



**AKADEMIA
SZTABU GENERALNEGO**
IM. GENERAŁA BRONI
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

Egz. Nr. 2



Pplk mgr inż. Jan LATEK

**OCENA EFEKTYWNOŚCI
PERSPEKTYWICZNEGO
TAKTYCZNEGO SYSTEMU ŁĄCZNOŚCI
METODĄ SYMULACJI KOMPUTEROWEJ**

Rozprawa doktorska

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej

S/2043



05-002043-002

12597

WARSZAWA 1989





**AKADEMIA
SZTABU GENERALNEGO**
IM. GENERAŁA BRONI
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

~~XXXXXXXXXX~~
Egz. Nr.....2



Pplk mgr inż. Jan LATEK

**OCENA EFEKTYWNOŚCI
PERSPEKTYWICZNEGO
TAKTYCZNEGO SYSTEMU ŁĄCZNOŚCI
METODĄ SYMULACJI KOMPUTEROWEJ**

Rozprawa doktorska

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej

S/2043



05-002043-002

12597

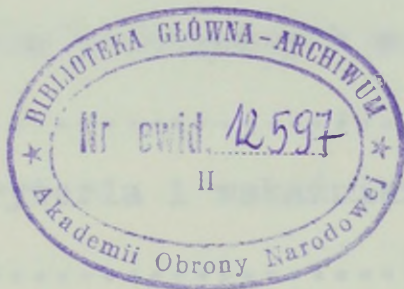
WARSZAWA 1989

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

IM. GENERALA BRONI
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

~~POUFTNE~~

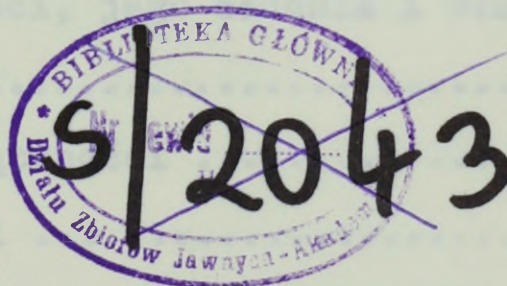
Egz. Nr..... 2



Ppłk mgr inż. Jan LATEK

OCENA EFEKTYWNOŚCI PERSPEKTYWICZNEGO TAKTYCZNEGO SYSTEMU ŁĄCZNOŚCI METODĄ SYMULACJI KOMPUTEROWEJ

Rozprawa doktorska



Promotor

płk prof. dr hab. Piotr SIENKIEWICZ

WARSZAWA 1989

SPIS TREŚCI

	Str.
WSTĘP	5
ROZDZIAŁ I - TEORETYCZNE PODSTAWY OCENY EFEKTYWNOŚCI POŁOWYCH SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI	12
1.1. Elementy teorii oceny efektywności systemów	12
1.2. Charakterystyka podstawowych metod oceny efektyw- ności SŁ	24
1.3. Podstawowe kryteria i wskaźniki oceny efektyw- ności SŁ	31
1.4. Związek między efektywnością dowodzenia a efektyw- nością łączności	40
1.5. Wnioski	50
ROZDZIAŁ II - MODEL OCENY EFEKTYWNOŚCI SYSTEMU ŁĄCZNOŚCI WOPL ZT	53
2.1. Wprowadzenie	53
2.2. Pojęcie systemu łączności, jego zadania i właści- wości	54
2.3. Ogólny model systemu łączności	58
2.3.1. Model sieci łączności	59
2.3.2. Model otoczenia	60
2.3.3. Model funkcjonowania systemu łączności	61
2.3.4. Związki między modelami	62
2.4. Charakterystyka systemu łączności wojsk OPL DZ ...	64
2.4.1. Taktyczno-techniczne podstawy organizacji łącz- ności WOPL	64
2.4.2. Analiza organizacji obecnego SŁ WOPL DZ	69

	Str.
2.5. Koncepcja oszacowania ilościowych charakterystyk informacji w SŁ WOPL DZ	77
2.6. Model czynników zakłócających działanie SŁ WOPL DZ	80
2.6.1. Charakterystyka modelu zakłóceń celowych stosowanych przez nieprzyjaciela	90
2.6.2. Charakterystyka zagrożenia ogniowego SŁ WOPL DZ	96
2.7. Model symulacyjny oceny efektywności SŁ WOPL dywizji	102
2.7.1. Założenia ogólne	102
2.7.2. Miary efektywności SŁ WOPL DZ	104
2.7.3. Propozycja rozwiązania zadania doboru optymalnych przepustowości kanałów w projektowanych sieciach łączności dla ZSD	108
2.7.4. Opis programu symulacji badanego SŁ	117
2.7.5. Wnioski	125
ROZDZIAŁ III - OCENA EFEKTYWNOŚCI WARIANTÓW SŁ WOPL DZ ..	128
3.1. Wprowadzenie	128
3.2. Zdefiniowanie wariantów SŁ WOPL DZ	129
3.2.1. Określenie zdolności przepustowej organizowanych kanałów w SŁ	134
3.3. Analiza wyników oceny efektywności wariantów SŁ WOPL DZ	140
3.4. Ocena porównawcza przedstawionych wariantów SŁ ...	153
3.5. Ocena wpływu wzrostu efektywności SŁ na efektywność dowodzenia OPL DZ	158
ROZDZIAŁ IV - ZAKOŃCZENIE	164

ZAŁĄCZNIKI:

- Załącznik Nr 1 - System łączności dla WOPL DZ - wariant II
- Załącznik Nr 2 - System łączności dla WOPL DZ - wariant III
- Załącznik Nr 3 - System łączności dla WOPL DZ - wariant IV
- Załącznik Nr 4 - Wydruk programu symulacyjnego MOE SŁ
- Załącznik Nr 5 - Wydruk wyników obliczeniowych

WSTĘP

We współczesnych dziedzinach zorganizowanej działalności ludzkiej zachodzi potrzeba badania efektywności złożonych systemów technicznych już istniejących /działających/ i projektowanych. Potrzeba taka szczególnie wyraźnie występuje w siłach zbrojnych, co jest związane z burzliwym rozwojem naukowo-technicznym i zwiększonymi wymaganiami współczesnego pola walki. Zmiany, jakie następują w systemach uzbrojenia, wyposażenia i strukturze organizacyjnej wojsk ZT, a także w sposobach prowadzenia przez nie działań bojowych, wyłoniły nowe jakościowo wymagania w zakresie dowodzenia.

Wymagania, jakie obecnie stawiane są dowodzeniu, to zapewnienie pełnej ciągłości oraz maksymalnej operatywności i skrytości.

Jednak nie zawsze wymagania ciągłości, dużej przepustowości, szybkości wymiany informacji są spełnione przy obecnie stosowanym kompleksie środków dowodzenia oraz stosowanych środkach łączności. Zachodzą niekiedy dość istotne różnice między wymaganym czasem na zebranie, przetworzenie, opracowanie i przekazanie informacji o zmianach w sytuacji bojowej, a realnym czasem - w jakim będą owe zmiany zachodzić na polu walki.

Autor pracy jest zdania, że powyższy problem można rozwiązać wdrażając do wojsk ZT nowe zautomatyzowane systemy dowodzenia /ZSD/ dysponujące kompleksem środków automatyzacji /KSA/, których efektywne wykorzystanie w zautomatyzowanym dowodzeniu będzie możliwe tylko w powiązaniu funkcjonalnym z ŚŁ /środkami łączności/ o nowej jakości tj. z cyfrowym zautomatyzowanym systemem łączności /ZŚLP/.

Wdrażane i opracowywane aktualnie w wojskach zautomatyzowane obiekty dowodzenia wymagają zaprojektowania nowego efektywnego systemu łączności, który w optymalnym stopniu spełni wymagania stawiane przed systemem dowodzenia. Dlatego też szczególnie ważnego znaczenia nabiera obecnie problem analizy i oceny efektywności polowego systemu łączności - już istniejącego i projektowanego.

Poważnym problemem staje się uzyskanie informacji niezbędnej do oceny aktualnego SŁ i podjęcia decyzji dotyczącej wyboru wariantu najlepszego w sensie przyjętych kryteriów efektywności, spośród wariantów dopuszczalnych /rozpatrywanych, możliwych/.

Dlatego konieczny jest wybór istotnych cech systemu, a następnie na ich podstawie, za pomocą określonej oceny sformułowanie wypowiedzi wartościującej /aprobata, dezaprobata/ dotyczącej danego wariantu systemu.

Problem analizy i oceny efektywności SŁ należy do podstawowych problemów poznawczych i praktycznych inżynierii systemów.

Praktyczny aspekt rozwiązywanego problemu wynika z potrzeby posługiwania się sprawnym narzędziem metodologicznym jakim są metody, kryteria i wskaźniki oceny efektywności w procesie projektowania i eksploatacji systemów łączności.

Aktualny stan badań w dziedzinie analizy i oceny efektywności polowych SŁ jest niezadowalający. Brakuje w dalszym ciągu teoretycznego uogólnienia bogatego materiału empirycznego w postaci np. ogólnego modelu ocenowego lub zalecanej metodyki oceny polowych SŁ.

Autor uważa, że rozwiązanie powyższych problemów przyczyni się znacznie do rozwoju teorii oceny systemów dowodzenia

i łączności, a przeniesienie ich na grunt praktyczny powinno przynieść istotne zmiany w sposobach projektowania obiektów łączności /dowodzenia/, w sposobach organizacji i kierowania systemami łączności.

Celem niniejszej pracy jest:

- 1/ opracowanie modelu ocenowego SŁ, który byłby użyteczny w ocenie systemów już istniejących oraz systemów, które będą w perspektywie wdrażane do wojsk.
Posługując się tym modelem ocenowym powinno się uzyskać informacje niezbędne do podjęcia decyzji polegającej na wyborze systemu najlepszego z istniejących, tj. o optymalnej organizacji w określonych warunkach lub najlepszego z wariantów dopuszczalnych;
- 2/ opracowanie narzędzia metodologicznego w postaci kryteriów i wskaźników oceny efektywności oraz metod ich oszacowania w procesie projektowania i eksploatacji systemu łączności;
- 3/ określenie wartości podstawowych wskaźników efektywności;
- 4/ dokonanie oceny obecnego i projektowanego SŁ WOPL DZ ze względu na stopień spełnienia podstawowych wymagań w zakresie dowodzenia oddziałami i pododdziałami wojsk OPL ZT oraz porównanie efektywności tych systemów;
- 5/ określenie kierunków i sposobów kształtowania pożądanej /tj. spełniającej wymagania organów dowodzenia/ efektywności systemu łączności OPL ZT.

Celem pracy jest także próba znalezienia zależności /związku/ między miarami efektywności SŁ OPL a niektórymi wskaźnikami oceniania efektywności dowodzenia.

Dla osiągnięcia powyższego celu pracy koniecznym będzie rozwiązanie przez autora następujących problemów:

- 1/ skonstruowanie modelu ocenowego, który będzie przydatny do określenia wartości efektywności /różnych wskaźników efektywności/ eksploatowanych i projektowanych SŁ;
- 2/ wybranie istotnych cech charakteryzujących perspektywiczny SŁ;
- 3/ wybranie takich cech badanego SŁ, które będą miały decydujący wpływ na kryteria systemowe dowodzenia;
- 4/ określenie takich miar /wskaźników/ i metod, które będą przydatne do wartościowania efektywności SŁ;
- 5/ znalezienie odpowiedzi na pytanie, w jakim stopniu dotychczasowy SŁ WOPL ZT spełnia wymagania stawiane dowodzeniu;
- 6/ w jakim stopniu eksploatacja projektowanego zautomatyzowanego, cyfrowego SŁ w WOPL dywizji wpłynie na wzrost niektórych miar efektywności dowodzenia tymi wojskami.

Rozwiązanie powyższych problemów stanowi podstawę do postawienia przez autora następującej hipotezy roboczej:

- "opracowany model oceny pozwoli ocenić aktualnie eksploatowany SŁ WOPL ZT oraz pozwoli projektantom /decydującym/ dokonywać wyboru optymalnego SŁ dla wojsk OPL dywizji".

Ponadto można założyć, że:

- projektowany SŁ dla zautomatyzowanych obiektów dowodzenia OPL DZ będzie w wyższym stopniu zaspokajał potrzeby i spełniał wymagania organów dowodzenia niż system aktualnie eksploatowany;
- podczas projektowania systemu perspektywicznego dokonany zostanie wybór wariantu najefektywniejszego spośród wariantów dopuszczalnych /możliwych/;
- w celu dokonania optymalnego wyboru konieczny jest model ocenowy;

- istnieje silna zależność efektywności dowodzenia wojskami OPL DZ od efektywności SŁ;
- ocena efektywności może być dokonana za pomocą symulacji komputerowej.

Do rozwiązania przedstawionych wyżej problemów badawczych autor zastosował podejście systemowe oraz informacyjne.

Podstawowymi metodami badawczymi, którymi autor posługiwał się w niniejszej pracy były:

- analiza systemowa;
- metoda symulacji komputerowej;
- metoda ekspertów;
- ocena wyników z ćwiczeń z wojskami uzupełniona własnymi obserwacjami i doświadczeniami;
- krytyczna ocena literatury.

W rozdziale I pracy omówione zostały teoretyczne podstawy oceny polowych systemów łączności. Zdefiniowano podstawowe pojęcia związane z oceną systemów oraz scharakteryzowano podstawowe metody oceny efektywności SŁ. Wyróżniono podstawowe kryteria i wskaźniki oceny efektywności SŁ, które zostały uwzględnione w modelu ocenowym efektywności /MOE/ SŁ.

Przedstawiono także zależność efektywności systemu dowodzenia od cech systemowych determinujących efektywność SŁ. Na podstawie przeprowadzonych rozważań teoretycznych na końcu rozdziału zaproponowano metodykę oceny efektywności SŁ.

W rozdziale II opracowano model oceny efektywności SŁ wojsk OPL DZ. Przedstawiono w nim pojęcia SŁ, jego zadania i właściwości. Sformułowany został model matematyczny SŁ, traktowany jako zbiór elementów tworzących określoną strukturę odpowiednio

powiązanych ze sobą jak i z otoczeniem . Oszacowano ilościowe charakterystyki informacyjne SŁ WOPL DZ.

W rozdziale tym przedstawiony został także model czynników zakłócających działanie SŁ WOPL ZT. Podstawowym problemem do rozwiązania w modelu ocenowym było sformułowanie modelu symulacyjnego oceny efektywności SŁ. Posłużono się w nim zasadniczymi miarami efektywności SŁ ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązania zadania doboru optymalnych przepustowości kanałów w projektowanych sieciach łączności dla zautomatyzowanego systemu dowodzenia WOPL DZ.

W końcowej części rozdziału dokonano opisu programu symulacji badanego SŁ na podstawie przedstawionego algorytmu. Scharakteryzowano w nim poszczególne moduły i bloki algorytmu.

Rozdział III pracy poświęcony jest weryfikacji przydatności opracowanego symulacyjnego modelu ocenowego efektywności /MCE/ SŁ oraz analizie uzyskanych wyników.

W związku z tym zostały poddane ocenie uprzednio zdefiniowane warianty SŁ wojsk OPL DZ. Przebadaniu poddano cztery warianty SŁ, w tym aktualny SŁ WOPL ZT.

Przeprowadzone eksperymenty na modelu symulacyjnym pozwoliły zaobserwować jak zachowują się wskaźniki oceny efektywności w funkcji zmian wybranych parametrów taktyczno-technicznych proponowanych rozwiązań. Uzyskane oceny cząstkowe zostały zagregowane dla wypracowania globalnej oceny, na podstawie której można było dokonać optymalnego wyboru systemu. Dla określenia globalnej oceny efektywności SŁ posłużono się metodą taksonomiczną.^{1/}

^{1/} Metoda została opracowana we Wrocławiu przez zespół prof. Hugo Steinhausa i nazwana "Taksonomią Wrocławską".

Analiza uzyskanych wyników przebadanych wariantów SŁ oraz ocena przydatności MOE pozwoliły na wypracowanie szeregu wniosków dotyczących prowadzenia dalszych badań poświęconych nowym narzędziom ocenowym i sposobom optymalnego projektowania perspektywicznych systemów łączności.

Weryfikacja przyjętych założeń metodologicznych oraz opracowanego modelu ocenowego wymagała przebadania konkretnego SŁ /aktualnego bądź perspektywicznego/.

W tym celu autor posłużył się SŁ WOPL ZT. Wybór właśnie tego, a nie innego SŁ był podyktowany tym, że w ostatnim czasie prowadzone są w kraju prace projektowo-konstrukcyjne nad zautomatyzowanymi obiektami dowodzenia dla tego rodzaju wojsk.

Natomiast w Wojskowym Instytucie Łączności autor osobiście uczestniczy w opracowywaniu koncepcji SŁ dla zautomatyzowanego systemu dowodzenia wojskami OPL.

Fragmety niniejszej pracy prezentowane były przez autora między innymi na:

- I KRAJOWEJ KONFERENCJI BADAŃ OPERACYJNYCH I SYSTEMOWYCH - BOS 88;
- seminarium poświęconym analizie systemowej organizowanej przez IBSO ASG;
- seminariach WIŁ i WSOWŁ.

Zasadność wyboru tematu omawianej pracy potwierdzają fakty uczestnictwa autora w pracach naukowo-badawczych KT ZSZ UW p.k. "OSNOWA" poświęconych projektowaniu i ocenie efektywności polowego zautomatyzowanego systemu łączności /PASS/.

R O Z D Z I A Ł I

TEORETYCZNE PODSTAWY OCENY EFEKTYWNOŚCI POŁOWYCH SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI

1.1. Elementy teorii oceny efektywności systemów

Badanie efektywności systemów, obejmujące klasę poznawczych i praktycznych problemów analizy i oceny systemów stanowi istotny element kompleksowych badań społeczno-ekonomicznych i technicznych.

Ważna rola zagadnień oceny systemów sprowadza się do dwóch dziedzin badań systemowych, a mianowicie do:

- analizy systemowej, gdzie modele ocenowe stanowią podstawę budowy modeli decyzyjnych, sama zaś ocena stanu rzeczy jest podstawą podjęcia określonej decyzji;
- inżynierii systemów, gdzie ocena wariantów rozwiązań /projektów/ jest podstawą wyboru rozwiązania najkorzystniejszego.

Aspekt praktyczny badania efektywności systemów działania wiąże się z przyjęciem tezy, że efektywność jest cechą systemową tj. charakteryzującą system jako całość, odzwierciedlającą wszystkie aspekty funkcjonowania i rozwoju systemów. Natomiast aspekt praktyczny wynika z potrzeby posługiwania się sprawnym narzędziem metodologicznym jakim są:

- metody;
- kryteria;
- wskaźniki oceny efektywności w procesie eksploatacji i projektowania systemów zgodnie z ich przeznaczeniem /celem/.

System techniczny jako całość [66] charakteryzują następujące cechy systemowe:

- 1/ spójność strukturalna;
- 2/ stabilność;
- 3/ sterowalność;
- 4/ obserwowalność;
- 5/ adaptacyjność;
- 6/ efektywność;
- 7/ kreaktywność /rozwojowość/.

W niniejszej pracy uwaga będzie skoncentrowana na efektywności jako cesze systemowej wiążącej cele /przeznaczenie/ systemu z pozostałymi cechami systemowymi.

Def.: Efektywnością systemów działania nazywamy cechę systemową, która wyraża racjonalne zdolności systemów do zaspokojenia określonych potrzeb /osiągania zamierzonych celów działania/, funkcjonowania zgodnie z przeznaczeniem i wymaganiami.

Efektywność więc stanowi najbardziej naturalne kryterium analizy i oceny systemów z punktu widzenia ich przeznaczenia, zdolności zaspokojenia określonych potrzeb.

Zakłada się, że system $s \in S$ charakteryzuje w każdej chwili czasu $t \in [t_0, T]$ wielkość wyrażającą możliwość realizowania przez system określonych zadań, osiągnięcia zamierzonych celów, działania zgodnie z przeznaczeniem.

Wielkość tę można określić jako potencjał systemu P_S w chwili czasu t . Biorąc powyższe pod uwagę można zdefiniować efektywność potencjalną.

Definicja:

Efektywnością potencjalną systemu działania nazywać będziemy cechę wyrażającą relację między potrzebami V_S a potencjałem /możliwościami/ systemu P_S .

$$E^P(t) = f[V_s(t), P_s(t)], \quad t_0 \leq t < T \quad /1.1.1/$$

Jako wskaźnik oceny efektywności potencjalnej G_{ef}^P systemu można przyjąć funkcję:

$$G_{ef}^P = \frac{P_s(t)}{V_s(t)} \quad /1.1.2/$$

lub inaczej

$$G_{ef}^P = \frac{W_s(t)}{V_s(t)} \quad /1.1.3/$$

gdzie: $W_s(t)$ - wartość potrzeb, jaka może zostać zaspokojona dzięki użyciu potencjału $P_s(t)$ w warunkach uważanych za normalne. $V_s(t)$ - wielkość potrzeb /strumień potrzeb/, które mają być zaspokojone do chwili t .

Wtedy ocenę efektywności potencjalnej systemu można przedstawić w sposób następujący:

$$\Omega[G_{ef}^P] = \begin{cases} 1 & \text{dla } G_{ef}^P(t) \geq 1, \text{ gdy w pełni system} \\ & \text{zaspokoi potrzeby} \\ 0 & \text{dla } G_{ef}^P(t) < 1, \text{ gdy system nie jest} \\ & \text{w stanie zabezpieczyć potrzeb} \end{cases} \quad /1.1.4/$$

Można przyjąć także inną skalę ocen zawierającą się w zakresie $0 < \Omega < 1$, gdy system zabezpieczy potrzeby w zakresie

$$G_{ef.pr}^P \leq G_{ef}^P < 1$$

gdzie: $G_{ef.pr}^P$ - wartość progowa.

Ocena efektywności potencjalnej systemu jest oceną stopnia możliwości zaspokojenia określonej potrzeby, której zaspokojenie jest celem działania systemu w określonym czasie.

Wybór kryteriów oceny systemów działania stanowi jedno z najbardziej odpowiedzialnych przedsięwzięć, przesądzających niekiedy o powodzeniu procesu oceniania.

Zakłada się, że wybrane kryterium powinno wyrażać cele działania, przeznaczenie systemu i stawiane mu wymagania.

Tak wybrane kryteria powinny [64,66]:

- wyrażać rzeczywiste stany systemu;
- uwzględniać istotne cechy systemu i jego otoczenia;
- reagować na zmiany podstawowych parametrów systemu i otoczenia;
- być efektywne w sensie statystycznym;
- być zrelatywizowane do przyjętego systemu wartości i czasu, w którym dokonywana jest ocena;
- umożliwiać konstruowanie globalnej /kompleksowej/ oceny;
- umożliwiać sterowanie systemem.

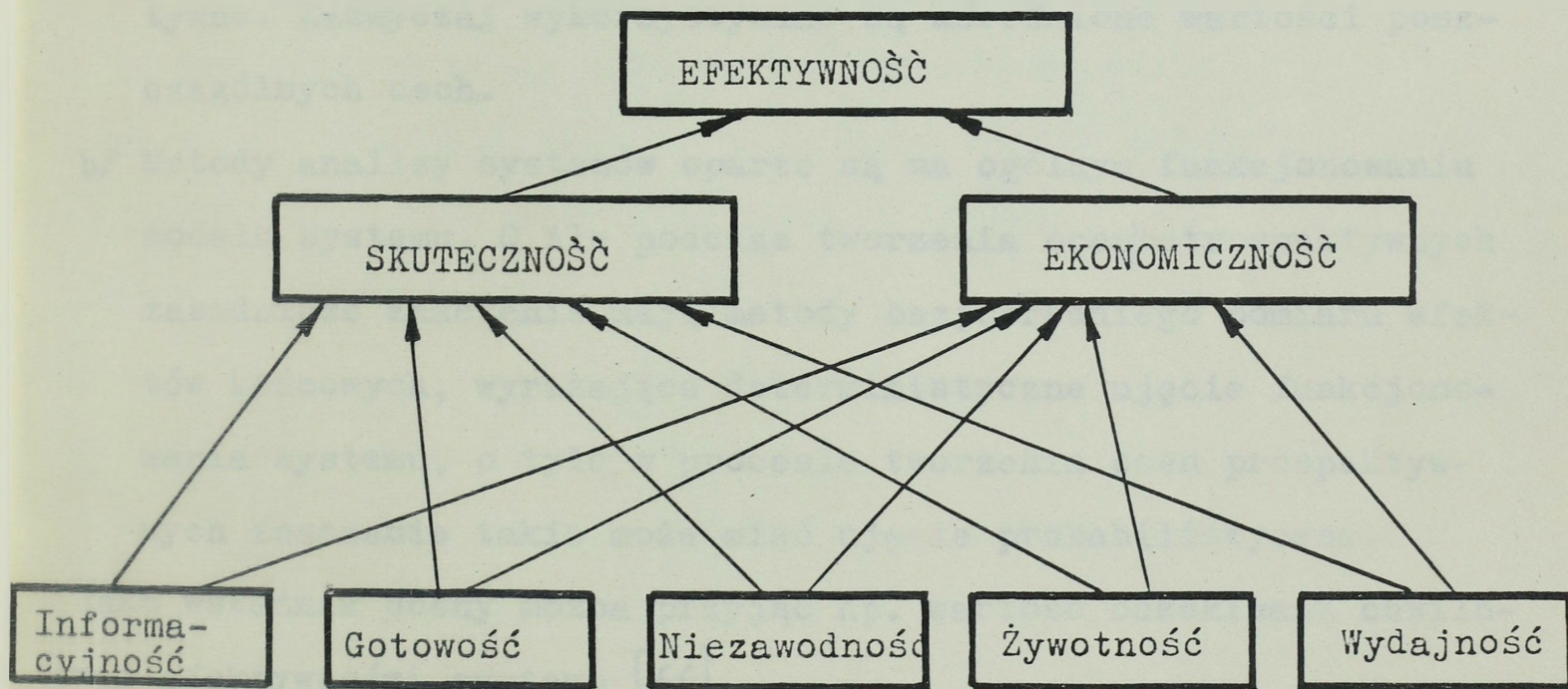
Efektywność systemu może być rozpatrywana z różnych punktów widzenia, a zatem różne mogą być kryteria jej oceny.

W związku z tym według [64,66,67] można wyróżnić następujące kryteria oceny efektywności:

- kryteria operacyjne - związane z organizacją i przebiegiem działania oraz wyróżniające najogólniej fakt osiągnięcia zamierzonych celów lub realizacji określonych potrzeb;
- kryterium ekonomiczne - związane z wielkością /wartością/ efektów dodatnich /korzyści/ i ujemnych /nakładów/ oraz wyrażających najogólniej korzystność działalności koszt-efekt w systemie;

- kryteria informacyjne - związane z organizacją systemu i przebiegiem procesów informacyjnych oraz wyrażające najogólniej wpływ systemu sterowania na działanie;
- kryteria techniczne - związane ze sprawnością elementów systemu, a w szczególności środków technicznych i wyrażające wpływ techniki na działanie danego systemu;
- kryteria eksploatacyjne - związane z funkcjonowaniem elementów i środków działania oraz wyrażające ich wpływ na zdolność systemu do sprawnego funkcjonowania w określonym czasie.

Oprócz wyżej wymienionych kryteriów na skuteczność i ekonomiczność systemu mają wpływ inne wyróżniki kryterialne efektywności /rys. 1.1.1/.



Rys. 1.1.1. Wyróżniki kryterialne efektywności

W ogólnym przypadku funkcja efektywności systemu powinna wyrażać skuteczność i ekonomiczność łącznie. Skuteczność systemu lub efektywność operacyjna systemu jest cechą systemową, która wyraża zdolność systemu do zrealizowania określonych potrzeb

/do osiągnięcia zamierzonego celu/.

W badaniach efektywności systemów działania stosuje się różne metody i techniki oceny.

Ogólnie można przyjąć, że stosowane metody redukują się do trzech podstawowych grup, tj.:

- metod analizy stanów systemu w określonym /okresie/ czasie;
- metod bezpośredniego pomiaru /oszacowania/ końcowych rezultatów /efektów/ funkcjonowania systemu;
- metod symulacyjnych.

a/ Istotę metod bezpośredniego pomiaru wyraża sposób konstruowania wskaźników oceny. Najczęściej wyróżnia się dwa typy postaci wskaźników oceny, a mianowicie addytywne i multiplikatywne. Zazwyczaj wykorzystywane są uśrednione wartości poszczególnych cech.

b/ Metody analizy systemów oparte są na ogólnym funkcjonowaniu modelu systemu. O ile podczas tworzenia ocen retrospektywnych zasadnicze znaczenie mają metody bezpośredniego pomiaru efektów końcowych, wyrażające deterministyczne ujęcie funkcjonowania systemu, o tyle w procesie tworzenia ocen prospektywnych znaczenie takie może mieć ujęcie probabilistyczne.

Jako wskaźnik oceny można przyjąć np. wartość oczekiwaną chwilowej efektywności systemu [66]

$$E/t/ = M\{G[X/t/]\} \quad /1.1.5/$$

w postaci

$$E/t/ = \sum_{s=0}^{2^n-1} e_s \prod_{n=1}^N [P_n(t)^{x_{sn}} \prod_{n=1}^N (q_n(t))^{(1-x_{sn})}] \quad /1.1.6/$$

gdzie: e_s - średnia wartość efektywności dla stanu

$S \in \{0, 1, \dots, 2^{n-1}\}$, p_n - p-stwo istnienia stanu, $q_n = 1 - p_n$,
 N - ilość elementów w systemie.

c/ Z metodami symulacyjnymi związane są inne narzędzia analityczne i ocenowe a mianowicie tzw. gry kierownicze zarówno tradycyjne jak i komputerowe. Symulacja komputerowa stanowi bardzo efektywną metodę badania efektywności systemów działania.

W procesie oceniania systemów interesować nas będą następujące czynności:

- 1/ pomiar wartości cech systemowych wpływających na kryterium oceny;
- 2/ sformułowanie zdania oceniającego czyli oceny;
- 3/ prezentacja oceny /ustosunkowanie się do niej/.

Tak więc, ocenianie jest pewną relacją między podmiotem oceny, przedmiotem oceny, kryterium oceny i ocenami.

Relację powyższą można zapisać jako

$$E \subset PO \times S \times K \times O$$

gdzie: PO - zbiór podmiotów oceny;

S - zbiór przedmiotów oceny - systemów empirycznych;

K - zbiór kryteriów oceny;

O - zbiór przyjętych ocen.

Relację pomiędzy PO i S nazywać będziemy systemem oceniania /oceny/. Podmiot oceny /oceniający/ dysponuje określonymi środkami oceny /metodami, technikami, procedurami/.

Podmiotem oceny jest każdy podmiot działania formułujący oceny pewnego systemu za pomocą środków oceny zgodnie z przyjętym /obowiązującym/ systemem wartości.

Biorąc pod uwagę powyższe pojęcia można przytoczyć definicję oceny.

Definicja:

"Ocena nazywamy wypowiedź wartościującą podmiotu oceniającego, wyrażającą - najogólniej - aprobatę lub dezaprobatę dla stanu systemu ocenianego w sensie przyjętego kryterium /kryteriów/ sformułowanego na podstawie określonych wartości!"

Ocenę formułuje się wówczas, kiedy stwierdza się pewną zgodność lub niezgodność danego stanu rzeczy z określonym kryterium.

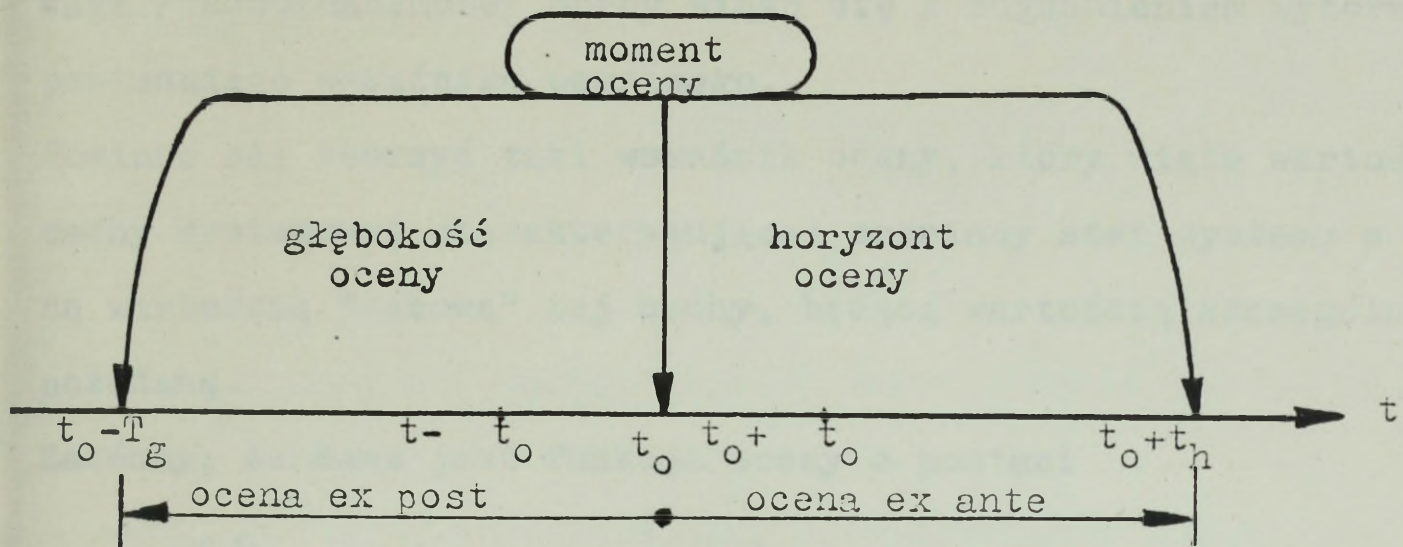
Najczęściej wyróżnia się dwie grupy ocen:

- oceny zwykłe, które dotyczą wewnętrznych właściwości systemu, orzekające, że system jest po prostu dobry lub bezwzględnie zły;
- oceny użyteczne, które dotyczą zewnętrznych wartości systemu, orzekające, że system jest po prostu dobry lub zły do czegoś, z uwagi na coś, lub że coś jest środkiem do czegoś innego.

W dalszej części pracy koncentrować się będziemy na ocenach użytecznych, ze względu na wspomniany już aspekt potrzeb i wartości. Z uwagi na parametr czasu w procesie oceniania, wyróżniać będziemy:

- oceny retrospektywne /ex post/, czyli oceny formułowane dla przeszłych /w stosunku do chwili, w której dokonywana jest ocena/ stanów przedmiotu oceny;
- oceny ex ante, czyli oceny formułowane dla przewidywanych /prognostycznych/ stanów przedmiotu oceny.

Jako parametry czasowe oceny przyjmujemy /rys. 1.1.2/:



Rys. 1.1.2. Parametry czasowe oceny

- moment oceny t_0 /ściślej przedział czasu $t_0 - \Delta t_0, t_0 + \Delta t_0$
- głębokość oceny /dla ocen ex post/ T_g lub horyzont oceny /dla ocen ex ante/ T_h .

Zarówno oceny ex post, jak i oparte na nich oceny ex ante stanowią w istocie proces kontroli przebiegu procesu działania /funkcjonowania/ systemu. Obie te grupy ocen dotyczą dwóch aspektów badania systemów - aspektu historycznego i aspektu prognostycznego - i są niezbędnym elementem każdego procesu sterowania.

Ze względu na licznosc zbioru kryteriow oceny wyróżnia się:

- oceny jednokryterialne, czyli oceny formułowane na podstawie jednego i tylko jednego kryterium oceny;
- oceny wielokryterialne, czyli oceny formułowane na podstawie co najmniej dwóch kryteriow oceny.

Ze względu na podmiot oceniający wyróżniać będziemy:

- oceny indywidualne;
- oceny grupowe /kolektywne/.

Waga /jednoznaczność/ oceny wiąże się z zagadnieniem wyboru odpowiedniego wskaźnika ocenowego.

Powinno się tworzyć taki wskaźnik oceny, który wiąże wartość cechy systemowej charakteryzującej oceniany stan systemu z pewną wartością "bazową" tej cechy, będącą wartością szczególnie pożądaną.

Założmy, że dana jest funkcja oceny o postaci

$$f(x_i, y_j) = f_{ij}, \quad x_i \in X, y_j \in Y$$

i niech jej rezultat uzyskany w wyniku pomiaru wartości cechy będzie f_{ij}^r , to jako wskaźnik oceny można skonstruować funkcję

$$\lambda_f = \lambda / f_{ij}^r, f_{ij}^0 /$$

gdzie f_{ij}^0 - wartość bazowa uzyskana dzięki zastosowaniu jednej z reguł decyzyjnych.

Do najczęściej spotykanych reguł decyzyjnych [66,69] można zaliczyć np.:

- regułę maksymalną Walda o postaci

$$f_{ij}^0 = \max_i / \min_j f_{ij} /$$

co może oznaczać najkorzystniejszą wartość danego kryterium przy najmniej korzystnych warunkach;

- regułę maksymalną o postaci

$$f_{ij}^0 = \max_j / \max_i f_{ij} /$$

co może oznaczać najkorzystniejszą wartość kryterium w najkorzystniejszych warunkach;

- regułę Hurwicza o postaci

$$f_{ij}^0 = \max_j [(1-\alpha) / \max_i f_{ij} / + \alpha / \min_i f_{ij} /$$

gdzie α - wskaźnik preferencji /optymizmu/;

- regułę Savega o postaci

$$f_{ij} = \min_i \max_j \psi_{ij}$$

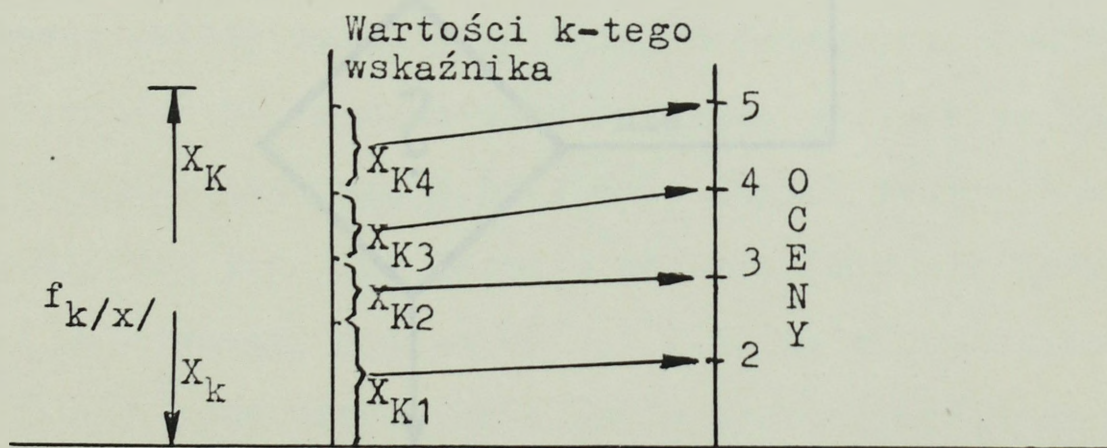
gdzie

$$\psi_{ij} = \max_k f_{kj} - f_{ij}$$

co może oznaczać przyjęcie jako bazowej wartości takiej, która zapewnia minimalizację strat.

Teoretyczne rozważania dotyczące oceny systemów można zakończyć propozycją ogólnej metodyki oceny. Powinna ona obejmować następujące etapy /rys. 1.1.3/.

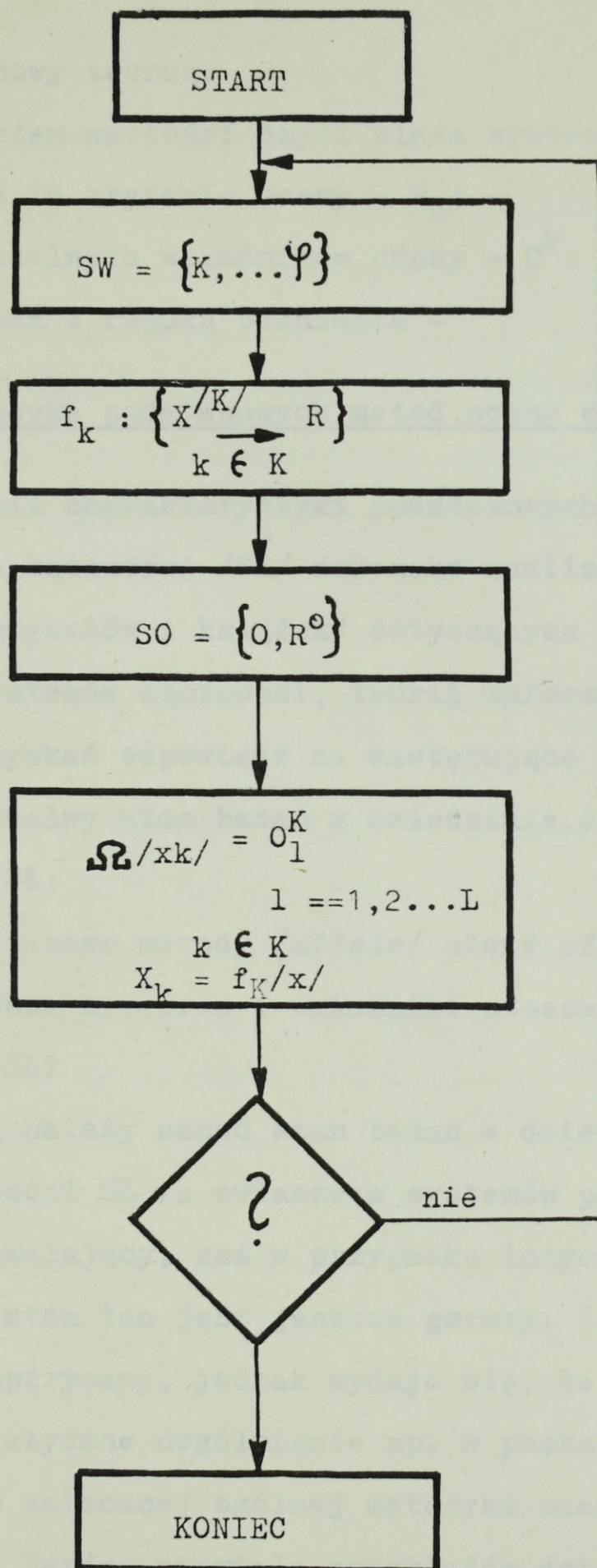
1. Utworzenie podmiotu oceniającego /kolektywnego lub indywidualnego/.
2. Określenie systemu wartości.
3. Wybór wskaźników oceny dla każdego kryterium.
4. Określenie skali wartości każdego wskaźnika oceny i zasad pomiaru.
5. Określenie skali ocen i reguł oceniania.



6. Formułowanie ocen.
7. Weryfikacja poprawności ocen.

Tak więc modelem ocenowym systemu /MOS/ będziemy nazywać następujący obiekt:

$$MOS = \langle SW, \{F_k, O^k, \Omega_k\} \rangle_{k \in K}$$



Rys. 1.1.3. Ogólna metodyka oceny systemów

Zatem model ocenowy tworzą:

- określony system wartości czyli klasa systemów - SW;
- odpowiadające im kryteria oceny - F_k ;
- zbiór dopuszczalnych wskaźników oceny - O^k ;
- skala ocen wraz z regułą oceniania -

1.2. Charakterystyka podstawowych metod oceny efektywności SŁ

Dla dokonania charakterystyki podstawowych metod oceny efektywności systemu łączności /SŁ/ dokonano analizy kilkudziesięciu prac /np. 3,27,70/ /artykułów i książek/ dotyczących telekomunikacji i organizacji systemów łączności, teorii informacji i teorii systemów, aby uzyskać odpowiedź na następujące pytania:

- jaki jest aktualny stan badań w dziedzinie analizy i oceny efektywności SŁ;
- jakie są podstawowe metody /modele/ oceny efektywności SŁ;
- jakie podstawowe kryteria i wskaźniki stosowane są do oceny efektywności SŁ?

Z całą pewnością należy uznać stan badań w dziedzinie analizy i oceny efektywności SŁ /a zwłaszcza systemów perspektywicznych/ za niezadawalający, zaś w przypadku innych systemów wojskowych /polowych/ stan ten jest jeszcze gorszy. Istnieje dość bogaty materiał empiryczny, jednak wydaje się, że nie zostało dokonane jego teoretyczne uogólnienie np. w postaci ogólnego modelu ocenowego lub zalecanej ogólnej metodyki oceny polowych systemów łączności. Bardzo niewiele przykładów dotyczy oceny wybranych elementów SŁ /np. kanału radiowego, kanału TD, łączności radioliniowej itp./.

Powyższą ocenę w pełni potwierdzają publikowane opinie specja-

listów państw zachodnich /np. ADVICE II/.

Uwagi te także dotyczą również metodyki formułowania wymagań taktyczno-technicznych na polowe systemy łączności.

Należy stwierdzić istnienie znacznej rozpiętości pomiędzy matematycznymi modelami systemów informacyjnych, posiadających znaczną wartość poznawczą, a technikami oceny przydatnymi w działalności praktycznej organów /decydentów/ łączności.

Ocenianie systemu łączności określone jest przez takie elementy jak:

- cel oceniania systemu;
- metody rozwiązania problemu i narzędzia umożliwiające ich zastosowanie.

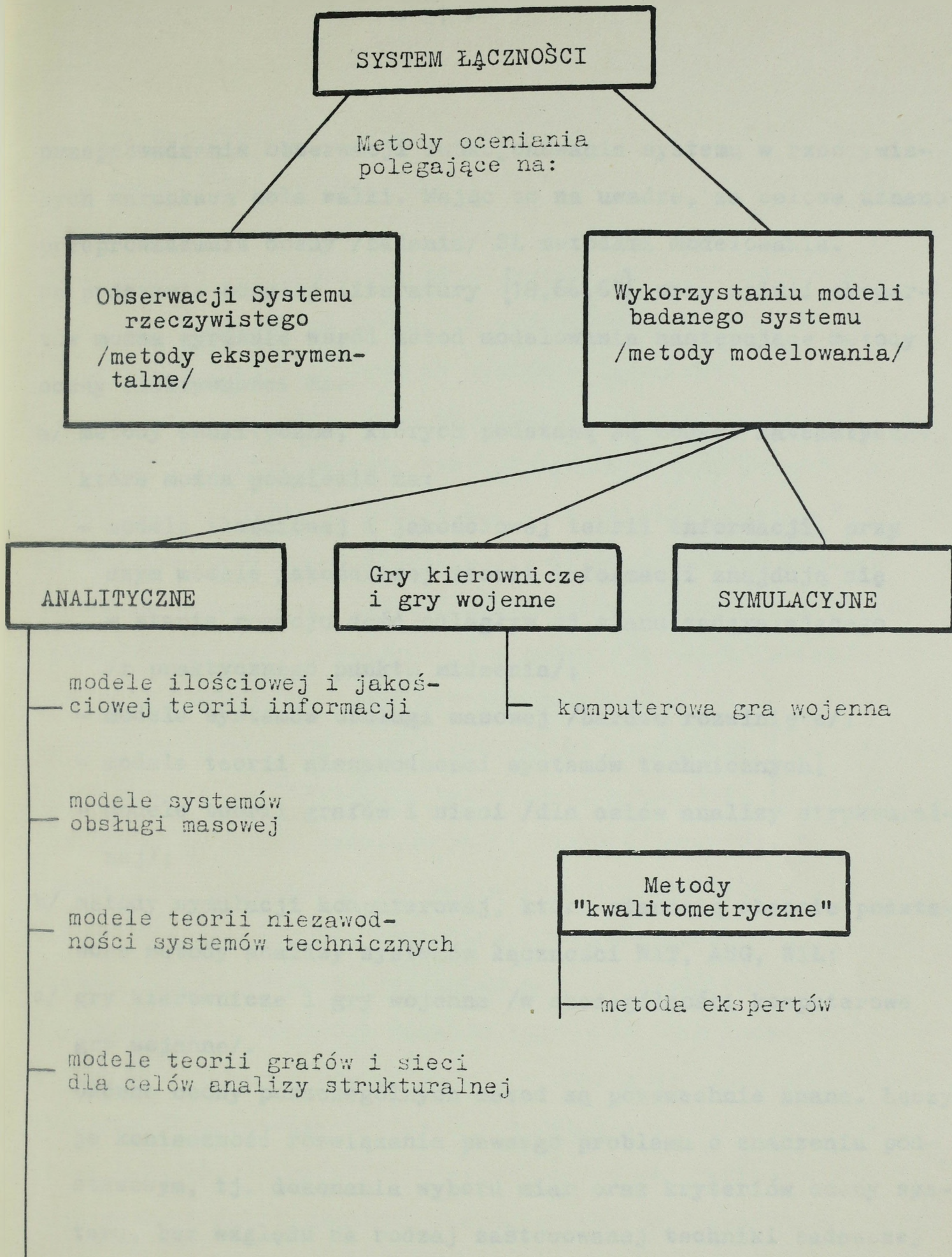
Charakter problemu i stopień złożoności badanego systemu decyduje o właściwej koncepcji procesu badawczego.

Ocenianie /badanie/ systemów łączności może być realizowane w oparciu o metody eksperymentalne, lub metody modelowania /oparte na wykorzystaniu określonych rodzajów modeli/badanego systemu łączności. Graficzną ilustrację przedstawionych metod przedstawia rys. 1.1.4.

Metody eksperymentalne stosowane są w odniesieniu do systemów rzeczywistych i wówczas jeżeli koszty badań i warunki ich realizacji pozwalają na ich zastosowanie.

Na etapie prac projektowych, perspektywiczny SŁ należy traktować jako system hipotetyczny, co wyklucza możliwość przeprowadzenia badań eksperymentalnych /obserwacji systemu/.

Gdyby jednak taka możliwość zaistniała to celowość takich badań będzie wątpliwą ze względu na ich znaczny koszt, zbyt długi czas trwania i co jest najważniejsze, ze względu na niemożliwość



Rys. 1.1.4. Ogólna charakterystyka metod badania SŁ

przeprowadzenia obserwacji funkcjonowania systemu w rzeczywistych warunkach pola walki. Mając to na uwadze, za celowe uznano przeprowadzenie oceny /badania/ SŁ metodami modelowania.

Na podstawie bogatej literatury [18,66,69] oraz opinii ekspertów można wyróżnić wśród metod modelowania następujące metody oceny efektywności SŁ:

a/ metody analityczne, których podstawą są modele matematyczne, które można podzielić na:

- modele ilościowej i jakościowej teorii informacji, przy czym modele jakościowej teorii informacji znajdują się w stanie rozwoju dość odległym od stanu zadawalającego /z praktycznego punktu widzenia/;
- modele systemów obsługi masowej /bardzo rozwinięte/;
- modele teorii niezawodności systemów technicznych;
- modele teorii grafów i sieci /dla celów analizy strukturalnej/;

b/ metody symulacji komputerowej, które stanowią obecnie podstawowe metody analizy systemów łączności WAT, ASG, WIŁ;

c/ gry kierownicze i gry wojenne /w szczególności komputerowe gry wojenne/.

Główne cechy poszczególnych metod są powszechnie znane. Łączy je konieczność rozwiązania pewnego problemu o znaczeniu podstawowym, tj. dokonania wyboru miar oraz kryteriów oceny systemu, bez względu na rodzaj zastosowanej techniki badawczej /modelowania/. Z tego względu należy także wyróżnić jeszcze jedną grupę metod, tj.

d/ metody "kwalitometryczne", stosowane w zagadnieniach oceny jakości obiektów, łączące podejście heurystyczne /ustalenie

cech kryterialnych i ich ważności za pomocą metody ekspertów/ i analityczne /ustalenie wartości jakości systemu metodą punktową/.

Ostatnia z wyróżnionych metod wydaje się być perforowana w amerykańskich programach badawczo-rozwojowych dotyczących perspektywicznych polowych systemów łączności.

Metody pierwszej grupy są najliczniej reprezentowane w literaturze, a także szeroko wykorzystywane w praktycznej działalności inżynierskiej. Znajdują one zastosowanie przy rozwiązywaniu zasadniczych zadań w procesie analizy i syntezy systemu. Jednak ze względu na istotne ograniczenia w możliwości pełnego opisu analizowanej rzeczywistości pozwalają one w zasadzie oceniać tylko określone cechy systemu łączności.

Dotyczy to często odporności systemu na zakłócenia [11,26], jakości transmisji [61,84], a także analizy ruchowej [3,20], niezawodności [47,57], przepustowości systemu łączności [27] itd. Spotyka się także próby tworzenia bardziej ogólnych modeli, w których ocena systemu łączności dokonywana jest z punktu widzenia jakości świadczonych usług przy uwzględnieniu niektórych czynników właściwych dla realnych warunków jego funkcjonowania. W [84] np. Zacharow ocenia system z punktu widzenia prawdopodobieństwa dostarczenia wiadomości w zadanym czasie w wielokanałowym systemie łączności z uwzględnieniem dwustanowego procesu eksploatacji /użytkowanie i obsługiwanie/, niezawodności urządzeń oraz procesu starzenia informacji.

Metoda symulacji komputerowej, będąc wolną od szeregu ograniczeń właściwym technikom analitycznym, stwarza znacznie większe możliwości w realizacji eksperymentu badawczego /oceniań/.

Szeroko może być wykorzystywana praktycznie we wszystkich fazach projektowania, doskonalenia i eksploatacji systemu łączności. Jej zastosowania obejmują najczęściej badania właściwości proponowanych rozwiązań w procesie funkcjonowania systemu w takich sytuacjach, gdy próby rozwiązania metodami analitycznymi stają się niemożliwe np. [5,11,82,80].

Jednak, wbrew niektórym obiegowym opiniom, jej skuteczność we wspomaganie projektowania perspektywicznych systemów łączności silnie zależy od stopnia znajomości praw rządzących podstawowymi procesami funkcjonowania systemu, "mechanizmów" ich wzajemnego oddziaływania oraz umiejętności ich opisu.

Opracowanie modelu symulacyjnego, w oparciu o który można w sposób wiarygodny wnioskować o badanym obiekcie /SŁ/ jest problemem bardzo złożonym. Jednocześnie nakłady na realizację eksperymentów symulacyjnych silnie rosną ze wzrostem wielkości realizowanego zadania. Również znaczna zazwyczaj złożoność programów i względnie długie czasy ich przetwarzania stanowią istotne czynniki decydujące o możliwości przeprowadzenia dostatecznie pełnego badania symulacyjnego w jednym przedziale czasu. Metodą perspektywną i jednocześnie pozwalającą najpełniej oddać istotę oceny efektywności systemu łączności jest komputerowa gra wojenna, która zawierałaby moduł oceny wpływu charakterystyk opisujących funkcjonowanie systemu łączności na efektywność systemu nadrzędnego tj. systemu dowodzenia wojskami w określonym rodzaju prowadzonych działań w zadanych warunkach. Jednakże skuteczność tej metody jest silnie determinowana rozwojem badań symulacyjnych, w szczególności dotyczy to symulacji współczesnego pola walki [6].

Jest ona również uwarunkowana możliwością ścisłego określenia związków między parametrami systemu łączności a parametrami systemu dowodzenia, zadaniami wykonywanymi przez SŁ a osiągniętym rezultatem walki itp.

Autor jednak uważa, że w obecnym stanie zaawansowania prac nad rozwojem tej techniki badawczej w kraju pozostaje ona jedynie postulatem metodologicznym. Metody kwalitometryczne, jak można sądzić w oparciu o dostępne informacje [70] są preforowanymi metodami oceny systemów łączności zwłaszcza w pracach badawczo-rozwojowych dotyczących opracowania i wdrożenia systemów perspektywicznych. Pozwalają one na dostarczenie decydentom /już na etapie koncepcji czy projektu wstępnego/ zobiektywizowanych danych dotyczących wartości poszczególnych cech /parametrów/ oraz uogólnionych miar efektywności w ramach proponowanych wariantów systemu. Wymagają one jednak dysponowania dobrze przygotowanego /zarówno od strony zawodowej jak i metodologicznej/ zespołu ekspertów.

Dla wyznaczenia uogólnionych charakterystyk projektowanego SŁ zaleca się stosowanie metody kwalitometrycznej.

Pożądane jest aby do oszacowania wartości parametrów SŁ wykorzystane były proste modele analityczne, stanowiące pomoc do analizy wyników pracy zespołu ekspertów. Pozwoli to na szybkie wstępne określenie efektywności proponowanych wariantów systemu i stworzy dogodne warunki do podjęcia decyzji odnośnie przeprowadzenia wymaganych zmian w rozważanych wariantach.

W systemach już istniejących oraz tych które wejdą do eksploatacji /zautomatyzowane SŁ/ istnieje potrzeba uwzględnienia wielu czynników losowych oraz czynników o charakterze ilościowo-

jakościowym, dlatego też ich ocena może być dokonywana jedyną dostępną techniką jaką jest symulacja komputerowa.

Wyniki analizy obecnie eksploatowanego w określonych warunkach systemu łączności oraz wnioski wynikające z analizy powyżej przedstawionych metod stanowić będą podstawę do opracowania przez autora niniejszej pracy modelu ocenowego efektywności eksploatowanego i perspektywicznego systemu łączności ZT /SŁ WOPL ZT/.

1.3. Podstawowe kryteria i wskaźniki oceny efektywności SŁ

Podstawowym celem oceniania SŁ jest dostarczenie danych ilościowych umożliwiających między innymi:

- podejmowanie decyzji dotyczących wyboru wariantu systemu i jego elementów spośród proponowanych rozwiązań alternatywnych;
- ocenę poziomu jakościowego istniejącego i tworzonego systemu w porównaniu z innymi systemami opracowanymi w kraju bądź za granicą;
- weryfikację założeń, koncepcji i proponowanych rozwiązań;
- racjonalny dobór parametrów systemu i jego urządzeń niezbędnych np. dla określenia dalszego przebiegu prac projektowych;
- wykrywanie czynników krytycznych "wąskich gardeł" i innych źródeł zagrożenia jak i określenie skuteczności podejmowanych przedsięwzięć zaradczych.

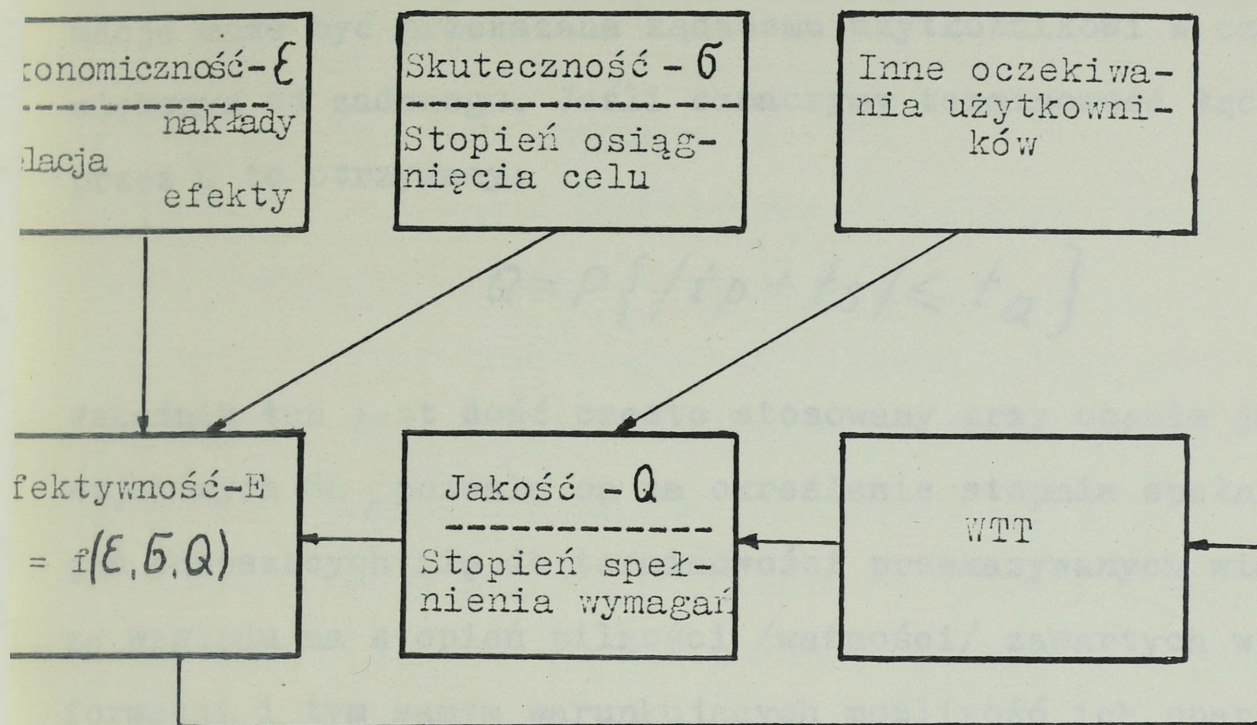
Ocena SŁ powinna być i jest najczęściej dokonywana z punktu widzenia pojedynczych jego właściwości jak np.:

- pojemności i zdolności przepustowej sieci;
- jakości transmisji;
- jakości obsługi;
- gotowości technicznej systemu do realizacji stojących przed nim zadań;
- odporności na rozpoznanie i obezwładnienie;
- wskaźników ekonomicznych i eksploatacyjnych.

Uzyskanie przez system optymalnych właściwości ze względu na pojedynczą cechę /kryterium/ nie oznacza, że globalny efekt funkcjonowania systemu musi być również optymalny. Podobnego typu trudności występują również, gdy trzeba np. dokonać wszechstronnego porównania różnych wariantów systemu. Stąd wynika potrzeba poszukiwania na gruncie analizy systemowej /podejścia systemowego/ uogólnionych kryteriów i miar efektywności realizacji zadań przez SŁ w konkretnych warunkach eksploatacyjnych.

W praktyce dla formułowania miar efektywności i dokonywania jej oceny jest niezbędne ustalenie wzajemnych relacji między efektywnością systemu i jego jakością. W ujęciu proponowanym przez [2] przedstawia to rys.1.1.5.

Można przyjąć, że jakość SŁ charakteryzuje stopień spełnienia WTT a także innych oczekiwań użytkowników dotyczących wartości cech i parametrów systemu. WTT stanowią zbiór takich wartości parametrów systemu, które wyrażają zapotrzebowanie przyszłych jego użytkowników określane z punktu widzenia ich celów działania. Tym samym efektywność SŁ powinna być wyrażana poprzez te miary jakości systemu, które w zasadniczym stopniu decydują o stopniu zaspokojenia stawianych przed nim celów i realizowanych zadań w znanych lub przewidywanych warunkach działania wojsk.



1.1.5. Relacje między efektywnością a jakością SŁ

Do cech jakościowych charakteryzujących SŁ należy zaliczyć operatywność [41]. Rozumiana jest ona jako zdolność systemu do sprawnej realizacji obsługi procesu wymiany informacji.

Miarą operatywności $-O_p$ może być wskaźnik funkcjonowania SŁ, określanymi jako wartość oczekiwana zmiennej losowej

$$M \left[\frac{t_{pi}}{t_{pi} + t_{si}} \right] \text{ o funkcji gęstości } f \left[\frac{t_{pi}}{t_{pi} + t_{si}} \right]$$

gdzie: t_p - czas efektywnego przekazywania wiadomości,

t_s - straty czasu w procesie przekazywania wiadomości,

i - możliwy stan sieci.

W sytuacjach, gdy jest istotne aby wiadomości były przekazywane w czasie nie przekraczającym pewnej ustalonej dopuszczalnej wartości t_Q wykorzystuje się inny wskaźnik [41,70] nazywany terminowością łączności.

Terminowość łączności jest to prawdopodobieństwo tego, że informacja może być przekazana żądanemu użytkownikowi w czasie nie większym od zadanego. Jeśli oznaczymy terminowość łączności przez Q to otrzymamy:

$$Q = P\{ /t_p + t_s / \leq t_a \} \quad /1.3.1/$$

Wskaźnik ten jest dość często stosowany przy ocenie jakości wojskowych SŁ, pozwala on na określenie stopnia spełnienia wymagań odnoszących się do terminowości przekazywanych wiadomości ze względu na stopień pilności /ważności/ zawartych w nich informacji i tym samym warunkujących możliwość ich operatywnego wykorzystania. Miary wykorzystywane do oceny jakości transmisji zależą przede wszystkim od rodzaju usługi świadczonej przez system.

Gdy jest on wykorzystywany do przesyłania wiadomości fonicznych to typową miarą jakości jest zrozumiałość mowy. Z reguły ocenia się zrozumiałość sylabową tj. jako stosunek liczby poprawnie odebranych co całkowitej liczby nadanych sylab /zgłosek/.

Gdy w systemie jest realizowana usługa wymiany danych, to jako miarę jakości transmisji przyjmuje się prawdopodobieństwo odbioru błędnego znaku

$$P_{bzn} = \lim_{Z \rightarrow \infty} \frac{Z_{bzn}}{Z} \quad /1.3.2/$$

gdzie: Z - liczba nadanych znaków

Z_{bzn} - liczba błędnie odebranych znaków

W zależności od przyczyn dla których ma być dokonywana ocena SŁ, a także sposobu i zakresu wykorzystania wyników formułowane są jeszcze inne miary efektywności oraz przyjmowane odpowiednie

metody wyznaczania ich wartości liczbowych. To zróżnicowanie wyraża się tak w liczbie i rodzaju uwzględnionych cech systemu jak i w sposobie ich uogólnienia.

Analizując spotykane w literaturze miary efektywności można wyróżnić następujące podstawowe rodzaje:

- 1/ wskaźniki operacyjne związane z oceną wpływu systemu łączności na rezultat działania systemu zabezpieczonego /nadrzędnego/ tj. systemu dowodzenia /kierowania/;
- 2/ wskaźniki informacyjne - związane z oceną ilości i jakości "produktu" systemu z punktu widzenia stopnia zaspokojenia określonych potrzeb i wymagań organów dowodzenia i kierowania;
- 3/ wskaźniki techniczno-eksploatacyjne - związane z oceną skuteczności działania systemu łączności z punktu widzenia stopnia wykorzystania potencjalnych możliwości technicznych jego elementów i podsystemów w procesie eksploatacji;
- 4/ wskaźniki ekonomiczne - związane z oceną rezultatów działania SŁ rozpatrywanych w kategoriach kosztów i nakładów finansowych.

Przykładowym reprezentantem I grupy może być wskaźnik zaproponowany w [70] przez Sienkiewicza. Wychodząc z liniowego modelu Lanchestera walki grupowej [65] i przyjmując warunek zwycięstwa strony A proponuje on przyjęcie dwustanowej oceny efektywności SŁ:

$$E_{st} = \begin{cases} 1 & \text{gdy } t_a < t_b \\ 0 & \text{gdy } t_a \geq t_b \end{cases} \frac{\ln \phi_{ak}}{\ln \phi_{bk}} \quad /1.3.3/$$

gdzie: $t_a = \mathcal{L}_{pa} t_{oa}$ - czas opóźnienia działań strony A spowodowany funkcjonowaniem systemu dowodzenia i łączności

$t_b = \mathcal{L}_{pb} t_{ob}$ - czas opóźnienia działań strony B spowodowany funkcjonowaniem systemu dowodzenia i łączności

$\mathcal{L}_{pa}, \mathcal{L}_{pb}$ - współczynniki współbieżności procesów dowodzenia i procesów wykonawczych stron A i B i przyjmują wartości z przedziału $[0 \div 1]$

t_{oa}, t_{ob} - czasy organizacji działań strony A i B

$$\phi_{ak} = \frac{n_{ak}}{n_{ao}}$$

$$\phi_{bk} = \frac{n_{bk}}{n_{bo}}$$

n_{ao}, n_{bo} - początkowe ilości środków walki stron walczących,

n_{ak}, n_{bk} - krytyczna ilość środków walki stron walczących, przy której następuje utrata zdolności do dalszego prowadzenia działań bojowych.

Warto zauważyć, że wskaźnik ten, mimo znacznych uproszczeń wynikających z przyjętego modelu walki, pozwala na ocenę skutków /w sensie wyników walki/, jakie powodują opóźnienia w realizacji procesów informacyjnych w SŁ stron walczących.

W literaturze najszerszej reprezentowane są wskaźniki drugiej grupy tj. informacyjne. W przypadku gdy SŁ traktowany jest jako system "wytwórczy", można go oceniać ze względu na ilość produkcji /ilości przesłanej informacji w określonym czasie/ Y_p i jej wartości V_p .

Wskaźnik ten może mieć postać:

$$E_p = \Psi / Y_p, V_p / \quad /1.3.4/$$

Wielkości V_p i Y_p są w praktyce różnie interpretowane.

W [84] Zacharow traktuje ilość produkcji jako iloczyn ilości informacji i odległości na jaką została ona przekazana w systemie łączności w czasie jego działania.

Przez wartość produkcji SŁ rozumie się zazwyczaj wielkość efektu materialnego związanego z dostarczeniem informacji do użytkownika [84] bądź stopień satysfakcji użytkownika z otrzymania informacji [85] wyrażający się np. w terminowym jej dostarczeniu wzór 1.3.1.

Innym wskaźnikiem oceny efektywności może być stopień zaspokojenia potrzeb w zakresie wymiany informacji przez dany wariant /w określonym stanie/ systemu łączności, np.:

$$Est_k = \frac{Y_k}{Y_p} \quad /1.3.5/$$

lub inaczej

$$Est_k = \frac{Y_k - Y_{st.akt.}}{Y_p - Y_{st.akt.}} \quad \text{lub} \quad Est_k = \frac{Y_k - Y_{stakt}}{Y_{ideal} - Y_{stakt}} \quad /1.3.6/$$

gdzie: Y_k - ilość informacji przekazywanej przez dany wariant w jednostce czasu w /zn/godz./,

Y_{ideal} - ilość informacji przekazanej przez wariant idealny w zn/godz.

Y_p - potrzeb, w zakresie wymiany informacji w zn/godz.

$Y_{st.akt.}$ - zdolność informacyjna systemu aktualnego w zn/godz.

k - liczba wariantów.

W trzecim przypadku według [67] ocena efektywności SŁ jest dokonywana z punktu widzenia wybranego wskaźnika jakości świadczonych usług np. ilości przesłanej informacji Y_s w SŁ z uwzględnieniem ograniczeń wynikających z konkretnych warunków funkcjonowania systemu

$$E_y = \begin{cases} 0 & \text{dla } Y_s \leq Y_s^k \\ \ln Y_s \left[\ln \frac{Y_s^g}{Y_s^k} \right]^{-1} + \ln Y_s^k \left[\ln \frac{Y_s^k}{Y_s^g} \right]^{-1} & \text{dla } Y_s^k < Y_s^g \\ 1 & \text{dla } Y_s \geq Y_s^g \end{cases} \quad /1.3.7/$$

gdzie Y_s^k - krytyczna wartość parametru Y_s od której poczynając każda jego mniejsza wartość uniemożliwia wykonanie zadań np. postawionych przed wojskami,

Y_s^g - graniczna wartość parametru Y_s w pełni zapewniająca wykonanie zadań i której dalsze zwiększenie nie wpływa na stopień osiągnięcia zamierzonych celów.

Ten wskaźnik może charakteryzować system w skali globalnej, jak również z punktu np. poszczególnych kategorii ważności /pilności/ przesyłanych informacji.

Spośród wskaźników techniczno-eksploatacyjnych warto zwrócić uwagę na wskaźnik [70]

$$E_e = \begin{cases} 1 - \frac{\ln \tau_0}{\ln \tau_0^g} & \text{dla } \tau_0 < \tau_0^g \\ 0 & \text{dla } \tau_0 \geq \tau_0^g \end{cases} \quad /1.3.8/$$

gdzie: τ_0 - czas po upływie którego SŁ jest zdolny do normalnej pracy po usunięciu skutków zaistniałych zmian w dotychczasowych warunkach jego działania /np. niszczące oddziaływanie npla, zmiany organizacyjne w systemie/,

τ_0^g - graniczny czas przywrócenia zdolności systemu do realizacji nałożonych na niego zadań.

Pozwala on na ocenę systemu z punktu widzenia jego technicznych i organizacyjnych zdolności do skutecznego reagowania na zmieniające się warunki eksploatacji. Tego rodzaju miara może mieć szczególne znaczenie przy ocenie efektywności systemów szczególnie narażonych na ten rodzaj oddziaływań, np. polowych systemów łączności.

Efektywność ekonomiczna może być wyznaczona przy wykorzystaniu np. wskaźnika zaproponowanego w [84] przez Zacharowa:

$$E_e^2 = E_p \frac{1}{N_b + N + N_e T} \quad /1.3.9/$$

gdzie: E_p - wskaźnik efektywności informacyjnej /wzór 1.3.4/,

N_b - nakłady na prace badawczo-wdrożeniowe,

N - nakłady inwestycyjne,

N_e - koszty eksploatacji,

T - czas eksploatacji systemu.

Do oceny systemu w takiej formie, która pozwalałaby na objęcie nią wszystkich istotnych jego podstawowych właściwości niezbędny jest uogólniony wskaźnik efektywności. Jako jeden z prostych i jednocześnie uniwersalnych wymienia się [58] wskaźnik wyrażony za pomocą funkcjonału liniowego parametrów systemu:

$$E_{u_1} = \sum_{i=1}^k \alpha_i \beta_i \quad /1.3.10/$$

gdzie: α_i - współczynnik "wagowy" parametru,

β_i - parametr systemu,

k - liczba uwzględnionych parametrów.

Liniowa forma tego wskaźnika nie pozwala na dostatecznie precyzyjne wyrażenie łącznego efektu oddziaływania poszczególnych parametrów. Wskaźnik ten przedstawiony w innej formie tj. nieliniowej, wady tej nie posiada. Jego postać jest następująca:

$$Eu_2 = \prod_{i=1}^k \beta_i^{\alpha_i} \quad /1.3.11/$$

W obu tych przypadkach istotne znaczenie posiada właściwy tj. zapewniający obiektywność oceny dobór wartości współczynników wagowych. W takich przypadkach korzysta się z różnego rodzaju metod badania opinii ekspertów /np. metodą delficką/.

Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, że wskaźniki typu E_{u1} , E_{u2} są pewnym algorytmem oceny efektywności. Jednakże w każdym konkretnym przypadku należy w sposób indywidualny dokonać wyboru parametrów /cech/, systemu metod wyznaczenia ich wartości, a także metodyki określania współczynników wagowych.

1.4. Związek między /wzrostem/ efektywnością dowodzenia a efektywnością łączności

Dowodzenie w systemie walki jest oparte na procesach informacyjno-decyzyjnych podsystemów w nim funkcjonujących. Wzajemne związki i zależności części składowych systemu dowodzenia określonego ogniwa dowodzenia, stanowiące jego organiczne podsystemy, a w szczególności podsystem łączności decydują o efektywności dowodzenia.

Według [86] efektywność systemu dowodzenia można zdefiniować następująco:

" - jest to całokształt zdolności decyzyjnych /dokonywania wyborów/ i informacyjnych /przesyłania informacji i przetwarzania

pozwalających na osiągnięcie zamierzonych celów działania w danych warunkach przy spełnieniu określonych wymagań".

Jednym spośród wszystkich podsystemów, które zawierają znaczne rezerwy w usprawnieniu procesów dowodzenia jest podsystem łączności.

Dlatego też w niniejszej pracy zostanie poddany ocenie wpływ efektywności poszczególnych procesów informacyjnych na sprawność działania systemu dowodzenia. Efektywność procesów informacyjnych w danym systemie dowodzenia zależy od:

1/ jakości systemu łączności, na który mają wpływ:

- zdolność przepustowa;
- szybkość przekazywanych informacji, skrytość przekazywanych informacji;
- żywotność i niezawodność systemu łączności;

2/ szybkość obiegu informacji, która zależy nie tylko od technicznych możliwości SŁ, lecz także od organizacji pracy i obiegu informacji pomiędzy elementami punktu dowodzenia oraz szybkości przetwarzania informacji we wszystkich ogniwach obiegu /w kompleksie środków automatyzacji/;

- ilości, jakości i organizacji pracy środków WRE.

Wymienione cechy systemu łączności /systemu informacyjnego/ determinują więc efektywność procesu dowodzenia i kierowania wojskami. Dlatego badanie i ocena określonych struktur systemu dowodzenia z punktu widzenia szybkości i ilości przekazywanych informacji oraz czasu reakcji poszczególnych ogniw dowodzenia należy ściśle wiązać z efektywnością funkcjonowania SŁ.

Efektywność SŁ z punktu widzenia realizacji potrzeb systemu dowodzenia można zdefiniować następująco.

Def.: Efektywnością SŁ nazwiemy cechę systemową określającą stopień zaspokojenia potrzeb systemu dowodzenia w zakresie wymiany informacji /przekazania, utajniania, przetwarzania/ w określonych warunkach oddziaływania na system i przy założonych ograniczeniach.

Efektywność SŁ jest funkcją wymienionych wcześniej czynników /pkt. 1.3. i 1.4./ determinujących jego sprawne działanie.

Praktyczne oszacowanie związków i zależności między wskaźnikami decydującymi o efektywności systemu dowodzenia a systemem łączności jest trudne i nie zawsze w pełni możliwe. Często modele ocenowe określające powyższe ilościowe zależności są bardzo złożone i trudne do rozwiązania metodami analitycznymi. Trzeba w przypadkach wskaźników niewymiernych /ale nie tylko/ uciekać się do ocen ekspertów, do metod ocen wspieranych przez EMC, przyjmować je intuicyjnie lub nawet pomijać, co powoduje pewne uproszczenia w ocenie efektywności systemu.

Efektywność systemu dowodzenia rozumianą w sensie sprawności funkcjonowania systemu i realizacji procesu decyzyjnego można oceniać według następujących kryteriów:

- operatywności dowodzenia $/O_D/$ - czasu reakcji systemu /cykl dowodzenia/, trwałości systemu dowodzenia $/tr/$, skrytości działania systemu $/Sk/$;
- jakości podejmowanych decyzji $/J/$.

W rezultacie efektywność systemu dowodzenia jest funkcją powyższych argumentów $/O_D, Tr, Sk, J/$

$$E_{SD} = f(O_D, Tr, Sk, J)$$

/1.4.1/

O wartościach powyższych argumentów w znacznej mierze decydują wskaźniki /operacyjne, informacyjne, żywotnościowe i techniczno-eksploatacyjne/ efektywności SŁ /rys. 1.4.1/.

Np. operatywność systemu dowodzenia wojskami można określić wg czasu trwania cyklu dowodzenia /kierowania/.

Ponieważ długość cyklu dowodzenia uzależniona od procesu informacyjnego, tj. od wpływu SŁ i przetwarzania danych, należy dokonać bardziej szczegółowej analizy tego problemu.

Czas cyklu dowodzenia w prostym jednoogniowym systemie [86] równa się sumie czasów trwania etapów składających się na proces dowodzenia tj.:

$$T_{cd} = \sum_{i=1}^4 t_i \quad /1.4.2/$$

gdzie: T_{cd} - czas trwania cyklu dowodzenia /godz.min./,

t_1 - czas zbierania informacji,

t_2 - czas opracowania i analizy informacji /przetwarzania, zobrazowania/,

t_3 - czas podjęcia decyzji,

t_4 - czas przekazywania decyzji wykonawcom.

W hierarchicznym SD czas zebrania informacji przez wyższe ogniwo na każdym z kierunków składa się z czasu niezbędnego na zebranie i opracowanie informacji we wszystkich niższych ogniwach dowodzenia. Czas zebrania informacji przez nadrzędny punkt dowodzenia można określić zależnością:

$$t_{zk} = t_{zn} + \sum_{j=1}^{k-1} (t_{zj} + t_{oj}) \quad /1.4.3/$$

gdzie: t_{zk} - czas zebrania informacji przez wyższe ogniwo dowodzenia na k-tym kierunku /relacji/,

t_{zn} - czas zebrania informacji w n -tym ogniwie dowodzenia,

t_{zj} - czas zebrania informacji w j -tym ogniwie dowodzenia,

t_{oj} - czas opracowania informacji w j -tym ogniwie dowodzenia,

$k = 1, m$ - ilość kierunków zbierania informacji,

$j = 1, 2, \dots, n$ - ilość ogniw d-ania.

Ogólny czas zebrania informacji przez wyższe ogniwo dowodzenia $/t_{z0}/$ będzie warunkowany przez ten kierunek, na którym czas zebrania informacji będzie najdłuższy, tj.:

$$t_{z0} = \max /t_{zk}/ \quad /1.4.4/$$

Podobnie można określić czas doprowadzenia decyzji do najniższego ogniwa dowodzenia t_{dk} .

Ogólny czas doprowadzenia decyzji do wszystkich wykonawców najniższego ogniwa t_{d0} będzie określał ten kierunek, na którym czas doprowadzenia decyzji t_{dk} będzie najdłuższy, tj.:

$$t_{d0} = \max /t_{dk}/ \quad /1.4.5/$$

Stąd też czas trwania cyklu dowodzenia T_{cd} wyrazi się wzorem:

$$T_{cd} = t_{z0} + t_o + t_{pd} + t_{d0} \quad /1.4.6/$$

gdzie t_{z0} - ogólny czas zebrania informacji,

t_o - czas opracowania i przetwarzania informacji,

t_{pd} - czas podjęcia decyzji,

t_{d0} - ogólny czas doprowadzenia decyzji do wykonawców najniższego ogniwa.

Z powyższych rozważań wynika, że najistotniejszy wpływ na efektywność dowodzenia mają te cechy SŁ, które decydują o stopniu zaspokojenia potrzeb w zakresie wymiany informacji, a mianowicie:

- operatywność łączności O_p /wskaźnik funkcjonowania SŁ e_f , terminowość łączności - Q /;
- zdolność przepustowa - Y ;
- skrytość /stopień utajniania/ - S ;
- żywotność /niezawodność/ - \dot{Z} ;
- jakość przekazywanych informacji w sensie wierności transmisji - P_{bzn} .

Wskaźniki te decydują wprost o wartościach czynników - determinant efektywności systemu dowodzenia

$$E_{SD} = f/|E_{St}| = f/O_p, Y, S, \dot{Z}, M/ \quad /1.4.7/$$

Np. w zależności na czas cyklu dowodzenia /wzór 1.4.6/ występują takie czynniki /czas zbierania, czas przekazywania informacji/, które zależą przede wszystkim od operatywności łączności, zdolności przepustowej, szybkości przekazywania informacji, a te ostatnie uwarunkowane są możliwościami technicznymi środków SŁ.

Inną miarą oceny efektywności systemu dowodzenia może być wskaźnik skrócenia terminów przekazywania informacji przez poszczególne szczeble dowodzenia V/t

$$V/t = \frac{\bar{T}_{akt} - \bar{T}_w}{\bar{T}_{akt}} \quad /1.4.8/$$

gdzie: \bar{T}_{akt} - śr. czas przekazywania informacji w aktualnym systemie łączności

\bar{T}_w - śr. czas przekazywania informacji przez nowy wariant SŁ.

Problem wprowadzania nowych SŁ /wariantów/ do systemu dowodzenia i ich wpływ na jego efektywność można rozpatrywać następująco.

Jeżeli dla każdego kryterium /wskaźnika oceny efektywności/ określi się następujące wartości, tj.:

W_i^0 - wartość i-tego wskaźnika efektywności dla systemu dowodzenia z aktualnym SŁ;

W_i^r - wartość i-tego wskaźnika efektywności dla systemu dowodzenia z wariantem nowego SŁ;

W_i^a - wartość i-tego wskaźnika efektywności dla systemu dowodzenia z idealnym SŁ /taki, który zaspokoi wszystkie potrzeby systemu d-nia/

to ocena efektywności systemu dowodzenia ze względu na i-te kryterium określonego SŁ wyrażana jest wzorem:

$$E_i = \frac{W_i^r - W_i^0}{W_i^a - W_i^0} \quad /1.4.9/$$

Analiza przedstawionych wyżej współzależności między efektywnością systemu dowodzenia a efektywnością systemu łączności utwierdza w przekonaniu, że problem jednoznacznej oceny systemu dowodzenia jest problemem dość złożonym. Uwarunkowane jest to złożonością procesu dowodzenia wojskami.

Tak więc, efektywność systemu dowodzenia można ocenić na podstawie kryterium zasadniczego odnoszącego się do głównego elementu systemu np. SŁ.

Jako kryterium główne oceny systemu dowodzenia wojsk OPL DZ autor proponuje przyjąć operatywność, która wyrażona jest czasem

cyklu dowodzenia /czasem reakcji T_R^0 w WOPL/ z jednoznacznym określeniem jego związków analitycznych z pozostałymi czynnikami mającymi wpływ na proces dowodzenia, zgodnie z zależnościami przedstawionymi wcześniej.

Innym wskaźnikiem oceniającym [25] system kierowania OPL jest rubież postawienia zadań ogniowych - D_{pz} .

Czas reakcji oddziału /pododdziału/ rakiet przeciwlotniczych T_R^0 zależy od czasu reakcji zestawu /pododdziału/ oraz czasu niezbędnego na podjęcie decyzji na danym punkcie dowodzenia i na postawienie zadania ogniowego.

$$T_R^0 = T_{PD} + T_G + T_K + T_R \quad /1.4.10/$$

gdzie: T_{PD} - czas niezbędny na powzięcie decyzji na postawienie zadania ogniowego na danym punkcie dowodzenia,

T_G - czas niezbędny na podjęcie decyzji na przejście do gotowości bojowej nr 1,

T_K - czas przekazania sygnału /komendy/;

T_R - czas reakcji zestawu /pododdziału/.

Rubież postawienia zadania ogniowego D_{pz} definiowana jako odległość, na którą należy przekazać zadanie, by środki ogniowe mogły ostrzelać cel na dalszej granicy strefy rażenia. Jest to wymóg związany z możliwością skutecznego zwalczania SNP przez różne środki ogniowe. Rubież postawienia zadań ogniowych / D_{pz} / określana jest następująco:

$$D_{pz} \geq D_d + V_c (T_{op} + T_{SD} + T_R + T_S) \quad /1.4.11/$$

gdzie: D_d - odległość do dalszej granicy strefy rażenia środka ogniowego przeciwlotniczego,

V_c - prędkość lotu celu powietrznego,

T_{op} - czas opóźnienia informacji o sytuacji powietrznej,

T_{SD} - sumaryczny czas pracy punktu dowodzenia obejmujący czasy analizy zadania, oceny sytuacji, powzięcia decyzji do zniszczenia celu oraz przekazania zadania ogniowego,

T_R - czas reakcji oddziału, pododdziału /zestawu/ rakiet /art./ plot.,

T_S - czas trwania strzelania, lotu rakiety /pocisku/ do dalszej granicy strefy rażenia.

W wymienionych wyżej wskaźnikach decydujący wpływ SŁ będzie zauważalny w tych składnikach, które zależą od czasu przekazania i opracowania informacji. Są to T_K , T_{OP} i T_{SD} .

Pozostałe kryteria warunkujące efektywność systemu dowodzenia będące wskaźnikami SŁ przyjmuje się jako uzupełniające wg metody addytywnego wyważenia.

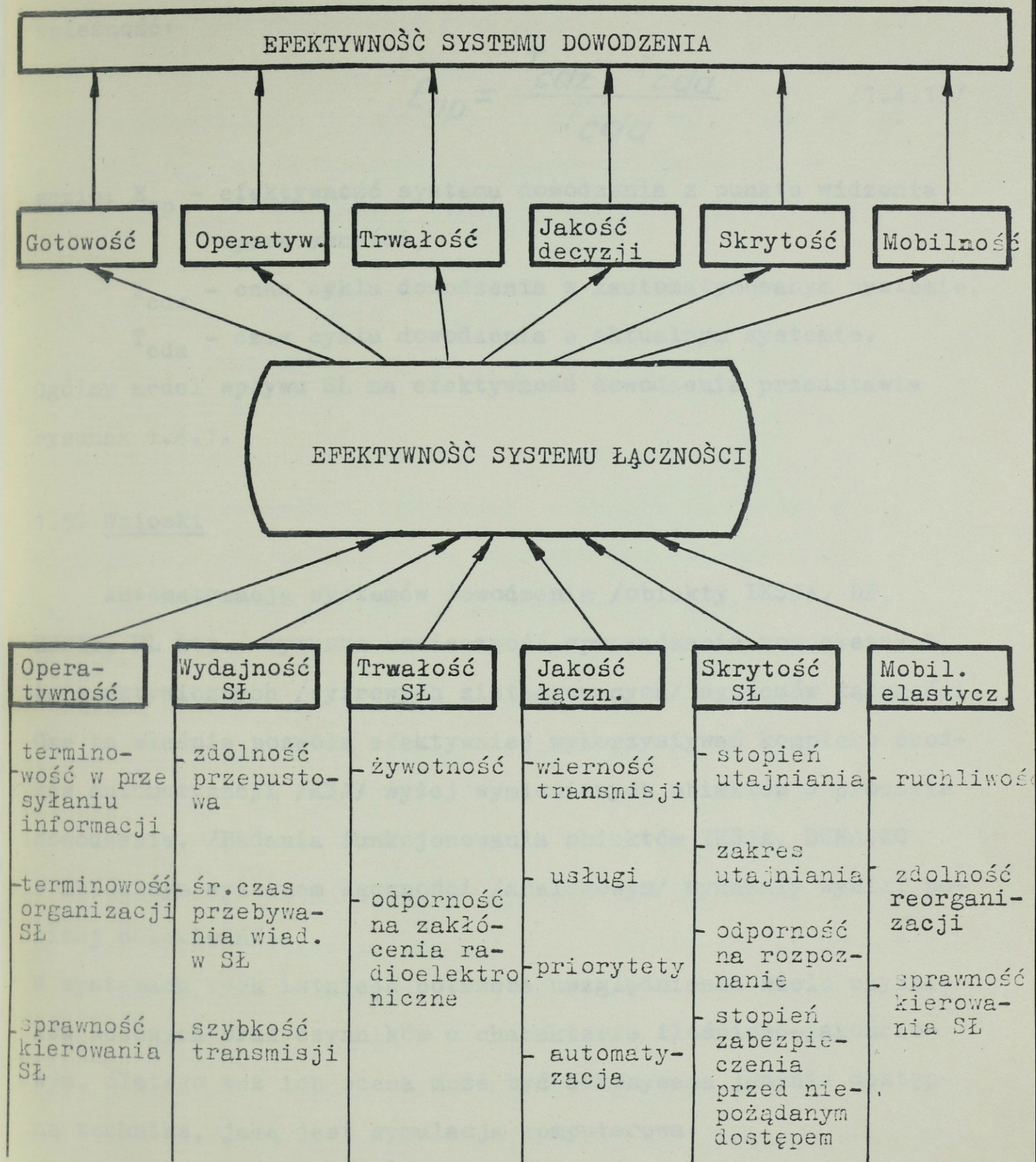
Na podstawie [86] za podstawowe wskaźniki efektywności systemu dowodzenia można przyjąć:

- intensywność przebiegu procesu dowodzenia, wyrażona zależnością:

$$V_d = \frac{1}{T_{cd}} \quad /1.4.12/$$

gdzie: T_{cd} - czas cyklu dowodzenia;

- dla oceny porównawczej zautomatyzowanych systemów dowodzenia /kierowania środkami walki/ z jakościowo nowymi SŁ z aktualnym systemem dowodzenia proponuje się wykorzystywać



Rys. 1.4.1. Zależność efektywności systemu dowodzenia od cech systemowych determinujących efektywność SŁ

zależność:

$$E_{op} = \frac{T_{cdz} - T_{cda}}{T_{cda}} \quad /1.4.13/$$

gdzie: E_{op} - efektywność systemu dowodzenia z punktu widzenia operatywności,

T_{cdz} - czas cyklu dowodzenia w zautomatyzowanym systemie,

T_{cda} - czas cyklu dowodzenia w aktualnym systemie.

Ogólny model wpływu SŁ na efektywność dowodzenia przedstawia rysunek 1.4.1.

1.5. Wnioski

Automatyzacja systemów dowodzenia /obiekty IKSJA, DP, ZENIT, DL itp./ wymusza konieczność wprowadzania nowoczesnych, perspektywicznych /cyfrowych zintegrowanych/ systemów łączności. One to właśnie pozwolą efektywniej wykorzystywać kompleks środków automatyzacji /KSA/ wyżej wymienionych obiektów w procesie dowodzenia. /Badania funkcjonowania obiektów IKSJA, DUNAJEC z aktualnym systemem łączności /analogowym/ wykazały wyniki poniżej oczekiwań/.

W systemach tych istnieje potrzeba uwzględnienia wielu czynników losowych oraz czynników o charakterze ilościowo-jakościowym, dlatego też ich ocena może być dokonywana jedynie dostępną techniką, jaką jest symulacja komputerowa.

Ocena właściwości systemu łączności ze względu na pojedynczą cechę /kryterium/ nie może być optymalną. Stąd też wynika potrzeba poszukiwania na gruncie analizy systemowej zbioru uogólnionych kryteriów i miar efektywności realizacji zadań przez SŁ /określony wariant/ w konkretnych warunkach eksploatacyjnych.

Z przeprowadzonych rozważań w rozdziale I wynika, że SŁ powinien być oceniany przez te jego cechy, które najistotniej wpływają na efektywność dowodzenia. Są to te cechy, które decydują o stopniu zaspokojenia potrzeb systemowi dowodzenia /kierowania/ w zakresie terminowej, wiernej, pełnej i skrytej informacji, a mianowicie:

- operatywność łączności - O_p ;
- zdolność przepustowa - Y ;
- skrytość - S ;
- żywotność - \dot{Z} ;
- jakość przekazywanej informacji w sensie wierności - P_{bzn} .

Na podstawie przeprowadzonych rozważań teoretycznych oraz powyższych wniosków można także na koniec zaproponować metodykę oceny efektywności SŁ.

Metodyka taka powinna obejmować następujące elementy:

- 1/ przyjąć podstawowe kryteria oceny efektywności SŁ, np. operatywność - O_p , przepustowość - Y , żywotność - \dot{Z} , oraz ich miary;
- 2/ opracować model oceny SŁ z modelem "Efektywność";
- 3/ jako system bazowy do oceny przyjąć istniejący obecnie taktyczny polowy SŁ WOPL DZ /tj. jego podstawowe charakterystyki taktyczno-techniczne/;
- 4/ zaprojektować nowe warianty SŁ WOPL DZ /lub sformułować WTT/ w oparciu o charakterystyki odpowiedniego systemu potencjalnego przeciwnika - charakter zasadniczych rodzajów działań bojowych;
- 5/ przeprowadzić eksperymenty symulacyjne dla wybranych /wybranego/ rodzaju działań bojowych;

- 6/ na podstawie danych statystycznych dokonać porównania zaprojektowanych wariantów z systemem bazowym;
- 7/ sformułować ocenę i wypracować wnioski.

Przedstawiona powyżej metodyka będzie w dalszej części pracy podstawą przy analizie oceny SŁ WOPL DZ.

R O Z D Z I A Ł I I

MODEL OCENY EFEKTYWNOŚCI SYSTEMU ŁĄCZNOŚCI WOPL ZT

2.1. Wprowadzenie

Złożoność i różnorodność funkcji realizowanych w systemach łączności, funkcjonowanie w warunkach znacznego oddziaływania zewnętrznych czynników celowych i przypadkowych powodują istotne trudności w opisie i opracowaniu ich optymalnych struktur. Tym niemniej system łączności tak jak każdy złożony system techniczny, przed jego wykonaniem oraz w trakcie eksploatacji powinien być poddany ocenie w celu określenia stopnia realizacji funkcji, dla których został zaprojektowany /opracowany/.

Ocena SŁ powinna być oparta na podejściu systemowym, którego najważniejszą istotą jest analiza każdego oddzielnego elementu systemu i jego warunków funkcjonowania w świetle optymalnej struktury i jednolitych kryteriów efektywności opracowanych dla rozpatrywanego systemu.

Dlatego w dalszej części pracy zostanie przedstawiony ogólny model systemu łączności w środowisku losowym, z jego podstawowymi właściwościami i warunkami jego funkcjonowania.

Przedstawiono także formalny opis modelu, który zostanie wykorzystany dla oceny przyjmowanych rozwiązań systemowych z punktu widzenia potrzeb informacyjnych użytkowników i operatorów SŁ.

Zaprezentowana dalej w tym rozdziale /pkt. 2.4./ charakterystyka SŁ WOPL ZT wskazuje, że na obecnym etapie badań, jedyną moż-

liwą i praktycznie dostępną metodą jego oceny jest symulacja cyfrowa.

2.2. Pojęcie systemu łączności, jego zadania i właściwości

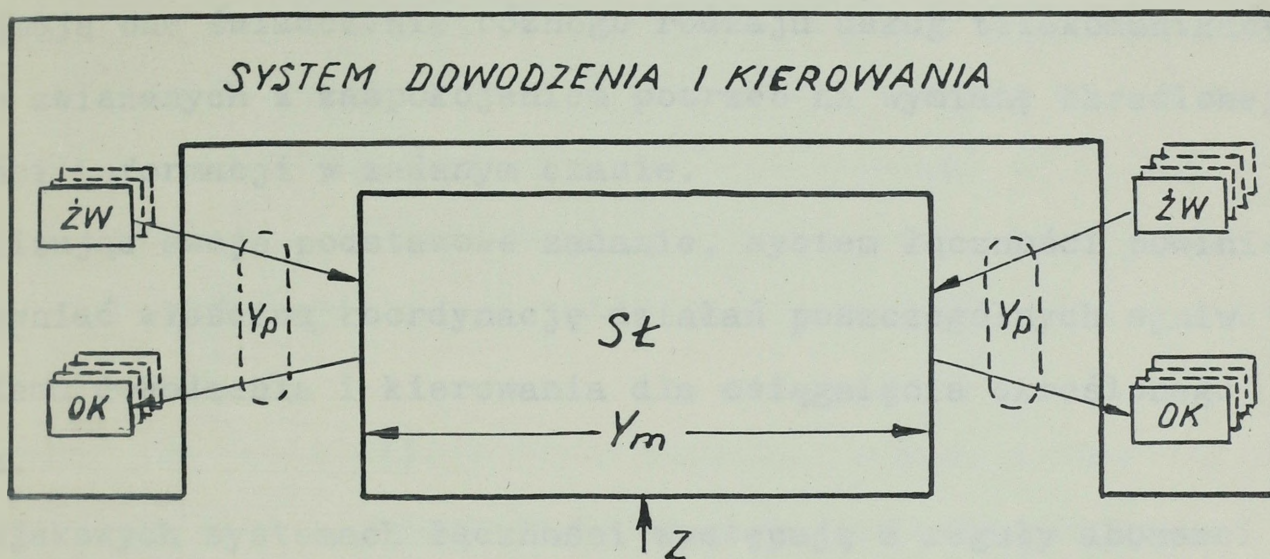
W literaturze dotyczącej telekomunikacji można spotkać się z różnymi określeniami pojęcia "systemu łączności". Różnice te warunkowane są głównie charakterem badania systemowego, w ramach którego wprowadza się to pojęcie.

Z tych też względów przyjęto, że dla realizacji celów o których będzie mowa w dalszej części pracy, system łączności będzie rozpatrywany z punktu widzenia jego aspektów funkcjonalno-produkcyjnych i definiowany w sposób następujący.

Według [2] system łączności jest zbiorem środków technicznych i zespołów ludzkich, powiązanych ze sobą w jedną funkcjonalną całość, zdolną do świadczenia określonych usług telekomunikacyjnych.

Natomiast definicja wojskowego SŁ według [51] brzmi następująco: "SŁ jest to zbiór elementów /organizacyjno-funkcjonalnych i technicznych/ oraz powiązań między nimi /relacji/, odpowiadających organizacji dowodzenia wojskami, charakterowi działań bojowych /walki, operacji/ oraz wykonywanym zadaniom bojowym". Tym samym w skład łączności wchodzić będą końcowe aparaty przetwórcze /aparaty telefoniczne, dalekopisowe, transmisji danych, faksymile/, linie telekomunikacyjne, węzły telekomunikacyjne wraz z ich wyposażeniem komutacyjnym i teletransmisyjnym jak również wszelkiego rodzaju urządzenia kontroli i sterowania, zapewniające utrzymanie w założonych granicach jego podstawowych charakterystyk.

Przy realizowaniu badań systemowych niezbędne jest rozpatrywanie SŁ wraz z jego otoczeniem /rys. 2.1./.



- | | |
|---------------------|--|
| - źródła wiadomości | Y_p - wymagane potrzeby w zakresie wymiany informacji /np. słów, grup/godz./ |
| - obiekty kierowane | Y_m - możliwości SŁ w zakresie zaspokojenia potrzeb |
| | Z - zakłócenia oddziałujące na SŁ |

Rys. 2.1. SŁ i jego otoczenie

Dla określonego systemu łączności otoczenie stanowi zbiór wszystkich obiektów, których zmiana właściwości wpływa na system, a także obiektów, których właściwości zmieniają się w zależności od zachowania się systemu.

Dla systemu łączności otoczenie stanowią źródła w których powstają potrzeby zrealizowania określonych usług telekomunikacyjnych ujścia informacji /adresaci/ do których przekazywane są przyjęte wiadomości, jak również źródła zakłóceń powodujące różnego rodzaju ograniczenia w jakości świadczonych usług oraz w efektywności funkcjonowania SŁ.

Zadania SL wynikają głównie z jego przeznaczenia i są zazwyczaj rozpatrywane z punktu widzenia potrzeb jego użytkownika tj. systemu dowodzenia.

Obejmują one świadczenie różnego rodzaju usług telekomunikacyjnych związanych z zaspokojeniem potrzeb na wymianę określonej ilości informacji w zadanym czasie.

Realizując swoje podstawowe zadanie, system łączności powinien zapewniać właściwą koordynację działań poszczególnych ogniw systemu dowodzenia i kierowania dla osiągnięcia określonego celu.

W wojskowych systemach łączności występują z reguły abonenci o różnym stopniu uprzywilejowania, o zróżnicowanych potrzebach odnośnie zakresu i rodzaju świadczonych usług telekomunikacyjnych. Prowadzi to w konsekwencji do konieczności zapewnienia właściwych sposobów obsługi dla poszczególnych kategorii użytkowników, wyrażających się między innymi:

- kolejnością obsługi;
- szybkością przesyłania wiadomości;
- żywotnością i niezawodnością bazy technicznej systemu łączności;
- zastosowania wydzielonych kanałów dla wybranych użytkowników itp.

Ponadto, na system łączności nakłada się wymóg spełnienia szeregu wymagań, z których do najważniejszych należą:

- świadczenie usług telekomunikacyjnych z określoną zgodną z wymaganiami terminowością;
- zapewnienie wiarygodności przekazywanych wiadomości tj. wymaganego stopnia zgodności treści wiadomości odebranej z nadaną;

- zapewnienie dostatecznie wysokiej żywotności systemu łączności.

Funkcjonujące w chwili obecnej polowe SŁ są złożonymi systemami z dużą ilością różnorodnych aparatów końcowych /punktów końcowych/ i węzłów komutacyjnych /WŁ/ rozmieszczonych na znacznych obszarach, połączonych ze sobą licznymi liniami telekomunikacyjnymi /radiowe, radioliniowe, troposferyczne, przewodowe/ o różnych właściwościach fizycznych, żywotnościowych, niezawodnościowych itp.

Zadania, dla realizacji których zostały zbudowane oraz warunki, w jakich są eksploatowane sprawiają, że charakteryzują się one szeregiem specyficznych właściwości.

Różnorodne potrzeby w zakresie świadczonych usług telekomunikacyjnych powodują, że informacje przesyłane są w systemach łączności w postaci różnych wiadomości /kodogramy, sformalizowane komendy, meldunki, itp./, we właściwych dla nich kanałach telekomunikacyjnych. Kanały te różnią się między innymi:

- przepustowością;
- jakością transmisji;
- pasmem przenoszenia, itp.

Charakterystyczną cechą warunków eksploatacji polowych SŁ jest znaczna nierównomierność ich obciążenia informacyjnego w funkcji czasu.

Zdarza się często, że zmiany średniego obciążenia w poszczególnych okresach czasu działań bojowych zachodzą w sposób bardzo gwałtowny.

Inną szczególną cechą polowego systemu łączności są okresowe zmiany ich struktury, spowodowane zarówno występowaniem nisz-

czeń węzłów i linii telekomunikacyjnych, jak również uszkodzenia wynikające z przyjętego systemu jego eksploatacji.

Typowym tego przykładem może być przestrojenie sieci łączności, tj. zmiana pojemności niektórych linii, zapewniającą świadczenie usług telekomunikacyjnych na zadanym poziomie, w przypadku okresowej zmiany zapotrzebowania na nie w określonych ogniwach dowodzenia /obszarach terytorialnych/ bądź też w przypadku długotrwałego wyłączenia z eksploatacji określonych linii telekomunikacyjnych.

2.3. Ogólny model systemu łączności

Złożoność systemu łączności powoduje określone trudności w opracowaniu dla niego uniwersalnego modelu matematycznego. Każdy model opisuje pewną uproszczoną rzeczywistość, względnie tylko podstawowe zjawiska oraz najważniejsze czynniki oddziałujące na system. Taki model można potraktować jako pewien zbiór informacji o systemie łączności zebranych np. w celu dokonania jego globalnej oceny.

Uwzględniając powyższe stwierdzenia, autor uważa, że zaproponowany model powinien być tak skonstruowany aby umożliwił ocenę efektywności SŁ. Pojęcie "efektywność SŁ" zdefiniowano w rozdziale I pkt. 1.4. jako stopień zaspokojenia potrzeb przez SŁ systemowi dowodzenia w zakresie wymiany informacji /przekazania, utajniania, przetwarzania/ w określonych warunkach oddziaływania na system, przy założonych ograniczeniach i w rozpatrywanym przedziale czasu.

Analiza zadań, istoty i właściwości polowego systemu łączności, jak również zasad i warunków jego funkcjonowania wskazuje, że

może on być rozpatrywany jako zbiór urządzeń technicznych wraz z ich właściwościami, tworzącymi fizyczną strukturę sieci łączności między elementami, w której zachodzą określone relacje wynikające z przyjętej zasady funkcjonowania systemu.

Uwzględniając ponadto relacje jakie zachodzą między SL a jego otoczeniem, ogólny model systemu łączności może być przedstawiony [2] w postaci:

$$St = \langle S, Z, W, \Phi \rangle \quad /2.3/$$

gdzie: S - model sieci łączności,

Z - model otoczenia,

W - model funkcjonowania;

Φ - relacje zachodzące pomiędzy elementami modelu

Także więc dla odwzorowania systemu łączności niezbędna jest zatem znajomość struktury i parametrów sieci łączności /model otoczenia/, algorytmu funkcjonowania systemu oraz współzależności zachodzących pomiędzy jego elementami.

2.3.1. Model sieci łączności

Niech będzie dany graf zorientowany spójny, bez pętli

$$G = \langle Q, U \rangle \quad /2.3.1/$$

gdzie: $Q = \{q_i; i = \overline{1, n}\}$ - zbiór wierzchołków grafu,

$U \subset Q \times Q$ - zbiór łuków grafu

oraz zbiory F i f funkcji czasu opisanych odpowiednio na łukach i wierzchołkach grafu.

Model sieci łączności można zatem przedstawić w postaci

$$S = \langle G, F, f \rangle \quad /2.3.2/$$

Graf G opisuje liczbę i sposób połączeń między sobą węzłów łączności.

F i f określają stałe i zmienne parametry sieci i dotyczą odpowiednio węzłów łączności i rozwiniętych pomiędzy nimi linii. W rozpatrywanym modelu odnoszą się one do takich charakterystyk, jak przepustowość linii i węzłów, licznosc kanałów w relacji, ilość relacji, długość relacji, prawdopodobieństwo zakłócenia kanału, uszkodzenia relacji lub węzła itp.

2.3.2. Model otoczenia

Niech będzie dany zbiór czynników zewnętrznych oddziaływujących na pracę systemu łączności

$$Z = \{z_i : i = 1, x\} = Z' \cap Z'' \quad /2.3.2/$$

przy czym $Z' \cap Z'' = \emptyset$

Zgodnie z /3.3.2/ zbiór powyższy składa się z dwóch rozłącznych podzbiorów.

Elementy podzbioru Z' są procesami stochastycznymi, reprezentującymi wejściowy strumień wywołań wraz ze wszystkimi jego parametrami /źródło, nr kanału, ujście, priorytet itp./.

Podzbiór Z'' to elementy procesów stochastycznych, reprezentujących czynniki zakłócające normalną pracę systemu /zakłócenia celowe, niszczenie węzłów i linii, uszkodzenia, błędy w eksploatacji itp./ wraz z ich charakterystykami /rodzaj czynnika, czas,

zakres lub miejsce jego oddziaływania/.

W dowolnej chwili czasu t otoczenie systemu będzie znajdować się w stanie $S_x \in S_x^t$

Jest on chwilową realizacją procesów stochastycznych występujących w opisie otoczenia. Zmiany stanu otoczenia wynikają przede wszystkim z charakteru procesów zachodzących w otoczeniu związanych z pojawieniem się i zanikaniem zapotrzebowań na realizację określonych usług, pojawieniem się i zanikaniem zakłóceń w kanałach.

2.3.3. Model funkcjonowania systemu łączności

Zadania realizowane przez system łączności są zazwyczaj rozpatrywane jako potrzeba przekazania określonego rodzaju wiadomości przy ustalonych poziomach uprzywilejowania.

Są one realizowane w systemie przy wykorzystaniu określonych reguł sterowania rozdziałem strumieni wiadomości, uwzględniających stan jego poszczególnych elementów, jak również zakres, stopień pilności i aktualności potrzeb informacyjnych użytkowników. Funkcjonowanie systemu jest związane z realizacją określonych działań A , w ramach przyjętych reguł sterowania P , obejmujących badanie i zmianę stanu elementów systemu R , analizę parametrów chwilowych charakterystyk działań

Zatem model funkcjonowania systemu łączności może być przedstawiony w postaci

$$D = \langle A, P, R, \varphi^t : t \in T \rangle \quad /2.3.3/$$

gdzie: T - zbiór chwil czasu działania systemu.

Wykorzystując sformalizowany język, zwany schematem logicznym algorytmu [3], funkcjonowanie systemu łączności można odwzoro-

wać w postaci układu formuł przejścia typu

$$A_j \xrightarrow{P_j} B_j$$

tj. przejścia działania A_j pod wpływem przyjętej reguły sterowania P_j w działanie B_j .

Stosując podane np. w [14] zasady przekształceń tożsamościowych można przejść do schematu logicznego algorytmu funkcjonowania systemu łączności. Schemat ten odwzorowuje warunki oraz kolejność wykonywania działań od chwili pojawienia się np. zapotrzebowania na wymianę informacji, aż do chwili zaspokojenia potrzeb informacyjnych użytkowników systemu łączności.

2.3.4. Związki między modelami

Przyjmijmy za [14] następujące oznaczenia:

T - zbiór chwil czasu działania systemu łączności,

τ - zbiór chwil czasu działania systemu do chwili $t \in T$ włącznie,

S_j^τ - zbiór stanów sieci do chwili t ,

S_j^t - zbiór stanów sieci w chwili t ,

S_2^τ - zbiór stanów otoczenia do chwili t ,

ψ^τ - zbiór charakterystyk działań do chwili t ,

\bar{K}^τ - licznosc zbioru naplywu zgloszen wystepujacych w systemie do chwili t .

$$\varphi_3^t: S_3^\tau \times S_2^\tau \times (\psi^\tau)^{\bar{K}^\tau} \rightarrow S_3^t \quad /2.3.4/$$

$$\varphi_p^t: S_2^\tau \times S_3^\tau \times (\psi^\tau)^{\bar{K}^\tau} \times P \rightarrow \{0,1\} \quad /2.3.5/$$

$$\Psi_A^t: S_J^T \times S_Z^T \times (\Psi^T)^{\bar{K}^T} \times \Psi_P^T \rightarrow \Psi^t \quad /2.3.6/$$

gdzie Ψ_A^t - zbiór realizacji funkcji Ψ_P^t do chwili t .

Funkcje te określają mechanizm zmiany stanów sieci łączności /2.3.4/, zmiany wartości logicznych zbioru warunków P /2.3.5/ oraz zmiany charakterystyk działań wykonywanych w systemie /2.3.6/. Zatem zbiór funkcji

$$\Phi = \{\Psi_J^t, \Psi_P^t, \Psi_A^t: t \in T\} \quad /2.3.7/$$

określa relacje zachodzące między modelem sieci łączności, modelem funkcjonowania oraz jego modelem otoczenia.

Przedstawiony powyżej w punkcie [2.3.] model systemu łączności ujmuje parametry strukturalne i funkcjonalne systemu, jak również jego relacje z otoczeniem.

Zastosowany aparat formalny umożliwia odwzorowanie działania systemu w postaci programu symulacyjnego.

Przydatny jest zwłaszcza w przypadkach, gdy celem prowadzonych badań jest ocena aktualnych i proponowanych rozwiązań systemu łączności z punktu widzenia zaspokojenia potrzeb informacyjnych użytkowników systemu.

Pozwala on również dokonywania badań poszczególnych modeli proponowanych wariantów, np. dla określenia wpływu zmian zachodzących w strukturze sieci, w algorytmie funkcjonowania czy w otoczeniu systemu - na skuteczność realizacji zadań stawianych przed danym systemem łączności.

Powyższy model autor pracy wykorzysta przy ocenie efektywności wariantów /w tym stanu aktualnego/ SŁ WOPL DZ w zautomatyzowanym systemie dowodzenia.

2.4. Charakterystyka systemu łączności wojsk OPL DZ

2.4.1. Taktyczno-techniczne podstawy organizacji łączności WOPL

Obrona przeciwlotnicza [72] jest integralną częścią wszystkich rodzajów działań bojowych oraz każdej walki i operacji. Stanowi ona zespół sił i środków oraz przedsięwzięć zorganizowanych w określony system działania i jednolicie kierowanych mających na celu osłonę wojsk i obiektów przed rozpoznaniem i uderzeniami z powietrza.

Organizowana jest ona na wszystkich szczeblach dowodzenia w każdej sytuacji bojowej.

Do organizacji i prowadzenia OPL są wykorzystywane ZT, oddziały i pododdziały wojsk OPL oraz lotnictwo myśliwskie frontu.

Działanie tych jednostek jest zorganizowane w jednolity system obrony przeciwlotniczej, który obejmuje:

- podsystem dowodzenia /z podsystemem łączności/;
- podsystem rozpoznania powietrznego;
- podsystem ognia obrony przeciwlotniczej;
- podsystem działań bojowych lotnictwa myśliwskiego;
- podsystem zabezpieczenia rakietowo-technicznego.

Współdziałanie w jednolitym działaniu w.w. podsystemów jest możliwe dzięki zorganizowaniu odpowiedniej sieci punktów dowodzenia oddziałów i pododdziałów OPL oraz punktów kierowania środkami walki.

Ponieważ autor w niniejszej pracy ogranicza badania tylko do szczebla taktycznego /zgodnie z tematem pracy/ dlatego też poniżej zostanie przedstawiona struktura podsystemu dowodzenia WOPL DZ. Na podstawie tej struktury zostanie przeprowadzona analiza SŁ pod kątem przydatności w zautomatyzowanym systemie dowa-

dzenia, jak i efektywności jego funkcjonowania.

W ogólnowojskowych ZT występują następujące oddziały wojsk OPL i pododdziały przeciwlotnicze /rys. 2.4.1/:

- kompania dowodzenia szefa OPL dywizji;
- drużyny dowodzenia szefów OPL pułków /pz, pcz/;
- prplot małego lub bliskiego zasięgu;
- baterie przeciwlotnicze o mieszanym składzie w pz i pcz /w DZ/;
- plutony przeciwlotnicze o mieszanym składzie w batalionach piechoty.

W przyszłości planuje się rozwiązanie baterii plot. pz i pcz oraz plutonów plot. batalionów piechoty a w ich miejsce sformować na szczeblu oddziału ogólnowojskowego /pz, pcz/ dywizjon plot. o składzie dwubaterijnym.

Przedstawione powyżej pododdziały i oddziały WOPL DZ organizują następujące punkty dowodzenia:

- punkt dowodzenia OPL DZ /PD OPL/;
- punkt dowodzenia OPL pułków /PD OPL pz/pcz/;
- stanowisko dowodzenia prplot;
- punkty dowodzenia przeciwlotniczych pododdziałów rakietowych i artyleryjskich.

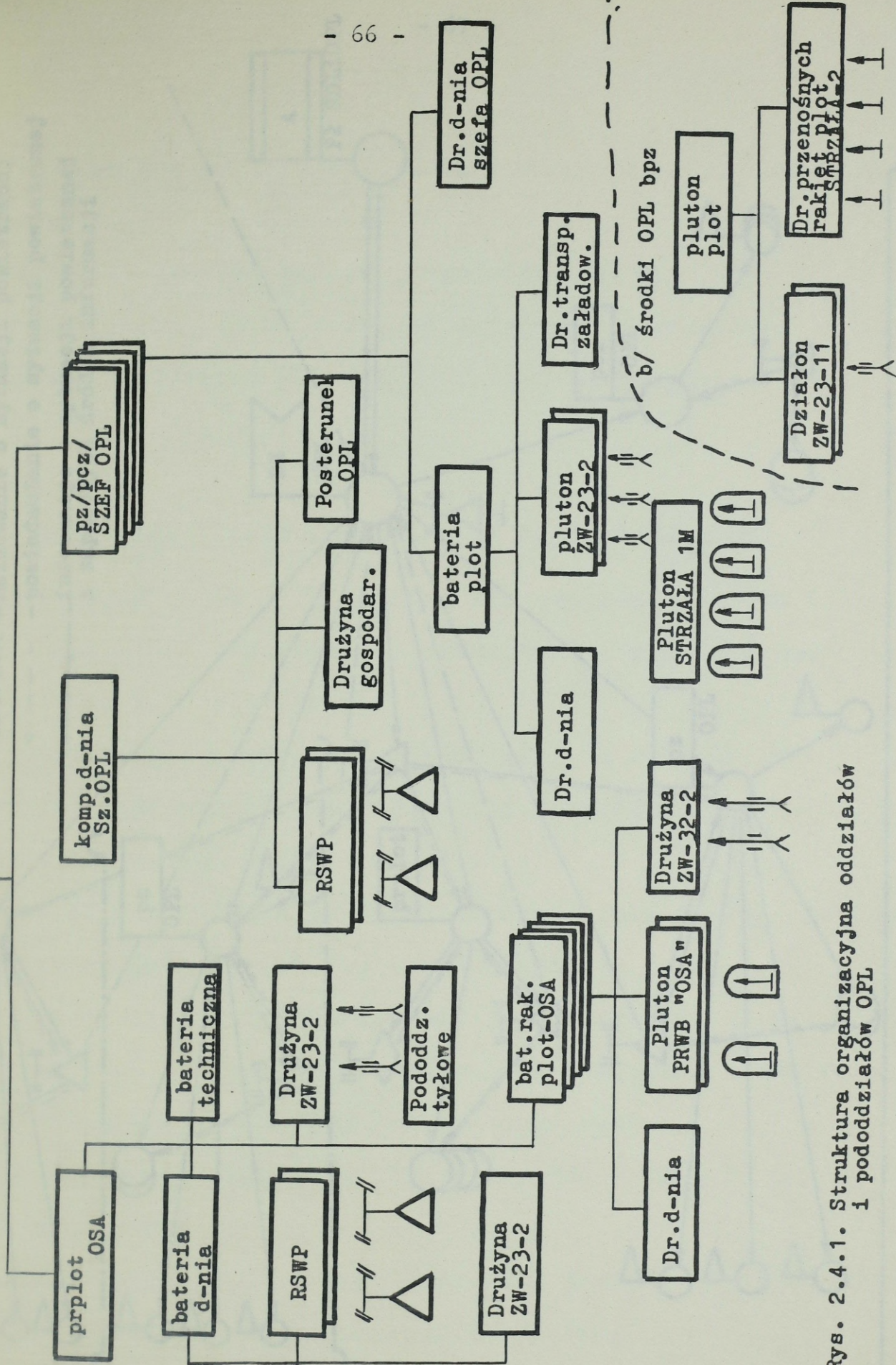
Szczegółową strukturę organizacyjną punktów dowodzenia przedstawia rysunek 2.4.2.

Należy nadmienić, że punkty dowodzenia OPL DZ oraz PD OPL pz, pcz są elementami ogólnowojskowych stanowisk dowodzenia.

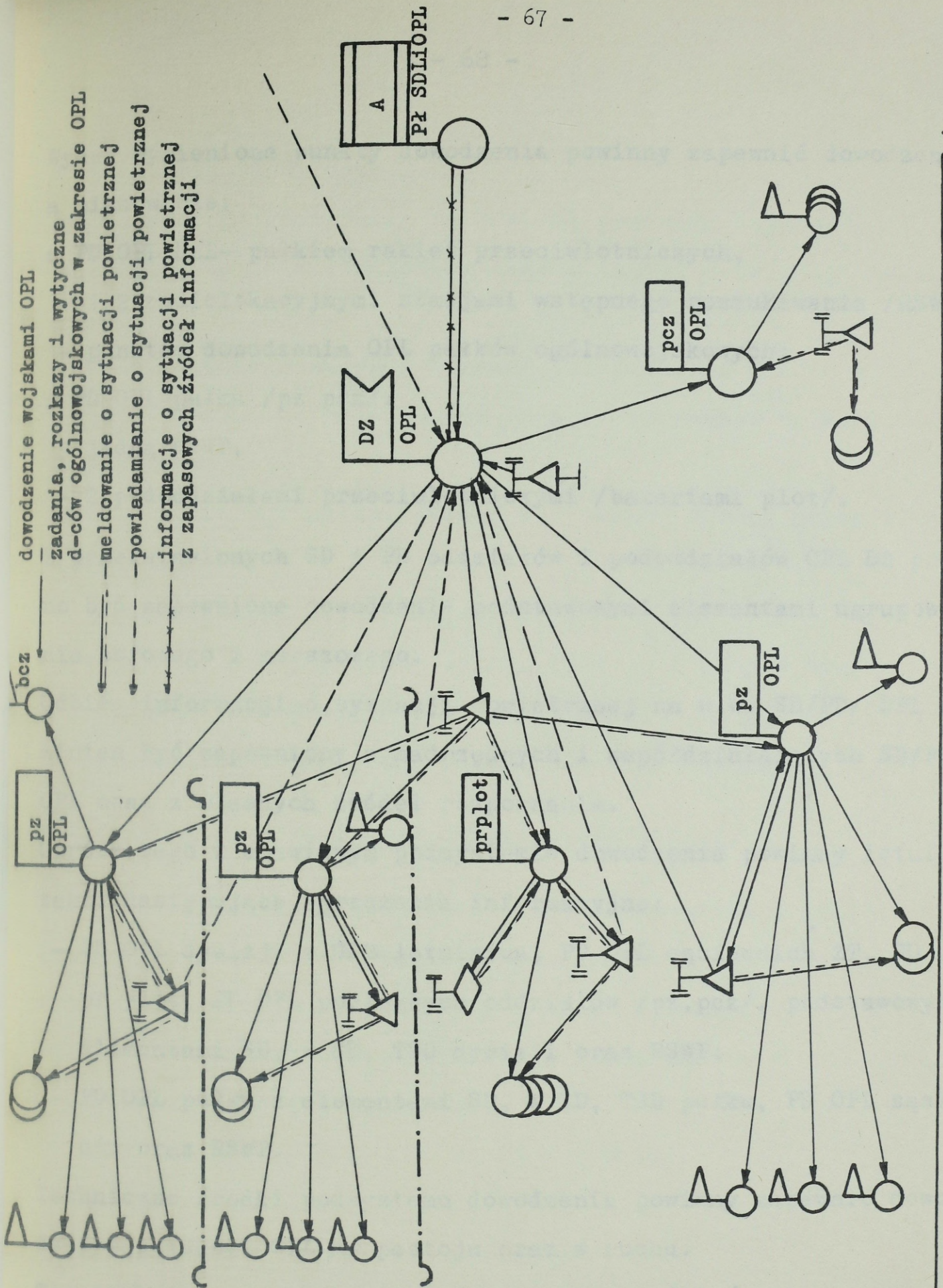
Organizowany podsystem dowodzenia wojskami OPL w dywizji powinien zapewnić zarówno scentralizowane jak i zdecentralizowane dowodzenie wojskami a także dowodzenie o jeden szczebel niżej.

DZ
SZEFA OPL

a/ środki OPL DZ



Rys. 2.4.1. Struktura organizacyjna oddziałów i pododdziałów OPL



Rys. 2.4.2. Struktura organizacyjna punktów dowodzenia WOPL DZ

Wyżej wymienione punkty dowodzenia powinny zapewnić dowodzenie, a mianowicie:

z PD OPL DZB- pułkiem rakiet przeciwlotniczych,

- 1-2 radiolokacyjnymi stacjami wstępnego poszukiwania /RSWP/;
- punktem dowodzenia OPL pułków ogólnowojskowych;

z PD OPL pułku /pz pcz/:

- jedną RSWP,
- 2 pododdziałami przeciwlotniczymi /bateriami plot/.

Z przedstawionych SD i PD oddziałów i pododdziałów OPL DZ powinno być zapewnione dowodzenie podstawowymi elementami ugrupowania bojowego i marszowego.

Odbiór informacji o sytuacji powietrznej na w.w. SD/PD/ OPL powinien być zapewniony z nadrzędnych i współdziałających SD/PD/ OPL oraz z własnych źródeł rozpoznania.

Oprócz tego w omawianym podsystemie dowodzenia powinny istnieć także następujące sprzężenia informacyjne:

- PD OPL dywizji z GDB lotnictwa, PD OPL sąsiednich ZT, SD pr plot, PD OPL podległych oddziałów /pz,pcz/, podstawowymi elementami SD, w SD, TSD dywizji oraz RSWP;
- PD OPL pułku z elementami SD, w SD, TSD pułku, PD OPL sąsiadów oraz RSWP.

Techniczne środki podsystemu dowodzenia powinny zapewnić dowodzenie wojskami OPL na postoju oraz w ruchu.

Ten techniczny zespół sił i środków łączności /z aparatuwni i wozów dowodzenia/ będący częścią składową systemu dowodzenia wojskami i kierowania środkami walki OPL, rozwinięty w sposób odpowiadający organizacji dowodzenia oraz charakterowi prowadzonych działań i wykonywanym zadaniom stanowi system łączności

WOPL związku taktycznego.

Odpowiednio zorganizowany SŁ WOPL DZ powinien zapewnić:

- przekazywanie we właściwym czasie danych o sytuacji powietrznej;
- dostarczenie rozkazów /komend/, zarządzeń i informacji od przełożonych do podwładnych oraz otrzymywanie meldunków zwrotnych;
- dowodzenie podległymi siłami i środkami obrony przeciwlotniczej;
- współdziałanie sił i środków OPL;
- terminowe powiadamianie wojsk, sztabów i innych organów dowodzenia o nieprzyjacielu powietrznym;
- uprzedzanie wojsk o przelotach własnego lotnictwa.

2.4.2. Analiza organizacji obecnego SŁ WOPL DZ

Przedstawiona w pkt. 2.4.1. charakterystyka organizacji dowodzenia WOPL DZ z wymaganymi powiązaniem informacyjnymi wskazuje na hierarchiczną strukturę systemu łączności.

Ta hierarchiczność wymusza istnienie powiązań SŁ PD OPL dywizji z elementami systemu łączności:

- szczebla nadrzędnego /WŁ PŁ SD L i OPLA/,
- związków współdziałających,
- oddziałów i pododdziałów podległych.

Stąd też elementami składowymi SŁ OPL dywizji, które stanowią przedmiot badań w niniejszej pracy będą:

- linie rozwinięte pomiędzy WŁ /linie radioliniowe/;
- sieci radiowe i kierunki radiowe poszczególnych grup i pojedynczych środków łączności;
- węzły łączności poszczególnych punktów dowodzenia.

Wyżej wymienione środki łączności to radiostacje małej i średniej mocy zamontowane w nieautomatyzowanych wozach dowodzenia typu REKIN, WD-43 oraz w aparatuwniach R-146 i RD-115.

Szczegółową organizację łączności WOPL D2 przedstawiają schematy normatywne /rys. 2.4.2.1. i 2.4.2.2./.

Obecna struktura SŁ WOPL DZ jest uwarunkowana sposobem organizacji telekomunikacyjnej sieci pierwotnej stanowiącej zbiór linii łączności rozwiniętych pomiędzy poszczególnymi punktami /elementami/ systemu dowodzenia i kierowania środkami walki.

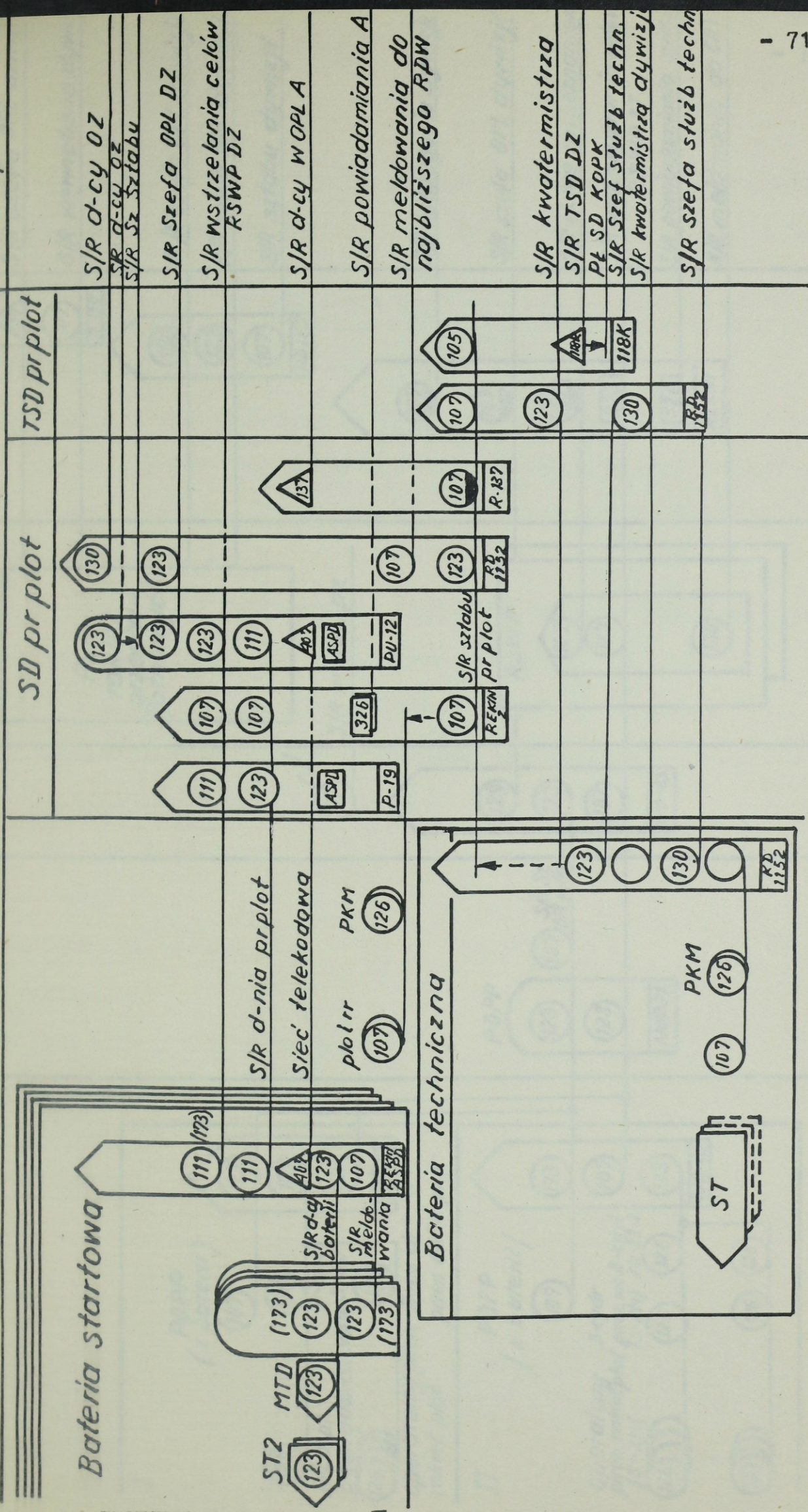
Cechą charakterystyczną aktualnego SŁ WOPL dywizji jest organizowanie łączności w sposób kompleksowy, który zakłada zapewnienie łączności w poszczególnych relacjach w kilku równoległe eksploatowanych liniach łączności /kanałach łączności/ organizowanych za pomocą różnych środków łączności. Odnosi się to zwłaszcza do zasadniczych relacji takich jak: dowodzenia, meldowania, wskazywania celów, ostrzegania itp.

Z analizy tych relacji wynika, że większość organizowanych w nich linii łączności do S/R i K/R, które stanowią około 95% całego potencjału SŁ WOPL DZ.

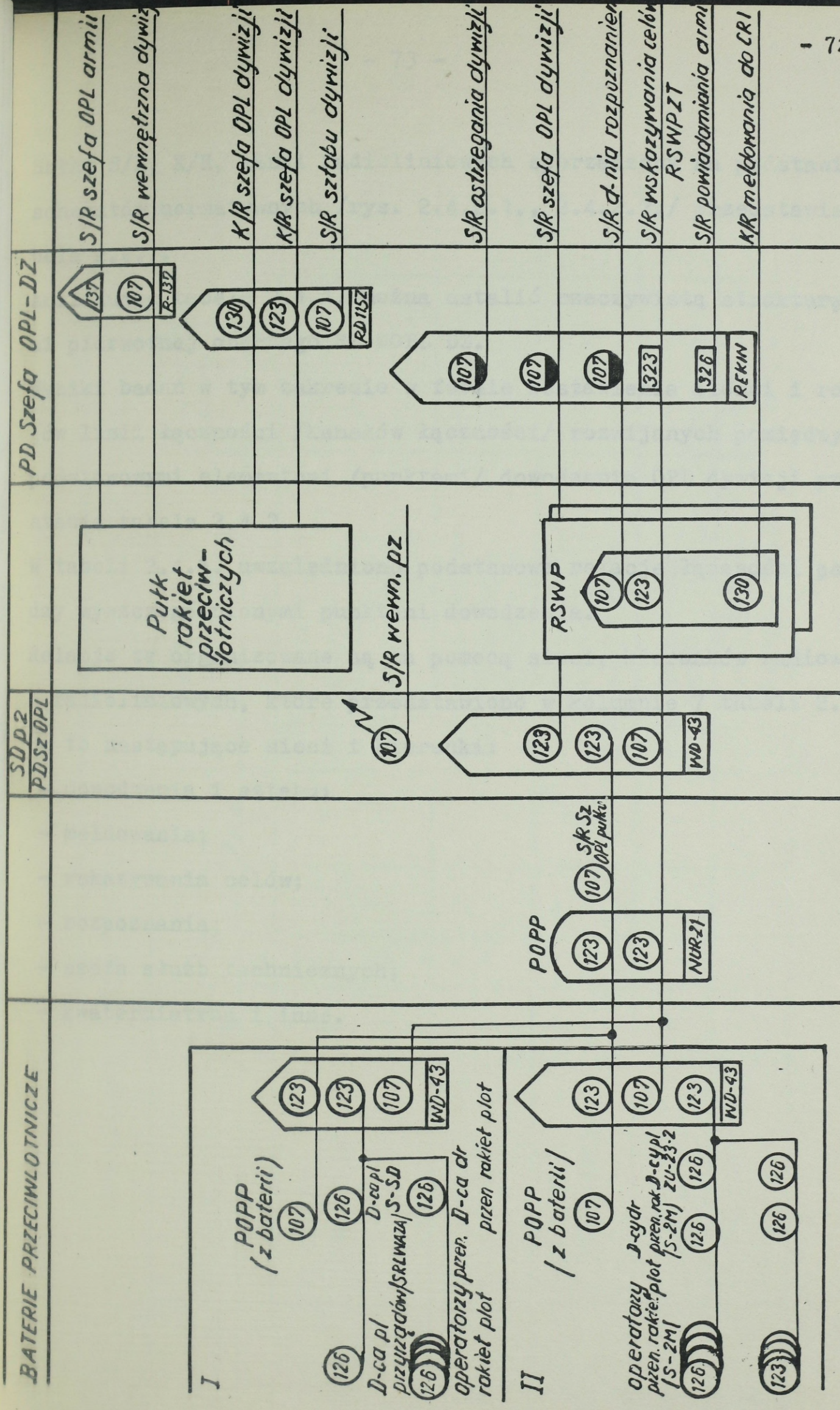
Dlatego też prowadząc badanie /ocenę/ rozpatrywanego SŁ pod kątem zabezpieczenia informacyjnego systemowi dowodzenia i kierowania, koniecznym jest ustalenie ilości i rodzajów bezprzewodowych linii łączności w poszczególnych relacjach.

Z analizy obowiązujących ustaleń normatywnych [51] organizacji łączności /radiowej i radioliniowo-przewodowej/ na szczeblach taktycznych wynika, że w SŁ WOPL DZ organizuje się 10 relacji. Analiza tych relacji wskazuje, że ich skład jest różny ze względu na ilość linii łączności /od 1 do 7/ oraz ich rodzaj /UKF, rtlf, KF, r/l/.

PUŁK RAKIET PRZECIWOLOTNICZYCH / TYPU "OSA" /



RYS. 2.4.2.1 NORMATYWNY SCHEMAT ŁĄCZNOŚCI RADIOWEJ PRPLOT DZ



RYS. 2.4.2.2. NORMATYWNY SCHEMAT ŁĄCZNOŚCI RADIOWEJ OPL W DZ

Skład S/R, K/R, linii radioliniowych sporządzony na podstawie schematów normatywnych /rys. 2.4.2.1., 2.4.2.2./ przedstawia tabela 2.4.1.

Analizując tabelę 2.4.1. można ustalić rzeczywistą strukturę sieci pierwotnej obecnego SŁ WOPL DZ.

Wyniki badań w tym zakresie w formie zestawienia ilości i rodzajów linii łączności /kanałów łączności/ rozwijanych pomiędzy podstawowymi elementami /punktami/ dowodzenia OPL dywizji przedstawia tabela 2.4.2.

W tabeli 2.4.1. uwzględniono podstawowe relacje łączności pomiędzy wyszczególnionymi punktami dowodzenia.

Relacje te organizowane są za pomocą sieci, kierunków radiowych i radioliniowych, które przedstawiono w kolumnie 7 tabeli 2.4.1.

Są to następujące sieci i kierunki:

- dowodzenia i sztabu;
- meldowania;
- wskazywania celów;
- rozpoznania;
- szefa służb technicznych;
- kwatermistrza i inne.

Tabela 2.4.1.

Ilość i rodzaj linii łączności organizowanych w relacjach SŁ WOPL dywizji przy wykorzystaniu środków radiowych i radioliniowych

Numer relacji	Nazwa relacji	Rodzaj sieci lub kierunku /NR/			Nazwa sieci lub kierunku	Typ środka łączności	Uwagi
		UKF	KF	r/l			
1	2	3	4	5	7	8	9
01	SD prplot - SDO brplot	1 2	- -	- -	S/R d-nie pr plot S/R meldowania b.start. S/R sztabu /wskaz. celów/	R-111 R-107	
02	RSWP - SD prplot	1 2	- -	- -	S/R d-nia rozpozn. S/R wskazywania celów	R-107 R-107	
03	SD prplot - SDO b.tech.	1 -	- 2	- -	S/R szefa służb techn. S/R kwat. prplot	R-123, R-111 R-130	
04	SD prplot - TSD prplot	1	-	-	S/R szefa służb techn.	R-123, R-111	
05	PD OPL pz/pcz/ - SDO b.plot	1 2	- -	- -	S/R szefa OPL pz S/R wskazyw. celów	R-123 R-107, R-123	

c.d. tabeli 2.4.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
06	PD OPL DZ - PD OPL pz	1 2	- -	- -	2	S/R szefa OPL dywizji S/R wskazyw.celów RSWP ZT	R-123,R-107 R-123,R-107	
07	PD OPL dywizji SD prplot	- - 3 4 5 6 -	1 2 - - - - -	- - - - - - 7	7	S/R szefa szt.dyw. K/R szefa OPL dyw. S/R d-cy dywizji S/R sztabu dywizji S/R s efa OPL dyw. S/R d-nia rozpoz. kierunek radiolin.	R-130 R-130 R-111 R-111 R-123 R-123 R-405	
08	TSD dyw. - TSD prplot	- 2	1 -	- -	2	S/R kwat. dyw. S/R szefa służb tech.dyw.	R-130 R-111,R-123	
09	PD OPL dyw. - RSWP	1 2	- -	- -	2	S/R d-nia rozpoz. S/R wskazyw.celów	R-107 R-123	
010	PD OPL dyw. - PŁ SDLiOPLA	1 -	- -	- 2	2	S/R szefa OPL armii komutowany kanał r/l	R-137 R-409	
Ilość relacji	10	kanałów			24			

Zbiornicze zestawienie kanałów łączności eksploatowanych
w obecnym SŁ WOPL DZ

Tabela 2.4.2.

Nr relacji	Ilość, rodzaje i nr linii łączności			Sumaryczna ilość linii w relacji
	UKF	KF	r/l	
01	$\frac{3}{1,2,3}$	-	-	3
02	$\frac{2}{1,2}$	-	-	2
03	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{2}$	-	2
04	$\frac{1}{1}$	-	-	1
05	$\frac{2}{1,2}$	-	-	2
06	$\frac{2}{1,2}$	-	-	2
07	$\frac{4}{3,4,5,6}$	$\frac{2}{1,2}$	$\frac{1}{7}$	7
08	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{1}$	-	2
09	$\frac{2}{1,2}$	-	-	2
10	$\frac{1}{1}$	-	$\frac{1}{2}$	2
Razem	19	4	2	25

UWAGA! Zapis $\frac{3}{1,2,3}$ oznacza trzy linie łączności o nr 1,2 i 3.
Natomiast kod $02/\frac{2}{1,2}$ oznacza, że jest to druga relacja
w składzie dwóch linii łączności o nr 1 i 2.

W badanej sieci łączności autor wyróżnił:

- 11 WŁ;^{1/}
- 10 relacji łączności;
- 24 linie łączności /kanały/, z czego 19 typu UKF, 4 KF i 2 radioliniowe.

Powyższe dane stanowiąc będą bazę strukturalną do dalszych badań w proponowanym modelu ocenowym SŁ.

2.5. Koncepcja oszacowania ilościowych charakterystyk informacji w SŁ WOPL DZ

W teoretycznym opisie modelu otoczenia SŁ /pkt. 3.3.2./ przyjąłem, że jeden z jego podzbiorów Z' będzie charakteryzował obciążenie systemu łączności wraz ze wszystkimi jego głównymi parametrami. Dlatego jednym z podstawowych warunków realnego oceniania i optymalnego projektowania SŁ jest znajomość charakterystyk ilościowych prowadzonej wymiany w poszczególnych relacjach. W przypadku sieci telefonicznych użytku publicznego przyjmuje się zazwyczaj, że wejściowy strumień informacji jest prostym strumieniem Poissona o parametrze λ_i , a czas obsługi wywołania jest zmienną losową o rozkładzie wykładniczym o parametrze \bar{t} [24]. Zakładając, że znany jest średni czas trwania wymiany, zadanie sprowadza się w tym przypadku do wyznaczenia wartości intensywności wejściowej strumienia wywołań w godzinie największego ruchu /GNR/.

W przypadku sieci wojskowych, a taka właśnie jest przedmiotem badań, w przeciwieństwie do sieci cywilnych, brak jest ścisłych

^{1/} W wyodrębnionych ogniwach dowodzenia, gdzie nie istnieje typowy węzeł łączności, autor dla uproszczenia badań założył, że każdy pojedynczy element łączności /aparatownia, WD/ stanowi umowny WŁ.

podstaw teoretycznych umożliwiających wyznaczenie ilościowych charakterystyk strumieni informacji. Spowodowane jest to szeregiem przyczyn, z których do najważniejszych zaliczyć należy:

- zmienność rozmieszczenia abonentów w przestrzeni i w czasie;
- gwałtowne zmiany w wymianie obciążenia w przestrzeni i w czasie uzależnione od zaistniałych sytuacji na polu walki;
- duże prawdopodobieństwo występowania gwałtownych zmian w strukturze sieci powodujących znaczne zmiany w terytorialnym rozdziale ruchu;
- wielopoziomowe priorytetowanie, uzależnione praktycznie tak od kategorii informacji jak i od kategorii abonenta.

Czynniki te sprawiają, że predykcja ruchu w polowych sieciach łączności może być w praktyce oparta jedynie na przypuszczeniach.

Dla zminimalizowania błędu związanego z określeniem charakteru i parametrów obciążenia informacyjnego autor uważa za konieczne ustalenie związków jakie istnieją między bieżącą sytuacją na polu walki, a zapotrzebowaniem abonentów na realizację określonych usług telekomunikacyjnych.

Uwzględniając, że związki ustalone dla jednego wariantu działań bojowych /np. typowego jak natarcie/ mogą jednak znacznie odbiegać od aktualnej sytuacji, przyjęto, że wpływ ten powinien być uwzględniony poprzez weryfikację statystyczną wyników uzyskanych z analizy wybranych działań oraz przez wprowadzenie odpowiedniego współczynnika kompresji obciążenia - W .

Na przykład w obronie gdy nieprzyjaciół panuje w powietrzu system obrony przeciwlotniczej będzie bardziej zaangażowany w zwalczanie środków napadu powietrznego, co jest związane także ze zwiększeniem potrzeb w zakresie wymiany informacji.

Przyjmuje się, że w obronie $W = 2 \div 3$.

Koncepcję oszacowania ilościowych charakterystyk strumieni informacji przesyłanej w systemie OPL DZ autor proponuje zrealizować następująco:

- 1/ ustalić sytuację taktyczną i wybór wariantu działań bojowych dla badanego rodzaju wojsk /OPL DZ/;
- 2/ oprzeć się na gotowym scenariuszu [57,72] działań bojowych ustalającym harmonogram zdarzeń i sytuacji bojowych w okresie od postawienia zadania do wykonania zadania dnia;
- 3/ skorzystać z wzorcowego /akademickiego/ wykazu przedsięwzięć [57,72] związanych z bieżącą sytuacją na polu walki realizowanych przez poszczególne komórki funkcjonalne, osoby funkcyjne /mogą to być zapotrzebowania na usługi telekomunikacyjne w ogniwie PD OPL dywizji - SD prplot - SD brplot/;
- 4/ zidentyfikować procesy informacyjne stanowiące obciążenie systemu łączności, związane z realizacją poszczególnych przedsięwzięć;
- 5/ określić dla każdego abonenta SŁ /komórki funkcjonalnej, ogniwa d-nia/ kierunki zainteresowań /tj. użytkowników, do których występuje w rozpatrywanym przypadku zainteresowanie na określoną usługę telekomunikacyjną;
- 6/ oszacować ilościowe charakterystyki obciążeń dla każdego kierunku zainteresowań /relacji/;
- 7/ wyznaczyć ilościowe charakterystyki sumarycznego obciążenia wejściowego SŁ WOPL DZ w poszczególnych /lub najbardziej niekorzystnych/ okresach czasu prowadzenia działań bojowych;
- 8/ zweryfikować wyniki i wyznaczyć rozkłady /dystrybuanty empiryczne/ i parametry obciążenia w systemie łączności w okresie największego zapotrzebowania na wymianę informacji.

Zgodnie z pkt. 1 powyższej koncepcji autor przebadał potrzeby w zakresie obiegu informacji w toku prowadzenia prawdopodobnej walki przez wojska OPL.

W tym etapie dowodzenia należy wyróżnić momenty /okresy/, w których następuje nasilenie obciążenia i przekazywania informacji [25].

W przedziale 10÷12 godzin dnia walki występować będą 2÷3 okresy o czasie trwania 0,5 ÷ 3 godz., w których rozgrywana będzie walka z przeciwnikiem powietrznym. Pierwszy okres może trwać około 4 godzin /2 godziny przed atakiem i około 2 godzin po ataku/. Po 3-4 godzinach może nastąpić kolejne uderzenie trwające około 1 godziny i następne po 2÷3 godzinach o czasie trwania około 0,5-1 godziny podczas wprowadzania pułków drugiego rzutu.

Według scenariusza powyższej koncepcji oraz po uwzględnieniu przytoczonej charakterystyki działań WOPL określono intensywność ruchu λ w całym systemie OPL dywizji, w relacjach oraz w poszczególnych kanałach.

W tym celu oszacowano wielkości wymiany wiadomości w poszczególnych relacjach, ilości i czasy trwania poszczególnych seansów łączności w poszczególnych liniach /kanałach/ badanego SŁ.

Dane te oszacowano na podstawie następujących źródeł:

- 1/ z ocen i prognoz w zakresie ilości przepływu wiadomości w procesie dowodzenia /działania/wojskami OPL zawartych w JWTT na IKSJA [77];
- 2/ z pracy naukowo-badawczej p.k. "ZAWILEC" prowadzonej w WAT [57];
- 3/ z badań SŁ trzech dywizji podczas ćwiczenia szkieletowego słuchaczy I i II kursu ASG WP NR 100 i 200 przeprowadzonego w 1986 r.;

4/ z własnych badań prowadzonych podczas ćwiczenia, w którym autor pracy uczestniczył osobiście.

Fakt, że uzyskane dane z w.w. źródeł różnią się nieznacznie, autor rozprawy dokonał ich uśrednienia i przyjął je jako względnie wiarygodne /prawdopodobne/.

Potrzeby w zakresie wymiany wiadomości /np. słów, grup/godz./ oraz ilość seansów w określonym czasie /ilość zainicjowanych wymian w ciągu godziny/ w poszczególnych relacjach i kanałach przedstawia tabela 2.5.1.

Dane te dotyczą drugiej godziny walki z przeciwnikiem powietrznym, w której wystąpiły maksymalne potrzeby w zakresie wymiany informacji.

Z analizy danych zawartych w tabeli 2.5.1. można zauważyć, że najbardziej obciążone są kanały, w których przekazywana jest informacja o sytuacji powietrznej oraz komendy i sygnały /meldunki/ z zakresu dowodzenia.

Przedstawione średnie czasy trwania wymiany jednej wiadomości zawierają się w przedziale czasu od kilkunastu sekund do około 3 minut.

Wartości te są rezultatem posługiwania się jeszcze ręcznym niezautomatyzowanym sposobem przekazywania wiadomości.

Numer relacji	Nr kanałów w relacji	Ilość kanałów w relacji	Potrzeby w zakresie wymiany w relacji /zn/godz/	Ilość seansów w relacji w 1 godz.	Ilość seansów w kanale w 1 godz.	Potrzeby wymiany w kanale w 1 godz. /zn/	Intens. wymiany w kanale Xi /wiad./min./	Sr. obj. wiadomości /w zn./1/μ	Czas trwania wymiany wiad. /min./
01	1				5	786	0,083	157	1,74
	2	3	2620	24	14	1048	0,43	75	0,83
	3				5	786	0,083	157	1,74
02	1				7	420	0,11	60	0,66
	2	2	1520	67	60	1100	1	18	0,2
03	1				1	180	0,017	180	2
	2	2	540	3	2	360	0,033	180	2
04	1	1	450	3	3	450	0,05	150	1,66
05	1				10	850	0,17	85	0,94
	2	2	1700	20	10	850	0,17	85	0,94
06	1				4	660	0,066	165	1,83
	2	2	1320	8	4	660	0,066	165	1,83

Numer relacji	Nr kanałów w relacji	Ilość kanałów w relacji	Potrzeby w zakresie wymiany w relacji /zn/godz/	Ilość seansów w relacji w 1 godz.	Ilość seansów w kanale w 1 godz.	Potrzeby wymiany w kanale w 1 godz. /zn/	Intens. wymiany w kanale Xi /wiad./ min. ✓	Śr. obj. wiadomości /w zn./ 1/H	Czas trwania wymiany /wiad. / min. /
07	1			3	258	0,042	86	0,95	
	2			16	1592	0,25	99	1,1	
	3			3	258	0,042	86	0,95	
	4			3	258	0,042	86	0,95	
	5	7	4744	48	410	0,066	102	1,13	
	6				728	0,12	104	1,15	
	7				1040	0,2	86	0,95	
08	1		1000	4	1100	0,066	275	3,05	
	2	2	1100	4	1100	0,066	275	3,05	
09	1		480 0	3	480	0,05	160	1,77	
	2	2	1200	60	1200	1	20	0,22	
10	1		1320	12	1320	0,2	110	1,22	
	2	2	1020	4	1020	0,066	255	2,83	

Do obliczenia optymalnych możliwości przepustowych poszczególnych kanałów łączności oraz minimalnego czasu pobytu wiadomości w kanale niezbędne będą także i takie parametry jak:

- czas średniego przekazywania meldunku - \bar{T}_p meld.
- śr. objętość meldunku - $\frac{1}{\mu}$ /znaków/;
- śr. ilość meldunków przekazanych w kanale w ciągu godz. - λ_i
- śr. czas odstępu między przekazywanymi meldunkami - $\bar{t}_{odst.}$
- śr. czas zajętości kanału w ciągu godz. - $\bar{t}_{zaj.kan.}$

Parametry te obliczone na podstawie danych empirycznych przedstawionych w tab.2.5.1 oraz danych przedstawionych w pracy [57].

Średnie ich wielkości wynoszą odpowiednio:

- 1/ $\bar{T}_{p.meld.} = 1,42$ min.;
- 2/ $1/\mu = 122$ zn.;
- 3/ $\lambda_i = 11$ wiad/godz.;
- 4/ $\bar{t}_{odst.} = 4,1$ min.
- 5/ $\bar{t}_{zaj.kan.} = 15,5$ min.

Charakterystyki ilościowe przedstawione w tabeli 2.5.2 oszacowano wg następującej metody.

Ponieważ objętości poszczególnych rodzajów informacji w obecnym SŁ OPL szczebla taktycznego przekazywane są przeważnie słownie w telefonicznych kanałach radiowych należało je oszacować w pewnych jednostkach.

W tym celu przeprowadzono eksperyment w postaci telefonicznego przekazywania tekstów przez łącze radiowe UKF /podczas badania w WIŁ rdst. Tuberoza-2 z utajnianiem/ dla próbek najczęściej spotykanych wiadomości w systemie OPL.

Uwzględniając czas przekazywania wiadomości, oraz inne uwarunkowania obciążające system i wpływające na czas trwania połą-

czenia, ustalono, że seanse wymiany będą oszacowane pewnym czasem. Wiadomości tekstowe zostały przeliczone także w znakach na daną wiadomość. Po zbadaniu próbek typowych rodzajów wiadomości ustalono, że zawierają one określoną liczbę znaków. Powyższe objętościowo-czasowe charakterystyki informacji przekazywanych przez techniczne środki łączności w systemie OPL dywizji przedstawia tabela 2.5.2.

Tabela 2.5.2.

Charakterystyka ilościowo-objętościowa informacji przekazywanych przez środki łączności

Rodzaj informacji /wiadomości/	Objętość /grup, stron/	Ilość znaków	Czas przekazywania /min., s/	Ilość/czas
Komenda /sygnał/	3-4 grup	18-24	6-10 s	wg potrzeb
Meldunek o sytuacji powietrznej	2-3 grup	10-20	6-10 s	6-10 min.
Sygnał uprzedzający o przelocie wł.lot.	6 grup	36	10-12 s	wg potrzeb
Meldunki innego typu	1/8 strony	90	1min.	-"-
-"-	1/4 strony	190	2min.	-"-
-"-	1/3 strony	270	3min.	-"-
-"-	1/2 strony	500	4min.	-"-
Zarządzenie wstępne	1 strona	1000	8min.	raz na dobę walki
Wstępne zarządzenie bojowe	2-3 strony	2000	15min.	-"-
Zarządzenie do OPL rozkaz bojowy	6-7 stron	6000	30-40 min.	-"-
Meldunek bojowy	4-5 stron	5000	20min.	-"-

Analiza danych zawartych w tabeli 2.4.3. wskazuje na zróżnicowanie poszczególnych linii łączności zarówno pod kątem potrzeb w zakresie wymiany, częstości prawdopodobnych seansów wymiany informacji jak i czasów ich trwania. Przyjęcie do dalszych badań na modelu symulacyjnym śr. czasów trwania wymiany poszczególnych wiadomości wypaczyłoby jednak uzyskane wyniki ponieważ w rzeczywistości czasy te są determinowane przez wiele sytuacji losowych /np. zmienna sytuacja losowa, stan psychiczny obsługi, oddziaływanie przeciwnika, warunki propagacji, itp./, stąd też autor uznał za celowe przyjęcie do dalszych badań jako podstawę, rozkłady czasów trwania obsługi wymiany /dystrybuanty empiryczne/ opracowane na bazie wyników z obserwacji zachowania się systemów łączności w trakcie ćwiczeń /tabela 2.5.3./.

Z analizy SŁ WOPL dywizji wynika, że ponad 80% linii łączności to kanały UKF, około 15% stanowią kanały KF a pozostałe 5% to kanały radioliniowe.

Wyniki badań potwierdzają także, że poszczególne rodzaje linii łączności charakteryzują się wykorzystaniem z zasady jednorodnych emisji.

W liniach UKF i radioliniowych stosowane są głównie modulacje częstotliwościowe o współczynniku odporności na zakłócenie $K_{zw} \approx 1,5$, zaś w kanałach KF w warunkach zakłóceń generalnie będą stosowane emisje jednowstęgowe / $K_{zw} \approx 4 \div 5$ /.

Ponieważ w kanałach KF i liniach radiowych rozkład wymiany informacji jest podobny jak w kanałach UKF /czasy trwania obsługi wiadomości, ilość wymian/ autor uważa, że w dalszych badaniach wystarczy posługiwać się tylko ogólną dystrybuantą empiryczną czasów trwania, obsługi poszczególnych wiadomości bez podziału na poszczególne rodzaje łączności.

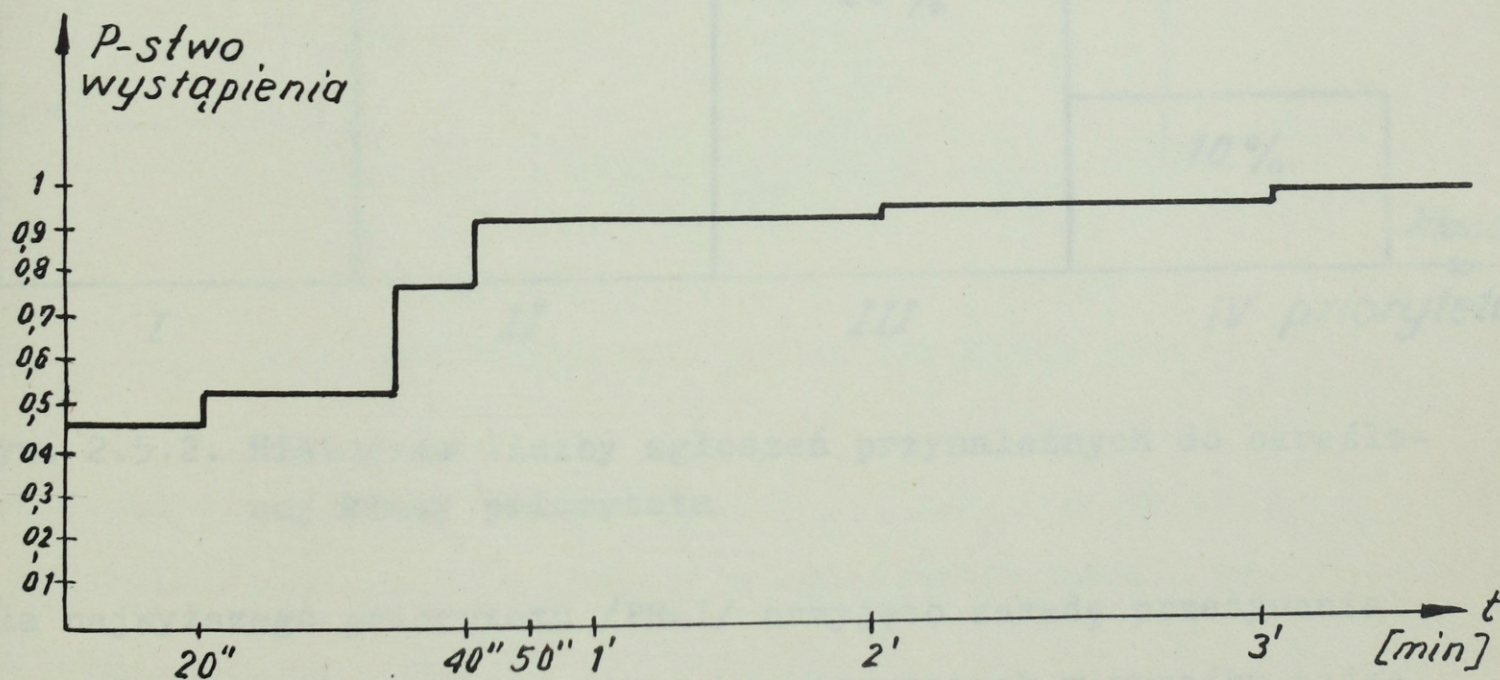
Rozkład czasów trwania obsługi wiadomości realizowanych w obecnym systemie łączności WOPL dywizji przedstawia tabela 2.5.3.

Tabela 2.5.3.

Rozkład czasów trwania obsługi wiadomości w ciągu 1 godz.

Przedziały czasu nadawań wiadomości /s., min./	Kanały łączności w SŁ OPL	
	Liczba generowanych wiadomości	P-stw wystąpienia danej wiadomości
od 0 - 20"	około 120	0,46
od 20" - 50"	około 17	0,06
od 50" - 1'	około 62	0,23
od 1' - 2'	około 43	0,17
od 2' - 3'	około 15	0,05
powyżej 3'	około 5	0,03

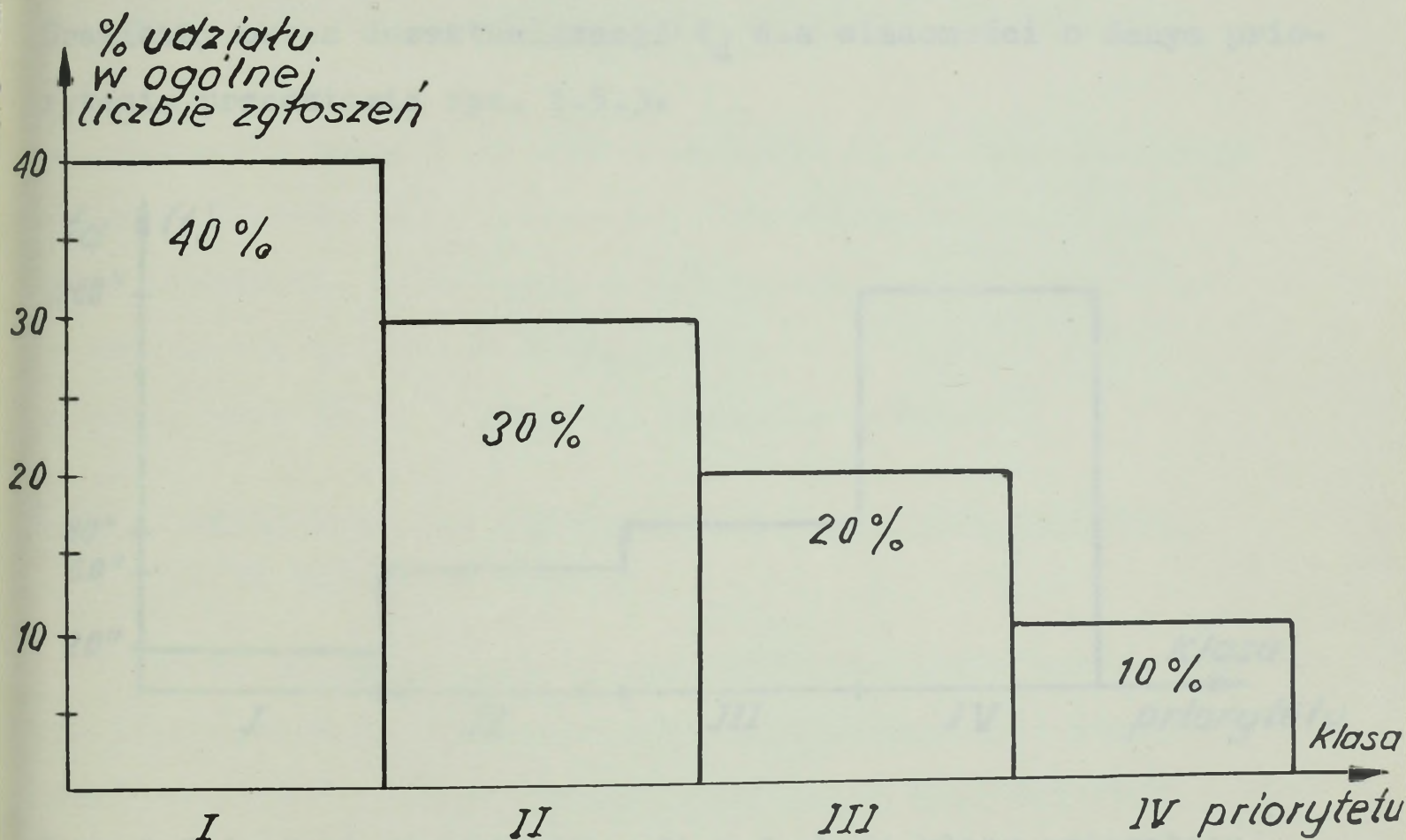
Natomiast dystrybuantę empiryczną utworzoną na podstawie obliczeń zawartych w tab.2.5.3 przedstawia rys. 2.5.1.



Rys. 2.5.1. Dystrybuanta empiryczna czasów obsługi wiadomości w SŁ OPL dywizji

Oprócz wyżej przedstawionych charakterystyk obciążenia informacyjnego, bardzo ważną cechą każdej informacji, w zależności od stopnia jej istotności /ważności/ dla potrzeb dowodzenia jest priorytet.

Zgodnie z ustaleniami normatywnymi [51,72] w systemie dowodzenia WOPL rozróżnia się 4 priorytety, które zostały w modelu przyjęte przez autora. Według opinii ekspertów oraz literatury przedmiotu [77,78] procentowy udział w ogólnej liczbie zgłoszeń /rodzajów wiadomości/ przedstawia rys. 2.5.2.



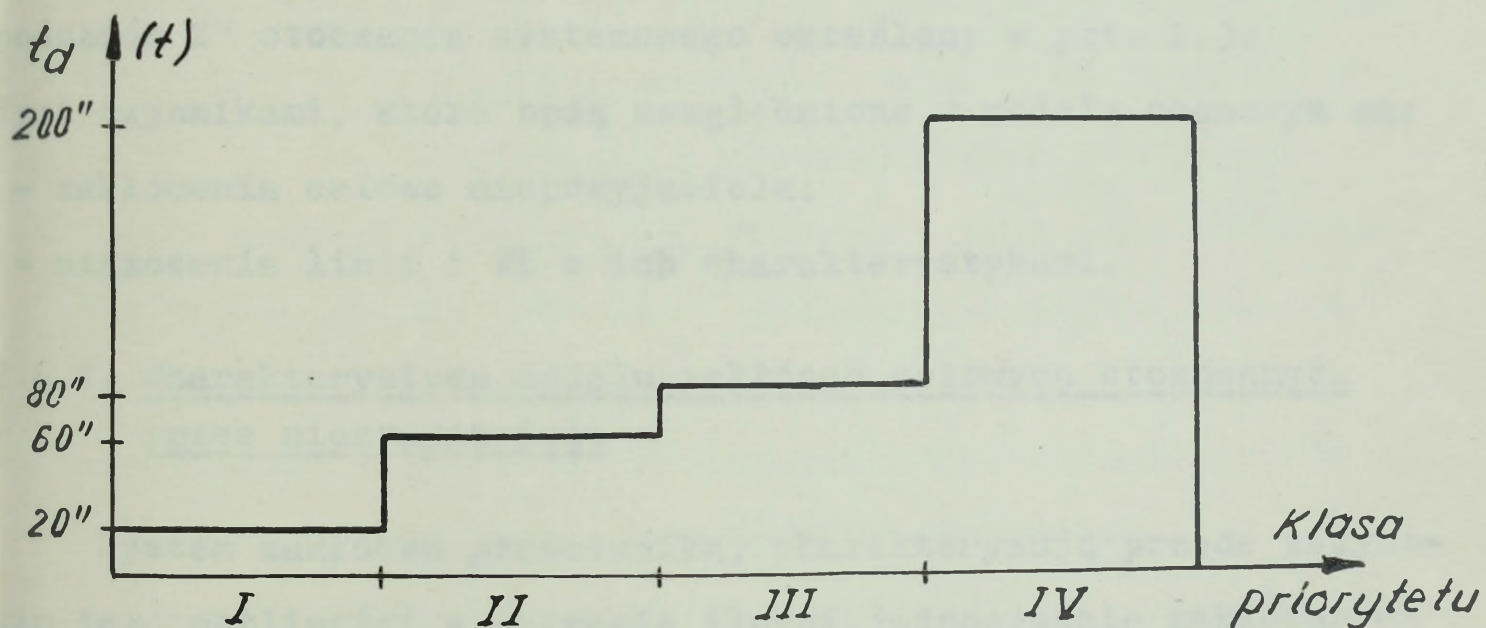
Rys. 2.5.2. Histogram liczby zgłoszeń przynależnych do określonej klasy priorytetu

Dla najwyższego priorytetu /PR=I/ przyjęto zasadę przeżywania przesyłanej informacji o niższych priorytetach w wypadku zajętości kanału łączności. Po obsłudze informacji z I priorytetu następuje powrót do obsługi informacji przerwanej.

W wypadku wystąpienia kolejki, dalsze napływające zgłoszenia /PR ≤ 3 / ustawiają się w niej wg zasady FIFO.

Z wymagań na SŁ wynika, że jednym z głównych parametrów oceniających analizowany system łączności jest czas pobytu w nim określonej wiadomości. Do modelu symulacyjnego autor przyjmuje, że dopuszczalny czas pobytu wiadomości w systemie, po upływie którego informacja o określonym priorytecie traci swoją aktualność zgodnie z normami zawartymi w wymaganiach na obieg informacji w zautomatyzowanym systemie dowodzenia [77].

Graniczny okres dezaktualizacji t_d dla wiadomości o danym priorytecie przedstawia rys. 2.5.3.



Rys. 2.5.3. Czas dezaktualizacji w funkcji klasy priorytetu

Ostatecznie wejściowy strumień potrzeb w zakresie wymiany w systemie łączności OPL dywizji w opracowanym modelu będzie opisany,

$$J_{we} = f(t_{odst}, t_{wym}, t_{dez}, N, PR,)$$

gdzie: t_{odst} - śr. czas odstępu między kolejnymi napływającymi wiadomościami,

t_{wym} - śr. czas wymiany informacji,

t_d - czas dezaktualizacji,

N - numer kanału, w którym będzie przesyłana wiadomość,

PR - priorytet wiadomości.

2.6. Model czynników zakłócających działanie SŁ WOPL DZ

Czynniki zewnętrzne oddziałujące na SŁ charakteryzuje podzbiór Z'' otoczenia systemowego określony w pkt. 2.3.

Tymi czynnikami, które będą uwzględnione w modelu ocenowym są:

- zakłócenia celowe nieprzyjaciela;
- niszczenia linii i WŁ z ich charakterystykami.

2.6.1. Charakterystyka modelu zakłóceń celowych stosowanych przez nieprzyjaciela

System zakłóceń przeciwnika, charakteryzują przede wszystkim jego możliwości w zakresie ilości jednocześnie zakłócanych linii łączności i na jak długi okres czasu oraz możliwości jego reakcji na występujące w naszym systemie seanse wymiany informacji.

Do głównych czynników mających wpływ na zakłócalność SŁ /w sensie odporności i podatności na zakłócenia/ należą:

a/ w bazie technicznej i organizacyjnej SŁ OPL:

- ilość i rodzaj linii łączności zarówno bezpośrednich jak i pośrednich /zestawianych na drogach obejściowych/ w posz-

czególnych relacjach sieci łączności;

- ilość seansów łączności oraz czas ich trwania tj: intensywność wymiany w zorganizowanych relacjach, kanałach;

b/ w bazie techniczno-organizacyjnej systemu zakłóceń nieprzyjaciela:

- ilościowe możliwości jednoczesnego zakłócenia linii łączności;
- czasowe możliwości relacji systemu zakłóceń na pracę naszych środków łączności

$$t_{rz} = t_{roz} + t_{org}$$

gdzie: t_{roz} - czas bezpośredniego rozpoznania,

t_{org} - czas potrzebny na określenie celów rozpoznania /przekazanie komend kierowania, przestrajania i ukierunkowanie nadajnika/.

Czas reakcji zakłóceń t_{rz} rozumiany jest jako możliwość wykrycia seansu łączności, podjęcia decyzji i wykonanie zakłóceń w trakcie tegoż seansu łączności;

- możliwości sprzętowe "obsłużenia" zakłóceniami intensywności wymiany realizowanej w badanym systemie.

Z przedstawionej charakterystyki czynników wywierających wpływ na system zakłóceń wynika, że w dalszych badaniach celowym jest dokonanie wnikliwej analizy bazy materialnej, funkcjonalnej i przestrzennej systemu zakłócanego i zakłócającego.

Ponieważ w pkt. 3.4.3. dokładnie został przeanalizowany interesujący nas SŁ WOPL, a wyniki przedstawione w tab. 2.4.1; 2.4.2; 2.5.1. i na ich podstawie przeprowadzona dyskusja, poniżej dokonana zostanie analiza bazy materialnej systemu zakłóceń ewentualnego przeciwnika, pod kątem charakterystyk i parametrów, które są niezbędne przy konstruowaniu modelu ocenowego SŁ.

Bazę materialną podsystemów rozpoznania radiowego i zakłóceń radiowych nieprzyjaciela stanowią siły i środki specjalistycznych pododdziałów tj. pododdziałów WRE oraz nadajniki zakłócające jednorazowego użytku /NZJU/.

Według poglądów teoretyków wojskowych [35,60] armii państw NATO, SŁ naszej dywizji będzie obiektem oddziaływania pododdziałów WRE wojsk lądowych szczebla operacyjno-taktycznego /korpusu armijnego i dywizji/. Przy czym obiektami oddziaływania będą z reguły na szczeblu taktycznym środki radiowe typu UKF.

Analiza pododdziałów WRE armii państw NATO wg [60] wskazuje, że największe możliwości oddziaływania na SŁ dywizji /w tym SŁ OPL/ posiadają siły lądowe USA i RFN.

Z powyższych względów, w dalszych badaniach rozpatrywane będą tylko pododdziały WRE korpusu armijnego USA.

W zależności od rodzaju walki, SŁ dywizji będzie obiektem oddziaływania określonej części potencjału WRE korpusu armijnego n-pla.

Biorąc pod uwagę zasady użycia pododdziałów WRE przeciwnika [4,60] można przyjąć, że SŁ dywizji w działaniach bojowych może być obiektem oddziaływania:

- w natarciu - od 1/3 do 1/2 sił i środków WRE dywizji oraz do 1/3 sił i środków WRE KA;
- w obronie - całości sił i środków dwóch dywizji i do 1/2 sił i środków WRE KA.

Z oceny literatury źródłowej [55,60] wynika, że w.w. siły i śr. WRE n-pla mają możliwość:

- rozpoznać około 30% bezprzewodowych linii łączności w natarciu i około 80% linii łączności w obronie;
- zakłócić do 30% linii łączności.

Ponadto zakresy częstotliwości środków rozpoznania i zakłóceń przeciwnika, pokrywają cały zakres częstotliwości wykorzystywanych w naszym SŁ śr. radiowych.

Rodzaje pracy środków rozpoznania i zakłóceń radiowych umożliwiają rozpoznanie i zakłócenie wszystkich rodzajów emisji radiostacji i radiolinii badanego SŁ.

Obsługi stacji zakłóceń mają możliwość zarejestrowania w pamięci komputera do 256 f. zastrzeżonych lub podlegających zakłóceniu z określonym priorytetem.

Stwarza to możliwość automatycznego podejmowania zakłóceń linii łączności, których „f” pracy jest zapamiętana w komputerze.

W przypadku wystąpienia jednoczesnej emisji na kilku częstotliwościach /zarejestrowanych/, zakłócana jest emisja wykorzystująca częstotliwość o najwyższym priorytecie.

Istotną cechą charakteryzującą podsystem zakłóceń radiowych, obok jego możliwości ilościowych /przedstawionych wyżej/ jest czas reakcji rozumiany jako średnia wartość przedziału czasu pomiędzy wystąpieniem seansu wymiany w linii łączności strony przeciwnej, a rozpoczęciem emisji sygnału zakłócającego ten seans.

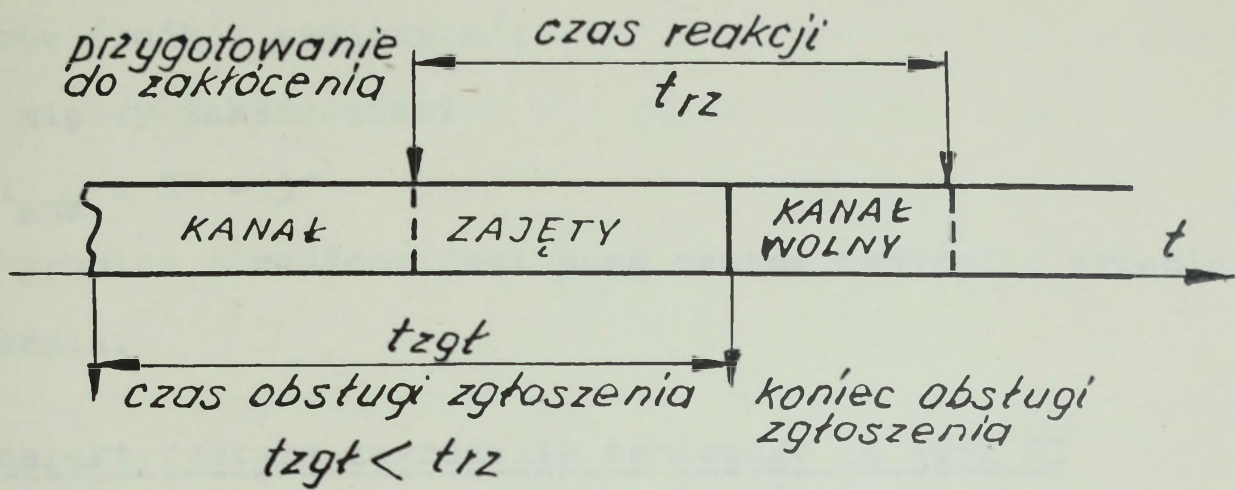
Analiza funkcjonowania podsystemu rozpoznania radiowego i zakłóceń radiowych przeciwnika uwzględniająca możliwości destrukcyjne jego bazy materialnej. wskazuje, że czas reakcji t_{RZ} może być różny w zależności od typu stacji zakłócającej. Zależność powyższą obrazuje tabela 2.6.1.

Tabela 2.6.1.

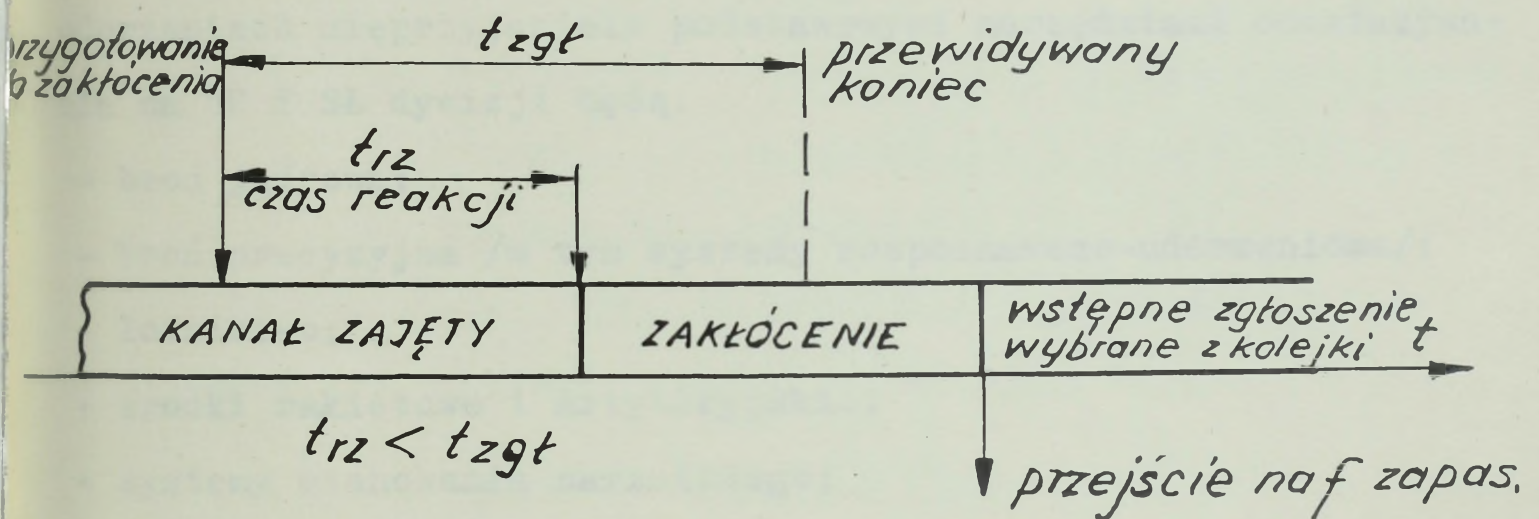
Lp.	Typ zestawu obezwładnienia radioelektronicznego	Czas reakcji / t_{rz} / w /s/	U w a g i
1.	AN/MLQ - 34	1-2"	Stacje sterowane przez komputer pokładowy
2.	AN/TLQ - 17A	1-2"	
3.	AN/TLQ - 27A	1-2"	
4.	AN/MLQ - 34	7-15" do 25"	przy sterowaniu pracą stacji zakłóceń przez ośrodek kierowania WRE
5.	AN/TLQ - 17A		
6.	AN/TLQ - 27A		
7.	AN/TLQ - 15		
8.	dla wszystkich zestawów	od 30" - 1'	gdy sytuacja jest nieznana i potrzeba dokonywania analizy i postawienia zadania na zakłócenie
9.	Nadajniki zakłóceń jednorazowego użytku /NZJU/	od 20' do kilku godz.	mała moc /do kilku W/

Analiza i ocena cech NZJU pozwalają stwierdzić, że będą używane przeciwko zasadniczym obiektom radioelektronicznym SŁ strony przeciwnej tj. WŁ, ważnym punktom dnia z kompleksem środków automatyzacji /KSA, WD/ w sposób kompleksowy i w decydujących /z punktu widzenia ich użytkownika/ okresach walki.

Uwzględniając powyższą analizę możliwości zakłóceń stosowanych przez przeciwnika, można założyć, że czynnik zakłócający będzie działał z pewnym opóźnieniem określonym jako okres reakcji od momentu wykrycia kanału zajętego przez zgłoszenie. Długość tego opóźnienia decyduje o tym, czy kanał zostanie zakłócony czy też nie. Jeśli moment zakończenia zgłoszenia jest szybszy od momentu rozpoczęcia zakłócenia, to zakłócenie nie będzie skuteczne /rys. 2.6.1/, natomiast w przypadku przeciwnym seans wymiany będzie zakłócony /rys. 2.6.2/.



Rys. 2.6.1. Próba zakłócenia kanału nieudana



Rys. 2.6.2. Próba zakłócenia kanału zakończona "sukcesem"

Na podstawie powyższych rozważań autor do określenia atrybutów zakłócenia w modelu ocenowym przyjął następujące wartości parametrów:

1/ okres reagowania zakłócenia na zgłoszenie /czas reakcji/,

$$t_{rz} = 2'' - 1';$$

2/ okres trwania zakłócenia

$$t_{zakł} = 30'' - 2'$$

Parametr ten uwarunkowany jest możliwościami naszych operatorów środków radiowych oraz uzależniony jest także od automatyzacji przestrojenia radiostacji na częstotliwość zapa-

sową. Parametr ten przyjęto w oparciu o opinie ekspertów /eksploatatorów środków radiowych/;

3/ okres między zakłóceniami

$$t_{omz} = 0'' - 3'$$

Górna granica określona jest sumą czasów reakcji i trwania zakłócenia.

2.6.2. Charakterystyka zagrożenia ogniowego SŁ WOPL DZ

Analiza literatury przedmiotu [49] wykazuje, że przy realizacji koncepcji operacyjnej "głębokich uderzeń" w zmasowanych uderzeniach nieprzyjaciela podstawowymi narzędziami oddziaływania na SD i SŁ dywizji będą:

- broń jądrowa;
- broń precyzyjna /w tym systemy rozpoznawczo-uderzeniowe/;
- lotnictwo;
- środki rakietowe i artyleryjskie;
- systemy mianowania narzutowego;
- grupy specjalne oraz

środki wojny elektronicznej nieprzyjaciela.

Natomiast doświadczenia z wojen lokalnych oraz ćwiczenia z wojskami wykazują, że nieprzyjaciel będzie wykonywał uderzenia ogniowe w ścisłym współdziałaniu i pod osłoną środków wojny elektronicznej.

Oddziaływanie przeciwnika przy użyciu w.w. środków powoduje fizyczne niszczenie środków łączności i WŁ co pociąga za sobą wyeliminowanie na dość długi okres czasu pewnej ilości relacji, kanałów łączności. Z analizy dostępnej literatury [36] poświęconej problemowi żywotności SŁ, wyrażającej zdolność do przeżycia, a tym samym odporność na negatywne niszczące działanie przeciwnika wynika, że brak jest obecnie wiarygodnych /prawdo-

podobnych/ wskaźników /metodyk obliczenia/ określających ilościowe straty w SŁ /ilość kanałów, relacji, WŁ/ przy destrukcyjnym oddziaływaniu w.w. środków niszczących jakimi dysponuje przeciwnik.

Dotychczas można spotkać następujące miary żywotności a mianowicie:

- 1/ prawdopodobieństwo przeżycia sieci, relacji lub kanału łączności P_p przy oddziaływaniu czynnika rażącego;
- 2/ wymaganie na żywotność SŁ wyrażone w następujący sposób

$$R_{pS\text{Ł}} \geq R_{wS\text{Ł}} \quad /2.6.1/$$

gdzie: $R_{pS\text{Ł}}$ - liczba elementów i relacji SŁ, która przetrwała
 $R_{wS\text{Ł}}$ - wymagana liczba elementów i relacji SŁ dla zabezpieczenia dowodzenia;

- 3/ prawdopodobieństwo tego, że część linii łączności, która przetrwała w systemie, będzie nie mniejsza od zadanej

$$P(R_{pS\text{Ł}} \geq R_{wS\text{Ł}}) \geq P_{zad} \quad /2.6.2/$$

- 4/ prawdopodobieństwo przeżycia elementu SŁ, przy założeniu, że oddziaływanie czynnika niszczącego doszło do skutku, może być określone zależnością

$$P_p(e_i) = P[U_p(e_i) > U_z(e_i)] \quad /2.6.3/$$

gdzie: U_{p/e_i} , U_{z/e_i} - zachowany i minimalny stopień zdolności elementu systemu do pracy.

Natomiast prawdopodobieństwo przetrwania elementu SŁ charakteryzujące jego żywotność w ciągu określonego czasu będzie

$$P_p(e_i) = P_{pw}(e_i, t) \cdot P_p(e_i) \quad /2.6.4/$$

gdzie $P_{pW/e_i,t/}$ - p-stwo tego, że w ciągu czasu t dany element ulegnie rażącemu oddziaływaniu.

Jednak, ażeby powyżej przedstawionymi miarami się posługiwać, niezbędne są dane ilościowe, których obecnie jest ich brak lub wręcz trudno w warunkach pokojowych je oszacować.

Próby takiej dokonano w pracy [86] wykorzystując rachunek prawdopodobieństwa i kombinatoryki. Rezultatem tych obliczeń było ocenienie prawdopodobieństwa przeżycia jednego z WŁ dywizji z trzech jednocześnie funkcjonujących.

Autora niniejszej pracy interesuje bardziej problem określenia prawdopodobnego wyeliminowania z czynnego SŁ /projektowanego/ określonej liczby relacji, kanałów łączności, które będzie miało niebagatelny wpływ na ocenę realizacji zadania postawionego przed SŁ przez system dowodzenia OPL dywizji.

Autor proponuje rozwiązać powyższy problem następująco, zakładając, że:

1/ funkcjonujące relacje i kanały pomiędzy elementami dowodzenia są rozwinięte w sposób szeregowy lub równoległy.

a/ W przypadku połączeń szeregowych kanałów łączności /relacji/ prawdopodobieństwo przeżycia relacji oblicza się ze wzoru:

$$P_{zr\tau} = \prod_{i=1}^K P_{zK\epsilon_j} \quad /2.6.5/$$

gdzie:

$$P_{zK\epsilon_j} = 1 - P_{porK\epsilon_j} \quad /2.6.7/$$

$P_{porK\epsilon_j}$ - p-stwo porażenia kanału łączności "j"

$P_{zr\tau}$ - p-stwo przeżycia relacji łączności

$P_{zK\epsilon_j}$ - p-stwo przeżycia "j-go" kanału łączności

b/ W przypadku połączeń równoległych linii łączności powyższe zależności wyglądają następująco:

$$P_{zrT} = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - P_{zktj}) \quad /2.6.8/$$

gdzie:

$$P_{zktj} = 1 - P_{por ktj} \quad /2.6.9/$$

- 2/ znane są odległości między punktami /elementami/ dowodzenia oraz znane są rodzaje środków łączności przy pomocy których zostały zestawione relacje /kanały/ łączności;
- 3/ znane są prognozy^{1/} żywotności poszczególnych linii /kanałów/ łączności.

W prognozie przedstawionej w tabeli 2.6.2. uwzględniono rodzaje linii łączności aktualnie organizowane w SŁ WOPL dywizji oraz te, które przewiduje się w najbliższych latach eksploatować.

Prognoza obejmuje więc relacje organizowane przy użyciu:

- stacji radioliniowych typu R-405, R-409, R-415;
- radiostacji małej i średniej mocy UKF /III-cia i IV-ta generacja/;
- radiostacji średniej mocy KF /II-ga i III-cia generacja/;
- radiotelefonów /III-cia i IV-ta generacja/.

^{1/} Prawdopodobieństwo porażenia linii łączności autor zaczerpnął z prognoz żywotności kanałów łączności, które zostały określone podczas badań w Akademii Łączności ZSRR. Prognozy te przedstawia tabela 2.6.2.

Tabela 2.6.2.

Prognozy trwałości linii łączności przy oddziaływaniu czynników rażących,

Rodzaj linii łączn.	Typ grupy czyn.	Wskaźniki	Odległość w kilometrach					
			10	20	40	60	80	100
R-409 R-415 /R-405/	I	K_s	0,84	0,82	0,8	0,7	0,6	0,5
		$T_{p/godz.}$	1,1	1,1	1,1	1,6	1,6	2,1
	II	P_{por}	0,1	0,1	0,1	0,12	0,12	0,3
Linia radiowa UKF	I	K_s	0,65	0,62	0,57	0,55	0,52	0,50
		$T_{p/godz.}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	II	P_{por}	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Linia radiowa KF	I	K_s	0,5	0,47	0,41	0,37	0,36	0,36
		$T_{p/godz.}$	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
	II	P_{por}	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56

UWAGA! I gr. czynników - czynniki oddziałujące na SŁ bez uwzględnienia zmasowanych uderzeń jądrowych;

II grupa - uwzględniająca zmasowane uderzenia jądrowe.

Wykorzystując wzory /2.6.8/ i /2.6.9/ oraz dane zawarte w tab.

2.6.2. obliczono prawdopodobieństwa przeżycia $P_{zr\lambda}$ i porażenia $P_{por\ r\lambda}$ poszczególnych relacji SŁ OPL DZ

$$P_{porr\lambda} = 1 - P_{zr\lambda}$$

/2.6.10/

Wyniki przedstawiono w tabeli 2.6.3.

Tabela 2.6.3.

Numer relacji	Ilość linii łącz.	$P_{\dot{z} r\dot{z}}$	$P_{por r\dot{z}} = 1 - P_{\dot{z} r\dot{z}}$	Średnie $P_{por r\dot{z}}$
01	$\frac{3}{UKF}$	0,825	0,17	0,26
02	$\frac{2}{UKF}$	0,708	0,3	
03	$\frac{1}{KF} + \frac{1}{UKF}$	0,708	0,3	
04	$\frac{1}{UKF}$	0,46	0,54	
05	$\frac{2}{UKF}$	0,708	0,3	
06	$\frac{2}{UKF}$	0,708	0,3	
07	$\frac{5}{UKF} + \frac{2}{KF}$	0,98	0,02	
08	$\frac{1}{UKF} + \frac{1}{KF}$	0,708	0,3	
09	$\frac{2}{UKF}$	0,708	0,3	
010	$\frac{1}{UKF} + \frac{1}{r/I}$	0,94	0,06	

Z tab.2.6.3 widać, że najbardziej odporne na porażenia są relacje o większej liczbie rozwiniętych równoległe linii łączności /np. relacje 07, 01/, natomiast połączenia 1-2 liniowe /kanałowe/ lub linie połączone szeregowo są mało odporne na niszczące oddziaływanie nieprzyjaciela /np. rel. 04/.

Z obliczeń wynika także, że średnie prawdopodobieństwo porażenia 1-ej relacji w SŁ OPL dywizji waha się w granicach 0,25-0,30. Można powiedzieć, że co trzecia relacja może zostać zniszczona. Tak więc przy 10 relacjach /24 liniach łączności/, można się spodziewać, że około 8 linii łączności /30%/ będzie wyeliminowanych z SŁ WOPL DZ.

W symulacyjnym modelu ocenowym /w module niszczeń/ przyjęto, że jednym ze zmiennych parametrów w programie będzie intensywność niszczeń zmieniająca się od 0 do 50% linii łączności /50% wynika z wymagań na PASS, przy tej wartości SŁ ma zabezpieczyć dowodzenie wojskami OPL/. Do porównania wariantów projektowych SŁ OPL przyjęto wartość intensywności niszczeń zbliżoną do prawdopodobnej tj. 30-35%.

2.7. Model symulacyjny oceny efektywności SŁ WOPL dywizji

2.7.1. Założenia ogólne

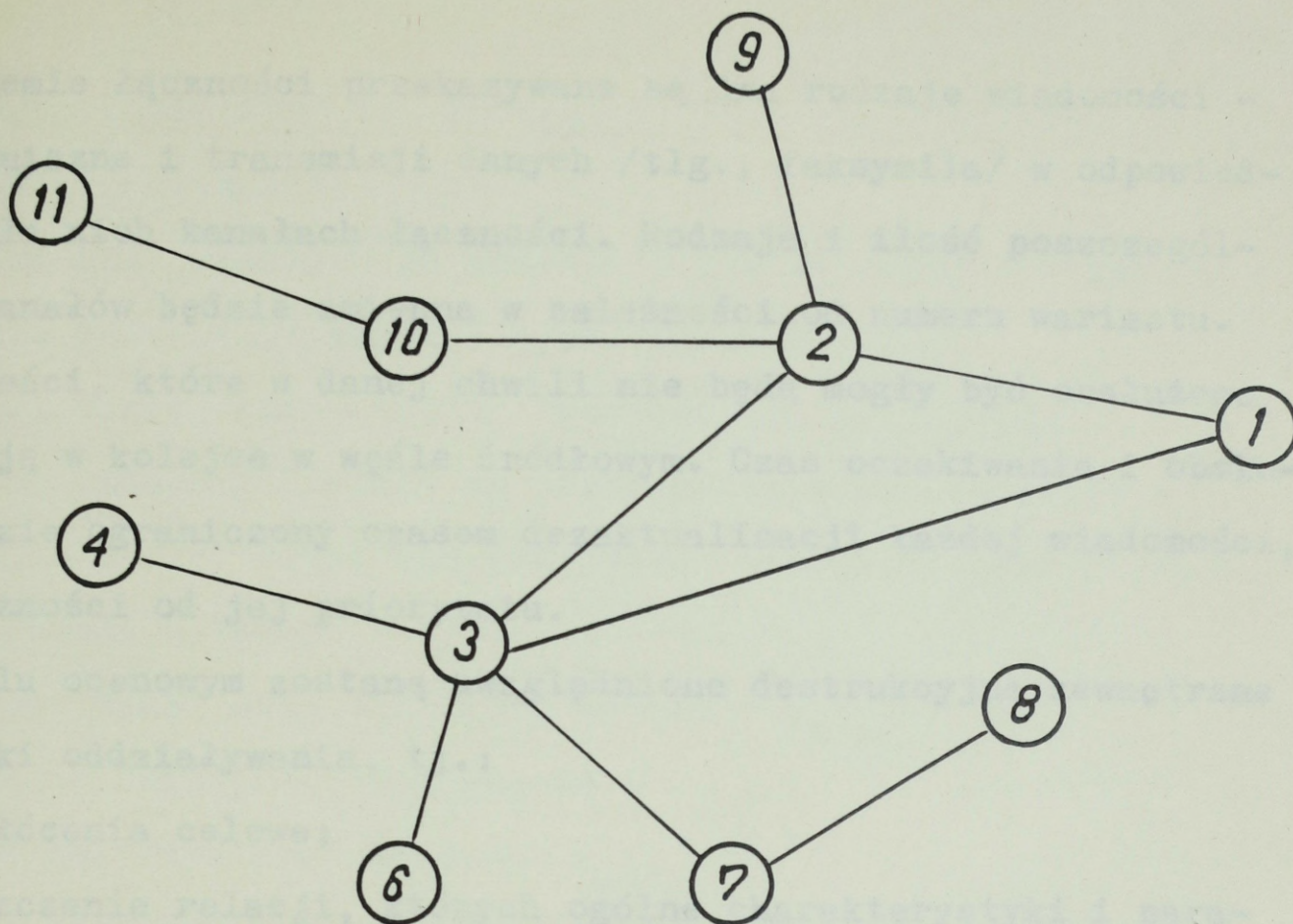
Ocena SŁ powinna być oparta na podejściu systemowym, której istotą jest analiza każdego oddzielnego elementu systemu i różnorodnych aspektów jego funkcjonowania w świetle optymalnej struktury i jednolitych kryteriów efektywności opracowanych dla badanego systemu /pkt. 1.3./.

Przedstawiona w pkt. 2.4. ogólna charakterystyka i analiza SŁ WOPL DZ wskazuje, że praktycznie jedyną dostępną obecnie metodą jego oceny jest symulacja komputerowa /jej zalety przedstawiono w rozdziale I pkt.

Badaniu zostaną poddane warianty SŁ WOPL DZ składające się z określonej liczby węzłów połączonych między sobą wiązkami kanałów /relacjami/ o określonych przepustowościach C_i w zależności od rozpatrywanego wariantu.

Graf struktury bazowego /aktualnego/ ocenianego systemu przedstawia rys. 2.7.1.

Tabela 2.7.1. przedstawia kod ocenianych relacji badanego SŁ, którym będziemy się posługiwać w programie symulacyjnym.



Rys. 2.7.1. Graf struktury ocenianego systemu łączności

Tabela 2.7.1.

Lp.	Oznaczenie re- lacji między węzłami	Kod relacji	Ilość kanałów w relacji
1.	3 - 4	01	3
2.	3 - 5	02	2
3.	3 - 6	03	2
4.	3 - 7	04	1
5.	10 - 11	05	2
6.	2 - 10	06	2
7.	2 - 3	07	7
8.	7 - 8	08	2
9.	2 - 9	09	2
10.	2 - 1	010	2

W systemie łączności przekazywane są dwa rodzaje wiadomości - telefoniczne i transmisji danych /tlg., faksymila/ w odpowiednich dla nich kanałach łączności. Rodzaje i ilość poszczególnych kanałów będzie zmienna w zależności od numeru wariantu. Wiadomości, które w danej chwili nie będą mogły być obsłużone oczekują w kolejce w węźle źródłowym. Czas oczekiwania i obsługi będzie ograniczony czasem dezaktualizacji każdej wiadomości, w zależności od jej priorytetu.

W modelu ocenowym zostaną uwzględnione destrukcyjne zewnętrzne czynniki oddziaływania, tj.:

- zakłócenia celowe;
- niszczenie relacji, których ogólne charakterystyki i parametry przedstawiono w pkt. 2.6.1. i 2.6.2.

2.7.2. Miary efektywności SŁ WOPL DZ

Celem badania symulacyjnego systemu łączności jaki postawił sobie autor niniejszej pracy jest ocena skuteczności zaspokojenia potrzeb informacyjnych użytkowników, tj. osobom funkcyjnym systemu dowodzenia WOPL szczebla taktycznego.

Badany SŁ działa w warunkach znacznego oddziaływania zewnętrznych czynników losowych, zatem ostatecznie osiągnięcie postawionego przez niego zadania jest również narażone na ich wpływ.

W związku z tym jako wskaźniki oceny przyjmuje się zazwyczaj albo prawdopodobieństwo zajścia określonego zdarzenia, albo wartość oczekiwaną pewnej wielkości przypadkowej.

Z dużej liczby spotykanych wskaźników charakteryzujących efektywność wymiany informacji w SŁ autor pracy wybrał następujące:

- ilość informacji przekazanej w kanale łączności /relacji/ w jednostce czasu - Y_K ;

- prawdopodobieństwo terminowego przekazania wiadomości - operatywność łączności - Q ;
- średni czas efektywnego przekazywania wiadomości w kanale - \bar{t}_p ;
- średni czas przebywania wiadomości w SŁ - \bar{T}_p ;
- średni odstęp czasu między zgłoszeniami - $t_{omzgł.}$;
- średni czas oczekiwania na przekazywanie wiadomości - t_{ocz} ;
- średnie straty czasu nieefektywnego w trakcie przekazywania wiadomości w kanale - t_s ;
- przepustowość eksploatacyjna kanału - $c_{i\dot{e}kspl.}$;
- wskaźnik funkcjonowania kanału - e_{fk} ;
- ilość zgłoszeń obsłużonych - z_{go} ;
- ilość zgłoszeń wygenerowanych - z_{gw} .

Trudno jest ocenić efektywność SŁ jednym wskaźnikiem. Z tego względu efektywność SŁ można wyrazić przy pomocy pewnego zbioru wskaźników.

Przy optymalizacji SŁ na ogół z tego zbioru wyróżnia się kryteria zasadnicze oraz szereg wskaźników pomocniczych spełniających rolę ograniczeń. Jako kryterium zasadnicze autor przyjął wskaźnik efektywności $E_{SŁ}$ mówiący o stopniu przystosowania danego wariantu systemu dla zaspokojenia potrzeb w zakresie wymiany informacji. W proponowanym modelu oceny SŁ OPL przyjęto jako zasadnicze następujące miary efektywności:

1. stopień zaspokojenia potrzeb w zakresie wymiany informacji

a/
$$E_{StW} = \frac{Y_w}{Y_p} \quad /2.7.1/$$

b/
$$E_{StW} = \frac{Y_w - Y_{st.akt}}{Y_p - Y_{st.akt}} \quad /2.7.2/$$

$$c/ \quad E_{st} = \frac{Y_w - Y_{st.akt}}{Y_{idealn.} - Y_{st.akt}} \quad /2.7.3/$$

gdzie: Y_w - ilość informacji przekazanej przez dany wariant
w jednostce czasu w zn/godz./min. ;

Y_p - potrzeby w zakresie wymiany informacji w zn/godz.

$Y_{idealn.}$ - ilość informacji przekazywanej przez
wariant idealny w zn/godz.

$Y_{st.akt.}$ - zdolność informacyjna systemu aktualnego
w zn/godz.

$$Y_{st} = \sum_{i=1}^n Y_{rel} \quad /2.7.4/$$

gdzie: n - ilość czynnych relacji

$$Y_{rel} = Y_k \cdot k \quad \text{lub} \quad Y_{rel} = \sum_{i=1}^k Y_k \quad /2.7.5/$$

gdzie: k - ilość czynnych kanałów w relacji.

Ilość informacji przekazanej w kanale w jednostce czasu obli-
cza się następująco:

$$Y_k = e_f \cdot t \cdot C_{ek} \cdot \mathcal{L} \quad /2.7.6/$$

gdzie: e_f - wskaźnik funkcjonowania kanału

C_{ek} - przepustowość eksploatacyjna /uzależniona od
rodzaju kanału/

\mathcal{L} - wskaźnik strat eksploatacyjnych przyjmujący war-
tość /0,7 - 0,8/

2. Wskaźnik funkcjonowania sieci:

Charakteryzuje on możliwości czasowe efektywnego wykorzysta-
nia sieci /kanału/ w przekazywaniu wiadomości w określonej
jednostce czasu w warunkach zakłóceń i niszczeń:

$$ef = \frac{\sum_{i=1}^n t_p}{\sum_{i=1}^n t_p + \sum_{l=1}^n t_s} \quad /2.7.7/$$

gdzie: t_p - czas efektywnego przekazywania wiadomości,
 t_s - straty czasu w trakcie wymiany,
 n - ilość czynnych kanałów w sieci.

3. Operatywność sieci łączności

$$Q_{PR} = \frac{Z_{go}}{Z_{gw}} \quad /2.7.8/$$

gdzie: Q_{PR} - operatywność sieci łączności dla danego priorytetu przekazywanych wiadomości,

Z_{go} - ilość zgłoszeń obsłużonych, których czas przekazywania nie przekroczył czasu dezaktualizacji

$$t_p < t_q$$

Z_{gw} - ilość zgłoszeń wygenerowanych w danym priorytecie

Z przyjętej przez autora podstawowej miary w modelu ocenowym wynika, że efektywność SŁ silnie zależy od odpowiedniego doboru przepustowości eksploatacyjnych C_{ik} poszczególnych kanałów łączności badanej sieci łączności. Dlatego autor pracy uważa, że przy projektowaniu nowych wariantów systemu łączności a zwłaszcza dla zautomatyzowanych systemów dowodzenia, powinien być uwzględniany w miarę możliwości optymalny dobór przepustowości kanałów łączności.

Dokonanie oceny SŁ przy wykorzystaniu prezentowanego modelu z uwzględnieniem modułu określania optymalnych przepustowości kanałów w zależności od obciążenia sieci łączności będzie bardziej wiarygodne i użyteczne dla projektantów i użytkowników perspektywnego SŁ.

W związku z tym w następnym punkcie pracy w oparciu o dostępną literaturę [42] i własne rozważania autora, zostanie przedstawiona realizacja rozwiązania optymalnego doboru przepustowości kanałów łączności w projektowanych sieciach.

2.7.3. Propozycja rozwiązania zadania doboru optymalnych przepustowości kanałów w projektowanych sieciach łączności dla ZSD

Przewiduje się, że w zautomatyzowanych systemach dowodzenia i kierowania [81] około 70% informacji przekazywanych będzie w teleinformatycznych kanałach łączności. W związku z tym główną rolę w przekazywaniu wiadomości odgrywać będą sieci transmisji danych łączące zautomatyzowane miejsca pracy decydentów ze źródłami informacji i środkami walki.

Dlatego tak ważnym staje się problem odpowiedniego zaprojektowania sieci z punktu widzenia stawianych przed nią zadań przez system nadrzędny. Głównym kryterium jakości funkcjonowania sieci jest przeważnie średni czas przebywania \bar{T}_p w niej wiadomości /czas od momentu podłączenia źródła danych do sieci do momentu dostarczenia wiadomości odbiorcy/.

Wiadomości napływające do sieci oraz ich objętości są wielkościami losowymi. Powyższe cechy determinują opisanie takiej sieci w terminologii obsługi masowej. Projektowana sieć łączności dla ZSD w OPL będzie siecią z komutacją wiadomości /pakietów/ realizowana przez wyspecjalizowane EMC i UTD.

W dalszych rozważaniach opierać będziemy się na modelu sieci łączności przedstawionej w pkt. 2.7.1. reprezentującej zbiór węzłów "w" połączonych między sobą określoną liczbą "n" kanałów. Każdy kanał opisany jest określoną przepustowością C_i zn/min. /bit/s/.

Założymy także, że:

- w kanałach błędy oraz uszkodzenia nie występują,
- czas przetwarzania wiadomości t_{prz} w węzłach są wielkościami pomijalnie małymi w stosunku do czasu przekazywania wiadomości w kanale \bar{t}_p /sieci/ łączności, $t_{prz} \ll \bar{t}_p$;
 - kanały mogą mieć kolejkę na wejściu;
 - obciążenie napływające do sieci z zewnętrznych źródeł obrazuje strumień Poissona ze średnią wielkością y_{jk} wiadomości na minutę /wygenerowanych w węźle w_j , a przeznaczonych do węzła w_k /;
 - objętości wszystkich wiadomości są niezależne i opisane rozkładem wykładniczym ze średnią wielkością $1/\mu$ [zn];
 - dla pomieszczenia tych wiadomości w węźle /w komputerze WD/ występuje pamięć o nieograniczonej pojemności;^{1/}
 - całkowite zewnętrzne obciążenie napływające do sieci wynosi

$$Y = \sum_{j=1}^W \sum_{k=1}^W y_{jk} \quad /2.7.9/$$

- wiadomości przekazywane są w sieci od węzła źródła "j" do węzła "k" wg ustalonej procedury wyboru marszruty.

Gdy oznaczymy przez λ_i średnią liczbę wiadomości przesyłanych po i-tym kanale w ciągu minuty, to całkowite wewnętrzne obciążenie w sieci będzie następujące:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad /2.7.10/$$

gdzie n - ilość kanałów.

^{1/} Autor [81] udowadnia, że jeżeli pojemność pamięci buforowej jest na tyle wielka, że prawdopodobieństwo jednoczesnego dostępu użytkownika do tego samego zasobu jest mniejsze od 10^{-3} , to założenie o nieskończonej pojemności buforowej w pełni jest możliwe do przyjęcia.

Koszt organizacji i -tego kanału o przepustowości C_i określimy funkcją

$$d_i = f(c_i) \quad /2.7.11/$$

Gdy założymy, że uwzględniono tylko wartość budowy kanałów /koszt umownych węzłów włączono bezpośrednio w koszt kanałów/ to całkowity koszt sieci wyniesie

$$D = \sum_{i=1}^n d_i(c_i) \quad /2.7.12/$$

Jako główne kryterium oceny sieci łączności TD, które ma najważniejsze znaczenie dla projektanta jest średni czas przebywania wiadomości w sieci \bar{T} .

Gdy oznaczymy przez \bar{t}_{jk} śr. czas przebywania wiadomości relacji $w_j \div w_k$, to te dwie powyższe zależności można powiązać wzorem:

$$\bar{T} = \sum_{j=1}^W \sum_{k=1}^W \left(y_{jk} / Y \right) \bar{t}_{jk} \quad /2.7.13/$$

gdzie:

y_{jk} - część pełnego wejściowego obciążenia mająca śr. czas przebywania \bar{t}_{jk} .

Jeżeli przyjęte kryterium jakości sieci \bar{T} będziemy minimalizować w funkcji przepustowości C_i kanałów, to tym samym będzie to równoznaczne optymalizacji rozpatrywanej sieci.

Do przeprowadzenia powyższej optymalizacji przyjęto:

- ograniczenie kosztowe D określone zależnością /2.7.12/ oraz trzy parametry;
- możliwości przepustowe $\{C_i\}$;
- intensywność strumienia zgłoszeń w kanale

- model sieci określony przez macierz połączeń, zmiennym parametrem jest $\{C_i\}$.

Informacje o przypadkowym czasie przebywania \bar{T} określone zależnością /2.7.13/ przekazywane są po określonej drodze l_{jk} stanowiącej jedno z połączeń między węzłami w_j a w_k .

Można powiedzieć, że i -ty kanał sieci z przepustowością C_i jest elementem składowym w drodze l_{jk} , jeżeli wiadomości przekazywane po tej drodze przechodzą przez powyższy kanał, tj. $C_i \in l_{jk}$.

W takim przypadku intensywność strumienia zgłoszeń λ_i w i -tym kanale powinna być równa sumie intensywności napływu zgłoszeń po wszystkich drogach, które przechodzą przez ten kanał.

$$\lambda_i = \sum_j \sum_k y_{ik} \quad /2.7.14/$$

$$j, k = C_i \in l_{jk}$$

Gdy wielkość \bar{t}_{jk} z równania /2.7.13/ przedstawia sobą sumę śr. czasów przebywania wiadomości przy przekazywaniu jej po różnych kanałach drogi l_{jk} , to można ją określić jako:

$$\bar{t}_{jk} = \sum_{i \in l_{jk}} \bar{T}_i \quad /2.7.15/$$

gdzie: \bar{T}_i - średni czas przebywania wiadomości w kanale " i ".

Wychodząc z równania /2.7.13/ otrzymamy wzór na \bar{T} :

$$\bar{T} = \sum_{j=1}^W \sum_{k=1}^W (y_{jk}/Y) \sum_{i \in l_{jk}} \bar{T}_i \quad /2.7.16/$$

Zmieniając w /2.7.16/ porządek sumowania otrzymamy:

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^n \bar{T}_i (1/Y) \sum_j \sum_k y_{jk} \quad /2.7.17/$$

Wykorzystując zależność /2.7.14/ ostatecznie otrzymamy:

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^n (\lambda_i / \gamma) \bar{T}_i \quad /2.7.18/$$

Z analizy literatury poświęconej temu problemowi [30] wynika, że wykorzystując formułę Little'a można prościej dojść do powyższego rezultatu.

Rzeczywiście Little udowodnił, że średnia liczba wiadomości oczekujących na obsłużenie przez i-ty kanał równa się iloczynowi

$$\lambda_i \bar{T}_i$$

Wtedy średnia liczba wiadomości N w sieci będzie równa sumie

$$N = \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{T}_i \quad /2.7.19/$$

Z drugiej strony średnia liczba wiadomości w sieci będzie się też równać iloczynowi $\gamma \bar{T}$.

Przyrównując obydwie wielkości do siebie

$$\gamma \bar{T} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{T}_i \quad /2.7.20/$$

dochodzimy do wzoru

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{T}_i / \gamma \quad /2.7.21/$$

Wykorzystując założenie o niezależności napływających po sobie wiadomości, pojedynczy kanał można przedstawić w postaci jednoliniowego systemu M/M/1 z poissonowskim strumieniem λ_i i wykładniczym czasem obsługi ze średnią wartością $1/\mu$ C_i / minut.

Dla takiego systemu czas przebywania wiadomości w systemie, określony czasem oczekiwania i czasem obsługi określa się zależnością:

$$\bar{T}_i = N_c / (\mu c_i) + 1 / (\mu c_i) \quad /2.7.22/$$

gdzie N_c - liczba wiadomości stojących przed i -tym kanałem

/wg formuły Little $N_c = \lambda_i \bar{T}_i$.

Wtedy podstawiając wielkość N_c do wyrażenia /2.7.22/ otrzymamy

$$\bar{T}_i = \lambda_i T_i / (\mu c_i) + 1 / (\mu c_i - \lambda_i) \quad "/2.7.23/$$

Podstawiając wzór /2.7.23/ do wyrażenia /2.7.21/ otrzymamy:

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^n (\lambda_i / \gamma [1 / (\mu c_i - \lambda_i)]) \quad /2.7.24/$$

Przedstawiony powyżej sposób wyprowadzenia zależności na średnie przekazywanie wiadomości w sieci łączności pozwala bezpośrednio przejść do rozwiązania zadania optymalnego doboru przepustowości kanałów sieci.

Zadanie to przyjmuje następującą postać:

- znane są strumienie napływu wiadomości $\{\lambda_i\}$ oraz struktura sieci;
- minimalizujemy \bar{T} ;
- parametrem zmiennym jest $\{c_i\}$;
- ograniczenie:

$$D = \sum_{i=1}^n d_i(c_i)$$

W pracy zostanie rozpatrzony przypadek liniowych kosztów projektowania sieci łączności w funkcji możliwości przepustowych

$$d_i(c_i) = d_i c_i \quad /2.7.25/$$

gdzie: d_i - koszt jednostki przepustowości i -tego kanału.

Współczynnik kosztowy d_i może dowolnie zmieniać się w zależności od dowolnego parametru kanału, ale powinien liniowo zależeć od

przepustowości kanału. Z /3.7.24/ wynika, że każde zrealizowane rozwiązanie zadania doboru przepustowości powinno być takim, ażeby i -ty kanał miał przepustowość $C_i > \lambda_i/\mu$.

Znając kryterium jakości sieci określone w /2.7.24/ można obecnie przystąpić do znajdowania jego minimalnej wartości.

Dla minimalizacji \bar{T} wykorzystano funkcję Lagrange'a o postaci:

$$G = \bar{T} + \beta \left[\sum_{i=1}^n d_i C_i - D \right] \quad /2.7.26/$$

gdzie: - nieokreślony mnożnik Lagrange'a.

Jeżeli znajdziemy minimum wielkości G , przy zmiennym parametrze $\{C_i\}$, to tym samym zostanie rozwiązane zadanie optymalizacji.

Jest to równoznaczne temu, że wyrażenie w nawiasie równe będzie zeru.

Wykorzystując metodę Lagrange'a przechodzimy do następujących równań:

$$\frac{\partial G}{\partial C_i} = 0, \quad i = \bar{1}, n$$

Różniczkowanie funkcji G po podstawieniu w miejsce \bar{T} wyrażenia /2.7.24/ prowadzi do następującego równania:

$$\beta d_i - \left[\lambda_i \mu / \gamma (\mu C_i - \lambda_i)^2 \right] = 0 \quad /2.7.26/$$

stąd

$$C_i = \lambda_i / \mu + (1 / \sqrt{\beta \gamma \mu}) (\lambda_i / d_i)^{1/2} \quad /2.7.27/$$

Mnożąc równanie /2.7.27/ przez d_i i sumując po " i " otrzymujemy

$$\sum_{i=1}^n d_i C_i = \sum_{i=1}^n \lambda_i d_i / \mu + (1 / \sqrt{\beta \gamma \mu}) \sum_{i=1}^n \sqrt{\lambda_i d_i} \quad /2.7.28/$$

Lewa strona powyższego równania równa się D, a

$$1/\sqrt{\beta\gamma\mu} = [D - \sum_{i=1}^n (\lambda d_i/\mu)] / \sum_{i=1}^n \sqrt{\lambda_i d_i} \quad /2.7.29/$$

Definiując wyrażenie w nawiasie jako nadmiarowy koszt

$$D_e \triangleq D - \sum_{i=1}^n \lambda_i d_i / \mu \quad /2.7.30/$$

oraz podstawiając dwa ostatnie wyrażenia do /2.7.27/ otrzymujemy optymalne rozwiązanie liniowego zadania wyboru przepustowości poszczególnych kanałów sieci,

$$C_{i opt} = \lambda_i / \mu + D_e \sqrt{\lambda_i d_i} / d_i \sum_{j=1}^n \sqrt{\lambda_j d_j} \quad /2.7.31/$$

Z ostatniego wyrażenia wynika, że na początku projektowania sieci określa się przepustowość danego kanału wg jego obciążenia tj. λ_i / μ

Pozostałą nadmiarową zdolność przepustową rozdziela się na wszystkie kanały proporcjonalnie do pierwiastka kwadratowego ich obciążenia.

Jednak ażeby mieć możliwość otrzymania dopuszczalnego średniego czasu przebywania wiadomości w projektowanej sieci pełny jej koszt D powinien być większy od sumy $D > \sum_{i=1}^n (\lambda_i d_i / \mu)$ a różnica $D_e = D - \sum_{i=1}^n (\lambda_i d_i / \mu)$ będzie dodatkowym kosztem określonym w /2.7.30/, rozdysponowanym na utrzymanie wymaganego kryterium sieci w realnych warunkach.

Przedstawiony sposób optymalnego doboru przepustowości kanałów Kleinrock w [30] nazywa dobozem wg zasady pierwiastka kwadratowego.

Podstawiając wyrażenie na C_i do /2.7.24/ otrzymamy

$$\bar{T}_{min} = [\bar{l}/(\mu D e)] \left[\sum_{i=1}^n \sqrt{\lambda_i d_i / \lambda} \right] \quad /2.7.32/$$

gdzie: \bar{l} - średnia długość drogi, określana według zależności

$$\bar{l} = \Lambda / \gamma$$

Według wyrażenia /2.7.32/ obliczamy minimalny czas przebywania wiadomości w sieci o optymalnie dobranych przepustowościach kanałów.

W szczególnym przypadku, gdy $d_i = d$ /ta sama stała wielkość kosztu dla każdego kanału/ można przyjąć, że $d = 1$.

Wtedy $\sum_{i=1}^n C_i = D$ i można założyć, że D jak i C będą wyrażone w zn/min.

W przypadku jednakowego kosztu wzory /2.7.31/ i /2.7.32/ przyjmą ostateczną postać:

$$C_{i opt} = \lambda_i / \mu + C (1 - A \bar{l}) \sqrt{\lambda_i} / \sum_{i=1}^n \sqrt{\lambda_i} \quad /2.7.33/$$

a

$$\bar{T}_{min} = \bar{l} \left(\sum_{i=1}^n \sqrt{\lambda_i / \lambda} \right)^2 / [\mu C (1 - A \bar{l})] \quad /2.7.34/$$

gdzie

$A = \gamma / (\mu C)$ - znormalizowana wielkość obciążenia całej sieci.

Oprócz wyżej przedstawionego sposobu doboru optymalnych przepustowości kanałów dla danej sieci, można także wykorzystywać inną strategię, a mianowicie:

- C_i wybiera się proporcjonalnie do wielkości obciążenia poszczególnych kanałów

$$C_{i proporc.} = C \lambda_i / \Lambda \quad /2.7.35/$$

natomiast wielkości czasów przekazywania wiadomości dla powyższej zasady określa się następująco:

$$\bar{T}_i = 1 / (\mu C_i \text{propor} - \lambda_i) \quad /2.7.36/$$

$$\bar{T} = (1/Y) \sum_i \lambda_i \bar{T}_i \quad /2.7.37/$$

W pracy autor wykorzystuje sposób optymalnego doboru przepustowości kanałów projektowanych sieci łączności /wariantów/ "wg zasady pierwiastka kwadratowego".

W programie symulacyjnym został uwzględniony moduł do obliczania $C_{i \text{ opt.}}$ i T_{min} wg zależności /2.7.33/ i /2.7.34/.

2.7.4. Opis programu symulacji badanego SŁ

Głównym zadaniem programu symulacyjnego działania SŁ w modelu ocenowym jest określenie średniego wskaźnika efektywności $E_{SŁ}$, /systemu obecnego i wariantów projektowanych/ rozumianego jako dyspozycyjność sieci łączności do przekazywania informacji w warunkach oddziaływania zakłóceń i występowania niszczeń przy zakładanych przepływnościach kanałów i potrzebnej ilości informacji do przekazania.

Metoda symulacji polega na losowym generowaniu kolejnych zdarzeń, które w dynamiczny sposób charakteryzują stan badanej sieci. Stan ten jest zapamiętywany w odpowiednim rejestrze w postaci tablicy, w której każdy wiersz reprezentuje stan jednego kanału. Gdy kanał jest zajęty przez wiadomość /zgłoszenie/, to pamięta się jego atrybuty obsługi, zaś gdy jest zakłócony to pamięta się atrybuty zakłócenia.

W programie symulacyjnym wyróżniono następujące moduły:

- a/ moduł inicjowania przebiegu symulacji i realizacji niszczeń kanałów;
- b/ moduł wyboru i analizy typu zdarzenia;
- c/ moduł generacji i realizacji zgłoszenia;
- d/ moduł inicjowania i rejestracji zakłócenia;
- e/ moduł realizacji zakłócenia;
- f/ moduł rejestracji zgłoszenia w kolejce;
- g/ moduł zakończenia zgłoszenia;
- h/ moduł zakończenia zakłócenia;
- i/ moduł analizy zgłoszeń oczekujących w kolejce;
- j/ moduł dezaktualizacji zgłoszenia;
- k/ moduł przygotowania i wydrukowania wyników symulacji.

W module inicjowania przebiegu symulacji zeruje się liczniki zgłoszeń wygenerowanych, obsłużonych, przerwanych, zdezaktualizowanych, oczekujących w kolejce, liczniki efektywnego czasu pracy kanałów oraz licznik czasu symulacji. W module tym realizuje się niszczenia pewnej grupy kanałów, których numery wylosowano w osobnym podprogramie generowania niszczeń, w którym parametrem wejściowym jest intensywność niszczeń, rozumiana jako liczba wyeliminowanych kanałów w stosunku do liczby wszystkich.

Ponieważ zmiana grupy uszkodzonych kanałów może wpływać na badania symulacyjne w funkcji innych parametrów, więc grupa ta /zapamiętana w tablicy kanały uszkodzone/ nie zmienia się w czasie jednego przebiegu badania. W module tym generuje się również losowo momenty rozpoczęcia pierwszego zgłoszenia i pierwszego zakłócenia.

W module wyboru zdarzenia określa się typ zdarzenia, którego moment pojawienia się jest "najszybszy". Po wyborze typu zdarzenia, czas symulacji przyjmuje wartość odpowiadającą chwili początkowej wybranego zdarzenia. Następnie analizuje się licznik czasu symulacji. Jeśli przekroczy założoną wartość maksymalną, to program kończy przebieg oraz przygotowuje i zapamiętuje wyniki symulacji.

W module generacji zgłoszenia określa się losowo jego atrybuty, takie jak:

- numer kanału;
- okres trwania zgłoszenia;
- priorytet;
- moment dezaktualizacji.

Okres trwania zgłoszenia $t_{zgł}$ losuje się za pomocą generatora o rozkładzie wykładniczym według następującego wzoru:

$$t_{zgł} = -\bar{t}_{zgł} \times \ln(\text{random}) \quad /2.7.4.1/$$

gdzie: $\bar{t}_{zgł}$ - wartość średnia czasu trwania obsługi zgłoszenia,
random - liczba losowa z przedziału $\langle 0,1 \rangle$

Okres średni $\bar{t}_{zgł}$ jest funkcją przepływności kanału, w którym wylosowano zgłoszenie. Parametr ten zmienia się w trakcie badań symulacyjnych /w zależności od wariantu/.

Okres dezaktualizacji związany jest z priorytetem i wyznacza się go za pomocą generatora o rozkładzie równomiernym wykorzystując poniższą tabelę utworzoną na podstawie histogramów przedstawionych na rys. 2.5.2. w pkt. 2.5.

Próbka statystyczna	40%	30%	20%	10%
Priorytet	I	II	III	IV
Okres dezaktualizacji	20"	60"	80"	200"

Odstęp czasu między zgłoszeniem bieżącym, a następnym niezależnym zgłoszeniem losowany jest za pomocą generatora o rozkładzie wykładniczym wg następującego wzoru:

$$t_{omzgt} = \bar{t}_{omzgt} \times \ln(\text{random}) \quad /2.7.4.2/$$

gdzie: \bar{t}_{omzgt} - śr.odstęp czasu między zgłoszeniami,

random - liczba losowa z przedziału $\langle 0,1 \rangle$

Zgłoszenie jest generowane tylko w takim kanale, który nie jest uszkodzony /zniszczony/. Po określeniu atrybutów zgłoszenia analizuje się aktualny stan kanału, w którym ma być obsługa wiadomości. Gdy kanał jest wolny, to do rejestru stanu sieci wpisuje się atrybuty zgłoszenia i realizuje się wymianę tego zgłoszenia. W przypadku, gdy kanał jest zajęty bada się czy nowe zgłoszenie ma większy priorytet od poprzedniego. Jeśli tak, to kanał zajmowany jest przez nowe zgłoszenie, a stare wpisuje się do kolejki zgłoszeń oczekujących na obsługę. Jeśli nie, to nowe zgłoszenie zapamiętywane jest w kolejce. Identyczne jest postępowanie, gdy kanał jest zakłócony. Wpisanie zgłoszenia do kolejki realizuje moduł rejestracji zgłoszenia w kolejce.

W module inicjowania zakłócenia kanału określa się atrybuty zakłócenia takie, jak:

- numer zakłócanego kanału;
- czas reakcji;
- czas trwania zakłócenia.

Zakłócenie generowane jest w kanale, który nie został uszkodzony. Zakłada się, że czynnik zakłócający działa z pewnym opóźnieniem, określanym jako okres reakcji od wykrycia seansu wymiany w kanale. Okres ten losowany jest za pomocą generatora o rozkładzie równomiernym z przedziału:

$$2'' - 1'$$

Okres trwania zakłócenia również losuje się równomiernie z przedziału:

$$30'' - 2'$$

Moment wystąpienia następnego zakłócenia losuje się równomiernie z przedziału, którego wielkość jest parametrem wejściowym programu i zmienia się w trakcie badań symulacyjnych.

Po określeniu atrybutów zakłócenia sprawdza się stan kanału. Jeśli kanał nie jest zajęty obsługą zgłoszenia, zakłócenie nie będzie realizowane.

W module realizacji zakłócenia bada się stan kanału po upływie czasu reakcji. Jeśli czas obsługi zgłoszenia $t_{obzgk} > t_{rz}$, to obsługa zgłoszenia zostaje przerwana, a zgłoszenie ustawiane jest do kolejki zgłoszeń oczekujących na obsługę /moduł rejestracji zgłoszenia w kolejce/.

W bloku zakończenia zgłoszenia wykreśla się aktualne zgłoszenie z rejestru stanu sieci. Następnie program bada zgłoszenia oczekujące w kolejce na obsługę w kanale zwolnionym przez aktualne zgłoszenie. Jeśli istnieje zgłoszenie, którego okres dezaktualizacji jest dłuższy od czasu wymiany tego zgłoszenia, to zgłoszenie to będzie realizowane w bieżącym kanale.

Badaniem kolejki zgłoszeń zajmuje się moduł analizy zgłoszeń oczekujących w kolejce. Wynikiem tej analizy może być znalezie-

nie zgłoszenia, którego przewidywany moment dezaktualizacji jest krótszy od okresu jego obsługi. Wówczas zgłoszenie to wypisuje się z kolejki i zapamiętuje w rejestrze zgłoszeń zdezaktualizowanych.

W bloku zakończenia zakłócenia kanał zostaje uwolniony od zakłócenia i program analizuje zgłoszenia oczekujące w kolejce wykonując operacje analogiczne jak w module zakończenia zgłoszenia.

W bloku dezaktualizacji zgłoszenia usuwa się z kolejki zgłoszenie, dla którego mija moment dezaktualizacji.

W bloku przygotowania i wydruku wyników przebiegu symulacji zbiera się dane statystyczne i oblicza podstawowe wskaźniki oceny efektywności systemu łączności. Są to:

- wskaźnik funkcjonowania sieci łączności - e_f ;
- wskaźnik efektywności SŁ - $E_{SŁ}$;
- operatywność systemu łączności - Q .

Dodatkowo dla każdego ocenianego wariantu SŁ obliczane są optymalne przepustowości kanałów $C_i \text{ opt}$ oraz minimalne średnie czasy pobytu wiadomości w kanale \bar{T}_{min} .

Wskaźnik funkcjonowania sieci e_f obliczany jest jako stosunek efektywnego czasu pracy wszystkich kanałów do sumy efektywnego czasu i czasu strat w sieci, obejmującego sumę czasów obsługi zgłoszeń przerwanych przez zakłócenia lub inne zgłoszenia oraz sumę czasów wyłączenia kanałów, kiedy te były zakłócone według wzoru /2.7.7/.

Efektywność systemu łączności oblicza się wg wzorów /2.7.1. ÷ 2.7.3/ wyrażającego stosunek całkowitej ilości przesłanej informacji w sieci w jednostce czasu do ilości potrzeb, które powinny zostać przesłane w zadanym czasie.

Ilość przesłanej informacji w kanale w jednostce czasu określa się wg wzoru /2.7.6/, w relacji wg zależności /2.7.5/, zaś w ocenianej sieci wg wzoru /2.7.4/.

Czas efektywnej pracy kanału w warunkach idealnych obliczany jest następująco:

$$t_p = Z_{gok} \cdot \bar{T} \quad /2.7.4.3/$$

gdzie: Z_{gok} - liczba zgłoszeń obsłużonych w kanale w jednostce czasu w warunkach idealnych,

\bar{T} - średni okres trwania wymiany zgłoszenia w danym wariancie SŁ.

Liczbę zgłoszeń obsłużonych w kanale w jednostce czasu i w warunkach idealnych oblicza się ze wzoru

$$Z_{gok} = \frac{t}{\bar{t}_{omzgt} \cdot n} \quad /2.7.4.4/$$

gdzie: n - liczba kanałów,

t - jednostka czasu,

\bar{t}_{omzgt} - średni odstęp czasu między pojawieniem się zgłoszeń w sieci łączności.

Operatywność systemu łączności dla danego priorytetu wiadomości określa się jako stosunek ilości wiadomości obsłużonych Z_{go} do ilości wiadomości wygenerowanych Z_{gw}

$$Q = \frac{Z_{go}}{Z_{gw}} \quad /2.7.4.5/$$

Przedstawiony program symulacyjny modelu ocenowego został wykonany na podstawie algorytmu przedstawionego na rys. 2.7.4.

Program główny obejmuje wykonanie przebiegów symulacji dla trzech zmieniających się parametrów wejściowych:

- przepustowości kanałów sieci łączności - C_i ;
- intensywności zakłóceń;
- intensywności niszczeń.

Pozostałe dane wejściowe do programu stanowiły:

- intensywność wejściowego strumienia wywołań - γ_i ;
- intensywność wymiany w kanale - λ_i ;
- średni czas wymiany informacji - \bar{T} ;
- częstość występowania wywołań w kanałach łączności;
- prawdopodobieństwo tego, że pojawiająca się wiadomość należy do określonej klasy priorytetu;
- czasy dezaktualizacji informacji w poszczególnych klasach priorytetu;
- ilość kanałów łączności /podział na rodzaj/;
- ilość relacji łączności.

Do opisu przedstawionego modelu symulacyjnego zastosowano język symulacyjny TURBO PASCAL. Otrzymany program symulacyjny przetwarzany był na maszynie cyfrowej IBM XT PC.

2.7.5. Wnioski

Zdaniem autora niniejszej pracy każde zrealizowanie dowolnego badania naukowego /ekspertyza, ocena/ powinno być oparte, jeżeli jest to możliwe, na obiekcie rzeczywistym, wykorzystując metody eksperymentalne. Nie zawsze jednak takie warunki do badań można stworzyć. Na przykład przedmiotem zainteresowania autora pracy jest obiekt wojskowy - SŁ, którego możliwość badań na systemie rzeczywistym w pełnym tego słowa znaczeniu jest ograniczone a nawet wręcz niemożliwe.

Ograniczenia te wynikają z następujących uwarunkowań:

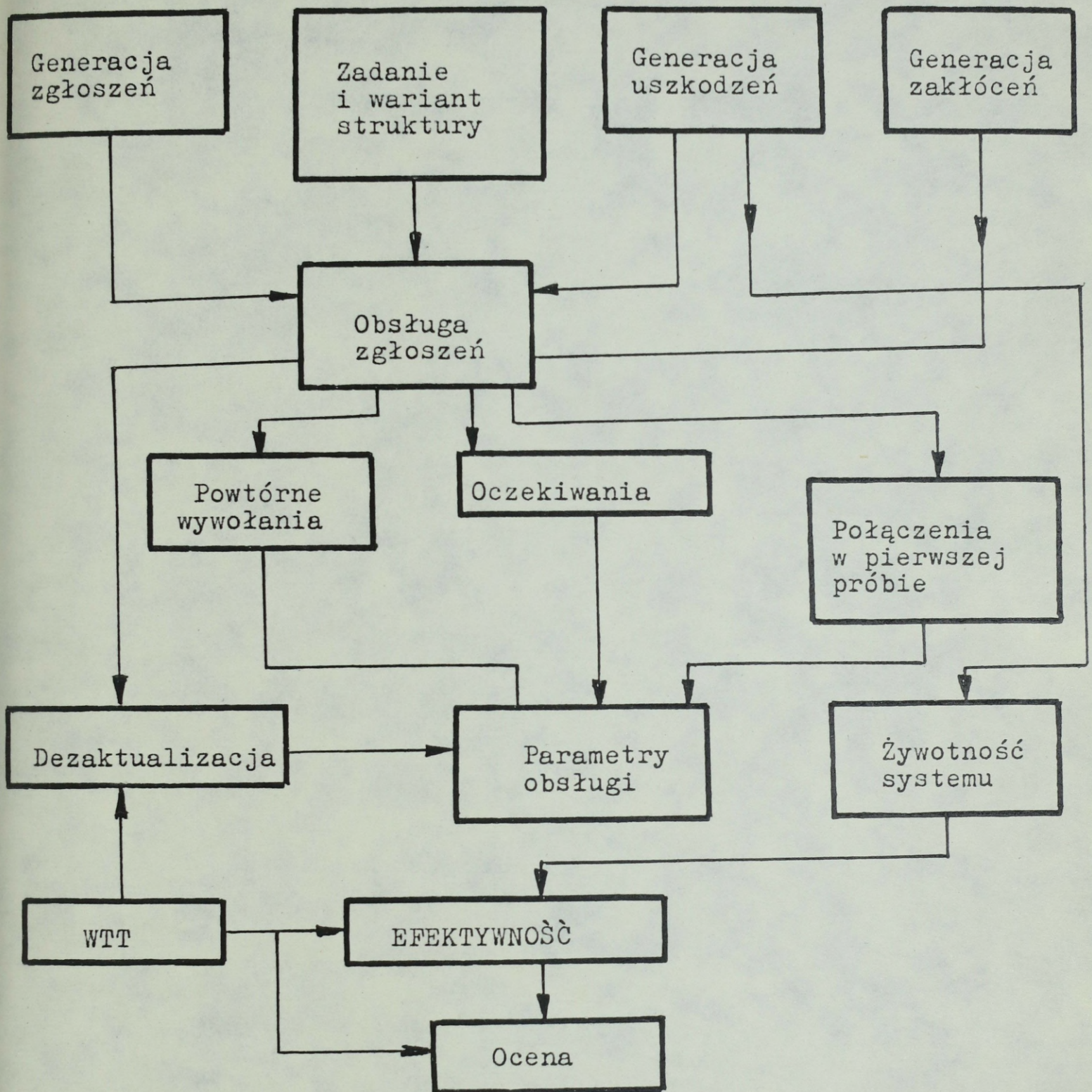
- 1/ nie można stworzyć rzeczywistych warunków funkcjonowania SŁ na polu walki;
- 2/ potrzeba zaangażowania dużej ilości sprzętu i personelu;
- 3/ duży koszt;
- 4/ brak możliwości badania projektowanych /hipotetycznych/ wariantów systemu łączności;
- 5/ trudności przy zbieraniu szeregu wiarygodnych danych statystycznych.

Z tego też powodu dokonuje się badania nie na obiekcie rzeczywistym lecz na jego modelu, wykorzystując do tego celu symulacyjne modele badawcze, np. symulacyjny model oceny MOE SŁ. Zaprojektowany ogólny MOE SŁ przedstawiony na rys. 2.7.5. pozwoli uzyskać dane /wyniki/, które umożliwią ocenę efektywności funkcjonowania SŁ WOPL DZ przy dynamicznych zmianach jego struktury i otoczenia.

Dysponując takim modelem badawczym, problem dokonania oceny istniejącego i projektowanego SŁ OPL sprowadza się do dysponowania określonymi danymi. Niezbędne dane to:

- SŁ wojsk OPL tj. jego struktura techniczna /sieć łączności, relację, kanały, urządzenia/ oraz znajomość jego funkcjonowania i współzależności zachodzących między elementami systemu;
- strumień wywołań /znajomość wymiany/ w poszczególnych relacjach /w WŁ/;
- parametry modelu zakłóceń;
- wskaźniki umożliwiające dokonanie globalnej oceny efektywności SŁ oraz dodatkowych ocen szczegółowych.

Zaprezentowany w ten sposób przez autora model oceny pozwoli uzyskać oceny obecnego i perspektywicznego SŁ WOPL DZ a także stanowić będzie podstawę do ich optymalnego projektowania.



Rys. 2.7.5. Ogólny MOE SŁ

R O Z D Z I A Ł I I I

OCENA EFEKTYWNOŚCI WARIANTÓW SŁ WOPL DZ

3.1. Wprowadzenie

Zgodnie z przyjętą hipotezą roboczą opracowany w rozdziale II symulacyjny model badawczy polowych /eksploatowanych i perspektywicznych/ taktycznych SŁ powinien zapewnić ocenę efektywności systemu w warunkach zmieniającego się otoczenia, struktury i jego funkcjonowania, a ponadto umożliwić dokonanie oceny porównawczej alternatywnych systemów rzeczywistych i hipotecznych. W związku z tym dla zweryfikowania przydatności opracowanego MOE zostały ocenione warianty SŁ OPL DZ.

Przede wszystkim został oceniony eksploatowany polowy SŁ WOPL DZ pod względem jego przydatności w obecnym systemie dowodzenia oraz w okresie wprowadzenia na uzbrojenie WOPL nowych zautomatyzowanych obiektów dowodzenia.

Celowo uwzględniono do przebadania kilka wariantów SŁ, gdyż ocena jednego, np. obecnego SŁ WOPL szczebla taktycznego, nie dałaby jednoznacznej wypowiedzi o przydatności opracowanego narzędzia badawczego.

Ponadto najbliższe lata, to okres projektowania dla wojsk nowych cyfrowych, zautomatyzowanych systemów łączności, które przed ich wdrożeniem do wojsk powinny zostać ocenione pod kątem ich przydatności w zautomatyzowanym systemie dowodzenia.

Przebadanie kilku wariantów SŁ, pozwoli także określić w jaki sposób zachowuje się efektywność SŁ w funkcji zmian wybranych parametrów taktyczno-technicznych proponowanych rozwiązań.

Uzyskane miary liczbowe przebadanych wariantów SŁ zostaną odpo-

wiednio ocenione, by wypracować globalną ocenę, na podstawie której będzie można wyłonić najlepszy system.

Analiza uzyskanych wyników /ocen/ pozwoli także, na wypracowanie wniosków dotyczących prowadzenia dalszych prac w zakresie nowych narzędzi ocenowych oraz w zakresie projektowania perspektywicznych, efektywnych SŁ.

3.2. Zdefiniowanie wariantów SŁ WOPL DZ

Przedstawiona poniżej charakterystyka wyróżnionych wariantów SŁ obejmuje:

- aktualny SŁ wojsk OPL DZ pracujący w niezautomatyzowanym systemie dowodzenia /wariant I/;
- aktualnie eksploatowany SŁ w powiązaniu z KSA zautomatyzowanych obiektów dowodzenia typu DP, ZWD, ZENIT, IKSJA /wariant II/;
- analogowo-cyfrowy SŁ z KSA zautomatyzowanych obiektów dowodzenia i środków rozpoznania powietrznego /wariant III/;
- cyfrowy, zintegrowany SŁ w otoczeniu pełnej automatyzacji procesów decyzyjno-informacyjnych /wariant IV/.

Zdefiniowane warianty różnią się następującymi cechami systemowymi:

- rodzajem kanału /analogowy, cyfrowy/;
- ilością kanałów;
- zdolnością przepustową zorganizowanych kanałów /relacji/;
- stopniem utajniania systemu;
- automatyzacją wymiany informacji;
- automatyzacją procesów techniczno-eksploatacyjnych wykorzystywanych aparatu i środków łączności;

- wiernością przekazywanej informacji;
- generacją proponowanych środków łączności.

WARIANT I

Aktualnie eksploatowany SŁ WOPL DZ rozwijany jest na bazie analogowych środków łączności będących wyposażeniem aparatuwni łączności oraz niezautomatyzowanych WD^{1/}.

Są to wozy dowodzenia WD-43, REKIN-2, radiostacje trzeciej generacji małej i średniej mocy typu R-123, R-111, R-107M, R-137, R-130, R-118K oraz aparatuwnie węzłowe R-146 i RD-115.

Podstawowym kanałem obecnego SŁ jest nieutajniony analogowy kanał radiowy o paśmie 0,3 - 3,4 kHz oraz 2 nieutajnione kanały radioliniowe organizowane przy pomocy radiolinii R-405.

Przykładowy wariant organizacji SŁ w WOPL DZ został przedstawiony na rys. 2.4.1.2 i 2.4.2.2, a dane strukturalno-techniczne i charakterystyki ilościowo-informacyjne w tabelach 2.1; 2.2; 2.3; 2.4 rozdziału II-go.

WARIANT II

Wprowadzenie do wojsk ZT zautomatyzowanych obiektów "IKSJA" wymusiło i tak już konieczną automatyzację dowodzenia i kierowania pododdziałami i oddziałami przeciwlotniczymi.

Automatyzacja ta w wojskach OPL ZT ma bazować na krajowych zautomatyzowanych obiektach typu ZWD-10, ZWD-10R /ZENIT/ oraz importowanych obiektach "IKSJA".

^{1/} W WP jedna DZ wyposażona została w zestaw zautomatyzowanych wozów dowodzenia typu IKSJA, w tym, że dla potrzeb WOPL przewidziano tylko dwa wozy tj. MP-22 i MP-25. Obiekty te automatyzują pracę szefa OPL DZ. Brak podobnych obiektów na niższych szczeblach /pz, pcz, prplot / powoduje to, że dowodzenie i kierowanie nimi odbywa się w sposób niezautomatyzowany.

I tak, w obiekty dowodzenia ZWD-10 wyposażeni będą:

- d-cy baterii plot. pz/pcz/;
- szefowie OPL pz/pcz/;
- d-cy baterii rakiet przeciwlotniczych /prplot/.

Natomiast nieznacznie różniący się obiekt ZWD-10R przewidywany jest dla dowódców prplot.

Punkt dowodzenia OPL DZ/DPanc/ będzie wyposażony w KSA obiektów MP-22 /dla szefa OPL DZ/ i MP-25 /dla jego pomocnika/. Grupa dowodzenia bojowego lotnictwem dysponować będzie WD typu MP-23.

Do zbierania informacji o sytuacji powietrznej posterunki radiolokacyjne wyposażą się w nowe stacje wstępnego poszukiwania typu NUR.

Wariant II proponowanego SŁ oparty jest o środki łączności w.w. obiektów dowodzenia i wozów bojowych oraz o aktualnie eksploatowane aparatownie łączności.

W systemie organizowane będą kanały teledacyjne za pomocą urządzeń transmisji danych /UTD/ produkcji krajowej /PIT/ typu:

ZTD-11, ZTD-31, ZTD-32, ZPK-10, ZPK-10T, ZTD-22 oraz UTD zestawu IKSJA /Bazalt, S-23, N-52, N-53, AI-011/.

Pierwotnymi kanałami SŁ będą przede wszystkim nieujawnione kanały radiowe UKF i KF organizowane przy użyciu radiostacji R-171, R-173, R-123, R-134 oraz kanały radioliniowe organizowane przy użyciu radiolinii R-405.

Struktura organizacyjna proponowanego SŁ będzie podobna do rozwiązania przedstawionego w wariancie I, gdyż ilość relacji i kanałów łączności nie ulegnie zmianie. Wariant II różni się jednak ilością zorganizowanych kanałów TD /10 kanałów TD/, które stanowią sieć połączeń pomiędzy urządzeniami KSA zautomatyzowanych

obiektów występujących na wyszczególnionych punktach dowodzenia WOPL DZ.

Występujące środki łączności w proponowanym SŁ pozwalają utajnić około 20-25% kanałów łączności.

Struktura organizacyjno-techniczna SŁ w wariancie II została przedstawiona w załączniku 1.

WARIANT III

Wykorzystanie wszystkich zalet i możliwości KSA zautomatyzowanych wozów dowodzenia będzie możliwe tylko w powiązaniu z nową generacją urządzeń /aparatuwni/ SŁ. To wymaganie spełnią radiostacje cyfrowe lub przystosowane do transmisji cyfrowej oraz aparatuwnie węzłowe umożliwiające realizację i automatyczną komutację kanałów cyfrowych o średniej i dużej przepływności /od 0,3 - 32 kbit/s/.

Cyfryzacja kanałów łączności stworzyła dogodne warunki do utajniania przesyłanej po nich informacji i to z gwarantowaną mocą kryptograficzną.

Wariant III SŁ dla wojsk OPL ZT bazuje właśnie na środkach łączności i aparatuwniach, które zapewniają organizację utajnionych kanałów cyfrowych o przepływnościach zdeterminowanych możliwościami wykorzystywanych urządzeń /terminali/ końcowych.

Środkami tymi mogą być radiostacje małej mocy R-171M, R-173M, TUBEROZA-2, TUBEROZA-1 oraz zmodernizowane radiostacje średniej mocy R-137C przystosowane do utajnionej transmisji cyfrowej o przepływności 16 kbit/s, wykorzystujące do tego celu zewnętrzne urządzenie utajniające np. typu TUBEROZA U-1, ISTORYK /ZSRR/. Te radiostacje stanowić będą bazę kanałotwórczą dla KSA zautomatyzowanych obiektów typu ZWD.

Perspektywiczna generacja obiektów dowodzenia "IKSJA ZTM" ma mieć środki łączności tej samej klasy.

Podstawową aparaturą węzłową SŁ wariantu III-go jest ruchomy węzeł łączności cyfrowej - RWEC. Rozwinięcie tej aparatury na WŁ dywizji, pz,pcz. oraz w prplot. stwarza możliwości organizacji dla potrzeb wojsk OPL utajnionych, cyfrowych 16 kbit/s kanałów radioliniowych oraz utajnionej łączności wewnętrznej na punktach dowodzenia /kierowania/. Dlatego też zautomatyzowane miejsca pracy osób funkcyjnych należy wyposażać w takie terminale jak:

- cyfrowy punkt abonencki z indywidualnym utajnianiem typu CPA-16/32;
- cyfrowy aparat telefoniczny z indywidualnym modułem utajniającym CAT-16/32.

W wariancie tym do organizowania kanałów teledacyjnych zaproponowano UTD z rodziny REDUT lub podobnego typu o tym samym algorytmie pracy i o tych samych parametrach transmisyjnych.

Omawiany SŁ gwarantuje organizację większej ilości cyfrowych kanałów telefonicznych i TD. Stwarza również możliwość utajniania około 65% wszystkich zorganizowanych kanałów.

Dla uodpornienia SŁ na radioelektroniczne zakłócenia celowe w wariancie tym przewiduje się rozwijać relacje przewodowe i światłowodowe, a zwłaszcza na bardzo ważnych kierunkach łączności.

Między innymi, w następujących relacjach:

- stacje radiolokacyjne - ZWD-10/10R/;
- WD d-ców baterii - PRWB /inne środki walki/;
- łączność wewnętrzna na punktach dowodzenia.

Organizacyjno-techniczna struktura omawianego wariantu SŁ została przedstawiona w załączniku 2.

WARIANT IV

W SŁ WOPL DZ wariantu IV autor proponuje zastąpić około 70% radiostacji simpleksowych ruchomym podsystemem radiotelefonicznym, np. typu TUBEROZA 4S.

Zamontowane w zautomatyzowanych wozach dowodzenia duplexowe radiotelefony, centrala zaś w aparatowni RWŁC wraz z pozostałymi urządzeniami i aparatowniami przewidywanymi w wariancie III stwarzają warunki zapewnienia wszystkich niezbędnych usług osobom funkcyjnym znajdującym się na postoju lub w ruchu.

Tak zorganizowany SŁ zaprezentowany w załączniku 3 zapewni duplexowe utajnione kanały 16/32 kbit/s do łączności fonicznej i TD z priorytetem dla tej drugiej ze stopniem utajniania systemu równym 85%.

Zdefiniowane powyżej warianty SŁ WOPL DZ w dalszej części pracy zostały poddane ocenie. Do oceny wykorzystano narzędzie badawcze jakim jest symulacyjny model oceny zaprezentowany w rozdziale II-gim.

Aby można było nim się posłużyć, niezbędne okazały się pewne dane /parametry/ opisujące wyszczególnione warianty SŁ.

W związku z tym przeprowadzona analiza zaproponowanych wariantów SŁ WOPL ZT pozwoliła autorowi oszacować niezbędne dane, które w zwartej postaci przedstawia tabela 3.1.1.

3.2.1. Określenie zdolności przepustowej organizowanych kanałów w SŁ

Przedstawione w tabeli 3.1.1. dla każdego wariantu SŁ eksploatacyjne wartości przepustowości kanałów autor przyjął na podstawie obliczeń oraz przeprowadzonych badań eksperymentalnych.

Podstawowe charakterystyki zdefiniowanych wariantów SŁ WOPL DZ

CHARAK- TERYSTYKI NR WARIANTU	Podstawowe środki i aparatownie łączności	Ilość orga- nizowanych kanałów łączności	Rodzaj orga- nizowanych kanałów łączności	Rzeczywista zdolność przepustowa kanałów - Cj	Możliwości w zakresie utajniania /stop.utaj./
I	Radiostacje analogowe R-111, R-123, R-107M, R-137, R-130, R-118K. Aparatownie i WD: WD-43, REKIN-2, RWŁ-1M, RD-115	24	21 kan.tlf. nieutaj- nionych 3 kan.tlgr. nieutaj.	90 zn/min. 120 zn/min.	0%
II	Radiostacje analogowe R-171, R-173, R-123, R-134 R-137 Wozy d-nia ZWD-10, ZWD-10R MP-22, MP-25, RWŁ-1M	24	14 kan.tlf. nieutaj. 10 kan.TD /UTD prod. PIT/	90 zn/min. 240 zn/min.	20%
III	Radiostacje cyfrowe R-171M, R-173M, T-1, T-2, R-137C. WD - ZWD-10/10R/ Aparatownia RWŁC	27	15 kan.tlf. cyfrowych /10 kan. utajniom./ 12 kan.TD /8 kan. utajn./	90 zn/min. 540 zn/min.	65%
IV	Radiostacje cyfrowe T-1, T-2, R-171M. Radiotelefony cyfrowe T-4. Wozy dowodzenia ZWD, IKSJA ZTM. RWŁC /T-4S/	24	12 kan.tlf. cyfrowych w tym 10 utajn. 12 kan.TD utajn.	90 zn/min. 1200 zn/min.	85%

Zdolność przepustową dla kanału telefonicznego określono na podstawie eksperymentu polegającego na przekazywaniu tekstów /próbki najczęściej spotykanych wiadomości w systemie OPL ZT/ przez łącze radiowe UKF.

Uwzględniając czas przekazywania wiadomości, jej objętość oraz inne uwarunkowania obciążające system a wpływające na czas trwania połączenia określono, że w ciągu 1 minuty można przesłać słownie wiadomość o objętości około 90-100 znaków alfanumerycznych. Szczegółowe objętościowo-czasowe charakterystyki informacji przekazywanych fonicznie przez techniczne środki łączności w systemie OPL dywizji przedstawiono w tabeli 2.5.2 w punkcie 2.5.

II rozdziału pracy.

Zdolności przepustowe kanałów TD autor określił analitycznie przy następujących założeniach:

Z.1. Jako kryterium efektywności systemu transmisji danych przyjęto względną szybkość transmisji lub inaczej sprawność transmisji - V_{sz} ,

Z.2. Modelem kanału jest model Purtowa. W tym przypadku założono, że prawdopodobieństwo odbioru bloku n-elementowego z co najmniej jednym błędem określa się z zależności

$$P(\geq 1, n) = 1 - (1 - p)^n \approx n \cdot p^{1-a} \quad /3.2.1/$$

gdzie: a - współczynnik grupowania się błędów / $0 < a < 1$ /,

p - prawdopodobieństwo wystąpienia błędu binarnego.

Z.3. Jakość kanału teledacyjnego docelowego i powrotnego jest taka sama.

Względną szybkość transmisji w kanale TD obliczono ze wzoru

$$V_{sz} = \frac{V_s}{V_m}$$

/3.2.2/

$$V_s = \frac{i}{k \cdot n_c} V_m$$

/3.2.3/

gdzie: i - długość ciągu informacyjnego,

V_m - szybkość modulacji wyrażenia w bit/s,

V_s - średnia prędkość transmisji /bit/s/.

Podstawiając do wzoru 3.2.2. zależność na V_s otrzymujemy:

$$V_{sz} = \frac{i}{k \cdot n_c}$$

/3.2.4/

gdzie: n_c - długość ciągu określona przez nagłówek depeszy, bity kontrolne, ciąg informacyjny i ciąg decyzyjny,

k - średnia liczba transmisji całkowitych /powtórzeń/.

Liczbę k oblicza się następująco:

$$k = \frac{1}{1 - P_{op} - (1 - P_{op} - P_w) P_w}$$

/3.2.5/

zaś

$$P_{op} = 1 - [(1 - p)^{n_D}]^{(1 - \alpha)}$$

/3.2.6/

$$P_w = 1 - [(1 - p)^{n_J}]^{(1 - \alpha)}$$

/3.2.7/

gdzie: P_{op} - prawdopodobieństwo błędnego odebrania ciągu decyzyjnego,

P_w - prawdopodobieństwo błędnego odebrania ciągu informacyjnego,

n_D - długość ciągu decyzyjnego,

n_J - długość ciągu /nagłówek + bity kontrolne + ciąg informacyjny/,

p - elementowa stopa błędu.

Przyjmując niezbędne wartości liczbowe na podstawie danych taktyczno-technicznych UTD proponowanych do wykorzystania w poszczególnych wariantach SŁ /UTD typu IKSJA i im kompatybilne urządzenia produkcji PIT/, odpowiednie struktury kodogramów oraz ich algorytmy pracy obliczono względne szybkości kanałów teledacyjnych.

Dla UTD o strukturze kodogramu 69 bitów /5 bitów służbowych, 16 kontrolnych i 48 informacyjnych/, przy elementowej stopie błędów w kanale pierwotnym $p = 10^{-2}$ oraz współczynniku grupowania błędów $a = 0,5$, względna szybkość transmisji wynosi $V_{sz} = 0,13$. Przy tych samych warunkach dla UTD o strukturze kodogramu 117 bitów /5 bitów służbowych, 86 informacyjnych i 16 kontrolnych/ względna szybkość $V_{sz} = 0,2$.

Przeprowadzone badania w WAT [88] systemu transmisji danych /system z alternatywną decyzją i jednoblokową pamięcią buforową/ wykazały, że względna szybkość transmisji w kanałach kablowych jest większa i wynosi dla tych samych urządzeń co powyżej odpowiednio $V_{sz} = 0,25$ i $V_{sz} = 0,37$.

Po określeniu sprawności ewentualnych STD można obliczyć rzeczywistą eksploatacyjną zdolność przepustową $C_{iekspl.}$ kanałów w poszczególnych wariantach.

$$C_{iekspl.} = C_{max} \cdot V_{sz}$$

/3.2.8/

gdzie: C_{max} - przepustowość w idealnym kanale bez zakłóceń przy jednej transmisji.

Znając poniżej przedstawione parametry urządzeń TD, takie jak:

- liczba bitów w kodogramie /depeszy/ - I;
- liczba znaków informacyjnych w depeszy - Z;

- szybkość modulacji - V /bit/s/;
 - czas trwania jednego bitu $t_e = \frac{1}{V}$ ms ;
 - czas trwania jednego kodogramu $T_s = I \cdot t_e$ [ms];
- przepustowość maksymalną obliczamy następująco:

$$C_{\max} = \frac{\text{liczba znaków informacyjnych} - Z}{\text{czas trwania depezy} - T_s} \quad [\text{zn/s}]$$

Dla zilustrowania metody postępowania, poniżej zostanie rozwiązane zadanie obliczania zdolności przepustowej kanału TD realizowanego przy użyciu UTD S-23 /IKSJA/ lub ZTD-32 /krajowe PIT/.

Dane: $V = 600$ bodów, $I = 69$ bitów, kod MTK-5, $Z=8$, sprawność $\nu = 0,13$.

Rozwiązanie:

$$t_e = \frac{1}{V} = \frac{1}{600} \approx 1,7 \text{ ms}$$

$$T_s = I \cdot t_e = 69 \cdot 1,7 \text{ ms} \approx 115 \text{ ms}$$

$$C_{\max} = \frac{8 \text{ zn} \cdot 1000 \text{ ms}}{115 \text{ ms}} \approx 70 \text{ zn/s} \approx 4200 \text{ zn/min.}$$

Zatem zdolność przepustowa eksploatacyjna kanału wyniesie:

$$C_{i\text{ekspl}} = 4200 \text{ zn/min} \cdot 0,13 \approx 540 \text{ zn/min.}$$

W ten sposób zostały obliczone zdolności przepustowe kanałów telegraficznych dla zdefiniowanych wariantów SŁ OPL dywizji.

Ich wartości, które były nieodzowne przy ocenie efektywności SŁ zostały zamieszczone w tabeli 3.1.1.

3.3. Analiza wyników oceny efektywności wariantów SŁ WOPL DZ

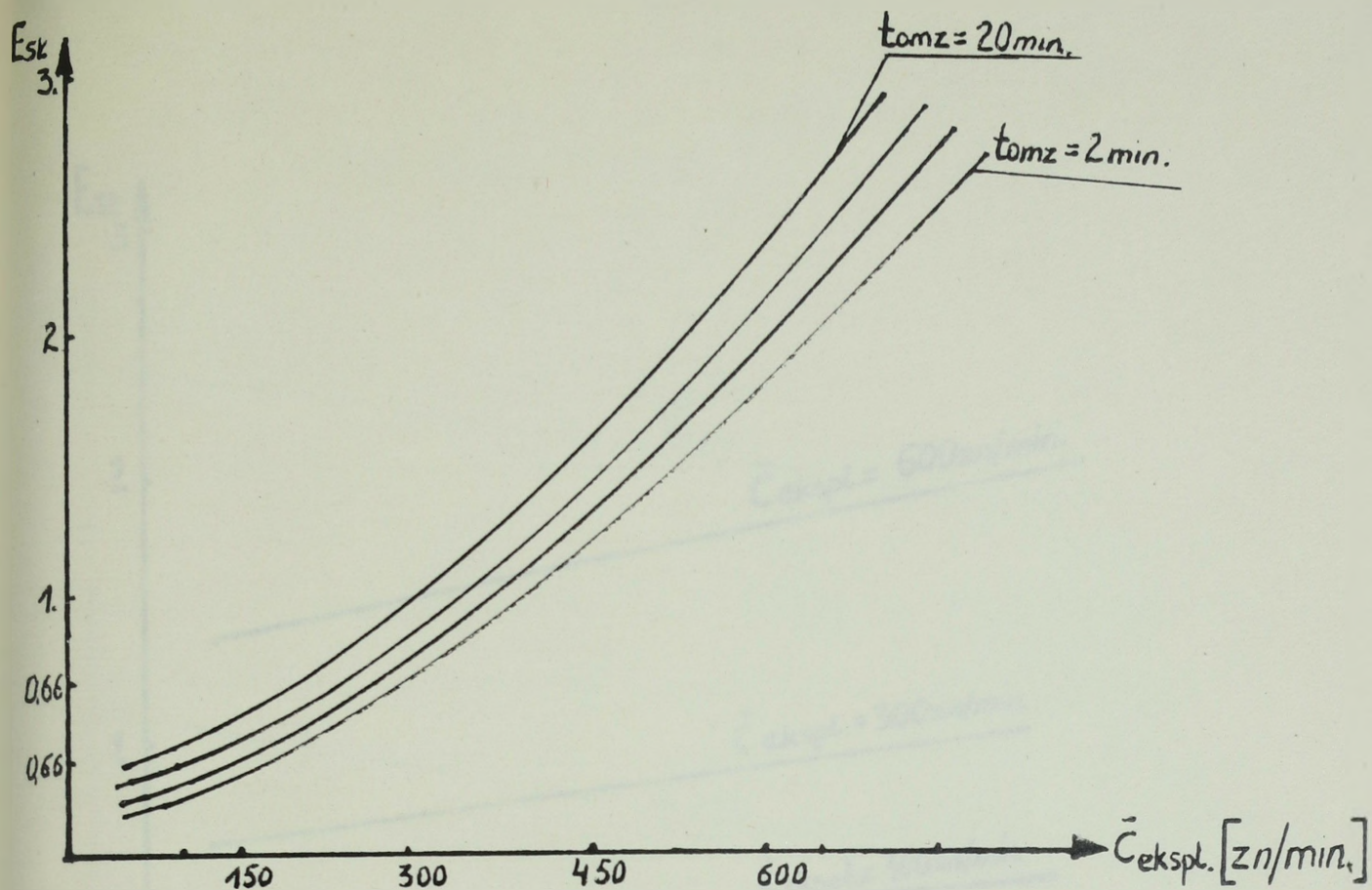
Zdefiniowane warianty SŁ WOPL dywizji zostały poddane ocenie, przy pomocy symulacyjnego modelu ocenowego. Po przeprowadzeniu eksperymentów na tymże modelu uzyskano szereg wyników, które przedstawione są w załączniku 5.

Analiza wyników pozwoliła określić zachowanie się podstawowych wskaźników oceny efektywności SŁ, które zostały zdefiniowane wcześniej w funkcji zmian parametrów technicznych oraz czynników destrukcyjnych oddziałujących na funkcjonowanie badanego systemu.

Efektywność systemu łączności $E_{SŁ}$ /główny wskaźnik oceny/ rozumiana jako stopień zabezpieczenia potrzeb w zakresie wymiany informacji systemowi dowodzenia zależy silnie /prawie liniowo/ od zdolności przepustowej kanałów /rys. 3.3.1/. Z rysunku widać, że $E_{SŁ}$ zmienia się od wartości 0,3 tj. gdy SŁ jest w stanie przesłać tylko 30% potrzebnej informacji, przy $\bar{C}_{eksp} \approx 100$ zn/min. /obecny system łączności WOPL dywizji/ do wartości $E_{SŁ} \approx 3$ przy $\bar{C}_{eksp} \approx 650$ zn/min. Przy tej wartości istnieje trzykrotny wzrost możliwości SŁ /wariant IV/ w zakresie wymiany w stosunku do potrzeb, przy tych samych warunkach zakłóceń i niszczeń.

Z rysunku także widać, że na efektywność SŁ duży wpływ mają zakłócenia, a ściślej średni czas odstępu między zakłóceniami t_{omz} . Zakres zmian wskaźnika $E_{SŁ}$ w zależności od t_{omz} waha się w granicach 0,2 do 0,6 dla wariantu I oraz od 1 do 3 dla wariantów III i IV.

Można powiedzieć, że eliminując zakłócenia można uzyskać trzykrotny wzrost efektywności SŁ.



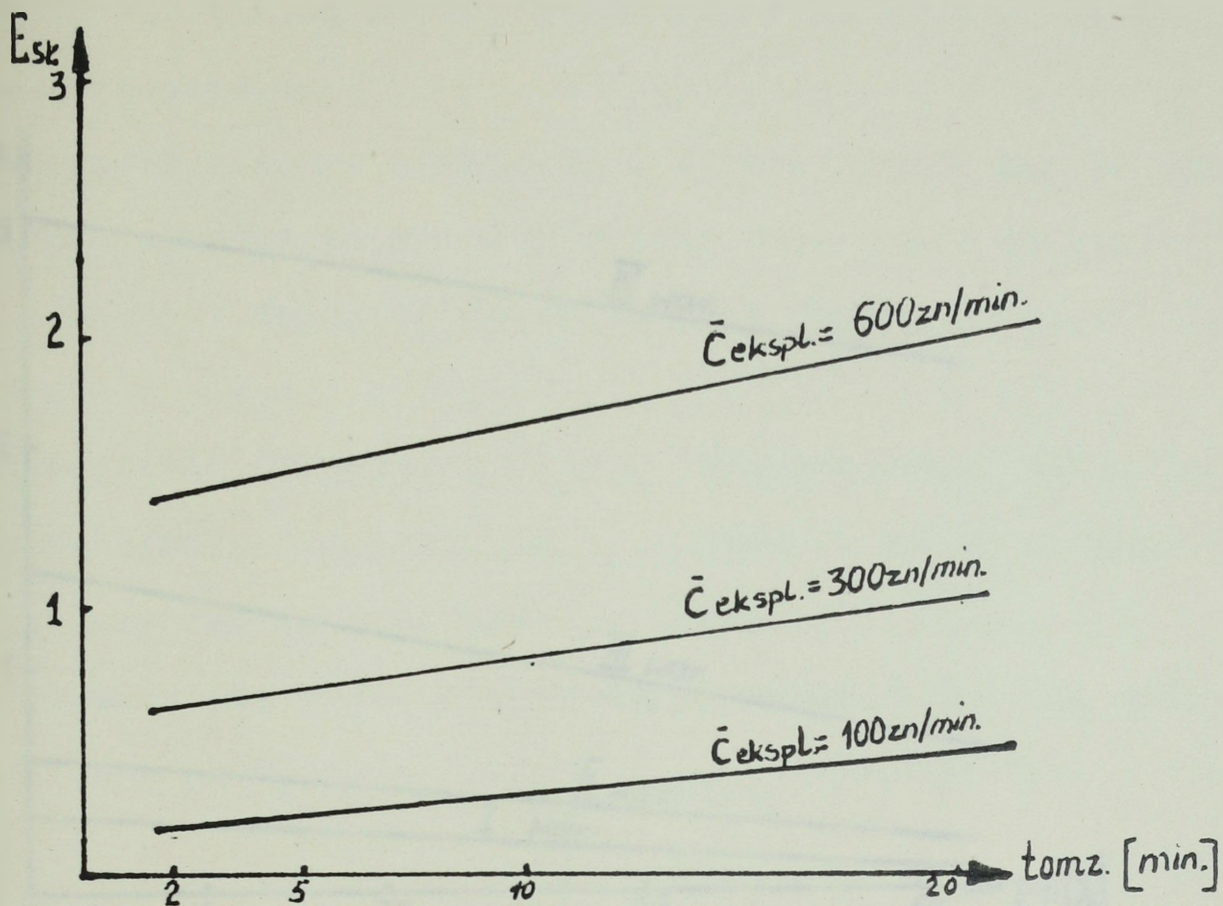
Rys. 3.3.1. Wpływ zdolności przepustowej kanałów na stopień zabezpieczenia potrzeb w zakresie wymiany informacji $E_{S\bar{L}}$

Bardziej widoczna jest ta zależność na rys. 3.3.2, który ilustruje zakres zmian $E_{S\bar{L}}$ w funkcji t_{omz} przy stałym parametrze niszczeń równym 35% oraz niezmienną się średniej wartości \bar{C}_{ekspl} dla danego wariantu.

Efektywność S \bar{L} wyraźnie maleje, gdy czas odstępu między zakłóceniami skraca się. Uwarunkowane jest to tym, że wzrasta silnie prawdopodobieństwo trafienia zakłóceniem w okres trwania seansu wymiany informacji.

Zależność efektywności systemu łączności $E_{S\bar{L}}$ w funkcji niszczeń p_n obrazuje rysunek 3.3.3.

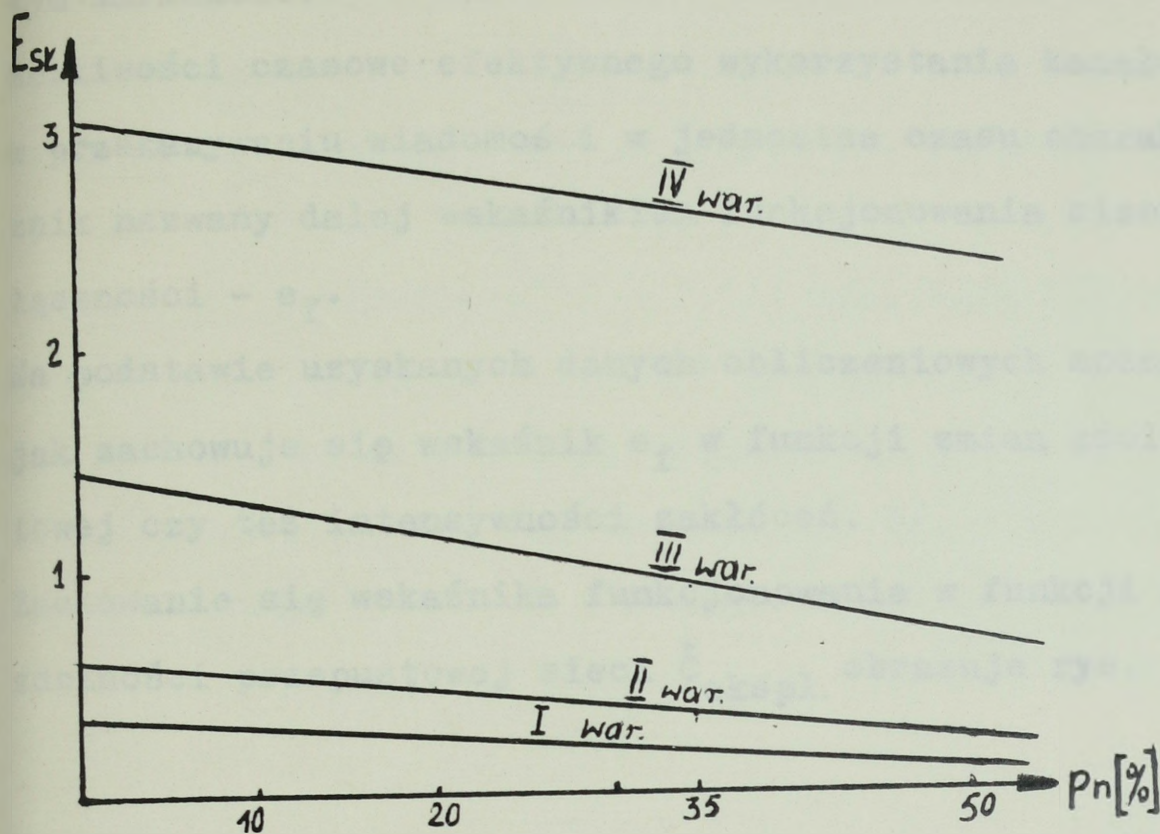
Można zauważyć, że wpływ niszczeń kanałów S \bar{L} bardziej destrukcyjnie wpływa na efektywność $E_{S\bar{L}}$ wariantów I-go i II-go niż dwóch pozostałych tj. III-go i IV-go. Podyktowane jest to tym, że pierwsze dwa warianty S \bar{L} charakteryzują się niedostatecznymi



Rys. 3.3.2. Zachowanie się $E_{S\bar{L}}$ w funkcji zmian odstępu czasu między zakłóceniami - t_{omz}

parametrami transmisyjnymi /kanały analogowe o małej przepustowości, brak automatycznej komutacji i możliwości ogólnego korzystania z zorganizowanych kanałów/ i wyeliminowanie części kanałów powoduje dość duże zmiany w "produkcji" SŁ, tj. w zakresie zaspokojenia potrzeb informacyjno-decyzyjnych.

Przy tych samych warunkach zakłóceń, tj. $t_{ozm} = 2$ min, bez niszczeń kanałów, efektywność $E_{S\bar{L}}$ wynosi 0,38 dla pierwszego wariantu i 0,6 dla wariantu drugiego. Natomiast przy niszczeniach $p_n = 35\%$ /wartość najbardziej prawdopodobna w ewentualnym konflikcie zbrojnym/ efektywność SŁ maleje do wartości 0,2 dla wariantu I-go i odpowiednio do 0,32 dla wariantu II-go.



Rys. 3.3.3. Wpływ niszczeń kanałów łączności na efektywność SŁ

W wariancie trzecim przy $p_n = 0$ efektywność $E_{SŁ} = 1,4$ a przy $p_n = 35\%$ $E_{SŁ} = 0,8$.

Dla wariantu IV-go wielkości te wynoszą: $E_{SŁ} = 3,1$ przy $p_n = 0$ i $E_{SŁ} = 2,52$ przy $p_n = 35\%$.

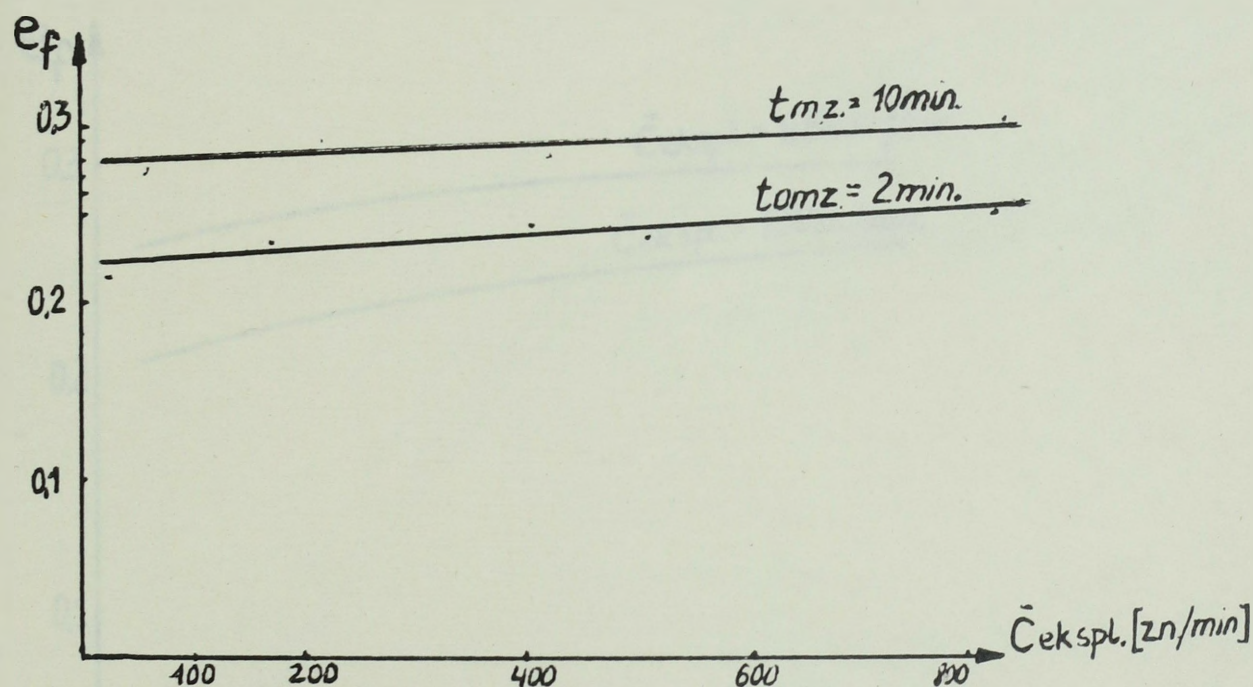
Wskaźnik efektywności $E_{SŁ}$ dwóch ostatnich wariantów SŁ nie jest tak wrażliwy na stopień niszczeń, gdyż informacje przekazywane przez wyeliminowane z SŁ kanały, będą mogły zostać przekazane przez inne zintegrowane kanały dysponujące nadmiarową zdolnością przepustową $C_{i\text{ekspl}}$. Wymaganie postawione na żywotność SŁ w ZTT na PASS, stwierdzające, że system musi zabezpieczyć wymianę informacji przy wyeliminowaniu 50% kanałów, można będzie spełnić /wynika to z rys. 3.3.3/, tylko w przypadku wdrożenia do wojsk

OPL ZT SŁ, takiej klasy, jakie zaproponowano w trzecim i czwartym wariancie.

Możliwości czasowe efektywnego wykorzystania kanału /sieci/ w przekazywaniu wiadomości w jednostce czasu charakteryzuje wskaźnik nazwany dalej wskaźnikiem funkcjonowania sieci /kanału/ łączności - e_f .

Na podstawie uzyskanych danych obliczeniowych można zauważyć, jak zachowuje się wskaźnik e_f w funkcji zmian zdolności przepustowej czy też intensywności zakłóceń.

Zachowanie się wskaźnika funkcjonowania w funkcji zmian średniej zdolności przepustowej sieci \bar{C}_{ekspl} obrazuje rys. 3.3.4.



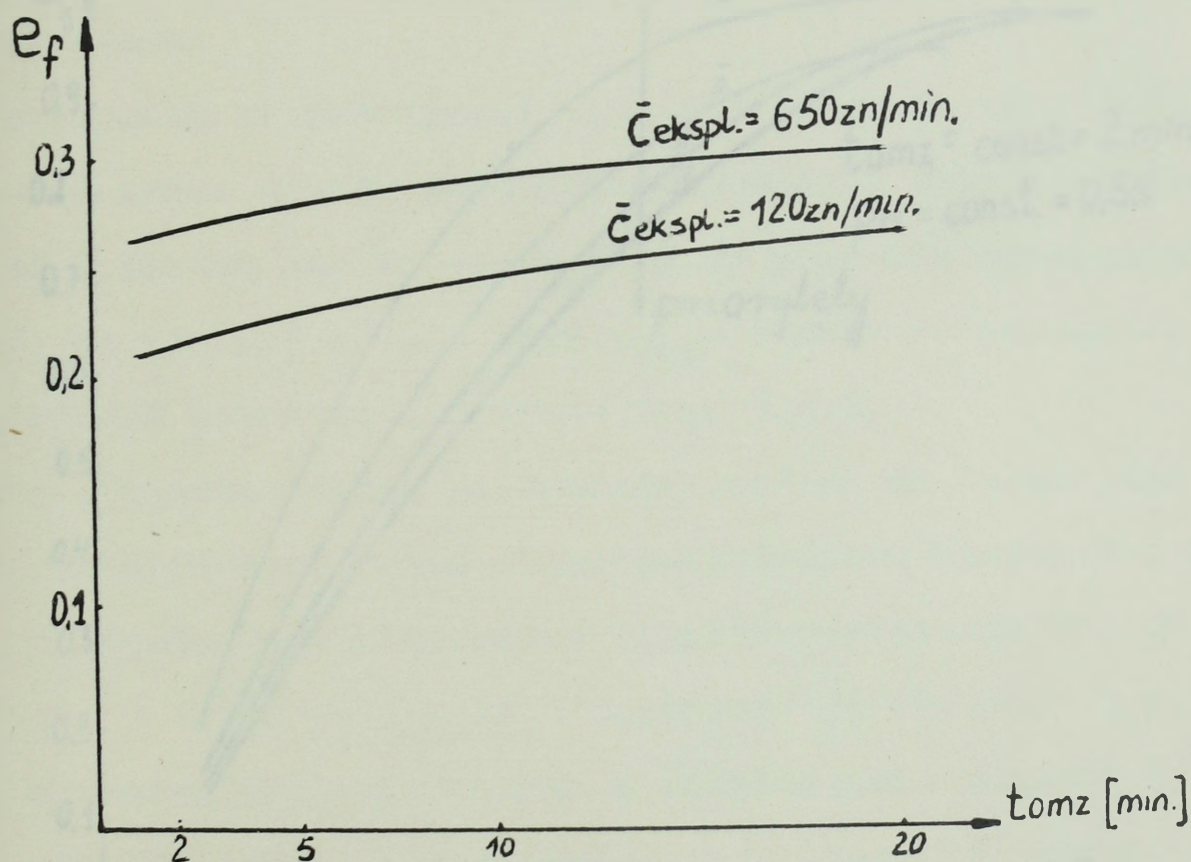
Rys. 3.3.4. Zależność e_f od średniej zdolności przepustowej \bar{C}_{ekspl}

Średnia wartość wskaźnika mieści się w przedziale 0,2 - 0,3. Świadczy to, że w ciągu 1 godz. średnio tylko w 20-30% tj. od 12 do 18 min. efektywnie wykorzystuje się sieć/kanał/ łączności. Uwarunkowane jest to generowanym obciążeniem sieci łączności, oraz destrukcyjnym oddziaływaniem zakłóceń. W niektórych kana-

łach łączności, a zwłaszcza w tych, w których przekazuje się informację z rozpoznania powietrznego /w okresie zmasowanego nalotu/ wskaźnik ten wzrasta do wartości 0,45 ale też jest ograniczony stratami czasu powodowanymi przez zakłócenia celowe nieprzyjaciela.

Ze wzrostem przepustowości wartość wskaźnika rośnie w niewielkich granicach, od wartości 0,2 do 0,33 /od 12 do 20 min./.

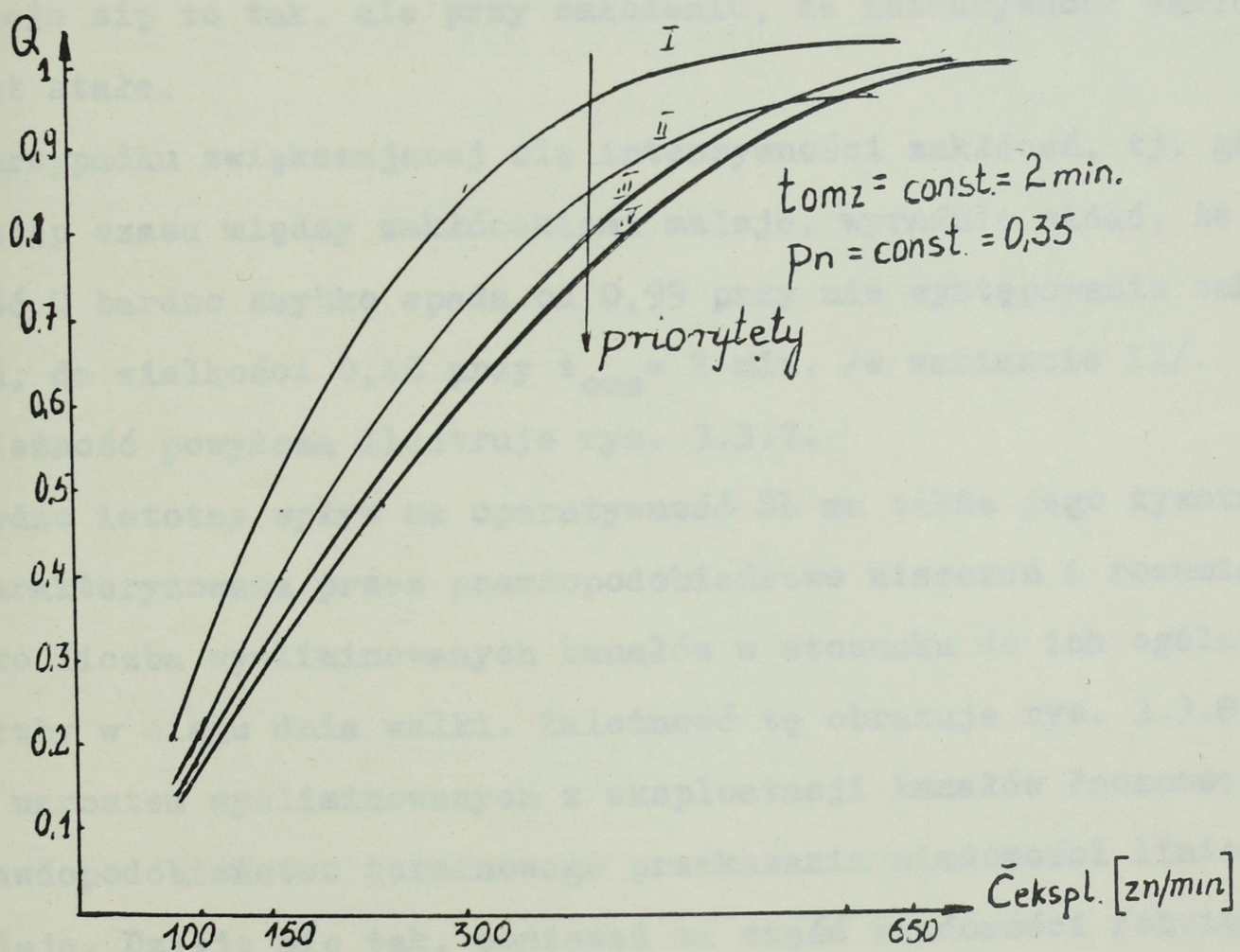
Wzrost ten jest powodowany zwiększającą się liczbą efektywnych odcinków czasowych t_p /patrz wzór 2.7.7/, w których udało się bez powtórnego wywołania przekazać wygenerowane wiadomości.



Rys. 3.3.5. Zależność wskaźnika funkcjonowania - e_f od zmian odstępów czasu między zakłóceniami - t_{omz}

Rys. 3.3.5. obrazuje, że wraz ze wzrostem intensywności zakłóceń /maleje t_{omz} / obniża się wartość wskaźnika funkcjonowania sieci. Powodowane jest to efektem powiększających się strat czasu - t_s w trakcie wymiany wiadomości. Straty powyższe są wynikiem podjętych prób zakłócenia kanału łączności zakończonych "sukcesem" /patrz rys. 2.6.2./.

Innym bardzo ważnym wskaźnikiem charakteryzującym system łączności jest jego operatywność - Q , określająca prawdopodobieństwo terminowego przekazania wiadomości określonego priorytetu / $t_p \leq t_q$ /. Wpływ zmian przepustowości kanałów $\bar{C}_{eksp.}$ na operatywność SŁ obrazuje rys. 3.3.6.



Rys. 3.3.6. Wpływ zmian zdolności przepustowej na operatywność systemu łączności

Można zauważyć, że ze wzrostem zdolności przepustowej sieci, prawdopodobieństwo przekazania wiadomości w terminie jest coraz większe. Dla wiadomości o największym priorytecie /priorytet I/ przy $\bar{C}_{\text{ekspl}} = 100$ zn/min. operatywność $Q = 0,2$, by wzrosnąć do wielkości $Q = 0,99$ przy zdolności przepustowej $\bar{C}_{\text{ekspl}} = 650$ zn/min.

Podobnie zachowuje się operatywność SŁ w funkcji zmian \bar{C}_{ekspl} dla pozostałych priorytetów przekazywanych wiadomości.

Operatywność Q rośnie wraz ze zwiększonymi możliwościami przepustowymi SŁ, gdyż czas przebywania wiadomości w systemie skracca się, a tym samym prawdopodobieństwo terminowego jej przekazania jest większe.

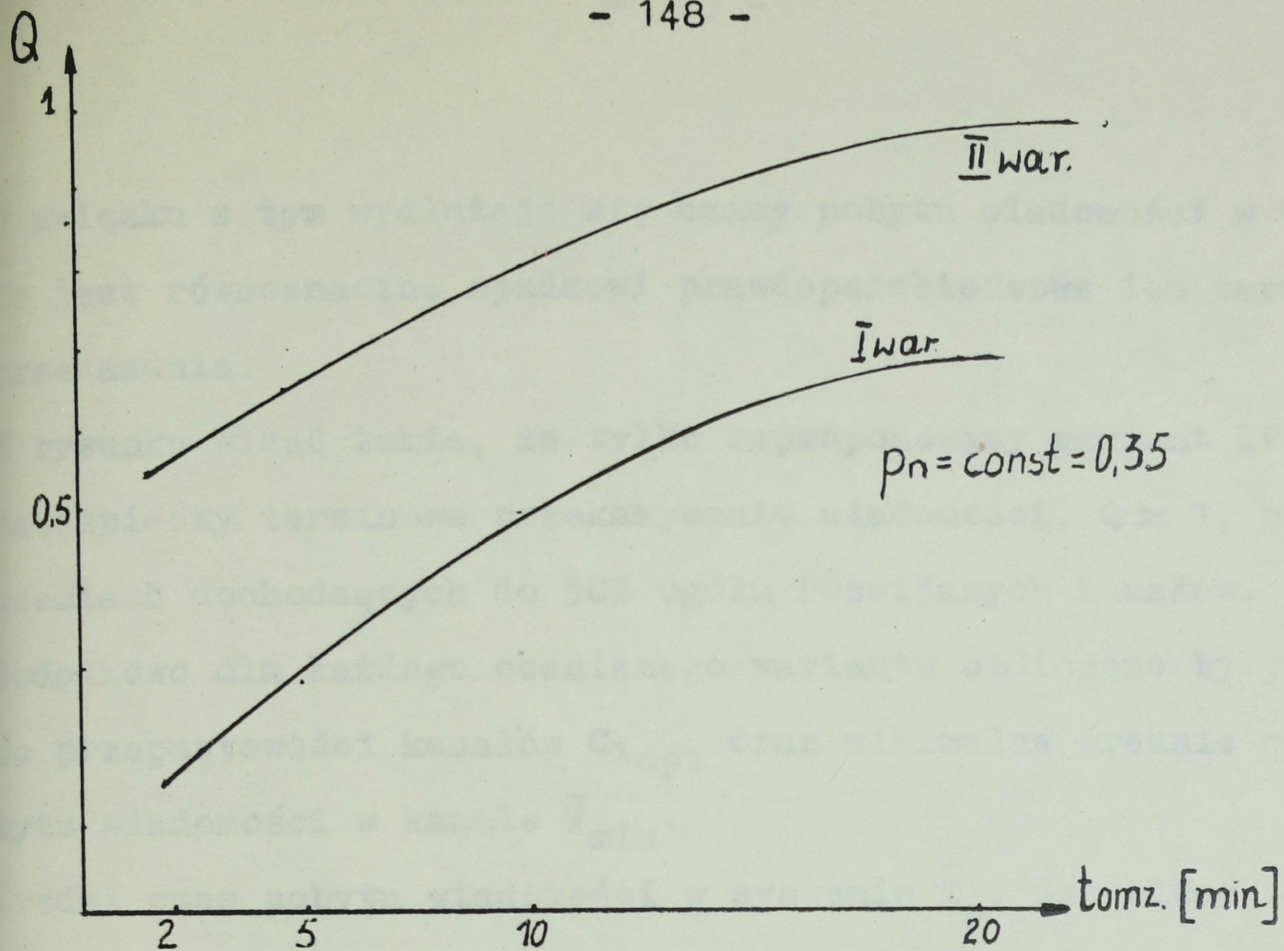
Dzieje się to tak, ale przy założeniu, że intensywność zakłóceń jest stała.

W przypadku zwiększającej się intensywności zakłóceń, tj. gdy odstęp czasu między zakłóceniami maleje, wyraźnie widać, że wartość Q bardzo szybko spada od $0,99$ przy nie występowaniu zakłóceń, do wielkości $0,48$ przy $t_{\text{omz}} = 2$ min. /w wariancie II/.

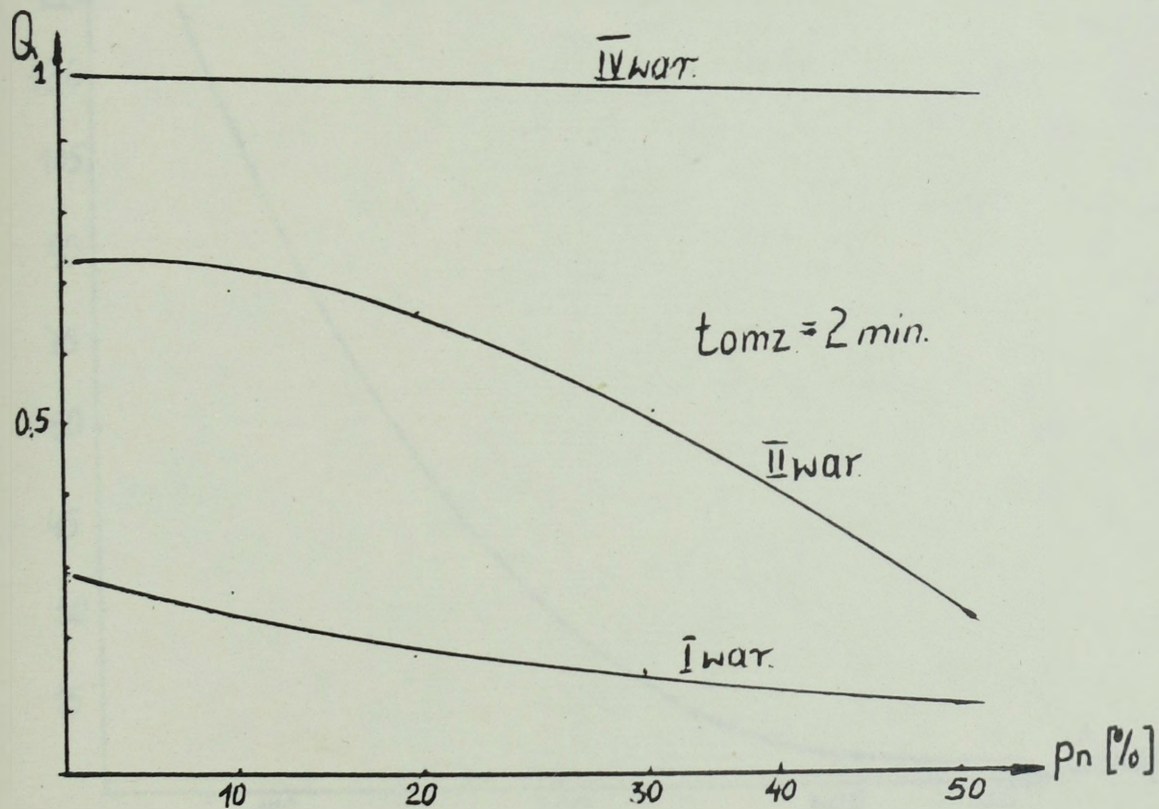
Zależność powyższą ilustruje rys. 3.3.7.

Bardzo istotny wpływ na operatywność SŁ ma także jego żywotność, charakteryzowana przez prawdopodobieństwo niszczeń i rozumiana jako liczba wyeliminowanych kanałów w stosunku do ich ogólnej liczby w ciągu dnia walki. Zależność tę obrazuje rys. 3.3.8.

Ze wzrostem wyeliminowanych z eksploatacji kanałów łączności, prawdopodobieństwo terminowego przekazania wiadomości liniowo maleje. Dzieje się tak, ponieważ ta część wiadomości /obciążenia/, która nie została przekazana przez wyeliminowane kanały, powoduje wzrost obciążenia /wydłużanie kolejek/ dla pozostałych kanałów systemu łączności.



Rys. 3.3.7. Zachowanie się operatywności SŁ w funkcji zmian odstępu między zakłóceniami



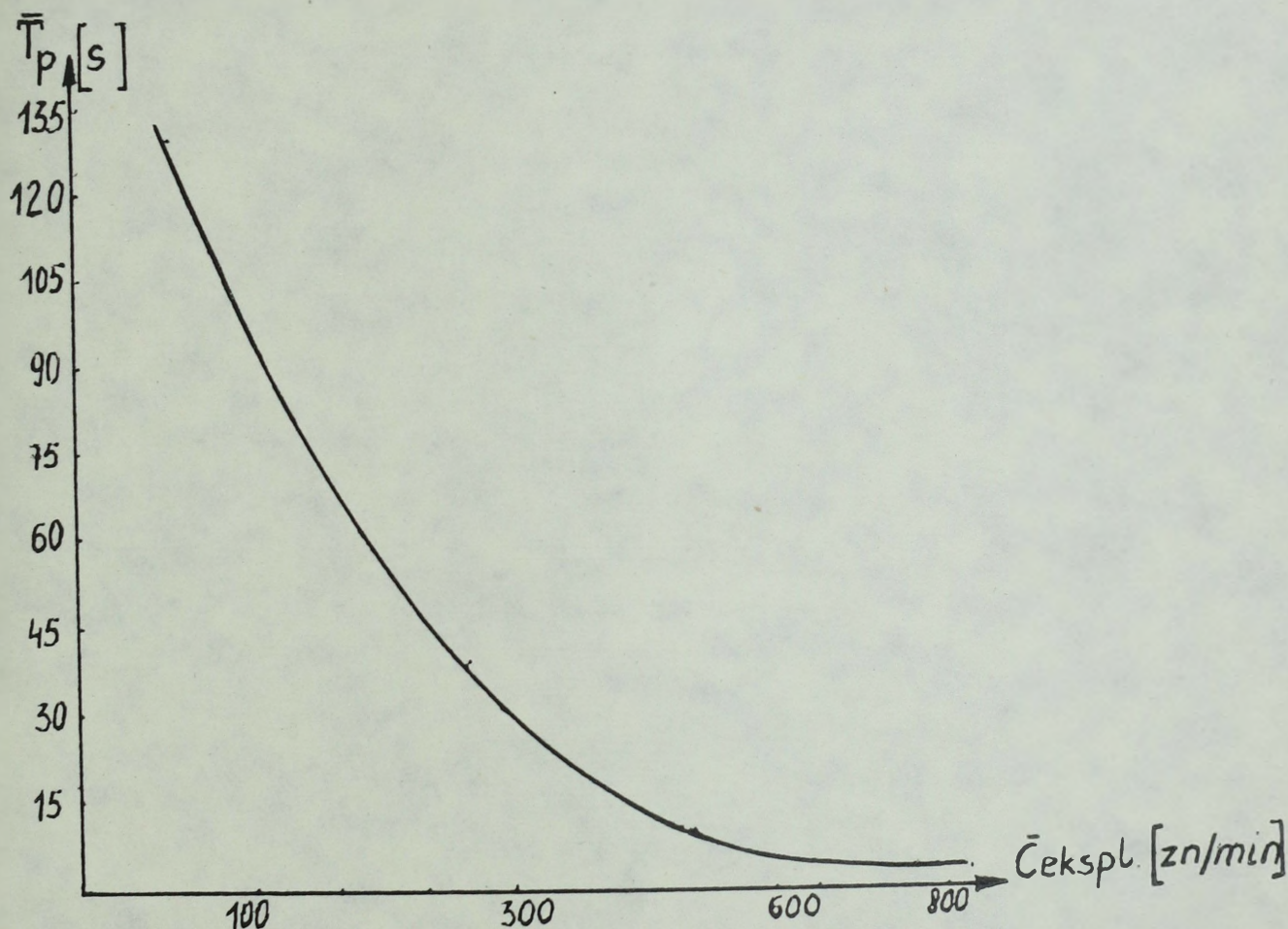
Rys. 3.3.8. Wpływ intensywności niszczeń na operatywność SŁ

W związku z tym wydłużają się czasy pobytu wiadomości w systemie, co jest równoznaczne spadkowi prawdopodobieństwa ich terminowego przekazania.

Z rysunku widać także, że tylko zaproponowany wariant IV SŁ WOPL zabezpieczy terminowe przekazywanie wiadomości, $Q \approx 1$, przy niszczeniach dochodzących do 50% ogółu rozwijanych kanałów.

Dodatkowo dla każdego ocenianego wariantu obliczane były optymalne przepustowości kanałów $C_{i\text{opt}}$ oraz minimalne średnie czasy pobytu wiadomości w kanale \bar{T}_{min} .

Średni czas pobytu wiadomości w systemie \bar{T}_p , jak widać z obliczeń /patrz zał. 5/ uzależniony jest od zdolności przepustowej sieci łączności. Zależność tę ilustruje rys. 3.3.9.



Rys. 3.3.9. Zależność średniego czasu pobytu wiadomości w systemie od zdolności przepustowej

Czas T_p zmienia się od wartości 2,23 min. w aktualnym SŁ / $C_{\text{ekspl}} \approx 100$ zn/min./ do wartości około 8s przy zdolności przepustowej $\bar{C}_{\text{ekspl}} \approx 650$ zn/min. /wariant IV/.

W kanałach przewidzianych do przesyłania informacji o sytuacji powietrznej czas pobytu jednej wiadomości wynosi odpowiednio, dla wariantu I-go - $\bar{T}_p = 50s$, natomiast dla wariantu IV-go około 2s /gdzie czas przełączenia rdst. z odbioru na nadawanie wynosi około 0,6 s/.

Z obliczeń optymalnych przepustowości kanałów $C_{i\text{opt}}$ /ich wielkości w zał. 5/, przeprowadzonych według zasady "pierwiastka kwadratowego" wynika, że kanałom słabo obciążonym odpowiadają mniejsze wielkości przepustowe niż kanałom silnie obciążonym. Czas przebywania wiadomości \bar{T}_p w kanałach słabo obciążonych jest o wiele dłuższy niż w silnie obciążonych /patrz kanały o nr 1, 2, 5, 6/.

Użytkownik systemu generujący małe obciążenie zostaje ukarany na korzyść użytkownika z dużym obciążeniem.

Na podstawie przeprowadzonej analizy uzyskanych wyników oraz ilustracji zachowania się podstawowych wskaźników oceny efektywności można pokusić się tylko o częściową ocenę przebadanych wariantów SŁ.

Biorąc pod uwagę tylko histogramy trzech podstawowych wskaźników oceny efektywności SŁ WOPL /rys. 3.3.10; 3.3.11; 3.3.12./:

- stopnia zaspokojenia potrzeb w zakresie wymiany informacji

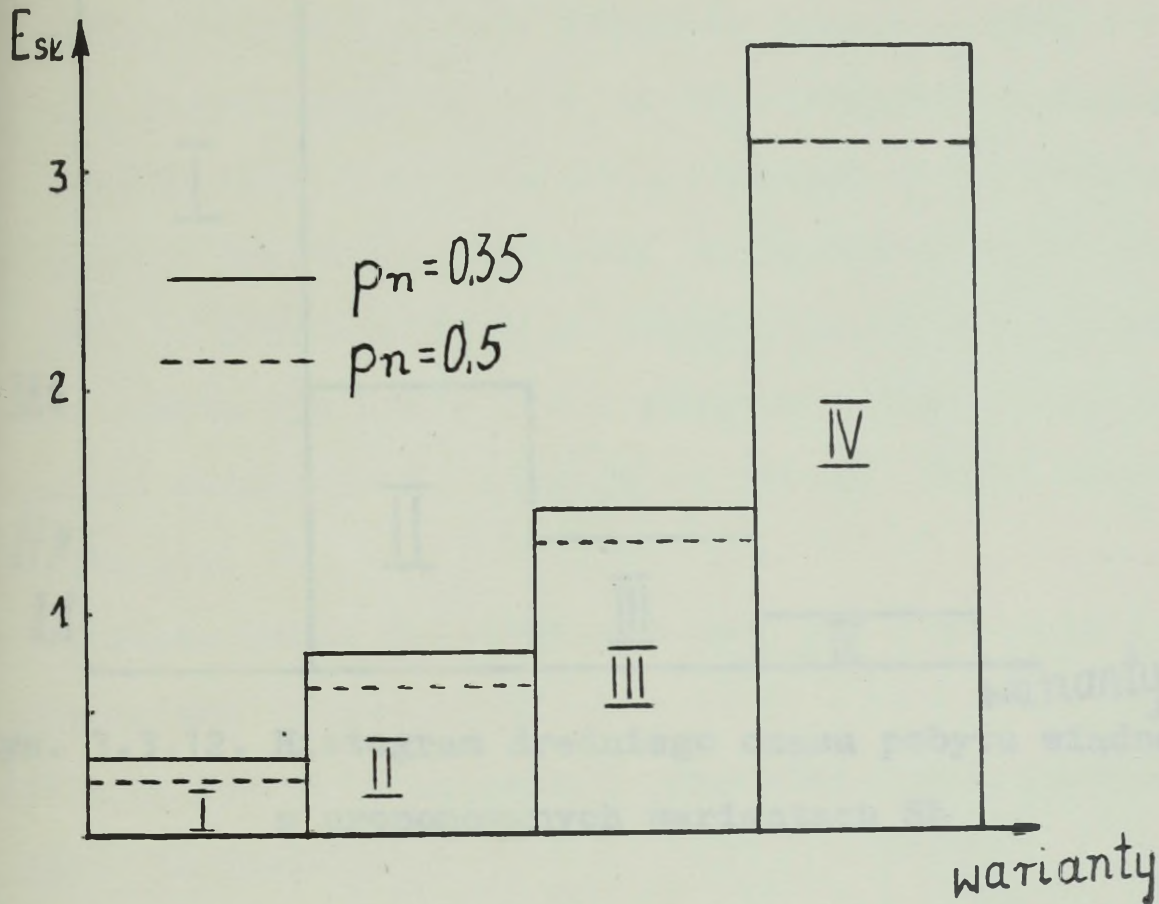
- $E_{S\bar{L}}$;

- operatywności SŁ - Q;

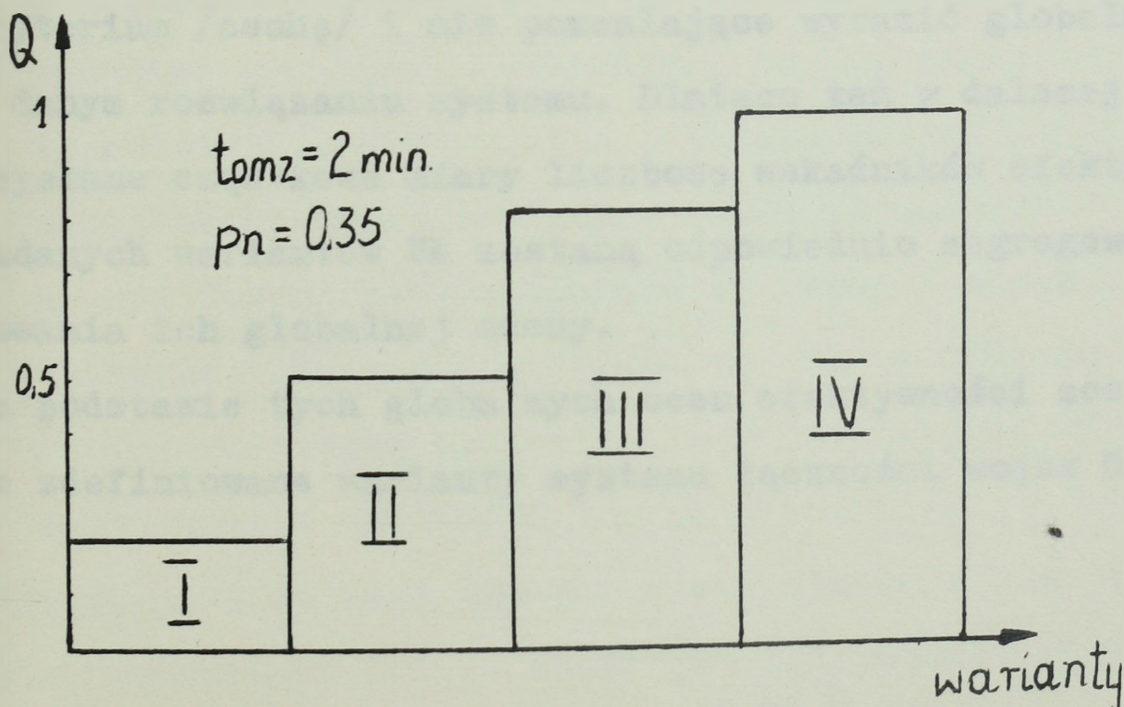
- średniego czasu przekazania wiadomości - \bar{T}_p ,

sporządzone przy tych samych warunkach destrukcyjnych, tj. przy prawdopodobieństwie niszczeń kanałów równym 35% i odstępie czasu

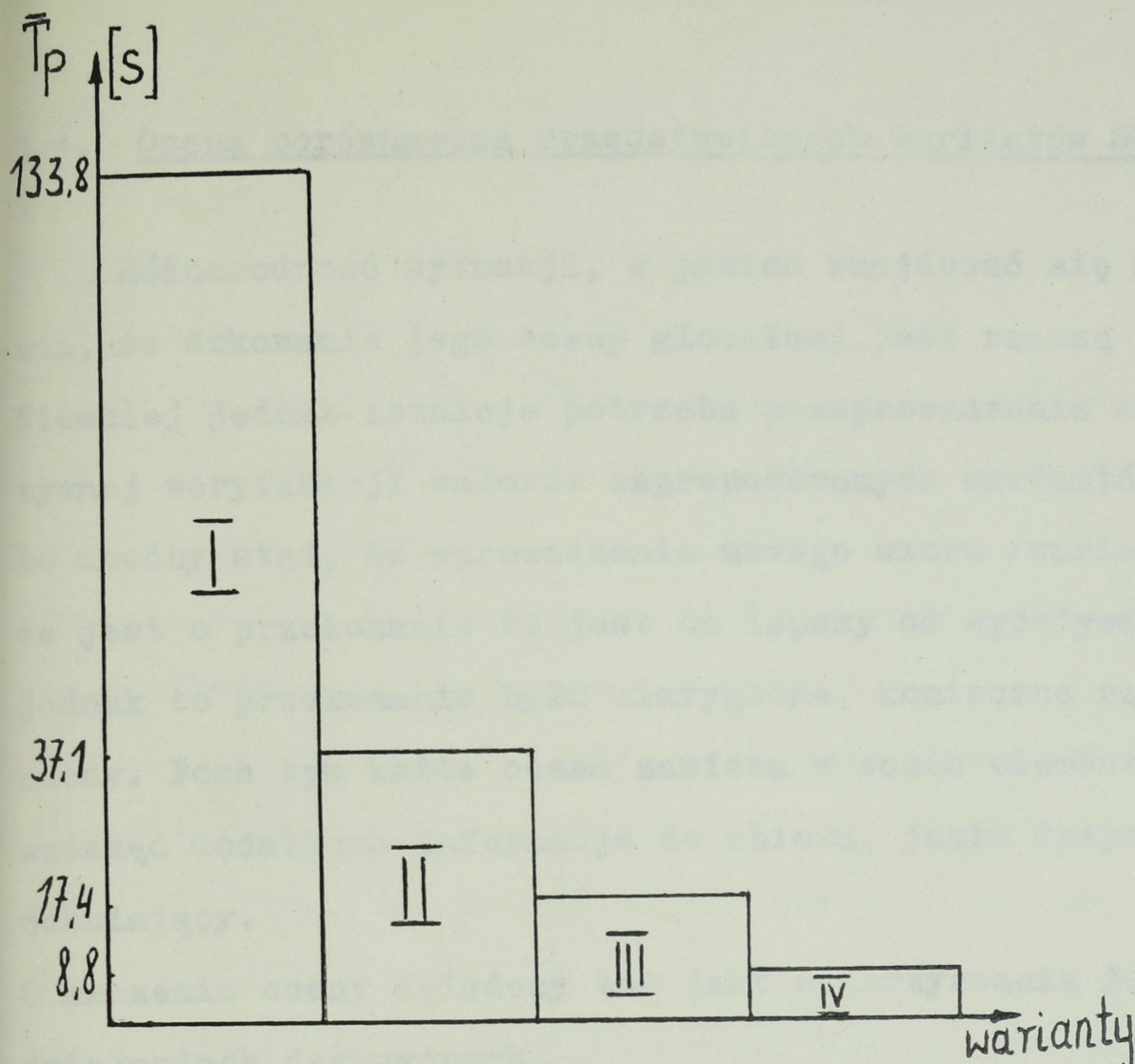
między zakłóceniami $t_{omz} = 2 \text{ min.}$, można powiedzieć, że najlepszą propozycją SŁ jest wariant IV, zaś najgorszą wariant I czyli aktualny system łączności wojsk OPL dywizji.



Rys. 3.3.10. Histogram efektywności proponowanych wariantów SŁ



Rys. 3.3.11. Histogram operatywności proponowanych wariantów SŁ



Rys. 3.3.12. Histogram średniego czasu pobytu wiadomości w proponowanych wariantach SŁ

Są to jednak cząstkowe oceny zdefiniowanych wariantów SŁ WOPL dywizji, gdyż mówią o jego przydatności ze względu na wybrane kryterium /cechę/ i nie pozwalające wyrazić globalnego sądu o danym rozwiązaniu systemu. Dlatego też w dalszej części pracy uzyskane cząstkowe miary liczbowe wskaźników efektywności przebadanych wariantów SŁ zostaną odpowiednio zagregowane dla wypracowania ich globalnej oceny.

Na podstawie tych globalnych ocen efektywności zostaną porównane zdefiniowane warianty systemu łączności wojsk OPL DZ.

3.4. Ocena porównawcza przedstawionych wariantów SŁ

Różnorodność sytuacji, w jakich znajdować się może SŁ sprawia, że dokonanie jego oceny globalnej jest rzeczą trudną. Niemniej jednak istnieje potrzeba przeprowadzenia możliwie obiektywnej weryfikacji walorów zaproponowanych wariantów SŁ. Wynika to choćby stąd, że wprowadzenie nowego wzoru /wariantu/ SŁ oparte jest o przekonanie iż jest on lepszy od wycofywanego. Aby jednak to przekonanie było wiarygodne, konieczne są obiektywne oceny. Poza tym każda ocena zawiera w sobie element poznawczy, wnosząc dodatkowe informacje do zbioru, jakim dysponuje podmiot oceniający.

O znaczeniu oceny świadczy też fakt wykorzystania jej w dalszych działaniach decyzyjnych.

Wśród sposobów formułowania ocen globalnych spotyka się następujące techniki:

- technikę dominacji - polegającą na uszeregowaniu wariantów SŁ według stopnia posiadania danej cechy i przypisaniu systemowi o najwyższym poziomie liczby - 1, kolejnemu - 2, itd.;
- technikę punktową - polegającą na przypisaniu wariantowi określonej liczby punktów w zależności od stopnia posiadania danej cechy. Wykorzystywana skala do nadawania punktów powinna być uporządkowana zgodnie ze znaną funkcją /zależnością/;
- technikę odległości - polegającą na określeniu odległości pomiędzy wartością optymalną, pożądaną tej cechy /ekstremalną - największą z możliwych lub najmniejszą/.

Bywają jeszcze inne sposoby oceny systemów oparte właśnie na w.w. technikach, które znajdują zastosowanie przy ocenie złożonych obiektów wojskowych, uwzględniające w procedurze oceny

wiele różnych cech /kryteriów/ charakteryzujących rozpatrywany system.

Jednym z szerokostosowanych sposobów oceny systemów i ich porównywania jest metoda taksonomiczna. Jest ona szczególnie przydatna, gdy wyróżnione cechy systemu będące przedmiotem oceny są różnie mianowane lub niewymierne. Zachodzi więc wtedy konieczność ich taksowania.

Powyższa metoda taksonomiczna wykorzystuje zasady stosowane w technikach punktowych oraz odległości.

Podstawą tej metody jest założenie o addytywności /sumowalności/ wartości wskaźników ocenianego systemu, co oznacza, że w konsekwencji globalna wartość efektywności SŁ wyraża się sumą wartości wskaźników cząstkowych.

Takie podejście ma oczywiście wiele wad sprowadzających się do tego, że niedostatki w zakresie pewnej grupy wskaźników są kompensowane dobrymi ocenami za inne wskaźniki.

Należy jednak podkreślić, że do porównania ocen systemów o tym samym przeznaczeniu, o których dodatkowo wiadomo, że żadna z ich cech nie dyskwalifikuje całościowo systemu, jest to metoda efektywna i prosta.

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania omawianej metody taskonomii wrocławskiej, autor zastosował ją do porównawczej oceny 4-ch zaproponowanych wariantów SŁ wojsk OPL dywizji.

Dla wypracowania globalnych ocen efektywności zdefiniowanych wariantów SŁ uwzględniono 6 następujących podstawowych wskaźników:

- efektywność SŁ w przekazywaniu informacji /stopień zabezpieczenia potrzeb w zakresie wymiany informacji/ - $E_{SŁ}$;
- operatywność - Q;

- wskaźnik funkcjonowania sieci łączności - e_f ;
- średni czas przekazywania wiadomości - \bar{T}_p ;
- średnia zdolność przepustowa kanału - $\bar{C}_{i\text{ekspl}}$;
- stopień utajniania SŁ - M.

Wielkości liczbowe wyżej wybranych wskaźników niezbędne do oceny porównawczej wariantów SŁ przedstawiono w tabeli 3.4.1. na podstawie danych zawartych w wydruku wyników /zał. 5/.

Tabela 3.4.1.

Wartości wskaźników oceny efektywności wariantów SŁ

Wskaźniki /i/ Nr wariantu /n/	$E_{S\bar{L}}$	Q	e_f	$T_{p/s}$	$\bar{C}_{i\text{ekspl.}}$ /zn/min./	M
I	0,25	0,18	0,23	2,23 min.	90	0
II	0,34	0,32	0,26	81	152	0,25
III	0,725	0,6	0,27	17	290	0,63
IV	2	0,99	0,29	8	650	0,85

Dane te określone były przy wartościach $t_{omz} = 2$ min. i $p_n = 0,35$.

Można zauważyć, że niektóre wielkości liczbowe są stymulantami, to znaczy wskaźnikami, dla których pożądane są maksymalne wartości, natomiast inne są destymulantami, tzn., że im jest mniejsza wartość wskaźnika, tym lepiej.

Dla wprowadzenia jednorodności miar poszczególnych cech, dokonano ich standaryzacji według wzoru:

$$\tilde{\omega}_{in} = \frac{\omega_{in} - \omega_i}{S_i} \quad i = 1, 2, \dots, 6 \quad /3.4.1/$$

gdzie: ω_{in} - wartość i-tego wskaźnika wariantu o numerze-n,
 $\tilde{\omega}_{in}$ - ustandaryzowana wartość wskaźnika,

ω_i - średnia wartość i-tej cechy obliczana z zależności:

$$\omega = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \omega_{in} \quad /3.4.2/$$

S_i - odchylenie standardowe i-tego wskaźnika obliczono następująco:

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\omega_{in})^2} \quad /3.4.3/$$

gdzie: I - liczba wskaźników, na podstawie których oceniane były warianty,

N - liczba wariantów podlegających ocenie.

Obliczone zgodnie z powyższymi zależnościami ustandaryzowane wartości wskaźników zostały zamieszczone w tabeli 3.4.2.

Tabela 3.4.2.

Ustandaryzowane wartości wskaźników

$\begin{matrix} i \\ n \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6
I	-0,95	1,4	-0,55	1,5	-0,96	-1,16
II	-0,75	-0,54	0	0,23	-0,72	-0,47
III	-0,125	0,14	0,212	-0,63	0,084	0,58
IV	1,65	1,57	0,63	-1,1	1,6	1,00
Z_0	1,65	1,57	0,63	-1,1	1,6	1,00

Wartości zawarte w tabeli 3.4.2. w rubryce Z_0 są stymulantami i destymulantami, które tworzą "hipotetyczny wariant wzorcowy". Następnie określono dyspersje pomiędzy wartościami wskaźników a wartościami wzorcowymi. Dyspersję obliczono z zależności:

$$S_{ni} = (\omega_{oi} - \tilde{\omega}_{oi})^2 \quad \text{dla } \begin{matrix} i = 1 \dots I \\ n = 1 \dots N \end{matrix} \quad /3.4.4./$$

"Odległości" zaś pomiędzy zaproponowanymi wariantami a wariantem wzorcowym obliczono z zależności

$$d_{on} = \left[\sum_{i=1}^I \delta_{ni} \right]^{1/2} \quad /3.4.5/$$

Wartości odległości dla poszczególnych wariantów wynoszą odpowiednio:

$$d_{01} = 5,92$$

$$d_{02} = 4,47$$

$$d_{03} = 2,83$$

$$d_{04} = 0,2$$

Do oszacowania globalnej oceny wariantów, sprowadzonej do przedziału $\langle 0,1 \rangle$ niezbędne było określenie wartości przeciętnej i wariancji w zbiorze "odległości". Wielkości te obliczono następująco:

$$\bar{d}_0 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N d_{on} \quad /3.4.6/$$

$$D_0^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (d_{on} - \bar{d}_0)^2 \quad /3.4.7/$$

Ponadto określono graniczną wartość odległości d_{ogr}^* z zależności

$$d_{ogr}^* = \bar{d}_0 + 3\sqrt{D_0^2} \quad /3.4.8/$$

Znając powyższe wielkości można wyznaczyć globalną ocenę efektywności wariantów wg wzoru:

$$E_{glwavn} = 1 - \frac{d_{on}}{d_{ogr}^*} \quad /3.4.9/$$

Posługując się ostatnią zależnością wyznaczono ostatecznie wartości efektywności globalnej Egl. ocenianych wariantów.

Wartości te odpowiednio wynoszą:

$$Egl_{\text{war.I}} = 0,402$$

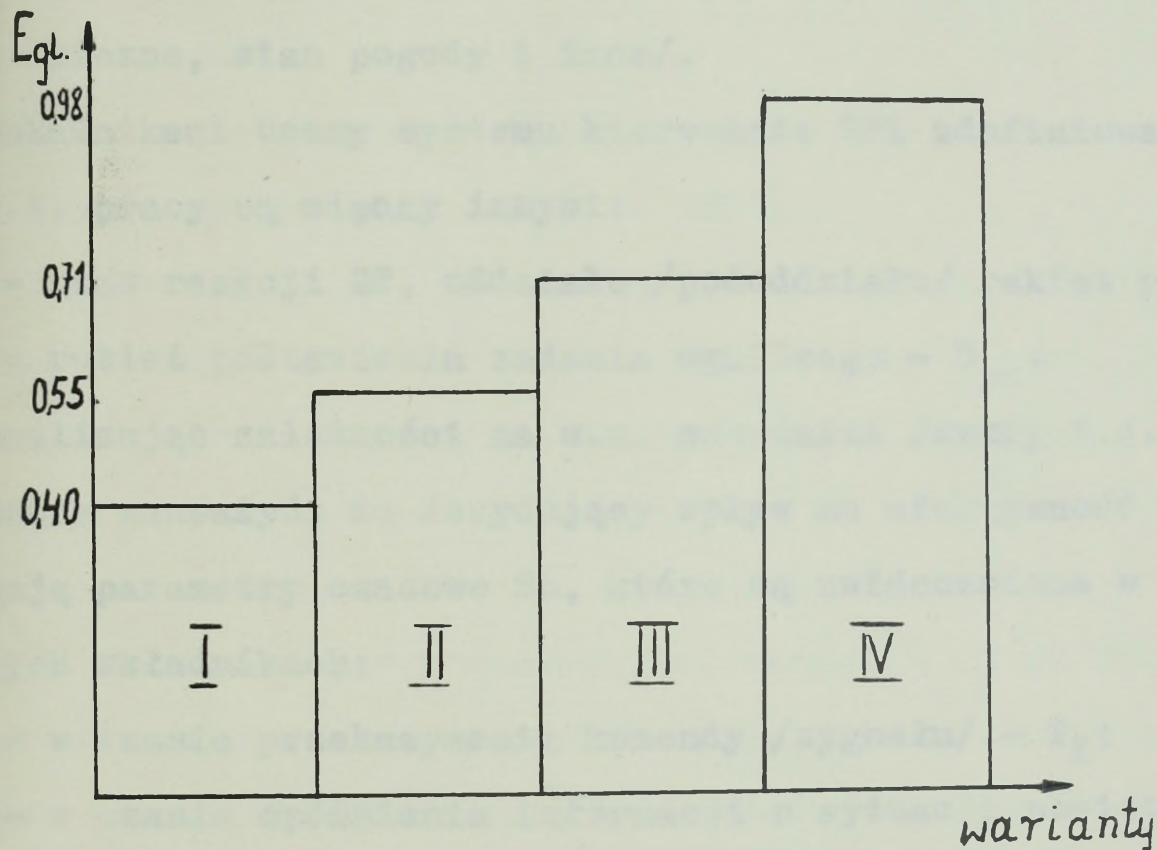
$$Egl_{\text{war.II}} = 0,55$$

$$Egl_{\text{war.III}} = 0,71$$

$$Egl_{\text{war.IV}} = 0,98$$

Najlepszym zatem wariantem jest wariant IV, najgorszym zaś wariant I.

Ilustrację efektywności globalnej Egl ocenianych wariantów przedstawia histogram na rys. 3.4.1.



Rys. 3.4.1. Histogram efektywności globalnej ocenianych wariantów

3.5. Ocena wpływu wzrostu efektywności SŁ na sprawność dowodzenia OPL DZ

Jedną z hipotez postawionych w pracy przez autora, było stwierdzenie, że istnieje silna zależność efektywności dowodze-

nia wojskami OPL DZ od efektywności SŁ.

Efektywność w zwalczaniu ŚNP zależy w głównej mierze /przy zdeterminowanej bazie środków strzelających/ od sprawności systemu dowodzenia. Na sprawność dowodzenia zwłaszcza podczas od- pierania uderzeń ŚNP zasadniczy wpływ mają następujące czynniki:

- czas obiegu informacji o sytuacji powietrznej dla potrzeb kierowania ogniem;
- czas reakcji ZT, oddziałów i pododdziałów plot;
- wymagana rubież postawienia zadania ogniowego;
- warunki w jakich prowadzi się walkę /zakłócenia radioelektro- niczne, stan pogody i inne/.

Wskaźnikami oceny systemu kierowania OPL zdefiniowanymi w pkt.

1.4. pracy, są między innymi:

- czas reakcji ZT, oddziału /pododdziału/ rakiet plot - T_R^0 ;
- rubież postawienia zadania ogniowego - D_{pz} .

Analizując zależności na w.w. wskaźniki /wzory 1.4.10, 1.4.11/ można zauważyć, że decydujący wpływ na efektywność dowodzenia mają parametry czasowe SŁ, które są uwidocznione w następują- cych składnikach:

- w czasie przekazywania komendy /sygnału/ - T_K ;
- w czasie opóźnienia informacji o sytuacji powietrznej - T_{op} ;
- w sumarycznym czasie pracy punktu dowodzenia - T_{SD} .

Do oceny wpływu efektywności SŁ na sprawność dowodzenia OPL zos- tały obliczone a następnie porównane wyżej wymienione wskaźniki, dla różnych parametrów czasowych, charakteryzujących efektywność zdefiniowanych wariantów SŁ.

Dane operacyjno-taktyczne do obliczeń, charakteryzujące system dowodzenia WOPL autor zaczerpnął z opracowań ASG [25,72,86]

oraz z badań systemowych IKSJA, a charakterystyki czasowe określające efektywność SŁ, z własnych obliczeń zamieszczonych w załączniku 5.

Obliczenia zostały przeprowadzone dla dwóch przypadków, tj:

- 1/ dla niezautomatyzowanego systemu dowodzenia OPL DZ z aktualnym SŁ;
- 2/ dla zautomatyzowanego systemu dowodzenia z cyfrowym SŁ, zdefiniowanym jako wariant IV.

Czas reakcji $T_R^{01/}$ dla szefa OPL DZ stawiającego zadania prplot. obliczony na podstawie danych zawartych w tabeli 3.5.1. wynosi odpowiednio:

- dla 1-go przypadku $T_{RI}^0 = 239$ s;
- dla 2-go przypadku $T_{RIV}^0 = 189$ s.

Widać wyraźnie, że automatyzacja systemu dowodzenia z efektywnym cyfrowym SŁ zdecydowanie skraca czas reakcji T_R^0 , od 239 s w przypadku tradycyjnego dowodzenia, do 189 s przy pełnej automatyzacji dowodzenia i łączności.

Różnica ta wynosi 50 s, co stanowi około 21%.

Dla zbadania wpływu wzrostu efektywności SŁ na inny wskaźnik oceny systemu kierowania OPL jakim jest rubież postawienia zadań ogniowych oddziałom /pododdziałom/ przeciwlotniczym, autor posłużył się rozwiązaniem poniższego zadania.

Założenie taktyczne:

- a/ pierwsza linia baterii znajduje się w odległości 5 km od rubieży styczności bojowej wojsk, baterie w gotowości bojowej nr 1;

1/ Obliczeń dokonano przy założeniu, że śr. czas pracy szefa OPL DZ na wykonanie analizy sytuacji powietrznej, na powzięcie decyzji i postawienie zadań ogniowych dotyczył trzech celów powietrznych.

Tabela 3.5.1.

Lp.	Wariant systemu dowodzenia Parametry składowe wskaźników	Wartości parametrów /s/	
		System d-nia niezautomat. z akt. SŁ	System d-nia zautomatyz. z II war.SŁ
1.	Śr.czas pracy szefa OPL na wykonywanie analizy o sytuacji powietrznej, na powzięcie decyzji i postawienie zadań ogniowych: - na 1 cel - na 2 cele - na 3 cele - na 5 celów - na 10 celów - T_{SD}	41 51 69 nie reali- zowano "-	14 24 32 49 102
2.	Czas przekazania komendy /sygnału/ - T_K	15	2
3.	Czas reakcji prplot.	155	155

b/ RSWP prplot i kompanii dowodzenia szefa OPL DZ dywizji znajdują się w odległości 10 km od rubieży styczności bojowej wojsk;

c/ prędkość lotu celu powietrznego - 250 m/s, wysokość lotu celu 1000 m;

d/ odległość dalszej granicy strefy rażenia dla zestawu OSA przy wysokości 1000 m wynosi około 10 km.

Obliczenia zostały przeprowadzone dla dwóch wariantów dowodzenia, tj. dla stanu aktualnego i dla perspektywicznego systemu dowodzenia opartego na IV wariantcie SŁ.

Posługując się danymi z tych samych źródeł co poprzednio, obliczono D_{pz} :

- dla dowódcy prplot "OSA":

$$D_{pzI} = 10000 \text{ m} + 250 \frac{\text{m}}{\text{s}} / 10\text{s} + 60\text{s} + 80\text{s} + 15\text{s} / = 51,25 \text{ km}$$

$$D_{pzIV} = 10000 \text{ m} + 250 \frac{\text{m}}{\text{s}} / 2\text{s} + 30\text{s} + 80\text{s} + 15\text{s} / = 41,75 \text{ km}$$

- dla szefa OPL dywizji:

$$D_{pzI} = 10000 + 250 \frac{\text{m}}{\text{s}} / 10\text{s} + 60\text{s} + 155\text{s} + 15\text{s} / = 70 \text{ km}$$

$$D_{pzIV} = 10000 + 250 \frac{\text{m}}{\text{s}} / 2\text{s} + 30\text{s} + 155\text{s} + 15\text{s} / = 60,5 \text{ km}$$

Analizując powyższe wyniki można stwierdzić, że wprowadzenie efektywnego wariantu SŁ powoduje skracanie się rubieży postawienia zadań ogniowych oddziałom i pododdziałom przeciwlotniczym. Porównując natomiast wyniki z możliwościami wykrycia celu powietrznego przez stacje radiolokacyjne /RSWP prplot i szefa OPL dywizji/ należy stwierdzić, że: dowódca prplot swobodnie może dowodzić ogniowo; szef OPL dywizji może mieć poważne trudności w stawianiu zadań ogniowych w przypadku tradycyjnego dowodzenia zwłaszcza z aktualnym SŁ. W sytuacji, gdy będzie korzystał z pełnej automatyzacji dowodzenia i łączności /IV wariant SŁ/ powyższych trudności nie będzie.

Posługując się zależnością $V/t/ = \frac{\bar{T}_{akt}}{\bar{T}_w}$ określono wpływ wzrostu efektywności SŁ, a ściślej wpływ średniego czasu przekazywania wiadomości w SŁ danego wariantu, na wskaźnik skrócenia średniego czasu obiegu informacji pomiędzy punktami dowodzenia.

I tak, wskaźnik $V/t/$ w systemie dowodzenia OPL dywizji, wykorzystującym zaproponowane rozwiązania SŁ wynosi odpowiednio:

- dla systemu dowodzenia z wariantem II SŁ $V_{II}/t/ = 3,6;$
- dla systemu dowodzenia z wariantem III SŁ $V_{III}/t/ = 7,4;$
- dla systemu dowodzenia z wariantem IV SŁ $V_{IV}/t/ = 14,8.$

Z obliczeń widać, że zastosowanie efektywnych SŁ wyraźnie skracają czas obiegu informacji w systemie dowodzenia. Szczególnie będzie to widoczne wtedy, gdy zautomatyzowany system dowodzenia oprze procesy informacyjno-decyzyjne na nowoczesnym zinte-

growanym, cyfrowym systemie łączności.

Z analizy porównawczej uzyskanych miar poszczególnych wskaźników, można zauważyć, że wzrost efektywności SŁ silnie oddziałuje na poprawę sprawności dowodzenia obroną przeciwlotniczą dywizji. W szczególności zaś cechy będące determinantami efektywności SŁ, które w sposób zdecydowany wpływają na charakterystyki czasowe systemu dowodzenia.

Z A K O Ń C Z E N I E

Podjęcie przez autora próby opracowania modelu ocenowego efektywności SŁ poprzedzone było przekonaniem o jego szczególnie ważnym znaczeniu dla rozwoju teorii i praktyki oceny efektywności systemów dowodzenia łączności.

Opracowany symulacyjny model ocenowy pozwolił autorowi ocenić aktualnie eksploatowany SŁ wojsk OPL DZ pod kątem jego przydatności /w aspekcie zaspokajania potrzeb i spełniania wymagań organów dowodzenia/.

Wykorzystując opracowaną metodę oceny efektywności SŁ, przebadano także zaproponowane perspektywiczne warianty SŁ WOPL ZT. Uzyskane wielkości liczbowe cząstkowych wskaźników oceny oraz uzyskana na ich podstawie ocena globalna, pozwoliły autorowi dokonać wyboru wariantu SŁ najefektywniejszego z wariantów dopuszczalnych. W związku z powyższym, można przyjąć, że postawiona przez autora hipoteza robocza - "opracowany model ocenowy pozwoli ocenić efektywność aktualnie eksploatowanego SŁ WOPL, a także określa podstawy tworzenia systemu wspomagania decyzji projektanta i eksploatatora systemów łączności ZT" - została w pełni potwierdzona. Tak rozumiane wspomaganie decyzji stwarza warunki dla dokonywania wyboru optymalnego wariantu SŁ dla WOPL ZT.

Posługując się więc opracowanym modelem ocenowym, można wpływać na proces projektowania nowych SŁ oraz proces reorganizacji SŁ w trakcie jego eksploatacji.

Każda zmiana w strukturze SŁ /wyeliminowanie określonej liczby kanałów, relacji łączności, zmiana w sposobie połączeń/ oraz

w możliwościach technicznych /w zdolności przepustowej, w stopniu automatyzacji, itp./ może być przedmiotem analizy ze względu na jej wpływ na /globalną/ wynikową efektywność danego SŁ, rozumianą jako stopień zaspokojenia potrzeb informacyjnych systemowi dowodzenia.

Uzyskane wyniki analizy dopuszczalnych wariantów SŁ utwierdziły autora pracy w przekonaniu, że aktualny SŁ wojsk OPL nie jest w stanie zaspokoić niezbędnych potrzeb informacyjnych systemu kierowania walką z przeciwnikiem powietrznym nawet w 50 procentach / $E_{g1} = 0,40$ /.

Okazuje się, że dowodzenie będzie efektywne /w sensie wartości wskaźnika $E_{g1} = 0,98$ /, tylko wtedy, gdy wdrożony zostanie w wojskach OPL nowoczesny zautomatyzowany system dowodzenia i łączności.

Przedstawione w [78] wymagania na PASS określają, że:

- 1/ czas dostarczenia pakietu o objętości części informacyjnej do 138 bitów w półdupleksowym kanale łączności z prawdopodobieństwem $Q > 0,9$, przy pierwotnej elementowej stopie błędu $P \leq 10^{-2}$, szybkości przekazywania informacji w kanale $C_i = 16000$ bit/s i czasie przełączenia radiostacji z nadawania na odbiór równym 0,1s, nie powinien przekraczać - 2s;
- 2/ kompleks technicznych środków łączności i dowodzenia powinien zabezpieczyć przekazywanie strumieni informacyjnych z detekcją i korekcją błędów w czasie rzeczywistym /informacje radiolokacyjne/; opóźnienie nie powinno przewyższać 0,5s dla bloku o długości 48 bitów przy przekazywaniu go w jednym ogniwie dowodzenia /bez uwzględniania czasu przełączania radiostacji/ - będą spełnione tylko w przypadku wdrożenia do wojsk perspektywicznego, cyfrowego, zautomatyzowanego SŁ,

np. typu STORCZYK.

Ocena zaproponowanych wariantów SŁ dla wojsk OPL dywizji jeszcze raz potwierdza fakt, że nie jest możliwa efektywna automatyzacja procesów dowodzenia poprzez wprowadzenie - dla osób funkcyjnych i do środków walki - zautomatyzowanych obiektów typu IKSJA, ZWD, DP z nowoczesnym kompleksem środków przetwarzania i zobrazowania lecz bez nowoczesnego systemu łączności. Dowodem tego jest uzyskana ocena przebadanego 2-go wariantu SŁ /analogowe środki łączności/, który nie jest w stanie zabezpieczyć wymiany wymaganej ilości informacji pomiędzy rozpatrywanymi punktami dowodzenia.

Wypływa stąd wniosek następujący: automatyzacja procesów dowodzenia w wojskach OPL powinna bazować na SŁ budowanym w oparciu o:

- a/ podsystem radiotelefoniczny zapewniający duplexowe utajnione kanały cyfrowe 16/32/ kbit/s z możliwością ich automatycznego komutowania i umożliwiającą bezblokadowy dostęp abonentom ruchomym do radioliniowo-przewodowej sieci pierwotnej;
- b/ radioliniowo-przewodowo-światłowodowe kanały cyfrowe 16/32/ kbit/s organizowane przy użyciu perspektywicznych aparatów ni węzłowych typu RWŁC, radiolinii cyfrowych, itp.;
- c/ cyfrowe radiostacje UKF małej i średniej mocy umożliwiające organizację utajnionych simpleksowych, cyfrowych kanałów łączności o przepływności 16/32/ kbit/s;
- d/ cyfrowe radiostacje KF zapewniające budowę kanałów o przepływności 1,2/2,4/ kbit/s;
- e/ terminale końcowe /CAT, CPA, UTD/;
- f/ indywidualne i grupowe urządzenia utajniane.

Organizacja SŁ dla WOPL DZ na bazie wyżej wymienionych środków łączności pozwoli wyeliminować z proponowanych wozów dowodzenia /krajowych i z importu/ około 30% radiostacji UKF i KF, co będzie miało niebagatelny wpływ na zapewnienie wymaganej kompatybilności elektromagnetycznej oraz powinno przynieść znaczące korzyści ekonomiczne. Jest to niewątpliwie oczekiwany rezultat analizy efektywności - w sensie ekonomiczności - projektowanych SŁ. Wniosek ten jest szczególnie znaczący w aktualnej sytuacji rozwojowej kraju i sił zbrojnych. Ten typ wnioskowania jest immanentną cechą analizy systemowej, której znaczenie dla planowania rozwoju wojsk łączności będzie zapewne rosnąć.

Na podstawie przeprowadzonej weryfikacji zaproponowanej metody badawczej /analizy i oceny/ efektywności SŁ oraz przeprowadzonej analizy uzyskanych rezultatów a także wyżej przedstawionych ogólnych wniosków, nasuwają się następujące uwagi:

1. Proponowana metoda badawcza może być wykorzystana do oceny działania istniejących SŁ. Wyniki przetwarzania programu symulacyjnego mogą stanowić podstawę do wprowadzenia zmian strukturalnych i funkcjonalnych oraz usprawnień w istniejących strukturach organizacyjnych SŁ.
2. Istnieje pełna możliwość badania perspektywicznych /hipotetycznych/ systemów na drodze symulacji, która stanowi bardzo skuteczne narzędzie pozwalające w krótkim czasie i przy stosunkowo niskich nakładach finansowych ocenić zachowanie się SŁ oraz dla założonych czynników wymuszających.
3. Należy w sposób ciągły prowadzić badania w zakresie oceny wpływu podstawowych czynników wymuszających /zwłaszcza destruktcyjnych/ na zachowanie się i funkcjonowanie SŁ oraz

w celu określenia np. typu rozkładów, prawdopodobieństwa podstawowych charakterystyk parametrów rozkładów, które będą wykorzystywane w procesie symulacji systemów.

4. Proponuje się przyjąć jako obowiązującą zasadę, że w procesie projektowania nowych SŁ w pierwszym jego etapie należy w sposób ścisły określić:

- charakterystyki ilościowe informacji przekazywanych przez dany system dowodzenia, dla którego ma być projektowany SŁ;
- sposób działania systemu łączności i jego otoczenia;
- metodę /algorytm/ sterowania systemem;
- typy urządzeń i funkcje przypisane poszczególnym urządzeniom;
- parametry taktyczno-techniczne tych urządzeń, pozwalające ocenić ich możliwości.

5. Działania systemu jako całości należy badać i oceniać w oparciu o jednolitą metodykę i model oceny efektywności oraz technikę symulacji komputerowej.

Autor nie postawił sobie zadania sprowadzającego się do szczegółowej analizy wpływu różnych czynników na zachowanie się systemu, lecz pragnął przedstawić sposób ujęcia problemu badania i oceny efektywności już istniejących i perspektywicznych systemów łączności, a przede wszystkim zaproponować metodę i metodykę oceny efektywności tych systemów, użyteczną w działaniach projektowo-wdrożeniowych i eksploatacyjnych a przy tym odpowiadające metodologii badań systemowych /analizy i inżynierii systemów, teorii efektywności systemów/.

B I B L I O G R A F I A

1. Ackoff R.: Decyzje optymalne w badaniach stosowanych. PWN, Warszawa, 1969 r.
2. Amanowicz H.: Ogólny model systemu łączności, Biuletyn WAT nr 4, 1982 r.
3. Amanowicz H.: Badanie symulacyjne systemu łączności, Biuletyn WAT nr 4, 1982 r.
4. Andracki H.: Sposoby ochrony systemów łączności radiowej i radioliniowej przed zakłóceniami. Zeszyt naukowy ASG WP nr 1/86, 1986 r.
5. Barczak A.: Analiza efektywności ZSD ZT metodą symulacji. Rozprawa doktorska, ASG WP.
6. Barton R.: Wprowadzenie do symulacji i gier. WNT, Warszawa, 1974 r.
7. Baßler R.: Nachrichtemetze. VEB VERLAG TECHNIK, Berlin, 83r.
8. Bertalanffy L.: Ogólna teoria systemów. PWN Warszawa, 1984 r.
9. Bojarski W.: Podstawy inżynierii systemów. PWN Warszawa, 74r.
10. Broniarek Z., Karkoszka: Źródła spirali zbrojeń. MON, 1985 r.
11. Brzostek W.: Analiza możliwości zastosowania symulacji w procesie badań systemu WRE. ASG WP, 1981 r.
12. Brzostek W.: Armijny system obezwładniania radioelektronicznego środków i systemu dowodzenia przeciwnika. Rozprawa habilitacyjna, ASG WP, 1984 r.
13. Cwietkow W.: Principy kolicziestwiennoj ocienki efektiwnosti radioelektronnych sriedstw. Sowietiskoje radio, Moskwa 1971r.
14. Diaczienko: Sterowanie sieci telekomunikacyjnych. WKiŁ, Warszawa, 1970 r.

15. Dawidow I., Rogińskij V.: Sieti elektrosiazi, Swiaz, Moskwa 1977 r.
16. Dróždź J.: Podstawy kodowania nadmiarowego. PW, Warszawa, 1980 r.
17. Fidelis.: Matematyczne podstawy oceny niezawodności. PWN, Warszawa 1976 r.
18. Findeisen W. /red./: Analiza systemowa - podstawa i metodologia. PWN, Warszawa 1985 r.
19. Fleiszman B.: Elementy teorii potencjalnej efektywności skłónych sistiem. Izd. Sowietskoje Radio, Moskwa 1971 r.
20. Frydrych Z.: Przydatność ocen niezawodności funkcjonalnej wielotrasowego kierowania wiązek międzycentralowych. Konferencja naukowo-techniczna nt. "Teoria i technika ruchu telekomunikacyjnego", SEP, Warszawa, IX.1982 r.
21. Frydrych Z.: O niezawodności sieci telekomunikacyjnej.. Przegląd telekomunikacyjny nr 10, 1980 r.
22. Gasparski W.: Kryterium i metoda wyboru rozwiązania technicznego w ujęciu praksometrycznym. PWN, Warszawa 1970 r.
23. Gubin H., Matlin G.: Kacziestwo swiazi. Teorija i praktika. Radio i Swiaź, Moskwa 1986 r.
24. Gordon G.: Symulacja systemów. WNT, Warszawa 1974 r.
25. Gozdecki Cz. /kierownictwo/: Wymogi operacyjno-taktyczne dowodzenia wojskami OPL w aspekcie sprawności obiegu informacji. ASG-1988 r.
26. Gryciuk P.: Doskonalenie metod oceny zagrożenia radioelektronicznego i uodpornienia systemu łączności dywizji z wykorzystaniem symulacji komputerowej. Rozprawa doktorska. ASG WP, Warszawa 1987 r.

27. Jędruszczak S.: Analiza przepustowości systemu łączności DZ w natarciu. Rozprawa doktorska, ASG WP 1983 r.
28. Klimek Z., Latek J.: Projekt koncepcyjny zintegrowanego systemu łączności szczebla taktycznego. WIŁ, Zegrze 1985 r.
29. Klir G./red./: Ogólna teoria systemów, WNT, Warszawa 1976 r.
30. Kleinrock L.: Wyczistitelnije sistemy z oczierediami. Przekład z j.angielskiego pod red. Cybakowa, Mir 1979 r.
31. Kolman R.: Ilościowe określenie jakości. PWE Warszawa 1973r.
32. Kompedium Zjednoczonych Sił Państw Układu NATO. MON, Warszawa 1987 r.
33. Konieczny J.: Inżynieria systemów działania. WNT, Warszawa 1984 r.
34. Konieczny J.: Modele ocenowe systemów. WAT, Warszawa 1983r.
35. Kotarbiński T.: Traktat o dobrej robocie. Ossolineum, Warszawa 1969 r.
36. Kuzmin W., Kiedrus B.: Osnovy teorii informacji i kodirowanija. Moskwa 1986 r.
37. Latek J.: Projekt koncepcyjny budowy i wdrożenia systemów i środków łączności dla potrzeb polowego zautomatyzowanego systemu dowodzenia wojskami. WIŁ, Zegrze 1984 r.
38. Latek J.: Etapy modernizacji i przebudowy ogólnowojskowego systemu łączności. Referat na konferencji naukowej n.t.: "Wojska Łączności w 40-leciu LWP i Międzynarodowym Roku Telekomunikacji", WIŁ Zegrze 1983 r.
39. Latek J.: Analiza żywotności polowych sieci radiokomunikacji ruchomej. Praca dyplomowa STUDIUM PODYPLOMOWEGO, PW 1983 r.
40. Latek J.: RITA - współczesny system łączności państw zachodnich. Informator WIŁ nr 6/86, Zegrze 1986 r.

41. Latek J.: Analiza oceny jakości systemu łączności.
Informator WIŁ nr 6/87, Zegrze 1987 r.
42. Latek J.: Optymalizacja sieci łączności z punktu widzenia
możliwości przepustowych kanałów. Referat na Konferencji
BOS, Książ 1988 r.
43. Latek J. /kier./: Koncepcja technicznego systemu łączności
dla ZSD WOPL Frontu. WIŁ Zegrze 1988 r.
44. Lee J.: Technika podwójnych systemów swiazi /tłum. z języka
angielskiego/. Radio i Swiaź, Moskwa 1985 r.
45. Marciniak S., Rafalski R.: Efektywność przedsięwzięć tech-
niczno-eksploatacyjnych, PWE Warszawa 1983 r.
46. Michels: Information flow model for military mobile
communication systems. IEEE Transactions on Vehicular
Technology. Vol. VI-29, no 3, 1980 r.
47. Mielnikow H.: Dostawierność informacji w złożonych systemach.
Sowietskoje radio, Moskwa 1979 r.
48. Mielnikow H /red./: Nadawność i efektywność w technice.
Sowietskoje radio, Moskwa 1980 r.
49. Niecziporinko W.: Strukturalny analiz system. Sowietskoje
Radio, Moskwa 1977 r.
50. Nożko K.: Zagadnienie współczesnej sztuki wojennej.
ASG WP, Warszawa 1978 r.
51. Normatyw SŁ ZT. SWŁ Warszawa 1986 r.
52. Okuniew, Płatnikow: Prinsipy systemnowo podchoda
k projektowaniju w technice swiazi. Izd. Swiaź, Moskwa
1976 r.
53. Olearczuk, Karolak: Jak powstaje technika wojskowa. BWW
Warszawa 1981 r.

54. Oszywa W.: Cyfrowe przekształcenia sygnału mowy. Krajowe Sympozjum Telekomunikacji. Rynia 1986 r.
55. Pawelec J.: Prognoza rozwoju łączności informatyki i WRE w SZ PRL w okresie do roku 2015. WIŁ Zegrze 1986 r.
56. Piekarski H.: Zagrożenie radioelektroniczne w operacji zacierpanej armii i frontu na północnym i centralnym kierunku strategicznym ZTDW. ASG WP 1983 r.
57. Pencak Z., Samoraj J., Sienkiewicz P.: Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej - Zawilec S. Warszawa 1982 r.
58. Praca zbiorowa. Zastosowanie symulacji na EMC do badania systemów łączności. WAT Warszawa 1976 r.
59. Regulamin walki wojsk lądowych SZ PRL. MON Warszawa 1985 r.
60. Rasiukiewicz M.: Podstawy systemów horyzontalnych linii radiowych. WKiŁ Warszawa 1983 r.
61. Sadowski W.: Podstawy ogólnej teorii systemów. PWN, Warszawa 1978 r.
62. Seidler J.: Systemy przesyłania informacji cyfrowych. WNT, Warszawa 1977 r.
63. Seidler J.: Nauka o informacji. WNT, Warszawa 1983 r.
64. Sienkiewicz P.: Teoria efektywności systemów kierowania T.I. Wstęp do systemologii. ASG WP Warszawa 1979 r.
65. Sienkiewicz P.: Teoria efektywności systemów kierowania. T.II. Problemy efektywności działania. ASG WP Warszawa 1979 r.
66. Sienkiewicz P.: Inżynieria systemów. BWW. MON Warszawa 1983 r.
67. Sienkiewicz P.: Teoria efektywności systemów. PAN, Warszawa 1987 r.

68. Sienkiewicz P.: Inżynieria systemów kierowania. PWE Warszawa 1980 r.
69. Sienkiewicz P.: Dowodzenie z komputerem. MON Warszawa 1984r.
70. Sienkiewicz P.: Ocena efektywności SŁ. Materiał nie publikowany.
71. Sowietow: Teorija informacji. Radio i swiaź. Moskwa 1981r.
72. Skrypt: Pułk rakiet przeciwlotniczych OSA /KUB/ w działaniach bojowych. ASG WP - 1984 r.
73. Syc Cz./red./: Metodyka projektowania sieci telekomunikacyjnych. WKiŁ Warszawa 1977 r.
74. Szilejko A., Koczniw B., Chimuchin F.: Wwiedienije w informacjonnuju teoriju sistiem. Radio i Swiaź. Moskwa 1985r.
75. Tatarbin /przekład z j.ang./: Statistika oszibok pri pieriedaczie informacji. Zd.Mir Moskwa 1978 r.
76. Taktyczno-techniczne podstawy organizacji łączności wojsk OPL. Opracowanie DWOP. Warszawa 1986 r.
77. UWTT na zautomatyzowany system dowodzenia IKSJA, 1974 r.
78. UWTT na polowy zautomatyzowany system łączności /PASS/, Moskwa 1987 r.
79. Wallace, Evans, Sutherland: Symulacja na maszynach cyfrowych. WNT Warszawa, 1973 r.
80. Wasiljew W., Buakin A., Swiridienkow W.: Sistiemy swiazi. Moskwa, Wyższaja Szkoła - 1987 r.
81. Wołkowa: Teorija sistiem i mietody sistiemnowo analiza i uprawlienija i swiazi. Radio i swiaź. Moskwa 1983 r.
82. Woronow, Kondriatiew, Czistiakow: Teoriticzieskoje osnowy postrojenija awtomatizirowannyh sistiem uprawlenija. Izd. "Nauka", Moskwa 1978 r.

83. Zacharow G.: Efektywnost sistemi swiaz. Elektroswiaz
No. 12, 1967r.
84. Zacharow G.: Metody isledowanija sieti pieriedaczi danych.
Radio i swiaz, Moskwa 1985 r.
85. Ziomek K.: Ocena efektywności ZSD i łączności ZT. ✓
Rozprawa doktorska ASG WP - 1987 r.
86. Zjuko A./red./: Pomiechoustojcziwost i efektywnost sistem
pieriedaczi informacji. Radio i swiaz, 1983 r.
87. Siły i środki walki radioelektronicznej państw NATO. Zasady
i sposoby wykorzystania ich w działaniach bojowych i opera-
cyjnych. Studium taktyczno-operacyjne. ASG WP - 1985 r.

Wit. Nr Pow. 04.10/89
dn. 1.03 1989 r.

L - 1

LISTING PROGRAMU SYMULACJI

```

{$R-}      {Range checking off}
{$B-}      {Boolean short circuiting off}
{$S+}      {Stack checking on}
{$I+}      {I/O checking on}
{$N-}      {No numeric coprocessor}
{$M 65500,16384,655360} {Turbo 3 default stack and heap}

```

```

program siec ;

```

```

{symulacja sieci lacznosci z zakloceniami wywołanymi przez
przeciwnika oraz losowymi niszczeniami z zakładana procentowa
iloscia uszkodzonych kanalow}

```

```

Uses

```

```

  Crt;

```

```

const

```

```

  ilprior      = 4 ;    {liczba priorytetow}
  ilkanalow    = 24 ;   {liczba kanalow w sieci}
  ilrelacji    = 10 ;   {liczba relacji w sieci}
  ilprzep      = 5 ;    {liczba wariantow przeplywnosci kanalow}
  ilzakl       = 5 ;    {liczba wariantow intensywnosci zaklocen}
  iluszk       = 5 ;    {liczba wariantow stopnia niszczen}
  przepaktual  = 1 ;    {podstawowy wariant przeplywnosci}
  zaklaktual   = 1 ;    {podstawowy wariant intensywnosci zaklocen}
  uszkaktual   = 4 ;    {podstawowy wariant niszczen}

```

```

  relacja      : array [1..ilkanalow] of integer = (1,1,1,2,2,3,4,5,
5,6,6,7,7,7,7,7,7,8,8,9,9,10,10) ;

```

```

  {tablica przynaleznosci poszczegolnych kanalow do relacji}

```

```

  dl_listy     = 50 ;   {maksymalna dlugosc kolejki zgloszen
oczekujacych na polaczenie}

```

```

  przepkan     : array [1..ilkanalow] of real = (0,1,0,0,1,0,0,1,
0,1,0,0,1,0,0,0,1,1,0,1,0,1,1,0) ;
  {wspolczynniki przepustowosci dla kanalow}

```

```

  przepustowosc : array [1..ilprzep] of real =
(120,240,540,1200,2400);

```



{atrybuty zgłoszen}

odstep_zgl = 0.5 ;
 ilgrdez = 5 ;
 zakresdez : array [1..ilgrdez] of integer = (0,40,70,90,100) ;
 {dystribuanta rozkladu priorytetow zgloszen}
 okresdez : array [1..ilprior] of real =
 (3.33,1.33,1.0,0.33) ;
 {rozklad okresu dezaktualizacji zgloszen}

{atrybuty zaklocen}

minreak = 0.033; {minimalny i maksymalny okres reagowania}
 maxreak = 1.0 ; {zaklocajacego siec}
 minzakl = 0.5 ; {minimalny okres trwania zaklocenia}
 maxzakl = 2.0 ; {maksymalny okres trwania zaklocenia}
 odstep_zakl : array [1..ilzakl] of real = (50,20,10,5,2) ;

{atrybuty uszkodzen}

procentuszk : array [1..iluszk] of integer = (0,10,20,35,50) ;

jednczas = 60 ; {60 minut}
 wskstrat = 0.8 ; {wskaznik strat czasu obslugi kanalu}

{dane dotyczace obliczen czasow trwania zgloszen}

intensyw : array [1..ilkanalow] of real = (0.083,0.43,
 0.083,0.11,0.66,0.05,0.05,0.17,0.17,0.066,0.066,0.042,0.25,
 0.042,0.042,0.066,0.12,0.2,0.066,0.066,0.05,0.66,0.2,0.066);
 {intensywnosc strumienia wewn w ilosci/min}

objet : array [1..ilkanalow] of real = (157,75,157,60,
 87,180,150,85,85,165,165,103,99,104,103,102,104,86,275,275,160,
 87,110,255); {objetosc wiadomosci w znakach}

intensyw_sr = 4.12 ;
 objet_sr = 130.0 ;
 obciazzewn = 3.82 ;

ilpotrzeb = 13400 ;
 {zakladana ilosc znakow potrzebna do przeslania w
 ciagu godziny}

type

{typy odpowiednich zmiennych}

```

indexprior    = 1..ilprior ;
indexkan      = 1..ilkanalow ;
indexrel      = 1..ilrelacji ;
indexprzep   = 1..ilprzep ;
indexzakl     = 1..ilzakl ;
indexuszk     = 1..iluszk ;
tablprzep     = array [indexprzep] of real ;
tablkan      = array [indexkan] of integer ;
tablkan1     = array [indexkan] of real ;
tablrel      = array [indexrel] of real ;
tabluszk     = array [indexuszk] of integer ;
tablica2     = array [indexzakl,indexuszk] of real ;
tablprzep2   = array [indexkan,indexprzep] of real ;
tabluszk2    = array [indexkan,indexuszk]
              of (jestsprawny,jestuszkodz);
tablica3     = array [indexprzep,indexzakl,indexuszk] of real ;
tablica4     = array [indexprior,indexprzep,indexzakl,indexuszk]
              of real;
tablrelac4   = array [indexrel,indexprzep,indexzakl,indexuszk]
              of real;

```

var

```

przebieg     : text; {zapis inf. o przebiegu symulacji}
buffer       : string [80]; {bufor w procesie zapis-odczyt}
source       : text; {zrodlowy plik posredniczacy w zapisie}
              {wynikow programu}
wyniki       : text ;    {plik z wynikami programu}
str          : string [5]; {numer pliku wynikowego}
nazwa       : string [20]; {nazwa pliku wynikowego}
ch           : char ;    {zmienna znakowa dla celow animacji}

```



```
procedure odstep (linie : integer) ;
```

```
{-----}
```

```
{wydruk pustych linii}
```

```
var k : integer ;
```

```
begin
```

```
  for k := 1 to linie do writeln (przebieg, ' ');
```

```
end ; {procedury odstep}
```

```
procedure gwiazda (linie : integer) ;
```

```
{-----}
```

```
var k : integer ;
```

```
begin
```

```
  for k := 1 to linie do writeln (przebieg, '*');
```

```
end ;
```

```
procedure czas_zgl (numerprzep : integer ) ;
```

```
{-----}
```

```
var
```

```
  i,k      : integer ;
```

```
  a,b,c,d  : real ; {zmienne pomocnicze}
```

```
begin
```

```
  i := numerprzep ;
```

```
  { obliczanie sumarycznej przepustowosci sieci }
```

```
  przepsiec[i] := 0.0 ;
```

```
  for k := 1 to ilkanalow do
```

```
    przepsiec[i] := przepsiec[i] + (1 - przepkan[k]) * 90 +  
      przepkan[k] * przepustowosc[i] ;
```

```
  { obliczanie wskaźnika obciążenia sieci wskazobczaz }
```

```
  wskazobczaz := intensyw_sr * objet_sr / przepsiec[i] ;
```

```
  c := 0.0;
```

```
  for k := 1 to ilkanalow do
```

```
    c := c + sqrt(intensyw[k] * objet[k]) ;
```

```
  odstep (1) ;
```

```
  writeln (przebieg, 'optymalne przepust. i okresy zgłoszen dla ',
```

```
'wariantu ', przepsiec[i]:6:1, ' zn/min');
```

```

{ obliczanie srednich okresow zgloszen dla wszystkich kanalow }
odstep (1) ;
for k := 1 to ilkanalow do
  begin
    a := intensyw[k] * objet[k] ;
    b := przepiec[i] * (1 - wskazobciaz) * sqrt(a) ;
    przepopt[k] := (a + b)/c ;
    okres_zgl[k,i] := objet[k]/(przepopt[k] - a) ;
    writeln (przebieg,'dla kanalu ',k:3,' :',
    przepopt[k]:7:2,' zn/min',okres_zgl[k,i]:7:3,' min');
  end ; { for k }

{ obliczanie sredniego optymalnego czasu zgloszenia }
d := przepiec[i] * obciazzewn * (1 - (1/objet_sr)) ;
okresmin[i] := c * c / d ;
end ; { procedury okres_zgl }

procedure los_uszk (numerusk : integer) ;
{ ----- }
{ losowanie uszkodzen }

var
  i,k : integer ;

begin
  ilczyn[numerusk] := ilkanalow ;
  for i := 1 to ilkanalow do kanuszk[i,numerusk] := jestsprawny ;
  if procentuszk[numerusk] > 0 then
    begin
      ilzepsut := round(procentuszk[numerusk] * ilkanalow / 100);
      ilczyn[numerusk] := ilkanalow - ilzepsut ;
      for i := 1 to ilzepsut do
        begin
          repeat k := random(ilkanalow) + 1 ;
          until kanuszk[k,numerusk] = jestsprawny ;
          kanuszk[k,numerusk] := jestuszkodz ;
        end ; {for i := ..}
      end ; {if procentuszk}
    end ;
end ;

```

```

procedure symulacja (numerprzep , numerzakl , numeruszk : integer);
{ ----- }
{ symulacja sieci lacznosci z zakloceniami i uszkodzeniami }

type
  {typy odpowiednich zmiennych}
  meldrozk = (meld,rozk) ;
  hierar   = 1..ilprior ;
  tabl     = array[hierar] of integer ;
  informacja = record {rekord z atrybutami zgloszenia}
    kanal      : indexkan ; {numer kanalu}
    prior      : hierar   ; {priorytet zgloszenia}
    trwanie    : real    ; {okres trwania zgloszenia}
    t_dezakt   : real    ; {czas dezaktualizacji inf.}
  end ;
  lacze = record {rejestr pamietajacy atrybuty stanu kanalow}
    stan      : ( wolny,zajety,zaklocony,uszkodzony ) ;
    prior     : hierar   ; {priorytet zgloszenia }
    t_pocz_zgl : real    ;
    t_kon_zgl  : real    ;
    t_dezakt_zgl : real  ;
    t_pocz_zakl : real   ;
    t_kon_zakl  : real   ;
    t_kon_uszk  : real   ;

    t_przek    : real    ; { sumaryczny czas przekazania }
                    { informacji w kanale }
    t_przerwane : real    ; { sumaryczny czas trwania }
                    { zgloszen przerwanych }
    t_wylacz   : real    ; { sumaryczny czas }
                    { wylaczenia kanalu }
  end ;
  siec      = array [indexkan] of lacze; {tablica stanow kanalow}
  lista     = array [1..dl_listy] of informacja;
                    {wektor zgloszen w kolejce}
  nry_kanalow = set of indexkan ; {zbior kanalow w okresl. stanie}
  typ_zdarz  = (zglosz,przedzakl,zakloc,uszkodz,kon_zgl,
    kon_zakl,dezakt) ;

var
  i,k,num,s      : integer ; {zmienne pomocnicze indexowe}
  nr_zgl         : integer ; {numer aktualnego zgloszenia}
  t_sym         : real    ; {aktualny czas symulacji}

```

zdarzenie : typ_zdarz ; {aktualne zdarzenie}
 kan_aktyw : integer ; {numer kanalu, w ktorym
 {wystepuja zdarzenia typu kon_xxx}
 nr_kolej : integer ; {numer zgloszenia w kolejce,
 {ktore zostalo zdezakt.}
 t_zdarz : real ; {poczatek najwcześniejszego zdarzenia}
 t_zgl : real ; {poczatek następnego zgłoszenia}
 t_zakl : real ; {poczatek następnego zakłocenia}
 t_uszk : real ; {poczatek następnego uszkodzenia}

sumwygen : integer ; {suma zgłoszen wygenerowanych}
 sumobsl : integer ; {suma zgłoszen obsluzonych}
 sumdezakt : integer ; {suma zgłoszen zdezaktualizowanych}
 sumprzerw : integer ; {suma zgłoszen przerwanych}
 il_zgl_wygen : tabl ; {liczba zgłoszen wygenerowanych}
 il_zgl_obs1 : tabl ; {obsluzonych}
 il_zgl_dezakt : tabl ; {zdezaktualizowanych}
 il_zgl_przerw : tabl ; {przerwanych}
 ilzgluszk : integer ; {liczba zgłoszen przerwanych}
 {przez uszkodzenia}

zbior_zgl : nry_kanalow ; {zbior trwajacych zgłoszen}
 zb_przedzakl : nry_kanalow ; {zbior zainicjowanych zakłocen}
 zbior_zakl : nry_kanalow ; {zbior trwajacych zakłocen}
 zbior_uszk : nry_kanalow ; {zbior trwajacych uszkodzen}

kanal : siec ; {aktualny stan kanalow w sieci}
 kolejka : lista ; {kolejka zgłoszen oczekujacych}
 wsk : integer ; {wskazuje na ostatni element kolejki}

przepust : real ; {przepustowosc w danym przebiegu symul.}
 czasef : real ; {sredni calkowity czas efektywnego}
 {przekazu informacji w kanale}

mian,mianownik : real ; {zmienne pomocnicza}
 wsk_kan : real ; {wskaznik funkcjonowania kanalu}
 liczba_zgl : real ; {liczba zgłoszen przeslanych}
 {w jednostce czasu w stanie idealnym}

inf_kan : tablkan1; {ilosc informacji przeslanej w kanale}
 ef_rel : tablrel;
 mian_rel : tablrel;
 suma : real ; {ilosc informacji przeslanej w sieci}

```

procedure inicjacja ;
( ----- )
( inicjacja stanu początkowego sieci )

var
  i,j,k,l      : integer ;

begin
  for i := 1 to ilprior do
  begin
    oper[i,numerprzep,numerzakl,numeruszk] := 0.0 ;
    il_zgl_wygen[i]      := 0 ;
    il_zgl_obs1[i]      := 0 ;
    il_zgl_dezakt[i]    := 0 ;
    ilzgluszk           := 0 ;
    il_zgl_przerw[i]    := 0 ;
  end ;
  for i := 1 to ilkanalow do
  begin
    kanal[i].stan      := wolny ;
    kanal[i].t_przek   := 0.0 ;
    kanal[i].t_przerwane := 0.0 ;
    kanal[i].t_wylacz  := 0.0 ;
    inf_kan[i]         := 0.0 ;
    kanczyn[i]         := i ;
  end ;
  for i := 1 to ilrelacji do
  begin
    ef_rel[i]      := 0.0;
    mian_rel[i]    := 0.0;
  end ;

  nr_zgl      := 0 ;
  t_sym       := 0.0 ;

  zbior_zgl   := [ ] ;
  zb_przedzakl := [ ] ;
  zbior_zakl  := [ ] ;
  ilaktyw     := ilkanalow ;
  wsk         := 0 ;
  kan_aktyw   := 1 ;

```

```

{ generuj pierwsze zdarzenia }
randomize ;
t_zgl := t_sym - odstep_zgl * ln(random) ;
t_zakl := t_sym + (1 - jestzakl) * 2 * tmax +
odstep_zakl[numerzakl] * random ;
t_uszk := t_sym ;

end ; { procedury inicjacja }

procedure wybor_zdarz ( var zdarz : typ_zdarz ; var t_min : real ;
var nr_kan : integer ; var nr_dezakt : integer ) ;
{ ----- }
{wybor zdarzenia wedlug kryterium najblizszego czasu wystapienia}

var
  i : integer ;

begin { czesc operacyjna wybor_zdarz }
  t_min := t_zgl ;
  zdarz := zglosz ;
  if t_min > t_zakl then
    begin
      t_min := t_zakl ;
      zdarz := przedzakl ;
    end ;
  if t_min > t_uszk then
    begin
      t_min := t_uszk ;
      zdarz := uszkodz ;
      t_uszk := t_uszk + 2*tmax ;
    end ;
  for i := 1 to ilkanalow do
    if i in zbior_zgl then
      if t_min > kanal[i].t_kon_zgl then
        begin
          t_min := kanal[i].t_kon_zgl ;
          nr_kan := i ;
          zdarz := kon_zgl
        end ;
  for i := 1 to ilkanalow do
    if i in zb_przedzakl then
      if t_min > kanal[i].t_pocz_zakl then

```

```

begin
  t_min := kanal[i].t_pocz_zakl ;
  nr_kan := i ;
  zdarz := zakloc ;
end ;
for i := 1 to ilkanalow do
  if i in zbior_zakl then
    if t_min > kanal[i].t_kon_zakl then
      begin
        t_min := kanal[i].t_kon_zakl ;
        nr_kan := i ;
        zdarz := kon_zakl
      end ;
    if wsk > 0 then
      begin
        for i := 1 to wsk do
          if t_min > kolejka[i].t_dezakt then
            begin
              t_min := kolejka[i].t_dezakt ;
              nr_dezakt := i ;
              zdarz := dezakt
            end ;
          end ;
        end ;
      end ; { procedury wybor_zdarz }

procedure wstaw_kanal (numerik : integer ; wezwanie : informacja) ;
{ ----- }
{procedura zapamietuje atrybuty zgl. w rejestrze stanu kanalu}

begin
  with kanal[numerik] do
    begin
      prior := wezwanie.prior ;
      t_pocz_zgl := t_sym ;
      t_kon_zgl := t_sym + wezwanie.trwanie ;
      t_dezakt_zgl := wezwanie.t_dezakt ;
    end ; {with kanal}
  end ; {procedury wstaw_kanal}

```

```

procedure wstaw_kolej (numerik : integer) ;
{ ----- }
{procedura wstawia do kolejki zgloszenie,}
{ktorego obsluga zostala przerwana}

```

```

begin
  with kanal[numerik] do
    begin
      wsk := wsk + 1 ;
      kolejka[wsk].kanal := numerik ;
      kolejka[wsk].prior := prior ;
      kolejka[wsk].trwanie := t_kon_zgl - t_pocz_zgl ;
      kolejka[wsk].t_dezakt := t_dezakt_zgl ;
    end ;
  end ; {procedury wstaw_kolej}

```

```

procedure generuj_zgl ;
{ ----- }

```

```

var
  i,k      : integer ;
  nr       : integer ;
  priorytet : hierar ; {priorytet zgloszenia}
  okres_wazn : real ; {okres dezaktualizacji}
  procent    : integer ; {zmienna losujaca atrybuty zgloszenia}
  zgloszenie : informacja ;

```

```

begin { czesc operacyjna generuj_zgl }
  nr_zgl := nr_zgl + 1 ;
  nr      := random(ilaktyw) + 1 ;
  nr      := kanczyn[nr] ;
  procent := random(100) ;
  for i := 1 to ilprior do
    if (zakresdez[i] <= procent) and (procent < zakresdez[i+1]) then
      begin
        priorytet := i ;
        okres_wazn := okresdez[i] ;
      end ;

```

```

with zgloszenie do
begin
  kanal      := nr ;
  prior      := priorytet ;
  trwanie    := - okres_zgl[nr,numerprzep] * ln(random) ;
  t_dezakt   := t_sym + trwanie + okres_wazn ;
end ;
t_zgl       := t_sym - (odstep_zgl * ln(random)) ;
il_zgl_wygen[priorytet] := il_zgl_wygen[priorytet] + 1 ;

{ obsluga kanalu }
i := zgloszenie.kanal ; {zmienna zapamietuje numer kanalu}
case kanal[i].stan of
zaklocony : begin
  wsk := wsk + 1 ;
  kolejka [wsk] := zgloszenie ;
end ;

wolny      : begin
  kanal[i].stan := zajety ;
  wstaw_kanal (i,zgloszenie) ;
  zbior_zgl     := zbior_zgl + [i] ;
end ; { dla stanu wolny }
zajety     : if zgloszenie.prior > kanal[i].prior then
  {priorytet zgloszenia wyzszy od}
  {zgloszenia obslug. w kanale}
  begin
    il_zgl_przerw[kanal[i].prior] :=
    il_zgl_przerw[kanal[i].prior] + 1 ;
    kanal[i].t_przerwane := kanal[i].t_przerwane +
    (t_sym - kanal[i].t_pocz_zgl) ;
    wstaw_kolej (i) ;
  {zgloszenie obslugiwane zostalo przerwane i wpisane do kolejki}
    wstaw_kanal (i,zgloszenie) ;
  {wpisanie do rejestru stanu kanalu nowego zgloszenia}
  end
  else
  {priorytet zgloszenia nizszy od zgloszenia obslug. w kanale}
  begin
    wsk := wsk + 1 ;
    kolejka[wsk] := zgloszenie ;
  end ;
end ; {case stan of}

```

```
end ; {procedury generuj_zgl}
```

```
procedure przedzaklocenie ;
```

```
{ ----- }
```

```
{inicjowanie zaklocenia}
```

```
var
```

```
nr          : integer ;
```

```
okresreak   : real ;
```

```
begin {czesc operacyjna inicjowania zaklocenia}
```

```
nr          := random(ilaktyw) + 1 ; {losowanie numeru kanalu}
```

```
nr          := kanczyn[nr] ;
```

```
{przekształcenie na numer kanalu czynnego}
```

```
okresreak   := minreak + (maxreak - minreak) * random ;
```

```
t_zakl      := t_sym + odstep_zakl[numerzakl] * random ;
```

```
{ obsluga kanalu }
```

```
if kanal[nr].stan = zajety then
```

```
begin
```

```
    kanal[nr].t_pocz_zakl := t_sym + okresreak ;
```

```
    zb_przedzakl          := zb_przedzakl + [nr] ;
```

```
end ;
```

```
end ; { procedury przedzaklocenie }
```

```
procedure zakl_reak (numerk:integer) ;
```

```
{ ----- }
```

```
{realizacja zaklocenia}
```

```
var
```

```
i          : integer ;
```

```
okreszakl  : real ;
```

```
begin
```

```
i          := numerk ;
```

```
zb_przedzakl := zb_przedzakl - [i] ;
```

```
if kanal[i].stan = zajety then
```

```
begin
```

```
    okreszakl := minzakl + (maxzakl - minzakl) * random ;
```

```
    with kanal[i] do
```

```

begin
  stan                := zaklocony ;
  t_kon_zakl         := t_sym + okreszakl ;
  il_zgl_przerw[prior] := il_zgl_przerw[prior] + 1 ;
  t_przerwane        := t_przerwane + (t_sym - t_pocz_zgl);
end ;
wstaw_kolej (i) ;
{zgloszenie przerwane przez zakloc. jest wstawiane do kolejki}
zbior_zgl          := zbior_zgl - [i] ;
zbior_zakl         := zbior_zakl + [i] ;
end ; {if kanal[i].stan}
end ;

procedure generuj_uszk ;
{ ----- }

var
  i,k : integer ;

begin { czesc operacyjna generuj_uszk }
  {rejestracja czynnych kanalow}
  ilaktyw := ilczyn[numeruszk] ;
  i := 0 ;
  for k := 1 to ilkanalow do
    if kanuszk[k,numeruszk] = jestsprawny then
      begin
        i := i + 1 ;
        kanczyn[i] := k ;
      end ;

  {sprawdzenie poprzedniego stanu kanalow }
  for i := 1 to ilkanalow do
    with kanal[i] do
      if kanuszk[i,numeruszk] = jestuszkodz then
        begin
          case stan of
            zajety : begin
              zbior_zgl := zbior_zgl - [i] ;
              il_zgl_przerw[prior] :=
                il_zgl_przerw[prior] + 1 ;
              ilzgluszk := ilzgluszk + 1 ;
              {zapamietanie zgloszenia przerwanego przez niszczenie}
              {tak, aby bilans zgloszen zgadzal sie}
            end ;
          end ;
        end ;
      end ;
    end ;
  end ;
end ;

```

```

    {zgłoszenia przerwane w inny sposób są wstawiane do}
    {kolejki i albo obsługiwane albo dezaktualizowane}
        end ;
    zaklony : zbior_zakl := zbior_zakl - [i] ;
    end ; {case stan of}
    stan := uszkodzony ;
    end ; {if kanuszk[i] oraz instrukcji with kanal[i]}
end ; {procedury generuj_uszk}

```

```

procedure usun_kolej (numer_k : indexkan) ;
{ ----- }
{wybor (według priorytetu) i wypisywanie zgłoszenia}
{oczekującego w kolejce}

```

```

var
    i,pr : integer ;
    {priorytet zgłoszenia wybieranego z kolejki}
    iprior : integer ;
    {numer zgłoszenia wybieranego z kolejki}
    koniec : real ;
    {zmienna zapamiętuje przewidywany czas zakończenia zgłoszenia}
    koniecdezakt : real ;
    {czas dezaktualizacji zgłoszenia w kolejce}
    warunek : boolean ;
    {zmienna określa czy w kolejce znaleziono}
    {zgłoszenie oczekujące na obsługę w danym kanale}

```

```

procedure usun (nr_kolej : integer) ;
{ ..... }
{blok usuwania zgłoszenia z kolejki}

```

```

var
    i : integer ;
begin
    if nr_kolej < wsk then
        for i := nr_kolej to (wsk - 1) do kolejka[i] := kolejka[i+1] ;
        wsk := wsk - 1 ;
    end ; {procedury usun}

```

```

begin
    koniec := tmax ;
    koniecdezakt := 0.0 ;

```

```

repeat
  pr := 0 ;
  {wybor zgloszenia}
  for i := 1 to wsk do
    if kolejka[i].kanal = numerk then
      if kolejka[i].prior > pr then
        begin
          pr           := kolejka[i].prior ;
          koniec       := t_sym + kolejka[i].trwanie ;
          koniecdezakt := kolejka[i].t_dezakt ;
          iprior       := i ;
        end ;
      {analiza atrybutow wybranego zgloszenia}
      if pr > 0 then
        if koniec > koniecdezakt then
          { w kolejce znaleziono zgloszenie zdezakt }
          begin
            il_zgl_dezakt[iprior] := il_zgl_dezakt[iprior] + 1 ;
            usun (iprior) ;
          end ;
        warunek := (pr = 0) or (wsk = 0) ;
        {nie bylo zgloszenia w kolejce lub bylo jedno,}
        {ktore bylo zdezaktualizowane}

until warunek or (koniec <= koniecdezakt) ;

if not(warunek) then
  { w kolejce znaleziono zgloszenie nie zdezakt }
  begin
    kanal[numerk].stan      := zajety ;
    wstaw_kanal (numerk, kolejka[iprior]) ;
    zbior_zgl      := zbior_zgl + [numerk] ;
    usun (iprior) ;
  end ; { if not (warunek) }
end ; { procedury usun_kolej }

```

```

procedure koniec_zgl (numerik : indexkan) ;
{ ----- }

var
  i : integer ;

begin { czesc operacyjna koniec_zgl }
  i := numerik ;
  zbior_zgl := zbior_zgl - [numerik];
  with kanal[i] do
    begin
      stan := wolny ;
      il_zgl_obs1[prior] := il_zgl_obs1[prior] + 1 ;
      t_przek := t_przek + (t_sym - t_pocz_zgl) ;
    end ; {with}
  if wsk > 0 then usun_kolej (numerik) ;
end ;

```

```

procedure koniec_zakl (numerik : indexkan) ;
{ ----- }

var
  i : integer ;

begin
  i := numerik ;
  zbior_zakl := zbior_zakl - [numerik] ;
  with kanal[i] do
    begin
      t_wylacz := t_wylacz + (t_kon_zakl - t_pocz_zakl) ;
    end ; {with}
  if wsk > 0 then usun_kolej (numerik) ;
end ;

```

```

procedure dezaktual (nr_dezakt : integer) ;
{ ----- }

var
  i,n : integer ;

begin
  n := nr_dezakt ;
  if nr_dezakt < wsk then
    for i := nr_dezakt to wsk-1 do
      kolejka [i] := kolejka [i+1] ;
    wsk := wsk -1 ;
    il_zgl_dezakt[kolejka[n].prior] :=
    il_zgl_dezakt[kolejka[n].prior] + 1 ;
  end ;

procedure wydruk (ilosc : tabl ; var suma : integer) ;
{ ----- }
{wydruk odpowiedniej sumy statystycznej zgloszen }
var
  i : integer ;

begin
  suma := 0 ;
  for i := ilprior downto 1 do
    begin
      write (przebieg,ilosc[i]:6) ; suma := suma + ilosc[i] ;
    end ;
    writeln (przebieg,suma:6);
  end ;

begin { czesc glowna symulacji }
{ ***** }
  inicjacja ;
  repeat
    wybor_zdarz ( zdarzenie , t_zdarz , kan_aktyw ,nr_kolej) ;
    t_sym := t_zdarz ;
    case zdarzenie of
      zglosz      : generuj_zgl ;
      przedzakl  : przedzaklocenie ;
    end ;
  until ;
end ;

```

```

zakloc      : zakl_reak (kan_aktyw) ;
uszkodz     : generuj_uszk ;
kon_zgl     : koniec_zgl (kan_aktyw);
kon_zakl    : koniec_zakl (kan_aktyw);
dezakt      : dezaktual (nr_kolej);
end ; { case zdarzenie of }
until t_sym >= tmax ;

{ wydruki statystyczne }
{-----}
gwiazda (2) ;
writeln (przebieg, '*STATYSTYKA DLA CZASU SYMULACJI ',
tmax:7:2, ' MIN') ;
write (przebieg, '*priorytet                : ') ;
for k := 1 to ilprior do write (przebieg, k:6) ;
writeln (przebieg, ' (suma) ') ;
for k := ilprior downto 1 do
  if il_zgl_wygen[k] > 0.0 then
    oper[k, numerprzep, numerzakl, numeruszk] :=
      il_zgl_obs1[k]/il_zgl_wygen[k];
write (przebieg, '*ilosc zgloszen wygenerowanych : ') ;
wydruk (il_zgl_wygen, sumwygen) ;
writeln (przebieg, '*-----',
'-----') ;
write (przebieg, '*ilosc zgloszen obsluzonych      : ') ;
wydruk (il_zgl_obs1, sumobs1) ;
write (przebieg, '*ilosc zgloszen zdezaktual.      : ') ;
wydruk (il_zgl_dezakt, sumdezakt) ;
num := 0 ;
for k := 1 to ilkanalow do
  if k in zbior_zgl then num := num + 1 ;
writeln (przebieg, '*ilosc zgloszen trwajacych      : ',
' ':26, num:4) ;
writeln (przebieg, '*ilosc zgloszen w kolejce      : ',
' ':26, wsk:4) ;
writeln (przebieg, '*ilosc zgl przerwanych uszkodz.: ',
' ':26, ilzgluszk :4);
s := sumobs1 + sumdezakt + num + wsk + ilzgluszk ;
writeln (przebieg, '* ', '-----':63) ;
writeln (przebieg, '* ', 'suma : ':58, s:4) ;
gwiazda (1) ;
write (przebieg, '*ilosc zgloszen przerwanych      : ') ;
wydruk (il_zgl_przerw, sumprzerw) ;

```

```

{ obliczenia wskaźnika funkcjonowania sieci }
{ ----- }
{ilości przesłanej informacji w poszczególnych}
{kanalach , relacjach i w całej sieci}
{wskaźniki funkcjonowania relacji}
{-----}
liczba_zgl := jednczas/odstep_zgl/ilkanalow;
i := numerprzep ;
czasef := 0.0 ;
mianownik := 0.0 ;
suma := 0.0 ;
for num := 1 to ilaktyw do
begin
  k := kanczyn[num] ;
  czasef := czasef + kanal[k].t_przek ;
  ef_rel[relacja[k]] := ef_rel[relacja[k]] + kanal[k].t_przek;
  mian := kanal[k].t_przek +
  kanal[k].t_przerwane + kanal[k].t_wylacz ;
  przepust := ((1 - przepkan[k]) * 90 +
  przepkan[k] * przepustowosc[i]);
  if mian > 0.0 then
  begin
    wsk_kan := wskstrat * kanal[k].t_przek/mian ;
    inf_kan[k] := wsk_kan * liczba_zgl *
    okres_zgl[k,przepaktual] * przepust;
    mianownik := mianownik + mian ;
    mian_rel[relacja[k]] := mian_rel[relacja[k]] + mian ;
    suma := suma + inf_kan[k] ;
  end ; {if mian>0.0}
end ;
if mianownik > 0.0 then
  wsksiec[numerprzep,numerzakl,numeruszk] :=
  wskstrat * czasef/mianownik
else
  wsksiec[numerprzep,numerzakl,numeruszk] := 0.0 ;

for k := 1 to ilrelacji do
  if mian_rel[k] > 0.0 then
    wsk_rel[k,numerprzep,numerzakl,numeruszk] :=
    wskstrat * ef_rel[k]/mian_rel[k]
  else
    wsk_rel[k,numerprzep,numerzakl,numeruszk] := 0.0;

```

```

iloscinf[numerprzep,numerzakl,numeruszk] := suma ;
if numerprzep = przepaktual then
  infakt[numerzakl,numeruszk] := suma ;

```

```

{efektywnosc systemu laczności}

```

```

{-----}

```

```

efsys_a[numerprzep,numerzakl,numeruszk] := suma/ilpotrzeb ;
efsys_b[numerprzep,numerzakl,numeruszk] :=
(suma-infakt[numerzakl,numeruszk])/
(ilpotrzeb-infakt[numerzakl,numeruszk]);

```

```

end ; { procedury symulacja }

```

```

procedure drukuj (numerprzep,numerzakl : integer);

```

```

{-----}

```

```

var

```

```

  i,k      : integer ;

```

```

begin

```

```

  odstep (2) ;

```

```

  writeln (przebieg,'wyniki dla przepust. ',

```

```

  przepustowosc[numerprzep]:3:1,' zn/min i odstepu zakloc ',

```

```

  odstep_zakl[numerzakl]:6:1,' min');

```

```

  writeln (przebieg,'-----',
  '-----') ;

```

```

  odstep (1) ;

```

```

  writeln (przebieg,'wskaznik funkcjonowania relacji');

```

```

  write(przebieg,'nr. relacji ');

```

```

  for i := 1 to iluszk do

```

```

    write (przebieg,' uszk',procentuszk[i]:3,'% ');

```

```

  odstep (1) ;

```

```

  for k := 1 to ilrelacji do

```

```

    begin

```

```

      write (przebieg,' relacja ',k:2);

```

```

      for i := 1 to iluszk do

```

```

        write (przebieg,wsk_rel[k,numerprzep,numerzakl,i]:11:4);

```

```

      odstep (1) ;

```

```

    end ;

```

```

odstep (1) ;
writeln (przebieg,'uszkodzenia[%]  wskaźnik funkc.  ilość inf. ',
' efektywnosc_a  efekt_b' ) ;
for i := 1 to iluszk do
begin
  writeln (przebieg,' ',procentuszk[i]:8,
  wsksiac[numerprzep,numerzakl,i]:16:4,
  iloscinf[numerprzep,numerzakl,i]:17:3,
  efsys_a[numerprzep,numerzakl,i]:12:3,
  efsys_b[numerprzep,numerzakl,i]:12:3);
end ;
odstep (1) ;
writeln (przebieg,'operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen' ) ;
write (przebieg,'priorytet                               : ' ) ;
for k := 1 to ilprior do write (przebieg,k:6) ;
odstep (1) ;
writeln (przebieg,'stopien uszkodzen[%]',' ':23,'operatywnosc' ) ;
for i := 1 to iluszk do
begin
  write (przebieg,procentuszk[i]:10,' ':22) ;
  for k := ilprior downto 1 do
    write (przebieg,oper[k,numerprzep,numerzakl,i]:6:2) ;
  odstep (1) ;
end ;
end ; {procedury drukuj}

begin

{ CZESC GLOWNA PROGRAMU }
{*****}

assign (przebieg,'przebieg.doc' ) ;
rewrite (przebieg) ;

nazwa := 'wyniki' ;
clrscr ;
writeln('  PODAJ PARAMETRY SYMULACJI :' ) ;
write('maksymalny czas symulacji [min]                               : ' ) ;
readln(tmax) ;
write('numer zbioru wynikow                                         : ' ) ;
readln(str) ;
nazwa := nazwa + str ;

```

```

odstep (4) ;
writeln (przebieg, 'WYNIKI PROGRAMU DLA DANYCH :') ;
writeln (przebieg, 'czas symulacji          - ', tmax:7:0,
' minut') ;
writeln (przebieg, 'ilosc potrzeb dla czasu 60 min - ', ilpotrzeb:7,
' znakow');
writeln (przebieg, '*****',
'*****') ;

for nr_uszk := 1 to iluszk do los_uszk (nr_uszk) ;
odstep_zakl[1] := 5*tmax ;
for nrprzep := 1 to ilprzep do
begin
  odstep (3);
  if nrprzep = przepaktual then
    writeln (przebieg, 'STAN AKTUALNY PRZEPUSTOWOSCI')
  else
    writeln (przebieg, 'WARIANT PRZEPUSTOWOSCI');
  odstep (1) ;
  writeln (przebieg, 'WYNIKI DLA PRZEPUSTOWOSCI ',
  przepustowosc[nrprzep]:5:1, ' ZN/MIN') ;
  writeln (przebieg, '*****');
  czas_zgl (nrprzep) ;
  odstep (3);
  jestzakl := 0 ;
  writeln (przebieg, 'WYNIKI DLA STANU BEZ ZAKLOCEN');
  writeln (przebieg, '-----');
  for nr_uszk := 1 to iluszk do
    symulacja (nrprzep, zaklaktual, nr_uszk) ;
  drukuj (nrprzep, zaklaktual) ;
  odstep (3) ;
  jestzakl := 1 ;
  writeln (przebieg, 'WYNIKI DLA STANU Z ZAKLOCENIAMI');
  writeln (przebieg, '-----');
  for nr_zakl := 2 to ilzakl do
  begin
    for nr_uszk := 1 to iluszk do
      symulacja (nrprzep, nr_zakl, nr_uszk) ;
    drukuj (nrprzep, nr_zakl) ;
  end ; {for nr_zakl}

```

```
close (przebieg) ;

assign (source, 'przebieg.doc') ;
reset (source) ;
assign (wyniki, nazwa) ;
rewrite(wyniki) ;

{przeslanie wynikow programu z pliku przebieg}
{na ekran i do pliku wyniki}
while not eof(source) do
begin
  i := 0 ;
  repeat
    readln (source, buffer) ;
    if buffer[1] <> '*' then
      begin
        i := i + 1 ;
        writeln(wyniki, buffer) ;
      end ;
  until i = 15 ;
  { ch := ' ' ;
  writeln ; writeln ;
  writeln ('      WCISNIJ KLAWISZ OPRO CZ SPACJI') ;
  writeln ; writeln ;
  repeat ch := readkey ;
  until ch <> ' ' ; }
end ;

close (source) ;
close (wyniki) ;

end . { programu }
```

WYNIKI PROGRAMU DLA DANYCH :

czas symulacji - 1000 minut
 ilość potrzeb dla czasu 60 min - 13400 znaków

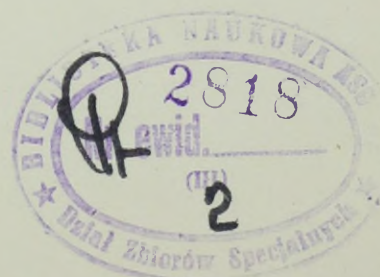
W A R I A N T I

STAN AKTUALNY PRZEPUSTOWOŚCI - 90 zn/min. w kan. tlf i 120 zn/min w kan. TD

WYNIKI DLA PRZEPUSTOWOŚCI (120.0 ZN/MIN) $\bar{C}_{eksp1} = 100$ zn/min

optymalne przepust. i okresy zgłoszeń dla wariantu 120.0 zn/min

{ dla kanału 1 : 75.48 zn/min 2.514 min
{ dla kanału 2 : 118.87 zn/min 0.866 min
{ dla kanału 3 : 75.48 zn/min 2.514 min
{ dla kanału 4 : 53.69 zn/min 1.274 min
{ dla kanału 5 : 158.77 zn/min 0.858 min
{ dla kanału 6 : 62.71 zn/min 3.351 min
{ dla kanału 7 : 57.24 zn/min 3.016 min
{ dla kanału 8 : 79.49 zn/min 1.307 min
{ dla kanału 9 : 79.49 zn/min 1.307 min
{ dla kanału 10 : 68.99 zn/min 2.840 min
{ dla kanału 11 : 68.99 zn/min 2.840 min
{ dla kanału 12 : 43.46 zn/min 2.632 min
{ dla kanału 13 : 104.10 zn/min 1.248 min
{ dla kanału 14 : 43.67 zn/min 2.646 min
{ dla kanału 15 : 43.46 zn/min 2.632 min
{ dla kanału 16 : 54.22 zn/min 2.148 min
{ dla kanału 17 : 73.87 zn/min 1.694 min
{ dla kanału 18 : 86.74 zn/min 1.237 min
{ dla kanału 19 : 89.11 zn/min 3.875 min
{ dla kanału 20 : 89.11 zn/min 3.875 min
{ dla kanału 21 : 59.12 zn/min 3.130 min
{ dla kanału 22 : 158.77 zn/min 0.858 min
{ dla kanału 23 : 98.13 zn/min 1.445 min
{ dla kanału 24 : 85.80 zn/min 3.697 min



WYNIKI DLA STANU BEZ ZAKLOCEN

wyniki dla przepust 120.0 zn/min i odstepu zakloc 5000.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2782	0.2833	0.2651	0.2886	0.0000
relacja 2	0.2892	0.2907	0.2954	0.2897	0.0000
relacja 3	0.2676	0.2698	0.2631	0.2564	0.0000
relacja 4	0.2829	0.2791	0.2624	0.2776	0.2595
relacja 5	0.2920	0.2873	0.2862	0.2847	0.2609
relacja 6	0.2770	0.2705	0.2760	0.2763	0.2412
relacja 7	0.2909	0.2804	0.2885	0.2816	0.2642
relacja 8	0.2811	0.2580	0.2591	0.2803	0.2520
relacja 9	0.2942	0.2732	0.2707	0.2698	0.2934
relacja 10	0.2727	0.2874	0.2755	0.2658	0.2900

uszkodzenia[%]	wskaznik funkco.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2829	7554.922	0.564	0.000
10	0.2767	6934.765	0.518	0.000
20	0.2747	5625.254	0.420	0.000
35	0.2767	5117.834	0.382	0.000
50	0.2613	3523.237	0.263	0.000

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.97	0.95	0.91	0.88
10	0.96	0.96	0.86	0.87
20	0.96	0.94	0.87	0.86
35	0.99	0.91	0.83	0.85
50	0.97	0.92	0.82	0.81

WYNIKI DLA STANU Z ZAKŁOCENIAMI

wyniki dla przepust 120.0 zn/min i odstepu zakłoc 20.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2663	0.2871	0.2933	0.2743	0.2615
relacja 2	0.2957	0.2852	0.2905	0.2823	0.2737
relacja 3	0.2713	0.2193	0.2908	0.2726	0.2672
relacja 4	0.0852	0.2876	0.0000	0.2493	0.0000
relacja 5	0.2945	0.2972	0.2749	0.2766	0.2740
relacja 6	0.2893	0.2560	0.2534	0.2599	0.2497
relacja 7	0.2750	0.2801	0.2723	0.2718	0.2553
relacja 8	0.2706	0.2745	0.2573	0.2725	0.2768
relacja 9	0.2787	0.2654	0.2940	0.2637	0.0000
relacja 10	0.2686	0.2578	0.2775	0.0000	0.2232

uszkodzenia[%]	wskaznik funk.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2764	7036.600	0.525	0.000
10	0.2752	6716.770	0.501	0.000
20	0.2734	5417.666	0.404	0.000
35	0.2704	4968.875	0.371	0.000
50	0.2579	3678.035	0.274	0.000

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.79	0.82	0.77	0.77
10	0.86	0.76	0.74	0.75
20	0.72	0.67	0.67	0.65
35	0.70	0.73	0.64	0.63
50	0.66	0.56	0.51	0.56

wyniki dla przepust 120.0 zn/min i odstepu zakloc 10.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2718	0.2795	0.2639	0.2675	0.2463
relacja 2	0.2893	0.2701	0.2840	0.2629	0.0000
relacja 3	0.2592	0.2311	0.2656	0.0000	0.2078
relacja 4	0.2790	0.2669	0.2644	0.2504	0.0000
relacja 5	0.2863	0.2645	0.2712	0.2816	0.0000
relacja 6	0.2787	0.2561	0.2593	0.2719	0.2449
relacja 7	0.2810	0.2784	0.2674	0.2657	0.2722
relacja 8	0.2182	0.2549	0.0000	0.2509	0.1797
relacja 9	0.2786	0.2925	0.2886	0.2615	0.0000
relacja 10	0.2784	0.2643	0.2934	0.2572	0.2699

uszkodzenia[%]	wskaznik funk.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2712	6791.999	0.507	0.000
10	0.2702	6193.130	0.462	0.000
20	0.2707	4785.613	0.357	0.000
35	0.2641	4576.403	0.342	0.000
50	0.2512	3451.765	0.258	0.000

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

prioritytet	:	1	2	3	4
stopien uszkodzen[%]		operatywnosc			
0		0.76	0.75	0.72	0.72
10		0.60	0.58	0.55	0.56
20		0.58	0.64	0.59	0.58
35		0.50	0.48	0.48	0.44
50		0.29	0.32	0.24	0.22

wyniki dla przepust 120.0 zn/min i odstepu zakloc 5.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2867	0.2550	0.2185	0.2631	0.1237
relacja 2	0.2590	0.2813	0.2764	0.2680	0.2593
relacja 3	0.2660	0.2605	0.1823	0.2338	0.0000
relacja 4	0.2827	0.2337	0.1354	0.0000	0.1466
relacja 5	0.2781	0.2370	0.2687	0.2306	0.2352
relacja 6	0.2645	0.2516	0.2608	0.2216	0.2689
relacja 7	0.2777	0.2443	0.2834	0.2518	0.2629
relacja 8	0.2567	0.2367	0.2683	0.2178	0.0000
relacja 9	0.2622	0.2610	0.2653	0.2764	0.0000
relacja 10	0.2520	0.2716	0.2450	0.0000	0.2188

uszkodzenia[%]	wskaznik funkco.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2734	6533.441	0.488	0.000
10	0.2545	5592.763	0.417	0.000
20	0.2621	5054.148	0.377	0.000
35	0.2540	3799.268	0.284	0.000
50	0.2402	2085.044	0.156	0.000

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.58	0.59	0.55	0.57
10	0.49	0.44	0.44	0.46
20	0.47	0.43	0.36	0.39
35	0.29	0.26	0.28	0.29
50	0.08	0.11	0.09	0.10

wyniki dla przepust 120.0 zn/min i odstepu zakloc 2.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2056	0.2544	0.2258	0.2252	0.1873
relacja 2	0.2708	0.2720	0.2625	0.2195	0.0599
relacja 3	0.2032	0.1832	0.0000	0.0192	0.0742
relacja 4	0.0975	0.1992	0.2106	0.2567	0.1489
relacja 5	0.2093	0.2768	0.2656	0.2477	0.2714
relacja 6	0.2529	0.1763	0.1908	0.1978	0.0000
relacja 7	0.2659	0.1714	0.2159	0.2456	0.2322
relacja 8	0.2348	0.0467	0.1700	0.1829	0.0229
relacja 9	0.2709	0.2276	0.2197	0.2465	0.2565
relacja 10	0.2422	0.2542	0.2501	0.0000	0.2135

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2510	4919.280	0.367	0.000
10	0.2419	3602.478	0.269	0.000
20	0.2221	3399.546	0.254	0.000
35	0.2341	3360.820	0.251	0.000
50	0.2045	2021.168	0.151	0.000

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

priorytet	:	1	2	3	4
stopien uszkodzen[%]		operatywnosc			
0		0.30	0.29	0.27	0.28
10		0.28	0.28	0.27	0.28
20		0.23	0.18	0.15	0.20
35		0.20	0.18	0.17	0.15
50		0.14	0.11	0.09	0.09

W A R I A N T I I

WARIANT PRZEPUSTOWOSCI -90 zn/min w kan. tlf i 240 zn/min. w kan. TD

WYNIKI DLA PRZEPUSTOWOSCI(240.0 ZN/MIN) $\bar{C}_{eksp1} = 150$ zn/min

optymalne przepust. i okresy zgloszen dla wariantu 240.0 zn/min

01	dla kanalu 1	: 122.46 zn/min	1.435 min
	dla kanalu 2	: 192.78 zn/min	0.467 min
08	dla kanalu 3	: 122.46 zn/min	1.435 min
	dla kanalu 4	: 87.12 zn/min	0.745 min
02	dla kanalu 5	: 257.39 zn/min	0.435 min
	dla kanalu 6	: 101.75 zn/min	1.941 min
03	dla kanalu 7	: 92.88 zn/min	1.757 min
	dla kanalu 8	: 128.97 zn/min	0.742 min
04	dla kanalu 9	: 128.97 zn/min	0.742 min
	dla kanalu 10	: 111.94 zn/min	1.633 min
05	dla kanalu 11	: 111.94 zn/min	1.633 min
	dla kanalu 12	: 70.53 zn/min	1.556 min
06	dla kanalu 13	: 168.85 zn/min	0.687 min
	dla kanalu 14	: 70.87 zn/min	1.564 min
07	dla kanalu 15	: 70.53 zn/min	1.556 min
	dla kanalu 16	: 87.99 zn/min	1.255 min
07	dla kanalu 17	: 119.84 zn/min	0.969 min
	dla kanalu 18	: 140.72 zn/min	0.696 min
09	dla kanalu 19	: 144.56 zn/min	2.176 min
	dla kanalu 20	: 144.56 zn/min	2.176 min
09	dla kanalu 21	: 95.93 zn/min	1.820 min
	dla kanalu 22	: 257.39 zn/min	0.435 min
08	dla kanalu 23	: 159.17 zn/min	0.802 min
	dla kanalu 24	: 139.19 zn/min	2.084 min
10			

WYNIKI DLA STANU BEZ ZAKLOCEN

wyniki dla przepust 240.0 zn/min i odstepu zakloc 5000.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2929	0.2984	0.0000	0.2888	0.0000
relacja 2	0.2998	0.2935	0.3000	0.2918	0.2908
relacja 3	0.2720	0.2898	0.0000	0.2810	0.2830
relacja 4	0.2866	0.2723	0.2913	0.2741	0.0000
relacja 5	0.2870	0.2988	0.2872	0.2845	0.2931
relacja 6	0.2901	0.2787	0.2815	0.2793	0.2742
relacja 7	0.2912	0.2838	0.2876	0.2880	0.2840
relacja 8	0.2899	0.2798	0.2875	0.0000	0.2761
relacja 9	0.2948	0.2773	0.2895	0.2862	0.2860
relacja 10	0.2935	0.2930	0.2876	0.2931	0.2915

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2902	10558.670	0.788	0.514
10	0.2848	9501.718	0.709	0.397
20	0.2875	8947.779	0.668	0.427
35	0.2849	6549.005	0.489	0.173
50	0.2829	5725.773	0.427	0.223

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.99	0.99	0.97	0.96
10	0.99	0.97	0.94	0.95
20	0.98	0.98	0.93	0.96
35	0.98	0.95	0.94	0.95
50	0.98	0.97	0.90	0.92

WYNIKI DLA STANU Z ZAKŁOCENIAMI

wyniki dla przepust 240.0 zn/min i odstepu zakloc 20.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2845	0.2928	0.2760	0.2853	0.0000
relacja 2	0.2943	0.2838	0.2944	0.2911	0.2923
relacja 3	0.2893	0.2952	0.2808	0.2772	0.2446
relacja 4	0.2993	0.2902	0.2943	0.2666	0.2556
relacja 5	0.2874	0.2836	0.2930	0.2903	0.2830
relacja 6	0.2895	0.2872	0.2687	0.2220	0.2731
relacja 7	0.2895	0.2844	0.2817	0.2767	0.2748
relacja 8	0.2839	0.2851	0.2348	0.0000	0.0000
relacja 9	0.2914	0.2850	0.2968	0.2816	0.0000
relacja 10	0.2771	0.2963	0.2636	0.2918	0.2947

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2877	10346.556	0.772	0.520
10	0.2880	9595.235	0.716	0.431
20	0.2815	7969.472	0.595	0.320
35	0.2805	5776.530	0.431	0.096
50	0.2748	4996.658	0.373	0.136

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.85	0.87	0.82	0.87
10	0.90	0.90	0.88	0.89
20	0.77	0.78	0.77	0.76
35	0.86	0.87	0.83	0.85
50	0.66	0.70	0.66	0.68

wyniki dla przepust 240.0 zn/min i odstepu zakloc 10.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2796	0.2859	0.2782	0.0000	0.2796
relacja 2	0.2995	0.2980	0.2845	0.2974	0.0000
relacja 3	0.2840	0.2898	0.2837	0.2472	0.2314
relacja 4	0.2228	0.2847	0.2810	0.2669	0.0000
relacja 5	0.2961	0.2991	0.2789	0.2942	0.2885
relacja 6	0.2900	0.2585	0.2838	0.2834	0.2724
relacja 7	0.2804	0.2807	0.2784	0.2737	0.2806
relacja 8	0.2871	0.2665	0.2823	0.2684	0.2502
relacja 9	0.2918	0.2422	0.2950	0.2835	0.2890
relacja 10	0.2754	0.2911	0.2868	0.2796	0.0000

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2833	10339.921	0.772	0.537
10	0.2823	9595.597	0.716	0.472
20	0.2815	7444.668	0.556	0.309
35	0.2795	6369.954	0.475	0.203
50	0.2753	4869.814	0.363	0.143

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

priorytet	:	1	2	3	4
stopien uszkodzen[%]		operatywnosc			
0		0.93	0.90	0.91	0.87
10		0.80	0.78	0.76	0.79
20		0.73	0.76	0.75	0.76
35		0.68	0.64	0.63	0.64
50		0.75	0.75	0.69	0.71

wyniki dla przepust 240.0 zn/min i odstepu zakloc 5.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2654	0.2779	0.2533	0.2764	0.2666
relacja 2	0.2885	0.2901	0.2834	0.2903	0.1278
relacja 3	0.0000	0.2666	0.2607	0.2370	0.0000
relacja 4	0.2888	0.2485	0.2430	0.0000	0.2697
relacja 5	0.2904	0.2908	0.2887	0.0000	0.0000
relacja 6	0.2685	0.2655	0.2478	0.0000	0.2460
relacja 7	0.2782	0.2760	0.2618	0.2811	0.2606
relacja 8	0.2422	0.2735	0.2655	0.1970	0.2580
relacja 9	0.2733	0.2566	0.2764	0.2316	0.0000
relacja 10	0.2933	0.2819	0.1959	0.2733	0.0000

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2753	9334.172	0.697	0.408
10	0.2761	8687.404	0.648	0.396
20	0.2657	6741.376	0.503	0.202
35	0.2756	6157.241	0.459	0.246
50	0.2599	5098.199	0.380	0.266

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.65	0.62	0.68	0.64
10	0.62	0.63	0.61	0.65
20	0.56	0.63	0.58	0.59
35	0.63	0.65	0.66	0.64
50	0.23	0.25	0.29	0.27

wyniki dla przepust 240.0 zn/min i odstepu zakloc 2.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2587	0.2524	0.2608	0.2648	0.2598
relacja 2	0.2976	0.2867	0.1981	0.2717	0.0000
relacja 3	0.0000	0.2384	0.0017	0.2675	0.2702
relacja 4	0.2578	0.2257	0.2699	0.2652	0.0000
relacja 5	0.2629	0.2786	0.2409	0.0946	0.0000
relacja 6	0.2051	0.2397	0.2827	0.0489	0.2562
relacja 7	0.2630	0.2665	0.2543	0.2635	0.2439
relacja 8	0.1227	0.2575	0.2415	0.2555	0.0000
relacja 9	0.2681	0.2895	0.2180	0.2461	0.2496
relacja 10	0.2690	0.2311	0.1683	0.2630	0.0000

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2592	7719.754	0.576	0.330
10	0.2624	7869.997	0.587	0.436
20	0.2535	6288.200	0.469	0.289
35	0.2620	4524.523	0.338	0.116
50	0.2501	4155.149	0.310	0.188

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.53	0.50	0.48	0.50
10	0.46	0.42	0.43	0.48
20	0.20	0.26	0.25	0.30
35	0.32	0.33	0.30	0.32
50	0.25	0.21	0.20	0.22

W A R I A N T I I I

WARIANT PRZEPUSTOWOSCI - 90 zn/min w kan. tlf i 540 zn/min w kan. TD

WYNIKI DLA PRZEPUSTOWOSCI(540.0 ZN/MIN) $C_{eksp1} = 300$ zn/min

optymalne przepust. i okresy zgloszen dla wariantu 540.0 zn/min

1	{ dla kanalu 1 : 239.91 zn/min 0.692 min
	{ dla kanalu 2 : 377.55 zn/min 0.217 min
2	{ dla kanalu 3 : 239.91 zn/min 0.692 min
	{ dla kanalu 4 : 170.71 zn/min 0.366 min
3	{ dla kanalu 5 : 503.94 zn/min 0.195 min
	{ dla kanalu 6 : 199.36 zn/min 0.946 min
4	{ dla kanalu 7 : 181.98 zn/min 0.860 min
	{ dla kanalu 8 : 252.65 zn/min 0.357 min
5	{ dla kanalu 9 : 252.65 zn/min 0.357 min
	{ dla kanalu 10 : 219.31 zn/min 0.792 min
6	{ dla kanalu 11 : 219.31 zn/min 0.792 min
	{ dla kanalu 12 : 138.20 zn/min 0.769 min
	{ dla kanalu 13 : 330.71 zn/min 0.324 min
	{ dla kanalu 14 : 138.87 zn/min 0.773 min
7	{ dla kanalu 15 : 138.20 zn/min 0.769 min
	{ dla kanalu 16 : 172.41 zn/min 0.616 min
	{ dla kanalu 17 : 234.78 zn/min 0.468 min
	{ dla kanalu 18 : 275.66 zn/min 0.333 min
8	{ dla kanalu 19 : 283.17 zn/min 1.038 min
	{ dla kanalu 20 : 283.17 zn/min 1.038 min
9	{ dla kanalu 21 : 187.95 zn/min 0.889 min
	{ dla kanalu 22 : 503.94 zn/min 0.195 min
0	{ dla kanalu 23 : 311.78 zn/min 0.380 min
	{ dla kanalu 24 : 272.67 zn/min 0.997 min

WYNIKI DLA STANU BEZ ZAKLOCEN

wyniki dla przepust 540.0 zn/min i odstepu zakloc 5000.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2937	0.2987	0.2895	0.2916	0.2951
relacja 2	0.2983	0.2991	0.2958	0.0000	0.0000
relacja 3	0.2999	0.2961	0.0000	0.0000	0.0000
relacja 4	0.2910	0.0000	0.2964	0.0000	0.2913
relacja 5	0.2988	0.2931	0.2998	0.2939	0.2947
relacja 6	0.2935	0.2917	0.2946	0.2912	0.2846
relacja 7	0.2902	0.2952	0.2942	0.2907	0.2826
relacja 8	0.2921	0.2901	0.2887	0.2954	0.2888
relacja 9	0.2935	0.2921	0.2901	0.2941	0.2753
relacja 10	0.3000	0.2912	0.3000	0.2994	0.2941

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2937	17839.696	1.331	1.760
10	0.2938	17093.210	1.276	1.571
20	0.2929	16095.098	1.201	1.347
35	0.2927	12983.402	0.969	0.950
50	0.2868	10465.985	0.781	0.703

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

priorytet	:	operatywnosc			
		1	2	3	4
stopien uszkodzen[%]					
0		1.00	1.00	0.98	1.00
10		0.99	0.99	0.98	0.99
20		1.00	0.99	0.99	0.99
35		0.99	0.99	0.98	0.99
50		0.98	0.98	0.98	0.99

WYNIKI DLA STANU Z ZAKŁOCENIAMI

wyniki dla przepust 540.0 zn/min i odstepu zakloc 20.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2959	0.2903	0.2841	0.2999	0.2999
relacja 2	0.2982	0.2849	0.2985	0.2945	0.2980
relacja 3	0.2978	0.2895	0.2949	0.2951	0.0000
relacja 4	0.2877	0.2964	0.2688	0.2855	0.0000
relacja 5	0.2991	0.3000	0.2994	0.0000	0.0000
relacja 6	0.2953	0.2884	0.2991	0.2933	0.2691
relacja 7	0.2938	0.2972	0.2905	0.2926	0.2901
relacja 8	0.2944	0.2860	0.2818	0.2872	0.2398
relacja 9	0.2931	0.2743	0.2842	0.2897	0.2655
relacja 10	0.2936	0.2851	0.2990	0.2957	0.2807

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2945	17961.486	1.340	1.717
10	0.2907	15566.741	1.162	1.324
20	0.2886	12957.069	0.967	0.945
35	0.2918	13481.485	1.006	1.010
50	0.2810	9905.124	0.739	0.641

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.98	1.00	0.99	1.00
10	0.92	0.94	0.90	0.92
20	0.94	0.97	0.95	0.96
35	0.98	0.97	0.94	0.95
50	0.80	0.76	0.79	0.79

wyniki dla przepust 540.0 zn/min i odstepu zakloc 10.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2954	0.2755	0.2912	0.2900	0.0000
relacja 2	0.2977	0.2994	0.2788	0.2896	0.2975
relacja 3	0.2999	0.2938	0.2676	0.0000	0.1114
relacja 4	0.2768	0.3000	0.2656	0.2854	0.0000
relacja 5	0.3000	0.2983	0.2939	0.2979	0.0000
relacja 6	0.2940	0.2877	0.2875	0.2913	0.2773
relacja 7	0.2921	0.2877	0.2872	0.2872	0.2806
relacja 8	0.2907	0.2752	0.0000	0.2812	0.2729
relacja 9	0.2801	0.2984	0.2604	0.2829	0.2798
relacja 10	0.2929	0.2835	0.2753	0.2704	0.2759

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2927	17653.879	1.317	1.644
10	0.2878	16532.364	1.234	1.435
20	0.2817	12478.239	0.931	0.893
35	0.2846	11063.831	0.826	0.735
50	0.2776	8400.629	0.627	0.497

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.84	0.84	0.87	0.83
10	0.92	0.92	0.90	0.92
20	0.74	0.76	0.77	0.79
35	0.84	0.82	0.78	0.80
50	0.76	0.74	0.72	0.75

wyniki dla przepust 540.0 zn/min i odstepu zakloc 5.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2993	0.2890	0.2815	0.2641	0.2886
relacja 2	0.2957	0.2995	0.2971	0.2937	0.3000
relacja 3	0.2537	0.2802	0.2923	0.0000	0.0000
relacja 4	0.2884	0.2040	0.2635	0.0000	0.2670
relacja 5	0.2958	0.2992	0.2882	0.0000	0.0000
relacja 6	0.2824	0.2924	0.2838	0.2852	0.0576
relacja 7	0.2907	0.2859	0.2825	0.2842	0.2800
relacja 8	0.2902	0.2911	0.2783	0.2732	0.2416
relacja 9	0.2978	0.2705	0.2803	0.2624	0.0000
relacja 10	0.2944	0.2822	0.2883	0.2597	0.0000

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2911	17728.017	1.323	1.630
10	0.2869	16132.797	1.204	1.350
20	0.2824	14546.363	1.086	1.137
35	0.2788	11704.055	0.873	0.823
50	0.2763	7331.184	0.547	0.464

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.95	0.97	0.94	0.96
10	0.85	0.85	0.85	0.84
20	0.88	0.83	0.85	0.85
35	0.75	0.69	0.68	0.71
50	0.47	0.48	0.45	0.48

wyniki dla przepust 540.0 zn/min i odstepu zakloc 2.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2670	0.2816	0.2844	0.2437	0.2266
relacja 2	0.2957	0.2795	0.3000	0.3000	0.2239
relacja 3	0.2095	0.2695	0.2768	0.2743	0.2302
relacja 4	0.2848	0.2987	0.0000	0.0000	0.2398
relacja 5	0.2964	0.3000	0.2844	0.2405	0.0000
relacja 6	0.2742	0.2613	0.1979	0.2607	0.0000
relacja 7	0.2780	0.2797	0.2775	0.2636	0.2650
relacja 8	0.2867	0.2720	0.2639	0.2571	0.1848
relacja 9	0.2734	0.2169	0.2820	0.2762	0.2020
relacja 10	0.2772	0.2816	0.2845	0.0000	0.2493

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2796	15633.882	1.167	1.263
10	0.2782	14820.397	1.106	1.145
20	0.2767	13396.089	1.000	1.000
35	0.2620	9721.612	0.725	0.634
50	0.2411	7495.509	0.559	0.481

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

priorytet	:	operatywnosc			
		1	2	3	4
stopien uszkodzen[%]					
0		0.70	0.75	0.73	0.74
10		0.68	0.70	0.68	0.67
20		0.74	0.70	0.72	0.76
35		0.48	0.52	0.51	0.51
50		0.19	0.20	0.22	0.22

W A R I A N T I V

WARIANT PRZEPUSTOWOSCI - 90 zn/min w kan. tlf i 1200 zn/min w kan.TD

WYNIKI DLA PRZEPUSTOWOSCI(1200.0 ZN/MIN) $\bar{C}_{\text{ekspl}} = 650 \text{ zn/min}$

optymalne przepust. i okresy zgloszen dla wariantu 1200.0 zn/min

01	dla kanalu 1	: 498.30 zn/min	0.324 min
	dla kanalu 2	: 784.04 zn/min	0.100 min
02	dla kanalu 3	: 498.30 zn/min	0.324 min
	dla kanalu 4	: 354.60 zn/min	0.172 min
03	dla kanalu 5	: 1046.34 zn/min	0.088 min
	dla kanalu 6	: 414.10 zn/min	0.444 min
04	dla kanalu 7	: 378.01 zn/min	0.405 min
	dla kanalu 8	: 524.74 zn/min	0.167 min
05	dla kanalu 9	: 524.74 zn/min	0.167 min
	dla kanalu 10	: 455.52 zn/min	0.371 min
06	dla kanalu 11	: 455.52 zn/min	0.371 min
	dla kanalu 12	: 287.08 zn/min	0.364 min
07	dla kanalu 13	: 686.81 zn/min	0.150 min
	dla kanalu 14	: 288.47 zn/min	0.366 min
	dla kanalu 15	: 287.08 zn/min	0.364 min
	dla kanalu 16	: 358.13 zn/min	0.290 min
	dla kanalu 17	: 487.65 zn/min	0.219 min
08	dla kanalu 18	: 572.52 zn/min	0.155 min
	dla kanalu 19	: 588.12 zn/min	0.482 min
	dla kanalu 20	: 588.12 zn/min	0.482 min
09	dla kanalu 21	: 390.41 zn/min	0.418 min
	dla kanalu 22	: 1046.34 zn/min	0.088 min
10	dla kanalu 23	: 647.52 zn/min	0.176 min
	dla kanalu 24	: 566.32 zn/min	0.464 min

WYNIKI DLA STANU BEZ ZAKŁOCEN

wyniki dla przepust 1200.0 zn/min i odstepu zakloc 5000.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2971	0.2948	0.2961	0.2962	0.2977
relacja 2	0.3000	0.3000	0.0000	0.3000	0.0000
relacja 3	0.2997	0.0000	0.2936	0.0000	0.0000
relacja 4	0.3000	0.2966	0.3000	0.2941	0.2950
relacja 5	0.2946	0.2996	0.2973	0.3000	0.0000
relacja 6	0.2981	0.2974	0.3000	0.3000	0.2994
relacja 7	0.2985	0.2972	0.2959	0.2911	0.2906
relacja 8	0.2965	0.2943	0.2924	0.2888	0.0000
relacja 9	0.2937	0.2922	0.2948	0.3000	0.2935
relacja 10	0.2923	0.2993	0.3000	0.2940	0.2886

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2972	34000.861	2.537	4.524
10	0.2965	33121.928	2.472	4.050
20	0.2961	24546.105	2.832	2.434
35	0.2943	28956.295	1.161	2.878
50	0.2933	9656.265	0.721	0.621

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

priorytet	:	1	2	3	4
stopien uszkodzen[%]		operatywnosc			
0		1.00	1.00	1.00	1.00
10		0.99	1.00	1.00	1.00
20		0.99	1.00	0.99	1.00
35		1.00	0.99	1.00	1.00
50		1.00	0.99	1.00	1.00

WYNIKI DLA STANU Z ZAKŁOCENIAMI

wyniki dla przepust 1200.0 zn/min i odstepu zakloc 20.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2912	0.2949	0.2967	0.2930	0.2952
relacja 2	0.2986	0.2953	0.2988	0.2982	0.2922
relacja 3	0.2967	0.3000	0.2971	0.0000	0.0000
relacja 4	0.2838	0.0000	0.3000	0.2898	0.2913
relacja 5	0.3000	0.2974	0.3000	0.2947	0.3000
relacja 6	0.2957	0.3000	0.0000	0.2996	0.0000
relacja 7	0.2951	0.2971	0.2986	0.2921	0.2935
relacja 8	0.2959	0.2865	0.2993	0.2948	0.0000
relacja 9	0.2984	0.2969	0.2908	0.2972	0.2986
relacja 10	0.2852	0.2994	0.3000	0.2928	0.3000

uszkodzenia[%]	wskaznik funkcz.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2940	33911.081	2.531	4.223
10	0.2953	28272.031	2.110	3.225
20	0.2979	20693.752	1.544	1.914
35	0.2939	17693.707	1.320	1.509
50	0.2941	13722.656	1.024	1.033

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.99	0.99	1.00	1.00
10	0.99	1.00	1.00	1.00
20	0.99	1.00	1.00	1.00
35	0.95	0.98	0.96	0.98
50	1.00	1.00	1.00	1.00

wyniki dla przepust 1200.0 zn/min i odstepu zakloc 10.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.3000	0.2998	0.2843	0.3000	0.2954
relacja 2	0.2954	0.3000	0.3000	0.2945	0.2989
relacja 3	0.2962	0.2968	0.2983	0.2884	0.0000
relacja 4	0.3000	0.2880	0.2919	0.0000	0.2925
relacja 5	0.2962	0.2997	0.3000	0.0000	0.3000
relacja 6	0.2910	0.3000	0.3000	0.2985	0.0000
relacja 7	0.2951	0.2960	0.2940	0.2986	0.2905
relacja 8	0.2873	0.2860	0.2942	0.2950	0.0000
relacja 9	0.2932	0.2860	0.2971	0.2992	0.2773
relacja 10	0.2955	0.2906	0.2958	0.2980	0.0000

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2947	33868.062	2.527	4.097
10	0.2942	31257.909	2.333	3.478
20	0.2946	22098.914	1.649	2.810
35	0.2970	23927.390	1.286	2.193
50	0.2899	12828.354	0.957	0.943

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

priorytet	:	1	2	3	4
stopien uszkodzen[%]		operatywnosc			
0		1.00	1.00	1.00	1.00
10		0.97	0.96	0.98	0.97
20		0.94	0.93	0.95	0.97
35		1.00	1.00	0.99	1.00
50		0.99	0.99	0.99	0.99

wyniki dla przepust 1200.0 zn/min i odstepu zakloc 5.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2984	0.2897	0.2950	0.2917	0.2819
relacja 2	0.3000	0.2959	0.3000	0.2946	0.0000
relacja 3	0.2945	0.2970	0.0000	0.0000	0.0000
relacja 4	0.2814	0.2724	0.2994	0.2767	0.2958
relacja 5	0.2729	0.2977	0.2990	0.2992	0.2990
relacja 6	0.3000	0.2947	0.2973	0.2618	0.0000
relacja 7	0.2971	0.2854	0.2916	0.2910	0.2924
relacja 8	0.2978	0.2917	0.2920	0.2966	0.2328
relacja 9	0.2943	0.2994	0.2875	0.2878	0.0000
relacja 10	0.2998	0.2900	0.2968	0.2890	0.2997

uszkodzenia[%]	wskaznik funk.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2960	33584.110	2.506	3.939
10	0.2906	29995.643	2.238	3.126
20	0.2939	28909.372	2.157	2.858
35	0.2896	18285.564	1.365	1.509
50	0.2886	11308.031	0.844	0.815

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.98	0.98	0.98	0.97
10	0.92	0.94	0.94	0.94
20	1.00	1.00	1.00	1.00
35	0.96	0.94	0.95	0.95
50	0.87	0.86	0.86	0.86

wyniki dla przepust 1200.0 zn/min i odstepu zakloc 2.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2850	0.2888	0.2417	0.2808	0.2867
relacja 2	0.2953	0.3000	0.3000	0.3000	0.2998
relacja 3	0.2805	0.2870	0.0000	0.2749	0.2641
relacja 4	0.2944	0.2643	0.1460	0.2987	0.0000
relacja 5	0.3000	0.2823	0.3000	0.2927	0.2768
relacja 6	0.2828	0.2742	0.3000	0.1322	0.2383
relacja 7	0.2981	0.2928	0.2929	0.2921	0.2981
relacja 8	0.2952	0.2869	0.2779	0.2878	0.2729
relacja 9	0.3000	0.2988	0.2981	0.0000	0.3000
relacja 10	0.2732	0.2860	0.2662	0.3000	0.2855

uszkodzenia[%]	wskaznik funk.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2920	33744.667	2.518	3.399
10	0.2868	32248.146	2.407	2.924
20	0.2878	20818.089	1.554	1.742
35	0.2907	18321.851	1.467	1.490
50	0.2776	19862.949	1.382	1.368

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.98	0.99	0.97	0.98
10	0.91	0.89	0.89	0.90
20	0.77	0.80	0.78	0.78
35	0.82	0.89	0.86	0.86
50	0.77	0.75	0.77	0.77

W A R I A N T I V a

WARIANT PRZEPUSTOWOSCI- 90 zn/min w kan. tlf i 2400 zn/min w kan.TD

WYNIKI DLA PRZEPUSTOWOSCI(2400.0 ZN/MIN) $\bar{C}_{eksp1} = 1100 \text{ zn/min}$

optymalne przepust. i okresy zgloszen dla wariantu 2400.0 zn/min

01	dla kanalu 1	: 968.10 zn/min	0.164 min
	dla kanalu 2	: 1523.12 zn/min	0.050 min
02	dla kanalu 3	: 968.10 zn/min	0.164 min
	dla kanalu 4	: 688.95 zn/min	0.088 min
03	dla kanalu 5	: 2032.52 zn/min	0.044 min
	dla kanalu 6	: 804.53 zn/min	0.226 min
04	dla kanalu 7	: 734.43 zn/min	0.206 min
	dla kanalu 8	: 1019.46 zn/min	0.085 min
05	dla kanalu 9	: 1019.46 zn/min	0.085 min
	dla kanalu 10	: 885.00 zn/min	0.189 min
06	dla kanalu 11	: 885.00 zn/min	0.189 min
	dla kanalu 12	: 557.76 zn/min	0.186 min
07	dla kanalu 13	: 1334.27 zn/min	0.076 min
	dla kanalu 14	: 560.46 zn/min	0.187 min
	dla kanalu 15	: 557.76 zn/min	0.186 min
	dla kanalu 16	: 695.81 zn/min	0.148 min
08	dla kanalu 17	: 947.41 zn/min	0.111 min
	dla kanalu 18	: 1112.26 zn/min	0.079 min
	dla kanalu 19	: 1142.57 zn/min	0.245 min
09	dla kanalu 20	: 1142.57 zn/min	0.245 min
	dla kanalu 21	: 758.52 zn/min	0.213 min
10	dla kanalu 22	: 2032.52 zn/min	0.044 min
	dla kanalu 23	: 1257.95 zn/min	0.089 min
	dla kanalu 24	: 1100.23 zn/min	0.235 min

WYNIKI DLA STANU BEZ ZAKLOCEN

wyniki dla przepust 2400.0 zn/min i odstepu zakloc 5000.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000
relacja 2	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000
relacja 3	0.3000	0.0000	0.2892	0.2980	0.0000
relacja 4	0.2964	0.3000	0.0000	0.2983	0.0000
relacja 5	0.2968	0.2968	0.3000	0.2982	0.2979
relacja 6	0.3000	0.2998	0.2981	0.0000	0.2973
relacja 7	0.3000	0.2980	0.2993	0.2991	0.2972
relacja 8	0.2942	0.2962	0.3000	0.2919	0.0000
relacja 9	0.2967	0.3000	0.2997	0.2990	0.2938
relacja 10	0.2984	0.3000	0.3000	0.3000	0.2984

uszkodzenia[%]	wskaznik funkco.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2982	63267.034	4.721	9.531
10	0.2986	59803.711	4.463	8.177
20	0.2986	53130.821	3.965	6.110
35	0.2975	38766.499	2.893	4.063
50	0.2972	32405.322	2.418	2.924

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.99	1.00	1.00	1.00
10	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.00	1.00	1.00	1.00
35	0.99	0.99	1.00	1.00
50	1.00	1.00	1.00	1.00

WYNIKI DLA STANU Z ZAKŁOCENIAMI

wyniki dla przepust 2400.0 zn/min i odstepu zakloc 20.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2978	0.2901	0.2989	0.3000	0.2979
relacja 2	0.3000	0.3000	0.3000	0.0000	0.0000
relacja 3	0.2966	0.3000	0.0000	0.0000	0.0000
relacja 4	0.2988	0.3000	0.2958	0.3000	0.2992
relacja 5	0.3000	0.2990	0.3000	0.2920	0.0000
relacja 6	0.3000	0.2964	0.3000	0.2970	0.2966
relacja 7	0.2990	0.3000	0.2936	0.2993	0.2986
relacja 8	0.3000	0.3000	0.2995	0.2987	0.2915
relacja 9	0.3000	0.2993	0.3000	0.3000	0.0000
relacja 10	0.2922	0.2950	0.2976	0.2999	0.2966

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2985	63457.116	4.736	8.866
10	0.2983	62466.801	4.662	8.342
20	0.2972	48598.513	3.627	5.410
35	0.2988	43518.188	3.248	4.572
50	0.2962	38967.403	2.908	3.630

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

priority	:	1	2	3	4
stopien uszkodzen[%]		operatywnosc			
0		1.00	1.00	1.00	1.00
10		0.99	1.00	1.00	1.00
20		1.00	1.00	1.00	1.00
35		1.00	1.00	1.00	1.00
50		1.00	1.00	1.00	1.00

wyniki dla przepust 2400.0 zn/min i odstepu zakloc 10.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2982	0.3000	0.2990	0.2961	0.0000
relacja 2	0.3000	0.2849	0.2983	0.3000	0.3000
relacja 3	0.2958	0.3000	0.0000	0.3000	0.2987
relacja 4	0.2972	0.3000	0.2928	0.0000	0.0000
relacja 5	0.2941	0.3000	0.3000	0.2991	0.3000
relacja 6	0.2968	0.2983	0.2800	0.2984	0.2888
relacja 7	0.2944	0.2982	0.2991	0.2978	0.2986
relacja 8	0.2976	0.2948	0.2999	0.2930	0.2981
relacja 9	0.2974	0.3000	0.2994	0.0000	0.3000
relacja 10	0.2992	0.3000	0.2944	0.2928	0.2856

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2966	63128.198	4.711	8.525
10	0.2979	58420.080	4.375	7.275
20	0.2964	52911.320	3.949	5.587
35	0.2972	49792.089	3.716	5.124
50	0.2947	42398.789	3.164	3.915

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

priority	:	1	2	3	4
stopien uszkodzen[%]		operatywnosc			
0		1.00	1.00	1.00	1.00
10		1.00	1.00	1.00	1.00
20		0.97	0.98	0.98	0.97
35		1.00	1.00	1.00	1.00
50		1.00	1.00	1.00	1.00

wyniki dla przepust 2400.0 zn/min i odstepu zakloc 5.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2967	0.3000	0.2899	0.2978	0.3000
relacja 2	0.3000	0.2993	0.3000	0.2981	0.2956
relacja 3	0.3000	0.3000	0.3000	0.0000	0.2725
relacja 4	0.3000	0.2822	0.3000	0.2846	0.0000
relacja 5	0.3000	0.2988	0.2986	0.2958	0.0000
relacja 6	0.2954	0.2975	0.2976	0.2912	0.0000
relacja 7	0.2956	0.3000	0.2895	0.2923	0.2859
relacja 8	0.2993	0.2987	0.2998	0.2990	0.2966
relacja 9	0.2995	0.2901	0.2943	0.3000	0.2994
relacja 10	0.3000	0.3000	0.2815	0.2959	0.2975

uszkodzenia[%]	wskaznik funkc.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2978	62594.646	4.671	8.164
10	0.2976	59785.721	4.462	6.941
20	0.2939	32871.672	3.453	3.333
35	0.2943	35752.308	2.668	3.328
50	0.2897	24221.198	1.808	1.956

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

priorytat	:	1	2	3	4
stopien uszkodzen[%]		operatywnosc			
0		1.00	1.00	1.00	1.00
10		1.00	1.00	1.00	1.00
20		0.93	0.95	0.95	0.94
35		1.00	0.99	1.00	1.00
50		0.93	0.94	0.92	0.93

wyniki dla przepust 2400.0 zn/min i odstepu zakloc 2.0 min

wskaznik funkcjonowania relacji

nr.relacji	uszk 0%	uszk 10%	uszk 20%	uszk 35%	uszk 50%
relacja 1	0.2992	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000
relacja 2	0.2978	0.2996	0.3000	0.3000	0.0000
relacja 3	0.3000	0.2977	0.2704	0.2771	0.2835
relacja 4	0.3000	0.2745	0.3000	0.2703	0.2912
relacja 5	0.3000	0.3000	0.3000	0.2809	0.0000
relacja 6	0.2925	0.2843	0.3000	0.2649	0.2988
relacja 7	0.2996	0.2977	0.2859	0.2896	0.2900
relacja 8	0.2740	0.2952	0.2996	0.2978	0.2985
relacja 9	0.2991	0.2664	0.2999	0.3000	0.0000
relacja 10	0.2942	0.3000	0.2918	0.2962	0.2978

uszkodzenia[%]	wskaznik funk.	ilosc inf.	efektywnosc_a	efekt_b
0	0.2951	60554.366	4.519	6.560
10	0.2918	52095.666	3.888	4.950
20	0.2932	42479.630	3.470	3.908
35	0.2874	45826.118	3.420	3.230
50	0.2939	38736.956	2.891	3.227

operatywnosc w funkcji stopnia uszkodzen

stopien uszkodzen[%]	1	2	3	4
0	0.98	0.98	0.98	0.97
10	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.00	1.00	1.00	1.00
35	0.99	0.99	0.99	0.99
50	1.00	1.00	1.00	1.00

