

**AKADEMIA  
SZTABU GENERALNEGO**

IM. GENERAŁA BRONI  
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

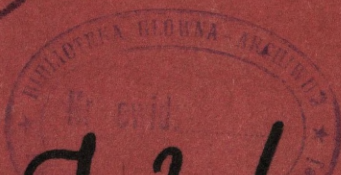
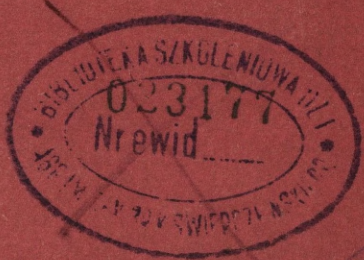
**JAWNE**

obrotowego  
dokumentu  
Egz. Nr. 1

pplk mgr inż. Tadeusz STOJANOWSKI

MODEL STRUKTURY SYSTEMU INFORMACYJNEGO  
OBRONY PRZECIWLOTNICZEJ WOJSK  
W OPERACJI ZACZEPNEJ ARMII (FRONTU)

Rozprawa doktorska



47345

WARSZAWA MARZEC 1974





**AKADEMIA  
SZTABU GENERALNEGO**

IM. GENERAŁA BRONI  
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

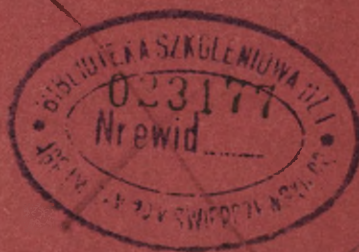
**JAWNE**

080-007018  
nż. 00  
Egz. Nr. 1

ppłk mgr Inż. Tadeusz STOJANOWSKI

MODEL STRUKTURY SYSTEMU INFORMACYJNEGO  
OBRONY PRZECIWLOTNICZEJ WOJSK  
W OPERACJI ZACZEPNEJ ARMII (FRONTU)

Rozprawa doktorska



47345

WARSZAWA MARZEC 1974

AKADEMIA  
SZTABU GENERALNEGO  
IM. GENERALA BRONI  
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

JAWNE

Do użytku  
służbowego

Egz. Nr 1 PRZEKLASYFIKOWANO

Protokół Nr 54305

ppłk mgr inż. Tadeusz STOJANOWSKI

PRZEKLASYFIKOWANO  
Protokół Nr 12657

MODEL STRUKTURY SYSTEMU INFORMACYJNEGO  
OBRONY PRZECIWLOTNICZEJ WOJSK  
W OPERACJI ZACZEPNEJ ARMII (FRONTU)

Rozprawa doktorska

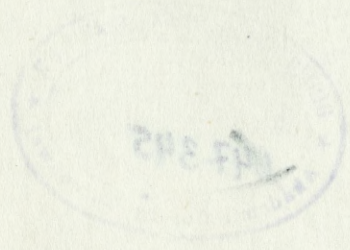


Opracowano:  
pod kierownictwem naukowym  
płk. doc. dr. Jerzego SKIBIŃSKIEGO



WARSZAWA MARZEC 1974

XXXXXXXXXXXX



## SPIS TREŚCI

	Str.
WSTĘP	7
1. ANALIZA SYSTEMU INFORMACYJNEGO WOJSK OPL Z PUNKTU WIDZENIA MODELOWANIA .....	14
1.1. Podstawowe terminy .....	14
1.2. Analiza głównych czynników wpływających na stan bazy danych .....	16
1.2.1. Środki napadu powietrza go przeciwnika	18
1.2.2. Wpływ wojsk operacyjnych na strukturę SI WOPL i bazę danych .....	21
1.2.3. Teren.....	24
1.2.4. Warunki meteorologiczne .....	26
1.3. Analiza istniejącego stanu systemu informacyjnego wojsk OPL z punktu widzenia potrzeb modelowania i jego dalszego doskonalenia .....	28
2. METODA I TECHNIKA MODELOWANIA SYSTEMU INFORMACYJNEGO WOJSK OPL .....	34
2.1. Matematyczny opis sieci.....	35
2.1.1. Definicja węzła .....	35
2.1.2. Definicja sieci .....	38
2.1.3. Sieć liniowa .....	39
2.1.4. Pojęcie drogi przesyłania informacji	40
2.1.5. Rozwiązanie geometryczne problemu szukania dróg w sieci .....	41
2.1.5.1. Schemat wyszukiwania dróg między wybranymi węzłami $q_1$ i $q_s$	42
2.1.5.2. Założenia szczegółowe przy wyborze dróg .....	42
2.1.6. Obliczanie optymalnych dróg przesyłania informacji w sieci.....	43
2.1.6.1. Minimalizacja czasu.....	43
2.1.6.2. Minimalizacja długości drogi .....	45
2.1.6.3. Obliczanie przepustowości drogi....	46
2.1.6.4. Uwagi dotyczące niezawodności sieci i wnioski końcowe.....	47

2.2. Metody i algorytmy określenia dróg przekazywania informacji między Punktami /Ośrodkami/ Kierowania OPL .....	50
2.2.1. Wstęp .....	50
2.2.2. Macierzowe metody określenia najkrótszych dróg.....	53
2.2.2.1. Sformułowanie zadania .....	53
2.2.2.2. Opis metod macierzowych....	54
2.2.3. Algorytm quasiminorów.....	61
2.2.3.1. Sformułowanie zadania .....	61
2.2.3.2. Opis algorytmu	
2.2.4. Algorytm wyznaczania optymalnych dróg przesyłania informacji "drzewo" .....	64
2.2.4.1. Sformułowanie zadania.....	64
2.2.4.2. Zasada budowy "drzewa".....	65
2.2.4.3. Algorytm budowy drzewa.....	72
2.2.5. Algorytm określania optymalnego planu rozdziału strumieni informacji w SI WOPL .....	75
2.2.5.1. Sformułowanie zadania.....	75
2.2.5.2. Opis algorytmu .....	75
2.2.6. Algorytm obliczania ekstremalnych dróg transmisji informacji w SI WOPL .....	78
2.2.6.1. Sformułowanie zadania .....	78
2.2.6.2. Budowa rzeźby.....	78
2.2.6.3. Wyznaczanie ekstremalnych dróg w grafie .....	80
2.2.6.4. Algorytmy wyznaczania ekstremalnych dróg w grafie.....	83
2.2.7. Algorytm badania statystycznego niezawodności struktury SI WOPL, uwzględniający początkowy stan struktury i obciążenie informacyjne systemu.....	86
2.2.7.1. Sformułowanie zadania .....	86
2.2.8. Algorytm obliczania przepustowości SI WOPL .....	87
2.2.8.1. Sformułowanie zadania .....	87

2.3. Model matematyczny struktury SI WOPL.....	88
2.3.1. Struktura zbiorów danych .....	89
2.3.2. Założenia przyjęte w modelu struktury SI WOPL .....	91
2.3.3. Obciążenie informacyjne systemu i wybór okresu czasu modelowania SI WOPL .....	92
2.3.4. Rozwiązanie modelu struktury SI WOPL .....	92
2.3.4.1. Sposoby wykorzystania wyników.....	95
2.3.5. Analiza wyników i wnioski .....	97
2.3.6. Propozycje dotyczące ukierunkowania dalszych badań systemu informacyjnego wojsk OPL .....	105

D O D A T K I

I	Przykład ilustrujący definicje funkcji $F_1/i, q_1/$ , ogniwa, węzły i sieć .....	107
II	Przykłady obliczania dróg w sieci .....	113
III	Przykład zastosowania metody Ottermanna .....	123
IV	Przykłady zastosowania algorytmu quasiminorów....	133
V	Przykład określania dróg przesyłania informacji w sieci .....	140
VI	Przykład zastosowania algorytmu określania optymalnego planu rozdziału strumieni informacji w SI WOPL .....	147
VII	Przykłady zastosowania algorytmu obliczania ekstremalnych dróg .....	149
VIII	Algorytm obliczania niezawodności struktury SI WOPL .....	159
IX	Metoda redukcji SI WOPL .....	164
X	Ogólny opis metody modelowania systemu OPL .....	167
	WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ .....	173
	WYKAZ LITERATURY .....	176

## ZAŁĄCZNIKI

1. Tabela ilości samolotów 2 i 4 PTSP .....	180
2. Tabela podstawowych danych taktyczno-technicznych samolotów NATO .....	181
3. Potoki informacji w podsystemie dowodzenia wojsk OPL .....	183
4. Graf struktury systemu informacyjnego wojsk OPL.....	185
5. Zbiór danych stałych .....	187
6. Czasy reakcji systemu w zależności od wariantów centralizacji dowodzenia.....	190
7. Liczba pododdziałów ogniowych do których informacja decyzyjna nie zostanie przekazana w czasie $T \leq T_{reakcji}$ .....	191
8. Liczba pododdziałów ogniowych uczestniczących w odparciu zmasowanego nalotu w zależności od wariantów centralizacji dowodzenia .....	192
9. niezawodność przesyłania informacji w zależności od wariantów centralizacji dowodzenia .....	193
10. Ilość grup przesyłanej informacji w zależności od wariantów centralizacji dowodzenia.....	194
11. Formularz danych stałych .....	195
12. Formularz danych zmiennych .....	196
13. Schemat struktury organizacyjno-funkcjonalnej zautomatyzowanego systemu dowodzenia OPL Frontu.....	197
14. Wykaz urządzeń automatyzacji przewidywanych w zautomatyzowanym systemie dowodzenia OPL.....	198
15. Struktura organizacyjno-informacyjna systemu OPL Frontu .....	199
16. Blokowy schemat dowodzenia systemem OPL .....	201
17. Tabulogramy maszynowe tylko przy egzemplarzach nr 1-3 .....	po str.201

## WSTĘP

Sprawne funkcjonowanie systemu obrony przeciwlotniczej traktuje się obecnie jako jeden z podstawowych warunków zapewniających wojskom operacyjnemu swobodę działania i wykonania przez nie głównych zadań szczególnie w początkowym okresie wojny. Obronę przeciwlotniczą wojsk frontu organizuje się zgodnie z zadaniem wykonywanym przez wojska frontu uwzględniając ich ugrupowanie, warunki terenowe, porę roku i doby oraz sytuację bojową. W natarciu oprócz zadań wspólnych dla wszystkich rodzajów walki, przed obroną przeciwlotniczą wojsk frontu mogą być postawione następujące zadania: osłona wprowadzanych do walki drugich rzutów, osłona wojsk forsujących przeszkody wodne, osłona ugrupowania odpierającego przeciwnika, blokada z powietrza okrążonego nieprzyjaciela. System OPL jest integralnie związany z systemem dowodzenia wojskami frontu, przy czym szczególnie ściśle współdziała z systemem OPK i innymi systemami składowymi frontu. System OPL jest szczególnie złożonym kompleksem obiektów i zachodzących w nich współzależnych procesów informacyjno-decyzyjnych. W rozumianym tak systemie istnieje celowo ukształtowany splot dróg informacyjnych z nadrzędnym ośrodkiem przetwarzania od sprawności którego zależy efektywność działania całego systemu. O szczególnej złożoności tego systemu stanowią ilość i rodzaje układów zasileniowo-informacyjnych wchodzących w jego skład, tj. oddziały rakiet i artylerii przeciwlotniczej, lotnictwo myśliwskie, oddziały i pododdziały radiotechniczne oraz przeciwdziałania radioelektronicznego. Ponadto złożoność tą pogłębiają relacje występujące między elementami systemu, rosnąca liczba różnorodnych oddziaływań, działanie w warunkach niepełnej informacji o sytuacji powietrznej i naziemnej, podział kompetencji i zadań oraz specjalizacja czynności techniczno-bojowych i organizacyjnych.

W świetle współczesnych wymagań operacyjnych system OPL powinna cechować taka sprawność techniczna i organizacyjna, której charakterystyki ilościowe zapewniałyby osiągnięcie maksymalnej efektywności /głównie w postaci dużego prawdopodobieństwa niszczenia środków napadu powietrznego przeciwnika/ w warunkach stosowania przez niego silnych zakłóceń radioelektro-

nicznych. Z tego względu problem osiągnięcia najwyższej sprawności struktury informacyjnej systemu OPL jest w istocie swym problemem centralnym od rozwiązania którego zależy efektywność użycia sił i środków OPL.

Procesy informacyjne w systemie OPL pomimo swej złożoności stwarzają korzystne możliwości do formalizacji i automatyzacji ich przetwarzania, ponieważ parametry własnych środków OPL i środków napadu powietrznego przeciwnika są w większości wymierne. Aparat pojęciowy cybernetyki wojskowej pozwala na opis i rozwiązanie w oparciu o elektroniczną technikę obliczeniową wielu istotnych zagadnień składających się na funkcjonowanie systemu informacyjnego wojsk OPL /SI WOPL/. Z powodu dużej jego złożoności, którą ukazuje również teoriomnogościowy opis /p.2.1/, do badania SI WOPL nie można zastosować jednej metody, jednego ujęcia. Uściślić parametry systemu można tylko modelując go w innym systemie modelującym /matematycznym, elektronicznym/.

Specyfika zagadnień funkcjonowania SI WOPL, ich zakres jest taki, że nie układają się one w żaden z dotychczasowych modeli teoretycznych. Modele matematyczne teorii masowej obsługi są zbyt wąskie dlatego trzeba było szukać modelu szerszego, który obejmuje najważniejsze aspekty funkcjonowania struktury systemu informacyjnego wojsk OPL. W literaturze fachowej brak jest całościowo zwartych opracowań z tego zakresu, pomimo, że istnieje szereg ciekawych rozwiązań technicznych dotyczących zastosowania EMC i środków transmisji danych w systemie dowodzenia obroną przeciwlotniczą.

Celem rozprawy jest opracowanie modelu matematycznego struktury SI WOPL frontu /armii/ w operacji zaczepnej, który umożliwiłby przebadanie systemu informacyjnego, ukazanie jego potencjalnych możliwości i ich wykorzystanie w okresie funkcjonowania systemu oraz wyciągnięcie wniosków na podstawie wyników badań odnośnie organizacji obrony przeciwlotniczej na szczeblach operacyjnych i koordynacji działań sił i środków OPL frontu /armii/.

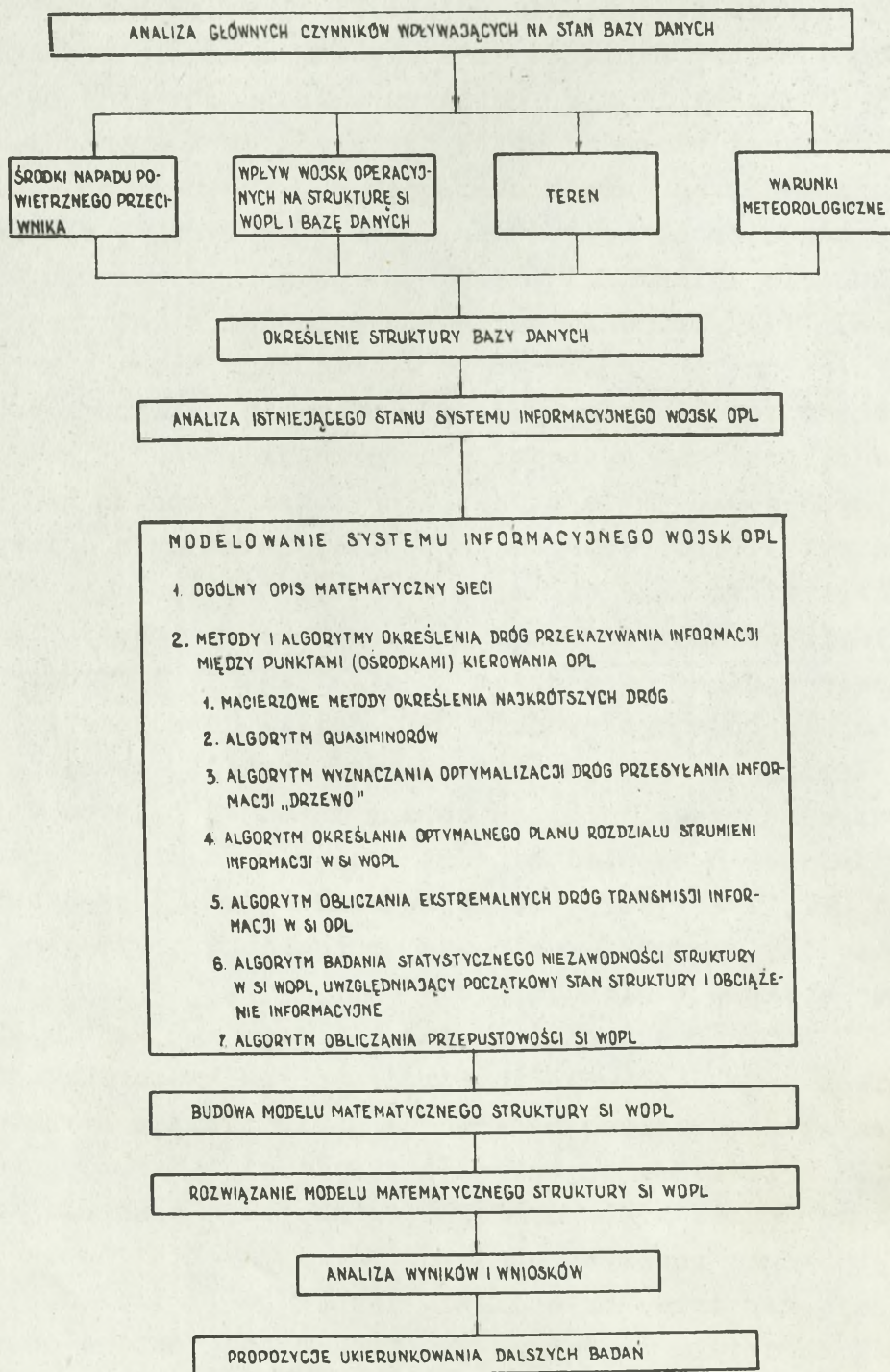
Kolejność zagadnień, które są treścią rozprawy przedstawiona jest na schemacie modelowania systemu informacyjnego wojsk OPL.

Przedmiotem rozprawy jest struktura SI WOPL, która uwzględnia specyfikę warunków działania systemu OPL i która winna zapewnić poprawne jego funkcjonowanie. Struktura SI WOPL frontu obejmuje podział systemu informacyjnego na podsystemy składowe /armii, dywizji, pułków/ i elementy oraz ustalenie powiązań między nimi. Zmienia się ona w czasie prowadzenia operacji zaczepnej frontu, ponieważ ważność obiektów osłony uzależniona jest od zadań wojsk operacyjnych i sytuacji. Rozsrodowanie wojsk na dużych obszarach powodowane możliwością użycia środków masowego rażenia przez przeciwnika, wpływa na zwiększenie odległości między poszczególnymi elementami struktury SI WOPL, utrudnia organizację procesów informacyjnych i prędkości ich obiegu. Jest to szczególnie ważne z uwagi na konieczność działania systemu OPL w czasie zbliżonym do rzeczywistego, ponieważ opóźnienie informacji rzędu kilku sekund może spowodować zmniejszenie ilości zniszczonych samolotów przeciwnika. Tradycyjne metody pracy na których opiera się dotychczas kierowanie siłami i środkami OPL powodują duże opóźnienia informacji /rzędu minut/, utrudniają centralizację dowodzenia ogniowego, a przez to efektywniejsze wykorzystanie potencjału bojowego środków OPL, dzięki koordynacji ich działań. Wrażliwość systemu OPL na czas reakcji, będzie starał się wykorzystać przeciwnik powietrzny w swojej taktyce działania ŚNP. Wnioski z doświadczeń uzyskanych w czasie ćwiczeń z wojskami OPL, a dotyczące funkcjonowania SI WOPL jego aktualnych możliwości, kierunków dalszego usprawniania, wymagań, które winien spełnić zawierają prace [3], [9], [14].

Z potrzeb aktualnego stanu SI WOPL wynikają kierunki poszukiwań jego usprawniania wśród których kierunek badania i wykorzystania pełnych możliwości jakie tkwią w strukturze SI WOPL w zakresie organizacji strumieni informacyjnych, szybkości ich przesyłania uważa się jako jeden z ważniejszych. Podjęty temat rozprawy obejmuje zakres tych zagadnień, które wynikają z potrzeb aktualnego stanu SI WOPL frontu.

W rozdziale pierwszym przeprowadzona została analiza systemu informacyjnego wojsk OPL z punktu widzenia potrzeb jego badania przy pomocy modelu matematycznego i dalszego doskonalenia działania systemu. Głównymi czynnikami zewnętrznymi

## MODELOWANIE SYSTEMU INFORMACYJNEGO WOJSK OPL



działającymi na SI WOPL są środki napadu powietrznego, wojska operacyjne, terenu i warunki meteorologiczne. Czynniki te należą do otoczenia systemu i wpływają wielkościami zewnętrznymi /parametrami/ na SI WOPL. Są one źródłami informacji, które generują maszynę informacji wejściowej dla modelu struktury SI WOPL, zapisanej w bazie danych. Wynikiem analizy głównych czynników zewnętrznych jest określony zbiór wielkości fizycznych opisujących środki napadu powietrznego, wpływ wojsk operacyjnych na SI WOPL, warunki meteorologiczne oraz teren.

W analizie istniejącego stanu SI WOPL, opisane zostały warunki krytyczne dla systemu OPL w których nie zawsze wykonano swoje zadanie oraz przyczyny powodujące wzrost czasu obiegu informacji w systemie skutkiem czego jest zwiększenie czasu reakcji systemu OPL. Ponadto określone zostały podstawy merytoryczne dla sformułowania zadań rozwiązywanych w modelu struktury SI WOPL, założeń przyjętych w modelu, wyboru okresu czasu modelowania SI WOPL i obciążenia informacyjnego systemu. Celem rozdziału drugiego rozprawy jest budowa modelu matematycznego struktury systemu informacyjnego wojsk OPL i na podstawie wyników jego rozwiązania ocena sfery dowodzenia ogniowego i wyposażenia przyszłego zautomatyzowanego systemu OPL w komplet algorytmów przydatnych w rozwiązywaniu problemu funkcjonowania struktury systemu informacyjnego. Ponadto opracowanie zbioru metod badawczych dotyczących optymalizacji i oceny różnych struktur systemów wojskowych dla potrzeb procesu dydaktycznego w ASG.

Teoriomnogościowy opis sieci pozwolił zdefiniować pojęcia wykorzystywane podczas budowy modelu SI WOPL i jednocześnie ukazał złożoność /dużą wymiarowość/ problemów występujących w wojskowych systemach informacyjnych. W dodatku II zamieszczony jest przykład obliczania dróg przesyłania informacji w sieci 18 węzłowej. Z rozwiązania przykładu wynika, że w celu pełnego wykorzystania wszystkich potencjalnych możliwości tkwiących w strukturze systemów informacyjnych potrzebne jest również wykorzystanie między innymi metod matematycznych. W celu rozwiązania zadań funkcjonowania struktury SI WOPL sformułowanych w p.2.2.2. do p.2.2.8

zostały adaptowane lub opracowane metody matematyczne i algorytmy uwzględniające założenia i ograniczenia, które wynikają z zasad działania SI WOPL. Są one wyspecjalizowane z punktu widzenia rozwiązywanej problematyki i dzięki swojej kompleksowości dają duże efekty /2.2.1./ w usprawnianiu systemów dowodzenia. Z teoretycznego punktu widzenia algorytmy nie stwarzają ograniczeń dla rozwiązywanego problemu pod względem jego wymiarowości i dokładności otrzymywanych wyników. Posłużyły one do opracowania programów wymienionych w p.2.3. i budowy modelu struktury SI WOPL, który umożliwia optymalizację systemu informacyjnego wojsk OPL ze względu na następujące kryteria jakości jego działania: czasu przesyłania informacji, odległości między Punktami /Óśrodkami/ Kierowania OPL /PK /OK/ OPL/, niezawodności, niezależności dróg połączeniowych, ilości pośrednich PK /OK/ OPL i przepustowości systemu. Poza tym model struktury SI WOPL pozwala wykonać obliczenia, w oparciu o działanie programu sterującego i programu przygotowującego zbiory danych stałych i danych zmiennych, aktualnego stanu struktury technicznej systemu, która zmienia się w okresie eksploatacji systemu.

Informacja wejściowa niezbędna dla rozwiązania modelu zapisana jest w bazie danych. Zbiór danych stałych zawiera załącznik 5. Dane zmienne zawierają informację o zadaniach rozwiązywanych w modelu struktury SI WOPL. W założeniach przyjętych w modelu uwzględniona została specyfika funkcjonowania SI WOPL. Na podstawie analizy obciążenia informacyjnego systemu, wybrany został reprezentatywny okres czasu modelowania SI WOPL, to jest okres zmasowanego nalotu ŚNP przeciwnika.

W procesie modelowania przebadano strukturę SI WOPL frontu w celu określenia zalet i wad czterech wariantów centralizacji kierowania siłami i środkami wojsk OPL frontu. Wyniki rozwiązania modelu i sposoby ich wykorzystania podane są w p.2.3.4. rozprawy i załączniku 17. Część wyników przedstawiona jest graficznie w postaci wykresów /zał. 6 - 10/ w celu ułatwienia analizy wariantów centralizacji kierowania siłami i środkami wojsk OPL, przeprowadzonej w p.2.3.5. Wynikiem analizy jest ocena wariantów centralizacji z punktu widzenia zbioru kryteriów. Najkorzystniejszym okazał się drugi

wariant centralizacji kierowania siłami i środkami OPL frontu, ponieważ zapewnia udział w walce ze ŚNP przeciwnika prawie wszystkim pododdziałom ogniowym oraz pozwala osiągnąć duży stopień koordynacji działań środków OPL. Wskaźniki globalne jakimi są średnia długość drogi łączącej PK /OK/ OPL i prawdopodobieństwo odmowy realizacji zadania umożliwiają porównywanie i ocenę różnych struktur systemów wojskowych o zadanych charakterystykach i zmieniającym się obciążeniu informacyjnym. Pozostała część informacji wynikowej zawarta jest w tabulogramach maszynowych, zał.17.

Wyniki próbnej eksploatacji modelu struktury SI WOPL potwierdziły poprawną jego budowę i ukazują możliwości modelowania w rozwiązywaniu problemów systemowych.

Po adaptacji modelu struktury SI WOPL dla potrzeb procesu dydaktycznego w ASG może on być wdrożony i wykorzystywany przez wieloabonencki system komputerowy.

Serdecznie dziękuję promotorowi rozprawy płk.doc.dr. Jerzemu Skibińskiemu za wieloletnie merytoryczne kierownictwo pracą oraz przekazywanie swojego doświadczenia w prowadzeniu badań naukowych.

Obywatelowi pułkownikowi dypl. J. Orzechowskiemu dziękuję za umożliwienie mi napisania rozprawy i pomoc w próbnej eksploatacji modelu struktury SI WOPL.

Dziękuję płk.dr.inż. Z. Kowalczykowi za pomoc w wyborze metod matematycznych, ich opracowaniu i adaptacji oraz wnikliwe praktyczne uwagi.

Oficerom zakładu III ID ASG, Szefostwa Wojsk OPL i Katedry OPL dziękuję za pomoc w opracowaniu wariantu struktury SI WOPL frontu. Programistom wyrażam podziękowanie za adaptację programów do EMC MIŃSK-32 i ich uruchomienie.

# 1. ANALIZA SYSTEMU INFORMACYJNEGO WOJSK OPL Z PUNKTU WIDZENIA MODELOWANIA

## 1.1. Podstawowe terminy <sup>1)</sup>

W celu uniknięcia nieporozumień wynikających z wieloznacznego rozumienia niektórych terminów niezbędne jest zdefiniowanie - na użytek niniejszej pracy - podstawowych terminów, które w niej występują:

1. System obrony przeciwlotniczej jest to zespół sił i środków OPL zorganizowanych do walki ze środkami napadu powietrznego przeciwnika /ŚNP/ działających według jednej myśli przewodniej, jednolitego planu i kierowanych przez szefa wojsk OPL zgodnie z wytycznymi dowódcy ogólnowojskowego.
2. Element rozumiany będzie jako całość świadomie nie poddawana lub nie poddająca się dalszemu podziałowi.
3. Jednostka - to zespół elementów o wspólnej organizacji rozumianej w sensie rzeczowym.
4. System oznacza grupę współzależnych elementów o wspólnej organizacji połączonych wspólnym celem do wykonania wyznaczonego zadania.

System złożony różni się od systemu prostego liczbą elementów i różnorodnością ich zależności wspólnie realizujących złożoną funkcję.

5. Obiekt obejmuje pojęcia elementu bądź jednostki lub systemu, którym da się przypisać określony, uchwytny i zrozumiały cel działania.
6. Działanie to wydatkowanie określonych środków materialnych w stosunku do określonego przedmiotu pracy /przeciwnik/ w konkretnych warunkach dla osiągnięcia zamierzonego celu przy ustalonej organizacji.
7. Stan rzeczy, tj. to co zaszło lub zachodzi w rzeczywistości w danej chwili.
8. Organizacja jest to taki stosunek części do całości, iż części te współdziałając, przyczyniają się do powodzenia całości, a całość przyczynia się do powodzenia poszczególnych jej części.
9. Kierowanie jest to wymuszanie pożądanego stanu rzeczy poprzez sekwencyjny proces decyzyjny.

10. Eksploatowanie /obsługiwanie i użytkowanie/ będzie określało zespół przedsięwzięć podejmowanych w celu zapewnienia odpowiednio niezawodnej i odpowiednio długotrwałej pracy obiektów technicznych i najlepszego wykorzystania wszystkich ich własności w procesie operowania /eksploatacja techniczna/ oraz kierowanie obiektami technicznymi w procesie operowania tak, by proces ten był najbardziej efektywny.
11. Otoczenie jest to część rzeczywistości, która oddziałuje na badany system przy pomocy czynników zewnętrznych.
12. Model matematyczny jest to system sformalizowany oparty na takich zasadach matematycznych, które będą opisywały model fizyczny z niezbędnym stopniem dokładności.
13. Baza danych /BD/ - uporządkowany zbiór nie powtarzających się danych przechowywany przez dłuższy okres; zbudowany na zasadzie umożliwiającej wyrywkowy dostęp do każdej jednostki bądź grupy jednostek zbioru. Najmniejszą jednostką danych jest znak, któremu możemy przypisać określoną wartość: cyfrową /0-9/, alfabetyczną /A-Z/, specjalną /np.: :, \*, +, - itp./.
14. Obrona przeciwlotnicza - pod pojęciem obrony przeciwlotniczej należy rozumieć ciągłą gotowość oraz walkę sił i środków OPL z nieprzyjacielem powietrznym. Obrona przeciwlotnicza obejmuje:
  - wykrywanie i rozpoznawanie /identyfikację/ obiektów powietrznych oraz powiadamianie o nich środków OPL i wojsk,
  - działania bojowe lotnictwa myśliwskiego, wydzielonego do osłony wojsk,
  - ogień raketowej i lufowej artylerii przeciwlotniczej,
  - zakłócanie urządzeń radiotechnicznych nieprzyjaciela powietrznego,
  - ogień broni ręcznej i maszynowej do celów nisko lecących.
15. Czas reakcji systemu OPL - jest to czas od chwili wykrycia celu powietrznego do rozpoczęcia jego zwalczania przez środki OPL /np. otwarcie ognia przez bat.art.plot., rozpoczęcia zakłóceń radiolokacyjnych celowników bombowych przez stacje zakłócające/.

16. Relacja - pod pojęciem relacji rozumie się skojarzenie pary węzłów, bez wnikania czy istnieje połączenie pomiędzy wyróżnionymi węzłami.

Ilość relacji odpowiada ilości bezpośrednich połączeń w sieci maksymalnie spójnej.

$$R = \frac{n(n-1)}{2}$$

gdzie: R - ilość relacji

n - ilość węzłów.

## 1.2. Analiza głównych czynników wpływających na stan bazy danych

Z punktu widzenia teorii systemów, system OPL jest złożonym dynamicznym i adaptacyjnym systemem, który przeznaczony jest do prowadzenia walki ze środkami napadu powietrznego /ŚNP/ w warunkach szybko zmieniającej się sytuacji powietrznej oraz wpływu różnorodnych zakłóceń. System ten pracuje w czasie zbliżonym do rzeczywistego w ślad za zmieniającą się sytuacją powietrzną i operacyjną wojsk lądowych. Cechuje go duża manewrowość operacyjno-taktyczna i elastyczność zmian w strukturze organizacyjnej, stosownie do potrzeb i wymagań współczesnego pola walki oraz zadań operacyjnych.

System OPL działa w otoczeniu, którego elementy mają charakter stochastyczny i oddziałują na niego czynnikami zewnętrznymi. Otoczenie zmienia się, rozszerza się także jego zakres oddziaływania pod wpływem zmian wywołanych wprowadzeniem nowych systemów czy też rozbudową starych. Do otoczenia należą te wszystkie czynniki zewnętrzne, które oddziałują na system OPL i na które system także oddziałuje. Czynnikami tymi są:

- środki napadu powietrznego,
- wojska operacyjne,
- teren,
- warunki meteorologiczne.

Czynniki te są źródłami informacji wejściowej dla modelu struktury systemu informacyjnego wojsk OPL /SI WOPL/, przedstawionej w bazie danych.

Na bazę danych wpływają czynniki zewnętrzne i stan struktury systemu OPL. Bazę danych tworzy zbiór danych logicznie uporządkowanych, opisanych i zgromadzonych w pamięci EMC, przeznaczonych dla zaspokojenia zapotrzebowania użytkowników systemu na informację opisującą strukturę SI WOPL. Baza danych zapewnia łatwy dostęp do danych dotyczących systemu OPL i jego otoczenia, przetwarzanie dużych masywów informacji, przechowywanie pełnej informacji o stanie struktury SI WOPL. Aktualizacja bazy danych i jej reorganizacja nie wpływa na sposób wykorzystania informacji. Aktualizacja oznacza okresowe uzupełnianie informacji drogą wczytywania nowych stanów położenia wojsk, sytuacji bojowej oraz likwidowania zapisów zdeaktualizowanych. Struktura bazy danych przedstawiona jest na rys.1.1. a dokładny jej opis i sposób wykorzystania w modelu struktury SI WOPL będzie opracowany w p.2.3.

$i$	$j$	$d_{ij}$	$p_{ij}$	$t_{ij}$	$a_{ij}$
1	2	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
$n$	...	...	...	...	...

Rys. 1.1. Struktura bazy danych

- $i, j$  - numery PK /OK/ OPL  
 $i, j = 1, 2, \dots, n$
- $d_{ij}$  - odległość między  $i$ -tym i  $j$ -tym PK /OK/ OPL,
- $p_{ij}$  - prawdopodobieństwo niezawodnej pracy połączenia między  $i$ -tym i  $j$ -tym PK /OK/ OPL,
- $t_{ij}$  - czas przesyłania informacji między  $i$ -tym i  $j$ -tym PK /OK/ OPL,
- $a_{ij}$  - przepustowość między  $i$ -tym i  $j$ -tym PK /OK/ OPL.

W celu opisu źródeł informacji i określenia masywu danych wejściowych niezbędnych do sformułowania i obliczenia modelu matematycznego struktury SI WOPL przeprowadzona została analiza poszczególnych czynników zewnętrznych oddziałujących na SI WOPL z uwzględnieniem warunków w których ten system będzie działał. A zatem będzie to analiza zawężona w sensie ogólnym lecz wystarczająca z punktu widzenia celu rozprawy.

### 1.2.1. Środki napadu powietrznego przeciwnika

Do współczesnych SNP zalicza się samoloty pilotowane różnych typów i rodzajów oraz bezpilotowe SNP. Obecnie na zachodzie znacznie wzrosła rola rakiet i ponaddzwiękowych samolotów myśliwsko-bombowych. Zgodnie z doktryną wojenną i poglądami państw NATO, w najbliższej przyszłości należy oczekiwać zmniejszenia ilości taktycznego lotnictwa bombowego używanego dotychczas do obezwładniania i niszczenia obiektów na polu walki i w głębokości operacyjnej. Planuje się natomiast wzrost ilości kierowanych i niekierowanych pocisków rakietowych przeznaczonych do wspierania walczących wojsk, jak również samolotów myśliwsko-bombowych szczególnie naddźwiękowych, przystosowanych do przenoszenia broni jądrowej [1]. Celem tych zmian jest ułatwienie wykonania zaskakującego i dokładnego uderzenia jądrowego, skuteczniejszego niż przy użyciu samolotów bombowych oraz łatwiejsze pokonanie systemu OPL przeciwnika. Dowództwa sił powietrznych głównych państw kapitalistycznych przywiązują duże znaczenie do czynnika zaskoczenia.

"Zaskoczenie - stwierdza doktryna sił powietrznych USA - jest decydującym czynnikiem w działaniach sił powietrznych i do osiągnięcia go powinien być skierowany cały wysiłek". Szczególnie duże znaczenie odgrywa zaskoczenie w początkowym okresie wojny.

W toku rozwijania działań zaczepnych przez wojska armii /frontu/ lotnictwo przeciwnika będzie dążyć do: wywalczenia przewagi w powietrzu poprzez niszczenie naszych środków napadu powietrznego, hamowania natarcia, uniemożliwienia wprowadze-

nia do bitwy drugich rzutów i odwodów, obezwładnienia siły żywej i sprzętu bojowego podczas forsowania przeszkód wodnych i przecięcia dróg dowozu i ewakuacji, wsparcia wojsk własnych wykonujących kontrataki i przeciwuderzenia. W operacjach ogólnowojskowych duże znaczenie będą miały przede wszystkim te ŚNP, które są przystosowane do przenoszenia broni masowego rażenia. Broń jądrowa i inne środki masowego rażenia będą przenoszone przez samoloty myśliwsko-bombowe, bombowe wszystkich typów oraz za pomocą różnego rodzaju rakiet.

Pod względem ilościowym zagrożenie z powietrza dla naszych wojsk ilustruje stan samolotów 2 i 4 PTSP /Połączone Taktyczne Siły Powietrzne/, zał. 1. Jednak miarą tego zagrożenia jest raczej jakość tych samolotów, potwierdza to tabela podstawowych danych taktyczno-technicznych samolotów NATO, zał. 2, a tabela 1 charakteryzuje możliwości lotnictwa przeciwnika w zakresie przenoszenia broni jądrowej.

TABELA 1

Typy bomb jądrowych przenoszonych przez lotnictwo  
taktyczne

Typ samolotu	Moc bomb jądrowych w kilotonach
F-84 F	2,5 kt, 9 kt, 28 kt, 47 kt
F-100 D	2,5 kt, 9 kt, 28 kt, 47 kt, 75 kt, 300 kt
F-101 C	2,5 kt, 9 kt, 28 kt, 47 kt, 75 kt, 300 kt
F-104 G	2,5 kt, 9 kt, 28 kt, 47 kt, 75 kt, 300 kt
F-105	2,5 kt, 9 kt, 28 kt, 47 kt, 75 kt, 300 kt
Mirage III C	15 kt, 20 kt
B-66	6 kt, 16 kt, 60 kt, 75 kt, 100 kt, 300 kt

Przeciwnik powietrzny w zależności od wyników rozpoznania stanu środków OPL, posiadanej ilości ŚNP i ich rodzajów może stosować szereg sposobów działania. Jest mało prawdopodobne, aby przeciwnik wykonywał uderzenia dużymi grupami samolotów /ponad 30 samolotów/ i z dużych wysokości na oddziały będące w bezpośredniej styczności z jego wojskami. W tym wypadku należy spodziewać się nalotów małych grup /20 do 30 sa-

molotów i z małych wysokości. Natomiast drugie rzuty, odwody, artyleria na stanowiskach ogniowych oraz inne obiekty mało ruchliwe i zajmujące dużą powierzchnię będą zwalczane nie tylko z małych, ale średnich i dużych wysokości dużymi grupami samolotów. Za najważniejszą zasadę użycia ŚNP uważa on zmasowane ich użycie na kierunku głównego uderzenia wojsk lądowych oraz skupienie ich wysiłku na wykonaniu głównego zadania.

W zmasowanym nalocie przeciwnik będzie wykorzystywał, jak można sądzić na podstawie dotychczasowych doświadczeń około 70 % ŚNP. Zamierza on w tym sposobie działania częścią swoich ŚNP związać walką wszystkie nasze środki OPL, aby pozostała ich część /z 70 %/ mogła działać swobodnie. Z punktu widzenia systemu OPL jest to najtrudniejszy wariant działania ŚNP. W pasie frontu w zmasowanym nalocie może uczestniczyć około 450 samolotów przeciwnika, zaś w pasie armii 150-200 samolotów.<sup>1/</sup> Samoloty te będą ugrupowane w 2-3 rzuty, a rzuty w 2-3 fale. Taka struktura zmasowanego nalotu zapewni przeciwnikowi narastanie ilości ŚNP w czasie jego trwania. Podział ŚNP według wysokości zgodnie z przewidywanymi sposobami działania przeciwnika powietrznego będzie następujący:

40-50 % ŚNP uczestniczących w zmasowanym nalocie będzie działać na wysokości do 1000 m.

30 % ŚNP - na wysokości 1000-7000 m.

20-30 % ŚNP - powyżej 7000 m.

Na podstawie ilości celów powietrznych, które przeciwnik przewiduje do użycia w zmasowanym nalocie i struktury meldunku przekazywanym o każdym celu obliczone zostały ilości informacji, które będą wymieniane między Punktami i Ośrodkami Kierowania OPL /PK /OK/ OPL/ w okresie zmasowanego nalotu. Obliczenia i wyniki zamieszczone są w pracy [3] i załączniku 3.

Jako jednostkę ilości informacji przyjęto grupę informacyjną składającą się z pięciu cyfr. Ponadto informacja o sytuacji powietrznej w sferze dowodzenia ogniowego podzielona została na trzy kategorie według kryterium czasu opóźnienia.<sup>2/</sup> Zgodnie z obowiązującymi ustaleniami przyjętymi na konferencji w Braszowie w 1971 r. Opóźnienie informacji pierwszej kategorii może

1/ Zob. [2].

2/ Opóźnienie informacji jest to różnica między czasem uzyskania informacji przez SI WOPL /np. czas wykrycia celu przez RLS/, a czasem przyjęcia informacji przez odpowiedni PK/OK/OPL.

wynieść do 2 min., drugiej do 5 min., trzeciej ponad 5 min.

Systematyczny proces doskonalenia ŚNP, ich ilość, sposoby działania, uzbrojenie wywierają bezpośredni wpływ na wymagania dla systemu OPL, użycie środków obrony przeciwlotniczej i jej organizację.

Z powyższej analizy wynika, że istnieje zbiór cech wymiernych /parametrów/ opisujących ŚNP, będących podstawą do liczbowej oceny ich potencjalnych możliwości działań bojowych na centralnym i północno-nadmorskim kierunku operacyjno-strategicznym. Parametrami opisującymi SNP są: prędkość i wysokość lotu, zasięg działania, intensywność nalotu, moc w postaci uzbrojenia. Poprzez te parametry przeciwnik może wpływać na wartość każdego elementu bazy danych, to jest:

- czasu przekazywania informacji, który zależy od prędkości lotu ŚNP, wysokości lotu, która wpływa bezpośrednio na odległość wykrycia celów powietrznych,
- odległości między elementami struktury SI WOPL, która zależy od wszystkich parametrów opisujących ŚNP,
- prawdopodobieństwo niezawodnej pracy dowolnej relacji SI WOPL, zależy ono od skuteczności działania ŚNP, wpływają na nią wszystkie parametry opisujące ŚNP,
- obciążenie informacyjne relacji, zależy ono od intensywności nalotu ŚNP,
- ilość elementów struktury SI WOPL, zależy ona między innymi od parametrów opisujących ŚNP.

#### 1.2.2. Wpływ wojsk operacyjnych na strukturę SI WOPL i bazę danych

Wojska operacyjne są głównym obiektem osłony dla systemu OPL, który powinien im zapewnić swobodę w wykonywaniu zadań. Obronę przeciwlotniczą wojsk organizuje się każdorazowo zgodnie z zadaniami wykonywanymi przez osłaniane wojska, uwzględniając ich ugrupowanie, warunki terenowe, porę roku i doby oraz sytuację bojową. W natarciu przed obroną przeciwlotniczą wojsk mogą być postawione następujące zadania: osłona wprowadzanych do walki drugich rzutów, osłona wojsk forsu-

jących przeszkody wodne, osłona ugrupowania odpierającego kontrataki i przeciwuderzenia, blokada z powietrza okrążonego nieprzyjaciela. Powyższe zadania wykonywane są w ścisłym powiązaniu z działaniami bojowymi osłanianych wojsk.<sup>1/</sup> Złożoność zadań wykonywanych przez obronę przeciwlotniczą stawia przed nią szczególne wymagania, a mianowicie: zwalczanie ŚNP na podejściach do osłanianych wojsk i innych obiektów, ciągłość osłony, kompleksowe wykorzystanie środków i ich współdziałanie, niespodziewane użycie sił i środków obrony przeciwlotniczej i inne - w zależności od sytuacji.

Szczególnie ważna we współczesnych warunkach jest ciągłość osłony, ponieważ działania bojowe cechuje duża ruchliwość i szybka zmiana sytuacji. Wojska na polu walki będą znajdować się w ciągłym ruchu, ich położenie i ugrupowanie będzie się ciągle zmieniać. Z tego powodu ugrupowanie sił i środków OPL należy stale dostosowywać do zadań wykonywanych przez wojska i ich ugrupowania. Osiąga się to przez organizowanie we właściwym czasie i dokonywanie manewru /przesunięć/ naziemnych środków OPL odpowiednio do prędkości przesuwania się wojsk.

Charakterystycznymi cechami działań bojowych środków OPL są: szybki ich przebieg i zmiana miejsca działania w przestrzeni oraz gwałtowne zmiany sytuacji powietrznej. Szybki przebieg działań bojowych w znacznym stopniu skraca czas potrzebny do podjęcia decyzji i jej przekazania. Czas ten może wynosić kilka minut, a w niektórych przypadkach - kilkanaście sekund. Element czasu odgrywa decydującą rolę w działaniach bojowych wojsk OPL. W celu prowadzenia operacji zaczepnej wojska frontu /armii/ ugrupowuje się w odpowiednich pasach w terenie wraz z bojowym sprzętem, poza tym rozmieszcza się jednostki i organa tyłowe, stanowiska dowodzenia, składy środków materiałowo-technicznego zabezpieczenia, przygotowuje się różnego rodzaju urządzenia niezbędne w działalności bojowej. Na wszystkie wyżej wymienione obiekty przeciwnik powietrzny może wykonywać uderzenia. Uwzględniając sposoby działania ŚNP niecelowa byłaby osłona w jednakowym stopniu wszystkich wymienionych obiektów, dlatego w celu racjonalnego wykorzystania środków OPL należy wybierać obiekty osłony według ich ważności,

---

1/ Analizę wojsk operacyjnych z punktu widzenia ich wpływu na bazę danych oparto głównie na pracy [1].

charakteru i położenia. W toku operacji zaczepnej ważność elementów ugrupowania operacyjnego wojsk frontu /armii/ i innych obiektów osłony może się szybko zmieniać, w zależności od zadania i sytuacji.

Za ważne obiekty osłony należy uważać: główne zgrupowanie wojsk z ich bojowym sprzętem technicznym, środki jądrowe i rakietowe, stanowiska dowodzenia, zapasy materiałowo-techniczne. W pewnych okresach operacji zaczepnej szczególne znaczenie mogą mieć również wojska na przyczółkach i przeprawy na przeszkodach wodnych. Znaczenie obiektów osłony może się także zmieniać w zależności od przybliżania się terminów gotowości wojsk do działań bojowych, szczególnie w okresie przygotowawczym do operacji zaczepnej. W miarę zbliżania się terminu gotowości do natarcia zgodnie z planem przygotowania operacji zaczepnej rozwija się artyleria, środki jądrowe i rakietowe, a wojska zajmują rejony wyjściowe. W związku z tym zmienia się ważność obiektów osłony.

W warunkach stosowania broni masowego rażenia coraz większego znaczenia nabiera rozśrodkowanie wojsk na polu walki. W tej sytuacji nie zawsze istnieją warunki zapewnienia ciągłej i skutecznej obrony przeciwlotniczej wojskom rozśrodkowanym na dużych obszarach. Dlatego należy osłaniać przed nieprzyjacielem działającym z powietrza główne zgrupowania i obiekty na głównych kierunkach, na których rozwijają się najbardziej aktywne działania wojsk.

Z powyższych rozważań wynika, że struktura SI WOPL jest ściśle uzależniona od ugrupowania operacyjnego osłanianych wojsk. Jeżeli zmieni się ugrupowanie operacyjne to w ślad za nim zmienia się struktura SI WOPL, to znaczy ilość jej elementów, odległości między nimi, relacje między elementami struktury i wielkości opisujące relacje. W celu zilustrowania modelu SI WOPL, strukturę wojsk frontu przyjęto na podstawie ćwiczenia "Kraj-73" [4]. Wojska operacyjne wpływają na wartość trzech elementów bazy danych: czasu przekazywania informacji, odległości między elementami struktury i ilości elementów struktury.

### 1.2.3. Teren

Współczesne działania bojowe wojsk lądowych stawiają wysokie wymagania w zakresie manewru środkami OPL. Manewr i przegrupowania aktywnych środków naziemnych OPL wojsk wzdłuż frontu i w głąb terenu działań wykonuje się w celu stworzenia możliwie najkorzystniejszych warunków dla sprawnego wykonania zadań osłony. Na realizację powyższych przedsięwzięć duży wpływ wywiera teren, który jest elementem decyzji szefa wojsk OPL.

W procesie wypracowania decyzji szef wojsk OPL oceniając teren rozpatruje:

- ogólny charakter terenu w pasie działania frontu, z punktu widzenia możliwości działań ŚNP i sprawności wykonania zadań przez wojska własne,
- rejony i rubieże, na których wojska frontu będą wymagały szczególnej osłony,
- właściwości terenu z punktu widzenia możliwości użycia poszczególnych sił i środków OPL oraz obrony przed środkami masowego rażenia,
- wpływ terenu na możliwości i sposoby działania przeciwnika powietrznego,
- dogodne rejony SO dla środków OPL, drogi przegrupowania i drogi manewru [1].

Przygotowanie terenu pod względem inżynieryjnym, rozśrodkowanie i maskowanie środków OPL i osłanianych wojsk w znacznej mierze zmniejsza ich rażenie przez ŚNP. Szczególnego znaczenia nabiera maskowanie, ponieważ przeciwnik powietrzny z zasady nie będzie wykonywał uderzeń, jeśli nie uda mu się rozpoznać ugrupowania środków OPL i innych obiektów. Osiąga się to między innymi przez wykorzystanie właściwości terenu.

W sytuacji bojowej wykorzystywane są nierówności terenu. Oprócz zwykłych urządzeń inżynieryjnych, wykorzystywanych dla ukrycia siły żywej i bojowego sprzętu technicznego, duże znaczenie posiadają wąskie szczeliny, wykopane w rejonach rozmieszczenia wojsk. Ukrycia dla środków OPL i obsługa wykorzystuje się z uwzględnieniem konieczności ciągłego prowadzenia walki ze ŚNP.

Opłacalnym celem uderzeń ŚNP mogą być wojska frontu /armii/ na kanalizujących odcinkach dróg /mosty, przeprawy, cieśniny, groble, duże masywy leśne, węzły dróg itp/.

Większe masywy leśne, zwłaszcza wśród błot, stanowią naturalną przeszkodę utrudniającą działania manewrowe i ogniowe środków OPL. Las wysokopienny ogranicza lub uniemożliwia prowadzenie rozpoznania radiolokacyjnego, utrudnia wybór stanowisk ogniowych dla środków OPL.

W terenie górzystym i górzysto-lesistym wysokie i często strome grzbiety górskie poprzecinane dolinami i wąwozami kanalizują ruch nacierających wojsk, zmuszając je do działania na kierunkach izolowanych od siebie. Tempo natarcia w tych warunkach jest zwykle niższe niż w warunkach normalnych. Ograniczona ilość dróg i często ich zły stan /wąskie, duży kąt nachylenia, serpentyny/ utrudniają dokonanie wyboru i zajmowanie stanowisk ogniowych, wykonanie przesunięć dział i stacji radiolokacyjnych, manewru i przegrupowania sił i środków OPL. Środki rozpoznania radiolokacyjnego, posiadają małą manewrowość, trudność maskowania, zbyt duży czas rozwijania /od 1-6 godz./ i zwijania. W trudnych warunkach terenowych te ujemne cechy mogą spowodować skrócenie czasu pracy tych środków, a przez to zmniejszyć wykrywalność celów powietrznych.

Odległość do wykrywanego celu powietrznego przez stację radiolokacyjną zależy również w dużym stopniu od ukształtowania rzeźby terenu zarówno w pobliżu stanowiska bojowego stacji, jak też i w dalszej strefie zasięgu. Stanowiska te powinny z reguły znajdować się w odległości 2-3 km od dużych miejscowości i w miarę możliwości na otwartym, równym terenie przynajmniej w promieniu 500-800 m. W pobliżu stanowisk rozwinięcia stacji nie powinno być dużych drzew, metalowych masztów, pojedynczych budowli z blaszanymi dachami, linii i źródeł energetycznych, sypkich piasków itp.

Najlepsze warunki pracy radiolokacyjnych posterunków wykrywania stwarza teren równinny oraz stanowiska wybrane na otwartych /płaskich/ nadbrzeżach morza, jeziora itp. Ponadto teren w rejonie stanowiska rozwinięcia radiolokacyjnego posterunku wykrywania powinien umożliwić wykonanie prac inżynierskich, ukrycie stanu osobowego i sprzętu /aparatury/ maskowanie

przed obserwacją z ziemi i powietrza oraz skryte drogi dojazdowe. W celu zwiększenia odległości wykrywania celów lecących na małych wysokościach stanowiska rozwinięcia radiolokacyjnych posterunków wykrywania najlepiej jest wybrać na panującym nad okolicą wzniesieniu lub placu o równomiernym spadzie terenu /nie większym niż 2°/.

W górzystym terenie w celu zapobieżenia ekranizującemu wpływowi gór na stacje radiolokacyjne, stanowiska dla ich rozwinięcia należy wybierać na dostępnych płaskowyżach lub w dolinach mających kąt wzniesienia przyległego terenu nie większy niż 2°. W niektórych wypadkach stanowiska rozwinięcia stacji /posterunków/ radiolokacyjnych wybiera się 2-3 km od podnóża gór lub na ich stokach. Wykrycie celów lecących na małych wysokościach z tych stanowisk rozwinięcia stacji radiolokacyjnych możliwe jest tylko w określonych wycinkach, a utworzenie ciągłego radiolokacyjnego pola wykrywania na małych wysokościach z reguły jest niemożliwe. Rzeźba terenu ma znaczny wpływ na kształtowanie się wiązki kierunkowej stacji radiolokacyjnej i rozprzestrzenianie się fal elektromagnetycznych, szczególnie podczas wykrywania celów niskolecących oraz na dokładność określenia współrzędnych celu. W pracy [13] dokonano obliczeń przy pomocy EMC w celu określenia dopuszczalnych nierówności terenu, przy których uzyskuje się tzw. odbicie lustrzane sygnałów radiolokacyjnych. Przy odbiciu lustrzanym uzyskuje się bowiem najmocniejszy odbiór sygnałów radiolokacyjnych.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że teren wpływa na wartość jednego elementu bazy danych - odległości między elementami struktury SI WOPL.

#### 1.2.4. Warunki meteorologiczne

W toku działań bojowych przeciwnik powietrzny będzie się starał wykorzystać trudne warunki meteorologiczne w celu wykonania uderzeń na SO środków masowego rażenia, wojska w rejonach ześrodkowania, przeprawy, obiekty zabezpieczenia pola walki i lotniska.

W wojskach OPL oprócz stacji radiolokacyjnych są używane środki obserwacji wzrokowej, uzupełniają one środki rozpoznania

radiolokacyjnego szczególnie w zakresie wykrywania automatycznych balonów, śmigłowców, desantów powietrznych oraz samolotów lecących na małych wysokościach. Obserwację wzrokową prowadzą w wojskach lądowych wyznaczeni obserwatorzy na wszystkich stanowiskach dowodzenia oraz posterunki OPL wykorzystując przyrządy optyczne /dalmierze, lunety, lornetki/ przeznaczone do wizualnego wykrywania, identyfikacji i obserwacji obiektów powietrznych. Za pomocą dalmierzy można w dzień i przy sprzyjających warunkach atmosferycznych skutecznie uzupełniać rozpoznanie radiolokacyjne. Zaletą dalmierzy jest to, że na przygotowanie ich do pracy potrzeba znacznie mniej czasu niż na przygotowanie stacji radiolokacyjnych, a ponadto za ich pomocą można dokładniej określić współrzędne celów powietrznych; nie są one również narażone na zakłócenia. Przyrządy optyczne znajdują się na wyposażeniu oddziałów i pododdziałów OPL, a szczególnie artylerii przeciwlotniczej /dalmierze i lunety/. W warunkach dobrej widoczności na małych i średnich wysokościach obserwacja wzrokowa pozwala wykryć przeciwnika powietrznego gołym okiem na odległościach do 8-12 km, za pomocą lornetki do 10-20 km, a za pomocą dalmierza do 50-100 km. Ponadto obserwacja wzrokowa pozwala udokładnić ilość, przynależność i rodzaj samolotów /śmigłowców, balonów automatycznych/ oraz ugrupowanie bojowe i charakter działania przeciwnika powietrznego znajdującego się w zasięgu obserwacji wzrokowej.

Skuteczność środków OPL wojsk w pewnych wypadkach może się zmniejszyć. Na przykład stacje radiolokacyjne w czasie przegrupowania się nie mogą wykrywać ŚNP jak też podczas intensywnych zakłóceń ze strony przeciwnika. W trudnych warunkach meteorologicznych przyrządy optyczne nie mogą skutecznie uzupełnić, a tym bardziej zastąpić rozpoznania radiolokacyjnego. Artyleria przeciwlotnicza średniego kalibru i rakiety przeciwlotnicze nie mogą zwalczać ŚNP w czasie wykonywania przez nie przesunięć i manewru. Czas ten zależy od stanu dróg, terenu, a ten z kolei uzależniony jest od warunków meteorologicznych i pory roku.

Podczas działań środków OPL w zimie należy:

- stosować przedsięwzięcia zapewniające normalne funkcjonowanie /w warunkach niskich temperatur/ dział, przyrządów,

- stacji radiolokacyjnych, stacji zasilania i środków ciągu,
- stosować środki ułatwiające pokonywanie terenu przez ciągniki kołowe, gąsienicowe i inne środki transportowe,
- prowadzić rozpoznanie dróg marszu przesunięć środków OPL, stanowisk ogniowych i miejsc rozmieszczenia PK /OK/ OPL itp.

Warunki meteorologiczne pośrednio poprzez teren wpływają na odległość między elementami struktury SI WOPL.

### 1.3. Analiza istniejącego stanu systemu informacyjnego wojsk OPL z punktu widzenia potrzeb modelowania i jego dalszego doskonalenia

Analizując najogólniej dowolny system wojskowy można wyróżnić w nim cztery czynniki: materię, energię, strukturę i informację, przy czym struktura jest to rozmieszczenie materii i energii, wzajemne ustosunkowanie energii i elementów materialnych. W celu zapewnienia poprawnego funkcjonowania systemu OPL, posiada on: określoną ilość potencjału bojowego /energii/, określoną ilość sił i środków /materii/ przeznaczonej do jego budowy i strukturę która uwzględnia specyfikę warunków jego działania. Wyodrębnienie pojęcia struktury jako czwartego /obok energii, materii i informacji/ czynnika ukazuje jego wagę w budowie i funkcjonowaniu systemu OPL. System ten jest systemem hierarchicznym i specyfikę jego stanowi występowanie autonomicznych podsystemów na poziomie frontu, armii, dywizji i pułku. Elementy systemu odpowiadają rozmieszczeniu potencjału bojowego, sił i środków OPL. Powstanie określonego skutku działania systemu OPL jest wynikiem działania dwóch procesów: informacyjnego, polegającego na spowodowaniu tego właśnie skutku spośród wielu możliwych oraz energetycznego polegającego na doprowadzeniu energii w ilości potrzebnej do wywołania danej reakcji. Odpowiednio do tego można wyróżnić tor informacyjny w którym odbywa się przenoszenie informacji /np. informacja decyzyjna/ oraz tor energetyczny, którym potencjał bojowy dopływa do wykonawcy. W sensie ogólnym można stwierdzić że kierowanie jest wywieraniem pożądanego wpływu na określony obiekt lub zjawisko. Na materię i energię można wywierać wpływ przez

zmianę ich postaci i przez przemieszczanie, czyli zmianę ich ustosunkowania co powoduje zmiany struktury. A zatem kierowanie jest wywoływaniem pożądanych zmian struktury. Struktura SI WOPL obejmuje podział systemu informacyjnego na pewną liczbę podsystemów składowych i elementów oraz ustalenie powiązań między nimi. Graf struktury systemu informacyjnego wojsk OPL przedstawiony jest w załączniku 4.

System OPL wymaga uzupełnień o nowe pojęcie SI WOPL. Pewne światło na systemy informacyjne rzucają nieliczne publikacje z ostatnich kilku lat /5-7/ - które traktują je jako pewną podklasę systemów wielkich. Jak dotąd nie zostały dostatecznie dobrze sformalizowane związki systemów informacyjnych z lepiej określonymi hierarchicznymi systemami decyzyjnymi. System decyzyjny może być w pewnym sensie traktowany jako informacyjny ale nie odwrotnie. Mają miejsce bowiem jeszcze funkcje obsługi informacji, gromadzenie, prezentacja itp.

System informacyjny wojsk OPL wyróżnia się między innymi:

- brakiem elementów dysponujących wejściami i wyjściami energetycznymi lub materialnymi,
- wykonywaniem zadań związanych ze zbiorem, przetwarzaniem i wykorzystywaniem informacji z punktu widzenia potrzeb użytkownika tych informacji,
- ścisłym związkiem celowościowym z systemem kierowania obroną przeciwlotniczą, którego jest podsystemem. Związek ten jest tak mocny, że SI WOPL samodzielnie nie funkcjonuje,
- cyklicznością, polegającą na tym, że wielkości wejściowe muszą być przetworzone w czasie pełnego cyklu decyzyjnego. Pełny cykl decyzyjny jest to czas od chwili wykrycia istotnych zmian w sytuacji na polu walki lub uzyskania danych o ŚNP, do chwili przekazania rozkazów lub komend do odpowiednich oddziałów OPL,
- podleganiem wszystkim regułom analizy, syntezy i optymalizacji właściwym teorii systemów wielopoziomowych,
- możliwością opisu zachowania SI WOPL wyłącznie z punktu widzenia metainformacyjnego w sensie [8].

SI WOPL jest mało zbadany, pomimo że inżynieria tego systemu jest poważnie zaawansowana, a wiele śmiałych projektów zostało już zrealizowanych i oddaje usługi praktyczne. Dużą przeszkodę stanowi tu ściśle przestrzegana poufność co ciekawszych rezultatów, jako że nawet niewielkie ulepszenia strukturalne znacznie wpływają na efektywność ekonomiczną kosztownego SI WOPL. Sprawa jest tym ważniejsza, że jakość działania SI WOPL zależy od optymalności wykonywania każdej z funkcji systemu, przy czym kryterium oceny wpływa z gruntownego poznania zadań, procesów i wymagań z nimi związanych.

Poszczególne elementy SI WOPL realizują dwie zasadnicze funkcje: kierowanie taktyczno-operacyjne, kierowanie /dowodzenie/ ogniowe. Kierowanie taktyczno-operacyjne jest to zbiór czynności związanych z ustaleniem i realizacją zadań taktycznych i operacyjnych. Ilość informacji wymieniana między PK OPL i OK OPL w sferze kierowania taktyczno-operacyjnego w czasie doby zawiera zał. 3. Będzie ona niezbędna do określenia macierzy przepływów informacji między PK /OK/ OPL. Podstawą do określenia potoków informacji w sferze dowodzenia taktyczno-operacyjnego jest ilość cykli dowodzenia w ciągu doby i ilość informacji przesyłana w jednym cyklu [3].

Zakłada się, że w zautomatyzowanym systemie dowodzenia liczba cykli w ciągu doby może wynosić: na szczeblu armii 4-5, na szczeblu frontu 2-3.

Informację dzieli się na trzy kategorie. Opóźnienie informacji pierwszej kategorii w sferze dowodzenia taktyczno-operacyjnego może wynosić do 5 min., drugiej do 30 min., trzeciej 60 min. i więcej.

Dowodzenie ogniowe stanowi ogół czynności dowódczych związanych z określeniem i realizacją zadań ogniowych w systemie OPL, przebiega ono w czasie zbliżonym do rzeczywistego i obejmuje procedury od momentu wykrycia ŚNP do momentu jego rażenia.

Podobnie jak w sferze dowodzenia taktyczno-operacyjnego informacja ze względu na stopień pilności podzielona została na trzy kategorie. Do pierwszej kategorii przyjęto zaliczać informację, której opóźnienie nie może przekraczać 2 min., do drugiej kategorii zalicza się informację z opóźnieniem do 5 min. a do trzeciej kategorii ponad 5 min.

Kierowanie siłami i środkami OPL /dowodzenie ogniowe/ opiera się obecnie głównie na tradycyjnych metodach pracy, co nie odpowiada nowoczesnym środkom OPL <sup>1/</sup> i utrudnia centralizację dowodzenia. Głównymi przyczynami, które ograniczają możliwości kierowania ogniowego są:

- ręczno-foniczny sposób zbioru i przekazywania danych o celach powietrznych od RLS do centrum analizy sytuacji powietrznej,
- ręczno-planszetyowy sposób odzwierciedlania sytuacji powietrznej,
- manualny sposób odzwierciedlania danych, klasyczny sposób analizy sytuacji powietrznej w Centrum Rozpoznania Radiolokacyjnego /CRR/ w Centrum Kierowania /CK/ OPL i foniczno-planszetyowy sposób wskazywania celów do zniszczenia.

Zestawienie czasów wykonywania typowych czynności w podstawowych relacjach dowodzenia ogniowego systemu OPL zawarte jest w pracy [9], ukazuje ono "drogi krytyczne" w obiegu informacji w SI WOPL<sup>2/</sup>. Jeśli w strefie OPL armii lub frontu jest 6-8 celów to od momentu pojawienia się obiektu na wskaźniku radiolokacyjnej stacji /RLS/ do chwili wydania komendy dywizjonowi rakiet plot upływa 3 min. Przy większej ilości celów /wielokrotność 6-8 celów/ proporcjonalnie obniży się dyskretność przekazywania meldunków, ponieważ intensywność przekazywania celów wynosi 6-8 celów/min. W czasie  $t = 3$  min., cel przeleci przy  $V_c = 300$  m/sek., odległość 54 km. Na przykład na  $H = 500$  m cel zostanie wykryty w odległości 50 km przed linią styczności walczących wojsk, jeśli lotnisko lotnictwa myśliwskiego /LM/ odległe jest od linii frontu około 100 km.

Start samolotów nastąpi po trzech minutach od chwili wykrycia celu, który wówczas będzie się znajdował w pobliżu dalszej strefy ognia środków OPL. A zatem LM zadania nie wykona. Pododdziały rakiet plot ugrupowane w odległości 10-20 km od linii frontu także nie zdążą otworzyć ogień do celu.

- 
- 1/ Sprzęt bojowy znajdujący się na wyposażeniu wojsk OPL jest w większości zautomatyzowany /zestawy rakiet przeciwlotniczych, nowoczesne działa przeciwlotnicze ZSU-23, sprzęt radiolokacyjny/.
  - 2/ Rozważania dotyczące aktualnego stanu procesów informacyjnych w systemie OPL oparto głównie na pracy [9].

System OPL wykona tylko wówczas zadanie, jeśli suma czasu cyklu dowodzenia i czasu działania środków ogniowych będzie mniejsza od czasu krytycznego jakim jest czas dolotu samolotu do atakowanego obiektu:

$$t_{\text{dow.}} + t_{\text{dział.}} \leq t_{\text{kryt.}}$$

Dla współczesnych ŚNP opóźnienie informacji o celu o 1 min. powoduje błąd w ocenie jego położenia 15-25 km. Natomiast istniejący SI WOPL powoduje spóźnioną reakcję systemu OPL odpowiadającą zmianie położenia celu o około 100 km.

Z punktu widzenia szybkości przepływu strumienia informacji i wymagań względem czasu ich przetwarzania w poszczególnych ogniach SI WOPL wyróżniamy:

- strumień informacji wolnozmiennnej /statycznej/,
- strumień informacji szybkozmiennnej /dynamicznej/.

Pierwszy typ strumienia cechują duże masywy danych zbieranych i magazynowanych w sposób wolnozmienny /sfera dowodzenia taktyczno-operacyjnego/, natomiast drugi reprezentuje typowy przepływ strumienia na bieżąco od źródeł informacji do jej użytkownika i jest szybkozmienny z punktu widzenia algorytmów przetwarzania. Od dynamiki zmian strumienia informacji drugiego typu uwarunkowany jest czas reakcji systemu, który zależy od szybkości przetwarzania informacji przez SI WOPL i szybkości wykorzystania rezultatów przetwarzania informacji w systemie dowodzenia ogniowego. Organizacja procesów informacyjnych oraz prędkość ich obiegu wywierają bezpośredni wpływ na skuteczność działania każdego systemu. Jeśli na przykład do środków ogniowych dotrze decyzja spóźniona, nie odpowiadająca aktualnej sytuacji powietrznej to nie zostanie ona wykonana. Natomiast małe opóźnienia rzędu kilku sekund powodują zmniejszenie ilości zniszczonych ŚNP.

Źródłem danych dla SI WOPL jest system rozpoznania radiolokacyjnego powiadamiania i ostrzegania. Jest nim zespół sił i środków przeznaczonych do wykrywania i rozpoznania obiektów powietrznych, odzwierciedlania sytuacji powietrznej na planszach analizy i uogólnienia oraz przekazywania jej do ośrodków i punktów kierowania, stanowisk dowodzenia naziemnych środków obrony przeciwlotniczej.

Opóźnienie informacji o sytuacji powietrznej w systemie rozpoznania radiolokacyjnego armii wynosi 2-3 min., a frontu 5-6 min. Stąd dane tego systemu umożliwiają scentralizowanie dowodzenia środkami OPL przy odpieraniu nalotów przeciwnika na  $H = 1500$  m i wyżej.

Istnieją obecnie trudności w przekazywaniu informacji decyzyjnej, ze względu na potrzebę ich utajania i krótkiego czasu na ich przekazanie. Z istniejącego stanu systemu OPL wynika, że nie we wszystkich warunkach sytuacji powietrznej wykona on swoje zadanie. Trudności te tkwią również w procesach zbierania i przetwarzania informacji, a w szczególności w prędkości ich przebiegu. Dlatego wszystkie przedsięwzięcia, które stwarzają możliwości usunięcia tych trudności są konieczne, jeśli tylko w rezultacie doprowadzają do skrócenia czasu reakcji systemu OPL. Celowi temu w systemie OPL wojsk służy również sprawniejsza od dotychczasowej wymiana informacji między elementami systemu, skraca bowiem czas reakcji systemu OPL i zwiększa sprawność organizacyjną.

Nabiera więc wagi stale otwarte zagadnienie stopnia centralizacji dowodzenia obroną przeciwlotniczą, którego bez wnikliwych badań przepływów informacyjnych nie można w ogóle rozwiązać.

Oprócz powyższych przyczyn potrzeba badań i optymalizacji struktury SI WOPL wynika z opracowanej "Koncepcji Polowego Zautomatyzowanego Podsystemu Dowodzenia Wojskami OPL". Badanie SI WOPL zostanie przeprowadzone w oparciu o zbiór metod matematycznych i wykorzystanie EMC. Na podstawie uzyskanych wyników badań będzie można ocenić istniejący stan systemu informacyjnego, jego liczbowe charakterystyki i możliwości w różnych wariantach działania i wyciągnąć praktyczne wnioski odnośnie organizacji kierowania siłami i środkami OPL.

Przedmiotem dalszych rozważań będzie model struktury SI WOPL w warunkach niepełnej znajomości charakterystyk zachowania się otoczenia, a także braku matematycznego opisu celu działania systemu i miar jego użyteczności. Będziemy się zajmowali algorytmami wykonywania poszczególnych operacji składających się na optymalizację /w ramach sformułowanego problemu/ struktury SI WOPL, ze względu na zbiór kryteriów jakości jego działania.

## 2. METODA I TECHNIKA MODELOWANIA SYSTEMU INFORMACYJNEGO WOJSK OPL

Złożoność SI WOPL sprawia, że trudno jest analizować jego działanie bez zastosowania metod matematycznych.

Biorąc pod uwagę zawikłość i płynność rozwoju systemu OPL koniecznym jest w toku badań pominięcie szeregu mniej istotnych cech badanego systemu i odrzucenie z realnej sytuacji pewnych aspektów co łącznie da wyidealizowaną wersję rzeczywistych zdarzeń i procesów. Jeżeli proces idealizacji powiedzie się, to osiągnięte rezultaty stanowią użyteczne przybliżenie zjawisk występujących w systemie. Nawet wtedy, kiedy osiągnięte się pozytywne rezultaty idealizacji modelu celowym wydaje się rozbić ów wyidealizowany obraz na pewną liczbę części w celu oddzielnego ich rozważania tj. analizować określone zagadnienia. Możliwość ta zależy od tego czy istnieją części i problemy w przybliżeniu niezależne od siebie lub występują proste współzależności pomiędzy zjawiskami zachodzącymi w badanej strukturze. Modelowanie matematyczne opiera się na wykorzystaniu analogii istniejących między rzeczywistym systemem a modelem abstrakcyjnym. Usterki, które posiadają modele wynikają z dwóch zasadniczych przyczyn; opisywania zjawisk kategoriami znanych pojęć i idealizacji modelu w celu uproszczenia analizy matematycznej. Istnieje wspólny punkt widzenia dla wszystkich badających i rozwiązujących dowolne zagadnienia, jest nim problem optymalnego rozwiązania w sensie przyjętych kryteriów. Złożoność i różnorodność tematyki w zakresie badania i projektowania systemów informacyjnych wymaga zastosowania nowych metod i sposobów rozwiązywania tych zagadnień. Ogólnie należy stwierdzić, że stan wiedzy z tego zakresu jest bogaty i szereg podstawowych problemów może być z powodzeniem rozwiązanych. Z matematycznego punktu widzenia będziemy mieli do czynienia z problemem kompleksowym, którego ogólny opis matematyczny dogodnie będzie oprzeć na podstawach teoriomnogościowych w celu określenia charakterystyk skomplikowanej całości SI WOPL.

## 2.1. Matematyczny opis sieci

Rozważać będziemy zbiory, których każdy element jest wyróżniony przez spełnienie pewnej własności  $W$ , co zapisujemy

$$A = \{a; a \in X \wedge W /a/\}$$

Zapis powyższy należy rozumieć jak następuje:  $X$

jest pewną zadaną przestrzenią;  $a$  jest jej elementem, natomiast zbiór  $A$ , to zbiór tylko tych  $a$  ze zbioru  $X$ , które mają własność  $W$  czyli  $W /a/$ . Zbiory tego typu nazywa się niekiedy podzbiorymi  $X$ ;  $A \subset X$ .

Rozpatrywać będziemy podzbiory liczb naturalnych. Zdefiniujemy zbiór

$$N = \{k; k = 1, 2, \dots, m\}$$

oraz zbiory

$$m_1 \text{ elementowe: } M_1 = \{1; 1 \in N\}, \quad M_1 \subset N$$

$$m_2 \text{ elementowe: } M_2 = \{1; 1 \in N\}, \quad M_2 \subset N$$

⋮

$$m_i \text{ elementowe: } M_i = \{1; 1 \in N\}, \quad M_i \subset N$$

⋮

$$m_m \text{ elementowe: } M_m = \{1; 1 \in N\}, \quad M_m \subset N$$

gdzie:

$$m_i \leq m; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$m$  - moc zbioru  $N$

Zbiory  $M_i$  są zbiorami liczb naturalnych należących do  $N$  ale wybranych w dowolny sposób.

### 2.1.1. Definicja węzła

Weźmy pod uwagę iloczyny kartezjańskie

$$\{k\} \times M_k, \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

Określmy na tych iloczynach  $m$  funkcji odwzorowujących  $\{k\} \times M_k$  w przestrzeń liczb rzeczywistych  $R^n$ , co zapiszemy

$$F_1; \{1\} \times M_1 \rightarrow R^n$$

$$F_2; \{2\} \times M_2 \rightarrow R^n$$

$$F_m; \{m\} \times M_m \rightarrow R^n$$

gdzie:

$n$  - ustalony wskaźnik, który jest uwarunkowany ilością przypisanych własności parom  $/k, l/$ .

Zbiory  $M_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  powstały wskutek wyboru  $m_i$  elementów ze zbioru  $N$ . Iloczyny kartezjańskie  $\{k\} \times M_k$  są zbiorami uporządkowanych par o stałym poprzedniku równym  $k$  i zmieniającym się następniku  $l$ . Następnik  $l$  przebiega wszystkie elementy zbioru  $M_k$ . Rozpisując zależności funkcyjne otrzymamy:

$$F_1; F_1 /1, l_1/, F_1 /1, l_2/, \dots, F_1 /1, l_{m_1}/$$

$$F_2; F_2 /2, p_1/, F_2 /2, p_2/, \dots, F_2 /2, p_{m_2}/$$

$$\begin{array}{ccccccc} \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \end{array}$$

$$F_i; F_i /i, q_1/, F_i /i, q_2/, \dots, F_i /i, q_{m_i}/$$

$$\begin{array}{ccccccc} \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \end{array}$$

$$F_m; F_m /m, r_1/, F_m /m, r_2/, \dots, F_m /m, r_{m_m}/$$

Każdy element z powyższej tabeli jest funkcją wektorową o wartościach w  $R^n$ ;  $i$ -ty wektor:

$$F_i /i, q_1/ \quad F_i /i, q_2/ \quad \dots \quad F_i /i, q_{m_i}/$$

jest macierzą o  $n$  wierszach i  $m_i$  kolumnach.

Każdy wiersz tabeli jest wektorem o różnej ilości składowych. Ilość składowych zależy od ilości elementów w zbiorze  $M_i$ .

Zapis  $i$ -tego wektora w postaci macierzy:

$$\begin{bmatrix} F_i^1 /i, q_1/ & F_i^1 /i, q_2/ & \dots & F_i^1 /i, q_{m_i}/ \\ F_i^2 /i, q_1/ & F_i^2 /i, q_2/ & \dots & F_i^2 /i, q_{m_i}/ \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ F_i^n /i, q_1/ & F_i^n /i, q_2/ & \dots & F_i^n /i, q_{m_i}/ \end{bmatrix}$$

2.1.1.

Elementy powyższej macierzy są liczbami rzeczywistymi. Kolumny macierzy przyporządkowują ustalonej parze  $/k, q_1/$  n wartości rzeczywistych

$$F_i^j /i, q_l/, \quad \begin{aligned} i &= 1, 2, \dots, m \\ j &= 1, 2, \dots, n \\ l &= 1, 2, \dots, m_i \\ q_l &\in M_i \end{aligned}$$

Zmieniając i od 1 do m otrzymujemy m macierzy powyższej postaci.

Każdy element zbioru

$$W = \left\{ /k, q_l/, \left[ /k, q_l/ \in \{k\} \times M_k \wedge F_k /k, q_l/ \right] \right. \\ \left. k = 1, 2, \dots, m \right\}$$

nazywać będziemy ogniwnem i oznaczać  $O_k^{q_l}$

Z definicji powyższej wynika, że ogniwnem będzie przyporządkowanie parze  $/k, q_l/ \in \{k\} \times M_k$  wektora n wymiarowego

$$F_i^j /i, q_l/ ; \quad \begin{aligned} i &= 1, 2, \dots, m \\ j &= 1, 2, \dots, n \\ l &= 1, 2, \dots, m_i \\ q_l &\in M_i \end{aligned}$$

$$\text{sumę } w_i = \bigcup_{l=1}^{m_i} Q_i^{q_l}$$

gdzie:  $m_i$  jest ilością elementów  $M_i$

nazywać będziemy węzłem. Ogniwo więc jest częścią składową węzła.<sup>1/</sup>

1/ W rozważaniach nie jest rozpatrywana wewnętrzna struktura węzła tylko jego wejścia i wyjścia.

### 2.1.2. Definicja sieci

Po ustaleniu pojęć podstawowych możemy zdefiniować sieć.

Siecią w sensie matematycznym nazywać będziemy sumę teoriomnogościową zbioru węzłów

$$S = \bigcup_{i=1}^m w_i$$

czyli

$$S = \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{l=1}^{m_i} o_{i,l}^{q_1}$$

tak rozumiana sieć składa się z

$$v = \sum_{i=1}^m m_i \text{ układów postaci}$$

$$/k, l/; [F_1^j /k, l/, \dots, F_m^j /k, l/]; \quad j = 1, 2, \dots, n$$
$$l = 1, 2, \dots, m_i$$

$k$  - dowolne ale ustalone

Przykład ilustrujący definicję funkcji  $F_i /i, q_1/$ , ogniwa, węzła i sieci zamieszczony jest w dodatku I.

W większości praktycznych przypadków rozpatruje się sieć, w których dla każdego ogniwa węzła  $/k, q_1/$  istnieje ogniwo  $/q_1, k/$ . Ponadto ogniwa typu  $/k, q_1/$  gdzie  $q_1 = k$  nie istnieją.

Funkcjom  $F_i^j /i, q_1/$  można nadać interpretację fizyczną:

Niech  $F_i^1 /i, q_1/$  - określa czas przepływu informacji między  $i$ -tym, a  $q_1$  - tym węzłem,

$F_i^2 /i, q_1/$  - określa długość krawędzi między  $i$ -tym, a  $q_1$ -tym węzłem,

$F_i^3 /i, q_1/$  - określa przepustowość krawędzi między  $i$ -tym, a  $q_1$ -tym węzłem,

$F_i^4 /i, q_1/$  - określa niezawodność krawędzi między  $i$ -tym, a  $q_1$ -tym węzłem, lub ogniwem  $/i, q_1/$  z  $i$ -tego węzła, a ogniwem  $/q_1, i/$  z  $q_1$ -tego węzła.

### 2.1.3. Sieć liniowa

W definicji przedstawionej w p. 2.1.2 zrobimy dodatkowe założenia ograniczające. Założmy mianowicie, że zbiory  $M_k$  mają następujące własności

$$\bigwedge_k [k \in N \Rightarrow M_k = \{1; 1 \in N \wedge 1 \neq k\}] \quad /2.1.2/$$

$$\bigwedge_k \bigwedge_{q_1} [k \in N \wedge q_1 \in M_k \Rightarrow k \in M_{q_1}] \quad /2.1.3/$$

Założenie /2.1.2./ żąda by zbiory  $M_k$  nie zawierały elementów  $k$ . Założenie /2.1.3./ wyróżnia tylko takie sieci dla których, jeżeli

$$/k, q_1/ \in \{k\} \times M_k$$

to w odpowiednim zbiorze  $M_{q_1}$  znajduje się element  $k$  czyli para

$$/q_1, k/ \in \{q_1\} \times M_{q_1}$$

Założenie /2.1.3./ pozwoli na zdefiniowanie w sieci pojęcia linii. W tym celu wyróżniliśmy spośród  $n$  składowych funkcji  $F_i^j /i, q_1/$  cztery pierwsze nadając im sens fizyczny. Bez zawężenia ogólności rozpatrywanej sieci przyjmiemy, że

$$F_i^1 /i, q_1/ = F_i^1 /q_1, i/; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$q_1 \in M_i$$

analogicznie

$$F_i^2 /i, q_1/ = F_i^2 /q_1, i/$$

$$F_i^3 /i, q_1/ = F_i^3 /q_1, i/$$

$$F_i^4 /i, q_1/ = F_i^4 /q_1, i/$$

Linia nazywać będziemy układ funkcji

$$F_i^j /i, q_1/ ; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$q_1 \in M_i$$

dla  $i, q_1$  zmiennego lecz ustalonego.

Z powyższego wynika, że linią jest układ parametrów charakteryzujących własności sieci między ogniwem  $/i, q_1/$  w węźle  $i$ -tym, a ogniwem  $/q_1, i/$  w węźle  $q_1$ -tym.

Dla  $j = 5, 6, 7, 8$  funkcji  $F_i^j /i, q_1/$  możemy również nadać interpretację fizyczną.

Niech

$$i = \bigwedge_{1, 2, \dots, m} \quad j = \bigwedge_{5, 6, 7, 8} \quad q_1 \in M_i \quad F_j^i /i, q_1/ \text{ kolejno określa}$$

$F_i^5 /i, q_1/$  - czas przyjęcia informacji w ogniwie  $/i, q_1/$ ,

$F_i^6 /i, q_1/$  - czas wysłania informacji z ogniwa  $/i, q_1/$ ,

$F_i^7 /i, q_1/$  - czas przechowywania informacji w ogniwie,

$F_i^8 /i, q_1/$  - czas przetwarzania informacji w węźle  $i$ -tym.

#### 2.1.4. Pojęcie drogi przesyłania informacji

Określimy ciąg indeksów węzłów w następujący sposób:

Wybieramy pewien węzeł, oznaczmy jego indeks literą  $q_1$   
 $q_1 \in N, q_1 \leq m$ .

Następnie wybieramy w dowolny sposób ogniwo w węźle  $q_1$ -szym.

Niech to będzie ogniwo  $/q_1, q_1/$ ,  $q_1 \in M_{q_1}$ ,  $q_1$  jest dowolne ale ustalone, możemy więc oznaczyć  $q_1$  przez  $q_2$ . Numer  $q_2$  jest numerem następnego węzła w definiowanym ciągu indeksów.

Weźmy z kolei dowolne ogniwo z węzła o numerze  $q_2$ . Niech to będzie ogniwo  $/q_2, q_k/$ , gdzie  $q_k \in M_{q_2}$ . Wskaźnik  $q_k$  jest znowu

ustalony, oznaczmy go przez  $q_3$ . Postępując analogicznie możemy otrzymać dowolny ciąg indeksów  $q_1, q_2, \dots, q_s$

które wyznaczają drogę od węzła  $q_1$  do węzła  $q_s$ .

Interesować nas będą nie dowolne drogi ale drogi spełniające następujące warunki:

Ciąg  $\{q_s\}$  jest skończony.

Dla dowolnych dwu różnych elementów ciągu  $\{q_s\}$  zachodzi /2.1.4./

$q_s \neq q_w$  ;  $s \neq w$  /2.1.5./

Każdy ciąg indeksów  $\{q_s\}$  spełniający warunki /2.1.4/ i /2.1.5/ wyznaczy między węzłami  $q_1$  i  $q_s$  drogi charakteryzujące się tym, że nie dopuszczają one możliwości powrotów do tego samego węzła oraz wykluczają drogi do niego nie prowadzące.

### 2.1.5. Rozwiązanie geometryczne problemu szukania dróg w sieci

W sieci wybieramy dwa dowolnie zadane węzły. Należy znaleźć wszystkie drogi spełniające warunki /2.1.4/ i /2.1.5/ łączące te węzły. W celu skonstruowania schematu szukania dróg przedstawiamy sieć w interpretacji geometrycznej.

W prostokątnym układzie współrzędnych na płaszczyźnie, punkty o współrzędnych całkowitych, nazywamy punktami kratowymi.

Cały zaś zbiór punktów kratowych krata. Uporządkowane pary  $/k, q_1/$ ,  $/k, q_1/ \in \{k\} \times M_k$ ;  $q_1, k \in \mathbb{N}$  identyfikujemy z punktami kratowymi o współrzędnych  $/k, q_1/$ .

W każdym punkcie  $/k, q_1/$  określamy  $n$  wymiarowe wektory

$$[F_k^1 /k, q_1/, \dots, F_k^n /k, q_1/]$$

Zbiór punktów kratowych z najeżeniem wektorowym będziemy identyfikować z siecią.

Rozpatrujemy zbiór punktów kratowych w pierwszej ćwiartce. Dla każdego ogniwa  $/k, q_1/$  przyporządkujemy punkt kratowy o współrzędnych  $/x, y/ = /k, q_1/$ .

W ten sposób na osi  $x$  odkładać się będzie numery węzłów wyjściowych, a na osi  $y$  numery węzłów, do których zmierzamy.

Zbiór, który w ten sposób powstanie jest symetryczny względem prostej  $y = x$ . Zbiór punktów kratowych reprezentujących sieć łączymy prostymi równoległymi do osi  $y$  i przechodzącymi przez punkty kratowe należące do tego zbioru. Ponadto przez te same punkty prowadzi się proste równoległe do prostej  $y = -x$ ,  
dodatek II; rys. II.2.

Proste pierwsze oznaczać będziemy przez  $L_k$ , gdzie  $k$  jest numerem wężła, a proste  $y = -x + b$  oznaczymy przez  $P_b$ .

#### 2.1.5.1. Schemat wyszukiwania dróg między wybranymi węzłami

$$\underline{q_1 \text{ i } q_s}$$

1. Na prostej  $L_{q_1}$  leżą punkty - ogniwa z wężła  $q_1$ . Wybierzmy dowolne z nich  $/q_1, q_2/$ , które spełniają założenie /2.1.5/.
2. Dokonujemy odbicia zwierciadlanego względem prostej  $y = x$ . Otrzymany punkt leży na prostej  $L_{q_2}$ . Na tej prostej znajdują się ogniwa wężła  $q_2$ . Wybierzmy jedno z nich i oznaczmy przez  $q_3$ , które spełnia warunek /2.1.5/. Dalej postępujemy analogicznie stosując warunek /2.1.4/ i /2.1.5/.

W ten sposób otrzymamy pierwszą drogę

$$Q^1 = \{q_s^1\}$$

3. Drugą drogę  $Q^2 = \{q_s^2\}$  określimy podobnie. Wybieramy na prostej  $L_{q_1}$  punkt-ogniwo różne od poprzednio wybranego i spełniającego warunek /2.1.5/. Dalej postępujemy analogicznie.
4. Proces ten powtarzamy do wyczerpania wszystkich ogniw na  $L_{q_1}$ , następnie na  $L_{q_2}$  itd.  
Otrzymaliśmy układ dróg  $Q^1, Q^2, \dots, Q^w$

#### 2.1.5.2. Założenia szczegółowe przy wyborze dróg

1. Zbiór dróg  $Q^1, \dots, Q^w$  będziemy grupować ze względu na posiadanie odcinków wspólnych. Do jednej grupy zaliczymy te drogi, które mają przynajmniej jedno ogniwo wspólne. Wyszukiwania tych dróg można dokonać następująco. Porównujemy dwie drogi czy posiadają wspólne elementy w ciągu  $\{q_s\}$ , jeżeli tak, to sprawdzamy czy w miejscach sąsiednich, tzn. elementy  $\{q_{s-1}, q_{s+1}\}$  są równe z elementami na miejscach sąsiednich w drugim ciągu, co możemy zapisać dla dróg  $Q^{w_1}, Q^{w_2}$

$$\left\{ \begin{matrix} q_{s-1}^{w_1} \\ q_{s+1}^{w_1} \end{matrix} \right\} \wedge \left\{ \begin{matrix} q_{s-1}^{w_2} \\ q_{s+1}^{w_2} \end{matrix} \right\} \neq \emptyset$$

2. Ze zbioru dróg  $Q^1, \dots, Q^W$  możemy wykluczać pewne drogi zakładając niemożność wykorzystania ich części. W tym celu wystarczy odrzucić te drogi, które posiadają przynajmniej jedno ogniwo uszkodzone.

### 2.1.6. Obliczanie optymalnych dróg przesyłania informacji w sieci

Dla dowolnej sieci określono dotychczas sposób szukania dróg między wybranymi ogniwami /węzłami/. Metoda ta pozwala na formalne wypisanie wszystkich dróg łączących dowolnie wybrane węzły. Rozpatrzmy sieć  $S$ . Ustalimy w niej węzły  $w_1$  i  $w_s$  między którymi chcemy znaleźć drogę najkrótszą, drogę o najkrótszym czasie przepływu zasobów i największej przepustowości. W tym celu ponumerujemy wszystkie drogi łączące węzeł  $w_1$  z węzłem  $w_s$  liczbami  $a$  gdzie

$$a = 1, 2, \dots, e$$

$e$  - ilość dróg między węzłami  $w_1$  i  $w_s$

Niech  $Q^a, a = 1, 2, \dots, e$  będą drogami łączącymi węzeł  $w_1$  i  $w_s$ .

#### 2.1.6.1. Minimalizacja czasu

W celu znalezienia dróg o najkrótszym czasie przepływu informacji weźmy funkcję  $F_1^1 / i, q_1 /$  charakteryzującą czas przepływu od węzła  $w_1$  do węzła  $w_{q_1}$ .

Niech

$$Q^a = \{q_1^a, \dots, q_s^a\} \quad a = 1, 2, \dots, e$$

$s$  - ilość węzłów w drodze  $Q^a$   $0 < s \leq m$

Wartość funkcji, przy ustalonym  $a$

$$F_{q_b^a}^1 / q_b^a, q_{b+1}^a /$$

czasu przepływu od węzła  $q_b^a$  do węzła  $q_{b+1}^a$ . Sumując te czasy

po wszystkich węzłach drogi  $Q^a$  otrzymamy

$$\sum_{b=1}^{s-1} F_{q_b^a}^1(q_b^a, q_{b+1}^a)$$

Jest to czas przepływu po drodze  $Q^a$ , oznaczmy go

$$t^a = \sum_{b=1}^{s-1} F_{q_b^a}^1(q_b^a, q_{b+1}^a) \quad /2.1.6/$$

Weźmy  $\min t^a = t^{a_1}$

$$a = 1, 2, \dots, e$$

wskaźnik  $a_1$  jest wskaźnikiem drogi pierwszego wyboru  $Q^{a_1}$ . Kolejno drogi drugiego i trzeciego wyboru można zapisać

$$\min t^a = t^{a_2} \quad a = 1, 2, \dots, a_1 - 1, a_1 + 1, \dots, e$$

$$a = 1, 2, \dots, e$$

$$a \neq a_1$$

$$\min t^a = t^{a_3}$$

$$a = 1, 2, \dots, e$$

$$a \neq a_1, a_2$$

Postępując w ten sposób zbiór dróg  $Q^a$ ,  $a = 1, 2, \dots, e$  możemy uporządkować wg wzrastających wartości czasu przepływu zasobów. Trzeba wyraźnie podkreślić, że drogi pierwszego, drugiego i trzeciego wyboru tak określone mają charakter lokalny. Są to drogi wyboru względem czasu.

Do wielkości  $t^a$  musimy wprowadzić czasy wejścia i wyjścia informacji z ogniwa czyli funkcje

$F_i^5 /i, q_1/$  i  $F_i^6 /i, q_1/$  oraz czas akumulacji i przetwarzania  $F_i^7 /i, q_1/$  i  $F_i^8 /i, q_1/$ .

Doprowadzi to do następujących sum.

Dla węzła  $q_b^a$  w kierunku  $q_{b+1}^a$  całkowity czas będzie określony sumą:

$$F_{q_b^a}^1(q_b^a, q_{b+1}^a) + F_{q_b^a}^5(q_b^a, q_{b+1}^a) + F_{q_b^a}^6(q_b^a, q_{b+1}^a) + \\ + F_{q_b^a}^7(q_b^a, q_{b+1}^a) + F_{q_b^a}^8(q_b^a, q_{b+1}^a)$$

Całkowity czas przepływu zasobów po ustalonej drodze  $Q^a$  od węzła  $q_1^a$  do węzła  $q_s^a$  :

$$T^a = \sum_{b=1}^{s-1} [F_{q_b^a}^1 + F_{q_b^a}^5 + F_{q_b^a}^6 + F_{q_b^a}^7 + F_{q_b^a}^8] \quad /2.1.7/$$

### 2.1.6.2. Minimalizacja długości drogi

Założono, że funkcje  $F^2 / i, q_1 / ; i = 1, 2, \dots, m$  określają drogę między ogniwnem  $/i, q_1/$  i  $/q_1, i/$  albo węzłem  $i$  oraz  $q_1$ . Określimy sumaryczny parametr charakteryzujący każdą drogę, w tym celu zapiszemy

$$Q^a = \{q_1^a, q_2^a, q_3^a, \dots, q_s^a\} \quad a = 1, 2, \dots, e \\ 0 < s < m$$

Biorąc wartość funkcji  $F_1^2$  dla argumentów z drogi  $Q^a$  otrzymamy

$$F_{q_b^a}^2(q_b^a, q_{b+1}^a)$$

wielkość ta charakteryzuje drogę między węzłami  $q_b^a$  a węzłem  $q_{b+1}^a$ . Sumując te wartości po  $b$  otrzymamy łączny sumaryczny parametr drogi charakteryzujący ją w myśl założeń o funkcjach

F

$$\sum_{b=1}^{s-1} F_{q_b^a}^2(q_b^a, q_{b+1}^a)$$

wielkość powyższa zależy od numeru drogi  $a$

$$d^a = \sum_{b=1}^{s-1} F_{q_b^a}^2 / q_b^a, q_{b+1}^a / \quad a = 1, 2, \dots, e \quad /2.1.8/$$

Dla każdego  $a$  otrzymamy pewną wartość liczbową  $d^a$ ,

Weźmy

$$\min d^a = d^{a_1}$$

$$a = 1, 2, \dots, e$$

Wskaźnik  $a_1$  dla którego  $d^{a_1}$  jest wartością najmniejszą oznacza drogę  $Q^{a_1}$  najkrótszą. Jest to droga pierwszego wyboru ze względu na długość.

Drugą z kolei drogą będzie /droga drugiego wyboru/

$$d^{a_2} = \min /d^a / \rightarrow Q^{a_2}$$

$$a = 1, 2, \dots, e$$

$$a \neq a_1$$

Trzecią z kolei drogą albo drogą trzeciego wyboru będzie droga

$$d^{a_3} = \min /d^a / \rightarrow Q^{a_3}$$

$$a = 1, 2, \dots, e$$

$$a \neq a_1 \text{ i } a_2$$

W ten sposób możemy uporządkować wszystkie drogi wg wzrastających wartości długości dróg  $Q^a$ .

### 2.1.6.3. Obliczanie przepustowości drogi

Analogicznie postępujemy przy określaniu przepustowości.

Weźmy najpierw

$$F_{q_b^a}^3 / q_b^a, q_{b+1}^a / \text{ jest to przepustowość między węzłami}$$

$q_b^a$  i  $q_{b+1}^a$  przy ustalonej drodze.

Dla danej drogi  $Q^a$  przepustowość oznaczać będziemy  $P^a$

$$\min_b F_{q_b^a}^3 / q_b^a, q_{b+1}^a / = P^a ; \quad b = 1, 2, \dots, s-1 \quad /2.1.9/$$

Jak z tego wynika,  $P^a$  otrzymaliśmy w nieco inny sposób niż

$t^a$  i  $d^a$ , wynika to ze specyfiki przepustowości. Inaczej mówiąc przepustowością danej drogi  $Q^a$  jest to przepustowość najmniejsza między poszczególnymi węzłami w  $Q^a$ .

Dalej postępujemy analogicznie i drogą pierwszego wyboru  $Q^a$  będzie

$$\max P^a = P^{a1}$$

$$a = 1, 2, \dots, e$$

Stosując powyższy proces maksymalizacji uporządkujemy zbiór dróg  $Q^a$  względem wzrastającej wartości parametru przepustowości.

Jednak drogą drugiego wyboru nie będzie drugi element w uporządkowanym ciągu  $Q^a$  będzie nią dopiero ten element, który nie ma części wspólnej, tzn. węzła wspólnego z węzłami z drogi  $Q^{a1}$ .

#### 2.1.6.4. Uwagi dotyczące niezawodności sieci i wnioski końcowe

Po określeniu i rozwiązaniu problemu strukturalnego sieci należy ocenić jej niezawodność. Istnieje jednak trudność w określeniu kryterium, która sieć przy danej ustalonej ilości węzłów i danych różnych strukturach jest "lepsza".

Można przyjąć kryterium wstępne. Siecią idealną przy ustalonej ilości węzłów będzie sieć o połączeniach "każdy węzeł z każdym".

Linii w takiej sieci będzie tyle ile boków i przekątnych w wielokącie o  $n$  wierzchołkach, gdzie  $n$  oznacza ilość węzłów, tzn.

$$\frac{n / n-1 /}{2}$$

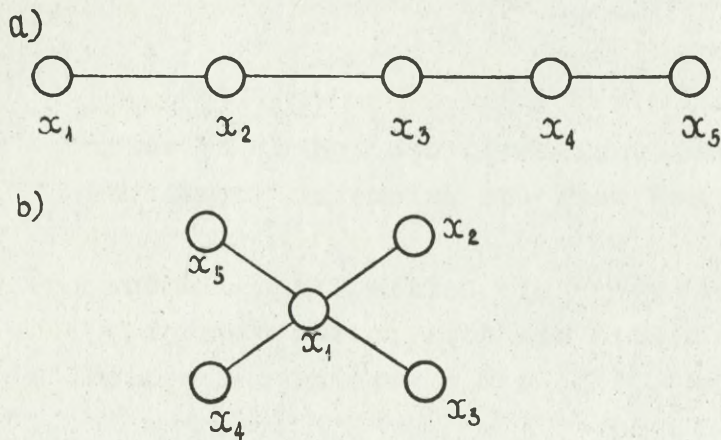
Stosunek ilości linii w danej sieci do liczby  $\frac{n / n-1 /}{2}$  określałby pewien ułamek charakteryzujący sieć

$$\omega = \frac{2 I_n}{n / n-1 /} \quad /2.1.10/$$

gdzie:  $I_n$  jest ilością linii w sieci rozpatrywanej o  $n$  węzłach będzie spełniać  $0 < \omega \leq 1$

będzie ona w przybliżeniu klasyfikować sieć pod względem strukturalnym.

Powyższe kryterium ujmuje jednak tylko część problemu. Sieci o ustalonej identycznej ilości linii będą mieć ten sam współczynnik ale mogą się różnić strukturalnie.



Rys.2.1. Przykłady struktur sieci

Widać stąd, że sieć b/ jest "lepszą" od pierwszej. Prawdopodobnie sieć typu a/ mogłaby stanowić podstawę do określenia względem niej kryterium stopnia "powikłania" linii.

Być może udałoby się zastosować tutaj niektóre wyniki algebry struktur.

Po ustaleniu w miarę pełnego kryterium strukturalnego otrzymanoby narzędzie do skutecznego projektowania sieci lub poprawiania i ulepszania już istniejącej w zależności od postawionych zadań.

Teoriomnogościowy opis sieci ukazuje złożoność i wymiarowość problemów, które należy rozwiązywać w SI WOPL.

Analiza intuicyjno-logiczna bez zastosowania metod matematycznych jest w tym przypadku wyraźnie niewystarczająca. Potwierdzeniem może być przykład obliczania dróg przesyłania informacji w sieci 18 węzłowej zamieszczony w dodatku II.

Między wybraną parą węzłów 1 i 18<sup>6</sup> znajduje się 57 dróg po których można przesyłać informację od węzła początkowego 1 do węzła końcowego 18<sup>6</sup>. Patrząc na rys. II.1. trudno nawet podejrzewać istnienie takiej liczby dróg, a dopiero stwierdziliśmy tylko fakt ich występowania w sieci. Pozostaje do rozwiązania problem optymalizacji dróg przesyłania informacji

ze względu na kryterium: czasu, odległości, przepustowości, niezawodności, niezależności dróg, ilości pośrednich węzłów w drodze, odporności na zakłócenia. Ponadto muszą być uwzględnione wszystkie założenia i ograniczenia, które wynikają ze specyfiki pracy SI WOPL. Powyższe trudności sprawiły, że problem pełnej optymalizacji SI WOPL i innych systemów wojskowych nie został dotychczas rozwiązany.

Teoriomnogościowe podejście do problemu optymalizacji sieci pozwoliło zdefiniować pojęcia które będą dalej wykorzystywane. Wnioski jakie wynikają z teoriomnogościowego opisu sieci ukazują potrzebę poszukiwania nowych metod matematycznych, które po modyfikacji i adaptacji do SI WOPL byłyby podstawą do opracowania algorytmów realizowanych przy pomocy EMC.

## 2.2. Metody i algorytmy określenia dróg przekazywania informacji między Punktami /Ośrodkami/ Kierowania OPL <sup>1)</sup>

### 2.2.1. Wstęp

W celu rozwiązania zadania optymalizacji SI WOPL frontu ze względu na kryterium czasu, odległości niezawodności, przepustowości, niezależności dróg przesyłania informacji, minimalnej ilości pośrednich PK /OK/ OPL w drodze połączeniowej, wykorzystane zostaną metody macierzowe i algorytmy określenia dróg przekazywania informacji między PK /OK/ OPL. Dla każdej z tych metod i algorytmów zostanie sformułowane zadanie optymalizacji SI WOPL, które następnie będzie rozwiązane z uwzględnieniem założeń i ograniczeń wynikających ze specyfiki pracy SI WOPL.

Celem tej optymalizacji jest:

- zwiększenie dynamiki zmian strumienia informacji szybkozmiennnej, od której zależy czas reakcji systemu OPL,
- szybsze wykorzystanie rezultatów przetwarzania informacji w systemie dowodzenia ogniowego,
- ocena niezawodności SI WOPL,
- dostarczenie informacji o sposobach najbardziej racjonalnego wykorzystania SI WOPL w przypadku uszkodzenia jego części, pojedynczych elementów i połączeń,
- określenie potencjalnych możliwości SI WOPL i metod ich wykorzystania w istniejącym systemie OPL oraz perspektywicznym Polowym Zautomatyzowanym Podsystemie Dowodzenia Wojsk OPL.

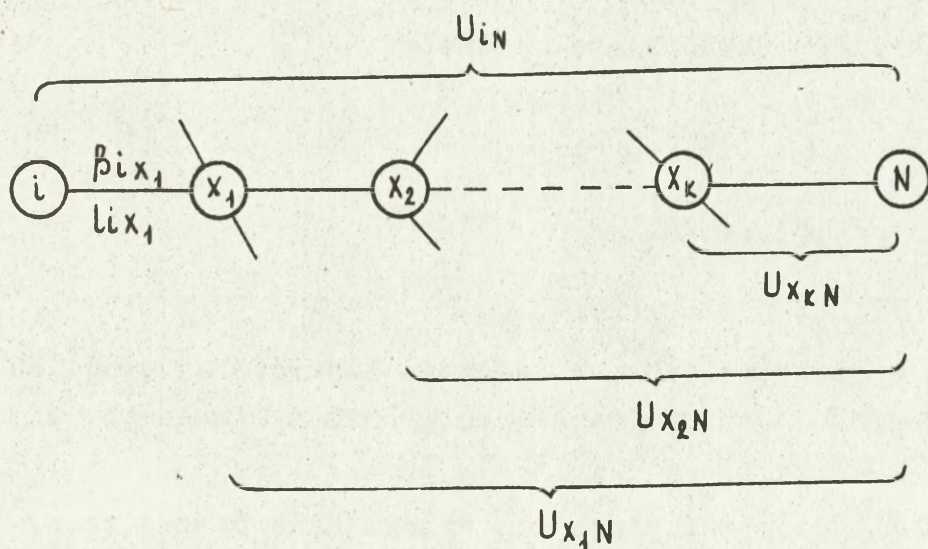
Zbiór metod i algorytmów z przyjętymi założeniami i ograniczeniami uwzględniającymi charakter działania systemu OPL, połączonych w jeden system wykorzystujący bazę danych, stanowić będzie model struktury SI WOPL.

W dalszej części pracy zostaną sformułowane zadania wynikające z funkcjonowania SI WOPL oraz opracowane lub przedstawione istniejące metody, które umożliwią rozwiązanie sformułowanych zadań.

Obecnie najbardziej rozpowszechnionymi metodami rozdziału potoków informacji są metody rozdziału według najkrótszych

dróg. Termin "najkrótsza" droga w danym przypadku jest pojęciem ogólnym, ponieważ przedstawione metody pozwalają określić nie tylko drogi najkrótsze według długości lecz i drogi optymalne względem innych kryteriów pod warunkiem, że parametr ogólny drogi będzie określony sumą parametrów opisujących poszczególne łuki.

W celu rozdzielenia potoków informacyjnych częściej wykorzystuje się drogi najkrótsze w sensie minimalnej liczby węzłów tranzytowych rzadziej drogi najkrótsze w sensie długości.



Rys. 2.2 . Struktura drogi połączeniowej

Przeważająca większość metod określania najkrótszej drogi opiera się na twierdzeniu, które można sformułować w następujący sposób:

Jeżeli najkrótsza droga  $U_{iN}$  od dowolnego węzła  $i$  do węzła  $N$  przechodzi przez pośrednie węzły  $x_1, x_2, \dots, x_k$  /rys.2.2./ to najkrótsze drogi  $U_{x_1N}, U_{x_2N}, \dots, U_{x_kN}$  między węzłami

$x_1, x_2, \dots, x_k$  a węzłem  $N$  są częściami najkrótszej drogi  $U_{iN}$  od węzła  $i$  do węzła  $N$ .

Jeśli  $x_1$  jest pierwszym węzłem pośrednim licząc od węzła początkowego  $i$  w najkrótszej drodze łączącej węzeł  $N$ ,  $\beta_{i x_1}$  - łuk łączący węzły  $i$  oraz  $x_1$  a  $l_{i x_1}$  - długość tej drogi to wychodząc z przytoczonego wyżej twierdzenia długość najkrótszej drogi  $U_{iN}$  od węzła  $i$  do węzła  $N$  można zapisać w następujący sposób

$$U_{iN} = l_{i x_1} + U_{x_1 N} \quad /2.2.1/$$

Ponieważ  $U_{iN}$  jest najkrótszą drogą ze wszystkich dróg od  $i$  do  $N$  to słuszne jest następujące wyrażenie

$$U_{iN} = \min_{x_1} [l_{i x_1} + U_{x_1 N}] \quad /2.2.2./$$

$$x_1 = 1, 2, \dots, n$$

gdzie  $n$  - liczba węzłów sieci.

W ten sposób procedura określania najkrótszej drogi od węzła  $i$  do węzła  $N$  sprowadza się do wyboru minimalnego z wyrażeń /2.2.2/

W większości metod procedura wyboru najkrótszej drogi między dowolnym węzłem  $i$  oraz ustalonym węzłem  $N$  polega na kolejnym porównaniu i wyborze minimalnej z dróg nie posiadającej pośrednich węzłów:

$$U_{iN}^1 = l_{iN}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad /2.2.3./$$

z dróg posiadających jeden węzeł pośredni

$$U_{iN}^2 = \min_{x_1} [l_{i x_1} + U_{x_1 N}^1] \quad /2.2.4/$$

$$x_1 = 1, 2, \dots, n$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

lub w ogólnym przypadku z dróg posiadających  $\xi$  węzłów pośrednich

$$U_{iN}^{\xi} = \min_{x_1} [l_i x_1 + U_{x_1}^{\xi-1}] \quad /2.2.5/$$

$$x_1 = 1, 2, \dots, n-1$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$U_{NN}^{\xi} = 0 \quad \text{przy } \xi = 1, 2, \dots, n-1$$

Analizując i porównując kolejno wszystkie drogi

$\xi = 1, 2, \dots, n-1$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$  można otrzymać długość najkrótszej drogi od dowolnego węzła  $i$  / $i = 1, 2, \dots, n$ / do ustalonego węzła  $N$ . Przedstawioną procedurę można wykorzystać i dla określenia 2-ej, 3-iej, ...,  $k$ -tej najkrótszej drogi.

Umożliwia ona tylko określenie długości drogi ale nie dostarcza informacji o strukturze samej drogi /kolejności łuków lub węzłów tworzących drogę/ i nie zapewnia nieobecności pętli w wybranej drodze. Dlatego w każdej konkretnej metodzie określenia najkrótszej drogi winny być przeanalizowane dopełniające warunki w celu opisu budowy drogi i wykluczenia pętli.

Istniejące metody określania najkrótszej drogi można podzielić na dwie grupy:

- 1/ Metody wykorzystujące algorytmy numeracji węzłów lub łuków sieci.
- 2/ Metody wykorzystujące operację na macierzach /metody macierzowe/.

## 2.2.2. Macierzowe metody określenia najkrótszych dróg

### 2.2.2.1. Sformułowanie zadania

Dla zadanego SI WOPL frontu obliczyć optymalny rozpływ potoków informacji ze względu na kryteria addytywne z uwzględnieniem niezawodności struktury SI WOPL w okresie jego funkcjonowania. W tym celu należy wyznaczyć optymalne drogi połączeniowe między dwoma dowolnie wybranymi PK /OK/ OPL ze względu na kryterium czasu przesyłania informacji, odległości, liczby

stacji retlanslacyjnych między początkowym i końcowym PK /OK/ OPL. Obliczyć trzy drogi kolejnego wyboru między wszystkimi parami PK /OK/ OPL spełniających kryteria optymalizacji. Obliczenia dokonać w oparciu o graf struktury SI WOPL i charakterystyki opisujące relacje między PK /OK/ OPL.

Wymiarowość sformułowanego zadania wymaga zastosowania macierzowej metody optymalizacji. Zadanie zostanie rozwiązane metodą Ottermanna wykorzystującej operacje wprowadzone przez Shimbela.

#### 2.2.2.2. Opis metod macierzowych

Omówiona niżej metoda znajdowania najkrótszych dróg między wszystkimi węzłami sieci przewiduje podnoszenie do  $r$ -tej potęgi  $r \leq n-1$  strukturalną macierz odległości

$$L = [l_{ij}]_{n \times n} \quad /2.2.6/$$

gdzie:  $n$ - rząd macierzy

lecz przy podnoszeniu do potęgi macierzy  $L$  zakłada się wykorzystanie specjalnych operacji, które określone są następującymi działaniami:

- 1/ operacja mnożenia dwóch wielkości  $x$  i  $y$  przy podnoszeniu macierzy do potęgi odpowiada w opisanej metodzie ich sumie algebraicznej tj.  $x \otimes y = y \otimes x$  odpowiada  $x \oplus y = y \oplus x$ ;
- 2/ iloczyn  $\infty$  przez dowolną liczbę równa się  $\infty$ ;
- 3/ suma dwóch wielkości równa się mniejszemu składnikowi  $x \oplus y = y \oplus x$  odpowiada  $\min /x, y/$ .

A zatem podnosząc macierz do potęgi korzystamy z działań:

$$\begin{aligned} x \otimes y &= \min /x, y/ & /2.2.7/ \\ x \oplus y &= x + y \end{aligned}$$

Podane działania są przemienne, łączne i rozdzielne

$$\begin{aligned} x \otimes y &= y \otimes x \\ /x \otimes y/ \oplus z &= x \otimes (y \oplus z) \\ /x \oplus y/ \otimes z &= x \otimes /y \oplus z/ \\ /x \oplus y/ \oplus z &= /y \otimes z/ \oplus /y \oplus z/ \end{aligned}$$

Przy tak zdefiniowanych operacjach wykonujemy podnoszenie macierzy do r-tej potęgi z zachowaniem normalnych zasad podnoszenia macierzy do potęgi. Można pokazać, że potęgowanie macierzy L jest niczym innym jak jednym ze sposobów otrzymania wielkości  $U_{iN}^{\xi}$  w wyrażeniu /2.2.5./. Istotnie podnoszenie macierzy L do potęgi r-tej można rozpatrywać jako kolejne /r-1/ - krotne mnożenie macierzy L samą przez siebie

$$L^{\xi} = L \cdot L^{\xi-1} \quad \xi = 1, 2, \dots, r \quad /2.2.8./$$

Jeżeli  $l_{ix}$  jest elementem i-tego wiersza oraz x-tej kolumny macierzy L, a  $l_{xj}^{\xi-1}$  elementem x-tego wiersza i j-tej kolumny macierzy  $L^{\xi-1}$  to zgodnie z zasadą mnożenia otrzymamy element i-tego wiersza i j-tej kolumny  $l_{ij}^{\xi}$  macierzy  $L^{\xi}$  będzie równy

$$l_{ij}^{\xi} = l_{i_1} \circ l_{1j}^{\xi-1} \oplus l_{i_2} \circ l_{2j}^{\xi-1} \oplus \dots \oplus l_{i_x} \circ l_{xj}^{\xi-1} \oplus \dots \oplus l_{i_n} \circ l_{nj}^{\xi-1} \quad /2.2.9/$$

Zgodnie z zapisem operacji wprowadzonych przez Shimbela wyrażenie  $l_{ij}^{\xi}$  zapisać można w następujący sposób

$$l_{ij}^{\xi} = \min \left[ \left( l_{i_1} + l_{1j}^{\xi-1} \right), \left( l_{i_2} + l_{2j}^{\xi-1} \right), \dots, \left( l_{i_x} + l_{xj}^{\xi-1} \right), \dots, \left( l_{i_n} + l_{nj}^{\xi-1} \right) \right] \quad /2.2.10/$$

lub w postaci skróconej

$$l_{ij}^{\xi} = \min_x \left( l_{ix} + l_{xj}^{\xi-1} \right) \quad /2.2.11/$$

$$x = 1, \dots, n$$

Łatwo zauważyć, że  $l_{ij}^{\xi}$  w wyrażeniu /2.2.11/ przy  $j = N$  równa się  $U_{iN}^{\xi}$  w wyrażeniu /2.2.5/.

$$U_{iN}^1 = l_{iN} = l_{iN}^1$$

$$U_{iN}^2 = \min_{x_1} \left[ l_{ix_1} + U_{x_1N}^1 \right] =$$

$$= \min_x (l_{ix} + l_{xN}^1) = l_{iN}^2 \quad /2.2.12/$$

.....

$$U_{x_1 N}^{\xi-1} = \min_x (l_{ix} + l_{xN}^{\xi-1}) = l_{iN}^{\xi}$$

Dlatego  $l_{ij}^{\xi}$  przy  $\xi = /n-1/$  jest wielkością najkrótszej drogi od węzła  $i$  do węzła  $j$ . W ten sposób licząc kolejno elementy macierzy  $L^{\xi}$ ,  $\xi = 1, 2, \dots, n-1$  wykorzystując metodę Shimbela otrzymujemy macierz najkrótszych dróg między węzłami sieci.

Podnosząc macierz  $L$  do kolejnych potęg uzyskamy taki wykładnik potęgi  $\xi$ , że

$$L^{\xi_k} = L^{\xi_{k+1}} \quad /2.2.13/$$

Oznacza to, że dalsze mnożenie macierzy  $L^{\xi_k}$ .  $L$  nie powoduje zmiany elementów macierzy  $L^{\xi_k}$ . Wielkość  $\xi_k$ , przy której spełniona jest równość 2.2.13 określa się maksymalną liczbą łuków w najkrótszej drodze między dowolną parą węzłów sieci i jest ona nie większa niż liczba węzłów pomniejszona o jeden

$$\xi_k \leq n-1$$

Jeśli tylko w procesie podnoszenia do potęgi macierzy  $L$  zostaje spełniona równość 2.2.13 dalsze obliczenie można przerwać, a otrzymana macierz  $L^{\xi_k}$  jest macierzą najkrótszych dróg zwana inaczej macierzą dyspersyjną  $D$ , tj.

$$L^{\xi_k} = [l_{ij}^{\xi_k}]_{n \times n} = D = [\sigma_{ij}]_{n \times n}$$

Metoda Ottermana jest dalszym rozwinięciem metody Shimbela. Pozwala ona otrzymać nie tylko wielkości 1-ych, 2-ch, 3-ch itd. najkrótszych dróg lecz i same drogi /wykaz węzłów, przez które drogi przechodzą/. Podobnie jak w metodzie Shimbela najkrótsze drogi w metodzie Ottermana otrzymuje się dzięki przekształceniu strukturalnej macierzy odległości  $L = [l_{ij}]$ .

Na wstępie posługujemy się metodą Shimbela obliczając macierz dyspersyjną  $D = [\sigma_{ij}]_{n \times n}$  /macierz najkrótszych dróg  $L^{\xi_k}$ .

Następnie tworzy się macierz odległości  $M = [\gamma_{ij}]_{n \times n}$  przez zamianę w strukturalnej macierzy odległości  $L = [l_{ij}]$  wartości elementów głównej przekątnej  $l_{ii} = 0$  elementami  $\gamma_{ii} = \infty$ .

$$\gamma_{ij} = \begin{cases} l_{ij} & \text{dla } i \neq j \\ \infty & \text{dla } i = j \end{cases}$$

Otrzymaną macierz odległości  $M$  mnożymy przez macierz dyspersyjną  $D$  z wykorzystaniem operacji wprowadzonych przez Shimbela.

Mnożąc macierz  $M$  przez macierz  $D$  otrzymujemy macierz  $\Delta = M \cdot D$ , elementy której wykorzystuje się w celu otrzymania macierzy odległości 1-go, 2-go i następnych wyborów i macierzy tras zawierających numery węzłów w wybranych najkrótszych drogach.

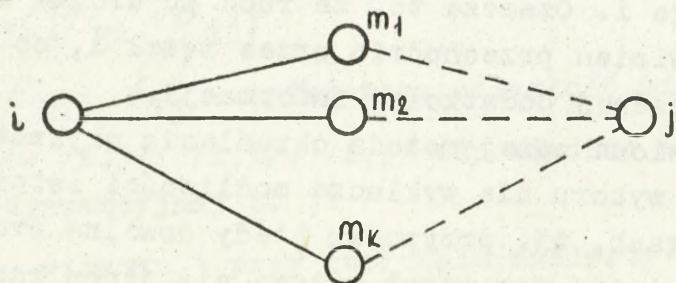
Każdy element  $d_{ij}$  macierzy  $\Delta = (d_{ij})$  otrzymany z przemnożenia macierzy  $M$  i  $D$  z uwzględnieniem operacji wprowadzonych przez Shimbela będzie posiadał postać:

$$d_{ij} = \min_k [(\gamma_{i1} + \sigma_{1j}), (\gamma_{i2} + \sigma_{2j}), \dots, (\gamma_{im_k} + \sigma_{m_k j}), \dots, (\gamma_{in} + \sigma_{nj})];$$

lub w skróconej postaci:

$$d_{ij} = \min_k (\gamma_{im_k} + \sigma_{m_k j}), \quad m_k = 1, 2, \dots, n \quad /2.2.14/$$

Każde z wyrażeń postaci  $(\gamma_{im_k} + \sigma_{m_k j})$  wchodzące w element  $d_{ij}$ , określa długość drogi od węzła  $i$  do węzła  $j$  jeśli pierwszym pośrednim węzłem po węźle  $i$  na tej drodze będzie węzeł  $m_k$ .



Rys. 2.3. Struktura sieci między węzłem  $i$  oraz  $j$

Wartość najmniejszego wyrażenia wchodzącego w element  $d_{ij}$  określa długość najkrótszej drogi z węzła  $i$  do węzła  $j$ :

$$d_{ij}^1 = \min_1 (\gamma_{im_1} + \sigma_{m_1j})$$

zapisujemy jako element  $/i,j/$  w macierzy odległości 1-go wyboru, a wartość  $m_1$  tego wyrażenia zapisujemy jako element  $/i,j/$  w macierzy tras 1-go wyboru. Drugie co do wielkości wyrażenie elementu  $/d_{ij}/$  jest długością drugiej najkrótszej drogi między węzłami  $i$  oraz  $j$ :

$$d_{ij}^2 = \min_2 (\gamma_{im_2} + \sigma_{m_2j})$$

zapisujemy je jako element  $/i,j/$  w macierzy odległości 2-go wyboru, a  $m_2$  w macierz tras 2-go wyboru.

Wyrażenie

$$d_{ij}^k = \min_k (\gamma_{im_k} + \sigma_{m_kj}) \quad /2.2.15/$$

zapisujemy w macierzy odległości  $k$ -tego wyboru, a  $m_k$  w macierzy tras  $k$ -tego wyboru.

Jak widać z wyrażenia /2.2.14/ elementy macierzy  $\Delta$  otrzymanej przez pomnożenie macierzy  $M$  przez macierz  $D$  są analogiczne do wyrażenia /2.2.15/, które zawiera zbiór wszystkich dróg między dowolnymi parami węzłów sieci, z których dokonuje się wyboru najkrótszych dróg kolejnych wyborów.

Wykorzystanie dla tego celu macierzy  $M$  zamiast macierzy  $L$  spowodowane jest koniecznością wykluczenia z rozwiązań wyrażenia postaci:

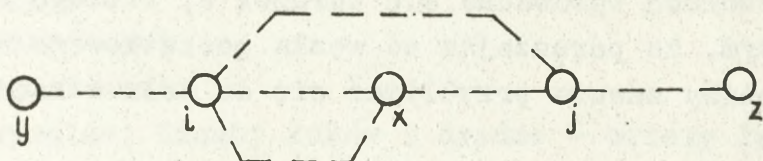
$$d_{ij}^k = \min_k (\gamma_{im_k} + \sigma_{im_k})$$

co prowadzi do zapisu w macierzy tras  $k$ -tego wyboru jako elementu  $/i,j/$  węzła  $i$ . Oznacza to, że ruch po drodze od węzła  $i$  do węzła  $j$  powinien przechodzić przez węzeł  $i$ , co nie daje dla kierowania żadnej dodatkowej informacji.

Przedstawiona wyżej metoda określenia najkrótszej drogi 1,2,...,  $k$ -tego wyboru nie wyklucza możliwości istnienia pętli w wybranych drogach, tj. przypadku kiedy dowolna droga przechodzi przez jeden i ten sam węzeł więcej niż jeden raz.

Wprowadzonej przez Ottermanna metodzie rozpatruje się dwa warunki, analiza i wypełnienie których wyklucza możliwość wystąpienia pętli.

Warunek 1. Dotyczy wykrycia i wykluczenia pętli w najkrótszych drogach pierwszego wyboru. Rozpatrzmy najkrótszą drogę pierwszego wyboru między dowolną parą węzłów  $y$  i  $z$  sieci.



Rys. 2.4. Struktura drogi między węzłem  $y$  i  $z$

Wyberzmy na tej drodze dowolne trzy węzły: węzeł  $i, j$  oraz  $x$ , który znajduje się między węzłami  $i$  oraz  $j$  w rozpatrywanej najkrótszej drodze.

Tutaj możliwe jest powstanie pętli w tym przypadku jeżeli najkrótsza droga pierwszego wyboru od węzła  $x$  do węzła  $j$  przechodzi przez węzeł  $i$ . W tym przypadku droga pierwszego wyboru od węzła  $y$  do węzła  $z$  będzie przechodzić przez węzeł  $i$  do węzła  $x$  i dalej najkrótszą drogą od  $x$  przez  $i$  do  $j$  tworząc na węzłach  $i, x, i$  pętlę. Z powyższego wynika warunek zapewniający nieobecność pętli w najkrótszych drogach 1-go wyboru.

Najkrótsza droga 1-go wyboru między dowolną parą węzłów  $y$  i  $z$  sieci nie będzie zawierać pętli, jeśli dla trzech dowolnie wybranych węzłów leżących na tej drodze węzła  $i, j$  i pośredniego /między  $i$  i  $j$ / węzła  $x$  spełniona jest nierówność:

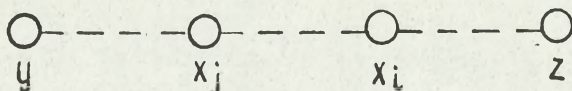
$$\sigma_{xj} < (\sigma_{xi} + \sigma_{ij}) \quad /2.2.16/$$

gdzie:  $\sigma_{xj}$ ;  $\sigma_{xi}$ ;  $\sigma_{ij}$  - najkrótsza odległość między parami węzłów  $/x, j/$ ;  $/x, i/$ ;  $/i, j/$  odpowiednie elementy macierzy dyspersyjnej  $D$ .

Analiza warunku 1 przy tworzeniu macierzy odległości i macierzy tras 1-go wyboru i wykluczenie z tych macierzy dróg

nie czyniących zadość warunkowi 1 umożliwia otrzymanie układu najkrótszych dróg 1-go wyboru nie zawierających pętli.

Warunek 2. Dotyczy wykrywania i wykluczenia pętli w drogach 2-go, 3-go i wyższych wyborów. Wypełnienie warunku 1 wyklucza możliwość powstania pętli w drogach 1-go wyboru ale nie zapewnia nieobecności pętli w drogach 2-go, 3-go i następnych wyborów. Aby osiągnąć wykluczenie pętli w drogach 2-go, 3-go i dalszych wyborach wprowadza się warunek 2, którego sens zawiera się w tym, że poruszając od węzła początkowego do końcowego powinniśmy zawsze przybliżać się do celu w każdym następnym kroku



Rys.2.5. Struktura drogi między węzłem początkowym y, a końcowym z

$$\sigma_{x_j z} > \sigma_{x_i z}$$

przy warunku, że węzeł  $x_j$  przy ruchu po drodze od węzła y do z leży przed węzłem  $x_i$ .

Warunek 1 sprawdzaliśmy przy tworzeniu macierzy /odległości i macierzy tras, natomiast warunek 2 sprawdza się w procesie przekazywania informacji w sieci.

Warunki 1 i 2 w pełni wykluczają możliwość powstawania pętli, jednak wypełnienie tych warunków prowadzi do zakazu dużej liczby dróg co wprowadza istotne ograniczenia możliwości sieci pod względem przekazywania informacji. Przykład zastosowania metody Ottermanna podany jest w dodatku III.

### 2.2.3. Algorytm quasiminorow

#### 2.2.3.1. Sformułowanie zadania

Obliczyć optymalne drogi przekazywania informacji w SI WOPL między dowolnymi PK /OK/ OPL spełniające jednocześnie następujący zespół kryteriów:

- czasu
- odległości
- niezawodności
- przepustowości
- maksymalnej liczby łąk w drodze - cztery łąki
- niezależności dróg
- liczby dróg między każdą parą PK /OK/ OPL - pięć
- kolejności wydruku zoptymalizowanych dróg zgodnie z poprzednimi kryteriami.

Obliczenia wykonać w oparciu o graf struktury SI WOPL i charakterystyki opisujące relacje między PK /OK/ OPL. Zespół ośmiu kryteriów stawia bardzo duże wymagania metodzie matematycznej. Istnieje jednak potrzeba pełnej optymalizacji dróg przesyłania informacji w SI WOPL, ponieważ chcemy przesyłać informacje po drodze najkorzystniejszej z punktu widzenia różnych kryteriów. Dzięki temu można mieć przeświadczenie, że będący w dyspozycji system informacyjny wykorzystujemy w sposób racjonalny. Z uwagi na trudności analityczne w budowie zintegrowanej funkcji kryterium pozwalającej ocenić jakość SI WOPL ze względu na wszystkie kryteria jednocześnie problem ten zostanie rozwiązany przy zastosowaniu algorytmu quasiminorow i dalszej jego modyfikacji w modelu struktury SI WOPL.

#### 2.2.3.2. Opis algorytmu

Weźmy pod uwagę dowolny graf o  $n$  wierzchołkach. Każdemu takiemu grafowi możemy jednoznacznie przyporządkować ciąg liczb rzeczywistych  $a_{ij}$ ;  $i, j = 1, 2, \dots, n$  w sposób następujący

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{gdy } i = j \text{ lub } i \neq j \text{ oraz nie istnieje bezpośrednia} \\ & \text{droga z wierzchołka } i\text{-tego do } j\text{-tego;} \\ 1, & \text{gdy istnieje droga z wierzchołka } i\text{-tego do } j\text{-tego.} \end{cases}$$

Każdy taki podwójnie indeksowany ciąg wyznacza macierz o wymiarach  $n \times n$ :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix}$$

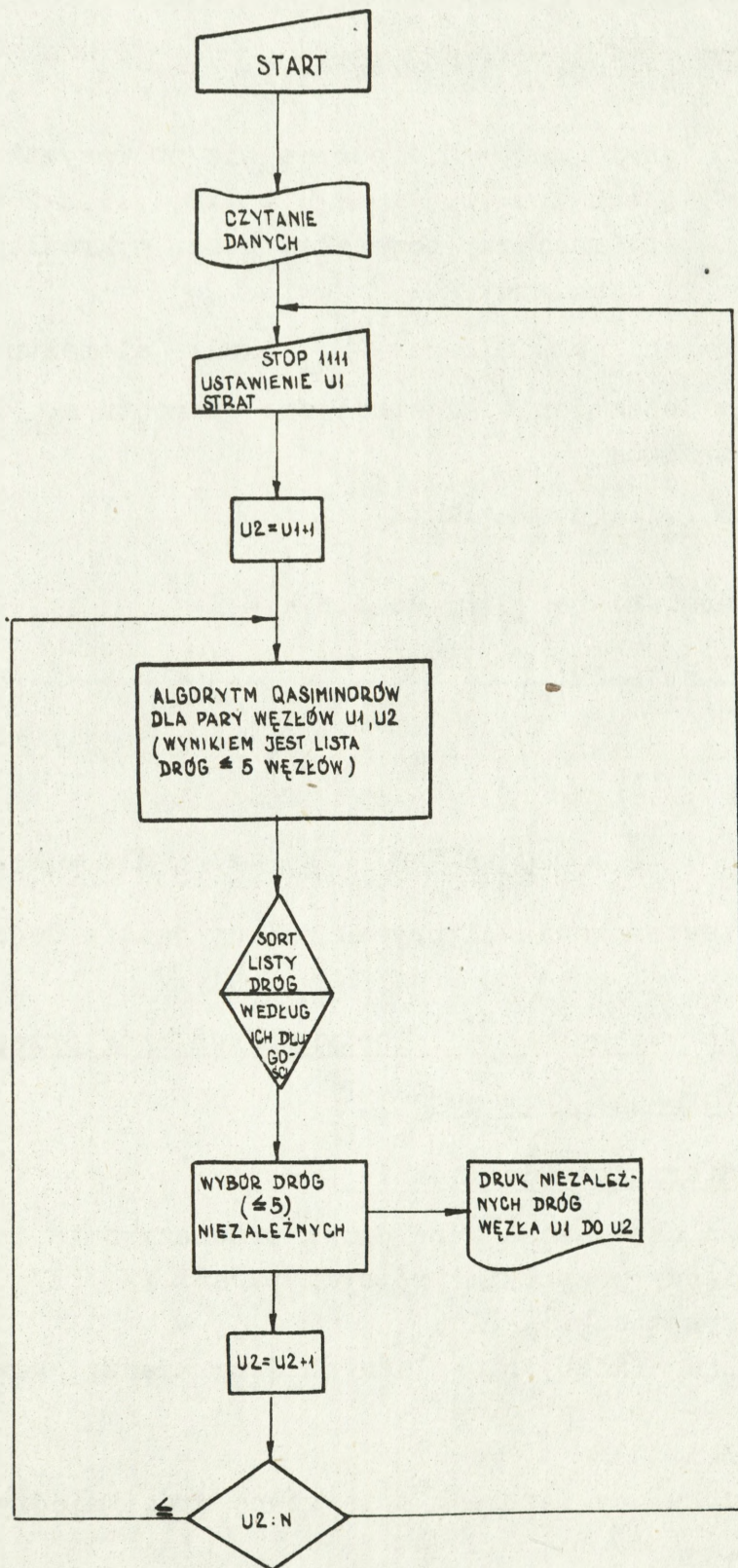
/2.2.17/

gdzie  $a_{ij}$  określone jak wyżej.

Widzimy zatem, że każdy graf o  $n$  wierzchołkach wyznacza w sposób jednoznaczny macierz kwadratową  $n$ -tego stopnia. Można więc, analizę grafu sprowadzić do algebraicznej analizy macierzy wyznaczonej przez ten graf.

W tym przypadku mówiąc o analizie grafu mamy na myśli znalezienie wszystkich możliwych dróg między dowolnymi dwoma wierzchołkami tego grafu. Do tego celu służy algorytm quasiminorów i zbudowany w oparciu o niego kompleksowy algorytm optymalizacji SI WOPL, przedstawiony na schemacie.

SCHEMAT BLOKOWY ALGORYTMU KOMPLEKSOWEGO



Definicja: Quasiminorem  $\alpha_{kl} = \left| a_{ij} \rightarrow lk \right|_{kl}$  ( $k \neq l$ ) elementu  $a_{lk}$  w macierzy  $A = [a_{ij}]_{n \times n}$  nazywamy sumę:

$$\sum a_{ki_1} a_{i_1 i_2} \dots a_{i_m l} \quad /2.2.18/$$

gdzie sumowanie odbywa się po wszystkich permutacjach  $i_1, \dots, i_m$ ;  $m = 1, 2, \dots, n-2$  numerów wierszy macierzy powstałej przez wykreślenie wiersza  $l$  i kolumny  $k$ .

Inaczej mówiąc, quasiminorem  $\alpha_{kl}$  ( $k \neq l$ ) elementu  $a_{lk}$  macierzy  $A$  nazywamy dopełnienie algebraiczne elementu  $a_{lk}$  z pominięciem znaku i oznaczamy

$$\alpha_{kl} = \left| a_{ij} \rightarrow lk \right|_{kl} \quad /2.2.19/$$

Zostało udowodnione [34], że dla  $k \neq l$

$$\left| a_{ij} \rightarrow lk \right|_{kl} = \sum_{m \neq k} a_{km} A_{km}^{(1)} \quad /2.2.20/$$

gdzie:

$$A_{km}^{(1)} = \begin{cases} 1 & \text{dla } m = l \\ \left| a_{ij} \rightarrow km \rightarrow lk \right|_{ml} & \text{dla } m \neq l \end{cases}$$

Przykład zastosowania algorytmu podany jest w dodatku IV.

#### 2.2.4. Algorytm wyznaczania optymalnych dróg przesyłania informacji "Drzewo"

##### 2.2.4.1. Sformułowanie zadania

Wyznaczyć niezależne drogi przekazywania informacji w SI WOPL między wszystkimi różnymi parami PK /OK/ OPL spełniające następujące kryteria:

- maksymalnej liczby niezależnych dróg między każdą parą PK /OK/ OPL - trzy drogi
- odległości
- w przypadku gdy istnieją dwie równe drogi między ustaloną

parą PK /OK/ OPL, to jako drogę korzystniejszego wyboru wybrać tę w której numer pierwszego PK /OK/ OPL jest mniejszy.

- ilość łuków wchodzących w skład najdłuższej drogi łączącej dowolną parę PK /OK/ OPL winna równać się co najwyżej maksymalnej liczbie łuków wchodzących w skład najkrótszej drogi łączącej tę parę PK /OK/ OPL.

Niezależność dróg oznacza, że wszystkie wyznaczone drogi między wybraną parą PK /OK/ OPL nie posiadają wspólnych łuków. Dowolnie wybrany łuk nie może jednocześnie należeć do dwóch dróg łączących jedną parę PK /OK/ OPL.

Obliczenia wykonać w oparciu o graf struktury SI WOPL i charakterystyki opisujące relacje między PK /OK/ OPL.

#### 2.2.4.2 Zasada budowy "drzewa"

Jednym z podstawowych zadań urządzeń sterowania (US) siecią jest zadanie optymalnego rozdziału informacji między węzłami sieci. Najczęściej za optymalny uważa się taki rozdział, przy którym informacja między każdą parą węzłów sieci przekazywana jest po najkrótszych drogach, w szczególności najkrótszych ze względu na ilość węzłów trzynytowych. Przy scentralizowanym sposobie sterowania, analizę stanu sieci dokonuje się w centralnym urządzeniu sterującym /CUS/. Na podstawie wyników analizy w CUS wypracowuje się instrukcje dla US węzłów w celu kierowania wpływających informacji po najkrótszych drogach. Instrukcje te wygodnie zapisywać w postaci macierzy dróg P i macierzy marszrut M. Macierz dróg /tras/  $P = [p_{ij}]$  określa zależności między drogami i gałęziami sieci. Każdy wiersz macierzy P odpowiada jednej z dróg  $\mu_i$  sieci, a każda kolumna - jednej z gałęzi  $\beta_j$  sieci.

Elementy macierzy P mogą przyjmować wartości 0 lub 1 :

$$p_{ij} = 1, \text{ jeśli gałąź } \beta_j \text{ należy do drogi } \mu_i ;$$

$$p_{ij} = 0 - \text{ w przeciwnym przypadku.}$$

Macierz marszrut  $M_i = [m_{kj}^i]$  określa optymalne kierunki przekazywania wiadomości. Elementy macierzy przyjmują wartości numerów węzła sieci od 1 do n / n-liczba węzłów w sieci/:

$m_{kj}^i$  - jest to numer węzła następnego za węzłem początkowym "i" na k-tej najkrótszej drodze do węzła końcowego "j".

W ten sposób dla każdego węzła wyjściowego "i" można ułożyć określoną macierz  $M_i$ , elementy której będą przyjmować tylko wartości numerów węzłów sąsiednich do węzła "i".

Oznacza to, że każdy węzeł "j" sąsiedni do danego węzła "i" określa całą grupę A węzłów sieci, do których można przejść od węzła "i" przez węzeł "j" po najkrótszych drogach.

Jeżeli przez  $Q_i$  oznaczymy zbiór wszystkich węzłów sieci z wyłączeniem węzła "i", to zbiór ten można podzielić na szereg podzbiorów  $\{A_p, A_q, \dots\}$  przecinających się, gdzie indeksy p, q oznaczają numery węzłów sąsiednich do węzła "i".

Przy czym każde

$$A_z \subseteq Q_i$$

a  $UA_z = Q_i$ , dla wszystkich węzłów sąsiednich do "i".

Model drogi przesyłania informacji od węzła "i" do wszystkich pozostałych węzłów sieci można przedstawić w postaci "drzewa"  $D_i$ , budując go w następujący sposób:

Wierzchołek  $V_i$  będący korzeniem "drzewa"  $D_i$  umieszcza się na  $S = 0$  poziomie "drzewa" i odpowiada on wyjściowemu węzłowi "i".

Wierzchołki "drzewa"  $\{V_{s+1}\}$  umieszczone na pewnym (s+1) poziomie odpowiadają podzbiorowi  $Y_{s+1}$  węzłów sieci. Każdy węzeł tego podzbioru jest sąsiedni przynajmniej do jednego z węzłów podzbioru  $Y_s$ , gdzie  $Y_s$  jest to podzbiór węzłów sieci, któremu odpowiadają wierzchołki  $\{V_s\}$  s-tego poziomu "drzewa". Poziomem nazywamy zbiór wierzchołków "drzewa" rozmieszczonych na jednakowej odległości od korzenia "drzewa" /licząc to jako liczbę gałęzi w łańcuchu łączącym wierzchołki z korzeniem "drzewa"/. Ilość poziomów "drzewa" "r" nie może przewyższać maksymalnej możliwej liczby gałęzi /łuków/ w drodze.

Dla sieci składającej się z n węzłów

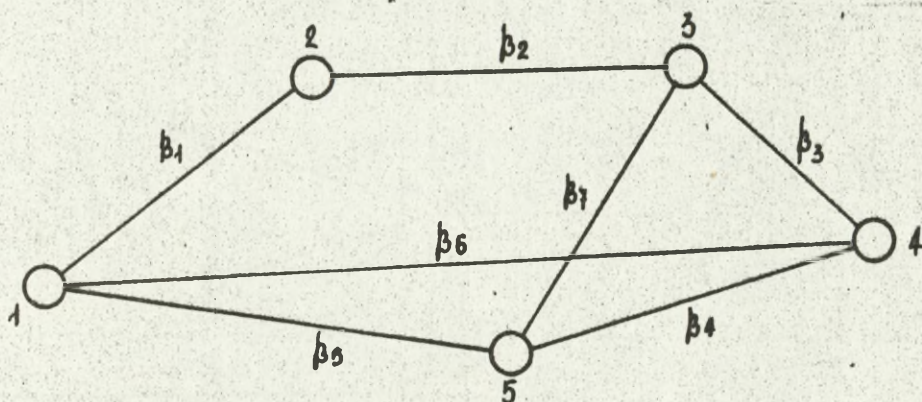
$$r \leq n - 1$$

Wierzchołki "drzewa" z sąsiednimi węzłami łączy się łukami w ten sposób, aby każdy łańcuch był prostym i zadość czynił następującemu warunkowi: jeśli  $(V_i, \dots, V_j, \dots, V_q)$  jest ciągiem

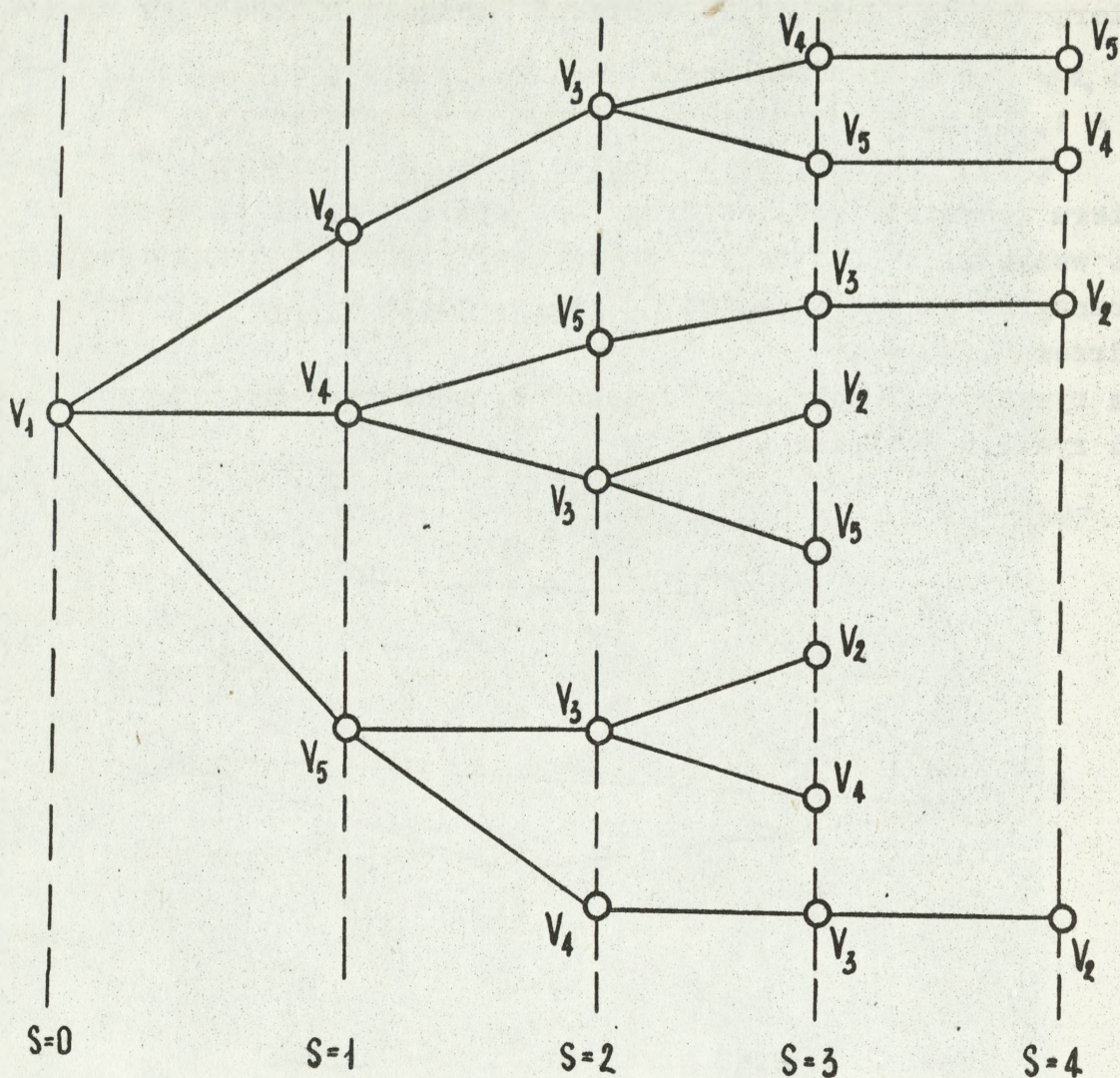
wierzchołków "drzewa"  $D_1$  w drodze łączącej wierzchołki  $V_i$  i  $V_q$  to  $i \neq j \neq q$  dla dowolnego  $i = 1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, n$ ;  $q = 1, \dots, n$ .

Łatwo pokazać, że zbudowane w ten sposób "drzewo"  $D_1$  zawiera wszystkie możliwe drogi bez pętli i cykli od węzła "i" do wszystkich pozostałych  $(n-1)$  węzłów sieci i liczbie węzłów tranzytowych nie większej od  $(r-1)$ , gdzie  $r$ -ilość poziomów "drzewa".

Na rysunku 2.7 pokazano "drzewo"  $D_1$  zbudowane na podstawie sieci rys.2.6 względem węzła 1.



Rys. 2.6. Graf sieci do budowy "drzewa"



Rys.2.7 "Drzewo"  $D_1$  dla węzła 1 sieci z rys. 2.6.

Obchodząc kolejno "drzewo"  $D_1$  po łańcuchach od korzenia  $V_1$  do wierzchołków poziomów  $S = 1, \dots, 4$  można otrzymać wszystkie możliwe jedno, dwu i trzy - tranzytowe drogi od węzła 1 do pozostałych węzłów rozpatrywanej sieci. Część macierzy dróg  $P$ , otrzymaną za pomocą tego "drzewa" przedstawiono na rys. 2.8.

"Drzewo"  $D_1$  zawiera także informacje niezbędne dla zbudowania macierzy marszrut  $M_1$ . Prześledźmy proces budowy macierzy marszrut  $M_1$  na przykładzie.

$\mu \backslash \beta$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	$\beta_7$	
$\mu_{12}^0$	1							S=1
$\mu_{13}^1$	1	1						S=2
$\mu_{14}^2$	1	1	1					S=3
$\mu_{15}^3$	1	1	1	1				S=4
$\mu_{15}^2$	1	1					1	S=3
$\mu_{14}^3$	1	1		1			1	S=4

}  
 po łańcuchu (V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>5</sub>, V<sub>4</sub>)  
 }  
 po łańcuchu (V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>1</sub>, V<sub>5</sub>, V<sub>4</sub>, V<sub>4</sub>, V<sub>5</sub>)

Rys.2.8. Macierz dróg P /część/ dla "drzewa" z rys.2.6

W związku z tym rozpatrzmy "drzewo"  $D_1$  dla sieci przedstawionej na rys. 2.6 i 2.7.

Zbiór  $Q_1 = \{2,3,4,5\}$  rozdziela się na podzbiory  $\{A_2, A_4, A_5\}$ , które odpowiednio równają się:

$$A_2 = \{q_2^2, q_2^3, q_2^4\}, \quad q_2^2 = 3; \quad q_2^3 = 4,5; \quad q_2^4 = 5,4;$$

$$A_4 = \{q_4^2, q_4^3, q_4^4\}, \quad q_4^2 = 5,3; \quad q_4^3 = 3,2,5; \quad q_4^4 = 2;$$

$$A_5 = \{q_5^2, q_5^3, q_5^4\}, \quad q_5^2 = 3,4; \quad q_5^3 = 2,4,3; \quad q_5^4 = 2;$$

gdzie:  $q_i^j$  - numery węzłów  $j$ -tego poziomu, które wchodzi w skład podzbioru  $A_i$ .

Mając określone wszystkie podzbiory budujemy macierz marszrut  $M_1$  w następującym porządku:

1. Wpisujemy indeksy 2,4,5 podzbiorów  $A_2, A_4, A_5$  w pierwszy wiersz macierzy  $M_1$  /numer kolumny zgadza się z numerem indeksu/.
2. Następne wiersze macierzy  $M_1$  wypełnia się zgodnie z numerami węzłów wchodzących w skład podzbiorów  $A_2, A_4, A_5$ .

Na przykład dla:

$q_2^3 = 4,5$  indeks 2 wpisujemy w kolumnę 4 i 5 trzeciego wiersza macierzy  $M_1$ , a dla  $q_4^2 = 5,3$  indeks 4 wpisujemy w kolumnę 5 i 3 drugiego wiersza macierzy  $M_1$  itd.

Po rozpatrzeniu wszystkich elementów "q" w podzbiorach  $A_2, A_4, A_5$  uzyskaliśmy macierz marszrut rys.2.9.

$M_1 =$

k \ j	2	3	4	5
1	2		4	5
2		2,5,4	5	4
3	4,5	4,5	2,5	2,5
4	4,5		2	2

Rys.2.9 Niezmodyfikowana macierz marszrut

Następnie modyfikujemy macierz tak, aby nie było pustych miejsc w górnej części kolumn i powtarzających się numerów w kolumnach. Otrzymujemy macierz marszrut  $M_1$  rys.2.10.

k \ j	2	3	4	5
1	2	2,4,5	4	5
2	4,5	-	5	4
3	-	-	2	2

Rys. 2.10 Macierz marszrut.

Niektóre niejednoznaczności macierzy  $M_1 = [m_{kj}^1]$  rys.2.10 np. elementy  $m_{13}^1 = 2,4,5$ ;  $m_{22}^1 = 4,5$  tłumaczy się tym, że za kryterium optymalizacji drogi przyjęto liczbę gałęzi wchodzących w drogę /węzłów tranzytowych/ i zgodnie z tym z węzła 1

do węzła 3 istnieją trzy jednakowe drogi przez węzły 2,4,5. Aby uniknąć niejednoznaczności można traktować takie drogi jako równorzędne i wybierać je według numerów porządkowych węzłów, lub przyjąć dowolne dopełniające kryterium /niezawodności, przepustowości itp/ pozwalające je rozróżnić.

Opisane wyżej "drzewo" dla dowolnego węzła sieci można również otrzymać za pomocą macierzy bezpośrednich połączeń /sąsiedztwa/.

$$B = [\beta_{ij}]$$

przedstawionej na rys. 2.11, której elementy są równe 0 lub 1:

$\beta_{ij} = 1$ , jeżeli węzły "i" i "j" są sąsiednie tzn. połączone są gałęzią;

$\beta_{ij} = 0$  w pozostałych przypadkach.

B =

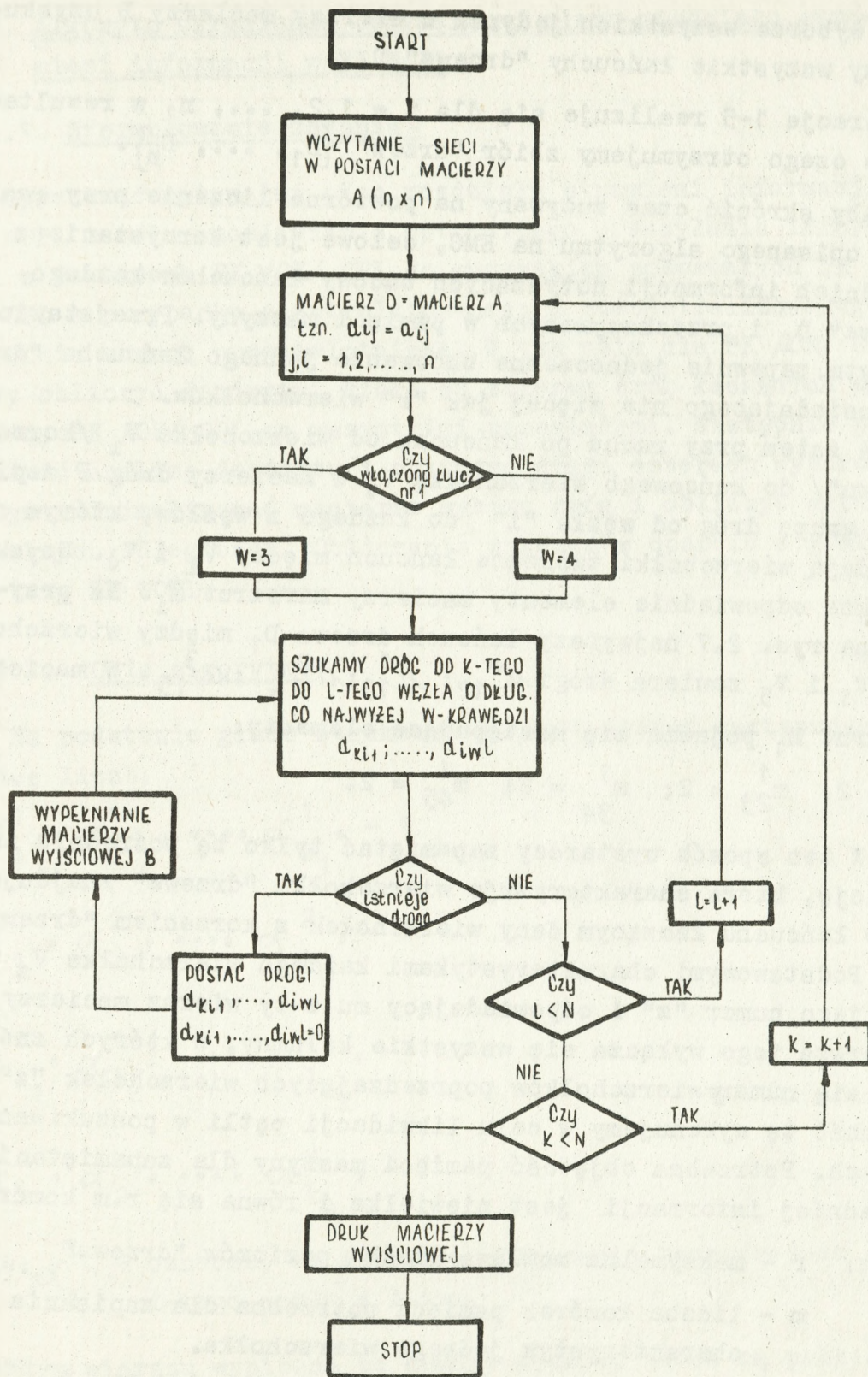
i \ j	1	2	3	4	5
1	0	1	0	1	1
2	1	0	1	0	0
3	0	1	0	1	1
4	1	0	1	0	1
5	1	0	1	1	0

Rys. 2.11. Macierz sąsiedztwa dla grafu sieci z rys. 2.6.

W celu ekonomicznego wykorzystania objętości pamięci operacyjnej EMC, proponowany algorytm określenia "drzew"  $D_i$  z macierzy B przewiduje jednoczesne budowanie jednego łańcucha "drzewa" zawierającego nie więcej jak "r" /ilość poziomów "drzewa"/ wierzchołków od pewnego wierzchołka  $V_1$  /korzenie "drzewa"/ do jednego z wierzchołków  $V_j$ . Schemat blokowy algorytmu przedstawiony jest na rys. 2.12.

### 2.2.4.3. Algorytm budowy "drzewa"

1. Wybieramy początkowy węzeł "i"; na  $s = 0$  poziomie "drzewa" znajduje się wierzchołek  $V_i$ .
2. W macierzy B znajdujemy i-ty wiersz, w którym wybieramy pierwszą w kolejności jedynekę; na  $(s+1)$  poziomie umieszczamy wierzchołek  $V_j$  odpowiadający węzłowi "j". Numer tego węzła równy jest numerowi kolumny w której znajduje się wybrana jedynka.
3. Następnie w macierzy B znajdujemy j-ty wiersz, z którego wyłączamy kolumny o numerach wierzchołków, które już przeszliśmy i w tym wierszu znów wybieramy pierwszą w kolejności jedynekę. W ten sposób zapisany jest wierzchołek następnego poziomu "drzewa". Czynność tę powtarzamy tak długo, aż nie będzie zapełniony r-ty poziom "drzewa".
4. Z wszystkich wierszy otrzymanych w rezultacie wykonania operacji 2 i 3 algorytmu wybieramy po jednej jedynce i otrzymujemy grupę wierzchołków, w której łączymy przyległe wierzchołki łukami i otrzymujemy jeden łańcuch "drzewa" od wierzchołka  $V_i$  do pewnego wierzchołka  $V_j$ .



RYS.2.12 SCHEMAT BLOKOWY ALGORYTMU WYBORU OPTYMALNYCH  
DRÓG PRZEKAZYWANIA INFORMACJI

5. Po wyborze wszystkich jedynek z wierszy macierzy B uzyskujemy wszystkie łańcuchy "drzewa"  $D_1$ .
6. Operacje 1-5 realizuje się dla  $i = 1, 2, \dots, n$ , w rezultacie czego otrzymujemy zbiór "drzew"  $\{D_1, \dots, D_n\}$ .

Aby skrócić czas zużywany na powtarne liczenie przy realizacji opisanego algorytmu na EMC, celowe jest korzystanie z pośrednich informacji dotyczących budowy łańcuchów każdego "drzewa"  $D_1$  i przechowywanych w pamięci maszyny. Przedstawiony algorytm zapewnia jednoczesne budowanie jednego łańcucha "drzewa" posiadającego nie więcej jak "r" wierzchołków.

A zatem przy ruchu po łańcuchu od wierzchołka  $V_1$  /korzeń "drzewa"/ do końcowego wierzchołka  $V_j$  w macierzy dróg P zapiszemy grupę dróg od węzła "i" do każdego z węzłów, którym odpowiadają wierzchołki tworzące łańcuch między  $V_1$  i  $V_j$ . Uzyskamy także odpowiednie elementy macierzy marszrut  $M_1$ . Na przykład na rys. 2.7 najwyższy łańcuch drzewa  $D_1$  między wierzchołkami  $V_1$  i  $V_5$  zawiera drogi  $\mu^0_{12}; \mu^1_{13}; \mu^2_{14}; \mu^3_{15}$ . W macierzy marszrut  $M_1$  pojawią się następujące elementy:

$$m^1_{12} = 2; \quad m^1_{23} = 2; \quad m^1_{34} = 2; \quad m^1_{45} = 2.$$

W ten sposób wystarczy zapamiętać tylko tę pośrednią informację, która charakteryzuje wierzchołki "drzewa" znajdujące się w łańcuchu łączącym dany wierzchołek z korzeniem "drzewa".

Podstawowymi charakterystykami każdego wierzchołka  $V_z$  jest jego numer "z" i odpowiadający mu z-ty wiersz macierzy B. Z wiersza tego wyłącza się wszystkie kolumny, w których znajdują się numery wierzchołków poprzedzających wierzchołek "z". Czynność tę wykonujemy w celu likwidacji pętli w poszukiwanych drogach. Potrzebna objętość pamięci maszyny dla zapamiętania pośredniej informacji jest niewielka i równa się  $r \cdot m$  komórek, gdzie:  $r$  - maksymalna możliwa liczba poziomów "drzewa"

$m$  - liczba komórek pamięci potrzebna dla zapisania charakterystyk jednego wierzchołka.

Przykład zastosowania algorytmu podany jest w dodatku V.

## 2.2.5. Algorytm określania optymalnego planu rozdziału strumieni informacji w SI WOPL

### 2.2.5.1. Sformułowanie zadania

Opracować optymalny plan rozdziału strumieni informacji w SI WOPL w celu umożliwienia optymalnego przesyłania informacji z dowolnego PK /OK/ OPL do wszystkich pozostałych PK /OK/ OPL w przypadku zcentralizowanego i zdecentralizowanego kierowania obroną przeciwlotniczą. W tym celu dla PK /OK/ OPL należy obliczyć dendryty, które są zbiorem dróg łączących wyróżniony PK /OK/ OPL ze wszystkimi pozostałymi. Następnie przeprowadzić analizę dendrytu i obliczyć drogi czterech wyborów. Po czym zminimalizować macierze wyboru dróg i obliczyć wektor minimalnych odległości. Obliczenia wykonać w oparciu o graf struktury SI WOPL.

### 2.2.5.2. Opis algorytmu

Na podstawie grafu struktury SI WOPL ułożyć następującą tablicę liczb:

$$\alpha_1^1, \alpha_2^1, \dots, \alpha_{k_1}^1, -1$$

$$\alpha_1^2, \alpha_2^2, \dots, \alpha_{k_2}^2, -1$$

$$\alpha_{1_1}^i, \alpha_{1_2}^i, \dots, \alpha_{1_{k_i}}^i, -1$$

$$\alpha_1^n, \alpha_2^n, \dots, \alpha_{k_n}^n, -1$$

gdzie:  $\alpha_{l_1}^i$  - oznacza, że istnieje połączenie bezpośrednie i-tego węzła z l-tym.

W każdym wierszu wypisane są numery węzłów, które są połączone z wierzchołkiem o numerze równym numerowi tego wiersza.

Widzimy, że  $1 < k_1, k_2, \dots, k_n < n$

Tak zadana informacja zostanie przetworzona i zapisana w pamięci w postaci macierzy

$$\begin{bmatrix} 0 & a_2^1 & a_3^1 & \dots & a_n^1 \\ a_1^2 & 0 & a_3^2 & \dots & a_n^2 \\ a_1^3 & a_2^3 & 0 & \dots & a_n^3 \\ a_1^k & a_2^k & a_3^k & \dots & a_n^k \\ a_1^n & a_2^n & a_3^n & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

gdzie:  $a_i^k$  są to zera bądź jedyńki;  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Na podstawie tej macierzy dla każdego węzła jest budowane drzewo połączeń.

Następnie przeprowadzając analizę drzewa otrzymuje się pierwszą część informacji wyjściowej w postaci macierzy:

Nr węzła	WYBOR 1	WYBOR 2	WYBOR 3	WYBOR 4
1	$\beta_1$	$\gamma_1^1, \gamma_2^1, \dots, \gamma_k^1$	$\sigma_1^1, \sigma_2^1, \dots, \sigma_l^1$	$\varphi_1^1, \varphi_2^1, \dots, \varphi_p^1$
2	$\beta_2$	$\gamma_1^2, \gamma_2^2, \dots, \gamma_k^2$	$\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_l^2$	$\varphi_1^2, \varphi_2^2, \dots, \varphi_p^2$
3	$\beta_3$	$\gamma_1^3, \gamma_2^3, \dots, \gamma_k^3$	$\sigma_1^3, \sigma_2^3, \dots, \sigma_l^3$	$\varphi_1^3, \varphi_2^3, \dots, \varphi_p^3$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N	$\beta_n$	$\gamma_1^n, \gamma_2^n, \dots, \gamma_k^n$	$\sigma_1^n, \sigma_2^n, \dots, \sigma_l^n$	$\varphi_1^n, \varphi_2^n, \dots, \varphi_p^n$

W kolumnach macierzy zapisane są zbiory węzłów pośrednich, które tworzą strukturę dróg połączeniowych czterech wyborów. Cyfry zapisane w wierszach informują nas do którego węzła mamy się skierować jeśli chcemy przebyć drogę odpowiedniego wyboru z 1-go do dowolnego końcowego węzła. Następnie przeprowadzana jest minimalizacja macierzy  $M_1$  w ten sposób że wybieramy węzły mające najniższe numery.

Podczas kodowania sieci należy numerować węzły według wzrastającej odległości między nimi.

Drugą część informacji wyjściowej otrzymujemy w postaci macierzy  $M_1^*$ , po dokonaniu optymalizacji macierzy  $M_1$  wg kryterium odległości.

MACIERZ  $M_1^*$

Nr węzła	WYBOR 1	WYBOR 2	WYBOR 3	WYBOR 4
1	$m_{11}$	$m_{12}$	$m_{13}$	$m_{14}$
2	$m_{21}$	$m_{22}$	$m_{23}$	$m_{24}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	$m_{n1}$	$m_{n2}$	$m_{n3}$	$m_{n4}$

Trzecią częścią informacji wyjściowej jest wektor minimalnych odległości.

1	2	3	⋯	N - 1	N
$a_1$	$a_2$	$a_3$	⋯	$a_{N-1}$	$a_N$

Składowe wektora są liczbami określającymi najkrótsze drogi mierzone ilością łuków z i-tego węzła do wszystkich pozostałych węzłów.

Przykład zastosowania algorytmu podany jest w dodatku VI.

## 2.2.6. Algorytm obliczania ekstremalnych dróg transmisji informacji w SI WOPL

### 2.2.6.1. Sformułowanie zadania

Obliczyć ekstremalne drogi transmisji informacji w SI WOPL ze względu na kryterium niezawodności w sensie prawdopodobieństwa jednoczesnej zdolności do pracy wszystkich elementów drogi. Prawdopodobieństwa poprawnej pracy PK /OK/ OPL i połączeń między nimi przyjąć jako niezależne. Wyznaczyć dendryty dla PK /OK/ OPL, które są zbiorem ekstremalnych dróg połączeniowych od określonego PK /OK/ OPL do pozostałych. Niezawodność drogi połączeniowej między wybranymi PK /OK/ OPL określa prawdopodobieństwo poprawnej pracy wszystkich elementów wchodzących w jej skład. Struktury wewnętrznej PK /OK/ OPL nie rozpatruje się. Charakterystyki połączeń PK /OK/ OPL zapisane są w bazie danych. Graf struktury SI WOPL przyjąć do obliczeń jako niezorientowany.

### 2.2.6.2. Budowa rzeźby

Przy rozpatrywaniu własności obiektów opisanych grafami liniowymi niejednokrotnie wynika zadanie odszukania ekstremalnych dróg ze względu na dowolne kryterium. Szczególnym przypadkiem jest zadanie wyboru optymalnych dróg przekazywania informacji w sieci ze względu na kryterium długości, niezawodności, liczbę połączeń pośrednich i innych technicznych oraz techniczno-ekonomicznych wskaźników. Problemy tego typu były badane i w większości przypadków zostały sprowadzone do zagadnienia znalezienia "najkrótszych" dróg w grafie przy danej długości każdego łuku. Zaproponowano również algorytmy ich rozwiązania. W niniejszej pracy pokazano próbę wskazania szerszej klasy funkcjonalnych charakterystyk elementów grafu, przy których te algorytmy posiadają również pełne zastosowanie.

Rozpatrzmy prosty, zorientowany skończony graf  $G$  bez pętli mający  $n$  wierzchołków  $q_0, q_1, \dots, q_1, \dots, q_{n-1}$ .

Każdemu wierzchołkowi  $q_i$  grafu przypisana jest funkcjonalna charakterystyka  $\varphi_i(x_i)$  określająca pewne przekształcenie przeprowadzane w wierzchołku  $q_i$  nad argumentem  $x_i$  będącym

parametrem dowolnego łuku wchodzącego do wierzchołka  $q_i$ .

Analogicznie każdemu łukowi  $(q_i, q_j)$  przypisana jest funkcjonalna charakterystyka  $\Psi_{ij}(y_i)$  określająca pewną operację przeprowadzoną na argumencie  $y_i$  wchodzącym do tego łuku z wierzchołka  $q_i$ .

Dla każdego wierzchołka  $q_i, q_j$  i łuku  $(q_i, q_j)$  argumenty  $x_i, x_j$  oraz  $y_i$  związane są zależnościami

$$y_i = \Psi_i(x_i); \quad x_j = \Psi_{ij}(y_i) \quad /2.2.21/$$

Pozwalają one rozpatrywać zamiast charakterystyki  $\Psi_{ij}(y_i)$  łuku  $(q_i, q_j)$  funkcję

$$f_{ij}(x_i) = \Psi_{ij}[\Psi_i(x_i)] \quad /2.2.22/$$

nazywaną sprowadzoną charakterystyką tego łuku.

Graf niezorientowany będziemy rozpatrywać jako zorientowany, który w miejsce krawędzi posiada parę łuków o przeciwnych zwrotach, przy czym charakterystykę każdego z łuków tej pary będziemy uważać jako tożsamą z charakterystyką krawędzi, jeżeli tylko nie ma w tym względzie innych specjalnych zaleceń. W grafie wyróżniony jest pewien wierzchołek  $q_0$  nazywany wejściem, na który podawany jest argument wejściowy  $x_0$ . Będziemy mówić, że na grafie zadana jest para  $\{q_0, x_0\}$  jeśli wskazane jest wejście  $q_0$  i wartość  $x_0$ .

Dla każdego wierzchołka  $q_m$  grafu rozpatruje się zbiór wszystkich dróg łączących wejście  $q_0$  z wierzchołkiem  $q_m$ .

Zbiór ten zawiera drogi skończonej długości oraz drogi nieskończenie długie, posiadające w swej strukturze pętle.

Każdej drodze utworzonej ze zbioru wierzchołków  $(q_0, q_1, \dots, \dots, q_j, q_k, \dots, q_l, q_m)$  przypisuje się wagę  $\omega(q_0, q_1, \dots, \dots, q_j, q_k, \dots, q_l, q_m)$ , którą określa się realizując ciąg następujących operacji:

$$x_i = f_{0i}(x_0) \quad /2.2.23/$$

$$\dots \dots \dots$$

$$x_k = f_{jk}(x_j)$$

$$x_m = f_{lm}(x_1) = W(q_0, q_1, \dots, q_j, q_k, \dots, q_l, q_m)$$

W ten sposób dla wszystkich dróg grafu  $G$ , łączących wejście  $q_0$  z pewnym wierzchołkiem  $q_m$  przy danej parze  $\{q_0, x_0\}$  określona została funkcja wagowa  $W(q_0, q_m)$  wierzchołka  $q_m$ , która przyjmuje wartość  $w(q_0, q_1, \dots, q_j, q_k, \dots, q_l, q_m)$  na drodze  $(q_0, q_1, \dots, q_j, q_k, \dots, q_l, q_m)$ .

Droga, na której funkcja  $W(q_0, q_m)$  osiąga wartość ekstremalną uważana jest za drogę ekstremalną od wierzchołka  $q_0$  do  $q_m$ .

Będziemy mówić, że na grafie  $G$  dana jest max/min/rzeźba pary  $\{q_0, x_0\}$ , jeżeli każdemu wierzchołkowi  $q_i$  przypisana jest liczba  $h_i$  nazywana wysokością, równa maksymalnej/min/wartości funkcji wagowej  $W(q_0, q_i)$ , przy czym dla każdego wierzchołka  $q_i$  wskazana jest co najmniej jedna droga od  $q_0$  do  $q_i$  o wadze równej wysokości, którą będziemy nazywać marszrutą i oznaczać  $\mu(q_0, q_i)$ . Maksymalna/min/rzeźba pary  $\{q_0, x_0\}$  w grafie skończonym istnieje wtedy, jeżeli wagi wszystkich dróg są jednoznacznie określone, a wśród dróg z pętlami nie ma dróg o nieskończonej długości z wagą rosnącą do nieskończoności w przypadku maksimum rzeźby lub malejącą do zera w przypadku minimum rzeźby.

### 2.2.6.3. Wyznaczenie ekstremalnych dróg w grafie

Zadanie odszukania ekstremalnych dróg w grafie może być rozwiązane drogą zbudowania odpowiedniej rzeźby. W tym celu wprowadzimy następujące ograniczenia, które należy nałożyć na charakterystyki łuków grafu, po to, aby proces konstruowania rzeźby był dostatecznie prosty.

1. Charakterystyka  $f_{ij}(x_i)$  dowolnego łuku  $(q_i, q_j)$  grafu  $G$  jest tylko funkcją argumentu  $x_i$  i nie ulega zmianie, jeżeli ten łuk wchodzi w skład różnych dróg. Przy tym warunku operacje /2.2.23/ są niezależne, a argument  $x_i$  może przyjmować takie i tylko takie wartości, które są równe wagom jakichkolwiek dróg od  $q_0$  do  $q_i$ . Dlatego też argument  $x_i$  można rozpatrywać

jako pewnego rodzaju zmienną "wagę" wierzchołka  $q_1$  dla pary  $\{q_0, x_0\}$ , której dyskretny zakres zmian będziemy oznaczać przez  $X_1(q_0, x_0)$ .

2. Dla wszystkich skończonych wartości  $x_1$  z zakresu  $X_1(q_0, x_0)$  charakterystyka  $f_{1j}(x_1)$  dowolnego łuku  $(q_1, q_j)$  grafu  $G$  powinna być: określona, jednoznaczna i ograniczona z góry w przypadku maksimum rzeźby lub z dołu w przypadku minimum rzeźby.
3. Sprowadzona charakterystyka  $f_{1j}(x_1)$  dowolnego łuku  $(q_1, q_j)$  grafu  $G$  powinna być monotoniczna nie malejącą funkcją argumentu  $x_1$  w zakresie  $X_1(q_0, x_0)$ . Charakterystykę  $f_{1j}(x_1)$  łuku  $(q_1, q_j)$  dla pewnej wartości  $x_1$  będziemy nazywać rosnącą /wzmacniającą/, jeżeli  $f_{1j}(x_1) > x_1$  lub malejącą /redukującą/, jeżeli  $f_{1j}(x_1) < x_1$ .
4. Przy budowaniu max /min/ rzeźby pary  $\{q_0, x_0\}$  charakterystyka  $f_{1j}(x_1)$  dowolnego łuku  $(q_1, q_j)$  grafu  $G$  nie powinna być rosnąca /malejąca/ dla wszystkich wartości  $x_1$  z zakresu  $X_1(q_0, x_0)$ .

Przy wprowadzonych ograniczeniach rzeźba uzyskuje pewne specyficzne własności, które możemy sformułować następująco:

Własność 1 Marszruta  $\mu(q_0, q_1)$  dla dowolnego wierzchołka  $q_1$  może być tylko droga bez pętli. Istotnie dodając do drogi nie zawierającej pętli łuki określonej pętli możemy na mocy ograniczenia 3 i 4 tylko zmniejszyć wagę drogi w przypadku maksimum rzeźby albo zwiększać w przeciwnym przypadku. Stąd graf marszrut pary  $\{q_0, x_0\}$  w grafie  $G$ , który oznaczać będziemy  $g(q_0, x_0)$  nie zawiera pętli i jest "drzewem" /dendrytem/. W rozpatrywanym grafie waga marszruty jest jednoznacznie określona, a zatem rzeźba istnieje.

Własność 2 Droga  $(q_0, \dots, q_j)$  będąca początkowym odcinkiem marszruty  $\mu(q_0, q_m) = (q_0, \dots, q_j, q_k, \dots, q_m)$  jest marszrutą  $\mu(q_0, q_j)$  dla wierzchołka  $q_j$ . Wynika to z ograniczenia 3 i określenia rzeźby.

Twierdzenie:

Jeśli w grafie  $G$  zadana jest para  $\{q_0, x_0\}$  każdemu wierzchołkowi  $q_1$  przypisano wagę  $\bar{x}_1$  według następującej zasady:

$$\begin{aligned}\bar{x}_0 &= x_0 ; \\ \bar{x}_1 &= \max \{f_{1j}(x_j)\} \quad 1 \neq 0 ; \\ & j \in Q_1.\end{aligned}\quad /2.2.24/$$

gdzie:  $Q_1$  - podzbiór wierzchołków grafu sąsiednich wierzchołka  $q_1$  /tzn. połączonych z nim łukami wchodzącymi do tego wierzchołka/,

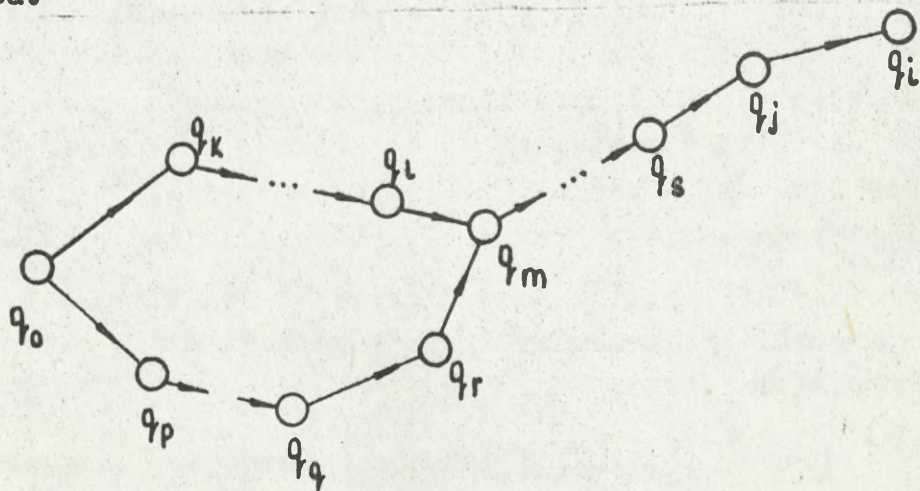
oraz dla każdego wierzchołka  $q_1$  znany jest łuk  $(\overline{q_j, q_1})$  nazywany podstawowym, dla którego spełniona jest zależność:

$$f_{j1}(\bar{x}_j) = \bar{x}_1 \quad /2.2.25/$$

to wtedy i tylko wtedy prawdziwa jest równość

$$\bar{x}_1 = h_1 \quad /2.2.26/$$

a droga  $(q_0, q_k, \dots, q_1, q_m, \dots, q_s, q_j, q_i)$  /rys.2.13 / składająca się z łuków podstawowych  $(\overline{q_0, q_k}), \dots, (\overline{q_1, q_m}), \dots, (\overline{q_s, q_j}), (\overline{q_j, q_i})$  wierzchołków  $q_k, \dots, q_m, \dots, q_j, q_i$  jest marszrutą  $\mu(q_0, q_1)$  wierzchołka  $q_1$  tzn. zbudowana jest maksymalna rzeźba.



Rys. 2.13. Marszruta  $/q_0, \dots, q_i/$

Marszrutę  $(q_0, q_1)$  zestawia się poprzez kolejne dołączenie podstawowych łuków wierzchołków, zaczynając od  $q_1$  przechodząc łuki w kierunku przeciwnym do ich zorientowania.

Przytoczone wyżej twierdzenie jest również słuszne dla przypadku budowy minimalnej rzeźby pod warunkiem zamiany we wszystkich zależnościach maksimum na minimum.

#### Dowód twierdzenia

Warunek konieczny nie trudno wyprowadzić z ograniczenia 3 i określenia rzeźby.

Warunek dostateczny wyprowadza się zakładając, że droga  $(q_0, q_k, \dots, q_l, q_m, \dots, q_s, q_j, q_1)$  nie jest marszrutą dla wierzchołka  $q_1$ , natomiast marszrutą jest droga  $(q_0, q_p, \dots, q_q, q_r, q_m, \dots, q_s, q_j, q_1)$ , /patrz rys. 2.13/.

Sformułowane twierdzenie pozwoli nam wykorzystać dla celów budowy rzeźby zamieszczone w dalszej części rozdziału algorytmy /Algorytm 1, Algorytm 2/. Sprowadzają się one w swej istocie do określenia metody wyboru łuków wchodzących do każdego wierzchołka  $q_1$  w celu znalezienia jego łuku podstawowego i maksymalnej wagi  $\bar{x}_1$ .

Działanie tych algorytmów będzie omówione na przykładzie budowy maksymalnej rzeźby, co nie wyklucza stosowania ich dla celów budowy minimalnej rzeźby pod warunkiem zamiany minimum na maksimum.

#### 2.2.6. 4. Algorytmy wyznaczania ekstremalnych dróg w grafie

##### Algorytm 1

Krok 1. Każdemu wierzchołkowi  $q_1$  grafu  $G$ , oprócz wejścia  $q_0$  mającego początkową wagę  $x_0$ , przyporządkowuje się umowną początkową wagę  $B_1 = -\infty$  ( $B_1 = +\infty$ ) przy budowaniu minimalnej rzeźby.

Krok 2. Ustala się pewną kolejność rozpatrywania łuków grafu zaczynając od rozpatrywania łuków wychodzących z  $q_0$ . Analizą obejmujemy wszystkie łuki grafu, a ustalona kolejność pozostaje niezmienna do końca procesu budowy rzeźby.

Krok 3. Kolejny łuk  $(q_j, q_k)$  rozpatruje się, jeżeli wychodzi z wierzchołka  $q_j$  z wagą  $x_j \neq B_j$  /w przeciwnym przypadku łuk ten opuszcza się/. Przy tym wierzchołkowi  $q_k$  mającemu wcześniej wagę  $x_k$  przyporządkowuje się wagę  $x'_k$  w następujący sposób:

$$x'_k = \max \{x_k, f_{jk}(x_j)\} \quad /2.2.27/$$

Jednocześnie odnotowuje się prowadzący łuk wierzchołka  $q_k$  według następującej reguły: przy  $x'_k \neq x_k$ , jako prowadzący uważa się łuk  $(q_j, q_k)$ ;

przy  $x'_k = x_k$  wiodącym zostaje wcześniej określony łuk.

Krok 3 realizuje się na wszystkich łukach grafu w kolejności ustalonej w kroku 2.

Cykl procesu budowania rzeźby w trakcie którego dla każdego łuku grafu krok 3 jest realizowany dokładnie jeden raz, powtarza się aż do chwili wystąpienia cechy zakończenia procesu, polegającej na tym, że w okresie całego cyklu wagi wszystkich wierzchołków zostały nie zmienione. Po zakończeniu procesu budowy wszystkie wierzchołki grafu  $G$  mają wagi równe wysokościami w maksymalnej rzeźbie pary  $\{q_0, x_0\}$ , przy czym dla każdego z  $n-1$  wierzchołków  $q_1, \dots, q_{n-1}$  prowadzący łuk pokrywa się z podstawowym, a graf  $\bar{g}(q_0, x_0)$  składający się ze znalezionych prowadzących łuków jest "drzewem" /dendrytem/ marszrut  $g(q_0, x_0)$ . Omówiony algorytm jest prosty i zawiera jedynie powtarzalny krok 3.

Wymaga niewielkiej pojemności pamięci dla zapamiętania pomocniczych danych pozwalających określić momenty zakończenia cykli i koniec procesu budowy rzeźby. Należy jednak oczekiwać, że przy budowie rzeźby przy pomocy tego algorytmu może pojawić się wiele bezużytecznych realizacji kroku 3 nie prowadzących do zmiany wag wierzchołków /pokażemy to później na przykładach/. Przyczyną tego jest kolejność rozpatrywania łuków, która jest dowolna i nie wyklucza się możliwości realizacji

kroku 3 na łuku, którego początkowy wierzchołek nie zmienił swojej wagi. Przy dużej liczbie łuków i małej szybkości liczenia maszyny cyfrowej ta cecha algorytmu 1 może istotnie utrudniać zastosowanie. Pod tym względem wyraźną przewagę ma opisany dalej wariant algorytmu 1, zwany algorytmem 2, w którym kolejność przejścia do poszczególnych łuków określa się w trakcie procesu budowy rzeźby, przez co osiąga się zmniejszenie ilości nieefektywnych realizacji kroku 3 w porównaniu z algorytmem 1.

### Algorytm 2

Krok 1. Jest analogiczny do kroku 1 w algorytmie 1.

Krok 2. Każdemu wierzchołkowi  $q_j$  sąsiadnemu z  $q_0$  i połączonemu z nim łukiem  $(q_0, q_j)$  wychodzącym z  $q_0$  przyporządkowuje się nową wagę  $x'_j$  obliczoną według wzoru:

$$x'_j = f_{0j}(x_0) \quad /2.2.28/$$

Przy tym łuk  $(q_0, q_j)$  określa się jako wiodący.

Krok 3. Rozpatruje się pewien łuk  $(q_k, q_1)$ , którego początkowy wierzchołek  $q_k$  wcześniej zmienił swoją wagę i w stosunku do którego krok 3 jeszcze po tym nie był zrealizowany. Przy tym nową wagę  $x'_1$  i łuk wiodący określa się dokładnie tak samo jak w kroku 3 algorytmu 1.

Krok 3 powtarza się tak długo dopóki to jest możliwe. Niemożliwość zrealizowania kroku 3 z powodu nieistnienia chociażby jednego łuku w stosunku do którego nie byłby zrealizowany krok 3 po ostatniej zmianie wagi jego początkowego wierzchołka jest cechą zakończenia procesu budowy rzeźby. Wysokości wierzchołków i "drzewo" marszrut  $g(q_0, x_0)$  znajduje się w taki sposób jak w przypadku algorytmu 1.

Zilustrujemy działanie algorytmów na przykładach, które umożliwią ukazanie niektórych cech procesu budowy rzeźby i porównanie efektywności tych algorytmów.

Przykład zastosowania algorytmu podany jest w dodatku VII.

## 2.2.7. Algorytm badania statystycznego niezawodności struktury SI WOPL. uwzględniający początkowy stan struktury i obciążenie informacyjne systemu

### 2.2.7.1. Sformułowanie zadania

Oceń globalnie SI WOPL z punktu widzenia kryterium niezawodności podczas działania w dostatecznie długim okresie czasu. Należy przeprowadzić badania statystyczne funkcjonowania SI WOPL w warunkach oddziaływania czynników zewnętrznych powodujących uszkodzenie poszczególnych elementów jego struktury. Obliczyć macierz dróg połączeniowych między wszystkimi różnymi parami PK /OK/ OPL, której elementy określają średnią długość drogi wyrażoną ilością łąk w drodze budowanej na podstawie macierzy zapotrzebowań i badań statystycznych stanów struktury technicznej systemu.

Obliczyć dla całego SI WOPL prawdopodobieństwo tego, że informacja nie zostanie przesłana między PK /OK/ OPL. W obliczeniach wykorzystać graf struktury SI WOPL, macierz prawdopodobieństw poprawnego działania elementów struktury SI WOPL i macierz zapotrzebowań na przesyłanie informacji między PK /OK/ OPL. Niezawodność struktury SI WOPL należy rozumieć jako prawdopodobieństwo poprawnej pracy systemu OPL w funkcji struktury połączeń jego elementów.

Algorytm rozwiązania sformułowanego zadania powstał w oparciu o modyfikację algorytmu zdecentralizowanego dynamicznego rozdziału strumienia informacji [10] i wykorzystanie macierzowych metod określania najkrótszych dróg przedstawionych w p.2.2.2.

## 2.2.8. Algorytm obliczania przepustowości systemu informacyjnego wojsk OPL

### 2.2.8.1. Sformułowanie zadania

Obliczyć maksymalny przepływ strumienia informacji w SI WOPL między określoną grupą PK /OK/ OPL traktowanych jako nadawców informacji, a grupą PK /OK/ OPL, które są odbiorcami informacji. Ponadto obliczyć macierz maksymalnych przepływów, która określa obciążenie informacyjne poszczególnych połączeń między PK /OK/ OPL. Obliczenia wykonać w oparciu o graf struktury SI WOPL i dane dotyczące ilości grup informacyjnych wymienianych między PK /OK/ OPL które zawiera zał.3.

W celu rozwiązania powyższego zadania wykorzystany będzie algorytm opisany w pracy: Przepływy w sieciach - L.R. Ford, D.R. Fulkerson, str. 30-32. Ze względu na jego powszechne wykorzystanie nie będzie on przedstawiony w niniejszej pracy.

### 2.3. Model matematyczny struktury SI WOPL

Model struktury SI WOPL został zbudowany w oparciu o metody i algorytmy określania dróg przekazywania informacji między PK /OK/ OPL, które są przedstawione w p.2.2. Posłużyły one do opracowania następujących programów:

- 1/ program optymalizacji SI WOPL ze względu na kryterium odległości, niezawodności i czasu przesyłania informacji między wszystkimi PK /OK/ OPL /SHIMB/,
- 2/ program kompleksowego algorytmu optymalizacji struktury SI WOPL ze względu na zbiór kryteriów zadanych kolejno według hierarchii ważności /COMPL/,
- 3/ program obliczania niezależnych i optymalnych dróg przesyłania informacji w SI WOPL /DENDR/,
- 4/ program optymalnego rozdziału strumieni informacji w SI WOPL /OPTYM/,
- 5/ program obliczania ekstremalnych dróg transmisji informacji w SI WOPL /EXTR/,
- 6/ program badania statystycznego niezawodności struktury SI WOPL, uwzględniający początkowy stan struktury i obciążenie informacyjne /GENER/,
- 7/ program obliczania przepustowości struktury SI WOPL /PRZEP/.

Na model struktury SI WOPL składają się następujące programy:

- a/ DSMDL
- b/ MODEL
- c/ DZMDL
- d/ SHIMB
- e/ COMPL
- f/ DENDR
- g/ OPTYM
- h/ EXTR
- i/ GENER
- j/ PRZEP
- k/ REMDL

Programy te znajdują się na taśmie magnetycznej /TM/ o metryce "MODEL" w podanej wyżej kolejności:

- 1/ program "DSMDL" służy do zakładania bazy danych stałych wykorzystywanej przez system programów,
- 2/ program "MODEL" jest programem sterującym programami systemu. Zadaniem programu sterującego jest automatyczne kierowanie procesem rozwiązania zadania podanego w danych zmiennych,
- 3/ program "DZMDL" przygotowuje na podstawie bazy danych stałych i danych zmiennych, zbiory danych dla programów wymienionych w punktach d÷j,
- 4/ programy wymienione w punktach d÷j są głównymi programami systemu służącymi do optymalizacji struktury SI WOPL,
- 5/ program "REMDL" służy do wyprowadzenia na drukarkę wierszową wyników zgromadzonych na taśmie magnetycznej.

### 2.3.1. Struktura zbiorów danych

Zdolność SI WOPL do należytego wykonywania przewidzianych dla niego funkcji w dużym stopniu zależy od organizacji tej jego części, która operuje dysponowanymi zasobami danych i nosi nazwę bazy danych. Ważną wyróżniającą się własnością bazy danych jest możliwość jej rozszerzenia przez dołączenie dalszych elementów. Baza danych odgrywa ważną rolę w modelu struktury SI WOPL, którego jest częścią, w jej funkcjach i strukturze odzwierciedlona została różnorodność czynników należących do otoczenia SI WOPL. W bazie danych zawarta jest również informacja o strukturze topologicznej SI WOPL, którą ukazuje graf składający się z 532 węzłów i krawędzi /zał.4/. Ze względu na jego duże rozmiary /532 węzłów/, które wpłynęłyby na wydłużenie czasu liczenia modelu struktury SI WOPL przez EMC, przyjęto do obliczeń uproszczony lecz w pełni reprezentatywny graf struktury topologicznej SI WOPL /ponumerowane węzły od 1 do 77 w grafie, zał. 4/. W uproszczonym grafie zawarte są wszystkie możliwe konfiguracje struktury SI WOPL, a zatem nie zawęża on rozważanego problemu optymalizacji struktury i nie wpływa na ogólność uzyskanych wyników obliczeń lecz tylko na ich ilość. Zmniejszenia ilości węzłów w grafie można również dokonać na drodze jego redukcji, polegającej na ekwiwalentnym przekształceniu struktury topologicz-

nej. W rezultacie czego uzyskujemy równoważną strukturę o mniejszej liczbie węzłów. W tym celu opracowana została metoda redukcji SI WOPL przedstawiona w dodatku IX.

Wszystkie programy należące do modelu muszą się komunikować z bazą danych. Program "DZMDL" przygotowuje struktury zbiorów danych dla głównych programów systemu.

Oznaczenia przyjęte w strukturze zbiorów danych:

- N - ilość PK /OK/ OPL
- [D] - macierz odległości
- [T] - macierz czasów
- [P] - macierz prawdopodobieństw
- [A] - macierz przepływów
- B - ilość początkowych PK /OK/ OPL
- B/I/ - numery początkowych PK /OK/ OPL
- E - ilość końcowych PK /OK/ OPL
- E /I/- numery końcowych PK /OK/ OPL
- U/I/ - ilość łuków z I-tego PK /OK/ OPL
- [R] - macierz połączeń /zrealizowanych relacji/
- [Z] - macierz zapotrzebowań

Struktura zbiorów danych jest następująca:

- 1/ "SHIMB1"  
N, D/1/ ÷ D /N \* N/
- 2/ "SHIMB2"  
N, T /1/ ÷ T /N \* N/
- 3/ "COMPL"  
N, D/1/ ÷ D /N \* N/, T /1/ ÷ T /N \* N/, A/1/ ÷ A /N \* N/,  
P/1/ ÷ P /N \* N/, B,  
B/1/ ÷ B/B/, E/1/ ÷ E/E/
- 4/ "DENDR"  
N, U/1/ ÷ U/N/, R/1/ ÷ R /N \* N/
- 5/ "OPTYM"  
N, U/1/ ÷ U /N/, R/1/ ÷ R /N \* N/, B, B/1/ ÷ B/B/

6/ "EXTR"

$N, P/1/\div P/N * N/, B, B/1/\div B/B/$

7/ "GENER"

$N, P/1/\div P/N * N/, Z/1/\div Z/N * N/$

8/ "PRZEP"

$N, A/1/\div A/N * N/, B, B/1/\div B/B/, E, E/1/\div E/E/$

Formularze danych stałych i zmiennych zawierają załączniki 12 i 13.

Ponieważ znane są zadania rozwiązywane w modelu struktury SI WOPL i niezbędne informacje potrzebne do rozwiązywania każdego zadania więc na tej podstawie określono jakie informacje winny się znaleźć w zbiorach danych. Zbiór danych stałych przedstawiony jest w załączniku 5.

Dane zmienne zawierają informacje o zadaniach. Pod pojęciem zadania rozumiemy wielkość fizyczną opisaną następującymi parametrami:

- źródłem pojawienia się informacji - początkowy PK /OK/ OPL,
- ujściem informacji - docelowy PK /OK/ OPL,
- priorytet zadania /przyjęto odpowiednio do kategorii informacji 1,2,3/,
- kryteria optymalizacji drogi połączeniowej między początkowym, a docelowym PK /OK/ OPL.

Priorytety wprowadzone zostały w celu zapewnienia dostarczenia pilnych informacji w określonym terminie.

### 2.3.2. Założenia przyjęte w modelu struktury SI WOPL

1. Połączenia między PK /OK/ OPL są jednorodne i dwukierunkowe.
2. Każdy z PK /OK/ OPL jest PK /OK/ OPL końcowo tranzytowym,
3. Analizie poddawana jest tylko struktura połączeń między PK /OK/ OPL, nie bada się natomiast wewnętrznej struktury PK /OK/ OPL.
4. Ilość priorytetów jest ograniczona i wynosi 3.
5. PK /OK/ OPL traktowane są jako nadawcy i odbiorcy informacji, są one elementami obciążającymi i rozładującymi SI WOPL.

6. Każda informacja przeznaczona jest tylko dla jednego PK /OK/ OPL.
7. Wewnętrznej struktury połączeń między PK /OK/ OPL nie rozpatruje się.

### 2.3.3. Obciążenie informacyjne systemu i wybór okresu czasu modelowania SI WOPL

Obciążenie SI WOPL posiada charakter przypadkowy, niemniej jednak dla poszczególnych okresów czasu występują pewne prawidłowości. W związku z powyższym zmiany wielkości obciążenia możemy określać dla następujących przedziałów czasowych:

- a/ zmiany obciążenia w poszczególnych dobach tygodnia,
- b/ zmiany obciążenia w poszczególnych godzinach doby.

Zjawisko nierównomierności obciążenia obserwuje się nie tylko w funkcji czasu, ale i w funkcji struktury SI WOPL zał.3. Zmiany te uzależnione są od szczebla dowodzenia, rodzaju działań bojowych i etapu działań. W operacji zaczepnej poważną rolę odgrywa etap działań. Szczyt obciążenia informacyjnego SI WOPL wystąpi w momencie rozpoczęcia operacji zaczepnej, w czasie przełamywania pierwszego pasa obrony nieprzyjacielskiej, w okresie zmasowanego nalotu, w okresie sprawozdawczości lub przy uszkodzeniu pewnych części SI WOPL, gdy pozostała sprawna część systemu musi przejąć obciążenie całego SI WOPL. Maksymalne obciążenie SI WOPL może pojawić się również na skutek zaistnienia nieprzewidzianych wydarzeń powodujących wzrost przekazywanych informacji.

Powyższe spostrzeżenia wskazują na to, że obciążenie SI WOPL jest zmienne, występuje kilka okresów maksymalnego obciążenia systemu. Dla SI WOPL najbardziej reprezentatywnym okresem maksymalnego obciążenia będzie okres zmasowanego nalotu, zał.3. Z tego powodu został on wybrany jako okres czasu w którym będzie modelowana struktura SI WOPL.

### 2.3.4. Rozwiązanie modelu struktury SI WOPL

Badanie SI WOPL może być w pierwszym etapie analizy rozбите na odpowiednie badania modelu z punktu widzenia [12]:

- a/ użytkowników SI WOPL /nadawców i odbiorców informacji/,
- b/ obsługi, która nadzoruje i eksploatuje SI WOPL,
- c/ projektanta systemu.

Obszar zainteresowań każdej z wymienionych grup wyraża się pewną specyfiką i tak np. użytkownika SI WOPL interesuje przede wszystkim:

- średni czas przebywania informacji w systemie,
- ogólna zdolność przepustowa systemu.

Obsługę nadzorującą i eksploatującą SI WOPL:

- algorytmy wyboru drogi w systemie,
- system priorytetów,
- sposób przekazywania informacji i pojemność pamięci w PK /OK/ OPL,

Projektanta systemu interesują następujące zagadnienia:

- algorytmy wyboru drogi,
- system priorytetów,
- sposób przekazywania informacji i pojemność pamięci w PK /OK/ OPL,
- średni czas przebywania informacji w systemie,
- ogólna zdolność przepustowa systemu,
- topologiczna struktura systemu, itp.

A zatem rozwiązanie modelu może być podzielone na oddzielne badania, pomimo, że są one tylko częściowo niezależne. Celem próbnej eksploatacji modelu było sprawdzenie w praktyce przyjętych założeń oraz wprowadzenie ewentualnych poprawek do modelu.

W wyniku rozwiązania modelu otrzymujemy następującą informację o SI WOPL:

1. Macierz odległości pierwszego wyboru, jest ona zarazem macierzą dyspersyjną i elementy tej macierzy są najkrótszymi odległościami dróg połączeniowych między początkowymi, a końcowymi PK /OK/ OPL.
2. Macierz odległości drugiego wyboru, zawiera elementy, które są odległościami suboptymalnych dróg połączeniowych między początkowymi, a końcowymi PK /OK/ OPL.
3. Macierz odległości trzeciego wyboru, której dowolny element jest trzecią pod względem minimalnej wartości odległością między dwoma PK /OK/ OPL.

4. Macierz tras pierwszego wyboru zawiera numery PK /OK/ OPL wyznaczających strukturę optymalnych dróg połączeniowych.
5. Macierz tras drugiego wyboru, której elementy są numerami sąsiednich PK /OK/ OPL względem początkowych, które wysyłają informacje po drodze drugiego wyboru.
6. Macierz tras trzeciego wyboru zawiera numery pierwszych pośrednich PK /OK/ OPL licząc od początkowych PK /OK/ OPL, które przesyłają informacje po drodze trzeciego wyboru.
7. Macierz czasów pierwszego wyboru, której elementy są najkrótszymi czasami przesyłania informacji między początkowymi, a końcowymi PK /OK/ OPL.
8. Macierz czasów drugiego wyboru, zawiera elementy, które są suboptymalnymi czasami przesyłania informacji między początkowymi, a końcowymi PK /OK/ OPL.
9. Macierz czasów trzeciego wyboru, której dowolny element jest trzecim pod względem minimalnej wartości czasu przesyłania informacji między dwoma PK /OK/ OPL.
10. Macierz tras pierwszego wyboru zawiera numery PK /OK/ OPL wyznaczających strukturę optymalnych dróg połączeniowych w sensie kryterium czasu.
11. Macierz tras drugiego wyboru zawiera numery pierwszych pośrednich PK /OK/ OPL licząc od początkowych, które przesyłają informację po suboptymalnych drogach w sensie kryterium czasu.
12. Macierz tras trzeciego wyboru zawiera numery pierwszych pośrednich PK /OK/ OPL licząc od początkowych PK /OK/ OPL, które wysyłają informację po trzeciej najkrótszej drodze w sensie minimalnej wartości czasu niezbędnego dla przekazania informacji.
13. Cztery kolejne drogi połączeniowe między wszystkimi różnymi parami PK/OK/ OPL spełniające jednocześnie zbiór ośmiu kryteriów.
14. Macierz niezależnych dróg między wszystkimi różnymi parami PK /OK/ OPL.
15. Macierze  $M_i$  /  $i = 1, 2, \dots, n$  / optymalnego planu rozdziału strumieni informacji.
16. Macierze  $M_i^*$  kolejnych wyborów optymalnego planu rozdziału strumieni informacji.

17. Wektor minimalnych odległości między ustalonymi PK /OK/ OPL a pozostałymi.
18. Maksymalne drogi połączeniowe /w sensie największej niezawodności/ między wszystkimi różnymi parami PK /OK/ OPL.
19. Rzeźba wyjściowa SI WOPL.
20. Macierz średnich dróg między wszystkimi różnymi parami PK /OK/ OPL.
21. Długość średniej drogi w całym SI WOPL.
22. Prawdopodobieństwo odmowy przekazania informacji dla całego SI WOPL.
23. Maksymalny przepływ informacji w SI WOPL.
24. Macierz maksymalnych przepływów informacji.

#### 2.3.4.1. Sposoby wykorzystania wyników

Długość drogi optymalnej między  $i$ -tym a  $j$ -tym PK /OK/ OPL znajdujemy w macierzy odległości pierwszego wyboru na przecięciu  $i$ -tego wiersza i  $j$ -tej kolumny. Natomiast strukturę drogi odczytujemy z macierzy tras pierwszego wyboru następująco: na przecięciu  $i$ -tego wiersza i  $j$ -tej kolumny znajdujemy numer  $k_1$  PK /OK/ OPL, jeśli  $k_1 = j$  to  $k_1$  jest docelowym PK /OK/ OPL, jeśli  $k_1 \neq j$  to  $k_1$  jest pierwszym pośrednim PK /OK/ OPL. Następnie na przecięciu wiersza  $k_1$  i  $j$ -tej kolumny odczytujemy numer PK /OK/ OPL  $k_2$ , jeśli  $k_2 = j$ , to  $k_2$  jest końcowym PK /OK/ OPL, jeśli  $k_2 \neq j$ , to wówczas  $k_2$  jest drugim pośrednim PK /OK/ OPL. Dalej postępujemy analogicznie aż  $k_n = j$ .

Długość drogi suboptymalnej między  $i$ -tym, a  $j$ -tym PK /OK/ OPL znajdujemy w macierzy odległości drugiego wyboru na przecięciu  $i$ -tego wiersza i  $j$ -tej kolumny. Strukturę drogi znajdujemy w ten sposób, że numer pierwszego pośredniego PK /OK/ OPL odczytujemy w macierzy tras drugiego wyboru na przecięciu  $i$ -tego wiersza i  $j$ -tej kolumny, a pozostałe numery PK /OK/ OPL, które tworzą strukturę drogi połączeniowej odczytujemy analogicznie jak w przypadku drogi optymalnej, w macierzy tras pierwszego wyboru. Drogę trzeciego wyboru odczytujemy analogicznie jak drogę drugiego wyboru.

Sposób wykorzystania macierzy czasów trzech kolejnych wyborów oraz odpowiadających im macierzy tras jest identyczny jak wyżej omówiony sposób wykorzystania macierzy odległości.

Cztery kolejne drogi połączeniowe zapisane są kolejno według wartości kryteriów optymalizacji. Podana jest również struktura każdej drogi w celu umożliwienia jej zestawienia.

Drogi kolejnych wyborów z macierzy niezależnych dróg odczytujemy następująco: Załóżmy, że szukamy niezależnej drogi pierwszego wyboru łączącej początkowy PK /OK/ OPL o numerze  $i$  z końcowym PK /OK/ OPL o numerze  $j$ . Na przecięciu  $i$ -tego wiersza z  $j$ -tą kolumną odczytujemy w klatce pierwszą liczbę np.:  $k_1$ , jeśli  $k_1 \neq j$  to  $k_1$  jest numerem pierwszego pośredniego PK /OK/ OPL. Następnie szukamy elementu na przecięciu wiersza  $k_1$  z  $j$ -tą kolumną; odczytujemy pierwszą liczbę  $k_2$ . Jeśli  $k_2 = j$ , droga z  $i$ -tego do  $j$ -tego PK /OK/ OPL składa się kolejno z następujących numerów PK /OK/ OPL:  $i - k_1 - j$ . Jeżeli  $k_2 \neq j$  kontynuujemy postępowanie analogicznie aż do  $k_n = j$ . Numeracja pozycji w klatce jest następująca:

1	2
3	4

Jeśli w klatce wpisane są na przykład trzy liczby na pozycji 2, 3 i 4 to oznaczają one numery PK /OK/ OPL wchodzących w niezależne drogi:

- pierwszego wyboru, z pozycji 2,
- drugiego wyboru, z pozycji 3,
- trzeciego wyboru, z pozycji 4.

Z wyników zapisanych w macierzach  $M_i$  oraz  $M_i^*$  korzystać należy następująco. Podczas zestawiania drogi łączącej  $i$ -ty PK /OK/ OPL z  $j$ -tym w macierzy  $M_i^*$  w wierszu  $j$ -tym odczytujemy numer węzła najniższego wyboru, założmy, że jest to węzeł  $k_1$ , jeżeli  $k_1 \neq j$  wówczas w macierzy  $M_{k_1}^*$  w wierszu o numerze  $j$  odczytujemy numer węzła  $k_2$  tego samego wyboru, jeśli  $k_2 = j$  droga łącząca  $i$ -ty PK /OK/ OPL z  $j$ -tym składa się z następujących numerów PK /OK/ OPL:  $i - k_1 - j$ . Jeżeli  $k_2 \neq j$ , dalej

postępujemy analogicznie jak poprzednio. Aby znaleźć strukturę drogi łączącej początkowy PK /OK/ OPL z końcowym, korzystając należy z tyłu macierzy  $M_i^*$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  ile PK /OK/ OPL wchodzi w daną drogę. Jeśli w macierzy  $M_i^*$  któryś z pośrednich OK /OK/ OPL byłby uszkodzony lub zajęty wówczas wybieramy numer PK /OK/ OPL następnego wyboru /wyższego/.

Składowe wektora minimalnych odległości są liczbami określającymi najkrótsze drogi mierzone ilością łąków z  $i$ -tego PK /OK/ OPL do wszystkich pozostałych.

Wykaz ekstremalnych dróg połączeniowych od ustalonych początkowych PK /OK/ OPL do wszystkich pozostałych PK /OK/ OPL zawiera strukturę każdej drogi i niezawodność jej wykorzystania.

Rzeźba wyjściowa SI WOPL zapisana jest w postaci macierzy, każdy element której jest najkrótszą odległością między dwoma PK /OK/ OPL wyrażoną ilością łąków.

Macierz średnich dróg między wszystkimi różnymi parami PK /OK/ OPL zawiera elementy, które są średnimi odległościami między różnymi parami PK /OK/ OPL wyrażonymi ilością łąków.

Długość średniej drogi dla całego SI WOPL wyrażona jest liczbą łąków. Prawdopodobieństwo odmowy przekazania informacji dla całego SI WOPL jest wskaźnikiem globalnym, który charakteryzuje niezawodność SI WOPL.

Maksymalny przepływ informacji obliczony jest w setkach grup informacyjnych między kilkoma PK /OK/ OPL wysyłającymi informacje a grupą PK /OK/ OPL, które są odbiorcami informacji.

Macierz maksymalnych przepływów informacji w SI WOPL pozwala określić po których łąkach i ile grup informacyjnych można przesłać aby osiągnąć maksymalny przepływ w SI WOPL. Sposób zestawiania drogi połączeniowej między dwoma PK /OK/ OPL jest identyczny jak sposób korzystania z macierzy tras pierwszego wyboru.

### 2.3.5. Analiza wyników i wnioski

Uzyskane wyniki w procesie modelowania nasuwają szereg spostrzeżeń i wniosków odnośnie możliwości SI WOPL i sposobów ich wykorzystania.

Jak wiadomo modelowaniu poddano strukturę SI WOPL. W celu określenia zalet i wad czterech wariantów kierowania siłami i środkami wojsk OPL frontu przebadano w procesie modelowania

odpowiadające im struktury SI WOPL. W poszczególnych wariantach założono:

W wariancie 1: Decentralizację dowodzenia do szczebla pododdziału ogniowego.

W wariancie 2: Centralizację dowodzenia na szczeblu związków taktycznych pierwszego rzutu, w armii i we froncie bezpośrednio im podległymi oddziałami OPL.

W wariancie 3: Centralizację dowodzenia wojskami OPL na szczeblu armii - wszystkimi środkami OPL, na szczeblu frontu - bezpośrednio mu podległymi oddziałami OPL.

W wariancie 4: Centralizację dowodzenia wojskami na szczeblu frontu.

Na podstawie wyników otrzymanych z rozwiązania modelu struktury SI WOPL wykonane zostały następujące wykresy:

1. Wykres czasów reakcji systemu w zależności od wariantów centralizacji dowodzenia, załącznik nr 6.
2. Wykres liczby pododdziałów ogniowych do których informacja decyzyjna nie zostanie przekazana w czasie  $T < T_{reakcji}$ , załącznik nr 7.
3. Wykres liczby pododdziałów ogniowych uczestniczących w odparciu zmasowanego nalotu w zależności od wariantów centralizacji dowodzenia, załącznik nr 8.
4. Wykres niezawodności przesyłania informacji w zależności od wariantów centralizacji dowodzenia, załącznik nr 9.
5. Wykres ilości grup przesyłanej informacji w zależności od wariantów centralizacji dowodzenia, załącznik nr 10.

Na podstawie wykresu czasu reakcji systemu /zał. nr 6/ można stwierdzić, że wzrost centralizacji wpływa silnie na wzrost czasu reakcji systemu OPL. W wariancie pierwszym czas reakcji systemu wykorzystującego środki artylerii lufowej wynosi 4 min. /dla rakiet 6,5 min./. Przejście na drugi wariant dowodzenia systemem OPL powoduje zwiększenie czasu reakcji /krzywa 1 i 2/ o 1 min. Jest to przyrost najmniejszy w porównaniu z wariantem trzecim i czwartym. Przejście na trzeci wariant dowodzenia powoduje znaczny wzrost czasu reakcji systemu co jest widoczne na wykresach krzywych 1 i 2.

Począwszy od wariantu drugiego krzywe 1 i 2 posiadają wyraźną tendencję wzrostu. W porównaniu z wariantem drugim przyrost ten wynosi 40%. Przejście z trzeciego na czwarty wariant dowodzenia powoduje wzrost czasu reakcji systemu o 43%. Krzywa 1 przedstawiająca czas reakcji systemu OPL dla środków artylerii raketowej jest przesunięta w górę względem krzywej 2 o 150 sek, tj. o czas niezbędny na przygotowanie rakiet znajdujących się na wyrzutniach do odpalenia.

Od czasu reakcji systemu OPL uzależniona jest liczba pododdziałów do których informacja decyzyjna nie zostanie przekazana w czasie  $T \leq T_{reakcji}$  /zał. nr 7/. W wariacie pierwszym polegającym na decentralizacji dowodzenia do szczebla pododdziału ogniowego wszystkie środki ogniowe otrzymują informację decyzyjną w czasie  $T \leq T_{reakcji}$ . W wariacie drugim 17 pododdziałów ogniowych tj. 10% z ogólnej liczby nie otrzyma informacji decyzyjnej w czasie  $T \leq T_{reakcji}$ . W wariacie trzecim 60 pododdziałów ogniowych, tj. 35% nie otrzyma informacji decyzyjnej w czasie  $T \leq T_{reakcji}$ . W wariacie czwartym 96 pododdziałów ogniowych, tj. 56% nie otrzyma informacji decyzyjnej w czasie  $T \leq T_{reakcji}$ . Na podstawie przebiegu wykresu zależności liczby pododdziałów od wariantów centralizacji dowodzenia można stwierdzić, że przejście z pierwszego wariantu na drugi wariant centralizacji jest najkorzystniejsze dla systemu OPL, ponieważ tylko 10% pododdziałów ogniowych nie otrzyma informacji decyzyjnej w czasie  $T \leq T_{reakcji}$ . Natomiast przejście z wariantu drugiego na trzeci powoduje, że przyrost pododdziałów ogniowych, które nie otrzymają rozkazu na otwarcie ognia do przydzielonych celów powietrznych w czasie  $T \leq T_{reakcji}$  wynosi 25%, a dla przejścia z wariantu trzeciego na czwarty przyrost ten wynosi 21%.

Od ilości pododdziałów ogniowych do których dotrze informacja decyzyjna w czasie  $T \leq T_{reakcji}$  zależy liczba pododdziałów ogniowych uczestniczących w odparciu zmasowanego nalotu /zał. nr 8/. W pierwszym wariacie wszystkie pododdziały ogniowe mogą uczestniczyć w odparciu zmasowanego nalotu. W drugim wariacie może uczestniczyć 154 pododdziałów ogniowych czyli 90%. W trzecim wariacie może uczestniczyć 111 pododdziałów ogniowych, tj. 65%. W czwartym wariacie może uczestniczyć

75 pododdziałów ogniowych tj. 44%. Z punktu widzenia wykorzystania środków ogniowych systemu OPL najkorzystniejszy jest pierwszy i drugi wariant centralizacji dowodzenia. W wariantcie czwartym ponad połowa aktywnych środków OPL nie może uczestniczyć w walce ze środkami napadu powietrznego przeciwnika z powodu nie otrzymania informacji decyzyjnej w czasie  $T \leq T_{reakcji}$ .

Niezawodność dróg przekazywania informacji jest funkcją wariantów centralizacji dowodzenia, zależność tę przedstawia następujący wykres /zał. nr 9/. Niezawodność jest jedną z charakterystyk jakości systemu, która określa możliwość SI WOPL w wypełnianiu zadanych mu funkcji w ustalonym czasie i określonych warunkach eksploatacyjnych. W pierwszym wariantcie niezawodność przesyłania informacji wynosi 0,9 i jest największa w porównaniu z pozostałymi wariantami centralizacji dowodzenia. W wariantcie drugim niezawodność maleje do 0,67. Największy spadek niezawodności występuje przy przejściu z drugiego na trzeci wariant centralizacji i wynosi 0,31. W wariantcie czwartym nadal następuje zmniejszenie niezawodności do 0,29. W przebiegu krzywej niezawodności występuje prawidłowość polegająca na zmniejszaniu się prawdopodobieństwa przesyłania informacji jeśli droga połączeniowa jest dłuższa i składa się z większej ilości łuków i pośrednich PK /OK/ OPL.

Ilość grup przesyłanej informacji w zależności od wariantów centralizacji dowodzenia jest funkcją rosnącą wraz ze wzrostem stopnia centralizacji. Przejście z dowodzenia zdecentralizowanego do szczebla pododdziału ogniowego do centralizowanego dowodzenia tym pododdziałem ze szczebla frontu powoduje około sześciokrotny wzrost ilości grup informacyjnych. Użyteczność tej informacji jest oczywista, ponieważ dzięki niej istnieje możliwość koordynacji działań wszystkich środków ogniowych OPL w skali frontu.

Na wykresach zaznaczone są cztery stany struktury, wartości funkcji przedstawione są jako krzywe ciągłe. Taka aproksymacja czterech wartości funkcji krzywą ciągłą wymaga wyjaśnienia. Otóż między wyróżnionymi czterema stanami struktury SI WOPL istnieje jeszcze szereg stanów pośrednich, które z punktu widzenia stopnia centralizacji wojskami OPL nie są

typowymi wyróżniającymi się stanami. Jednak i tym stanom odpowiadają ściśle określone wartości funkcji, które przedstawiają krzywe.

Na podstawie przeprowadzonej analizy wykresów można określić zalety i wady poszczególnych wariantów centralizacji dowodzenia wojskami OPL. Zaletą pierwszego wariantu jest to, że wszystkie pododdziały ogniowe mogą uczestniczyć w odparciu zmasowanego nalotu. Wadą jest brak koordynacji działań środkami OPL. Drugi wariant centralizacji dowodzenia jest najkorzystniejszy, ponieważ prawie wszystkie pododdziały ogniowe mogą uczestniczyć w odparciu zmasowanego nalotu i pozwala on osiągnąć duży stopień koordynacji działań środków OPL. Zaletą wariantu trzeciego jest koordynacja działań środków OPL na szczeblach operacyjnych. Wadą jest duży procent /35%/ pododdziałów ogniowych, które nie będą uczestniczyć w odparciu zmasowanego nalotu. Zaletą wariantu czwartego jest pełna koordynacja działań środków OPL, natomiast wadą fakt, że 56% pododdziałów ogniowych nie będzie mogło uczestniczyć w odparciu zmasowanego nalotu.

Na wykresach zilustrowana została część informacji wynikowej uzyskanej z rozwiązania modelu struktury SI WOPL. Pełna informacja o strukturze SI WOPL, jego potencjalnych możliwościach zawarta jest w tabulogramach maszynowych i wymaga interpretacji z punktu widzenia funkcjonowania SI WOPL.

Wyniki zawarte w 12 macierzach, tj. trzech macierzach odległości i odpowiadających im macierzach tras i trzech macierzach czasów i odpowiadających im macierzach tras, otrzymane zostały na podstawie danych dotyczących całkowicie sprawnego SI WOPL. Jednak po pewnym czasie pracy SI WOPL niektóre jego elementy ulegną uszkodzeniu, tzn. ulegnie zmianie jego struktura. A zatem może zaistnieć stan uniemożliwiający wykorzystanie wszystkich dróg połączeniowych kolejnych wyborów. Dopiero w tym przypadku ujawniają się wszystkie zalety algorytmu i uzyskanych po jego obliczeniu wyników, ponieważ posiadamy możliwość wykorzystania w sposób optymalny pozostałej nieuszkodzonej struktury SI WOPL. Czynimy to następująco: po osiągnięciu pierwszego pośredniego PK /OK/ OPL szukamy drogi optymalnej do PK /OK/ OPL docelowego w przypadku najbardziej niekorzystnym znów możemy przejść do drugiego pośredniego PK /OK/ OPL.

Postępowanie kontynuujemy iż do osiągnięcia docelowego PK /OK/ OPL. Zestawiona w ten sposób droga połączeniowa jest optymalna w aktualnie istniejącej strukturze SI WOPL. Taki rezultat nie jest osiągalny przy wykorzystaniu kompleksowego algorytmu optymalizacji struktury SI WOPL ze względu na zbiór kryteriów zadanych kolejno według hierarchii ważności, ponieważ brak jest informacji pozwalającej stwierdzić, który z pośrednich PK /OK/ OPL leży na drodze optymalnej do docelowego PK /OK/ OPL. Wyniki mogą być wykorzystywane przez człowieka lub zapisywane w pamięci przelicznika cyfrowego /EMC/, który na podstawie informacji o aktualnym stanie struktury SI WOPL zestawiałyby różne warianty dróg połączeniowych, pozwalające zmniejszyć ujemne skutki powstałe z powodu zawodności SI WOPL.

Wyniki otrzymane po realizacji przy pomocy EMC kompleksowego algorytmu optymalizacji struktury SI WOPL ze względu na zbiór kryteriów zadanych kolejno według hierarchii ważności dostarczają użytkownikowi SI WOPL zbioru dróg, który istnieje między wszystkimi różnymi parami PK /OK/ OPL. Ze zbioru tego można wybrać tę drogę która jest najkorzystniejsza dla użytkownika z punktu widzenia jednoczesnej oceny według zespołu kryteriów. Jeśli wybrana droga połączeniowa między początkowym i końcowym PK /OK/ OPL będzie posiadać wszystkie wartości kryteriów optymalne, wówczas trudność, która uniemożliwia zbudowanie zintegrowanej funkcji kryterium oceny jakości dróg przesyłania informacji w SI WOPL została ominięta. Jeśli jednak nie uda się takiej drogi znaleźć w zbiorze obliczonych dróg wówczas trzeba będzie zdecydować się na wybór kompromisowy, który ułatwia hierarchia kryteriów.

Wyniki programu DENDRYT pozwalają na zestawienie maksymalnie czterech najkrótszych niezależnych dróg w SI WOPL między każdą parą PK /OK/ OPL, przy czym za długość drogi przyjmuje się ilość łuków w drodze. Założono, że ilość łuków w drodze nie może być większa niż cztery. Niezależność dróg jest istotnym kryterium z punktu widzenia rozdziału strumieni informacji i niezawodności SI WOPL.

Zadanie optymalizacji planu rozdziału strumieni informacji w systemie może być wykonane w czasie zbliżonym do rzeczywistego, z uwagi na krótki czas liczenia przez EMC.

Podczas działania SI WOPL winny być wprowadzane informacje o aktualnym stanie systemu i na ich podstawie MC wyliczałyby macierze  $M_i^*$ ,  $M_i$  i wektor minimalnych odległości. Powyższe rezultaty obliczeń ukazywałyby potencjalne możliwości systemu dopóki jego struktura nie ulegnie zmianie.

Jednak zadanie optymalizacji planu rozdziału strumieni informacji w systemie nie kończy się na obliczeniu macierzy  $M_i$ ,  $M_i^*$  i wektora minimalnych odległości. Użytkowanie SI WOPL w stanie dynamicznym w oparciu o algorytm i program jest możliwe wówczas jeśli w każdym PK /OK/ OPL będą znajdować się odpowiadające faktycznemu stanowi systemu macierze  $M_i$  i  $M_i^*$ . Wówczas droga między i-tym i j-tym PK /OK/ OPL powstawałaby przez etapową optymalizację w PK /OK/ OPL wchodzącym w skład danej drogi. Etapowa optymalizacja polegałaby na automatycznym wybieraniu przez specjalizowany przelicznik cyfrowy sąsiedniego numeru PK /OK/ OPL, według kryterium optymalizacji systemu.

Z uwagi na przyjętą procedurę postępowania przy szukaniu dróg łączących dwa dowolnie wybrane PK /OK/ OPL w systemie, obliczona droga nie byłaby optymalna w sensie globalnej optymalizacji systemu, lecz suboptymalną ze względu na dokonywanie lokalnych optymalizacji na poszczególnych odcinkach drogi.

Z punktu widzenia niezawodności funkcjonowania systemu, szybkości przekazywania informacji taki wariant działania systemu jest uzasadniony.

Wykaz ekstremalnych w świetle kryterium niezawodności dróg połączeniowych jest szczególnie ważny jeśli chcemy przekazać w SI WOPL informacje o priorytecie 1 od ustalonego PK /OK/ OPL do wszystkich pozostałych /lub między PK /OK/ OPL/. Niezawodność przekazania informacji jest wówczas dominującym kryterium jakości działania SI WOPL.

Wyniki programu badania statystycznego niezawodności struktury SI WOPL, który uwzględnia początkowy stan struktury i obciążenie informacyjne dostarczają wiadomości o zachowaniu się SI WOPL w warunkach jego funkcjonowania. Wiarogodność tych wyników jest uzależniona tylko od dokładności danych wejściowych. Wskaźniki globalne jakimi są średnia długość drogi i prawdopodobieństwo odmowy realizacji zadania pozwalają na

porównywanie różnych struktur systemów o zadanych charakterystykach i zmieniającym się obciążeniu informacyjnym. Małe prawdopodobieństwo odmowy realizacji zadania rzędu 0,0177 i długość średniej drogi 2,3517 uzasadniają poprawny wybór struktury SI WOPL.

Wyniki obliczania przepustowości struktury SI WOPL w postaci maksymalnego przepływu od kilku źródeł do kilku odbiorców i macierzy maksymalnych przepływów pozwalają stwierdzić, że zdolność przepustowa SI WOPL między wybranymi PK /OK/ OPL winna wynosić 7189600 grup informacyjnych. Macierz maksymalnych przepływów dostarcza informacji jak należy wykorzystać zdolności przepustowe poszczególnych połączeń między PK /OK/ OPL aby osiągnąć maksymalny przepływ w SI WOPL.

Ponadto wyniki zawarte w tabulogramach maszynowych są informacją o strukturze SI WOPL w zakresie:

- kształtowania obciążenia poszczególnych PK /OK/ OPL,
- rozdziału strumieni informacyjnych w SI WOPL,
- zapewnienia w przybliżeniu jednakowego wykorzystania urządzeń transmisji informacji,
- określenia stanu SI WOPL w dowolnych chwilach czasowych, zmiany konfiguracji systemu i kierunków przepływu zadań,
- określenia pojemności pamięci w PK /OK/ OPL,
- wykorzystania pozostałej struktury SI WOPL w przypadku uszkodzenia jej części.

Próbna eksploatacja modelu struktury SI WOPL potwierdziła poprawność sformułowanego problemu optymalizacji, założeń, a wyniki rozwiązania modelu dostarczają dużej ilości informacji o strukturze SI WOPL, działaniu systemu OPL w różnych wariantach centralizacji i mogą być podstawą do wnioskowania odnośnie ewentualnych zmian lub potwierdzenia zasad organizacji i kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk frontu.

Wyniki próbnej eksploatacji modelu struktury SI WOPL nie należy traktować jako ostateczne, ich weryfikacja wykazała poprawną budowę modelu i jego możliwości w rozwiązywaniu problemu systemowego o dużych rozmiarach. Zakończony etap pracy można uważać jako wstępny, jednak bardzo ważny, ponieważ daje możliwość przejścia do matematycznego modelowania systemu obrony przeciwlotniczej, w którym optymalizacja systemu jest

konieczna ze względu na występowanie w modelu matematycznym tego systemu, bloku funkcjonalnego zespołu struktury topologicznej systemu, odwołanie się do którego winno dać odpowiedź o aktualnych potencjalnych możliwościach struktury systemu w odniesieniu do zbioru kryteriów oceny jakości jego działania.

### 2.3.6. Propozycje dotyczące ukierunkowania dalszych badań systemu informacyjnego wojsk OPL

Opracowany model struktury SI WOPL, pomimo pozytywnych rezultatów jego wstępnej weryfikacji wymaga dalszego doskonalenia w zakresie:

- 1/ sformułowania zadań realizowanych przez SI WOPL w czasie jego funkcjonowania, a rozwiązywanych przez poszczególne metody matematyczne i algorytmy,
- 2/ rozbudowy modelu o nowe metody i algorytmy niezbędne do rozwiązania rozszerzonego zbioru zadań,
- 3/ uściślenia zbioru założeń przyjętych w modelu w celu dokładniejszego odzwierciedlenia specyfiki funkcjonowania SI WOPL w różnych etapach działań zaczepnych,
- 4/ rozszerzenia struktury bazy danych stałych i zbiorów danych zmiennych aby zawierały pełną informację /wymierną/ o SNP, wojskach własnych, warunkach atmosferycznych, terenie i aktualnym stanie struktury SI WOPL,
- 5/ opracowania wykresów przebiegu obciążenia informacyjnego SI WOPL, w poszczególnych etapach operacji zaczepnej w celu przebadania możliwości przepustowych struktury SI WOPL,
- 6/ badań rozkładu obciążenia informacyjnego na poszczególne elementy struktury SI WOPL,
- 7/ badań struktury SI WOPL przy założeniu, że różne jej części uległy zniszczeniu w poszczególnych etapach operacji zaczepnej,
- 8/ tworzenia różnych wariantów struktury SI WOPL, badania ich i oceny według globalnych wskaźników jakości,
- 9/ wyboru najkorzystniejszego wariantu struktury SI WOPL ze zbioru wariantów możliwych, według zespołu kryteriów oceny ich jakości,

- 10/ badania odporności na zakłócenia radioelektroniczne struktury SI WOPL,
- 11/ adaptacji modelu struktury SI WOPL dla potrzeb procesu dydaktycznego w ASG,
- 12/ wdrożenia modelu struktury SI WOPL do procesu dydaktycznego w ASG, wykorzystującego wieloabonencki system komputerowy.

Można przewidywać, że po wykonaniu powyższych przedsięwzięć i zbudowaniu technicznej struktury SI WOPL wyniki rozwiązań modelu będzie można wykorzystać przy zastosowaniu urządzeń transmisji danych i przeliczników cyfrowych. Ponadto model struktury SI WOPL może być wykorzystany w metodzie modelowania funkcjonowania całego systemu OPL przedstawionej w ogólnym zarysie w dodatku X.

PRZYKŁAD ILUSTRUJĄCY DEFINICJE FUNKCJI  $F_i(i, q_1)$  OGNIWA, WĘZŁY  
I SIEĆ

Przyjmijmy zbiór

$$N = \{1, 2, 3, 4\} \quad m = 4$$

Podzbiory zbioru  $N$

$$M_1 = \{2, 3, 4\} \quad m_1 = 3$$

$$M_2 = \{3\} \quad m_2 = 1$$

$$M_3 = \{1, 2\} \quad m_3 = 2$$

$$M_4 = \{1, 2, 3, 4\} \quad m_4 = 4$$

Iloczyny kartezjańskie

$$\{1\} \times M_1 = \{(1, 2), (1, 3), (1, 4)\}$$

$$\{2\} \times M_2 = \{(2, 3)\}$$

$$\{3\} \times M_3 = \{(3, 1), (3, 2)\}$$

$$\{4\} \times M_4 = \{(4, 1), (4, 2), (4, 3), (4, 4)\}$$

Funkcje odwzorowujące iloczyny kartezjańskie w przestrzeń  $R^3$

$$F_1 : \{(1, 2), (1, 3), (1, 4)\} \rightarrow R^3 \quad n = 3$$

$$F_2 : \{(2, 3)\} \rightarrow R^3$$

$$F_3 : \{(3, 1), (3, 2)\} \rightarrow R^3$$

$$F_4 : \{(4, 1), (4, 2), (4, 3), (4, 4)\} \rightarrow R^3$$

$$F_1 : F_1(1, 2), F_1(1, 3), F_1(1, 4)$$

$$F_2 : F_2(2, 3)$$

$$F_3 : F_3(3, 1), F_3(3, 2)$$

$$F_4 : F_4(4, 1), F_4(4, 2), F_4(4, 3), F_4(4, 4)$$

Zapis wektorów w postaci macierzy

Dla  $i = 1$

$$\begin{bmatrix} F_1^1(1,2) & F_1^1(1,3) & F_1^1(1,4) \\ F_1^2(1,2) & F_1^2(1,3) & F_1^2(1,4) \\ F_1^3(1,2) & F_1^3(1,3) & F_1^3(1,4) \end{bmatrix}$$

Dla  $i = 2$

$$\begin{bmatrix} F_2^1(2,3) \\ F_2^2(2,3) \\ F_2^3(2,3) \end{bmatrix}$$

Dla  $i = 3$

$$\begin{bmatrix} F_3^1(3,1) & F_3^1(3,2) \\ F_3^2(3,1) & F_3^2(3,2) \\ F_3^3(3,1) & F_3^3(3,2) \end{bmatrix}$$

Dla  $i = 4$

$$\begin{bmatrix} F_4^1(4,1) & F_4^1(4,2) & F_4^1(4,3) & F_4^1(4,4) \\ F_4^2(4,1) & F_4^2(4,2) & F_4^2(4,3) & F_4^2(4,4) \\ F_4^3(4,1) & F_4^3(4,2) & F_4^3(4,3) & F_4^3(4,4) \end{bmatrix}$$

$$W = \left\{ k = 1, (1,2) \wedge \begin{bmatrix} F_1^1(1,2) \\ F_1^2(1,2) \\ F_1^3(1,2) \end{bmatrix} ; (1,3) \wedge \begin{bmatrix} F_1^1(1,3) \\ F_1^2(1,3) \\ F_1^3(1,3) \end{bmatrix} \right.$$

$$(1,4) \wedge \begin{bmatrix} F_1^1 (1,4) \\ F_1^2 (1,4) \\ F_1^3 (1,4) \end{bmatrix} ; k = 2, (2,3) \wedge \begin{bmatrix} F_2^1 (2,3) \\ F_2^2 (2,3) \\ F_2^3 (2,3) \end{bmatrix}$$

$$k = 3, (3,1) \wedge \begin{bmatrix} F_3^1 (3,1) \\ F_3^2 (3,1) \\ F_3^3 (3,1) \end{bmatrix} ; (3,2) \wedge \begin{bmatrix} F_3^1 (3,2) \\ F_3^2 (3,2) \\ F_3^3 (3,2) \end{bmatrix}$$

$$k = 4, (4,1) \wedge \begin{bmatrix} F_4^1 (4,1) \\ F_4^2 (4,1) \\ F_4^3 (4,1) \end{bmatrix} ; (4,2) \wedge \begin{bmatrix} F_4^1 (4,2) \\ F_4^2 (4,2) \\ F_4^3 (4,2) \end{bmatrix}$$

$$(4,3) \wedge \begin{bmatrix} F_4^1 (4,3) \\ F_4^2 (4,3) \\ F_4^3 (4,3) \end{bmatrix} ; (4,4) \wedge \begin{bmatrix} F_4^1 (4,4) \\ F_4^2 (4,4) \\ F_4^3 (4,4) \end{bmatrix}$$

Ogniwo  $O_2^3$  można zapisać

$$\begin{bmatrix} F_2^1 (2,3) \\ F_2^2 (2,3) \\ F_2^3 (2,3) \end{bmatrix}$$

Dla  $i = 3$ , węzeł  $w_3 = \bigcup_{l=1}^{m_3} O_{3,3}^{l,1} = O_{3,3}^1 + O_{3,3}^2 =$

$$= \begin{bmatrix} F_3^1 (3,1) \\ F_3^2 (3,1) \\ F_3^3 (3,1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_3^1 (3,2) \\ F_3^2 (3,2) \\ F_3^3 (3,2) \end{bmatrix}$$

Dla  $N = \{1, 2, 3, 4\}$  i odpowiednich zbiorów  $M_i$  siecią będzie zbiór

$$S = \left\{ \left[ (1, 2), (1, 3), (1, 4) \right] \wedge [F_1(1, 2) F_1(1, 3) F_1(1, 4)] ; \left[ (2, 3) \right] \wedge [F_2(2, 3)] ; \right. \\ \left. \left[ (3, 1), (3, 2) \right] \wedge [F_3(3, 1) F_3(3, 2)] ; \left[ (4, 1), (4, 2), (4, 3), (4, 4) \right] \wedge [F_4(4, 1) \right. \right. \\ \left. \left. F_4(4, 2) F_4(4, 3) F_4(4, 4)] \right\}$$

Sieć względem ogniów zapisać można w postaci

$$S = \left\{ \left[ (1, 2) \wedge F_1(1, 2) \right] ; \left[ (1, 3) \wedge F_1(1, 3) \right] ; \left[ (1, 4) \wedge F_1(1, 4) \right] ; \right. \\ \left[ (2, 3) \wedge F_2(2, 3) \right] ; \\ \left[ (3, 1) \wedge F_3(3, 1) \right] ; \left[ (3, 2) \wedge F_3(3, 2) \right] ; \left[ (4, 1) \wedge F_4(4, 1) \right] ; \\ \left[ (4, 2) \wedge F_4(4, 2) \right] ; \\ \left. \left[ (4, 3) \wedge F_4(4, 3) \right] ; \left[ (4, 4) \wedge F_4(4, 4) \right] \right\}$$

lub zapisując funkcje wektorowe względem składowych otrzymujemy

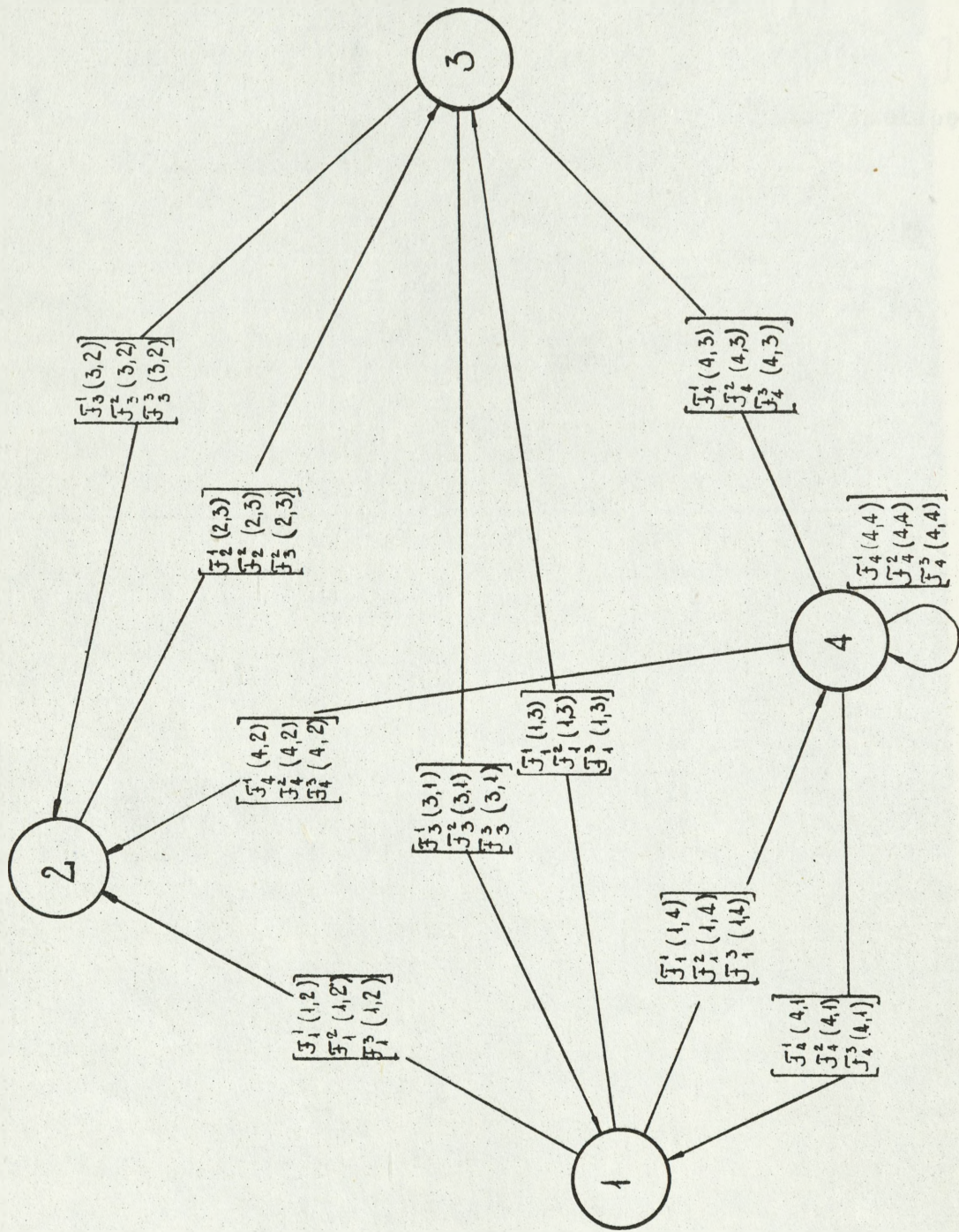
$$S = \left\{ \left[ (1, 2) \wedge F_1^1(1, 2) F_1^2(1, 2) F_1^3(1, 2) \right] ; \left[ (1, 3) \wedge F_1^1(1, 3) F_1^2(1, 3) \right. \right. \\ \left. \left. F_1^3(1, 3) \right] ; \right. \\ \left[ (1, 4) \wedge F_1^1(1, 4) F_1^2(1, 4) F_1^3(1, 4) \right] ; \left[ (2, 3) \wedge F_2^1(2, 3) \right. \\ \left. F_2^2(2, 3) F_2^3(2, 3) \right] ; \\ \left[ (3, 1) \wedge F_3^1(3, 1) F_3^2(3, 1) F_3^3(3, 1) \right] ; \left[ (3, 2) \wedge F_3^1(3, 2) F_3^2(3, 2) \right. \\ \left. F_3^3(3, 2) \right] ; \\ \left[ (4, 1) \wedge F_4^1(4, 1) F_4^2(4, 1) F_4^3(4, 1) \right] ; \left[ (4, 2) \wedge F_4^1(4, 2) \right. \\ \left. F_4^2(4, 2) F_4^3(4, 2) \right] ; \\ \left[ (4, 3) \wedge F_4^1(4, 3) F_4^2(4, 3) F_4^3(4, 3) \right] ; \left[ (4, 4) \wedge F_4^1(4, 4) \right. \\ \left. F_4^2(4, 4) F_4^3(4, 4) \right] \right\}$$

W celu skrócenia powyższych zapisów w dalszym ciągu wypisywanie zależności explicite

$$(k, q_1) \wedge [F_k(k, q_1)]$$

będziemy pomijać pisząc

$$[F_k(k, q_1)]$$

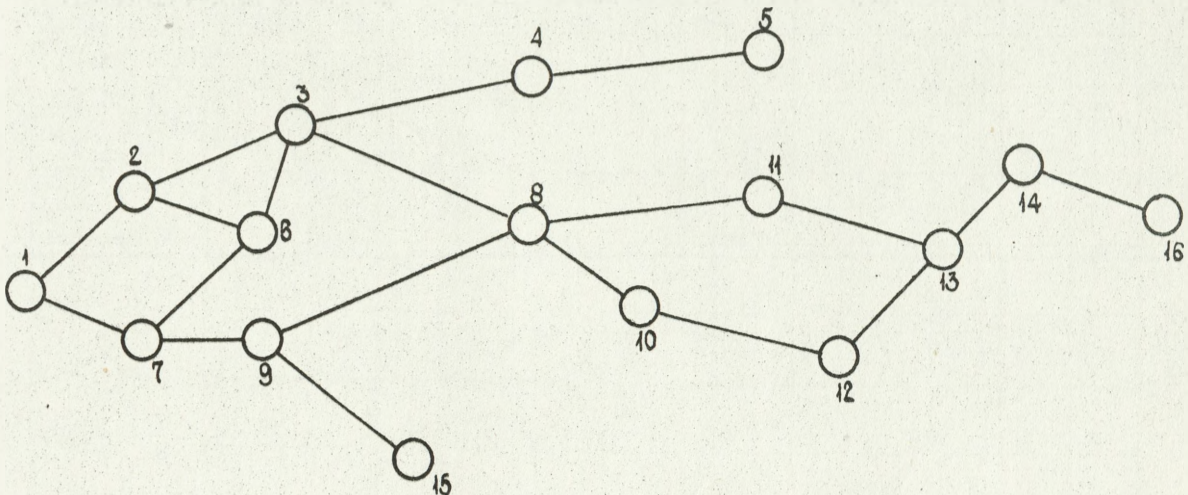


Rys. I.1 Graf struktury sieci informacyjnej

PRZYKŁADY OBLICZANIA DRÓG W SIECI

Przykład 1.

W celu praktycznego zobrazowania wypisywania dróg w zadanej sieci rozpatrzmy przykład. Dane jest sieć



Rys. II.1. Graf struktury sieci

Zbiór  $N = \{1, 2, \dots, 16\}$

$m = 16$

Podzbiory zbioru  $N$

$$M_1 = \{2, 7\}$$

$$M_6 = \{2, 3, 7\}$$

$$M_2 = \{1, 3, 6\}$$

$$M_7 = \{1, 6, 9\}$$

$$M_3 = \{2, 4, 6, 8\}$$

$$M_8 = \{3, 9, 10, 11\}$$

$$M_4 = \{3, 5\}$$

$$M_9 = \{7, 8, 15\}$$

$$M_5 = \{4\}$$

$$M_{10} = \{8, 12\}$$

$$M_{11} = \{8, 13\}$$

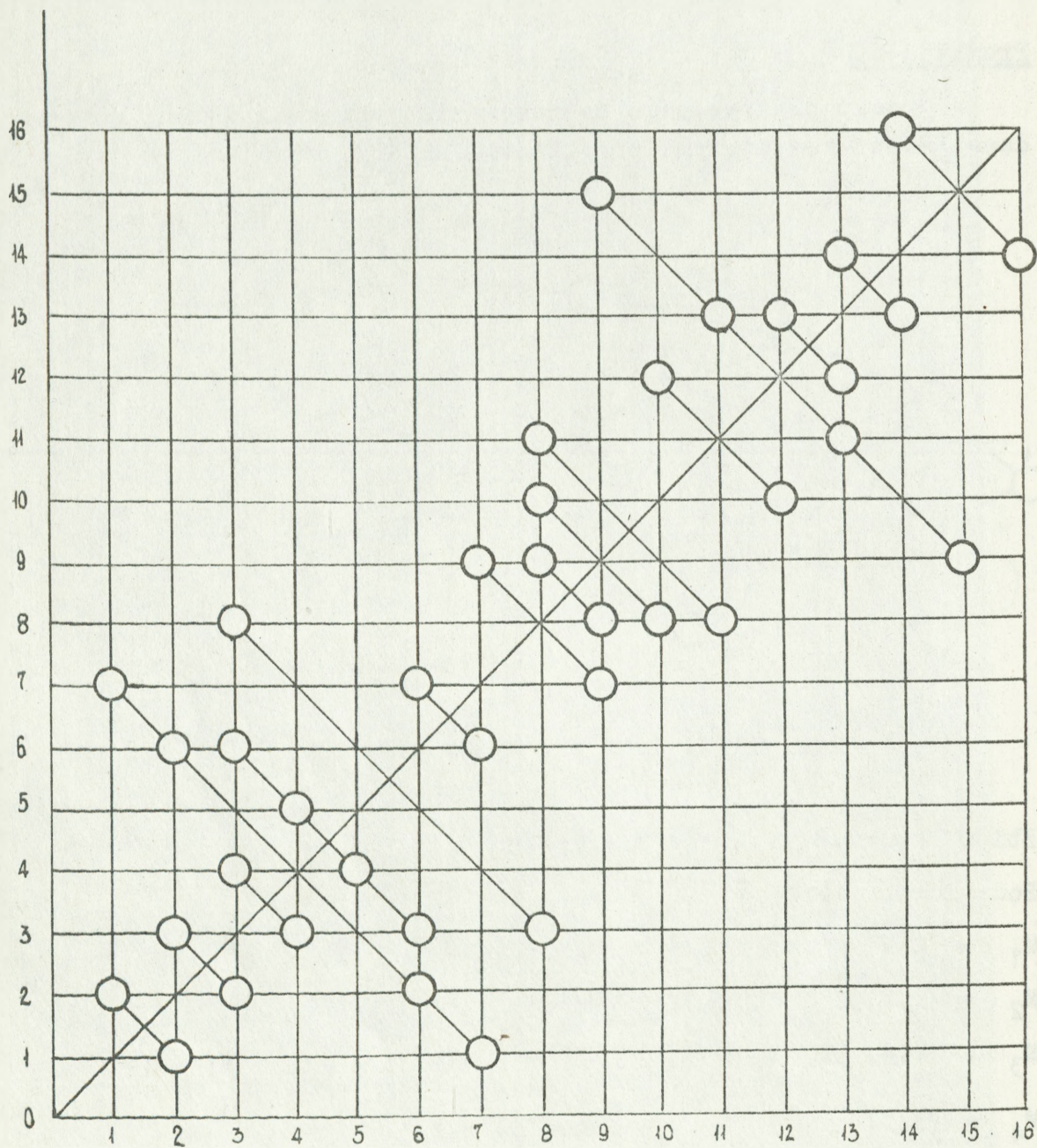
$$M_{14} = \{13, 16\}$$

$$M_{12} = \{10, 13\}$$

$$M_{15} = \{9\}$$

$$M_{13} = \{11, 12, 14\}$$

$$M_{16} = \{14\}$$



Rys.II.2. Geometryczna interpretacja sieci

Będziemy szukać wszystkich dróg między węzłem 1, a węzłem 13.

Stosując postępowanie opisane w punkcie 2.1.5.1 za  $q_1$  przyjmiemy 1,  $q_1=1$ . Z węzła 1 są dwa wyjścia do węzła 2 i 7 co zapiszemy:

$$1 \mid \begin{array}{c} 2 \\ 7 \end{array}$$

Następnie rozpatrujemy drogi wyjścia z węzła nr 2 i 7.

Z węzła 2 są wyjścia do 3 i 6, a z 7 do 1,6,9. Zgodnie z założeniem 2.1.5 w ciągu  $\{q_s\}$  elementy ciągu muszą być różne między sobą, dlatego ciąg 1,7,1 skreślamy, otrzymujemy:

$$1, 2 \mid \begin{array}{c} 3 \\ 6 \end{array} \quad 1 \quad 1,7 \mid \begin{array}{c} 6 \\ 9 \\ 1 \times \end{array}$$

Proces ten kontynuujemy w analogiczny sposób.

$$1, 2, 3 \mid \begin{array}{c} 4 \\ 6 \\ 8 \end{array} \quad 1, 2, 6 \mid \begin{array}{c} 3 \\ 7 \end{array}$$

Cyfry zapisane w wierszu oznaczają numery węzłów sąsiadnych. Cyfry zapisane w kolumnie po prawej stronie pionowej kreski, drogi wyjścia z węzła  $w_3$  oraz  $w_6$ , czyli wszystkie drogi wyjścia z węzła oznaczonego numerem równym ostatniej liczbie w ciągu przed kreską.

Kolejne etapy wypisywania dróg można przedstawić w jednym zapisie:

1,2

3	4	5	x				
	6	7	9	8	10	12	13
					11	13	
			15	x			
	8	9	7	x			
				15	x		
		10	12	13			
		11	13				
	6	3	4	5	x		
8			9	15	x		
				7	x		
			10	12	13		
			11	13			
		9	15	x			
		8	3	4	5	x	
			10	12	13		
		11	13				

1,7

6	2	3	4	5	x	x			
				8	9		15		
				10	12		13		
				11	13				
	3	2	3	4	x				
					4	5		x	
					8	9		15	x
					10	12		13	
					11	13			
	9	8	3	2	6	7	x		
					4	5		x	
6					2	x			
10					12	13			
11					13				
	15	x							

W powyższej tabeli nie zapisywano liczb już występujących w ciągu. Na podstawie tabel wypisujemy drogi między węzłem początkowym 1, a końcowym 13.

1, 2, 3, 6, 7, 9, 8, 10, 12, 13

1, 2, 3, 6, 7, 9, 8, 11, 13

1, 2, 3, 8, 10, 12, 13

1, 2, 3, 8, 11, 13

1, 2, 6, 3, 8, 10, 12, 13

1, 2, 6, 8, 11, 13

1, 2, 6, 7, 9, 8, 10, 12, 13

1, 2, 6, 7, 9, 8, 11, 13

1, 7, 6, 2, 3, 8, 10, 12, 13

1, 7, 6, 2, 3, 8, 11, 13

1, 7, 6, 3, 8, 10, 12, 13

1, 7, 6, 3, 8, 11, 13

1, 7, 9, 8, 10, 12, 13

1, 7, 9, 8, 11, 13

Ciągi te przedstawiają wszystkie możliwe drogi  $Q^S$  spełniające założenie (2.1.4),(2.1.5)

W pewnych przykładach konkretnych sieci występują jednokierunkowe połączenia między ogniwami, tzn. dla ogniwa  $(k, q_1)$  nie istnieje ogniwo  $(q_1, k)$ . Sieć taką wyróżnia pewne zorientowanie powiązań. Szukanie dróg między dowolnymi węzłami będzie w przypadku sieci zorientowanych przebiegać nieco inaczej.

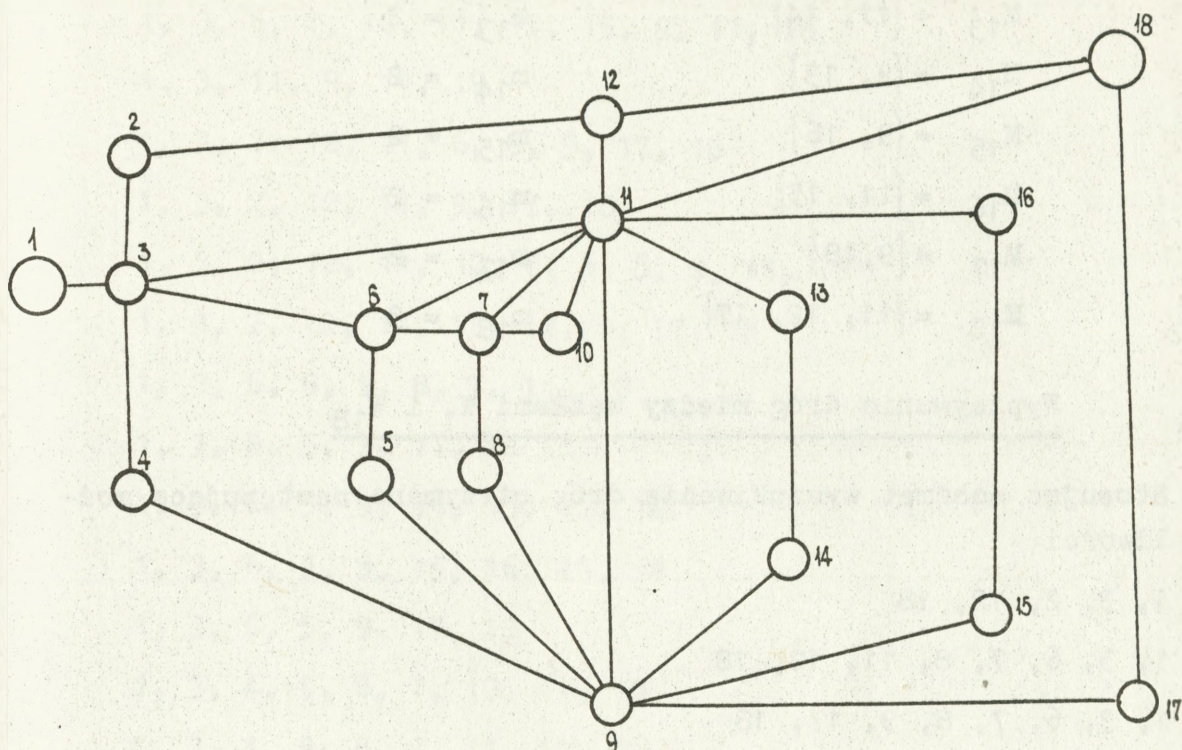
Założmy, że między pewnymi węzłami istnieją linie zorientowane, niech to będą linie  $(k, q_1)$ . Każda z tych linii opisana jest parą liczb  $k$  i  $q_1$ . Zgodnie z założeniem nie istnieją linie  $(q_1, k)$ . W celu uwzględnienia tego warunku wystarczy dołączyć do założeń (2.1.4) i (2.1.5) założenie 2.1.6.

Ze zbioru dróg  $Q^W$  wykluczamy te drogi, które w ciągach

$$\{q_1, \dots, q_s\}$$

posiadają na kolejnych miejscach liczby  $q_1, k$

Przykład 2



Rys. II.3. Struktura zadanej sieci

$$\begin{aligned}
 N &= \{n; n = 1, 2, \dots, 18\} & m &= 18 \\
 M_1 &= \{3\} & m_1 &= 1 \\
 M_2 &= \{3, 12\} & m_2 &= 2 \\
 M_3 &= \{1, 2, 4, 6, 11\} & m_3 &= 5 \\
 M_4 &= \{3, 9\} & m_4 &= 2 \\
 M_5 &= \{6, 9\} & m_5 &= 2 \\
 M_6 &= \{3, 5, 7, 11\} & m_6 &= 4 \\
 M_7 &= \{6, 8, 10, 11\} & m_7 &= 4 \\
 M_8 &= \{7, 9\} & m_8 &= 2 \\
 M_9 &= \{4, 5, 8, 11, 14, 15, 17\} & m_9 &= 7 \\
 M_{10} &= \{7, 11\} & m_{10} &= 2 \\
 M_{11} &= \{3, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 16, 18\} & m_{11} &= 9
 \end{aligned}$$

$M_{12} = \{2, 11, 18\}$	$m_{12} = 3$
$M_{13} = \{11, 14\}$	$m_{13} = 2$
$M_{14} = \{9, 13\}$	$m_{14} = 2$
$M_{15} = \{9, 16\}$	$m_{15} = 2$
$M_{16} = \{11, 15\}$	$m_{16} = 2$
$M_{17} = \{9, 18\}$	$m_{17} = 2$
$M_{18} = \{11, 12, 17\}$	$m_{18} = 3$

Wypisywanie dróg między węzłami  $W_1$  i  $W_{18}$

Stosując schemat wyszukiwania dróg otrzymano następujące możliwości

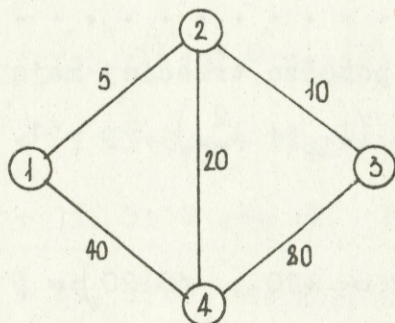
- 1, 3, 2, 12, 18
- 1, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 18
- 1, 3, 6, 7, 8, 9, 17, 18
- 1, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 18
- 1, 3, 6, 11, 18
- 1, 3, 6, 11, 7, 8, 9, 17, 18
- 1, 3, 11, 7, 6, 5, 9, 17, 18
- 1, 3, 11, 12, 18
- 1, 3, 11, 18
- 1, 3, 4, 9, 8, 7, 6, 11, 18
- 1, 3, 6, 11, 13, 14, 9, 17, 18
- 1, 3, 6, 11, 16, 15, 9, 17, 18
- 1, 3, 11, 7, 8, 17, 18
- 1, 3, 11, 10, 7, 6, 5, 9, 17, 18
- 1, 3, 11, 9, 17, 18
- 1, 3, 4, 9, 11, 12, 18
- 1, 3, 6, 7, 10, 11, 12, 18

1, 3, 6, 7, 10, 11, 13, 14, 9, 17, 18  
1, 3, 6, 7, 10, 11, 16, 15, 9, 17, 18  
1, 3, 11, 9, 17, 18  
1, 3, 2, 12, 11, 6, 5, 9, 17, 18  
1, 3, 2, 12, 11, 9, 17, 18  
1, 3, 2, 12, 11, 10, 7, 6, 5, 9, 17, 18  
1, 3, 2, 12, 11, 13, 14, 9, 17, 18  
1, 3, 6, 5, 9, 8, 7, 11, 18  
1, 3, 6, 5, 9, 11, 18  
1, 3, 6, 5, 9, 14, 13, 11, 18  
1, 3, 6, 5, 9, 15, 16, 11, 18  
1, 3, 6, 5, 9, 17, 18  
1, 3, 4, 9, 8, 7, 10, 11, 18  
1, 3, 4, 9, 8, 7, 11, 12, 18  
1, 3, 4, 9, 8, 7, 11, 18  
1, 3, 6, 7, 10, 11, 12, 18  
1, 3, 6, 5, 9, 11, 12, 18  
1, 3, 4, 9, 5, 6, 11, 18  
1, 3, 11, 13, 14, 9, 17, 18  
1, 3, 11, 16, 15, 9, 17, 18  
1, 3, 4, 9, 8, 7, 6, 11, 12, 18  
1, 3, 4, 9, 14, 13, 11, 12, 18  
1, 3, 4, 9, 15, 16, 11, 12, 18  
1, 3, 4, 9, 14, 13, 11, 12, 18  
1, 3, 6, 11, 10, 7, 8, 9, 17, 18  
1, 3, 2, 12, 11, 16, 15, 9, 17, 18  
1, 3, 4, 9, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 18  
1, 3, 4, 9, 5, 6, 7, 10, 11, 18

1, 3, 4, 9, 5, 6, 7, 11, 12, 18  
1, 3, 4, 9, 5, 7, 11, 18  
1, 3, 11, 10, 7, 6, 5, 9, 17, 18  
1, 3, 2, 12, 11, 7, 6, 5, 9, 17, 18  
1, 3, 2, 12, 11, 7, 6, 8, 9, 17, 18  
1, 3, 2, 12, 11, 6, 7, 8, 9, 17, 18  
1, 3, 2, 12, 11, 10, 7, 6, 8, 9, 17, 18  
1, 3, 6, 5, 9, 8, 7, 10, 11, 12, 18  
1, 3, 6, 5, 9, 8, 7, 11, 12, 18  
1, 3, 6, 5, 9, 8, 7, 11, 18  
1, 3, 6, 5, 9, 14, 13, 11, 12, 18  
1, 3, 6, 5, 9, 15, 16, 11, 7, 12, 18

## PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA METODY OTTERMANA

Dla podanej na rys.III.1 sieci znaleźć najkrótsze drogi, drogi drugiego i trzeciego wyboru, ujawnić pętle w wyznaczonych drogach.



Rys. III.1 Graf zadanej sieci

$$L = \begin{bmatrix} 0 & 5 & \infty & 40 \\ 5 & 0 & 10 & 20 \\ \infty & 10 & 0 & 10 \\ 40 & 20 & 80 & 0 \end{bmatrix}$$

1. Obliczamy macierz  $D = [\sigma_{ij}]_{n \times n}$ . W tym celu podnosimy macierz  $L$  do  $r$ -tej potęgi.

Elementy macierzy w potędze drugiej mają postać

$$l_{ij}^2 = \min_p [(l_{ip} + l_{pj})], \quad p = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{stąd } l_{11}^2 = \min [(l_{11} + l_{11}), (l_{12} + l_{21}), (l_{13} + l_{31}), (l_{14} + l_{41})]$$

Wyrażenia  $l_{ii}^s$  można nie określać. Z macierzy  $L$  i wyrażenia (2.2.11) widać, że  $l_{ii}^2 = 0$

$$L^2 = \begin{bmatrix} 0 & 5 & \infty & 40 \\ 5 & 0 & 10 & 20 \\ \infty & 10 & 0 & 10 \\ 40 & 20 & 80 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 5 & 40 \\ 5 & 0 & 10 & 20 \\ \infty & 10 & 0 & 10 \\ 40 & 20 & 80 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 5 & 15 & 25 \\ 5 & 0 & 10 & 20 \\ 15 & 10 & 0 & 30 \\ 25 & 20 & 30 & 0 \end{bmatrix}$$

$$l_{11}^2 = 0$$

$$l_{12}^2 = \min(0+5; 5+0; \infty+10; 40+20) = 5$$

.....

Elementy macierzy w potęgde trzeciej mają postać

$$l_{ij}^3 = \min(l_{ip}^2 + l_{pj}^2), \quad p = 1, 2, \dots, n$$

$$l_{11}^3 = 0$$

$$l_{12}^3 = \min(0+5; 5+0; \infty+10; 40+20) = 5$$

$$l_{13}^3 = \min(0+15; 5+10; \infty+0; 40+30) = 15$$

.....

$$L^3 = \begin{bmatrix} 0 & 5 & \infty & 40 \\ 5 & 0 & 10 & 20 \\ \infty & 10 & 0 & 80 \\ 40 & 20 & 80 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 5 & 15 & 25 \\ 5 & 0 & 10 & 20 \\ 15 & 10 & 0 & 30 \\ 25 & 20 & 30 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 5 & 15 & 25 \\ 5 & 0 & 10 & 20 \\ 15 & 10 & 0 & 30 \\ 25 & 20 & 30 & 0 \end{bmatrix}$$

Macierz  $L^2$  i  $L^3$  są sobie równe. Jest tak dlatego, że w rozpatrywanej sieci nie ma ani jednej najkrótszej drogi mającej więcej niż jeden pośredni węzeł. Otrzymana macierz dyspersyjna  $D = L^3 = L^2$  zawiera wielkość najkrótszych dróg między wszystkimi parami węzłów sieci.

Oprócz obliczenia macierzy dyspersyjnej, metoda Ottermana przewiduje znalezienie macierzy odległości i macierzy tras najkrótszych dróg kolejnych wyborów.

2. Budujemy macierz  $M$

$$M = \begin{bmatrix} \infty & 5 & \infty & 40 \\ 5 & \infty & 10 & 20 \\ \infty & 10 & \infty & 80 \\ 40 & 20 & 80 & \infty \end{bmatrix}$$

3. Obliczamy macierz  $\Delta = M D$

$$\begin{bmatrix} \infty & 5 & \infty & 40 \\ 5 & \infty & 10 & 20 \\ \infty & 10 & \infty & 80 \\ 40 & 20 & 80 & \infty \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 5 & 15 & 25 \\ 5 & 0 & 10 & 20 \\ 15 & 10 & 0 & 30 \\ 25 & 20 & 30 & 0 \end{bmatrix}$$

Elementy tej macierzy kolejno wynoszą:

$$d_{11} = 0$$

$$\begin{aligned} d_{12} &= \min [(\gamma_{11} + \sigma_{12}), (\gamma_{12} + \sigma_{22}), (\gamma_{13} + \sigma_{32}), (\gamma_{14} + \sigma_{42})] = \\ &= \min (\infty + 5; 5 + 0, \infty + 10, 40 + 20) = 5, 60, \infty \end{aligned}$$

$$d_{13} = \min (\infty + 15, 5 + 10, \infty + 0, 40 + 30) = 15, 70, \infty$$

$$d_{14} = \min (\infty + 25, 5 + 20, \infty + 30, 40 + 0) = 25, 40, \infty$$

$$d_{21} = \min (5 + 0, \infty + 5, 10 + 15, 20 + 25) = 5, 25, 45, \infty$$

$$d_{22} = 0$$

$$d_{23} = \min (5 + 15, \infty + 10, 10 + 0, 20 + 30) = 10, 20, 50, \infty$$

$$d_{24} = \min (5 + 25, \infty + 20, 10 + 30, 20 + 0) = 20, 30, 40, \infty$$

$$d_{31} = \min (\infty + 0, 10 + 5, \infty + 15, 80 + 25) = 15, 105, \infty$$

$$d_{32} = \min (\infty + 45, 10 + 0, \infty + 10, 80 + 20) = 10, 100, \infty$$

$$d_{33} = 0$$

$$d_{34} = \min (\infty + 25, 10 + 20, \infty + 30, 80 + 0) = 30, 80, \infty$$

$$d_{41} = \min (40 + 0, 20 + 5, 80 + 15, \infty + 25) = 25, 40, 95, \infty$$

$$d_{42} = \min (40 + 5, 20 + 0, 80 + 10, \infty + 20) = 20, 45, 90, \infty$$

$$d_{43} = \min (40 + 15, 20 + 10, 80 + 0, \infty + 30) = 30, 55, 80, \infty$$

$$d_{44} = 0$$

Numery wierzchołków przez które przechodzą drogi:

$$t_{11} = 1,1,1$$

$$t_{31} = 2,4,x$$

$$t_{12} = 2,4,x$$

$$t_{32} = 2,4,x$$

$$t_{13} = 2,4,x$$

$$t_{33} = 3,3,3$$

$$t_{14} = 2,4,x$$

$$t_{34} = 2,4,x$$

$$t_{21} = 1,3,4$$

$$t_{41} = 2,1,3$$

$$t_{22} = 2,2,2$$

$$t_{42} = 2,1,3$$

$$t_{23} = 3,1,4$$

$$t_{43} = 2,1,3$$

$$t_{24} = 4,1,3$$

$$t_{44} = 4,4,4$$

Macierz odległości pierwszego wyboru:

$$\Delta^1 = \begin{bmatrix} 0 & 5 & 15 & 25 \\ 5 & 0 & 10 & 20 \\ 15 & 10 & 0 & 30 \\ 25 & 20 & 30 & 0 \end{bmatrix}$$

Jak należało oczekiwać macierz odległości pierwszego wyboru w pełni pokrywa się z macierzą dyspersyjną D.

Macierz odległości drugiego wyboru:

$$\Delta^2 = \begin{bmatrix} 0 & 60 & 70 & 40 \\ 25 & 0 & 20 & 30 \\ 105 & 100 & 0 & 80 \\ 40 & 45 & 55 & 0 \end{bmatrix}$$

Macierz odległości trzeciego wyboru:

$$\Delta^3 = \begin{bmatrix} 0 & \infty & \infty & \infty \\ 45 & 0 & 45 & 40 \\ \infty & \infty & 0 & \infty \\ 95 & 90 & 80 & 0 \end{bmatrix}$$

Macierz tras pierwszego wyboru:

$$T^1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 2 & 3 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 4 \end{bmatrix}$$

Macierz tras drugiego wyboru:

$$T^2 = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 4 & 4 \\ 3 & 2 & 1 & 1 \\ 4 & 4 & 3 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 4 \end{bmatrix}$$

Macierz tras trzeciego wyboru:

$$T^3 = \begin{bmatrix} 1 & X & X & X \\ 4 & 2 & 4 & 3 \\ X & X & 3 & X \\ 3 & 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$$

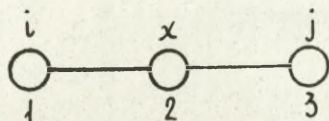
W celu wykrycia i wykluczenia pętli w drogach 1-go wyboru konieczne trzeba sprowadzić dla wszystkich najkrótszych dróg spełnienie nierówności (2.2.16). Sprawdzamy najkrótsze drogi między wszystkimi parami węzłów i wszystkie drogi zawierające pętle wykluczamy.

Drogi pierwszego wyboru

$$d_{11} = 0$$

$$d_{12} = 5, \quad i = 1, \quad j = 2 \quad - \text{droga bezpośrednia}$$

$$d_{13} = 15 \quad i = 1, \quad j = 3 \quad 1-2-3$$



Rys. III.2. Struktura odcinka drogi

$$\sigma_{xj} < (\sigma_{xi} + \sigma_{ij})$$

$$\sigma_{23} < \sigma_{12} + \sigma_{13}$$

$$10 < 5 + 15$$

$$10 < 20$$

$$d_{14} = 25 \quad 1 - 2 - 4$$

$$\sigma_{24} < \sigma_{12} + \sigma_{14}$$

$$20 < 5 + 25$$

$$20 < 30$$

$$d_{21} = 5 \quad 2 - 1 \quad \text{droga bezpośrednia}$$

$$d_{22} = 0$$

$$d_{23} = 10 \quad 2 - 3 \quad \text{droga bezpośrednia}$$

$$d_{24} = 20 \quad 2 - 4 \quad \text{droga bezpośrednia}$$

$$d_{31} = 15 \quad 3 - 2 - 1$$

$$\sigma_{21} < \sigma_{23} + \sigma_{13}$$

$$5 < 10 + 15$$

$$5 < 25$$

$$d_{32} = 10 \quad 3 - 2 \quad \text{droga bezpośrednia}$$

$$d_{33} = 0$$

$$d_{34} = 30 \quad 3 - 2 - 4$$

$$\sigma_{24} < \sigma_{23} + \sigma_{34}$$

$$20 < 10 + 30$$

$$20 < 40$$

$$d_{41} = 25 \quad 4 - 2 - 1$$

$$\sigma_{12} < \sigma_{24} + \sigma_{14}$$

$$5 < 20 + 25$$

$$5 < 45$$

$$d_{42} = 20 \quad 4 - 2 \text{ droga bezpośrednia}$$

$$d_{43} = 30 \quad 4 - 2 - 3$$

$$\tilde{\sigma}_{23} < \tilde{\sigma}_{24} + \tilde{\sigma}_{43}$$

$$10 < 20 + 30$$

$$10 < 50$$

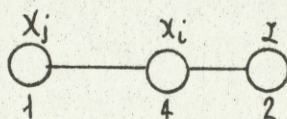
$$d_{44} = 0$$

Drogi pierwszego wyboru nie zawierają pętli, warunek 1 jest spełniony dla wszystkich dróg.

Drogi drugiego wyboru:

$$d_{11} = 0$$

$$d_{12} = 60 \quad 1-4-2$$



Rys. III.3. Struktura odcinka drogi drugiego wyboru

$$\tilde{\sigma}_{x_j z} > \tilde{\sigma}_{x_i z}$$

$$\tilde{\sigma}_{12} > \tilde{\sigma}_{42}$$

$$60 > 45$$

U w a g a : szukając drogi drugiego wyboru z 1-go do 2-go węzła łuk wyjściowy zastępujemy łukiem drugiego wyboru i wracamy do macierzy tras pierwszego wyboru.

$$d_{13} = 70 \quad 1 - 4 - 2 - 3 \text{ sprawdzamy każdą trójkę węzłów}$$

$$1 - 4 - 2$$

$$\tilde{\sigma}_{12} > \tilde{\sigma}_{42}$$

$$60 > 45$$

$$4 - 2 - 3$$

$$\tilde{\sigma}_{43} > \tilde{\sigma}_{23}$$

$$55 > 20$$

$$d_{14} = 40$$

$$d_{21} = 25$$

1 - 4            droga bezpośrednia

2 - 3 - 2 - 1

2 - 3 - 2

$$\tilde{\sigma}_{22} > \tilde{\sigma}_{32}$$

$0 > 100$ ; sprzeczność

3 - 2 - 1

$$\tilde{\sigma}_{31} > \tilde{\sigma}_{21}$$

$$105 > 25$$

Istnieje pętla w drodze drugiego wyboru od węzła 2 do 1.

$$d_{22} = 0$$

$$d_{23} = 20$$

2 - 1 - 2 - 3

2 - 1 - 2

$$\tilde{\sigma}_{22} > \tilde{\sigma}_{12}$$

$0 > 60$ ; sprzeczność, istnieje pętla

$$d_{24} = 30$$

2 - 1 - 2 - 4

2 - 1 - 2

$$\tilde{\sigma}_{22} > \tilde{\sigma}_{12}$$

$0 > 60$ ; sprzeczność, istnieje pętla

$$d_{31} = 105$$

3 - 4 - 2 - 1

3 - 4 - 2

$$\tilde{\sigma}_{32} > \tilde{\sigma}_{42}$$

$$100 > 45$$

4 - 2 - 1

$$\tilde{\sigma}_{41} > \tilde{\sigma}_{21}$$

$$40 > 25$$

$$d_{32} = 100 \quad 3 - 4 - 2$$

$$\tilde{\sigma}_{32} > \tilde{\sigma}_{42}$$

$$100 > 45$$

$$d_{34} = 80 \quad 3 - 4 \quad \text{droga bezpośrednia}$$

$$d_{41} = 40 \quad 4 - 1 \quad \text{droga bezpośrednia}$$

$$d_{42} = 45 \quad 4 - 1 - 2$$

$$\tilde{\sigma}_{42} > \tilde{\sigma}_{12}$$

$45 > 60$  sprzeczność, pętla może być,  
nie musi. W tym przypadku nie ma.

$$d_{43} = 55 \quad 4 - 1 - 2 - 3$$

$$4 - 1 - 2$$

$$\tilde{\sigma}_{42} > \tilde{\sigma}_{12}$$

$$45 > 60$$

$$d_{44} = 0$$

Trzeci wybór:

$$d_{11} = 0$$

$$d_{12} = \infty$$

$$d_{13} = \infty$$

$$d_{14} = \infty$$

$$d_{21} = 45 \quad 2 - 4 - 2 - 1$$

$$2 - 4 - 2$$

$$\tilde{\sigma}_{22} > \tilde{\sigma}_{42}$$

$0 > 90$  istnieje pętla

$$d_{22} = 0$$

$$d_{23} = 50 \quad 2 - 4 - 2 - 3$$

$$2 - 4 - 2$$

$$\tilde{\sigma}_{22} > \tilde{\sigma}_{42}$$

$0 > 90$  istnieje pętla

$$d_{24} = 40 \quad 2 - 3 - 2 - 4$$

$$2 - 3 - 2$$

$$\tilde{\sigma}_{22} > \tilde{\sigma}_{32}$$

$$0 > \infty \quad \text{istnieje pętla}$$

$$d_{31} = \infty$$

$$d_{32} = \infty$$

$$d_{33} = 0$$

$$d_{34} = \infty$$

$$d_{41} = 95 \quad 4 - 3 - 2 - 1$$

$$4 - 3 - 2$$

$$\tilde{\sigma}_{42} > \tilde{\sigma}_{32}$$

$$90 > \infty$$

sprzeczność, jednak droga istnieje

$$d_{42} = 90 \quad 4 - 3 - 2$$

$$\tilde{\sigma}_{42} > \tilde{\sigma}_{43}$$

$$80 > \infty$$

sprzeczność, jednak droga istnieje

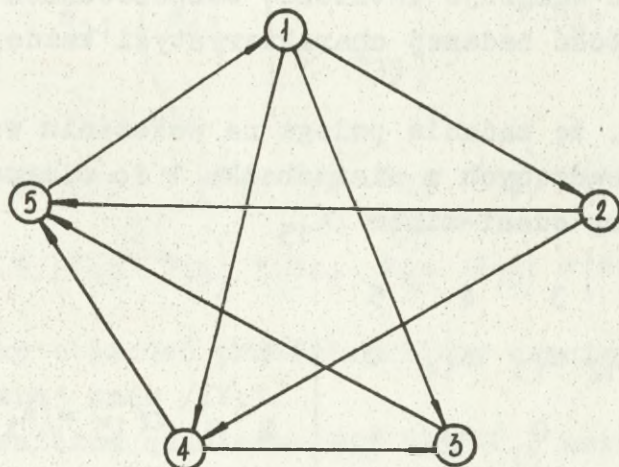
$$d_{43} = 80 \quad 4 - 3$$

droga bezpośrednia

$$d_{44} = 0$$

## PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA ALGORYTMU QUASIMINOROW

Pokażemy na przykładzie w jaki sposób wyznaczamy wszystkie drogi między dwoma dowolnymi wierzchołkami grafu. Niech dany będzie graf o pięciu wierzchołkach następującej postaci



Rys. IV.1. Graf zadanej sieci

Graf ten jednoznacznie wyznacza macierz  $[A_1]$

$$[A_1] = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Jedynki i zera wskazują tylko istnienie lub nieistnienie bezpośredniej drogi między dwoma wierzchołkami, natomiast w praktyce interesuje nas przede wszystkim droga pod względem pewnej charakterystyki np: długość drogi, jej przepustowość lub niezawodność. Dlatego też graf z rys. IV.1 będzie wyznaczał następującą macierz:



$$\begin{aligned}
& + a_{14} \begin{matrix} 2 & 3 & 5 \\ \left[ \begin{array}{ccc} 0 & 0 & a_{25} \\ 0 & 0 & a_{35} \\ 0 & a_{43} & a_{45} \end{array} \right] \begin{matrix} 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \end{matrix} = a_{12} \left( a_{24} \begin{matrix} 3 & 5 \\ \left[ \begin{array}{cc} 0 & a_{35} \\ a_{43} & a_{45} \end{array} \right] \begin{matrix} 3 \\ 4 \end{matrix} \right) + a_{25} \cdot 1 + \\
& + a_{13} a_{35} \cdot 1 + a_{14} \left( a_{43} \begin{matrix} 2 & 5 \\ \left[ \begin{array}{cc} 0 & a_{25} \\ 0 & a_{35} \end{array} \right] \begin{matrix} 2 \\ 3 \end{matrix} \right) + a_{45} \cdot 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\alpha_{15} = /a_{ij} \rightarrow 51 / 15 = & (a_{12} a_{24} a_{43} a_{35}) + (a_{12} a_{24} a_{45}) + \\
& + (a_{12} a_{25}) + (a_{13} a_{35}) + (a_{14} a_{43} a_{35}) + (a_{14} a_{45}) \quad /IV.1/
\end{aligned}$$

W wyniku obliczeń przedstawiliśmy quasiminor  $\alpha_{15}$  w postaci algebraicznej wzór /IV.1/.

Postać algebraiczna quasiminora /IV.1/ $\alpha_{15}$  wskazuje nam liczbę możliwych dróg z wierzchołka 1 do wierzchołka 5.

Wystarczy wstawić w miejsce zmiennych  $a_{ij}$  jedynki i zsumować - otrzymamy liczbę 6. Możemy więc dla dowolnych dwu wierzchołków zawsze wyznaczyć taką liczbę. W naszym przykładzie otrzymamy

$$[\alpha_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \left[ \begin{array}{ccccc} 0 & 1 & 3 & 2 & 6 \\ 3 & 0 & 3 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 0 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 0 & 2 \\ 1 & 1 & 3 & 2 & 0 \end{array} \right] \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} \end{matrix}$$

Macierz ta daje nam pełny wykaz liczby dróg między dowolnymi wierzchołkami grafu.

Założmy teraz, że chcemy podać niezawodność każdej drogi prowadzącej z wierzchołka 1 do wierzchołka 5, przy założeniu, że znamy niezawodność każdej drogi bezpośredniej.

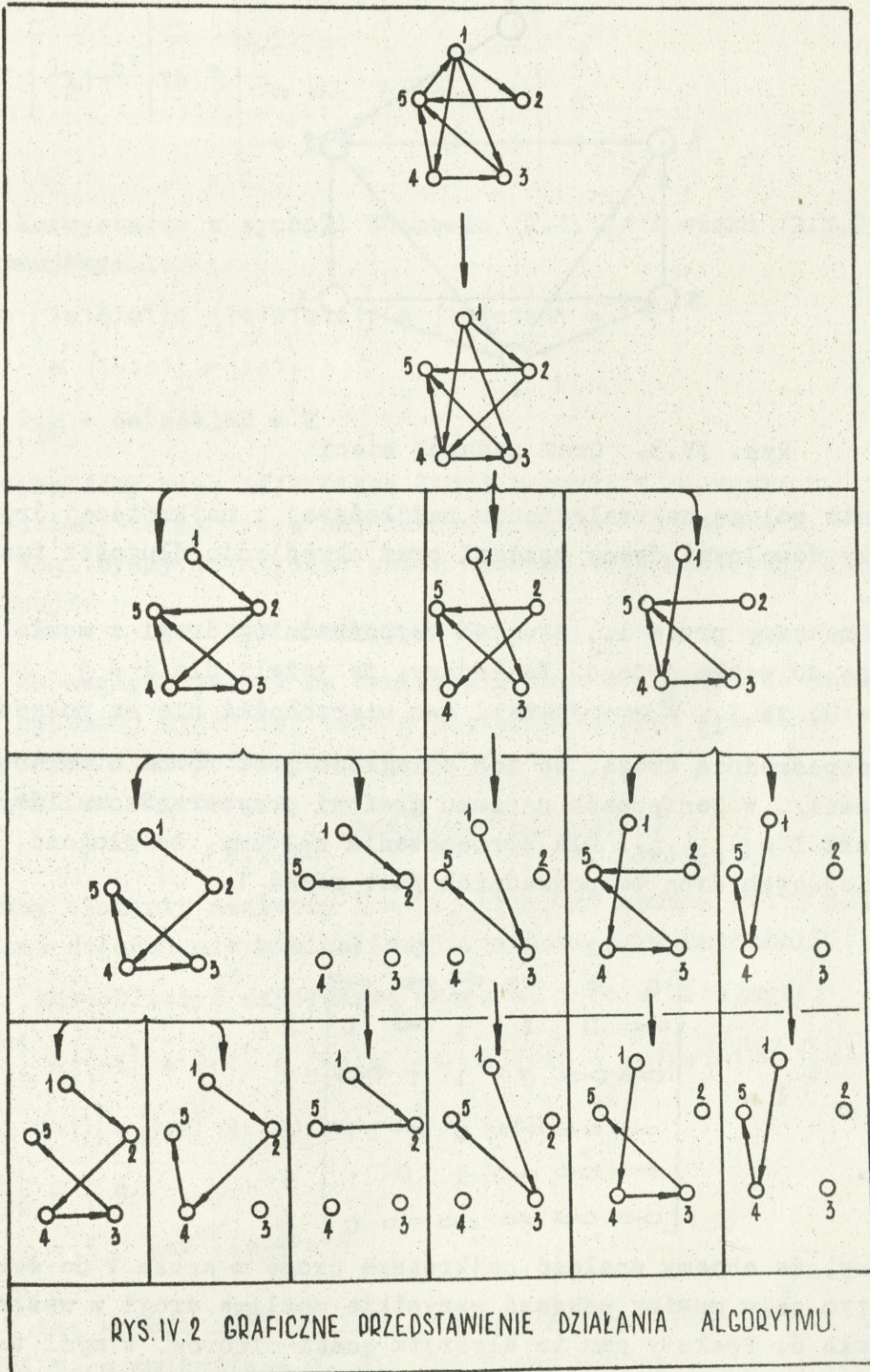
W tym celu wstawiamy do postaci algebraicznej quasi-minora  $\alpha_{15}$ , znane prawdopodobieństwa poprawnego działania ww.dróg. Poszczególne składniki wskażą nam niezawodność dróg łączących wierzchołek 1 z wierzchołkiem 5.

Powyższy algorytm poszukiwania dróg w grafie nosi nazwę algorytmu quasi-minorów.

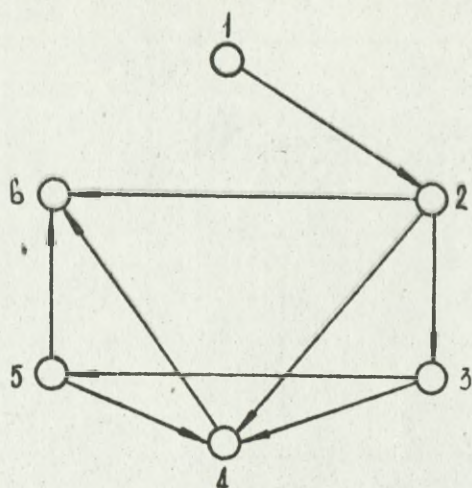
Na rys. IV.2 został przedstawiony graficznie sposób działania tego algorytmu.

Pokażemy teraz na dwóch przykładach zastosowanie algorytmu quasi-minorów do zadań praktycznych. W związku z tym celowe będzie wprowadzić arytmetykę Shimbela.

Weźmy teraz pod uwagę następujące zadanie. Niech dany będzie graf przedstawiający sieć /rys. IV.3/.



RYS. IV.2 GRAFICZNE PRZEDSTAWIENIE DZIAŁANIA ALGORYTMU.



Rys. IV.3. Graf zadanej sieci

Zadanie polega na znalezieniu najdłuższej i najkrótszej drogi między dowolnymi dwoma węzłami oraz określeniu długości tych dróg.

Oznaczmy przez  $l_{ij}$  długość bezpośredniej drogi z węzła  $i$ -tego do węzła  $j$ -tego. Zakładamy, że jeżeli dla  $i \neq j$   $a_{ij} = 0$ , to  $l_{ij} \stackrel{df}{=} \infty$  /jeżeli dwa wierzchołki nie są połączone bezpośrednią drogą, to ich odległość jest równa nieskończoności/. W ten sposób naszemu grafowi przyporządkowaliśmy macierz  $L = [l_{ij}]_{6 \times 6}$ . Dla uproszczenia założymy, że długość istniejących dróg bezpośrednich jest równa 1.

$$L = \begin{array}{cccccc|c} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & \\ \hline 0 & 1 & \infty & \infty & \infty & \infty & 1 \\ \infty & 0 & 1 & 1 & \infty & 1 & 2 \\ \infty & \infty & 0 & 1 & 1 & \infty & 3 \\ \infty & \infty & \infty & 0 & \infty & 1 & 4 \\ \infty & \infty & \infty & 1 & 0 & 1 & 5 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 0 & 6 \end{array}$$

Założmy, że chcemy znaleźć najkrótszą drogę z węzła 1 do węzła 6. W tym celu musimy wskazać wszystkie możliwe drogi z węzła 1 do węzła 6. Posłuży nam tu algorytm quasi-minorów. W myśl tego algorytmu wszystkie możliwe drogi z 1 do 6 wskaże nam quasi-minor  $\alpha_{16}$ .

$$\alpha_{16} = \left| l_{ij} - 61 \right|_{16} = \begin{array}{ccccc} & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} & \left[ \begin{array}{ccccc} 1 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 0 & 1 & 1 & \infty & 1 \\ \infty & 0 & 1 & 1 & \infty \\ \infty & \infty & 0 & \infty & 1 \\ \infty & \infty & 1 & 0 & 1 \end{array} \right] & \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} \end{array}$$

Korzystając z symboli Shimbela /2.1.17/ i wzoru /2.1.29/ otrzymujemy:

$$\alpha_{16} = (1 \circ 1 \circ 1 \circ 1) \circ (1 \circ 1 \circ 1 \circ 1 \circ 1) \circ (1 \circ 1 \circ 1 \circ 1) \circ (1 \circ 1 \circ 1) \circ (1 \circ 1)$$

$$\min l_{16} = 4 \circ 5 \circ 4 \circ 3 \circ 2 = 2$$

Otrzymaliśmy więc najkrótszą drogę z węzła 1 do węzła 6. Znajdziemy teraz drogę najdłuższą z węzła 1 do węzła 6.

Moglibyśmy to uzyskać przez wprowadzenie następującej operacji:

$$x \circ y = \max(x, y)$$

Ze względu jednak na realizację tego algorytmu na maszynie cyfrowej wygodniej będzie postąpić inaczej i pozostać przy symbolice Shimbela /2.1.17/

Z uwagi na to, że

$$\bigwedge_{x, y \geq 0} \max(x, y) = |\min(-x, -y)|$$

możemy elementy macierzy  $L = [l_{ij}]$  pomnożyć przez  $-1$  i rozwiązać zagadnienie minimalizacji zamiast maksymalizacji.

Aby obliczyć najdłuższą drogę od 1 do 6 liczymy  $\alpha'_{16}$

$$\alpha'_{16} = [(-1) \circ (-1) \circ (-1) \circ (-1)] \circ [(-1) \circ (-1) \circ (-1) \circ (-1) \circ (-1)] \circ [(-1) \circ (-1) \circ (-1) \circ (-1)]$$

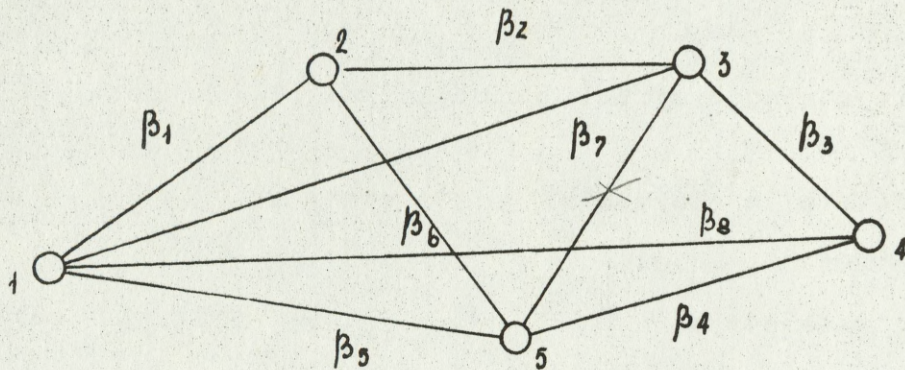
$$\alpha'_{16} = -5$$

$$\alpha'_{16} = 5 \quad \max(l_{16}) = 5$$

W ten sposób obliczyliśmy, że najdłuższa droga z 1 do 6 wynosi 5, a najkrótsza 2. Jak już wiemy algorytm quasi-minorów może nam wskazać, które to są drogi.

PRZYKŁAD OKREŚLANIA DRÓG PRZESYŁANIA INFORMACJI  
W SIECI

Dana jest sieć:



Rys. V.1. Graf sieci

Budujemy macierz bezpośrednich połączeń  $B = [\beta_{ij}]$ .

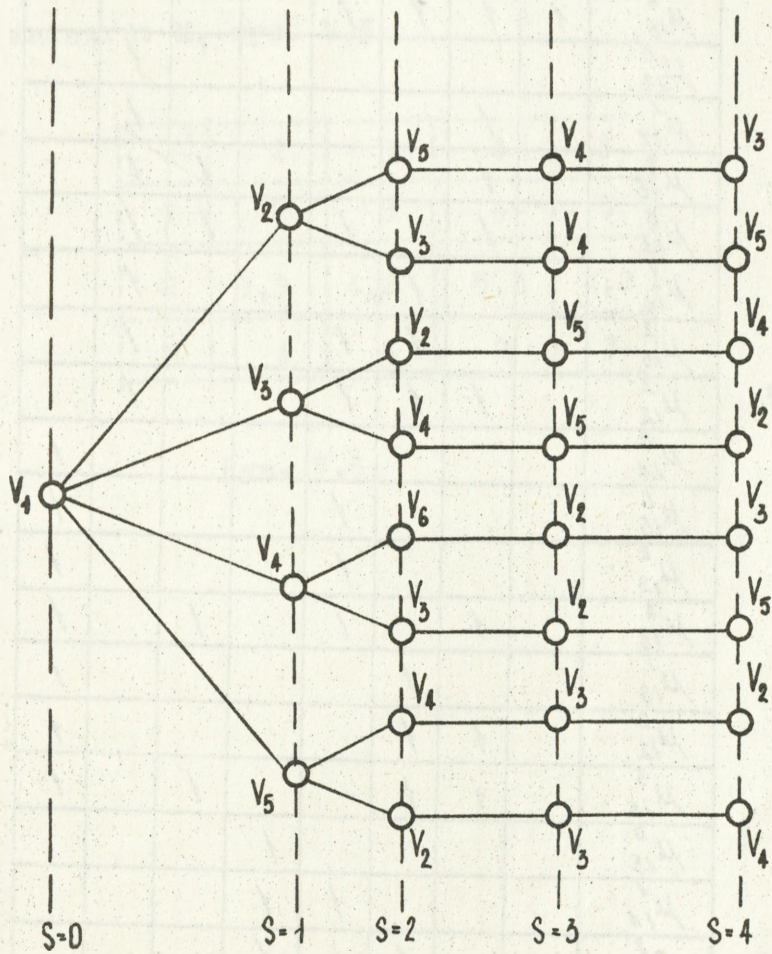
B =

i \ J	1	2	3	4	5
1	0	1	1	1	1
2	1	0	1	0	1
3	1	1	0	1	0
4	1	0	1	0	1
5	1	1	0	1	0

Rys. V.2. Macierz bezpośrednich połączeń

Na podstawie macierzy B zgodnie z algorytmem p.4.3.2 budujemy "drzewo" D dla poszczególnych węzłów sieci.

Na rysunku V.3 pokazano przykładowo "drzewo" zbudowane dla węzła 1.



Rys. V.3. "Drzewo"  $D_1$  dla sieci z rys. V.1.

$P_1 =$

$\mu \backslash \beta$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	$\beta_7$	$\beta_8$
$\mu_{12}^0$	1							
$\mu_{15}^1$	1					1		
$\mu_{14}^2$	1			1		1		
$\mu_{13}^3$	1		1	1		1		
$\mu_{13}^1$	1	1						
$\mu_{14}^2$	1	1	1					
$\mu_{15}^3$	1	1	1	1				
$\mu_{13}^0$							1	
$\mu_{12}^1$		1					1	
$\mu_{15}^2$		1				1	1	
$\mu_{14}^3$		1		1		1	1	
$\mu_{14}^1$			1				1	
$\mu_{15}^2$			1	1			1	
$\mu_{12}^3$		1	1	1			1	
$\mu_{14}^0$								1
$\mu_{15}^1$				1				1
$\mu_{12}^2$				1				1
$\mu_{13}^3$		1		1		1		1
$\mu_{13}^1$			1					1
$\mu_{12}^2$		1	1					1
$\mu_{15}^3$		1	1			1		1
$\mu_{15}^0$					1			
$\mu_{14}^1$				1	1			
$\mu_{13}^2$			1	1	1			
$\mu_{12}^3$		1	1	1	1			
$\mu_{12}^1$					1	1		
$\mu_{13}^2$		1			1	1		
$\mu_{14}^3$		1	1		1	1		

Rys.V.4. Macierz dróg otrzymana na podstawie "drzewa"  $D_1$ .

Zbiór  $Q_1 = \{2, 3, 4, 5\}$

$$A_2 = \{q_2^2, q_2^3, q_2^4\} \quad q_2^2 = 3, 5; \quad q_2^3 = 4; \quad q_2^4 = 3, 5.$$

$$A_3 = \{q_3^2, q_3^3, q_3^4\} \quad q_3^2 = 2, 4; \quad q_3^3 = 5; \quad q_3^4 = 2, 4.$$

$$A_4 = \{q_4^2, q_4^3, q_4^4\} \quad q_4^2 = 3, 5; \quad q_4^3 = 2; \quad q_4^4 = 3, 5.$$

$$A_5 = \{q_5^2, q_5^3, q_5^4\} \quad q_5^2 = 2, 4; \quad q_5^3 = 3; \quad q_5^4 = 2, 4.$$

Macierz marszrut  $M_1$  rys. V.5

$M_1 =$

k \ j	2	3	4	5
1	2	3	4	5
2	5, 3	4, 2	5, 3	4, 2
3	4	5	2	3

Rys. V.5.



$P_2 =$

$\mu \backslash \beta$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	$\beta_7$	$\beta_8$
$\mu_{21}^0$	1							
$\mu_{23}^1$	1	1						
$\mu_{24}^2$	1	1	1					
$\mu_{25}^3$	1	1	1	1				
$\mu_{24}^1$	1							1
$\mu_{23}^2$	1		1					1
$\mu_{25}^2$	1			1				1
$\mu_{25}^1$	1				1			
$\mu_{24}^2$	1			1	1			
$\mu_{23}^3$	1		1	1	1			
$\mu_{23}^0$		1						
$\mu_{21}^1$		1					1	
$\mu_{24}^2$		1					1	1
$\mu_{25}^3$		1		1			1	1
$\mu_{24}^1$		1	1					
$\mu_{21}^2$		1	1				1	
$\mu_{25}^3$		1	1		1		1	
$\mu_{25}^2$		1	1	1				
$\mu_{21}^3$		1	1	1	1			
$\mu_{25}^2$		1				1	1	
$\mu_{24}^3$		1		1	1		1	
$\mu_{25}^0$						1		
$\mu_{21}^1$					1	1		
$\mu_{23}^2$					1	1	1	
$\mu_{24}^3$			1		1	1	1	
$\mu_{24}^2$					1	1		1
$\mu_{25}^3$			1		1	1		1
$\mu_{24}^1$				1		1		
$\mu_{23}^2$			1	1		1		
$\mu_{21}^3$			1	1		1	1	
$\mu_{24}^2$				1		1		1
$\mu_{23}^3$				1		1	1	1

Zbiór  $Q_2 = \{1, 3, 5\}$  ;

$$A_1 = \{q_1^2, q_1^3, q_1^4\}$$

$$A_3 = \{q_3^2, q_3^3, q_3^4\}$$

$$A_5 = \{q_5^2, q_5^3, q_5^4\}$$

$$q_1^2 = 3, 4; \quad q_1^3 = 4, 3, 5; \quad q_1^4 = 5, 3.$$

$$q_3^2 = 1, 4; \quad q_3^3 = 4, 5, 1; \quad q_3^4 = 5, 4, 1$$

$$q_5^2 = 1, 4; \quad q_5^3 = 3, 4, 1; \quad q_5^4 = 4, 3, 1.$$

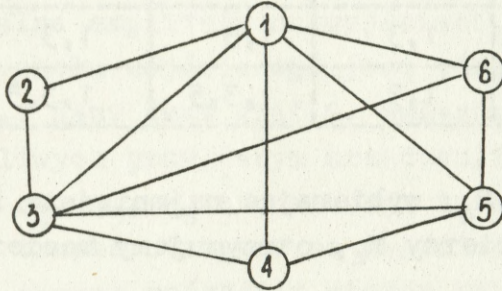
Macierz marszrut  $M_2$  rys. V.8.

k \ j	1	3	4	5
1	1	3	5, 3, 1	5
2	5, 3	1	-	3, 1
3	-	5	-	-

Rys. V.8.

PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA ALGORYTMU OKREŚLANIA OPTYMALNEGO  
PLANU ROZDZIAŁU STRUMIENI INFORMACJI W SI WOPL

Dany jest graf



Rys. VI.1. Graf zadanej sieci.  
opisuje go jednoznacznie macierz [A]

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Budujemy "drzewo" połączeń dla kolejnych wierzchołków grafu. W przykładzie przeprowadzimy obliczenia tylko dla "drzewa" o wierzchołku początkowym 4. Pozostałe "drzewa" analizujemy i obliczamy analogicznie.

Macierz  $M_4$ 

Nr węzła	WYBÓR 1	WYBÓR 2	WYBÓR 3	WYBÓR 4
1	1	3,5	3,5	3,5
2	-	1,3	1,3,5	1,3,5
3	3	1,5	1,5	1,5
5	5	1,3	1,3	1,3
6		1,3	1,3,5	1,3,5

Optymalizujemy macierz  $M_4$ , wybierając najmniejsze numery sąsiednich węzłów z macierzy  $M_4$ , otrzymujemy macierz  $M_4^*$

Macierz  $M_4^*$ 

Nr węzła	WYBÓR 1	WYBÓR 2	WYBÓR 3	WYBÓR 4
1	1	3	5	
2	1	3	5	
3	3	1	5	
5	5	1	3	
6	1	3	5	

Obliczamy wektor minimalnych odległości wyrażonych ilością łuków w drodze połączeniowej. Od węzła 4 do pozostałych węzłów.

j	1	2	3	4	5	6
$l_{4j}$	1	2	1	0	1	2

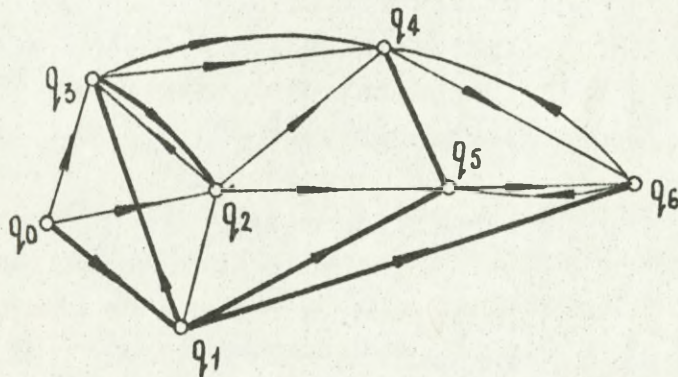
PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA ALGORYTMU OBLICZANIA  
EKSTREMALNYCH DRÓG

Przykład 1

Rozpatrzmy zadanie znalezienia takiej kolejności przekształceń sygnału podawanego na wejście  $q_0$ , które zapewniłoby maksymalne amplitudy na wyjściach, przy założeniu, że amplituda sygnału wejściowego jest równa  $x_0 = 1$ .

Na rys. VII.1 dany jest graf  $G_1$  wszystkich przekształceń sygnału możliwych przy danym urządzeniu.

Wierzchołki  $q_4, q_5, q_6$  odpowiadają trzem różnym stanom sygnału, który trzeba otrzymać na wyjściach, a wierzchołki  $q_1, q_2$  i  $q_3$  pewnym pośrednim stanom sygnału. Każdemu łukowi grafu przyporządkowana jest charakterystyka odpowiadająca zmianie amplitudy sygnału na skutek realizacji odpowiedniego przekształcenia. Charakterystyka spełnia ograniczenie 1.



Rys.VII.1. Graf zadanej sieci

Charakterystyki łuków grafu  $G_1$  zapisane są w formie macierzy zwanej roboczą /tablica VII.1/. W tablicy tej charakterystyka łuku  $/q_j, q_k/$  znajduje się na przecięciu wiersza  $q_j$  i kolumny  $q_k$ . Łatwo sprawdzić, że dowolna z tych charakterystyk

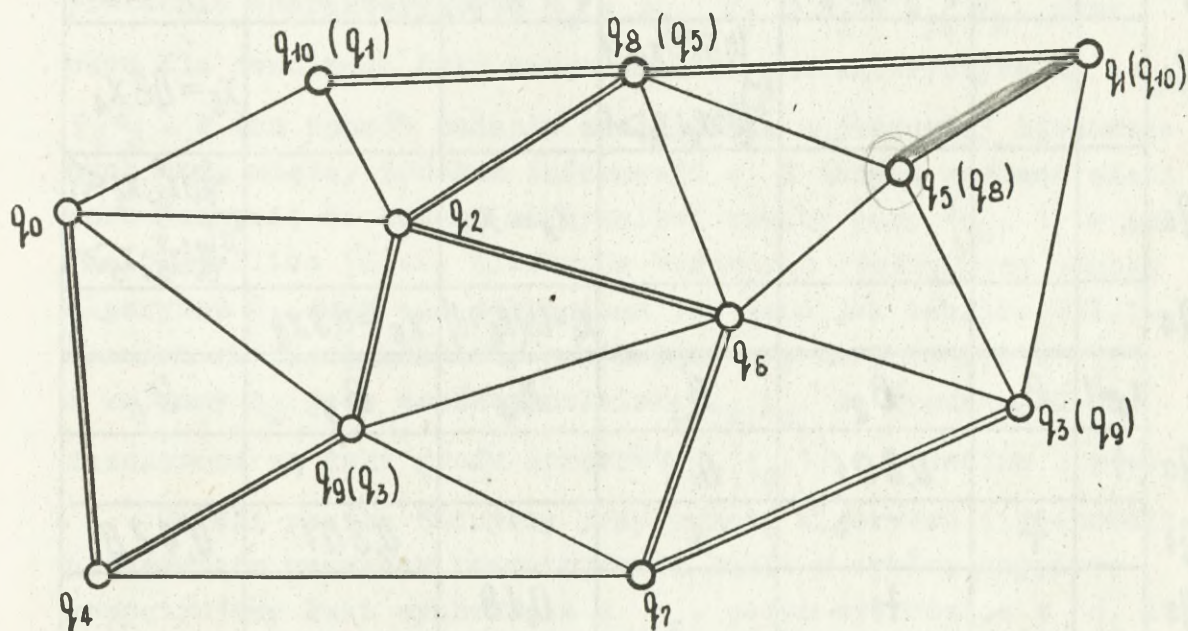
odpowiada ograniczeniu 2-4. Zatem zadanie będzie polegało na znalezieniu maksymalnej rzeźby pary  $\{q_0, 1\}$  grafu  $G_1$ , przy warunku, że zakres  $X_1(q_0, 1)$  dowolnego argumentu  $x_1$  nie wychodzi poza granicę dodatniej półosi. Proces budowy rzeźby za pomocą algorytmu 2 ilustruje tablica VII.1. W górnej jej części mieści się macierz robocza. Kolumny macierzy roboczej przeciągnięte są w dół poza jej granice i w nich wpisuje się w toku budowy bieżące wartości wagi odpowiednich wierzchołków. Waga wierzchołka zapisana w kolumnie jako ostatnia zachowuje wartość dopóty, dopóki w tę kolumnę nie będzie wpisana nowa wartość.

Proces budowy rzeźby dzieli się na szereg cykli. W cyklu rozpatruje się w dowolnym porządku łuki grafu wychodzące z wierzchołka nazwanego aktywnym. W celu zanotowania rezultatów każdego cyklu pod macierzą roboczą znajduje się specjalny wiersz, po lewej jego stronie zapisujemy aktywny wierzchołek w danym cyklu. W wierszu zapisujemy nowe wartości bieżących wag i zmieniających w trakcie danego cyklu. Przy takim systemie zapisu, nowej wartości bieżącej wagi wierzchołka  $q_j$  zapisanej w wierszu z aktywnym wierzchołkiem  $q_i$  odpowiada łuk wiodący  $(q_i, q_j)$ . W kolejnym cyklu aktywnym jest wierzchołek posiadający cy najniższy numer wśród wierzchołków, które jeszcze nie były aktywne po ostatniej zmianie ich bieżącej wagi. Dla większej pogładowości w tablicy stosowany jest system znaków ułatwiający wybór aktywnego wierzchołka. Jeżeli w danym cyklu aktywnym jest wierzchołek  $q_i$  to w wierszu tego cyklu w klatce odpowiadającej kolumnie  $q_i$  wpisujemy znak "+" i wtedy wybór aktywnego wierzchołka przed kolejnym cyklem polega na odszukaniu wierzchołka o najmniejszym numerze wśród wierzchołków nie posiadających w swojej kolumnie jako ostatniego znaku "+". Tablica VII.1 pozwala prześledzić tok budowy maksymalnej rzeźby pary  $\{q_0, 1\}$  w grafie  $G_1$ . Wysokości wierzchołków równe są wartościom ostatniej wagi w odpowiednich kolumnach pod macierzą roboczą, a odpowiadające im łuki wiodące należą do grafu marszrut. Na rysunku VII.1 łuki marszrut  $q_1(q_0, 1)$  wyróżnione są czerwoną linią.

## Przykład 2

W celu porównania efektywności algorytmów 1 i 2 rozwiążemy zadanie znalezienia dróg w sieci łączności o największej niezawodności w sensie prawdopodobieństwa jednoczesnej zdolności do pracy wszystkich elementów drogi. Na rys. VII.3 dany jest graf nieorientowany  $G_2$  odwzorowujący sieć łączności. Wejście  $q_0$  jest źródłem informacji, wierzchołki  $q_1, q_3, q_5$  są węzłami docelowymi, które jednocześnie mogą spełniać funkcję węzłów tranzytowych. Pozostałe wierzchołki są węzłami tranzytowymi.

Numeracja wierzchołków /węzłów/ jest dowolna.



Rys. VII.2. Graf sieci  $G_2$ .

Tablica VII-1.

	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$	$Q_6$
$Q_0$		$x_1 = x_0$	$x_2 = \lg(x_0 + 1)$	$x_3 = 0.5x_0$			
$Q_1$				$x_5 \begin{cases} x_1^2; x < 1 \\ x_{1,2}^1; x > 1 \end{cases}$		$x_5 = \lg(x_1 + 1)$	$x_6 = \lg(2x_1 + 1)$
$Q_2$		$x_4 = 0.2x_2$		$x_5 \begin{cases} 0.5x_2^2; x_2 < 1 \\ 0.5x_2; x_2 > 1 \end{cases}$	$x_4 = 0.6x_2$	$x_5 \begin{cases} x_2^3; x_2 < 1 \\ x_2^{\frac{1}{2}}; x_2 > 1 \end{cases}$	
$Q_3$			$x_2 = 0.5 \lg(4x_3 + 1)$		$x_4 = 0.3 \lg(5x_3 + 1)$		
$Q_4$				$x_5 \begin{cases} 0.5x_4^3; x_4 < 1 \\ 0.5x_4; x_4 > 1 \end{cases}$			$x_6 = 0.8x_4$
$Q_5$					$x_4 = x_5$		$x_6 \begin{cases} 0.1x_5^2; x_5 < 1 \\ 0.1x_5^{\frac{1}{2}}; x_5 > 1 \end{cases}$
$Q_6$					$x_4 = \lg(x_6 + 1)$	$x_5 = 0.3x_6$	
	$x_0 = 1$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$
$Q_0$	+		0,301	0,5			
$Q_1$		+		1		0,301	0,478
$Q_2$			+		0,18		
$Q_3$			0,35	+	0,234		
$Q_2$			+				
$Q_4$					+		
$Q_5$					0,3	+	
$Q_4$					+		
$Q_6$							+

Dowolny węzeł sieci jest zdolny do pracy z prawdopodobieństwem  $p_j = \text{const.}$  dla wszystkich kierunków przekazywania informacji, a dowolna gałąź między parą węzłów  $q_j$  i  $q_k$  poprawnie pracuje z prawdopodobieństwem  $p_{jk} = \text{const.}$  ( $j < k$ ) jednakowym dla obu kierunków przesyłania informacji. Prawdopodobieństwa poprawnej pracy węzłów i krawędzi uważa się za wielkości niezależne. Niezawodność drogi między wybranymi węzłami sieci określa prawdopodobieństwo poprawnej pracy wszystkich elementów wchodzących w jej skład. Jeśli rozpatrywać będziemy graf  $G_2$  jako zorientowany, posiadający pary łuków, o przeciwnych zwrotach, to wierzchołek  $q_j$  powinien mieć charakterystykę  $y_j = p_j x_j$ , a para przeciwnych łuków  $(q_j, q_k)$  i  $(q_k, q_j)$  powinna mieć odpowiednio charakterystyki  $x_k = p_{jk} y_j$  i  $x_j = p_{jk} y_k$ , przy czym dla dowolnego łuku można znaleźć charakterystykę  $x_k = p_{jk} p_j x_j$ . W ten sposób zadanie znalezienia najbardziej niezawodnych dróg między źródłem informacji  $q_0$  i innymi węzłami sieci sprowadza się do budowy maksymalnej rzeźby pary  $\{q_0, 1\}$  w grafie  $G_2$ . Tablica VII.2. ilustruje budowanie rzeźby przy pomocy algorytmu 2. Jest ona zestawiona tak samo jak tablica VII.1. Element roboczej macierzy znajdujący się na przecięciu  $q_j$  i kolumny  $q_k$  jest współczynnikiem  $p_{jk} p_j$ . Na rysunku VII.2 zaznaczone są łuki grafu marszrut  $g_2(q_0, 1)$  - podwójne linie.

Jeżeli rzeźbę budujemy przy pomocy algorytmu 1 zachowując następujący porządek rozpatrywania łuków w cyklu; najpierw rozpatrujemy łuki wychodzące z  $q_0$ , potem wychodzące z  $q_1$  itd. w kolejności numeracji wierzchołków, to proces budowy drogi polega na trzech cyklach, w których krok 3 realizuje się 115 razy /w pierwszym cyklu pewne łuki opuszczają się według warunków kroku 3/. Natomiast zbudowanie tej rzeźby za pomocą algorytmu 2 /tablica VII.2/ wymaga realizacji 90-ciu razy kroku 3.

TABLICA VII. 2.

	$q_0$	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$	$q_5$	$q_6$	$q_7$	$q_8$	$q_9$	$q_{10}$
$q_0$			0,6		0,9					0,75	0,35
$q_1$				0,375		0,525			0,64		
$q_2$							0,76		0,81	0,855	0,57
$q_3$		0,35				0,455	0,37	0,58			
$q_4$								0,285		0,855	
$q_5$		0,42		0,39			0,24		0,48		
$q_6$			0,72	0,475		0,36		0,72	0,63	0,585	
$q_7$				0,68	0,255		0,68			0,38	
$q_8$		0,765	0,765			0,72	0,63				0,72
$q_9$			0,81		0,81		0,585	0,405			
$q_{10}$			0,42						0,56		
	$I$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$	$B_8$	$B_9$	$B_{10}$
$q_0$	+		0,6		0,9					0,75	0,35
$q_2$			+				0,455		0,486		0,362
$q_4$					+			0,257		0,77	
$q_6$				0,216		0,184	+	0,328			
$q_3$		0,075		+							
$q_1$		+									
$q_5$						+					
$q_7$				0,223					+		
$q_3$		0,078		+							
$q_1$		+									
$q_8$		0,372				0,35					
$q_1$		+									
$q_5$						+					
$q_9$			0,625								+
$q_2$			+				0,475		0,507		
$q_6$				0,225			+	0,342			
$q_3$				+							
$q_7$				0,232					+		
$q_3$				+							
$q_8$		0,388				0,366			+		0,366
$q_1$		+									
$q_5$						+					
$q_{10}$											+

Nieznaczna różnica w pracochłonności budowy tłumaczy się stosunkowo małymi wymiarami grafu. Jednak jeszcze większą rolę odgrywa numeracja wierzchołków, która szczególnie wpływa na pracochłonność budowy rzeźby według algorytmu 2. Zmniejsza się ona znacznie wskutek nieskomplikowanego przenieumerowania wierzchołków grafu. W celu otrzymania niezbędnej numeracji należy posłużyć się macierzą roboczą jako macierzą sąsiedztwa, wydzielić grupę wierzchołków sąsiednich do  $q_0$  i ponumerować je w dowolnej kolejności  $q_1, q_2, \dots, q_j$ . Następnie wydzielić grupę wierzchołków sąsiednich z wierzchołkami wcześniej ponumerowanymi i zmienić numery wierzchołków tej grupy  $q_{j+1}, q_{j+2}, \dots, q_k$  w dowolnym porządku itd. aż do pełnego przenieumerowania wszystkich wierzchołków. Otrzymana w ten sposób numeracja wierzchołków grafu przedstawiona jest na rys. VII.2 /w nawiasach/, a proces budowania rzeźby pary  $\{q_0, 1\}$  przy pomocy algorytmu 2 ilustruje tablica VII.3. W tym przypadku zastosowanie algorytmu 2 wymagało 58-krotnego zrealizowania kroku 3, zamiast 90-krotnego przy dowolnej numeracji.

Minimum pracochłonności procesu budowania rzeźby przy pomocy algorytmu 1 lub 2 osiąga się wtedy, gdy na każdym łuku grafu krok 3 realizuje się dokładnie jeden raz. Przypadek ten jest możliwy wówczas, gdy wierzchołki rozpatruje się w kolejności "rozrastania się drzewa" marszrut  $g(q_0, x_0)$ , które jest nam nieznanne apriori. Uzyskana 58-krotna realizacja kroku 3 przy uporządkowanej numeracji wierzchołków jest dostatecznie bliska minimalnej, która równa się w naszym przypadku 42-krotnej realizacji kroku 3. Załóżmy teraz, że rezygnujemy z ograniczenia 4, zachowując ograniczenia 1-3. Przy czym w grafie może mieć miejsce pętla wzmacniająca /redukująca/ przy pewnej wartości argumentu dowolnego z wierzchołków.

TABLICA VII 3.

	$q_0$	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$	$q_5$	$q_6$	$q_7$	$q_8$	$q_9$	$q_{10}$
$q_0$		0,35	0,6	0,75	0,9						
$q_1$			0,42			0,56					
$q_2$		0,57		0,855		0,81	0,76				
$q_3$			0,81		0,81		0,585	0,405			
$q_4$				0,855				0,285			
$q_5$		0,72	0,765				0,63		0,72		0,765
$q_6$			0,72	0,585		0,63		0,72	0,36	0,475	
$q_7$				0,38	0,265		0,68			0,68	
$q_8$						0,48	0,24			0,39	0,42
$q_9$							0,37	0,56	0,455		0,35
$q_{10}$						0,64			0,525	0,375	
	1	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$	$B_8$	$B_9$	$B_{10}$
$q_0$	+	0,35	0,6	0,75	0,9						
$q_1$		+				0,196					
$q_2$			+			0,485	0,456				
$q_3$			0,607	+				0,3			
$q_2$			+			0,49	0,461				
$q_4$				0,77							
$q_3$			0,625	+				0,312			
$q_2$		0,356	+			0,507	0,475				
$q_1$		+									
$q_5$		0,366				+			0,366		0,388
$q_1$		+									
$q_6$							+	0,342		0,226	
$q_7$								+		0,232	
$q_8$									+		
$q_6$										+	
$q_{10}$											+

Analogicznie do wzmacniającej /redukującej/ charakterystyki łuku, pętlę  $(q_1, q_j, q_k, \dots, q_1, q_1)$  uważa się za wzmacniającą przy pewnej wartości  $x_1$  jeśli zachodzi równość:

$$x_j = f_{1j}(x_1); \quad x_k = f_{jk}(x_j); \quad \dots; \quad \tilde{x}_1 = f_{11}(x_1) > x_1$$

lub za redukującą jeżeli  $\tilde{x}_1 < x_1$ .

W związku z powyższym rzeźba nie posiada własności 1 i marszruta  $\mu(q_0, q_1)$  dla dowolnego wierzchołka  $q_1$  może zawierać pętlę.

Przy tych warunkach możliwy jest przypadek, że dla pewnego wierzchołka  $q_1$  maksymalną /minimalną/ wagę będzie miała droga o długości nieskończonej. Jeśli jednak waga tej drogi dąży do pewnej granicy, to zgodnie z określeniem rzeźby ostateczna waga jest wysokością  $h_1$ , a droga jest marszrutą dla wierzchołka  $q_1$ . Jeśli waga tej drogi rośnie nieograniczenie w przypadku maksymalnej rzeźby /albo nieograniczenie maleje w przypadku minimalnej rzeźby/, to droga nie jest marszrutą i rzeźba nie istnieje. Twierdzenie 1 i własność 2 można udowodnić wykorzystując ograniczenia 1-3. Prócz tego w sformułowanych dowodach własności 2 i twierdzenia nie przewiduje się aby nie istniała możliwość powtórzenia wierzchołków w rozpatrywanej drodze, tzn. są one słuszne i przy marszrutach z pętlami. Algorytmy 1 i 2 oparte na twierdzeniu mogą być wykorzystane do budowy rzeźby przy wykluczeniu ograniczenia 4.

Jeśli rzeźba istnieje, to w rezultacie budowy zawsze określa się wysokości wszystkich wierzchołków grafu i wszystkie marszrutę bez pętli, ale pozostają nieznane marszrutę z pętlami. Dla wyjaśnienia tego rozpatrzmy marszrutę  $(q_0, \dots, q_j, q_1, \dots, q_k, q_1, \dots, q_1, q_1, \dots)$  /o długości skończonej lub nieskończonej, w której wierzchołek  $q_1$  występuje  $n$  razy. Dla określenia tej marszrutę trzeba koniecznie znać  $n$  podstawowych łuków  $(\overline{q_j, q_1})$ ,  $(\overline{q_k, q_1})$ ,  $(\overline{q_1, q_1})$ , ... wierzchołka  $q_1$  i ich kolejność w grafie. Proces budowy rzeźby przy pomocy algorytmów 1 lub 2 wskazuje równocześnie dla każdego wierzchołka grafu oprócz wejścia  $q_0$  jeden łuk wiodący. W tym przypadku graf marszrut zawiera pętlę i nie może być "drzewem" to znaczy zawiera

liczbę łuków większą od  $n-1$ . Łuki podstawowe znalezione przy pomocy powyższej metody chociaż należą do grafu marszrut  $g(q_0, x_0)$  tworzą częściowy graf  $\bar{g}(q_0, x_0)$  zawierający wszystkie marszrutę bez pętli. Wykorzystując algorytmy 1 i 2 przy spełnieniu ograniczeń 1-3 można otrzymać jeden z trzech następujących przypadków. Jeśli proces budowy rzeźby jest rozbieżny, tzn. występuje nieograniczony wzrost /malenie/ wag poszczególnych wierzchołków, to poszukiwana rzeźba nie istnieje.

Jeśli proces budowy rzeźby jest skończenie lub nieskończenie zbieżny, tj. praktycznie skończony na mocy ograniczonej dokładności wyliczeń, a graf znalezionych łuków podstawowych  $\bar{g}(q_0, x_0)$  jest "drzewem", to rzeźba istnieje. Marszrutę rzeźby nie zawierają pętli.

W przypadku kiedy proces budowy rzeźby jest skończony lub nieskończenie zbieżny, ale graf  $\bar{g}(q_0, x_0)$  nie jest "drzewem" rzeźba istnieje ale zawiera marszrutę z pętlami. Po zakończeniu procesu budowy znane są wysokości wszystkich wierzchołków i marszrutę bez pętli, tj. rzeźba nie jest w pełni określona.

Możliwe są modyfikacje algorytmów 1 i 2 pozwalające przy znajomości częściowego grafu marszrut  $\bar{g}(q_0, x_0)$  odszukać brakujące łuki.

ALGORYTM OBLICZANIA NIEZAWODNOŚCI STRUKTURY SI WOPL

Niezawodność jest jedną z charakterystyk jakości SI WOPL określoną przez prawdopodobieństwa spełnienia przez system zadanych mu funkcji w określonych warunkach działania. Pojęcie niezawodności systemu jest związane z tym czego nie wiemy o nim. Gdybyśmy wiedzieli dostatecznie dużo o całym systemie i byli w stanie przewidzieć dostatecznie dokładnie warunki w jakich będzie pracował, moglibyśmy zrealizować system tak, żeby nas nie zawiódł. System nie sprawiłby nam zawodu gdy spełnione zostały następujące postulaty:

- postulat trafnej prognozy,
- postulat dostatecznie głębokiej wiedzy o zjawiskach fizycznych,
- postulat syntezy na najgorsze okoliczności,
- postulat bezbłędnej realizacji.

Niemożliwe jest zbudowanie systemu całkowicie niezawodnego.

W celu zbudowania algorytmu potrzebne są następujące dane o SI WOPL.

1/  $A$  - zbiór węzłów

$a_{ij} \in A$  - węzeł z  $i$ -tego poziomu o numerze  $j$ ,

$A'$  - zbiór węzłów wyłączonych z sieci

$$A' \subset A$$

2/  $L'$  - zbiór łuków

$l_{rs}^{lk}$  - łuk łączący węzeł  $a_{rs}$  i  $a_{lk}$

$L'$  - zbiór łuków wyłączonych z sieci  $L' \subset L$

3/  $p_{rs}^{lk}$  - przepustowość łuku  $l_{rs}^{lk}$

4/  $c_{rs}^{lk}$  - obciążenie łuku  $l_{rs}^{lk}$

5/  $w_{rs}$  - waga węzła  $a_{rs}$

Wagi węzłów tego samego poziomu mogą być różne, muszą one jednak spełniać warunek.

$$\bigwedge_{l > r} \min_k w_{lk} > \max_s w_{rs}$$

Minimalna waga węzła wyższego poziomu powinna być większa od maksymalnej wagi węzła niższego poziomu.

Założenia:

1. Przepustowość dróg ograniczają jedynie przepustowości łuków.
2. Struktura sieci jest taka, że łuki mogą łączyć dwa węzły z tego samego poziomu lub poziomów sąsiednich  $/l + 1/$ .
3. Wagę informacji w danym łuku odnosimy do wagi węzła z poziomu niższego /można z wyższego/.

Definicje:

$$1. \quad z_{rs}^{lk} \equiv z_{lk}^{rs}$$

$$p_{rs}^{lk} \equiv p_{lk}^{rs}$$

$$c_{rs}^{lk} \equiv c_{lk}^{rs}$$

$$2. \quad \mathbb{L}'' = \{z_{rs}^{lk} \in \mathbb{L}' \vee [z_{rs}^{lk} : a_{lk} \in A' \vee a_{rs} \in A']\}$$

$\mathbb{L}''$  - jest zbiorem łuków wyłączonych z sieci na skutek wyłączenia węzła, bądź wyłączenia jego samego

$$3. \quad \mathbb{L}''' = \{z_{rs}^{lk} \in \mathbb{L}''; \bigwedge_r l > r\} \quad l = r+1$$

$\mathbb{L}'''$  - jest zbiorem łuków wyłączonych z sieci łączących węzeł  $a_{rs}$  z poziomem wyższym  $r+1$

4. Potencjał informacyjny wpływający z węzła  $a_{ij}$

$$U_{ij} = \sum_{\substack{lk \\ z_{ij}^{lk} \in \mathbb{L}'''}} c_{ij}^{lk}$$

5. Wartość informacji przepływającej w systemie

$$G = \sum_{\substack{lk \\ \lambda_{rs} \in \mathbb{L}}} w_{rs} C_{rs}^{lk}$$

6. niezawodność sieci

$$P = \frac{G'}{G}$$

gdzie:

$$G' = \sum_{\substack{lk \\ \lambda_{rs} \in \mathbb{L}/\mathbb{L}''}} w_{rs} C_{rs}^{lk} + \sum_{U_{ij} \neq 0} /U_{ij} - U'_{ij}/ w_{ij}$$

$\mathbb{L}/\mathbb{L}''$  - zbiór łuków sprawnych

$U'_{ij}$  - potencjał informacyjny węzła  $a_{ij}$  po jego uszkodzeniu

$U_{ij}$  - potencjał informacyjny węzła  $a_{ij}$ , który nie został wysłany.

7.  $\mathbb{A}_{ij}^{i+1,z}$  - zbiór dróg z węzła  $a_{ij}$  do  $a_{i+1,z}$

Algorytm "nasywania" SI WOPL gdy  $\mathbb{L}'' \neq \emptyset$

1. Obliczenie przepustowości łuków

$$p'_{ij}^{i+k,z} = p_{ij}^{i+k,z} - C'_{ij}^{i+k,z}$$

Na pierwszym kroku  $p'_{ij}^{i+k,z}$  jest zapasem przepustowości

$C'_{ij}^{i+k,z}$  - całkowite obciążenie łuku, które zmienia się w czasie "nasywania" sieci

2. Wybór węzła uszkodzonego z którego należy przesłać informację

$$\max U_{ij} w_{ij} \rightarrow a_{ij}$$

3. Wybór drogi "nasywania" sieci.

$$\bigwedge \min /a_{ij}, a_{i+k,z}/ \rightarrow \left\{ \mu_{ij}^{i+k,z} \right\} \quad z = 1, 2, \dots, J_i$$

$$z: a_{i+1,z} \in A/A'$$

gdzie:

$A/A'$  - zbiór węzłów sprawnych

4. Obliczenie przepustowości drogi

$$\varphi_{ij}^{i+k,z} = \min_{\substack{\lambda_{ij}^{i+k,z} \in \mathcal{U} \\ ij}} p_{ij}^{\prime i+k,z}$$

5. Obliczenie przepustowości łuków

$$\bigwedge_{\substack{\lambda_{ij}^{i+k,z} \in \mathcal{U} \\ ij}} p_{ij}^{\prime i+k,z} = \begin{cases} 0 & \text{dla } U_{ij} \geq \varphi_{ij}^{i+k,z} \\ \varphi_{ij}^{i+k,z} - U_{ij} & \text{dla } U_{ij} < \varphi_{ij}^{i+k,z} \end{cases}$$

6. Obliczenie potencjału informacyjnego węzła uszkodzonego z którego wysyłamy informację poprzez te jego wyjścia, które nie zostały uszkodzone

$$U_{ij} = \begin{cases} U_{ij} - \varphi_{ij}^{i+k,z} & \text{dla } U_{ij} > \varphi_{ij}^{i+k,z} \\ 0 & \text{dla } U_{ij} \leq \varphi_{ij}^{i+k,z} \end{cases}$$

7. Obliczenie obciążenia łuków

$$\bigwedge_{\substack{\lambda_{rs}^{lk} \in \mathcal{U} \\ rs}} c_{rs}^{\prime lk} = c_{rs}^{lk} + (U_{ij} - U'_{ij})$$

8. Skok do 1

9. Koniec "nasywania" sieci, jeżeli:

a/

$$\bigwedge_{a_{ij}} : U_{ij} \neq 0 \quad \bigwedge_{z : a_{i+k,z} \in A/A'} \bigwedge_{ij} U_{ij} = \Phi$$

b/

$$\bigwedge_{a_{ij} \in A'} U_{ij} = 0$$

10. Wartość informacyjna systemu

$$G' = \sum_{\substack{lk \\ rs \in L/L''}} W_{rs} C_{rs}^{lk} + \sum_{U_{ij} \neq 0} (U_{ij} - U'_{ij}) w_{ij}$$

11. Niezawodność SI WOPL

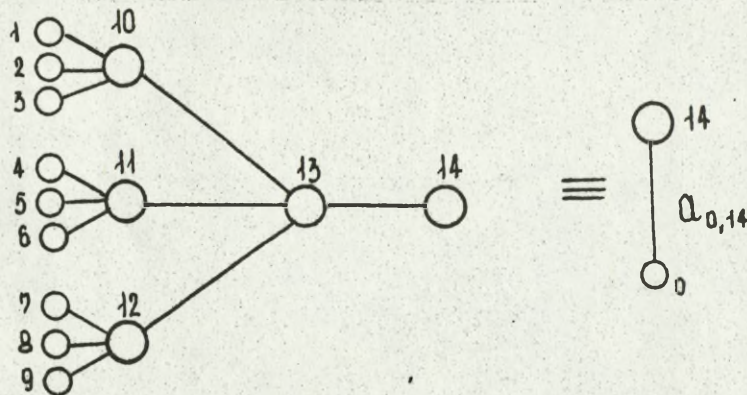
$$P = \frac{G'}{G}$$

## METODA REDUKCJI SI WOPL

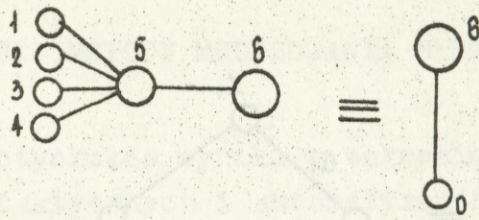
Strukturę SI WOPL frontu można przedstawić w postaci grafu, który składa się z 532 wierzchołków. Obliczenie tak dużego grafu nawet przy zastosowaniu EMC jest czasochłonne i nie zawsze konieczne w celu uzyskania pełnej informacji liczbowej o SI WOPL. Ze względu na powyższe przyczyny opracowana została metoda redukcji SI WOPL pozwalająca na ekwiwalentne przekształcenie grafu lub jego części do zredukowanej postaci równoważnej o znacznie mniejszych rozmiarach.

Metoda redukcji przedstawiona zostanie na przykładach typowych fragmentów struktury SI WOPL.

Przykłady obliczeń przepustowości łuków zastępczych zredukowanej sieci informacyjnej

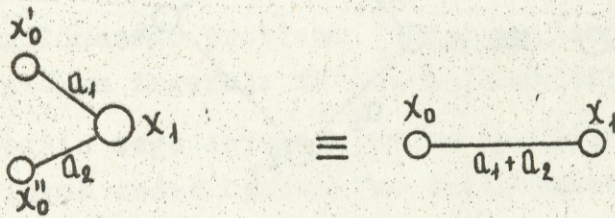


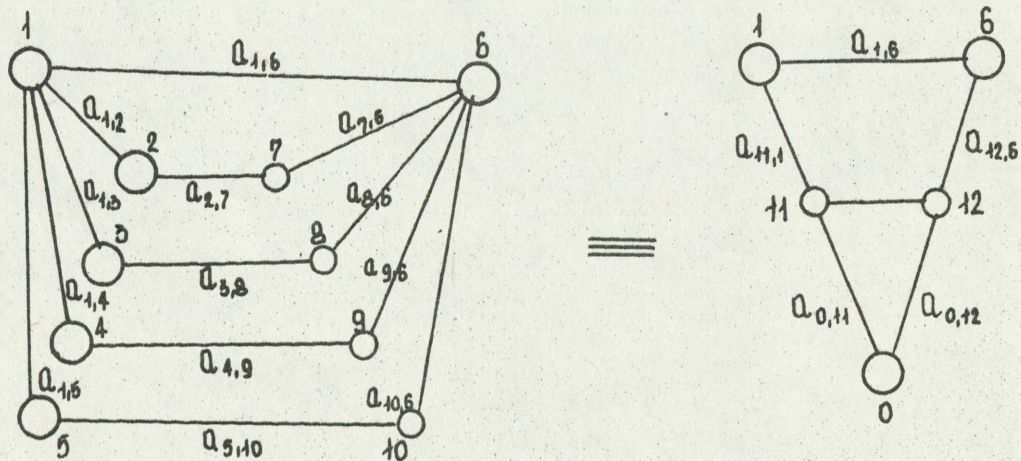
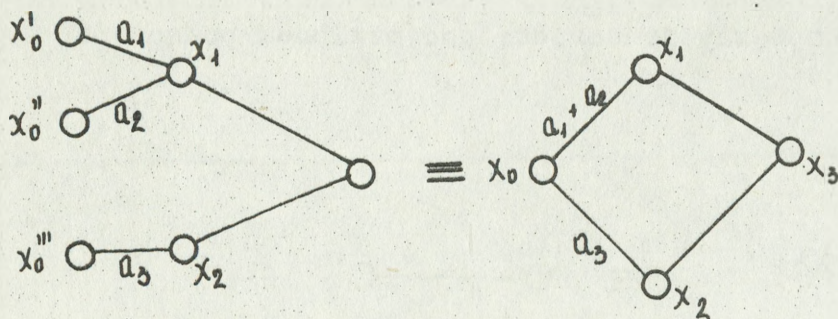
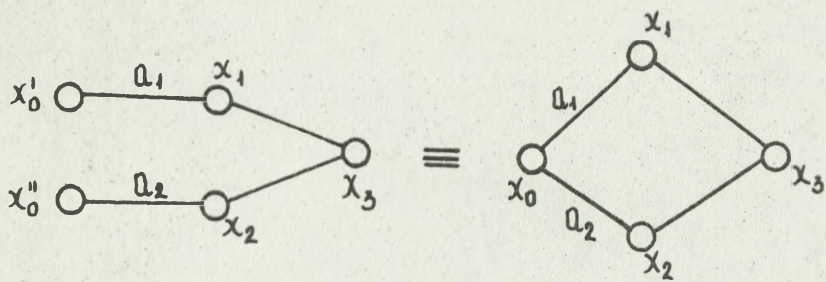
$$a_{0,14} = \min \left\{ a_{13,14}, \left[ \min \left( \sum_{i=1}^{i=3} a_{i,10}, a_{10,13} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + \min \left( \sum_{i=4}^{i=6} a_{i,11}, a_{11,13} \right) + \min \left( \sum_{i=7}^{i=9} a_{i,12}, a_{12,13} \right) \right] \right\}$$



$$a_{0,6} = \min \left( \sum_{i=1}^{-i=4} a_{i,5}, a_{5,6} \right)$$

redukować można tylko węzły jednorodne. pod względem połączeń.





OGÓLNY OPIS METODY MODELOWANIA SYSTEMU OPL

Osiągnięte dotychczas wyniki w zakresie algorytmizacji zadań operacyjno-taktycznych i automatyzacji systemów wojskowych były uzależnione między innymi od istniejących metod matematycznych i umiejętności ludzi w wykorzystaniu ich do rozwiązywania zadań wynikających z funkcjonowania i budowy systemów.

Stosowany aparat naukowo-badawczy w postaci metod badań operacyjnych nie umożliwił osiągnięcia wymaganej poprawy jakości funkcjonowania systemów wojskowych z następujących powodów:

1. Zakres formułowanego problemu jest ograniczony wielkością obszaru w którym ingeruje metoda matematyczna.

W rezultacie tego istnieje tylko możliwość optymalizacji oddzielnych zadań operacyjno-taktycznych, których wyniki mogą być wykorzystane jeśli zostaną one dostarczone w warunkach polowych w nakazanym czasie. Jest to wymaganie bardzo trudne do spełnienia. W czasie ćwiczeń z wojskami dowódcy nie czekali na wyniki z maszyny cyfrowej.

2. Duża liczba oddzielnych algorytmów z których każdy rozwiązuje jedno zadanie.
3. Założenia i ograniczenia ustalone w algorytmach często nie odpowiadają aktualnie istniejącej sytuacji i przez to celowość stosowania ich w tych przypadkach jest mała.
4. Czas przygotowania danych zmniejsza operatywność kierowania i dezaktualizuje uzyskane wyniki.
5. Rozwiązywane zadanie przy ustalonych danych wejściowych jest zdeterminowane stosowanym aparatem matematycznym i w trakcie rozwiązania problemu nie może być zmienione.

Jest to główna wada wykorzystywanych dotychczas metod badawczych. Działanie systemów wojskowych nie podlega deterministycznym prawom, ani też przyjmowanym w algorytmach założeniom i ograniczeniom. Natomiast stosowane metody matema-

tyczne często determinowały przebieg zjawisk w systemie, a w rzeczywistości nie jest on zdeterminowany. Maszyna cyfrowa realizowała sekwencyjnie ścisłe procedury obliczeniowe, a nie proces przypadkowy jakim była praca systemu w środowisku stochastycznym. Stąd wynikała rozbieżność między rzeczywistym działaniem systemu, a jego traktowaniem i ograniczaniem przez stosowany aparat naukowo-badawczy.

Te ujemne cechy metod teoretycznych wynikały z ich istoty i były sztucznie narzucane na formalizowane oddzielnie zadania operacyjno-taktyczne. Z punktu widzenia metodyki badań naukowych takie postępowanie nie jest poprawne.

Pierwotnym jest zadanie, proces walki, system, jego charakterystyki, zależności między wielkościami, właściwości i specyfika. Dopiero na tej podstawie należy dobierać taki aparat matematyczny, którego wymaga rozwiązanie problemu.

Pomimo oczywistości tego faktu, dotychczas postępowano często inaczej ze względu na obiektywną przyczynę, to znaczy brak teoretycznych opracowań z zakresu modelowania systemów.

Badanie systemów obecnie stosowanymi metodami utrudnione było z powodu rozwiązywania bardzo skomplikowanych zależności analitycznych i funkcyjnych z grupy procesów stochastycznych co sprawia wiele kłopotów w praktycznej działalności.

Fragmenty procesu walki algorytmizowane i wykorzystujące informacje statystyczną o skuteczności działania środków ogniowych /artylerii, obrony przeciwlotniczej/ rozwiązywane były poprawnie.

Z powyższych rozważań wynika, że istnieje dysproporcja między skutkami ingerencji w funkcjonowanie systemu metod matematycznych, a potrzebami badań systemów wojskowych w oparciu o opracowane modele matematyczne i rozwiązywane przy pomocy maszyn cyfrowych.

Obecnie istnieje możliwość rozpoczęcia takich badań ponieważ w ostatnich latach opracowana została metoda matematyczna przeznaczona do modelowania systemów wielkich i gier strategicznych. Ogólny zarys tej metody jest następujący.

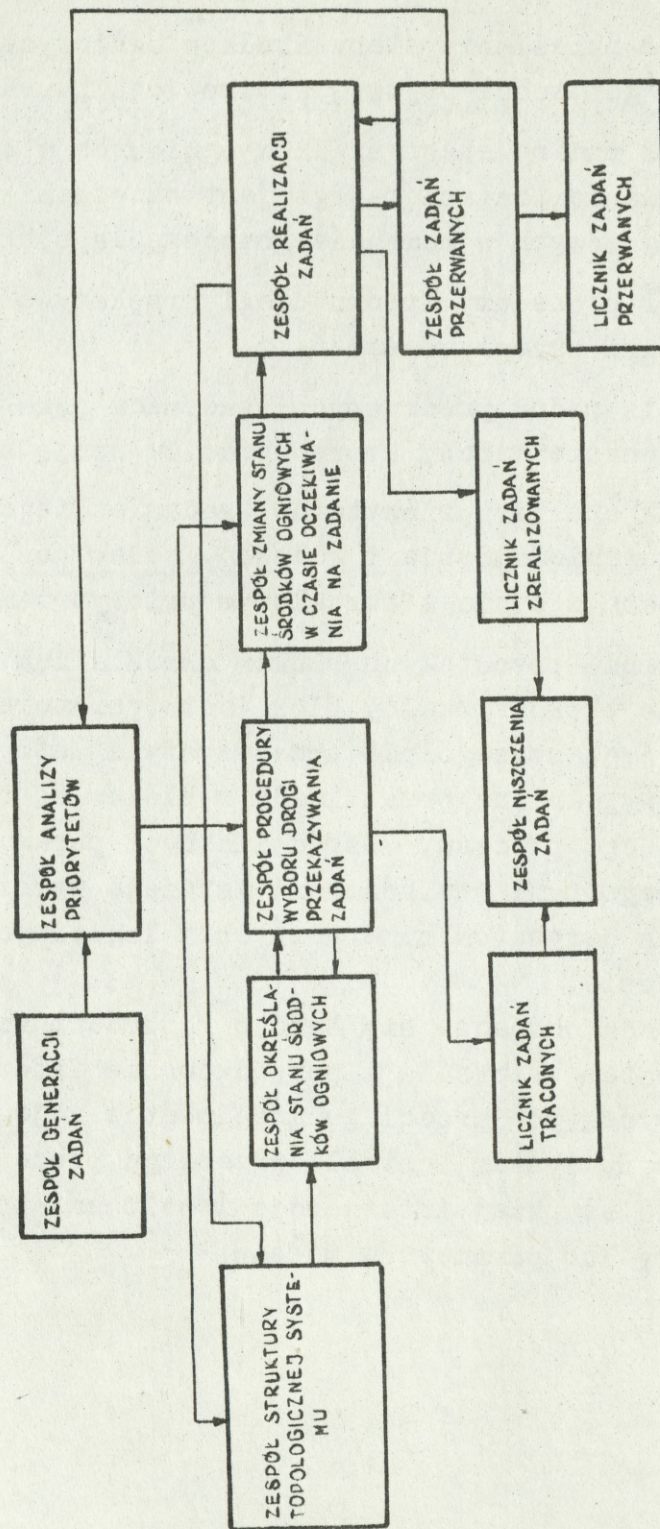
Użytkownik systemu winien wykonać schemat blokowy funkcjonowania systemu i opisać jego działanie, rys. X.1. Podstawowe zespoły standardowe określają działanie i współzależności funkcjonalne w systemie.

1. Zespół struktury topologicznej - odzwierciedla istniejące połączenia w badanej strukturze.
2. Zespół określania stanu środków ogniowych - służy do określania gotowości bojowej środków ogniowych do działań.
3. Zespół zmiany stanu środków ogniowych w czasie oczekiwania na zadanie; zadaniem jego jest określenie parametrów środków ogniowych w momencie rozpoczęcia strzelania.
4. Zespół procedury wyboru drogi przekazywania zadań określa kierunki przepływu zadań.
5. Licznik zadań przerwanych; zadaniem jego jest likwidacja i zliczanie zadań, które utraciły swoją aktualność.
6. Zespół analizy priorytetów; zadaniem jego jest odpowiednie usytuowanie zadania w kolejce, celem dostarczenia go do adresata zgodnie z określonym priorytetem.

Zadania pozostałych bloków określa ich nazwa.

Opis blokowy /każdy blok jest operatorem/ procesu funkcjonowania jest szczególnie przejrzysty i łatwy w interpretacji. Funkcje wypełniane przez każdy z bloków są bliskie realiów modelowanego procesu. Wśród licznych parametrów związanych z poszczególnymi wielkościami istnieje wyróżniony zbiór standardowych atrybutów numerycznych i logicznych adresowanych symbolicznie.

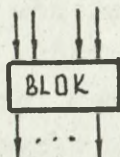
Metoda odznacza się bardzo rozbudowanym i usystematyzowanym aparatem zbierania i porządkowania informacji statystycznych dotyczących przebiegu modelowania i jego wyników. Istnieje rozbudowany system kontroli przebiegu procesu modelowania i możliwość szybkiej interwencji w celu zmiany lub korekcji struktury lub parametrów modelu.



RYS.X.1 SCHEMAT FUNKCJONOWANIA SYSTEMU OPL (WARIANT)

## Struktura modelu

Model składa się z ciągu bloków, z których każdy opisuje pewną jednostkową czynność w działaniu systemu. Rys.X.2 przedstawia graficzny symbol bloku.



Rys.X.2. Graficzny symbol bloku

Linie wchodzące i wychodzące z bloku symbolizują przepływ wielkości aktywnych czyli zadań. Wejścia do pojedynczego bloku /lub grupy bloków/ mogą odbywać się z dowolnych punktów modelu. Linie wychodzące z bloku reprezentują możliwości w wyborze dróg dalszego przepływu zadań /wybór kolejnego bloku/. W zależności od rodzaju bloku wybór następnego bloku może być:

- zdeterminowany /narzucony przez strukturę modelu/,
- przypadkowy,
- logiczny /podejmowany w oparciu o zdefiniowane przez analityka zależności logiczne między standartowymi atrybutami logicznymi i numerycznymi, zależny od stanu systemu w chwili podejmowania decyzji/.

Schemat blokowy modelu może być formalnie rozpatrywany jako zbiór wzajemnie powiązanych symboli operatorów logicznych i arytmetycznych reprezentujących interesujące użytkownika aspekty modelowanego systemu lub procesu.

W każdym procesie /systemie/ można wyróżnić grupę elementarnych wielkości lub pojęć abstrakcyjnych za pomocą których można skonstruować opis /model/ tego systemu. Dla celów modelowania w metodzie zdefiniowano 15 typów wielkości oraz wprowadzono określone konwencje i założenia formalne odpowiadające podstawowym czynnościom lub warunkom występującym w rzeczywistym systemie.

Zdarzenia zachodzące w procesie modelowania są wyróżniane w czasie. W celu porządkowania zdarzeń w czasie ustalenia ich właściwej sekwencji w modelu generowany jest zegar systemowy. Z każdym zdarzeniem związany jest parametr zwany znacznikiem czasowym określający moment czasu w którym zdarzenie to powinno wystąpić.

Istnieje obecnie potrzeba badań systemów wojskowych i oceny ich potencjalnych możliwości metodami, które zapewniają:

- podejście systemowe bez ograniczeń formalnych,
- jednoczesne objęcie w rozważaniu wszystkich zagadnień funkcjonowania systemu wraz z ich dynamiką zmian,
- uwzględnienie stochastycznego charakteru procesu realizacji zadań przez system,
- zebranie pełnej informacji statystycznej o przebiegu procesu modelowania systemu.

WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ

SNP	- środki napadu powietrznego
SI WOPL	- system informacyjny wojsk OPL
PTSP	- Połączone Taktyczne Siły Powietrzne
NBJ	- nosiciel broni jądrowej
PK /OK/ OPL	- Punkt Kierowania /Ośrodek Kierowania/ OPL
CRR	- Centrum Rozpoznania Radiolokacyjnego
CK	- Centrum Kierowania
UKF	- fale ultrakrótkie
TDW	- Teatr Działań Wojennych
RLS	- stacja radiolokacyjna
A, X, N, M	- zbiory
a, k, l	- elementy zbiorów
W	- własność elementów zbioru
m	- moc zbioru
$l \in N$	- l należy do N /l jest elementem N/
$M_i \subset N$	- $M_i$ jest podzbiorem N
$\leq$	- relacja porządkująca
$\wedge$	- spójnik "i"
$\{k\} \times M_k$	- produkt /iloczyn/ kartezjański zbiorów k i $M_k$
$R^n$	- przestrzeń n-wymiarowa
$O_k^{q_1}$	- ogniwo
$w_i$	- i-ty węzeł
S	- sieć
$\bigwedge_k$	- dla wszystkich k /kwantyfikator ogólny/
$\longrightarrow$	- jeśli
$\phi$	- zbiór pusty
$Q, \mu$	- droga łącząca dwa węzły
$U_{iN}$	- najkrótsza droga od węzła i do węzła N
$x_1, x_2, \dots, x_k$	- pośrednie węzły
$\beta_i x_1$	- łuk łączący węzeł i oraz $x_1$

- $l_{ix_j}$  - długość drogi między  $i$ -tym, a  $x_j$  węzłem  
 $n$  - liczba węzłów sieci  
 $\xi$  - minimalna liczba łuków w najdłuższej drodze  
 $L$  - macierz odległości  
 $\circ$  - znak operacji mnożenia w arytmetyce Shimbela  
 $\oplus$  - znak operacji dodawania w arytmetyce Shimbela  
 $r$  - rząd macierzy  $L$   
 $D$  - macierz dyspersyjna  
 $d$  - element macierzy  $D$   
 $M$  - modyfikowana macierz odległości  
 $\gamma$  - element macierzy  $M$   
 $\Delta$  - macierz pierwszego wyboru  
 $d$  - element macierzy  $\Delta$   
 $m_k$  - numer węzła pośredniego  
 $y$  - węzeł początkowy  
 $z$  - węzeł końcowy  
 $\alpha_{kl}$  - quasiminor elementu  $a_{lk}$   
 $US$  - urządzenie sterujące  
 $CUS$  - centralne urządzenie sterujące  
 $P$  - macierz dróg  
 $V$  - wierzchołek "drzewa"  
 $Q_i$  - zbiór węzłów sieci z wyłączeniem węzła " $i$ "  
 $A_p, A_q, A_i$  - podzbiory zbioru  $Q_i$   
 $s$  - poziom "drzewa"  
 $q_i^j$  - numery węzłów  $j$ -tego poziomu, które wchodzi w skład podzbioru  $A_i$   
 $M'$  - niezmodyfikowana macierz marszrut  
 $B$  - macierz bezpośrednich połączeń /sąsiedztwa/  
 $\varphi_i /x_i/$  - funkcjonalna charakterystyka określająca przekształcenie przeprowadzone w wierzchołku  $q_i$  nad argumentem  $x_i$

- $\psi_{ij} / y_i /$  - funkcjonalna charakterystyka określająca operację przeprowadzoną na argumentie  $y_i$ , przypisana łukowi  $/q_i, q_j /$   
 $\omega / q_0, \dots, q_m /$  - waga przypisana drodze  
 $W / q_0, q_m /$  - funkcja wagowa  
 $w / q_0, \dots, q_m /$  - wartość funkcji wagowej  
 $h_i$  - liczba przypisana wierzchołkowi  $q_i$   
 $f_{ij} / x_i /$  - charakterystyka łuku  $/q_i, q_j /$   
 $g / q_0, x_0 /$  - graf marszrut dla pary  $\{q_0, x_0\}$   
 $x_0$  - argument wejściowy  
 $T^1$  - macierz tras pierwszego wyboru  
 $t$  - element macierzy tras

## WYKAZ LITERATURY

1. "Obrona przeciwlotnicza wojsk". MON, Wojska OPL 33/64.
2. S.Piuro - "Obrona przeciwlotnicza w związkach operacyjnych /armia-front/". ASG, I.1973.
3. Praca zbior. - "Jednolita perspektywiczna koncepcja zautomatyzowanego systemu dowodzenia wojskami w ogniwie dywizja - armia - front", 1971.
4. Ćwiczenie "Kraj -73".
5. R. Radner - "The Evaluation of Information in Organisations" Proc. Fourth Berkeley Symp. Math Statistics and Probability, 1961.
6. A.I.Lerner - "Zadania teorii sterowania wielkimi systemami" - Problemy sterowania wielkimi systemami, Wyd.PAN, Warszawa 1964.
7. J.L. Kulikowski - "O podejmowaniu decyzji statystycznych w systemach hierarchicznych" - Archiwum Elektrotechniki, T.XV. Zeszyt 1, 1966.
8. J.Z. Kulikowski - "Podstawowe zagadnienia organizacji systemów przetwarzania informacji" - Symp. "Problemy cybernetyki technicznej", Zawoja 1967.
9. Praca zbior. - "Charakterystyka strukturalno-funkcjonalna systemu OPL z uwzględnieniem ogniw i relacji informacyjnych, procedur przetwarzania, warunków dowodzenia środkami ogniowymi oraz kierunków rozwoju". SW OPL, Warszawa 73.
10. A.W. Butrimienko, S.L. Ginsberg - "Algorytm zdecentralizowanego dynamicznego rozdziału strumienia informacji w sieci".
11. L.R. Ford, D.R. Fulkerson - "Przepływy w sieciach". PWN, W-wa 1969.
12. L.Kleinrok - "Komunikacyjnyje sieti. Nauka, 1970.
13. J. Nowak - "Analiza wpływu i ukształtowania terenu na możliwości wykrywania celów powietrznych przez stacje radiolokacyjne".

14. Praca zbior. - "Koncepcja Polowego Zautomatyzowanego Podsystemu Dowodzenia Wojskami OPL". ID.ASG, 1971.
15. S.Bellert, H.Woźniacki - "Analiza i synteza układów elektrycznych metodą liczb strukturalnych". WNT, Warszawa 1968.
16. W. Diaczenko - "Sterowanie sieci telekomunikacyjnych". WKŁ, Warszawa 1970.
17. P. Perkowski - "Język ZAM - GPSS instrukcja programowania. IMM, Warszawa 1971.
18. E. Wilson - "Wstęp do badań naukowych". PWN, W-wa 1968.
19. M. Pasternak - "Zastosowanie teorii grafów do analizy sieci".
20. A.D. Hall - "Podstawy techniki systemów". PWN, W-wa 1968.
21. T.Stojanowski i inni - "Wieloparametrowa optymalizacja sieci telekomunikacyjnych".
22. D. Chorafas - "Sistemy i modelizowanije", pierievod z angliškovo pod riedakcijej N.Kowaljenko. Wyd. Mir, Moskwa 1967.
23. N. Buslienکو - "K teorii stożnych sistiem". Uzb.AN, Tiechniczeskaja Kibiernietika, nr 5, 1963.
24. A. Butriemienko - "O poiskie optimalnych putieii po grafu pri jego izmienenijach". Uzb.AN, Tiechniczeskaja Kibiernietika, nr 6, 1964.
25. A. Butriemienko - "Ob odnom sposobie diecentralizovannogo dinamiczeskogo raspriedielienija potokov informacjii". Informacjonnyje sieti i komutacija, Nauka 1968.
26. O.R. Naumczuk - "Mietody analiza sietiej pieriedaczi i vaspriedielienija informacjii". Nauka 1963.
27. O.R. Naumczuk - "Principy postrojenija sietiej i sistiem upravlienija". Nauka, 1964.

28. O.R. Naumozuk - "Opriedielienije putiej pieriedaczi soobsczienii w sietiach swiazi z pomoczju ECWM". Informacjonnyje sieti i komutacja. Nauka, 1968.
29. Ł. Klieinrok - "Komunikacjonnyje sieti.. Nauka, 1970.
30. T. Stojanowski, J.Wilczek - "Elementy cybernetyki technicznej w wielkich systemach", ASG 1969.
31. A. Iwaszkiewicz - "Automatyka i cybernetyka we współczesnej armii". Warszawa 1965.
32. W.S. Siniak - "Zastosowanie elektronicznych maszyn liczących w wojsku". Moskwa 1963.
33. E.S. Wencel - "Wprowadzenie do badań operacyjnych" Moskwa 1964.
34. R.D. Luce, H.Raiffa - "Gry i decyzje". PWN, W-wa 1964.
35. Z. Kowalczyk - "Modelowanie sieci łączności". Rozprawa doktorska, WAT 1972.
36. A.A. Krasowski, G.S. Pospiełow - "Podstawy automatyki i cybernetyki technicznej". WNT, W-wa 1965. /tłum.z języka rosyjskiego/.
37. S. Węgrzyn - "Podstawy automatyki", PWN, Łódź-W-wa-Kraków 1961.
38. K.W. Wagner - "Rachunek operatorowy i przekształcenie Laplace'a oraz ich zastosowania do fizyki i techniki". PWN, W-wa 1960.
39. W.Ross Ashby - "Wstęp do cybernetyki". PWN, W-wa 1963.
40. Z.Hellwig - "Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej". PWN, W-wa 1970.
41. H.Cramer - "Metody matematyczne w statystyce". W-wa 1958.
42. W. Niemczynow - "Metody i modele ekonomiczno-matematyczne".PWE, W-wa 1964.
43. M.Fisz - "Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna". W-wa 1969.
44. J.Greń - "Modele i zadania statystyki matematycznej". W-wa 1970.
45. A.Mostowski, M.Stark - "Elementy algebry wyższej".W-wa 1970.

46. Z. Pawłowski - "Wstęp do statystyki matematycznej"  
W-wa 1965.
47. T. Gerstenkorn, T. Sródka - "Ćwiczenia z kombinatoryki  
i rachunku prawdopodobieństwa".  
PWN, Łódź - W-wa 1962.
48. A. Janicki - "Adaptacyjna synteza radiolokacyj-  
nych systemów informacyjnych".  
Rozprawa habil. ITWL 1971.
49. A. Janicki - "Uwagi do zagadnienia syntezy wiel-  
kich systemów" - Inform. ITWL, 25,  
1966.
50. S. Paszkowski - "Dwupoziomowe sterowanie wielkiego  
systemu" - dodatek do Biuletynu  
WAT, Nr 8, W-wa 1967.
51. A. Janicki - "Adaptacyjna synteza struktury wiel-  
kiego systemu" - Inf.ITWL, Nr 28,  
1967.
52. A. Janicki - "Problematyka lotniczych systemów  
Informacyjnych i zarys syntezy" -  
Inf.ITWL, Nr 38, 1970.
53. B. Gniedenko, A. Chińczyn - "Elementarny wstęp do rachunku  
prawdopodobieństwa".
54. I.M. Jagłom - "Współczesna matematyka i cybernety-  
ka", PWN, W-wa 1969.
55. M. Mazur - "Cybernetyczna teoria układów samo-  
dzielnych". PWN, W-wa 1966.
56. A. Targowski - "Organizacja procesu przetwarzania  
danych". PWE, W-wa 1971.
57. J. Gościński - "Elementy cybernetyki w zarządza-  
niu". PWN, W-wa 1968 r.
58. S. Beer - "Cybernetyka a zarządzanie". PWN,  
W-wa 1966.

Wykonano w 20 egz.

Egz. nr 1-20 B.T.

Wyk.ppłk Stojanowski

Druk S.Cz.

nr 0843/0366/WW

TABELA ILOŚCI SAMOLOTÓW 2 i 4 PTSP

Typy samolotów	Ilość samolotów 2 PTSP	Ilość samolotów 4 PTSP
myśliwsko-bombowe	319	144
myśliwskie /obrony powietrz/	134	30
rozpoznawcze	81	174
bombowe	24	-
rozpoznania elektronicznego	-	24
myśliwskie	-	444
RAZEM /w tym WBJ/	558 /198 NBJ/	816 /516 NBJ/

Uwaga: NBJ - nosiciel broni jądrowej

TABELA PODSTAWOWYCH DANYCH TAKTYCZNO-TECHNICZNYCH SAMOLOTÓW NATO

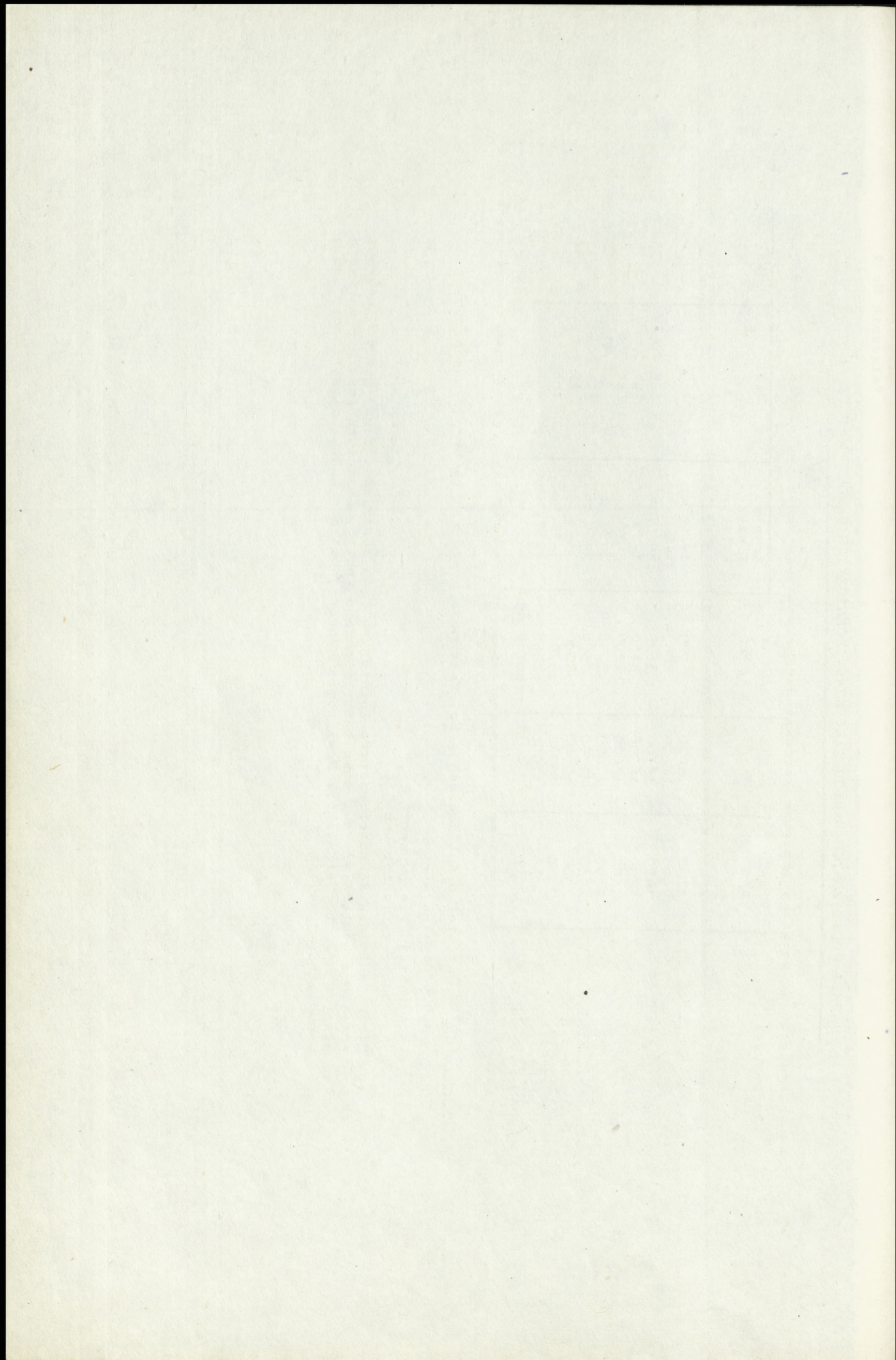
Typ samolotu	V max /km/godz./	H max /m/	D max /km/	Uzbrojenie		Udźwig bomb /kg/
				Armaty: liczba - kaliber	Rakiety	
F-111 A /NBJ/	2700	18000	6100	1-20 mm	4-8 k <sup>1/</sup>	17000
F-4E /NBJ/	2500	21000	4800	1-20 mm	4 k	8200
F-100D /NBJ/	1480	16500	3500	4-20 mm	4k lub 70n <sup>2/</sup>	3380
F-104G /NBJ/	2330	18300	3150	1-20 mm	2k lub 70n	1800
G-91	1100	15000	2200	2-30 mm	2k lub 76n	680
F-5	1500	17000	3000	2-20 mm	2 - 4k	2800
Mirage III /NBJ/	2350	21300	2500	2-30 mm	2k lub 68n	1200
Buccaneer S-2 /NBJ/	1300	15000	4000	-	4k	3600
Harrier GR-1	1150	15240	3700	2-30 mm	2k lub 68n	2700
B-52 /NBJ/	1040	17000	12000	4-12,7 mm	24k 24k	45000
Jaguar /w budowie/	2000	-	promień 650	2-30 mm	4k	4500

Uwagi: NBJ - nosiciel broni jądrowej. Np. F-4E może przenosić bomby jądrowe o mocy od 0,5 do 1100 kt.

1/ k - rakiety kierowane

2/ n - rakiety niekierowane

- Zwiększeniu skuteczności uderzeń lotniczych będą sprzyjać w dużej mierze laserowa aparatura bombardierska i nowe bomby "Command Vault". Aparatura laserowa zapewnia precyzyjność bombardowania. Nowa bomba konwencjonalna o wadze 7 ton niszczy wszystko w promieniu 1 km.



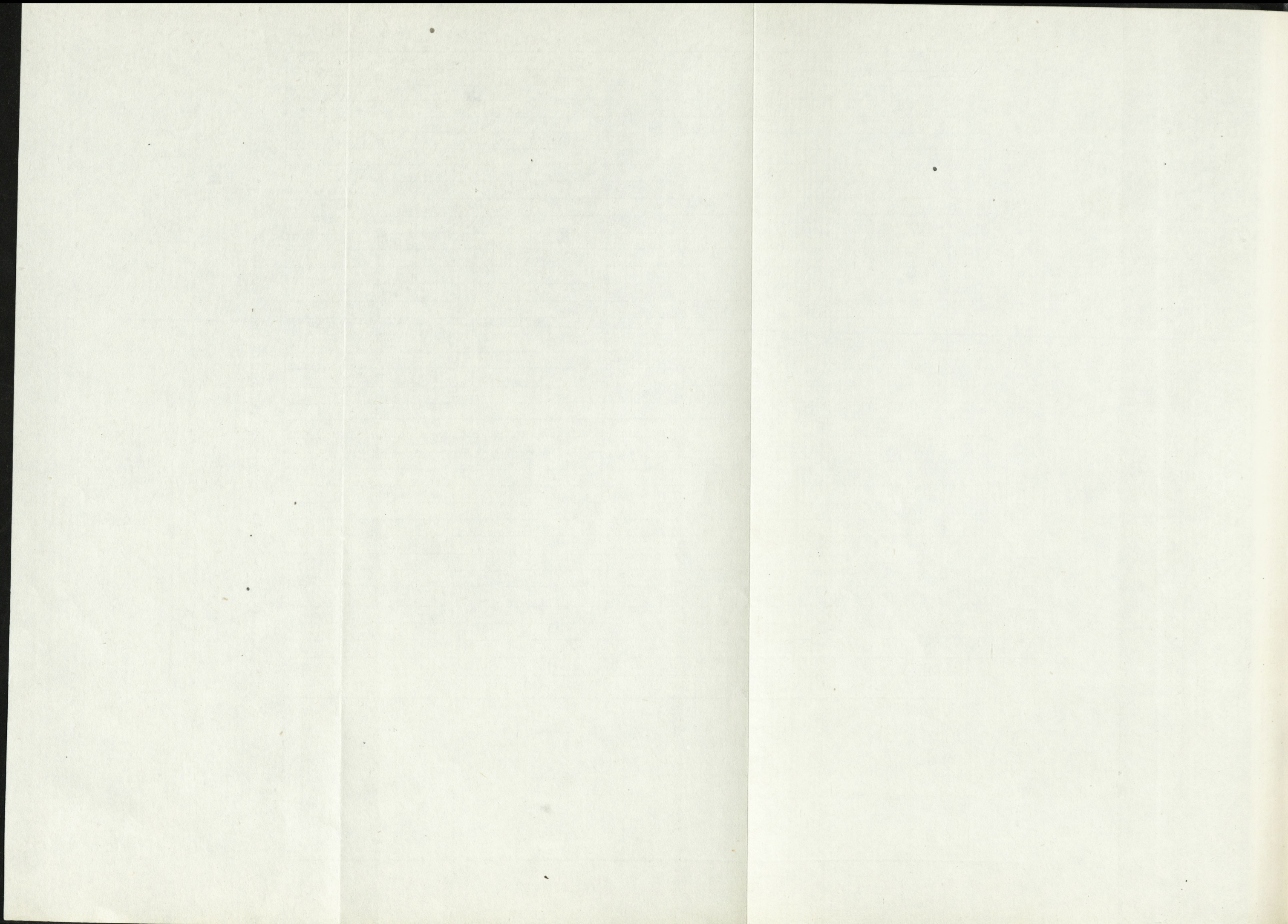
POTOKI INFORMACJI W PODSYSTEMIE DOWODZENIA WOJSK OPL

TAJNE  
Egz. nr...

SD OPL	ILOŚĆ GRUP INFORMACJI NA DOBĘ W SFERZE DOWODZENIA OPERACYJNEGO												SD OPL sąs. (P,D,A,F)					
	PD baterii	PD OPL pułku (pz,pcz)	SD paplot (prplot)	PD RLP	SD OPL DZ (DPanc)	SD ppre	SD OPL A	SD DLM	SD AL	SD OPK	SD OPL F	SD OPL II		SD OPL III				
PD baterii	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III
PD OPL pułku (pz,pcz)	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III
SD paplot (prplot)	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III
PD RLP	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III
SD OPL DZ (DPanc)	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III
SD ppre	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III
SD OPL A	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III
SD DLM	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III
SD AL	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III
SD OPK	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III
SD OPL F	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III
SD OPL sąs. (p,d,a,f)	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III

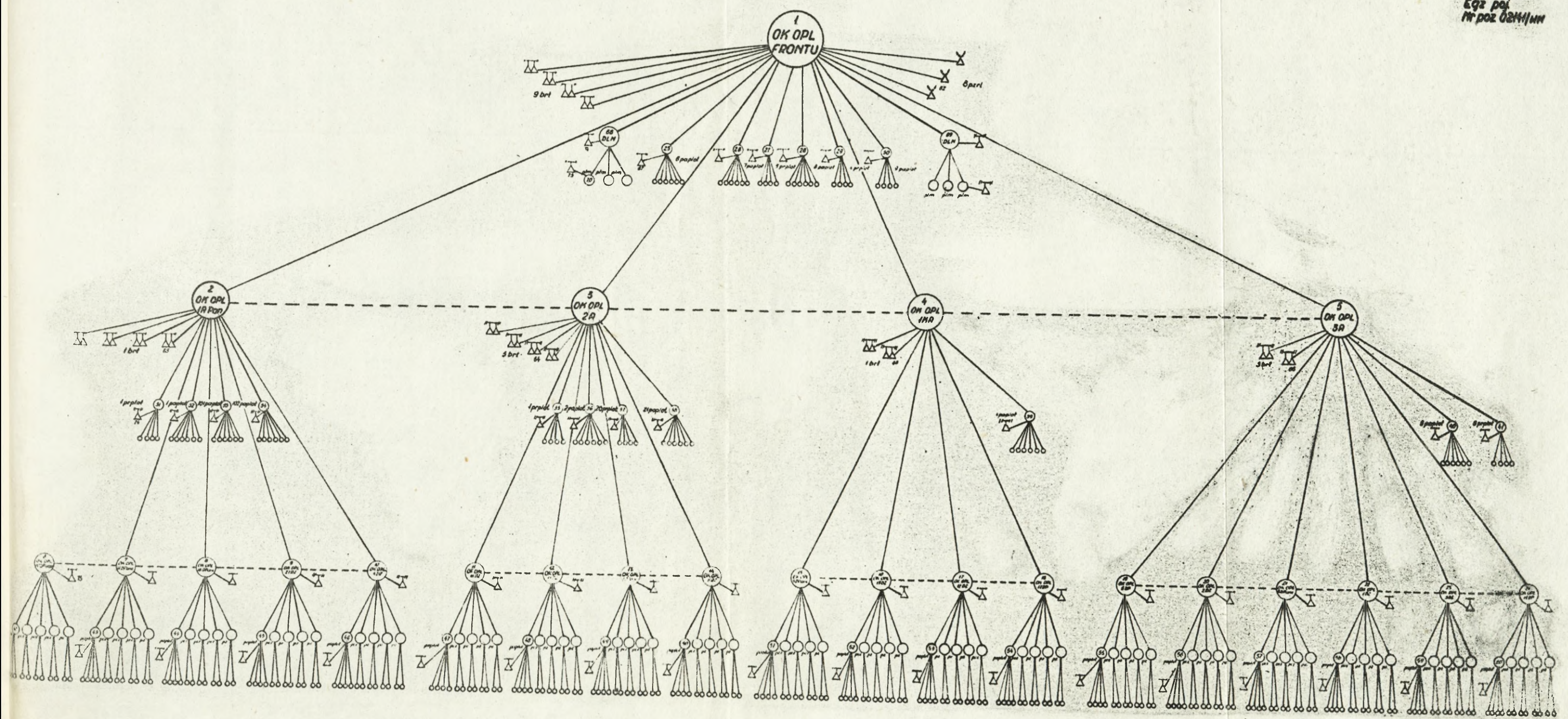
UWAGA: W LICZNIKU ZAPISANA JEST ILOŚĆ GRUP INFORMACJI PRZEKAZYWANA ZE ŹRÓDEŁ ZAPISANYCH W PIERWSZYM WIERSZU ;  
W MIANOWNIKU ZAPISANA JEST ILOŚĆ GRUP INFORMACJI PRZEKAZYWANA ZE ŹRÓDEŁ ZAPISANYCH W PIERWSZEJ KOLUMNIE ;  
INFORMACJA ZAPISANA JEST W DĘCIODZNAKOWYCH GRUPACH

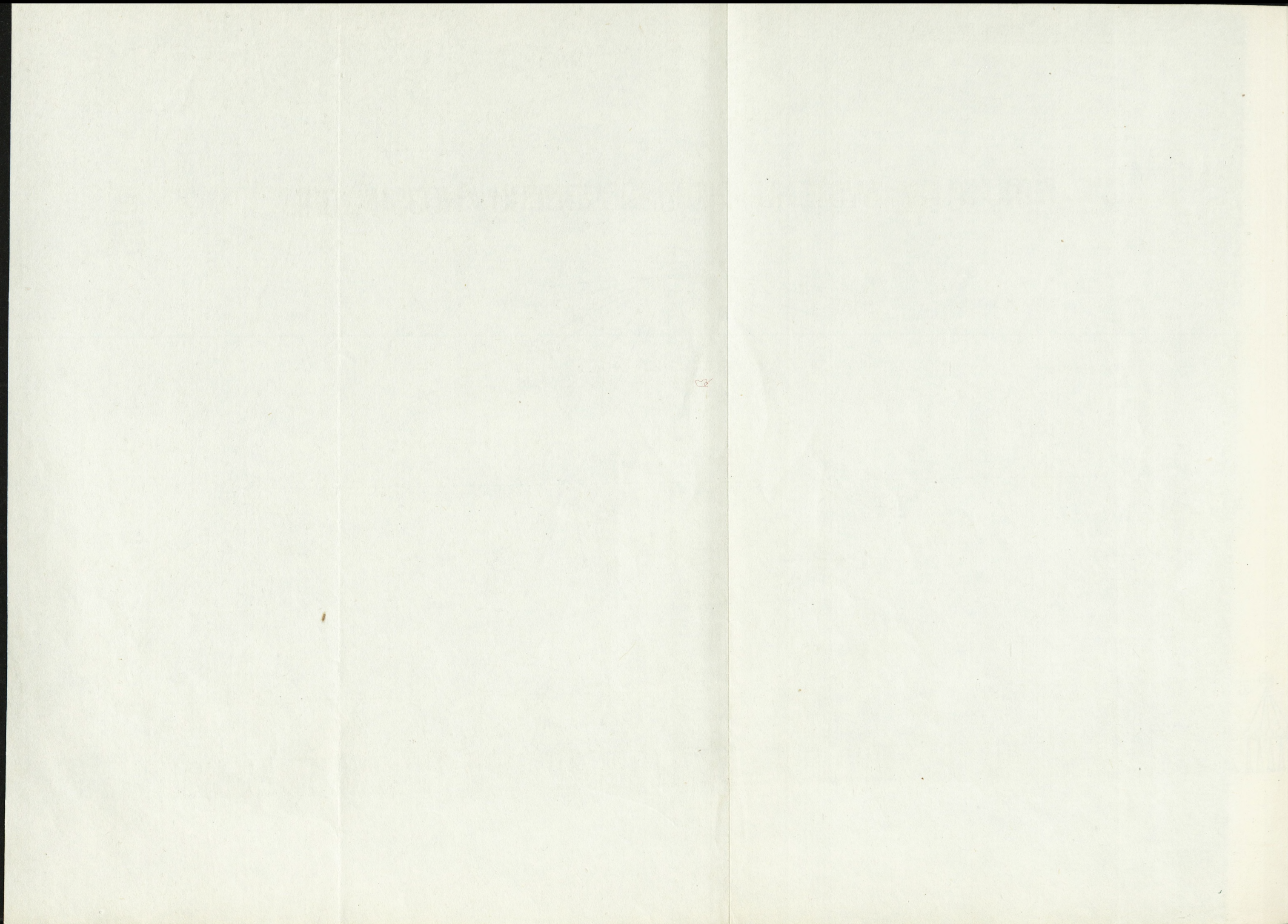
*Załącznik jest kopią dokumentu zamieszczonego w [3] i obowiązującego w armiach państw Układu Warszawskiego*



# GRAF STRUKTURY SYSTEMU INFORMACYJNEGO WOJSK OPL

  
**TAJNE**  
 Egz. pol.  
 Nr poz. 0244/1111





## ZBIÓR DANYCH STAŁYCH

Załącznik nr 5

, DS - 12Ø , 77 0

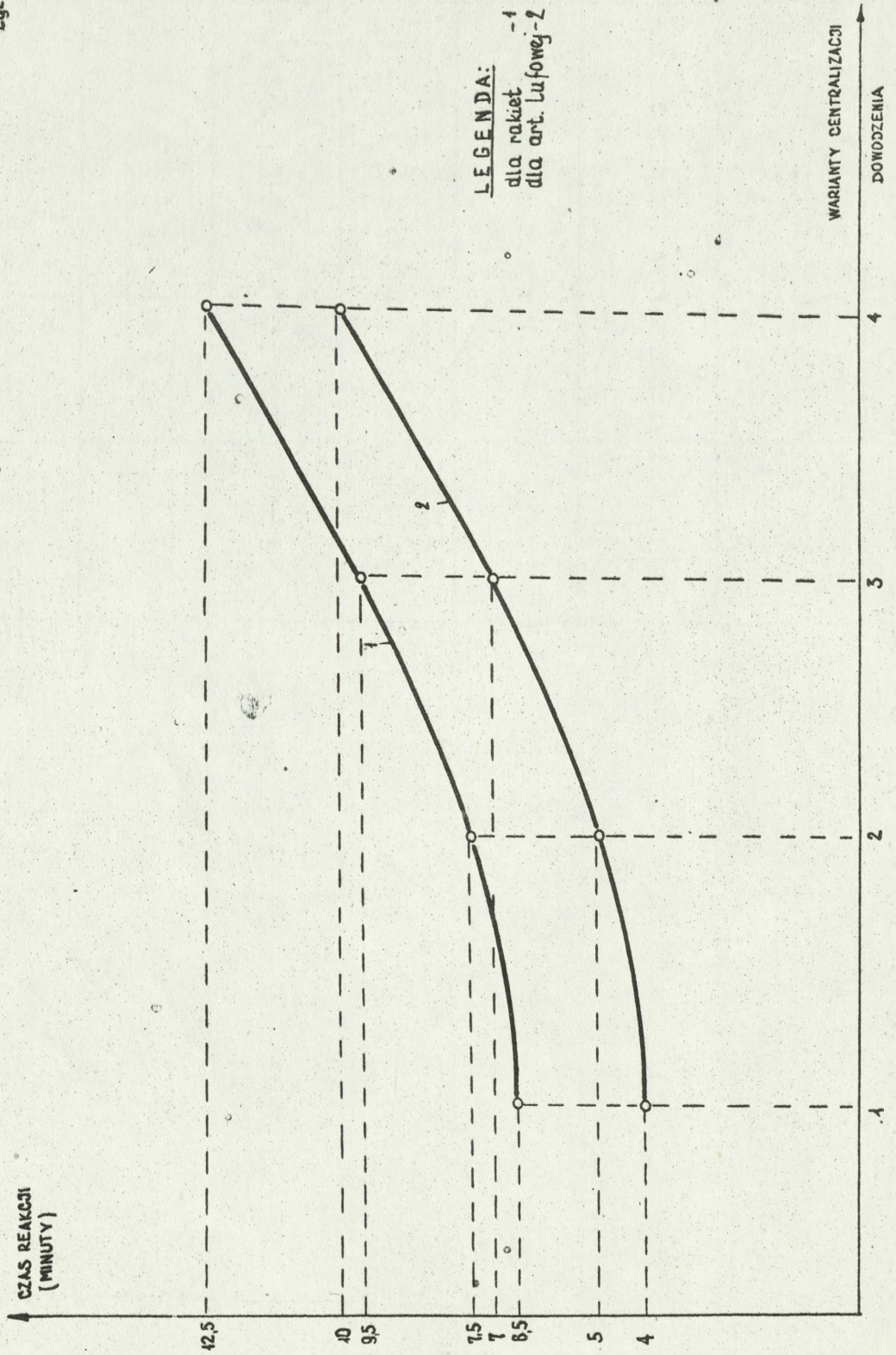
1	J	$d_{ij}$ km	$P_{ij}$	$t_{ij}$ w 10-ch sek	$a_{ij}$ w=100-ch zn/min	Znacznik końca
1	2	3	4	5	6	7
1	2	80	0,80	15	2430	
	3	155	0,80	12	2430	
	4	135	0,80	12	2430	
	5	145	0,80	12	2430	
	25	60	0,61	9	480	
	26	50	0,58	9	480	
	27	40	0,51	9	720	
	28	110	0,60	9	480	
	29	100	0,53	9	720	
	30	5	0,52	9	480	
	61	95	0,70	13	900	
	62	80	0,55	9	480	
	68	180	0,65	9	1150	
	69	180	0,65	9	1150	
	2	3	200	0,66	12	486
6		70	0,70	10	1944	
7		20	0,70	9	1944	
8		65	0,70	9	1944	
9		50	0,70	9	1944	
10		45	0,70	9	1944	
31		15	0,61	9	740	
32		20	0,57	9	480	
33		25	0,59	9	480	
34		5	0,52	9	480	
3	63	55	0,70	10	900	
	4	210	0,67	13	486	
	11	40	0,70	9	1944	
	12	90	0,70	9	1944	
	13	60	0,70	9	1944	
	14	45	0,70	9	1944	
	35	25	0,59	9	740	
	36	5	0,54	9	480	
	37	70	0,51	9	740	
	38	25	0,50	9	480	
64	70	0,58	9	900		

1	2	3	4	5	6	7
4	5	220	0,66	13	486	
	15	85	0,70	9	1944	
	16	30	0,70	9	1944	
	17	45	0,70	9	1944	
	18	40	0,70	9	1944	
	39	5	0,61	9	480	
	65	60	0,62	9	900	- 1
	19	55	0,70	9	1944	
	20	40	0,70	9	1944	
	21	30	0,70	9	1944	
	22	60	0,70	9	1944	
	23	25	0,70	9	1944	
	24	195	0,70	9	1944	
	40	5	0,50	9	480	
	41	20	0,53	9	740	
	66	20	0,51	9	900	- 1
6	7	35	0,57	8	426	
	42	15	0,55	6	480	
	75	5	0,70	8	220	- 1
7	8	30	0,57	8	426	
	43	10	0,50	6	480	- 1
8	9	30	0,57	8	426	
	44	10	0,60	6	480	- 1
9	10	35	0,57	8	426	
	45	10	0,61	6	480	- 1
10	46	15	0,62	6	480	- 1
11	12	30	0,57	8	426	- 1
12	13	34	0,57	8	426	
	48	15	0,59	6	480	- 1
13	14	30	0,57	8	426	
	49	20	0,58	6	480	- 1
14	50	15	0,57	6	480	- 1
15	16	34	0,57	8	426	
	51	20	0,56	6	480	- 1
16	17	31	0,57	8	426	
	52	10	0,54	6	480	- 1
17	18	30	0,57	8	486	
	53	15	0,55	6	480	- 1
18	54	15	0,53	6	480	- 1
19	20	40	0,57	8	486	

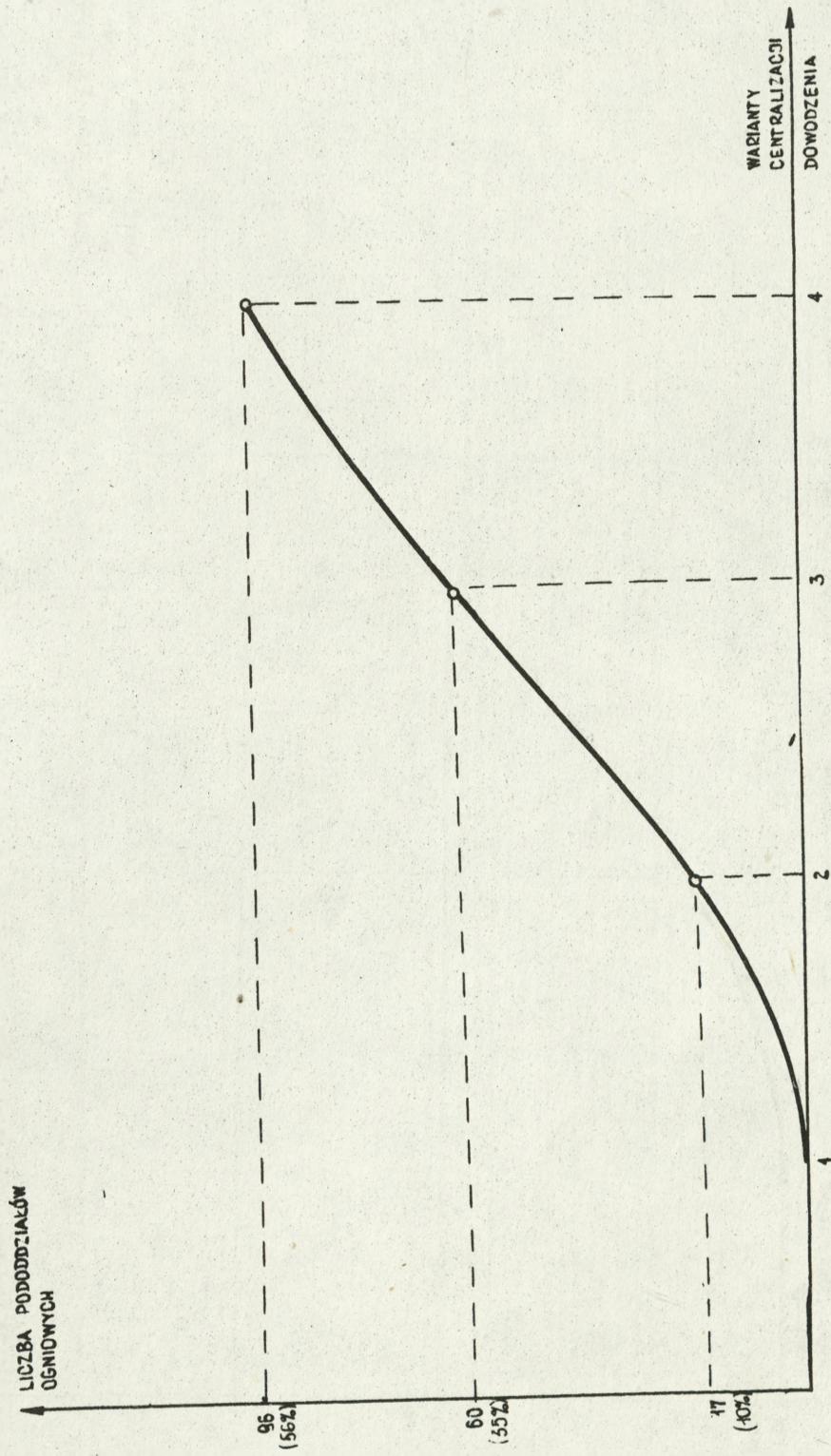
1	2	3	4	5	6	7
	55	15	0,52	6	480	- 1
20	21	32	0,57	8	486	
	56	15	0,51	6	480	- 1
21	22	30	0,57	8	486	
	57	15	0,58	6	480	- 1
22	23	36	0,57	8	486	
	58	10	0,52	6	480	- 1
23	24	32	0,57	8	486	
	59	15	0,54	6	480	- 1
24	60	15	0,55	6	480	- 1
25	67	2	0,70	8	220	- 1
31	74	2	0,70	8	220	- 1
42	76	2	0,70	8	220	
	77	5	0,65	16	220	- 1
68	70	90	0,58	6	490	
	72	1	0,70	3	220	- 1
69	71	100	0,57	6	490	- 1
70	73	2	0,70	3	200	- 1
- 1						
76	77					

СЫЛЧАНКИ № 2

CZASY REAKCJI SYSTEMU W ZALEŻNOŚCI OD WARIANTÓW CENTRALIZACJI DOWODZENIA

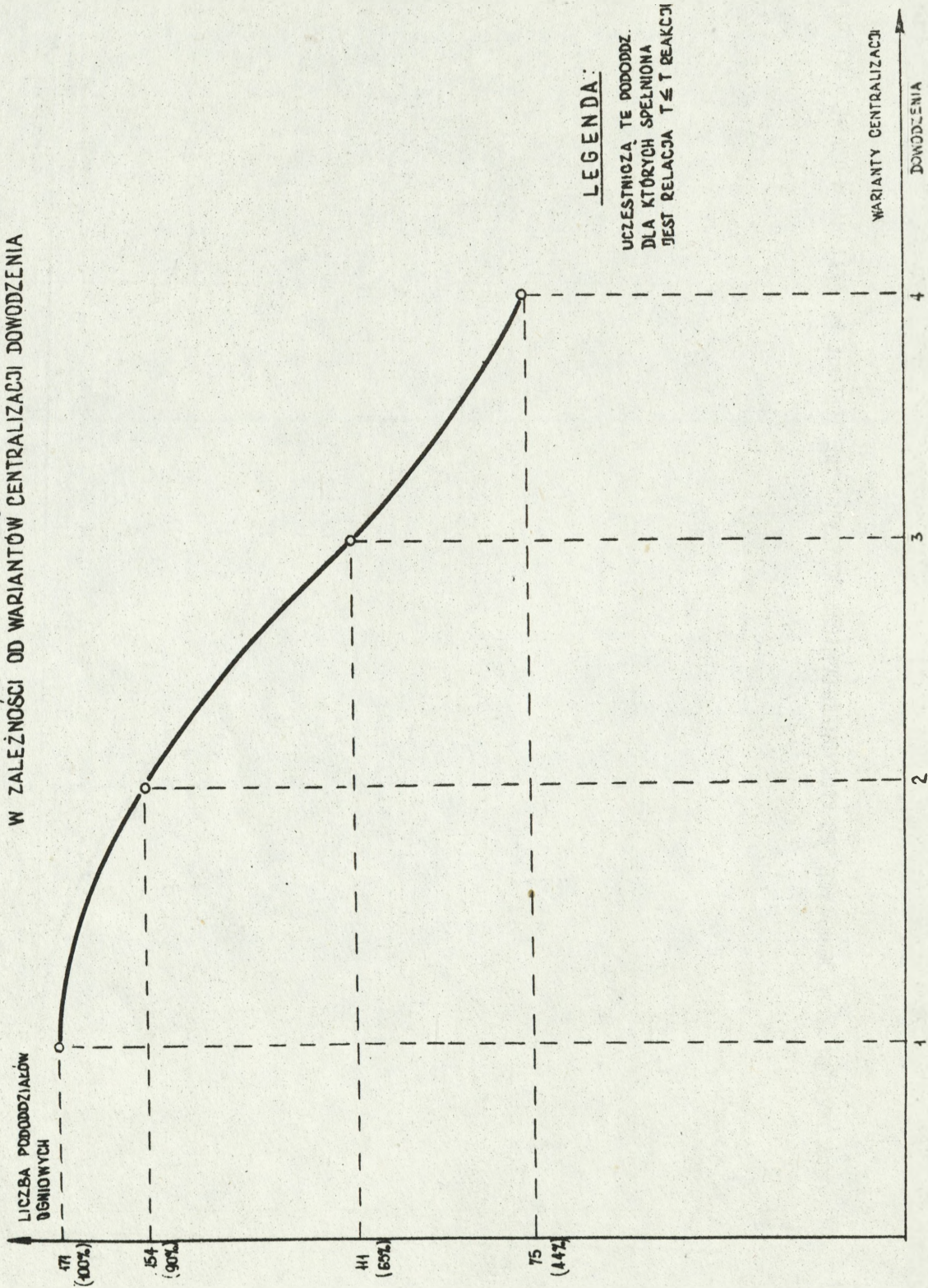


LICZBA PODODZIAŁÓW OGNIOWYCH DO KTÓRYCH INFORMACJA DECYZYJNA NIE ZOSTANIE PRZEKAZANA W CZASIE T ≤ T REAKCJI

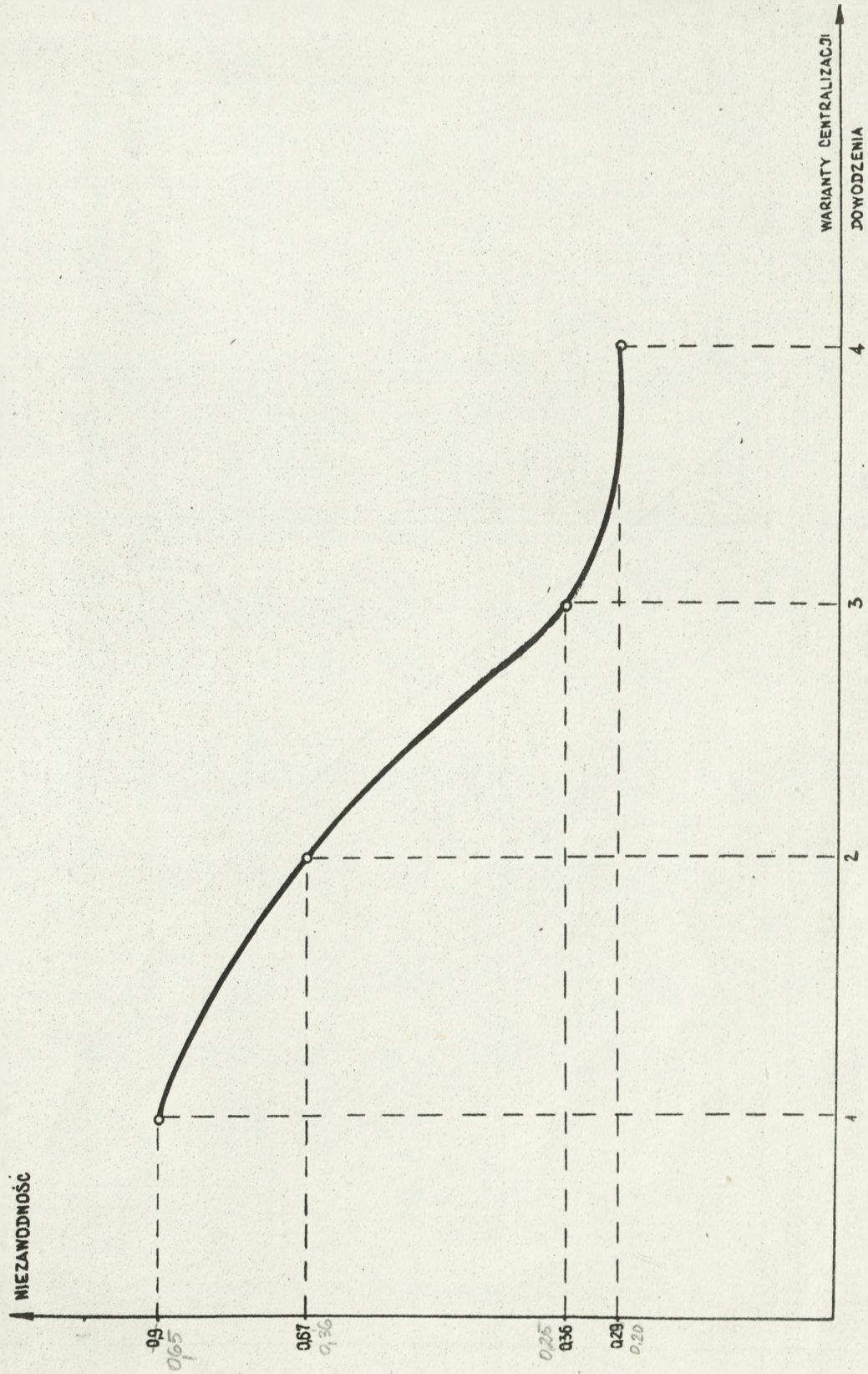


LICZBA PODODZIAŁÓW OGNIOWYCH UCZESTNICZĄCYCH W ODPARCIU ZMASOWANEGO NALOTU  
W ZALEŻNOŚCI OD WARIANTÓW CENTRALIZACJI DOWODZENIA

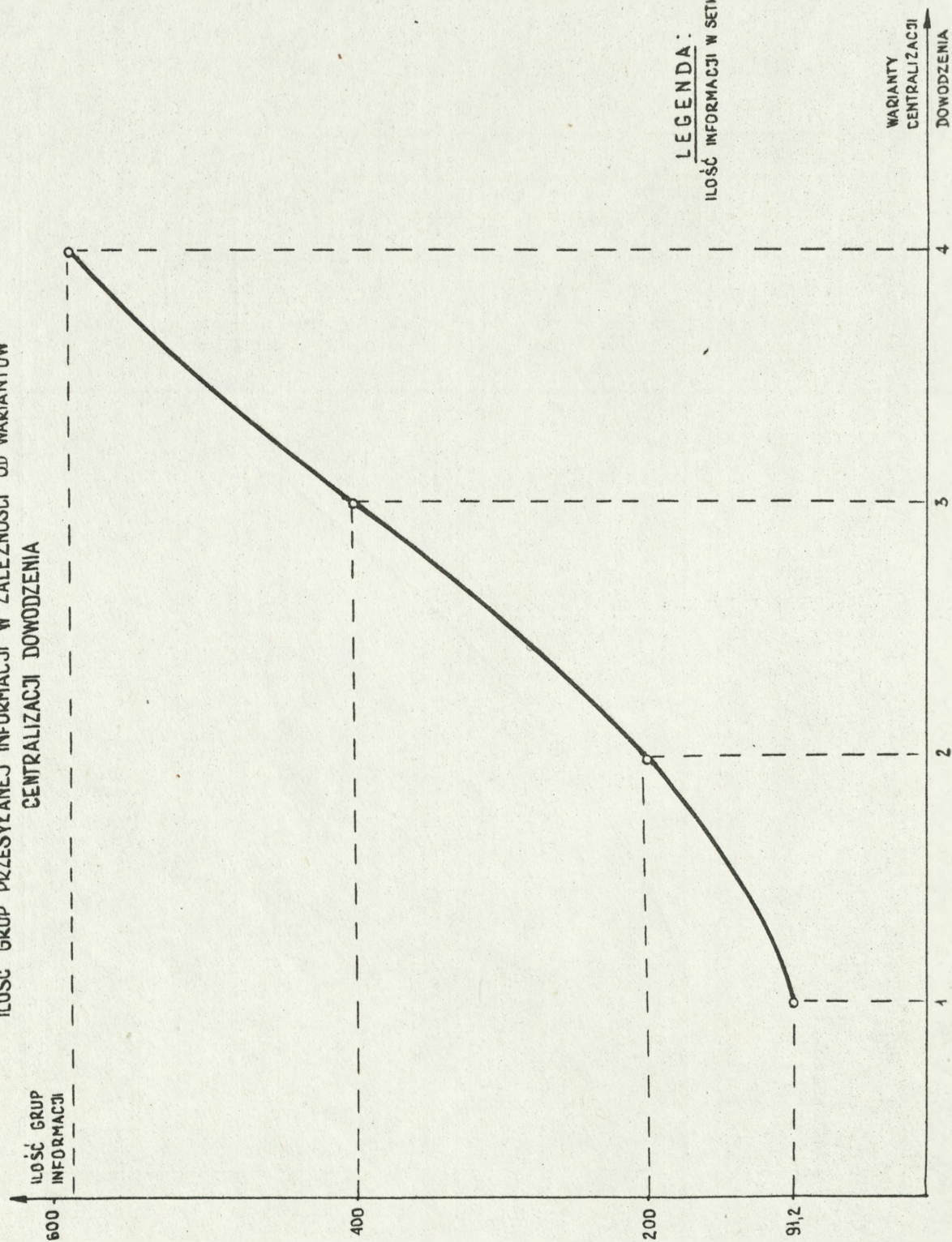
ZALĄCZNIK NR 8



NIEZAWODNOŚĆ PRZESYŁANIA INFORMACJI W ZALEŻNOŚCI OD WARIANTÓW CENTRALIZACJI DOWODZENIA



ILOŚĆ GRUP PRZESYŁANEJ INFORMACJI W ZALEŻNOŚCI OD WARIANTÓW  
CENTRALIZACJI DOWODZENIA



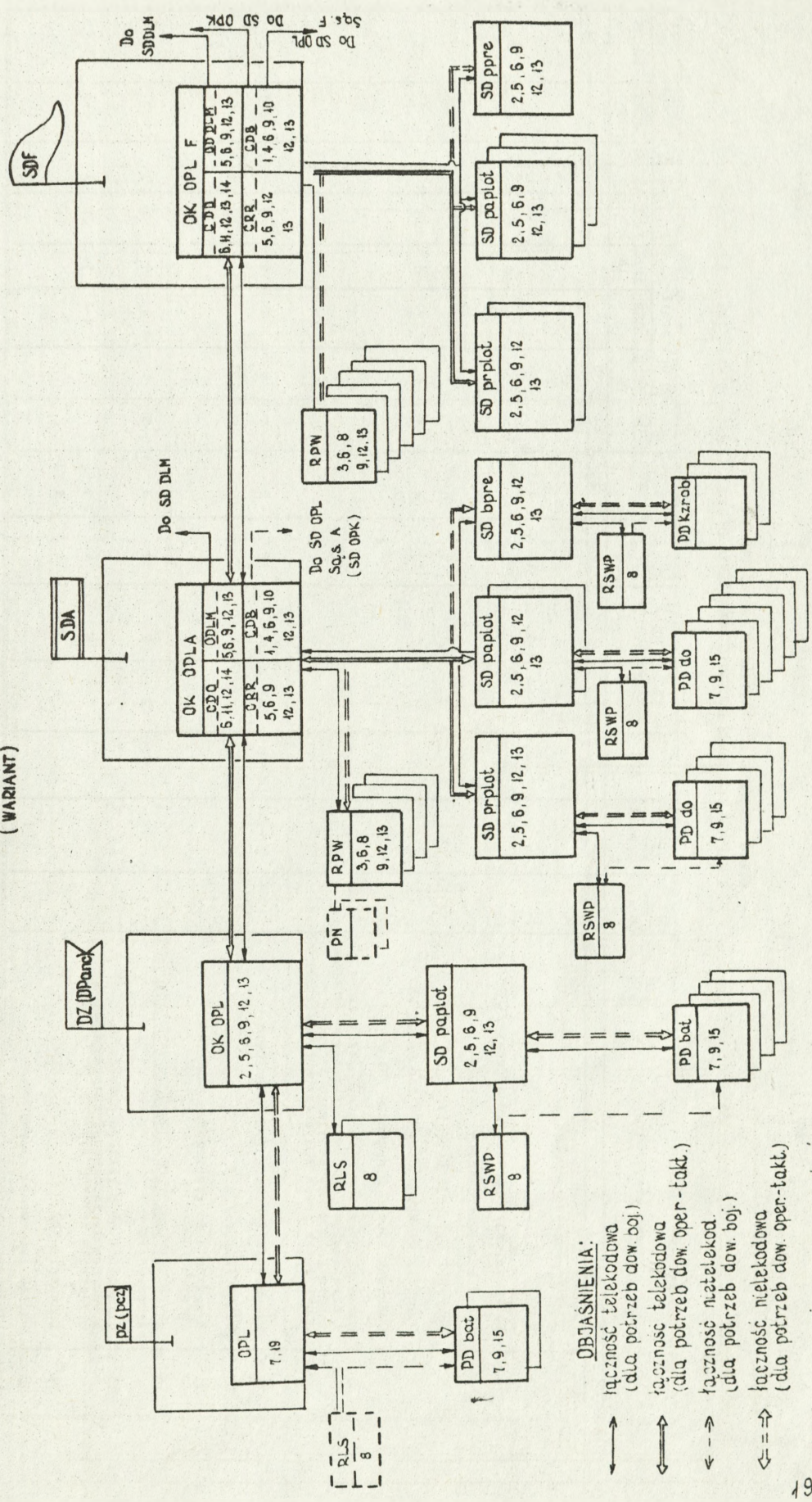


## FORMULARZ DANYCH ZMIENNYCH

CZĘŚĆ A							
4. METRYKA DANYCH ZMIENNYCH	DANE STERUJĄCE						
	2. SHIMB	3. COMPL	4. DENDR	5. OPTYM	6. EXTR	7. GENER	8. PRZEP
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
CZĘŚĆ B							
9. METRYKA CZĘŚCI „B” DANYCH ZM.	10. NUMERY WĘZŁÓW POCZĄTKOWYCH						
<input type="text"/>	<input type="text"/>						
							11. SYMBOL KOŃCA CZĘŚCI „B”
							<input type="text"/>
CZĘŚĆ C							
12. METRYKA CZĘŚCI „C” DANYCH ZM.	13. NUMERY WĘZŁÓW KOŃCOWYCH						
<input type="text"/>	<input type="text"/>						
							14. SYMBOL KOŃCA CZĘŚCI „C”
							<input type="text"/>
CZĘŚĆ D							
15. METRYKA CZĘŚCI „D” DANYCH ZM.	17. NR-Y WĘZŁÓW KOŃCOWYCH ORAZ SYMBOL KOŃCA INFORMACJI O DROGACH MAJĄCYCH WSPÓLNY WĘZŁ POCZĄTK						
<input type="text"/>	<input type="text"/>						
16. NUMER WĘZŁA POCZ ORAZ SYMBOL KOŃCA CZĘŚCI „D”							
<input type="text"/>	<input type="text"/>						

SCHEMAT STRUKTURY ORGANIZACYJNO-FUNKCJONALNEJ ZAUTOMATYZOWANEGO SYSTEMU DOWODZENIA OPL FRONTU  
( WARIANT )

Egz. nr...



OBJAŚNIENIA:

- ↔ łączność telekodowa (dla potrzeb dow. boj.)
- ↔ łączność telekodowa (dla potrzeb dow. oper-takt.)
- - - łączność nietelekod. (dla potrzeb dow. boj.)
- ↔ łączność nietelekodowa (dla potrzeb dow. oper-takt.)

Liczby oznaczają numery urządzeń automat. wyznaczonych w załączniku nr 14

WIAZ URZĄDZEN AUTOMATYZACJI PRZEZEWIDYWANYCH  
W ZAUTOMATYZOWANYM SYSTEMIE DOWODZENIA OPL

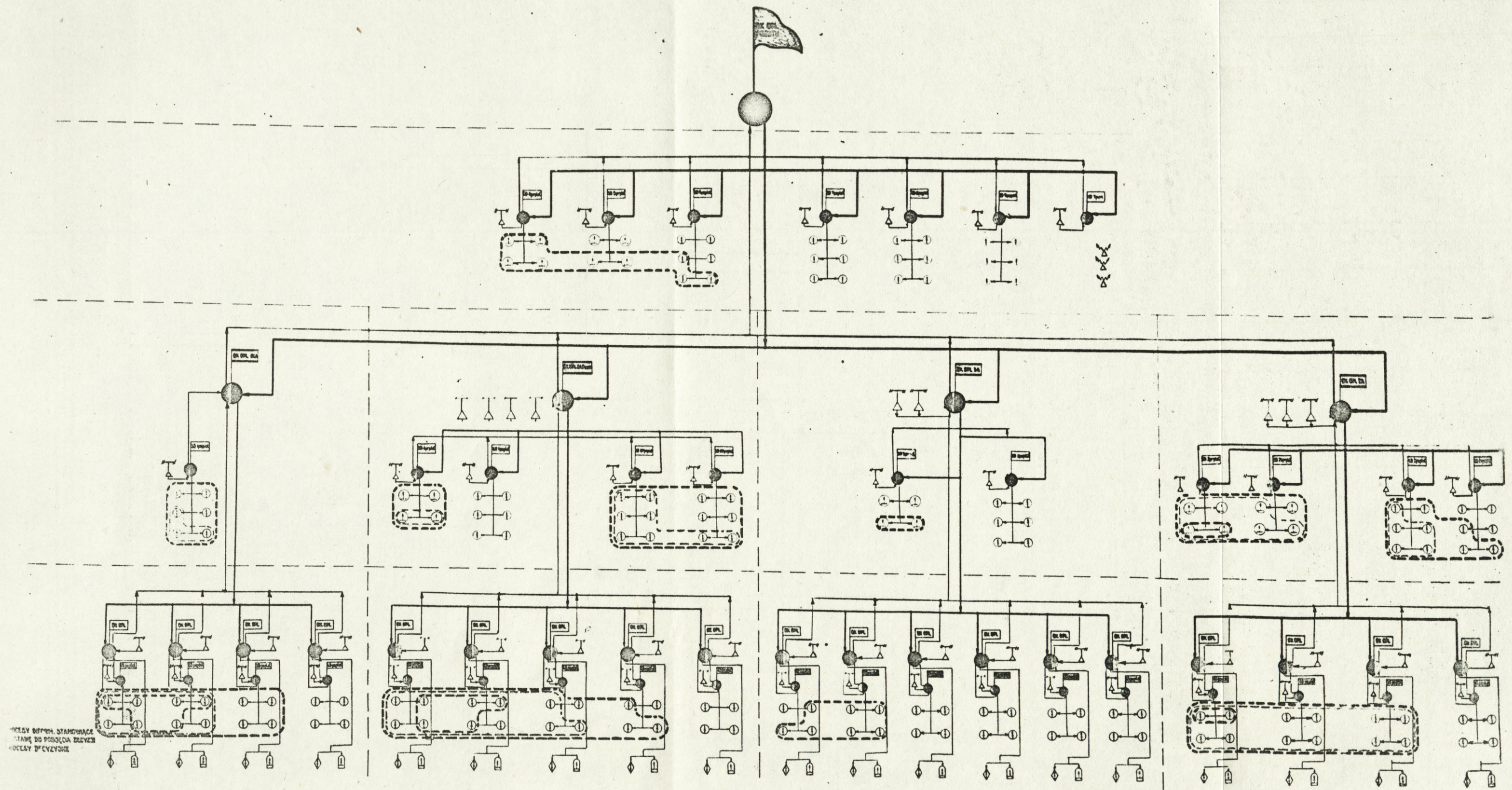
Lp	Nazwa urządzenia	FD pod- rodz. OPL	PD OPL pz /pcz/	RPW	SD papiot	SD papiot	SD Od- działu pre	SD OPL ZT	SD OPL armii				SD OPL frontu			
									ACDO	ACDB	ACRR	AOD IM	FCDO	FCDB	FCRR	FOD IM
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	SEMC / pierwszego rodzaju/				1 <sup>x</sup>	1	1 <sup>x</sup>			1 <sup>xx</sup>				1 <sup>xx</sup>		
2	SEMC / drugiego rodzaju /			1												
3	Elektroniczny przelicznik cyfrowy /EPC/															
4	Planszet elektroniczny / PE /															
5	Wskaźnik sytuacji powietrznej / WSP /															
6	Wskaźnik elektroniczny /alfanumer./ WE															
7	Wskaźnik komend i sygnałów /WKS/	1														
8	Wskaźnik obserwacji okrężnej /W/ wraz z urządzeniem do półautomatycznego /autom./ zdejnowania i przekazywania danych o wykrytych przez RLS obiektach powietrznych / E /.			3		1	1-2	2								
9	Urządzenie transmisji danych /UTD/	1		1		2-3	2	2	1	1	1	1	1	2-3	2-3	2
10	Multiplikator / M /															
11	Urządzenie do graficznego odzorow. inform. /UGO/															
12	Pulpit kierowania urządz.autom. i środk. łączn. / PK /			1		2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
13	Urządzenie do szybkiego przekazyw. i odbierania informacji /szybkopiszące urządzenie dalekopis./ SUD			1		2	1	1			1-2	1	1	3	2-3	1-2
14	Dalekopis /D/															
15	Dejtnik informacji /DI/	1														

x - Zamiast SEMC /drugiego rodzaju/ może być zastosowany EPC o zwiększonych nieco możliwościach obliczeniowych w porównaniu do UPA "RODAN"

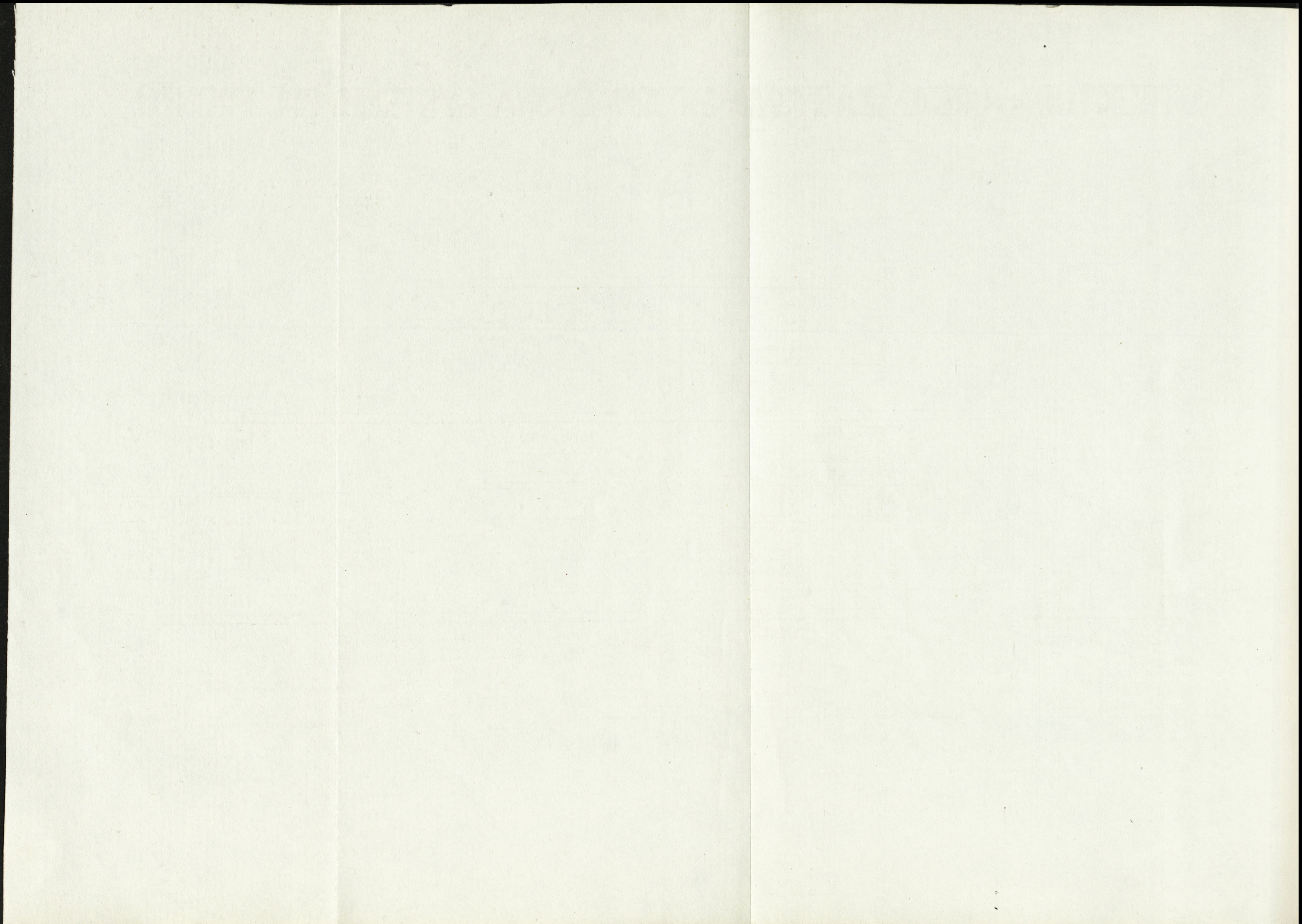
xx - w CREI

# STRUKTURA ORGANIZACYJNO-INFORMACYJNA SYSTEMU OPL FRONTU

Załącznik nr 15 0129 egz. 1



PROJEKTOWANO W STANOWISZCACH  
STANÓW DO PROJEKCJI DEWELP  
PROJEKTOWANO



# BLOKOWY SCHEMAT DOWODZENIA SYSTEMEM OPL W ŚWIETLE AUTOMATYCZNEJ REGULACJI I WIELKICH SYSTEMÓW

Poziom samoorganizacji i współdziałania

Poziom adaptacji i optymalizacji

$$\max_{\alpha} Q(\bar{V}, \bar{Z}, \bar{C}, \bar{C}', \bar{F}, \bar{F}', \alpha)$$

Poziom optymalizacji

$$\bar{F} = \bar{F}(\bar{V}, \bar{Z}, \bar{C}, \alpha)$$

Poziom regulacji

$$\max Q(\bar{F}, \bar{Z}, \bar{u}, \bar{c})$$

$$\max \bar{E}[q(\bar{e}(\bar{F}))]$$

$$\bar{e} = \bar{F} - \bar{C}'\bar{Z}'$$

$$\bar{c}(t) = g(\bar{u}(t), \bar{Z}(t))$$

$$q = q(\bar{e}(t), \bar{u}(t), \bar{Z}(t))$$

$$h[\bar{e}(t), \bar{u}(t)] \geq 0$$

$$\bar{u}(t) = u[\bar{e}(t), \bar{Z}(t), \bar{u}'(t)]$$

