcja intensywności uszkodzeń, zależnie od wartości współczynnika kształtu  $a$ , jest (Rys. 4.19):

- malejąca –  $0 < a < 1$ ;
- stała –  $a = 1$  – rozkład wykładniczy;
- rosnąca –  $a > 1$ .

Szczególnym przypadkiem rozkładu Weibulla jest rozkład wykładniczy, gdy  $a = 1$ . W przypadku odpowiedniego doboru wartości parametrów uzyskuje się lepszą zgodność z danymi eksperymentalnymi niż w przypadku rozkładu wykładniczego. Dla rozkładu Weibulla pozostałe funkcje mają postać:

1. Funkcję niezawodności przedstawia zależność:

$$R(t) = e^{(-bt^a)}. \quad (4.66)$$

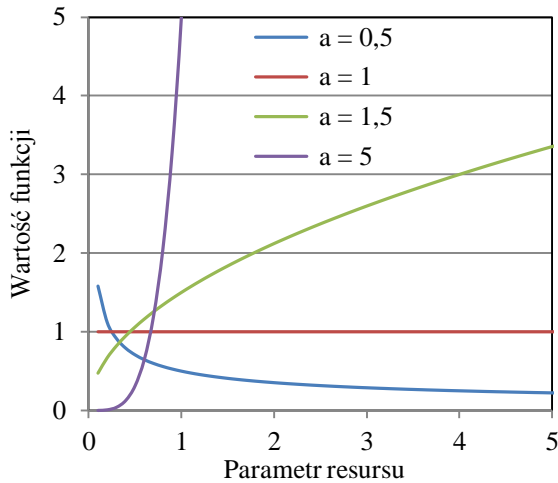
2. Funkcja gęstości prawdopodobieństwa ma postać :

$$f(t) = abt^{a-1}e^{(-bt^a)}. \quad (4.67)$$

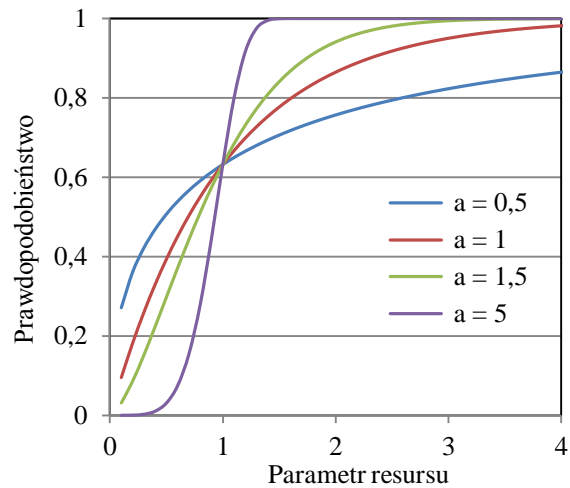
3. Funkcję intensywności uszkodzeń określa równanie:

$$\lambda(t) = abt^{a-1}. \quad (4.68)$$

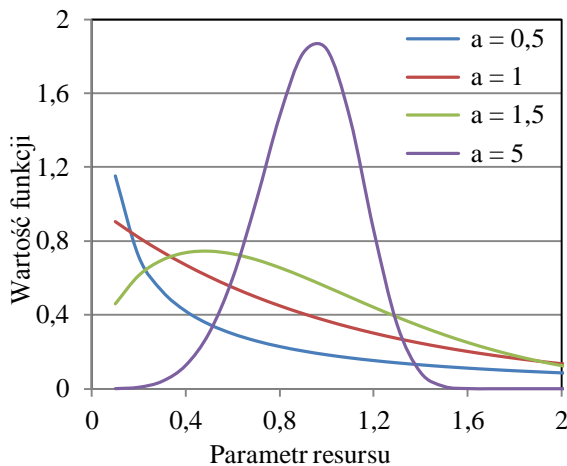
Poniżej przedstawiono przebieg dystrybuanty rozkładu Weibulla (Rys. 4.20) oraz przebieg funkcji gęstości prawdopodobieństwa (Rys. 4.21) dla wybranych wartości współczynnika kształtu oraz współczynnika skali równego 1.



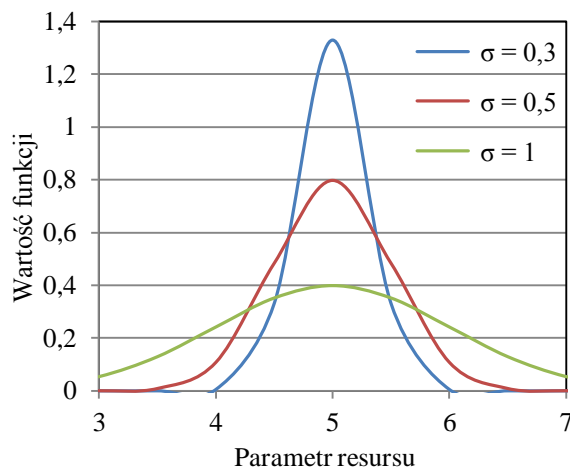
Rys. 4.19. Wykres funkcji intensywności uszkodzeń rozkładu Weibulla dla wsp. skali  $b = 1$  i wartości  $a$



Rys. 4.20. Dystrybuanta rozkładu Weibulla dla wybranych wartości  $a$  oraz skali ( $b = 1$ )



Rys. 4.21. Funkcja gęstości prawd. Weibulla dla wybranych wart. wsp. kształtu ( $b = 1$ ) i skali



Rys. 4.22. Funkcja gęstości prawd. rozkładu normalnego. Dla wartości oczekiwanej 5

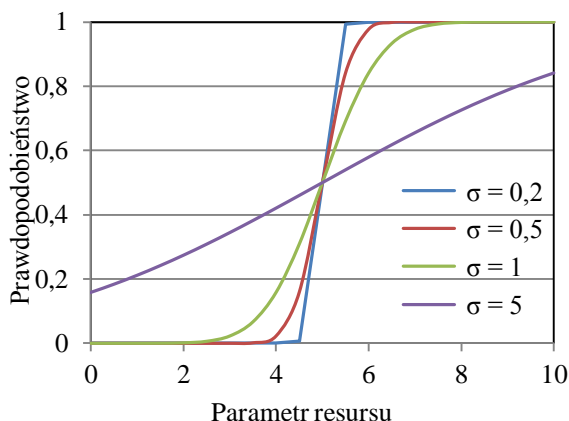
### Prognozowanie wystąpienia uszkodzenia według rozkładu normalnego RN

Rozkład ten jest powszechnie znany z analizy błędów pomiaru i charakterystycznego przebiegu funkcji gęstości prawdopodobieństwa w postaci tzw. krzywej dzwonowej. Wartość oczekiwana resursu i odchylenie standardowe są parametrami rozkładu normalnego. Wykres funkcji (Rys. 4.22) jest tzw. krzywą Gaussa [92]. Funkcja gęstości prawdopodobieństwa tego rozkładu ma postać.:

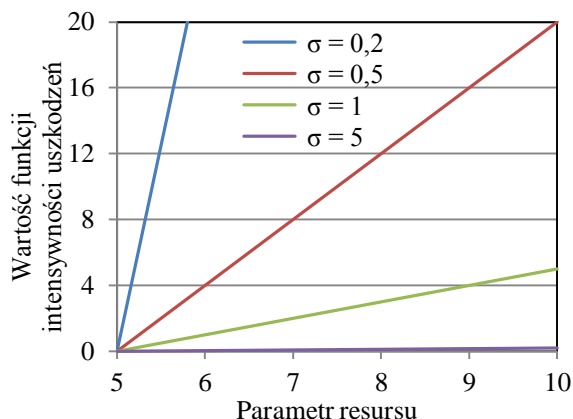
$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}\right)}, \quad \text{gdzie } t \in (-\infty; +\infty). \quad (4.69)$$

Dystrybuanta  $F(t)$  rozkładu normalnego jest opisana równaniem ogólnym (4.70), a postać graficzną przedstawiono na rysunku (Rys. 4.23):

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t)dt, \text{ gdzie } t \geq 0. \quad (4.70)$$



Rys. 4.23. Dystrybuanta rozkładu normalnego dla wart. oczek. - 5



Rys. 4.24. Asymptota funkcji intensywności uszkodzeń rozkładu normalnego. Wart. oczek. - 5

Rozkład normalny opisuje niezawodność obiektów podlegających zużyciu i starzejących się, czego przejawem jest wzrost funkcji intensywności uszkodzeń wraz ze wzrostem resursu sprawnej pracy obiektu. Asymptotę funkcji intensywności uszkodzeń rozkładu normalnego (Rys. 4.24) przedstawia wyrażenie:

$$\lambda(t) = \frac{1}{\sigma^2} (t - T_0). \quad (4.71)$$

Omówione rozkłady stanowią podstawową grupę funkcji opisujących zdarzenia eksploatacyjne. Należy pamiętać, że występuje również szersza grupa rozkładów służących prognozowaniu niezawodności. Należą do nich m. in.: rozkład logarymiczno-normalny, potęgowy, Johnsona, półnormalny, trójkątny, Rayleigha, Pareto i inne, które są wykorzystywane w analizach, m.in. w oprogramowaniu Statistica. Powyższe rozkłady są wykorzystywane, jako funkcje porównawcze dla rozkładów empirycznych. Zgodność rozkładów empirycznych z funkcjami opisującymi rozkłady teoretyczne jest potwierdzana poprzez zastosowanie testów porównawczych. Jednym z testów wykorzystywanych w statystyce jest test chi-kwadrat, który zostanie przedstawiony poniżej. Innymi testami wykorzystywanymi do określania zgodności rozkładów teoretycznych z empirycznymi jest test Kołmogorowa-Smirnowa (K-S), a także Andersona-Darlinga (AD).

### Prognozowanie z wykorzystaniem charakterystyk procesów Markowa

Wśród metod analitycznych, które mają zastosowanie w modelowaniu wielu zjawisk z życia codziennego i wykorzystują analizę procesów losowych (zwanym też metodami przestrzeni stanów) znajdują się metody łańcuchów i procesów Markowa, a także semi-Markowa. Ich przydatność uwidacznia się w przypadku, gdy nie można przyjąć założenia o niezależności zdarzeń i zmiennych losowych.

Do zalet prognozowania na podstawie łańcuchów Markowa zalicza się:

- możliwość predykcji w przypadku, gdy nie są znane przyczyny występowania badanego zjawiska, lub gdy jest ich zbyt wiele, aby można je było wszystkie uwzględnić w analizie;



- możliwość konstruowania prognoz dla zjawisk mierzalnych i niemierzalnych (jakościowych);
- możliwość budowy prognoz krótko-, średnio-, a nawet długoterminowych;
- możliwość prognozowania zjawisk o wzajemnie zależnych w czasie elementach składowych.

Ich stosowanie wymaga jednak spełnienia pewnych założeń. W przypadku metody procesów Markowa rozkłady prawdopodobieństw czasów przebywania w stanach muszą być wykładnicze. Szersze zastosowanie w badaniach niezawodności znajdują procesy semi-Markowa. Stanowią one uogólnienie łańcuchów i jednorodnych procesów Markowa. W procesach semi-Markowa nie jest wymagane założenie, co do postaci rozkładów prawdopodobieństw czasów przebywania w poszczególnych stanach [93, 94].

Modelowanie gotowości w systemach eksploatacyjnych złożonych obiektów technicznych w SZ RP za pomocą procesów Markowa i semi Markowa jest utrudnione poprzez następujące przyczyny/fakty:

- małe liczby obiektów w systemach, szczególnie statków powietrznych i morskich, które ograniczają wiarygodność estymacji parametrów i prognoz modeli oraz wyników analiz;
- zawiłe instrukcje, procedury i regulaminy oraz głównie papierowa ewidencja eksploatacji, które komplikują lub uniemożliwiają określenie przestrzeni fazowej procesu oraz zadowalająco wiarygodne odtworzenie trajektorii fazowych obiektów;
- restrykcje budżetowe powodujące przestoje w odnowie i minimalizację czasu eksploatacji obiektów oraz przejść między stanami – co zwiększa błędy prognoz [95].

### **Zasady badania charakterystyk niezawodności**

Badanie to zorganizowany sposób postępowania obejmujący zespół czynności: obserwację, analizę i ocenę przebiegu funkcjonowania urządzenia, mający na celu wyznaczenie określonej jego cechy lub właściwości. Badanie niezawodności urządzenia to badanie, w wyniku którego można wyznaczyć charakterystyki i wartości odpowiednich wskaźników niezawodności. Badania niezawodności wynikają i realizują cele formułowane i zaspokajające potrzeby producenta lub użytkownika. Badanie niezawodności ze względu na charakter przebiegu procesów eksploatacji jest długotrwałe, wymaga specjalnego wyposażenia stanowiska i w związku z tymi cechami jest także kosztowne. Jak w wielu dziedzinach, tak i w tej powszechne zastosowanie mają komputerowe systemy monitorowania niezawodności obiektów technicznych i człowieka [96].

Klasyfikacja ogólna obejmuje następujące kryteria podziału i rodzaje badań niezawodności:

1. Według kryterium wykonawcy wyróżnia się badania:
  - wewnętrzne – przeprowadzane przez producenta lub eksploatatora w jego systemie eksploatacji;
  - zewnętrzne – przeprowadzane przez instytucje, zespoły niezależne, z własnej inicjatywy lub na zlecenie.
2. Według celu i charakteru badań:
  - określające – mające na celu wyznaczenie wzorcowych, dyrektywnych charakterystyk i wartości wskaźników niezawodności o charakterze porównawczym;

- kontrolne – celem jest kontrola poziomu niezawodności i spełniania wyznaczonych wcześniej wymagań, np. poprzez porównanie z wynikami badań.
3. Według warunków, w jakich się je przeprowadza:
- laboratoryjne – realizowane w jednoznacznie określonych, zaprogramowanych i powtarzalnych warunkach;
  - eksploatacyjne – przeprowadzane w warunkach rzeczywistego zastosowania. Stanowią one najbardziej wiarygodne źródło danych o niezawodności. Badania tego typu mogą być realizowane jako kontrolowane lub niekontrolowane:
    - > badania eksploatacyjne kontrolowane – przeprowadzane analogicznie, w sensie organizacyjnym, jak laboratoryjne, ale w warunkach eksploatacji, u dobranych użytkowników, na egzemplarzach sprzętu wytypowanego i dostarczanego przez producenta;
    - > badania eksploatacyjne niekontrolowane – przeprowadzane na egzemplarzach urządzenia pochodzących z normalnej dostawy, u przypadkowo, losowo wybranych użytkowników. Pozyskiwanie danych o wynikach badań odbywa się najczęściej za pomocą ankiet, co niekiedy powoduje subiektywną ocenę niezawodności eksploatacyjnej urządzenia przez użytkownika.
  - badania laboratoryjno-eksploatacyjne – połączenie badania laboratoryjnego, np. na pierwszym jego etapie, z kontrolowanym badaniem eksploatacyjnym, jako weryfikującym wyniki badania laboratoryjnego.
4. Według rodzaju (zasad prowadzenia badania):
- normalne – gdzie zewnętrzne czynniki środowiskowe są zbliżone do warunków eksploatacji – zazwyczaj średnich obserwowanych podczas eksploatacji;
  - przyspieszone – przy zwiększonych narażeniach środowiskowych, jednak w taki sposób, aby został zachowany mechanizm uszkodzeń analogiczny jak w warunkach eksploatacji;
  - forsowne – realizowane przy zwiększonych narażeniach, w tym także bez zachowania zgodności mechanizmu uszkodzeń z warunkami eksploatacji, co także może być uwarunkowane dostępnością lub wygodą stosowania metody.

W wyniku przeprowadzanych badań uzyskuje się informację o zaistniałych uszkodzeniach urządzenia (układów funkcjonalnych i elementów) w postaci dyskretnej wartości przebiegu lub czasu, przy którym one wystąpiły. Opracowanie wyników badań polega na wyznaczeniu eksperymentalnych wartości parametrów lub przebiegu charakterystyk niezawodności z zastosowaniem wyrażen statystycznych.

### **Narzędzia analizy porównawczej danych o niezawodności**

Często najważniejszym zadaniem opracowania wyników badań jest weryfikacja hipotezy statystycznej, że charakterystyka niezawodności danego urządzenia ma określony typ rozkładu. W tym przypadku można posłużyć się testem chi-kwadrat (badanie sumy odchyłeń względnych wyników). Test zgodności chi-kwadrat (inaczej zwany testem Pearsona) służy do porównania ze sobą zaobserwowanego rozkładu badanej zmiennej z teoretycznym rozkładem, np. wykładniczym, normalnym, Weibulla. Polega on na postawieniu hipotezy zerowej  $H_0$ , mówiącej o tym, że badana cecha charakteryzuje się konkretnym, zakładanym rozkładem, np. wykładniczym, normalnym, itd. Hipoteza  $H_0$  jest to przypuszczenie, że rozkład

empiryczny badanego zjawiska odpowiada założonemu rozkładowi teoretycznemu o dystrybuancie  $F(x)$ . Jednocześnie stawiana jest alternatywna hipoteza  $H_1$ , która mówi o tym, że rozkład jest innego typu niż założony:

$$H_0 = F(x) = F_0(x), \quad (4.72)$$

$$H_1 = F(x) \neq F_0(x). \quad (4.73)$$

Przy testowaniu zgodności rozkładu badanej zmiennej z rozkładami teoretycznymi można stosować inne testy, np. test Kołmogorowa-Smirnowa, Andersona-Darlinga. Test zgodności chi-kwadrat w praktyce można wykorzystać na różne sposoby:

1. Sprawdzenie równoliczności grup.
2. Porównanie obserwacji z jej teoretycznym odpowiednikiem.

Sprawdzianem hipotezy zerowej jest statystyka wyrażona w następujący sposób [97]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(f_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}, \quad (4.74)$$

$f_i$  – oznacza liczbę zaobserwowanych wartości z danego przedziału,

$p_i$  – oznacza prawdopodobieństwo tego, że cecha  $X$  przyjmuje wartość należącą do  $i$ -tego przedziału;

$n \cdot p_i$  – oznacza liczbę jednostek, które powinny znaleźć się w  $i$ -tym przedziale (przy założeniu, że cecha ma rozkład zgodny z hipotetycznym).

Statystyka testu ma rozkład chi-kwadrat o  $\nu = k - r - 1$  stopniach swobody, gdzie  $r$  to liczba szacowanych parametrów, od których zależy rozkład cechy w populacji, natomiast  $k$  to liczba przedziałów klasowych lub wariantów cechy  $X$ . Jeżeli statystyka:

$$\chi^2 \leq \chi_\alpha^2 \quad (4.75)$$

to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej, w przeciwnym przypadku istnieją podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej.

W celu określenia powyższego musimy znać:

1. Wartość statystyki chi-kwadrat (wynik testu chi-kwadrat).
2. Liczbę stopni swobody.
3. Poziom istotności (poziom prawdopodobieństwa), dla którego dany wynik będzie wskazywał na istotną zależność.

Przyjmując, że interesuje nas, czy dany wynik jest istotny statystycznie przy wnioskowaniu  $p = 0,05$ , należy odczytać wartość statystyki chi-kwadrat z tablic. Jeżeli po porównaniu z uzyskaną w obliczeniach statystyką, wartość testu będzie większa niż wartość z tablicy uznamy, że wynik jest istotny statystycznie (wystąpiła istotna różnica rozkładów). Wiąże się to z odrzuceniem hipotezy zerowej. Jeżeli natomiast wartość testu będzie mniejsza niż wartość odczytana z tablicy to uznamy wtedy, że wynik nie jest istotny statystycznie (nie wystąpiła istotna różnica rozkładów) i nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej [98, 99].

## Określenie funkcji aproksymującej metodą najmniejszych kwadratów

Niech będzie dana funkcja:

$$y = a \cdot x + b. \quad (4.76)$$

Wartości  $x$  i  $y$  są dane, jako wyniki obserwacji badanych wielkości i stanowią zbiory punktów od  $i = 1$  do  $n$  (pomiarów). Pojedynczy pomiar przedstawia się jako pary wartości  $(x_i, y_i)$ . Poszukujemy parametrów  $a$  i  $b$  tworzących prostą i jednocześnie minimalizujących następujący warunek:

$$S(a, b) = \sum_{i=1}^n [y_i - y(x_i)]^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (a \cdot x_i + b)]^2. \quad (4.77)$$

Powyższy zapis w analizowanym przypadku przedstawia funkcje dwóch zmiennych  $a$  i  $b$ . Poszukujemy takich wartości  $a$  i  $b$ , dla których wartość  $S(a, b)$  jest minimalna. Funkcja wielu zmiennych ma minimum w punkcie, dla którego pochodne cząstkowe tej funkcji względem zmiennych są równe zero, a zatem w tym przypadku muszą być spełnione następujące warunki:

$$\begin{aligned} \frac{\partial S(a,b)}{\partial a} &= 0, \\ \frac{\partial S(a,b)}{\partial b} &= 0. \end{aligned} \quad (4.78)$$

Aproksymacja danych doświadczalnych krzywymi określana jest mianem regresji. W przypadku, gdy zaobserwowane dane odwzorowuje się równaniem prostej, takie odwzorowanie określa się jako regresję liniową. Regresję liniową stosuje się również do zależności wyrażanych funkcją wykładniczą z uwagi na fakt, że logarytm funkcji wykładniczej jest funkcją liniową.

## Określenie funkcji aproksymującej na podstawie wielomianów wyższych stopni

W przypadku, gdy odwzorowanie wyników obserwacji linią prostą nie daje oczekiwanych rezultatów lub wymaga się porównać aproksymację liniową z innymi metodami, należy odwołać się do innych odwzorowywań. Jedną z metod jest aproksymacja wielomianami wyższych rzędów. Jako funkcję odwzorowującą można przyjąć wielomian drugiego stopnia. Wówczas opis matematyczny ma następującą postać:

$$y(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2. \quad (4.79)$$

Funkcja  $S(a_0, a_1, a_2)$  dla  $[x_i, y_i, (i = 1, 2 \dots n)]$  ma teraz postać:

$$S(a_0, a_1, a_2) = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i - a_2 \cdot x_i^2)^2. \quad (4.80)$$

Pochodne cząstkowe mają postać przedstawioną poniżej:

$$\begin{aligned} \frac{\partial S(a_0, a_1, a_2)}{\partial a_0} &= 2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i - a_2 \cdot x_i^2) \cdot (-1) = 0, \\ \frac{\partial S(a_0, a_1, a_2)}{\partial a_1} &= 2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i - a_2 \cdot x_i^2) \cdot (-x_i) = 0, \\ \frac{\partial S(a_0, a_1, a_2)}{\partial a_2} &= 2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i - a_2 \cdot x_i^2) \cdot (-x_i^2) = 0, \end{aligned} \quad (4.81)$$

Po uporządkowaniu otrzymujemy:

$$\begin{aligned}
 a_0 \cdot n + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 &= \sum_{i=1}^n y_i, \\
 a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 &= \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i, \\
 a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^4 &= \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot y_i.
 \end{aligned}
 \tag{4.82}$$

Układy równań normalnych odpowiadające wielomianom aproksymacyjnym wyższych stopni rozbudowuje się w sposób analogiczny.

W badanym przypadku niewiadomymi są  $a_0, a_1, \dots, a_n$ , a sumy potęg  $x_i^k$  oraz iloczynów  $x_i^k y_i$  stanowią wolne wyrazy oraz współczynniki przy niewiadomych. W uogólnionym przypadku równanie ma postać:

$$\mathbf{X} \cdot \mathbf{A} = \mathbf{Y},
 \tag{4.83}$$

gdzie  $\mathbf{X}$ ,  $\mathbf{A}$  oraz  $\mathbf{Y}$  są macierzami. Dla wielomianu drugiego stopnia mają one następującą postać:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix},
 \tag{4.84}$$

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \end{bmatrix}.$$

Rozwiązanie uogólnionego układu równań uzyskujemy, mnożąc równanie przez  $\mathbf{X}^{-1}$  otrzymując rozwiązanie w postaci [100]:

$$\mathbf{A} = \mathbf{X}^{-1} \mathbf{Y}.
 \tag{4.85}$$

Poszukiwanie współczynników wielomianu aproksymacyjnego można uprościć wprowadzając Jakobiany. Jest to istotne z punktu widzenia szybkości wykonania obliczeń w systemach komputerowych. Wprowadzenie Jakobianu upraszcza tworzenie macierzy  $\mathbf{X}$ , której określenie wymaga największej pracochłonności i mocy obliczeniowej [101].

W tym celu wprowadzony zostanie wielomian aproksymacyjny stopnia  $m$ :

$$y(x) = p_m(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + \dots + a_m \cdot x^m.
 \tag{4.86}$$

Pochodne cząstkowe mają postać:

$\frac{\partial y(x)}{\partial a_0} = 1$	$\frac{\partial y(x)}{\partial a_1} = x$	$\frac{\partial y(x)}{\partial a_2} = x^2$	.....	$\frac{\partial y(x)}{\partial a_m} = x^m$
--	--	--	-------	--

(4.87)

Wartości pochodnych dla wartości pomiarowych  $x_i$  przyjmują wartości:

$\frac{\partial y(x_i)}{\partial a_0} = 1$	$\frac{\partial y(x_i)}{\partial a_1} = x_i$	$\frac{\partial y(x_i)}{\partial a_2} = x_i^2$	.....	$\frac{\partial y(x_i)}{\partial a_m} = x_i^m$
--	--	--	-------	--

(4.88)

Powyższe zapisujemy w postaci uogólnionej:

	$\frac{\partial y(x_i)}{\partial a_0}$	$\frac{\partial y(x_i)}{\partial a_1}$	$\frac{\partial y(x_i)}{\partial a_2}$	.....	$\frac{\partial y(x_i)}{\partial a_m}$
$x_1$	1	$x_1$	$x_1^2$	.....	$x_1^m$
$x_2$	1	$x_2$	$x_2^2$	.....	$x_2^m$
$x_3$	1	$x_3$	$x_3^2$	.....	$x_3^m$
.....	.....	.....	.....	.....	.....
$x_n$	1	$x_n$	$x_n^2$	.....	$x_n^m$

(4.89)

Wskaźnik numerujący wiersze zmienia się od 1 do  $n$  (liczba punktów aproksymowanych), natomiast indeks numerujący kolumny zmienia się od 1 do  $m$  (stopnia wielomianu).

Elementy tabeli tworzą macierz zwaną Jakobianem, który oznaczony zostanie literą  $J$ . W odniesieniu do teoretycznego przypadku aproksymacji dziesięciu pomiarów wielomianem drugiego stopnia otrzymamy Jakobian następującej postaci:

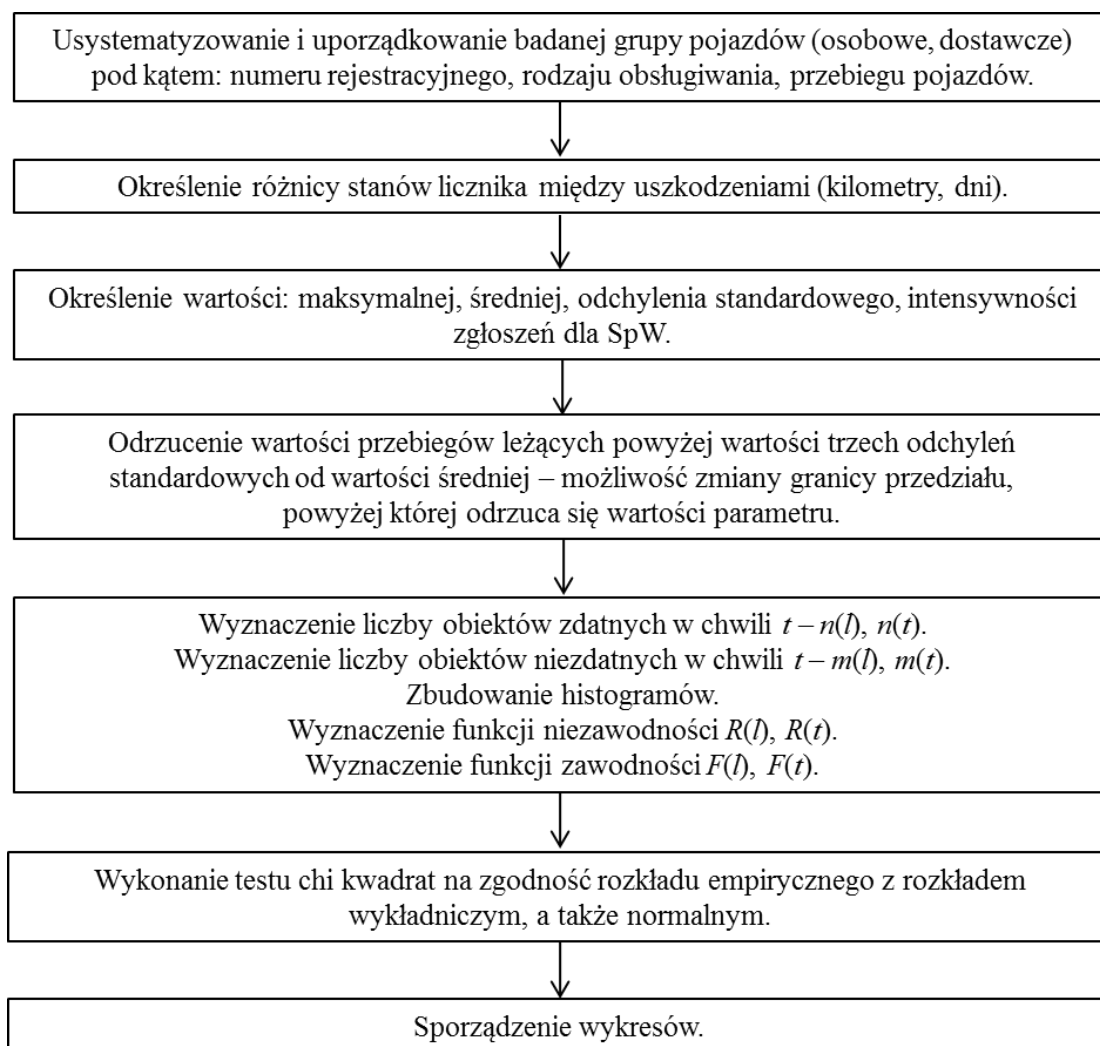
$$J = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 \\ 1 & x_2 & x_2^2 \\ 1 & x_3 & x_3^2 \\ 1 & x_4 & x_4^2 \\ 1 & x_5 & x_5^2 \\ 1 & x_6 & x_6^2 \\ 1 & x_7 & x_7^2 \\ 1 & x_8 & x_8^2 \\ 1 & x_9 & x_9^2 \\ 1 & x_4 & x_4^2 \end{bmatrix} \quad (4.90)$$

Po pomnożeniu Jakobianu transponowanego przez Jakobian otrzymamy macierz  $X$  opisana w poprzednim punkcie:

$$J^T \cdot J = X. \quad (4.91)$$

## 5. BADANIA WSTĘPNE I ANKIETOWE SYSTEMU EKSPLOATACJI SpW

Do opracowania analizy wstępnej zostały wykorzystane dane z kart usług technicznych samochodów osobowych oraz samochodów ogólnego przeznaczenia małej ładowności (dostawcze o dopuszczalnej masie całkowitej 3,5 tony). Informacje zawarte w kartach usług technicznych (numer rejestracyjny pojazdu, stan licznika pojazdu w chwili przyjęcia do naprawy, data i czas rozpoczęcia i zakończenia naprawy, ilość wykonanych roboczogodzin w czasie naprawy sprzętu, zużyte materiały – załącznik nr 1) umożliwiły przygotowanie wyjściowej bazy danych. Z uwagi na fakt, że karty usług technicznych były prowadzone w formie papierowej oraz wypełniane techniką ręczną, uzyskanie danych w postaci zdigitalizowanej było procesem bardzo czasochłonnym. W celu analizy danych został opracowany autorski zautomatyzowany arkusz kalkulacyjny Excel, który po zbudowaniu bazy danych umożliwił wykonywanie procesów obliczeniowych, których rezultatem było zbudowanie empirycznych rozkładów, a następnie określenie i potwierdzenie ich zgodności z rozkładem wykładniczym i normalnym oraz badanie innych parametrów niezawodnościowych. Obliczenia z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego Excel przebiegały w następujący sposób [102]:



Rys. 5.1. Algorytm działania modułu służącego do wykonania badań wstępnych. Opracowanie własne

## 5.1. Przedmiot i wyniki badań wstępnych

Badania dotyczyły grupy pojazdów i wykonane zostały dla przedziału ich okresu eksploatacji w SZ RP.

Tab. 5.1. Informacje o badanym SpW

Rodzaj pojazdów	Liczba zdarzeń	Ilość pojazdów w badaniu
Osobowe	96	14
Dostawcze do 3,5 tony	50	5

### Analizę wyników przeprowadzono w trzech obszarach:

1. Obszar nr 1, parametrów niezawodnościowych w zależności od przebiegu i czasu między kolejnymi uszkodzeniami.
2. Obszar nr 2, efektywności wykorzystania stanowisk obsługowo-naprawczych (rzeczywisty czas naprawy w stosunku do całkowitego czasu postoju na stanowisku obsługowo-naprawczym).
3. Obszar nr 3, porównawczy zgodności empirycznych rozkładów niesprawności z rozkładami teoretycznymi z wykorzystaniem testu chi-kwadrat.

### Badanie funkcji zawodności

Dla badanych grup pojazdów w wyniku prowadzonych obliczeń uzyskano w odniesieniu do analizy nr 1 wyniki, które przedstawiono na rysunkach (Tab. 5.2, Tab.5.3).

Tab. 5.2. Parametry uszkodzeń samochodów osobowych

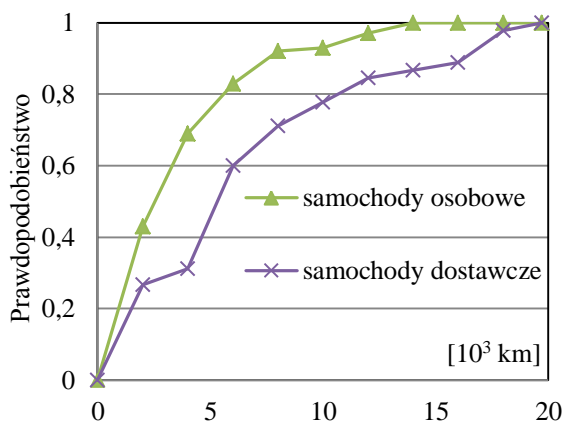
Parametr:	Wartość:	
Wartość średnia między uszkodzeniami	3,4 tys. [km]	75,6 [dni]
Odchylenie standardowe [S]	3,1 tys. [km]	61,7 [dni]
Wartość maksymalna	13,6 tys. [km]	249 [dni]
Współczynnik intensywności wystąpienia awarii	0,00029 [1/km]	0,0132 [1/dzień]
Wartość graniczna wykorzystana do obliczeń (powyżej 3S)	12,9 tys. [km]	260,7 [dni]

Tab. 5.3. Parametry uszkodzeń samochodów dostawczych

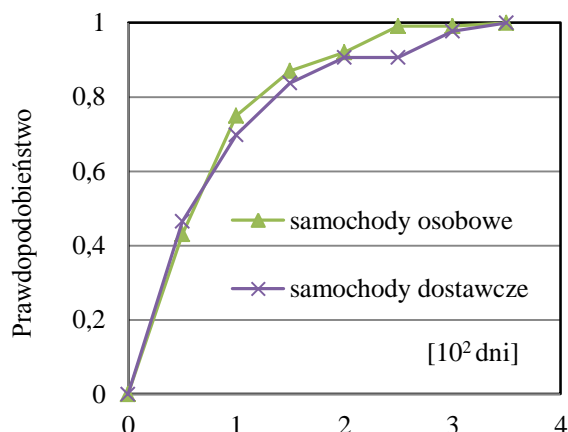
Parametr:	Wartość:	
Wartość średnia między uszkodzeniami	6,5 tys. [km]	75,6 [dni]
Odchylenie standardowe [S]	5,3 tys. [km]	74,9 [dni]
Wartość maksymalna	19,6 tys. [km]	331 [dni]
Współczynnik intensywności wystąpienia awarii	0,000154 [1/km]	0,0132 [1/dzień]
Wartość graniczna wykorzystana do obliczeń (powyżej 3S)	22,3 tys. [km]	300,2 [dni]

Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono funkcję zawodności, zarówno dla resursu wyrażonego w kilometrach, jak i czasie – dni. Dla resursu wyrażonego w kilometrach ma ona następującą postać (Rys. 5.2).





Rys. 5.2. Przebieg empirycznej funkcji  $F(l)$  badanych samochodów. Opracowanie własne



Rys. 5.3. Przebieg empirycznej funkcji  $F(t)$  samochodów w funkcji czasu. Opracowanie własne

Powyższa zależność (Rys. 5.2) pokazuje, że prawdopodobieństwo wystąpienia niesprawności obiektów na poziomie 75 procent następuje przy wartości zużycia zasobu między kolejnymi naprawami mierzonego w kilometrach i wynosi dla samochodów osobowych około 4500 km. Dla samochodów dostawczych wynosi około 8000 km.

Wykonano również charakterystyki w funkcji zużycia zasobu między naprawami mierzonego w czasie (Rys. 5.3). W tym przypadku 75 procent niesprawności następuje po upływie około 100 dni użytkowania zarówno dla samochodów osobowych, jak i dostawczych.

### Badanie wykorzystania stanowisk obsługowo-naprawczych

W odniesieniu do obszaru nr 2 (efektywności wykorzystania stanowisk obsługowo-naprawczych) otrzymano następujące parametry, które wykorzystano do dalszych badań (Tab. 5.4, Tab. 5.5):

Tab. 5.4. Parametry naprawy samochodów osobowych

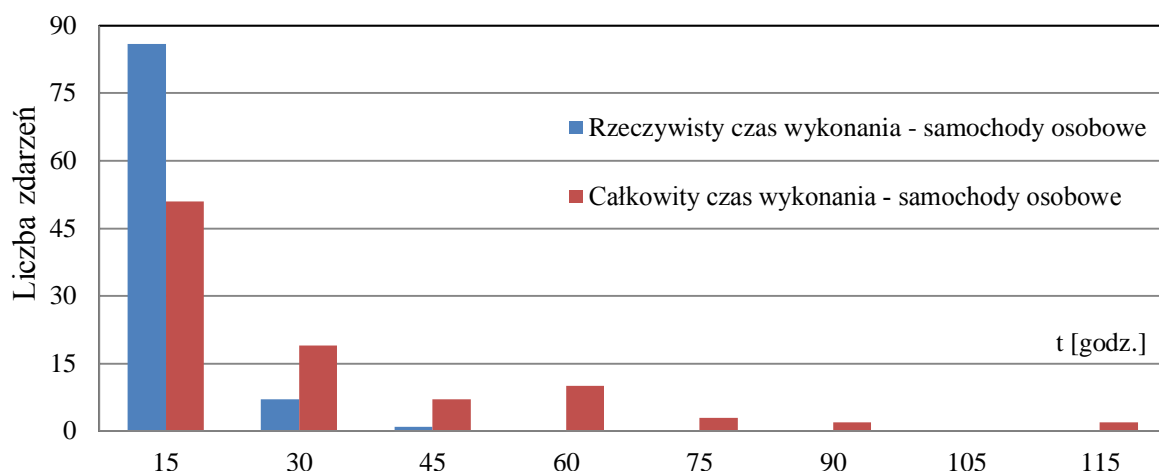
Parametr:	Wartość:	
	Rzeczywisty czas naprawy:	Całkowity czas postoju na stanowisku obsługowym:
Wartość średnia [rbh]	9,7 [rbh]	27,0 [rbh]
Odchylenie standardowe [S]	13,0 [rbh]	33,6 [rbh]
Wartość maksymalna	114,5 [rbh]	210 [rbh]

Tab. 5.5. Parametry naprawy samochodów dostawczych

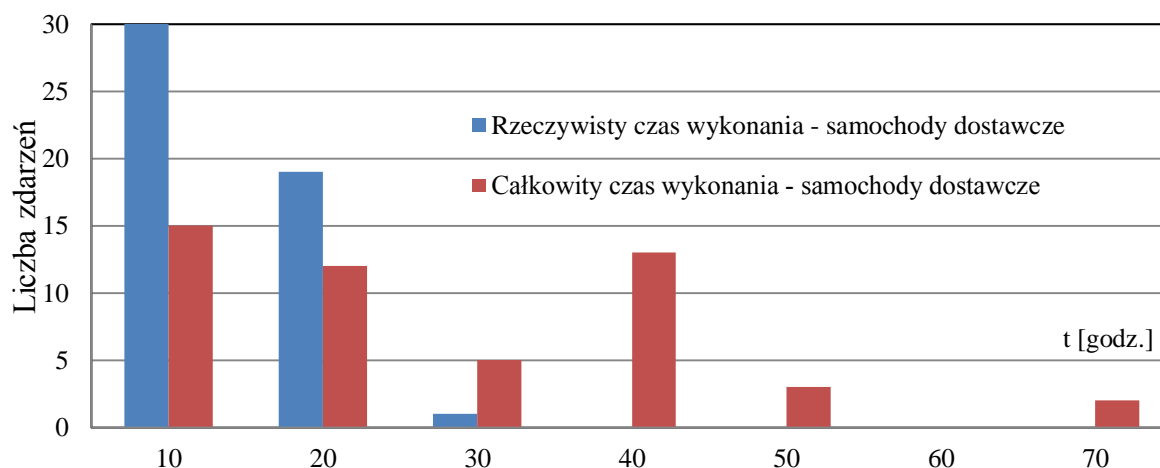
Parametr:	Wartość:	
	Rzeczywisty czas naprawy:	Całkowity czas postoju na stanowisku obsługowym:
Wartość średnia [rbh]	9,8 [rbh]	25,8 [rbh]
Odchylenie standardowe [S]	7,4 [rbh]	26,9 [rbh]
Wartość maksymalna	38,5 [rbh]	162,0 [rbh]

Jednym z zadań prowadzonego badania było określenie efektywności wykorzystania stanowisk obsługowo-naprawczych bazy obsługowej wykonującej obsługiwania i naprawy analizowanych obiektów technicznych. Do tej oceny posłużono się porównaniem dwóch

wartości: ilości roboczogodzin wykonanych w czasie pojedynczej naprawy i całkowitego czasu postoju w serwisie na stanowisku obsługowo-naprawczym. Wykonując porównanie dla określonej wartości czasów napraw uzyskano wyniki, które przedstawiono na poniższych wykresach (Rys. 5.4, Rys. 5.5):



Rys. 5.4. Histogram rzeczywistego i całkowitego czasu naprawy. Opracowanie własne



Rys. 5.5. Histogram rzeczywistego i całkowitego czasu naprawy. Opracowanie własne

Powyższe wykresy pokazują, że większość napraw wymagała nakładu pracy w przedziale od 0 do 30 godzin. Wykres pokazuje, że jest znaczna ilość napraw dla których czas postoju w serwisie przewyższa wartość 30 godzin. Jednoznacznie należy postawić wniosek, że część napraw nie wymaga tak długiego postoju w stacji obsługi pojazdów.

Na podstawie wywiadów z personelem uczestniczącym w procesie odtwarzania gotowości technicznej sprzętu należy dostrzec, że do czynników mających decydujący wpływ na przedstawione wyniki badań należy zaliczyć: zabezpieczenie części zamiennych (w tym planowanie zapasów technicznych środków materiałowych), realizacja pozyskania części zamiennych w oparciu o ustawę „Prawo zamówień publicznych”, a także czas obiegu dokumentów.

### **Badania zgodności rozkładów empirycznych z teoretycznymi**

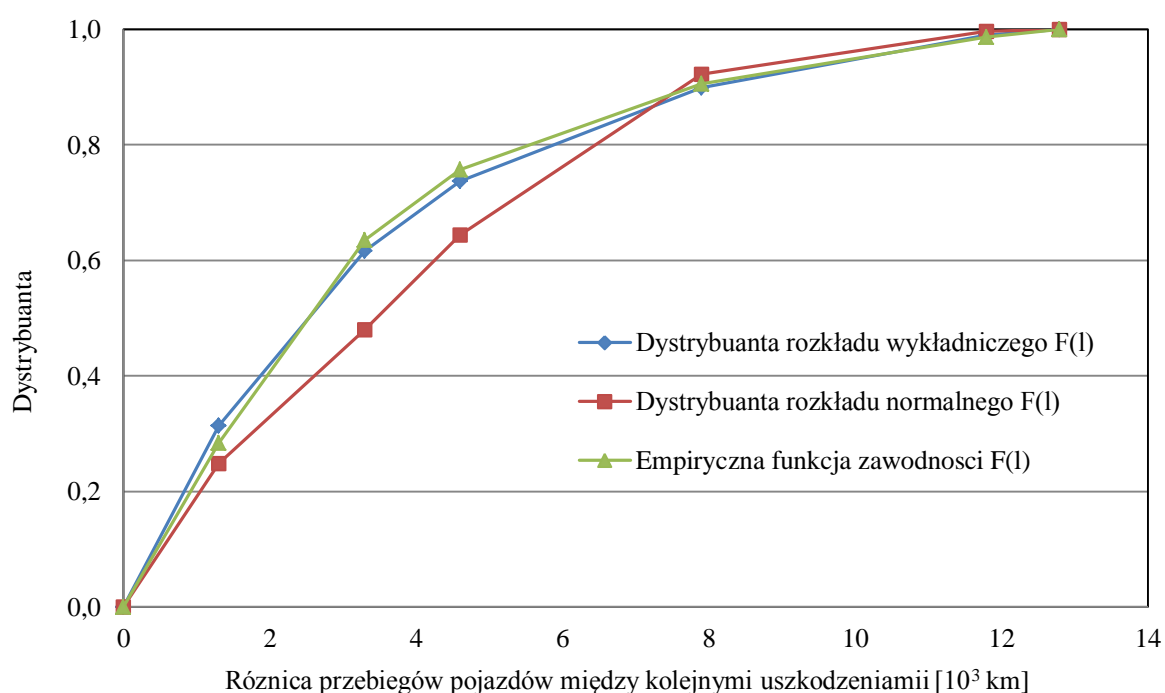
Ostatnią częścią badań było określenie charakterystyki uszkodzeń w analizowanej grupie obiektów technicznych. W tym celu zbudowano rozkłady empiryczne. Przekształcono je do postaci spełniającej wymogi badania testem chi-kwadrat. Określono wartości oczekiwane uszkodzeń dla zadanych przedziałów. Obliczono sumaryczną wartość odchylenia względnych

(parametr chi-kwadrat) i porównano ją z tablicową wartością testu dla zadanego poziomu istotności i wskazanej ilości stopni swobody.

Po zbadaniu zgodności rozkładu empirycznego z rozkładami teoretycznymi, w przypadku samochodów osobowych dla resursu wyrażonego w kilometrach, uzyskano następujące wyniki (Tab. 5.6, Rys. 5.6).

Tab. 5.6. Wynik testu chi kwadrat. Samochody osobowe – km. Opracowanie własne

Rozkład wykładniczy		Rozkład normalny	
Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa	Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa
Samochody osobowe (Poziom istotności $p=0,05$ , Liczba stopni swobody - 5)			
1,3	11,07	43,8	11,07



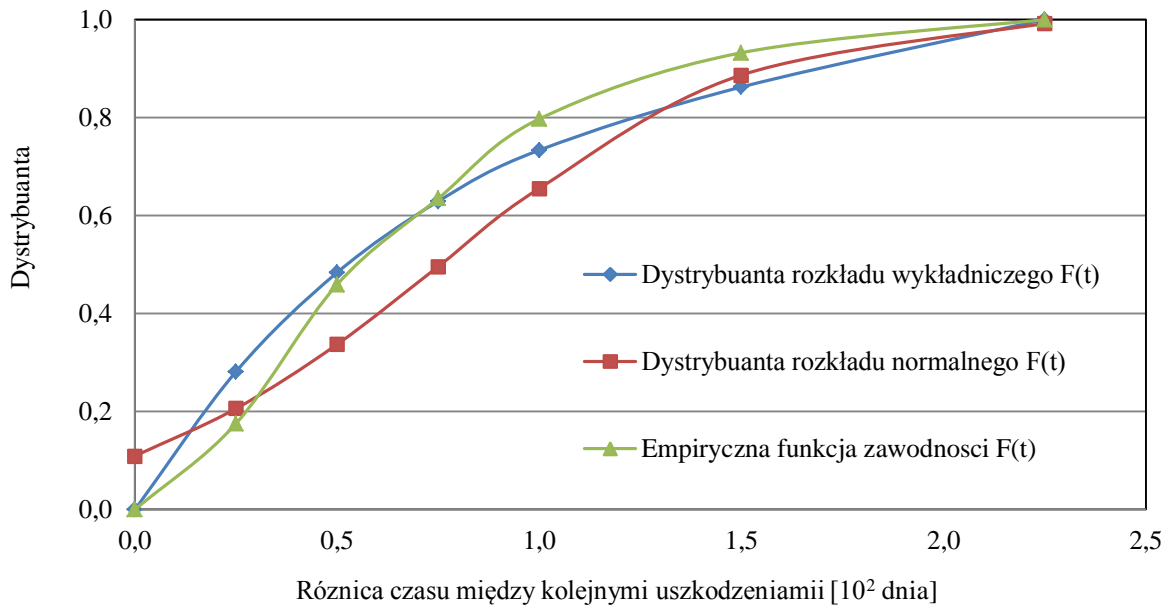
Rys. 5.6. Dystrybuanty zawodności samochodów osobowych dla resursu wyrażonego w km. Opracowanie własne

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że w przypadku badanej grupy samochodów osobowych dla resursu mierzonego w kilometrach, empiryczny rozkład uszkodzeń może być odwzorowany rozkładem wykładniczym ( $\lambda = 0,00029$  [1/km]).

Podobne badanie przeprowadzono dla wykorzystania resursu mierzonego w funkcji czasu (dni) dla samochodów osobowych. Otrzymano podobne wnioski w kontekście odwzorowania uszkodzeń rozkładem wykładniczym ( $\lambda = 0,0132$  [1/dzień]).

Tab. 5.7. Wynik testu chi kwadrat. Samochody osobowe – dni. Opracowanie własne

Rozkład wykładniczy		Rozkład normalny	
Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa	Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa
Samochody osobowe (Poziom istotności $p=0,05$ , Liczba stopni swobody - 5)			
10,12	11,07	22,02	11,07

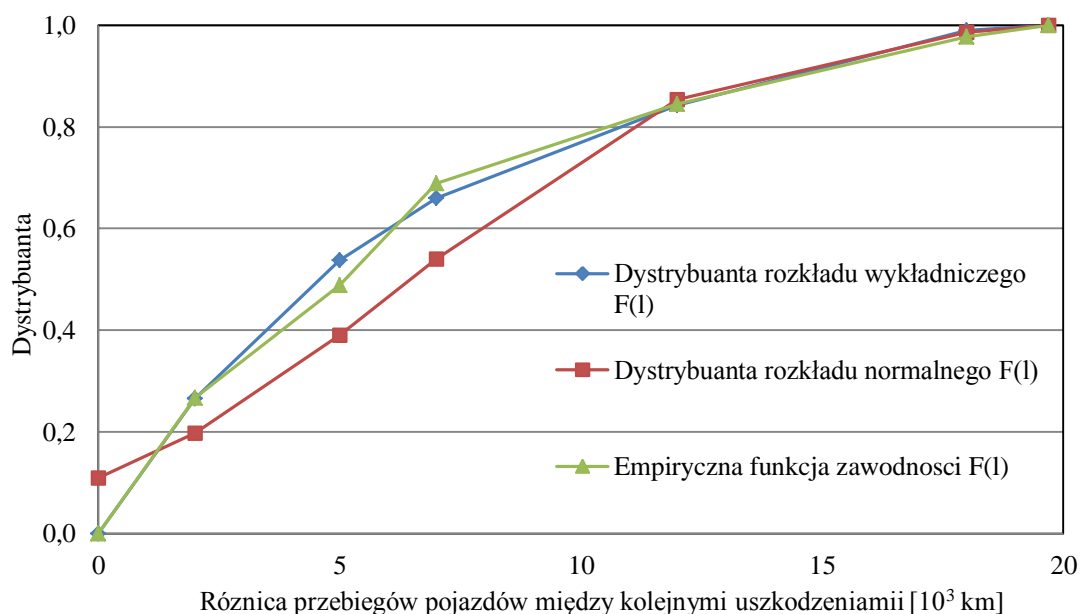


Rys. 5.7. Dystrybuanty zawodności samochodów osobowych dla ресурсu wyrażonego w dniach. Opracowanie własne

Podobne analizy wykonano dla samochodów dostawczych w funkcji zużycia ресурсu mierzonego w funkcji przebytej drogi oraz czasu. Wyniki przedstawiono poniżej.

Tab. 5.8. Wynik testu chi kwadrat. Samochody dostawcze – km. Opracowanie własne

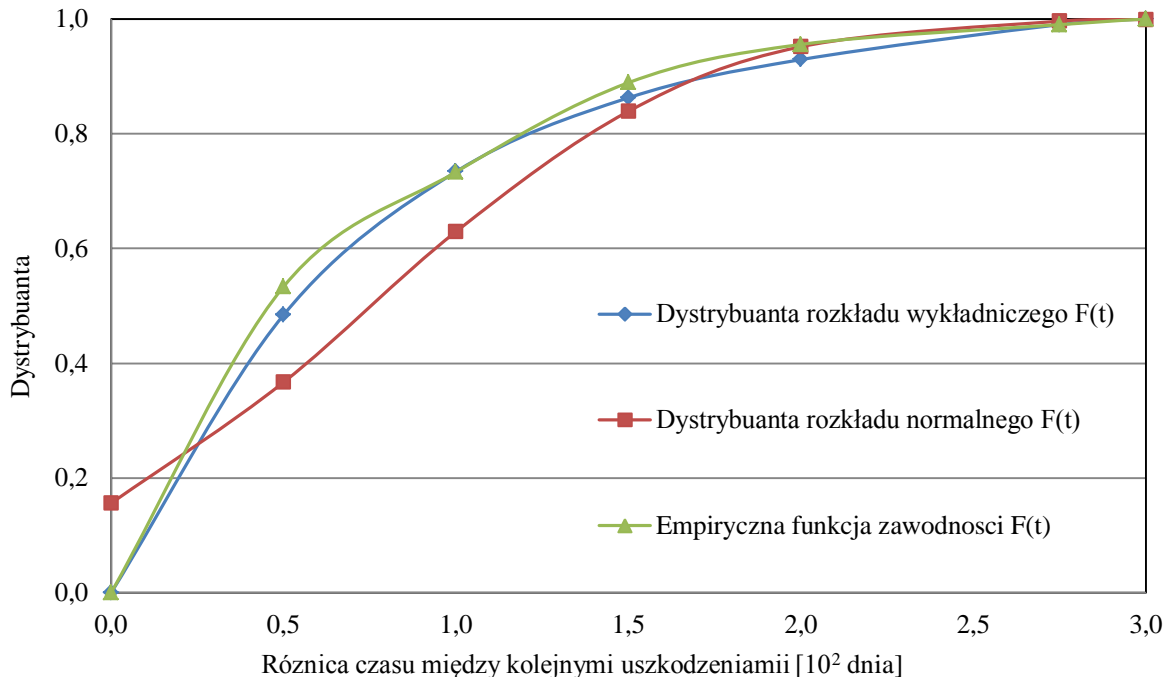
Rozkład wykładniczy		Rozkład normalny	
Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa	Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa
Samochody dostawcze (Poziom istotności $p=0,05$ , Liczba stopni swobody - 5)			
4,65	11,07	26,73	11,07



Rys. 5.8. Dystrybuanty zawodności samochodów dostawczych dla ресурсu wyrażonego w km. Opracowanie własne

Tab. 5.9. Wynik testu chi kwadrat. Samochody dostawcze – dni. Opracowanie własne

Rozkład wykładniczy		Rozkład normalny	
Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa	Wartość testu obliczeniowa	Wartość testu tablicowa
Samochody dostawcze (Poziom istotności $p=0,05$ , Liczba stopni swobody - 5)			
2,88	11,07	31,67	11,07



Rys. 5.9. Dystrybuanty zawodności samochodów dostawczych dla resursu wyrażonego w dniach. Opracowanie własne

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że w przypadku badanej grupy samochodów dostawczych dla resursu mierzonego w kilometrach, empiryczny rozkład uszkodzeń może być odwzorowany rozkładem wykładniczym ( $\lambda = 0,000154$  [1/km]).

Podobne badanie przeprowadzono dla wykorzystania resursu mierzonego w funkcji czasu (dni) dla samochodów dostawczych. Otrzymano podobne wnioski w kontekście odwzorowania uszkodzeń rozkładem wykładniczym ( $\lambda = 0,0132$  [1/dzień]).

### Koncepcja przyszłych badań

Na podstawie powyższej, wstępnej analizy zaplanowano wykonanie dalszych badań. Zaplanowano rozszerzenie badanej grupy pojazdów o kołowy transporter opancerzony (KTO). W dalszej części pracy analizę danych wykonano z wykorzystaniem oprogramowania Statistica (badania wstępne wykonano po przygotowaniu autorskiego arkusza kalkulacyjnego opracowanego w programie Excel, pakietu Microsoft Office). Powyższa prezentacja tworzy podstawę do dalszej analizy w zakresie przedstawienia koncepcji narzędzia do planowania obsługi, napraw, zużycia części zamiennych oraz określania struktury zapasów. Pozwoli to wykorzystywać zasoby bazy obsługowo-naprawczej Sił Zbrojnych RP w sposób bardziej efektywny.

## 5.2. Przygotowanie badania ankietowego

Doświadczenia, rozmowy i swobodne wywiady z personelem eksploatującym sprzęt wojskowy, planującym eksploatację oraz zarządzającym w podsystemach technicznych na różnych poziomach struktury organizacyjnej skłoniły autora do podjęcia analizy, istotnie złożonego obszaru, jakim jest zarządzanie eksploatacją rozległej floty sprzętu wojskowego w kontekście racjonalizowania czasu obsługiwań i napraw oraz procesów im towarzyszących, tj. planowania napraw, definiowania poziomu zapasów części zamiennych, obiegu dokumentów księgowych oraz optymalizowania obiegu informacji w obszarze prawa zamówień publicznych. W tym celu autor, w wyniku przeprowadzenia wywiadów niestrukturyzowanych, skonstruował diagram, którego celem było opisanie istotnych czynników wpływających na czas realizacji zadań w podsystemie obsługowo-naprawczym sprzętu wojskowego na różnych poziomach organizacyjnych. Schemat został opracowany na podstawie obserwacji eksploatatorów oraz literatury [103].

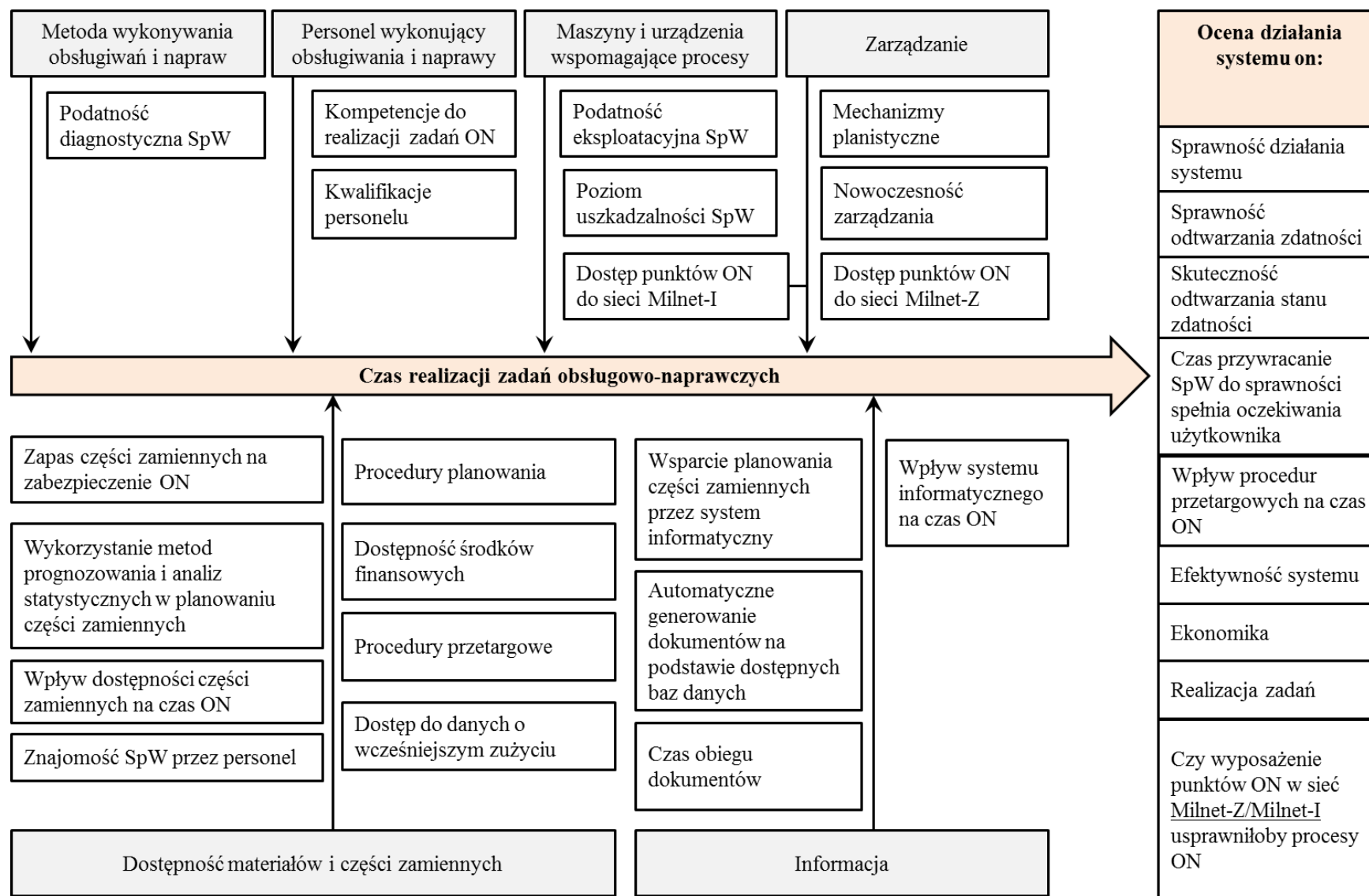
Wspomniany diagram (Ishikawy) jest narzędziem stosowanym do prowadzenia analizy związków przyczynowo-skutkowych. Jego istotą jest graficzna prezentacja analizy wzajemnych powiązań przyczyn, wywołujących określony problem. W przypadku decyzji eksploatacyjnych metoda jest również określana mianem 5M, gdyż podstawowe grupy przyczyn to: ludzie – manpower, maszyna – machine, metody – methods, materiały – materials, zarządzanie – management.

W swoim opracowaniu, uwzględniając opinie respondentów i ekspertów, autor zdecydował się na opisanie związków przyczynowo skutkowych w poniższy sposób (Rys. 5.10), uwzględniając w analizie takie czynniki jak: metoda wykonywania obsługiwań i napraw, personel wykonujący obsługiwanie i naprawy, maszyny i urządzenia wspomagające procesy, zarządzanie, dostępność materiałów i części zamiennych oraz informacja.

Na podstawie przedstawionego diagramu Ishikawy opisującego analizowany problem badawczy autor opracował ankietę dla ekspertów. Badanie zostało przeprowadzone wśród dwóch grup słuchaczy kursu logistycznego realizowanego w WAT. Pierwsza liczyła 32 respondentów, a druga liczyła 63 słuchaczy<sup>10</sup>. Umożliwiło to uzyskanie całkowitej próby wynoszącej 95 uczestników kursu logistycznego, który realizowany był w Wojskowej Akademii Technicznej z przeznaczeniem dla oficerów planowanych do wyznaczenia na stanowiska zaszerogowane do stopnia etatowego podpułkownika w pionie zabezpieczenia, czyli posiadających duże doświadczenie w badanym obszarze. Żołnierze pochodzili z różnorodnych jednostek w kraju, dzięki czemu uzyskano losowość doboru próby. Pierwsza próba pozwoliła uzyskać wstępny obraz badanego problemu, a jednocześnie zweryfikować poprawność ankiety, która w ocenie respondentów została oceniona bardzo wysoko w kontekście zakresu analizowanego problemu. Jednocześnie w wyniku analizy jej wyników zdecydowano się na poszerzenie kwestionariusza ankiety o cztery dodatkowe pytania dotyczące możliwości elektronicznej wymiany informacji między punktami obsługowo-naprawczymi oraz ewentualnego rozwoju informatycznej sieci komunikacyjnej w obrębie najniższych szczebli systemu obsługowo-naprawczego jednostek wojskowych i jego wpływu na efektywność procesów realizacji usług i napraw sprzętu SZ RP.

---

<sup>10</sup> Pytania 23 – 27 zawarte w ankiecie zadano dodatkowo drugiej grupie słuchaczy.



Rys. 5.10. Wykres Ishikawy – zależności w systemie O-N. Opracowanie własne

## Ankieta dla ekspertów

### Szanowni Państwo,

Celem ankiety jest uzyskanie danych do analizy funkcjonowania systemu obsługowo-naprawczego w wojsku. Ankieta ukierunkowana jest na ocenę dostępności części zamiennych, elastyczności procedur przetargowych, obiegu dokumentów księgowych oraz oczekiwań użytkowników wobec realizacji usług i napraw.

Państwa doświadczenie pozwoli ocenić działanie systemu i zaproponować procedury optymalizujące realizację zadań.

*Dziękuję za wypełnienie ankiety*

Proszę o udzielenie odpowiedzi na poniższe pytania:

1. Podatność eksploatacyjna SpW jest:

niska	raczej niska	przeciętna	raczej wysoka	wysoka
-------	--------------	------------	---------------	--------

2. Poziom uszkodzalności SpW jest:

niski	raczej niski	przeciętny	raczej wysoki	wysoki
-------	--------------	------------	---------------	--------

3. Podatność diagnostyczna sprzętu wojskowego (SpW) jest:

niska	raczej niska	przeciętna	raczej wysoka	wysoka
-------	--------------	------------	---------------	--------

4. Sprawność działania systemu usług i napraw jest:

niska	raczej niska	przeciętna	raczej wysoka	wysoka
-------	--------------	------------	---------------	--------

5. Sprawność odtwarzania stanu zdadności jest:

niska	raczej niska	przeciętna	raczej wysoka	wysoka
-------	--------------	------------	---------------	--------

6. Skuteczność odtwarzania stanu zdadności jest:

niska	raczej niska	przeciętna	raczej wysoka	wysoka
-------	--------------	------------	---------------	--------

7. Zapas części zamiennych wymaganych do zabezpieczenia usług i napraw jest utrzymywany na oczekiwanym poziomie?

nie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	tak
-----	------------	-------------	------------	-----

Uwagi łasne:.....

8. Czas przywracania sprawności sprzętu wojskowego spełnia oczekiwania uczestników systemu obsługowo-naprawczego?

nie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	tak
-----	------------	-------------	------------	-----

Uwagi łasne:.....

9. Czy punkty serwisowe jednostki wojskowej posiadają wymagane kompetencje do realizacji zadań dotyczących obsługiwań?

nie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	tak
-----	------------	-------------	------------	-----

10. Czy wykorzystywany system informatyczny wspomagający eksploatację sprzętu wojskowego skutecznie wspiera planowanie: napraw oraz zapasów części zamiennych?

nie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	tak
-----	------------	-------------	------------	-----

Uwagi łasne:.....

11. Czy wykorzystanie baz danych do automatycznego generowania dokumentacji eksploatacyjnej spełnia oczekiwania uczestników systemu?

nie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	tak
-----	------------	-------------	------------	-----

Uwagi łasne:.....

12. Czy wykorzystanie metod prognozowania i analiz statystycznych w procesie planowania zapasów części zamiennych i obsługiwań jest zasadne?

nie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	tak
-----	------------	-------------	------------	-----



Uwagi łasne:.....

13. Jak znacząco poniższe czynniki wpływają na wydłużenie czasu obsługi i napraw SpW?

<b>Dostępność części</b>	nieistotnie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	istotnie
<b>Obieg dokumentów</b>	nieistotnie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	istotnie
<b>Procedury przetargowe (interwencyjny zakupu tśm – pozaplanowo)</b>	nieistotnie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	istotnie
<b>Mechanizmy planistyczne</b>	nieistotnie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	istotnie
<b>System informatyczny</b>	nieistotnie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	istotnie

14. W jakim stopniu dostępność części zamiennych w magazynie zależy od podanych czynników?

<b>Procedury planowania</b>	nieistotnie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	istotnie
<b>Środki finansowe</b>	nieistotnie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	istotnie
<b>Procedury przetargowe (interwencyjny zakupu tśm – pozaplanowo)</b>	nieistotnie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	istotnie
<b>Znajomość sprzętu</b>	nieistotnie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	istotnie
<b>Dostęp do uprzednich danych o zużyciu</b>	nieistotnie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	istotnie

15. Jak Pani/Pan ocenia organizację systemu obsługowo-naprawczego macierzystej jednostki wojskowej w obszarach?

<b>Efektywność (nakład/efekt)</b>	nisko	raczej nisko	przeciętnie	raczej wysoko	wysoko
<b>Ekonomika (zasadność kosztów)</b>	nisko	raczej nisko	przeciętnie	raczej wysoko	wysoko
<b>Kwalifikacje personelu</b>	nisko	raczej nisko	przeciętnie	raczej wysoko	wysoko
<b>Nowoczesność zarządzania</b>	nisko	raczej nisko	przeciętnie	raczej wysoko	wysoko
<b>Realizację zadań</b>	nisko	raczej nisko	przeciętnie	raczej wysoko	wysoko

16. Proszę określić **wartość średnią czasu obiegu dokumentów księgowych**, do której można zastosować stwierdzenie:

Czas krótki:	Czas standardowy:	Czas długi:
..... [dni]	..... [dni]	..... [dni]

17. Proszę określić **wartość średnią czasu oczekiwania na części zamienne** do której można zastosować stwierdzenie:

Czas krótki:	Czas standardowy:	Czas długi:
..... [dni]	..... [dni]	..... [dni]

18. Proszę określić **wartość średnią czasu oczekiwania na realizację procedury przetargowej (interwencyjnego zakupu tśm - pozaplanowo)**, do której można zastosować stwierdzenie:

Czas krótki:	Czas standardowy:	Czas długi:
..... [dni]	..... [dni]	..... [dni]

19. Na podstawie swojego doświadczenia oraz przyjętych wcześniej wartości czasu (pytania 16, 17, 18) proszę określić prawdopodobieństwo realizacji obsługi lub naprawy bez zbędnej zwłoki. **Jeżeli jest tak, że:**

czas obiegu dokumentów	czas oczekiwania na części	czas procedury przetargowej	Prawdopodobieństwo realizacji
jest krótki	jest krótki	jest krótki	
jest krótki	jest krótki	jest długi	
jest krótki	jest długi	jest krótki	
jest krótki	jest długi	jest długi	
jest długi	jest krótki	jest krótki	
jest długi	jest krótki	jest długi	
jest długi	jest długi	jest krótki	
jest długi	jest długi	jest długi	
jest standardowy	jest standardowy	jest standardowy	
jest długi	jest standardowy	jest krótki	
jest krótki	jest długi	jest standardowy	
jest standardowy	jest krótki	jest długi	

20. Proszę określić swój staż pracy w obszarze eksploatacji sprzętu wojskowego:

Przy sprzęcie	W planowaniu logistycznym	Kierowanie logistyką
.....[lat]	.....[lat]	.....[lat]

21. Jaki Rodzaj Sił Zbrojnych Pani/Pan reprezentuje?

Wojska Lądowe	Siły Powietrzne	Marynarka Wojenna	Wojska Specjalne	Wojska Obrony Terytorialnej	Żandarmeria Wojskowa	Inspektorat Wsparcia Sił Zbrojnych	Inne
---------------	-----------------	-------------------	------------------	-----------------------------	----------------------	------------------------------------	------

22. Jaka jednostkę wojskową Pani/Pan reprezentuje?

Jednostka ogólnowojskowa	Wojskowy Oddział Gospodarczy	Inna jednostka wojskowa	Regionalna Baza Logistyczna	Dowództwo RSZ
--------------------------	------------------------------	-------------------------	-----------------------------	---------------

23. Eksploatacją jakiego rodzaju i typu sprzętu kierował się Pan/Pani wypełniając ankietę np. KTO Rosomak, samolot F-16, śmigłowiec Mi-2, W-3, Leopard 2, BWP, Iveco Eurocargo, Jelcz, itd.? Proszę o wymienienie kilku egzemplarzy sprzętu.

<i>Sprzęt kołowy</i>	<i>Sprzęt gąsiennicowy</i>
1. ....	1. ....
2. ....	2. ....
3. ....	3. ....
4. ....	4. ....

24. Czy punkty serwisowe jednostki wojskowej posiadają doprowadzoną zastrzeżoną sieć komputerową umożliwiającą płynną wymianę danych między komórkami organizacyjnymi JW oraz różnych szczebli Sił Zbrojnych?

nie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	tak
-----	------------	-------------	------------	-----

25. Czy punkty serwisowe jednostki wojskowej posiadają doprowadzoną jawną sieć komputerową umożliwiającą płynną wymianę danych między komórkami organizacyjnymi i firmami np. zaopatrującymi w tśm?

nie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	tak
-----	------------	-------------	------------	-----

26. Czy wyposażenie punktów serwisowych jednostki wojskowej w dostęp do sieci Milnet-Z (zastrzeżona sieć komputerowa) usprawniłoby realizację obsługi i napraw?

nie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	tak
-----	------------	-------------	------------	-----

27. Czy wyposażenie punktów serwisowych jednostki wojskowej w dostęp do jawnej sieci komputerowej (Internet) usprawniłoby realizację obsługi i napraw?

nie	raczej nie	przeciętnie	raczej tak	tak
-----	------------	-------------	------------	-----

*Dziękuję*

### 5.3. Prezentacja opinii ekspertów uczestniczących w badaniu ankietowym

Odpowiedzi respondentów uzyskano w dwóch kategoriach, tj. liczbowych i lingwistycznych. W przypadku odpowiedzi lingwistycznych przyporządkowano im pięciostopniową skalę numeryczną, tj.: Niska – 1, Raczej niska – 2, Przeciętna – 3, Raczej wysoka – 4, Wysoka – 5. Skala ta została w dalszej części badania wykorzystana do opisu osi wykresów przedstawiających rezultaty badań.

Otrzymane wyniki sprawdzono pod kątem odstawiania od pozostałych. W tym celu wykorzystano kryterium Grubbs'a. Analiza została wykonana z wykorzystaniem autorskiego arkusza kalkulacyjnego wspomaganego przez oprogramowanie Visual Basic for Applications (VBA). Dalsza analiza wyników badania ankietowego została wykonana z wykorzystaniem pakietu Statistica oraz Excel.

Na podstawie otrzymanych wyników obliczono średnią arytmetyczną odpowiedzi respondentów dla poszczególnych pytań, których odpowiedzi przekształcono wcześniej w postać ilościową celem utworzenia oceny rankingowej pytań. Przedstawia to poniższa tabela (Tab. 5.10).

Tab. 5.10. Ranking odpowiedzi. Opracowanie własne

Lp	Skrócony opis pytania	Nr pytania	Średnia
1	Wpływ procedur przetargowych na czas O-N	13c	4,49
2	Wpływ dostępności części zamiennych na czas O-N	13a	4,48
3	Wpływ środków finansowych na czas O-N	14b	4,39
4	Wpływ procedur przetargowych na dostępność części zamiennych	14c	4,37
5	Wpływ dostępności do sieci zastrzeżonej na efektywność działania punktów serwisowych	26	4,13
6	Wpływ znajomości SpW na dostępność części zamiennych	14d	4,13
7	Wpływ dostępności do sieci jawnej na efektywność działania punktów serwisowych	27	4,13
8	Wpływ procedur planowania na dostępność części zamiennych	14a	4,09
9	Wpływ dostępności do uprzednich danych o zużyciu na proces planowania	14e	4,07
10	Zasadność stosowania analizy statystycznej i metod prognozowania w planowaniu	12	3,89
11	Wpływ mechanizmów planistycznych na czas O-N	13d	3,83
12	Wpływ obiegu dokumentów na czas O-N	13b	3,73
13	Dostępność sieci jawnej w stacjach serwisowych	25	3,56
14	Wpływ systemu informatycznego na czas O-N	13e	3,41
15	Nowoczesność zarządzania	15d	3,41
16	Kompetencje stacji serwisowych	9	3,35
17	Efektywność (nakład/efekt)	15a	3,34
18	Kwalifikacje personelu	15c	3,34
19	Realizacja zadań	15e	3,34
20	Dostępność sieci zastrzeżonej w punktach serwisowych	24	3,32
21	Podatność eksploatacyjna	1	3,32
22	Podatność diagnostyczna	3	3,29
23	Ekonomika (zasadność kosztów)	15b	3,22
24	Skuteczność odtwarzania stanu zdadności	6	3,03
25	Poziom uszkodzalności	2	3,01
26	Sprawność odtwarzania zdadności	5	2,92
27	Wykorzystanie baz danych w generowaniu dokumentów	11	2,91
28	Wykorzystanie systemu informatycznego w planowaniu	10	2,87
29	Sprawność działania Systemu O-N	4	2,85
30	Czas przywracania sprawności sprzętu	8	2,73
31	Zapasy części zamiennych	7	2,57

Celem rozszerzenia informacji dotyczącej odpowiedzi udzielanych przez uczestników badania dokonano szerokiej analizy odpowiedzi udzielonych na zadane pytania. Zostało to przedstawione w kolejnej tabeli.

Tab. 5.11. Wybrane statystyki opisowe pytań ankiety. Warianty dotyczą pytania nr 19. Opracowanie własne

Zmienna	Liczba uczestników	Średnia	Mediana	Moda	Liczność (Mody)	Minimum	Maksimum	Dolny (Kwartył.)	Górny (Kwartył.)	Wariancja	Odch. std.	Wsp. zmn.	Skośność	Kurtoza
Pytanie 1	95	3,32	3,00	3,0	58,0	2,0	5,0	3,0	4,0	0,39	0,62	18,80	0,47	0,36
Pytanie 2	95	3,01	3,00	3,0	46,0	1,0	5,0	2,0	4,0	0,58	0,76	25,41	-0,02	-0,48
Pytanie 3	95	3,29	3,00	3,0	52,0	2,0	5,0	3,0	4,0	0,53	0,73	22,08	0,33	0,05
Pytanie 4	95	2,85	3,00	3,0	41,0	1,0	5,0	2,0	3,0	0,68	0,82	28,91	0,28	-0,30
Pytanie 5	95	2,92	3,00	3,0	45,0	1,0	5,0	2,0	3,0	0,59	0,77	26,31	0,15	-0,49
Pytanie 6	95	3,03	3,00	3,0	50,0	2,0	5,0	3,0	3,0	0,54	0,74	24,27	0,28	-0,26
Pytanie 7	95	2,57	2,00	2,0	40,0	1,0	5,0	2,0	3,0	0,82	0,91	35,31	0,27	-0,46
Pytanie 8	95	2,73	3,00	2,0	39,0	1,0	5,0	2,0	4,0	1,09	1,05	38,37	0,40	-0,58
Pytanie 9	95	3,35	3,00	4,0	36,0	1,0	5,0	3,0	4,0	1,10	1,05	31,35	-0,40	-0,39
Pytanie 10	95	2,87	3,00	3,0	42,0	1,0	5,0	2,0	4,0	0,90	0,95	32,99	-0,28	-0,31
Pytanie 11	95	2,91	3,00	3,0	35,0	1,0	5,0	2,0	4,0	1,11	1,05	36,23	-0,31	-0,63
Pytanie 12	95	3,89	4,00	4,0	42,0	1,0	5,0	3,0	5,0	1,03	1,02	26,08	-0,97	0,66
Pytanie 13a	95	4,48	4,00	5,0	64,0	0,0	5,0	4,0	5,0	0,85	0,92	20,54	-2,29	6,22
Pytanie 13b	95	3,73	4,00	4,0	33,0	0,0	5,0	3,0	5,0	1,22	1,11	29,67	-0,83	0,67
Pytanie 13c	95	4,49	4,00	5,0	61,0	0,0	5,0	4,0	5,0	0,72	0,85	18,89	-2,43	8,28
Pytanie 13d	95	3,83	4,00	4,0	42,0	0,0	5,0	3,0	4,0	0,91	0,95	24,86	-1,01	2,12
Pytanie 13e	95	3,41	3,00	3,0	30,0	0,0	5,0	3,0	4,0	1,18	1,09	31,86	-0,27	-0,23
Pytanie 14a	95	4,09	4,00	4,0	38,0	0,0	5,0	4,0	5,0	0,92	0,96	23,38	-1,31	2,60
Pytanie 14b	95	4,39	4,00	5,0	59,0	0,0	5,0	4,0	5,0	0,94	0,97	22,12	-1,93	4,21
Pytanie 14c	95	4,37	4,00	5,0	54,0	0,0	5,0	4,0	5,0	0,89	0,95	21,65	-2,19	6,28
Pytanie 14d	95	4,13	4,00	5,0	40,0	0,0	5,0	4,0	5,0	0,94	0,97	23,51	-1,33	2,51
Pytanie 14e	95	4,07	4,00	5,0	38,0	0,0	5,0	3,0	5,0	0,94	0,97	23,82	-1,15	2,05
Pytanie 15a	95	3,34	3,00	3,0	45,0	0,0	5,0	3,0	4,0	0,69	0,83	24,96	-0,71	2,20
Pytanie 15b	95	3,22	3,00	3,0	41,0	0,0	5,0	3,0	4,0	0,77	0,88	27,24	-0,93	1,47
Pytanie 15c	95	3,34	3,00	3,0	45,0	0,0	5,0	3,0	4,0	0,69	0,83	24,96	-0,71	2,20
Pytanie 15d	95	3,34	3,00	3,0	45,0	0,0	5,0	3,0	4,0	0,69	0,83	24,96	-0,71	2,20
Pytanie 15e	95	3,34	3,00	3,0	45,0	0,0	5,0	3,0	4,0	0,69	0,83	24,96	-0,71	2,20
Pytanie 16a	86	3,14	2,00	1,0	33,0	0,0	15,0	1,0	3,0	11,85	3,44	109,81	2,13	4,15

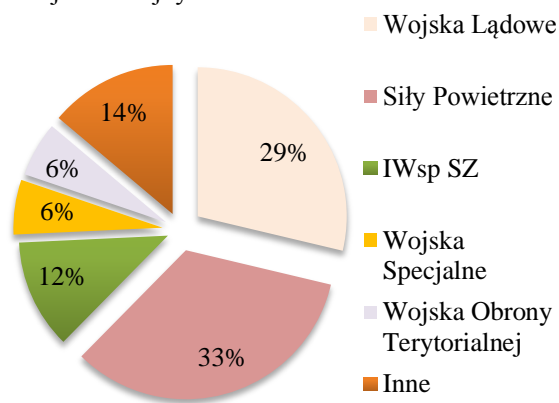
Zmienna	Liczba uczestników	Średnia	Mediana	Moda	Liczność (Mody)	Minimum	Maksimum	Dolny (Kwartył.)	Górny (Kwartył.)	Wariancja	Odch. std.	Wsp. zmn.	Skośność	Kurtoza	
Pytanie 16b	86	7,74	4,50	3,0	25,0	1,0	60,0	3,0	7,0	85,99	9,27	119,74	3,10	12,22	
Pytanie 16c	86	17,12	10,00	30,0	15,0	1,0	100,0	5,0	30,0	358,09	18,92	110,56	2,55	7,71	
Pytanie 17a	86	4,79	2,00	1,0	25,0	0,0	30,0	1,0	7,0	33,00	5,74	119,92	2,41	7,21	
Pytanie 17b	85	11,62	7,00	7,0	12,0	0,5	90,0	3,0	14,0	182,14	13,50	116,11	3,14	14,08	
Pytanie 17c	84	28,58	21,00	30,0	19,0	1,0	180,0	7,0	30,0	1098,08	33,14	115,96	2,76	9,35	
Pytanie 18a	76	21,29	19,00	30,0	25,0	1,0	60,0	7,0	30,0	257,54	16,05	75,38	1,05	0,69	
Pytanie 18b	77	49,03	45,00	30,0	18,0	3,0	180,0	30,0	60,0	1470,99	38,35	78,22	1,74	3,82	
Pytanie 18c	77	90,09	60,00	90,0	20,0	5,0	365,0	40,0	90,0	7207,98	84,90	94,24	2,16	4,65	
Pytanie 19.	Wariant 1	82	92,50	100,00	100,0	48,0	50,0	100,0	90,0	100,0	169,91	13,03	14,09	-2,17	4,19
	Wariant 2	82	67,26	70,00	80,0	18,0	5,0	100,0	50,0	80,0	524,79	22,91	34,06	-0,89	0,37
	Wariant 3	82	64,33	70,00	80,0	18,0	5,0	100,0	50,0	80,0	425,16	20,62	32,05	-0,92	0,82
	Wariant 5	82	68,05	72,50	80,0	21,0	5,0	100,0	60,0	80,0	457,26	21,38	31,42	-1,09	0,81
	Wariant 4	82	49,88	50,00	50,0	16,0	5,0	100,0	30,0	70,0	546,90	23,39	46,89	-0,15	-0,84
	Wariant 6	82	53,96	60,00	70,0	17,0	5,0	90,0	40,0	70,0	481,32	21,94	40,66	-0,45	-0,65
	Wariant 7	82	54,51	60,00	70,0	14,0	5,0	100,0	40,0	70,0	481,86	21,95	40,27	-0,38	-0,45
	Wariant 8	82	33,96	30,00	50,0	15,0	5,0	100,0	10,0	50,0	512,80	22,65	66,68	0,40	-0,58
	Wariant 9	82	71,71	70,00	60,0	16,0	20,0	100,0	60,0	90,0	311,86	17,66	24,63	-0,36	-0,09
	Wariant 10	82	66,52	70,00	60,0	16,0	5,0	100,0	60,0	80,0	281,91	16,79	25,24	-0,46	1,23
	Wariant 11	82	60,85	60,00	60,0	16,0	5,0	100,0	50,0	70,0	317,16	17,81	29,27	-0,76	0,98
	Wariant 12	82	55,91	60,00	60,0	15,0	5,0	95,0	40,0	75,0	493,29	22,21	39,72	-0,55	-0,41
Pytanie 20a	95	9,57	10,00	15,0	13,0	0,0	30,0	4,0	15,0	45,95	6,78	70,84	0,45	-0,28	
Pytanie 20b	95	4,76	3,00	0,0	39,0	0,0	24,0	0,0	7,0	32,55	5,71	119,91	1,38	1,54	
Pytanie 20c	95	2,57	0,00	0,0	56,0	0,0	30,0	0,0	3,0	20,97	4,58	178,30	3,02	13,24	
Pytanie 21	95	2,68	2,00	2,0	33,0	1,0	6,0	1,0	4,0	3,01	1,73	64,59	0,93	-0,49	
Pytanie 24	59	3,12	3,00	5,0	15,0	1,0	5,0	2,0	5,0	2,04	1,43	45,77	0,01	-1,33	
Pytanie 25	60	3,23	3,00	3,0	17,0	1,0	5,0	2,0	4,0	1,74	1,32	40,81	-0,13	-1,06	
Pytanie 26	61	3,85	4,00	5,0	22,0	1,0	5,0	3,0	5,0	1,29	1,14	29,53	-0,75	-0,31	
Pytanie 27	62	3,84	4,00	5,0	20,0	1,0	5,0	3,0	5,0	1,09	1,04	27,18	-0,56	-0,45	

Na podstawie zajęcia pozycji pytania w tabeli rankingowej (Tab. 5.10) nasuwa się wniosek, że sprawą szczególnego zainteresowania w kontekście analizowanego problemu badawczego powinien być obszar zamówień publicznych, dostępności części zamiennych, obiegu informacji oraz efektywności procesów zachodzących w systemie O-N. Powyższą tezę można postawić na podstawie rankingu oraz przeciętnych ocen dotyczących efektywności działania analizowanego obszaru.

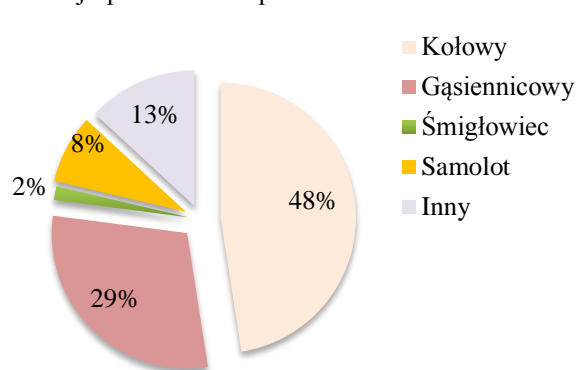
W dalszej części przeprowadzono analizę polegającą na ocenie struktury respondentów, tj. przynależności do jednostki wojskowej, Rodzaju Sił Zbrojnych, rodzaju zasadniczego sprzętu wojskowego eksploatowanego w ich jednostkach macierzystych. Ponadto dokonano analizy pytań dotyczących oceny systemu obsługowo-naprawczego w obszarze działalności służbowej uczestników badania. Jedną z części arkusza ankiety była poświęcona ocenie procesów, tj. obiegu dokumentów księgowych, funkcjonowania obszaru zamówień publicznych oraz dostępności części zamiennych. Posłużyła ona do przygotowania danych wejściowych do oceny jakościowej funkcjonowania systemu obsługowo-naprawczego z wykorzystaniem logiki rozmytej. Wykorzystano do tego celu oprogramowanie MATLAB [104]. Model narzędzia stanowi propozycję na potrzeby odbiorców usług serwisowych, w aspekcie nadzoru nad terminowością wykonania zadania obsługowo-naprawczego przez organy podsystemu technicznego Sił Zbrojnych.

Poniżej przedstawiono opis struktury uczestników badania ankietowego oraz sprzętu eksploatowanego w obszarze działalności służbowej respondentów uczestniczących w badaniu.

Rodzaj Sił Zbrojnych



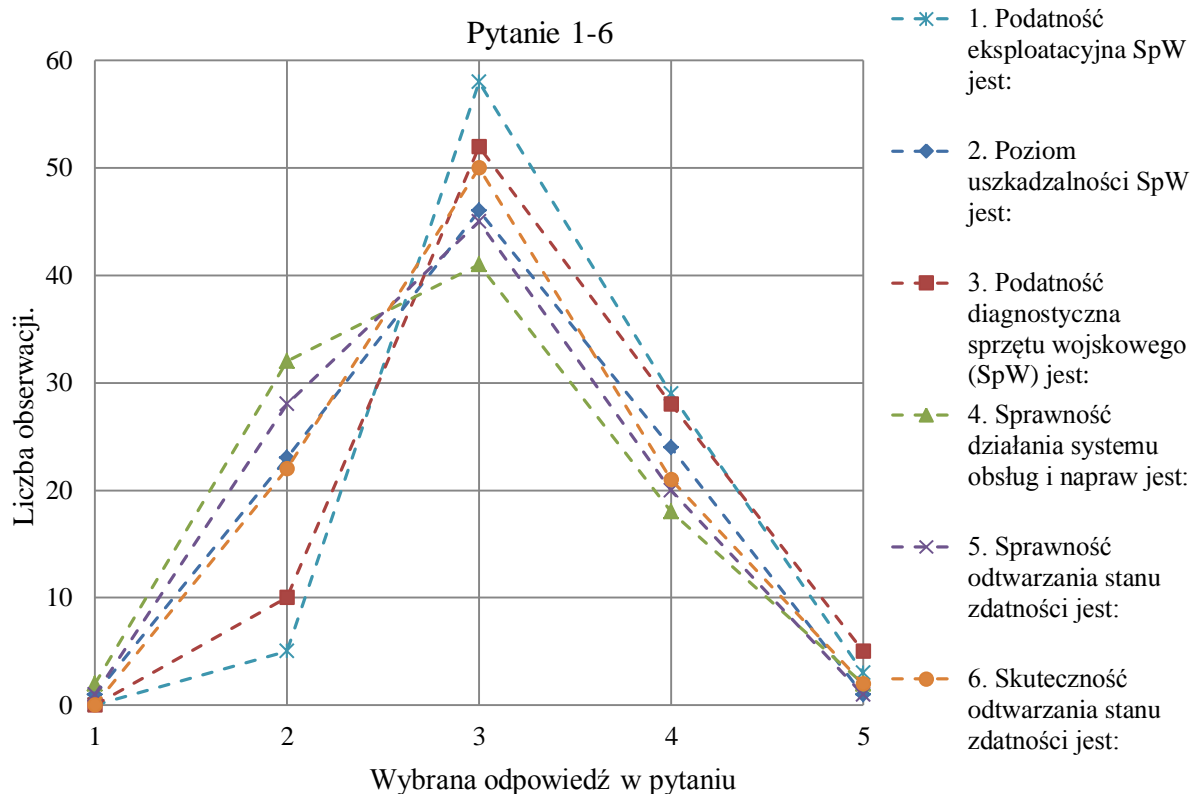
Rodzaj SpW w JW. respondentów.



Rys. 5.11. Przynależność respondentów do Rodzajów Sił Zbrojnych. Opracowanie własne

Rys. 5.12. Rodzaj SpW eksploatowanego w JW respondentów. Opracowanie własne

W dalszej części analizy dokonano przedstawienia porównawczego wyników odpowiedzi między poszczególnymi pytaniami z podziałem na grupy tematyczne. Do pierwszej grupy zaliczono pytania dotyczące podatności obiektu technicznego na czynności obsługowo-naprawcze (Rys. 5.13, Tab. 5.12). Przedstawione wyniki pokazują, że średnia ocena respondentów w odniesieniu do analizowanej sfery eksploatacyjnej kształtuje się na poziomie przeciętnym, a pozostałe wyniki zasadniczo rozkładają się równomiernie po obu stronach wartości średniej. Przedstawiono również grupę analizowanych pytań względem przynależności respondentów do Rodzaju Sił Zbrojnych (Rys. 5.14 – Rys. 5.17).

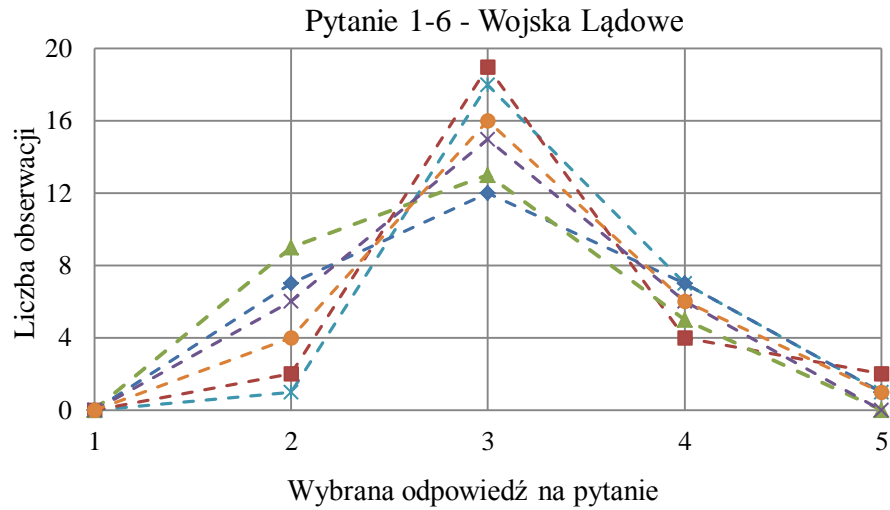


Rys. 5.13. Porównanie wyników odpowiedzi w pytaniach od nr 1 do nr 6. Opracowanie własne

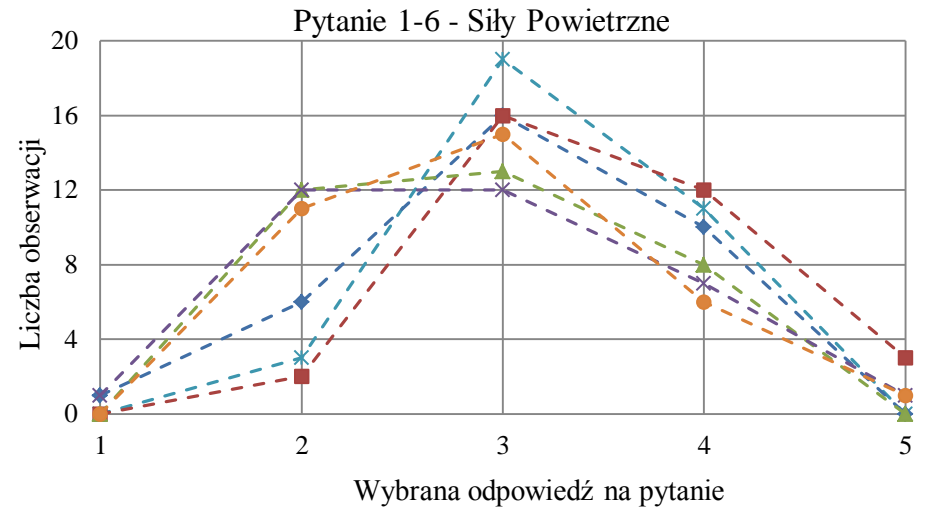
Tab. 5.12. Zestawienie odpowiedzi respondentów na pytania od 1 do 6. Opracowanie własne

	Niska (1)	Raczej niska (2)	Przeciętna (3)	Raczej wysoka (4)	Wysoka (5)
1. Podatność eksploatacyjna SpW jest:	0	5	58	29	3
2. Poziom uszkodzalności SpW jest:	1	23	46	24	1
3. Podatność diagnostyczna sprzętu wojskowego (SpW) jest:	0	10	52	28	5
4. Sprawność działania systemu obsług i napraw jest:	2	32	41	18	2
5. Sprawność odtwarzania stanu zdadności jest:	1	28	45	20	1
6. Skuteczność odtwarzania stanu zdadności jest:	0	22	50	21	2
<b>Skala: odpowiedzi respondentów</b>	<b>0 - 12</b>	<b>13 - 24</b>	<b>25 - 36</b>	<b>37 - 48</b>	<b>49 - 60</b>

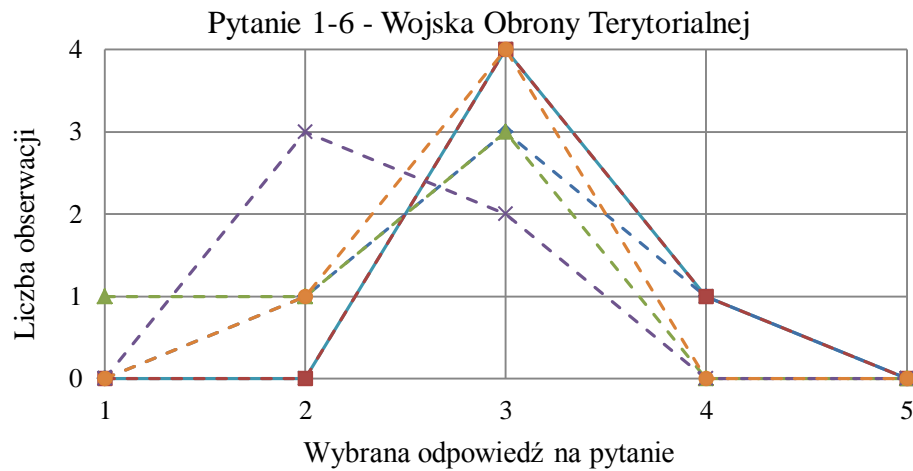




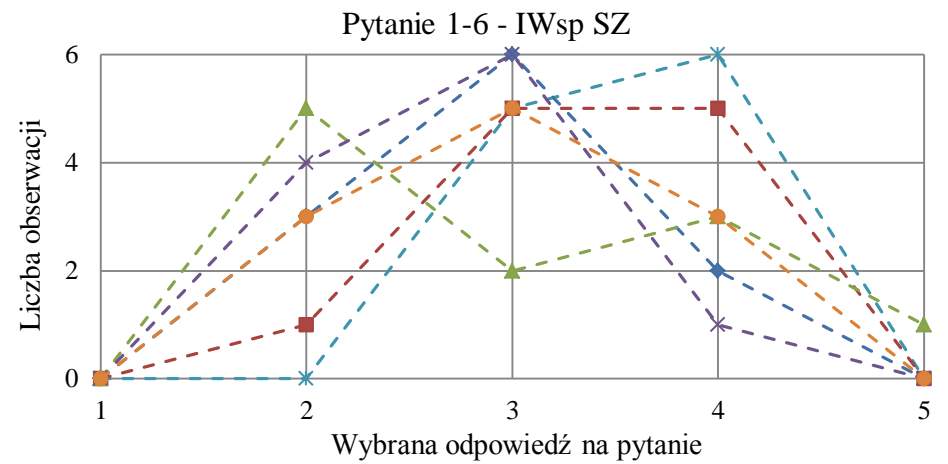
Rys. 5.14. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 1 do nr 6. WLąd. Opracowanie własne



Rys. 5.15. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 1 do nr 6. SP. Opracowanie własne



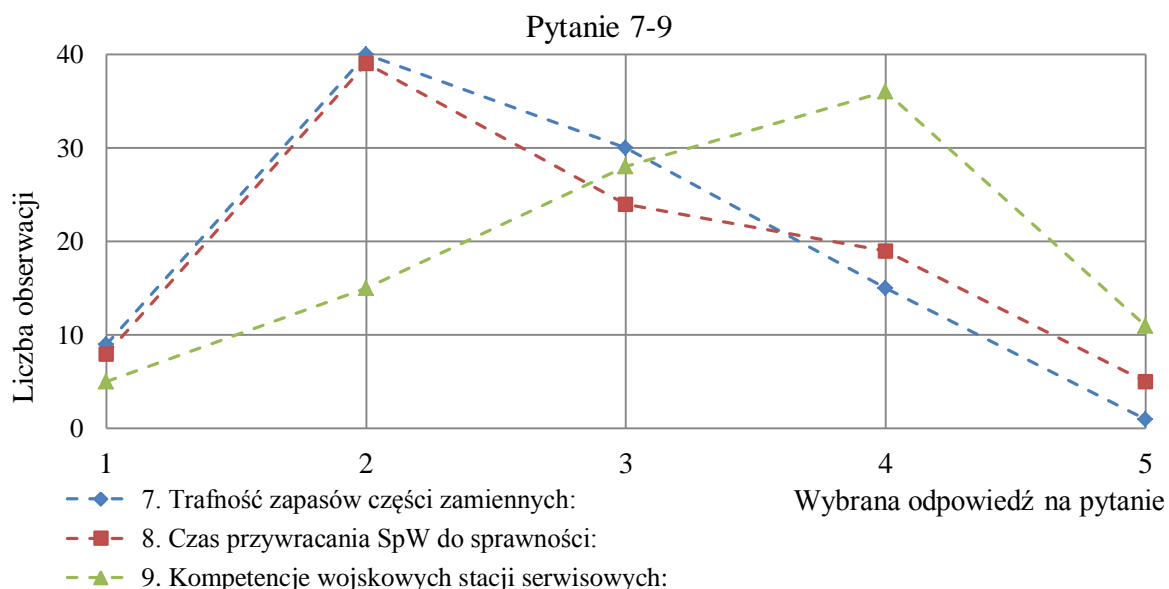
Rys. 5.16. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 1 do nr 6. WOT. Opracowanie własne



Rys. 5.17. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 1 do nr 6. Pozostałe JW. Opracowanie własne

Z wykresów grupujących odpowiedzi respondentów w zależności od przynależności do Rodzaju Sił Zbrojnych wynika, że charakter poszczególnych zależności jest zbliżony do sumarycznego wykresu odpowiedzi respondentów. Uczestnicy badania odpowiedziami zwracają uwagę, że sprawność działania systemu obsług i napraw zasadniczo kształtuje się na przeciętnym poziomie. Odstępstwo jest zauważalne w przypadku Sił Powietrznych, gdzie wartość maksymalna odpowiedzi znajduje się między odpowiedziami nr 2 i 3, a zatem poniżej średniej. Uwagę zwraca odpowiedź respondentów należących do Wojsk Obrony Terytorialnej (WOT). W tym przypadku, mimo eksploatacji sprzętu o stosunkowo niskim poziomie złożoności technicznej, zauważa się również niski poziom sprawności działania systemu obsług i napraw. Ponadto w odniesieniu do charakterystyk IWsp SZ (Rys. 5.17) należy zwrócić uwagę na charakterystykę sprawności działania systemu obsług i napraw. Występują na niej dwa punkty wierzchołkowe, ale maksimum skupia się wokół wartości „raczej niska”. Świadczy to o potrzebie przeglądu i rozwijania przedmiotowego obszaru.

Do drugiej grupy pytań zaliczono pytania dotyczące części zamiennych, czasu przywracania SpW do sprawności oraz posiadanych kompetencji w stacjach obsługowych (Rys. 5.18, Tab. 5.13 ).



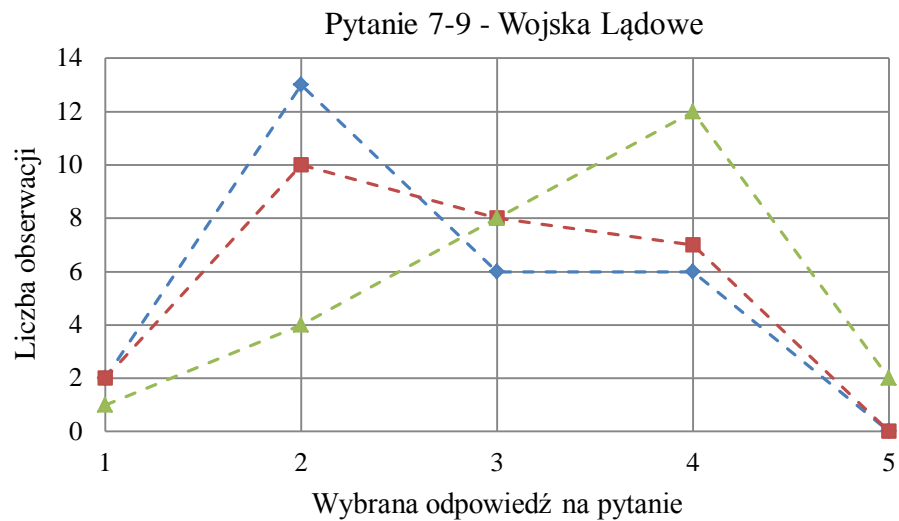
Rys. 5.18. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 7 do nr 9. Opracowanie własne

Tab. 5.13. Zestawienia odpowiedzi respondentów na pytania od 7 do 9. Opracowanie własne

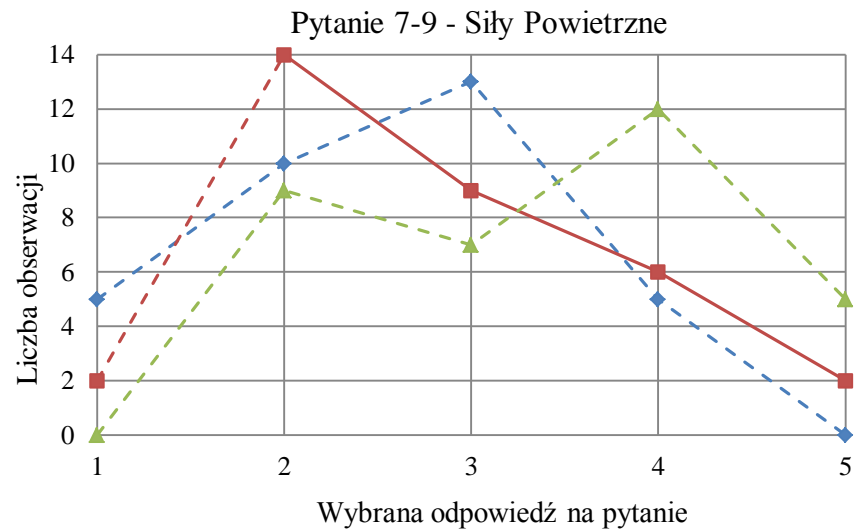
	Nie (1)	Raczej nie (2)	Przeciętnie (3)	Raczej tak (4)	Tak (5)
7. Trafność zapasów części zamiennych:	9	40	30	15	1
8. Czas przywracania SpW do sprawności:	8	39	24	19	5
9. Kompetencje wojskowych stacji serwisowych:	5	15	28	36	11
<b>Skala: odpowiedzi respondentów</b>	<b>0 - 8</b>	<b>9 - 16</b>	<b>17 - 24</b>	<b>25 - 32</b>	<b>33 - 40</b>

Na podstawie wykresu (Rys. 5.18) oraz (Tab. 5.13) należy zauważyć, że czas przywracania sprzętu wojskowego nie spełnia oczekiwań uczestników systemu. Jednym z czynników istotnie wpływającym na przebieg procesów jest nieadekwatny poziom i trafność posiadanych zapasów magazynowych. Inaczej przedstawia się ocena kompetencji punktów obsługowych. Zasadnicza większość respondentów pozytywnie ocenia zdolności stacji serwisowych. Powyższa analiza dotyczy uśrednionego wyniku badanej grupy respondentów. W związku z powyższym zaprezentowano oceny ekspertów w kontekście przynależności do Rodzajów Sił Zbrojnych (Rys. 5.19 – Rys. 5.22).

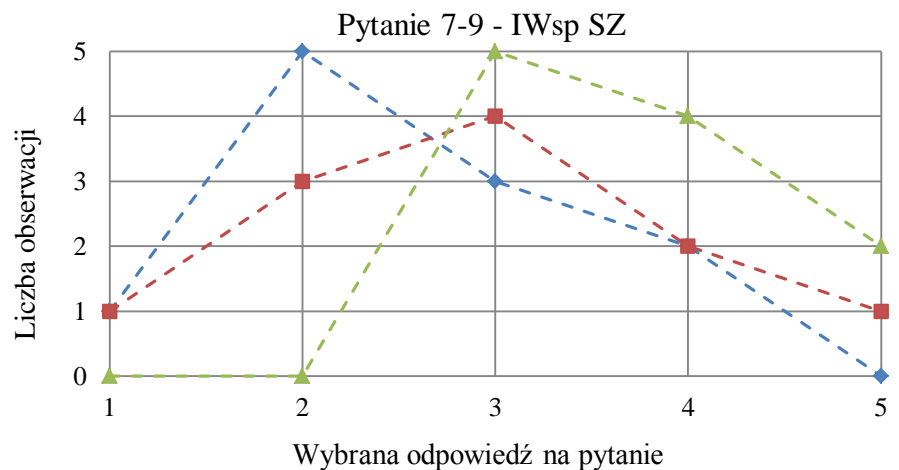
Z wykresów różnicujących odpowiedzi respondentów w kontekście Rodzajów Sił Zbrojnych wynika, że charakter zjawiska jest podobny w przypadku podziału respondentów na grupy RSZ. W przypadku analizowanego rysunku (Rys. 5.20) uwagę zwraca krzywa kompetencji (ma dwa wierzchołki). Świadczy to o występowaniu niejednorodności w tym obszarze. Przebieg krzywej może być związany z typem sprzętu eksploatowanego w JW. Podobny charakter krzywej obserwuje się w kontekście czasu przywracania SpW do sprawności technicznej (Rys. 5.22). Przebieg charakterystyki może być związany z typem SpW eksploatowanym w JW. Jednak zasadnicze odpowiedzi skupiły się w obszarze wartości „raczej nie”. Przebiegi charakterystyk wskazują na potrzebę optymalizacji tych obszarów.



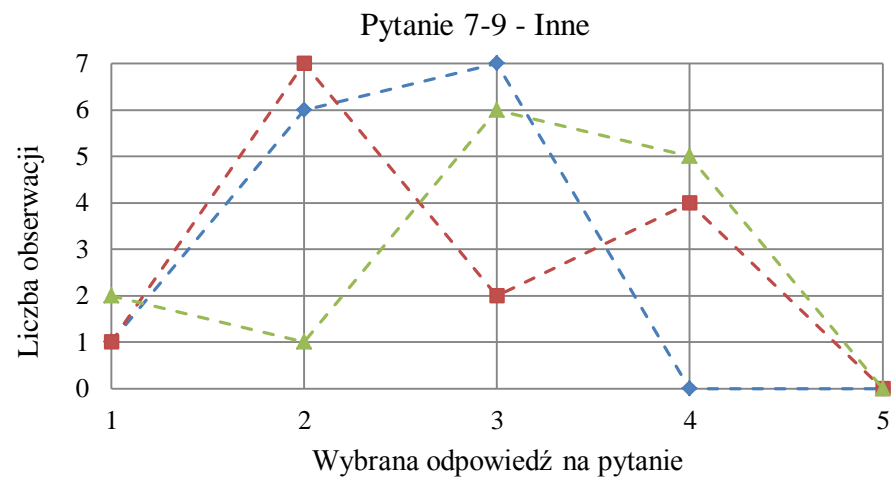
Rys. 5.19. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 7 do nr 9. WLąd. Opracowanie własne



Rys. 5.20. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 7 do nr 9. SP. Opracowanie własne

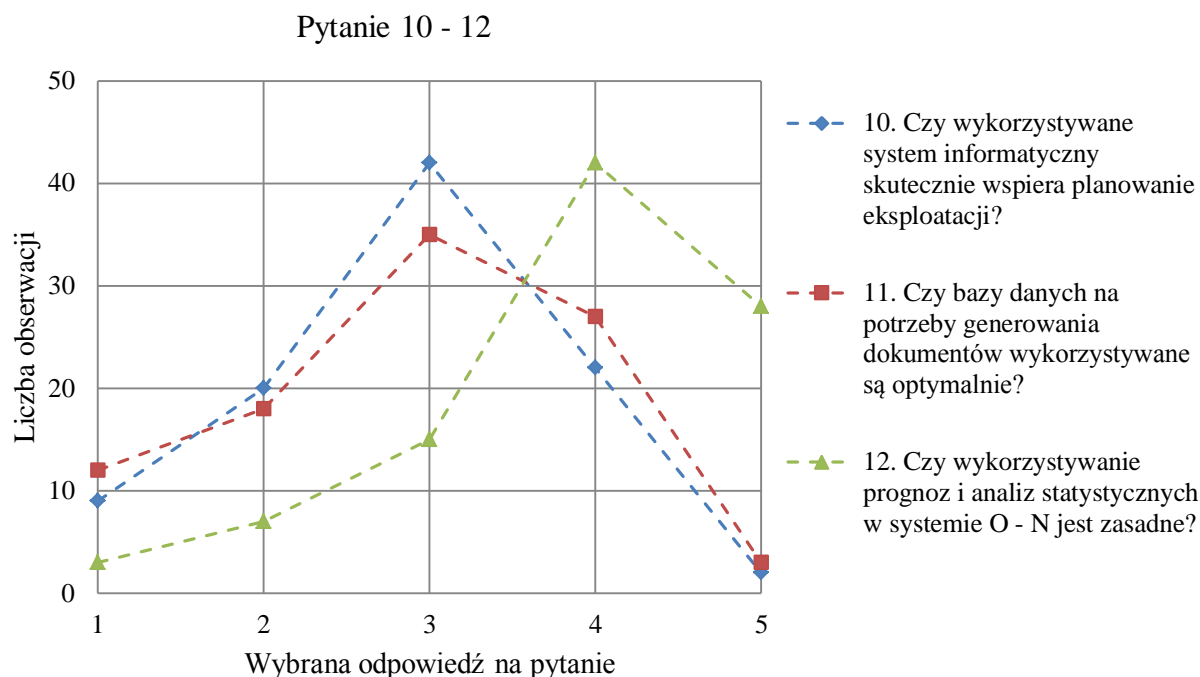


Rys. 5.21. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 7 do nr 9. IWsp SZ. Opracowanie własne



Rys. 5.22. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 7 do nr 9. Pozostałe JW. Opracowanie własne

Do trzeciej grupy pytań zaliczono pytania dotyczące systemu informatycznego, baz danych oraz stosowania metod prognozowania i analizy statystycznej w planowaniu części zamiennych. Ogólne charakterystyki przedstawiono graficznie (Rys. 5.23, Tab. 5.14).

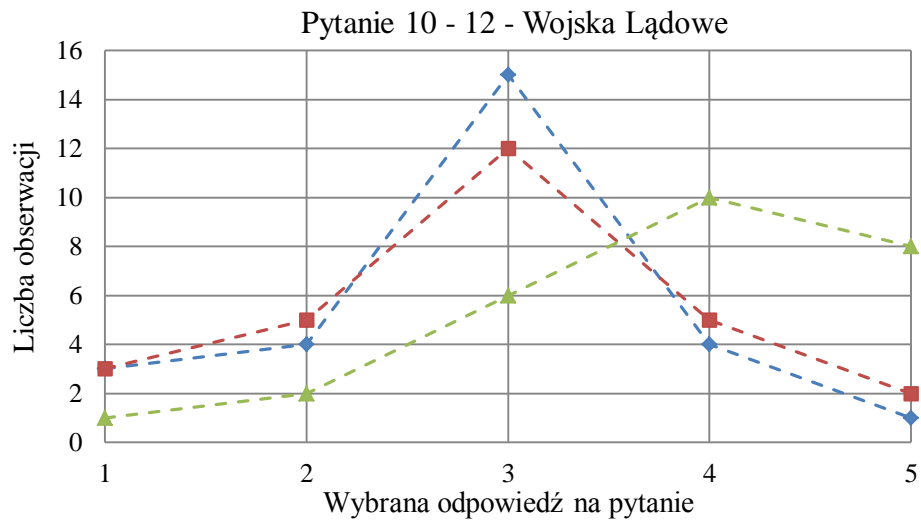


Rys. 5.23. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 10 do nr 12. Opracowanie własne

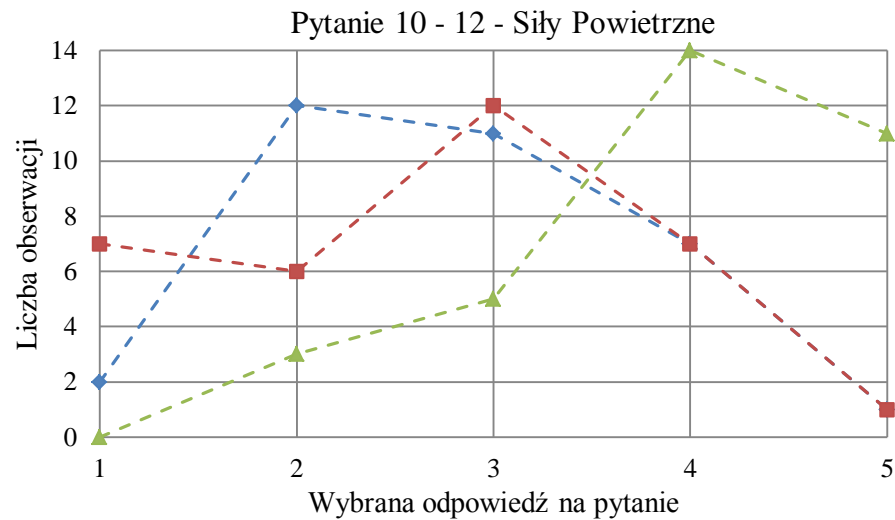
Tab. 5.14. Zstawienie odpowiedzi respondentów na pytania od 10 do 12. Opracowanie własne

	Nie (1)	Raczej nie (2)	Przeciętnie (3)	Raczej tak (4)	Tak (5)
10. Czy wykorzystywane system informatyczny skutecznie wspiera planowanie eksploatacji?	9	20	42	22	2
11. Czy bazy danych na potrzeby generowania dokumentów wykorzystywane są optymalnie?	12	18	35	27	3
12. Czy wykorzystywanie prognoz i analiz statystycznych w systemie O - N jest zasadne?	3	7	15	42	28
<b>Skala: odpowiedzi respondentów</b>	<b>0 - 8</b>	<b>9 - 17</b>	<b>18 - 25</b>	<b>26 - 34</b>	<b>35 - 42</b>

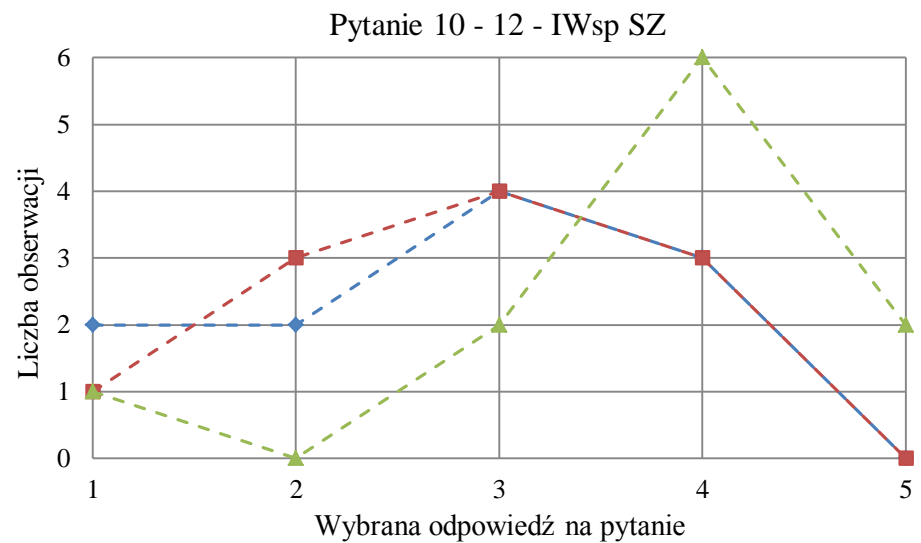
Celem uzupełnienia rysunku (Rys. 5.23) poniżej autor prezentuje rozkład odpowiedzi pośród respondentów reprezentujących poszczególne Rodzaje Sił Zbrojnych.



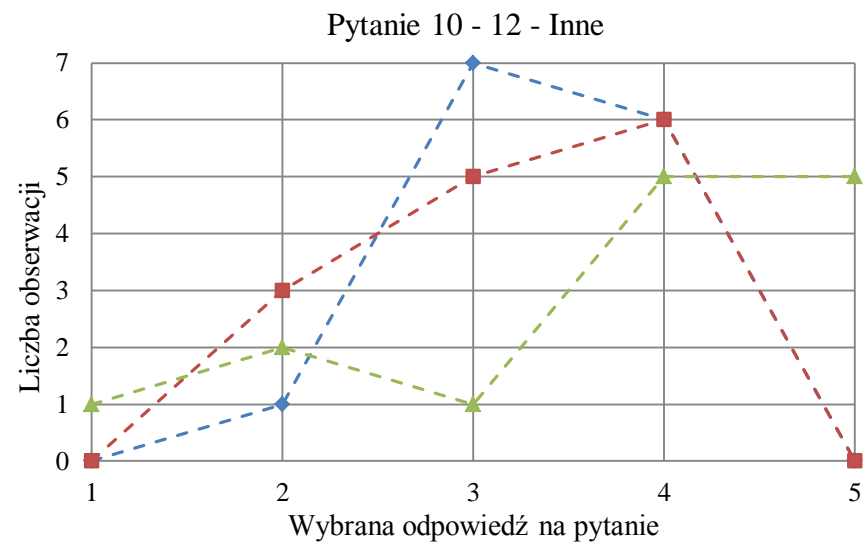
Rys. 5.24. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania 10 – 12. WLąd. Opracowanie własne



Rys. 5.25. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania 10 – 12. SP. Opracowanie własne

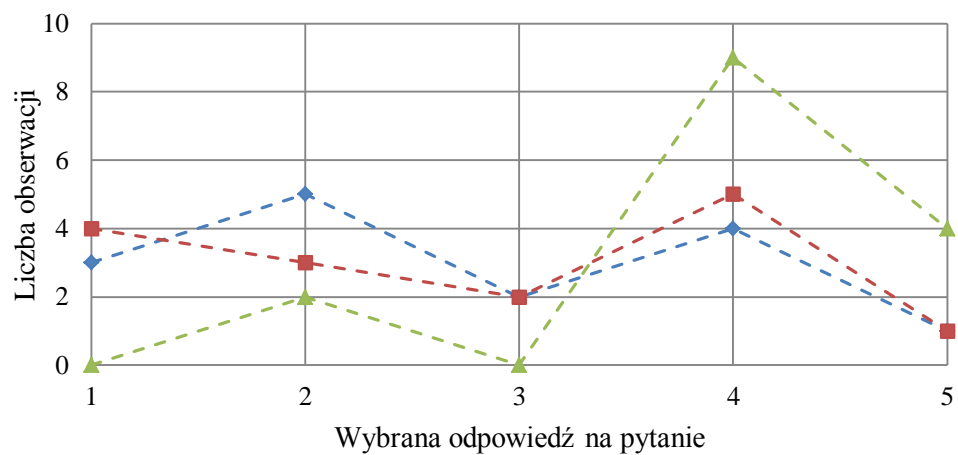


Rys. 5.26. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania 10 – 12. IWsp SZ. Opracowanie własne



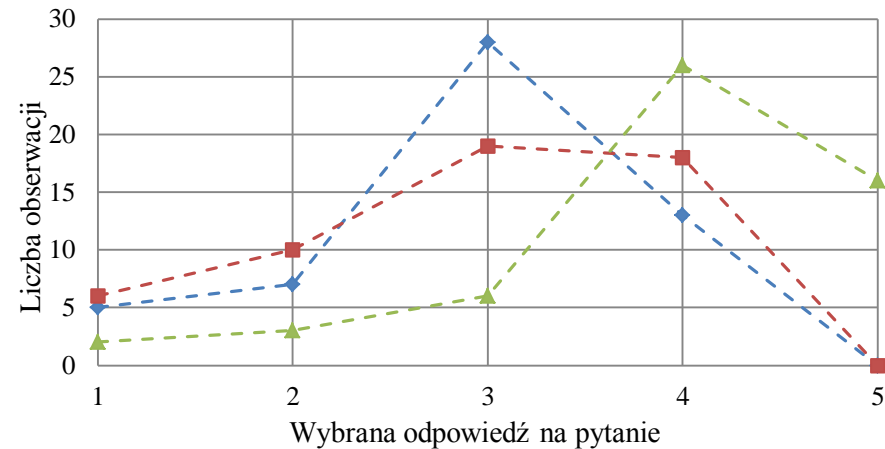
Rys. 5.27. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania 10 – 12. Inne JW. Opracowanie własne

Pytanie 10 - 12 - Jednostka ogólnowojskowa



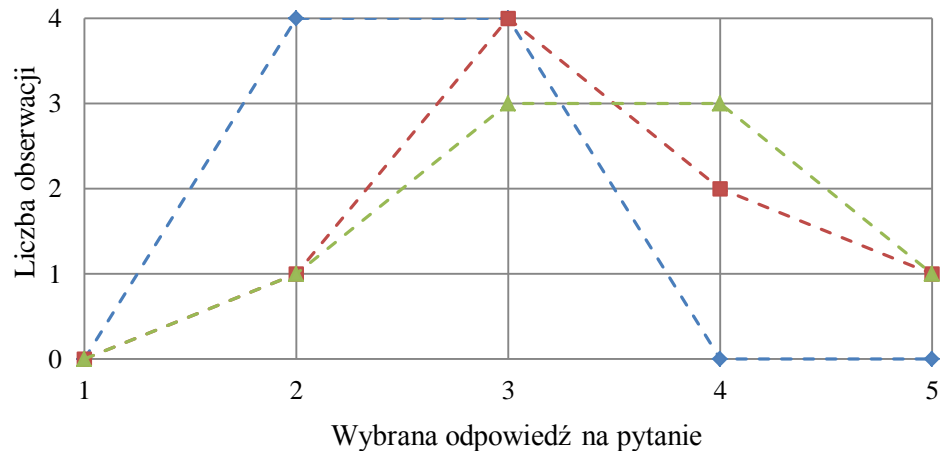
Rys. 5.28. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania – JW. Opracowanie własne

Pytanie 10 - 12 - Inna JW.



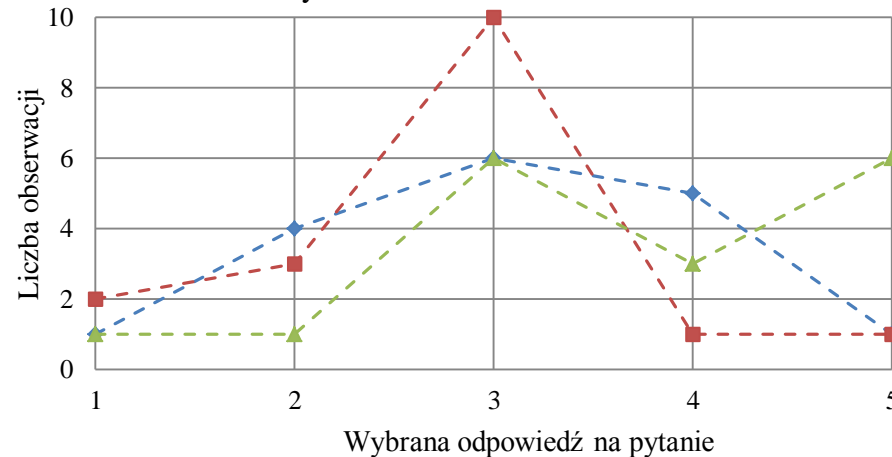
Rys. 5.29. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania – Inna JW. Opracowanie własne

Pytanie 10 - 12 - WOG



Rys. 5.30. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania – WOG. Opracowanie własne

Pytanie 10 - 12 - Dowództwo RSZ



Rys. 5.31. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania – Dowództwo RSZ. Opracowanie własne

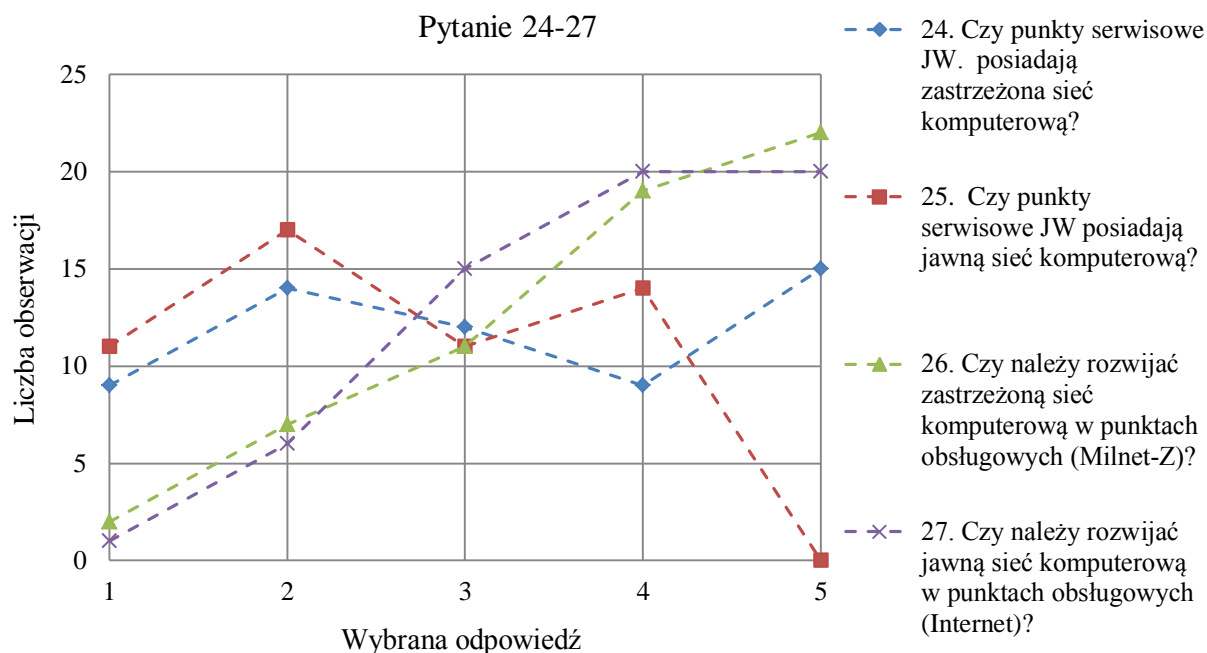
W odniesieniu do pytań dotyczących systemu informatycznego, wykorzystywania baz danych oraz stosowania metod statystycznych do planowania technicznych środków materiałowych można zauważyć (Rys. 5.23), że dla pierwszych dwóch badanych cech (pytanie 10 i 11) maksimum rozkładu odpowiedzi respondentów znajduje się na poziomie odpowiedzi nr 3, tj. „przeciętnie”. Średnia arytmetyczna wartości odpowiedzi wynosi 2,87 dla pytania nr 10 oraz 2,91 w odniesieniu do pytania nr 11. Respondenci zauważają zasadność wykorzystywania metod statystycznych w kontekście planowania części zamiennych (znaczna część odpowiedzi znajduje się w obszarze odpowiedzi „raczej tak” i „tak”). W tym przypadku średnia ocena odpowiedzi respondentów wynosi 3,89 w skali 5 stopniowej. W rankingu generalnym średnia odpowiedzi respondentów na to pytanie znajduje się na pozycji nr cztery (Tab. 5.10). Pytanie dotyczące zastosowania metod statystycznych umieszczono w grupie z pytaniem dotyczącym systemu informatycznego oraz wykorzystania baz danych. Zauważa się możliwość i potrzebę automatyzacji i włączenia algorytmów predykcyjnych do stanowiskowych narzędzi informatycznych wspomagających pracę osób funkcyjnych (analityków) uczestniczących w procesach planowania technicznych środków materiałowych na potrzeby zabezpieczenia obsługi i napraw SpW.

Poszerzeniem analizy przedstawionej na rysunku (Rys. 5.23) są dalsze wykresy (Rys. 5.24 – Rys. 5.27), które przedstawiają obraz w kontekście WL, SP, IWsp SZ oraz uczestników ankiety zakwalifikowanych do grupy „Inne”. Odpowiedzi na każdym z czterech rysunków w odniesieniu do pytania 12 układają się mocno powyżej wartości „przeciętnie”, a maksimum odpowiedzi jest w każdym przypadku znacząco przesunięte w prawo w stosunku do odpowiedzi respondentów na pytanie nr 10 i 11. Nasuwa się wniosek, że jest pewna rozbieżność między wykorzystywanym systemem informatycznym, a wykorzystaniem baz danych oraz narzędzi statystycznych do wsparcia pracy uczestników procesu eksploatacji sprzętu wojskowego.

Autor dokonał analizy również w odniesieniu do rodzaju jednostki macierzystej respondentów w podsystemie technicznym z podziałem na: jednostka ogólnowojskowa, inna jednostka wojskowa, Wojskowy Oddział Gospodarczy, Dowództwo. Wyniki są zbieżne, a ich postać graficzna została przedstawiona na kolejnych wykresach (Rys. 5.28 – Rys. 5.31). Jednak zauważa się dużą zmienność odpowiedzi na poziomie jednostki ogólnowojskowej (Rys. 5.28). Wydaje się, że może to być związane z dużym zróżnicowaniem między jednostkami wojskowymi, czyli najniższym poziomem podsystemu technicznego. Jednak w tym przypadku również respondenci wskazują na potrzebę wsparcia działań narzędziami statystycznymi, także na najniższym poziomie funkcjonowania systemu obsługowo-naprawczego. Wspomniana wcześniej różnorodność odpowiedzi wskazuje na zróżnicowanie jednostek wojskowych w kontekście analizowanego obszaru. Zdecydowanie może się to przenosić na całość procesów O-N zachodzących w globalnym podsystemie technicznym, na wszystkich jego poziomach od wykonawczego, poprzez planistyczne, do najwyższych poziomów decyzyjnych w szczególności. Otrzymane wyniki należy przyjąć za pewien ogólny obraz sytuacji podsystemu technicznego na poziomie jednostek wojskowych. Należy pamiętać, że respondentami byli oficerowie starsi z dużym doświadczeniem teoretycznym i praktycznym. Powyższe klasyfikuje respondentów w grupie znawców badanej dziedziny, tj. ekspertów.



Czwarta część pytań dotyczyła rozwinięcia jawnej i zastrzeżonej infrastruktury sieciowej w JW oraz wpływu poziomu rozwinięcia sieci informatycznych w elementach bazy obsługowo-naprawczej na sprawność realizacji zadań obsługowych. Wyniki ogólne przedstawiono na rysunkach (Rys. 5.14, Tab. 5.15).

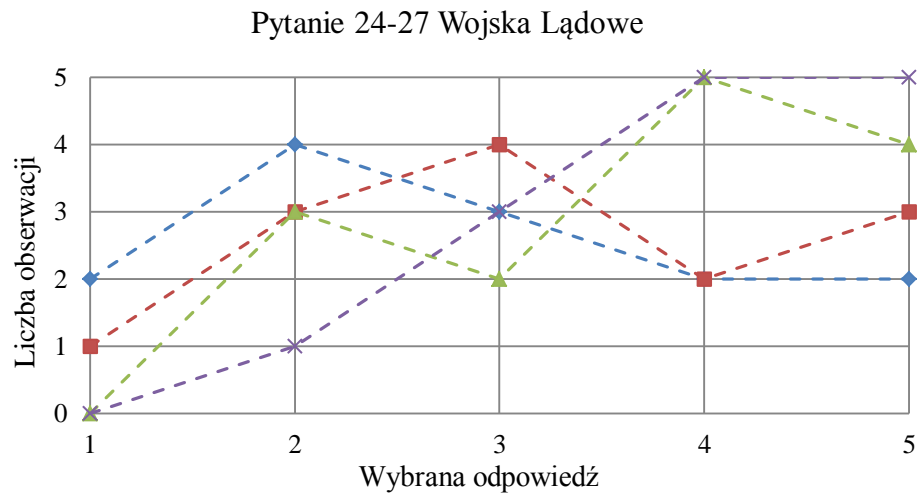


Rys. 5.32. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 24 do nr 27. Opracowanie własne

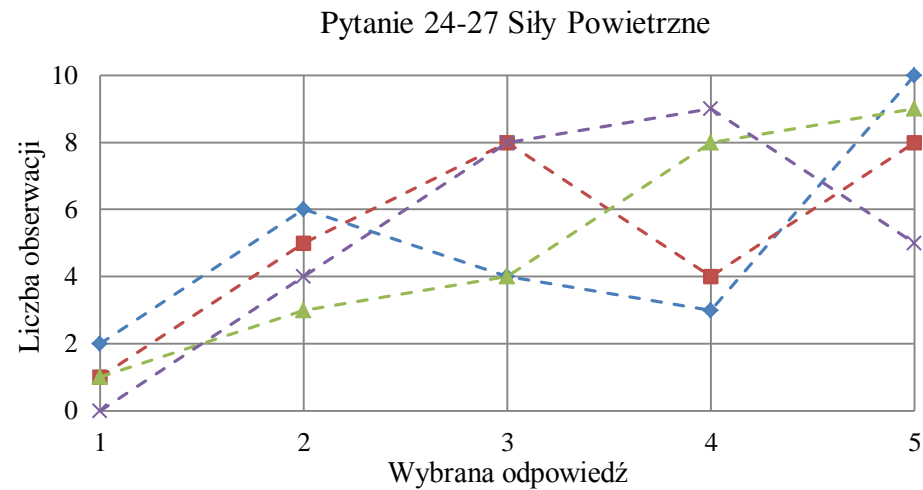
Tab. 5.15. Zestawienie odpowiedzi respondentów na pytania od 24 do 27. Opracowanie własne

	Nie (1)	Raczej nie (2)	Przeciętnie (3)	Raczej tak (4)	Tak (5)
24. Czy punkty serwisowe JW. posiadają zastrzeżoną sieć komputerową?	9	14	12	9	15
25. Czy punkty serwisowe JW posiadają jawną sieć komputerową?	11	17	11	14	0
26. Czy należy rozwijać zastrzeżoną sieć komputerową w punktach obsługowych (Milnet-Z)?	2	7	11	19	22
27. Czy należy rozwijać jawną sieć komputerową w punktach obsługowych (Internet)?	1	6	15	20	20
<b>Skala: odpowiedzi respondentów</b>	<b>0 - 4</b>	<b>5 - 9</b>	<b>10 - 13</b>	<b>14 - 18</b>	<b>19 - 22</b>

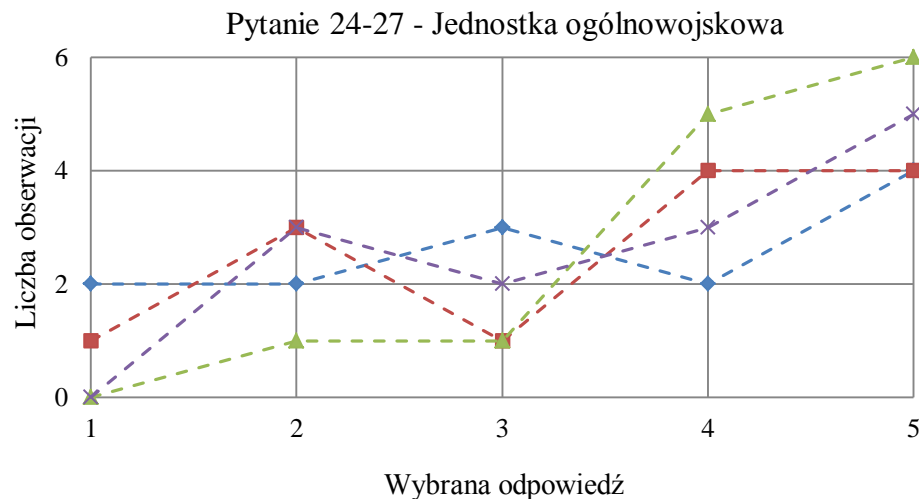
Powyższa analiza została rozszerzona w odniesieniu do grup oficerów reprezentujących jednostki ogólnowojskowe, pozostałe jednostki wojskowe oraz Dowództwa RSZ. Wyniki zaprezentowano na wykresach (Rys. 5.33 – Rys. 5.36).



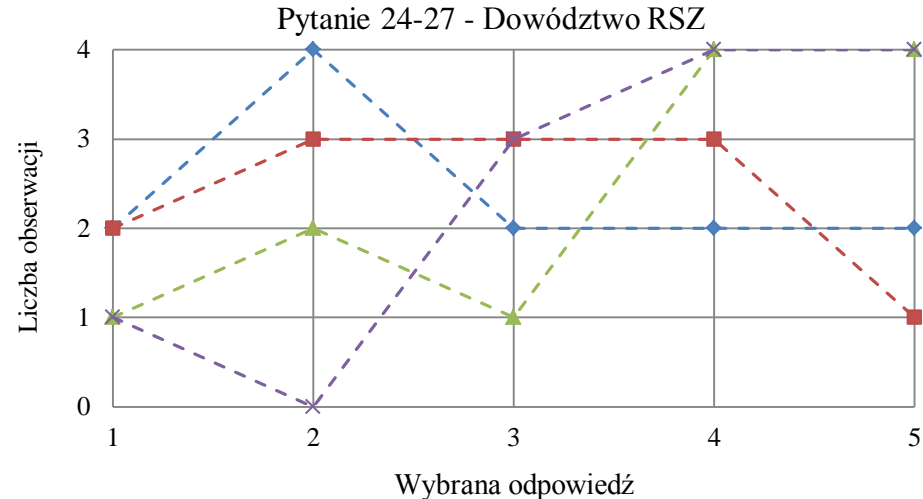
Rys. 5.33. Odpowiedzi na pytania od nr 24 do nr 27. WLąd. Opracowanie własne



Rys. 5.34. Odpowiedzi na pytania od nr 24 do nr 27. SP. Opracowanie własne



Rys. 5.35. Odpowiedzi na pytania od nr 24 do nr 27. JW ogólnowojskowa. Opracowanie własne



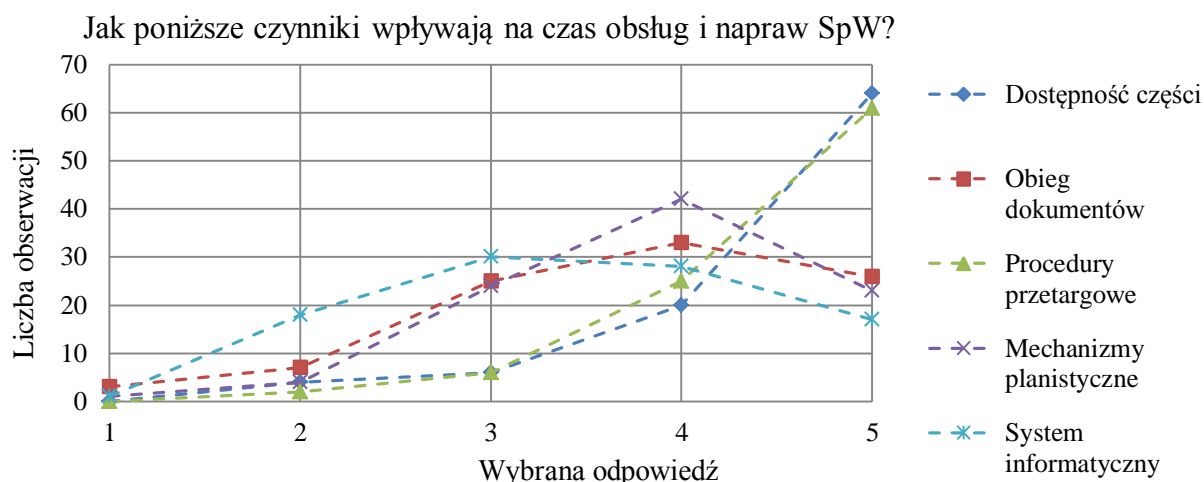
Rys. 5.36. Odpowiedzi na pytania od nr 24 do nr 27. Dowództwo RSZ Opracowanie własne

Rezultaty uzyskane w powyższym bloku pytań pokazują, że personel jednostek wojskowych wskazuje na niewystarczający poziom rozwinięcia sieci informatycznych w elementach bazy O-N. Z wykresów można również wywnioskować, że poziom jej rozwinięcia w różnych jednostkach wojskowych jest znacząco inny. Przedstawiona ocena jest również potwierdzana przez oficerów realizujących swoją służbę w strukturach dowództw RSZ (Rys. 5.36). Większość uczestników badania wskazuje, że rozwijanie sieci informatycznej zarówno jawnej i zastrzeżonej między elementami bazy O-N korzystnie wpłynie na realizację procesów przywracania systemów uzbrojenia do pełnej gotowości operacyjnej.

Na uwagę zasługuje fakt, że charakterystyki odpowiedzi na pytania 24 – 27 wykazują podobną nierównomierność jak rezultaty odpowiedzi na pytania 10 – 12 w odniesieniu do szeregu jednostek wojskowych, tj. można doszukać się dwóch maksimów odpowiedzi w ramach jednego pytania. Oba moduły – podejmujące problematykę systemów informatycznych, baz danych, narzędzi statystycznych i rozwinięcia zastrzeżonych i jawnych sieci komputerowych, mogą mieć wpływ na płynność planowania oraz wykonawcze procesy obsługowo-naprawcze, a w rezultacie na gotowość operacyjną SpW, czyli na obszar, który znajduje się w głównej sferze zainteresowania wojsk na wszystkich poziomach funkcjonowania.

Analizę wykonano również w zestawieniu dla Wojsk Lądowych i Sił Powietrznych (Rys. 5.33, Rys. 5.34). W tym przypadku odpowiedzi respondentów wskazują na różny stopień usieciowienia pododdziałów. Respondenci wskazują również na potrzebę dalszego rozwoju sieci komputerowych w elementach bazy obsługowo-naprawczej.

Kolejny obszar analizy ukierunkowany był na wydłużenie czasu realizacji zadań O-N. Dzięki zamieszczeniu w kwestionariuszu ankiety pytań z tego obszaru przedmiotowa hipoteza została potwierdzona dzięki odpowiedziom respondentów na pytanie nr 8. Wcześniejsze obserwacje i badania zdecydowały o wprowadzeniu do ankiety pytań dotyczących przyczyn występowania takiego stanu. Otrzymano następujące rezultaty w odniesieniu do całej grupy respondentów (Rys. 5.37, Tab. 5.16).



Rys. 5.37. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 13. Opracowanie własne

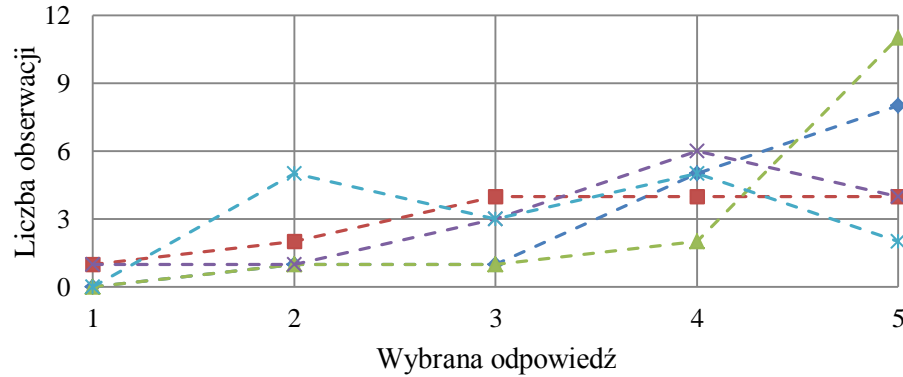
Tab. 5.16. Zestawienie odpowiedzi respondentów na pytanie 13. Opracowanie własne

	Nieistotnie (1)	Raczej nie (2)	Przeciętnie (3)	Raczej tak (4)	Istotnie (5)
Dostępność części	0	4	6	20	64
Obieg dokumentów	3	7	25	33	26
Procedury przetargowe	0	2	6	25	61
Mechanizmy planistyczne	1	4	24	42	23
System informatyczny	1	18	30	28	17
Skala: odpowiedzi respondentów	0 - 13	14 - 26	27 - 38	39 - 51	52 - 64

Na podstawie powyższych wyników można zauważyć, że w przypadku ogółu badanych respondentów oceniono, że największy wpływ na wydłużenie czasu O-N mają kolejno czynniki: dostępność części zamiennych, procedury przetargowe, obieg dokumentów księgowych, mechanizmy planistyczne oraz system informatyczny. W związku z powyższym na podstawie odpowiedzi na to pytanie autor przedstawi w dalszej części pracy wpływ pierwszych trzech parametrów na ukończenie czynności O-N bez tzw. zbędnej zwłoki, tzn. bez straty czasu na oczekiwania na części zamienne, realizację procedury przetargowej, a także obieg dokumentów księgowych (opóźnienie logistyczne). Analiza zostanie przedstawiona z wykorzystaniem oprogramowania MATLAB w celu określenia prawdopodobieństwa zakończenia naprawy w zadanym terminie na potrzeby realizacji zadania operacyjnego.

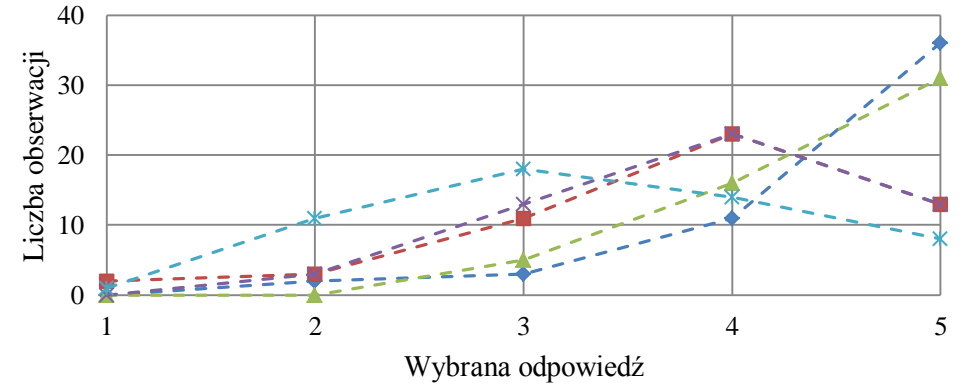
Dzięki zastosowaniu metryczki w ankiecie zgromadzono dane do analizy zagadnienia na różnych szczeblach podsystemu technicznego. Autor poniżej przedstawił, kierując się odpowiedziami respondentów, sytuację w powyższym obszarze w jednostkach ogólnowojskowych, innych jednostkach wojskowych, Wojskowych Oddziałach Gospodarczych oraz Dowództwach RSZ. W przypadku jednostki ogólnowojskowej czynnikami mającymi największy wpływ na funkcjonowanie O-N są: sprawność realizacji procedur przetargowych, dostępność części zamiennych oraz mechanizmy planistyczne. Mimo, że respondenci wskazują na średnią rolę systemu informatycznego w kontekście wsparcia procedur O-N, to jest on niezbędny w kontekście poprawy mechanizmów planistycznych. One zaś wpływają na trafność zakupów. Bardzo zbliżona sytuacja występuje w pozostałych jednostkach wojskowych. Grupa oficerów z Wojskowych Oddziałów Gospodarczych wskazała, że kluczowy wpływ na omawiane procesy mają procedury zamówień publicznych oraz dostępność części zamiennych, która zasadniczo wynika z dwóch czynników, tj. procedur przetargowych oraz planów zakupów. Dodatkowo eksperci z WOG i RSZ wskazują na wagę wpływu mechanizmów planowania na efektywność realizacji procesu obsługi i napraw. Eksperci z dowództw wskazali, że kluczową dla terminowej realizacji czynności serwisowych jest również dostępność części zamiennych oraz sprawność realizacji procedur przetargowych. Pozostałe czynniki uzyskują zbliżoną wagę wpływu na system.

Jak poniższe czynniki wpływają na czas obsługi i napraw SpW? - Jednostka ogólnowojskowa



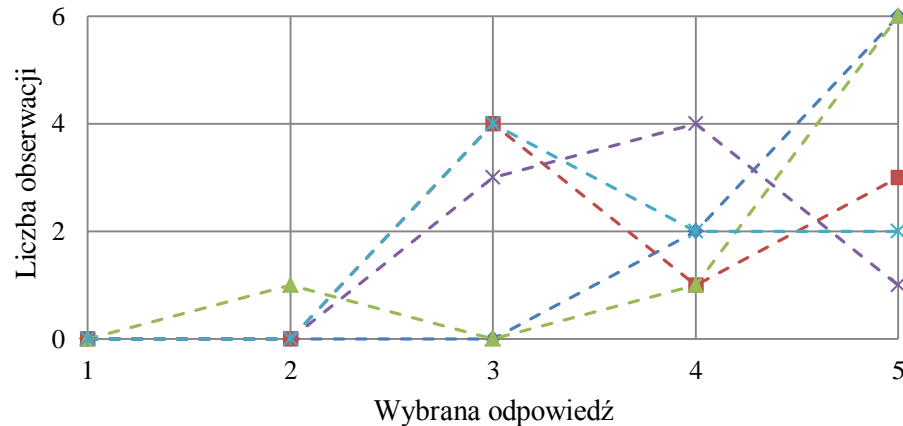
Rys. 5.38. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 13. JW ogólnowojskowa. Opracowanie własne

Jak poniższe czynniki wpływają na czas obsługi i napraw SpW? - Inna JW.



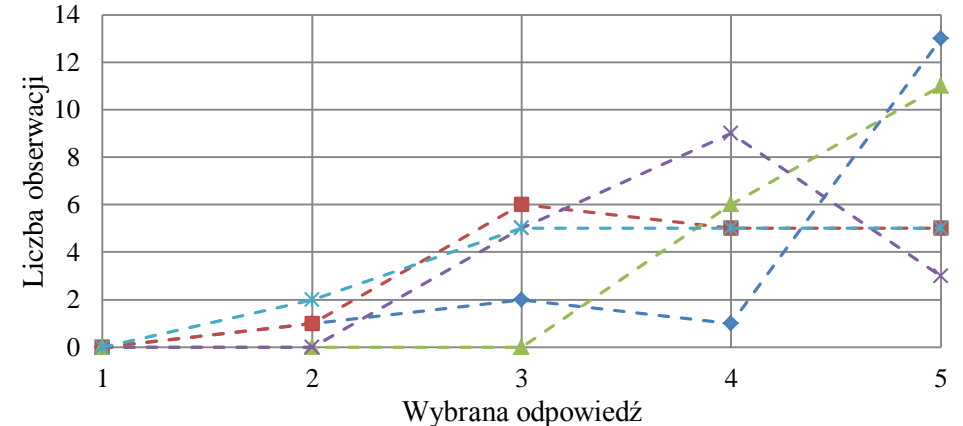
Rys. 5.39. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 13. Pozostałe JW. Opracowanie własne

Jak poniższe czynniki wpływają na czas obsługi i napraw SpW? - WOG



Rys. 5.40. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 13. WOG. Opracowanie własne

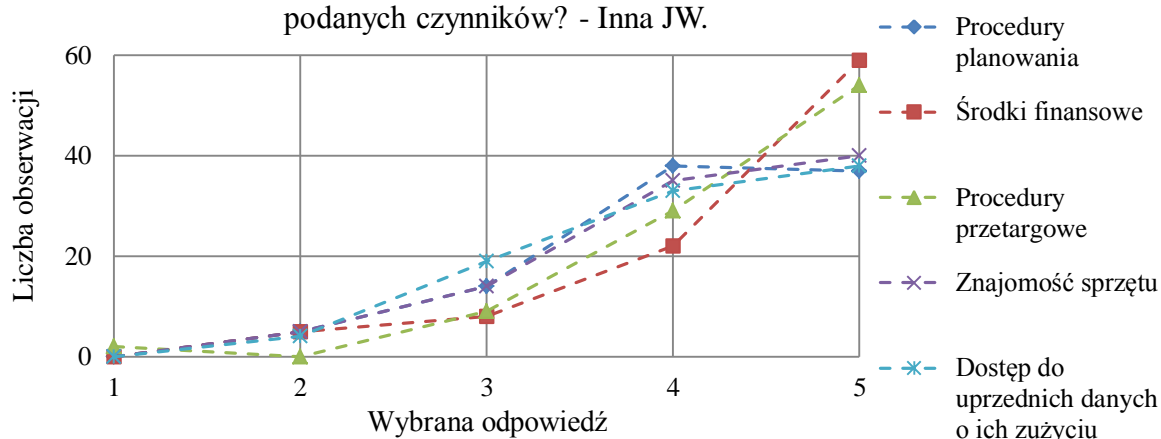
Jak poniższe czynniki wpływają na czas obsługi i napraw SpW? - Dowództwo RSZ



Rys. 5.41. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 13. Dowództwa RSZ. Opracowanie własne

Wykonana analiza wskazuje, że najistotniejszą kwestią w kontekście wydłużenia czasu obsługi i napraw jest dostępność części zamiennych oraz obszar funkcjonowania podsystemu zamówień publicznych. Jednak kwestiami istotnymi w procesie są również obieg dokumentów i mechanizmy planistyczne. Wydaje się, że system informatyczny stanowi uzupełnienie procesów głównych (Rys. 5.38 – Rys. 5.41). Poniższe zestawienie przedstawia wpływ czynników na badany proces.

W jakim stopniu dostępność części zamiennych w magazynie zależy od podanych czynników? - Inna JW.



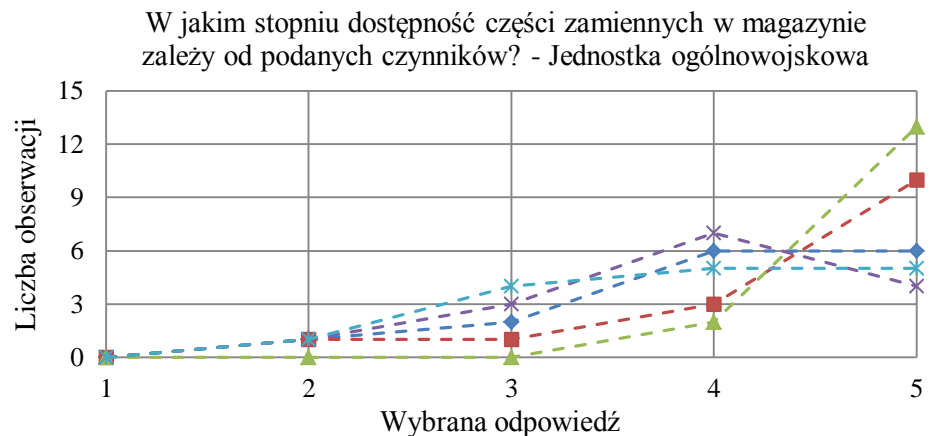
Rys. 5.42. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 14. Opracowanie własne

Tab. 5.17. Zestawienie odpowiedzi respondentów na pytanie 14. Opracowanie własne

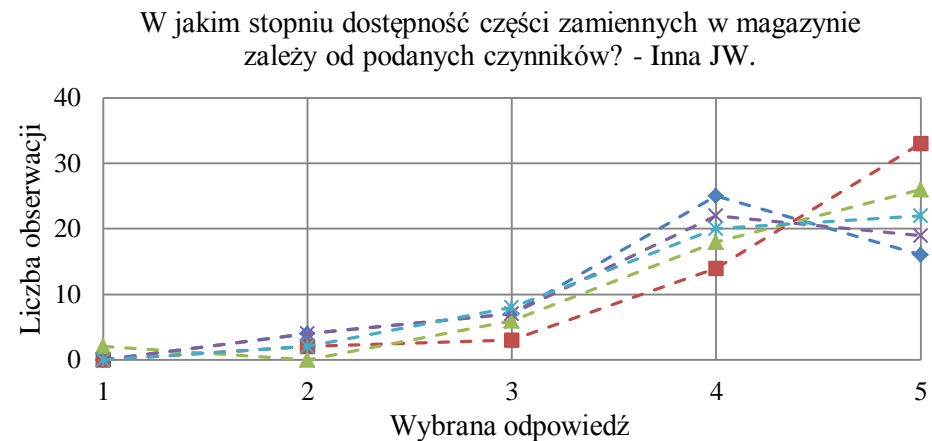
	Nieistotnie (1)	Raczej nie (2)	Przeciętnie (3)	Raczej tak (4)	Istotnie (5)
Procedury planowania	0	5	14	38	37
Środki finansowe	0	5	8	22	59
Procedury przetargowe	2	0	9	29	54
Znajomość sprzętu	0	5	14	35	40
Dostęp do uprzednich danych o ich zużyciu	0	4	19	33	38
<b>Skala: odpowiedzi respondentów</b>	<b>0 - 12</b>	<b>13 - 24</b>	<b>25 - 35</b>	<b>36 - 47</b>	<b>48 - 59</b>

Przedstawione wyniki na wykresie (Rys. 5.42) oraz w tabeli (Tab. 5.17) pokazują, że większość respondentów badanych grup stwierdzała, że dostępność części zamiennych na potrzeby zabezpieczenia procesów O-N zależy od środków finansowych i procedur przetargowych. Jednak pozostałe czynniki również mają istotny wpływ na realizację procesu przywracania SpW do sprawności. Wynika to z omawianego wykresu.

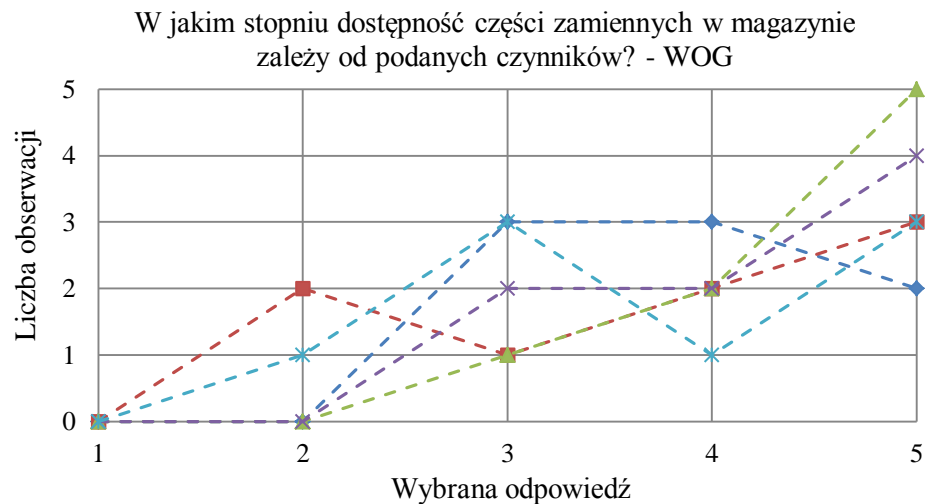
Poprzez analogię do pytania 13 dokonano rozdziału całej grupy ekspertów według jednostek wojskowych ogólnowojskowych i pozostałych, Wojskowych Oddziałów Gospodarczych oraz Dowództw Rodzajów Sił Zbrojnych.



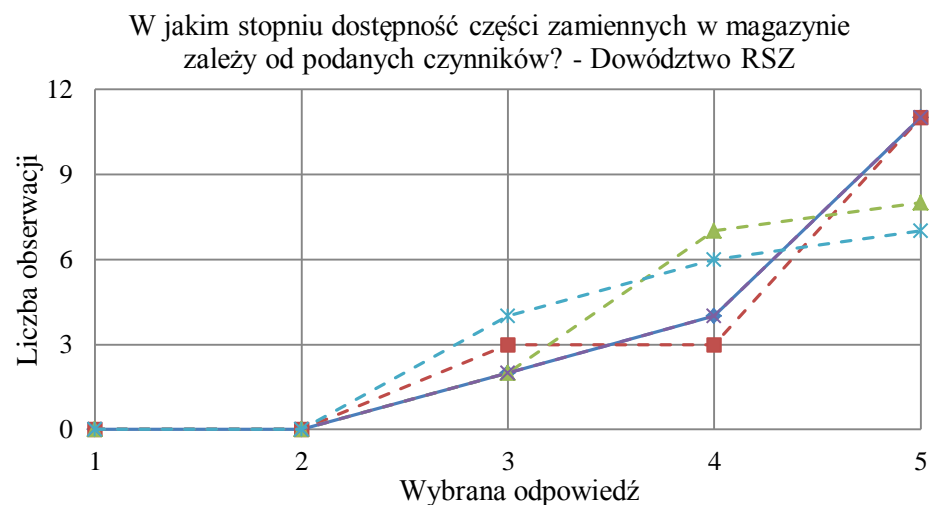
Rys. 5.43. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 14. JW ogólnowojskowa. Opracowanie własne



Rys. 5.44. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 14. Pozostałe JW. Opracowanie własne



Rys. 5.45. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 14. WOG. Opracowanie własne

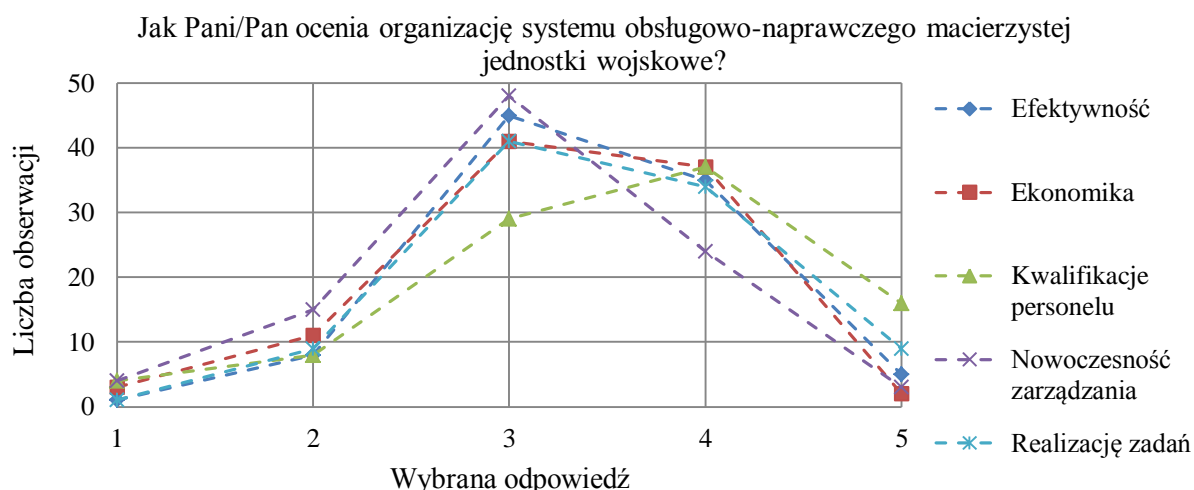


Rys. 5.46. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 14. Dowództwa RSZ. Opracowanie własne

Otrzymane wyniki pokazują, że kluczowy wpływ na pozyskanie części zamiennych mają naprzemiennie procedury przetargowe oraz środki finansowe. Niedobory środków finansowych mogą wynikać z faktu niskiej przewidywalności wymian tśm. Można postawić hipotezę, że kupowane są środki, które nie mogą zostać wykorzystane, a przyszłe niedobory nie zostały uwzględnione w planach. W innym przypadku zakup określonego rodzaju asortymentu jest zbyt duży, a następnie oczekuje zbyt długo na jego zużycie blokując tym samym środki finansowe na pozyskanie innych materiałów.

Na uwagę zasługuje fakt, że zdaniem respondentów z Dowództw RSZ na dostępność tśm główny wpływ mają procedury planistyczne oraz znajomość SpW.

Ostatnią częścią bloku pytań nr 13 – 15, która jednocześnie kończy analizę ankiety, jest pytanie dotyczące zarządzania/organizacji systemu obsługowo-naprawczego. Przedmiotowy obszar uzyskał w większości pozytywne wyniki, ale na dość niskim poziomie. Potwierdza się teza dotycząca zasadności przeglądu obszaru dostępności części zamiennych, współpracy podsystemu zamówień publicznych z pozostałymi podsystemami uczestniczącymi w badanym procesie oraz oceny możliwości wsparcia procesów decyzyjnych poprzez rozwinięcie dostępności sieci informatycznych w obrębie elementów bazy O-N.



Rys. 5.47. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 15

Tab. 5.18. Zestawienie odpowiedzi respondentów na pytanie 15. Opracowanie własne

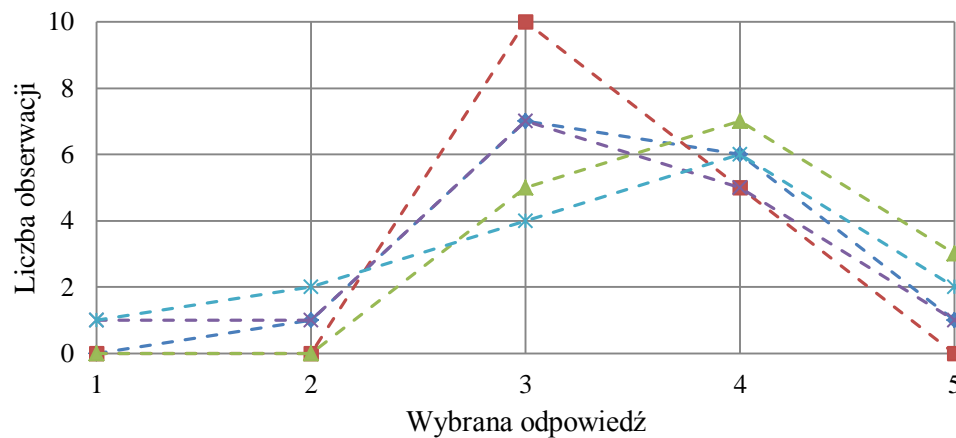
	Nisko (1)	Raczej nisko (2)	Przeciętnie (3)	Raczej wysoko (4)	Wysoko (5)
Efektywność	1	8	45	35	5
Ekonomika	3	11	41	37	2
Kwalifikacje personelu	4	8	29	37	16
Nowoczesność zarządzania	4	15	48	24	3
Realizację zadań	1	9	41	34	9
Skala: odpowiedzi respondentów	0 - 10	11 - 19	20 - 29	30 - 38	39 - 48



Otrzymane wyniki wskazują, że parametr efektywności, ekonomika, nowoczesność zarządzania oraz realizacja zadań został oceniony przez uczestników badania na poziomie „przeciętnie” w większości odpowiedzi. Parametr kwalifikacje personelu ma swoje maksimum w obszarze „raczej wysoko”, ale znaczna część odpowiedzi znajduje się również w obszarze odpowiedzi „przeciętnie.” Powyższe wskazuje kolejny raz na potrzebę rozwijania systemu obsługi i napraw SpW w SZ RP i optymalizacji procesów realizowanych w tym obszarze.

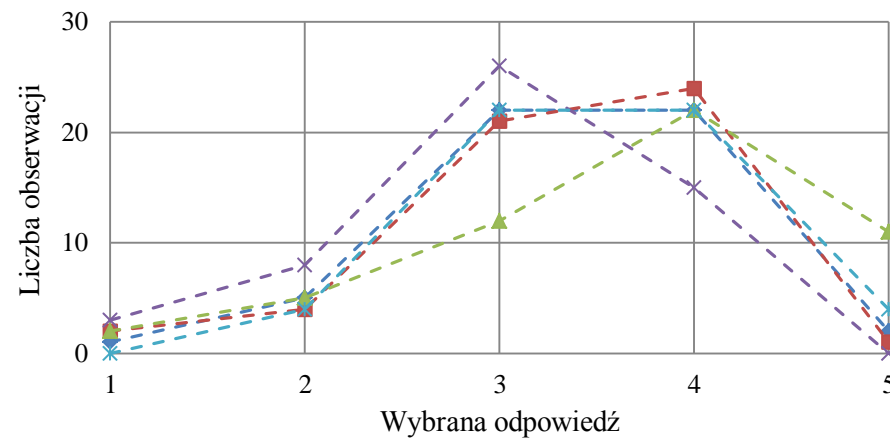
Analogicznie jak w przypadku poprzedniego pytania dokonano rozdziału grupy ekspertów według jednostek wojskowych ogólnowojskowych i pozostałych, Wojskowych Oddziałów Gospodarczych oraz Dowództw Rodzajów Sił Zbrojnych (Rys. 5.48 – Rys. 5.51). W odniesieniu do rozdziału na poszczególne grupy zauważa się, że w przypadku odpowiedzi respondentów zaliczanych do grupy Dowództwo RSZ odpowiedzi względem wszystkich parametrów układają się w sposób zbliżony do symetrycznego wokół wartości „przeciętnie”. Argumentuje to potrzebę wzmocnienia tej sfery podsystemu technicznego. W tym przypadku również kwalifikacje personelu zostały ocenione niżej niż ma to miejsce w przypadku jednostek wojskowych czy Oddziałów Gospodarczych. Parametr efektywność i ekonomika został oceniony „przeciętnie” przez większość uczestników badania. Dodatkowo parametr nowoczesność zarządzania również został oceniony względnie nisko – „przeciętnie”. Ostatnim parametrem była realizacja zadań. Jedynie w przypadku jednostek ogólnowojskowych uzyskał ocenę „raczej wysoko”, ale część odpowiedzi znajduje się w obszarze „przeciętnie” i „raczej nisko”. Powyższe pokazuje, że badany obszar stwarza możliwości implementacji rozwiązań optymalizujących jego funkcjonowanie.

Ocena systemu obsługowo-naprawczego - Jednostka ogólnowojskowa



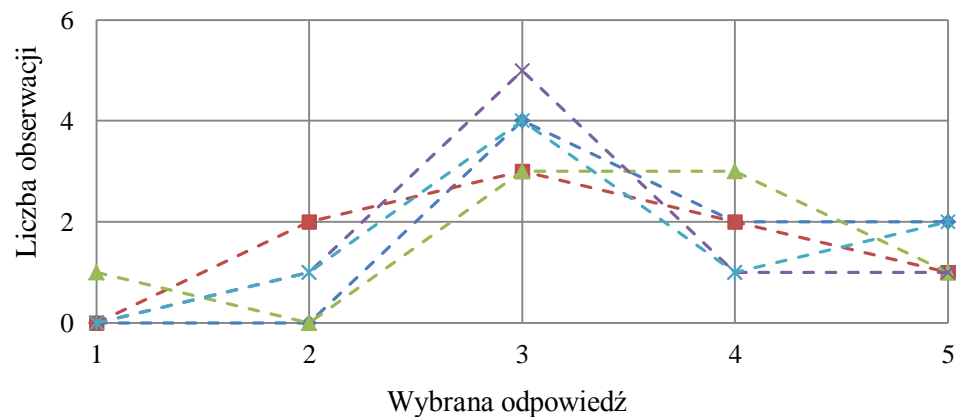
Rys. 5.48. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 15. JW ogólnowojskowa. Opracowanie własne

Ocena systemu obsługowo-naprawczego - Inna JW.



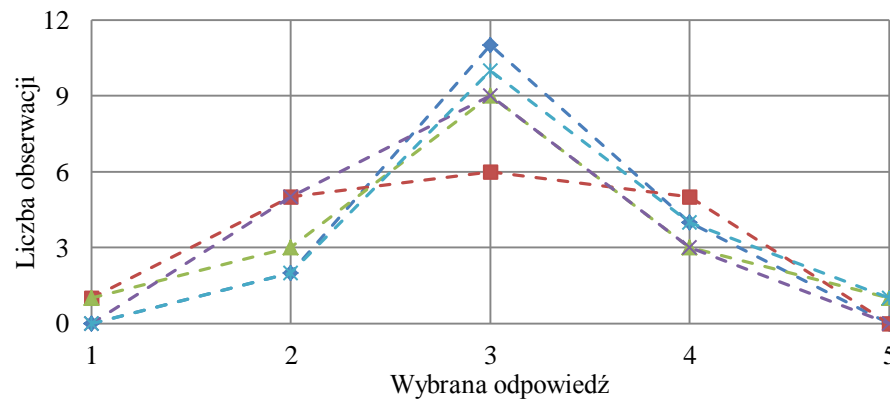
Rys. 5.49. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 15. Inna JW. Opracowanie własne

Ocena systemu obsługowo-naprawczego - WOG



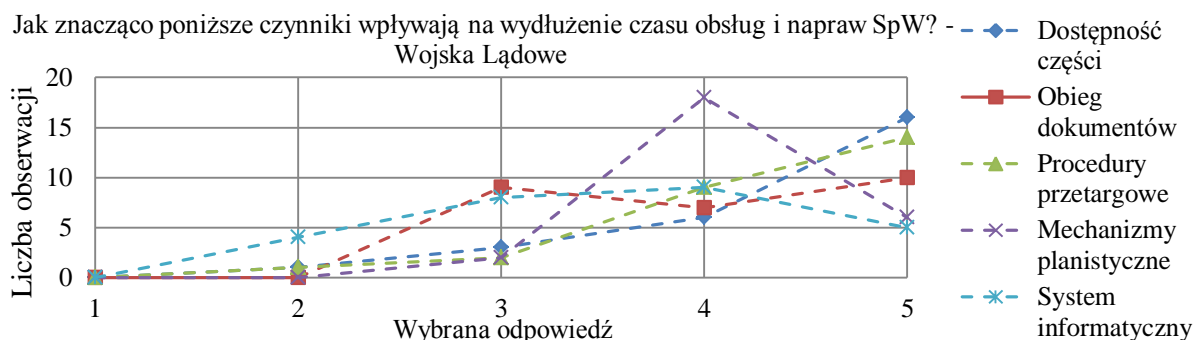
Rys. 5.50. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 15. WOG. Opracowanie własne

Ocena systemu obsługowo-naprawczego - Dowództwo RSZ



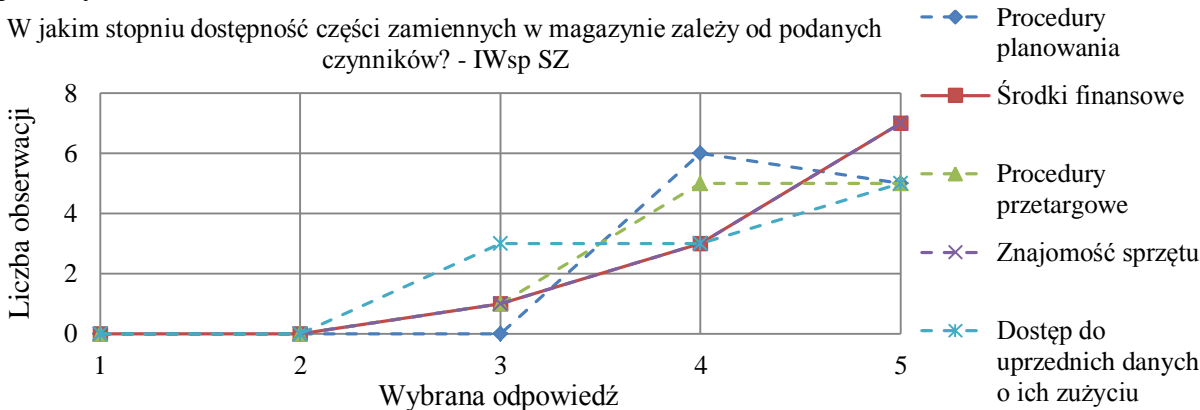
Rys. 5.51. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 15. Dowództwo RSZ. Opracowanie własne

Z uwagi na badania sprzętu Wojsk Lądowych przedstawiono wykresy obrazujące obszar obsługowo-naprawczy w tym rodzaju wojsk z uwzględnieniem oceny respondentów z IWsp SZ, odpowiedzialnych za organizację systemu (Rys. 5.52 – Rys. 5.54).



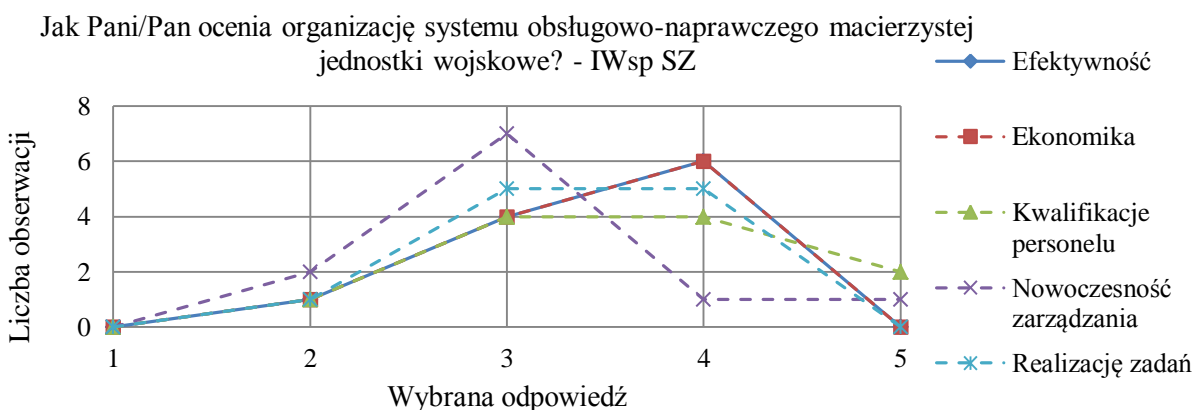
Rys. 5.52. Pytanie 13 – respondenci WLąd. Opracowanie własne

Powyższy wykres pokazuje wystąpienie pik w odniesieniu do parametru „mechanizmy planistyczne”.



Rys. 5.53. Pytanie 14 – respondenci IWsp SZ. Opracowanie własne

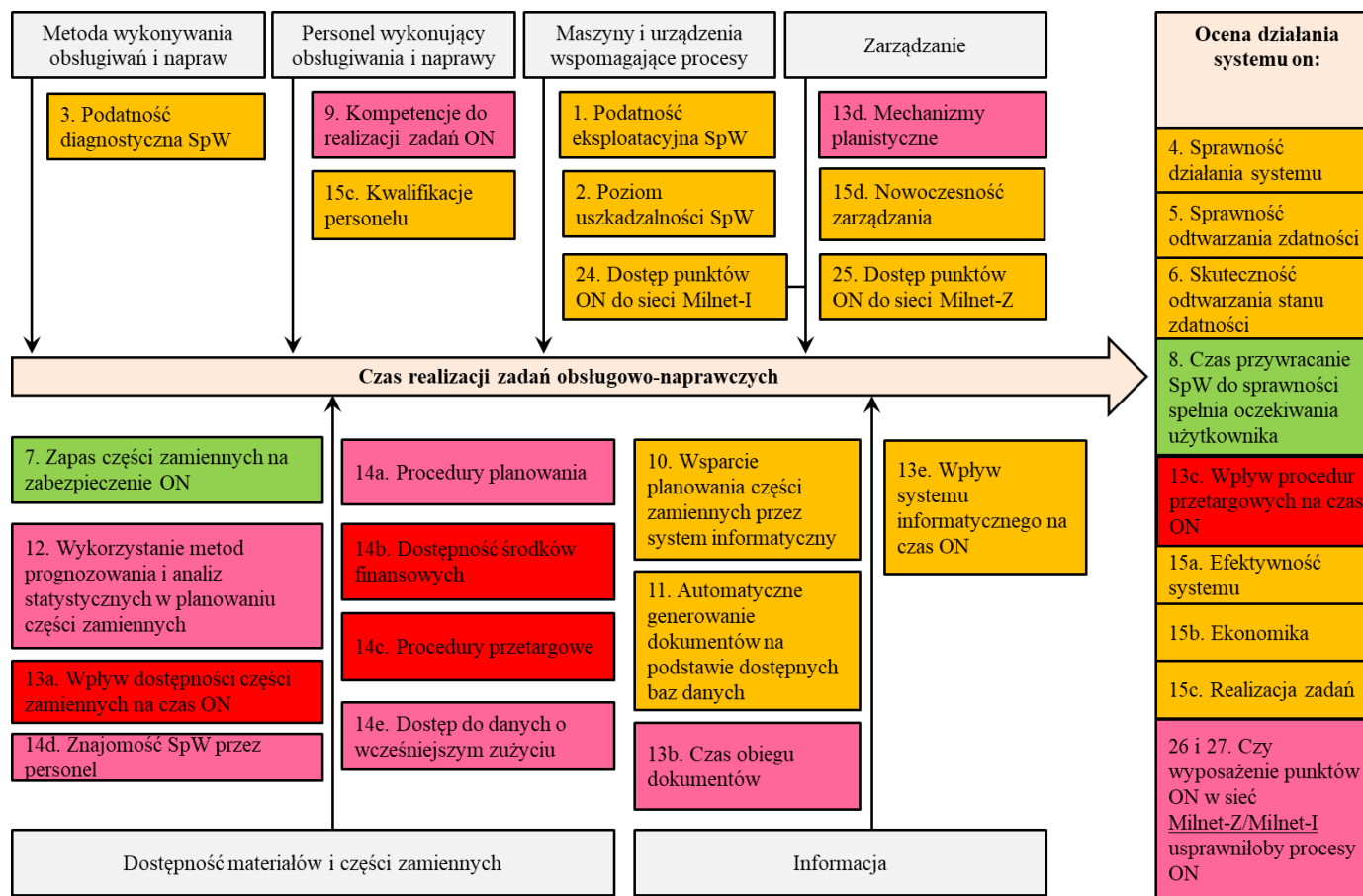
W przypadku wykresu (Rys. 5.53) również występuje pik w odniesieniu do parametru „Procedury planowania”. Podobnie jak na wcześniejszym wykresie (Rys. 5.52). Podkreśla to istotę tego zagadnienia w kontekście realizacji obsługi i napraw.



Rys. 5.54. Pytanie nr 15 – respondenci IWsp SZ. Opracowanie własne

Prezentowany wykres pokazuje przeciętną wartość w odniesieniu do parametru „Nowoczesność zarządzania”. Jest to opinia przedstawicieli IWsp SZ, ekspertów odpowiedzialnych m.in. za organizację obszaru obsługi i napraw.

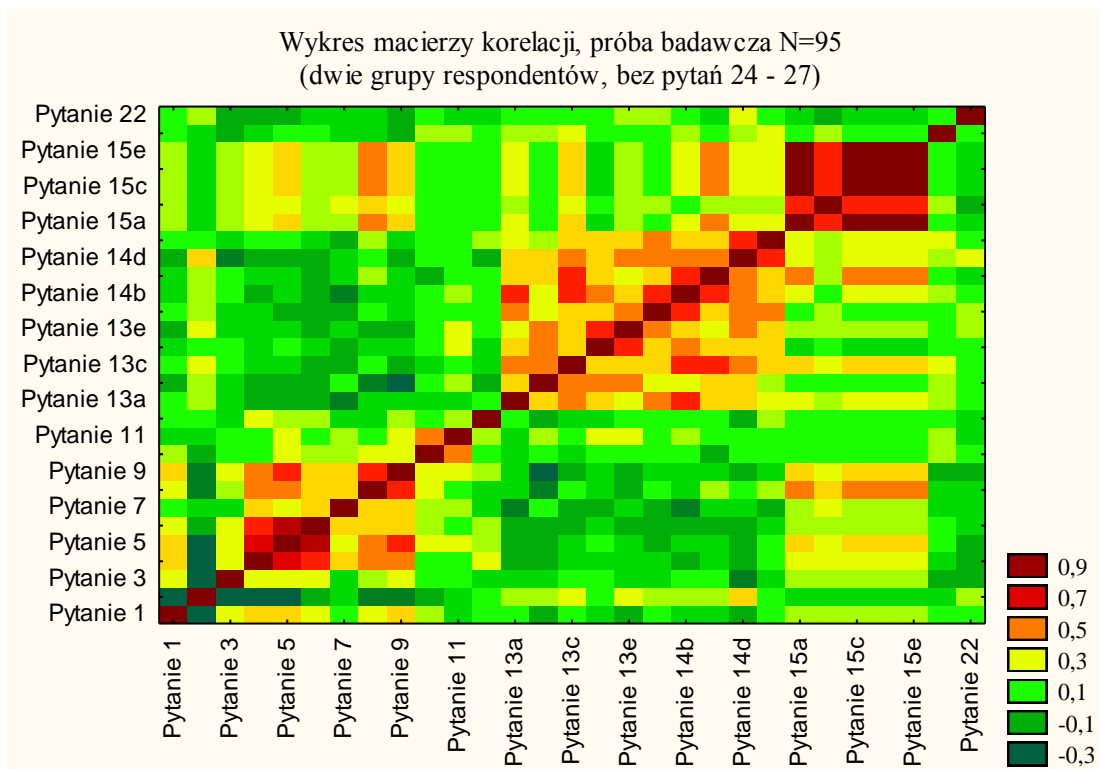
Powyższa analiza pozwoliła uzupełnić zaproponowany diagram Ishikway o wartości median dla kolejnych pytań. Zostało to dokonane na podstawie skali kolorów.



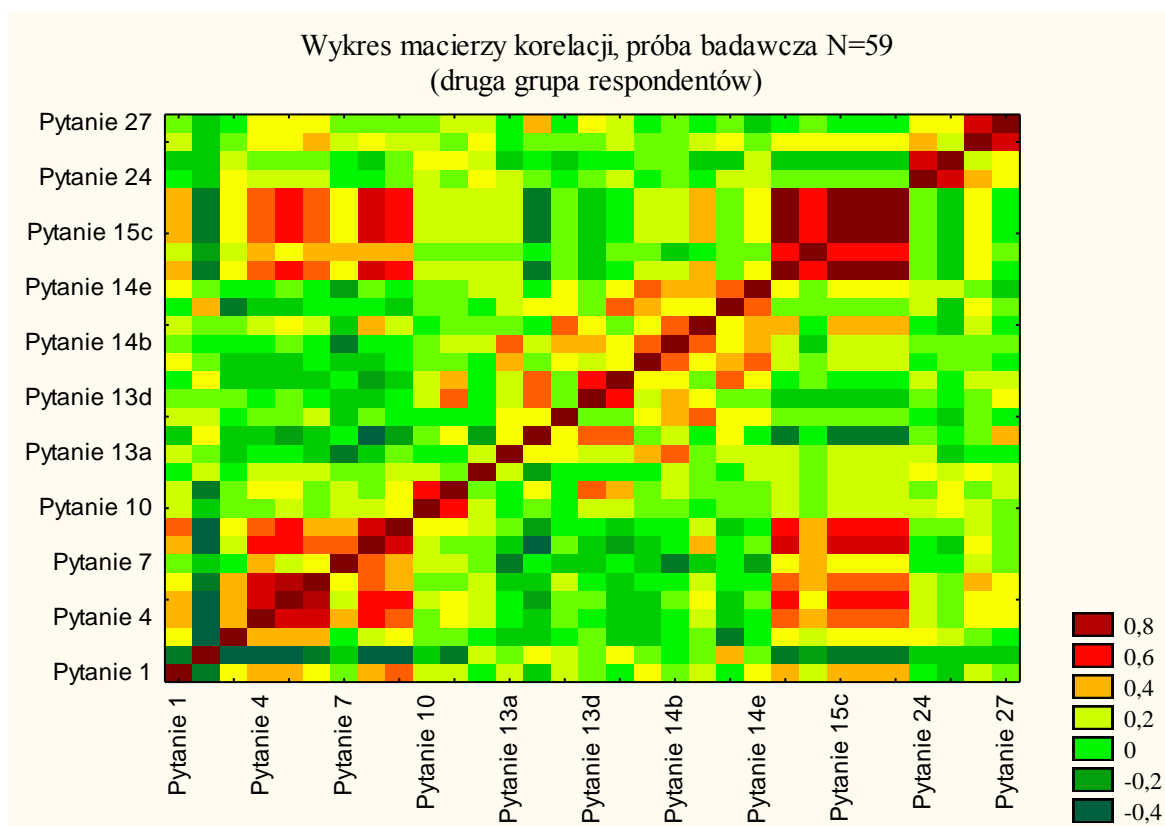
Rys. 5.55. Diagram Ishikawy wskazujący wpływ czynników na system O-N. Opracowanie własne

1 – niebieski (nisko) 2 – zielony (raczej nisko) 3 – pomarańczowy (przeciętnie) 4 różowy (raczej wysoko) 5 – czerwony (wysoko). Opracowanie własne

Powyższy schemat przedstawia charakterystykę systemu O-N według przeprowadzonego badania. W celu określenia siły związków między odpowiedziami udzielanymi w pytaniach zbudowano macierz korelacji (Rys. 5.56 – Rys. 5.57). Korelacje wyznaczono metodą Pearsona. Do tego celu wykorzystano oprogramowanie Statistica.



Rys. 5.56. Graficzna postać macierzy korelacji. Łączne dane dla grup. Opracowanie własne

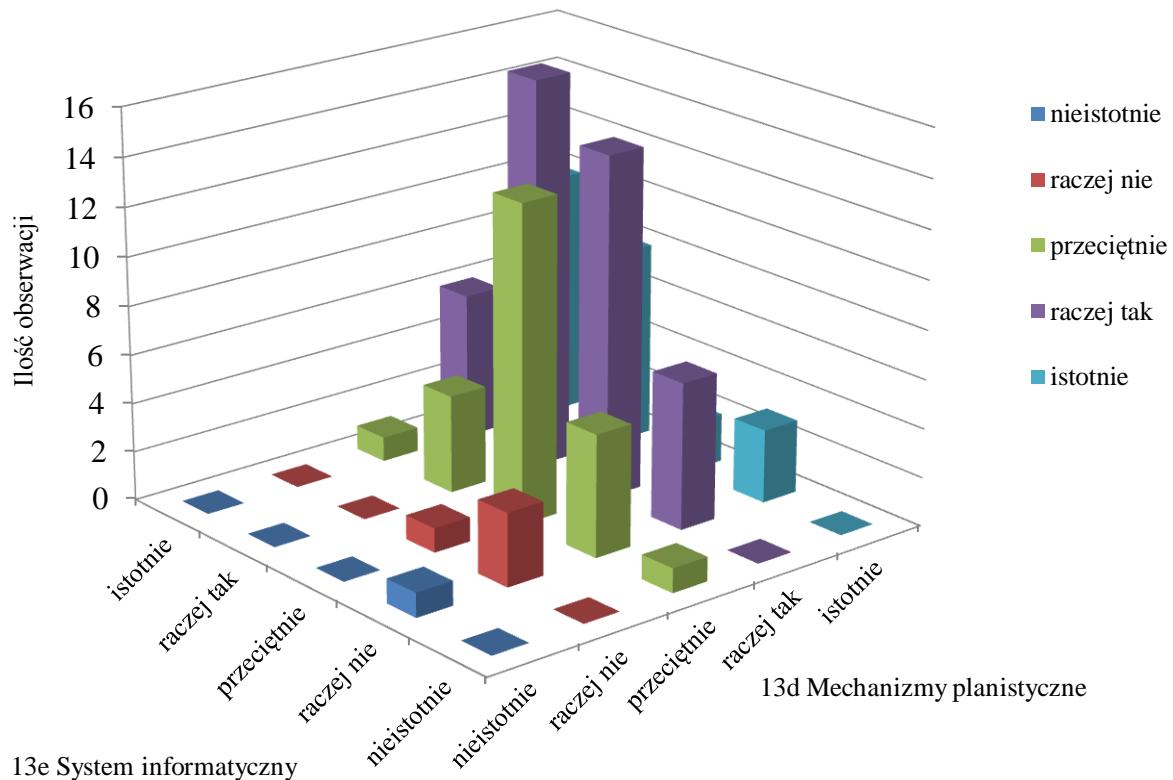


Rys. 5.57. Graficzna postać macierzy korelacji. Druga grupa ekspertów. Opracowanie własne

W celu określenia siły związków korelacyjnych między pytaniami posłużono się klasyfikacją wartości współczynnika korelacji według J. Guilford'a, którą przedstawiono poniżej ( $r$  – współczynnik korelacji):

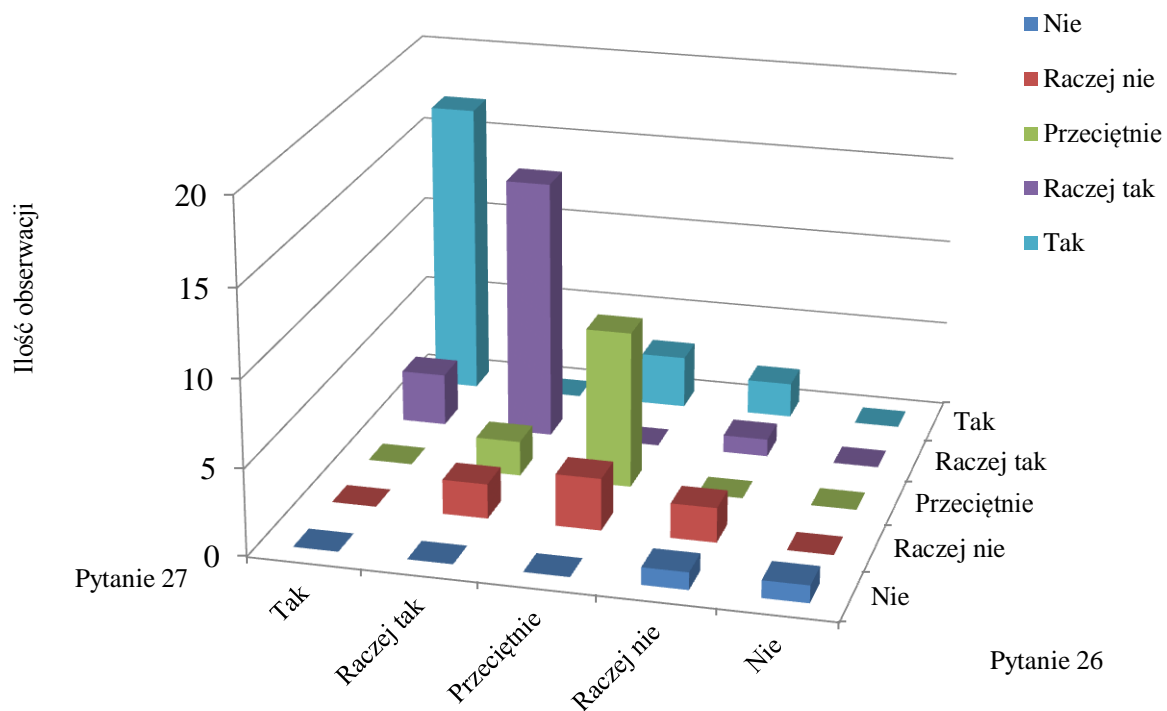
- $|r| = 0,0$  – brak korelacji,
- $0,0 < |r| \leq 0,1$  – korelacja nikła,
- $0,1 < |r| \leq 0,3$  – korelacja słaba,
- $0,3 < |r| \leq 0,5$  – korelacja przeciętna,
- $0,5 < |r| \leq 0,7$  – korelacja wysoka,
- $0,7 < |r| \leq 0,9$  – korelacja bardzo wysoka,
- $0,9 < |r| < 1,0$  – korelacja niemal pełna,
- $|r| = 1,0$  – korelacja pełna.

W związku z powyższą klasyfikacją, istotnością statystyczną określoną na podstawie tabel korelacji oraz na podstawie doboru najwyższej wartości współczynnika korelacji między pytaniami, przedstawiono trójwymiarowe wykresy zależności wybranych par pytań (Rys. 5.58 – Rys. 5.61):



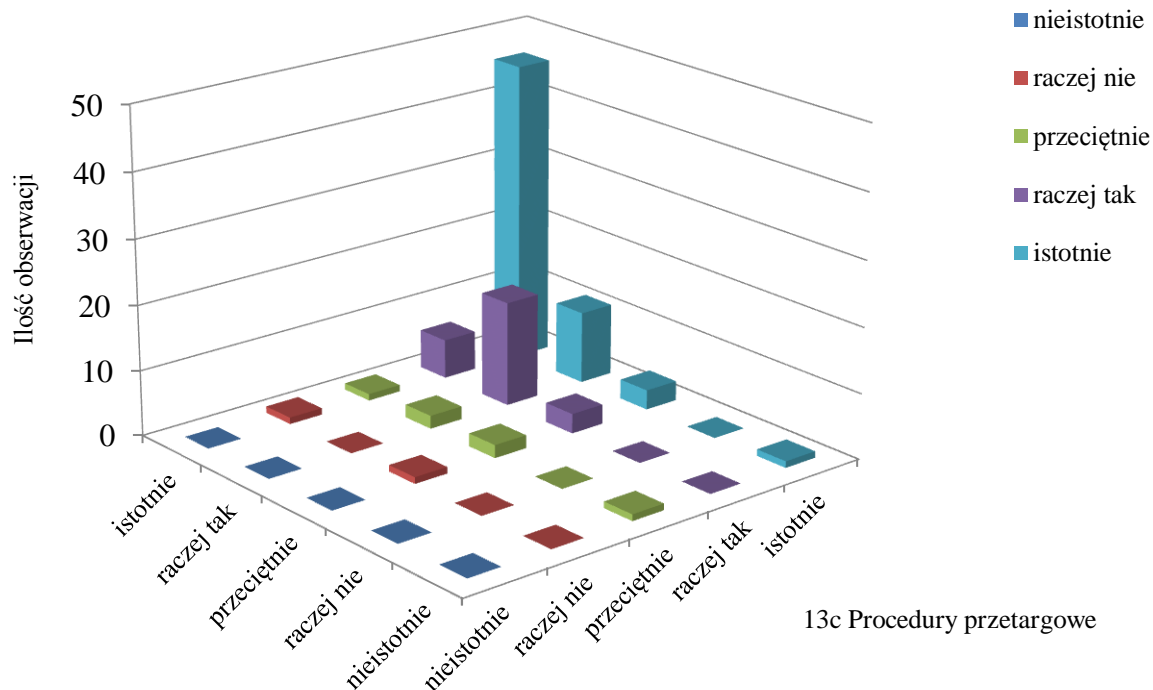
Rys. 5.58. Korelacja pytań 13e oraz 13d,  $r = 0,55$ . Opracowanie własne

Przedstawiony wykres pokazuje, że występuje korelacja między wpływem systemu informatycznego na wydłużenie czasu obsługi i napraw, a wpływem mechanizmów planistycznych na wydłużenie czasu obsługi i napraw w przedziale wartości przeciętnie – istotnie.



Rys. 5.59. Korelacja pytań 27 (sieć niejawną) oraz 26 (sieć jawną),  $r = 0,64$ . Opracowanie własne

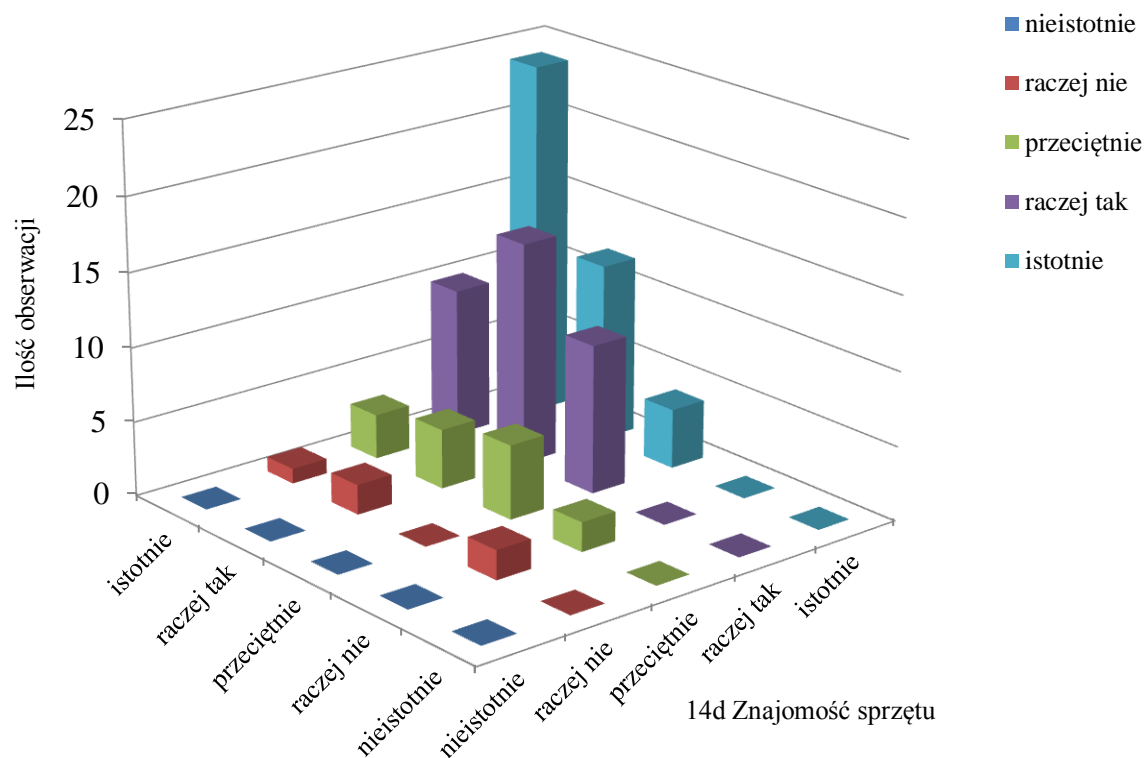
Przedstawiony wykres pokazuje, że występuje korelacja między opinią, że punkty serwisowe powinny być wyposażone w komputerową sieć zastrzeżoną i komputerową sieć jawną w przedziale wartości przeciętnie – tak.



14c Procedury przetargowe

Rys. 5.60. Korelacja pytań 14c oraz 13c,  $r = 0,56$ . Opracowanie własne

Przedstawione zestawienie korelacyjne pokazuje, że procedury przetargowe mają istotny wpływ zarówno na wydłużenie czasu obsługi i napraw, jak również mają wpływ na dostępność części zamiennych w magazynie.



14e Dostępność do uprzednich danych o zużyciu

Rys. 5.61. Korelacja pytań 14e oraz 14d,  $r = 0,53$ . Opracowanie własne

Powyższe zestawienie korelacyjne wskazuje na związek pomiędzy dostępnością do uprzednich danych o zdarzeniach eksploatacyjnych, a znajomością eksploatowanego sprzętu wojskowego.

Przedstawiona analiza wskazuje na zasadność optymalizacji i racjonalizacji procesów zachodzących w systemie obsługowo-naprawczym. Potwierdzają to powyższe wyniki badań. Obszarami szczególnego zainteresowania, zdaniem autora – na podstawie wyników losowo dobranej próby respondentów są: dostępność części zamiennych i sposób ich pozyskiwania, procedury planowania, obieg dokumentów, ekonomika i zarządzanie potencjałem O-N oraz dostępność środków finansowych.

#### Podsumowanie:

Doświadczenia wynikające z przeprowadzonych wywiadów i ankiety pokazują, że znaczna część procesów związanych z eksploatacją sprzętu odbywa się z wykorzystaniem narzędzi stosowanych w eksploatacji SpW wcześniejszych generacji. Wyniki wskazują, że nie zapewnia to wystarczającego poziomu skuteczności i efektywności. Powyższe rezultaty pokazują, że obszarami wymagającymi przeglądu są:

1. Planowanie eksploatacji SpW – poszukiwanie strategii profilaktycznych/proaktywnych z uwagi na realizację procedur przetargowych w kontekście nieplanowych zadań eksploatacyjnych.



2. Tworzenie i wykorzystanie baz danych o zdarzeniach eksploatacyjnych obiektów technicznych na potrzeby komputerowych algorytmów decyzyjnych.
3. Procedury obiegu informacji, w tym z udziałem komórek zamówień publicznych.
4. Czas realizacji i płynność stosowanych procedur.
5. Planowanie poziomu i struktura zapasów (technicznych środków materiałowych).
6. Poszukiwanie nowatorskich metod zarządzania Bazą O-N.

Istotnym i podkreślanym czynnikiem wpływającym na funkcjonowanie systemu jest kontekst prawny, tj. Ustawa „Prawo zamówień publicznych”. Zdaniem ekspertów istotnie ogranicza efektywność przywracania sprzętu do sprawności. Wskazuje na to występowanie korelacji między pytaniami (Rys. 5.60). Eksperti obserwują to w postaci nadmiernie wydłużonego czasu napraw lub obsługiwań planowych sprzętu. Powyższe może wywoływać utrudnienia i zakłócenia w procesie planowania, a także zabezpieczenia szkolenia wojsk. W związku z powyższym należy dokonać analizy zakresu możliwości implementacji strategii eksploatacji sprzętu wojskowego opierającej się na przeglądach zapobiegawczych (profilaktycznych). Zmniejszy to ilość napraw, a tym samym ilość procesów pozyskania m.in. tśm z udziałem komórek zamówień publicznych.

Ankieta wykorzystana w pracy może być wykorzystana do corocznego badania systemu obsługowo-naprawczego. Wyniki powinny być agregowane w resortowym systemie informatycznym i wykorzystane do badań.

#### **5.4. Wykorzystanie logiki rozmytej do oceny czasu realizacji zadań**

W przedmiotowej pracy zastosowano logikę rozmytą do oceny sprawności realizacji zadań obsługowo-naprawczych oraz zbudowania modelu określającego prawdopodobieństwo zakończenia naprawy lub obsługi bez zbędnej zwłoki (PNBZZ).

W formularzu ankiety zwrócono uwagę na następujące czynniki mające wpływ na czas naprawy sprzętu wojskowego „bez tzw. zbędnej zwłoki”, tj. dostępność części zamiennych w magazynie, czas obiegu dokumentów oraz procedury realizowane przez komórki zamówień publicznych. Na podstawie wywiadów z personelem uczestniczącym w procesie obsługowo-naprawczym, zdecydowano o analizie powyższego obszaru w ramach pytań ankietowych dla ekspertów. Odpowiedzi respondentów potwierdziły wpływ wskazanych czynników na efektywność przywracania sprzętu wojskowego do stanu zapewniającego jego operacyjne wykorzystanie.

W związku z powyższym przedstawiono analizę, która określa prawdopodobieństwa realizacji zadań O-N bez opóźnień z uwagi na procesy cząstkowe związane z obiegiem dokumentów, dostępnością części zamiennych i procedurami zamówień publicznych. W omawianym przypadku zastosowanie opisanej metody jest zasadne z uwagi na fakt wykorzystania jedynie części parametrów wejściowych do opisu procesów wynikowych.

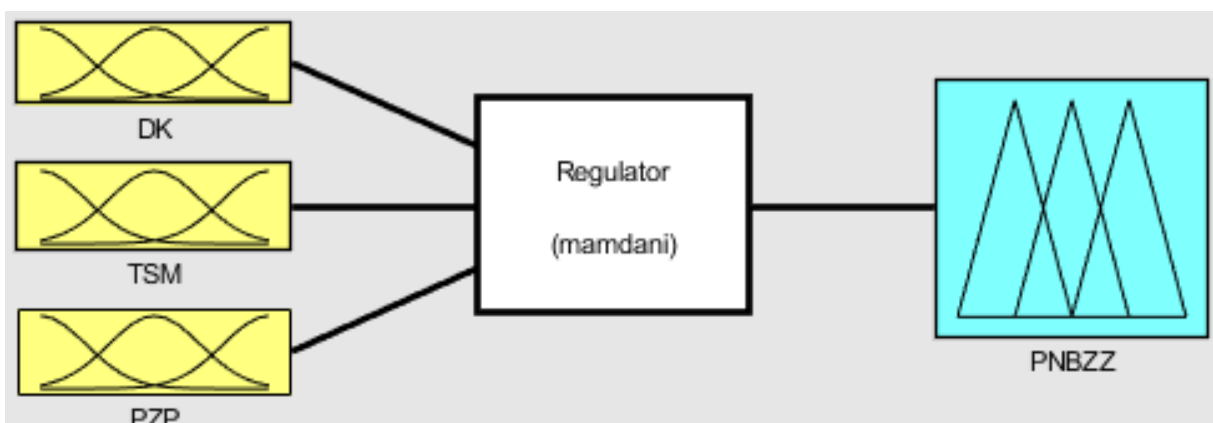
Należy zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku wystąpienia niesprawności SpW lub potrzeby wykonania czynności obsługowych niezbędne jest przeprowadzenie stosownych procedur administracyjnych związanych z obiegiem dokumentów, tj. Karta Usługi Technicznej, Protokół Stanu Technicznego, wykonanie aktualizacji dokumentacji eksploatacyjnej czy wystawienie dokumentów związanych z pobraniem części zamiennych z magazynów jednostki wojskowej, Wojskowego Oddziału Gospodarczego, a nawet poszukiwania i przesunięcia tśm między jednostkami organizacyjnymi podsystemu

technicznego SZ RP. Z uwagi na fakt, że posiadanie wszystkich technicznych środków materiałowych do egzemplarza sprzętu byłoby nieracjonalne ekonomicznie, a także trudne w aspekcie predykcji zużycia, część technicznych środków materiałowych pozyskuje się w wyniku przeprowadzenia procedur wymaganych ustawą „Prawo zamówień publicznych”, co wydłuża czas realizacji zadań.

Model z pozyskaniem tśm z magazynów SZ RP oraz jednocześnie w ramach PZP jest najbardziej złożony w aspekcie trzech analizowanych parametrów wejściowych. W przypadku posiadania tśm w magazynach wojskowych powyższy model należy uprościć do dwóch czynników wejściowych.

W związku z powyższym ponownego podkreślenia wymaga aspekt poszukiwania metod prognozowania oraz planowania potrzeb w zakresie systemowego zabezpieczenia realizacji zadań obsługowo-naprawczych, tj. minimalizacji czasu przebywania obiektu technicznego w elementach Bazy Obsługowo-Naprawczej celem wykonania napraw, obsługi, a także zabiegów konserwacyjnych, np. regulacji. Podsumowując, do analizy wykorzystano model z trzema parametrami wejściowymi, określający PNBZZ.

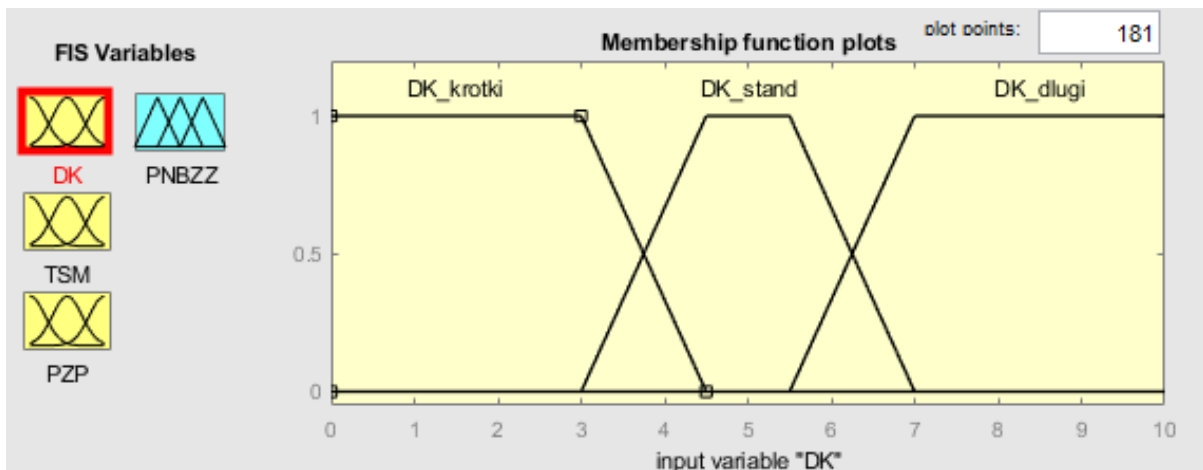
W wyniku analizy ankiet opracowano regulator rozmyty. Określono w nim rodzaj funkcji przynależności, tj. dostępności części zamiennych (TSM), obiegu dokumentów (DK), procedur przetargowych (PZP), a także bazę reguł wnioskowania. Określono również zakres sygnału wyjściowego. Schemat regulatora przedstawiono na rysunku (Rys. 5.62).



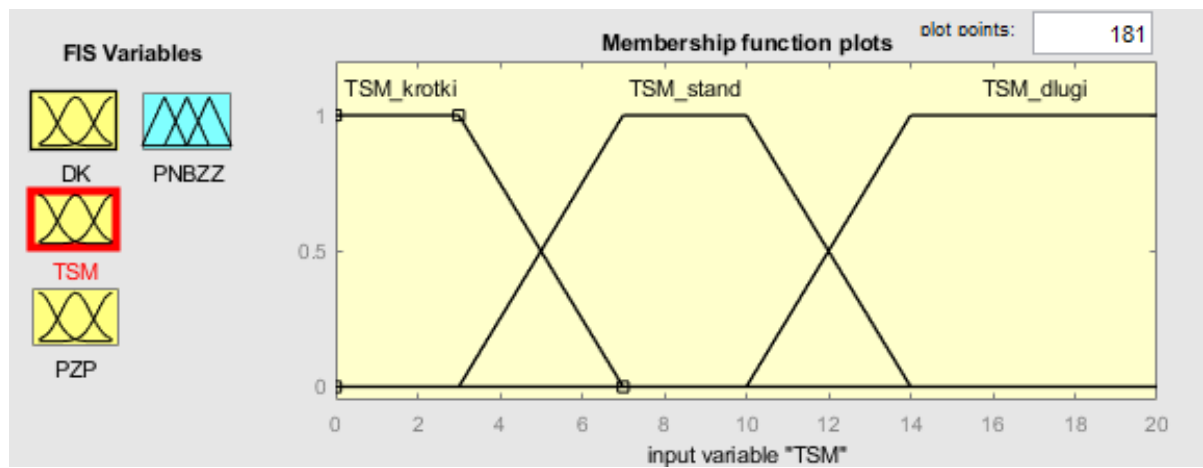
Rys. 5.62. Regulator rozmyty opracowany w MATLAB

Dla każdego parametru wejściowego przyjęto trzy trapezoidalne funkcje przynależności, które określają zasięg i charakterystykę zmian parametrów wejściowych. Funkcje przynależności w każdym przypadku zawierają trzy zmienne lingwistyczne: krótki, standardowy, długi.

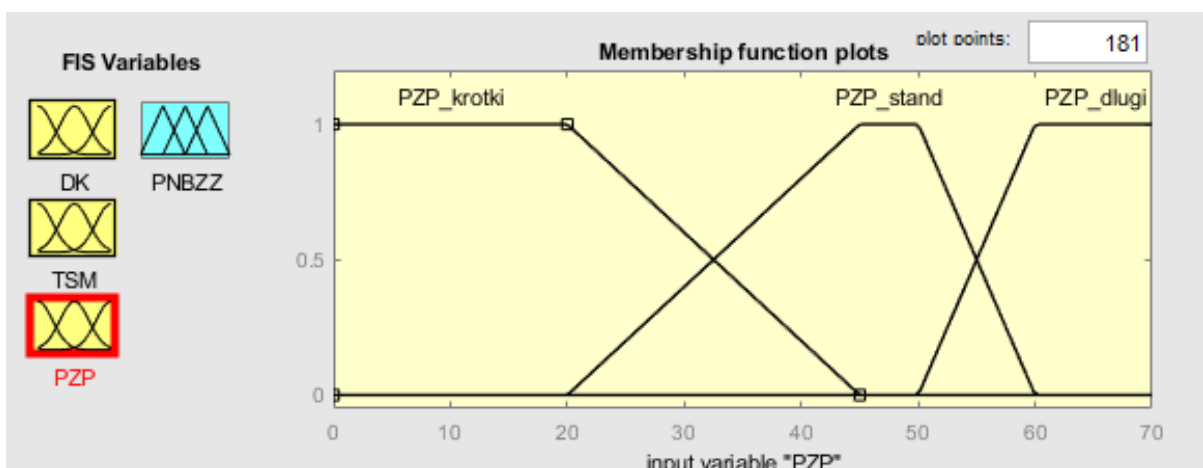
W przypadku sygnału wyjściowego, którym jest wyznaczane prawdopodobieństwo realizacji naprawy bez zbędnej zwłoki przyjęto sześć funkcji przynależności (trójkątne), odpowiednio: „bardzo małe”, „małe”, „średnie”, „duże”, „bardzo duże” i „oczekiwane”. Postać funkcji przynależności sygnałów wejściowych i wyjściowego przedstawiono na poniższych rysunkach. Należy nadmienić, że ich przebieg określono na podstawie odpowiedzi ekspertów uczestniczących w badaniu ankietowym.



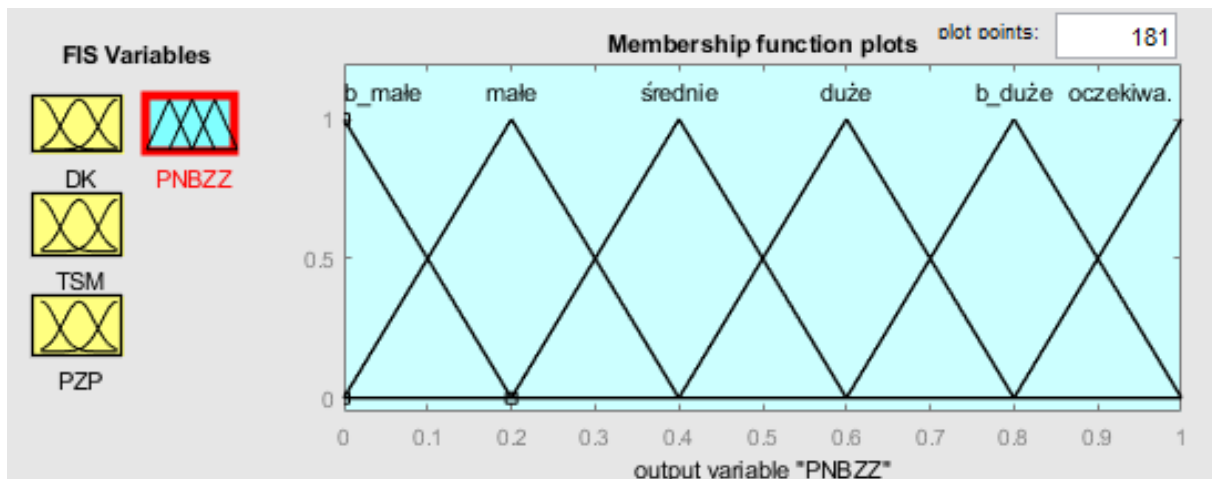
Rys. 5.63. Funkcje przynależności sygnału „czas obiegu dokumentów - DK”. Opracowanie własne



Rys. 5.64. Funkcje przynależności sygnału „dostępność części zamiennych - TSM”. Opracowanie własne



Rys. 5.65. Funkcje przynależności sygnału „procedury zamówień publicznych PZP”. Opracowanie własne



Rys. 5.66. Funkcje przynależności sygnału wyjściowego PNBZZ. Opracowanie własne

W kolejnym etapie zbudowano, na podstawie odpowiedzi respondentów, bazę reguł wnioskowania. Baza reguł jest elementem umożliwiającym wyznaczenie wartości wyjściowej modelu rozmytego na podstawie parametrów wejściowych i funkcji przynależności. Zależności między poszczególnymi zbiorami rozmytymi są określone na podstawie reguł wnioskowania określonych przez ekspertów. Zawierają one przesłanki oraz wynikające z nich konkluzje. Ilość reguł wnioskowania można zdefiniować poniższym wzorem:

$$r_w = z_r^w \quad (5.1)$$

gdzie:

- $r_w$  – liczba reguł wnioskowania,
- $z_r$  – liczba zbiorów rozmytych modelu,
- $w$  – liczba wejść modelu.

W przypadku analizowanego modelu uzyskano dwadzieścia siedem reguł wnioskowania ( $r_w$ ). Wynika to z faktu wykorzystania do analizy trzech zbiorów rozmytych modelu ( $z_r$ ) dla trzech parametrów wejściowych ( $w$ ).

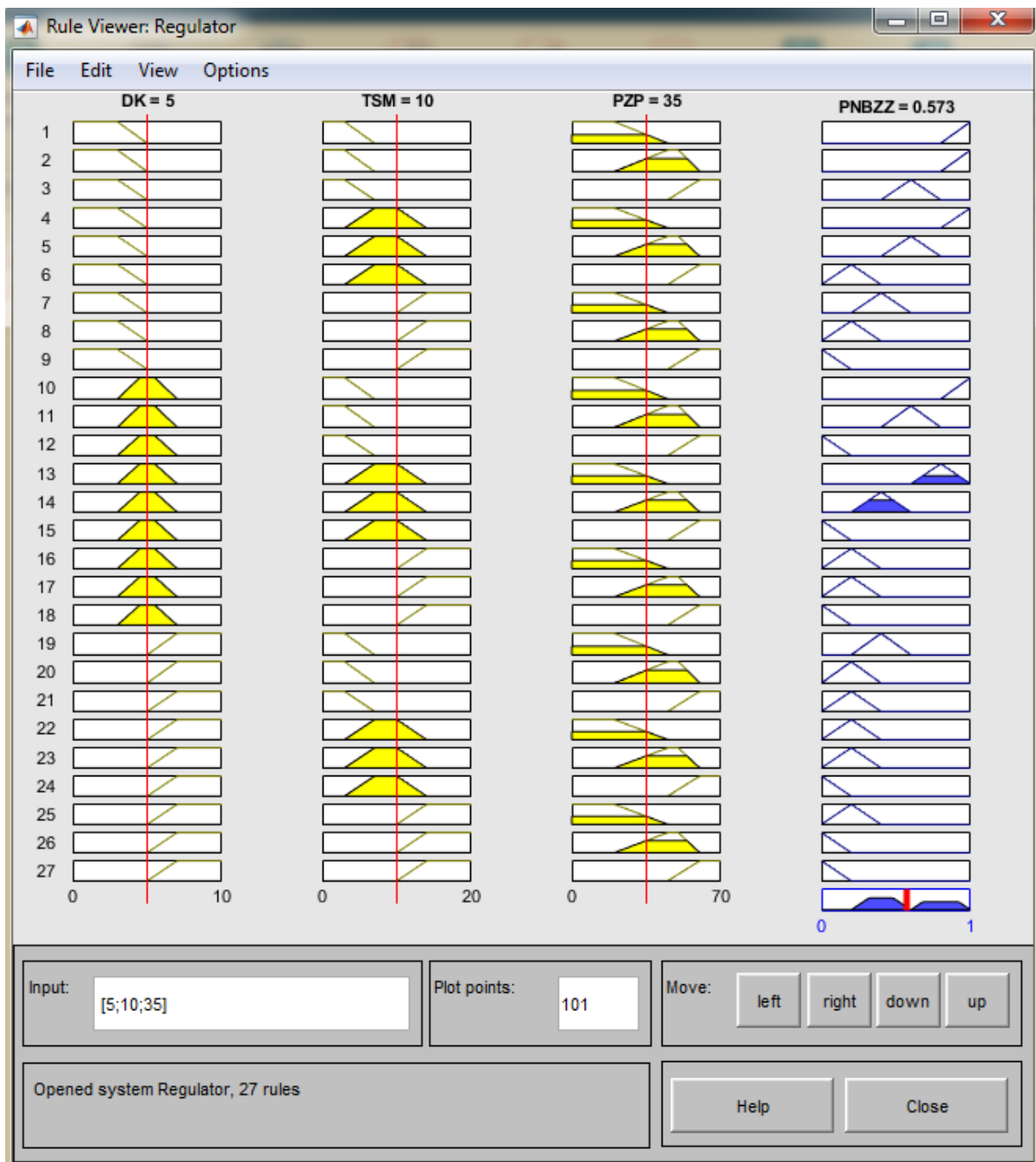
W dalszej części opracowania zdefiniowano bazę reguł wnioskowania rozmytego, które miały postać: „czas obiegu dokumentów = krótki” i „czas oczekiwania na części zamienne = krótki” i „czas procedury przetargowej = krótki” to „czas naprawy bez zbędnej zwłoki = oczekiwany”. Pełna lista reguł jest przedstawiona w tabeli (Tab. 5.19).

Tab. 5.19. Reguły wnioskowania wykorzystane w modelu wykonywania zadań O-N

Lp.	Czas obiegu dokumentów	Czas oczekiwania na części	Czas procedury zamówień publicznych	Prawdopodobieństwo naprawy/obsługi bez zbędnej zwłoki
1	krótki	krótki	krótki	oczekiwane
2	krótki	krótki	standardowy	oczekiwane
3	krótki	krótki	długi	duże
4	krótki	standardowy	krótki	oczekiwane
5	krótki	standardowy	standardowy	duże
6	krótki	standardowy	długi	małe
7	krótki	długi	krótki	średnie
8	krótki	długi	standardowy	małe
9	krótki	długi	długi	bardzo małe
10	standardowy	krótki	krótki	oczekiwane
11	standardowy	krótki	standardowy	duże
12	standardowy	krótki	długi	bardzo małe
13	standardowy	standardowy	krótki	bardzo duże
14	standardowy	standardowy	standardowy	średnie
15	standardowy	standardowy	długi	bardzo małe
16	standardowy	długi	krótki	małe
17	standardowy	długi	standardowy	małe
18	standardowy	długi	długi	bardzo małe
19	długi	krótki	krótki	średnie
20	długi	krótki	standardowy	małe
21	długi	krótki	długi	małe
22	długi	standardowy	krótki	małe
23	długi	standardowy	standardowy	małe
24	długi	standardowy	długi	bardzo małe
25	długi	długi	krótki	małe
26	długi	długi	standardowy	bardzo małe
27	długi	długi	długi	bardzo małe

W projektowanym modelu wybrano mechanizm interferencji oparty na metodzie minimaksowej prof. Zadeha. Przesłanki łączone są koniunkcją, co sprawia, że konkluzja ma minimalną wartość aktywowanych funkcji przynależności. Ocena przesłanek realizowana jest w postaci iloczynu logicznego (operator MIN), a wynikowa funkcja przynależności, przy użyciu bloku agregacji realizowanym w postaci sumy logicznej (operator MAX). Wynikowa funkcja przynależności należy w dalszym ciągu do zbioru liczb rozmytych, dlatego w celu otrzymania na wyjściu układu jednej wartości, należącej do zbioru liczb rzeczywistych, należy zastosować odpowiednią metodę defuzyfikacji (wyostrzania). W projektowanym modelu wykorzystano metodę środka ciężkości. Metoda ta jest jednym z rozwiązań, które w procesie wyostrzania bierze pod uwagę wszystkie aktywne reguły. Gwarantuje to największą czułość na zmiany parametrów sygnałów wejściowych. Sposób wyznaczenia wartości ostrej polega na wyznaczeniu współrzędnej  $y_c$  środka ciężkości powierzchni pod krzywą określoną przez wynikową funkcję przynależności.

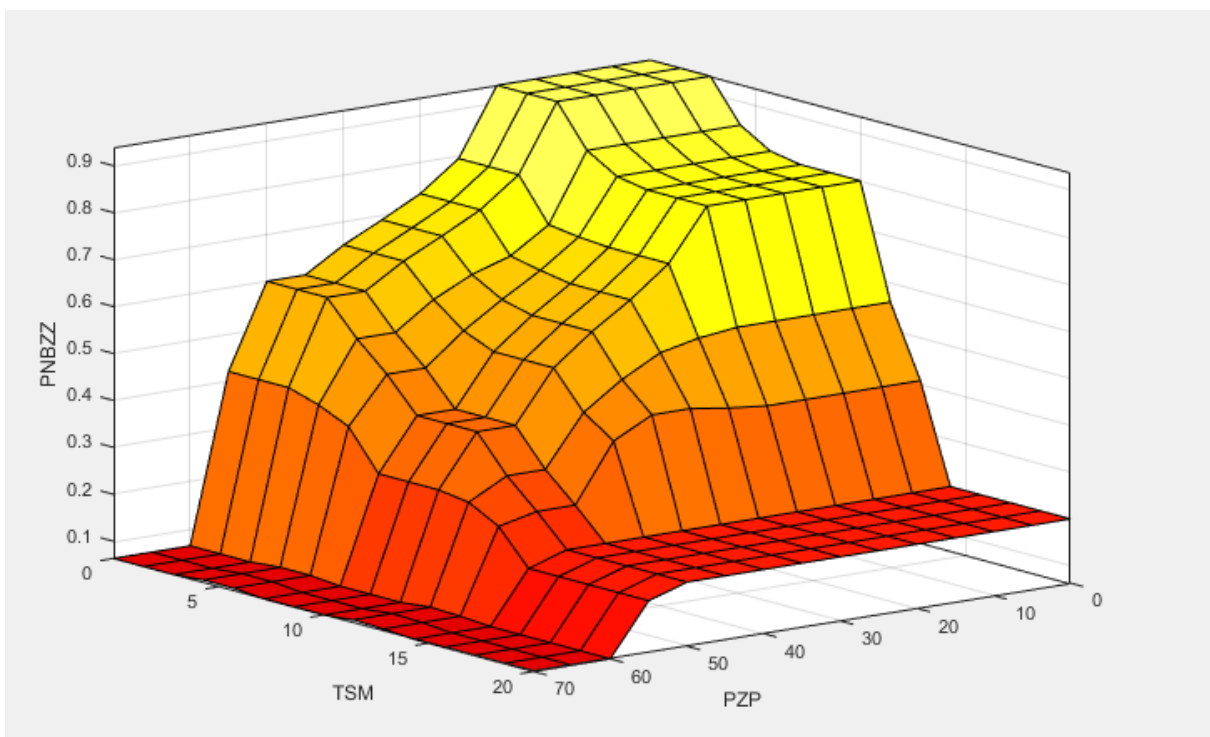
Działanie reguł wnioskowania oraz stan wyjściowy po procesie defuzyfikacji można zaobserwować w widoku reguł programu MATLAB (Fuzzy Logic Toolbox). Widok przedstawiono na rysunku (Rys. 5.67). Regulator przedstawia kształt wejściowych i wyjściowych funkcji przynależności. Umożliwia wprowadzenie wartości parametrów wejściowych poszczególnych funkcji przynależności definiowanych na podstawie wiedzy ekspertów, wskazuje ich wartość, a także określa wartość wynikowej funkcji przynależności wybranych do obliczeń wartości parametrów w tym przypadku prawdopodobieństwa naprawy bez zbędnej zwłoki (PNBZZ). Wskazuje reguły aktywowane do obliczenia konkretnego zadania. Moduł FLT programu MATLAB umożliwia graficzną prezentację analizowanego problemu.



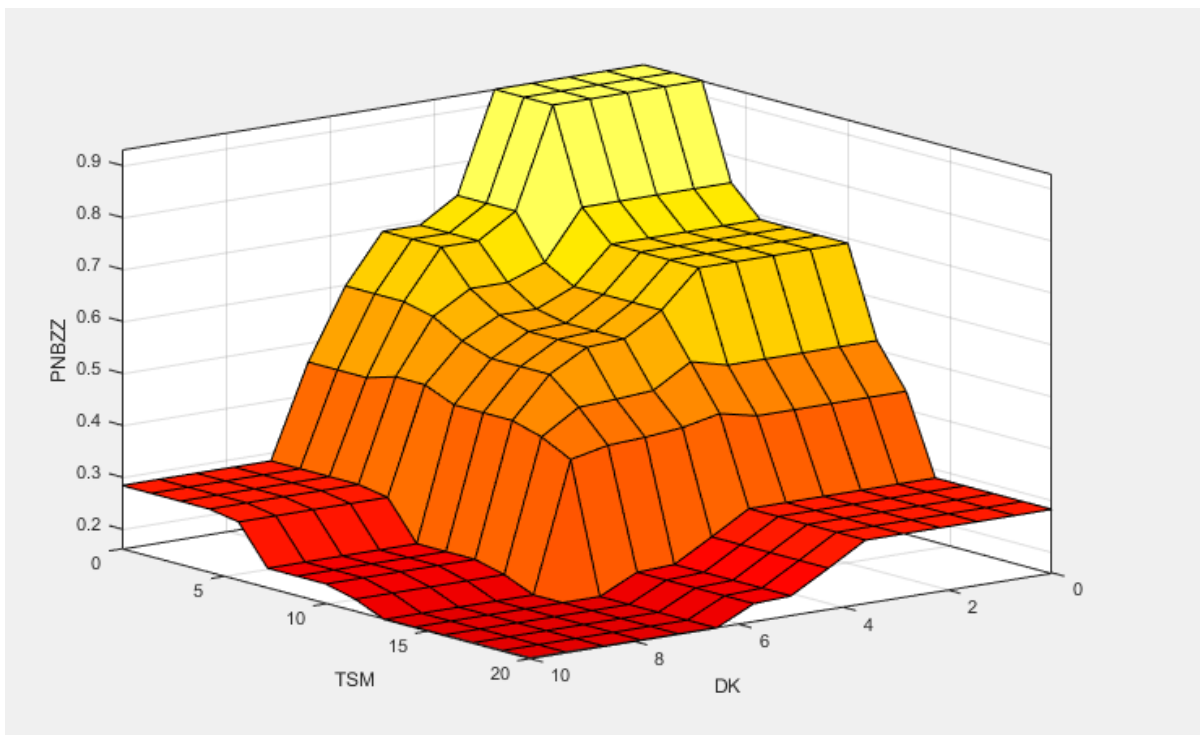
Rys. 5.67. Widok regulatora wnioskowania w oprogramowaniu MATLAB. Opracowanie własne

W przedstawionym powyżej przypadku określono wartości parametrów wejściowych, tj.  $DK = 5$ ,  $TSM = 10$ ,  $PZP = 35$ . Określone wartości stanowią pięćdziesiąt procent wartości maksymalnej zdefiniowanych parametrów (średnia wartość). W celu określenia PNBZZ zostały aktywowane dwie reguły: nr 13, a także nr 14. Na tej podstawie środowisko MATLAB umożliwiło określenie wartości parametru wyjściowego, który w tym przypadku wyniósł 0,573.

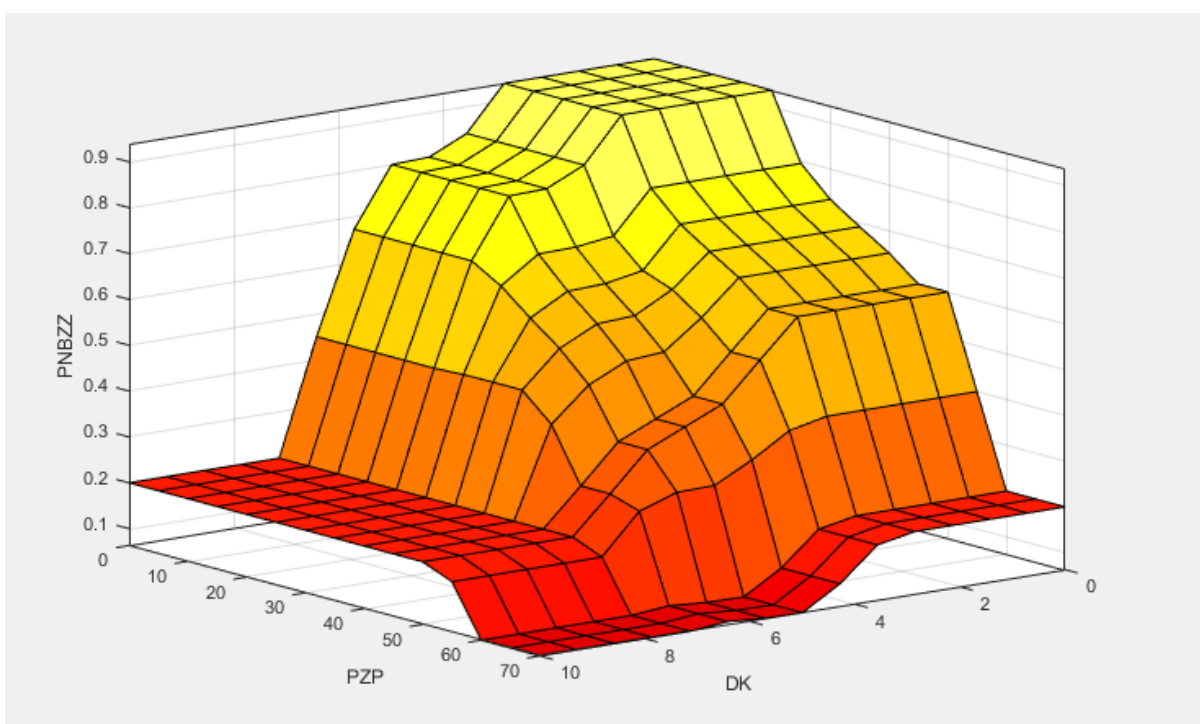
W kolejnym etapie wyznaczono powierzchnie prawdopodobieństwa naprawy/obsługi bez zbędnej zwłoki (PNBZZ). Przedstawiono je w następujących konfiguracjach: (TSM, PZP), (TSM, DK), (PZP, DK). Należy zwrócić uwagę, że czas obiegu dokumentów ma istotny wpływ na uzyskanie wysokiego poziomu prawdopodobieństwa wykonania czynności O-N bez nadmiernej zwłoki czasowej. Wysoki poziom PNBZZ uzyskuje się dla parametru DK, gdy jego wartość jest niska, a zatem jego wartość lingwistyczna znajduje się w zbiorze „krótki”. Wydłużanie czasu obiegu dokumentów powoduje znaczne obniżanie parametru wyjściowego. Parametr DK ma kluczowy wpływ na wartość PZP oraz TSM. Również w odniesieniu do TSM wyjście z zakresu wartości lingwistycznej „krótki” powoduje opóźnienie napraw.



Rys. 5.68. Zależność PNBZZ od dostępności tsm oraz czasu procedury PZP. Opracowanie własne



Rys. 5.69. Zależność PNBZZ od dostępności tśm oraz czasu obiegu DK. Opracowanie własne



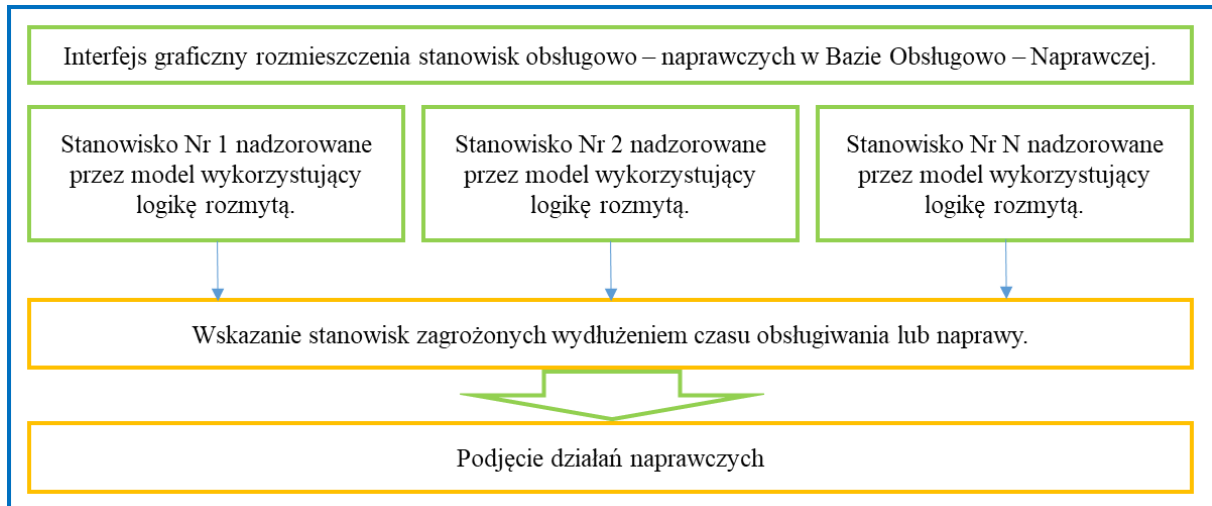
Rys. 5.70. Zależność PNBZZ od czasu procedur PZP oraz obiegu DK. Opracowanie własne

Wartości czasu określone przez ekspertów w kontekście funkcji przynależności parametru PZP są bardzo duże. Zatem należy określić procedurę opartą na elektronicznym obiegu dokumentów w ramach relacji komórek jednostki wojskowej z komórką PZP, a także poszukiwać metod prognozowania i planowania tśm pozwalających utrzymać optymalną strukturę i poziom zapasów. Zoptymalizuje to ilość środków finansowych przeznaczanych na zakup technicznych środków materiałowych, a także rozwój elementów systemu obsługowo-



naprawczego, tj. szkolenie personelu, zakup sprzętu diagnostycznego i obsługowo-naprawczego, a także inwestycje w bazę obsługowo-naprawczą w aspekcie rozwoju sieci teleinformatycznych.

Metoda może być wykorzystana do oceny efektywności realizacji zadań na poszczególnych stanowiskach obsługowo-naprawczych pododdziałów remontowych przez personel nadzorujący wszystkich szczebli kierowania podsystemem technicznym, dowódców pododdziałów remontowych, komórki S-4 JW, komórki prowadzące kontrolę zarządcą w JW, a także użytkowników wykorzystujących do tego celu stosowne interfejsy graficzne przedstawiające stanowiska w halach remontowych i warsztatach (Rys. 5.71).



Rys. 5.71. Model zarządzania wykorzystaniem stanowisk O-N serwisu. Opracowanie własne

### Podsumowanie:

1. Na podstawie uzyskanych wyników analizy (powierzchni PNBZZ) nasuwa się wniosek, że prawdopodobieństwo wykonania naprawy bez opóźnień jest bliskie jedności w bardzo ograniczonym zakresie, tj. gdy rzeczywiste wartości wejściowe należą do zbioru zmiennej lingwistycznej określonej jako „krótka” zdefiniowanych funkcji przynależności.
2. Należy zwrócić uwagę na maksymalne wartości rzeczywistych parametrów wejściowych określonych przez ekspertów na podstawie praktycznych doświadczeń. W ocenie autora są one zbyt długie. Osiągnięcie wartości „standardowy” i „długi” zmiennych lingwistycznych powoduje znaczący spadek wartości PNBZZ. Rozwiązaniem jest rozwój w pełni elektronicznego obiegu dokumentów i transakcji logistycznych z włączeniem w proces komórek zamówień publicznych. Dokumentami wymagającymi przejścia z obiegu papierowego na elektroniczny są: „Protokół Stanu Technicznego”, „Karta Usługi Technicznej”, „Wniosek na zakup doraźny tśm/usług”, protokół likwidacji szkody powstałej w czasie eksploatacji SpW.
3. Opracowany model może być wykorzystany do oceny procesów logistycznych bez konieczności wykorzystywania rozbudowanego zbioru danych służących do określenia szeregu wskaźników.
4. Opracowany model może być wykorzystywany przez personel kierujący naprawą sprzętu w stacjach O-N do szacowania czasu realizacji obsługi i napraw.

## **6. BADANIE CHARAKTERYSTYK PROCESU EKSPLOATACJI SpW**

Obecne trendy w dziedzinie obsługiwanego sprzętu opierają się na metodach predykcyjnych, tj. przewidywania kolejnych stanów obiektów technicznych w kolejnych chwilach czasowych. Realizacja powyższego wymaga m.in. dostępu do historii zdarzeń eksploatacyjnych.

Przez wiele lat informacja o zdarzeniach eksploatacyjnych była zapisywana w książkach ewidencji zdarzeń lub analogowych rejestrach. Powyższe powodowało i powoduje, że przedmiotowe dane są trudno dostępne oraz są rozproszone w różnych komórkach organizacyjnych. Ponadto ich pozyskanie przysparza badaczom znaczących trudności, absorbuje znaczne ilości czasu, który mógłby zostać wykorzystany na badania oraz propozycje adekwatnych strategii eksploatacji, bilansując koszty eksploatacji sprzętu. Efekt końcowy pozyskania informacji z dokumentacji papierowej często okazuje się niewystarczający, tzn. pozyskane dane mogą okazać się częściowe i przedstawią niepełny obrazu stanu obiektów technicznych. Wielkość zasobu danych o wcześniejszych stanach sprzętu zwiększa wiarygodność prognozy.

Jednym z elementów prowadzonej pracy było określenie stanu wybranej grupy eksploatowanego sprzętu w Siłach Zbrojnych. Z uwagi na wprowadzanie od wielu lat Zintegrowanego Wieloszczeblowego Systemu Informatycznego Resortu Obrony Narodowej (ZWSI RON) autor zwrócił się do dwóch Oddziałów Gospodarczych o udostępnienie danych według zaproponowanej struktury. Dane, które zostały przekazane okazały się częściowe i nie pozwoliły wykonać zamierzonych badań. Dalsze poszukiwania dostępu do danych cyfrowych były prowadzone w organach logistycznych wyższych szczebli kierowania Podsystemem Technicznym oraz w komórce odpowiedzialnej za implementowanie ZWSI RON. Efektem wymiany korespondencji było udostępnienie danych, jednak nie w postaci oczekiwanej przez autora. Otrzymane raporty zawierające liczne dane wymagały ich agregowania i poddania dalszej skomplikowanej obróbce numerycznej z uwagi na ich charakter.

Szerokie działania doprowadziły do pozyskania informacji o nieplanowych zdarzeniach eksploatacyjnych. Uzyskane raporty uzupełniające oraz samodzielnie stworzone algorytmy/makra pozwoliły przypisać elementarnemu zdarzeniu eksploatacyjnemu zużycie rewersu w funkcji czasu, przejechanych kilometrów oraz przepracowanych motogodzin w chwili wystąpienia zdarzenia.

Równolegle, w oczekiwaniu na decyzje o udostępnieniu danych, przeprowadzono analizę dokumentacji technicznej (Protokoły Stanu Technicznego, a także Karty Usługi Technicznej) w jednym z Oddziałów Gospodarczych, w którego ewidencji znajdowała się grupa sprzętu KTO. Po analizie kilkuset dokumentów uzyskano dane o zdarzeniach eksploatacyjnych wybranej grupy pojazdów. Z uwagi na sposób prowadzenia dokumentacji, znacząca część informacji była nieczytelna.

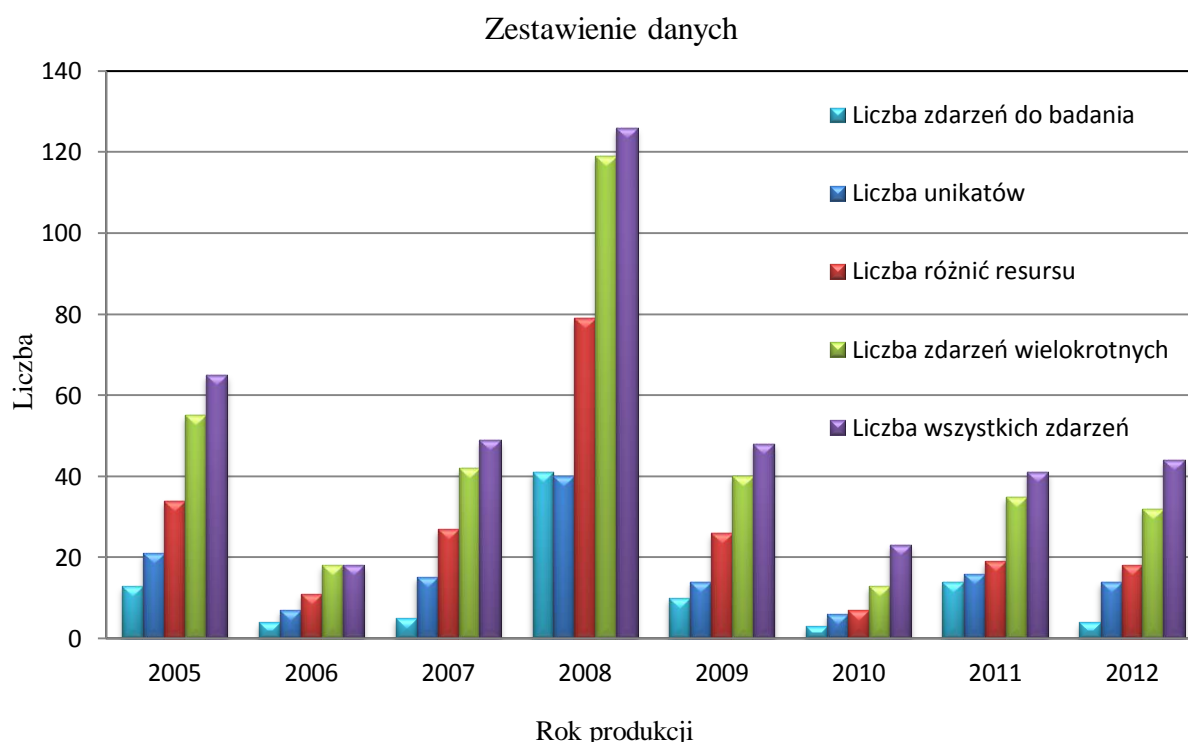
### **6.1. Wyniki analizy w oparciu o PST i KUT.**

W kolejnej części badań autor przeprowadził analizę papierowych Protokołów Stanu Technicznego (PST) badanego sprzętu znajdującego się w ewidencji 45 Wojskowego Oddziału Gospodarczego. Dokonano weryfikacji poniższych ilości dokumentów, które stanowiły źródło danych wejściowych.

Tab. 6.1. Zestawienie ilości dokumentów poddanych analizie. Opracowanie własne

Rok produkcji sprzętu wojskowego	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Ilość zweryfikowanych Protokołów Stanu Technicznego	65	18	49	126	48	23	41	44

W powyższej grupie znajdowały się jednostki sprzętowe, dla których w badanym okresie (zdarzenia z okresu lat 2017 – 2019) na podstawie PST stwierdzono wyłącznie jedno zdarzenie polegające na naprawie. Powyższe zdarzenia zostały wyłączone z dalszej analizy. Dalsze badania prowadzono w aspekcie analizy następujących miar resursu: czas (dni), przebyta droga (kilometry, km) oraz czas pracy (motogodziny, mtg). W czasie weryfikacji danych określono różnice resursu między dwoma zdarzeniami eksploatacyjnymi (uszkodzenia) dla badanego zbioru danych w odniesieniu dla egzemplarza sprzętu opisanego numerem rejestracyjnym (unikaty). Przed poddaniem danych analizie odrzucono wartości odstające oraz wartości nieczytelne z uwagi na jakość prowadzenia dokumentacji w wersji papierowej. Zbiór danych początkowych i końcowych przedstawia wykres (Rys. 6.1).



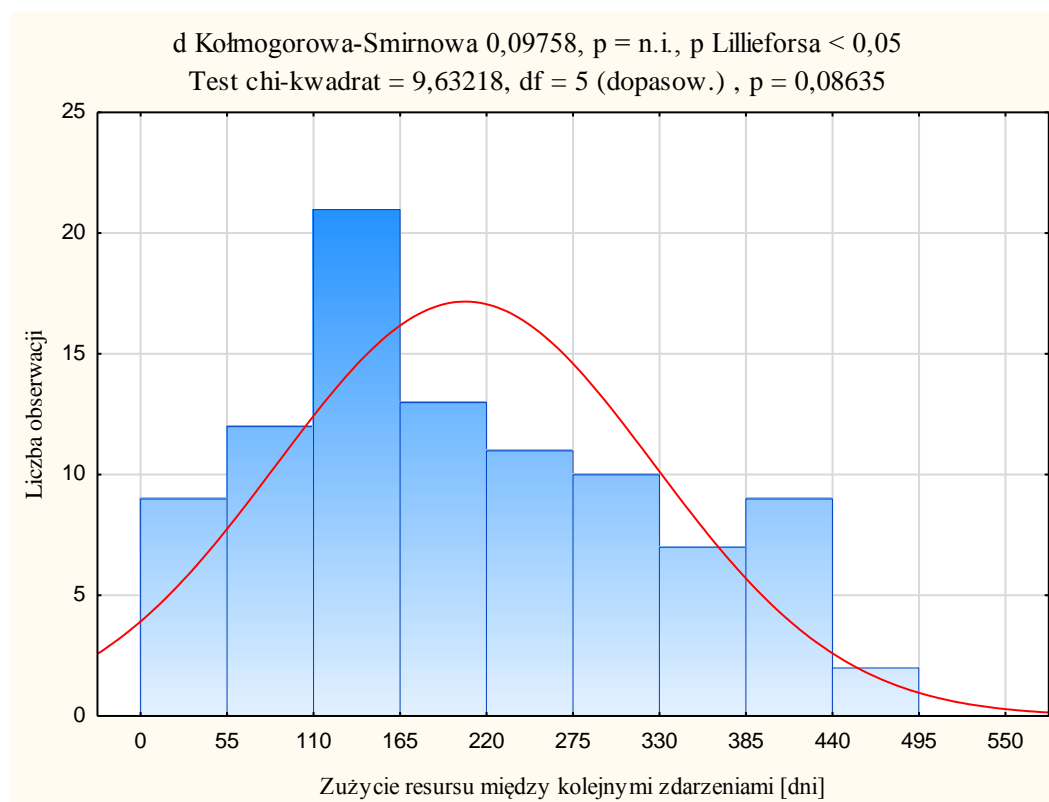
Rys. 6.1. Zestawienie danych wykorzystanych do dalszej analizy. Opracowanie własne

Na podstawie zgromadzonych danych przeprowadzono analizę uszkodzeń sprzętu według trzech parametrów (dni, km, mtg), którą przedstawiono w postaci tabeli statystyk opisowych, a także histogramów. Jednocześnie porównano wynik analizy z wybranymi rozkładami teoretycznymi.

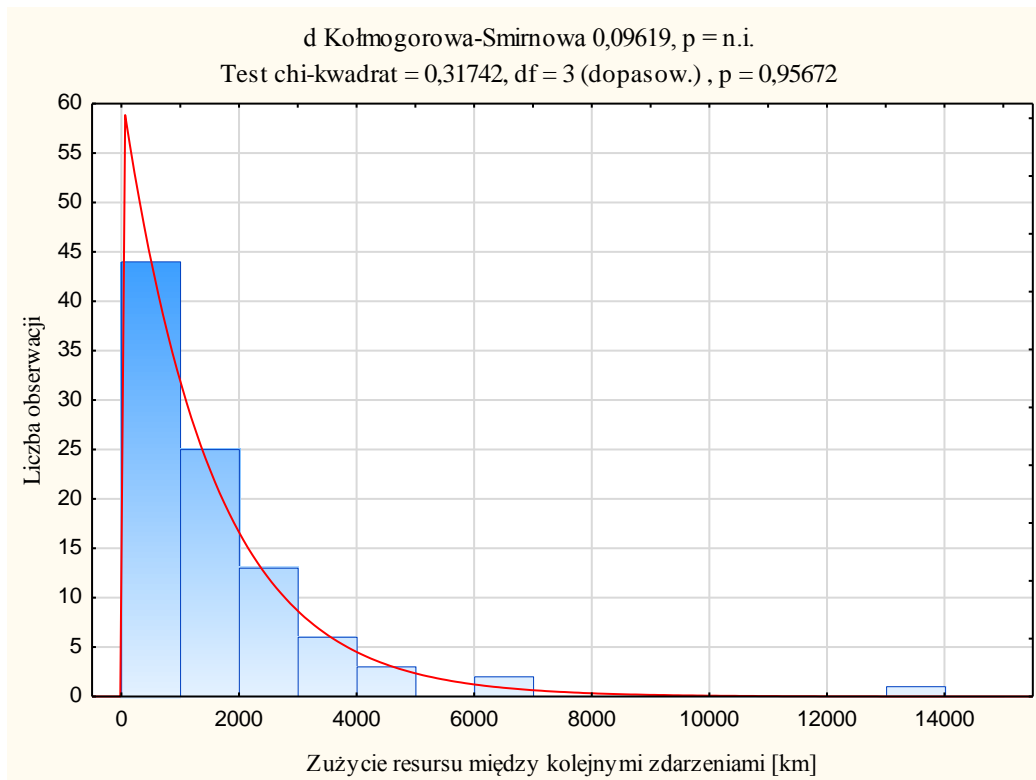
Tab. 6.2. Statystyki opisowe analizowanej próby pojazdów. Opracowanie własne

	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny (Kwartyl.)	Górny (Kwartyl.)	Odch.std	Wsp.zmn.	Skośność	Kurtoza
Różnica [km]	1532,9	1091,5	12,0	13002,0	328,0	2015,0	1821,9	118,9	3,2	16,5
Różnica [mtg]	94,4	70,5	2,0	517,8	27,0	139,0	93,2	98,8	1,9	5,2
Różnica [dni]	206,5	182,0	7,0	461,0	118,0	288,0	120,1	58,2	0,4	-0,8
Resurs[km]	15227,8	14323,0	2,0	42580,0	10044,0	20259,0	8112,4	53,3	1,0	2,0
Resurs [mtg]	1663,5	1356,5	4,5	6392,0	976,0	1985,0	1197,6	72,0	1,6	2,8

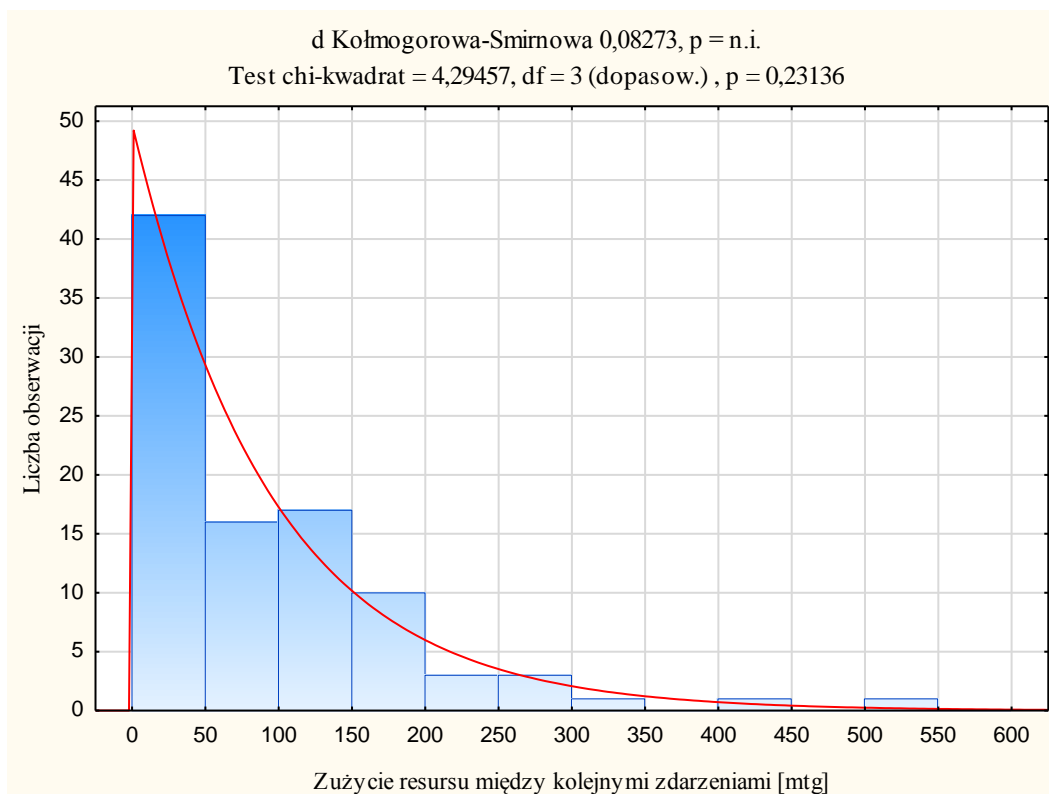
Wykonane histogramy uszkodzeń SpW wraz z ich porównaniem z rozkładem teoretycznym na podstawie testów statystycznych przedstawiono na rysunkach (Rys. 6.2 – Rys. 6.4).



Rys. 6.2. Histogram uszkodzeń, parametr dni, rozkład normalny. Opracowanie własne



Rys. 6.3. Histogram uszkodzeń, parametr km, rozkład wykładniczy. Opracowanie własne

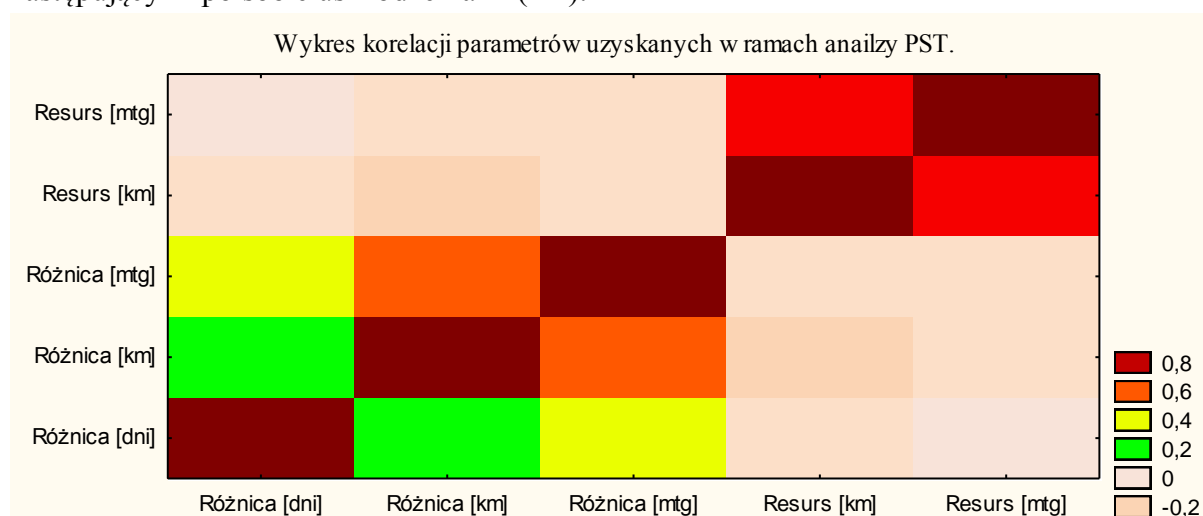


Rys. 6.4. Histogram uszkodzeń, parametr mtg, rozkład wykładniczy. Opracowanie własne

Na podstawie wykresów należy stwierdzić, że w przypadku analizowanych uszkodzeń SpW istnieje możliwość dopasowania rozkładu teoretycznego opisującego przebieg uszkodzeń dla każdego zaproponowanego parametru, tj. dni, km, mtg. Ma to znaczenie w kontekście przyszłej propozycji koncepcji wspomaganie systemu eksploatacji SpW.

Na zakończenie prowadzonej analizy zobrazowano korelacje paramentów, których wartości odczytano z dostępnych dokumentów (Rys. 6.5).

Na poniższym zestawieniu należy zwrócić uwagę na występowanie korelacji między przejechanymi kilometrami przez SpW (Resurs [km]), a wypracowanymi motogodzinami (Resurs [mtg]). Dodatkowo zauważa się występowanie korelacji w odniesieniu do resursu między uszkodzeniami mierzonym w km i mtg. Należy zwrócić uwagę, że występują związki korelacyjne zarówno pomiędzy zużyciem resursu w km i mtg, jak również pomiędzy wystąpieniem kolejnych uszkodzeń mierzonych jako różnica km i mtg. Nie zaobserwowano silnego związku korelacyjnego pomiędzy uszkodzeniami mierzonymi w funkcji upływu czasu między kolejnymi uszkodzeniami (różnica, dni), a różnicą przebytej drogi między następującymi po sobie uszkodzeniami (km).



Rys. 6.5. Wykres korelacji miar resursu KTO uzyskanych po analizie PST. Opracowanie własne

Powyższe badania pokazały, że występują zgodności pomiędzy wynikami empirycznymi, a rozkładami teoretycznymi. Zostało to potwierdzone w badaniu zgodności rozkładów testem Chi-kwadrat. W odniesieniu do różnicy przebiegów między uszkodzeniami mierzonymi w dniach, rozkładem teoretycznym oddającym dopasowanie jest rozkład normalny (Rys. 6.2). Dla różnicy przebiegów między uszkodzeniami mierzonymi w km (Rys. 6.3) i mtg (Rys. 6.4) rozkładem odwzorowującym przebieg zjawiska jest rozkład wykładniczy – w przypadku badanej próby. Dało to podstawę do dalszego prowadzenia badań w oparciu o dane pozyskane z systemu informatycznego.

W wyniku prowadzonych badań uzyskano dane dotyczące uszkodzeń KTO Rosomak. Ogólne zestawienie uszkodzeń przedstawiono w tabeli (Tab. 6.3). Dane mogą być wykorzystane do planowania pozyskiwania wyposażenia warsztatowego.

Tab. 6.3. Ilość uszkodzeń układów SpW.

Lp.	Rodzaj układu	Ilość zdarzeń
1	Układ hamulcowy	73
2	Układ kierowniczy	14
3	Układ jezdny	194
4	Instalacja elektryczna	124
5	Nadwozie	138
6	Uzbrojenie i elektronika	53

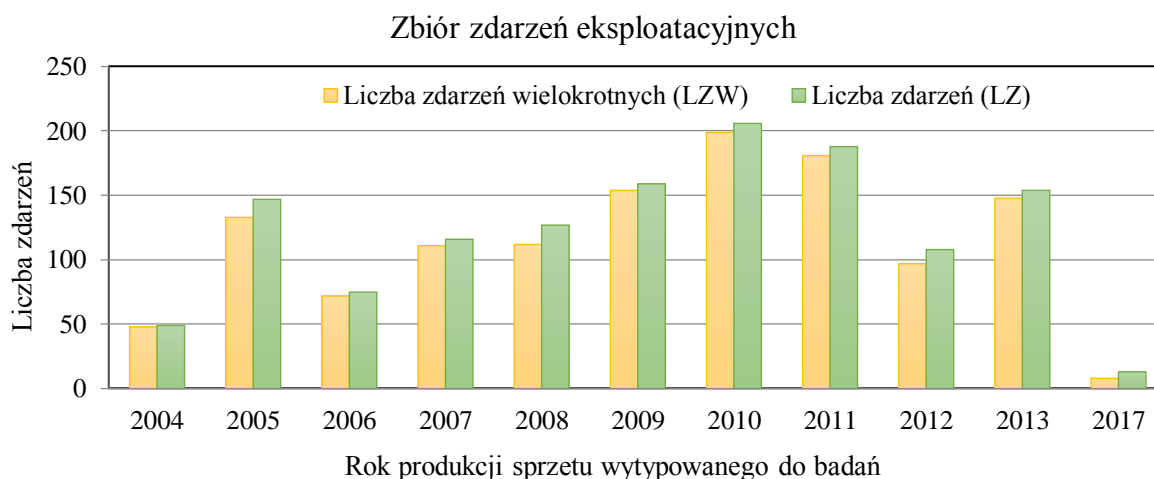
## 6.2. Wyniki analizy eksploatacji KTO Rosomak na podstawie danych z ZWSI RON

W przypadku danych z systemu informatycznego ZWSI RON o zdarzeniach nieplanowych uzyskano informacje eksploatacyjne dotyczą okresu 01.01.18 – 30.06.20 r. Analizę danych wykonano z uwzględnieniem trzech miar resursu, tj. wykorzystania resursu między uszkodzeniami liczonego w dniach, przejechanych kilometrach i wypracowanych motogodzinach. Plan analizy przedstawiono poniżej.

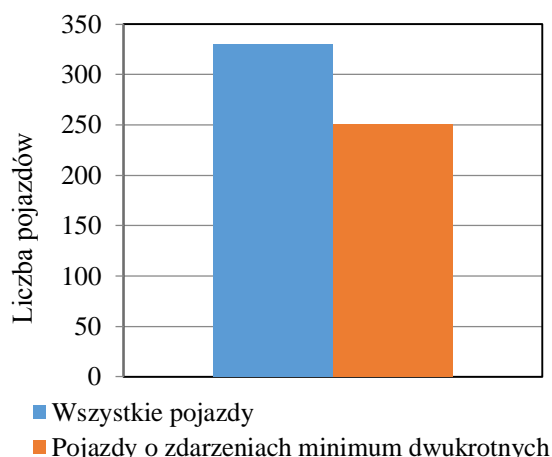
1. Określenie liczby pojazdów, które poddano naprawie nieplanowej NB w analizowanym okresie (numery rejestracyjne – numery unikatowe – IU). Określenie całkowitej liczby zdarzeń eksploatacyjnych (LZ), w tym liczby zdarzeń wielokrotnych w odniesieniu do pojedynczego pojazdu (LZW).
2. Weryfikacja danych pod kątem dalszej analizy (odrzućcie danych odstających).
3. Określenie średniego jednostkowego wykorzystania zapasu resursu eksploatacyjnego (ZRE), który zdefiniowano jako iloraz wykorzystania resursu do ilości pojazdów (w odniesieniu do grup SpW o tym samym roku produkcji).
4. Określenie intensywności występowania uszkodzeń względem roku produkcji (iloraz resursu eksploatacyjnego i ilości napraw nieplanowych).
5. Określenie czasów realizacji napraw od zgłoszenia do zakończenia.
6. Określenie kosztów napraw.
7. Przedstawienie wyników porównania rozkładów empirycznych zdarzeń eksploatacyjnych z rozkładami teoretycznymi z wykorzystaniem testów statystycznych z prezentacją graficzną wybranych danych.

### Ad. 1. Określenie liczby pojazdów

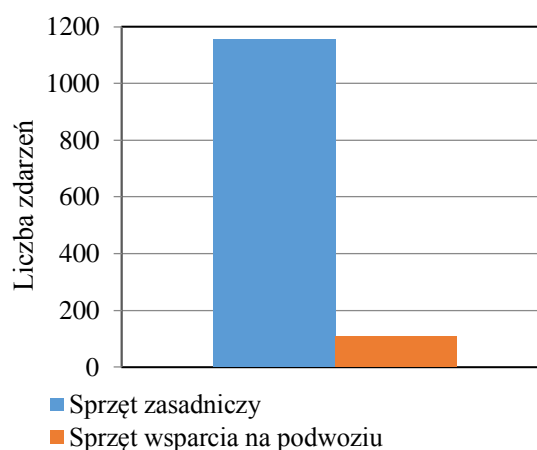
W czasie prowadzenia analizy określono liczbę pojazdów, w przypadku których zarejestrowano jednokrotne zdarzenia naprawy nieplanowej (Rys. 6.6), a także pojazdy dla których zarejestrowano więcej niż jedno zdarzenie polegające na wykonaniu NB (Rys. 6.7). Druga grupa została poddana dalszej analizie w aspekcie badania zużycia resursu między uszkodzeniami. Liczbę pojazdów przedstawia wykres (Rys. 6.7, Rys. 6.8).



Rys. 6.6. Liczba zdarzeń w odniesieniu do rocznika produkcji. Opracowanie własne

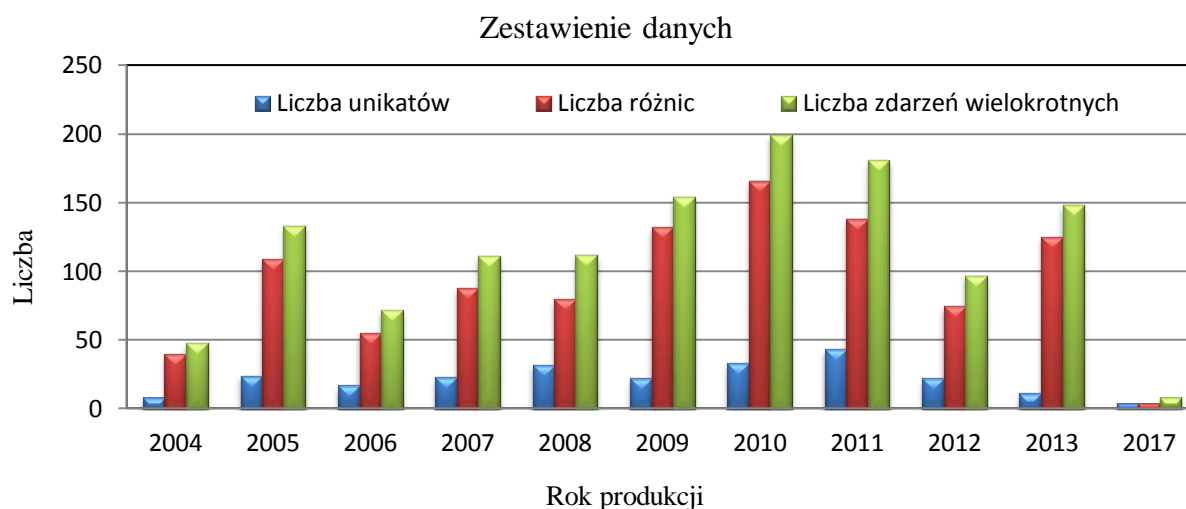


Rys. 6.7. Liczba pojazdów w badaniu



Rys. 6.8. Liczba zdarzeń wielokrotnych

W kolejnym etapie analizy wyselekcjonowano zdarzenia wielokrotne (LZW), określono liczbę wartości różnic resursu między uszkodzeniami (LR), a następnie zestawiono powyższe wartości z liczbą sprzętu w obrębie rocznika produkcji, tj. LU – ilość unikatów, numerów rejestracyjnych (Rys. 6.9).



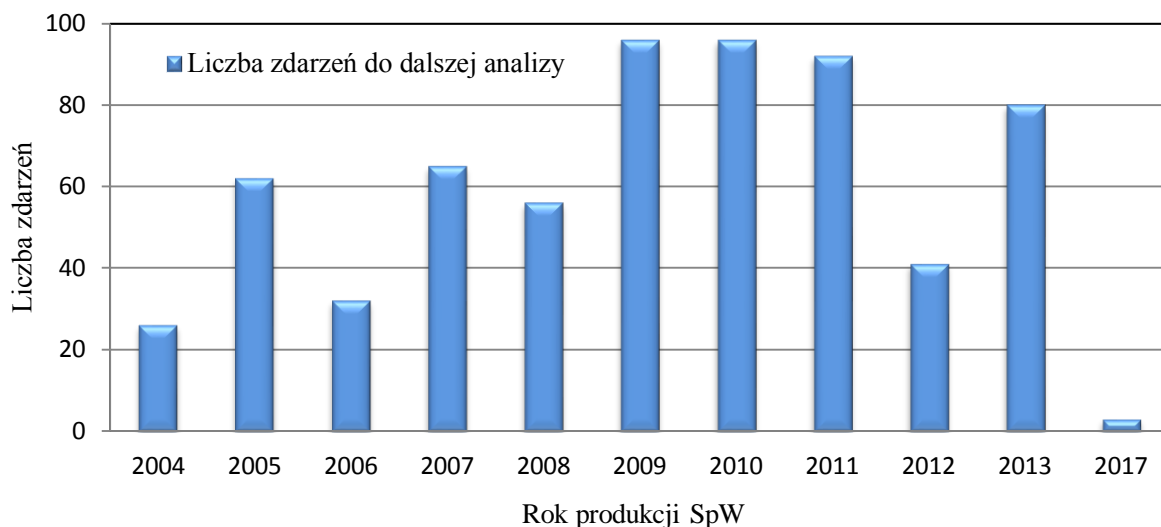
Rys. 6.9. Wykres porównawczy LZW, LR, LU. Opracowanie własne

## Ad. 2. Weryfikacja danych pod kątem dalszej analizy

W czasie przygotowania danych do wykonania histogramów oraz porównania rozkładów empirycznych z rozkładami teoretycznymi z wykorzystaniem hipotez statystycznych okazało się, że w przypadku miar resursu dni, km i mtg stwierdzono występowanie zdarzeń eksploatacyjnych, które zaistniały przy bardzo niskim zużyciu resursu (bliskie wartości zero). Liczba zdarzeń powodowała brak możliwości wykonania zaplanowanych badań. W wyniku analizy danych, kontaktu z użytkownikami systemu ZWSI RON, a także analizy czasu i kosztu napraw okazało się, że zerowe zdarzenia eksploatacyjne są wynikiem prowadzenia weryfikacji stanu technicznego sprzętu w czasie naprawy i generowania dodatkowych zleceń naprawy w celu zapotrzebowania dodatkowych technicznych środków materiałowych. W związku z powyższym zdarzenia bliskie wartości zerowej rozpatrywane z punktu widzenia badanej grupy sprzętu nie zostały wykorzystane do wykonania zaplanowanych badań (Rys. 6.10). Za kryterium, które przyjęto do oddzielenia wyników była wartość wykorzystania resursu mniejsza niż 5 km. Należy nadmienić, że było to istotne zaburzenie w czasie

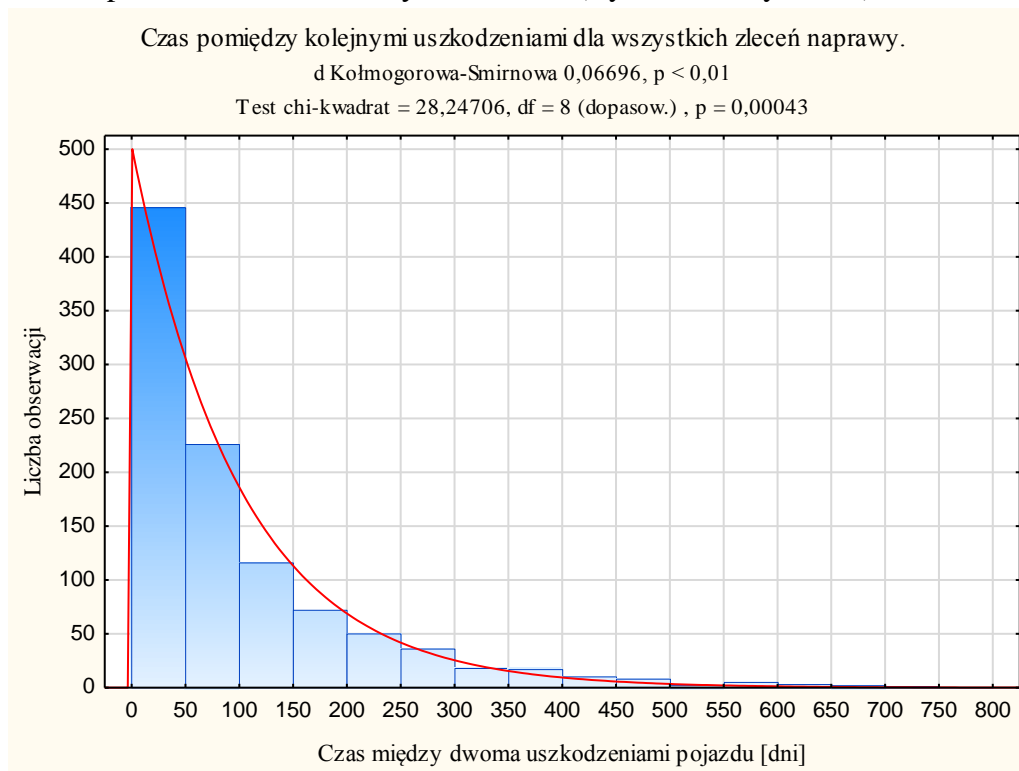


prowadzenia badań w oparciu o dane wygenerowane z systemu informatycznego. Spowodowało to znaczne opóźnienie prowadzenia dalszych analiz. Jednak powyższe stanowiło podstawę do sformułowania wniosków dotyczących struktury raportów generowanych przez system informatyczny na potrzeby prowadzenia badań niezawodności sprzętu.

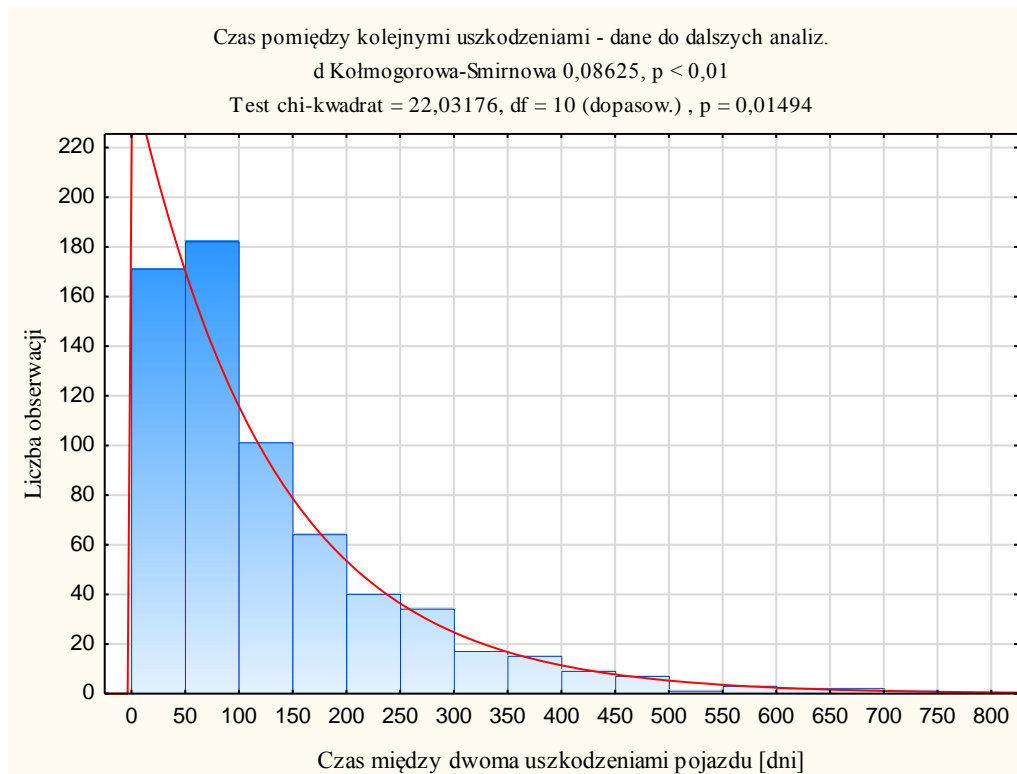


Rys. 6.10. Liczba zdarzeń eksploatacyjnych użytych w badaniach. Opracowanie własne

W celu zobrazowania wpływu wartości zerowych na przebieg dalszych badań porównano histogramy dla danych kompletnych zawierające wartości zerowe oraz po ich odrzuceniu. Zestawienie zaprezentowano dla miary różnica dni (Rys. 6.11 – Rys. 6.12).



Rys. 6.11. Dane pozyskane na podstawie wszystkich zleceń naprawy. Opracowanie własne

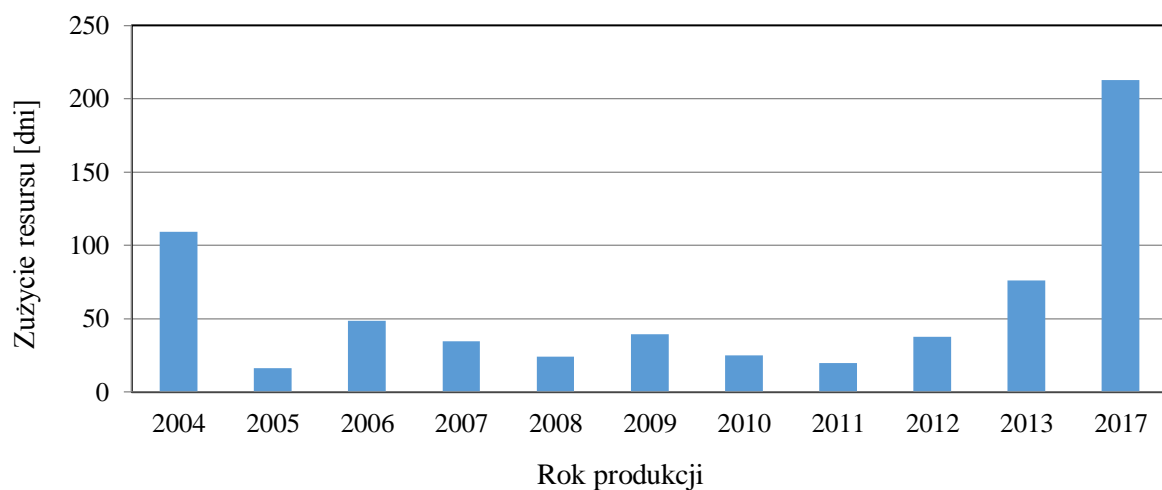


Rys. 6.12. Dane pozostawione do dalszej analizy. Opracowanie własne

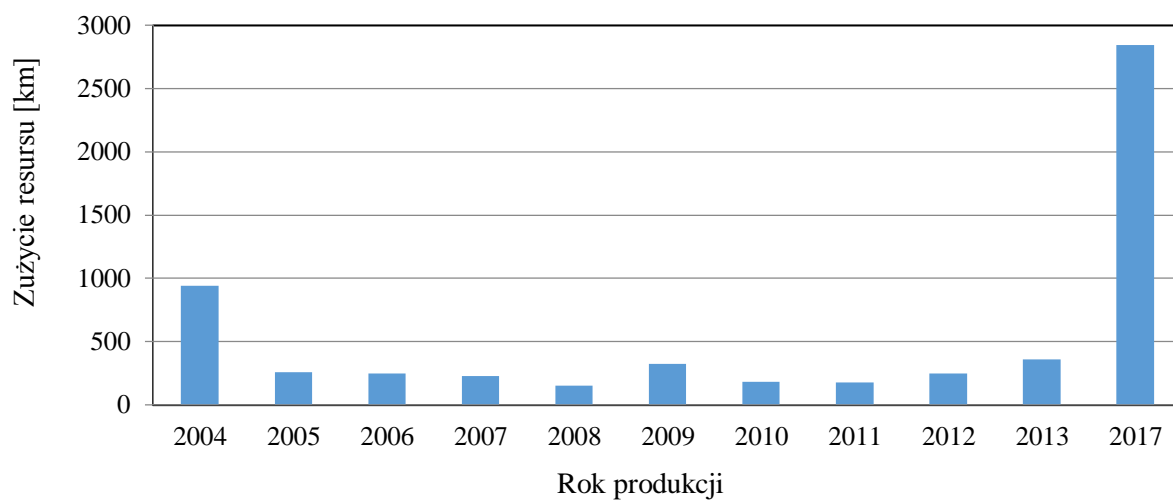
Należy zwrócić uwagę, że po odrzuceniu danych z dodatkowych zleceń naprawy nastąpiło poprawienie stopnia dopasowania rozkładu wykładniczego z wartości  $p = 0,00043$  do wartości  $p = 0,0194$ . Nie gwarantuje to zgodności rozkładu empirycznego z wykładniczym, ale pokazuje tendencję. Analizę przedstawiono dla danych dotyczących wszystkich roczników produkcji – zestawienie porównawcze.

### Ad. 3. Określenie średniego jednostkowego wykorzystania zapasu resursu

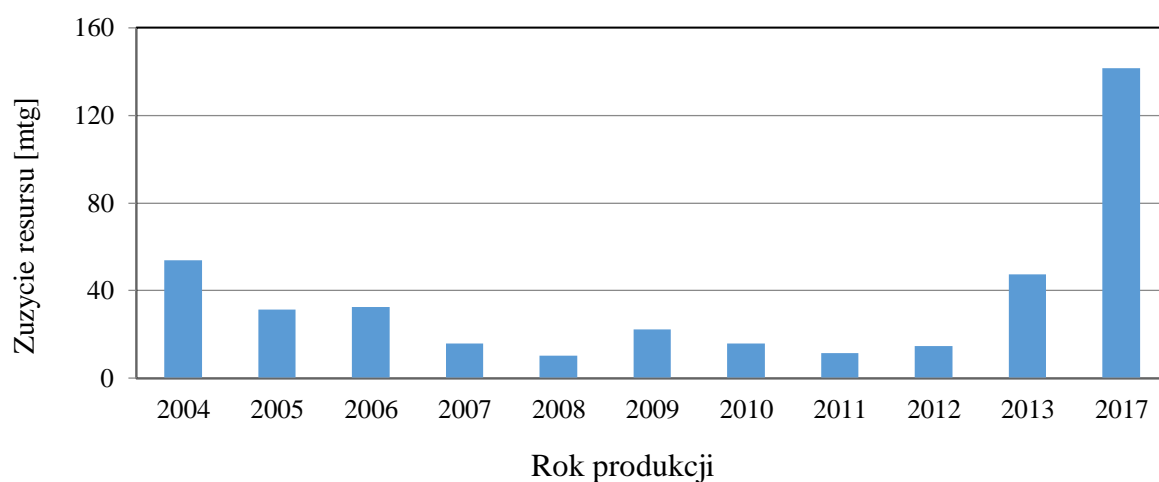
W kolejnym etapie analizy danych eksploatacyjnych autor przeanalizował wykorzystanie zapasu resursu eksploatacyjnego (ZRE) badanych pojazdów w grupach należących do jednego rocznika produkcji, a następnie określił średnie jednostkowe ZRE. Na rysunkach (Rys. 6.13 – Rys. 6.15) zobrazowano średnie wykorzystanie zapasu resursu eksploatacyjnego w odniesieniu do jednego pojazdu (jednostkowe). W wyniku analizy otrzymano wyniki, które przedstawiono na poniższych wykresach w funkcji parametrów resursu, tj. przejechane kilometry, przepracowane motogodziny, dni eksploatacji. Na wykresach zauważa się zwiększone wykorzystanie zapasu resursu dla roczników produkcji 2004 – 2006 oraz 2013 – 2017 w kontekście parametru motogodzin. W przypadku parametru dni wykorzystanie resursu jest zmienne w odniesieniu do lat. Natomiast w odniesieniu do parametru kilometrów wykorzystanie resursu jest zasadniczo równomierne z wyłączeniem roku 2004 i 2017.



Rys. 6.13. Wykres wykorzystania średniego jednostkowego zapasu resursu. Opracowanie własne



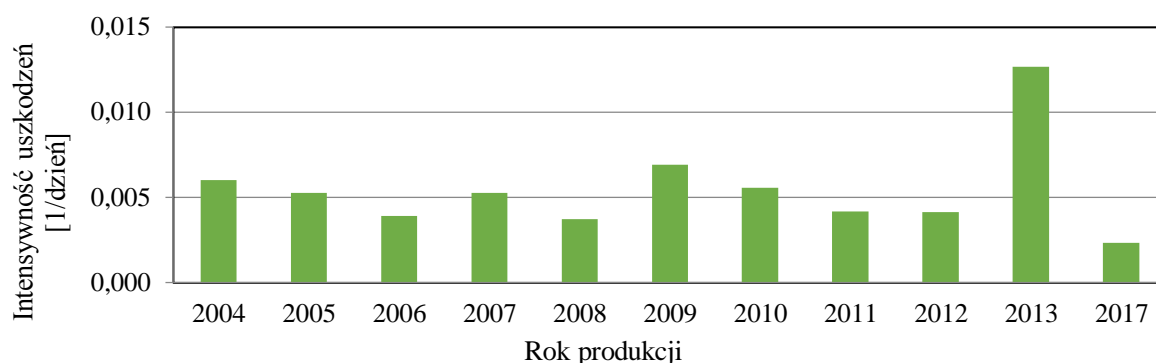
Rys. 6.14. Wykres wykorzystania średniego jednostkowego zapasu resursu. Opracowanie własne



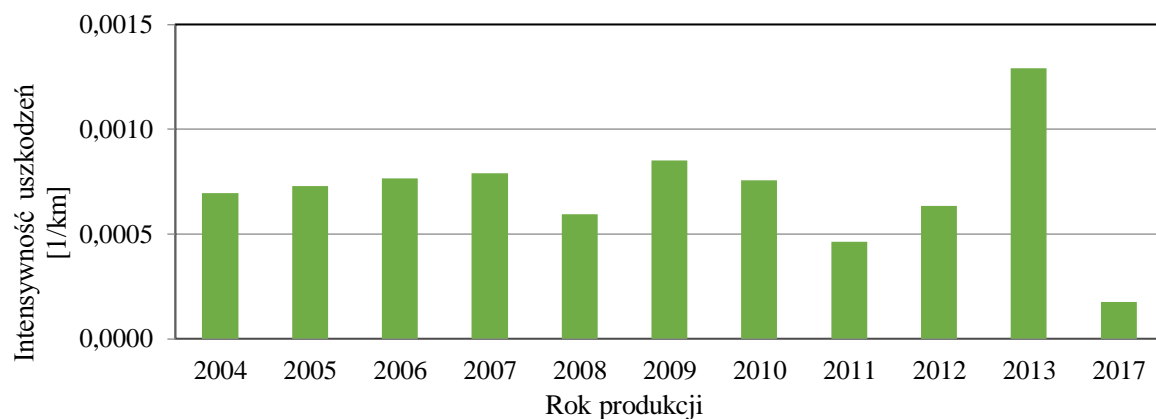
Rys. 6.15. Wykres wykorzystania średniego jednostkowego zapasu resursu. Opracowanie własne

#### Ad. 4. Określenie intensywności występowania uszkodzeń względem rocznika produkcji

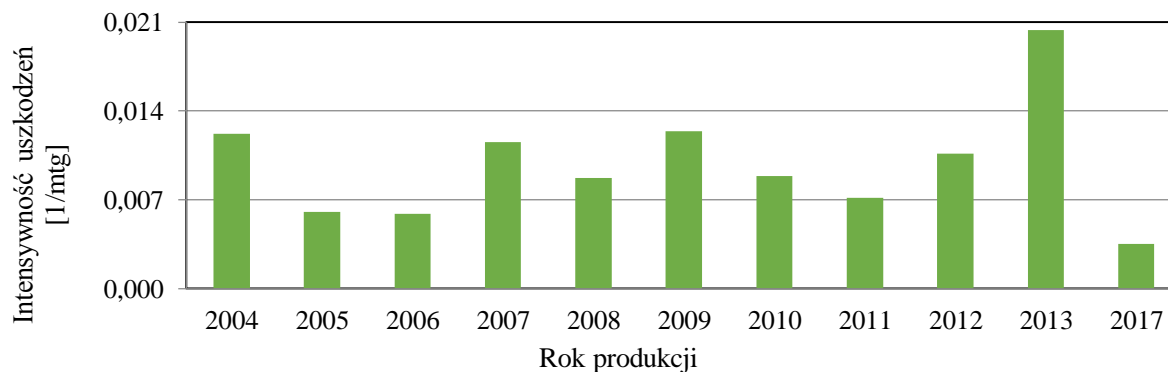
W kolejnym etapie autor dokonała analizy intensywności uszkodzeń (IU<sub>szk</sub>) badanego sprzętu. W tym celu wskazano pojazdy, które uległy awarii minimum dwa razy w badanym okresie. Określono sumaryczną ilość zdarzeń, w tym z podziałem na poszczególne roczniki produkcji. Następnie podzielono je przez wartość średniego zużycia ресурсu eksploatacyjnego w ramach jednego rocznika produkcji i ilość wszystkich pojazdów jednego rocznika produkcji. Uzyskano poniższe wyniki, które przedstawiono w postaci graficznej w funkcji roku produkcji z uwzględnieniem przejechanych kilometrów, wypracowanych motogodzin oraz dni pracy. W kontekście analizy wykresów (Rys. 6.16 – Rys. 6.18) należy zwrócić uwagę, że intensywność uszkodzeń dla roczników produkcji kształtuje się na zbliżonym poziomie z wyjątkiem roku 2013, dla którego obserwuje się zwiększenie intensywności uszkodzeń.



Rys. 6.16. Intensywność uszkodzeń - dla parametru resursu t (dzień). Opracowanie własne



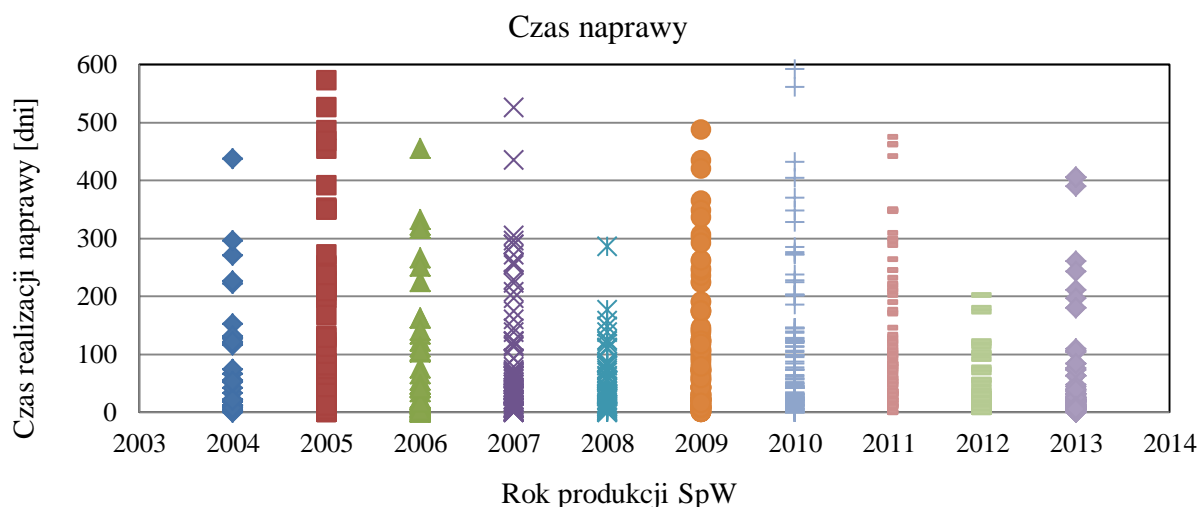
Rys. 6.17. Intensywność uszkodzeń - dla parametru resursu l (km). Opracowanie własne



Rys. 6.18. Intensywność uszkodzeń - dla parametru resursu m (mtg). Opracowanie własne

### Ad. 5. Określenie czasów realizacji napraw od zgłoszenia do zakończenia

Dla badanej grupy sprzętu określono czasy realizacji napraw od zgłoszenia do zakończenia (Rys. 6.19), dotyczy wystawionych zleceń naprawy.

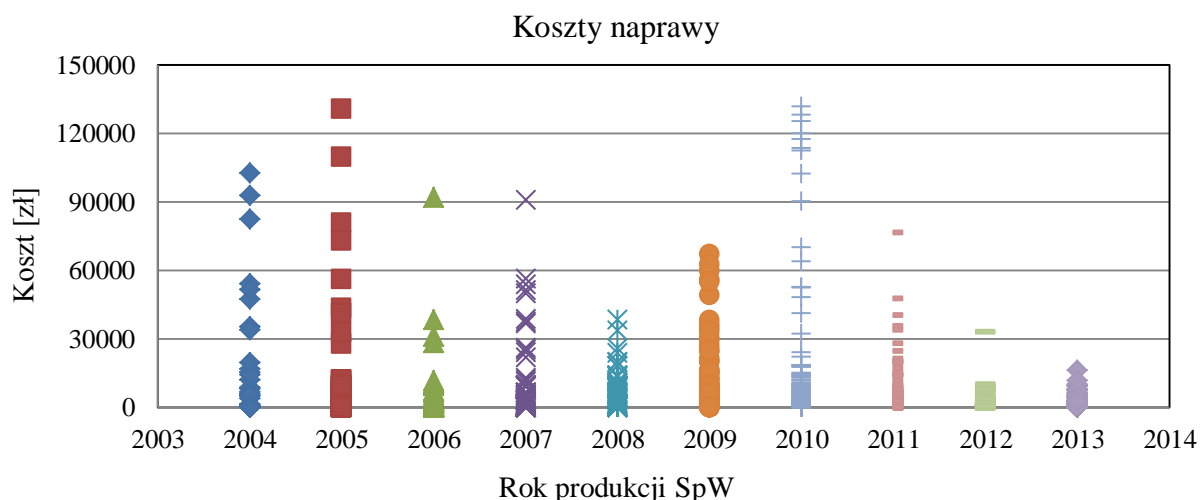


Rys. 6.19. Rozkład czasów napraw KTO Rosomak w zależności od daty produkcji. Opracowanie własne

Powyższe wykresy wskazują na długie okresy realizacji zadań remontowych. Problem ten był zgłaszany przez ekspertów w ramach prowadzonego badania ankietowego. W związku z powyższym opinie ekspertów potwierdziły badania z wykorzystaniem danych cyfrowych. Przedmiotowy obszar jest powiązany z dostępnością tśm, obiegiem dokumentów oraz realizacją zamówień nieplanowych w ramach Ustawy „Prawo zamówień publicznych”. Wydaje się zasadne prowadzenie dalszych analiz dotyczących optymalizacji tego obszaru.

### Ad. 6. Określenie kosztów napraw

W aspekcie analizy kosztów wykonano analogiczne zestawienia jak dla czasu realizacji napraw (Rys. 6.20), dotyczy wystawionych zleceń naprawy.



Rys. 6.20. Rozkład kosztów napraw KTO Rosomak w zależności od daty produkcji. Opracowanie własne

Powyższe zestawienia wskazują, że koszty generowane w czasie napraw są znaczące. W związku z powyższym należy podjąć działania w kierunku optymalizacji również tego

obszaru. Jednym z rozwiązań może być eksploatacja SpW w oparciu o strategię eksploatacji RCM, co zostanie zaproponowane w proponowanej koncepcji wspomaganie eksploatacji sprzętu wojskowego.

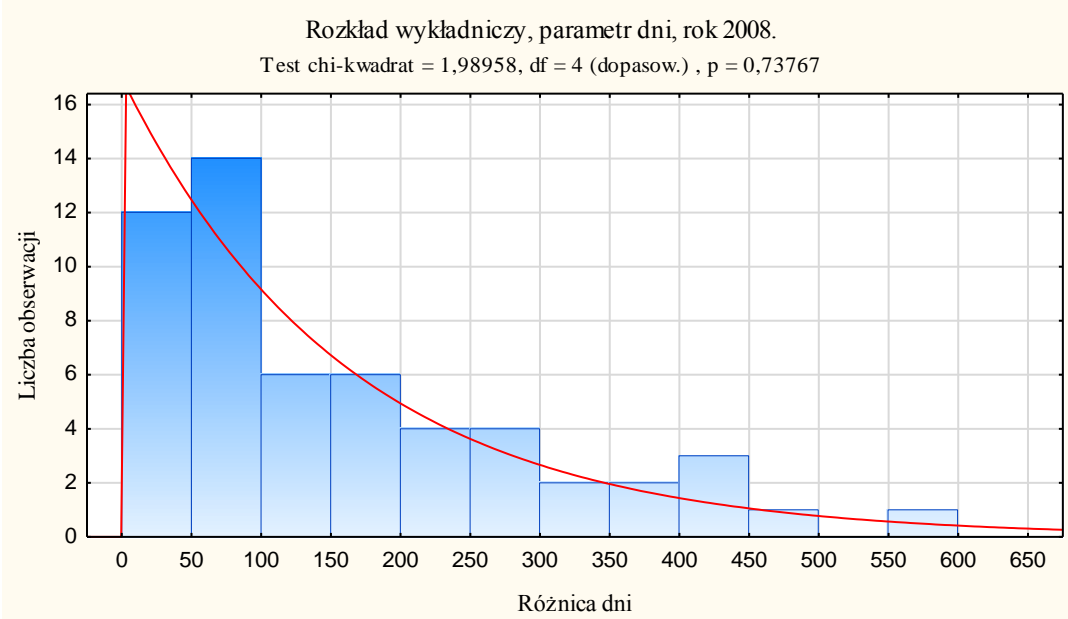
#### Ad. 7. Przedstawienie wyników porównania rozkładów

W dalszej części analizy, na podstawie zgromadzonych danych eksploatacyjnych, wykonano porównanie rozkładów empirycznych z rozkładami teoretycznymi, według podziału na rok produkcji sprzętu oraz kategoryzując je według trzech parametrów zużycia ресурсu, tj. dni, kilometry (km) oraz motogodziny (mtg). Celem analizy jest ustalanie możliwości wykorzystania rozkładów teoretycznych w planowaniu krótko i długoterminowym procesów eksploatacyjnych zachodzących w bazie obsługowo-naprawczej. Przedstawione analizy zawierają porównanie zgodności danych empirycznych z rozkładem teoretycznym (wykładniczym). Przedstawiono to w tabeli wraz z zestawieniem statystyk opisowych (Tab. 6.4).

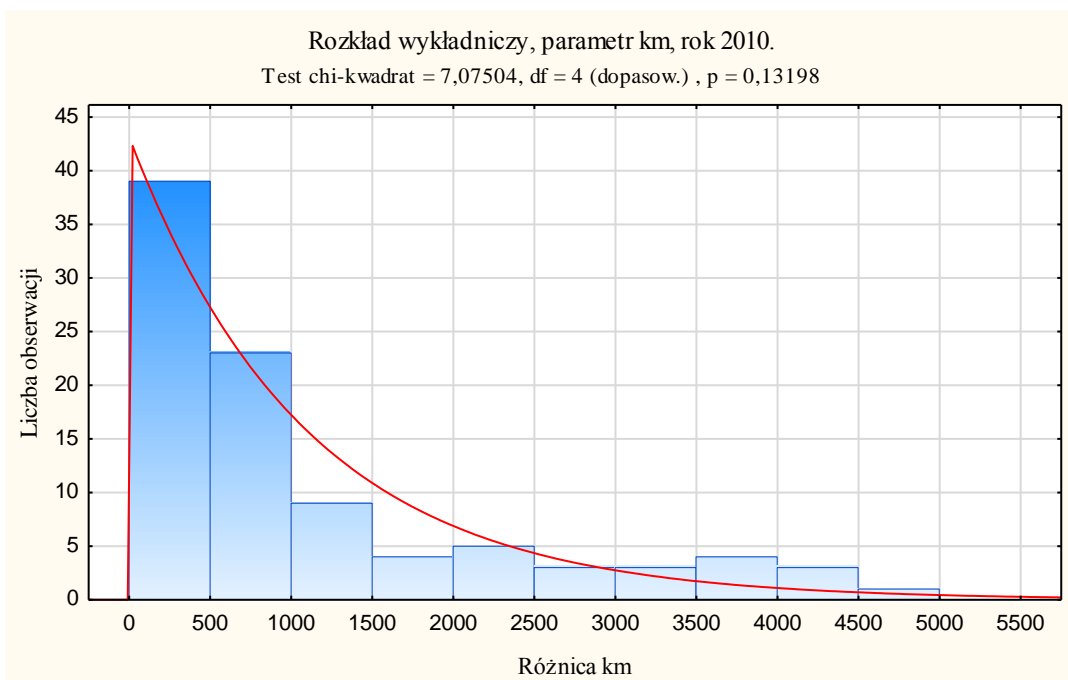
Tab. 6.4. Statystyki opisowe uszkodzeń oraz wyniki testu Chi kwadrat. Opracowanie własne

	Rok	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny (Kwartył.)	Górny (Kwartył.)	Odch.std	Wsp.zmn.	Skośność	Kurtoza	Wartość testu chi kwadrat	Wartość parametru p
dni	2004	121,0	81,5	14,0	622,0	31,0	132,0	141,8	117,2	2,5	6,6	0,17	0,70
km	2004	1527,5	585,0	5,0	9230,0	14,0	1812,0	2297,9	150,4	2,0	4,2	3,78	0,05
mtg	2004	79,8	26,1	0,9	620,5	4,9	86,2	137,9	172,7	2,9	9,4	7,27	0,03
dni	2005	117,4	71,0	8,0	423,0	36,0	202,0	105,6	90,0	1,2	0,5	14,72	0,002
km	2005	1239,5	432,5	5,0	13617,0	33,0	1552,0	2077,3	167,6	3,8	20,2	16,73	0,0008
mtg	2005	65,8	28,7	1,0	922,0	7,2	94,0	127,7	194,1	5,3	34,0	6,02	0,014
dni	2006	162,1	140,0	26,0	455,0	69,0	234,0	109,6	67,6	0,8	0,0	1,52	0,46
km	2006	864,0	219,5	5,0	4991,0	12,5	1164,0	1331,2	154,1	1,9	2,7	5,08	0,02
mtg	2006	32,9	13,7	2,0	131,7	6,5	48,8	36,0	109,4	1,4	1,2	5,78	0,05
dni	2007	114,7	73,0	2,0	497,0	37,0	193,0	106,1	92,5	1,3	1,7	5,64	0,13
km	2007	1473,1	469,0	5,0	34502,0	20,0	1544,0	4324,2	293,5	7,2	55,3	7,23	0,06
mtg	2007	78,4	27,0	1,2	2233,3	7,2	87,4	293,8	374,8	6,1	47,4	65,00	0,71
dni	2008	161,7	124,5	8,0	558,0	67,0	237,0	135,2	83,6	1,2	0,6	1,98	0,73
km	2008	1517,6	1081,5	5,0	13495,0	284,0	1871,0	2050,1	135,1	3,9	20,9	10,58	0,03
mtg	2008	101,6	61,0	0,0	1383,6	18,9	132,1	187,0	184,0	6,1	41,7	2,82	0,72
dni	2009	97,6	77,0	11,0	341,0	42,5	134,5	73,7	75,5	1,4	1,6	25,65	0,001
km	2009	1037,8	420,5	5,0	7569,8	13,0	1208,0	1480,6	142,7	1,9	3,8	8,89	0,03
mtg	2009	60,8	41,5	1,5	317,7	7,8	89,5	65,1	107,2	1,5	2,7	14,75	0,01
dni	2010	113,0	84,5	4,0	694,0	48,5	154,0	100,2	88,7	2,8	11,8	24,00	0,00008
km	2010	1201,6	691,0	5,0	7798,0	48,5	1572,5	1455,2	121,1	1,9	4,1	7,07	0,13
mtg	2010	67,3	49,7	2,0	544,1	11,2	95,1	76,1	113,1	3,1	15,9	7,16	0,30
dni	2011	153,5	99,0	1,0	616,0	53,5	221,5	146,0	95,1	1,4	1,3	10,14	0,07
km	2011	1391,9	662,0	5,0	8128,0	223,0	1568,0	1811,7	130,2	2,0	3,7	16,07	0,002
mtg	2011	88,4	57,7	3,0	580,4	14,8	110,7	103,9	117,6	2,3	6,3	1,05	0,78
dni	2012	147,6	111,0	8,0	724,0	80,0	183,0	128,9	87,3	2,6	9,4	7,47	0,05
km	2012	1347,0	698,0	7,0	7735,0	156,0	1803,0	1709,4	126,9	2,0	4,3	4,15	0,12
mtg	2012	66,1	44,6	2,5	299,1	8,8	80,9	71,5	108,2	1,6	2,3	1,23	0,74
dni	2013	126,6	111,5	2,0	651,0	52,0	151,0	111,5	88,1	2,0	6,0	15,67	0,003
km	2013	1452,0	530,5	5,0	7144,0	20,5	2407,0	1912,1	131,7	1,4	0,8	20,95	0,00032
mtg	2013	86,7	45,8	0,7	463,5	7,1	124,4	105,2	121,4	1,7	2,7	6,48	0,09

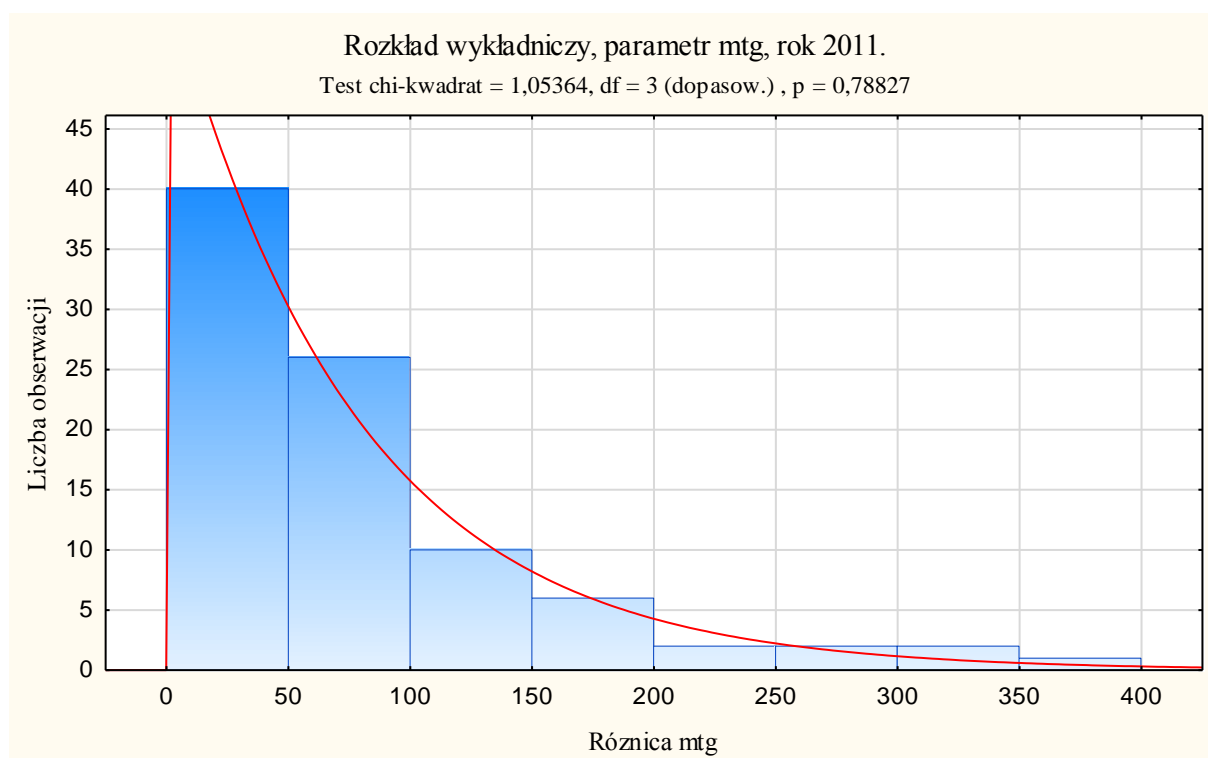
W powyższej tabeli wykonano zestawienie statystyk opisowych badanych grup SpW. Wyniki podzielono według roczników produkcji oraz ustalonych parametrów, tj. różnicy zużycia resursu mierzonego w dniach, km, mtg. Wykonano również badanie zgodności rozkładów empirycznych z rozkładem teoretycznym (wykładniczym). W przypadku występowania zgodności grupę oznaczono kolorem niebieskim (wartość parametru  $p \geq 0,05$ ). Należy zauważyć, że w przypadku parametru dni zgodność z rozkładem wykładniczym wystąpiła pięć razy, w przypadku parametru km zgodność wystąpiła czterokrotnie. Najczęściej zgodność z rozkładem wykładniczym wystąpiła w przypadku parametru mtg, aż siedem razy na dziesięć utworzonych podgrup sprzętu, zatem w siedemdziesięciu procentach. Poniżej przedstawiono trzy wybrane histogramy wraz z krzywymi rozkładu wykładniczego.



Rys. 6.21. Histogram uszkodzeń SpW dla parametru dni i roku produkcji 2008. Opracowanie własne



Rys. 6.22. Histogram uszkodzeń SpW dla parametru km i roku produkcji 2010. Opracowanie własne



Rys. 6.23. Histogram uszkodzeń SpW dla parametru mtg i roku produkcji 2011. Opracowanie własne

Na podstawie powyższych badań należy stwierdzić, że rozkład wykładniczy może być wykorzystany do planowania eksploatacji sprzętu wojskowego. Zasadnym jest prowadzenie badań w odniesieniu do trzech parametrów ресурсu, tj. dni, km, mtg. W przypadku wykorzystywania rozkładów w komputerowym (cyfrowym) planowaniu obsługiwań SpW ważne jest ustalenie, dla którego parametru ресурсu (uwzględniając rocznik produkcji) występuje największa zgodność z rozkładem teoretycznym i na tej podstawie realizować planowanie w oparciu o optymalny parametr ресурсu.

Rozkład wykładniczy dopasowano dla części podgrup SpW opisanych rocznikiem produkcji i parametrem ресурсu. W związku z powyższą analizą rozszerzono o badania w oparciu o rozkład Weibulla. Porównania rozkładów empirycznych z teoretycznym dokonano z wykorzystaniem trzech testów: Kołmogorowa-Smirnowa, Andersona-Darlinga oraz Chi kwadrat. Umożliwiło to oprogramowanie Statistica (Tab. 6.5). Kolorem niebieskim oznaczono przypadki dopasowania rozkładu Weibulla do wartości empirycznych. W tabeli zastosowano następujące oznaczenia: d K-S, statystyka testu Kołmogorowa-Smirnowa oceny zgodności rozkładu, Stat. AD, statystyka testu Andersona-Darlinga zgodności rozkładu z zadaniem wzorcowym, Chi kwadrat, statystyka testu Chi kwadrat oceny zgodności rozkładu, p K-S, p AD, chi Kwadrat p - wartość p dla wyżej wymienionych testów.

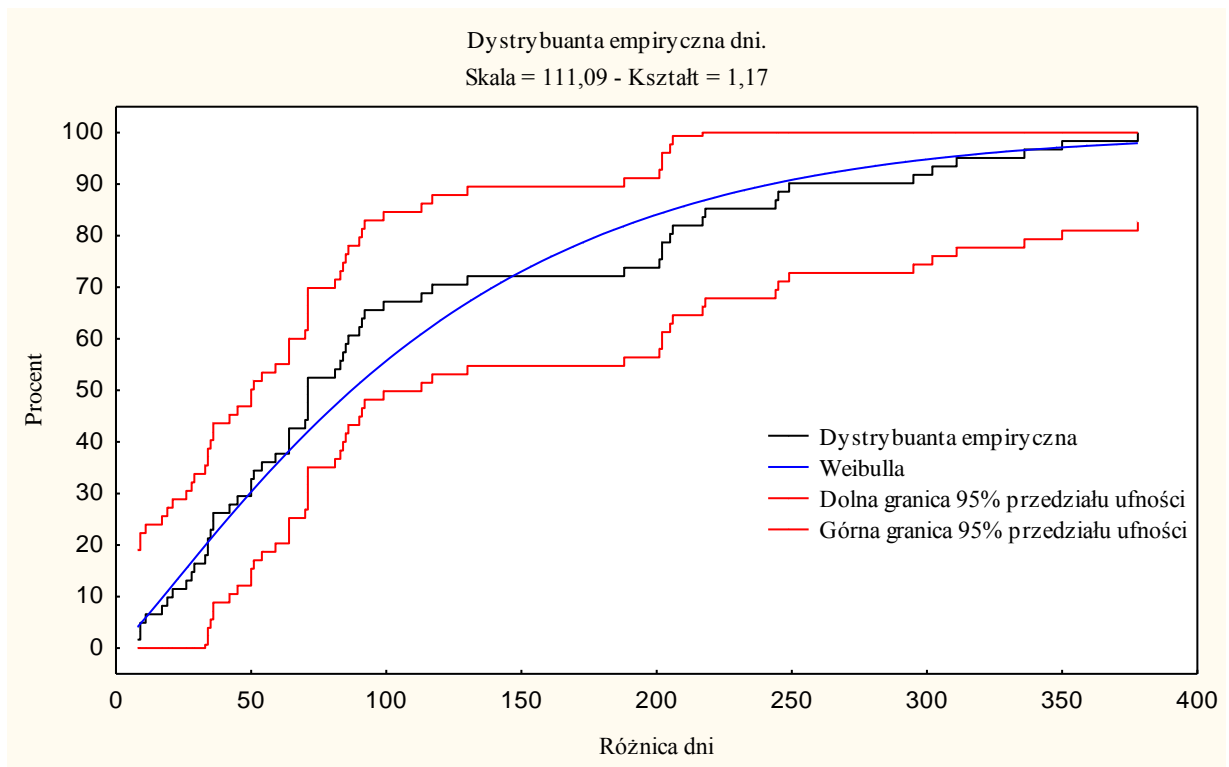
Analiza pozwoliła stwierdzić, że rozkłady teoretyczne, tj. wykładniczy i Weibulla pozwalają odwzorować rozkład niesprawności badanej grupy pojazdów. Przyporządkowanie SpW do grup opisanych rocznikiem produkcji oraz parametrami ресурсu pozwoliło określić teoretyczny przebieg występowania uszkodzeń w poszczególnych podgrupach. Należy zauważyć, że bardzo dobre dopasowanie rozkładem Weibulla otrzymuje się w kontekście parametru dni. W związku z tym parametr ten może być wykorzystany do planowania obsługiwań SpW. Nabiera to istotnego znaczenia w kontekście planowania



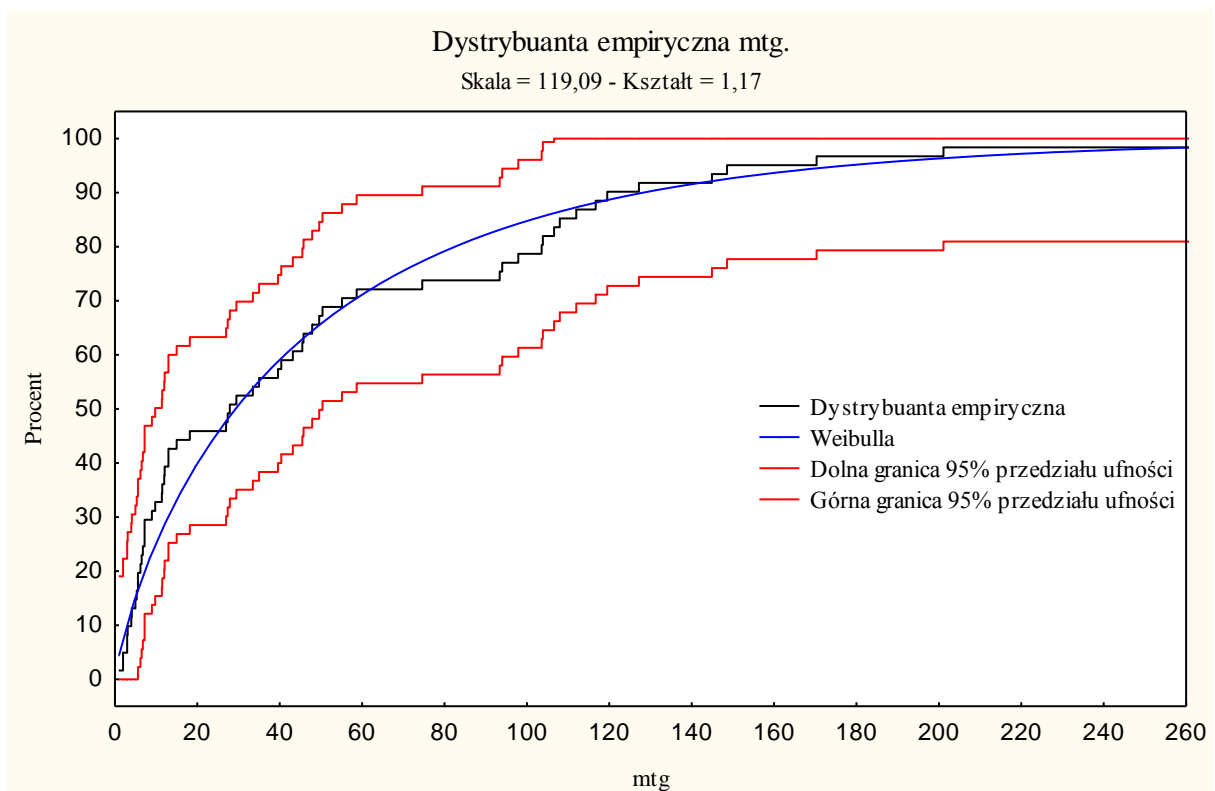
eksploatacji według strategii RCM, tj. w myśl koncepcji wspomagania systemu eksploatacji SpW. Na podstawie tabeli (Tab. 6.5) można stwierdzić, że występują przypadki dopasowania rozkładów tylko dla testów KS lub AD np. rok 2005, parametr dni i mtg. Występują przypadki dopasowania rozkładu tylko na podstawie testu Chi-kwadrat, tj. rok 2009, parametr km. Wybrane przypadki przedstawiono graficznie.

Tab. 6.5. Dopasowanie rozkładów empirycznych do rozkładu Weibulla. Opracowanie własne

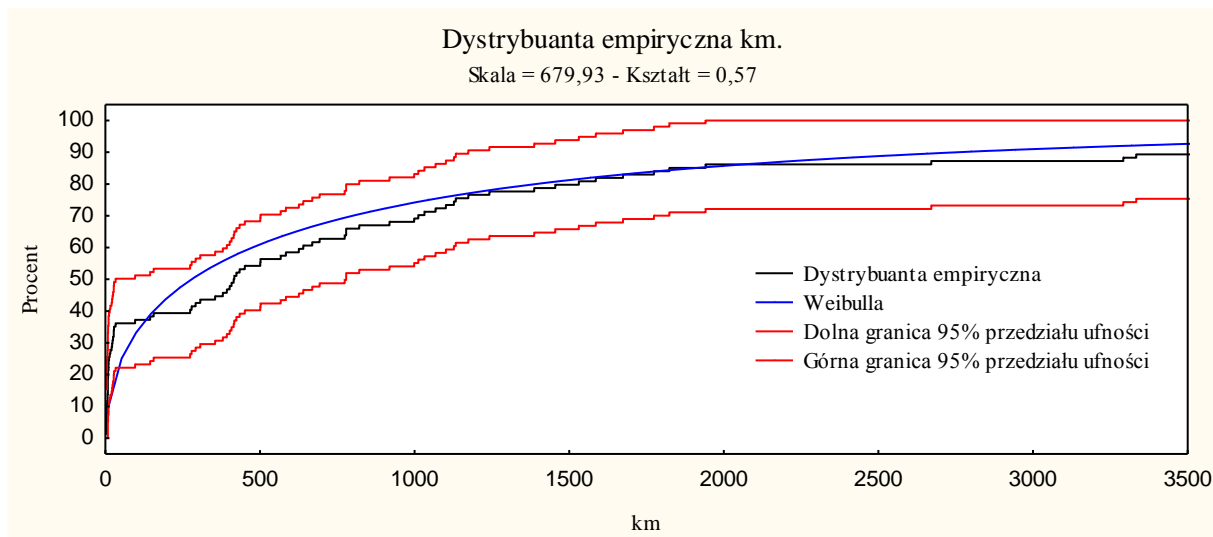
Parametr	Rok	d K-S	K-S (p)	Stat. AD	p AD	Chi-kwadrat	Chi kwadrat p	Chi kwadrat df	Param 1 (skala)	Param 2 (kształt)	Rozkład wykładniczy Tak/Nie
dni	2004	0,10	0,93	0,33	0,91	2,36	0,12	1	106,60	1,15	T
km	2004	0,21	0,18	0,98	0,37	-	-	-	677,21	0,50	T
mtg	2004	0,12	0,83	0,37	0,87	0,76	0,38	1	42,67	0,66	N
dni	2005	0,13	0,21	0,94	0,39	15,23	0,03	7	119,09	1,17	N
km	2005	0,10	0,57	1,04	0,34	7,97	0,09	5	679,93	0,57	N
mtg	2005	0,13	0,21	0,94	0,39	15,23	0,03	7	119,09	1,17	N
dni	2006	0,10	0,90	0,31	0,93	0,94	0,63	2	182,24	1,53	T
km	2006	0,16	0,40	0,72	0,54	3,06	0,22	2	401,45	0,51	N
mtg	2006	0,15	0,43	0,75	0,52	4,99	0,03	1	32,54	0,94	T
dni	2007	0,08	0,82	0,50	0,74	5,27	0,73	8	109,98	1,07	T
km	2007	0,08	0,82	0,50	0,74	5,27	0,73	8	109,98	1,07	T
mtg	2007	0,12	0,27	1,21	0,26	12,05	0,03	5	49,60	0,84	T
dni	2008	0,13	0,26	0,76	0,51	5,45	0,24	4	174,39	1,24	T
km	2008	0,15	0,15	1,82	0,12	6,85	0,08	3	1153,62	0,77	N
mtg	2008	0,15	0,15	1,82	0,12	6,85	0,08	3	1153,62	0,77	T
dni	2009	0,06	0,87	0,67	0,58	9,35	0,15	6	104,40	1,45	N
km	2009	0,16	0,01	3,12	0,02	3,33	0,19	2	561,10	0,52	N
mtg	2009	0,14	0,06	2,47	0,05	10,90	0,03	4	52,20	0,88	N
dni	2010	0,07	0,70	0,55	0,69	11,13	0,08	6	114,83	1,47	N
km	2010	0,14	0,05	3,40	0,02	6,55	0,09	3	843,26	0,64	T
mtg	2010	0,10	0,30	1,17	0,28	16,30	0,23	13	60,06	1,01	T
dni	2011	0,07	0,77	0,44	0,80	17,01	0,15	12	145,49	1,09	T
km	2011	0,10	0,31	1,02	0,35	9,33	0,03	3	967,68	0,70	N
mtg	2011	0,08	0,62	0,73	0,54	6,16	0,41	6	73,81	0,92	T
dni	2012	0,11	0,64	0,39	0,86	2,00	0,37	2	148,62	1,56	T
km	2012	0,12	0,56	0,97	0,37	9,44	0,05	5	924,30	0,66	T
mtg	2012	0,11	0,69	0,58	0,67	0,69	0,71	2	57,55	0,91	T
dni	2013	0,11	0,31	0,96	0,38	6,81	0,34	6	63,92	0,77	N
km	2013	0,15	0,06	1,96	0,10	10,91	0,01	3	807,33	0,55	N
mtg	2013	0,11	0,31	0,96	0,38	6,81	0,34	6	63,92	0,77	N



Rys. 6.24. Dystrybuanta rozkładu Weibulla, rok 2005, parametr dni. Opracowanie własne



Rys. 6.25. Dystrybuanta rozkładu Weibulla, rok 2005, parametr mtg. Opracowanie własne

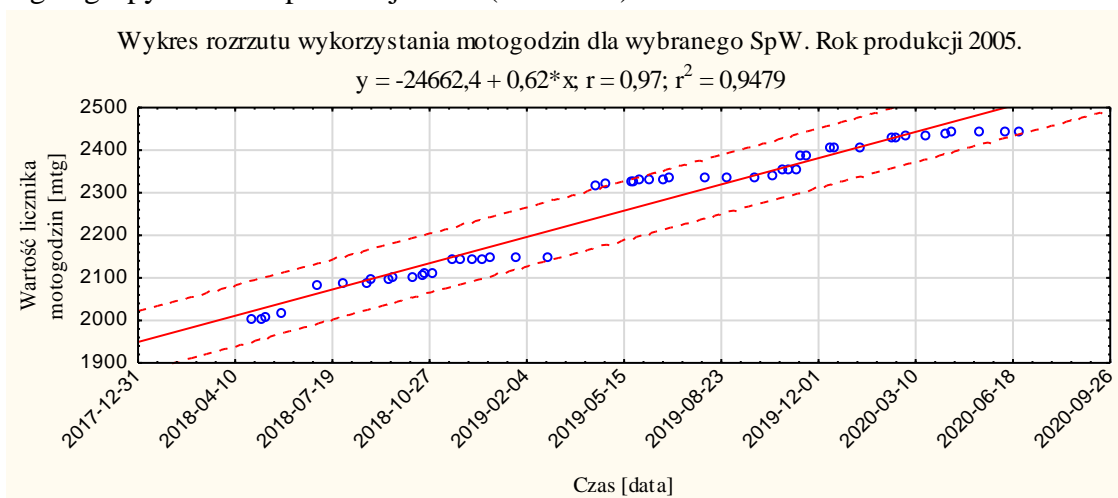


Rys. 6.26. Dystrybuanta rozkładu Weibulla, rok 2009, miara resursu km. Opracowanie własne

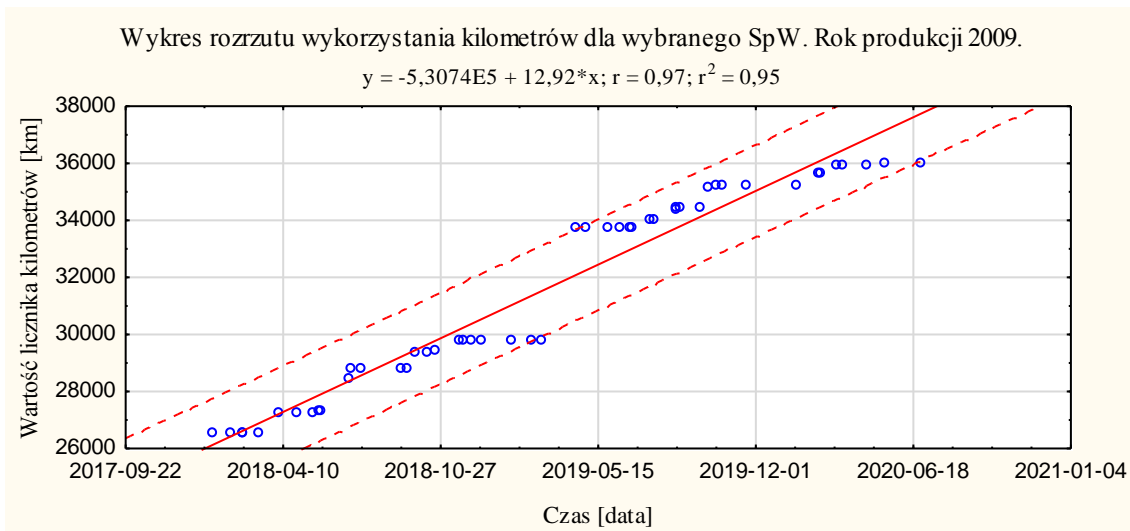
Przedstawione charakterystyki (Rys. 6.24 – Rys. 6.26) pokazują przebieg dystrybuant rozkładu Weibulla dla grup pojazdów, dla których w przypadku badania wybranymi trzema testami statystycznymi nie został spełniony warunek przekroczenia wartości  $p$  równej pięć setnych przynajmniej dla jednego z zastosowanych testów. Mimo dopasowania rozkładu empirycznego jedynie przez część zastosowanych testów statystycznych przebieg dystrybuanty teoretycznej mieści się w granicy błędu pięciu procent.

W związku z powyższym dystrybuanta teoretyczna rozkładu Weibulla może być użyta w koncepcji wspomagania systemu eksploatacji SpW na potrzeby planowania obsługiwań SpW wybranego do badań w kontekście organizacji procesu obsługowo-naprawczego, w tym również względem parametru dni. Jest to istotne w kontekście budowania planów obsługiwań i napraw SpW.

W przypadku dystrybuant wykonanych w funkcji km i mtg należy odnieść wykorzystanie resursu mierzonego w km i mtg do czasu. W tym celu należy wyznaczyć funkcję regresji wykorzystania resursu w funkcji czasu. Zostanie to przedstawione dla dwóch pojazdów. Pierwszy wybrano z grupy rocznika produkcji 2005 (mtg – Rys. 6.27), a drugi z grupy rocznika produkcji 2009 (km – 6.28).



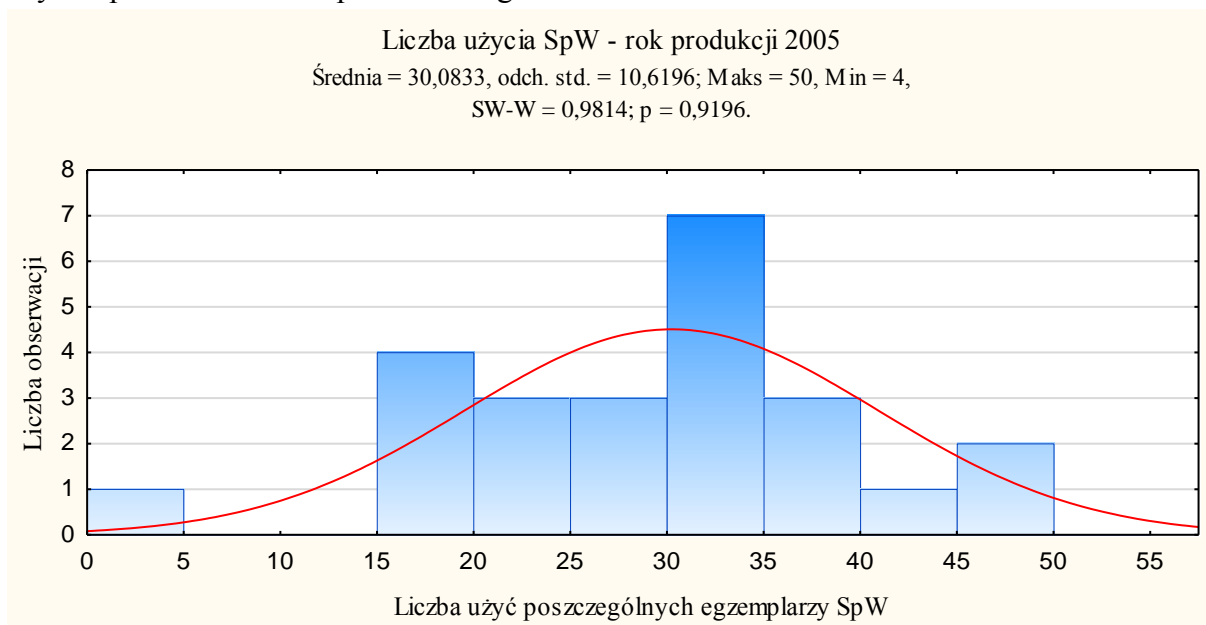
Rys. 6.27. Wykres rozrzutu wykorzystania motogodzin dla wybranego SpW. Opracowanie własne



Rys. 6.28. Wykres rozrzutu wykorzystania kilometrów dla wybranego SpW. Opracowanie własne

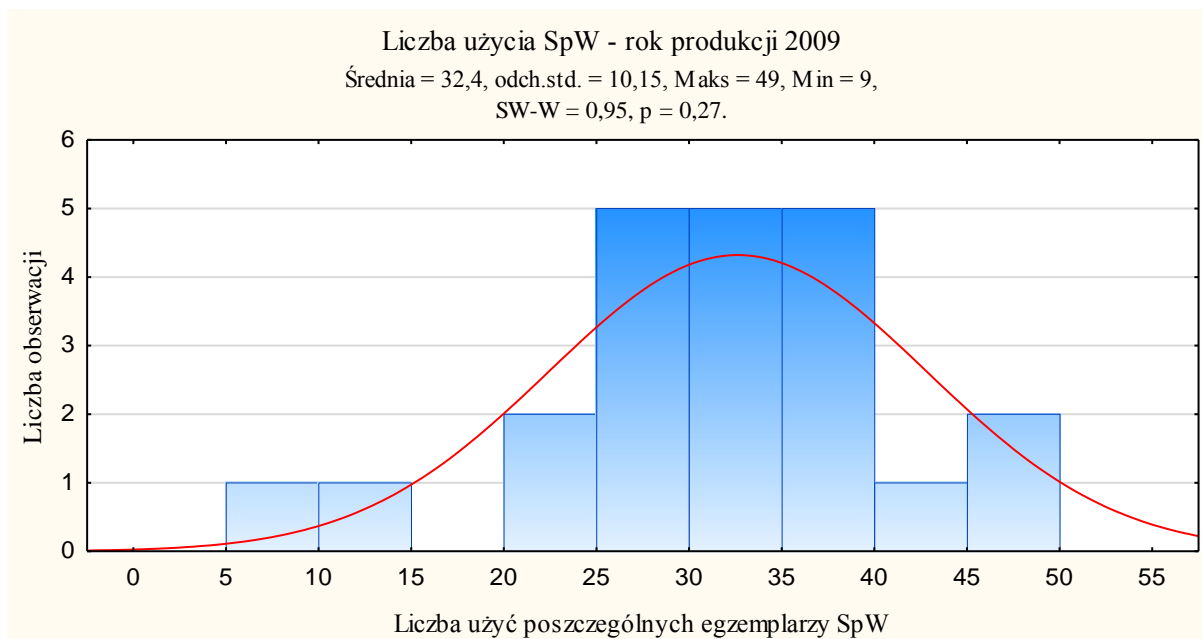
Połączenie charakterystyk dystrybuant w funkcji dni, km i mtg z charakterystykami prognoz wykorzystania ресурсu w funkcji km i mtg pozwala określić trzy punkty w czasie (dyskretny wektor wartości czasu) wykonania przeglądu prewencyjnego w myśl strategii RCM. W celu wykonania przeglądu należy podjąć decyzję dotyczącą wyboru czasu przeglądu. Proponuje się zastosowanie kryterium kosztów lub potrzeb operacyjnych. Jest to istotne z punktu widzenia koncepcji wspomaganie systemu eksploatacji SpW.

W czasie analizy wykorzystania ресурсu w roczniku produkcji 2005 i 2009 autor wykonał analizę ilości użycia poszczególnych jednostek sprzętowych w analizowanym okresie czasu. Wyniki przedstawiono w postaci histogramów.



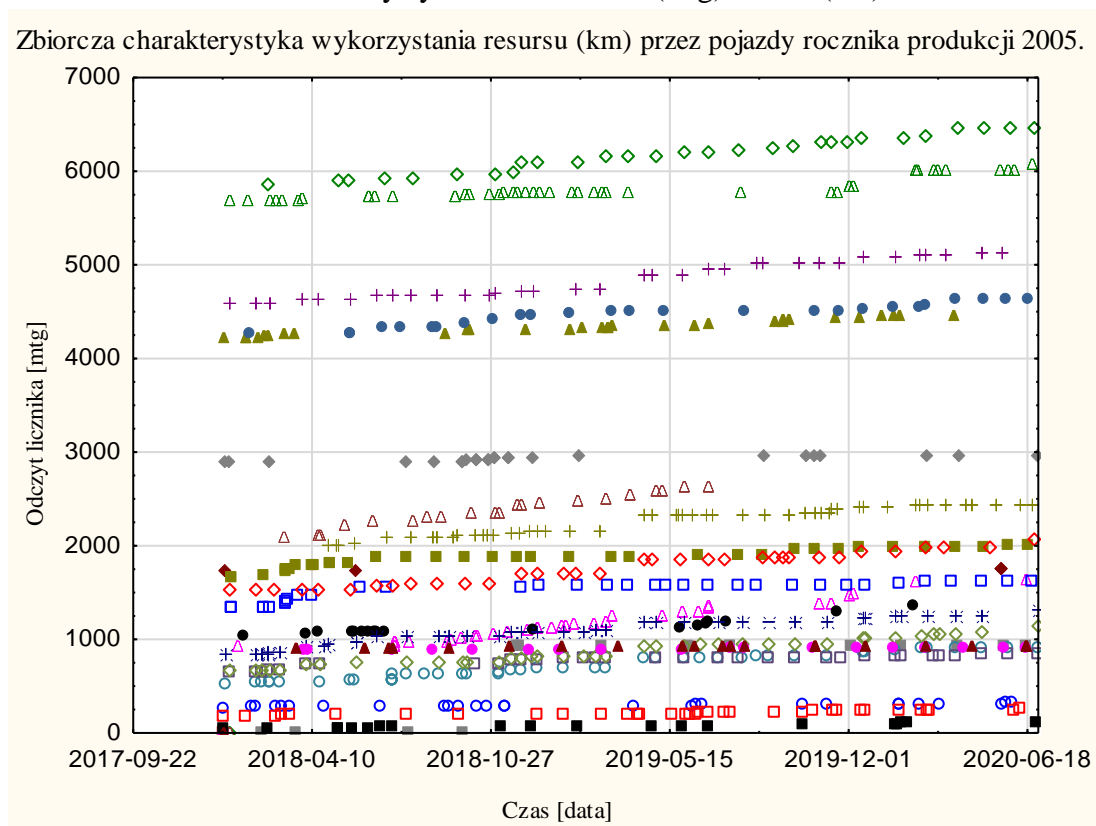
Rys. 6.29. Liczba użyć SpW z grupy rocznika produkcji 2005. Opracowanie własne.

Wykres (Rys. 6.29) pokazuje, że użycie jednostek sprzętowych w badanym okresie ma rozkład normalny. Zostało to potwierdzone wynikiem testu statystycznego Shapiro-Wilka.

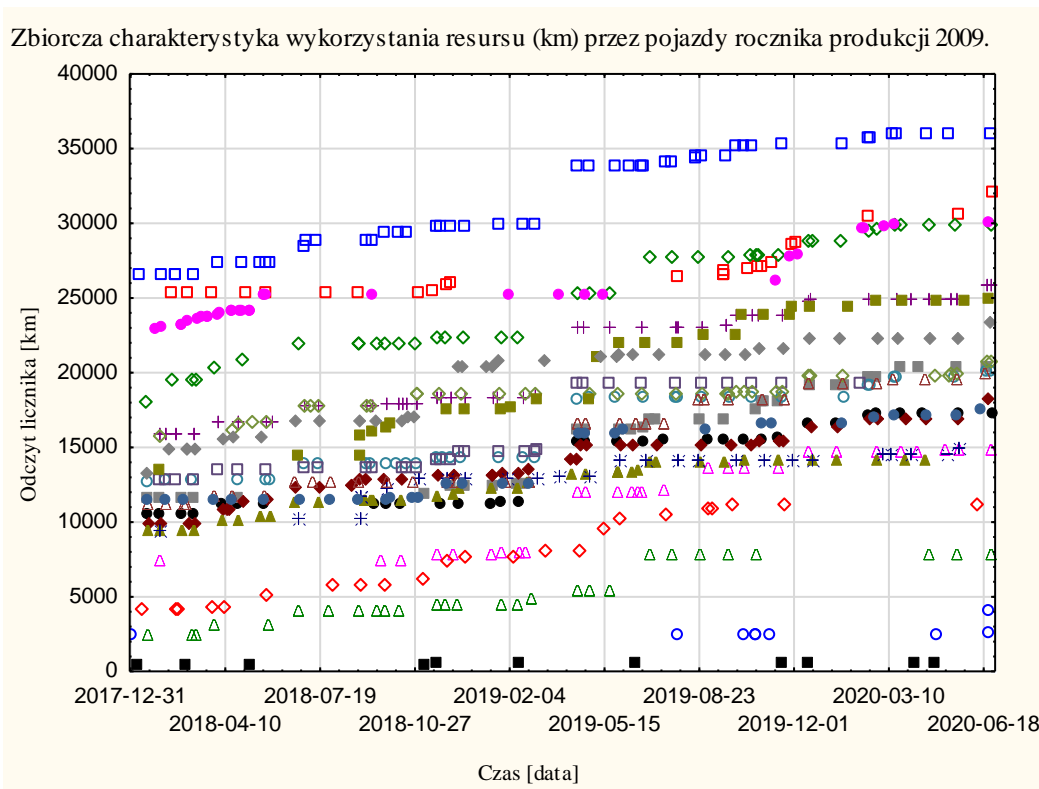


Rys. 6.30. Liczba użyć SpW z grupy rocznika produkcji 2009. Opracowanie własne.

Wykres (Rys. 6.30) pokazuje, że użycie jednostek sprzętowych w badanym okresie ma również rozkład normalny. Zostało to potwierdzone wynikiem testu statystycznego Shapiro-Wilka. Wskazuje to na nierównomierne wykorzystanie jednostek sprzętowych. Dla zobrazowania charakteru wykorzystania ресурсu przez poszczególne jednostki sprzętowe przedstawiono zbiorcze charakterystyki dla roku 2005 (mtg) i 2009 (km).



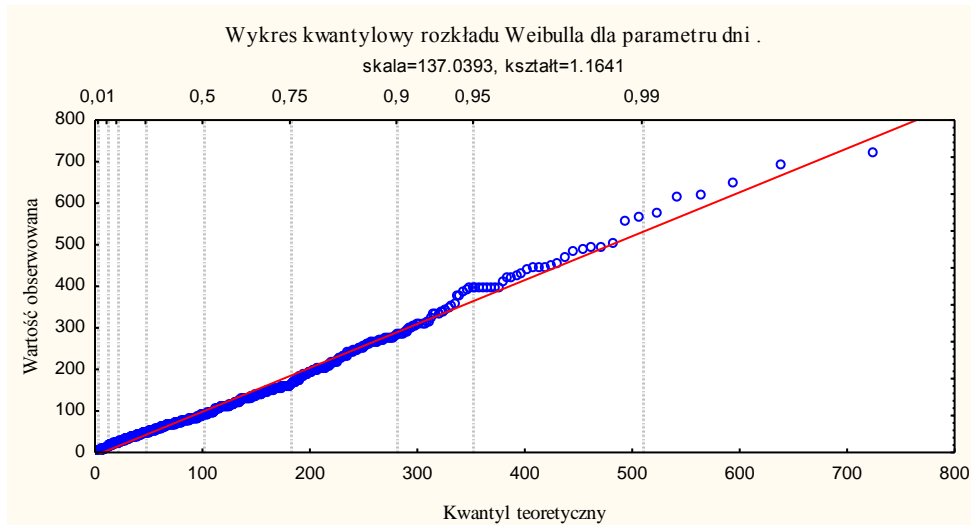
Rys. 6.31. Zbiorcza charakterystyka wykorzystania ресурсu (mtg) – rok prod. 2005. Opracowanie własne



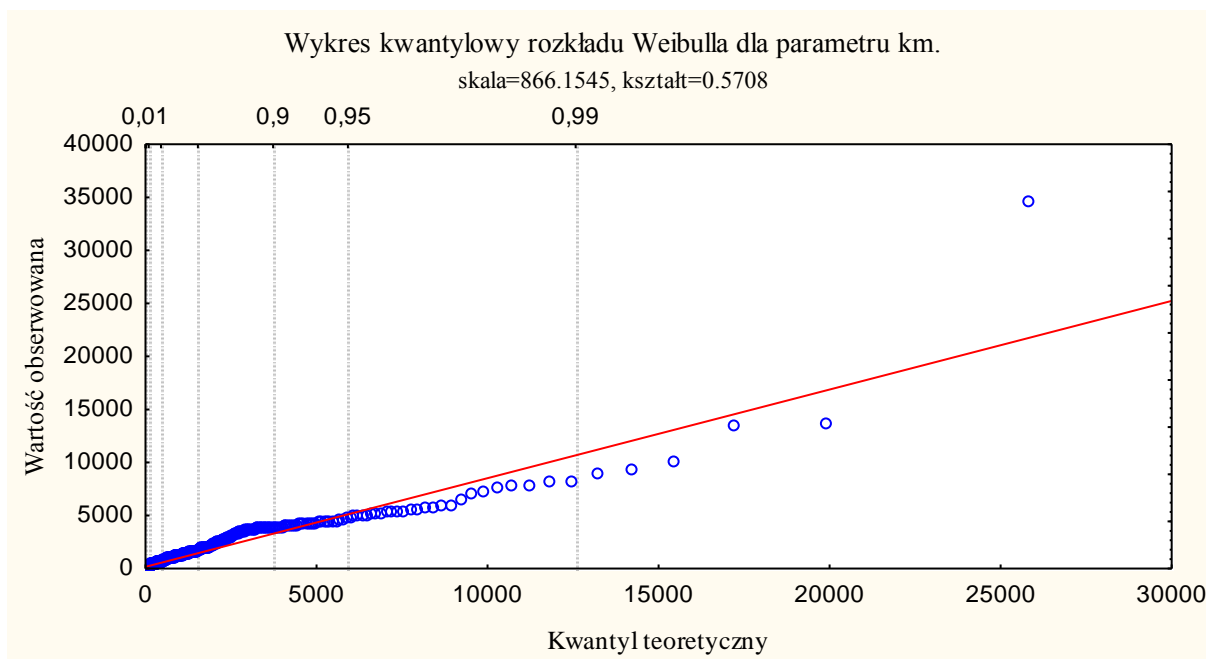
Rys. 6.32. Zbiorcza charakterystyka wykorzystania resursu (km) – rok prod. 2009. Opracowanie własne

Przedstawione charakterystyki (Rys. 6.31 – Rys. 6.32) pokazują, że jednostki sprzętowe tego samego rocznika produkcji mają niejednorodne wykorzystanie resursu w km i mtg. Tym samym kolorem oznaczono dane dla jednego pojazdu.

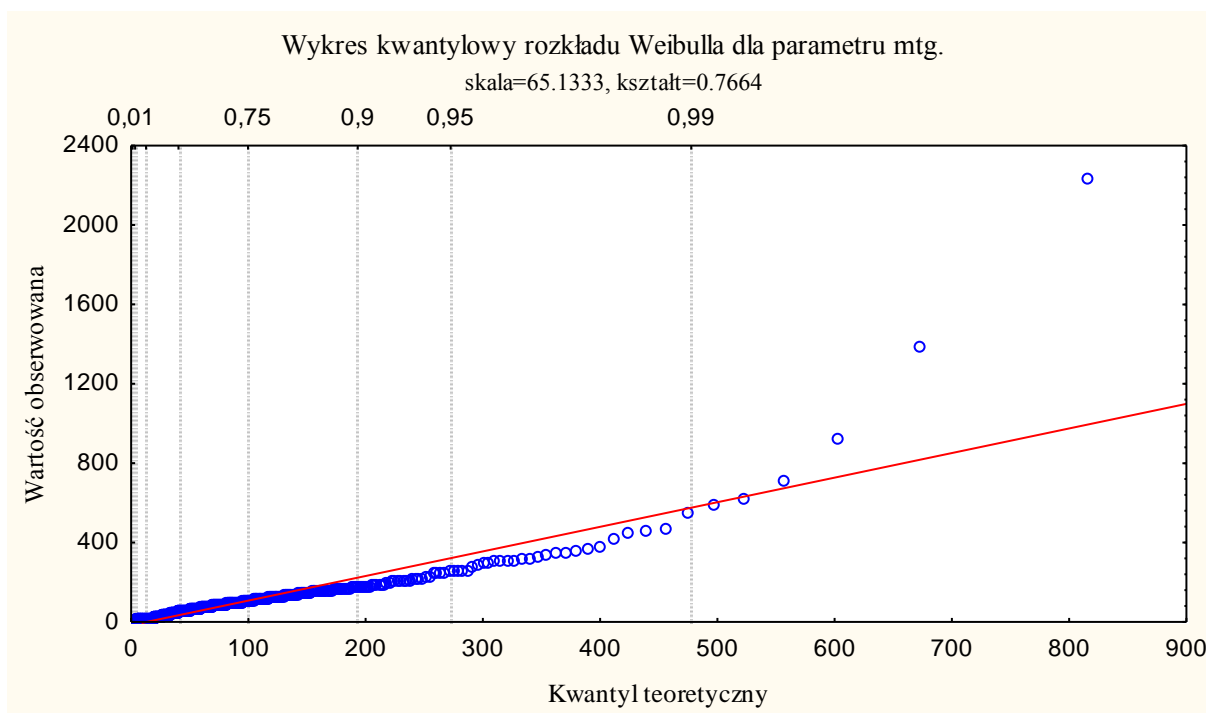
W końcowym etapie badań połączono zbiory danych dla wszystkich roczników produkcji. Zachowano rozdział danych w stosunku do parametru resursu dni, km i mtg. Przedstawiono wykres kwantylowy rozkładu Weibulla w celu porównania wartości empirycznych i teoretycznych. Wyniki zobrazowano na wykresach (Rys. 6.33 – Rys. 6.35)



Rys. 6.33. Wykres kwantylowy rozkładu Weibulla – parametr dni. Opracowanie własne



Rys. 6.34. Wykres kwantylowy rozkładu Weibulla – parametr km. Opracowanie własne



Rys. 6.35. Wykres kwantylowy rozkładu Weibulla – parametr mtg. Opracowanie własne

W prowadzonych badaniach wykorzystano do analizy także inne rozkłady. Wybrane dane zostały zobrazowane w tabelach (Tab. 6.6 – Tab. 6.9).

W tabelach przyjęto oznaczenia:  $d$  K-S – statystyka testu Kołmogorowa-Smirnowa, Stat. AD – statystyka testu Andersona-Darlinga, Chi-kwadrat – statystyka testu chi-kwadrat,  $p$  K-S,  $p$  AD, chi Kwadrat,  $p$  – wartość prawdopodobieństwa  $p$  dla wymienionych testów.

Kolorem niebieskim oznaczono zgodność rozkładu teoretycznego, jeśli co najmniej jeden z testów statystycznych potwierdził zgodność rozkładu.

Tab. 6.6. Badanie zgodności rozkładu empirycznego. Rok 2004, parametr dni. Opracowanie własne

	d K-S	K-S (p)	Stat. AD	p AD	Chi-kwadrat	Chi kwadrat p	Chi kwadrat df	Param 1	Param 2	Param 3	Param 4	Param 5	Param 6
Weibulla (skala,kształt)	0,10	0,93	0,33	0,91	2,36	0,12	1	106,60	1,15				
Log-normalny (skala,kształt)	0,10	0,92	0,28	0,95	1,40	0,24	1	4,21	0,94				
Johnson SB( typ , Gamma, Delta, Lambda, Xi)	0,12	0,84	0,91	0,41				3,00	2,24	0,80	921,67	12,18	
Uogólniony wartości ekstremalnej (location,skala,kształt)	0,12	0,82	0,38	0,87				49,07	41,01	0,53			
Mieszanka Gaussa	0,12	0,81	0,45	0,80				0,80	65,67	40,95	0,20	238,66	130,56
Uogólniony Pareto (skala,kształt)	0,13	0,77	0,45	0,80	3,32	0,07	1	103,16	0,02				
Pólnormalny (skala)	0,18	0,33	1,01	0,35	2,36	0,31	2	140,89					
Normalny (location,skala)	0,21	0,18	1,65	0,14	1,40	0,24	1	100,92	100,33				
Rayleigha (skala)	0,29	0,03	6,00	0,00	9,08	0,01	2	99,62					
Trójkątny(min,max,moda)	0,37	0,00	13,54	0,00				14,00	470,00	14,85			

Tab. 6.7. Badanie zgodności rozkładu empirycznego. Rok 2004, parametr km. Opracowanie własne

	d K-S	K-S (p)	Stat. AD	p AD	Chi-kwadrat	Chi kwadrat p	Chi kwadrat df	Param 1	Param 2	Param 3	Param 4	Param 5	Param 6
Mieszanka Gaussa	0,18	0,38	1,01	0,35				0,48	77,25	112,08	0,52	2294,19	1750,36
Johnson SB( typ , Gamma, Delta, Lambda, Xi)	0,18	0,32	0,78	0,50				3,00	1,15	0,43	7102,36	-55,15	
Log-normalny (skala,kształt)	0,20	0,23	1,22	0,26	6,43	0,01	1	5,34	2,50				
Weibulla (skala,kształt)	0,21	0,18	0,98	0,37				677,21	0,50				
Uogólniony Pareto (skala,kształt)	0,23	0,13	1,63	0,15				64,92	-2,60				
Normalny (location,skala)	0,24	0,09	2,54	0,05	4,60	0,03	1	1219,40	1711,51				
Pólnormalny (skala)	0,40	0,00	14,80	0,00	16,30	0,00	2	2073,41					
Trójkątny(min,max,moda)	0,42	0,00	21,07	0,00				5,00	5713,00	5,78			
Rayleigha (skala)	0,50	0,00	40,60	0,00	22,04	0,00	1	1466,12					



Tab. 6.8. Badanie zgodności rozkładu empirycznego. Rok 2008, parametr dni. Opracowanie własne

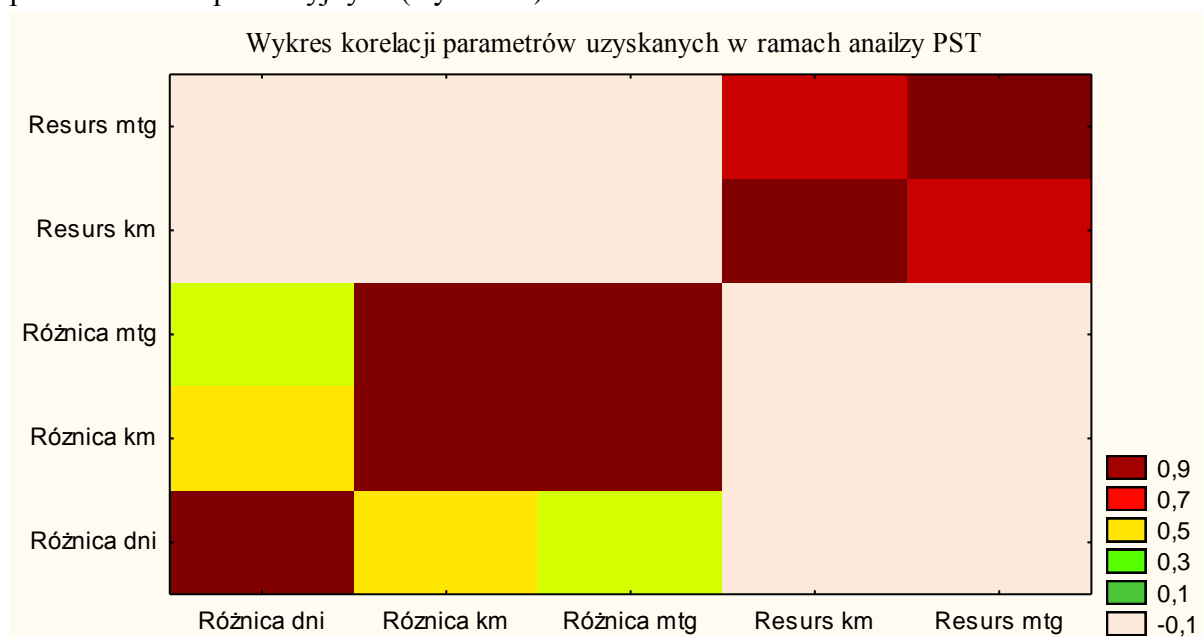
	d K-S	K-S (p)	Stat. AD	p AD	Chi- kwadrat	Chi kwadrat p	Chi kwadrat df	Param 1	Param 2	Param 3	Param 4	Param 5	Param 6
Log-normalny (skala,kształt)	0,10	0,67	0,43	0,81	8,00	0,09	4	4,72	0,92				
Uogólniony wartości ekstremalnej (location,skala,kształt)	0,10	0,55	0,58	0,67	2,91	0,41	3	83,59	67,97	0,47			
Mieszanka Gaussa	0,11	0,48	0,52	0,72				0,41	56,25	20,29	0,59	234,74	132,59
Uogólniony Pareto (skala,kształt)	0,11	0,46	0,87	0,43	9,02	0,06	4	207,13	0,27				
Weibulla (skala,kształt)	0,13	0,26	0,76	0,51	5,45	0,24	4	174,39	1,24				
Półnormalny (skala)	0,15	0,14	1,20	0,27	21,49	0,00	5	210,95					
Normalny (location,skala)	0,18	0,05	2,84	0,03	38,80	0,00	4	161,95	136,42				
Trójkątny(min,max,moda)	0,24	0,00	5,76	0,00	10,80	0,01	3	8,00	558,00	32,98			
Rayleigha (skala)	0,31	0,00	9,85	0,00	44,65	0,00	5	149,16					

Tab. 6.9. Badanie zgodności rozkładu empirycznego. Rok 2008, parametr mtg. Opracowanie własne

	d K-S	K-S (p)	Stat. AD	p AD	Chi- kwadrat	Chi kwadrat p	Chi kwadrat df	Param 1	Param 2	Param 3	Param 4	Param 5	Param 6
Johnson SB( typ , Gamma, Delta, Lambda, Xi)	0,10	0,66	0,78	0,50				3,00	1,06	0,67	5766,01	-98,40	
Mieszanka Gaussa	0,10	0,60	0,83	0,46				0,87	912,71	757,63	0,13	3954,12	380,82
Uogólniony wartości ekstremalnej (location,skala,kształt)	0,11	0,46	1,04	0,34	6,42	0,04	2	586,69	696,73	0,40			
Uogólniony Pareto (skala,kształt)	0,14	0,18	3,23	0,02	13,62	0,00	3	1425,20	0,09				
Weibulla (skala,kształt)	0,15	0,15	1,82	0,12	6,85	0,08	3	1153,62	0,77				
Półnormalny (skala)	0,16	0,10	5,42	0,00	8,16	0,09	4	1799,05					
Normalny (location,skala)	0,18	0,05	2,31	0,06	3,80	0,28	3	1299,85	1255,24				
Trójkątny(min,max,moda)	0,20	0,02	8,97	0,00	9,69	0,01	2	5,00	4639,00	5,95			
Log-normalny (skala,kształt)	0,21	0,01	3,74	0,01	13,40	0,00	3	6,20	1,99				
Rayleigha (skala)	0,28	0,00	24,15	0,00	23,87	0,00	4	1272,12					

Przedstawione wykresy potwierdzają zasadność analizowania eksploatacji sprzętu w kontekście zaproponowanych parametrów, tj. dni, km, mtg. Wykres (Rys. 6.33) pokazuje, że ważnym parametrem na potrzeby planowania przeglądów SpW w kontekście strategii eksploatacji RCM jest parametr dni. Daje to łatwość planowania w systemie kalendarzowym, gdy nie planuje się znacznego wykorzystania ресурсu eksploatacyjnego mierzonego według parametru km lub mtg. Potwierdza to możliwość wykorzystania analizy w koncepcji wspomagania eksploatacji SpW.

W ramach prowadzonej analizy dokonano zestawienia korelacyjnego badanych parametrów eksploatacyjnych (Rys. 6.36).



Rys. 6.36. Wykres korelacji parametrów uzyskanych z ZWSI RON. Opracowanie własne

Powyższy wykres przedstawia zależność korelacyjną między poszczególnymi miarami różnicy resursu między uszkodzeniami oraz całkowitego zużycia resursu. Należy zauważyć, że kolejny raz potwierdza się niska korelacja parametru resursu dni (różnica dni) w stosunku do pozostałych parametrów km i mtg (różnica km i mtg). Należy zwrócić również uwagę na brak korelacji między zużyciem resursu mierzonym w km i mtg, a różnicą wykorzystania resursu między uszkodzeniami mierzona w trzech wytypowanych miarach (dni, km i mtg).

#### Podsumowanie:

1. Przeprowadzone badania potwierdziły zasadność wykorzystania danych eksploatacyjnych zapisanych w ZWSI RON na potrzeby krótkoterminowego i długoterminowego planowania logistycznego. Jednak ich wykorzystanie wymaga określenia struktury raportów. W tym kontekście istotne jest rejestrowanie zdarzeń (uszkodzeń) w odniesieniu do określonych parametrów resursu (dni, km, mtg, strzały). Skróci to czas prowadzenia analiz. Zasadne jest również, aby użytkownicy ZWSI RON nie generowali dodatkowych zleceń naprawy w czasie jej trwania (weryfikacja stanu technicznego). Powoduje to generowanie wartości zerowych i bliskich zeru w odniesieniu do zużycia resursu między uszkodzeniami, które zakłócają prowadzenie analiz.

2. Przeprowadzone badania pokazały, że występują przypadki, gdy czas realizacji napraw jest długi. Potwierdziło to tezę postawioną przez ekspertów w badaniu ankietowym, że czas realizacji napraw nie spełnia oczekiwań użytkowników. Jedną z przyczyn jest dostęp do tśm, jak również czas obiegu dokumentów związanych z realizacją napraw/obsług. W związku z tym należy budować procedury, które będą optymalizowały wykorzystanie potencjału bazy obsługowo-naprawczej, w tym personelu technicznego. Jednym z rozwiązań jest wprowadzanie pełnego elektronicznego obiegu wszystkich dokumentów związanych z realizacją napraw SpW, jak również optymalizacja w obszarze zarządzania zapasami oraz wprowadzenie strategii eksploatacji opartych na prognozowaniu stanu technicznego SpW na podstawie informacji zapisanych w ZWSI RON, które mogą być wykorzystane do zarządzania systemem w myśl koncepcji wspomagania systemu eksploatacji SpW.
3. Badania kosztów realizacji napraw skłaniają do poszukiwania rozwiązań w zakresie ich zmniejszenia. Proponuje się wprowadzenie strategii RCM w kontekście przeglądów profilaktycznych. Badania zgodności rozkładów empirycznych uszkodzeń z rozkładami teoretycznymi pozwalają określić czas wykonania przeglądu.
4. W przypadku realizacji zadań transportowych przewidywanie wystąpienia chwili awarii może być wykonane w oparciu o rozkład resursu w funkcji km i mtg. Jest to procedura bardziej złożona z uwagi na potrzebę wykonania prognozy zużycia resursu w funkcji km i mtg.
5. Opis niezawodności KTO Rosomak dla miary resursu wyrażonej za pomocą parametru dni daje wysoką zgodność z różnymi rozkładami teoretycznymi dla zakresu danych, które uzyskano z systemu ZWSI RON, tj. od styczeń 2018, do czerwiec 2020. Daje to podstawę do wykorzystaniu rozkładów w funkcji czasu (dni kalendarzowe) w planowaniu obciążenia elementów bazy obsługowo-naprawczej. Ponadto jednoznacznie wskazuje na potrzebę szerszego wykorzystywania danych z ZWSI RON w aplikacjach komputerowych wspierających funkcjonowanie i planowanie krótko- i długoterminowe w podsystemie technicznym Sił Zbrojnych RP.

### **6.3. Zarządzanie zasobami części zamiennych KTO Rosomak**

#### **Planowanie zapasów, a ustawa „Prawo zamówień publicznych”**

W przypadku instytucji lub przedsiębiorstw objętych ustawą „Prawo zamówień publicznych” analiza w kontekście wyboru metody sterowania zapasami nabiera bardziej złożonego charakteru. Jest to związane z faktem, że ustawa Prawo zamówień publicznych ogranicza możliwość realizacji zakupów pozaplanowych. Nie znaczy to, że je uniemożliwia, ale wiąże się to z wykonaniem dodatkowych formalnych procedur, które powodują przestój, np. sprzętu w stacji serwisowej, a w konsekwencji wydłużają kolejkę sprzętu oczekującego na przyjęcie do warsztatu, powodując obniżenie sprawności działania systemu O-N.

Analiza odpowiedzi respondentów w badaniu ankietowym wykazała, że obszarami, które wymagają optymalizacji jest zabezpieczenie procesów obsługowo-naprawczych w techniczne środki materiałowe oraz dostępność środków finansowych. Autor pozyskał z jednostki wojskowej dane dotyczące kwartalnych stanów magazynowych wybranej losowo grupy technicznych środków materiałowych użytku bieżącego z lat 2016 – 2019 (Tab. 6.10).

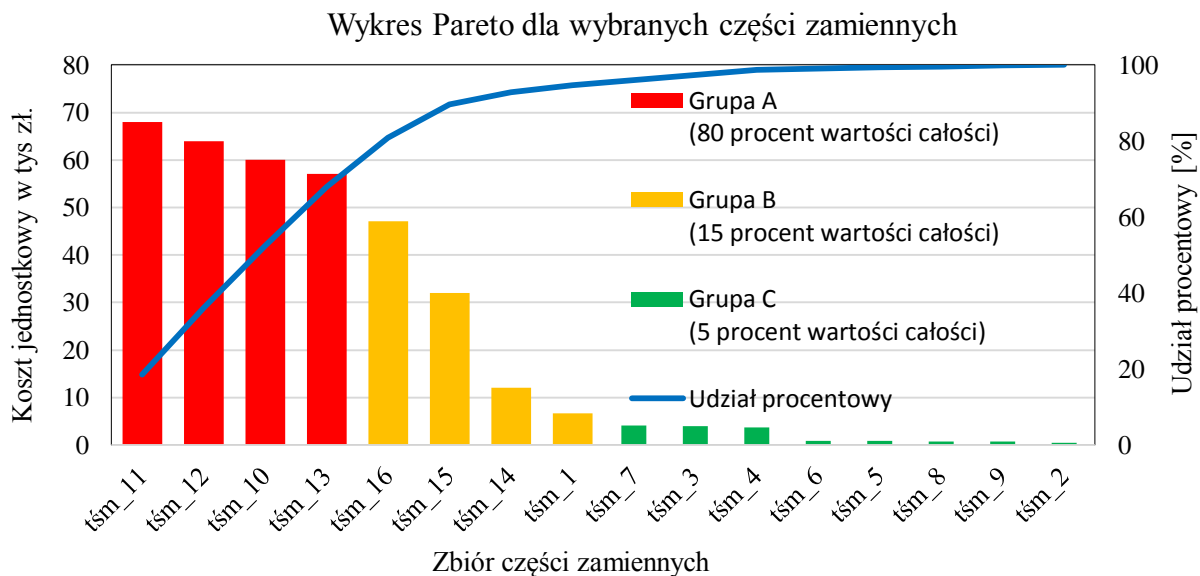
Tab. 6.10. Stany magazynowe. Opracowanie własne

Lp.	Zakodowana nazwa technicznego środka materiałowego (tśm)	Jednostkowa wartość brutto [PLN]	Stan magazynowy na 01.01.2016 r.	1 kwartał 16 r.	2 kwartał 16 r.	3 kwartał 16 r.	4 kwartał 16 r.	1 kwartał 17 r.	2 kwartał 17 r.	3 kwartał 17 r.	4 kwartał 17 r.	1 kwartał 18 r.	2 kwartał 18 r.	3 kwartał 18 r.	4 kwartał 18 r.	1 kwartał 19 r.	2 kwartał 19 r.	3 kwartał 19 r.	4 kwartał 19 r.
1	tśm_1	6733,7	13	10	3	3	0	11	8	11	9	8	7	7	7	6	6	6	15
2	tśm_2	550,5	2	2	6	6	2	4	3	4	4	10	8	4	16	12	22	21	13
3	tśm_3	5006,3	5	3	2	2	0	2	1	10	7	9	7	7	5	5	1	2	8
4	tśm_4	4600,0	6	6	20	19	27	13	0	35	34	60	27	12	34	14	31	33	17
5	tśm_5	1173,5	6	6	6	4	4	3	3	4	4	0	2	1	7	7	7	2	0
6	tśm_6	1174,0	81	74	56	55	47	33	20	17	20	24	37	39	16	1	1	48	23
7	tśm_7	5178,4	0	0	0	0	0	0	1	1	0	4	1	4	10	8	8	14	13
8	tśm_8	953,0	6	6	8	28	19	17	17	15	13	18	17	13	5	4	10	20	8
9	tśm_9	953,0	13	13	9	22	17	15	15	15	13	20	19	14	6	3	11	18	10
10	tśm_10	60000,0	1	7	8	5	5	4	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	3
11	tśm_11	68000,0	1	4	5	5	2	5	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3
12	tśm_12	64000,0	1	7	8	7	3	4	4	3	4	4	4	3	1	1	1	1	1
13	tśm_13	57000,0	0	11	14	6	1	4	2	4	4	4	4	4	3	3	2	3	3
14	tśm_14	12054,0	7	7	7	7	7	6	3	3	2	0	0	0	5	5	5	5	4
15	tśm_15	32000,0	1	1	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	3
16	tśm_16	47092,0	6	6	8	8	7	7	6	6	6	10	10	10	10	10	9	9	7

Tabela (Tab. 6.10) pozwoliła wykonać dalsze zestawienie (Tab. 6.11), które zostało wykorzystane do zaprezentowania m.in. wykresu Pareto.

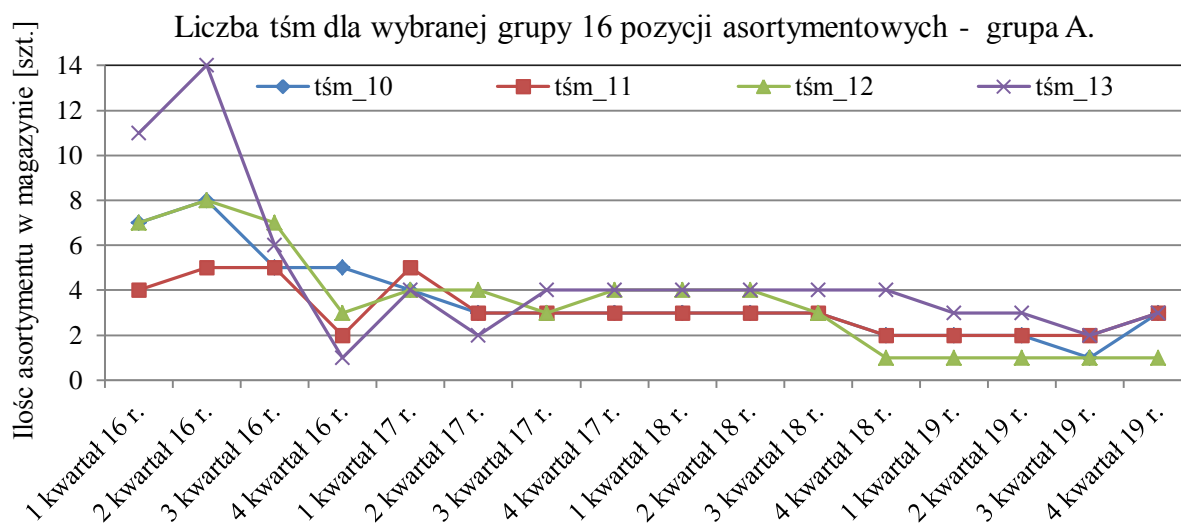
Tab. 6.11. Tabela wyników wykorzystana do zbudowania wykresu Pareto. Opracowanie własne

Lp.	Zakodowana nazwa technicznego środka materiałowego (tśm)	Jednostkowa wartość brutto [PLN]	Stan magazynowy na 01.01.2016 r. [sztuk]	Wartość stanu magazynowego [PLN]	Wartość skumulowana (malejąco) [PLN]	Udział procentowy	Grupa tśm
1	tśm_11	68000	1	68000	68000,0	18,6	A
2	tśm_12	64000	1	64000	132000,0	36,0	A
3	tśm_10	60000	1	60000	192000,0	52,4	A
4	tśm_13	57000	0	0	249000,0	67,9	A
5	tśm_16	47092	6	282552	296092,0	80,8	B
6	tśm_15	32000	1	32000	328092,0	89,5	B
7	tśm_14	12054	7	84378	340146,0	92,8	B
8	tśm_1	6733,66	13	87537,58	346879,7	94,7	B
9	tśm_7	5178,37	0	0	352058,0	96,1	C
10	tśm_3	5006,26	5	25031,3	357064,3	97,4	C
11	tśm_4	4600	6	27600	361664,3	98,7	C
12	tśm_6	1173,96	81	95090,76	362838,3	99,0	C
13	tśm_5	1173,49	6	7040,94	364011,7	99,3	C
14	tśm_8	953	6	5718	364964,7	99,6	C
15	tśm_9	953	13	12389	365917,7	99,8	C
16	tśm_2	550,47	2	1100,94	366468,2	100,0	C

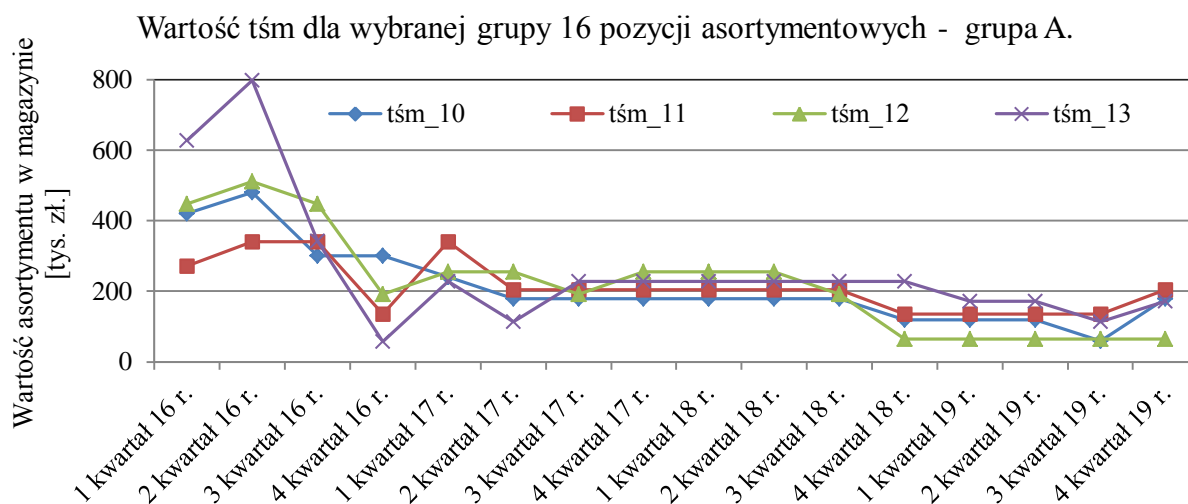


Rys. 6.37. Wykres Pareto dla losowo wybranego do badania części zamiennych. Opracowanie własne

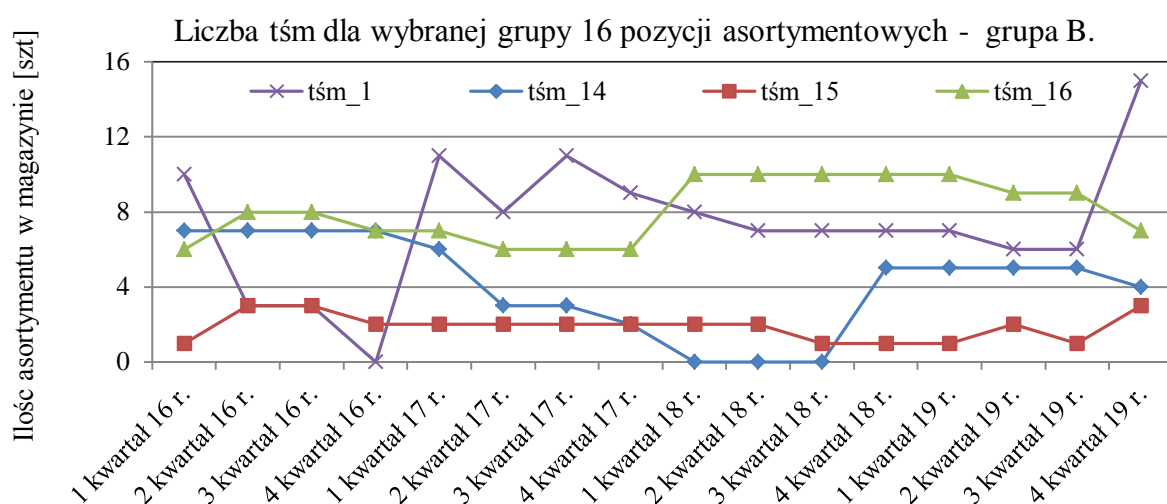
Poniżej zaprezentowano zmiany stanu magazynowego wybranych technicznych środków materiałowych oraz ich wartość w zł. z podziałem na grupy A – C (Rys. 6.38 – Rys. 6.45). Na wykresach zauważa się, że pozyskanie niewielkiej ilości tśm grupy A spowodowało znaczący wzrost wartości zapasów magazynowych, a tym samym brak możliwości wykorzystania kapitału operacyjnego na potrzeby innych obszarów podsystemu technicznego. Zbliżona sytuacja występuje również w przypadku asortymentu grupy B. W przypadku grupy C obserwuje się podobne zależności, ale w mniejszej skali. Należy zauważyć, że np. w przypadku zakupu tśm 4 nastąpił gwałtowny wzrost jego ilości w magazynie, a tym samym ilości kapitału operacyjnego ulokowanego w zapasach magazynowych. Stąd nasuwa się wniosek o potrzebie poszukiwania metod optymalizacyjnych dostępności tśm oraz kapitału zaangażowanego na ich pozyskanie.



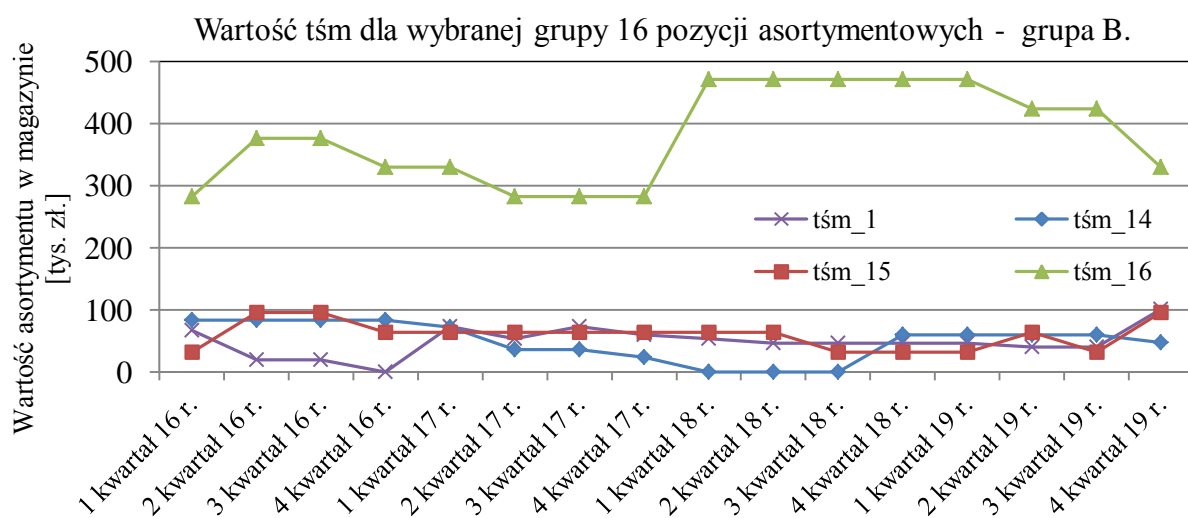
Rys. 6.38. Przebieg zmian szeregu czasowego ilości asortymentu - grupa A. Opracowanie własne



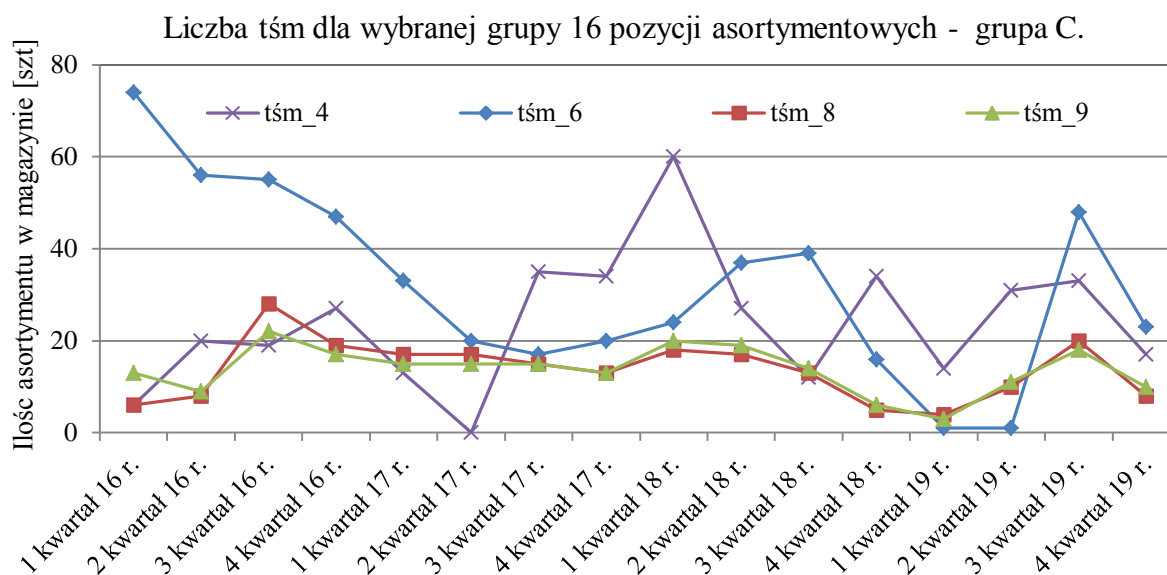
Rys. 6.39. Przebieg zmian szeregu czasowego wartości asortymentu - grupa A. Opracowanie własne



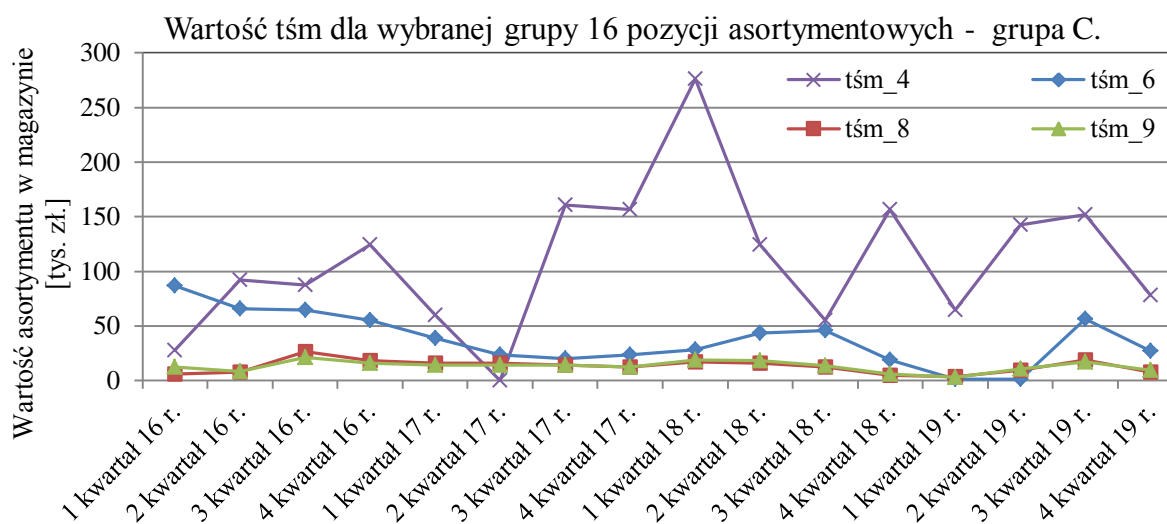
Rys. 6.40. Przebieg zmian szeregu czasowego ilości asortymentu - grupa B. Opracowanie własne



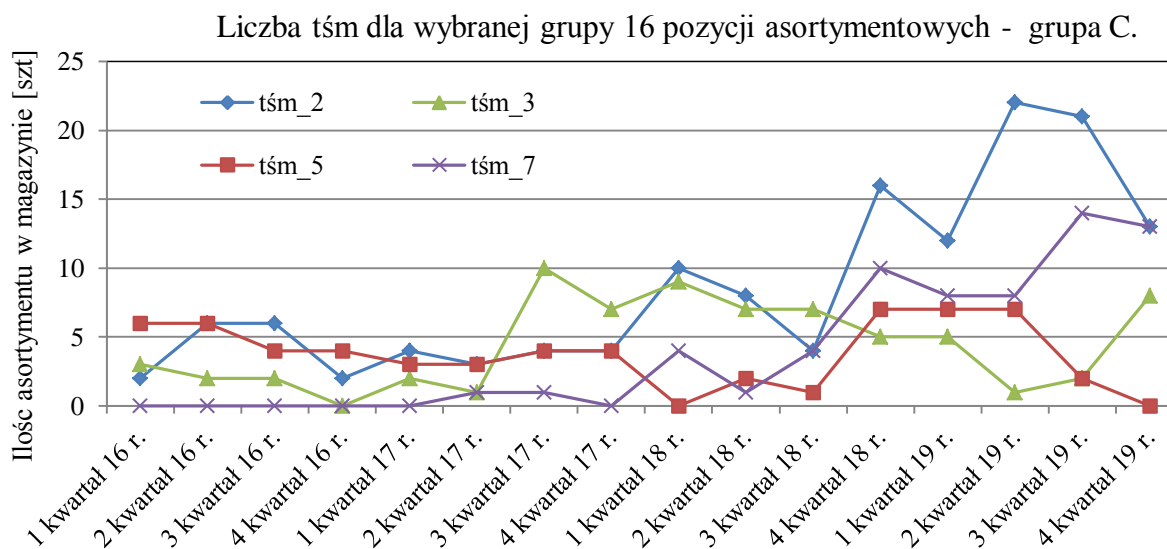
Rys. 6.41. Przebieg zmian szeregu czasowego wartości asortymentu - grupa B. Opracowanie własne



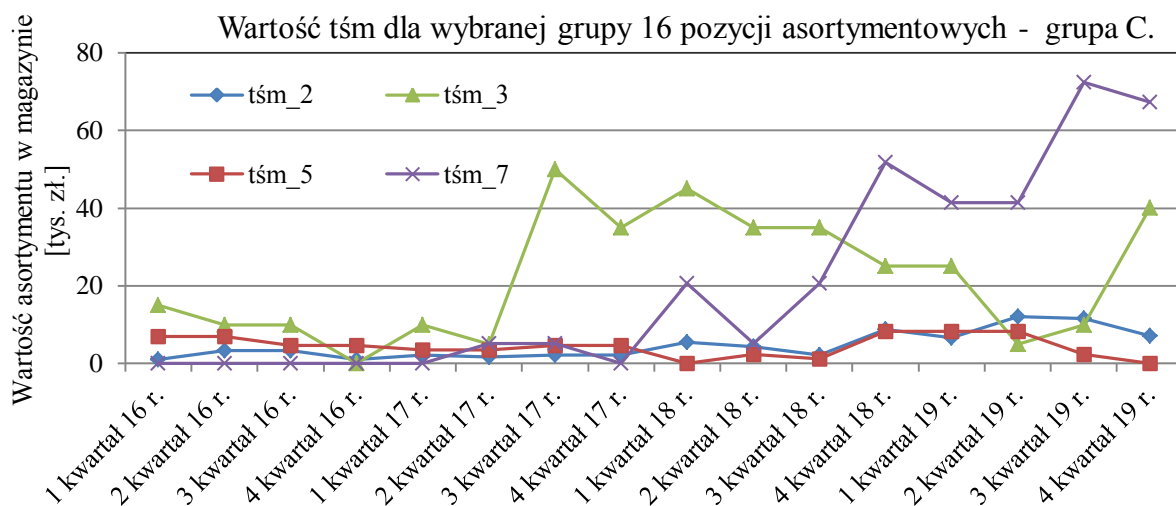
Rys. 6.42. Przebieg zmian szeregu czasowego ilości asortymentu - grupa C. Opracowanie własne



Rys. 6.43. Przebieg zmian szeregu czasowego wartości asortymentu - grupa C. Opracowanie własne



Rys. 6.44. Przebieg zmian szeregu czasowego ilości asortymentu - grupa C. Opracowanie własne



Rys. 6.45. Przebieg zmian szeregu czasowego wartości asortymentu - grupa C. Opracowanie własne

Dla powyższych materiałów dokonano analizy ABC/XYZ. W celu określenia współczynnika zmienności wykorzystano dane z okresu trzech ostatnich lat. Wyniki przedstawiono w poniższej tabeli (Tab. 6.12).

Tab. 6.12. Analiza ABC/XYZ dla grypy tśm. Opracowanie własne

		Wartość materiałów		
Grupa materiałów		A	B	C
Regularność wydań	X	---	---	---
	Y	tśm_10, tśm_11, tśm_13	tśm_1, tśm_15, tśm_16	tśm_8, tśm_9
	Z	tśm_12	tśm_14	tśm_2, tśm_3, tśm_4, tśm_5, tśm_6, tśm_7, tśm_15

Na powyższych wykresach zauważa się występowanie nadmiarowego poziomu technicznych środków materiałowych w wybranych do badania grupach. W konsekwencji może występować niedobór środków finansowych na potrzeby pozostałych obszarów SON, np. szkolenie pracowników, rozwój kompetencji O-N macierzystych organów remontowych, a także finansowanie bieżącej działalności obsługowo-naprawczej. Należy jeszcze raz podkreślić, że dane dotyczą tylko jednej jednostki wojskowej. Przedmiotowe badanie może być rozszerzone do badania całkowitych zasobów w Siłach Zbrojnych, np. w kontekście Kołowych Transporterów Opancerzonych, czołgów, podwozi bazowych sprzętu. Z uwagi na ograniczony dostęp do danych, na obecną chwilę nie rozszerzono zakresu badania. Jest to podyktowane również tym, że na poziomie JW wyniki analizy klasyfikują tśm do grup Y i Z,



a więc wykazują średnią i niską dokładność prognozy. Zatem należy prowadzić planowanie tśm na wyższym poziomie podsystemu technicznego w ujęciu sieciocentrycznym, tzn. bazujących na całości danych eksploatacyjnych sprzętu o jednym indeksie materiałowym w Siłach Zbrojnych.

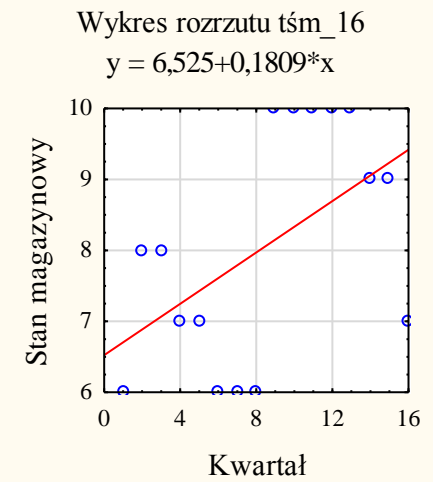
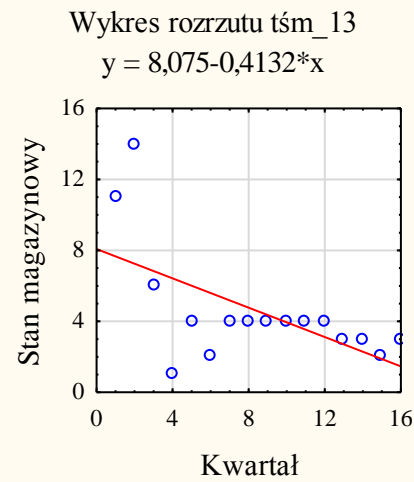
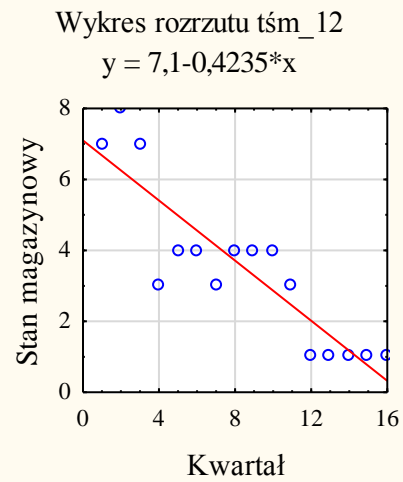
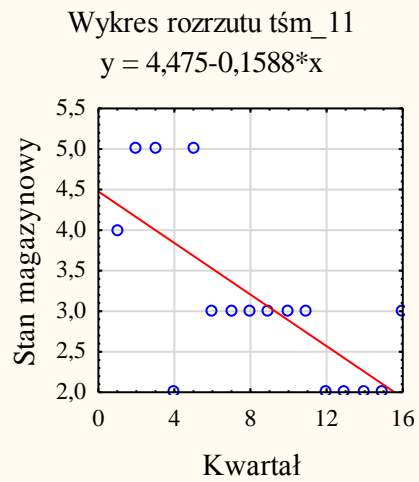
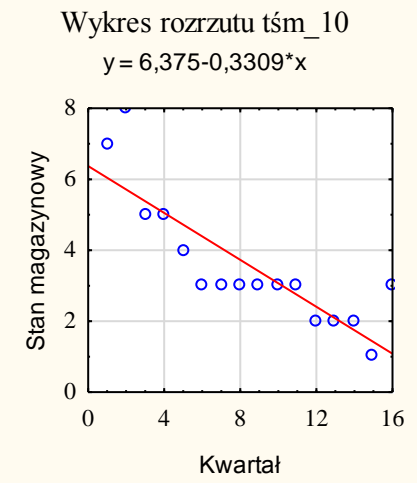
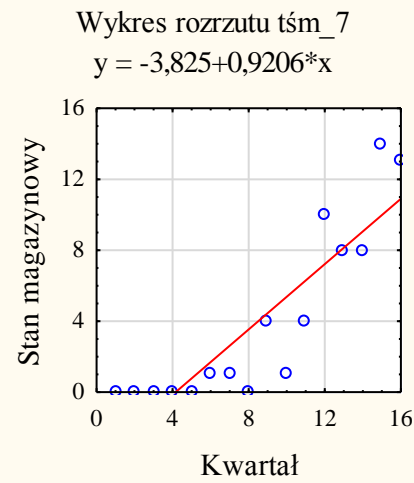
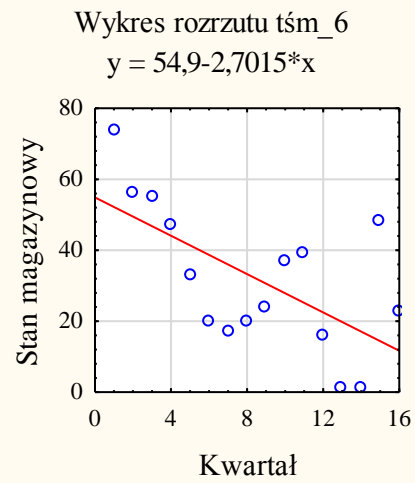
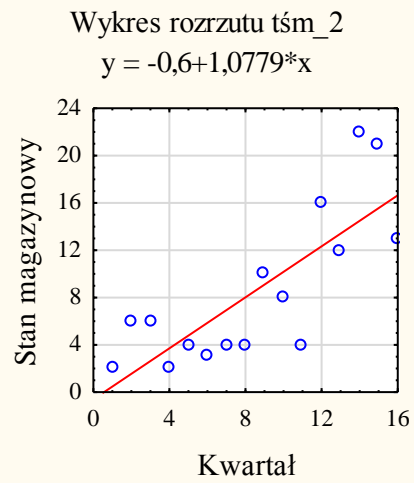
W dalszej części badań określono korelację poziomu asortymentu w stosunku do kwartałów na przestrzeni czterech lat, tj. przeanalizowano stan magazynowy w funkcji czasu. Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu Statistica i otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli (Tab. 6.13). Mogą one stanowić wytyczną w kontekście planowania zapasów tśm, a co za tym idzie optymalizacji wykorzystania środków budżetowych.

Tab. 6.13. Określenie istotności statystycznej oraz korelacji dla tśm. Opracowanie własne

Rodzaj technicznego środka materiałowego.	tśm_1	tśm_2	tśm_3	tśm_4	tśm_5	tśm_6	tśm_7	tśm_8	tśm_9	tśm_10	tśm_11	tśm_12	tśm_13	tśm_14	tśm_15	tśm_16
Grupa	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	B	B	B
Wartość brutto [tyś.]	6,7	0,6	5,0	4,6	1,2	1,2	5,2	1,0	1,0	60,0	68,0	64,0	57,0	12,1	32,0	47,1
Istotność statystyczna i wartość współczynnika korelacji.	0,32	0,79	0,33	0,27	-0,22	-0,63	0,88	-0,26	-0,31	-0,85	-0,70	-0,88	-0,59	-0,39	-0,27	0,52

\* Oznaczone na szaro współczynniki korelacji są istotne z  $p < 0,0500$ .

Poniżej (Rys. 6.46) przedstawiono wykresy rozrzutu dla technicznych środków materiałowych wykazujących istotność statystyczną współczynnika korelacji Pearsona.



Rys. 6.46. Wykresy stanów magazynowych tsm w kwartałach. Opracowanie własne

Tabela (Tab. 6.13) wskazuje na istotne statystycznie związki korelacyjne w funkcji czasu (kwartału) dla wybranych tśm. Przedstawiono je na wykresach (Rys. 6.46). Dodatkowo określono związki korelacyjne stanów asortymentu w kolejnych kwartałach na podstawie macierzy korelacyjnej wszystkich tśm. Wyniki przedstawiono w tabeli (Tab. 6.14).

Tab. 6.14. Zależności korelacji poziomu stanów magazynowych w kwartałach. Opracowanie własne

	Średnia	Odch.std	tśm_1	tśm_2	tśm_3	tśm_4	tśm_5	tśm_6	tśm_7	tśm_8	tśm_9	tśm_10	tśm_11	tśm_12	tśm_13	tśm_14	tśm_15	tśm_16	Korelacja z kwartałem
tśm_1	7,38	3,58	1,00	0,02	<b>0,58</b>	-0,10	-0,33	-0,30	0,25	-0,34	-0,20	-0,26	0,06	-0,25	-0,09	-0,32	-0,03	-0,29	0,32
tśm_2	8,56	6,52	0,02	1,00	-0,05	0,38	0,13	-0,42	<b>0,86</b>	-0,20	-0,26	<b>-0,61</b>	<b>-0,53</b>	<b>-0,65</b>	-0,28	0,03	-0,18	<b>0,55</b>	<b>0,79</b>
tśm_3	4,44	3,20	<b>0,58</b>	-0,05	1,00	0,43	-0,43	-0,32	0,12	-0,17	-0,03	-0,30	-0,13	-0,20	-0,09	<b>-0,72</b>	-0,03	0,16	0,33
tśm_4	23,88	14,42	-0,10	0,38	0,43	1,00	-0,18	-0,26	0,19	0,18	0,25	-0,33	-0,33	-0,23	-0,20	-0,35	0,03	0,36	0,27
tśm_5	3,75	2,38	-0,33	0,13	-0,43	-0,18	1,00	-0,12	-0,10	-0,48	<b>-0,59</b>	0,21	-0,06	0,07	0,34	<b>0,60</b>	-0,21	-0,03	-0,22
tśm_6	31,94	20,43	-0,30	-0,42	-0,32	-0,26	-0,12	1,00	-0,37	0,29	0,44	<b>0,72</b>	<b>0,56</b>	<b>0,71</b>	<b>0,58</b>	0,37	0,09	-0,23	<b>-0,63</b>
tśm_7	4,00	4,98	0,25	<b>0,86</b>	0,12	0,19	-0,10	-0,37	1,00	-0,32	-0,37	<b>-0,65</b>	<b>-0,59</b>	<b>-0,77</b>	-0,38	-0,03	-0,28	0,45	<b>0,88</b>
tśm_8	13,63	6,50	-0,34	-0,20	-0,17	0,18	-0,48	0,29	-0,32	1,00	<b>0,91</b>	-0,04	0,25	0,25	-0,30	-0,09	0,33	-0,10	-0,26
tśm_9	13,75	5,09	-0,20	-0,26	-0,03	0,25	<b>-0,59</b>	0,44	-0,37	<b>0,91</b>	1,00	0,07	0,27	0,35	-0,16	-0,23	0,26	-0,12	-0,31
tśm_10	3,56	1,86	-0,26	<b>-0,61</b>	-0,30	-0,33	0,21	<b>0,72</b>	<b>-0,65</b>	-0,04	0,07	1,00	<b>0,72</b>	<b>0,87</b>	<b>0,82</b>	0,49	0,40	-0,40	<b>-0,85</b>
tśm_11	3,13	1,09	0,06	<b>-0,53</b>	-0,13	-0,33	-0,06	<b>0,56</b>	<b>-0,59</b>	0,25	0,27	<b>0,72</b>	1,00	<b>0,83</b>	<b>0,68</b>	0,28	<b>0,53</b>	-0,34	<b>-0,70</b>
tśm_12	3,50	2,28	-0,25	<b>-0,65</b>	-0,20	-0,23	0,07	<b>0,71</b>	<b>-0,77</b>	0,25	0,35	<b>0,87</b>	<b>0,83</b>	1,00	<b>0,78</b>	0,24	0,41	-0,35	<b>-0,88</b>
tśm_13	4,56	3,35	-0,09	-0,28	-0,09	-0,20	0,34	<b>0,58</b>	-0,38	-0,30	-0,16	<b>0,82</b>	<b>0,68</b>	<b>0,78</b>	1,00	0,35	0,23	-0,14	<b>-0,59</b>
tśm_14	4,13	2,55	-0,32	0,03	<b>-0,72</b>	-0,35	<b>0,60</b>	0,37	-0,03	-0,09	-0,23	0,49	0,28	0,24	0,35	1,00	0,15	-0,33	-0,39
tśm_15	1,88	0,72	-0,03	-0,18	-0,03	0,03	-0,21	0,09	-0,28	0,33	0,26	0,40	<b>0,53</b>	0,41	0,23	0,15	1,00	-0,33	-0,27
tśm_16	8,06	1,65	-0,29	<b>0,55</b>	0,16	0,36	-0,03	-0,23	0,45	-0,10	-0,12	-0,40	-0,34	-0,35	-0,14	-0,33	-0,33	1,00	<b>0,52</b>
Korelacja z kwartałem	8,50	4,76	0,32	<b>0,79</b>	0,33	0,27	-0,22	<b>-0,63</b>	<b>0,88</b>	-0,26	-0,31	<b>-0,85</b>	<b>-0,70</b>	<b>-0,88</b>	<b>-0,59</b>	-0,39	-0,27	<b>0,52</b>	1,00

\* Oznaczone na czerwono współczynniki korelacji są istotne z  $p < 0,0500$ .

Analiza pokazuje, że występują związki korelacyjne, istotne statystycznie pomiędzy technicznymi środkami materiałowymi w funkcji czasu, jak również między dwoma technicznymi środkami materiałowymi, np. tśm\_11 i tśm\_15.

Przeprowadzona analiza wskazuje, że jedną z metod wsparcia metod planowania technicznych środków materiałowych mogłaby być metoda analizy korelacji. Jej rozszerzeniem jest rachunek regresyjny. W związku z powyższym w odniesieniu do uzupełnienia analizy ABC/XYZ proponuje się wykorzystanie rachunku regresyjnego, jako rozszerzenia metody planowania opartej na niezawodności (Tab. 6.15).

Tab. 6.15. Podział tśm według grupy ABC oraz możliwość ich prognozowania. Opracowanie własne

Lp.	Przedział wartości tśm [zł]	Prognoza na podstawie rachunku regresyjnego.		
		Tśm wykazujące korelację względem czasu.	Tśm wykazujące korelację względem innych tśm.	Pozostałe tśm (konieczność zwiększenia próby badawczej).
1	2	3	4	5
1	Grupa A	tśm_10 tśm_11 tśm_12 tśm_13		
2	Grupa B	tśm_16	tśm_15	tśm_1 tśm_14
3	Grupa C	tśm_2 tśm_6 tśm_7		tśm_3 tśm_4 tśm_5 tśm_8 tśm_9

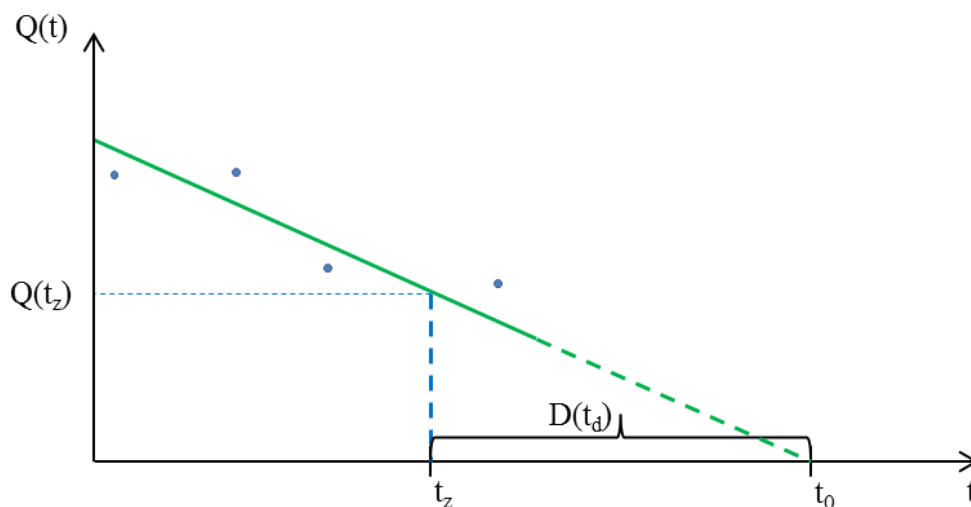
Model stanowi rozwinięcie analizy ABC/XYZ, w którym prognozę określa się na podstawie współczynnika zmienności. Powyższa analiza dzieli techniczne środki materiałowe

na grupy w zależności od wartości (grupa ABC) oraz możliwości zastosowania metod prognozowania stanów magazynowych (rachunek regresyjny). Powyższa analiza wykazała, że istnieje możliwość zastosowania w planowaniu zapasów rachunku regresyjnego. Występuje też grupa środków, kolumna nr 5 (Tab. 6.14), dla której określenie potrzeb na podstawie krzywej regresji nie jest uzasadnione rachunkiem korelacyjnym (nie zachowuje powtarzalności statystycznej). Zatem w tym przypadku autor proponuje zastosowanie prognozowania tśm z wykorzystaniem dystrybuant niezawodności tśm oraz prognozy wykorzystania ресурсu sprzętu wojskowego.

Metoda znalazłaby zastosowanie w kontekście planowania poziomu stanów magazynowych na wyższych poziomach zarządzania, tj. jednostki organizacyjnej RON właściwej do spraw wsparcia logistycznego SZ RP, dając tym samym podstawę do dyrektywnego pozyskiwania tśm (dane dla Agencji Uzbrojenia). Dodatkowo analiza jest źródłem informacji o elementach techniki wojskowej, których zużycie wzrasta. Stanowi to wykładnię dla Gestorów oraz Centralnych Organów Logistycznych w zakresie modernizacji lub modyfikacji SpW. Powyższe istotnie wsparłoby proces zarządzania cyklem życia SpW.

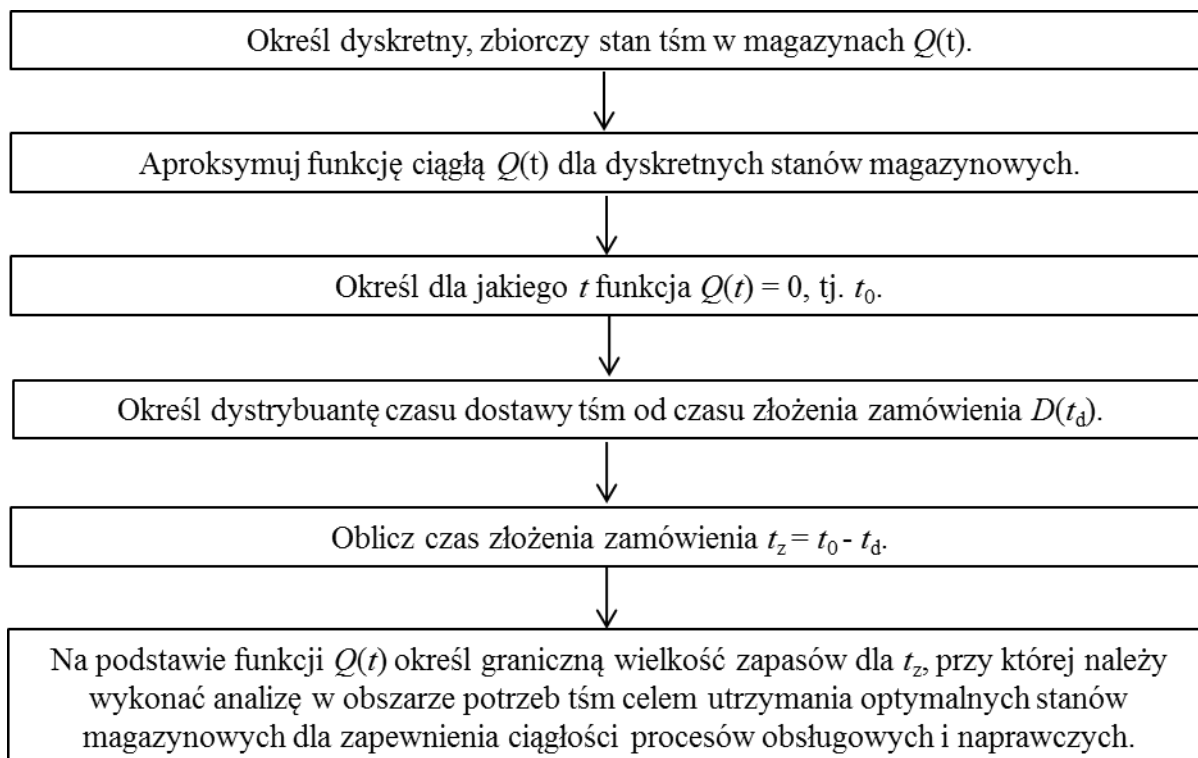
Prowadzenie analizy potrzeb technicznych środków materiałowych w kontekście eksploatacji floty sprzętu wojskowego, której eksploatacja odbywa się w warunkach ustawy „Prawo zamówień publicznych” wymaga rozwijania metod prognozowania i planowania długoterminowego, w szczególności tśm. W przypadku wojska zaopatrywanie w tśm według zasady „Just in time” jest mocno ograniczone. Jednak należy pamiętać, że efektywne metody planowania długoterminowego stanowiłyby źródło informacji m.in. dla zakładów produkcyjnych zaopatrujących Siły Zbrojne w aspekcie planowania procesów produkcyjnych w kontekście m.in. Programu Mobilizacji Gospodarki (zawiera zadania produkcyjno-remontowe, jakie powinny być realizowane przez przedsiębiorców w warunkach zagrożenia bezpieczeństwa państwa i w czasie wojny).

Poniżej przedstawiono w sposób graficzny (Rys. 6.47) oraz w postaci algorytmu (Rys. 6.48) schemat analizy potrzeb tśm oraz określenia czasu złożenia zamówienia. Zasadne jest prowadzenie proponowanej analizy w kontekście potrzeb pozyskania tśm z Gospodarki Narodowej. Przedmiotowy obszar mógłby się znaleźć w domenie planowanej do powołania Agencji Uzbrojenia.



Rys. 6.47. Określenie czasu złożenia zamówienia tśm. Opracowanie własne

- $t_0$  – czas wyczerpania się zasobu tśm;  
 $t_z$  – czas złożenia zamówienia;  
 $D(t_d)$  – wartość czasu dostawy dla zadanego prawdopodobieństwa.  
 $Q(t)$  – funkcja opisująca zasób wybranego tśm w magazynach;  
 $Q_z(t)$  – wartość funkcji  $Q(t)$  w czasie złożenia zamówienia  $t_z$ ;



Rys. 6.48. Algorytm wyznaczenia czasu określania potrzeb tśm w magazynie. Opracowanie własne

#### 6.4. Przekazywanie technicznych środków materiałowych poza Siły Zbrojne.

W celu podkreślenia istotności procesów planowania autor uzyskał dane dotyczące przekazywania mienia wojskowego (tśm) poza Siły Zbrojne i dokonał poniższych zestawień. Należy zaznaczyć, że dane dotyczą wyłącznie jednej z jednostek organizacyjnych uprawnionych do przekazywania mienia poza wojsko. Do analizy wybrano tylko techniczne środki materiałowe (grupa sprzętu VI, sprzęt i środki zaopatrzenia logistycznego), a zgromadzone dane pochodzą z okresu jednego roku. W skład wybranej jednostki wchodzi sześć jednostek podległych zajmujących się procesem gromadzenia asortymentu przeznaczonego do przekazania poza SZ RP. Poniżej zestawiono dane za jednostkę nadrzędną i jej jednostki podległe.

Tab. 6.16. Ilość asortymentu – jednostka nadrzędna. Opracowanie własne

Kategoria	Ilość asortymentu	Średnia cena jednostkowa [zł]	Wartość netto [tyś. zł]	Procent ilości	Procent wartości
Kategoria 1	5235	68,6	359,0	57,1%	30,9%
Kategoria 2	3189	52,9	168,7	34,8%	14,5%
Kategoria 5	742	853,1	633,0	8,1%	54,5%
Razem	9166		1160,7	100,0%	100,0%

Tab. 6.17. Ilość asortymentu – jednostka podległa A. Opracowanie własne

Kategoria	Ilość asortymentu	Średnia cena jednostkowa [zł]	Wartość netto [tyś. zł]	Procent ilości	Procent wartości
Kategoria 1	4420	12,9	57,2	58,8%	81,6%
Kategoria 2	3092	4,2	12,9	41,2%	18,4%
Razem	7512		70,1	100,0%	100,0%

Tab. 6.18. Ilość asortymentu – jednostka podległa B. Opracowanie własne

Kategoria	Ilość asortymentu	Średnia cena jednostkowa [zł]	Wartość netto [tyś. zł]	Procent ilości	Procent wartości
Kategoria 1	274	24,8	6,8	79,7%	44,5%
Kategoria 2	25	53,6	1,3	7,3%	8,8%
Kategoria 5	45	158,6	7,1	13,1%	46,7%
Razem	344		15,3	100,0%	100,0%

Tab. 6.19. Ilość asortymentu – jednostka podległa C. Opracowanie własne

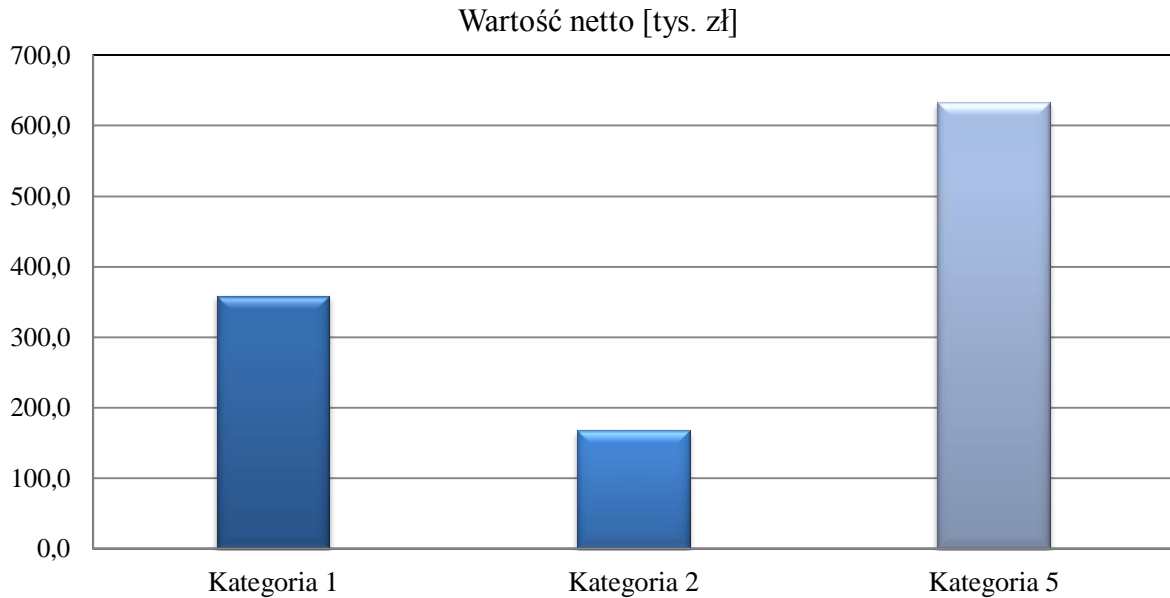
Kategoria	Ilość asortymentu	Średnia cena jednostkowa [zł]	Wartość netto [tyś. zł]	Procent ilości	Procent wartości
Kategoria 1	541	545,3	295,0	68,3%	62,0%
Kategoria 2	72	2145,0	154,4	9,1%	32,5%
Kategoria 5	179	146,2	26,2	22,6%	5,5%
Razem	792		475,6	100,0%	100,0%

Tab. 6.20. Ilość asortymentu za – jednostka podległa D, E, F – kategoria 5. Opracowanie własne

	Ilość asortymentu	Średnia cena jednostkowa [zł]	Wartość netto [tyś. zł]	Procent ilości	Procent wartości
Jednostka D	6	303,3	1,82	100,0%	100,0%
Jednostka E	6	433,3	2,6	100,0%	100,0%
Jednostka F	506	1176,4	595,26	100,0%	100,0%

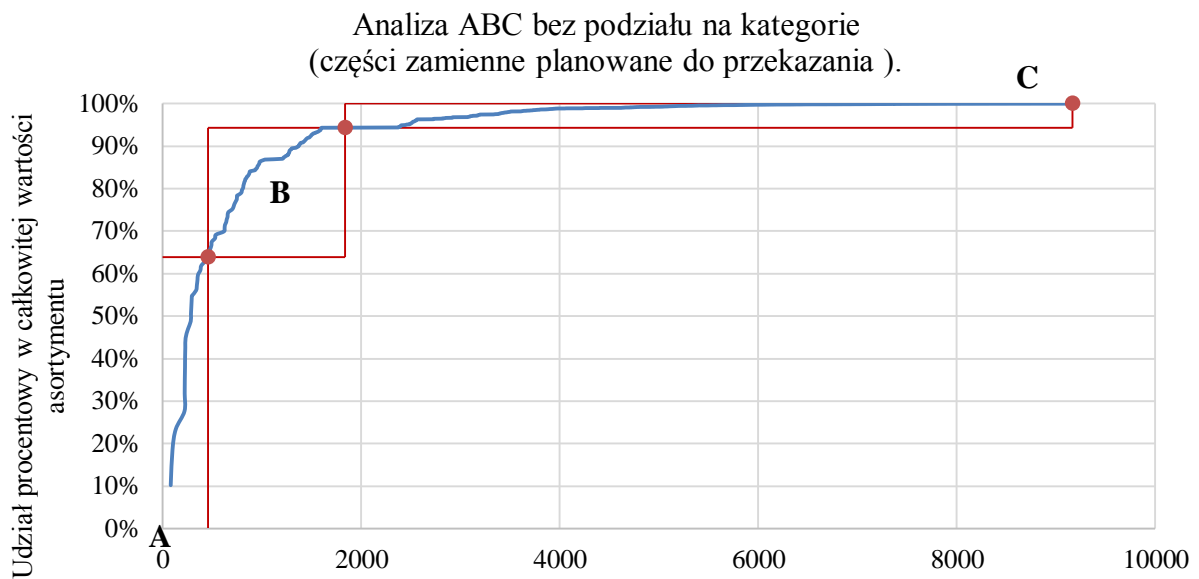
Powyższe dane wskazują, że poza Siły Zbrojne przekazywany jest również asortyment pierwszej i drugiej kategorii, czyli asortyment sprawny, posiadający walory do jego dalszego wykorzystania. Należy pamiętać, że cena przekazania tsm poza wojsko stanowi tylko ułamek wartości części zamiennej w chwili jej nabycia (nowej). Dodatkowo do powyższego należy doliczyć koszty przechowywania, konserwacji, manipulacji, koszty pracownicze

oraz przekazania zbywającego asortymentu poza Siły Zbrojne. Zatem powoduje to ulokowanie środków finansowych w innym obszarze niż rozwój kompetencji, szkolenie personelu lub zabezpieczenie działalności operacyjnej w tym rozbudowę bazy obsługowo-naprawczej. Omawiany aspekt był zauważony w kontekście odpowiedzi ekspertów w przeprowadzonej ankiecie. Poniżej przedstawiono wykresy udziału asortymentu oraz środków finansowych w analizowanej grupie technicznych środków materiałowych.



Rys. 6.49. Zestawienie wartości tśm przekazywanych poza Siły Zbrojne. Opracowanie własne

Na wykresie (Rys. 6.50) należy zauważyć, że ilość asortymentu pierwszej i drugiej kategorii stanowi około 45 procent wartości całego asortymentu. W związku z powyższym zaprezentowano ogólną analizę ABC, w kontekście kosztów oraz ilości asortymentu zbywanego poza SZ.



Łączna liczba technicznych środków materiałowych , (grupa A-5%, B-15%, C-80%)

Rys. 6.50. Analiza ABC dla całości asortymentu tśm. Opracowanie własne

Na wykresie (Rys. 6.50) zobrazowano udział procentowy technicznych środków materiałowych planowanych do przekazania, względem całkowitej wartości. Pokazuje to, że około 5 procent asortymentu stanowi około 65 procent udziału w całkowitej wartości mienia przekazywanego poza wojsko.

### **Podsumowanie:**

1. Przedstawiona analiza pokazuje, że w przypadku przedstawionej grupy asortymentu wybranej jednostki wojskowej stany magazynowe są okresowo utrzymywane na zbyt wysokim poziomie.
2. Utrzymywanie nadmiernych stanów magazynowych powoduje wstrzymanie przepływu środków finansowych nawet w kilkuletnim horyzoncie czasowym.
3. Wykorzystanie analizy ABC/XYZ pozwoliło wskazać rodzaj asortymentu, którego ilość w magazynie powinna być obniżona.
4. W związku z powyższym planowanie całkowitej ilości tśm powinno odbywać się centralnie z uwzględnieniem bieżących stanów magazynowych JW.
5. Analiza ABC/XYZ (Tab. 6.12) w odniesieniu do asortymentu SZ RP może być wykorzystana w procesie pozyskania technicznych środków materiałowych w trybie rozporządzenia dotyczącego Podstawowego Interesu Bezpieczeństwa Państwa (PIBP).
6. W związku z kosztami, które mogą być powodowane nadmiernymi stanami magazynowymi, należy rozważyć powołanie do tego celu dedykowanych komórek wyłącznie odpowiedzialnych za zarządzanie zapasami magazynowymi.
7. Środki finansowe uzyskane z optymalizacji stanów magazynowych powinny być wykorzystane w celu rozbudowy sieci teleinformatycznych elementów Bazy Obsługowo-Naprawczej (Parku Sprzętu Technicznego, pododdziałów użytkujących SpW, komórek zamówień publicznych, stacji diagnostycznych).
8. Implementacja narzędzi informatyczno-informacyjnych, zwłaszcza realizujących zadania na najniższych poziomach systemu O-N, stanowi istotny element systemu zarządzania zapasami na potrzeby zabezpieczenia procesów obsługowo-naprawczych.
9. Gromadzone dane w systemach informatycznych powinny być wykorzystywane do prowadzenia analiz również w uczelniach wojskowych, stanowiąc źródło informacji na potrzeby prac studenckich i naukowych w aspekcie cyklu życia sprzętu.
10. Włączenie technicznych uczelni wyższych w system informatyczny (PWE ZWSI RON) pozwoli przygotować kadry oficerskie do bardziej efektywnego wykorzystywania systemów informatycznych, optymalizujących wskaźniki ekonomiczne systemu O-N, a jednocześnie zwiększających gotowość operacyjną.



## 7. INFORMACJA EKSPLOATACYJNA W SIECIOCENTRYCZNYM SI

### Ogniwa struktury SZ RP uczestniczące w wymianie informacji

Kierowanie podsystemem technicznym jest integralną częścią kierowania logistyką. Wchodzi ono w skład systemu kierowania i dowodzenia SZ RP. Odpowiada za realizację zadań w podsystemie technicznym na wszystkich szczeblach organizacyjnych, poprzez pozyskiwanie niezbędnych informacji, ich ocenę, formułowanie wniosków, podejmowanie decyzji oraz przedstawianie propozycji w zakresie realizacji zadań.

Organami kierowania w podsystemie technicznym SZ RP, stosownie do kompetencji są:

1. Organizator Systemu Funkcjonalnego Logistyki SZ RP (SG WP).
2. Jednostka organizacyjna resortu obrony narodowej właściwej do spraw wsparcia logistycznego SZ RP.
3. Gestor SpW.
4. Centralny Organ Logistyczny COL.
5. Główny Inżynier Wojsk Lotniczych (GIWL).
6. Departament Polityki Zbrojeniowej (DPZ).
7. Wojskowy Dozór Techniczny (WDT).
8. Wojskowe Centrum Metrologii (WCM).
9. Wojskowa Inspekcja Gospodarki Energetycznej (WIGE).
10. Inspektorat Uzbrojenia.
11. Dowództwa RSZ/równorzędne, w tym komórki właściwe do spraw zabezpieczenia logistycznego.
12. Komendy/dowództwa RBLog i BLog, w tym komórki właściwe do spraw wsparcia logistycznego.
13. Dowództwa związków taktycznych i oddziałów, w tym komórki właściwe do spraw zabezpieczenia technicznego.
14. WOG, w tym komórki właściwe do spraw wsparcia i zabezpieczenia technicznego.

Powyższe poglądowo przedstawiono na uogólnionym schemacie (Rys. 7.1) struktury organizacyjnej podsystemu technicznego. Kolorem szarym oznaczono miejsca potencjalnego powstawania informacji/danych eksploatacyjnych. Kolorem zielonym komórkę organizacyjną odpowiedzialną za rozwój ZWSI RON [105, 106].

Funkcje podsystemu technicznego SZ RP realizowane są na czterech poziomach:

1. Na poziomie I (poziom użytkownika) – do batalionu włącznie<sup>11</sup>. Funkcje realizowane są przez użytkowników i organiczny potencjał techniczny, za który odpowiadają dowódcy pododdziałów.
2. Na poziomie II (poziom warsztatowy) – od oddziału<sup>12</sup> do związku taktycznego<sup>13</sup> włącznie. Funkcje realizowane są organicznym potencjałem technicznym, usługami kontraktowanymi przez Wojskowy Oddział Gospodarczy (WOG) i wydzielonym

---

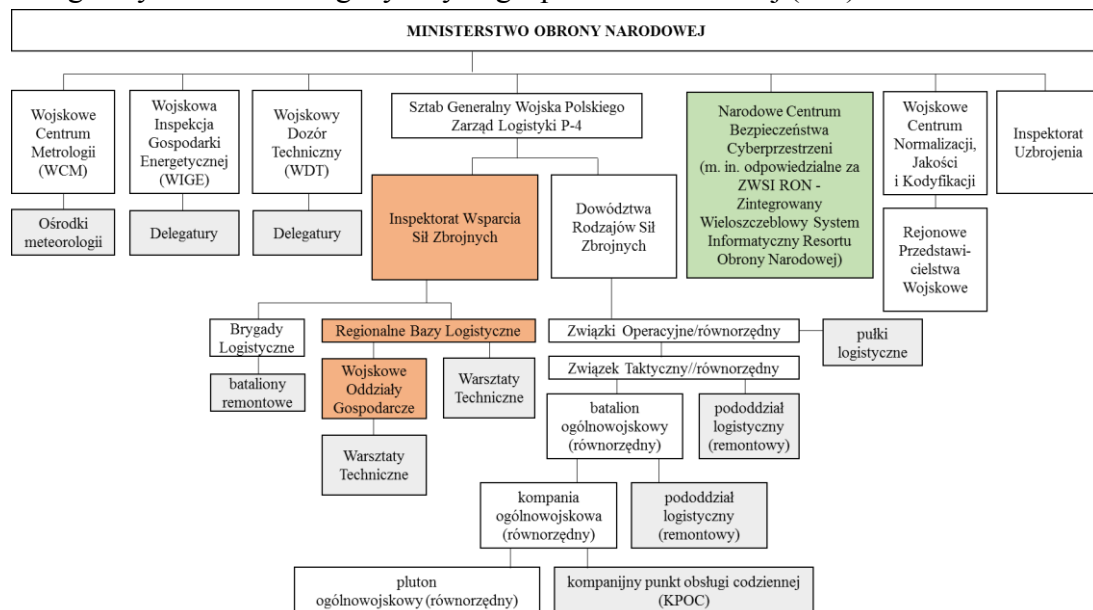
<sup>11</sup> Oznacza batalion oraz dywizjon wchodzący w skład brygady (pułku), eskadrę lub kompanię (baterię) okręt oraz inny wyodrębniony element organizacyjny, który nie jest jednostką wojskową, oddziałem lub związkiem taktycznym.

<sup>12</sup> Oddział – oznacza brygadę wchodzącą w skład dywizji, pułk, samodzielny batalion (dywizjon), wojskowy oddział gospodarczy (równorzędne), oraz inne jednostki wojskowe, które nie są związkiem taktycznym.

<sup>13</sup> Związek taktyczny – oznacza dywizję, flotyllę, skrzydło i jako równorzędne: centra operacji – dowództwa komponentów w strukturze Dowództwa Operacyjnego, brygadę podległą Dowódcy Generalnemu, brygadę podległą Dowódcy Garnizonu Warszawa, brygadę logistyczną, regionalną bazę logistyczną (równorzędne).

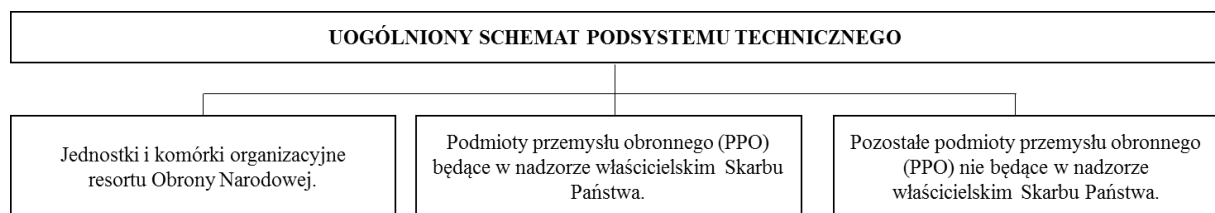
potencjałem technicznym jednostki organizacyjnej RON właściwej do spraw wsparcia logistycznego SZ RP.

3. Na poziomie III (poziom pośredni). Funkcje realizowane są przez: potencjał jednostki organizacyjnej RON właściwej do spraw wsparcia logistycznego SZ RP, organy wojskowego dozoru technicznego, metrologii wojskowej i wojskowej inspekcji gospodarki energetycznej.
4. Na poziomie IV (poziom zakładowy). Funkcje realizowane są z wykorzystaniem strategicznych zasobów logistycznych gospodarki narodowej (GN).



Rys. 7.1. Uogólniony schemat struktury organizacyjnej podsystemu technicznego. Opracowanie własne

Realizacja zadań podsystemu technicznego (PT) prowadzona w ramach resortu obrony narodowej uzupełniana jest również przez podmioty polskiego przemysłu obronnego (PPO), w tym przez spółki znajdujące się w nadzorze właścicielskim Skarbu Państwa oraz pozostałe podmioty w zależności od potrzeb i składanych ofert (Rys. 7.2).



Rys. 7.2. Wsparcie PT przez podmioty PPO<sup>14</sup>. Analiza i opracowanie własne

### Park Sprzętu Technicznego – źródło informacji o SpW

Sprzęt wojskowy eksploatowany w Siłach Zbrojnych RP wymaga wykonywania cyklicznych obsługa w celu utrzymania jego parametrów na poziomie zapewniającym skuteczne i bezpieczne wykonywanie planowych lub nieplanowych misji lub zadań.

<sup>14</sup> Rozporządzenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 5 grudnia 2019 r. w sprawie wykazu spółek, w których prawa z akcji Skarbu Państwa wykonują inni niż Prezes Rady Ministrów członkowie Rady Ministrów, pełnomocnicy Rządu lub państwowe osoby prawne, w tym jednoosobowe spółki Skarbu Państwa

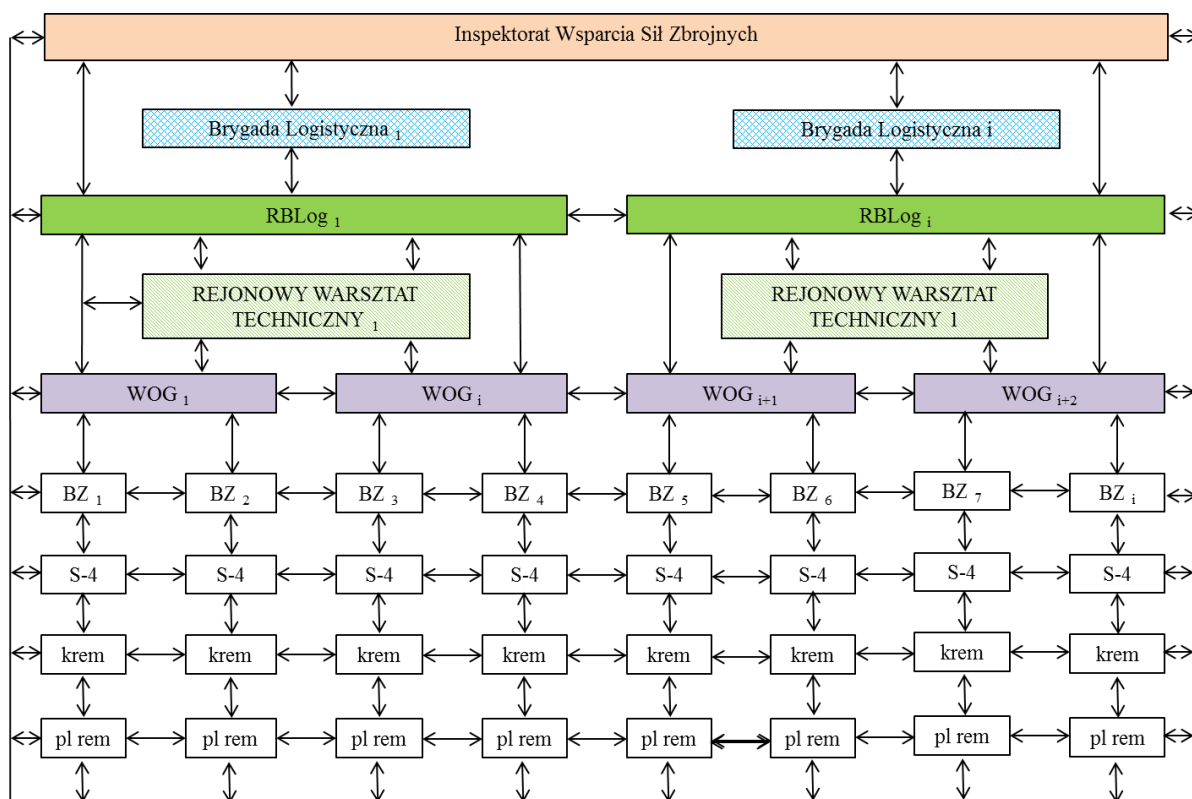
Osiągnięcie kompromisu pomiędzy ilością niezbędnych usług, a kosztami ich wykonania jest zagadnieniem skomplikowanym. Przedmiotowe rozważania podejmowano już w połowie XX wieku, mimo że budowa ówczesnych obiektów technicznych, relatywnie względem współczesnych, nie była złożona. Wsparciem dla powyższego działania są dane generowane w systemie obsługowym, a w szczególności w stacjach diagnostycznych oraz stacjach usług realizujących stosowne czynności obsługowe. Informacje o stanie systemu uzbrojenia mogą być utrwalane w pamięci dzięki budowaniu zintegrowanych systemów informatycznych.

Jeżeli główne podsystemy wpływające na pracę punktu obsługi (tj.: przepływ informacji między elementami struktury, poziom zapasów części zamiennych, skuteczność i elastyczność zadań realizowanych w obszarze ustawy prawo zamówień publicznych, wiedza i doświadczenie kadry zarządzającej, a także wykonującej czynności diagnostyczne i serwisowe) są utrzymywane na właściwym poziomie, to efektywność realizacji usług jest optymalna. W odniesieniu do Sił Zbrojnych ma to istotne znaczenie w kwestii gotowości operacyjnej sprzętu wykorzystywanego do szkolenia wojsk, realizacji zadań operacyjnych, w tym wynikających z obszaru zarządzania kryzysowego w czasie pokoju. W konsekwencji powoduje skupienie wysiłku dowódców na planowaniu szkolenia. W mniejszym stopniu na kwestiach związanych z bieżącym utrzymaniem sprawności sprzętu wojskowego i obsługiwaniem.

Informacje powstające w systemie obsługowo-naprawczym powinny być tak wykorzystane, aby umożliwić sprawne zarządzanie systemami uzbrojenia w aspekcie ich eksploatacji przez odpowiednie komórki RON zgodnie z ich kompetencjami. Należy mieć w tym przypadku na myśli cały cykl życia systemu uzbrojenia. Nie tylko planowanie procesu eksploatacji, ale również pozyskanie nowej generacji uzbrojenia, modyfikację, modernizację, a także wycofanie istniejącego sprzętu.

Indeksowanie OT oraz tśm daje możliwość korzystania z doświadczeń eksploatacyjnych innych jednostek wojskowych i pododdziałów znajdujących się w strukturze SZ RP. Tym samym dzięki sprawnemu łączeniu danych oraz procesowi Data Mining budowane rozkłady oddają charakter przebiegu zjawisk w funkcji resursów, w tym funkcji czasu. Przedstawiony funkcjonalny, uogólniony, ideowy model struktur logistycznych i operacyjnych sił zbrojnych ilustruje ideę wymiany doświadczeń eksploatacyjnych między pododdziałami w aspekcie prognoz NB, sprawności układów oraz zużycia tśm (Rys. 7.3). Przedstawiono to na podstawie modelowej struktury Brygad Zmechanizowanych (BZ), które wyposażone w ten sam typ sprzętu mogą być dla siebie wzajemnie źródłem wiedzy w aspekcie modelu koncepcji wspomagania systemu eksploatacji sprzętu wojskowego.

Współczesne zarządzanie danymi eksploatacyjnymi w oparciu o metody prognozowania oraz statystyki matematycznej daje możliwość uzyskania w systemie pożądanej funkcjonalności, którą można określić, jako zdolność wczesnego wykrywania i zapobiegania powstaniu uszkodzenia w obrębie obiektu technicznego poprzez profilaktyczną weryfikację stanu sprzętu na podstawie obserwacji uszkodzeń w ramach populacji obiektów technicznym eksploatowanych w zbliżonych warunkach. Dzięki temu można uzyskać efekt optymalizacji kosztów napraw i czasu przebywania w obsłudze, który może być elastycznie ustalony (wydłużony lub skrócony) przez ekspertów na podstawie zaawansowanej analizy danych eksploatacyjnych zgromadzonych np. w hurtowniach danych (Data Mining) [107].



↔ Magistrala wymiany danych wojskowej sieci teleinformatycznej

Rys. 7.3. Ideowy model połączenia struktur logistycznych i operacyjnych. Opracowanie własne

Źródłem informacji o eksploatacji SpW są Parki Sprzętu Technicznego (PST), które dzielą się na stacjonarne (organizowane w miejscu stałej dyslokacji (MSD) jednostki wojskowej) oraz polowe (organizowane w warunkach poligonowego szkolenia wojsk). W niniejszej pracy analiza teoretyczna jest prowadzona z wyłączeniem danych generowanych w polowych<sup>15</sup> PST i będzie skoncentrowana na sprzęcie eksploatowanym przez wojska lądowe. Nie oznacza to braku możliwości jej wykorzystania dla systemów eksploatacji techniki lotniczej lub morskiej. Różnica dotyczy nazewnictwa elementów obsługowych i nadzorujących eksploatację na najniższym szczeblu zarządzania.

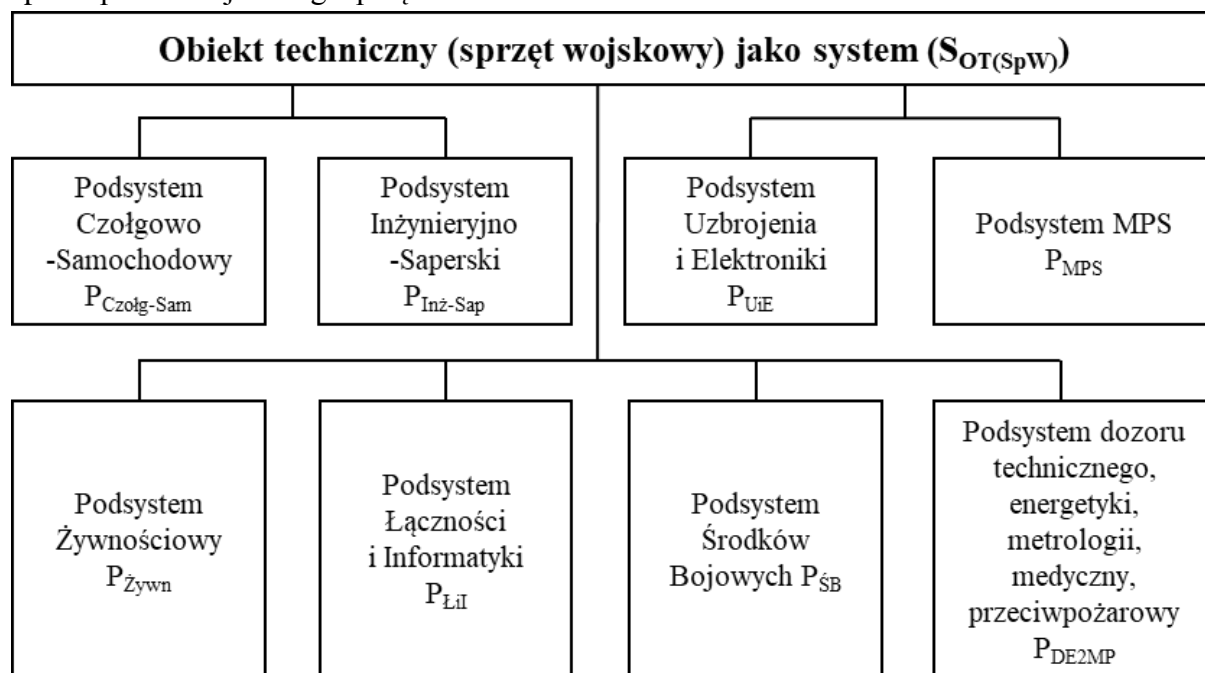
Zasadniczymi ogniwami PST stanowiącymi źródło informacji eksploatacyjnej dotyczących SpW SZ RP są [108, 109]:

1. Punkt Kontroli Technicznej (PKT) wraz z urządzeniami i odpowiednio wyposażonymi pomieszczeniami dla służby parkowej.
2. Stanowiska obsługowo-naprawcze i obsługiwanie sprzętu.
3. Pododdziałowe punkty obsługowo-naprawcze.
4. Garaże i miejsca postojowe SpW.
5. Stacje paliw.

Zadania i struktura PST została zdefiniowana wiele lat wcześniej i zapewnia w swojej istocie realizację swojego podstawowego celu, jakimi są: utrzymanie sprzętu w sprawności, zapewnienie bezpieczeństwa pojazdom opuszczającym PST, kontrola stanu technicznego

<sup>15</sup> Dane eksploatacyjne otrzymywane w czasie ćwiczeń, szkoleń, misji poza granicami RP powinny być przesyłane do systemu informatycznego RON. Stanowią bezcenną wiedzę o stanie obiektu, jego bezpieczeństwie i przydatności w warunkach bojowych.

i wykorzystania resursu po ich powrocie do jednostki wojskowej oraz konserwacja i wykonanie niezbędnych obsług przed kolejnym opuszczeniem jednostki. Jednak z uwagi na rozwój technologii informatycznych oraz dzięki możliwości optymalizacji przepływu informacji zasadne staje się podjęcie analizy w zakresie integracji stacjonarnej infrastruktury funkcjonalnej tworzonej przez elementy PST pełną siecią teleinformatyczną. Dzięki temu informacja generowana przez użytkownika sprzętu będzie dostarczona do wszystkich uczestników systemu w bardzo krótkim czasie<sup>16</sup>. Powyższe jest istotne z punktu widzenia podsystemu planowania, w tym długoterminowego na potrzeby przemysłu obronnego. Celem powyższej propozycji jest przyspieszenie obiegu informacji, zwiększenie jej czytelności, a także odejście od obiegu informacji w systemie papierowym z uwagi na m.in. wysokie prawdopodobieństwo jej utraty, opóźnienia przepływu, a nawet z uwagi na aspekt ochrony środowiska naturalnego. Wymusza to optymalizowanie wyboru elementu PST, w którym powinno nastąpić wprowadzenie informacji eksploatacyjnej do systemu informatycznego SZ, czego następstwem będzie oszczędność czasu pracy uczestników systemu<sup>17</sup>, a także możliwość szybkiego wykorzystania danych w innym obszarze działalności, np. bezpośredniej obsługi sprzętu<sup>18</sup>.



Rys. 7.4. Ogólna struktura pojazdu eksploatowanego w SZ RP. Opracowanie własne

<sup>16</sup> W przyszłości również z wykorzystaniem Internetu rzeczy. Wymaga to certyfikacji mobilnych urządzeń przez podmioty certyfikujące.

<sup>17</sup> Wyposażenie elementów Parku Sprzętu Technicznego w całości w sieć teleinformatyczną umożliwi wprowadzanie danych bezpośrednio do systemu informatycznego SZ. Brak stanowiska informatycznego w elemencie PST generuje potrzebę wytwarzania dodatkowej dokumentacji papierowej, a dane do systemu trafiają z istotnym opóźnieniem w wyniku dodatkowego obiegu dokumentu papierowego. Powoduje to również dublowanie pracy personelu. Powyższe niesie ryzyko utraty wartościowych danych w aspekcie analitycznego ich przetworzenia na potrzeby planowania części zamiennych, planowania uszkodzeń, planowania obsług, budowania optymalnej strategii eksploatacji sprzętu.

<sup>18</sup> Należy spełnić warunek intuicyjności systemu względem użytkowników różnych poziomów.

W analizowanej kwestii istotnego znaczenia nabiera diagnostyka techniczna (DT). Dane z badań technicznych powinny być archiwizowane elektronicznie i dostępne dla pozostałych uczestników<sup>19</sup> systemu obsługowo-naprawczego, a sumaryczne rezultaty DT winny stanowić podstawę do zarządzania modyfikacjami systemu obsługowo-naprawczego (kompetencje Centralnego Organu Logistycznego i Gestora)<sup>20</sup>, a także modyfikacji i modernizacji sprzętu wojskowego.

W tym miejscu należy przedstawić ogólną strukturę podsystemów tworzących złożone systemy uzbrojenia (obiekty techniczne) eksploatowane w SZ RP (Rys. 7.4) [110].

$$S_{OT(SpW)} = \langle P_{czołg-Sam}, P_{Inż-Sap}, P_{UiE}, P_{MPS}, P_{Żywn}, P_{ŁiI}, P_{ŚB}, P_{DEZEM}, R_{OT(SpW)} \rangle \quad (7.1)$$

Należy nadmienić, że analiza podsystemu czołgowo-samochodowego systemu uzbrojenia (obiekty techniczne) powinna uwzględniać:

1. Silnik, tj. układ chłodzenia, układ smarowania, układ zapłonowy, układ zasilania, układ rozrządu.
2. Układ napędowy, tj. skrzynia biegów, sprzęgło, mosty napędowe.
3. Układ hamulcowy.
4. Układ jezdny, tj. układ kierowania, układ zawieszenia.
5. Nadwozie.
6. Instalację elektryczną.
7. Wyposażenie w tym elektroniczne.

W przypadku prowadzenia analizy w kierunku zarządzania sprzętem wojskowym z wykorzystaniem zaawansowanego systemu informatycznego analizę należy prowadzić w kierunku systemowego połączenia następujących ogniów:

1. System Obiektu Technicznego ( $S_{OT(SpW)}$ ).
2. System Eksploatacji SZ RP - na i-tym poziomie  $SE_{Szi}$ .
3. System Aplikacji Komputerowych  $S_{App}$ .
4. System Baz Danych  $S_{BD}$ .
5. System Sieci Teleinformatycznych  $S_{ST}$ .
6. Relacje – łączące powyższe czynniki  $R_{SI}$ .

Ogólny opis systemu informatycznego (SI) wspierającego eksploatację sprzętu w przypadku SZ RP powinien mieć opis:

$$SI = \langle S_{OT(SpW)}, SE_{Szi}, S_{App}, S_{BD}, S_{ST}, R_{SI} \rangle \quad (7.2)$$

Uwzględniając w analizie operatora (kierowcę, użytkownika –  $S_O$ ), obiekt techniczny stanowi wówczas system działania  $S_D$ , który można opisać następująco [111]:

$$S_D = \langle S_{OT(SpW)}, S_O, R_D \rangle \quad (7.3)$$

<sup>19</sup> W odniesieniu do sprzętu wojskowego eksploatowanego na jednym podwoziu bazowym.

<sup>20</sup> Przygotowanie personelu obsługowo-naprawczego, określenie struktury i poziomu zapasów tśm, itd.

## Struktura systemu informacyjnego Podsystemu Technicznego Sił Zbrojnych

W celu określenia struktury danych wymaganych do wykonania analiz w kontekście zarządzania Bazą Obsługowo-Naprawczą według modelu koncepcji wsparcia systemu eksploatacji SpW według strategii RCM zidentyfikowano podsystemy tworzące system eksploatacji na szczeblu jednostki wojskowej ( $SE_{JW}$ ), Wojskowego Oddziału Gospodarczego ( $SE_{WOG}$ ), Regionalnej Bazy Logistycznej ( $SE_{RBLog}$ ), jednostki organizacyjnej resortu Obrony Narodowej do spraw wsparcia logistycznego SZ RP (w tym przypadku Inspektorat Wsparcia Sił Zbrojnych –  $SE_{IWsp SZ}$ ). Poniżej przedstawiono analizę, która zostanie wykorzystana na potrzeby określenia kompetencji komórek systemu dotyczących gromadzenia/zasilania i przetwarzania informacji eksploatacyjnych na kolejnych poziomach podsystemu technicznego:

### 1. Poziom jednostki wojskowej (JW):

System Eksploatacji ( $SE_{JW}$ ) jednostki wojskowej można zdefiniować, na potrzeby analiz obiegu informacji podsystemu technicznego SZ RP, jako zbiór podsystemów wzajemnie się uzupełniających, tj.:

- Podsystem Parku Sprzętu Technicznego  $P_{PST}$ .
- Podsystem Planowania Logistycznego  $P_{PLJW}$ .
- Podsystem Pododdziałów  $P_{POD}$ .
- Podsystem Zabezpieczenia Teleinformatycznego  $P_{ZTel}$ .
- Nadsystem eksploatacji jednostki wojskowej (przełożonego) w pionie wsparcia  $NE_{JW}$  (system eksploatacji Wojskowego Oddziału Gospodarczego  $SE_{WOG}$ ).
- Relacje  $R_{JW}$ .

$$SE_{JW} = \langle SE_{WOG}, P_{PST}, P_{PLJW}, P_{POD}, P_{ZTel}, R_{JW} \rangle \quad (7.4)$$

1. Podsystem Parku Sprzętu Technicznego  $P_{PST}$  składa się z kolejnych podsystemów, tj.:

- Podsystem Dyżurnego Punktu Kontroli Technicznej  $P_{PKT}$ .
- Podsystemu stacji materiałów pędnych i smarów (MPS)  $P_{MPS}$ .
- Podsystem Punktów Obsługi Codziennej  $P_{POC}$ .
- Relacje  $R_{PST}$ .

$$P_{PST} = \langle P_{PKT}, P_{MPS}, P_{POC}, R_{PST} \rangle \quad (7.5)$$

2. Podsystem Planowania Logistycznego JW  $P_{PLJW}$  składa się z poniższych elementów:

- Podsystem Planowania Logistycznego pododdziału  $P_{PLPOD}$ .
- Relacje  $R_{PLJW}$ .

$$P_{PLJW} = \langle P_{PLPOD}, R_{PLJW} \rangle \quad (7.6)$$

3. Podsystem pododdziałów  $P_{POD}$  składa się z poniższych elementów:

- Podsystem pododdziałów zadaniowych  $P_{PODZ}^{21}$ .

---

<sup>21</sup> Pododdziały zmechanizowane, czołgów, przeciwlotnicze, artylerii, inżynieryjne, bez remontowych.

- Podsystem pododdziałów remontowych  $P_{PODR}$ .
- Relacje  $R_{POD}$ .

$$P_{POD} = \langle P_{PODZ}, P_{PODR}, R_{POD} \rangle \quad (7.7)$$

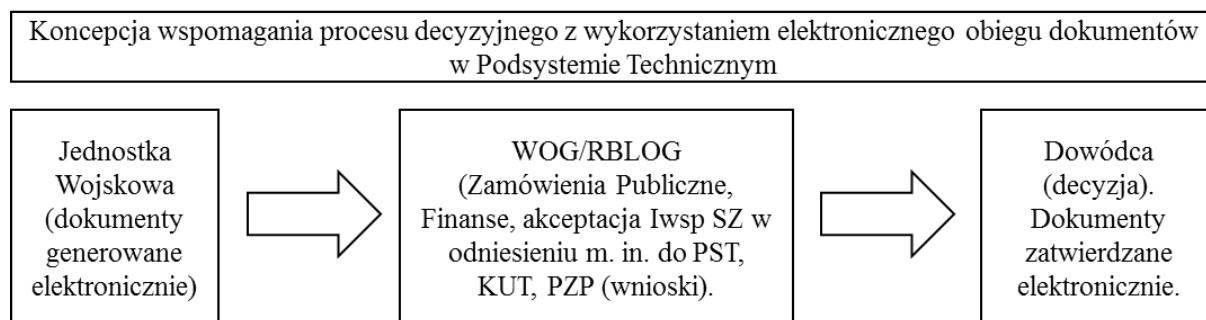
- Podsystem pododdziałów remontowych  $P_{PODR}$  tworzą:
  - Podsystem Punktów Obsługowo-Naprawczych  $P_{PON}$ .
  - Podsystem Punktów Obsługi Codziennej  $P_{POC}$ .
  - Podsystem Stacji Diagnostycznej  $P_{SDiag}$ .
  - Podsystem Magazynu Części Zamiennych  $P_{MCZ}$ .
  - Relacje  $R_{PODR}$ .

$$P_{PODR} = \langle P_{PON}, P_{POC}, P_{SDiag}, P_{MCZ}, R_{PODR} \rangle \quad (7.8)$$

- Podsystem Zabezpieczenia Teleinformatycznego  $P_{ZTel}$ .
  - Wsparcie użytkowników systemu informatycznego<sup>22</sup>.
- Nadsystem eksploatacji jednostki wojskowej (przełożonego) w pionie wsparcia  $NE_{JW}$  (system eksploatacji Wojskowego Oddziału Gospodarczego  $SE_{WOG}$ ).

Powyższa analiza systematyzuje System Eksploatacji JW umożliwiając określenie struktury danych, których wprowadzenie do systemu znajduje się w kompetencji jego uczestników. W dalszej części pracy zaproponowano punkty (miejsca)<sup>23</sup> wprowadzenia informacji eksploatacyjnej, w odniesieniu do poszczególnych podsystemów. Proponowany uogólniony schemat obiegu informacji w Parku Sprzętu Technicznego (PST) wyposażonym w całości w sieć teleinformatyczną współpracującą z systemem informatycznym zaprezentowano na schemacie (Rys. 7.6).

Analizę należy uzupełnić o komórki decydujące o realizacji procesów wsparcia eksploatacji techniki wojskowej (Rys. 7.5).

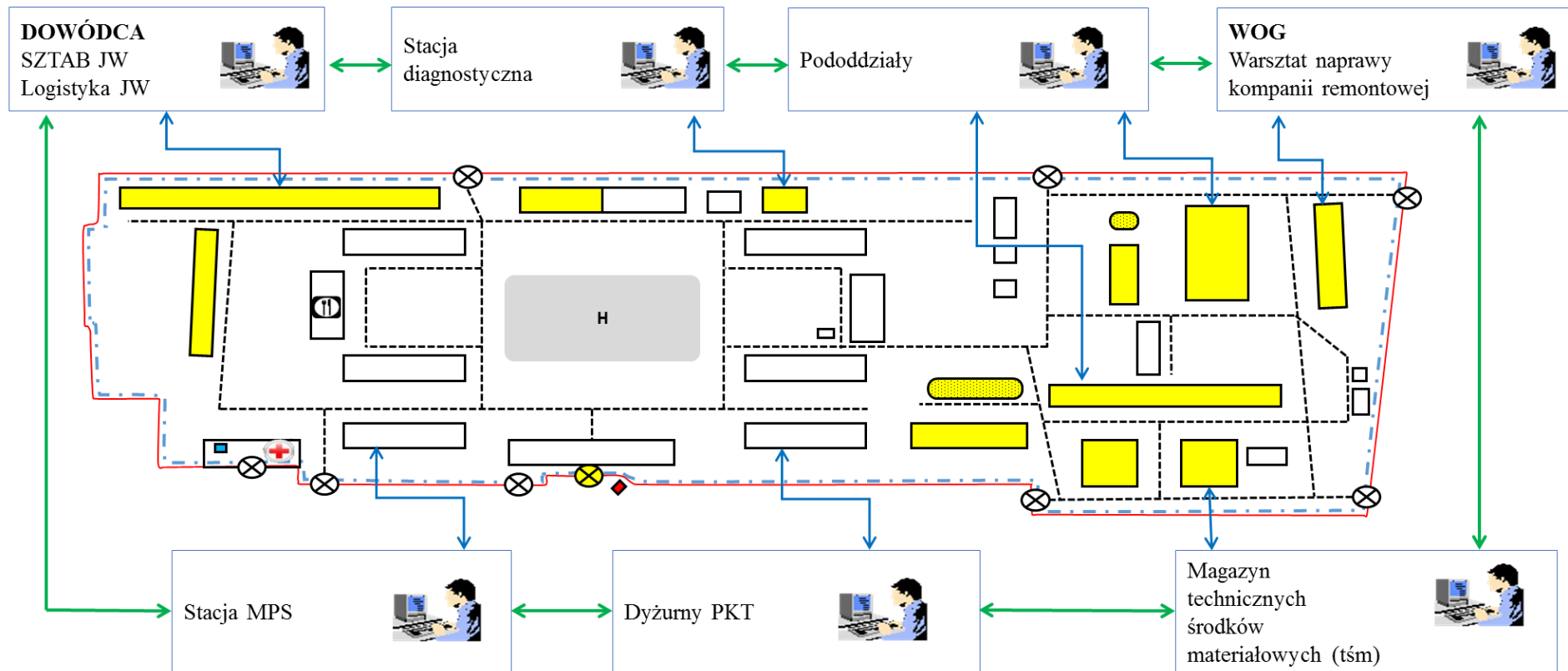


Rys. 7.5. Proces decyzyjny z elektronicznym obiegiem dokumentów. Opracowanie własne

<sup>22</sup> Komórki w zależności od potrzeb występują o rozszerzenie lub zmniejszenie uprawnień według potrzeb bieżących – proces realizowany przez Sekcję Zabezpieczenia Teleinformatycznego – na wszystkich poziomach.

<sup>23</sup> Stanowisk pracy osób funkcyjnych realizujących zadania w systemie.





### Elektroniczny obieg informacji w Parku Sprzętu Technicznego JW

### Wymiana danych w chmurze

Rys. 7.6. Uogólniona koncepcja obiegu informacji w PST JW. Opracowanie własne

## 2. Poziom Wojskowego Oddziału Gospodarczego (WOG)

System Eksploatacji (*SE*) Wojskowego Oddziału Gospodarczego można zdefiniować, na potrzeby analiz obiegu informacji podsystemu technicznego SZ RP, jako zbiór podsystemów wzajemnie się uzupełniających i posiadających w zakresie swoich kompetencji następujące uprawnienia tj.:

- Podsystem Szefa Logistyki WOG  $P_{SLog}$ .
- Podsystem Pionu Głównego Księgowego  $P_{PGK}$ .
- Podsystem Sekcji Zamówień Publicznych  $P_{PZP}$ .
- Podsystem Warsztatu Technicznego  $P_{WTech}$ .
- Podsystem Zabezpieczenia Teleinformatycznego  $P_{ZTel}$ .
- Nadsystem eksploatacji Wojskowego Oddziału Gospodarczego (przełożonego) w pionie wsparcia  $NE_{WOG}$ . System eksploatacji Regionalnej Bazy Logistycznej  $SE_{RBLog}$ .
- Relacje  $R_{WOG}$ .

$$SE_{WOG} = \langle SE_{RBLog}, P_{SLog}(SE_{JW}), P_{PGK}, P_{PZP}, P_{WTech}, P_{ZTel}, R_{WOG} \rangle \quad (7.9)$$

### 1. Podsystem Szefa Logistyki WOG $P_{SLog}$ .

1.1. Podsystem Eksploatacji podległych gospodarczo jednostek wojskowych ( $SE_{JW}$ ),

1.2. Podsystem Planowania  $P_P$ .

1.3. Podsystem Wydziału Technicznego  $P_{WTech}$ .

- Podsystem – Służba Czołgowo-Samochodowa  $P_{SCS}$ .
- Podsystem – Służba Inżynieryjno-Saperska  $P_{SI-S}$ .
- Podsystem – Służba Łączności i Informatyki  $P_{SL-INF}$ .
- Podsystem – Służba Uzbrojenia i Elektroniki  $P_{SUIE}$
- Podsystem metrologa – dozoru technicznego, energetyki, metrologii  $P_{DEM}$
- Relacje  $R_{WT}$ .

$$P_{WT} = \langle P_{SCS}, P_{SI-S}, P_{SL-INF}, P_{SUIE}, P_{DEM}, R_{WT} \rangle \quad (7.10)$$

1.4. Podsystem Wydziału Materiałowego  $P_{WMat}$ .

- Podsystem – Służba MPS  $P_{SMPS}$ ,
- Podsystem – Służba Mundurowa  $P_{SMund}$ ,
- Podsystem – Służba Żywnościowa  $P_{SŻywn}$ ,
- Podsystem – Służba Środków Bojowych  $P_{SŚB}$ .
- Relacje  $R_{WMat}$ .

$$P_{WMat} = \langle P_{SMPS}, P_{SMund}, P_{SŻywn}, P_{SŚB}, R_{WMat} \rangle \quad (7.11)$$

1.5. Podsystem Wydziału Medycznego<sup>24</sup>  $P_{WMed}$ .

1.6. Podsystem Infrastruktury<sup>25</sup>  $P_I$ .

1.7. Podsystem Magazynowy  $P_{Mag}$ .

<sup>24</sup> Przeglądy wyposażenia medycznego w SpW – aktualizacja danych.

<sup>25</sup> Przeglądy wyposażenia przeciwpożarowego w SpW – aktualizacja danych.

$$P_{SLog} = \langle SE_{JW}, P_P, P_{WTech}, P_{WMat}, P_{WMed}, P_I, P_{Mag}, R_{SLog} \rangle \quad (7.12)$$

2. Podsystem Pionu Głównego księgowego  $P_{PGK}$ .
  - Podsystem Sekcji Szkód  $P_{SS}$ ,
  - Podsystem Sekcji Księgowości  $P_{SK}$ ,
  - Podsystem Sekcji Planowania Finansowego  $P_{SPF}$ .
  - Relacje  $R_{PGK}$ .

$$P_{PGK} = \langle P_{SS}, P_{SK}, P_{SPF}, R_{PGK} \rangle \quad (7.13)$$

3. Podsystem Zamówień Publicznych  $P_{PZP}$ .
  - Podsystem Sekcji Zamówień Publicznych  $S_{PZP}$

$$P_{PZP} = \langle S_{PZP}, P_{PGK}, P_{SLog}, P_{WTech}, R_{PZP} \rangle \quad (7.14)$$

4. Podsystem Warsztatu Technicznego  $P_{WTech}$ .
  - Podsystem Bazy Obsługowo-Naprawczej  $P_{BON}$ .
  - Podsystem Stacji Diagnostycznej  $P_{SDiag}$ .
  - Podsystem Magazynu Warsztatowego  $P_{MWar}$ .
  - Relacje  $R_{WTech}$ .

$$P_{WTech} = \langle P_{BON}, P_{SDiag}, P_{MWar}, R_{WTech} \rangle \quad (7.15)$$

5. Podsystem Zabezpieczenia Teleinformatycznego  $P_{ZTel}$ .
  - Podsystem Sekcji Zabezpieczenia Teleinformatycznego  $S_{ZTel}$

$$P_{ZTel} = \langle S_{ZTel}, SE_{WOG}, R_{ZTel} \rangle \quad (7.16)$$

6. Nadsystem eksploatacji Wojskowego Oddziału Gospodarczego (przełożonego) w pionie wsparcia  $SE_{RBLog}$ .

7. Relacje  $R_{WOG}$ .

Powyższe elementy systemu eksploatacji Wojskowego Oddziału Gospodarczego powinny, zgodnie z propozycją autora, odpowiadać za aktualizację i generowanie szereg parametrów, które zostaną opisane w dalszej części pracy.

### 3. Poziom Regionalnej Bazy Logistycznej RBLog

System Eksploatacji ( $SE$ ) Regionalnej Bazy logistycznej można zdefiniować, na potrzeby analiz obiegu informacji podsystemu technicznego SZ RP, jako zbiór podsystemów wzajemnie się uzupełniających i posiadających w zakresie swoich kompetencji następujące uprawnienia tj.:

- Podsystem Szefa Logistyki RBLog  $P_{SLogR}$ .
- Podsystem Pionu Głównego Księgowego  $P_{PGKR}$ .
- Podsystem Sekcji Zamówień Publicznych  $P_{PZPR}$ .
- Podsystem Warsztatu Technicznego  $P_{WTechR}$ .
- Podsystem Zabezpieczenia Teleinformatycznego  $P_{ZTelR}$ .

- Podsystem Składów  $P_{SR}$ .
- Nadsystem eksploatacji Regionalnej Bazy Logistycznej w pionie wsparcia  $NE_{RBLog}$ .  
System eksploatacji Inspektoratu Wsparcia Sił Zbrojnych  $SE_{IWspSZ}$ .
- Relacje  $R_{RBLog}$ .

$$SE_{RBLog} = \langle SE_{IWspSZ}, P_{SLogR}(SE_{WOG}), P_{PGKR}, P_{PZPR}, P_{WTechR}, P_{ZTelR}, P_{SR}, R_{RBLog} \rangle \quad (7.17)$$

1. Podsystem Szefa Logistyki RBLog  $P_{SLogR}$ .
  - 1.1. Podsystem Eksploatacji podległych WOG ( $SE_{WOG}$ ),
  - 1.2. Podsystem Planowania  $P_{PR}$ .
  - 1.3. Podsystem Wydziału Technicznego  $P_{WTR}$ .
    - Podsystem – Sekcji Czołgowo-Samochodowa  $P_{SeC-S}$ .
    - Podsystem – Sekcji Inżynierijno-Saperska  $P_{SeI-S}$ .
    - Podsystem – Sekcji Łączności i Informatyki  $P_{SeLiNF}$ .
    - Podsystem – Sekcji Uzbrojenia i Elektroniki  $P_{SeUiE}$ .
    - Podsystem metrologa – dozoru technicznego, energetyki, metrologii  $P_{DEMR}$
    - Relacje  $R_{WTR}$ .

$$P_{WTR} = \langle P_{SeCS}, P_{SeI-S}, P_{SeINF}, P_{SeUiE}, R_{WTR} \rangle \quad (7.18)$$

- 1.4. Podsystem Wydziału Materiałowego  $P_{WMatR}$ .
  - Podsystem – Sekcja MPS  $P_{SeMPSR}$ ,
  - Podsystem – Sekcja Mundurowa  $P_{SeMundR}$ ,
  - Podsystem – Służba Żywnościowa  $P_{SeŻywnR}$ ,
  - Podsystem – Służba Środków Bojowych  $P_{SeŚBR}$ .
  - Relacje  $R_{WMatR}$ .

$$P_{WMatR} = \langle P_{SeMPSR}, P_{SeMundR}, P_{SeŻywnR}, P_{SeŚBR}, R_{WMatR} \rangle \quad (7.19)$$

- 1.5. Podsystem Wydziału Medycznego  $P_{WMedR}$ .
- 1.6. Podsystem Infrastruktury  $P_{IR}$ .
- 1.7. Podsystem Magazynowy  $P_{MagR}$ .
2. Podsystem Pionu Głównego Księgowego  $P_{PGKR}$ .
  - Podsystem Sekcji Szkód  $P_{SSR}$ ,
  - Podsystem Sekcji Księgowości  $P_{SKR}$ ,
  - Podsystem Sekcji Planowania Finansowego  $P_{SPFR}$ .
  - Relacje  $R_{PGKR}$ .

$$P_{PGKR} = \langle P_{SSR}, P_{SKR}, P_{SPFR}, R_{PGKR} \rangle \quad (7.20)$$

3. Podsystem Sekcji Zamówień Publicznych  $P_{PZPR}$ .
4. Podsystem Warsztatów Technicznych  $P_{WTech}$ .
  - Podsystem Bazy Obsługowo-Naprawczej  $P_{BONR}$ .
  - Podsystem Stacji Diagnostycznej  $P_{SDiag}$ .
  - Podsystem Magazynu Warsztatowego  $P_{MWarR}$ .

- Relacje  $R_{W\text{Tech}R}$ .

$$P_{W\text{Tech}R} = \langle P_{BONR}, P_{SDiagR}, P_{MWarR}, R_{W\text{Tech}R} \rangle \quad (7.21)$$

5. Podsystem Zabezpieczenia Teleinformatycznego  $P_{Z\text{Tel}R}$ .
6. Podsystem Składów  $P_{SR}$ .
7. Nadsystem eksploatacji RBLog (przełożonego) w pionie wsparcia  $NE_{RBLog}$  (Inspektorat Wsparcia Sił Zbrojnych).
8. Relacje  $R_{RBLog}$ .

Szczebel Regionalnej Bazy Logistycznej odpowiedzialny jest m.in. za bilansowanie potrzeb oraz wypracowanie i podejmowanie decyzji w obszarach wsparcia beneficjentów usług.

#### 4. Poziom Inspektoratu Wsparcia Sił Zbrojnych

System Eksploatacji (SE) Inspektoratu Wsparcia Sił Zbrojnych można zdefiniować, na potrzeby analiz obiegu informacji podsystemu technicznego SZ RP, jako zbiór podsystemów wzajemnie się uzupełniających i posiadających w zakresie swoich kompetencji następujące uprawnienia tj.:

- Podsystem Planowania Rzeczowego  $P_{PR}$ .
- Podsystem Finansów  $P_F$ .
- Podsystem Szefostw Służb  $P_{Sze\text{f}S\text{ł}}$ .
- Podsystem Regionalnych Baz Logistycznych  $P_{RBLog}$ .
- Podsystem Brygad Logistycznych  $P_{BLog}$ .
- Relacje  $R_{IWspSZ}$ .

$$SE_{IWspSZ} = \langle P_{PR}, P_F, P_{Sze\text{f}S\text{ł}}, P_{RBLog}, P_{BLog}, R_{IWspSZ} \rangle \quad (7.22)$$

#### 5. System eksploatacji sprzętu objętego Wojskowym Dozorem Technicznym $SE_{WDT}$

Dozór techniczny ma na celu zapewnienie nadzoru i bezpiecznej eksploatacji urządzeń technicznych<sup>26</sup> nim objętych. Powyższe zadania realizowane są przez Wojskowy Dozór Techniczny i komórki mu podległe.

System Eksploatacji Wojskowego Dozoru Technicznego  $SE_{WDT}$  składa się z następujących podsystemów połączonych ze sobą relacjami:

- Podsystem Delegatur Wojskowego Dozoru Technicznego  $P_{DWDT}$ .
- System Eksploatacji Wojskowego Oddziału Gospodarczego  $SE_{WOG}$ .
- System Eksploatacji Jednostki Wojskowej  $SE_{JW}$ .
- Relacje  $R_{WDT}$ .

$$SE_{WDT} = \langle P_{DWDT}, SE_{WOG}, SE_{JW}, R_{WDT} \rangle \quad (7.23)$$

<sup>26</sup> Rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej z dnia 6 maja 2013 r. w sprawie szczegółowego zakresu działania oraz organizacji Wojskowego Dozoru Technicznego.

## 6. System eksploatacji sprzętu objętego nadzorem energetycznym $SE_{WIGE}$

Celem działań w zakresie gospodarki energetycznej jest nadzór nad bezpieczną i racjonalną eksploatacją urządzeń energetycznych, instalacji i polowych sieci energetycznych<sup>27</sup>. Powyższe zadania realizowane są przez Wojskową Inspekcję Gospodarki Energetycznej (WIGE) i komórki jej podległe.

System Eksploatacji sprzętem objętym nadzorem energetycznym składa się z następujących podsystemów połączonych ze sobą relacjami:

- Podsystem Delegatur WIGE  $P_{DWIGE}$ .
- System Eksploatacji Wojskowego Oddziału Gospodarczego  $SE_{WOG}$ .
- System Eksploatacji Jednostki Wojskowej  $SE_{JW}$ .
- Relacje  $SE_{WDT}$ .

$$SE_{WIGE} = \langle P_{DWIGE}, SE_{WOG}, SE_{JW}, R_{WIGE} \rangle \quad (7.24)$$

## 7. System zarządzania sprzętem metrologicznym $SE_{WCM}$

Celem działalności metrologicznej jest kontrola i nadzór nad bezpieczną eksploatacją wyposażenia pomiarowego<sup>28</sup>. Powyższe zadania realizowane są przez Wojskowe Centrum Metrologii (WCM) i komórki mu podległe.

System Eksploatacji sprzętu objętego nadzorem metrologicznym składa się z następujących podsystemów połączonych ze sobą relacjami:

- Podsystem Ośrodków Metrologii  $P_{OM}$ .
- System Eksploatacji Wojskowego Oddziału Gospodarczego  $SE_{WOG}$ .
- System Eksploatacji Jednostki Wojskowej  $SE_{JW}$ .
- Relacje  $R_{WCM}$ .

$$SE_{WCM} = \langle P_{OM}, SE_{WOG}, SE_{JW}, R_{WCM} \rangle \quad (7.25)$$

Na podstawie powyższej analizy systemów i podsystemów eksploatacji i zarządzania nimi można określić uogólniony opis systemu eksploatacji SZ RP na dowolnym poziomie zarządzania i kierowania logistyką w podsystemie technicznym  $SE_i$  ( $i$ -tym poziomie, tj. JW, WOG, RBLog, IWsp SZ, itd.).

$$SE_i = \langle P_{ONi}, SE_{WDT}, SE_{WIGEi}, SE_{WOMi}, P_{ZTELi}, P_{PZPi}, P_{Fi}, P_{SLogi}, R_i \rangle \quad (7.26)$$

- Podsystem Obsługowo-Naprawczy na  $i$ -tym poziomie  $P_{ONi}$ ;
- System Eksploatacji WDT na  $i$ -tym poziomie  $SE_{WDTi}$ ;
- System Eksploatacji WIGE na  $i$ -tym poziomie  $SE_{WIGEi}$ ;
- System Eksploatacji WOM na  $i$ -tym poziomie  $SE_{WOMi}$ ;
- Podsystem Zabezpieczenia Teleinformatycznego na  $i$ -tym poziomie  $P_{ZTELi}$ ;

<sup>27</sup> Zarządzenie Nr 3/MON Ministra Obrony Narodowej z dnia 11 stycznia 2011 r. w sprawie gospodarki energetycznej w resorcie Obrony Narodowej z późn. zm.

<sup>28</sup> Decyzja Nr 209/MON Ministra Obrony Narodowej z dnia 12 czerwca 2015 r. w sprawie działalności metrologicznej w resorcie Obrony Narodowej oraz Decyzja Nr 1/Spec./ WCM Ministra Obrony Narodowej z dnia 25 czerwca 2015 r. w sprawie wprowadzenia do użytku Instrukcji działalności metrologicznej w resorcie obrony Narodowej ZM-01.

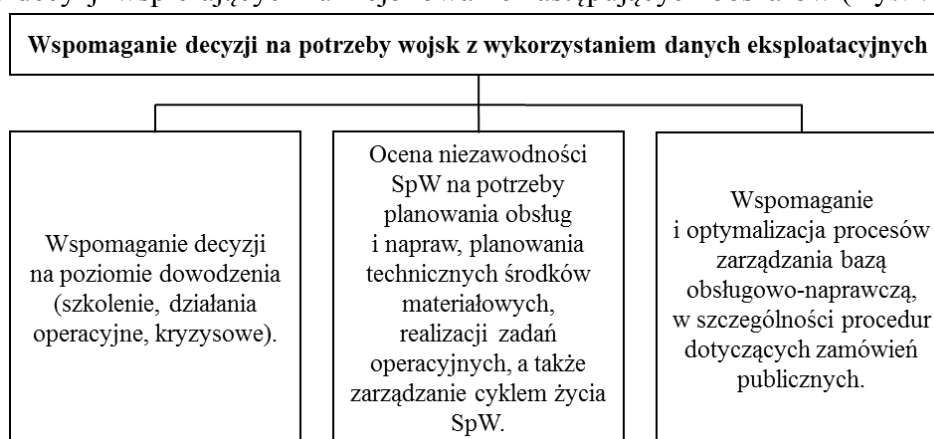
- Podsystem Zamówień Publicznych na  $i$ -tym poziomie  $P_{PZPi}$ ;
- Podsystem Finansów na  $i$ -tym poziomie  $P_{Fi}$ ;
- Podsystem Logistyki na  $i$ -tym poziomie  $P_{SLogi}$ ;
- Relacje na  $i$ -tym poziomie.

Powyższy zapis stanowi uogólnioną postać opisu systemu eksploatacji obiektów technicznych (sprzętu wojskowego) i jego gotowości technicznej do użycia<sup>29</sup>.

### Zadania komórek organizacyjnych RON w obszarze zasilania informacjami

W celu wsparcia zadań komórek organizacyjnych wchodzących w strukturę podsystemu technicznego (PT) Sił Zbrojnych RP należy zdefiniować zakres danych wprowadzanych do systemu na kolejnych szczeblach kierowania w sposób optymalny. Zasadne jest stwierdzenie, że struktura danych powinna się rozwijać zgodnie z cyklem życia systemu uzbrojenia, ale jej główny zarys powinien być określony przed wprowadzeniem obiektu technicznego do eksploatacji w Siłach Zbrojnych, a nawet w fazie badań kwalifikacyjnych. Komórki znajdujące się najniżej w strukturze PT powinny być odpowiedzialne za wprowadzenie danych o zdarzeniach jednostkowych lub cyklicznych, natomiast wraz ze wzrostem poziomu w strukturze organizacyjnej PT proces zasilenia systemu danymi będzie przechodził w procedury analityczne i podejmowania decyzji eksploatacyjnych, a także analiz operacyjnych.

Na podstawie prowadzonych wywiadów eksperckich autor zaproponował optymalny podział uprawnień dotyczący wprowadzania danych w ramach zakresu kompetencyjnego poszczególnych komórek organizacyjnych. Strukturę wejściową danych autor definiuje w sposób umożliwiający generowanie informacji, w tym raportów, wspomagających proces decyzyjny na różnych szczeblach podsystemu technicznego w odniesieniu do zadań przydzielonych dokumentami normatywnymi. Rezultatem procesu powinno być otrzymanie danych do decyzji wspierających funkcjonowanie następujących obszarów (Rys. 7.7):



Rys. 7.7. Wykorzystanie danych eksploatacyjnych do zarządzania. Opracowanie własne

### Propozycja kompetencji komórek na potrzeby wspomaganie decyzji

Zarządzanie systemem eksploatacji SpW, a także cyklem życia systemów uzbrojenia wymaga wykorzystywania szerokiego pakietu danych generowanych w systemie

<sup>29</sup> Prowadzone analizy wskazują, że terminy obsługiwać podsystemów obiektu technicznego powinny być podyktowane gotowością do użycia jego głównego podsystemu, tj. decydującego o wykorzystaniu zgodnie z zasadniczym przeznaczeniem. Resurs pozostałych podsystemów powinien być odpowiednio skracany i wydłużany w zależności od możliwości technicznych, prawnych i rachunku kosztów.

sieciocentrycznym. W tym celu należy zdefiniować kompetencje komórek w zakresie uprawnień wprowadzania danych do systemu, od najniższego szczebla podsystemu technicznego.

## **Poziom I – Jednostka Wojskowa**

### **1. Podsystem Parku Sprzętu Technicznego $P_{PST}$**

#### 1.1. Podsystem Dyżurnego Punktu Kontroli Technicznej $P_{PKT}$ .

- Stan licznika – PKT.
- Cel opuszczenia PST.
- Zgłoszenie niesprawności.
- Część zamienna wykorzystana na potrzeby funkcjonowania PKT.

#### 1.2. Podsystem stacji materiałów pędnych i smarów (MPS) $P_{MPS}$ .

- Rodzaj pobranego produktu
- Ilość pobranego produktu [litr/kilogram]

#### 1.3. Podsystem Punktów Obsługi Codziennej $P_{POC}$ .

- Miejsce obsługi JW.
- Miejsce obsługi adres.
- Rodzaj wykonanej obsługi/drobnej naprawy.
- Liczba roboczogodzin wykonanych przez każdego pracownika.
- Część zamienna wykorzystana do obsługiwanego lub naprawy.
- Zdiagnozowane usterki/niesprawne układy.
- Wykonane uzupełnienia płynów eksploatacyjnych.
- Czas początku i końca obsługi/drobnej naprawy.

### **2. Podsystem Planowania Logistycznego $P_{PLJW}$ (S-4)**

#### 2.1. Podsystem Planowania Logistycznego jednostki wojskowej JW ( $P_{PLJW}$ ).

- Przydział do grupy eksploatacyjnej.
- Rodzaj karty drogowej.
- Przydzielenie sprzętu do zabezpieczenia działań kryzysowych.
- Powołanie osób (zespołów) do oceny stanu technicznego sprzętu w poszczególnych służbach (działach zaopatrzenia).
- Określenie planowych obsługiwanych okresowych nowego sprzętu.
- Planowanie środków finansowych na podstawie potrzeb definiowanych z wykorzystaniem metody RCM wraz z prognozą wzrostu cen.

#### 2.2. Podsystem Planowania Logistycznego pododdziału $P_{PLPOD}$ (S-4).

- Monitorowanie realizacji zadań w nadzorowanych pododdziałach.

### **3. Podsystem pododdziałów $P_{POD}$**

#### 3.1. Podsystem pododdziałów zadaniowych $P_{PODZ}$ <sup>30</sup> (Technik).

- Priorytet naprawy.
- Data rozpoczęcia przechowywania.
- Data zakończenia przechowywania.
- Ważność badań i sprawdzeń wyposażenie podlegającego okresowym przeglądom.
- Miejsce postoju.

---

<sup>30</sup> Pododdziały zmechanizowane, czołgów, przeciwlotnicze, artylerii, inżynieryjne, bez remontowych.



- Wykonane naprawy (bieżące) w ramach własnych kompetencji obsługowych.
  - Użytkownik sprzętu wojskowego oraz jego staż pracy.
  - Zgłaszanie reklamacji.
  - Określenie potrzeb technicznych środków materiałowych na kolejne lata.
  - Zgłoszenie niesprawności.
- 3.2. Podsystem pododdziałów remontowych  $P_{PODR}$  (Technik).
- 3.2.1. Podsystem Punktów Obsługowo-Naprawczych  $P_{PON}$ .
- Miejsce obsługi/naprawy JW.
  - Miejsce obsługi/naprawy adres.
  - Rodzaj wykonanej obsługi/naprawy.
  - Zdiagnozowane usterki/niesprawne układy.
  - Termin przyjęcia sprzętu do obsługi/naprawy.
  - Termin rozpoczęcia obsługi/naprawy.
  - Termin zakończenia obsługi/naprawy.
  - Termin wydania sprzętu użytkownikowi.
  - Przedłużenie resursu w latach.
  - Przedłużenie resursu w kilometrach.
  - Ilość roboczogodzin wykonanych przez każdego pracownika.
  - Część zamienna wykorzystana do obsługiwania lub naprawy.
  - Potwierdzenie lub negacja zdiagnozowanych usterek – walidacja precyzji diagnozy stacji diagnostycznej.
  - Termin i czas zapotrzebowania tśm i ich pobrania.
  - Oznaczenie obsługi/naprawy, jako skierowanej poza system obsługowo-naprawczy resortu Obrony Narodowej
  - Termin i czas przekazania i odbioru SpW kierowanego poza system obsługowo-naprawczy resortu Obrony Narodowej
- 3.2.2. Podsystem Punktów Obsługi Codziennej  $P_{POC}$ .
- Analogicznie jak dla podsystemu Parku Sprzętu Technicznego.
- 3.2.3. Podsystem Stacji Diagnostycznej  $P_{SDiag}$ .
- Rodzaj badania diagnostycznego.
  - Zdiagnozowane usterki/niesprawne układy.
  - Ilość roboczogodzin.
- 3.2.4. Podsystem Magazynu Części Zamiennych  $P_{MCZ}$ .
- Analogicznie jak do podsystemu magazynowego WOG – Poziom II

#### **4. Podsystem Zabezpieczenia Teleinformatycznego $P_{ZTel}$**

##### 4.1. Wsparcie użytkowników systemu informatycznego<sup>31</sup>

Efektom archiwizacji powinna być możliwość określenia następujących parametrów na potrzeby funkcjonowania jednostki wojskowej:

- Sprawność sprzętu oraz określenie jego gotowości operacyjnej.

---

<sup>31</sup> Komórki w zależności od potrzeb występują o rozszerzenie lub zmniejszenie uprawnień według potrzeb bieżących – proces realizowany przez Sekcje Zabezpieczenia Teleinformatycznego – na wszystkich poziomach.

- Czas obsługi/naprawy, tj. zgłoszenia, przyjęcia, zakończenia, odbioru.
- Parametry niezawodnościowe sprzętu w aspekcie RCM.
- Ilość reklamacji.
- Monitorowanie zabezpieczenia potrzeb w stosunku do deklarowanych w czasie planowania długoterminowego.
- Czasy obiegu dokumentów<sup>32</sup>, w szczególności:
  - Termin i czas rozpoczęcia i zakończenia procedury pozyskania tśm (w tym e-PZP).
  - Termin i czas rozpoczęcie opracowania i zakończenia obiegu e-PST.
  - Termin i czas rozpoczęcie opracowania i zakończenia obiegu e-KUT.

## **Poziom II – Wojskowy Oddział Gospodarczy**

### **1. Podsystem Szefa Logistyki WOG $P_{SLog}$**

- 1.1. Podsystem Planowania  $P_P$ .
  - Bilansuje potrzeby, w tym tśm
- 1.2. Podsystem Wydziału Technicznego  $P_{WT}$ .
- 1.3. Podsystem Wydziału Materiałowego  $P_{WMat}$ .
- 1.4. Podsystem Wydziału Medycznego  $P_{WMed}$ .
- 1.5. Podsystem Infrastruktury  $P_I$ .

Powyższe podsystemy są odpowiedzialne za dane z zakresu:

- Resurs sprzętu (r) według jego parametrów.
  - Numer VIN.
  - Numer silnika.
  - Numer rejestracyjny.
  - Przynależność SpW do działu zaopatrzenia.
  - Przyjęcie SpW do Oddziału Gospodarczego i ruchy gospodarcze w ramach OG.
  - Określenie Jednolitego Indeksu Materiałowego z rozróżnieniem producenta i roku produkcji (JIM.Producent\_wyrobu.rok\_produkcji).
- 1.6. Podsystem Magazynowy  $P_{Mag}$ .
    - Ewidencja części zamiennych wraz z rozszerzeniem numeru indeksowego o producenta tśm i jego roku produkcji (JIM.Producent\_wyrobu.rok\_produkcji).
    - Ewidencja części zamiennych lub podzespołów regenerowanych z rozszerzeniem numeru indeksowego o wykonawcę (JIM.Producent\_wyrobu.rok\_produkcji).
    - Ewidencja wydanych części zamiennych z wyszczególnieniem pododdziału gospodarczego odbierającego tśm.

### **2. Podsystem Pionu Głównego księgowego $P_{PGK}$**

- 2.1. Podsystem Sekcji Szkód  $P_{SS}$ ,
- 2.2. Podsystem Sekcji Księgowości  $P_{SK}$ ,
- 2.3. Podsystem Sekcji Planowania Finansowego  $P_{SPF}$ .
  - Koszt części zamiennych.
  - Koszt MPS.
  - Stan środków finansowych.

---

<sup>32</sup> Zapotrzebowania na tśm, Karta Usługi Technicznej (e-KUT), Protokół Stanu Technicznego (e-PST), realizacji procedury zamówienia publicznego (e-PZP), itd.

- Koszt jednostkowy technicznych środków materiałowych z faktur w odniesieniu do indeksu materiałowego.
- Planowanie środków finansowych na podstawie potrzeb definiowanych z wykorzystaniem metody RCM wraz z prognozą wzrostu cen.

### **3. Podsystem Sekcji Zamówień Publicznych $P_{PZP}$**

- Kody CPV z opisem dla użytkowników i sumowaniem wartości potrzeb.
- Termin i czas rozpoczęcia oraz zakończenia procedury przetargowej z wyróżnieniem zakupów interwencyjnych.
- Termin dostawy/realizacji zakupu.

### **4. Podsystem Warsztatu Technicznego $P_{WTech}$**

- Analogicznie jak dla podsystemu pododdziałów remontowych  $P_{PODR}$  – Poziom I.

### **5. Podsystem Zabezpieczenia Teleinformatycznego $P_{ZTel}$**

- Wsparcie użytkowników systemu informatycznego

Efektom archiwizacji powinna być możliwość określenia następujących parametrów na potrzeby funkcjonowania WOG:

- Analogicznie jak dla poziomu jednostki wojskowej.
- Decyzje w zakresie wykonywania usług/napraw w podległych stacjach obsługi.
- Określenie wartości niezniżanego poziomu asortymentu w magazynach.
- Określenie czasu poziomu złożenia zamówienia na asortyment w magazynach.
- Decyzje w zakresie bieżącej działalności PZP.

## **Poziom III – Regionalna Baza Logistyczna/Brygada Logistyczna**

### **1. Podsystem Szefa Logistyki $P_{SLogR}$**

#### **1.1. Podsystem Planowania $P_{PR}$**

- Bilansuje potrzeby, w tym tśm.

#### **1.2. Podsystem Wydziału Technicznego $P_{WTR}$**

#### **1.3. Podsystem Wydziału Materiałowego $P_{WMatR}$**

#### **1.4. Podsystem Wydziału Medycznego $P_{WMedR}$**

#### **1.5. Podsystem Infrastruktury $P_{IR}$**

Powyższe podsystemy są odpowiedzialne za dane z zakresu:

- Analogicznie jak dla Podsystemu Szefa Logistyki WOG  $P_{SLog}$  – Poziom II.

#### **1.6. Podsystem Magazynowy<sup>33</sup> $P_{MagR}$**

- Analogicznie jak do podsystemu magazynowego WOG – Poziom II.

### **2. Podsystem Pionu Głównego księgowego $P_{PGKR}$**

#### **2.1. Podsystem Sekcji Szkód $P_{SSR}$**

#### **2.2. Podsystem Sekcji Księgowości $P_{SKR}$**

#### **2.3. Podsystem Sekcji Planowania Finansowego $P_{SPFR}$**

- Analogicznie jak dla podsystemu Planowania Finansowego WOG  $P_{PFJW}$  – Poziom I.

### **3. Podsystem Sekcji Zamówień Publicznych $P_{PZPR}$**

- Analogicznie jak dla Sekcji Zamówień Publicznych – Poziom II.

### **4. Podsystem Warsztatu Technicznego $P_{WTechR}$**

- Analogicznie jak dla podsystemu pododdziałów remontowych  $P_{PODR}$  – Poziom I.

---

<sup>33</sup> Magazyny i składy

## **5. Podsystem Składów $P_{SR}$**

- Analogicznie jak do podsystemu magazynowego WOG – Poziom II.

## **6. Podsystem Zabezpieczenia Teleinformatycznego $P_{ZTeIR}$**

- Wsparcie użytkowników systemu informatycznego.

Efektom archiwizacji powinna być możliwość określenia następujących parametrów na potrzeby funkcjonowania jednostki wojskowej:

- Analogicznie jak dla poziomu Wojskowego Oddziału Gospodarczego.

### **Poziom IV – Inspektoratu Wsparcia Sił Zbrojnych**

Szczebel Inspektoratu Wsparcia Sił Zbrojnych odpowiedzialny jest za bilansowanie potrzeb oraz wypracowanie i podejmowanie decyzji w zakresie eksploatacji sprzętu wojskowego, określenia poziomu zapasów nieznizanych oraz poziomu zapasu odpowiadającego potrzebie złożenia zamówienia. Efektom archiwizacji danych powinna być możliwość określenia następujących parametrów na potrzeby funkcjonowania jednostki wojskowej:

- Analogicznie jak dla poziomu Regionalnej Bazy Logistycznej.

### **Obszar Wojskowego Dozoru Technicznego**

- Określenie terminu ważności legalizowanego SpW na podstawie badań.
- Określenie terminu przeglądu urządzeń.

### **Obszar Gospodarki Energetycznej**

- Określenie terminu ważności legalizowanego SpW na podstawie badań.
- Określenie terminu przeglądu urządzeń.

### **Obszar Metrologii Wojskowej**

- Określenie terminu ważności legalizowanego SpW na podstawie badań.
- Określenie terminu przeglądu urządzeń.

### **Obszar podsystemu medycznego SpW**

- Określenie terminu ważności legalizowanego SpW na podstawie badań.
- Określenie terminu przeglądu urządzeń.

### **Obszar podsystemu przeciwpożarowego SpW**

- Określenie terminu ważności legalizowanego SpW na podstawie badań.
- Określenie terminu przeglądu urządzeń.

Powyższe informacje eksploatacyjne wprowadzane do systemu w kolejnych podsystemach można podzielić na informacje, które pozostają stałe przez długi czas eksploatacji, a także zmienne (np. wymiana ogumienia, wymiana części zamiennych). Występują również informacje, które wygenerowane w systemie wymagają ich przepływu w celu określenia dalszych czynności eksploatacyjnych (decyzji) – informacje dynamiczne. Należą do nich np. uszkodzenia, awarie, czy zapotrzebowania na części zamienne, Karty Usługi Technicznej, kierowanie usługi poza system obsługowo-naprawczy JW lub zakup interwencyjny części zamiennych – zamówienia realizowane w trybie Ustawy „Prawo zamówień publicznych”, likwidacja szkód. Powyższa zasada dotyczy również wyższych szczebli kierowania podsystemem technicznym. Złożoność procesów potwierdza potrzebę wprowadzania dokumentów w pełni elektronicznych.

Optymalizacja oraz kontrola procesów w podsystemie technicznym zakłada usprawnienie obiegu informacji mających wpływ na:

1. Monitorowanie zasobów sprzętu wojskowego (SpW) i technicznych środków materiałowych (tśm).
2. Zapewnienie zdolności do realizacji wsparcia i zabezpieczenia technicznego wojsk operacyjnych.
3. Planowanie rozmieszczenia potencjału technicznego w obszarze (strefie, pasie, rejonie) prowadzonych działań.
4. Przedstawianie wniosków i propozycji zapewniających utrzymanie SpW w gotowości do użycia oraz odtwarzanie jego sprawności.

### **Zastosowanie narzędzi statystycznych do predykcji uszkodzeń**

Połączenie elementów tworzących strukturę Parku Sprzętu Technicznego oraz bazy obsługowo-naprawczej na wszystkich szczeblach kierowania systemem O-N resortowym systemem informatycznym umożliwi sprawną wymianę informacji w zakresie przesyłania komunikatów (analizy zużycia tśm, decyzji) lub określenia stanów magazynowych pomiędzy ogniwami wykonawczymi, planistycznymi i decyzyjnymi. Koszty wdrażania i eksploatacji takiego systemu są znaczące, ale dają perspektywy szerszego wykorzystania w zakresie eksploatacji nowoczesnych i zaawansowanych pod względem budowy obiektów technicznych. Wymagana jest w tym przypadku implementacja metod predykcyjnego określania kolejnych stanów eksploatacyjnych obiektów technicznych (SpW) i na tej podstawie zastosowanie profilaktycznego utrzymania sprzętu zgodnie ze strategią eksploatacji RCM. W tym celu algorytm decyzyjny powinien zostać oparty na metodach statystycznych i predykcyjnych, wykorzystujących modele niezawodnościowe, a także metody sztucznej inteligencji, umożliwiając określenie zależności między zdarzeniami zgromadzonymi w bazie danych. Efektem istotnym jest poprawa poziomu gotowości i bezpieczeństwa SpW [112]. Analiza dotyczy nie tylko obiektów technicznych w całości, ale powinna dotyczyć również układów, zespołów i elementów [113].

W opracowaniu „Przewidywanie awarii i problemów z jakością” [114] autor podejmuje analizę dotyczącą odpowiedniej jakości wytwarzanych produktów. Zwrócona została w tym przypadku dodatkowo uwaga na możliwość podjęcia wyprzedzających działań, które pozwolą zmniejszyć czas potrzebny na podjęcie działań zapobiegawczych/naprawczych [115].

Przytoczone powyżej przykłady umożliwiają rozpoczęcie dyskusji na temat możliwości przeglądu i optymalizacji strategii eksploatacji [116]. Cyfryzacja, Internet Rzeczy IoT (Internet of Things), Big Data, sieci neuronowe [117, 118] stwarzają podstawy to tworzenia zaawansowanych modeli prognostycznych [119] umożliwiając planowanie długoterminowe w kontekście zarządzania eksploatacją sprzętu wojskowego według strategii Reliability Centered Maintenance (RCM) z wykorzystaniem zaawansowanych algorytmów.

W celu prognozowania gotowości SpW do realizacji zadań proponuje się wprowadzenie do systemu informatycznego SZ RP funkcjonalności:

1. Umożliwiającej generowanie raportów o następującej strukturze danych (Tab. 7.1, Tab. 7.2, Tab. 7.3).
2. Komputerowe generowanie oraz obieg dokumentów eksploatacyjnych w całym podsystemie technicznym, w tym na potrzeby ustawy Prawo zamówień publicznych, w celu skrócenia czasu realizacji zadań obsługowych i naprawczych, (Rys. 7.9, Rys. 7.10, Rys. 7.11).

Tab. 7.1. Struktura raportu – zdarzenia nieplanowe. Opracowanie własne

Struktura raportu tśm na potrzeby planowania eksploatacji sprzętu według strategii RCM - planowanie uszkodzeń systemu uzbrojenia.																									
Łp.	Marka	Typ	JIM	Numer rejestracyjny	Rok produkcji	Data wystąpienia awarii	Data przyjęcia do warsztatu	Stan licznika w chwili przyjęcia do warsztatu [km]	Stan licznika w chwili przyjęcia do warsztatu [mtg]	Rodzaj usługi technicznej (naprawa)	Data zakończenia naprawy	Data oddania sprzętu do użytkownika (zakończenia naprawy)	Niesprawność układu	Rodzaj uszkodzenia	Pracochłonność [rbh]	Ilość pracowników realizujących naprawę	Prace realizowane przez mechaników, szeregowo/równoległe/tryb mieszany	Ilość roboczogodzin przewidzianych na naprawę [rbh]	Koszt części zamiennych	Jednostka Wojskowa do której należy SpW	Poddział	Obecny stan wykorzystania ресурсu w kilometrach	Służba	Grupa eksploatacyjna	Miejsce naprawy
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1					2012	25.01.2017	08.02.2017	90000	10500	Naprawa bieżąca	42784		Układ napędowy.												JW Nr .....
									Naprawa po misji				Układ zawieszenia.												..... WOG
									Inna naprawa				Układ kierowania.												..... brem
													Instalacja elektryczna.												Siemianowice
													Silnik.												
													Układ hamulcowy.												
													Nadwozie.												
													Uzbrojenie wozu												
													Urządzenia łączności												
													Wyposażenie OPBMR												
													Instalacja ppoż												

Zakłada się, że każdorazowo można generować stany resursów na dzień 01 styczeń każdego roku.

Tab. 7.2. Struktura raportu – zdarzenia planowe. Opracowanie własne

Struktura raportu obsługań okresowych systemu uzbrojenia.																										
Lp.	Marka	Typ	JIM	Numer rejestracyjny	Rok produkcji	Data wystąpienia obsługi	Data przyjęcia do warsztatu	Stan licznika w chwili przyjęcia do warsztatu [km]	Stan licznika w chwili przyjęcia do warsztatu [mtg]	Ilość strzałów [szt.]	Rodzaj usługi technicznej (obsługiwanie)	Data zakończenia obsługi	Data oddania sprzętu do użytkownika (zakończenia obsługi)	Niesprawność układu (jeśli w czasie obsługi stwierdzono/usunięto niesprawność)	Rodzaj uszkodzenia (usunięty poza zakresem obsługiwanie okresowego)	Pracochłonność obsługi [rbh]	Ilość pracowników realizujących obsługę	Prace realizowane przez mechaników, szeregowo/równoległe/tryb mieszany.	Ilość roboczegodzin przewidzianych na obsługę [rbh]	Koszt części zamiennych	Jednostka Wojskowa do której należy SpW	Pododdział	Obecny stan wykorzystania resursu w kilometrach	Grupa eksploatacyjna	Służba	Miejsce obsługiwanie
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1				2012	25.01.2017	08.02.2017	90000	1100	1000	np. obsługiwanie - OPR		18.02.2017	Układ napędowy.											czołg-sam	JW Nr .....	
2										np. obsługiwanie - OR			Układ zawieszenia.											czołg-sam	..... WOG	
3										np. obsługiwanie - O2R			Układ kierowania.												..... brem	
4										np. obsługiwanie - O4R			Instalacja elektryczna.												Siemianowice	
5													Urządzenia łączności													
6													Wypożyczenie OPBMR													
7													Instalacja ppoż													

Zakłada się, że każdorazowo można generować stany resursów na dzień 01 styczeń każdego roku.

Tab. 7.3. Struktura raportu – zdarzenia wymiany tśm. Opracowanie własne

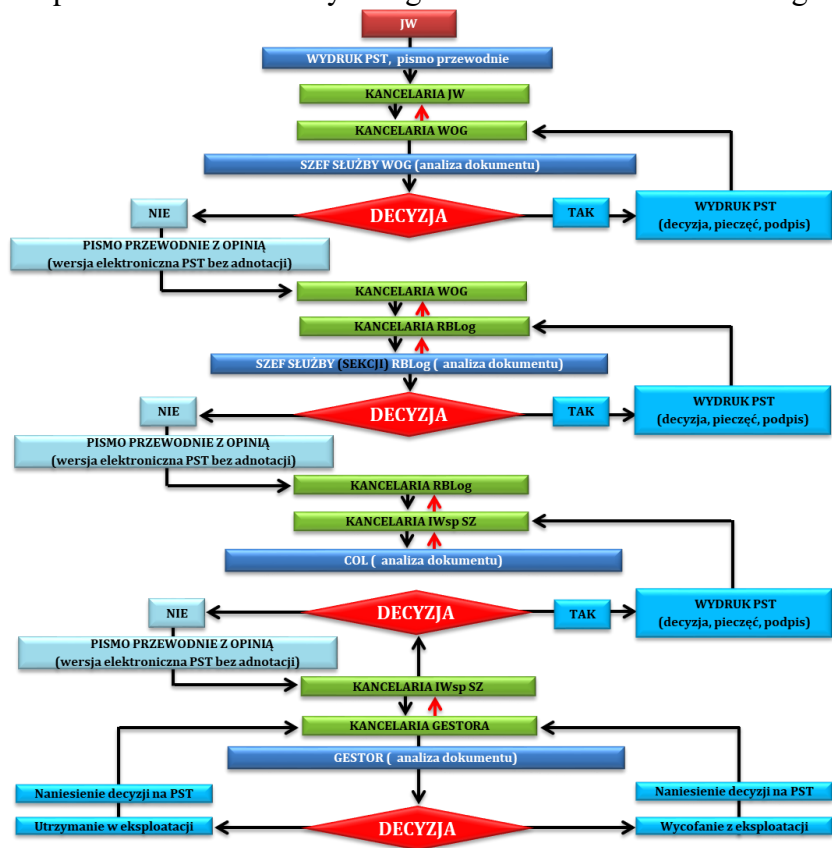
Struktura raportu tśm na potrzeby planowania eksploatacji sprzętu według strategii RCM - planowanie tśm oraz szkoleń personelu.																
Lp.	Nazwa części zamiennej	Indeks	Nr rejestracyjny	Typ wymiany (obsługa planowa/obsługa planowa, rozszerzona po weryfika/regulacja/awaria)	Przebieg [km] na dzień wymiany	Przebieg [mtg] na dzień wymiany	Data wymiany	Ilość strzałów [szt.]	Rok produkcji KTO	Koszt części zamiennej	JW.	WOG	Układ SpW	Służba	Grupa eksploatacyjna	Uwagi
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16
1	Pompa paliwowa	JIM.rok_produkcji. producent	UB 3333	OP	1000	1000	2018-03-08	500	2010	PLN			Układ zasilania	czołg-sam		
2	Pompa paliwowa	JIM.rok_produkcji. producent	UB 4444	OPR_PW	500	500	2018-10-08	650	2008	PLN			Układ zasilania	czołg-sam		
3	Pompa paliwowa	JIM.rok_produkcji. producent	UB 3388	AW	3000	3000	2019-03-08	700	2011	PLN			Układ zasilania	czołg-sam		
4	Pompa	JIM.rok_produkcji. producent	UB 3839	OP	2000	2000	2019-07-08	550	2010	PLN			Układ zasilania	mps		
		Numer indeksowy - JIM <u>bez zmian</u> .	Numer pojazdu <u>zmienny</u> (dla jednej części zamiennej/indeksu)													

\* Resursy podawane od ostatniej wymiany tśm w unikatowym typie SpW (o identycznym VIN/Nr rejestracyjnym).

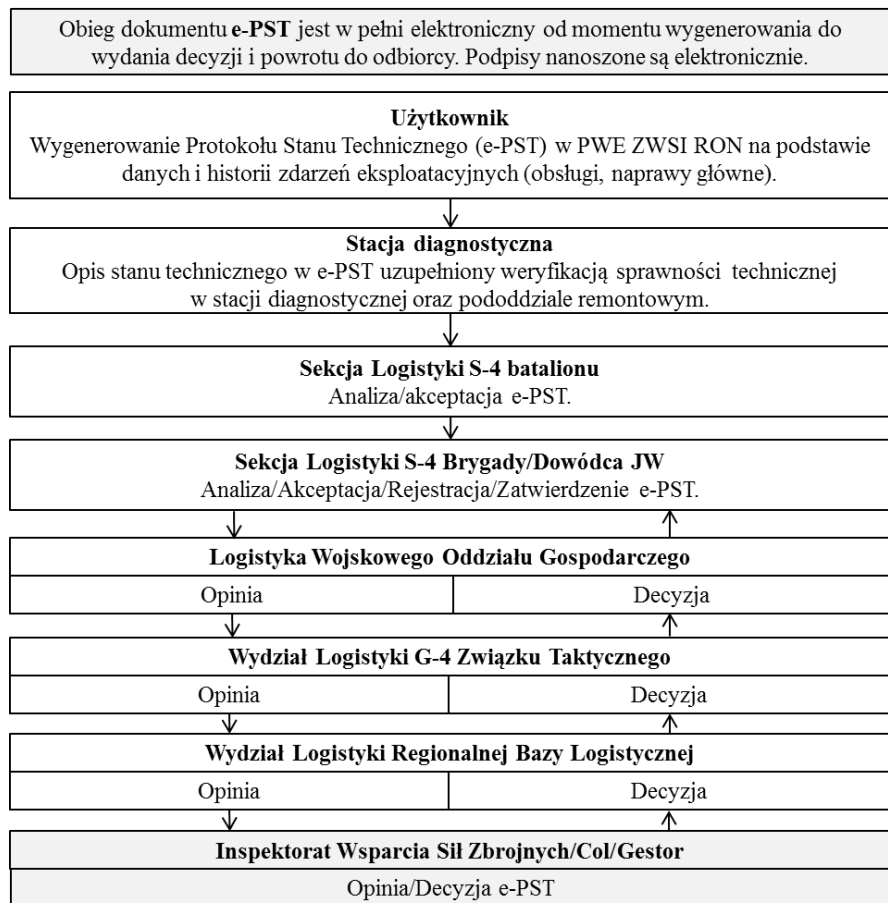
W przypadku występowania w systemie uzbrojenia kilku identycznych technicznych środków materiałowych (np. piasty kół) należy wdrożyć graficzny schemat występowania tych elementów w obiekcie technicznym. W przypadku wymiany, każdorazowo czas wymiany powinno się opisać w odniesieniu do kluczowych parametrów resursu sprzętu wojskowego (od stanu nowości lub ostatniej wymiany), tj. data, kilometry, motogodziny, strzały, itd. W celu powyższego wykonawca dostarczający system uzbrojenia do Sił Zbrojnych powinien dostarczyć stosowne informacje i schematy graficzne do wykorzystania ich w resortowych oprogramowaniach wspierających eksploatację SpW.



### Papierowo-elektroniczny obieg Protokołu Stanu Technicznego w SZ



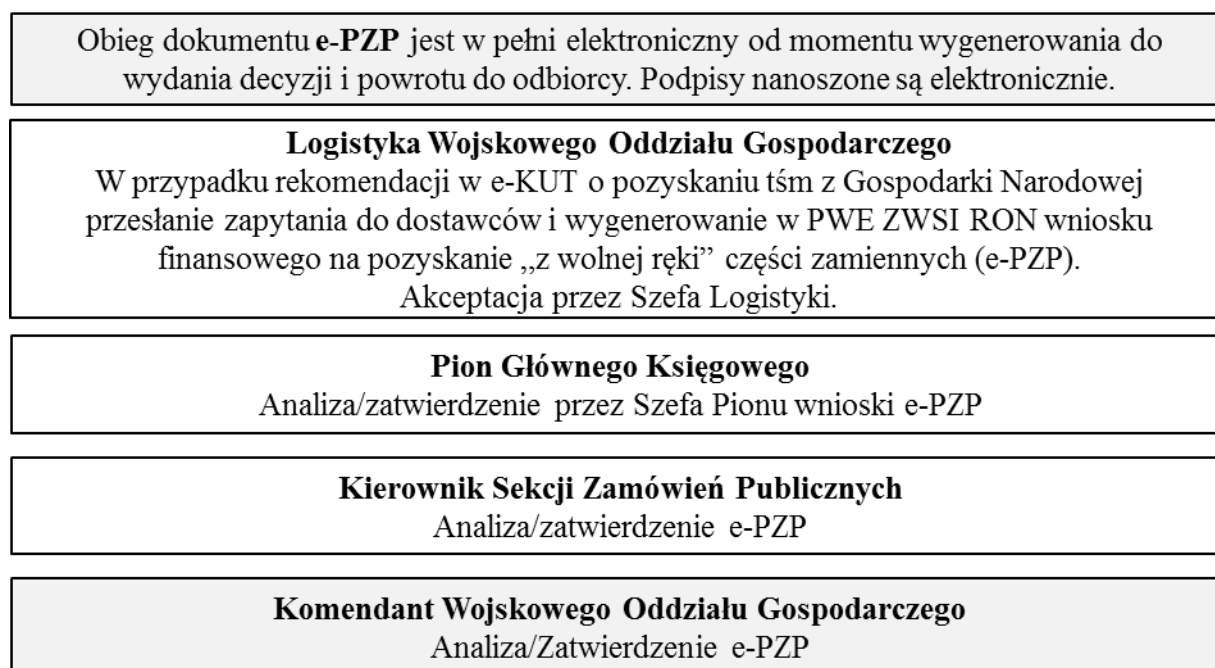
Rys. 7.8. Elektroniczny obieg Protokołu Stanu Technicznego. Podstawa DU-4.22.13(a) [120]



Rys. 7.9. Elektroniczny obieg Protokołu Stanu Technicznego e-PST. Opracowanie własne



Rys. 7.10. Elektroniczny obieg Karty Usługi Technicznej, e-KUT. Opracowanie własne



Rys. 7.11. Elektroniczny obieg „Wniosku na zakup doraźny tśm”, e-PZP. Opracowanie własne

Obecnie część z powyższych danych znajduje się w następujących dokumentach JW lub WOG<sup>34</sup>:

- rozkaz wyjazdu;
- Karta Usługi Technicznej;
- zlecenie asygnata;
- Książka ewidencji obsługiwań technicznych i zabiegów konserwacyjnych sprzętu technicznego;
- Książka pojazdu mechanicznego;
- karta materiałowa;
- karta magazynowa;
- Książki materiałów jednorazowego użytku;
- Książki ewidencji mienia wojskowego pododdziału.

Powyższe dokumenty występują w znaczącej części w postaci analogowej (papierowej) uniemożliwiającej dalsze numeryczne przetwarzanie, a jeżeli występują w postaci cyfrowej to zasadniczo nie są wykorzystywane do dalszych numerycznych analiz, tj. data mining<sup>35</sup> [121].

## **Koncepcja wykorzystania informacji eksploatacyjnych**

### **Obszar użytkownika – wykorzystanie operacyjne**

Organizacja działania opisanych poziomów i obszarów powinna zapewnić sprawność i bezpieczeństwo użytkowanego sprzętu wojskowego, będącego w gotowości do operacyjnego wykorzystania, z zachowaniem optymalnych nakładów personalnych, finansowych i rzeczowych. Użytkownicy (kierowca, technik<sup>36</sup>, dowódca) powinni mieć dostęp do następujących informacji generowanych przez system (dane wyjściowe – przetworzone):

- Sprawność sprzętu na swoim poziomie kompetencyjnym.
- Prognoza możliwości wykonania zadania przy zdefiniowaniu jego parametrów, tj. zasięg, ilość strzałów, itd. w tym prognoza o potrzebach i urzutowaniu tśm<sup>37</sup>.
- Informacje o przeglądach według strategii eksploatacji RCM.

---

<sup>34</sup> Część danych eksploatacyjnych jest wprowadzana do ZWSI RON

<sup>35</sup> *Zgłębianie danych (data mining)* to proces analityczny, przeznaczony do badania dużych zasobów danych (zazwyczaj powiązanych z zagadnieniami gospodarczymi lub rynkowymi) w poszukiwaniu regularnych wzorców oraz systematycznych współzależności pomiędzy zmiennymi, a następnie do oceny wyników poprzez zastosowanie wykrytych wzorców do nowych podzbiorów danych. Finalnym celem data mining jest najczęściej przewidywanie (zachowań klientów, wielkości sprzedaży, prawdopodobieństwa utraty klienta itp.), dlatego też predykcyny data mining jest bardzo popularny. Predykcyny data mining daje bezpośrednie korzyści biznesowe. Proces ten składa się z trzech zasadniczych etapów: (1) wstępnej eksploracji, (2) budowania modelu (z określaniem wzorców) oraz oceny i weryfikacji oraz (3) wdrożenia i stosowania modeli (ang. deployment) dla nowych danych, w celu uzyskania przewidywanych wartości lub klasyfikacji. Źródło: [www.statsoft.pl](http://www.statsoft.pl).

<sup>36</sup> Autor ocenia, że do realizacji koncepcji osoba funkcyjna zajmująca stanowisko technika kompanii powinna posiadać kompetencje do analizy zagadnień niezawodności sprzętu. Wskazane byłoby przypisanie stanowiska do etatu oficerskiego, celem podniesienia rangi eksploatacji sprzętu ze względu na jego koszt i zaawansowanie technologiczne.

<sup>37</sup> Informacja niezbędna w kontekście urzutowania zapasów.

- Zbiorcze zestawienie czasu obsługi/naprawy, tj. wystąpienia potrzeby, jej zgłoszenia, przyjęcia zadania do realizacji, jego zakończenie, odbiór SpW po obsłudze/naprawie w powiązaniu z miarami resursu, np. km, mtg, termin, liczba strzałów (włączeń).
- Liczba reklamacji w stosunku do zleconych zadań eksploatacyjnych.

### **Obszar stacji serwisowych bazy obsługowo-naprawczej i użytkownika (pododdziału)**

Monitoring stanu technicznego, obsług i napraw wymaga posiadania wiedzy [122] w zakresie potrzeb eksploatacyjnych SpW zabezpieczanego przez punkt serwisowy, obsługujący wybrany SpW. W tym celu stacja serwisowa powinna posiadać narzędzie informujące (generujące dane wyjściowe) z wyprzedzeniem o potrzebie wykonania czynności serwisowych (obsługa, naprawa, przegląd) zgodnie ze strategią eksploatacji RCM. Powyższe wymaga ciągłej wymiany informacji między stacją serwisową a pododdziałem i operatorem SpW. W przypadku potrzeby przeglądu lub zagrożenia wystąpienia niesprawności uczestnicy powinni wykonać działania wyprzedzające tj. nawiązać kontakt z wyprzedzeniem i ewentualnie zarezerwować stanowisko obsługi, gdy przegląd przekracza zdolności obsługowe macierzystego pododdziału.

Kierownik stacji serwisowej na podstawie danych z systemu wspomagającego jego działalność wykonuje planowanie długoterminowe wykorzystania stanowisk obsługowych stacji serwisowej (wykres Gantta). Użytkownik sprzętu odpowiada za terminowe wykonanie przeglądu siłami własnymi lub ewentualne dostarczenie sprzętu do obsługi zgodnie z decyzją kierownika stacji obsługi. Powyższe powinno być realizowane poprzez wspólną aplikację pracującą w systemie teleinformatycznym SZ.

### **Obszar nadzoru nad operatorami SpW**

W systemie działania, jakim jest obiekt techniczny i operator, niezbędna jest ocena wpływu wiedzy, doświadczenia oraz dbałości o powierzony SpW na jego stan. Ocenę taką prowadzić może przełożony użytkownika (operatora) na podstawie raportów generowanych z systemu. Raport taki powinien zawierać:

- Liczbę kolizji drogowych.
- Liczbę napraw nieplanowych w odniesieniu do jednostek resursu.
- Średni czas i przebieg między zdarzeniami nieplanowymi.

### **Nadzór nad procesami przywracania sprawności sprzętu w ramach Kontroli Zarządczej**

W celu oceny procesów towarzyszących obsługom i naprawom system informatyczny powinien generować raporty dotyczące czasów realizacji obsług i napraw, w tym:

- Pozyskania części zamiennych.
- Przeprowadzenia procedury pozaplanowego pozyskania części zamiennych w ramach magazynów przełożonego.
- Realizacji pozaplanowej procedury zakupu części zamiennych w oparciu o „Ustawę prawo zamówień publicznych”.
- Oczekiwania na przyjęcie do stacji serwisowej jednostki wojskowej.
- Liczbę reklamacji w stosunku do zleconych zadań eksploatacyjnych.

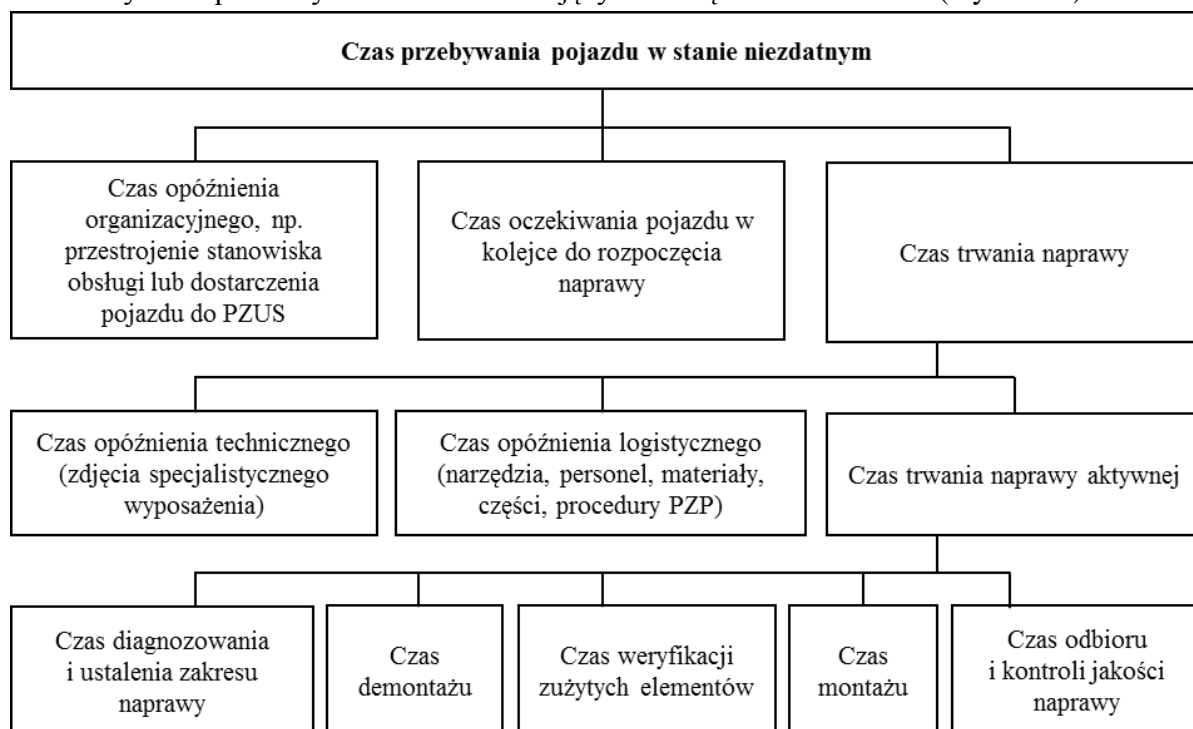
W tym przypadku ocena funkcjonowania procesów wspierających realizację napraw mogłaby być oceniona przez kierownika stacji serwisowej, przełożonych szczebla nadrzędnego, ale również przez odrębną komórkę zajmującą się kontrolą zarządczą w jednostce budżetowej. Jest to zasadne z uwagi na fakt, że procesy związane z realizacją

zamówień publicznych nie są nadzorowane przez pion techniczny, a zakupy pozaplanowe części zamiennych (tśm) są częstą procedurą w Siłach Zbrojnych, szczególnie w kontekście napraw nieplanowych. Wynika to m.in. z faktu niskiej skuteczności prognozowania wystąpienia potrzeb tśm w SZ RP w skali globalnej. Autor podkreśla potrzebę wprowadzenia algorytmów informatycznych dotyczących prognozowania zużycia części zamiennych, co jest kwestią kluczową dotyczącą sprawnego zakończenia naprawy przy założeniu posiadania pozostałych kompetencji obsługowo-naprawczych.

Pojęcie kontroli zarządczej (KZ) wprowadzono do polskiego systemu prawnego 1 stycznia 2010 roku, ustawą z 27 sierpnia 2009 roku o finansach publicznych. Jej zapisy zlikwidowały funkcjonowanie wcześniejszego pojęcia, tj. „kontrola finansowa”, która dotyczyła procesów związanych z gromadzeniem, rozdysponowywaniem środków publicznych i gospodarowaniem mieniem. Celem KZ jest zmiana sposobu postrzegania celu kontroli i odejście od systemu o charakterze rewizyjnym i krygującym. Obecnie celem KZ jest kształtowanie systemu w sposób nakierowujący go na jak najefektywniejsze działanie. KZ jest procesem, w którym menedżerowie odpowiadają za to, aby zasoby były pozyskiwane i wykorzystywane efektywnie.

### **Obszar nadzoru nad Bazą Obsługowo-Naprawczą i procesami zachodzącymi z udziałem komórki zamówień publicznych**

Zarządzanie bazą obsługowo-naprawczą wymaga badania procesów w niej zachodzących w aspekcie zadowolenia odbiorcy końcowego (operatorów/dowódców). Autor do oceny jakości realizacji usług proponuje wykorzystać parametr czasu, tj. czas związany z wykonaniem poszczególnych procesów towarzyszących przywróceniu sprawności SpW. Umożliwiłoby to tworzenie statystyk oraz porównanie realizacji zadań w różnych stacjach serwisowych na potrzeby komórek nadzorujących zarządzanie zasobami (Rys. 7.12).



Rys. 7.12. Czasy cząstkowe odnowy SpW – w aspekcie efektywności procedur [123]

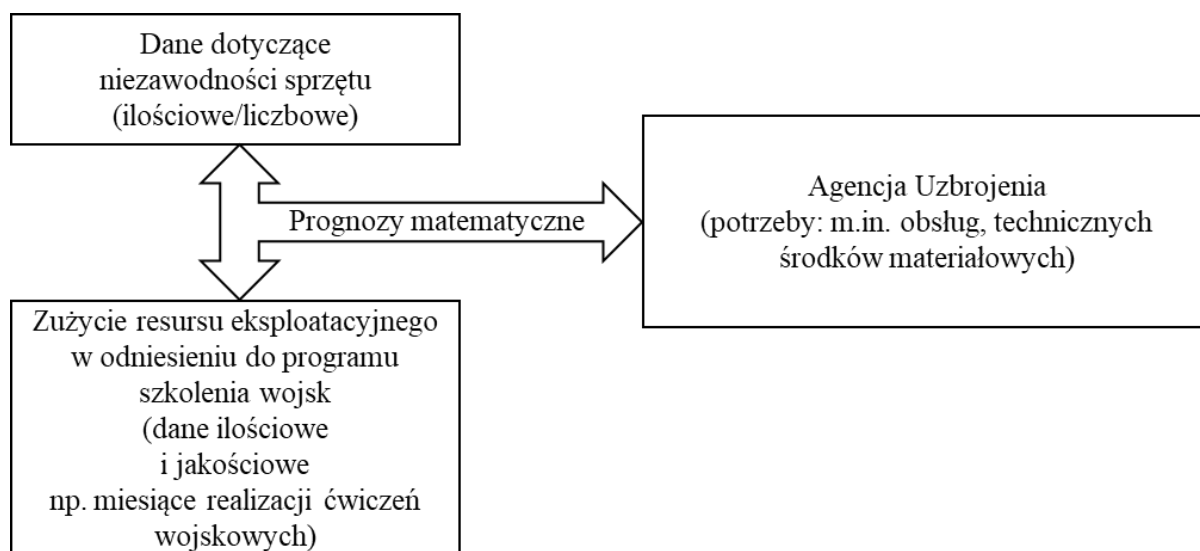
### Obszar badań naukowych i analiz

Informacje zawarte w dokumentacji papierowej stanowią ważne źródło wiedzy dla badaczy obszaru eksploatacji, ale dostęp do nich jest niestety wielokrotnie bardzo utrudniony i wymaga uzyskiwania często wielu zgód formalnych. Dodatkowo dotarcie do danych, ich wprowadzenie do urządzeń informatycznych jest procesem czasochłonnym i ponadto wymaga zaangażowania dodatkowego personelu badawczego. Obecnie szereg danych występuje w ZWSI RON.

Stanowi to argument, aby wojskowe uczelnie wyższe posiadały dostęp do sieciocentrycznych danych z uwagi na potrzebę wykonywania badań dotyczących cyklu życia sprzętu, a także w celach edukacyjnych (szkolenie kadr). Zasadne jest unormowanie tej sprawy dokumentami formalnymi rangi decyzji w celu m.in. wykorzystania czasu poświęconego na poszukiwanie danych na rzecz ich analiz. Przyniesie to wymierny skutek w postaci przygotowania zasobów osobowych, optymalizacji procesów, kosztów i gwarancji bezpieczeństwa SpW, a także utrzymania poziomu jakości wyrobów dostarczanych do SZ RP np. w ramach umów wieloletnich [124, 125, 126].

### Prognozowanie potrzeb produkcyjnych

Gromadzenie i przetwarzanie danych może umożliwić sprawniejsze prognozowanie potrzeb w celu przygotowania planów zabezpieczenia technicznych środków materiałowych w relacji Siły Zbrojne – Agencja Uzbrojenia – Polski Przemysł Obronny [127, 128]. Planowana do powołania Agencja Uzbrojenia powinna posiadać kompetencje do określenia potrzeb SZ w aspekcie asortymentu np. tśm. W tym celu należy opracować narzędzia analityczno symulacyjne w systemie ZWSI RON.



Rys. 7.13. Koncepcja prognozowania potrzeb produkcyjnych. Opracowanie własne

## Podsumowanie:

1. W celu wsparcia użytkownika oraz komórek obsługowo-naprawczych proponuje się wprowadzenie do PWE ZWSI RON (Podsystem Wsparcia Eksploatacji Zintegrowanego Wieloszczeblowego Systemu Informatycznego Resortu Obrony Narodowej) funkcjonalności umożliwiającej tworzenie wykresów Gantta<sup>38</sup> dla stanowisk obsługowych stacji obsługowo-naprawczych oraz pojedynczych systemów uzbrojenia (SpW/obiekt techniczny).
2. Obecnie wprowadzanie zdarzeń eksploatacyjnych do PWE ZWSI RON nie następuje równoległe z wprowadzaniem SpW do SZ RP (np. zakres obsługi/naprawy gwarancyjnej w serwisach zewnętrznych). Prowadzi to do utraty informacji o eksploatacji SpW, które są kluczowe m.in. na potrzeby modyfikacji lub modernizacji. Przedmiotowe dane są również istotne w przypadku określania wymagań dla nowych generacji SpW.
3. Zdarzenia eksploatacyjne powinny być rejestrowane/digitalizowane od pierwszego zdarzenia/obsługi planowej lub nieplanowej.
4. Istotne jest określenie indeksu materiałowego dla podwozi specjalnych i rozszerzenie go do sprzętu specjalistycznego. Należy rozważyć możliwość generowania indeksu materiałowego o następującej strukturze: JIM.służba, tj. JIM.czołg-sam, JIM.med.
5. Należy rozważyć możliwość generowania indeksu materiałowego technicznych środków materiałowych o następującej strukturze: JIM.Producent\_wyrobu.rok\_produkcji.

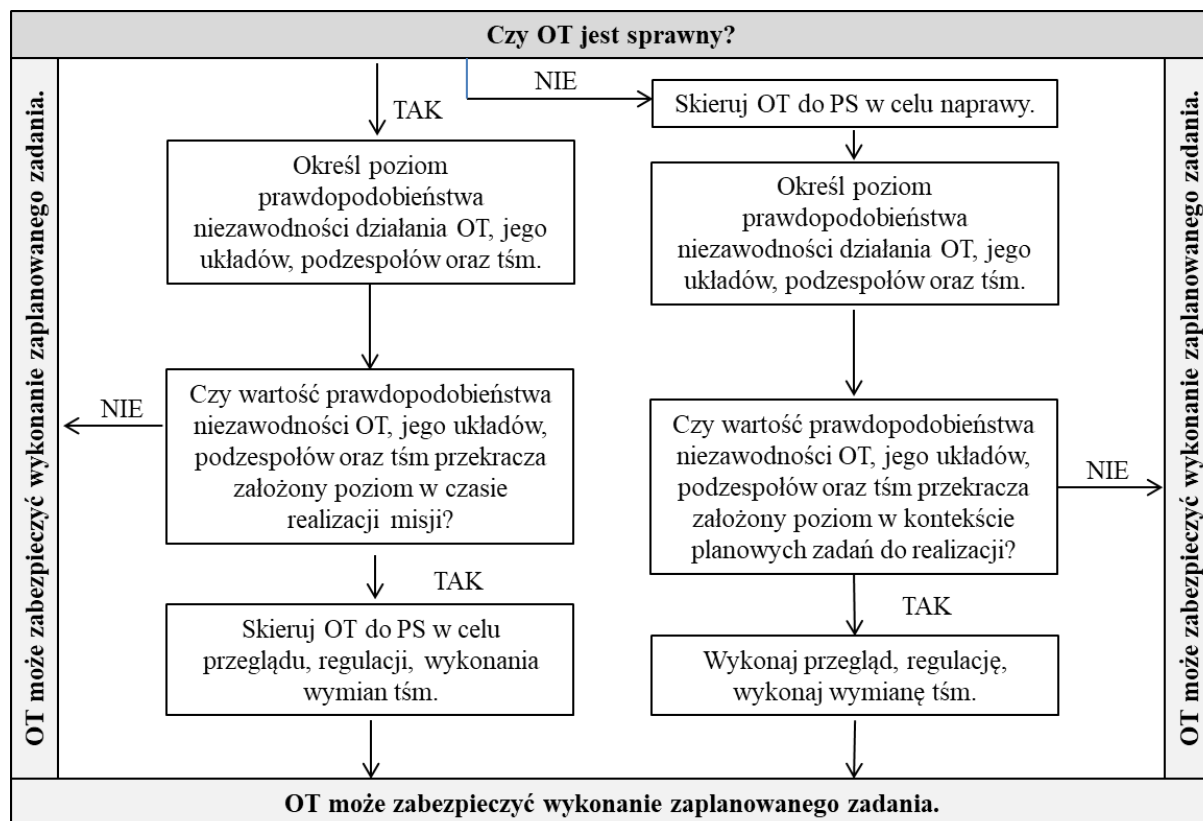
---

<sup>38</sup>Wykres Ganta to graficzne przedstawienie harmonogramu prac w danym projekcie czy też zadaniu. Jest dużym ułatwieniem do zarządzania projektami. Konstrukcja diagramu Gantta to kaskadowe zestawienie zadań, operacji, czynności lub procesów wraz z czasem ich trwania. Na osi X znajduje się zazwyczaj oś czasu.

## 8. KONCEPCJA WSPARCIA SYSTEMU EKSPLOATACJI SpW

### Model eksploatacji SpW według Reliability Centered Maintenance (RCM)

Zastosowanie proponowanej koncepcji eksploatacji RCM wymaga jej wsparcia statystyczno-matematycznym oprogramowaniem eksperckim. Działanie koncepcji eksploatacji opiera się na informacjach o stanie OT gromadzonych i archiwizowanych w hurtowniach danych. Daje to bazę do otrzymania syntetycznej informacji o przyszłych stanach zarówno OT, jego układów (hamulcowy, kierowniczy, instalacja elektryczna, itd.), jak również tśm tworzących określony OT wyznaczony do wykonania określonego zadania. Analizę możliwości wykonania misji przez OT w ujęciu RCM proponuje się wykonać poprzez oszacowanie przebiegu dystrybuanty niezawodności analizowanego SpW oraz jego istotnych części zamiennych i układów, na które doświadczenia eksploatacyjne wskazują możliwość nie ukończenia realizacji zadania. Personel kierujący OT do misji określa poziom prawdopodobieństwa, jaki jest oczekiwany dla realizacji misji w odniesieniu do OT jak również do tśm tworzących OT. Powyższe określi podzespoły, które należy poddać przeglądowi, obsłudze lub wymianie. W przypadku braku możliwości obsługowych lub deficycie czasu do wykonania zabiegów odtwarzających oczekiwany poziom niezawodności, zakłada się podjęcie decyzji o skierowaniu innego OT lub grupy OT do realizacji zadania. Proponowany ogólny algorytm (Rys. 8.1) oceny gotowości SpW według koncepcji wsparcia eksploatacji RCM przedstawiono na rysunku. Zakłada się, że sieć teleinformatyczna wdrożona i rozwijana w Siłach Zbrojnych RP wspiera proces wymiany informacji.



Rys. 8.1. Ogólny algorytm oceny gotowości SpW według koncepcji RCM. Opracowanie własne



Zarządzanie eksploatacją według strategii RCM wymaga połączenia następujących procedur opisanych w rozdziale:

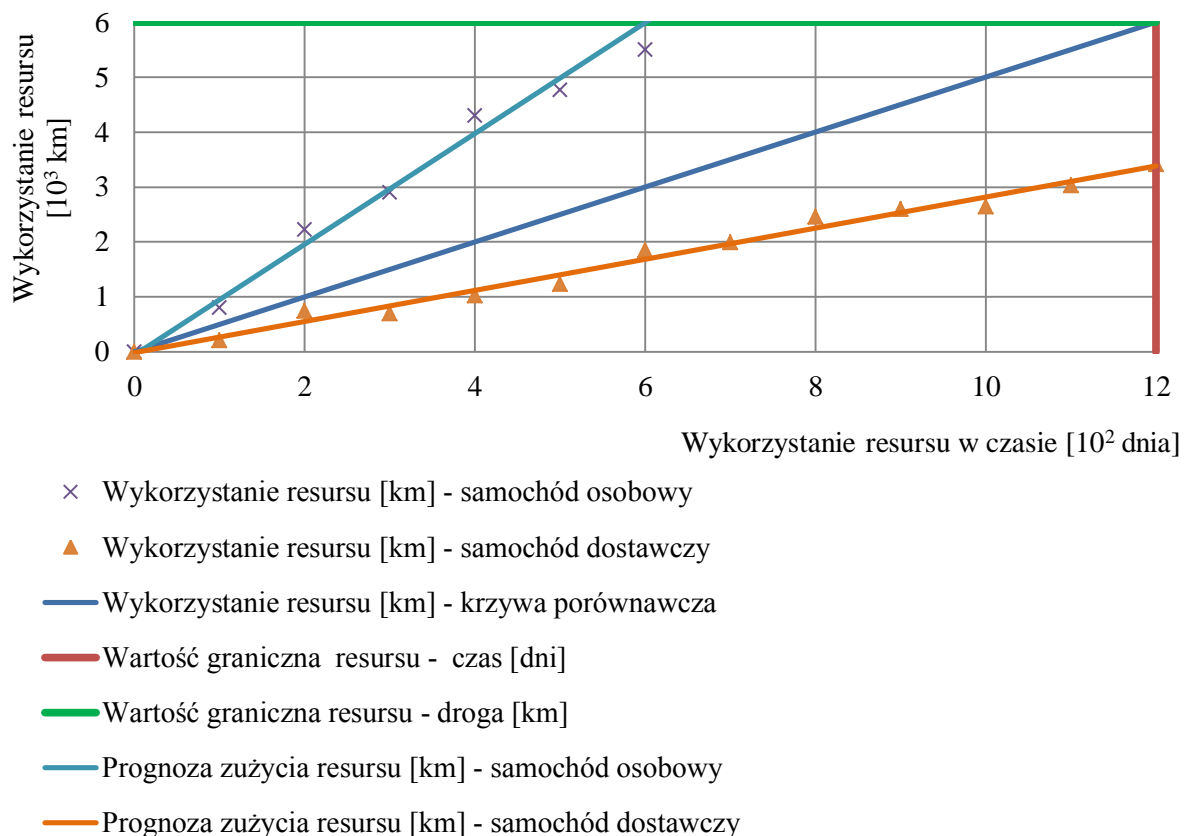
1. Prognozowanie zużycia ресурсu.
2. Określenie charakteru dystrybuanty zdarzeń eksploatacyjnych (uszkodzeń układów, napraw bieżących, wymiany tśm).
3. Określenie prognozy czasu kierowania sprzętu do obsługi okresowej OO-k.

Tab. 8.1. Porównanie mocnych i słabych stron koncepcji RCM. Opracowanie własne

Pozytywne aspekty.	Negatywne aspekty.
Wyższy wskaźnik skuteczności realizacji zadań w całym zakresie ich wykonywania.	Możliwa wymiana części zamiennych przed jej całkowitym uszkodzeniem (zużyciem).
Zwiększona kontrola nad zużyciem podzespołów OT w tym odpowiedzialnych za bezpieczeństwo oraz realizację zadania. Zmniejszenie zużycia poprzez częstsze przeglądy SpW.	Prowadzenie obserwacji zużycia stanu technicznego i reagowanie z wyprzedzeniem. Zastosowanie urządzeń i aplikacji do monitorowania stanu technicznego oraz komunikacji między użytkownikiem i stacją serwisową (PS).
Wydłużenie ресурсu międzyobsługowego i średniego ресурсu między kolejnymi naprawami nieplanowanymi.	Zwiększenie zakresu przeglądów na podstawie charakterystyk zużycia generowanych przez system informatyczny na podstawie zgromadzonych danych historycznych.
Większe zaufanie użytkownika do SpW w czasie realizacji zadań i misji.	Zwiększenie ilości szkoleń w związku z możliwym spadkiem dbałości o SpW.
Doposażenie SpW w sprzęt do sygnalizacji stanu technicznego i łączności z PS podniesie komfort eksploatacji SpW.	Podniesienie kosztów eksploatacji na początkowym etapie wdrożenia strategii eksploatacji RCM wspieranej systemem informatycznym.
Wdrożenia zarządzania w systemie eksploatacji poprzez elementy Sztucznej Inteligencji (Artificial Intelligence - AI).	Potrzeba szkolenia personelu w aspekcie realizacji procesu planowania zabezpieczenia eksploatacji sprzętu (techniczne uczelnie wojskowe).

### Moduł planowania eksploatacji SpW w oparciu o koncepcję eksploatacji RCM

Optymalne wykorzystanie bazy obsługowo-naprawczej wymaga zastosowania narzędzia komputerowego do określania prognozy zużycia ресурсu obiektu technicznego mierzonego według *i*-tego parametru. Należy zauważyć, że zużycie ресурсu jest mierzone w przypadku eksploatacji sprzętu wojskowego w jednostkach czasu lub wielkościach, których wartości mogą być prognozowane na podstawie związku tej wielkości z parametrem czasu (Rys. 8.2). Wymaga to zastosowania algorytmu do opisu zmian wykorzystania ресурсu krzywą matematyczną, która najlepiej aproksymuje kolejne jego zmiany i pozwoli wyznaczyć przyszłe wartości ресурсu eksploatacyjnego w kolejnych stanach użytkowanego *i*-tego OT.



Rys. 8.2. Prognoza zużycia zasobu dla dwóch pojazdów. Opracowanie własne

Resurs eksploatacyjny określany jest przez kilka parametrów, tj. czas, droga, ilość cykli pracy, ilość włączeń, motogodziny itd. Na podstawie cyklicznego odczytu wykorzystania zasobu w Parku Sprzętu Technicznego można prognozować jego dalsze stany i określić funkcję ciągłą opisującą jego zużycie. Znając krzywą opisującą prognozę zużycia zasobu, oraz jego międzyobsługowe wartości graniczne, dla których system uzbrojenia powinien zostać skierowany do obsługi, można określić w czasie punkt wyłączenia sprzętu z eksploatacji celem realizacji określonych czynności serwisowych. Wprowadzając pojęcie okresu prognostycznego  $T$  możemy dokonać estymacji liczby obsług i napraw dla  $T$ . Pozwoli to otrzymać informacje w zakresie optymalnej ilości niezbędnych środków wymaganych do utrzymania ciągłości procesów produkcyjnych w systemie obsługowym zachowując optymalny poziom zarezerwowania środków finansowych JW na zakup tśm.

Rozwinięciem analizowanego problemu jest określenie punktu złożenia zamówienia na dostawę wymaganego asortymentu części zamiennych, tj. tśm. Proponowana metoda może znaleźć zastosowanie szczególnie wtedy, kiedy rozważamy dostawy części zamiennych (tśm) nie tylko w łańcuchu dostaw podmiotów krajowych, które mogą realizować dostawy w wyniku rozstrzygnięcia procedury przetargowej, ale przede wszystkim w odniesieniu do łańcucha dostaw, który składa się również z ogniw międzynarodowych.

Analizując zagadnienie zarządzania flotą pojazdów znacznej wielkości, tj. jednostka wojskowa, należy dokonać powyższej analizy dla całości sprzętu. Proces ten jest wymagany do wykonania dokumentacji planistycznej dla każdego punktu serwisowego (PS). Jednak wymaga to połączenia charakterystyk zużycia zasobu z charakterystykami niezawodności

sprzętu w celu zdefiniowania najbardziej prawdopodobnego czasu wystąpienia uszkodzenia i obsługi. W związku z tym zasadne jest prowadzenie badań nad zbudowaniem asystenta procesu planowania w postaci modułu planistycznego wyposażonego w następujące funkcjonalności:

1. Prognozowanie zużycia ресурсu dla OT i grupy OT (Rys. 8.2).
2. Określenie dystrybuant zdarzeń eksploatacyjnych oraz uszkodzeń tśm i układów.
3. Zastosowanie modelu decyzyjnego według kryterium kosztu.
4. Określenie czasu kierowania OT do obsługi okresowej OO-*k*.
5. Określenie ilości OO-*k* dla *i*-tego OT oraz grupy SpW dla zadanego *T*.
6. Określenie ilości NB *i*-tego OT oraz grupy SpW dla zadanego *T*.
7. Algorytm określenia punktu w czasie wykonania planowania potrzeb tśm (Rys. 6.47).
8. Walidacja modelu zarządzania procesami obsługowo-naprawczymi w SON.

### **Prognozowanie zużycia ресурсu dla OT i grupy OT**

Obserwacja zjawisk pozwala wyznaczyć wartości opisujące badany obszar w funkcji określonego parametru. Monitorowanie stanu ресурсu pozwala uzyskać charakterystykę zjawiska w postaci dyskretnej. Jest to podyktowane wieloma aspektami, np. kosztem prowadzenia badań albo mechanizmem funkcjonowania Parku Sprzętu Technicznego. Z reguły zachodzi potrzeba uzyskania opisu zjawiska funkcją ciągłą na podstawie dostępnych danych.

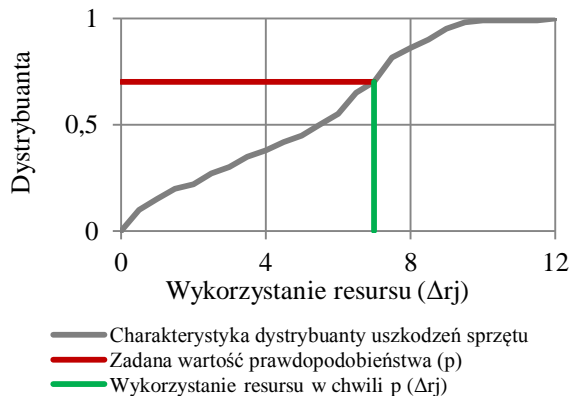
Powyższymi problemami zajmuje się teoria aproksymacji, która zajmuje się zasadniczo dwoma typami problemów. Pierwszy z nich to dopasowanie do punktów eksperymentalnych krzywych, które w najlepszy sposób mogą reprezentować dane. Drugim przypadkiem jest sytuacja, gdy funkcja jest znana, ale chcemy znaleźć prostszą funkcję, taką jak np. wielomian. W prowadzonej analizie należy uzyskać opis matematyczny, który odwzoruje punkty obserwacji funkcją matematyczną.

W proponowanym modelu prognostycznym opisującym przyszłe zdarzenia eksploatacyjne proponuje się wykorzystać procedury doboru funkcji aproksymującej na podstawie:

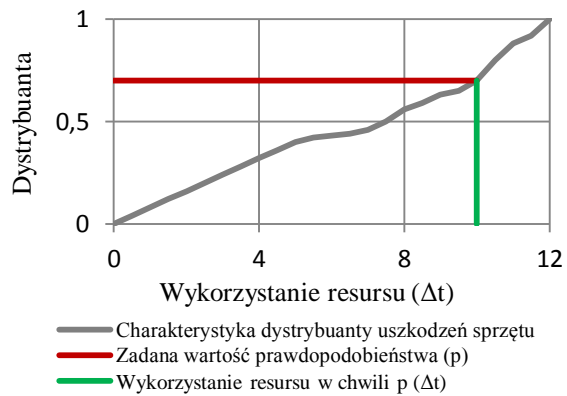
- a. funkcji liniowej – Metoda Najmniejszych Kwadratów;
- b. wielomianów wyższych stopni (zastosowanie Jakobianów) – analizy numeryczne.

### **Określenie dystrybuant zdarzeń eksploatacyjnych oraz uszkodzeń tśm**

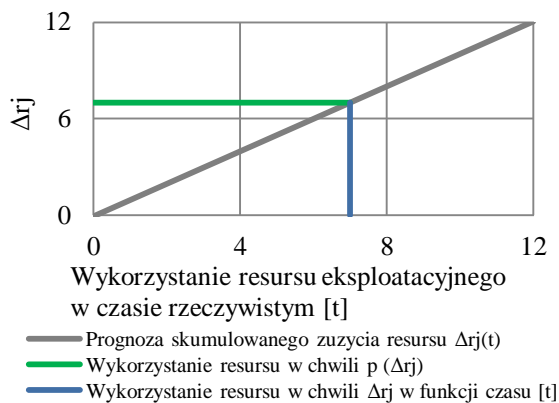
Na podstawie zdarzeń eksploatacyjnych należy określić dystrybuantę prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia NB lub wymiany tśm. Łącząc dystrybuantę z dynamiczną prognozą zużycia ресурсu względem *i*-go parametru można określić, dla zadanego przez badacza prawdopodobieństwa, wektor  $r_j = [r_1, r_2, \dots, r_n]$  czasu kierowania *i*-tego OT do PS celem wykonania NB lub wymiany tśm względem ostatniego zdarzenia. Ideowo przedstawiono to graficznie na rysunkach (Rys. 8.3-Rys. 8.6):



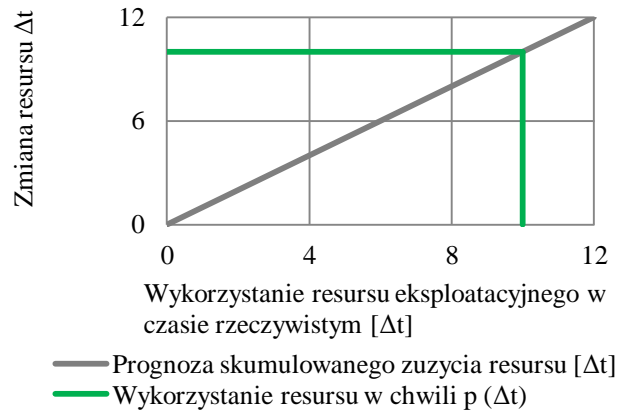
Rys. 8.3. Dystrybuanta uszkodzeń w funkcji zmiany ресурсu  $\Delta r_j$  między zdarzeniami eksploatacyjnymi



Rys. 8.4. Dystrybuanta uszkodzeń w funkcji zmiany ресурсu  $\Delta t$  między zdarzeniami eksploatacyjnymi



Rys. 8.5. Prognoza skumulowanego zużycia ресурсu od ostatniego zdarzenia eksploatacyjnego  $\Delta r_j(t)$



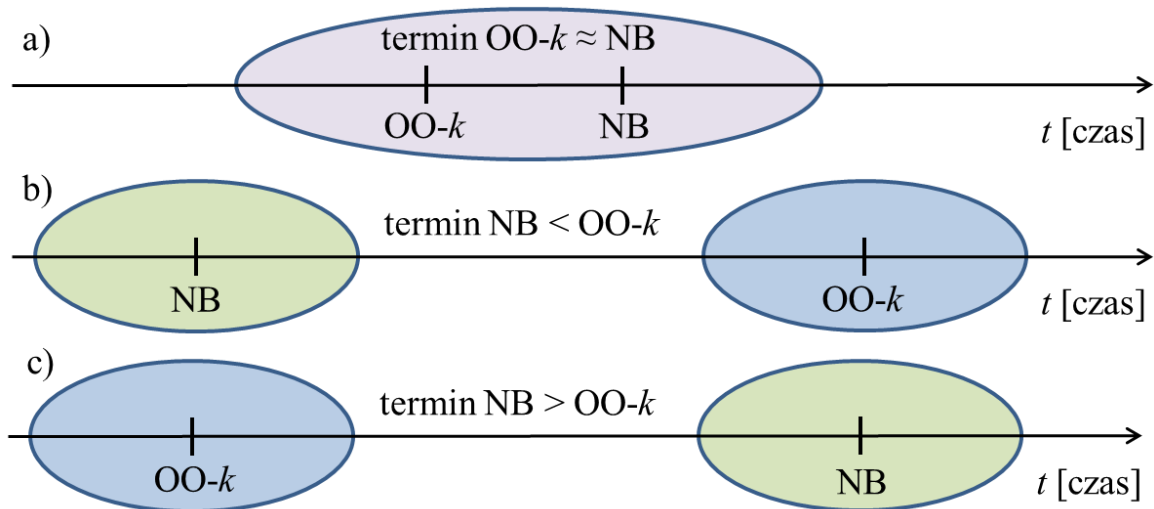
Rys. 8.6. Prognoza skumulowanego zużycia ресурсu od ostatniego zdarzenia eksploatacyjnego  $t(t)$

Ostatnim etapem analizy jest zastosowanie modelu decyzyjnego w celu wyboru optymalnego punktu w czasie wykonania czynności serwisowych opartego na rachunku kosztów w kontekście planowanego zadania realizowanego przez OT oraz możliwości BON. Dodatkowo niezbędne jest określenie zakresu prac serwisowych zgodnie z modelem strategii eksploatacji SpW według RCM. Informacja o zakresie przeglądu otrzymana zostanie na podstawie przetworzonych informacji o tśm zawartych w bazie danych, które opisują historię zużycia tśm w funkcji  $r_j$  i czasu  $t$  tworzących obiekt techniczny (OT).

Koncepcja modelu wspomaganie eksploatacji sprzętu wojskowego wymaga oszacowania terminu wystąpienia uszkodzenia względem czasu wykonania obsługiwanego okresowego (Rys. 8.7, a-c). Jeżeli czas wystąpienia uszkodzenia z wysoką wartością prawdopodobieństwa pokrywa się z czasem obsługi, to w czasie obsługi planowej należy dokonać przeglądu podzespołów i systemów. Jeśli nastąpiło uszkodzenie lub prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia jest na tyle duże, że sprzęt należy skierować do punktu serwisowego (PS) należy poddać analizie możliwość skrócenia ресурсu międzyobsługowego i dokonania czynności przewidzianych w obsłudze okresowej (Rys. 8.7b). Jeżeli wartość prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia w chwili planowanej obsługi jest niska, a zaistniała potrzeba użycia SpW, należy rozważyć możliwość wydłużenia okresu międzyobsługowego (Rys. 8.7c) z uwzględnieniem możliwości systemu obsługowego.

Celem powyższego jest optymalne wykorzystanie infrastruktury, personelu PS oraz utrzymanie SpW w możliwie najdłuższym czasie gotowości do użycia. Rozważanie tego

problemu pozwala również na określenie obciążenia obiektów BON w tym przede wszystkim stacji diagnostycznych i PS [129].



Rys. 8.7. Model estymowania czasu napraw i obsług. Opracowanie własne

### Model decyzyjny według kryterium kosztu

Kwestia zakresu realizacji obsługi, gdy sprzęt znajduje się w obsłudze/naprawie lub podjęcia decyzji w kwestii skierowania go do obsługi wymaga określenia kryteriów decyzyjnych. Jednym z kryteriów mogą być koszty. Kluczowym jest udzielenie odpowiedzi na pytanie: jaka jest relacja kosztów dostarczenia sprzętu w celu obsługi, a kosztem nie wykorzystania ресурсu międzyobsługowego lub jego wydłużenia. Poniżej wprowadzono parametry dotyczące rachunku kosztów:

$K_{NR}$  – koszt niewykorzystania ресурсu;

$K_O$  – koszt obsługi;

$R_M$  – ресурс międzyobsługowy;

$W_{RM}$  – wykorzystanie ресурсu międzyobsługowego;

$K_{PD}$  – koszt ponownego dostarczenia OT do PS;

$K_{WDiA}$  – koszt wytworzenia dokumentów i archiwizacji;

$K_{BD}$  – koszt badania diagnostycznego;

$K_{PS}$  – koszt podróży służbowej;

$K_{AD}$  – koszt awarii w drodze;

$K_E$  – koszt ewakuacji i dostarczenia do PS;

$K_{AZZ}$  – koszt alternatywnego zabezpieczenia zadania;

$$K_{NR} = K_O \cdot \left( \frac{R_M - W_{RM}}{R_M} \right) \quad (8.1)$$

$$K_{PD} = K_{WDiA} + K_{BD} + K_{PS} \quad (8.2)$$

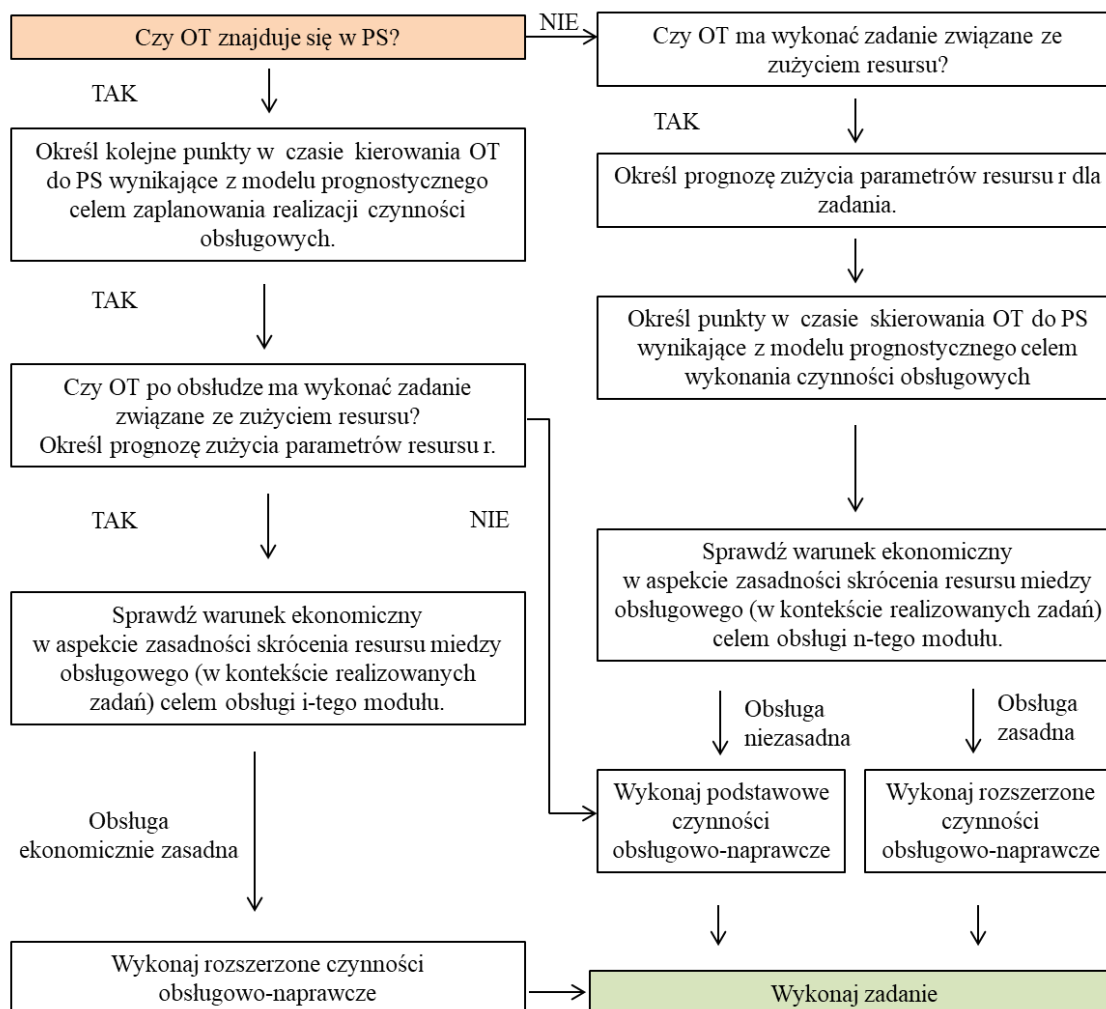
$$K_{AD} = K_E + K_{AZZ} \quad (8.3)$$

Model umożliwia wsparcie podjęcia decyzji określając zakres prac i termin kierowania OT do PS w odniesieniu do ресурсu międzyobsługowego. Można rozważać dwa warianty:

Jeżeli  $K_{PD} + K_{AD} \geq K_{NR}$  Zasadne jest rozszerzenie zakresu obsługowego. (8.4)

Jeżeli  $K_{PD} + K_{AD} \leq K_{NR}$  Rozszerzenie zakresu obsługowego może nastąpić w związku z potrzebą zabezpieczenia szkolenia lub bezpieczeństwa. (8.5)

Wykorzystanie powyższego modelu wymaga określenia dwóch terminów. Czasu rzeczywistego (bieżącego) i prognozy terminu zabiegów obsługowo-naprawczych. Dla przedziału czasowego należy wykonać analizę kosztów. W jednym przypadku rozważa się zasadność skracania ресурсu międzyobsługowego w związku z analizą kosztów celem podwyższenia prawdopodobieństwa realizacji zadania. W innym przypadku, gdy OT znajduje się w PS, należy rozważyć możliwość rozszerzenia pakietu obsługowo-naprawczego w ujęciu modelu kosztowego oraz strategii eksploatacji RCM. Zostało to przedstawione na rysunku (Rys. 8.8).



Rys. 8.8. Model decyzyjny realizacji zadań według kryterium kosztu. Opracowanie własne

Strategia eksploatacji według RCM to strategia skierowana na utrzymanie proaktywne. Nie zawsze będzie generowała dodatkowe koszty związane z wymienioną tśm (zapobieganie zniszczeniu części wymiennej). Część podzespołów może być kierowana do regeneracji, dzięki czemu będą mogły być ponownie wykorzystane (nie zostaną nadmiernie wyeksploatowane/zniszczone).

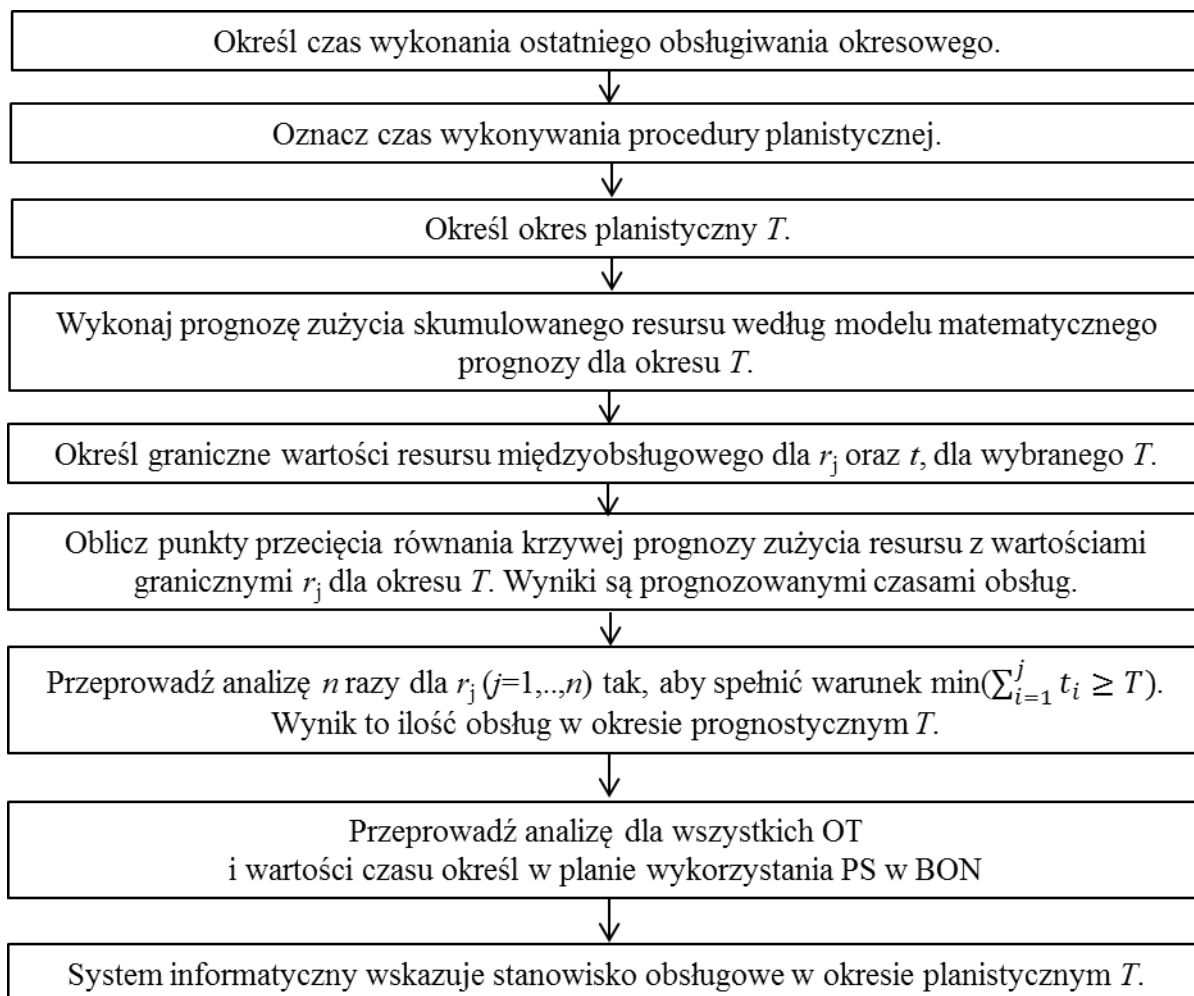
### **Określenie czasu kierowania OT do obsługi okresowej OO-*k***

W przypadku OT z grupy sprzętu techniki wojskowej wykorzystanie ресурсu  $r_j$  międzyobsługowego sprowadza się do określenia prognozy skumulowanego wykorzystania ресурсu i określenia przecięcia krzywej prognozy z granicznymi wartościami ресурсu  $r_j$ . Można to opisać w sposób następujący (Rys. 8.2):

1. Wykonanie opisu matematycznego prognozy kolejnych stanów skumulowanego ресурсu.
2. Określenie punktu przecięcia się krzywej prognozy z wartościami granicznymi ресурсu.
3. Zrzutowanie punktu przecięcia krzywych na oś poziomą prostokątnego układu współrzędnych i określenie czasu obsługi.
4. Wykonanie analizy z punktu trzy dla wszystkich parametrów określających wykorzystanie ресурсu w funkcji czasu.
5. Utworzenie wektora wartości czasu kierowania sprzętu do obsługi  $r_j = [r_1, r_2, \dots, r_n]$ .
6. Powyższe punkty określają czas skierowania sprzętu do obsługi. Jest to podstawa do podjęcia optymalnej decyzji eksploatacyjnej (skierowania SpW do PS).
7. Analiza na podstawie modelu decyzyjnego według kryterium kosztów.

### **Określenie liczby OO-*k* dla *i*-tego OT oraz grupy SpW dla zadanego *T***

Przeprowadzając planowanie potrzeb pozyskania środków na realizację obsługi dla floty SpW należy wykonać procedurę *Określenia czasu kierowania OT do obsługi okresowej OO-*k** dla całości parku maszyn – algorytm przedstawiono na rysunku (Rys. 8.9). Przeprowadzenie powyższego dla całości SpW daje podstawę do optymalnego określenia wielkości i struktury zapasu tśm w kontekście obsługi okresowych dowolnego rzędu w zadanym interwale planistycznym  $T$ , jak również w kontekście wyboru PS realizującego obsługę. Procedura określa również czas skierowania OT do PS, a zatem stanowi daną do tworzenia planów obsługowo-naprawczych. W konsekwencji wspiera zarządzanie personelem oraz parkiem maszyn. Analiza jest również istotna z punktu racjonalnego wykorzystania środków finansowych na zakup części zamiennych.



Rys. 8.9. Algorytm określenia liczby OO-k dla  $i$ -tego OT dla zadanego  $T$ . Opracowanie własne

### Określenie liczby NB $i$ -tego OT oraz grupy SpW dla zadanego $T$

Określenie liczby napraw jest zadaniem o tyle skomplikowanym, że wymaga, tak jak planowanie tśm w proponowanym modelu eksploatacji, użycia przestrzeni probabilistycznej, która wspomaga określenie czasu wystąpienia zjawiska z określonym prawdopodobieństwem<sup>39</sup>. Dokładność omawianego procesu będzie tym większa im większa będzie liczba danych wykorzystanych do budowania dystrybuant niezawodności OT, jego układów oraz części zamiennych (tśm), a także prognoz wykorzystania zasobów eksploatacyjnych. W odniesieniu do określenia potrzeb NB niezbędne jest określenie:

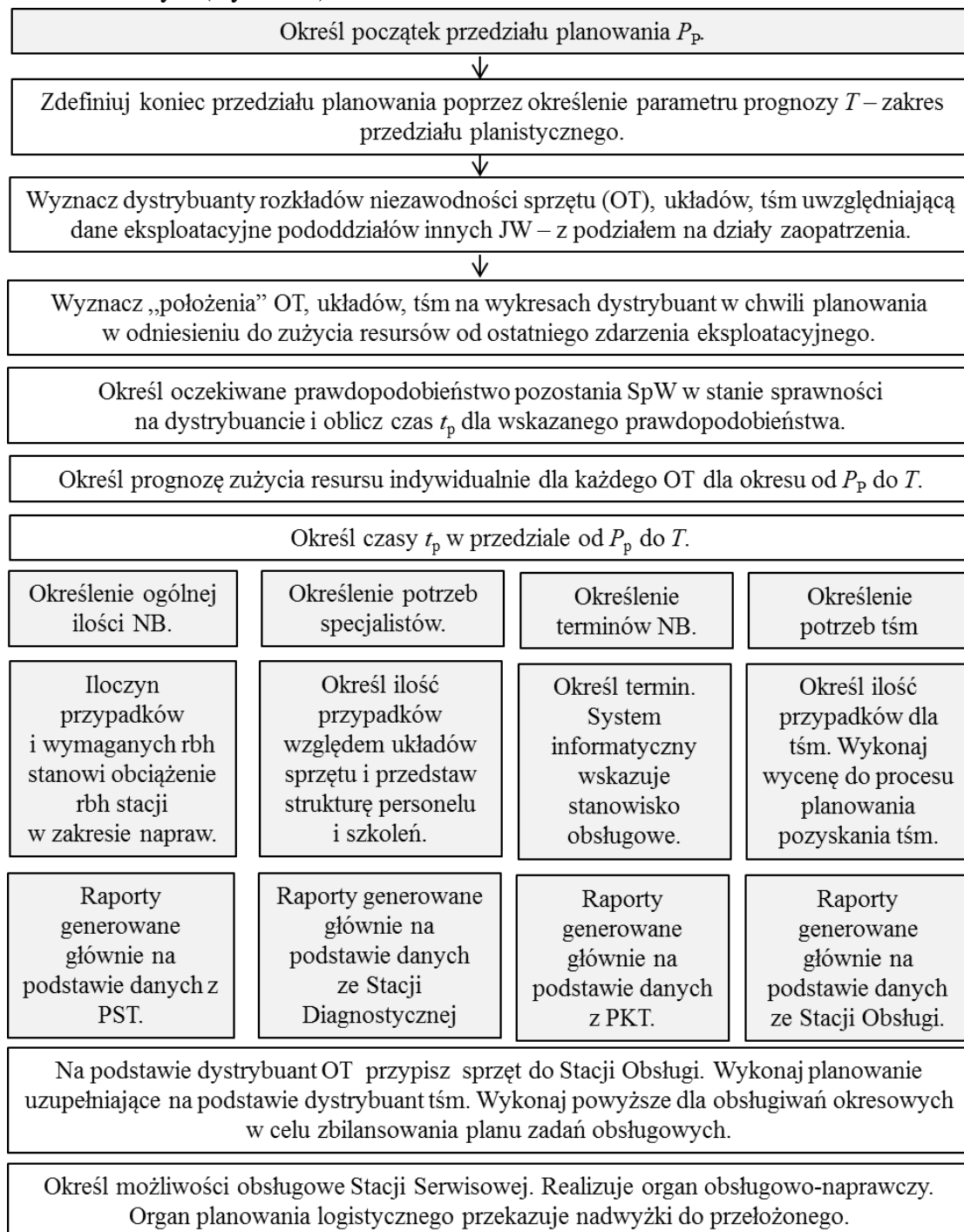
1. Dystrybuanty niezawodności OT i tśm oraz wartości prawdopodobieństwa, do której zakładamy możliwość eksploatacji sprzętu wojskowego.
2. Prognozy wykorzystania zasobów eksploatacyjnych  $r_j(t)$  i  $t$ .
3. Wartości parametru  $T$  (zakres prognozy – czas), dla której określa się potrzeby. Zależy on nie tylko od wewnętrznych procedur planistycznych SZ RP wynikających m.in. z rytmu planowania finansowego, ale również jest zależny od dystrybuanty czasu dostawy części zamiennych lub podzespołów od momentu zamówienia do chwili dostarczenia do

<sup>39</sup> Planowanie napraw realizują komórki planowania logistycznego, a przydział do PS wykonują organy remontowe począwszy od najniższych szczebli macierzystych pododdziałów. Docelowo czynności powyższe powinny być realizowane z wykorzystaniem Sztucznej Inteligencji.

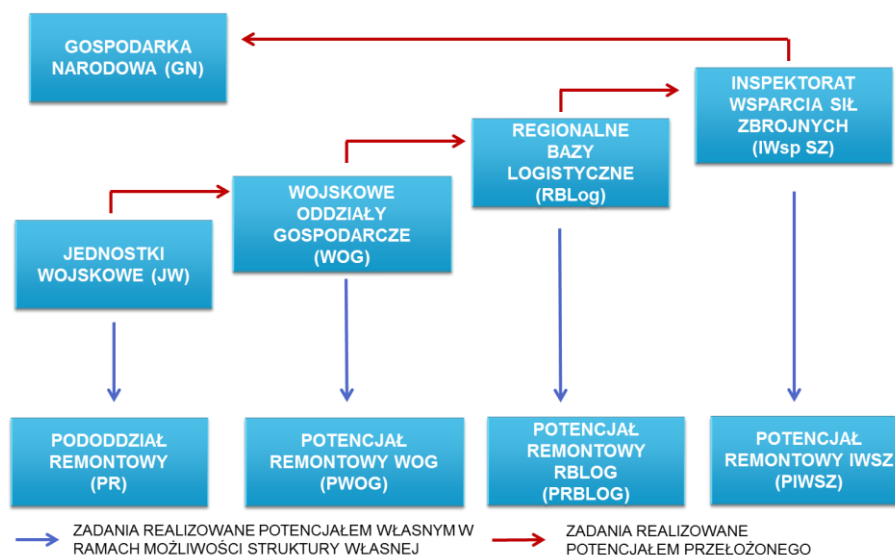


magazynu i zaewidencjonowania. Jest to istotne wtedy, gdy zaopatrzenie jest realizowane w ramach złożonych łańcuchów logistycznych, w szczególności zagranicznych. Zatem parametr  $T$  powinien być określony również na podstawie historii czasów realizacji dostaw.

Planowanie liczby NB jest niezbędne w celu dokonania oceny obciążenia elementów bazy O-N. Algorytm przedstawiono na rysunkach (Rys. 8.10, Rys. 8.11). Planowanie potrzeb tśm w oparciu o ich dystrybuanty powinno posłużyć do określenia optymalnych miejsc magazynowania części zamiennych. Całkowita liczba asortymentu powinna być określona na szczeblu centralnym (Rys. 6.47).



Rys. 8.10. Algorytm planowania NB, a także bilansowania potrzeb obsługowych. Opracowanie własne



Rys. 8.11. Realizacja zadań remontowych w ramach SZ RP – model. Opracowanie własne

Wykonanie powyższej procedury dla wszystkich OT w ramach analizowanej grupy SpW pozwoli określić ogólne potrzeby naprawcze (NB), oszacować terminy ich realizacji oraz potrzeby personelu. Uzupełnienie powyższego o potrzeby obsługowe daje obraz zbiorczych potrzeb obsługowo-naprawczych.

### Walidacja modelu zarządzania procesami obsługowo-naprawczymi w SON

Model zarządzania prognozowaniem procesów w systemie obsługowo-naprawczym, który stanowi podstawę do wykonania planowania potrzeb w systemie obsługowym wymaga prowadzenia okresowej walidacji. Po upływie zadanego okresu planistycznego  $T$  należy dokonać jego walidacji. Do oceny należy wykorzystać wskaźniki porównawcze wykonanych oraz zaplanowanych napraw i obsługiwań, a także zaplanowanych i wykorzystanych tśm.

Do oceny modelu powinny być wykorzystane następujące wskaźniki określone dla sprzętu obsługiwanego w ramach komórki organizacyjnej (Tab. 8.2):

Tab. 8.2. Wskaźniki walidacji. Opracowanie własne

Wskaźnik wykonania napraw bieżących	$W_{NB} = \frac{NB_{wykonane}}{NB_{prognozowane}}$	(8.1)
Wskaźnik błędu prognozy wykorzystania ресурсu SpW	$W_{BP} = \sum_{i=1}^n \frac{\sqrt{(y_{progi} - y_{emp_i})^2}}{y_{progi}}$	(8.2)
Wskaźnik wykonania obsługiwań okresowych k-tego rzędu	$W_{OO-k} = \frac{OO - k_{wykonane}}{OO - k_{prognozowane}}$	(8.3)
Wskaźnik wykorzystania (zużycia) tśm	$W_{tśm} = \frac{tśm_{wykorzystane}}{tśm_{prognozowane}}$	(8.4)
Wskaźnik czasu napraw	$W_t = \frac{t_{realizacji\ napraw}}{t_{prognozowane}}$	(8.5)
Współczynnik błędu prognozy terminów NB	$W_{BPNB} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{prognozy_i} - x_{faktyczne_i})}{n}$	(8.6)
Odchylenie standardowe współczynnika błędu prognozy terminu NB	$\sigma = \sqrt{\left( \frac{\sum_{i=1}^n (x_{prognozy_i} - W_{BPNB})}{n} \right)^2}$	(8.7)

Na zakończenie okresu planowania należy wykonać szacowanie wartości wskaźników. W zależności od wartości otrzymanych należy podjąć następujące korekty (Tab. 8.3):

Tab. 8.3. Działania korygujące procesów planistycznych. Opracowanie własne

Reguła	Wskaźnik	Reguła	Wynik	Działanie
Jeżeli	$W_{NB} = 1$	to	Parametry planistyczne określono właściwie.	-
Jeżeli	$W_{NB} < 1$	to	Zweryfikuj dobrane parametry.	Wykonaj dobór funkcji dla okresu $T$ na podstawie danych rzeczywistych. Rozważ użycie otrzymanej funkcji do kolejnego okresu planistycznego $T+1$ .
Jeżeli	$W_{NB} > 1$	to		
Jeżeli	$W_{BP} \cong 0$	to	Parametry planistyczne określono właściwie.	-
Jeżeli	$W_{BP} \gg 0$	to	Zweryfikuj dobrane parametry.	Wykonaj dobór funkcji dla okresu $T$ na podstawie danych rzeczywistych. Rozważ użycie otrzymanej funkcji do kolejnego okresu planistycznego $T+1$ .
Jeżeli	$W_{OO-k} = 1$	to	Parametry planistyczne określono właściwie.	-
Jeżeli	$W_{OO-k} \ll 1$	to	Zweryfikuj dobrane parametry.	Wykonaj dobór funkcji dla okresu $T$ na podstawie danych rzeczywistych. Rozważ użycie otrzymanej funkcji do kolejnego okresu planistycznego $T+1$ .
Jeżeli	$W_{OO-k} \gg 1$	to		
Jeżeli	$W_{t\acute{s}m} = 1$	to	Parametry planistyczne określono właściwie.	-
Jeżeli	$W_{t\acute{s}m} \ll 1$	to	Zweryfikuj dobrane parametry.	Wykonaj dobór funkcji dla okresu $T$ na podstawie danych rzeczywistych. Rozważ użycie otrzymanej funkcji do kolejnego okresu planistycznego $T+1$ .
Jeżeli	$W_{t\acute{s}m} \gg 1$	to		
Jeżeli	$W_t \leq 1$	to	Procesy w systemie przebiegają poprawnie.	-
Jeżeli	$W_t > 1$	to	Procesy w systemie wymagają kontroli.	Wymagana ingerencji w czynności planistyczne lub korekta zarządzania procesami.

Rezultatem implementacji przedstawionej koncepcji może być ukierunkowanie funkcjonowania zarządzania systemem obsługowo-naprawczym w sposób umożliwiający wykorzystanie komputerowych algorytmów wspierających przebieg realizacji zadań O-N, w tym według strategii RCM. Obecnie naturalną drogą rozwoju jest wykorzystanie tzw. sztucznej inteligencji do optymalizacji procesów.

## WNIOSKI KOŃCOWE ROZPRAWY

Rosnące wymagania w zakresie utrzymania wysokiego stopnia gotowości technicznej sprzętu wojskowego i wysokiego stopnia gotowości operacyjnej systemu obrony narodowej wymuszają ciągle doskonalenie i racjonalizację procesu gospodarowania wojskowym sprzętem technicznym. Skutecznym sposobem sprostania tym wymaganiom jest naukowa identyfikacja warunków funkcjonowania i przyczyn niedomagań systemu eksploatacji oraz podejmowanie uzasadnionych działań na podstawie rezultatów takiej oceny.

Realizacja pracy pozwoliła zgromadzić dane na temat eksploatacji sprzętu wojskowego i dokonać ich transformacji do postaci umożliwiającej doskonalenie wspomagania procesów eksploatacji sprzętu wojskowego, m.in. poprzez ocenę procesów zachodzących w systemie obsługowo-naprawczym (O-N). W pracy przedstawiono koncepcję zarządzania eksploatacją sprzętu wojskowego według strategii RCM, z wykorzystaniem rozwiązań statystycznych oraz wykonywania prognoz zużycia rewersów eksploatacyjnych sprzętu wojskowego na potrzeby planowania jego użytkowania i obsługi oraz obciążenia stacji obsługowo-naprawczych Sił Zbrojnych z wykorzystaniem centralnych baz danych. Wykonane badania i przeprowadzone na ich bazie analizy pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. W wyniku realizacji pracy skutecznie przygotowano i zrealizowano procedury doświadczalne pozyskiwania, gromadzenia, przetwarzania i modelowania statystycznego danych o eksploatacji sprzętu wojskowego w zakresie:
  - oceny własnych doświadczeń zawodowych i wywiadów eksperckich,
  - badania ankietowego grup ekspertów,
  - analizy tradycyjnej (papierowej) dokumentacji eksploatacyjnej jednostek wojskowych i Wojskowych Oddziałów Gospodarczych,
  - analizy danych zgromadzonych w Zintegrowanym Wieloszczeblowym Systemie Informatycznym Resortu Obrony Narodowej,
  - analizy, z wykorzystaniem modeli, w zakresie stanów magazynowych i oceny gospodarowania częściami zamiennymi.
2. Modele poprawności działania, występowania uszkodzeń sprzętu wojskowego, są różne w zakresie typu bądź parametrów rozkładów dla trzech różnych miar zużycia rewersu tego sprzętu: czasu, przebiegu kilometrów, liczby motogodzin pracy. Charakterystyki te powinny być zatem zróżnicowane i w takim ujęciu stosowane dla sprzętu wojskowego i innych obszarów działalności człowieka, w których użycie sprzętu ma charakter okresowy – akcyjny.
3. Wyniki przeprowadzonej ankiety i dokonane analizy wskazują, że dane eksploatacyjne gromadzone w Podsystemie Wsparcia Eksploatacji ZWSI RON umożliwiają prowadzenie badań niezawodności SpW, określenie czasu obsługi i napraw, a także kosztów ich realizacji. Przy tym jednak nie spełniają oczekiwań dowódców – bezpośrednich użytkowników i eksploatorów sprzętu wojskowego, nie są przydatne dla zarządzania eksploatacją, a przede wszystkim nie są dostępne dla bezpośrednich eksploatorów i służb technicznych w zakresie utrzymywania stanu sprzętu.
4. Na ogół właściwym modelem niezawodności badanego sprzętu wojskowego, w tym sprzętu podstawowego KTO ROSOMAK, jest rozkład wykładniczy, zwłaszcza dla miary zużycia rewersu – czas. W innych przypadkach adekwatnym modelem jest rozkład

Weibulla. Ten wniosek potwierdza także dokonana analiza wyników badań innych Autorów w zakresie modeli i modelowania niezawodności sprzętu wojskowego.

5. Występują istotne zakłócenia funkcjonowania wojskowego systemu obsług i napraw sprzętu warunkujące intensywność obsługi oraz długotrwałe przestoje sprzętu w systemie obsługi. Głównymi czynnikami powodującymi brak możliwości dokonania naprawy bez zbędnej zwłoki, które mają istotny wpływ na wydłużenie czasu obsług i napraw, są: niewłaściwe planowanie zapasów części zamiennych, konieczność przestrzegania zasad prawa zamówień publicznych, w tym zakresie także długi okres obiegu dokumentów o charakterze papierowym, procedury ich przetwarzania i podejmowania decyzji.
6. Zarządzanie zasobami technicznych środków materiałowych w odniesieniu do zasadniczych systemów uzbrojenia, zespołów, części o dużej wartości jednostkowej powinno odbywać się na szczeblu centralnym struktury sił zbrojnych, przy wykorzystaniu niezbędnych danych eksploatacyjnych, możliwych do uzyskania na podstawie kompleksowych badań niezawodności, przy zastosowaniu modeli właściwych dla różnych grup sprzętu i elementów ich struktury, a zatem traktowaniu każdego egzemplarza sprzętu wojskowego jako systemu.
7. Istnieje potrzeba wdrożenia do praktyki eksploatacji sprzętu wojskowego zasad strategii RCM – Reliability Centered Maintenance i sterowania szeroko pojętą eksploatacją z wykorzystaniem zasad tej strategii i zastosowaniem modeli uszkodzeń na poziomie struktury obiektów dotyczących układów, zespołów, elementów.
8. Jest możliwe, na bazie zrealizowanej rozprawy i uzyskanych wyników analizy badań eksploatacyjnych sprzętu wojskowego, podjęcie starań wdrożenia w systemie eksploatacji sprzętu w Resorcie Obrony Narodowej proponowanych rozwiązań, szczególnie w zakresie rozbudowy systemu informacyjnego eksploatacji w kierunku jego modeli danych, zakresu merytorycznego i strukturalnego.
9. Wyniki analizy wskazują na potrzebę utworzenia laboratorium dydaktyczno-naukowego dla pracowników i studentów Wydziału Inżynierii Mechanicznej WAT w obszarze badań niezawodności i procesów towarzyszących obsłudze i naprawom, szczególnie sprzętu wojskowego techniki lądowej, z dostępem do Podsystemu Wsparcia Eksploatacji ZWSI RON.
10. Proponuje się dalszy rozwój pracy w ramach projektu naukowo-badawczego w celu opracowania modułu komputerowego wspomaganie eksploatacji według RCM na różnych szczeblach struktury organizacyjnej pionu technicznego Sił Zbrojnych.

## SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1.1. Koncepcja systemu – na podstawie AAP-20, NATO Programme Management Framework .....	12
Rys. 1.2. Etapy cyklu życia systemu. Opracowanie na podstawie AAP-20 .....	13
Rys. 1.3. Ramowe dokumenty zarządzania cyklem życia systemu [NATO - AAP-20].....	15
Rys. 1.4. Elementy etapu programu. Opracowanie na podstawie AAP-20.....	15
Rys. 1.5. Procedura Modyfikacji/Modernizacji - etap użytkowania [AAP-20] .....	18
Rys. 1.6. Procesy w cyklu życia systemu [ISO/IEC 15288].....	19
Rys. 1.7. Opcje Utrzymania (Maintenance Options). Na podstawie projektu AAP-48 edycja C .....	22
Rys. 1.8. Piramida relacji: systemu uzbrojenia - bezpieczeństwo. Opracowanie własne .....	25
Rys. 2.1. Model sieciocentrycznej architektury [] .....	28
Rys. 2.2. Informacja w procesie decyzyjnym. Opracowanie własne .....	29
Rys. 2.3. Uogólniona struktura WOG. Opracowanie własne .....	34
Rys. 2.4. Uogólniona struktura RBLog. Opracowanie własne .....	35
Rys. 2.5. Uogólniona struktura IWsp SZ. Opracowanie własne.....	35
Rys. 2.6. Czynniki determinujące gotowość operacyjną [, ].....	38
Rys. 2.7. Sieci komputerowe RON .....	38
Rys. 2.8. Rytm pracy GZLog, ZD i ZP SD [].....	39
Rys. 4.1. Okresy rozwoju i odpowiadające im trzy koncepcje utrzymania maszyn [] .....	43
Rys. 4.2. Proces pozyskiwania wiedzy z baz danych [] .....	50
Rys. 4.3. Funkcja przynależności typu „singleton”.....	57
Rys. 4.4. Funkcja przynależności typu „trójkątna” .....	57
Rys. 4.5. Funkcja przynależności typu „trapez” .....	57
Rys. 4.6. Gaussowska funkcja przynależności .....	58
Rys. 4.7. Dzwonowa funkcja przynależności .....	58
Rys. 4.8. Sigmoidalna funkcja przynależności .....	58
Rys. 4.9. Generalny schemat wnioskowania rozmytego. Opracowanie własne.....	62
Rys. 4.10. Defuzyfikacja metodą środka maksimum .....	62
Rys. 4.11. Defuzyfikacja metodą pierwszego maksimum .....	63
Rys. 4.12. Defuzyfikacja metodą ostatniego maksimum.....	63
Rys. 4.13. Defuzyfikacja metodą środka ciężkości.....	63
Rys. 4.14. Podział grup zapasów w myśl zasady ABC/XYZ .....	64
Rys. 4.15. Zasada Pareto .....	64
Rys. 4.16. Funkcja zawodności $F(t)$ i funkcja niezawodności $R(t)$ obiektu technicznego.....	67
Rys. 4.17. Dystrybuanta rozkładu wykładniczego. Opracowanie własne .....	70
Rys. 4.18. Funkcja gęstości prawdopodobieństwa rozkładu wykładniczego. Opracowanie własne .....	70
Rys. 4.19. Wykres funkcji intensywności uszkodzeń RW dla wsp. skali $b = 1$ i wartości $a$ .....	71
Rys. 4.20. Dystrybuanta RW dla wybranych wartości $a$ oraz skali ( $b = 1$ ) .....	71
Rys. 4.21. Funkcja gęstości prawd. Weibulla dla wybranych wart. wsp. kształtu ( $b = 1$ ) i skali.....	71
Rys. 4.22. Funkcja gęstości prawd. RN. Dla wartości oczekiwanej 5.....	71
Rys. 4.23. Dystrybuanta RN dla wart. oczek. = 5 .....	72
Rys. 4.24. Asymptota funkcji intensywności uszkodzeń RN. Wart. oczek. wynosi 5 .....	72
Rys. 5.1. Algorytm działania modułu służącego do wykonania badań wstępnych. Opracowanie własne.....	79
Rys. 5.2. Przebieg empirycznej funkcji $F(l)$ badanych samochodów. Opracowanie własne.....	81
Rys. 5.3. Przebieg empirycznej funkcji $F(t)$ samochodów w funkcji czasu. Opracowanie własne.....	81
Rys. 5.4. Histogram rzeczywistego i całkowitego czasu naprawy. Opracowanie własne .....	82
Rys. 5.5. Histogram rzeczywistego i całkowitego czasu naprawy. Opracowanie własne .....	82
Rys. 5.6. Dystrybuanty zawodności samochodów osobowych dla resursu w km. Opracowanie własne .....	83
Rys. 5.7. Dystrybuanty zawodności samochodów osobowych dla resursu w dniach. Opracowanie własne.....	84
Rys. 5.8. Dystrybuanty zawodności samochodów dostawczych dla resursu w km. Opracowanie własne.....	84
Rys. 5.9. Dystrybuanty zawodności samochodów dostawczych dla resursu w dniach. Opracowanie własne.....	85
Rys. 5.10. Wykres Ishikawy – zależności w systemie O-N. Opracowanie własne .....	87
Rys. 5.11. Przynależność respondentów do Rodzajów Sił Zbrojnych. Opracowanie własne.....	95

Rys. 5.12. Rodzaj SpW eksploatowanego w JW respondentów. Opracowanie własne.....	95
Rys. 5.13. Porównanie wyników odpowiedzi w pytaniach od nr 1 do nr 6. Opracowanie własne .....	96
Rys. 5.14. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 1 do nr 6. WLąd. Opracowanie własne.....	97
Rys. 5.15. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 1 do nr 6. SP. Opracowanie własne .....	97
Rys. 5.16. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 1 do nr 6. WOT. Opracowanie własne.....	97
Rys. 5.17. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 1 do nr 6. Pozostałe JW. Opracowanie własne..	97
Rys. 5.18. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 7 do nr 9. Opracowanie własne .....	98
Rys. 5.19. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 7 do nr 9. WLąd. Opracowanie własne .....	100
Rys. 5.20. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 7 do nr 9. SP. Opracowanie własne .....	100
Rys. 5.21. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 7 do nr 9. IWsp SZ. Opracowanie własne.....	100
Rys. 5.22. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 7 do nr 9. Pozostałe JW. Opracowanie własne.	100
Rys. 5.23. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 10 do nr 12. Opracowanie własne .....	101
Rys. 5.24. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania 10 – 12. WLąd. Opracowanie własne.....	102
Rys. 5.25. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania 10 – 12. SP. Opracowanie własne .....	102
Rys. 5.26. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania 10 – 12. IWsp SZ. Opracowanie własne.....	102
Rys. 5.27. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania 10 – 12. Inne JW. Opracowanie własne.....	102
Rys. 5.28. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania – JW. Opracowanie własne.....	103
Rys. 5.29. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania – Inna JW. Opracowanie własne.....	103
Rys. 5.30. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania – WOG. Opracowanie własne.....	103
Rys. 5.31. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania – Dowództwo RSZ. Opracowanie własne .....	103
Rys. 5.32. Porównanie wyników odpowiedzi na pytania od nr 24 do nr 27. Opracowanie własne .....	105
Rys. 5.33. Odpowiedzi w pytaniach od nr 24 do nr 27. WLąd. Opracowanie własne.....	106
Rys. 5.34. Odpowiedzi w pytaniach od nr 24 do nr 27. SP. Opracowanie własne.....	106
Rys. 5.35. Odpowiedzi w pytaniach od nr 24 do nr 27. JW ogólnowojskowa. Opracowanie własne .....	106
Rys. 5.36. Odpowiedzi w pytaniach od nr 24 do nr 27. Dowództwo RSZ Opracowanie własne.....	106
Rys. 5.37. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 13. Opracowanie własne.....	107
Rys. 5.38. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 13. JW ogólnowojskowa. Opracowanie własne ....	109
Rys. 5.39. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 13. Pozostałe JW. Opracowanie własne .....	109
Rys. 5.40. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 13. WOG. Opracowanie własne.....	109
Rys. 5.41. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 13. Dowództwa RSZ. Opracowanie własne.....	109
Rys. 5.42. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 14. Opracowanie własne.....	110
Rys. 5.43. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 14. JW ogólnowojskowa. Opracowanie własne ....	111
Rys. 5.44. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 14. Pozostałe JW. Opracowanie własne .....	111
Rys. 5.45. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 14. WOG. Opracowanie własne.....	111
Rys. 5.46. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 14. Dowództwa RSZ. Opracowanie własne.....	111
Rys. 5.47. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 15 .....	112
Rys. 5.48. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 15. JW ogólnowojskowa. Opracowanie własne ....	114
Rys. 5.49. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 15. Inna JW. Opracowanie własne .....	114
Rys. 5.50. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 15. WOG. Opracowanie własne.....	114
Rys. 5.51. Porównanie wyników odpowiedzi na pytanie nr 15. Dowództwo RSZ. Opracowanie własne .....	114
Rys. 5.52. Pytanie 13 – respondenci WLąd. Opracowanie własne .....	115
Rys. 5.53. Pytanie 14 – respondenci IWsp SZ. Opracowanie własne .....	115
Rys. 5.54. Pytanie nr 15 – respondencji IWsp SZ. Opracowanie własne .....	115
Rys. 5.55. Diagram Ishikawy wskazujący wpływ czynników na system O-N. Opracowanie własne.....	116
Rys. 5.56. Graficzna postać macierzy korelacji. Łączne dane dla grup. Opracowanie własne.....	117
Rys. 5.57. Graficzna postać macierzy korelacji. Druga grupa ekspertów. Opracowanie własne .....	117
Rys. 5.58. Korelacja pytań 13e oraz 13d, $r = 0,55$ . Opracowanie własne .....	118
Rys. 5.59. Korelacja pytań 27 (sieć niejawna) oraz 26 (sieć jawna), $r = 0,64$ . Opracowanie własne.....	119
Rys. 5.60. Korelacja pytań 14c oraz 13c, $r = 0,56$ . Opracowanie własne.....	119
Rys. 5.61. Korelacja pytań 14e oraz 14d, $r = 0,53$ . Opracowanie własne .....	120
Rys. 5.62. Regulator rozmyty opracowany w MATLAB .....	122
Rys. 5.63. Funkcje przynależności sygnału „czas obiegu dokumentów - DK”. Opracowanie własne.....	123
Rys. 5.64. Funkcje przynależności sygnału „dostępność części zamiennych - TSM”. Opracowanie własne.....	123

Rys. 5.65. Funkcje przynależności sygnału „procedury zamówień publicznych PZP”. Opracowanie własne ...	123
Rys. 5.66. Funkcje przynależności sygnału wyjściowego PNBZZ. Opracowanie własne .....	124
Rys. 5.67. Widok regulatora wnioskowania w oprogramowaniu MATLAB. Opracowanie własne .....	126
Rys. 5.68. Zależność PNBZZ od dostępności tśm oraz czasu procedury PZP. Opracowanie własne .....	127
Rys. 5.69. Zależność PNBZZ od dostępności tśm oraz czasu obiegu DK. Opracowanie własne .....	128
Rys. 5.70. Zależność PNBZZ od czasu procedur PZP oraz obiegu DK. Opracowanie własne.....	128
Rys. 5.71. Model zarządzania wykorzystaniem stanowisk O-N serwisu. Opracowanie własne.....	129
Rys. 6.1. Zestawienie danych wykorzystanych do dalszej analizy. Opracowanie własne.....	131
Rys. 6.2. Histogram uszkodzeń, parametr dni, rozkład normalny. Opracowanie własne .....	132
Rys. 6.3. Histogram uszkodzeń, parametr km, rozkład wykładniczy. Opracowanie własne .....	133
Rys. 6.4. Histogram uszkodzeń, parametr mtg, rozkład wykładniczy. Opracowanie własne .....	133
Rys. 6.5. Wykres korelacji miar resursu uzyskanych w ramach analizy PST. Opracowanie własne .....	134
Rys. 6.6. Liczba zdarzeń w odniesieniu do rocznika produkcji. Opracowanie własne .....	135
Rys. 6.7. Liczba pojazdów w badaniu.....	136
Rys. 6.8. Liczba zdarzeń wielokrotnych .....	136
Rys. 6.9. Wykres porównawczy LZW, LR, LU. Opracowanie własne.....	136
Rys. 6.10. Liczba zdarzeń eksploatacyjnych użytych w badaniach. Opracowanie własne.....	137
Rys. 6.11. Dane pozyskane na podstawie wszystkich zleceń naprawy. Opracowanie własne.....	137
Rys. 6.12. Dane pozostawione do dalszej analizy. Opracowanie własne .....	138
Rys. 6.13. Wykres wykorzystania średniego jednostkowego zapasu resursu. Opracowanie własne .....	139
Rys. 6.14. Wykres wykorzystania średniego jednostkowego zapasu resursu. Opracowanie własne .....	139
Rys. 6.15. Wykres wykorzystania średniego jednostkowego zapasu resursu. Opracowanie własne .....	139
Rys. 6.16. Intensywność uszkodzeń - dla parametru resursu t (dzień). Opracowanie własne .....	140
Rys. 6.17. Intensywność uszkodzeń - dla parametru resursu l (km). Opracowanie własne.....	140
Rys. 6.18. Intensywność uszkodzeń - dla parametru resursu m (mtg). Opracowanie własne.....	140
Rys. 6.19. Rozkład czasów napraw KTO Rosomak w zależności od daty produkcji. Opracowanie własne.....	141
Rys. 6.20. Rozkład kosztów napraw KTO Rosomak w zależności od daty produkcji. Opracowanie własne.....	141
Rys. 6.21. Histogram uszkodzeń SpW dla parametru dni i roku produkcji 2008. Opracowanie własne .....	143
Rys. 6.22. Histogram uszkodzeń SpW dla parametru km i roku produkcji 2010. Opracowanie własne .....	143
Rys. 6.23. Histogram uszkodzeń SpW dla parametru mtg i roku produkcji 2011. Opracowanie własne .....	144
Rys. 6.24. Dystrybuanta rozkładu Weibulla, rok 2005, parametr dni. Opracowanie własne.....	146
Rys. 6.25. Dystrybuanta rozkładu Weibulla, rok 2005, parametr mtg. Opracowanie własne.....	146
Rys. 6.26. Dystrybuanta rozkładu Weibulla, rok 2009, miara resursu km. Opracowanie własne.....	147
Rys. 6.27. Wykres rozrzutu wykorzystania motogodzin dla wybranego SpW. Opracowanie własne.....	147
Rys. 6.28. Wykres rozrzutu wykorzystania kilometrów dla wybranego SpW. Opracowanie własne .....	148
Rys. 6.29. Liczba użyć SpW z grupy rocznika produkcji 2005. Opracowanie własne.....	148
Rys. 6.30. Liczba użyć SpW z grupy rocznika produkcji 2009. Opracowanie własne.....	149
Rys. 6.31. Zbiorcza charakterystyka wykorzystania resursu (mtg) – rok prod. 2005. Opracowanie własne.....	149
Rys. 6.32. Zbiorcza charakterystyka wykorzystania resursu (km) – rok prod. 2009. Opracowanie własne.....	150
Rys. 6.33. Wykres kwantylowy rozkładu Weibulla – parametr dni. Opracowanie własne .....	150
Rys. 6.34. Wykres kwantylowy rozkładu Weibulla – parametr km. Opracowanie własne .....	151
Rys. 6.35. Wykres kwantylowy rozkładu Weibulla – parametr mtg. Opracowanie własne .....	151
Rys. 6.36. Wykres korelacji parametrów uzyskanych z ZWSI RON. Opracowanie własne .....	154
Rys. 6.37. Wykres Pareto dla losowo wybranego do badania części zamiennych. Opracowanie własne .....	157
Rys. 6.38. Przebieg zmian szeregu czasowego ilości asortymentu - grupa A. Opracowanie własne .....	157
Rys. 6.39. Przebieg zmian szeregu czasowego wartości asortymentu - grupa A. Opracowanie własne .....	158
Rys. 6.40. Przebieg zmian szeregu czasowego ilości asortymentu - grupa B. Opracowanie własne .....	158
Rys. 6.41. Przebieg zmian szeregu czasowego wartości asortymentu - grupa B. Opracowanie własne.....	158
Rys. 6.42. Przebieg zmian szeregu czasowego ilości asortymentu - grupa C. Opracowanie własne .....	159
Rys. 6.43. Przebieg zmian szeregu czasowego wartości asortymentu - grupa C. Opracowanie własne.....	159
Rys. 6.44. Przebieg zmian szeregu czasowego ilości asortymentu - grupa C. Opracowanie własne .....	159
Rys. 6.45. Przebieg zmian szeregu czasowego wartości asortymentu - grupa C. Opracowanie własne.....	160
Rys. 6.46. Wykresy stanów magazynowych tśm w kwartałach. Opracowanie własne .....	162



Rys. 6.47. Określenie czasu złożenia zamówienia tśm. Opracowanie własne .....	164
Rys. 6.48. Algorytm wyznaczenia czasu określania potrzeb tśm w magazynie. Opracowanie własne .....	165
Rys. 6.49. Zestawienie wartości tśm przekazywanych poza Siły Zbrojne. Opracowanie własne .....	167
Rys. 6.50. Analiza ABC dla całości asortymentu tśm. Opracowanie własne .....	167
Rys. 7.1. Uogólniony schemat struktury organizacyjnej podsystemu technicznego. Opracowanie własne .....	170
Rys. 7.2. Wsparcie PT przez podmioty PPO. Analiza i opracowanie własne.....	170
Rys. 7.3. Ideowy model połączenia struktur logistycznych i operacyjnych. Opracowanie własne.....	172
Rys. 7.4. Ogólna struktura pojazdu eksploatowanego w SZ RP. Opracowanie własne .....	173
Rys. 7.5. Proces decyzyjny z elektronicznym obiegiem dokumentów. Opracowanie własne .....	176
Rys. 7.6. Uogólniona koncepcja obiegu informacji w PST JW. Opracowanie własne .....	177
Rys. 7.7. Wykorzystanie danych eksploatacyjnych do zarządzania. Opracowanie własne .....	183
Rys. 7.8. Elektroniczny obieg Protokołu Stanu Technicznego. Podstawa DU-4.22.13(a) [] .....	193
Rys. 7.9. Elektroniczny obieg Protokołu Stanu Technicznego e-PST. Opracowanie własne.....	193
Rys. 7.10. Elektroniczny obieg Karty Usługi Technicznej, e-KUT. Opracowanie własne.....	194
Rys. 7.11. Elektroniczny obieg „Wniosku na zakup doraźny tśm”, e-PZP. Opracowanie własne.....	194
Rys. 7.12. Czasy cząstkowe odnowy SpW – w aspekcie efektywności procedur [] .....	197
Rys. 7.13. Koncepcja prognozowania potrzeb produkcyjnych. Opracowanie własne .....	198
Rys. 8.1. Ogólny algorytm oceny gotowości SpW według koncepcji RCM. Opracowanie własne.....	200
Rys. 8.2. Prognoza zużycia ресурсu dla dwóch pojazdów. Opracowanie własne.....	202
Rys. 8.3. Dystrybuanta uszkodzeń w funkcji zmiany ресурсu $\Delta r_j$ między zdarzeniami eksploatacyjnymi .....	204
Rys. 8.4. Dystrybuanta uszkodzeń w funkcji zmiany ресурсu $\Delta t$ między zdarzeniami eksploatacyjnymi .....	204
Rys. 8.5. Prognoza skumulowanego zużycia ресурсu od ostatniego zdarzenia eksploatacyjnego $\Delta r_j(t)$ .....	204
Rys. 8.6. Prognoza skumulowanego zużycia ресурсu od ostatniego zdarzenia eksploatacyjnego $t(t)$ .....	204
Rys. 8.7. Model estymowania czasu napraw i obsługi. Opracowanie własne .....	205
Rys. 8.8. Model decyzyjny realizacji zadań według kryterium kosztu. Opracowanie własne .....	206
Rys. 8.9. Algorytm określenia liczby OO- <i>k</i> dla <i>i</i> -tego OT dla zadanego <i>T</i> . Opracowanie własne.....	208
Rys. 8.10. Algorytm planowania NB, a także bilansowania potrzeb obsługowych. Opracowanie własne.....	209
Rys. 8.11. Realizacja zadań remontowych w ramach SZ RP – model. Opracowanie własne.....	210

## SPIS TABEL

Tab. 2.1. Ocena sprawności i utrzymania czołgu. Opracowanie własne .....	37
Tab. 3.1. Algorytm realizacji pracy .....	42
Tab. 4.1. Klasyfikacja technik badawczych. ....	52
Tab. 4.2. Postać <i>S</i> -normy najczęściej wykorzystywana w analizie zbiorów rozmytych .....	60
Tab. 4.3. Postać <i>T</i> -normy najczęściej wykorzystywana w analizie zbiorów rozmytych .....	61
Tab. 5.1. Informacje o badanym SpW.....	80
Tab. 5.2. Parametry uszkodzeń samochodów osobowych.....	80
Tab. 5.3. Parametry uszkodzeń samochodów dostawczych .....	80
Tab. 5.4. Parametry naprawy samochodów osobowych.....	81
Tab. 5.5. Parametry naprawy samochodów dostawczych .....	81
Tab. 5.6. Wynik testu chi kwadrat. Samochody osobowe – km. Opracowanie własne.....	83
Tab. 5.7. Wynik testu chi kwadrat. Samochody osobowe – dni. Opracowanie własne.....	83
Tab. 5.8. Wynik testu chi kwadrat. Samochody dostawcze – km. Opracowanie własne.....	84
Tab. 5.9. Wynik testu chi kwadrat. Samochody dostawcze – dni. Opracowanie własne.....	85
Tab. 5.10. Ranking odpowiedzi. Opracowanie własne .....	92
Tab. 5.11. Wybrane statystyki opisowe pytań ankiety. Warianty dotyczą pytania nr 19. Opracowanie własne...	93
Tab. 5.12. Zestawienie odpowiedzi respondentów na pytania od 1 do 6. Opracowanie własne .....	96
Tab. 5.13. Zestawienia odpowiedzi respondentów na pytania od 7 do 9. Opracowanie własne .....	98
Tab. 5.14. Zestawienie odpowiedzi respondentów na pytania od 10 do 12. Opracowanie własne .....	101
Tab. 5.15. Zestawienie odpowiedzi respondentów na pytania od 24 do 27. Opracowanie własne .....	105
Tab. 5.16. Zestawienie odpowiedzi respondentów na pytanie 13. Opracowanie własne .....	108
Tab. 5.17. Zestawienie odpowiedzi respondentów na pytanie 14. Opracowanie własne .....	110
Tab. 5.18. Zestawienie odpowiedzi respondentów na pytanie 15. Opracowanie własne .....	112
Tab. 5.19. Reguły wnioskowania wykorzystane w modelu wykonywania zadań O-N.....	125
Tab. 6.1. Zestawienie ilości dokumentów poddanych analizie. Opracowanie własne .....	131
Tab. 6.2. Statystyki opisowe analizowanej próby pojazdów. Opracowanie własne.....	132
Tab. 6.3. Ilość uszkodzeń układów SpW.....	134
Tab. 6.4. Statystyki opisowe uszkodzeń oraz wyniki testu Chi kwadrat. Opracowanie własne.....	142
Tab. 6.5. Dopasowanie rozkładów empirycznych do rozkładu Weibulla. Opracowanie własne .....	145
Tab. 6.6. Badanie zgodności rozkładu empirycznego. Rok 2004, parametr dni. Opracowanie własne.....	152
Tab. 6.7. Badanie zgodności rozkładu empirycznego. Rok 2004, parametr km. Opracowanie własne.....	152
Tab. 6.8. Badanie zgodności rozkładu empirycznego. Rok 2008, parametr dni. Opracowanie własne.....	153
Tab. 6.9. Badanie zgodności rozkładu empirycznego. Rok 2008, parametr mtg. Opracowanie własne.....	153
Tab. 6.10. Stany magazynowe. Opracowanie własne .....	156
Tab. 6.11. Tabela wyników wykorzystana do zbudowania wykresu Pareto. Opracowanie własne .....	156
Tab. 6.12. Analiza ABC/XYZ dla grypy tśm. Opracowanie własne.....	160
Tab. 6.13. Określenie istotności statystycznej oraz korelacji dla tśm. Opracowanie własne.....	161
Tab. 6.14. Zależności korelacji poziomu stanów magazynowych w kwartałach. Opracowanie własne .....	163
Tab. 6.15. Podział tśm według grupy ABC oraz możliwość ich prognozowania. Opracowanie własne .....	163
Tab. 6.16. Ilość asortymentu – jednostka nadrzędna. Opracowanie własne.....	165
Tab. 6.17. Ilość asortymentu – jednostka podległa A. Opracowanie własne.....	166
Tab. 6.18. Ilość asortymentu – jednostka podległa B. Opracowanie własne .....	166
Tab. 6.19. Ilość asortymentu – jednostka podległa C. Opracowanie własne .....	166
Tab. 6.20. Ilość asortymentu za – jednostka podległa D, E, F – kategoria 5. Opracowanie własne.....	166
Tab. 7.1. Struktura raportu – zdarzenia nieplanowe. Opracowanie własne .....	190
Tab. 7.2. Struktura raportu – zdarzenia planowe. Opracowanie własne.....	191
Tab. 7.3. Struktura raportu – zdarzenia wymiany tśm. Opracowanie własne.....	192
Tab. 8.1. Porównanie mocnych i słabych stron koncepcji RCM. Opracowanie własne.....	201
Tab. 8.2. Wskaźniki walidacji. Opracowanie własne.....	210
Tab. 8.3. Działania korygujące procesów planistycznych. Opracowanie własne .....	211

## WYKAZ LITERATURY

---

- [1] Niziński S., Rychlik A., Modelowanie diagnostyczne złożonego obiektu technicznego, *Biuletyn WAT*, Vol. LX, Nr1, 2011.
- [2] Wysocki R., *Efektywne zarządzanie projektami*, Helion, Gliwice, 2013.
- [3] Jones R., *Zarządzanie projektami*, Warszawa, 2007.
- [4] Charles S. Wasson, *System Analysis, Design and Development, Concepts, Principles, and Practises*, 2006.
- [5] AAP-20 NATO Programme Management Framework (NATO Life Cycle Model).
- [6] Norma międzynarodowa ISO/IEC/IEEE 15288. Inżynieria systemów i oprogramowania – Procesy w cyklu życia systemu. Wydanie 2015 r.
- [7] Międzynarodowa Rada ds. Inżynierii Systemów (International Council on Systems Engineering, INCOSE). *Systems engineering Handbook. Fourth Edition*, Wiley, 2015.
- [8] AAP-48, *Procesy Cyklu Życia Systemu NATO*, Organizacja Traktatu Północnoatlantyckiego.
- [9] STANAG 4728 *System Life Cycle Management*. Published by “The NATO Standardization office (NSO)”, 2015.
- [10] Ciekot Z., Kończak J., Simiński P., *Służba czołgowo-samochodowa w świetle przemian Sił Zbrojnych RP*, WITPiS, Sulejówek, 2013.
- [11] Walmus A., *Statystyka w badaniu niezawodności*, Statsoft Polska Sp. z o. o.
- [12] Blanchard B. S. and Fabrycky, W. J., *Systems Engineering and Analysis*, 4th edn. 2006.
- [13] Dahai Liu, *System Engineering, Design Principles and Models*, Taylor & Francis Group, LCC. 2016.
- [14] *Doktryna Logistyczna Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej D-4(B)*, Bydgoszcz, wersja 2, 2019 r.
- [15] Niziński S., KUPICZ W., *Sterowanie utrzymaniem i bezpieczeństwem wojskowych pojazdów mechanicznych*, *Zeszyty Naukowe WSOWL Nr 2 (160) 2011 ISSN 1731-8157*.
- [16] Liedel K., Piasecka P., Aleksandrowicz T. R., *Sieciocentryczne bezpieczeństwo. Wojna, pokój i terroryzm w epoce informacji.*, Wyd. Difin.
- [17] Michalewski E. – *Analiza systemów sieciocentrycznych – Polskie Stowarzyszenie Zarządzania Wiedzą – Seria: Studia i Materiały*, nr 32, 2010.
- [18] Liedel K., *Armie przyszłości – wojna sieciocentryczna. Sieciocentryczne bezpieczeństwo, wojna, pokój i terroryzm w epoce informacji*, Wyd. Difin.
- [19] Rugała R., *Elementy Koncepcji Operacji Sieciocentrycznych w aspekcie Architektury Systemów Dowodzenia*, OBR CTM Gdynia 2003.
- [20] *Wsparcie i zabezpieczenie techniczne Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej. Zasady funkcjonowania DD-4.22(A)*, Ministerstwo Obrony Narodowej, Inspektorat Wsparcia Sił Zbrojnych, Warszawa, 2017 r.
- [21] Wasiak M., Jacyna-Gołda I., Markowska K., Jachimowski R., Kłodowski M., Izdebski M., *The use of a supply chain configuration model to assess reliability of logistics processes*, Politechnika Warszawska, Politechnika Śląska.

- 
- [22] Bursztyński A., The role and missions of a military economic establishment in the logistic support system in the Polish Navy, *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*, 1(176)/2009.
- [23] Macha E., *Niezawodność maszyn*, Politechnika Opolska, 2001.
- [24] Kruk Z., Kupicz W., *Przykład kwantyfikacji gotowości operacyjnej środków transportowych użytkowanych akcyjnie*, BiTP, 2014.
- [25] Kruk Z., *Problemy prognozowania gotowości operacyjnej samochodów w systemie transportowym z wyczekiwaniem na funkcjonowanie*, WITPiS, Sulejówek, 2018.
- [26] Kurasiński Z., *System kierowania zabezpieczeniem logistycznym wojsk lądowych w operacjach*, AON, Warszawa 2006.
- [27] Legutko S., *Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń*, WSiP, Warszawa, 2007.
- [28] Jasiulewicz-Kaczmarek M., *Współczesne koncepcje utrzymania ruchu infrastruktury technologicznej przedsiębiorstwa w: Koncepcje zarządzania systemami wytwórczymi*, Poznań: Wydawca Instytut Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej, 2005.
- [29] Moubray J., *Maintenance management – a new paradigm*, Maintenance, 1996.
- [30] Piersiala S., Trzcieleński S., *Systemy utrzymania ruchu w: Koncepcje zarządzania systemami wytwórczymi*, Poznań: Wydawca Instytut Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej, 2005.
- [31] Legutko S., *Trendy rozwojowe utrzymania ruchu urządzeń i maszyn. Eksploatacja i niezawodność* 2/2009.
- [32] Piesik J., *Zastosowanie narzędzi statystycznych do poprawy niezawodności i bezpieczeństwa maszyn poprzez predykcję awarii oraz poprawę pokrycia diagnostycznego maszyn*, Statsoft Polska Sp. z o.o.
- [33] Barański R., *Diagnostyka maszyn – pomiary*, Wykład, AGH.
- [34] Rausand M., *Reliability Centered Maintenance. Reliability Engineering and System Safety*, 1998.
- [35] Legutko S., *Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń*, WSiP, Warszawa 2004.
- [36] Knopik L., *Metoda wyboru efektywnej strategii eksploatacji obiektów technicznych*, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, rozprawa, Bydgoszcz, 2010.
- [37] Ożadowicz A., *Praktyczne działanie w zakresie profilaktyki i utrzymania ruchu. Utrzymanie Ruchu*, Nr 9/2006.
- [38] Góralczyk A., *Niezawodność bez mitów i złudzeń. Magazyn kadry zarządzającej CEO* 04/2014.
- [39] Napiórkowski J., Drożyner P., Mikołajczak P., Rychlik A., Szczyglak P., Ligier K., *Podstawy budowy i eksploatacji pojazdów i maszyn*, UWM, Olsztyn 2013.
- [40] Dzierżanowski Ł., Gasz R., *Implementacja modelu Reliability – Centered Maintenance do komputerowego wspomaganie podejmowania decyzji*, Instytut Elektrowni i Systemów Pomiarowych, Politechnika Opolska.
- [41] Nakajimmy S., *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance (Preventative Maintenance Series)*, 1988.
- [42] Frank Gregor, P.E. Alan Chockie, *Aging Management and Life Extension in the US Nuclear Power Industry*, October 2006.

- 
- [43] Batko W., Borkowski B., Głocki K., Application of database systems in machine diagnostic monitoring, *Eksploatacja i Niezawodność*, 1/2008.
- [44] Chang C. M., *Service systems management and engineering*, 2010.
- [45] Duffuaa S. O., Raouf A., Campbell J. D., *Planning and Control of Maintenance Systems: Modeling and Analysis*, 1998.
- [46] Sweklej P., „Badanie i ocena niezawodności w procesie pozyskiwania i eksploatacji sprzętu wojskowego”, ITWL, Warszawa, 2020.
- [47] Kończak J., *Metoda wyznaczania wskaźników niezawodności dla wojskowych pojazdów mechanicznych eksploatowanych nieregularnie*, rozprawa doktorska, Instytut Lotnictwa, WITPiS, Warszawa, 2016.
- [48] Borucka A., *Metoda analizy procesu eksploatacji pojazdów Wojskowych w aspekcie gotowości*, rozprawa doktorska, ITWL, Warszawa, 2015.
- [49] Kuźma K., *Zastosowanie Logiki Rozmytej do Oceny Niezawodności Systemów Uzbrojenia Lotniczego*, rozprawa doktorska, Dęblin, 2019.
- [50] Simiński P., Kończak J., Przybysz K., Analysis and testing of reliability information systems in analysis of the operation-related process in the army, *Journal of KONBiN* 47(2018).
- [51] Świdorski A., Dębicka E., Józwiak A., Mitkow S., *Modelowanie neuronowe w zastosowaniu do oceny ryzyka w eksploatacji środków transportu*, prace naukowe Politechniki Warszawskiej, 2018.
- [52] DD-4.22(A)\_Logis\_28\_2017, *Wsparcie i zabezpieczenie techniczne Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej. Zasady funkcjonowania*.
- [53] Czajkowski M., Wykład. Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki.
- [54] Sztumski J., *Wstęp do metod i badań społecznych*, Katowice 1995.
- [55] Pilch T., Wujek T., *Metody i techniki badań w pedagogice*, PWN, Warszawa 1974.
- [56] *Słownik Socjologii i Nauk Społecznych*, Wyd. PWN.
- [57] Żelazo M, *Kwestionariusz wywiadu jako narzędzie badawcze*, *Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania i Dowodzenia Akademii Obrony Narodowej* nr 2(6), 2013.
- [58] Olejniczak K., *Efektywne pozyskiwanie wiedzy kluczem do sukcesu przedsiębiorstwa*, Politechnika Częstochowska, 2013.
- [59] Krok E., *Budowa kwestionariusza ankietowego, a wyniki badań*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego*, Szczecin, 2015.
- [60] Zaczyński W., *Praca badawcza nauczyciela*, WSiP, Warszawa, 2003.
- [61] Mayntz R., Holm K., Hubner P., *Wprowadzenie do metod socjologii empirycznej*, PWN, Warszawa, 1985.
- [62] Sawiński Z., Sztabiński P.B., Sztabiński F., *Podręcznik ankietera*, IFiS PAN, Warszawa, 2000.
- [63] Mazurek-Łopacińska K., *Badania marketingowe. Podstawowe metody i obszary zastosowań*, Akademia Ekonomiczna, Wrocław, 2002.
- [64] Pilch T., Bauman T., *Zasady badań pedagogicznych: Strategie ilościowe i jakościowe*, Warszawa, 2001.
- [65] Matejuk M., *Metodyka badań ankietowych w naukach o zarządzaniu – ujęcie modelowe*, Uniwersytet Ekonomiczny, Kraków, 2016.

- 
- [66] Babbie E., *Badania społeczne w praktyce*, PWN, Warszawa, 2004.
- [67] Read M., Marsh D., *Łączenie metod ilościowych z jakościowymi, Teorie i metody w naukach politycznych*, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, 2006.
- [68] Kornacki J., Mielniczuk J., *Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001.
- [69] Słowiński B., *Podstawy badań i oceny niezawodności obiektów technicznych*. Wydawnictwo uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2002.
- [70] Gołaś H., Mazur A., *Zasady, metody i techniki wykorzystywane w zarządzaniu jakością*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2010.
- [71] Aguilar J., Cerrada M., Morillo K., *A reliability-based failure management. Application using intelligent hybrid systems. Supervision and Safety for Technical Processes*, Budapest, Hungary, 2001.
- [72] Filipkowski D., *Modelowanie częstości transmisji danych z wykorzystaniem Fuzzy ToolBox MATLAB*, Wydział Nawigacji Akademii Morskiej, Gdynia, 2014.
- [73] Andrzejczak K., *Modele regresji w prognozowaniu czasu zdatności obiektów. Materiały XXXI Zimowa Szkoła Niezawodności*, Szczyrk, 2003.
- [74] *Zbiory rozmyte w analizie systemowej*, PWN, Warszawa.
- [75] Zadeh L. A., *Fuzzy sets in Information and Control*, 1965.
- [76] Grzesik N., *Podstawy sterowania rozmytego. Projektowanie rozmytych systemów eksperckich w środowisku Matlab-Simulink*, WSOSP, Dęblin, 2012.
- [77] Piegat A., *Modelowanie i sterowanie rozmyte*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 1999.
- [78] Dworniczak P., *Zbiory rozmyte dla początkujących. Matematyka-Społeczeństwo-Nauczanie*, 2003.
- [79] Banaszak Z., *Modele i algorytmy sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2009.
- [80] Jodejko A., *Model procesu zaopatrzenia z uwzględnieniem skutków niezawodności system technicznego, rozprawa doktorska*, Politechnika Wroclawska, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji maszyn, Wrocław 2006.
- [81] Kolińska K., *Model zarządzania dostępnością części zamiennych w przedsiębiorstwie produkcyjnym, rozprawa doktorska*, Politechnika Poznańska, 2015.
- [82] Coyle J., Bardi E., Langley C., *Zarządzanie logistyczne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2010.
- [83] Młyńczak M., *Problematyka prognozowania zużycia części wymiennych*, Logistyka i Transport.
- [84] Zóltowski B., *Identyfikacja a diagnostyka*, Zeszyty Naukowe 5(77), Akademia Morska, Szczecin, 2005.
- [85] Pszczółkowski J., *Podstawy eksploatacji urządzeń*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 2020.
- [86] Janicki D., *Techniczna eksploatacja pojazdów mechanicznych. Podstawy niezawodności pojazdów mechanicznych*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 1974.
- [87] Greć J., *Statystyka matematyczna. Podręcznik programowany*, Warszawa, PWN, 1987.

- 
- [88] Walczak A., Niewczas A., Analiza wybranych parametrów niezawodnościowych urządzeń podsystemu pożarniczego średnich samochodów ratowniczo gaśniczych, Zeszyty naukowe SGSP 2017, Nr 61 (tom 1)/1/2017.
- [89] Raganowicz A., Dziopak J., Graficzna estymacja parametrów rozkładu Weibull'a do wyznaczania teoretycznych funkcji niezawodności, Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, 2014.
- [90] Maksymiuk J., Niezawodność maszyn i urządzeń elektrycznych. Warszawa, oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003.
- [91] Bojarski W.W., Wprowadzenie do oceny niezawodności działania układów technicznych. Warszawa, PWN, 1967.
- [92] Będkowski L., Dąbrowski T., Podstawy eksploatacji. Część II. Podstawy niezawodności eksploatacyjnej, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2006.
- [93] Żółtowski B., Niziński S., Modelowanie procesów eksploatacji, Radom, 2010.
- [94] Niziński S., Michalski R.: Diagnostyka obiektów technicznych, Radom 2002.
- [95] Ziółkowski J., Stochastyczne modelowanie i optymalizacja gotowości w procesie eksploatacji śmigłowców, rozprawa habilitacyjna, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 2019.
- [96] Młyńczak M., Nowakowski T., Metodyka badań eksploatacyjnych obiektów mechanicznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2012.
- [97] Oktaba W., Elementy statystyki matematycznej i metodyka doświadczalnictwa. Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Lublin, Wydanie VI, 1997.
- [98] Sokołowski A., Estymacja i testowanie hipotez. Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Statsoft Polska Sp. z o. o.
- [99] Grzegorzewski P., Wspomaganie decyzji w warunkach niepewności. Metody statystyczne dla nieprecyzyjnych danych, Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2006.
- [100] Taylor John R., Wstęp do analizy błędów pomiarowych, PWN, Warszawa, 1999.
- [101] Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Roland L. Rivest, Wprowadzenie do algorytmów, WNT, 2000.
- [102] Głuszkowski T., Jabłońska M., Prognozowanie i analiza sprzedaży. Modele w Excelu, Łódź, 2008.
- [103] Sprawozdanie Nr 38/SS/2009, Stan, analiza i ocena systemu eksploatacji kołowego transportera opancerzonego Rosomak, WITPiS, Sulejówek 2009.
- [104] Mrozek B., Mrozek Z., Matlab i Simulink. Poradnik użytkownika, Wydanie II, Helion, 2004.
- [105] Zintegrowany Wieloszczeblowy System Informatyczny Resortu Obrony Narodowej, Podręcznik Użytkownika, Raportowanie – Moduł Gospodarki Remontowej, Centrum Projektów Informatycznych, Ministerstwo Obrony Narodowej, Warszawa, 2020.
- [106] Borucka A., Zintegrowany Wieloszczeblowy System Informatyczny Resortu Obrony Narodowej jako kluczowy element strategii informatyzacji w Siłach Zbrojnych, Logistyka 6/2013.
- [107] Gibiec M., Zastosowania Data Miningu w systemie monitorowania pracy kombajnów górniczych, Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Robotyki i Mechatroniki, Kraków, 2008.

- 
- [108] Instrukcja o gospodarowaniu sprzętem służby czołgowo-samochodowej DU-4.22.2(A), Ministerstwo Obrony Narodowej, Inspektorat Wsparcia Sił Zbrojnych, Bydgoszcz, 2019 r.
- [109] Zasady i organizacja obsługi i napraw sprzętu w warunkach polowych, DD/4.22.10, Bydgoszcz, 2013.
- [110] Niziński S., Żółtowski B., Informatyczne systemy zarządzania eksploatacją obiektów technicznych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, 2001.
- [111] Niziński, Wierzbicki, Zintegrowany system informatyczny sterowania pojazdów, Wydział Nauk Technicznych, UWM w Olsztynie.
- [112] EN ISO 13849-1:2005 Safety of machinery – Safety-related parts of control systems, Part 1: General principles for design. International Standard Organization.
- [113] Młunarczyk M., Problematyka prognozowania zużycia części wymiennych, Logistyka i Transport.
- [114] Harańczyk G., Przewidywanie awarii i problemów z jakością, StatSoft Polska.
- [115] Walanus A., Statystyka w badaniu niezawodności, Opracowania StatSoft Polska.
- [116] Żółtowski B., Elementy racjonalnej eksploatacji systemów technicznych, Inżynieria i Aparatura Chemiczna Nr 2/2012.
- [117] Al.-Garni A., Abdelrahman W., Abdallah A., Ann-based failure modeling of classes of aircraft engine components using radial basis functions, Maintenance and Reliability Vol.21, No. 2, 2019.
- [118] Tadeusiewicz R., Szaleniec M., Leksykon Sieci Neuronowych, Wydawnictwo Fundacji „Projekt Nauka”, Wrocław, 2015.
- [119] Rosiewicz M., Hybrydowe modele prognozowania produkcji i metodyka oceny ich efektywności, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2019.
- [120] Instrukcja zarządzania eksploatacją uzbrojenia i sprzętu wojskowego w SZ RP. Zasady ogólne. Logis. 34/2018.
- [121] Harańczyk G., Zastosowanie technik Data Mining w badaniach naukowych, Statsoft Polska Sp. z o. o., 2010.
- [122] Pawlatko R., Metody pozyskiwania i reprezentacji wiedzy dla potrzeb diagnozowania okrętowego silnika tłokowego, Akademia Morska w Gdyni, 2006.
- [123] Kruk Z., Problematyka prognozowania gotowości operacyjnej samochodów w systemie transportowym z wyczekiwaniem na funkcjonowanie, WITPiS, Sulejówek 2018.
- [124] Greber T., Statystyczne sterowanie procesami – doskonalenie jakości z pakietem Statistica, Statsoft Polska Sp. z o. o., Kraków, 2000.
- [125] Sobczyk M., Statystyka matematyczna, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2010.
- [126] Aczel A. D., Statystyka w Zarządzaniu, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2000.
- [127] Borkowski S., Ulewicz R., Zarządzanie Produkcją, Wyższa Szkoła Humanitas w Sosnowcu, 2008.
- [128] Borkowski P., Ryzyko w działalności przedsiębiorstw, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, 2008.
- [129] Niziński S., Żółtowski B., Zarządzanie eksploatacją obiektów technicznych za pomocą rachunku kosztów, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn Bydgoszcz, 2002.





Warsztaty Techniczne  
(jednostka warsztatowa)  
Krosno Odrzańskie  
(miasto podlega)  
4 RBLog  
(podległość wg struktury D+RSZ)

Adresat:

SZEF  
WYDZIAŁU TECHNICZNEGO

1004/19.  
4 REGIONALNEJ BAZY LOGISTYCZNEJ  
50-984 Wrocław

PROTOKÓŁ STANU TECHNICZNEGO Nr 221/19/4RBLog/Cz-S/WTKO

z dnia 09.09.2019

1. Nazwa sprzętu (urządzenia), marka, typ, numery, rok prod.  
KTO ROSOMAK UB 02338, rok produkcji 2010, JIM 2355PL0122014  
Nr podwozia SY9XCS003ASSM1538, nr silnika DI1249A03P-6607012

*Wniosek o wykonanie przeglądu technicznego pojazdu nr 1004/19/4RBLog/Cz-S/WTKO*

2. Sprzęt ( urządzenie ) podlega

wykonaniu O4 R

przepracował

13554 km/2231,6 mtg/ 9 lat

*(zob. historia przebiegu)*

*(zob. lista wyposażenia)*

3. Opis stanu technicznego sprzętu ( urządzenia ) :

Sprzęt etatowy z JW 5700 Międzyrzecz  
Pojazd niesprawny technicznie

W wyniku dodatkowej weryfikacji sprzętu stwierdzono następujące niesprawności:  
niesprawny układ hydrauliczny- nie załączają się pedniki i falochron  
zbita lustro klosza przedniej lampy prawej  
zmuśrzała i wypaczona uszczelka zbiornika pośredniego korka paliwa  
niesprawna pompa paliwa przy zbiorniku paliwa

4. Braki w uкомплекtowaniu:

bez braków