

Redaktorzy:

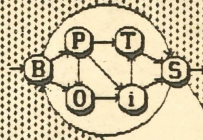
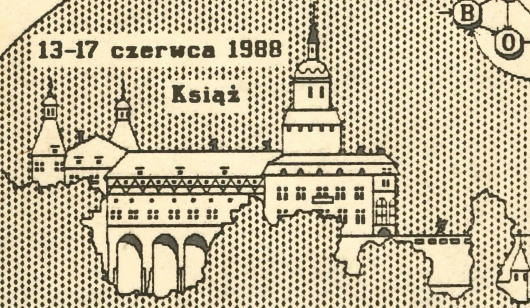
A. Straszak

Z. Nahorski

J. Sikorski

13-17 czerwca 1988

Książ



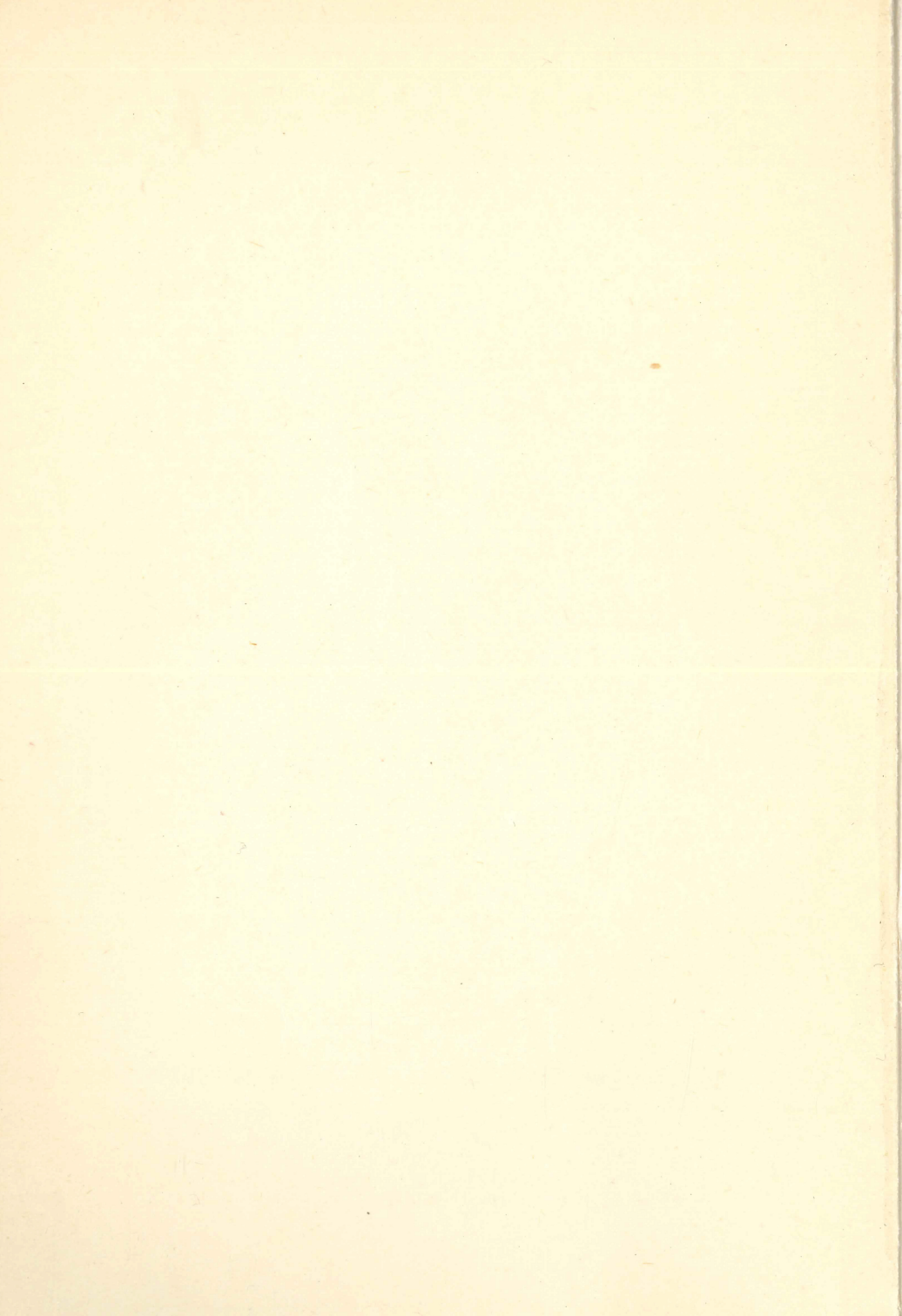
# 1. Krajowa Konferencja Badań Operacyjnych i Systemowych

Tom 1

**BOS'88**

POLSKIE TOWARZYSTWO BADAŃ  
OPERACYJNYCH I SYSTEMOWYCH

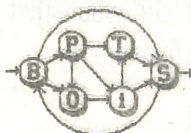
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK



POLSKIE TOWARZYSTWO BADAŃ OPERACYJNYCH I SYSTEMOWYCH

Tom 1

**OPTYMALIZACJA  
METODY I ZASTOSOWANIA**



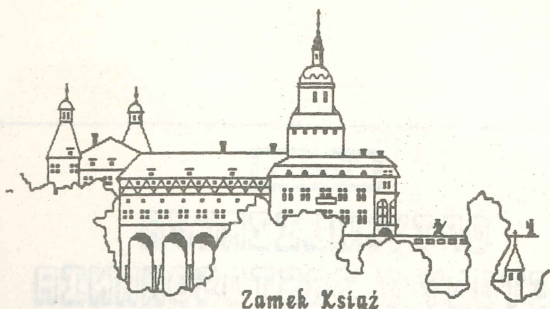
**I KRAJOWA KONFERENCJA  
BADAŃ  
OPERACYJNYCH  
i  
SYSTEMOWYCH**

**Książ. 13 - 17 czerwca 1988**

**BOS'88**

**INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

**1989  
WARSZAWA**



# I Krajowa Konferencja Badań Operacyjnych i Systemowych

## Organizator konferencji

Polskie Towarzystwo Badań Operacyjnych i Systemowych  
przy współpracy  
Instytutu Badań Systemowych PAN

## Komitet naukowy konferencji

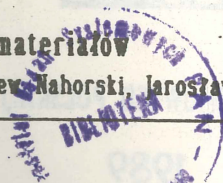
Jerzy Hołubiec, Andrzej Kałuszko, Jerzy Kisielnicki, Henryk Kowalowski,  
Roman Kulikowski, Franciszek Marecki, Zbigniew Nahorski,  
Stanisław Piasecki, Jarosław Sikorski, Jan Stachowicz, Jan Stasiński,  
Andrzej Straszak, Maciej Sysło, Władysław Świtalski

## Redaktorzy naukowcy materiałów

Andrzej Straszak, Zbigniew Nahorski, Jarosław Sikorski

9.1

N.173

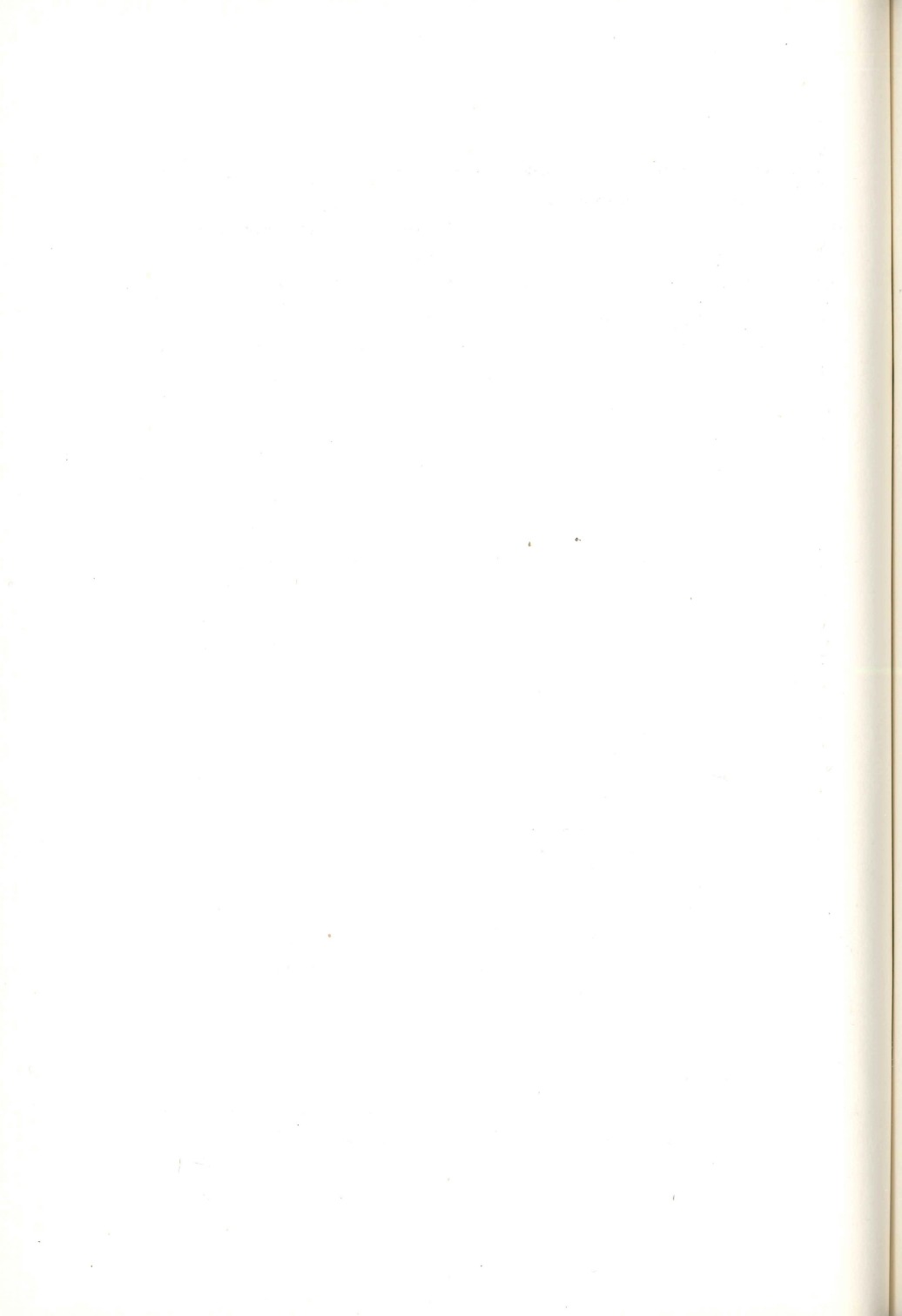


ZPZC

Bibli. podrecznica

41278/I





## 4. Harmonogramowanie

## OPTIMALIZACJA PROCESU WYKONAWSTWA REMONTÓW ZA POMOCĄ METODY PERT

Władysław Brzozowski

Instytut Elektroenergetyki

Politechnika Częstochowska

Al. Zawadzkiego 17

42-201 Częstochowa

W referacie przedstawiono metodologię i rezultaty optymalizacji procesu wykonawstwa remontów urządzeń systemu technicznego za pomocą metody PERT na przykładzie bloku energetycznego. Zrealizowana w tym zakresie praca wchodzi w skład kompleksowego programu badawczego nad metodologią modelowania i optymalizacji procesu eksploatacji elektrowni.

Sieć remontu urządzeń bloku energetycznego objęła ok. 1000 makroczynności. Sieć optymalizowano za pomocą oryginalnej, heurystyczno - analitycznej, iteracyjnej procedury, opisaney w referacie.

### 1. Zakres badań.

Badania zrealizowano na przykładzie bloku energetycznego 200 MW w jednej z wielkich elektrowni krajowych. Dla urządzeń bloku energetycznego opracowano



sieci czynności remontowych składające się z 273 makroczynności remontu turbiny, 282 - remontu kotła, 154 - generatora i urządzeń elektrycznych oraz 242 - urządzeń pomocniczych. W/w makroczynności dzielono jeszcze na czynności związane z wykorzystaniem środków transportowych. Sieci cechowały się dużą szczegółowością. Przyjęto definicję czynności remontowej jako takiego minimalnego kwantu procesu, który cechuje się jednorodnością operacji, stałością miejsca realizacji oraz stałością ilościowego i jakościowego zapotrzebowania na środki ludzkie i techniczne: transportowe, narzędzia i materiały. Stwierdzono, że tylko w warunkach takiej odpowiednio dużej szczegółowości możliwa jest optymalizacja procesu.

W sieciach uwzględniono nie tylko właściwe czynności remontowe ale i wszystkie inne czynności pomocnicze, a szczególnie pomiarowo-kontrolne. Sieci zilustrowano fragmentem na rys.1 z zakresu części średnioprężnej turbiny. Dane odpowiadające temu wycinkowi zestawiono w tablicy 1.

Sieci poddano procesowi wielowymiarowej i wielowariantowej optymalizacji, w której nie tylko poszukiwano minimum czasu trwania przedsięwzięcia ale również minimum wykorzystania środków: ludzkich i technicznych a w tym optimum organizacji robót, zarówno w sensie globalnym (liczba i dobór firm wykonawczych, wielkość zaangażowanego potencjału własnego, rozdział zadań) jak i szczegółowym (czas i kolejność oraz podzielność realizacji operacji, alokacja środków na operacje, dostępność środków

oraz liczność i organizacja brygad).

Obliczenia realizowano z wykorzystaniem pakietu programowego PERT f-my ICL na mc.Odra 1305, w poszczególnych pojedynczych przebiegach optymalizacyjnych, w trybie analizy czasu i środków, wzbogacając go, za pomocą specjalnego systemu przygotowania danych, o dodatkowe możliwości uwzględniania różnych aspektów remontów w elektrowniach (nadgodziny, wymogi BHP). Opracowano też oryginalną heurystyczno-analityczną iteracyjną procedurę optymalizacji procesu, opisaną dalej. Należy zaznaczyć, że złożoność procesu uniemożliwia zastosowanie tu czystych metod analitycznych.

## 2. Metodologia modelowania i optymalizacji sieci remontu.

Sieć remontu jest bezkonturowym grafem  $[P, U]$ ,

gdzie:  $P$  - zbiór wierzchołków (zdarzeń);

$U$  - zbiór łuków (czynności remontowych).

$$\langle p_i, p_j \rangle \in U : p_i \rightarrow p_j$$

Każdej czynności remontowej przypisujemy zapotrzebowanie na

środki:  $S_n^l$  ( $n=1, 2, \dots, N$ ) ludzkie, w  $N$  specjalnościach, o

dostępnościach: progowej  $S_n^{l, \text{prog}}$  i maksymalnej  $S_n^{l, \text{max}}$ ;

$S_m^l$  ( $m=1, 2, \dots, M$ ) techniczne  $M$  typów, o dostępnościach:

$S_m^{l, \text{prog}} = S_m^{l, \text{max}}$ ;  $S^A, S^B$  oraz  $S_x$  ( $x=1, 2, \dots, X$ ) - fikcyjne, celem

uwzględnienia ponadprogowego powiększenia funduszu czasu pracy (nadgodzin) oraz wyłączności realizacji niektórych czynności w czasie.

Celem obliczeń optymalizacyjnych w ramach lokalnej

optymalizacji za pomocą pakietu PERT jest wygenerowanie funkcji:

$$T_{\min} = f(Z, S^l)$$

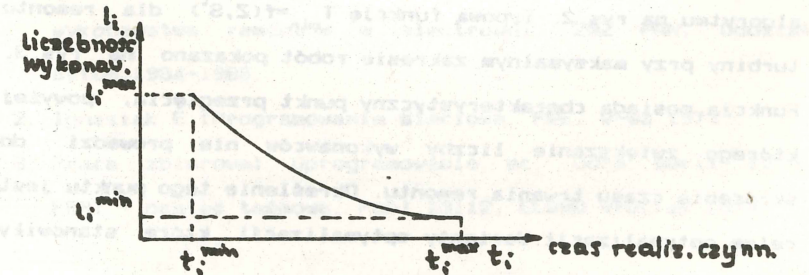
gdzie: Z - zakres remontu bloku;

$S^l$  - łączna wielkość zaangażowanych środków ludzkich, które podlegają dalszej wielokryterialnej optymalizacji na nadrzędnym szczeblu optymalizacji eksploatacji elektrowni.

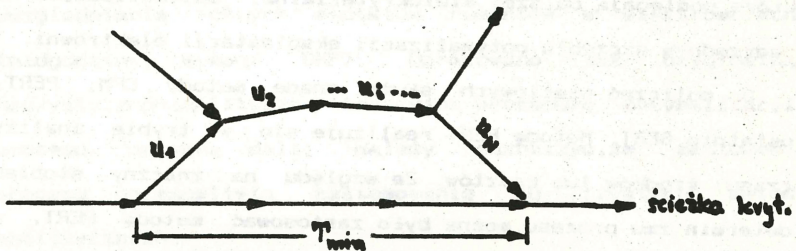
Do obliczeń sieciowych służą znane metody CPM, PERT, ostatnio GERT. Metodę PERT realizuje się w trybie analizy czasu, środków lub kosztów. Ze względu na znaczny stopień determinizmu procesu można było zastosować metodę PERT, w trybie analizy środków - optymalizacja wg. kosztów dokonuje się na nadrzędnym szczeblu optymalizacji eksploatacji elektrowni.

Wspomniany na wstępie pakiet ICL realizuje optymalizację sieci w trybie analizy środków za pomocą kombinowanej procedury analityczno-heurystycznej z alokacją dostępności środków na czynności, jednak bez optymalizacji zapotrzebowania środków przez czynności.

Zapotrzebowanie to dla każdej czynności można przedstawić funkcją:



W wyniku minimalizacji czasu przedsięwzięcia określa się ścieżkę krytyczną, czynności krytyczne które wyznaczają tę ścieżkę oraz drogi wyznaczone przez czynności podkrytyczne i niekrytyczne, takie jak pokazana poniżej przykładowa droga  $u_1, u_2, \dots, u_N$ :



Optymalizacja zapotrzebowania środków na czynności polega na określeniu punktów  $t_i^{opt}, t_i^{opt}$  dla czynności podkrytycznych i niekrytycznych. Można to zrealizować wg. kryterium Bellmanna:

$$\min_{\langle t_i \rangle_{i=1,2,\dots,N}} \sum_{i=1}^N l_i(t_i)$$

$$\text{przy ograniczeniu } \sum_{i=1}^N t_i = T_{min} \quad (1)$$

Opracowaną iteracyjną analityczno-heurystyczną procedurę optymalizacyjną przedstawiono w postaci uproszczonego algorytmu na rys.2. Typową funkcję  $T_{min} = f(Z, S^1)$  dla remontu turbiny przy maksymalnym zakresie robót pokazano na rys.3. Funkcja posiada charakterystyczny punkt przegięcia, powyżej którego zwiększanie liczby wykonawców nie prowadzi do skrócenia czasu trwania remontu. Określenie tego punktu jest celem optymalizacji. Warianty optymalizacji które stanowiły

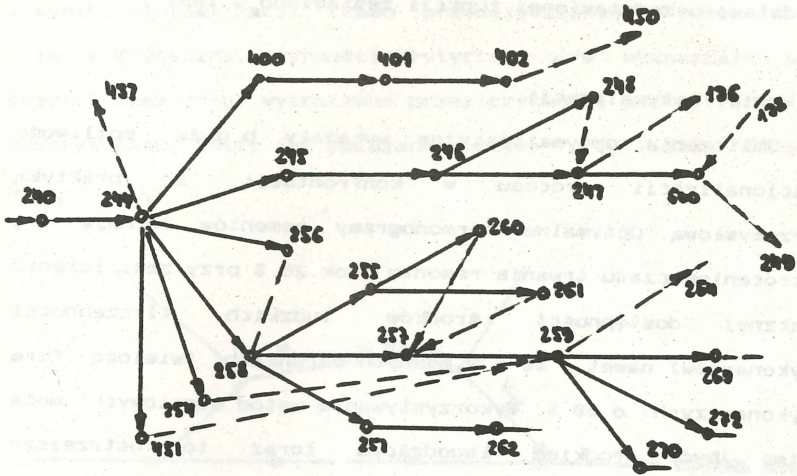
podstawę przedstawionej funkcji zestawiono w tabl.2.

### 3. Wyniki optymalizacji.

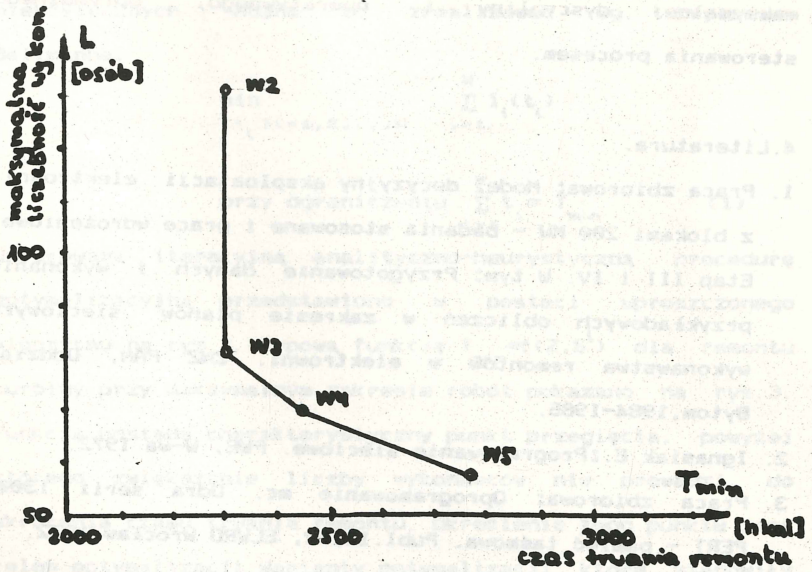
Obliczenia optymalizacyjne wykazały b. dużą możliwość racjonalizacji procesu w konfrontacji z praktyką przemysłową. Optymalne harmonogramy remontów cechują się skróceniem czasu trwania remontu o ok. 20 % przy zmniejszeniu łącznej dostępności środków ludzkich (liczebności wykonawców) nawet o 40 a w pewnych warunkach (wielość firm wykonawczych) o 50 %. Wykorzystywanie metod sieciowych może więc być środkiem łagodzącym coraz to ostrzejsze ograniczenia związane z siłą roboczą w przemyśle. Harmonogramy optymalne są jednak trudniejsze do realizacji (podzielność czynności, większa mobilność brygad); wymagają maksymalnej dyscypliny i operatywnego, optymalnego sterowania procesem.

### 4. Literatura.

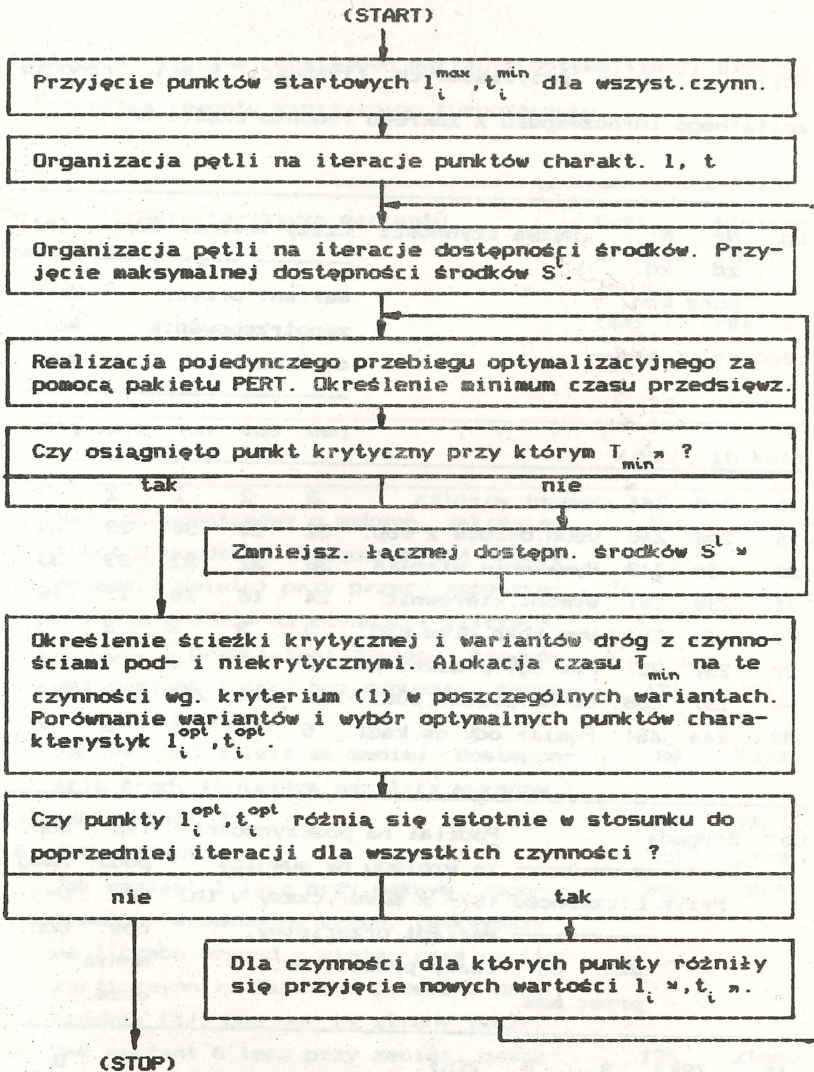
1. Praca zbiorowa: Model decyzyjny eksploatacji elektrowni z blokami 200 MW - badania stosowane i prace wdrożeniowe. Etap III i IV. W tym: Przygotowanie danych i wykonanie przykładowych obliczeń w zakresie planów sieciowych wykonawstwa remontów w elektrowni. ZNZ PAN, Oddział Bytom, 1984-1985.
2. Ignasiak E.: Programowanie sieciowe. PWE, W-wa 1972.
3. Praca zbiorowa: Oprogramowanie mc. Odra serii 1300. PERT - pamięć taśmowa. Publ. 13112, ELWRD Wrocław 1972.



Rys. 1. Fragment sieci czynności remontu turbiny



Rys. 3. Wykres typowej funkcji  $T_{min}(z, S^1)$ .



Rys.2. Uproszczony schemat blokowy iteracyjnej procedury optymalizacyjnej.

Tablica 1. Dane przykładowych czynności sieci remontu kapitalnego turbozespołu z zakresu remontu części SP.

Lp	Nr. zd.	Nr. zd.	Nazwa czynności	Czasy trwania czynn. [h]				
				Wariant przec. zapotrzebowania środków			War. max. zap.	
				pes.	opt.	npr.	prz.	prz.
15	240	244	Wymont.wirnika	3	2	2	2	2
16	244	245	Usun.osadów z łop.	32	24	30	29	24
20	600	249	Wyważenie wirnika	36	32	32	33	33
21	250	251	Wymont.kierownic	24	16	18	19	16
22	244	254	Wym.korp.dław.kad.	3	3	3	3	3
27	250	257	Pom.def.płaszcz.pd.	8	6	6	6	6
28	257	258	Skrob.płaszcz.podz.	280	240	250	253	160
32	244	451	Pomiar odk.os.kadł.	6	4	5	5	4

Lp	Brygada	Podział na podczynności ze względu na suwnicę			Typ podz.	Dop. nadg.
		Przyn	Liczebność (S)	- z suwn., czasy w [h]		
				DP-	D-	
				dow.	dop.	
				N-nie	dozw.	
				War. przec	War. max.	
				czasy przeciętne.		
15	ZRE	3	3	2(S)	N	D
16	ZRE	3	4	29	DP	D
20	ZRE	3	3	3,28(S),2	DP	D
21	ZRE	2	3	11,8(S)	DP	D
22	ZRE	2	2	2(S)	N	D
27	ZRE	2	2	1(S),4,1(S)	DP	D
28	ZRE	6	8	1(S),5,1(S),5,1(S), itd.	DP	D
32	ZRE	2	3	5	DP	D



Tablica 2. Wybrane podstawowe warianty optymalizacji procesu wykonawstwa remontu kapitalnego turbozespołu.

Nr. war.	Charakterystyka wariantu	Dost. środków ludzk. (max. l. wykon.)	Minimalny czas realiz. remont.
		L	T <sub>min</sub>
		[osób]	[h.kal]
1	Wariant podstawowy o maksym. zakresie robót z dopuszcz. nadgodzin (24 h/dobę +niedz. i święta) przy przec. zapotrzebowaniu środków na czynności (liczebn. brygad) i przeciętnej dostępn. środków.	131	1022
2	Jak wariant 1 lecz bez dopuszcz. nadgodzin (12 h/dobę).	131	2312
3	Jak wariant 2 lecz ze zmniejsz. dostępnością środ. (mniejszą max. licz. wykonaw.)	80	2314
4	Jak wariant 3	70	2457
5	Jak wariant 3	58	2779
6	Jak wariant 1 lecz przy maksym. zapotrzebow. środków na czynn. (maksymalna liczebn. brygad - minim. czas realizacji czynn.). Założona podwójna dost. środków (tj. bez ogr. ze strony ludzi).	262	989
7	Jak wariant 6 lecz przy zmniejsz. dostępności środków i bez dopuszcz. nadg.	128	2196
8	Jak wariant 7	108	2196
9	Jak wariant 7	78	2216
10	Wariant minim. zakresu remontu. Pozostałe dane jak dla wariantu 1.	131	805
11	Jak wariant 10 lecz bez dopusz. nadg.	131	1548

- (1) ...
- (2) ...
- (3) ...
- (4) ...
- (5) ...
- (6) ...
- (7) ...
- (8) ...
- (9) ...
- (10) ...
- (11) ...
- (12) ...
- (13) ...
- (14) ...
- (15) ...
- (16) ...
- (17) ...
- (18) ...
- (19) ...
- (20) ...
- (21) ...
- (22) ...
- (23) ...
- (24) ...
- (25) ...
- (26) ...
- (27) ...
- (28) ...
- (29) ...
- (30) ...
- (31) ...
- (32) ...
- (33) ...
- (34) ...
- (35) ...
- (36) ...
- (37) ...
- (38) ...
- (39) ...
- (40) ...
- (41) ...
- (42) ...
- (43) ...
- (44) ...
- (45) ...
- (46) ...
- (47) ...
- (48) ...
- (49) ...
- (50) ...
- (51) ...
- (52) ...
- (53) ...
- (54) ...
- (55) ...
- (56) ...
- (57) ...
- (58) ...
- (59) ...
- (60) ...
- (61) ...
- (62) ...
- (63) ...
- (64) ...
- (65) ...
- (66) ...
- (67) ...
- (68) ...
- (69) ...
- (70) ...
- (71) ...
- (72) ...
- (73) ...
- (74) ...
- (75) ...
- (76) ...
- (77) ...
- (78) ...
- (79) ...
- (80) ...
- (81) ...
- (82) ...
- (83) ...
- (84) ...
- (85) ...
- (86) ...
- (87) ...
- (88) ...
- (89) ...
- (90) ...
- (91) ...
- (92) ...
- (93) ...
- (94) ...
- (95) ...
- (96) ...
- (97) ...
- (98) ...
- (99) ...
- (100) ...

# Zarząd

Polskiego Towarzystwa Badań Operacyjnych i Systemowych



## Prezes

prof.dr hab.inż. Andrzej Straszak  
Instytut Badań Systemowych PAN

## Wiceprezes

prof.dr hab.inż. Jan Stasiński  
Wojskowa Akademia Techniczna

## Wiceprezes

prof.dr hab.inż. Stanisław Piasecki  
Instytut Badań Systemowych PAN

## Sekretarz generalny

dr inż. Zbigniew Nahorski  
Instytut Badań Systemowych PAN

## Sekretarz

dr inż. Jarosław Sikorski  
Instytut Badań Systemowych PAN

## Skarbnik

dr inż. Andrzej Kafuszko  
Instytut Badań Systemowych PAN

## Członkowie

prof.dr hab. Jerzy Kisielnicki  
Wydział Zarządzania UW

doc.dr hab.inż. Bohdan Korzan  
Wojskowa Akademia Techniczna

doc.dr hab.inż. Jan Słachowicz  
Zakład Nauk Zarządzania PAN

doc.dr hab.inż. Maciej Sysło  
Instytut Informatyki UW.

## Komisja rewizyjna

PRZEWODNICZĄCY

dr Władysław Świtalski  
Katedra Cybernetyki i Badań Operacyjnych UW

## CZŁONKOWIE

dr inż. Janusz Kacprzyk  
Instytut Badań Systemowych PAN

dr inż. Marek Malarski  
Instytut Transportu PW

doc.dr hab. Henryk Sroka  
Akademia Ekonomiczna w Katowicach

dr inż. Leon Słomiński  
Instytut Badań Systemowych PAN

TBS

41278  $\frac{1}{1}$

ZP2C -

~~Bib. podręczna~~

**PION III**