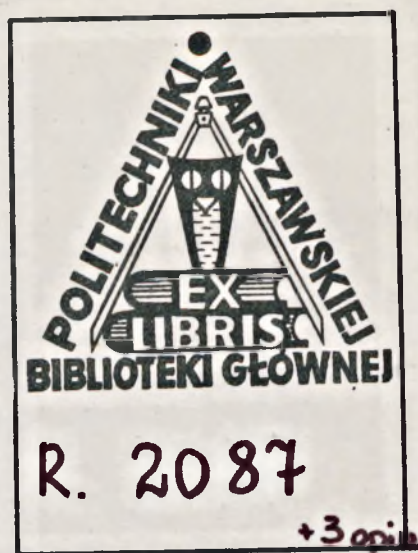
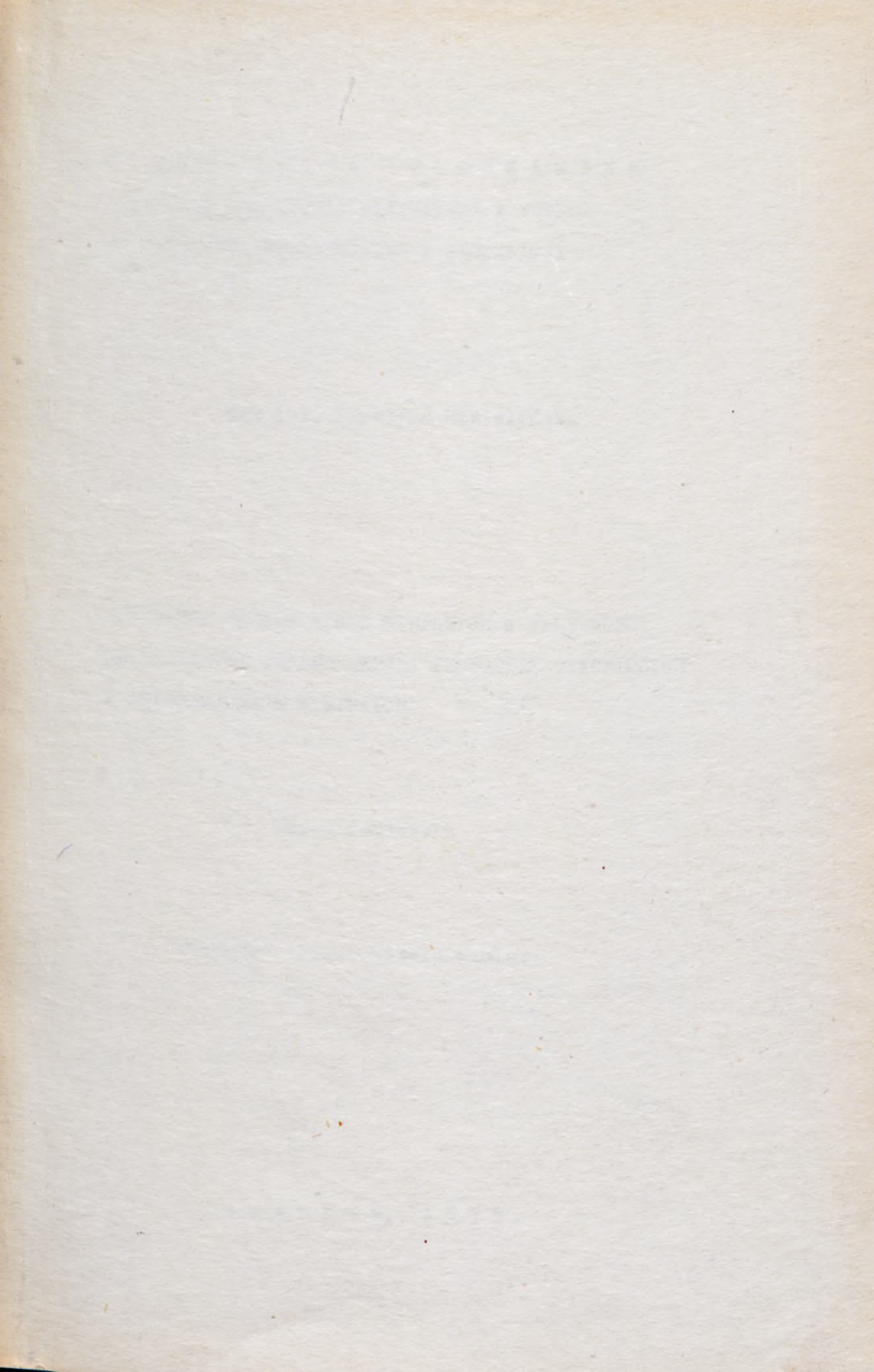


390541

+3opie





697.34:711.4:043

P O L I T E C H N I K A W A R S Z A W S K A

WYDZIAŁ INŻYNIERII SANITARNEJ I WODNEJ

INSTYTUT OGRZEWNICTWA I WENTYLACJI

mgr inż. Krystyna Mizielińska

OPTYMALNE UKŁADY SIECI CIEPLNYCH W ZALEŻNOŚCI
OD STRUKTURY PRZESTRZENNEJ JEDNOSTEK OSADNICZYCH
W AGLOMERACJACH MIEJSKICH

Praca doktorska

Promotor: Prof. Witold Kamler

W a r s z a w a, . 1 9 7 5

WYSTAWA WARSZAWA 1955

WYSTAWA WARSZAWA 1955

WYSTAWA WARSZAWA 1955

WYSTAWA WARSZAWA 1955

WYSTAWA WARSZAWA 1955

WYSTAWA WARSZAWA 1955



WYSTAWA WARSZAWA 1955

WYSTAWA WARSZAWA 1955

WYSTAWA WARSZAWA 1955

WYSTAWA WARSZAWA 1955

Spis treści

	str
1. Wstęp	1
1.1. Cel pracy	1
1.2. Czynniki wpływające na ukształtowanie sieci ciepłych	2
2. Systemy osadnicze w aglomeracjach miejskich w aspekcie sieci ciepłowniczych	4
2.1. Uwagi ogólne na temat aglomeracji miejskich	4
2.2. Rozwój sieci ciepłowniczych w aspekcie rozwoju aglomeracji miejskich	6
2.3. Podstawowe układy sieci ciepłych	9
3. Analiza wielkości wpływających na poszczególne koszty wodnych sieci ciepłych oraz związana z tym funkcja celu przyjęta w pracy i jej uproszczenia	14
3.1. Funkcja celu przyjęta w pracy i jej uproszczenia	18
4. Matematyczna interpretacja założeń do opracowywania problemu wyznaczania układu sieci ciepłych	21
4.1. Interpretacja analityczna	21
4.2. Zastosowanie teorii grafów	24
5. Wybrane metody optymalizacji grafów oraz ich zastosowanie w problemie poszukiwania optymalnych układów sieci ciepłych	26
6. Wyznaczanie optymalnych układów sieci ciepłych "pajęcznych"	35
6.1. Sformułowanie problemu	35
6.1.1. Opracowanie modelu matematycznego sieci ciepłej pajęcznej	36
6.1.2. Sposób rozwiązania problemu w aspekcie przyjętej funkcji celu	39

6.2. Analiza włączenia sieci cieplnej pajęcznej w miejski układ ciepłowniczy	44
7. Metody poszukiwania optymalnych układów sieci cieplnych promieniowych	52
7.1. Wyznaczanie przewodów ciepłowniczych metodą wykreślną "Szifrinson-Leontiewa"	53
7.2. Wyznaczanie trasy przewodów ciepłowniczych metodą "ślizgającego się żebra"	60
7.3. Analiza metody opisanej w punkcie 7.2. i porównanie z metodą przedstawioną w punkcie 7.1.	63
7.3.1. Opis opracowanego programu na EMC	64
7.3.2. Przykłady przedstawiające efekty omawianej metody i opracowanego programu na EMC	66
7.4. Metodyka ustalania optymalnego układu sieci cieplnej promieniowej wyeksponowana przez autora niniejszej pracy	72
8. Metoda wyznaczania kierunku przebiegu przewodu magistralnego, zaproponowana przez autora pracy	77
8.1. Sformułowanie problemu	77
8.2. Sposób rozwiązania	78
8.3. Przykłady ilustrujące sposób rozwiązania	84
9. Poszukiwanie optymalnych układów sieci cieplnych pierścieniowych i wielopierścieniowych	88
9.1. Najkorzystniejsze układy sieci cieplnych pierście- niowych na przykładzie modelowych aglomeracji miejskich	89
9.2. Niektóre problemy dotyczące projektowania sieci cieplnych pierścieniowych i wielopierścieniowych	93

9.3. Zaproponowana technika ustalania najkorzystniejszych układów sieci cieplnych wielopierścieniowych w oparciu o proste modele teoretyczne	99
10. Wnioski i uwagi ogólne	104
11. Załączniki	106
12. Piśmiennictwo	107

1. WSTĘP

1.1. C e l p r a c y

Sieć ciepłna jest jednym z podstawowych elementów uzbrojenia podziemnego nowoczesnych jednostek urbanistycznych.

Z dynamiki wzrostu wskaźników jednostkowego zapotrzebowania ciepła /32/ oraz z przyjętych planów rozwoju budownictwa mieszkaniowego w Polsce w najbliższym 10-leciu wynika, że należy liczyć się ze znacznym wzrostem zapotrzebowania ciepła. Analogiczny wpływ ma planowany rozwój przemysłu.

Wymaga to dostosowania systemów ciepłowniczych do pokrycia tych potrzeb. Przy czym nie może to odbywać się tylko drogą ilościowego zwiększania systemów ciepłowniczych, ale również konieczne jest wprowadzenie rachunków optymalizacyjnych dla istniejących i projektowanych rozwiązań technicznych.

Sieć ciepłna wymaga i wymagać będzie dużych nakładów organizacyjnych, inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Tak więc oszczędności związane z wprowadzeniem optymalnego w danych warunkach układu sieci ciepłnej będą mieć również znaczny wpływ na całość przedsięwzięcia.

W praktyce projektowej wybór drogi prowadzenia sieci ciepłowniczej wykonywany jest na ogół intuicyjnie. Sposób prowadzenia trasy przewodów ciepłowniczych zależy więc w dużej mierze od zasobu doświadczenia projektanta. Podawane w projektach rozwiązania, ze względu na swój subiektywny charakter mogą znacznie odbiegać od rozwiązań optymalnych.

Optymalnymi układami sieci ciepłnych przyjęto w pracy nazywać układy najlepsze ze względu na wybrane w pracy kryterium optymalizacyjne /p.pkt 3/ zwane też funkcją celu.

Przy czym rozpatrywać można problem optymalnego rodzaju układu sieci ciepłnej /pierścieniowa, promieniowa,/ względnie optymalnej konfiguracji sieci w ramach danego rodzaju układu.

W pracy niniejszej zajęto się właśnie tym drugim problemem, co znalazło odbicie w układzie merytorycznym pracy.

Tezą niniejszej pracy jest ustalenie zasad prowadzenia tras przewodów ciepłowniczych różnych rodzajów układów sieci ciepłnych wodnych w oparciu o metody matematyczne oraz warunki techniczno-ekonomiczne.

Celem zaś jest opracowanie podstaw teoretycznych tj. metod i metodologii przeprowadzania analizy omawianego zagadnienia dla ułatwienia prac projektowych i wyeliminowania w jak największym stopniu możliwości przyjęcia rozwiązania błędnego.

1.2. C z y n n i k i w p ł y w a j ą c e n a u k s z t a ł t o w a n i e s i e c i c i e p l n y c h

Na ukształtowanie sieci ciepłnych mają wpływ bardzo liczne determinanty. Pełne ich uwzględnienie znacznie komplikuje decyzję wyboru rozwiązania.

Zasadniczy wpływ mają tu głównie:

- lokalizacja i ilość punktów odbioru, wielkość cieplna odbiorów,
- lokalizacja źródeł zasilania, ich moc cieplna i ilość,
- warunki urbanistyczne oraz kolizje z uzbrojeniem terenu i urządzeniami oraz budowlami podziemnymi,

- zapewnienie wysokiego stopnia niezawodności dostawy czynnika grzejącego,
- rozwiązania techniczne i technologiczne poszczególnych elementów i urządzeń sieci ciepłych,
- uwzględnienie przyrostu obciążeń ciepłych.

Projektowanie tras przewodów ciepłowniczych dla nowo powstających jednostek osadniczych stwarza znacznie mniejsze trudności w porównaniu z projektowaniem tras dla jednostek lub obiektów już istniejących.

Tak więc w przypadku obszarów budownictwa starego lub modernizowanego liczne przeszkody i kolizje z urządzeniami uzbrojenia podziemnego spowodować mogą znaczne odchylenia przyjętego układu sieci ciepłych od modelu uznanego za optymalny.

Wybór układu sieciowego jest zawsze ściśle powiązany z kompleksową koncepcją całego systemu ciepłowniczego /źródło-przesył-odbiorca/.

Jednakże ze względu na wpływ licznych czynników, wymienionych uprzednio, problem znalezienia układu sieci ciepłej może być w początkowym etapie prac projektowych traktowany jako odosobniony /i tak sam w sobie skomplikowany/. Uprości to znacznie możliwość jego rozwiązania i programowania.

Znajomość optymalnego układu sieci ciepłej i naniesienie go na plan urbanistyczny sugerować będzie i ukierunkuje przyjęcie układu właściwego w danych warunkach.

2. SYSTEMY OSADNICZE W AGLOMERACJACH MIEJSKICH W ASPEKcie SIECI CIEPŁOWNICZYCH

2.1. Uwagi ogólne na temat aglomeracji miejskich

Obserwowany w ostatnich dziesięcioleciach szybki rozwój jednostek osadniczych doprowadził do powstania wielkich skupień ludności i przemysłu, znajdujących się względem siebie w określonych współzależnościach. Skupienia te nazwano aglomeracjami miejskimi /1/.

W ramach kryteriów strukturalnych można wyróżnić:

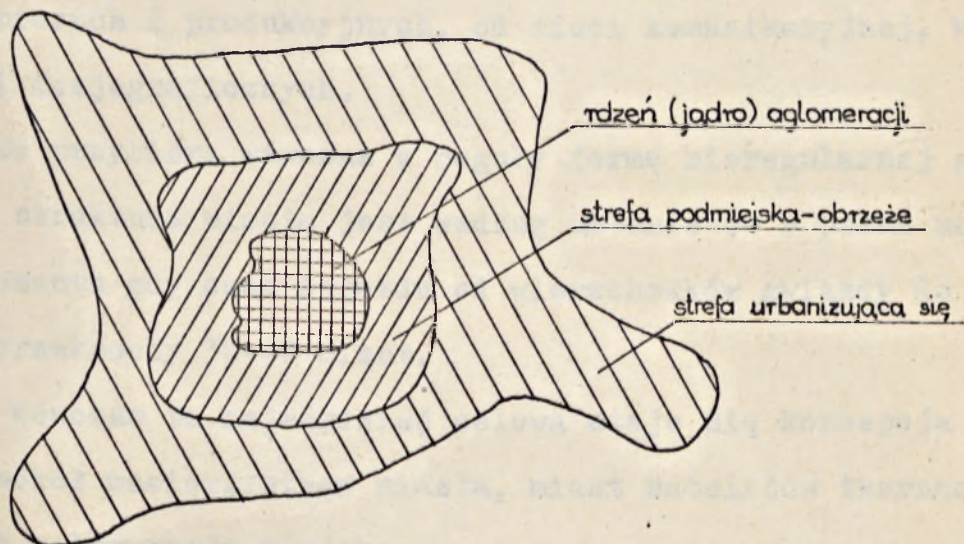
- aglomeracje monocentryczne,
- aglomeracje policentryczne.

Aglomeracje monocentryczne to aglomeracje o wyraźnej dominancie jednego obszaru centralnego zwanego rdzeniem /jądrem/.

Aglomeracje policentryczne natomiast posiadają minimum dwa zrównoważone centra.

Granica obszaru centralnego nie musi pokrywać się z granicą administracyjną miasta.

Obszar centralny aglomeracji otoczony jest strefą podmiejską /obrzeżem/. Drugi pierścień wokół obszaru centralnego tworzy sfera urbanizująca się jak to pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Szkic przedstawiający strefy aglomeracji

W utworzonej typologii rozwojowej wyodrębniono:

- aglomeracje rozwinięte /wykształcone/,
- aglomeracje rozwijające się,
- aglomeracje powstające /potencjalne/.

Według urbanistów /1/ aglomeracja powstająca powinna zawierać co najmniej jeden obszar centralny o liczbie ludności powyżej 50 tys. mieszkańców, aglomeracja rozwijająca się powyżej 100 tys., a aglomeracja rozwinięta powyżej 250 tys. mieszkańców.

Na szczególną uwagę zasługuje rozwój struktury przestrzennej aglomeracji miejskiej w czasie /15,37/.

Załączkiem aglomeracji jest miasto, które we wstępnym okresie swego rozwoju ma kształt zbliżony do koła. Forma

ta z czasem ulega zniekształceniu, miasto rozwija się w pewnych kierunkach w zależności od ciążenia do sąsiednich układów osadniczych i produkcyjnych, od sieci komunikacyjnej, możliwości fizjograficznych.

Miasto przybiera wówczas z reguły formę nieregularnej gwiazdy. Taka struktura miasta jest według urbanistów w pełni uzasadniona do momentu gdy czas dojazdu od wierzchołków gwiazdy do centrum nie przekroczy 30-40 minut.

Wówczas to najbardziej celowa staje się koncepcja powstania wokół macierzystego miasta, miast satelitów tworzących razem aglomerację miejską.

Poniżej przedstawiono teoretyczny schemat /rys. 2/ rozwoju struktury przestrzennej dużych aglomeracji miejskich w czterech fazach rozwojowych:

faza I - układ zwarty

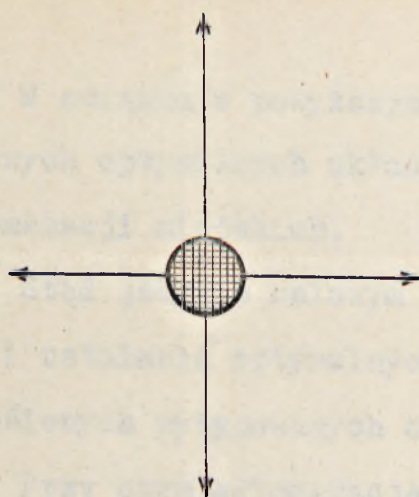
faza II - układ promienisto-koncentryczny

faza III - układ satelitarny

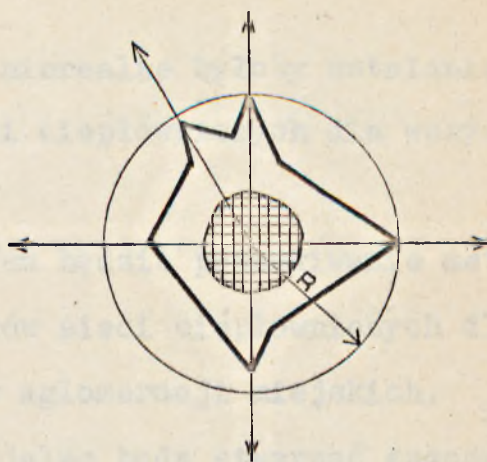
faza IV - układ satelitarno-pasmowy.

2.2. R o z w ó j s i e c i c i e p ł o w n i c z y c h w a s p e k c i e r o z w o j u a g l o m e r a c j i m i e j s k i c h

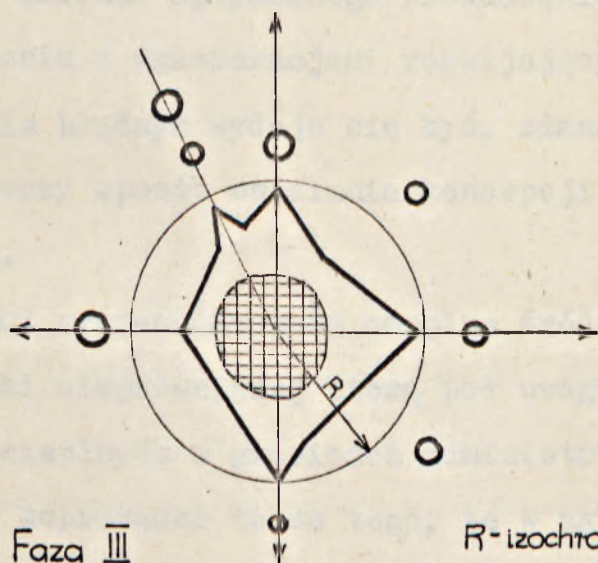
Rozwój każdej z aglomeracji miejskich przebiega w odmienny sposób, uzależniony od lokalnych warunków społecznych, ekonomicznych, przyrodniczych. To też wydaje się niesłuszne poszukiwanie modelu, który byłby uniwersalny i właściwy dla wszystkich aglomeracji potencjalnych /43/.



Faza I

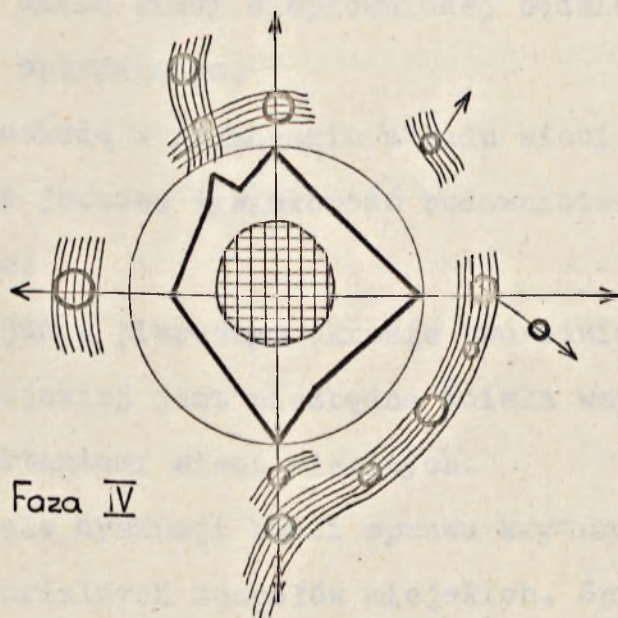


Faza II



Faza III

R-izochrona 30-40 Min.



Faza IV

Rys.2. Teoretyczny schemat rozwoju struktury przestrzennej dużej aglomeracji miejskiej.

W związku z powyższym także nierealne byłoby ustalanie typowych optymalnych układów sieci ciepłowniczych dla wszystkich aglomeracji miejskich.

Stąd jedynie celowym zabiegiem będzie poszukiwanie metodologii ustalania optymalnych układów sieci ciepłowniczych dla określonych wytypowanych obszarów aglomeracji miejskich.

Przy czym aglomeracje potencjalne będą stwarzać znacznie korzystniejsze warunki optymalnego prowadzenia sieci ciepłowniczych w porównaniu z aglomeracjami rozwijającymi się.

Szczególnie błędnym wydaje się być, zdaniem autora niniejszej pracy, obecny sposób ustalania koncepcji uciepłownienia miast polskich.

Projektanci proponując moce cieplne źródeł, ich lokalizację oraz układ sieci ciepłowniczej biorą pod uwagę jedynie zaspokojenie potrzeb cieplnych w granicach administracyjnych miasta.

W efekcie doprowadzi to do tego, że w aglomeracjach wykształconych układ sieci ciepłowniczej będzie znacznie odbiegał od systemu optymalnego.

Dużą przeszkodą w planowaniu układu sieci cieplnych jest spotykana wciąż jeszcze żywiołowość budownictwa mieszkaniowego i przemysłowego.

Tak więc już w pierwszym okresie tworzenia się załączków aglomeracji miejskiej jest niezbędna ścisła współpraca urbanistów z projektantami sieci cieplnych.

Bardzo wiele dyskusji budzi sprawa kryteriów wyznaczania zasięgów terytorialnych zespołów miejskich. Sprawa ta nie jest rozstrzygnięta wśród urbanistów /37/. Wiadomo jednak, że należy ograniczyć katastrofalny często rozwój rdzenia aglomeracji,

a ład przestrzenny i funkcjonalny uzyskać dzięki rozwojowi miast satelitów. Przy tym optymalnym pasem izolacyjnym będzie otwarty obszar zielony o szerokości 5 km.

Za optymalną wielkość miast satelitalnych w Polsce uznano 160 ÷ 200.000 M, minimalną jest 40.000 M a maksymalną 250.000 M /37/.

Maksymalne potrzeby cieplne dla tych jednostek miejskich wynoszą /13/ :

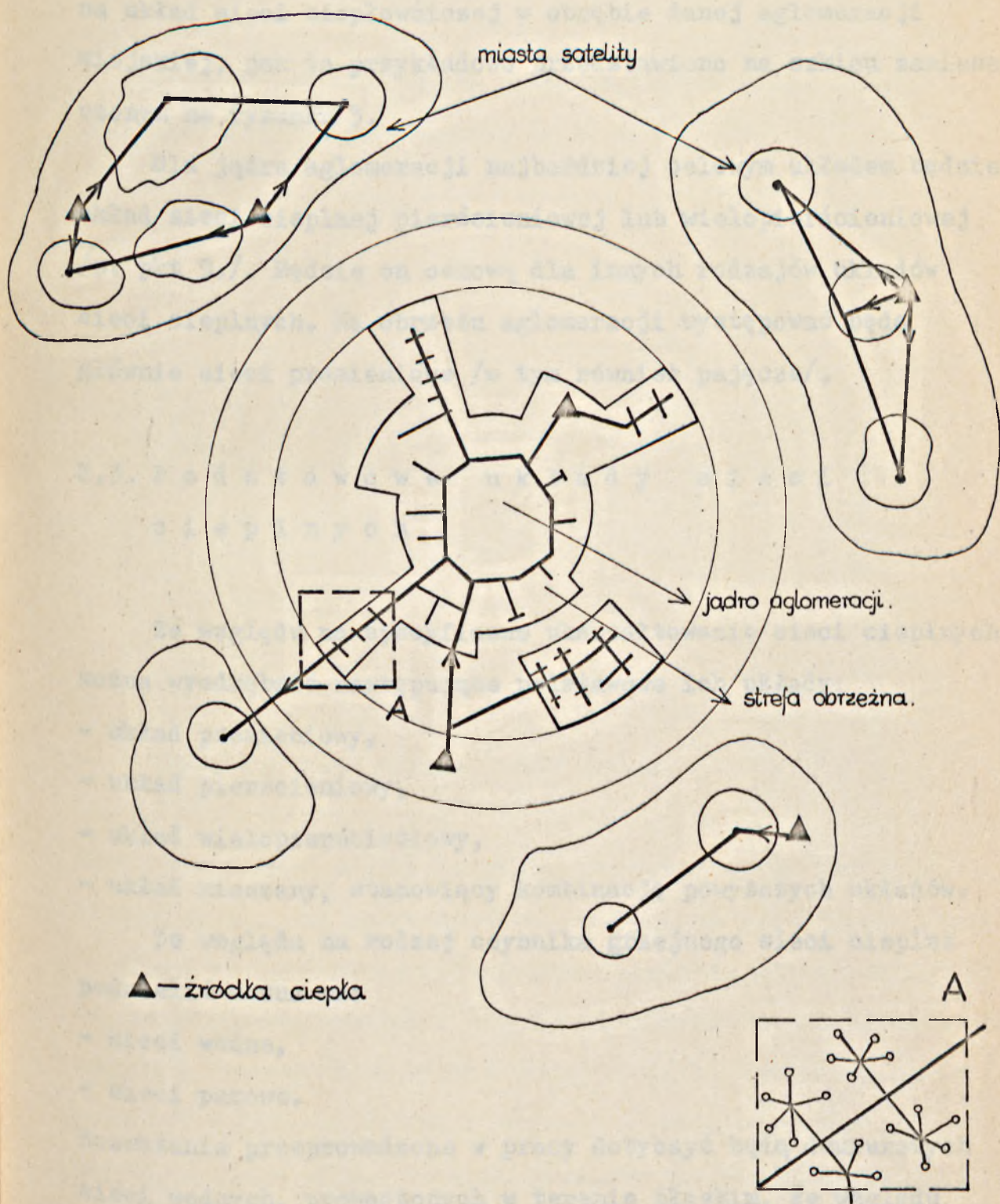
40.000 M	około	100 Gcal/h
100.000 M	"	300 Gcal/h
160.000 M	"	500 Gcal/h
200.000 M	"	650 Gcal/h
250.000 M	"	750 Gcal/h

Zaprojektowanie układu sieci ciepłowniczej dla każdej aglomeracji miejskiej będzie sprawą indywidualną. W zależności od istniejących warunków rozwojowych powstawać będą zespolone względnie odrębne ogniska ciepłownicze.

Podłączenie do systemu ciepłowniczego obszaru centralnego obszarów satelitalnych powiązane musi być z wnikliwą analizą efektywności ich włączenia do wspólnego systemu ciepłowniczego /13/.

Również analizy wymaga ewentualne połączenie we wspólne systemy ciepłownicze miast satelitalnych.

Już bowiem przy jednostce osadniczej 100.000 M /~ 300 Gcal/h/ opłacalne jest wybudowanie odrębnego źródła ciepła w postaci EC.



Rys.3. Model sieci ciepłowniczej specyficznej formy aglomeracji.

Tak przyjęte założenia będą w istotny sposób rzutować na układ sieci ciepłowniczej w obrębie danej aglomeracji miejskiej, jak to przykładowo przedstawiono na szkicu zamieszczonym na rysunku 3.

Dla jądra aglomeracji najbardziej celowym układem będzie układ sieci ciepłej pierścieniowej lub wielopierścieniowej /p. pkt 9./. Będzie on osnową dla innych rodzajów układów sieci ciepłych. Na obrzeżu aglomeracji występować będą głównie sieci promieniowe /w tym również pajęczce/.

2.3. P o d s t a w o w e u k ł a d y s i e c i c i e p ł y c h

Ze względu na specyficzne ukształtowanie sieci ciepłych można wyodrębnić następujące podstawowe ich układy:

- układ promieniowy,
- układ pierścieniowy,
- układ wielopierścieniowy,
- układ mieszany, stanowiący kombinację powyższych układów.

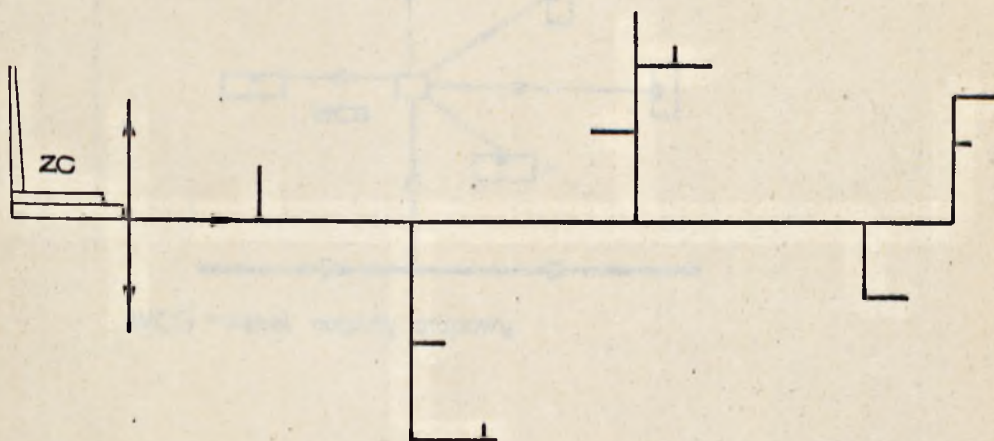
Ze względu na rodzaj czynnika grzejącego sieci ciepłe podzielić można na:

- sieci wodne,
- sieci parowe.

Rozważania przeprowadzone w pracy dotyczyć będą dwururowych sieci wodnych, prowadzonych w terenie płaskim, ze względu na powszechność ich stosowania w Polsce.

2.3.1. Sieć cieplna promieniowa

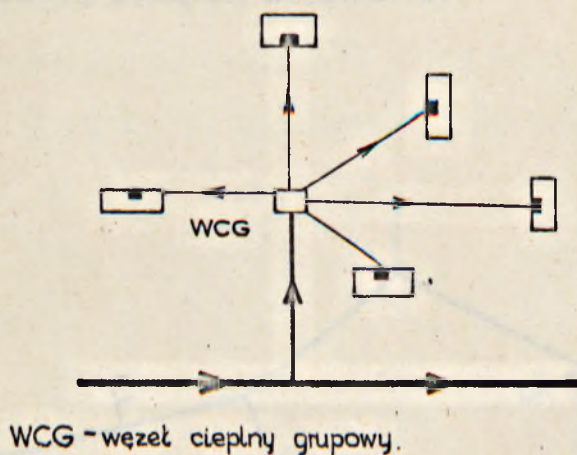
Najczęściej spotykanym rodzajem układu sieci ciepłych jest sieć cieplna promieniowa /rys. 4/.



Rys. 4. Sieć cieplna promieniowa

Sieć promieniowa zasila budynki, względnie grupy budynków, dzielnice itp. za pośrednictwem oddzielnych odgałęzień /promieni/. Przebieg trasy narzucany jest przez wielkich odbiorców lub przez środki ciężkości obciążeń ciepłych, odbiorców, umieszczonych często w znacznych od siebie odległościach. Rozbudowa sieci musi być ściśle powiązana z etapami wzrostu zapotrzebowania ciepła dając w efekcie wzrost wymiarów przewodów magistralnych, a także zwiększenie strat ciepła. Najpoważniejszą wadą tego systemu w dotychczasowych rozwiązaniach, jest brak pewności zasilania w przypadku awarii przewodów magistralnych.

Szczególnym przypadkiem sieci promieniowej jest tzw. sieć "pajęczna" /12/, /rys. 5/.



Rys. 5. Sieć cieplna pajęczna

Sieć tego typu wymaga dużych nakładów inwestycyjnych. Łączy ona punkt zasilania z poszczególnymi odbiorcami odrębnymi przewodami, co gwarantuje dużą niezawodność dostawy ciepła.

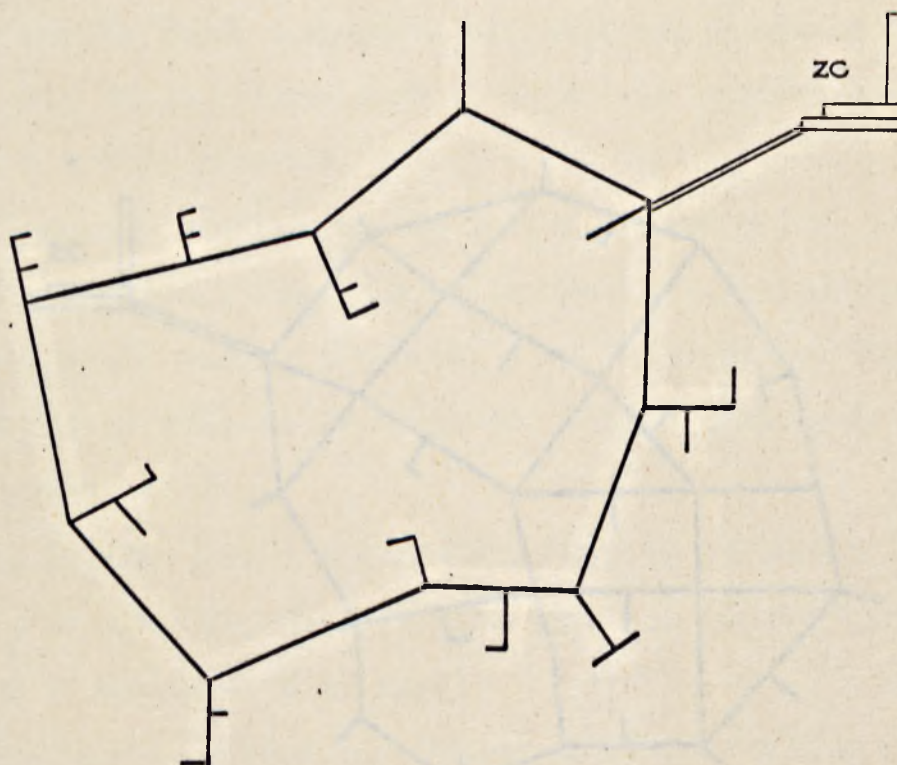
Klasyczna sieć cieplna pajęczna może być stosowana dla niewielkich zasięgów i małej ilości odbiorców /zakład przemysłowy, niewielkie osiedle mieszkaniowe itp./.

W niektórych przypadkach celowe jest stosowanie sieci pajęcznych przy odbiorcach zasilanych z węzłów cieplnych grupowych.

Ze względu na odmienną metodykę ustalania optymalnego układu sieci cieplnej pajęcznej jest ona rozpatrywana w niniejszej pracy oddzielnie /pkt 6./.

2.3.2. Sieć cieplna pierścieniowa

Sieć cieplna pierścieniowa /rys. 6./ gwarantuje większą pewność zasilania. Dopływ czynnika do każdego odbiorcy odbywać się może z dwóch różnych kierunków.



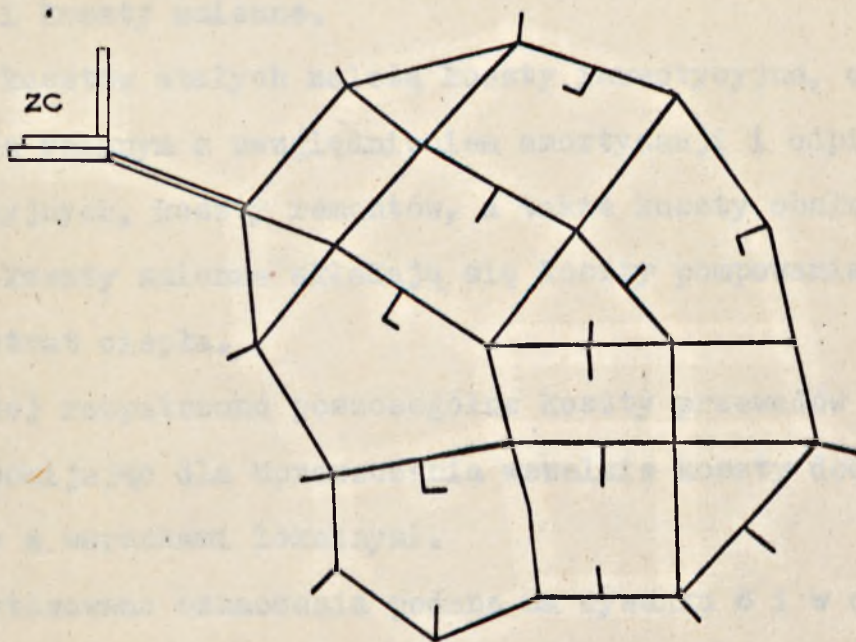
Rys. 6. Sieć cieplna pierścieniowa

2.3.3. Sieć cieplna wielopierścieniowa

Na obszarach miejskich o dużej gęstości cieplnej, i o zwiększonych wymaganiach odnośnie pewności zasilania

spotyka się najczęściej układy sieci, które z sieci promienio-
wych poprzez liczne "spięcia" i dodatkowe przewody, realizowane
w poszczególnych etapach rozwoju sieci, przetwarzają się
w układy sieci pierścieniowych lub wielopierścieniowych
z licznymi punktami zasilania.

Sieć wielopierścieniowa w klasycznej swej formie jest
pokazana na rysunku 7. Gwarantuje ona dużą pewność zasilania /12/.



Rys. 7 Sieć wielopierścieniowa

Skomplikowane i żmudne obliczenia sieci wielopierścienio-
wych zostały ostatnio znacznie uproszczone.
Od roku 1968 w Stołecznym Przedsiębiorstwie Energetyki Ciepłej
wykonuje się obliczenia wielopierścieniowych sieci ciepłych
zasilanych z kilku źródeł za pomocą ENC /9/.

Również w Biurze Planowania Rozwoju Warszawy stosuje się od niedawna, z dużym powodzeniem, obliczanie sieci wielopierścieniowych według programu "STC-1" /33/.

3. ANALIZA WIELKOŚCI WPŁYWAJĄCYCH NA POSZCZEGÓLNE KOSZTY WODNYCH SIECI CIEPLNYCH ORAZ ZWIĄZANA Z TYM FUNKCJA CELU PRZYJĘTA W PRACY I JEJ UPROSZCZENIA

Na koszty sieci cieplnych składają się w ogólności tzw. koszty stałe /niezależne od aktualnie produkowanej ilości ciepła/ i koszty zmienne.

Do kosztów stałych należą koszty inwestycyjne, obliczane w okresie rocznym z uwzględnieniem amortyzacji i odpisów akumulacyjnych, koszty remontów, a także koszty obsługi.

Na koszty zmienne składają się koszty pompowania oraz koszty strat ciepła.

Niżej rozpatrzono poszczególne koszty przewodów ciepłowniczych, pomijając dla uproszczenia wszelkie koszty dodatkowe związane z warunkami lokalnymi.

Zastosowano oznaczenia podane na rysunku 8 i w objaśnieniach.

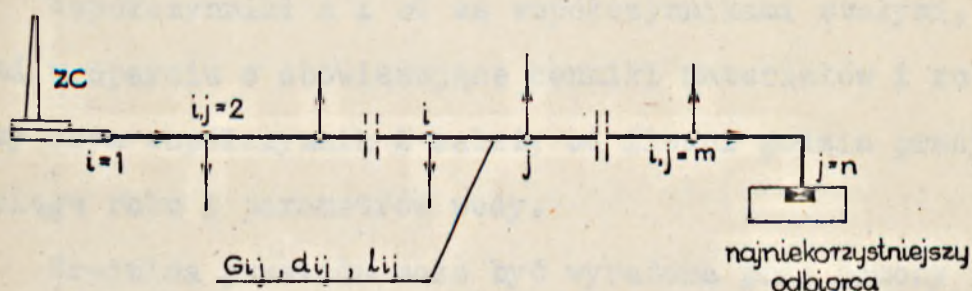
Na rys. 8 oznaczono:

"i" i "j" - liczby porządkowe punktu początkowego i końcowego odcinka /działki/ "i-j",

l_{ij} - długość odcinka "i-j", m,

G_{ij} - masowe natężenie przepływu czynnika grzejjego na odcinku "i-j", kg/h /kg/s/,

d_{ij} - średnica przewodu na odcinku "i-j", m.



Rys. 8 Uproszczony schemat sieci ciepłej

Wymienione uprzednio koszty sieci ciepłych składające się na tzw. roczny koszt ogólny K_0 , są funkcją średnicy i długości poszczególnych odcinków sieci ciepłej. Przy czym jednostkowe koszty inwestycyjne, koszty remontów i obsługi, a także koszty strat ciepła /przy założeniu ekonomicznej grubości izolacji/ rosną wraz ze wzrostem średnicy, natomiast jednostkowe koszty pompowania maleją wraz ze wzrostem średnicy.

Koszty inwestycyjne są wyrażane według różnych wzorów empirycznych /11, 24, 35, 36, 39/.

Na szczególną uwagę zasługuje ujęcie jednym wzorem wszystkich kosztów rosnących wraz ze wzrostem średnicy /26/.

Koszty te można przedstawić w postaci:

$$K_n = A \sum_{i-j=1-2}^{m-n} d_{ij}^{\alpha} l_{ij}, \quad \text{zł/a} \quad /3.1./$$

Współczynniki A i α są współczynnikami stałymi, określonymi w oparciu o obowiązujące cenniki materiałów i robocizny, przy czym współczynnik A zależy od ilości godzin pracy sieci w ciągu roku i parametrów wody.

Średnica przewodu może być wyrażona przy pomocy jednostkowego oporu tarcia R_{ij} /36/.

$$R_{ij} = B \cdot G_{ij}^{\beta} \cdot d_{ij}^{\gamma}, \quad \text{kg/m}^2\text{m} \quad / \text{daN/m}^2\text{m}/ \quad /3.2./$$

Współczynniki B, β , γ są współczynnikami stałymi zależnymi od temperatury wody i współczynnika szorstkości
stad

$$d_{ij} = R_{ij}^{\frac{1}{\gamma}} \cdot B^{-\frac{1}{\gamma}} \cdot G_{ij}^{-\frac{\beta}{\gamma}}, \quad \text{m} \quad /3.3./$$

Wstawiając powyższą wartość do wzoru /3.1./ otrzymamy:

$$K_n = A \cdot B^{-\frac{\alpha}{\gamma}} \sum_{i-j=1-2}^{m-n} R_{ij}^{\frac{\alpha}{\gamma}} G_{ij}^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} l_{ij}, \quad \text{zł/a} \quad /3.4./$$

We wzorze tym długość l_{ij} jest łączną długością odcinka zasilającego i powrotnego danej działki i-j /przy uwzględnieniu pojedynczego przewodu nastąpi dwukrotne zwiększenie iloczynu współczynników stałych/, natomiast odpowiedni koszt jednostkowy odcinka i-j wynosi:

$$k_{n/ij/} = A \cdot B^{-\frac{\alpha}{\gamma}} \cdot R_{ij}^{\frac{\alpha}{\gamma}} G_{ij}^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} \quad \text{zł/m a} \quad /3.4.1./$$

Roczne koszty pompowania można wyrazić wzorem:

$$K_p = 1,2 N \cdot z \cdot k_e, \quad \text{zł/a} \quad /3.5./$$

gdzie:

N - moc potrzebna do napędu pomp, kW,

z - ilość godzin pracy w ciągu roku, h/a,

k_e - jednostkowy koszt energii elektrycznej, zł/kW.h,

1,2 - współczynnik uwzględniający udział kosztów nakładowych w rocznych kosztach ruchowych.

Natomiast moc pompy N można określić ze wzoru:

$$N = \frac{G_c \cdot H_p}{\gamma_{sr} \cdot 3600 \cdot \eta \cdot 102}, \quad \text{kW} \quad /3.6./$$

lub

$$N = \frac{G_c \cdot H_p}{\gamma_{sr} \cdot \eta} \cdot 10^{-3}, \quad \text{kW} \quad /3.6.1./$$

gdzie:

G_c - masowe natężenie przepompowywanej wody, kG/h, /kg/s/,

γ_{sr}/γ_{sr} - średni ciężar właściwy /gęstość/ wody, kG/m³,
/kg/m³/,

η - sprawność pompy,

H_p - ciśnienie wytwarzane przez pompę, kG/m², /N/m²/

czyli

$$K_p = \frac{1,2 \cdot G_c \cdot H_p \cdot z \cdot k_e}{\gamma_{sr} \cdot 3600 \cdot \eta \cdot 102}, \quad \text{zł/a} \quad /3.7./$$

lub

$$K_p = \frac{1,2 \cdot G_c \cdot H_p \cdot z \cdot k_e}{\gamma_{sr} \cdot \eta} \cdot 10^{-3}, \quad \text{zł/a} \quad /3.7.1./$$



Ciśnienie wytwarzane przez pompę może być wyrażone z przybliżonego wzoru:

$$H_p = \left[\frac{\sum R_{ij} \cdot l_{ij}}{a} + \Delta H_o \right] \text{ obiegu najniekorzystniejszego} \quad /3.8./$$

gdzie:

a - empiryczna wartość udziałowa oporów miejscowych w całkowitej stracie ciśnienia w %,

l_{ij} - łączna długość odcinka zasilającego i powrotnego działki i-j, m,

ΔH_o - strata ciśnienia u odbiorcy, kg/m^2 / N/m^2 /,

Koszt ogólny sieci cieplnej będzie:

$$K_o = K_n + K_p, \quad \text{zł/a} \quad /3.9./$$

czyli

$$K_o = A B^{-\frac{\alpha}{\gamma}} \sum R_{ij} \frac{\alpha}{\gamma} G_{ij}^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} l_{ij} + \frac{1,2 G_c H_D z k_e}{\gamma_{sr} 3600 102 \eta} \text{ zł/a} \quad /3.10./$$

3.1. Funkcja celu przyjęta w pracy i jej uproszczenia

Najlepszy w danych warunkach układ sieci cieplnej będzie to układ zapewniający uzyskanie minimum kosztów ogólnych oraz gwarantujący w jak największym stopniu niezawodność dostawy czynnika grzejnego do poszczególnych odbiorców.

Nie znane są jednak autorowi niniejszej pracy zależności matematyczne, które mogłyby obrazować minimalne koszty

z punktu widzenia niezawodności, wynikłe z zastosowania określonego rodzaju układu sieci cieplnej.

Zależności takie łącznie z zależnościami obrazującymi minimalne koszty ogólne mogłyby dać rozwiązanie optymalne.

Brak jest więc możliwości uwzględnienia problemu niezawodności dostawy ciepła w globalnym rachunku optymalizacyjnym. Problem niezawodności dostawy ciepła pozostaje w zasadzie, z ekonomicznego punktu widzenia, w sprzeczności z dążeniem do uzyskania minimum kosztów ogólnych. Rodzaje układów sieci cieplnych o jak największym stopniu niezawodności są bowiem najczęściej układami o wyższych kosztach.

W związku z tym problem niezawodności zasilania w niniejszej pracy został potraktowany intuicyjnie.

Natomiast jako kryterium optymalizacyjne przyjęto uzyskanie minimum funkcji kosztów ogólnych.

Analizując wzór /3.10./ - występują w nim przy nieznanej konfiguracji sieci zmienne l_{ij} , G_{ij} , R_{ij} oraz H_p . Wpływ tych wielkości na koszty ogólne nie może być rozpatrywany oddzielnie, gdyż pozostają one ze sobą w ścisłych zależnościach.

Przy wnikliwej analizie problem prowadzenia sieci cieplnej musi być powiązany z samym problemem jej obliczania.

Średnice poszczególnych działek sieci cieplnej powinny być ustalone w oparciu o racjonalne /w sensie niniejszej pracy optymalne/ jednostkowe spadki ciśnienia R_{ij} na poszczególnych działkach gwarantujące minimum kosztów ogólnych /26/. Podobnie powinno być wyznaczone racjonalne /optymalne/ ciśnienie wytworzone przez pompę.

Problem dodatkowo komplikuje się przy nieznanymi długościach poszczególnych działek l_{ij} i natężeniach przepływającego przez nie czynnika grzejjego G_{ij} . Nie daje się on rozwiązać w możliwie prosty sposób.

Stąd wynika konieczność zastosowania w niniejszej pracy licznych rachunków iteracyjnych, przy ustalonej logicznej kolejności poszczególnych operacji.

Z uwagi na wiele czynników wpływających na ukształtowanie sieci cieplnej /pkt 1.2./ wyznaczony układ będzie najczęściej odbiegał od układu optymalnego i wówczas problem będzie się sprowadzał do znalezienia układu najkorzystniejszego w danych konkretnych warunkach.

W takiej sytuacji celowym będzie ustalenie konfiguracji sieci w oparciu o układ optymalny, wyznaczony przy pewnych założeniach upraszczających czyli w oparciu o uproszczoną funkcję celu.

Założeniem takim może być przyjęcie stałego jednostkowego spadku ciśnienia R_{ij} dla poszczególnych działek, oraz pominięcie wpływu zmian ciśnienia wytwarzanego przez pompę H_p na wartość kosztów ogólnych jako niewielkiego. Krzywa kosztów ogólnych bowiem charakteryzuje się słabo wykształconym optimum funkcji celu, w związku z tym nawet znaczne odchylenia ciśnienia wytwarzanego przez pompę od wartości optymalnej zmieniają wartość kosztów ogólnych tylko nieznacznie /31,38,39/.

Przy tak przyjętych założeniach upraszczających problem sprowadzać się będzie do znalezienia minimum kosztów oznaczonych symbolem K_n , a wzór /3.10/ przybierze postać:

$$K_n = A B^{-\frac{\alpha}{\gamma}} R^{\frac{\alpha}{\gamma}} \sum G_{ij}^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} l_{ij} = C \sum G_{ij}^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} l_{ij}, \quad \text{zł/a} \quad /3.11./$$

natomiast koszt jednostkowy odcinka i-j można wyrazić wzorem:

$$k_{n/i-j/} = C G_{ij} - \frac{\alpha \beta}{\gamma}, \quad \text{zł/a m} \quad /3.12./$$

Znalezienie konfiguracji sieci w oparciu o powyższe uproszczenia może być punktem wyjścia do dalszych obliczeń i operacji mających na celu uzyskanie minimum kosztów ogólnych.

4. MATEMATYCZNA INTERPRETACJA ZAŁOŻEŃ DO OPRACOWYWANIA PROBLEMU WYZNACZANIA UKŁADÓW SIECI CIEPLNYCH

Istnieje szereg metod matematycznych używanych w rozmaitych badaniach operacyjnych /10/ w tym także stosowanych w optymalizacji struktur sieciowych. Podstawą rozważań będzie wybranie określonego modelu matematycznego. Dalsze prace ograniczać się będą do uściślenia tego modelu oraz do szczegółowej analizy poczynionych założeń upraszczających lub uzupełniających.

4.1. I n t e r p r e t a c j a a n a l i t y c z n a

Obszar zaopatrywany w ciepło można przedstawić jako zbiór punktów zasilania i odbioru ciepła. Sieć cieplna jest elementem łączącym punkty odbioru ze źródłami ciepła, Przy czym w problemie projektowania trasy przewodów ciepłowniczych wprowadza się najczęściej szereg punktów dodatkowych zwanych punktami węzłowymi. /Łączą one ze sobą odbiorców lub grupy odbiorców tworząc odgałęzienia i zapewniając większą

niezawodność zasilania/. Otrzymamy więc graficzną interpretację zagadnienia w postaci skończonego zbioru "A" ilości "n" punktów leżących na płaszczyźnie.

Punkty /1, 2, 3 n/ $\in$ A

Zbiór "A" odpowiada obszarowi zaopatrzenia w ciepło.

Wzajemne odległości między punktami "i" i "j" powyższego zbioru można przedstawić w formie macierzy

$$L = \{ l_{ij} \}$$

przy czym muszą być spełnione warunki

$$l_{ii} = 0$$

$$l_{ij} > 0$$

$$l_{ij} = l_{ji}$$

oraz rozpatrując kolejno następujące po sobie punkty "i", "j", "k"

$$l_{ij} + l_{jk} = l_{ik} \quad /4.1./$$

Przewody zasilający i powrotny sieci cieplnych prowadzone są obok siebie i wówczas

$$l_{ij} \text{ zasilania} = l_{ji} \text{ powrotu}$$

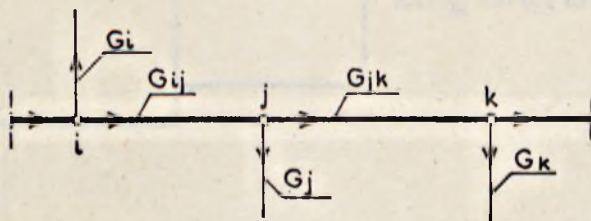
Ponadto mamy określone masowe natężenie przepływu czynnika cieplnego / $G_1, G_2 \dots G_r$ /, w poszczególnych punktach odbioru, które muszą być dostarczone ze źródeł zasilania o wydajnościach / $W_1, W_2 \dots W_s$ /.

Przy czym

$$\sum_1^r G = \sum_1^s W \quad /4.2./$$

Oznaczając masowe natężenie przepływu czynnika na danym odcinku "i-j" jako G_{ij} , a na następnym odcinku "j-k" jako G_{jk} /zgodnie z rys. 9/ mamy zachowane równanie /wg I prawa Kirchhoffa/

$$G_{ij} = G_{jk} + G_j \quad /4.3./$$



Rys.9 Schemat rozpływu czynnika w węźle

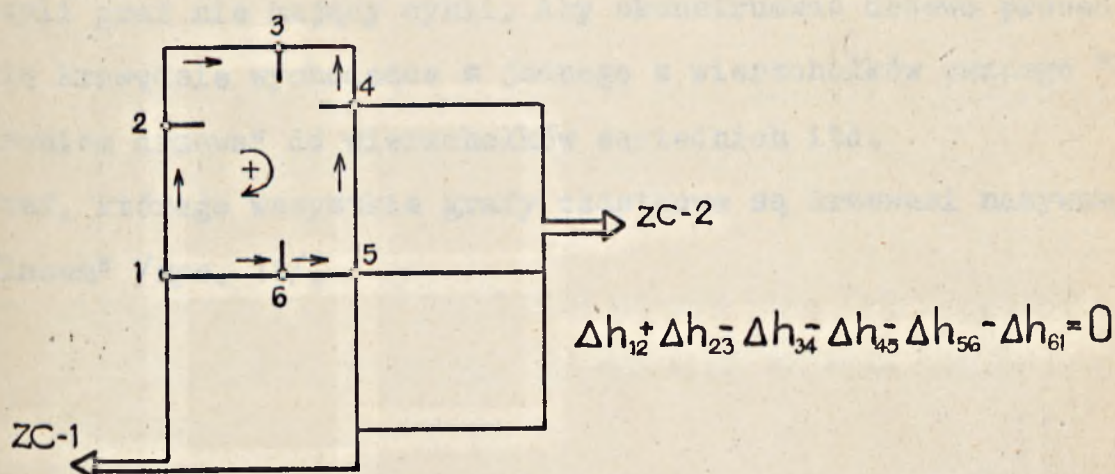
Ponadto dla sieci pierścieniowych i wielopierścieniowych strata ciśnienia dla każdego pierścienia /z uwzględnieniem znaku strat ciśnienia/ będzie wynosić:

$$\sum \Delta h_{ij} = 0 \quad /4.4./$$

/wg II prawa Kirchhoffa/, jak to przedstawiono na rysunku 10.

Uwzględniając wpływ etapowania oraz niezawodność zasilania układów pierścieniowych i wielopierścieniowych, masowe natężenie przepływu czynnika G_{ij} na pewnym odcinku "i-j" będzie odpowiednio większe.

Stanowiąc będzie ono wielkość niezbędną do zwymiarowania średnic /pkt 9/.



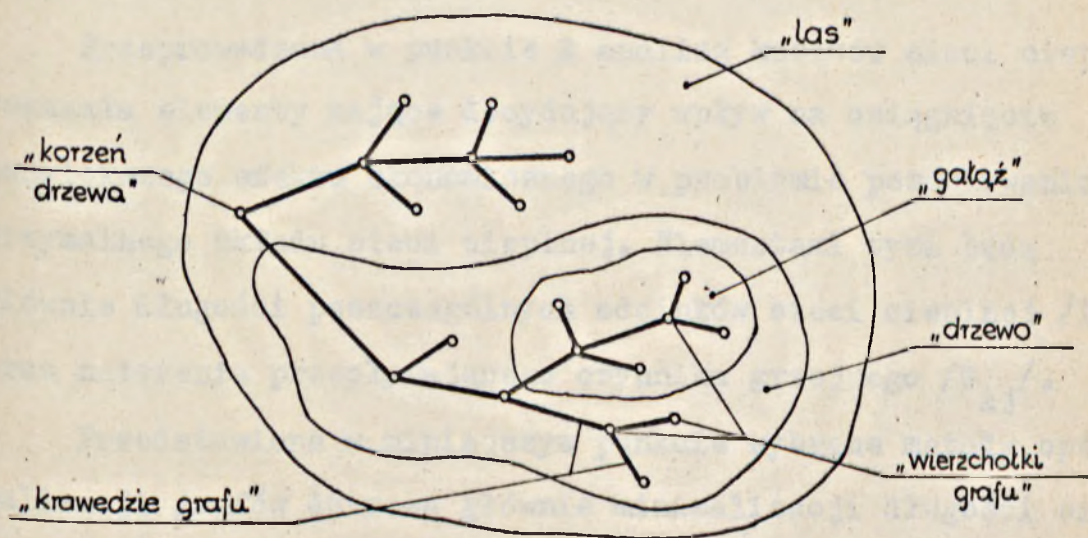
Rys. 10 Schemat obrazujący straty ciśnienia w pierścieniu sieci

Przedstawione powyżej założenia będą podstawą do szeregu rozważań przeprowadzonych w dalszej części niniejszej pracy.

4.2. Zastosowanie teorii grafów

Grafem nazywamy przedstawiony graficznie układ składający się ze zbioru elementów $/w_i/$ zwanych wierzchołkami grafu oraz ze zbioru uporządkowanych par elementów $/w_i, w_j/$ zwanych krawędziami lub łukami grafu /4/. Zastosowana w niniejszym punkcie terminologia wynika z dosłownego tłumaczenia terminów umieszczonych w literaturze francuskiej, angielskiej, niemieckiej/

Sieć cieplną promieniową można przedstawić jako "drzewo" czyli graf nie mający cykli. Aby skonstruować drzewo prowadzi się krawędzie wychodzące z jednego z wierzchołków zwanego "korzeniem drzewa" do wierzchołków sąsiednich itd. Graf, którego wszystkie grafy cząstkowe są drzewami nazywamy "lasem" /rys. 11/.



Rys. 11 Przykład grafu

Każda gałąź grafu musi mieć krawędź końcową dochodzącą do wierzchołka końcowego, z którego nie wychodzą już inne krawędzie. Drzewo o "n" wierzchołkach ma $/n-1/$ krawędzi.

Sieci cieplne pierścieniowe i wielopierścieniowe można porównać z grafami posiadającymi łańcuchy zamknięte czyli cykle.

Pewne elementy teorii grafów będą zawarte w niektórych rozważaniach przedstawionych w dalszej części pracy.

5. WYBRANE METODY OPTIMALIZACJI GRAFÓW ORAZ ICH ZASTOSOWANIE W PROBLEMIE POSZUKIWANIA OPTYMALNYCH UKŁADÓW SIECI CIEPLNYCH

Przeprowadzona w punkcie 3 analiza kosztów sieci cieplnych wskazała elementy mające decydujący wpływ na osiągnięcie największego efektu ekonomicznego w problemie poszukiwania optymalnego układu sieci cieplnej. Elementami tymi będą głównie długości poszczególnych odcinków sieci cieplnej $/l_{ij}/$, oraz natężenia przepływającego czynnika grzejnego $/G_{ij}/$.

Przedstawione w niniejszym punkcie wybrane metody optymalizacji grafów dotyczą głównie minimalizacji długości sieci. Wydaje się jednak celowe ich podanie dla rozpoznania problemu optymalizacji struktur sieciowych. Metody te mogą być w ograniczonym zakresie stosowane także przy projektowaniu układów sieci ciepłowniczych.

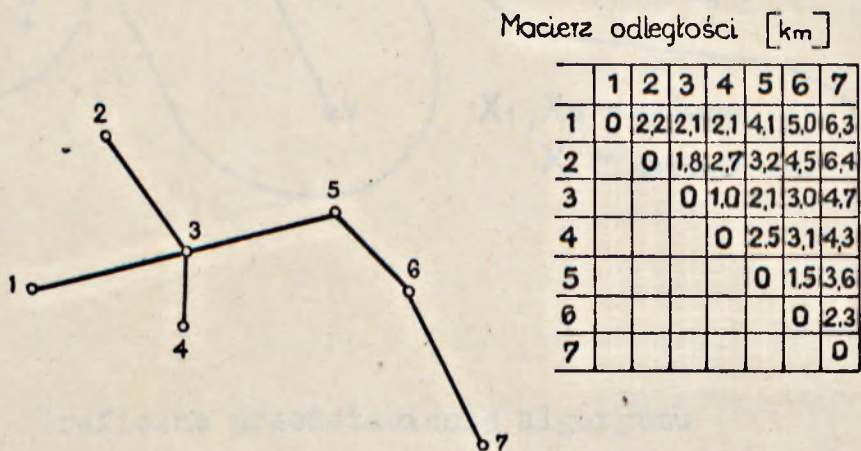
W punkcie niniejszym scharakteryzowano także wykonywane w Polsce prace z zakresu optymalizacji układów sieci cieplnych oparte na bazie teorii grafów.

5.1. Minimalizacja długości sieci promieniowej

Minimalizacja długości sieci promieniowej polega na znalezieniu najkrótszego połączenia zadanych punktów tak, aby poszczególne odcinki nie tworzyły ze sobą cykli /łańcuchów zamkniętych/. Zagadnienie to rozwiązuje się stosując w teorii grafów algorytm Kruskala /3,17,18/:

"Pomiędzy krawędziami, które nie tworzą jeszcze drzewa, należy wybrać krawędź o najmniejszej wartości, która nie tworzy cyklu z już rozpatrzonymi krawędziami". Praktycznie mając daną lokalizację zadanych punktów, należy ustalić odległości między nimi i zestawić w formie macierzy. Następnie łączymy kolejno ze sobą najbliższe sobie punkty, nie dopuszczając do powstania cykli.

Rozwiązanie tego problemu przedstawia przykładowo umieszczona poniżej ilustracja /rys. 12/.

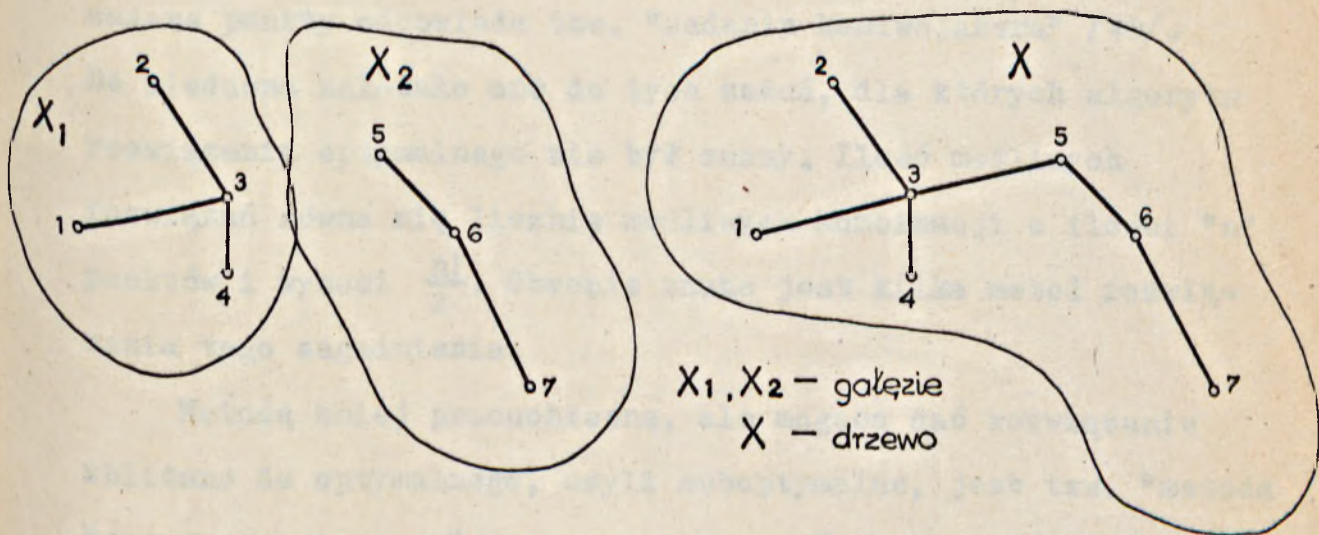


Rys. 12 Minimalizacja długości sieci promieniowej metodą Kruskala

Suma długości uzyskanej sieci wynosi:

$$\begin{aligned}\sum l &= l_{13} + l_{23} + l_{34} + l_{35} + l_{56} + l_{67} = \\ &= 2,1 + 1,8 + 1,0 + 2,1 + 1,5 + 2,3 = 10,8 \text{ /km/}\end{aligned}$$

Pewną modyfikację algorytmu Kruskala stanowi algorytm Sollin'a /3,17/. Skraca on nieco czas wyboru najkrótszego połączenia. Rozwiązanie polega na połączeniu jakichkolwiek wierzchołków z ich najbliższymi sąsiadami tworząc stopniowo "gałęzie drzewa" /patrz pkt 4.2. rys. 11/. Operacje powtarzamy do momentu gdy "gałęzie" utworzą "drzewo" danego grafu. Graficzne przedstawienie algorytmu Sollin'a zamieszczono na rysunku 13.



Rys. 13 Graficzne przedstawienie algorytmu Sollin'a

Przedstawione w punkcie 5.1. rozważania nie uwzględniają możliwości wprowadzenia dodatkowych punktów węzłowych, które niekiedy mogą wpływać na zmniejszenie całkowitej długości sieci.

Problem ten może być rozwiązany metodami podanymi w dalszej części pracy /pkt 7./.

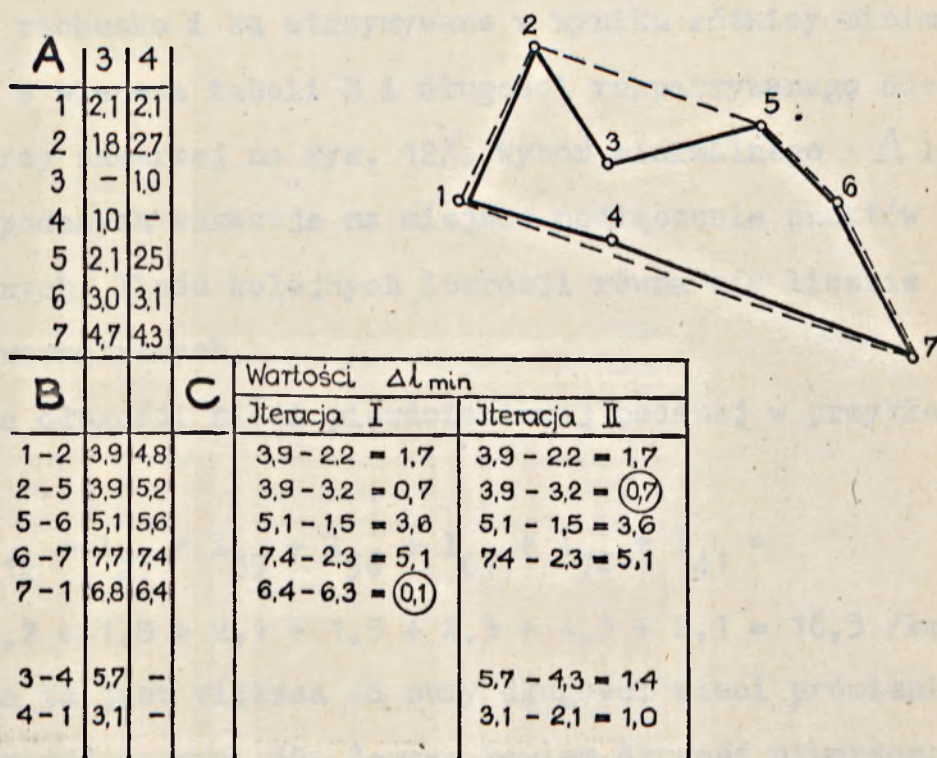
Przy dużej ilości punktów konieczne jest zastosowanie EMC. Program oparty na bazie algorytmu Kruskala został opracowany w Ośrodku Zastosowań Elektronicznej Techniki Obliczeniowej ETOPROJEKT /19,20/.

5.2. Minimalizacja długości sieci pierścieniowej

Zagadnienie minimalizacji sieci pierścieniowej łączącej zadane punkty odpowiada tzw. "zadaniu komiwojażera" /40/. Do niedawna należało ono do tych zadań, dla których algorytm rozwiązania optymalnego nie był znany. Ilość możliwych rozwiązań równa się liczbie możliwych kombinacji z ilości "n" punktów i wynosi $\frac{n!}{2}$. Obecnie znane jest kilka metod rozwiązania tego zagadnienia.

Metodą mniej pracochłonną, ale mogącą dać rozwiązanie zbliżone do optymalnego, czyli suboptymalne, jest tzw. "metoda konturu granicznego" opracowana przez Nicholsona /2,25/. Metodą bardzo dokładną natomiast, jest metoda Littla "podziału i ograniczeń" /22,2/. Przy większej ilości punktów metoda Littla wymaga użycia programu na EMC. Program taki został opracowany przez zespół ETO Biura Projektowo-Technologicznego Przemysłu Motoryzacyjnego "Motoprojekt/2/.

W praktyce projektowej dotyczącej układów sieci cieplnych można z powodzeniem stosować "metodę konturu granicznego" Nicholsona. Metoda ta dla ilości punktów do kilkunastu nie wymaga użycia EMC. Przy większej ilości punktów można część z nich zlikwidować przez utworzenie punktów zastępczych leżących w środku ciężkości obciążeń punktów wyeliminowanych, co w technice projektowej jest całkiem realne. Wystarczy wówczas połączyć ze sobą punkty skrajnie położone, tak jak to pokazuje linia przerywana na rysunku 14 i orientacyjnie wyznaczyć miejsca włączenia pozostałych punktów wewnętrznych.



Rys. 14 Minimalizacja sieci pierścieniowej "metodą konturu granicznego"

Jeśli nie istnieje wyraźna propozycja włączania punktów wewnętrznych należy wykonać obliczenia zgodnie z przedstawionym powyżej przykładem /rys. 14/. Rozmieszczenie punktów i macierz odległości przyjęto identyczne jak dla przykładu podanego w punkcie 5.1. Problem sprowadza się do zbadania dla każdej pary sąsiednich punktów wartości przyrostu długości trasy Δl spowodowanego włączeniem punktu wewnętrznego. Minimalna wartość tego przyrostu określa miejsce, w którym punkt ten należy włączyć.

Elementy tabeli A podają odległości między punktami tworzącymi kontur graniczny a punktami włączanymi. Elementy tabeli B stanowią sumę dwóch elementów tabeli A leżących w danej kolumnie pionowej. Elementy tabeli C podają $\Delta l_{\min}$ kolejnych iteracji rachunku i są otrzymywane w wyniku różnicy minimalnej długości z wiersza tabeli B i długości rozpatrywanego odcinka /z macierzy zawartej na rys. 12/. Wybór minimalnego $\Delta l_{\min}$ spośród podanych wskazuje na miejsce podłączenia punktów wewnętrznych. Ilość kolejnych iteracji równa się liczbie punktów wewnętrznych.

Suma długości sieci pierścieniowej podanej w przykładzie wynosi:

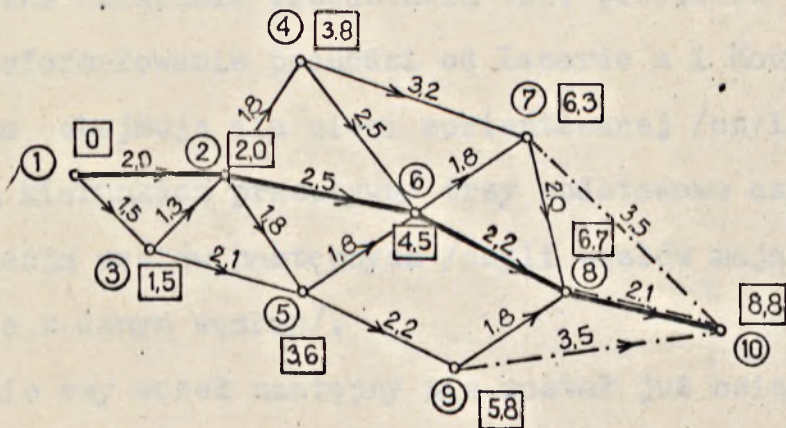
$$\begin{aligned}\Sigma l &= l_{12} + l_{23} + l_{35} + l_{56} + l_{67} + l_{74} + l_{41} = \\ &= 2,2 + 1,8 + 2,1 + 1,5 + 2,3 + 4,3 + 2,1 = 16,3 \text{ /km/}\end{aligned}$$

Suma ta jest większa od sumy długości sieci promieniowej pokazanej na rys. 12. Zawsze bowiem długość utworzonej w ten sposób sieci promieniowej jest mniejsza od długości sieci pierścieniowej łączącej te same punkty /4,16/.

4.3. Minimalizacja długości drogi łączącej dwa punkty grafu

Zadanie polega na znalezieniu najkrótszej drogi łączącej dwa punkty ustalonego grafu. Rozwiązać je można za pomocą algorytmów: Forda - Fulkersona /7,8/ lub Bellman - Kalaba /17/. Wszystkie rozwiązania podawane przez innych autorów stanowią jedynie pewną modyfikację ww algorytmów.

Rozpatrzono przykład przedstawiony na rys. 15, który rozwiązano za pomocą uproszczonej metodyki podanej przez Forda-Fulkersona.



Rys. 15 Przykład minimalizacji drogi łączącej dwa punkty grafu

Dana jest sieć /graf/ jak na rysunku 15.

Liczby umieszczone wzdłuż poszczególnych odcinków oznaczają

ich długości. Punkt 1 jest punktem początkowym, natomiast punkt 10 jest punktem, który ma być włączony do sieci; poszukujemy najkrótszej drogi łączącej go z punktem 1 i przechodzącej przez zadane punkty węzłowe. Tok postępowania polega na przypisaniu każdemu z punktów węzłowych/ 1 , 2 10 /, liczby / $\boxed{l_1}$, $\boxed{l_2}$ $\boxed{l_{10}}$ / określającej najkrótszą odległość od punktu początkowego 1 i tak:

$$\begin{array}{llll} \text{dla wężła 1} & - & \boxed{l_1} & = \boxed{0} \quad / \text{km}/ \\ \text{dla wężła 2} & - & \boxed{l_2} & = \boxed{2,0} \quad / \text{km}/ \\ \text{a dla wężła 5} & - & \boxed{l_5} & = \boxed{3,6} \quad / \text{km}/ \text{ itd} \end{array}$$

Tym sposobem najkrótszą okazuje się droga 1-2-6-8-10, która wynosi 8,8 km. Przykładem drogi dłuższej może być np. droga 1-2-5-9-10.

Identyczne działanie przedstawia tzw. procedura "myszka"/28/. Ogólnie jej sformułowanie pochodzi od Lazarde'a i Mour'a.

Algorytm obejmuje dla sieci zorientowanej /czyli sieci o ustalonych kierunkach przepływu/ trzy podstawowe czynności:

- a/ Identyfikacja węzłów następnych /czyli węzłów mających połączenia z danym węzłem/.
- b/ Sprawdzenie czy węzeł następny nie został już osiągnięty inną krótszą drogą.
- c/ Jeśli dany węzeł nie został już osiągnięty, to zapamiętanie dla tego węzła numeru węzła wcześniejszego i końcowej incydencji /pod pojęciem incydencji autorzy [28] rozumieją tu odcinki łączące węzły/, oraz sumy rezystancji /tj. długości odcinków [28] / licząc od węzła startowego.

Na bazie tej procedury opracowano w Instytucie Planowania Przestrzennego Politechniki Warszawskiej /29/ program o nazwie KWK-Plan na EMC-GIER, dla potrzeb znajdowania optymalnych połączeń w sieciach ciepłowniczych. Zadanie sformułowane przez autorów polegało na znalezieniu w danym "Grafie Połączeń Dopuszczalnych" /GPD/, podgrafu optymalnego, nazwanego "Grafem Połączeń Optymalnych" /GPO/. Przy tym dany jest skończony zbiór punktów obrazujących źródła zasilania, odbiorców oraz punkty węzłowe. Reasumując, program KWK-Plan pozwala na wybranie połączenia najkorzystniejszego spośród wszystkich możliwych połączeń ustalonych intuicyjnie przez projektującego.

Podobny tok rozwiązania zastosowano kilka lat wcześniej w ETOPROJEKCIE /19,20/. Program o nazwie "Droga" oparto na połączonych algorytmach Bellman - Kalaba i Forda. Tok rozwiązania jest bardzo pracochłonny i czasochłonny; jeśli graf ma $n+1$ wierzchołków należy wykonać $n-1$ iteracji dla osiągnięcia optimum /17/. W tym przypadku pomoc EMC stała się niezbędna. W ETOPROJEKCIE opracowano powyższy program na maszynę ZAM 2 - Gamma.

Program ten podobnie jak program poprzedni nie wytycza optymalnej drogi przewodów ciepłowniczych, a jedynie wybiera wariant najkorzystniejszy pod względem długości sieci, z wariantów ustalonych intuicyjnie przez projektanta.

6. WYZNACZANIE OPTYMALNYCH UKŁADÓW SIECI CIEPLNYCH "PAJĘCZYCH"

Sieci pajęczne /p. pkt 2.3./ były stosowane dotychczas bardzo rzadko. Rozpowszechnione bowiem rozwiązania zaopatrzenia w ciepło przekreślały sens ich zastosowania. Dopiero stopniowe wprowadzenie w ostatnich latach zaopatrzenia osiedli mieszkaniowych z tzw. węzłów cieplnych grupowych /lub centralnych stacji ciepłej wody/ wskazuje na celowość zastosowania sieci cieplnych pajęcznych.

Problemy dotyczące węzłów cieplnych grupowych są jeszcze w stadium badań, wydaje się jednak, że ten typ rozwiązania zaopatrzenia w ciepło zostanie szerzej stosowany /23/.

Ponadto sieć cieplna pajęczna może mieć zastosowanie przy zaopatrzeniu w ciepło z central cieplnych opalanych paliwem nieuciążliwym dla otoczenia /np. w uzdrowiskach/ lub niektórych zakładów przemysłowych, gdzie istnieją duże wymagania odnośnie pewności zasilania.

Położenie punktu zasilania ustalone metodą opisaną w niniejszym punkcie, może być niekiedy traktowane jako wstępne. Pozwoli ono na ustalenie ewentualnych grup odbiorców, którzy mogą być połączeni z punktem zasilania wspólnym przewodem. Wymagać to będzie ponownego ustalenia skorygowanego położenia punktu zasilania tą samą metodą.

6.1. S f o r m u ł o w a n i e p r o b l e m u

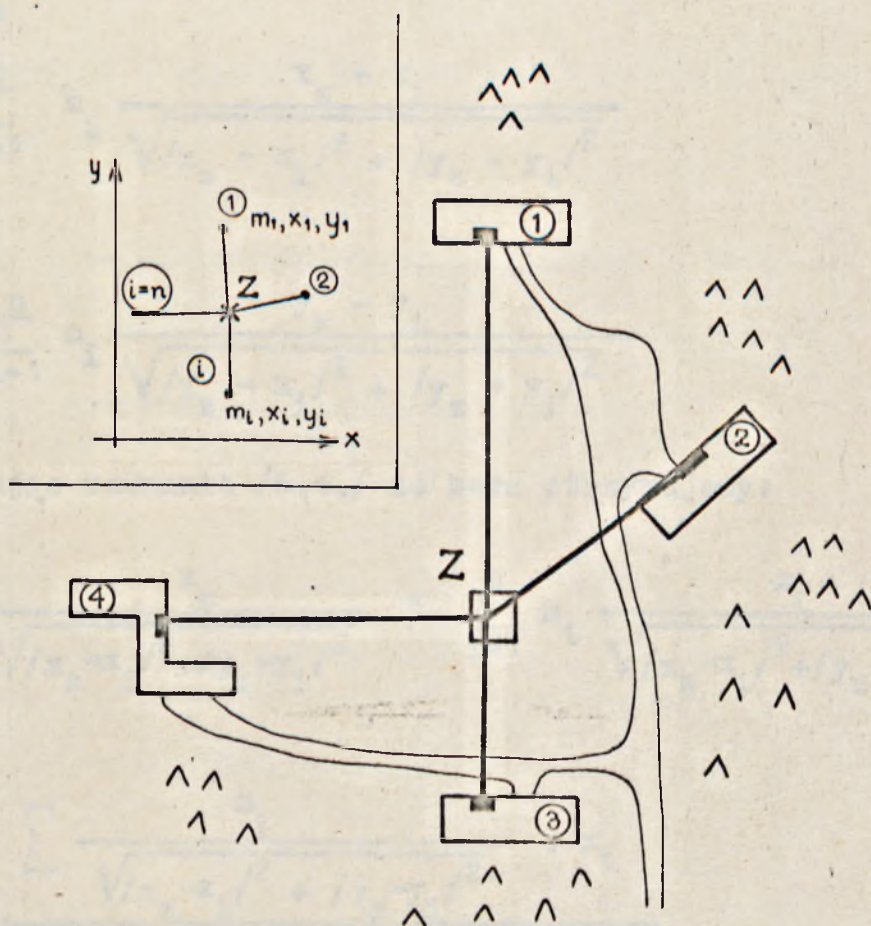
Problem znalezienia optymalnego układu sieci cieplnej pajęcznej polega na określeniu takiego położenia punktu

zasilania, aby ogólny koszt doprowadzenia ciepła do poszczególnych odbiorców był minimalny. Przypomina to sformułowany przez Steinera-Webera problem poszukiwania miejsca lokalizacji /11/

Zgodnie z rozważaniami zawartymi w punkcie /3./ należy w tym przypadku zminimalizować funkcję określoną wzorem /3.10./, względnie zgodnie z przyjętymi uproszczeniami funkcję /3.11./.

6.1.1. O p r a c o w a n i e m o d e l u m a t e m a - t y c z n e g o , s i e c i c i e p l n e j p a j ę c z e j

Danych jest n punktów o współrzędnych x_i, y_i przy czym $i = 1, 2, 3 \dots n$; oraz ich obciążenie m_i /rys. 16/.



Rys.16 Graficzne przedstawienie problemu wyznaczania miejsca lokalizacji punktu zasilania w sieci cieplnej pajęczej

Należy znaleźć takie położenie punktu Z /rys.16/ określone współrzędnymi x_z, y_z ; połączonego bezpośrednio z zadanymi punktami "i", aby uzyskać minimum funkcji:

$$F = \sum_{i=1}^n m_i \cdot l_i \quad /6.1./$$

Odległość danego punktu "i" od punktu Z można określić wzorem:

$$l_i = \sqrt{x_z - x_i / 2 + y_z - y_i / 2} \quad /6.2./$$

Funkcja 6.1. przyjmie wówczas postać:

$$F/x_z, y_z / = \sum_{i=1}^n m_i \sqrt{x_z - x_i / 2 + y_z - y_i / 2} \quad /6.3./$$

przy czym

$$\frac{\partial F}{\partial x_z} = \sum_{i=1}^n m_i \frac{x_z - x_i}{\sqrt{x_z - x_i / 2 + y_z - y_i / 2}} \quad /6.4./$$

oraz

$$\frac{\partial F}{\partial y_z} = \sum_{i=1}^n m_i \frac{y_z - y_i}{\sqrt{x_z - x_i / 2 + y_z - y_i / 2}} \quad /6.5./$$

Przyrównując równanie /6.4./ do zera otrzymujemy:

$$\sum_{i=1}^n m_i \frac{x_z}{\sqrt{x_z - x_i / 2 + y_z - y_i / 2}} = \sum_{i=1}^n m_i \frac{x_i}{\sqrt{x_z - x_i / 2 + y_z - y_i / 2}}$$

czyli

$$x_z = \frac{\sum \frac{m_i}{\sqrt{x_z - x_i / 2 + y_z - y_i / 2}} \cdot x_i}{\sum \frac{m_i}{\sqrt{x_z - x_i / 2 + y_z - y_i / 2}}} \quad /6.6./$$

Analogicznie przyrównując równanie /6.5./ do zera:

$$y_z = \frac{\sum \frac{m_i}{\sqrt{x_z - x_i / 2 + /y_z - y_i / 2}} \cdot y_i}{\sum \frac{m_i}{\sqrt{x_z - x_i / 2 + /y_z - y_i / 2}}} \quad /6.7./$$

Przedstawiony problem można rozwiązać metodą iteracyjną.

Jako rozwiązanie początkowe, przyjmuję położenie punktu Z w środku ciężkości obciążeń poszczególnych punktów.

Tak więc początkowe przybliżenie będzie:

$$x_z^{(1)} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} ; \quad y_z^{(1)} = \frac{\sum m_i \cdot y_i}{\sum m_i} \quad /6.8./$$

Wzory kolejnych iteracji "j", dla j=2,3,... będą zgodnie z równaniami /6.6. i 6.7./

$$x_z^{(j)} = \frac{\sum \frac{m_i}{\sqrt{x_z^{(j-1)} - x_i / 2 + /y_z^{(j-1)} - y_i / 2}} \cdot x_i}{\sum \frac{m_i}{\sqrt{x_z^{(j-1)} - x_i / 2 + /y_z^{(j-1)} - y_i / 2}}} \quad /6.9./$$

oraz

$$y_z^{(j)} = \frac{\sum \frac{m_i}{\sqrt{x_z^{(j-1)} - x_i / 2 + /y_z^{(j-1)} - y_i / 2}} \cdot y_i}{\sum \frac{m_i}{\sqrt{x_z^{(j-1)} - x_i / 2 + /y_z^{(j-1)} - y_i / 2}}} \quad /6.10./$$

Rachunek iteracyjny zostaje zakończony, jeśli odstęp j-tych przybliżeń czyli odległość położenia punktu Z w dwóch kolejnych

iteracjach będzie:

$$\sqrt{\frac{(x_z^{(j-1)} - x_z^{(j)})^2}{\epsilon} + \frac{(y_z^{(j-1)} - y_z^{(j)})^2}{\epsilon}} \leq \epsilon \quad /6.11./$$

gdzie ϵ jest zadaną wartością odchyłki.

Dla ułatwienia rozwiązywania omawianej procedury, którą oznaczono jako "MIN" ułożono dla potrzeb niniejszej pracy program na EMC Odra 1204 w języku ALGOL przedstawiony jako załącznik 1 pkt 11 pracy.

Przygotowanie danych obejmuje zgodnie z wprowadzonymi wcześniej oznaczeniami:

n ;

$m_1, x_1, y_1; m_2, x_2, y_2; \dots; m_n, x_n, y_n$;

ϵ ;

Przy czym teoretycznie zakłada się, że każdy z odbiorców połączony jest z punktem zasilania oddzielną nitką, co jest zasadą budowy klasycznej sieci pajęcznej.

6.1.2. Sposób rozwiązania problemu w aspekcie przyjętej funkcji celu

Zgodnie z punktem 6.1.1. należy minimalizować funkcję określoną wzorem 3.10., którą w tym przypadku można przedstawić:

$$K_0 = A \cdot B^{-\frac{\alpha}{\gamma}} \sum_{i=1}^n R_i^{\frac{\alpha}{\gamma}} G_i^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} l_i + \frac{1,2 \cdot G \cdot H \cdot z \cdot k_e}{\gamma_{sr} \cdot 3600 \cdot 102 \cdot \eta} \quad /6.12./$$

W równaniu tym występują niewiadome G_i, l_i, R_i oraz H_p .

Cisnienie wytwarzane przez pompę H_p można wyrazić analogicznie do wzoru 3.8.

$$H_p = \left[\frac{2 \cdot R \cdot l}{a} + \Delta H_o \right] \text{ obiegu najniekorzystniejszego} \quad /6.13./$$

Koszt ogólny obiegu najniekorzystniejszego sieci cieplnej pajęcznej można wyrazić więc wzorem:

$$\begin{aligned} K_{o_{ob.najn}} &= A \cdot B^{-\frac{\alpha}{\gamma} 2} \cdot R_{ob.najn}^{\frac{\alpha}{\gamma}} \cdot G_{ob.najn}^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} \cdot l/z-najn odb/ + \\ &+ \frac{2,4 \cdot G_c \cdot R_{ob.najn} \cdot l/z-najn.odn/ \cdot z \cdot k_e}{\gamma_{sr} \cdot 3600 \cdot 102 \cdot \eta \cdot a} + \\ &+ \frac{1,2 \cdot G_c \cdot H_{najn.odn.} \cdot z \cdot k_e}{\gamma_{sr} \cdot 3600 \cdot 102 \cdot \eta} \end{aligned}$$

Natomiast koszt ogólny pozostałych działek będzie:

$$K_{o_i} = K_{n_i} = A \cdot B^{-\frac{\alpha}{\gamma} 2} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} R_i^{\frac{\alpha}{\gamma}} \cdot G_i^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} \cdot l_i \quad /6.15./$$

Istotnym będzie ustalenie optymalnego jednostkowego spadku ciśnienia R dla obiegu najniekorzystniejszego. W myśl wzoru 6.14.

$$\begin{aligned} \frac{d K_o}{d R} &= A \cdot B^{-\frac{\alpha}{\gamma} 2} \cdot \frac{\alpha}{\gamma} \cdot R_{ob.najn}^{\frac{\alpha}{\gamma}-1} \cdot G_{ob.najn}^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} \cdot l/z-najn.odn/ + \\ &+ \frac{2,4 \cdot G_c \cdot l/z-najn.odn/ \cdot z \cdot k_e}{\gamma_{sr} \cdot 3600 \cdot 102 \cdot \eta \cdot a} \quad /6.16./ \end{aligned}$$

Przyrównując równanie 6.16. do zera można obliczyć R_{opt} dla obiegu najniekorzystniejszego

$$R_{\text{opt ob.najn}} = \left[- \frac{1,2 \cdot G_c \cdot z \cdot k_e}{A B \frac{\alpha}{\gamma} \cdot \frac{\alpha}{\gamma} \cdot G_{\text{ob.najn}} \frac{\alpha\beta}{\gamma} \cdot \gamma_{sr} \cdot 3600 \cdot 102 \cdot \eta \cdot \alpha} \right]^{\frac{1}{\frac{\alpha}{\gamma}-1}} /6.17./$$

Jednostkowe spadki ciśnienia dla pozostałych działek mogą być wyznaczone zgodnie z zasadą wykorzystania ciśnienia dyspozycyjnego do każdego odbiorcy.

$$2 R_i \cdot l_i + \Delta H_{oi} = H_p$$

$$R_i = \frac{H_p - \Delta H_{oi}}{2 l_i} /6.18./$$

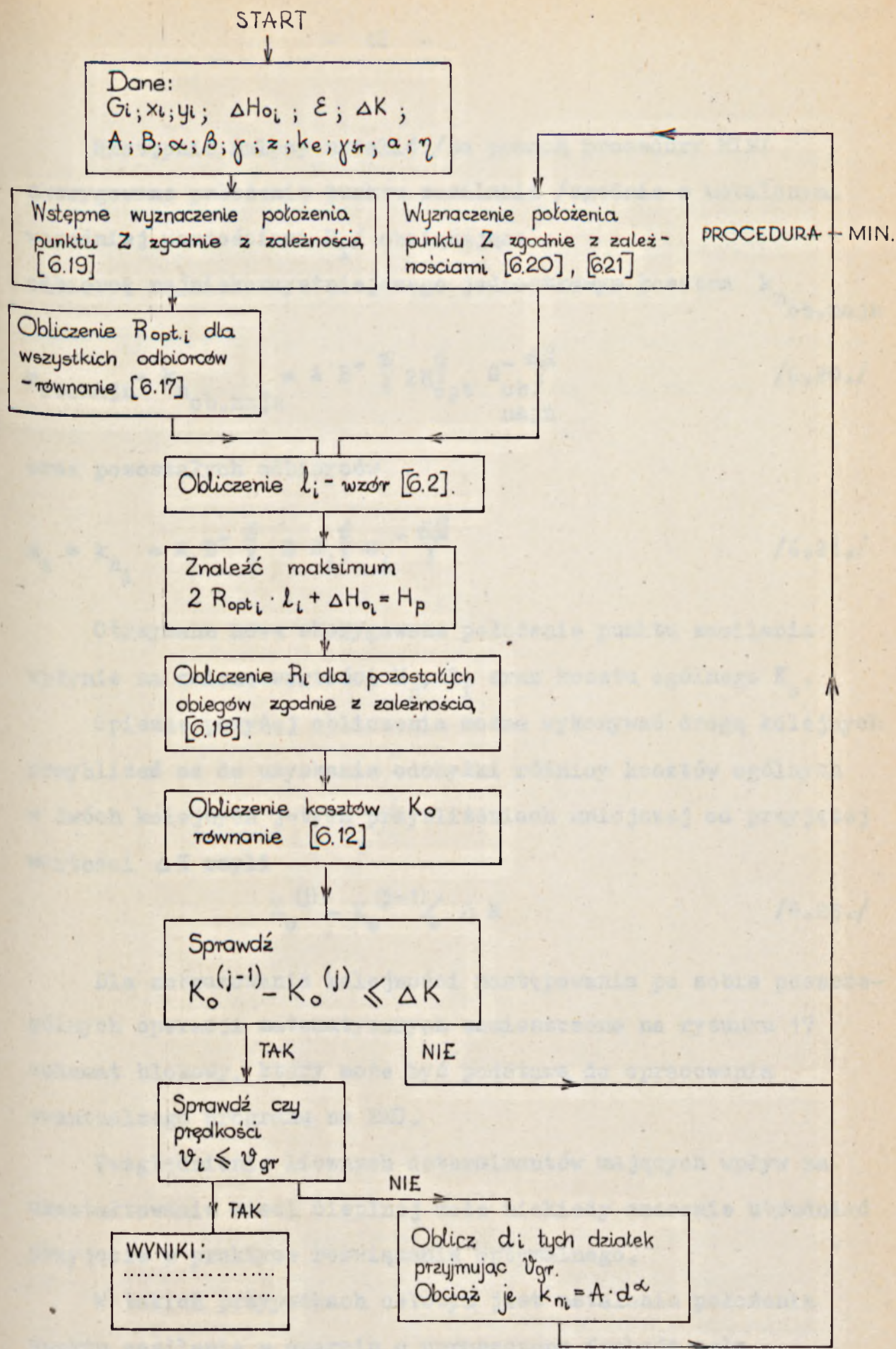
Poszukiwania położenia punktu zasilania sieci ciepłej pąjecznej należy przeprowadzić zgodnie z metodą podaną w pkt 6.1.1.

Z uwagi na dużą liczbę zmiennych występujących w powyższych zależnościach przyjmuję jako założenie wyjściowe obciążenie "m_i" poszczególnych punktów "i" zgodnie z uproszczoną funkcją celu - równanie 3.12.

czyli

$$m_i = G_i - \frac{\alpha\beta}{\gamma} /6.19./$$

Wstępne ustalenie położenia punktu zasilania zgodnie z podaną procedurą MIN pozwoli na znalezienie obiegu najniekorzystniejszego oraz na ustalenie jednostkowych spadków ciśnienia w poszczególnych obiegach. Umożliwi to wstępne obliczenie ciśnienia wytwarzanego przez pompę a także obliczenie rocznych kosztów ogólnych przy tak przyjętych założeniach.



Rys.17. Teoretyczny schemat blokowy obrazujący sposób poszukiwania optymalnego układu klasycznej sieci cieplnej pąjącej.

Następnie należy ustalić /za pomocą procedury MIN/
skorygowane położenie punktu zasilania /zgodnie z ustalonymi
wcześniej wartościami R_i / obciążając:
odbiorcę najniekorzystniejszego jednostkowym kosztem $k_{n_{ob.najn}}$

$$m_{ob.najn} = k_{n_{ob.najn}} = A B^{-\frac{\alpha}{\gamma}} 2 R_i^{\frac{\alpha}{\gamma}} G_{ob.najn}^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} \quad /6.20./$$

oraz pozostałych odbiorców

$$m_i = k_{n_i} = A B^{-\frac{\alpha}{\gamma}} 2 R_i^{\frac{\alpha}{\gamma}} G_i^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} \quad /6.21./$$

Otrzymane nowe skorygowane położenie punktu zasilania
wpłynie na zmianę wartości H_p , R_i oraz kosztu ogólnego K_o .

Opisane powyżej obliczenia można wykonywać drogą kolejnych
przybliżeń aż do uzyskania odchyłki różnicy kosztów ogólnych
w dwóch kolejnych j-tych przybliżeniach mniejszej od przyjętej
wartości ΔK czyli

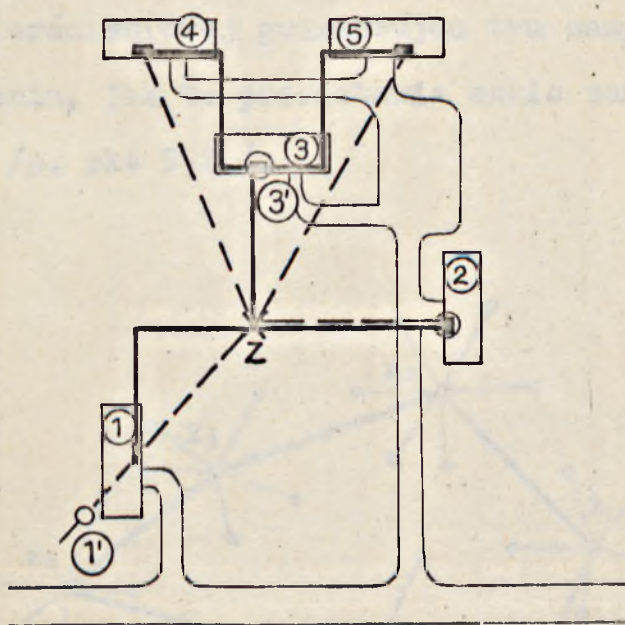
$$K_o^{(j)} - K_o^{(j-1)} \ll \Delta K \quad /6.22./$$

Dla zobrazowania kolejności następowania po sobie poszcze-
gólnych operacji matematycznych zamieszczono na rysunku 17
schemat blokowy, który może być podstawą do opracowania
ewentualnego programu na EMC.

Uwzględnienie licznych determinantów mających wpływ na
ukształtowanie sieci cieplnej może niekiedy znacznie utrudniać
przyjęcie w praktyce rozwiązania optymalnego.

W takich przypadkach celowym jest ustalanie położenia
punktu zasilania w oparciu o uproszczoną funkcję celu
/punkt 3.1. pracy/.

Tak ustalone wstępnie położenie punktu Z sugerować może wybór trasy przewodów jak najbardziej zbliżonej do układu optymalnego, oraz pozwoli także na ewentualne grupowanie odbiorców przewidzianych do połączenia ze sobą wspólnym przewodem. Klasyczna sieć cieplna pajęcza przekształci się wówczas w sieć pajęczo-promieniową, jak to przedstawia schemat zamieszczony na rysunku 18.



Rys. 18 Schemat sieci pajęczo-promieniowej

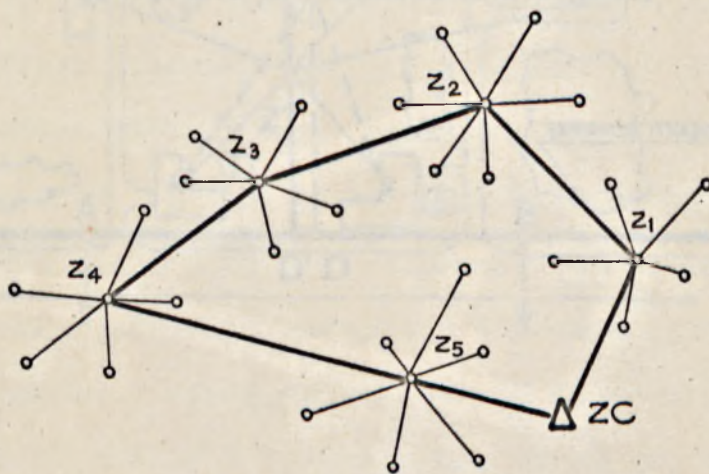
Zastosowanie układu samokompensacyjnego spowodowało odsunięcie odbiorcy 1 do punktu fikcyjnego 1'. Podobnie wspólne połączenie odbiorców 3, 4, 5 spowodowało utworzenie punktu fikcyjnego 3'.

Skorygowane położenie punktu zasilania Z zostanie ustalone dla punktów 1', 2, 3'.

6.2. Analiza włączenia sieci ciepłej pajęcznej w miejski układ ciepłowniczy

Najkorzystniejszy sposób włączenia sieci pajęcznej w m.s.c. uzyskuje się wówczas, gdy przewód magistralny przechodzi przez punkt zasilania danej sieci pajęcznej.

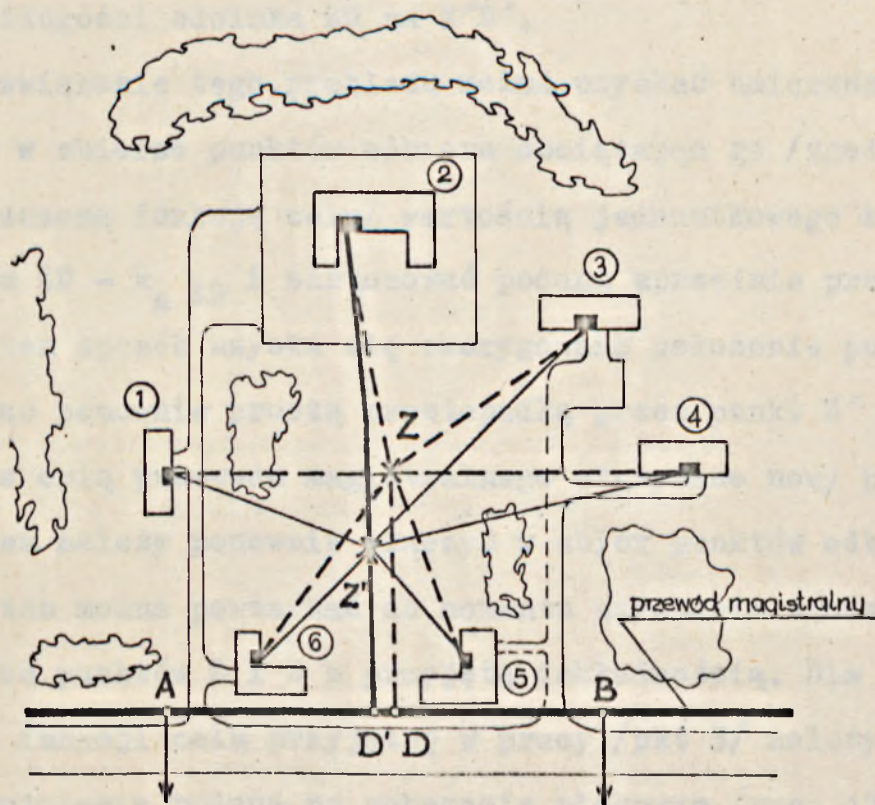
Sytuacja taka może zachodzić w przypadku sieci nowoprojektowanej łączącej np. kilka węzłów grupowych do pracy w systemie sieci pierścieniowej gwarantując tym samym dużą niezawodność zasilania, jak to przedstawia szkic zamieszczony na rysunku 19 /p. pkt 5.2./.



Rys. 19 Sieci ciepłe pajęczne zasilane za pośrednictwem sieci ciepłej pierścieniowej.

W ramach niniejszej pracy rozpatrzono także przypadek, gdy punkt zasilania Z połączony jest z przewodem magistralnym

za pomocą odrębnego przewodu. Przyjmując początkowo, że przyłączenie danej sieci pajęcznej nie powoduje zmiany średnicy przewodu magistralnego. Wówczas rozwiązanie uzyska się prowadząc przez punkt Z prostą prostopadłą do linii przewodu magistralnego /rys. 20/.



Rys. 20 Przykładowy schemat włączenia punktu zasilania sieci cieplnej pajęcznej w m.s.c.

W ten sposób otrzymano punkt włączenia, oznaczony jako D, o znanych współrzędnych x_D , y_D . Niezbędna jest jednak korekta położenia punktu Z, uwzględniająca wpływ kosztu odcinka ZD.

Problem w rozpatrywanym przypadku sprowadzi się więc do znalezienia takiego położenia punktu zasilenia Z aby uzyskać minimum kosztów ogólnych K_0 sieci cieplnej pajęcznej oraz kosztów oznaczonych symbolem K_n odcinka ZD . Odcinek ZD bowiem może być tylko w skrajnym przypadku ostatnim odcinkiem obiegu decydującego o ciśnieniu wytwarzanym przez pompę H_p . Jednakże i tak każda zmiana położenia punktu Z na Z' pociągnie za sobą zmniejszenie długości odcinka ZD na $Z'D'$.

Rozwiązanie tego problemu można uzyskać umieszczając punkt D w zbiorze punktów odbioru obciążając go /zgodnie z uproszczoną funkcją celu/ wartością jednostkowego kosztu przewodu $ZD - k_n ZD$ i zastosować podaną uprzednio procedurę MIN. W ten sposób uzyska się skorygowane położenie punktu $Z - Z'$. Prowadząc ponownie prostą prostopadłą przez punkt Z' do przecięcia z osią przewodu magistralnego otrzymano nowy punkt D' . Punkt ten należy ponownie włączyć w zbiór punktów odbioru. Proces ten można powtarzać do momentu uzyskania zgodności odciętych punktów Z i D z przyjętą dokładnością. Dla uzyskania minimum funkcji celu przyjętej w pracy /pkt 3/ należy zastosować metodologię podaną na schemacie blokowym /rys. 17/, pamiętając każdorazowo o odciążeniu punktu D kosztem jednostkowym $k_n ZD$. Jeśli w punkcie Z znajduje się węzeł zmieszania pompowego, wówczas dla przewodu ZD ulegną zmianie współczynniki A, B, β, γ /pkt 3/.

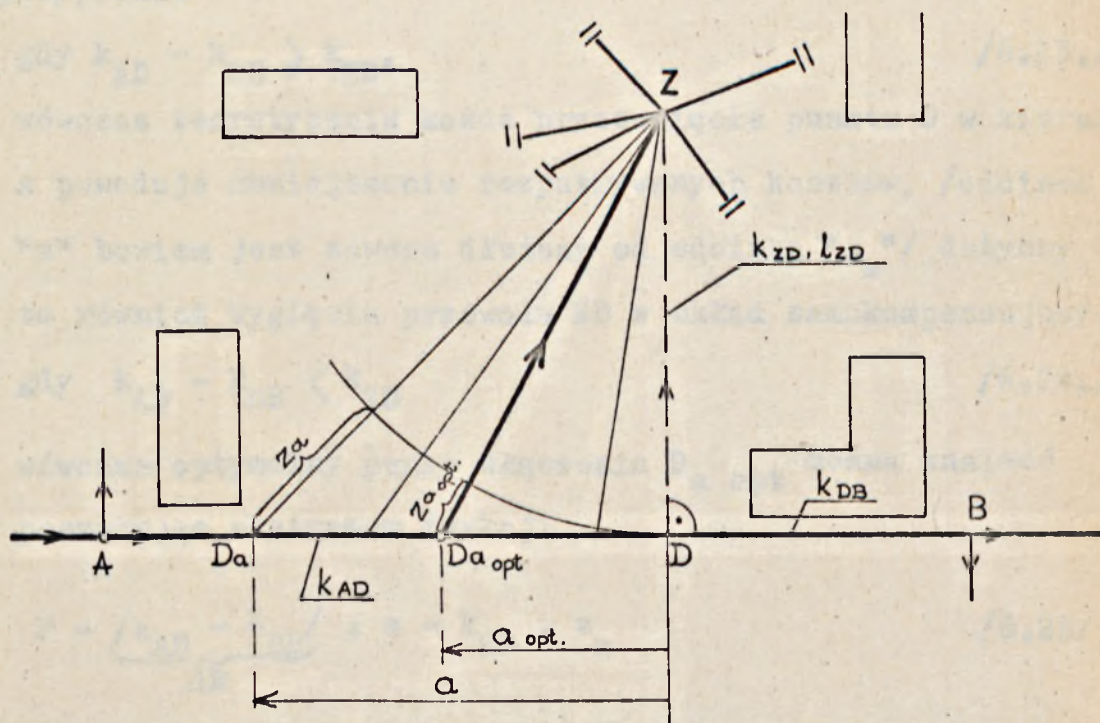
Ponadto na obszarach przewidzianych do zaopatrzenia z węzłów cieplnych grupowych będą miały zastosowanie z reguły sieci cieplne czteroprzewodowe. Dotychczas brak danych wskaźnikowych dotyczących zalecanych typowych rozwiązań tego rodzaju,

a w kierunku tym prowadzone są jeszcze prace studialne /23/. Nie będzie to jednak miało wpływu na podaną wcześniej metodologię rozwiązania.

Następnie rozpatrzono przypadek, gdy przyłączenie odgałęzienia powoduje zmianę przekroju przewodu magistralnego. W tym przypadku należy znaleźć minimum kosztów układu: sieć pajęcza - przewód odgałęźny - przewód magistralny. /rys. 21/.

Początkowo przyjęto ustalone położenie punktu Z i rozpoczęto analizę w aspekcie uproszczonej funkcji celu.

Oznaczenia poszczególnych wielkości przedstawiają się jak na rysunku 21.



Rys. 21 Analiza zmiany położenia miejsca włączenia odgałęzienia

Z - włączany punkt odbioru,

A, B - punkty ograniczające miejsce włączenia D,

k_{AD} , k_{DB} , k_{ZD} - jednostkowe koszty k_n odcinków AD, DB i ZD,

D_a - graniczne położenie punktu D; zmiana położenia punktu D wzdłuż odcinka "a", aż do punktu D_a pociąga za sobą zmniejszenie kosztów K_n układu

z - przyrost długości odcinka ZD_a w porównaniu z długością odcinka ZD,

$D_{a \text{ opt}}$ - optymalne położenie punktu a; usytuowanie punktu D w punkcie $D_{a \text{ opt}}$ gwarantuje minimum kosztów K_n rozpatrywanego układu

W trakcie wykonywania analizy włączenia punktu Z mogą wystąpić dwa przypadki:

I - gdy $k_{AD} - k_{DB} \geq k_{ZD}$, /6.23./
wówczas teoretycznie każde przesunięcie punktu D w kierunku A powoduje zmniejszenie rozpatrywanych kosztów, /odcinek "a" bowiem jest zawsze dłuższy od odcinka "z"/ dotyczy to również wygięcia przewodu ZD w układ samokompensujący.

II - gdy $k_{AD} - k_{DB} < k_{ZD}$ /6.24./
wówczas optymalny punkt włączenia $D_{a \text{ opt}}$ można znaleźć poszukując ekstremum funkcji

$$F = \frac{k_{AD} - k_{DB}}{\Delta k} \cdot a - k_{ZD} \cdot z_a \quad /6.25/$$

Wartość z_a daje się wyznaczyć ze wzoru:

$$z_a = l_{Z-D_a} - l_{Z-D}$$

czyli

$$z_a = \sqrt{l_{ZD}^2 + a^2} - l_{ZD}$$

Umieszczając otrzymaną wartość z_a we wzorze /6.25/ otrzymujemy:

$$F = \Delta k \cdot a - k_{ZD} \sqrt{l_{ZD}^2 + a^2} + k_{ZD} \cdot l_{ZD} \quad /6.26/$$

przy czym

$$\frac{dF}{da} = \Delta k - k_{ZD} \frac{a}{\sqrt{l_{ZD}^2 + a^2}}$$

Przyrównując otrzymane równanie do zera otrzymujemy:

$$\Delta k \sqrt{l_{ZD}^2 + a^2} = k_{ZD} \cdot a$$

$$\sqrt{\Delta k^2 / l_{ZD}^2 + a^2} = k_{ZD} \cdot a$$

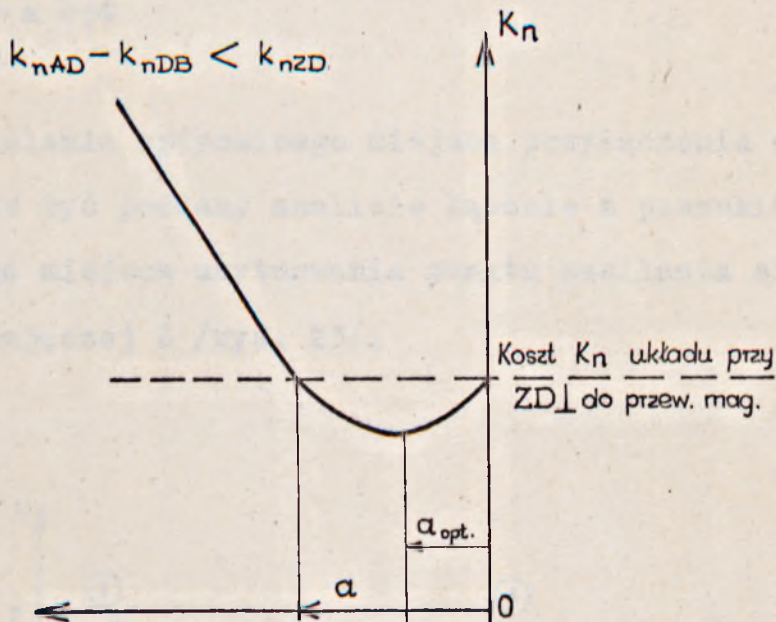
stąd

$$a_{opt} = \frac{\Delta k \cdot l_{ZD}}{\sqrt{k_{ZD}^2 - \Delta k^2}} \quad /6.27./$$

Graniczne położenie punktu $D = D_a$ można wyznaczyć rozwiązując układ równań:

$$\left. \begin{aligned} /k_{AD} - k_{DB}/a &= k_{ZD} \cdot z_a \\ /l_{ZD}/^2 + a^2 &= /l_{ZD} + z_a/^2 \end{aligned} \right\} \quad /6.28./$$

Powyższą analizę można przedstawić na wykresie zamieszczonym na rysunku 22.



Rys. 22 Graficzna interpretacja problemu poszukiwania optymalnego miejsca włączenia odgałęzienia

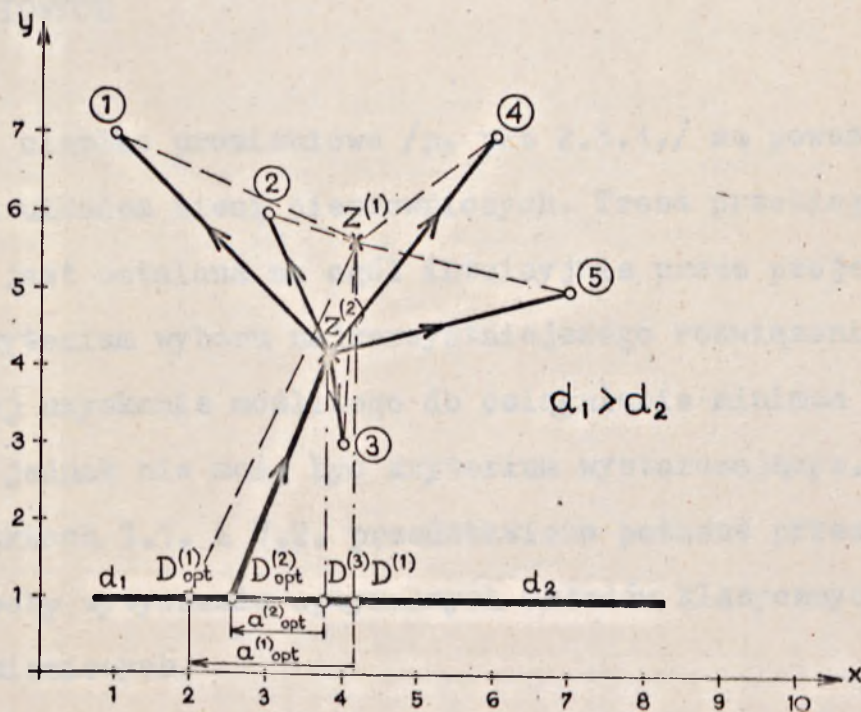
Biorąc pod uwagę uzyskanie minimum kosztów ogólnych należy uwzględnić wzrost kosztów pompowania związany ze zmniejszeniem się średnicy przewodu magistralnego na odcinku a_{opt} . Pełne uwzględnienie kosztów pompowania jest możliwe wówczas, gdy znany jest wstępnie układ sieci cieplnej magistralnej, a co za tym idzie można ustalić /racjonalne/ jednostkowe spadki ciśnienia R na poszczególnych działkach. Należy wówczas podać skorygowane położenie punktu $D_{a_{opt}}$ wyznaczając a_{opt} poszukując ekstremum funkcji

$$F = \left[\underbrace{A B^{-\frac{\alpha}{\gamma}} R_{AD}^{\frac{\alpha}{\gamma}} G_{AD}^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}}}_{k_n AD} - \underbrace{A B^{-\frac{\alpha}{\gamma}} R_{DB}^{\frac{\alpha}{\gamma}} G_{DB}^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}}}_{k_n DB} \right] \cdot a -$$

$$- \left[\underbrace{\left[A B^{-\frac{\alpha}{\gamma}} R_{ZD}^{\frac{\alpha}{\gamma}} G_{ZD}^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} \right]}_{k_n ZD} / z_a + \frac{1,2 G_c / R_{DB} - R_{AD} / z \cdot k_e}{\gamma_{sr} \cdot 3600 \cdot 102 \cdot \eta} \cdot a \right]$$

$$\frac{dF}{da} = 0 \rightarrow a_{opt}$$

Sposób ustalania optymalnego miejsca przyłączenia odgałęzienia $D_{a_{opt}}$ może być poddany analizie łącznie z poszukiwaniem optymalnego miejsca usytuowania punktu zasilania sieci cieplnej pajęczej Z /rys. 23/.



Rys. 23 Szkic obrazujący poszukiwanie optymalnego miejsca włączenia odgałęzienia i związana z tym zmiana położenia punktu zasilania sieci cieplnej pajęczej

Kolejność czynności w zakresie uproszczonej funkcji celu będzie:

- wstępne ustalenie położenia punktu zasilania $Z^{(1)}$,
- wyznaczenie położenia punktu $D_{a_{opt}}^{(1)}$,

- korekta położenia punktu $Z^{(1)} \rightarrow Z^{(2)}$ przez umieszczenie punktu $Da_{opt}^{(1)}$ w zbiorze punktów odbioru,
- ponowne wyznaczenie położenia punktu $Da_{opt}^{(2)}$,
- itd.

Iteracje można przeprowadzać aż do uzyskania odchyłki

$$x_{Da\ opt}^{(j-1)} - x_{Da\ opt}^{(j)} \text{ mniejszej od przyjętej.}$$

7. METODY POSZUKIWANIA OPTYMALNYCH UKŁADÓW SIECI CIEPLNYCH PROMIENIOWYCH

Sieci cieplne promieniowe /p. pkt 2.3.1./ są powszechnie stosowanym układem sieci ciepłowniczych. Trasa przebiegu sieci tego typu jest ustalana na ogół intuicyjnie przez projektującego. Głównym kryterium wyboru najkorzystniejszego rozwiązania jest najczęściej uzyskanie możliwego do osiągnięcia minimum długości sieci, co jednak nie może być kryterium wystarczającym.

W punktach 7.1. i 7.2. przedstawiono poznane przez autora pracy sposoby wytyczania optymalnych układów klasycznych sieci promieniowych.

Natomiast w punkcie 7.3. poddano analizie i porównano metody opisane w punktach 7.1. i 7.2., oraz zaproponowano zdaniem autora niniejszej pracy najkorzystniejszą metodę wyznaczania optymalnego układu sieci cieplnej promieniowej. Ponadto sporządzono program na EMC, który pozwolił na analizę przydatności tej żmudnej pod względem rachunkowym metody.

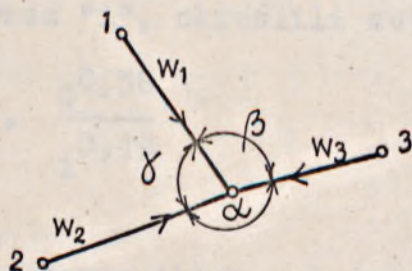
W punkcie 7.4. przedstawiono metodykę ustalania optymalnego układu klasycznej sieci promieniowej wyeksponowaną przez autora niniejszej pracy, a opartą o kryterium uzyskania minimum kosztów ogólnych.

7.1. W y z n a c z a n i e t r a s y p r z e w o d ó w
c i e p ł o w n i c z y c h m e t o d ą
w y k r e ś l n ą " S z i f r i n s o n -
L e o n t i e w a "

Przedstawiona w niniejszym punkcie metoda wyznaczania trasy przewodów ciepłowniczych jest metodą analityczno-wykreslną, bardzo żmudną i czasochłonną.

Jednostki oraz terminologia zawarte w niniejszym punkcie są zgodne z publikacją /35/ autorów tej metody.

Rozwiązanie oparto na zasadzie "zwózki ładunku z trzech różnych miejsc do magazynu położonego centralnie" /rys. 24/.



Rys. 24 Graficzne przedstawienie problemu "zwózki
ładunku z trzech różnych miejsc"

Porównano jednostkowe koszty zwózki z poszczególnych miejsc $/w_1, w_2, w_3/$ z wektorami leżącymi na jednej płaszczyźnie i przecinającymi się w jednym punkcie. Proporcja przedstawiona poniżej jest warunkiem równowagi takiego systemu

$$w_1 : w_2 : w_3 = \sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma \quad /7.1./$$

gdzie:

α, β, γ - są kątami leżącymi na przeciwko wektorów obrazujących koszty w_1, w_2, w_3 .

Koszty w_1, w_2, w_3 porównano z jednostkowymi kosztami sieci cieplnych wyznaczanych na podstawie równania:

$$w = a + b \cdot d^B \quad /rubli/m/ \quad /7.2./$$

gdzie:

a, b i B - są wielkościami stałymi zależnymi od przyjętych przy budowie sieci konstrukcji, materiałów, warunków układania i.t.p.

d - średnica przewodu w /m/

Średnicę przewodu " d ", wyrażoną przez masowe natężenie przepływu " G " i jednostkową stratę ciśnienia na pokonanie oporów tarcia oznaczoną przez " i ", określili autorzy ze wzoru

$$d = \kappa_w \cdot \frac{G^{0,38}}{i^{0,19}} \quad /7.3./$$

gdzie:

κ_w - jest współczynnikiem zależnym od stopnia szorstkości wewnętrznej powierzchni rurociągu.

Podstawiając wzór /7.3./ do wzoru /7.1./ i pomijając wielkość " a " jako posiadającą małe znaczenie otrzymano:

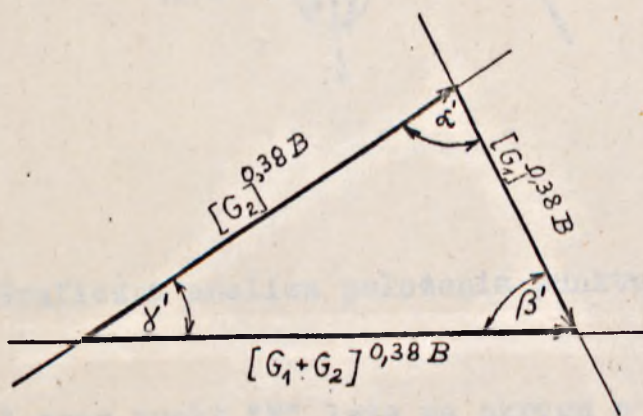
$$\frac{b \kappa_w^B G_1^{0,38B}}{i^{0,38B}} : \frac{b \kappa_w^B G_2^{0,38B}}{i^{0,38B}} : \frac{b \kappa_w^B G_3^{0,38B}}{i^{0,38B}} =$$

$$= \sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma \quad /7.4./$$

Następnie przyjmując wielkości "b", " $\mathcal{H}_w$ ", "B" oraz jednostkową stratę ciśnienia "i" jako stałe dla sieci ciepłowniczej prowadzonej w danych warunkach uzyskano proporcję:

$$G_1^{0,38B} : G_2^{0,38B} : G_3^{0,38B} = \sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma \quad /7.5./$$

Ze stosunku tego wynika, że kąty α, β, γ mogą być określone według formuł trygonometrycznych dla zewnętrznych kątów trójkąta z bokami $G_1^{0,38B}$, $G_2^{0,38B}$ i $G_3^{0,38B}$ jak to przedstawiono na rys. 25.



Rys. 25 Trójkąt sił

Kąty wewnętrzne można wyznaczyć z zależności

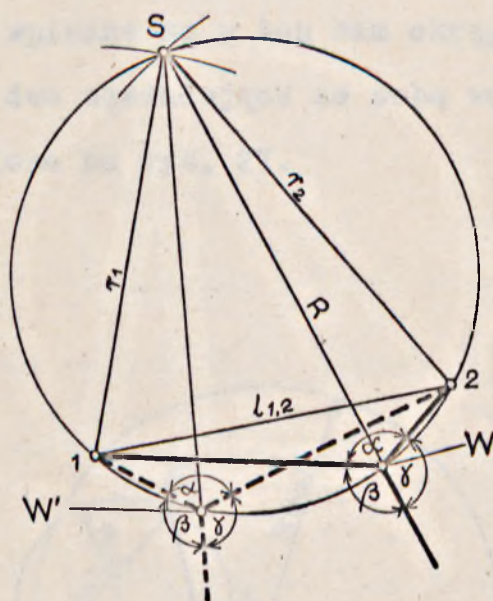
$$\alpha' = 180 - \alpha$$

$$\beta' = 180 - \beta$$

$$\gamma' = 180 - \gamma$$

/7.6./

Następnie opracowano graficzno-analityczną metodę wyznaczania położenia punktu węzłowego "W". Podstawą do rozważań jest przedstawiony poniżej rysunek 26.



Rys. 26 Graficzna analiza położenia punktu węzłowego

Punkty 1,2 oraz punkt "W" leżą na okręgu o promieniu

$$R = \frac{l_{12}}{2 \sin \alpha} \quad /7.7./$$

co wynika z twierdzenia Snelliusa ponieważ trójkąt 1,2,W jest wpisany w okrąg o promieniu R.

Aby było spełnione równanie /7.5./ przedłużenia wszystkich możliwych kierunków linii przez które przepływa sumaryczna ilość czynnika, przecinać się muszą w punkcie "S" nazwanym "centrum jednorodnym", a leżącym także na okręgu.

Punkt "S" można znaleźć zakreślając łuki o promieniach:

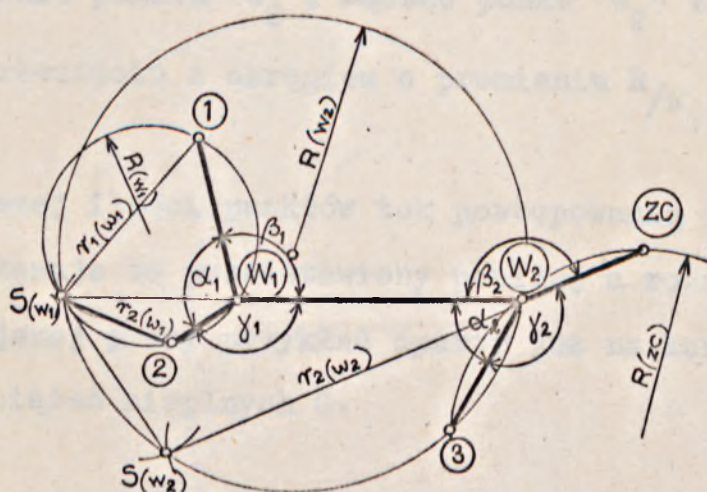
$$r_1 = 2R / \sin 180 - \beta /$$

/7.8./

$$r_2 = 2R / \sin 180 - \gamma /$$

co wynikało z twierdzenia Snelliusa, ponieważ trójkąty 1,2,W;
1,S,W oraz 2,S,W wpisane są w ten sam okrąg o promieniu R.

Rozpatrzono dwa sąsiadujące ze sobą węzły "W₁" i "W₂"
jak to przedstawiono na rys. 27.



Rys. 27 Sposób łączenia kolejnych węzłów metodą

"Szifrinson - Leontiewa"

W początkowym etapie obliczono $R_{/W_1/}$, $r_{1/W_1/}$, $r_{2/W_2/}$
w myśl wzorów /7.7./ i /7.8./ w wyniku czego ustalono położenie
punktu $S_{/W_1/}$.

Następnie analogicznie można znaleźć położenie punktu
 $S_{/W_2/}$ rozpatrując punkty $S_{/W_1/}$ i 3 identycznie jak punkty 1,2
uprzednio, przy czym:

$$R_{/W_2/} = \frac{l_{S_{/W_1/}-3}}{2 \sin \alpha_2} \quad /7.9./$$

Aby znaleźć położenie węzła końcowego w tym przypadku " W_2 ", należy wykonać identyczną operację z drugiego końca sieci, w tym przykładzie rozpatrując punkty 3 i ZC. Promień okręgu na którym powinien leżeć punkt " W_2 " będzie wynosił:

$$R_{/ZC/} = \frac{l_{/ZC-3/}}{2 \sin \gamma_2} \quad /7.10./$$

Przecięcie dwóch okręgów o promieniu $R_{/ZC/}$ i $R_{/W_2/}$ wyznacza położenie punktu " W_2 ". Łącząc punkt " W_2 " z punktem $S_{/W_1/}$ otrzymano na przecięciu z okręgiem o promieniu $R_{/W_1/}$ punkt węzłowy " W_1 ".

Przy większej ilości punktów tok postępowania jest identyczny. Pokazuje to przedstawiony poniżej a rozwiązany w ramach niniejszej pracy przykład oparty już na konkretnych wartościach obciążeń cieplnych G .

Przykład

Dana jest lokalizacja czterech punktów odbioru o zapotrzebowaniu czynnika grzejnego

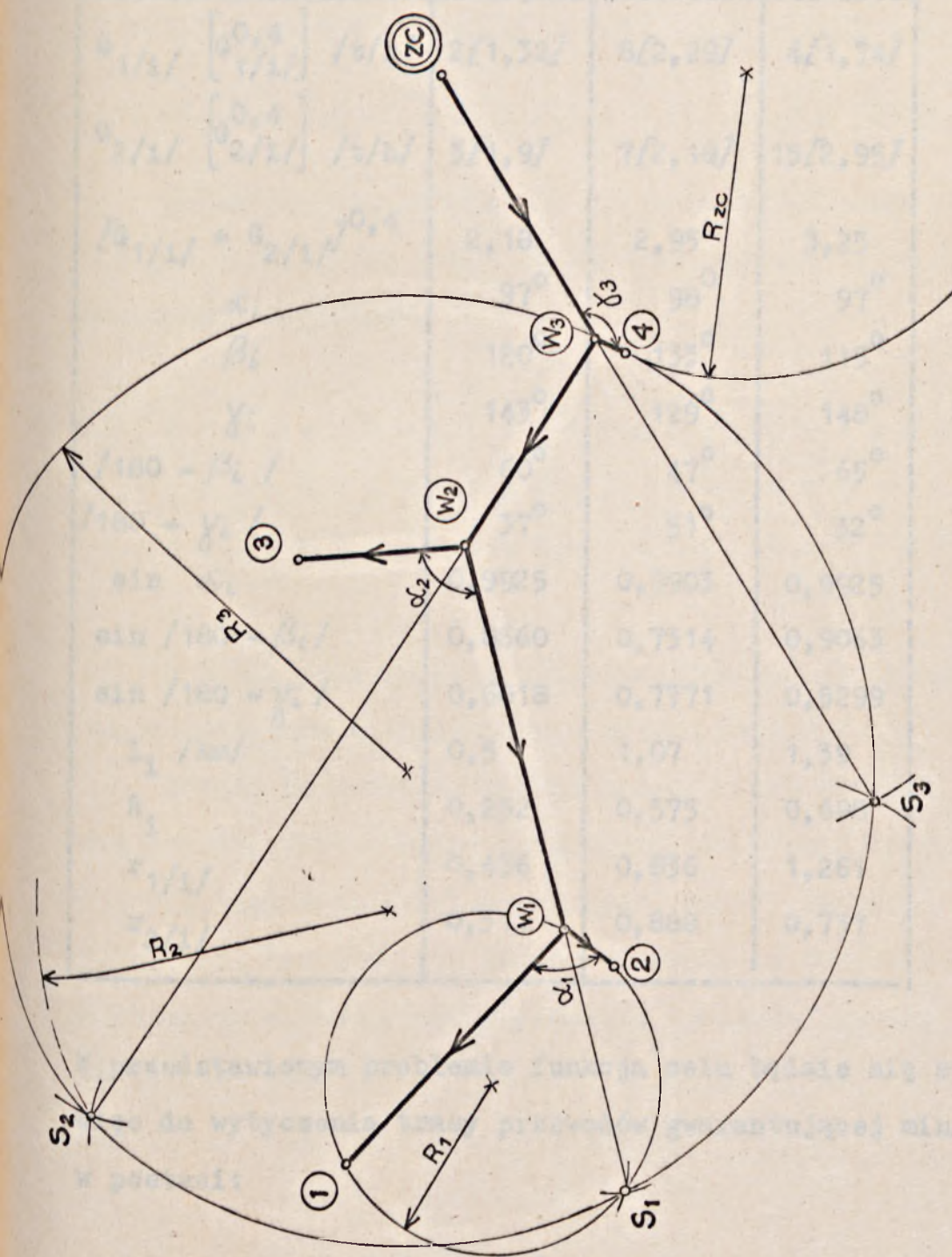
$$G_1 = 2 \text{ t/h}, \quad G_2 = 5 \text{ t/h}, \quad G_3 = 8 \text{ t/h}, \quad G_n = 4 \text{ t/h}$$

oraz źródło ciepła ZC o wydajności 19 t/h.

Wartości $G^{0,38B}$, które autorzy zastosowanej metody przyjmowali w przykładach jako $G^{0,38} /35/$ uwzględniono w niniejszym przykładzie dla uproszczenia jako $G^{0,4}$.

Rozwiązanie tego przykładu metodą "Szifrinson-Leontiewa" będzie w dalszej części pracy porównane z rozwiązaniem metodą podaną w punkcie 7.3.

Efekt zastosowania omawianej metody przedstawiono na rys. 28, a obliczenia zestawiono w poniższej tabeli.



Rys. 28. Przykład wyznaczenia trasy przewodów ciepłowniczych metodą „Szifrinson-Leontiewa”

W przykładzie tym ma miejsce niczym nie ograniczona dowolność w prowadzeniu trasy.

			Oznaczenia węzłów W_i		
			W_1	W_2	W_3
$G_{1/i/}$	$\begin{bmatrix} G_{1/i/}^{0,4} \\ G_{1/i/} \end{bmatrix}$	/t/h/	2[1,32]	8[2,29]	4[1,74]
$G_{2/i/}$	$\begin{bmatrix} G_{2/i/}^{0,4} \\ G_{2/i/} \end{bmatrix}$	/t/h/	5[1,9]	7[2,18]	15[2,95]
$[G_{1/i/} + G_{2/i/}]^{0,4}$			2,18	2,95	3,25
α_i			97°	98°	97°
β_i			120°	133°	115°
γ_i			143°	129°	148°
/180 - β_i /			60°	47°	65°
/180 - γ_i /			37°	51°	32°
$\sin \alpha_i$			0,9925	0,9903	0,9925
$\sin /180 - \beta_i /$			0,8660	0,7314	0,9063
$\sin /180 - \gamma_i /$			0,6018	0,7771	0,5299
l_i /km/			0,5	1,07	1,39
R_i			0,252	0,575	0,698
$r_{1/i/}$			0,436	0,836	1,261
$r_{2/i/}$			0,311	0,888	0,737

oraz

$$R_{/ZC/} =$$

$$= \frac{l_{ZC-4}}{2 \sin \gamma_3} =$$

$$= \frac{0,5}{1,059} =$$

$$= 0,472$$

W przedstawionym problemie funkcja celu będzie się sprowadzała więc do wytyczenia trasy przewodów gwarantującej minimum funkcji w postaci:

$$F_c = \min \sum_{i-j=1-2}^{m-n} G_{ij}^{0,4} \cdot l_{ij}$$

/7.11./

Będzie ona także wielkością porównawczą dla innej metody opisanej w pkt 7.2. niniejszej pracy.

Dla przedstawionego przykładu wartość funkcji celu jest następująca:

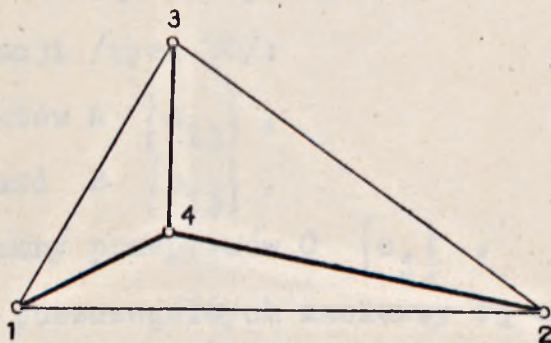
$$F_c = 1,32 \cdot 4,9 + 1,9 \cdot 1,0 + 2,18 \cdot 6,0 + 2,29 \cdot 2,6 + \\ + 2,95 \cdot 3,6 + 1,74 \cdot 0,5 + 3,25 \cdot 4,6 = 53,9$$

Przedstawiona metoda nie przewiduje tworzenia odgałęzień dla grup odbiorców. Można je uzyskać jedynie drogą intuicyjnego grupowania odbiorców.

7.2. W y z n a c z a n i e t r a s y p r z e w o d ó w c i e p ł o w n i c z y c h m e t o d ą " ś l i z g a j ą c e g o s i ę ż e b r a "

W niniejszym punkcie przedstawiono sposób wyznaczania trasy przewodów ciepłowniczych metodą Cala /5/.

Metoda ta została nazwana przez autora "metodą ślizgającego się żebra". Wykorzystano tu pojęcie tzw. "konturu elementarnego". Pod pojęciem konturu elementarnego, należy rozumieć funkcjonalną sieć łączącą trzy zadane wierzchołki trójkąta w punkcie gwiazdowym nazwanym w uproszczeniu "gwiazdą" /punkt 4 na rysunku 29/.



Rys. 29 "Kontur elementarny"

Dla konturu elementarnego charakteryzującego się istnieniem wierzchołków z obciążeniem, położenie gwiazdy skłania się w kierunku wierzchołków o większym obciążeniu, konkretnie wg autora metody, leży w środku ciężkości obciążeń poszczególnych wierzchołków.

Jako obciążenie poszczególnych wierzchołków przyjęto masowe natężenie przepływu czynnika grzejnego w poszczególnych punktach odbioru.

Pierwszą czynnością w opisywanej metodzie jest ustalenie numeracji poszczególnych punktów. Źródło ciepła zw. korzeniem drzewa otrzymuje numer pierwszy, natomiast numerację pozostałych wierzchołków dokonuje się w zależności od odległości od korzenia i obciążenia poszczególnych wierzchołków. Przy czym sposób ustalenia numeracji punktów nie został podany w poz. lit. 5.

Należy zauważyć, że przy ilości "n" wierzchołków /łącznie

z wierzchołkiem obrazującym źródło ciepła/ liczba punktów węzłowych /gwiazd/ "b" wynosi $b = n-2$

Algorytm rozwiązania polega na sformułowaniu trzech macierzy incydencji /rys. 30/:

- macierzy punktów A $\{a_{ij}\}$,
- macierzy gwiazd B $\{b_{ij}\}$,
- wektora kolumny przepływów C $\{c_j\}$.

Rozmiary poszczególnych macierzy są następujące:

$$A \quad [n \times /n-2/] \quad , \quad B \quad [/n-2/ \times /n-2/] \quad , \quad C[/n-2/ \quad .$$

Każdy element macierzy A i B może przyjmować wielkość zera lub jedynki.

Pod $a_{ij} = 1$ rozumie się istnienie połączenia /żebra/ między wierzchołkami "i" i "j", analogicznie dla $b_{ij} = 1$. Wektor kolumny C otrzymuje numer punktu węzłowego charakteryzującego się przepływem sumarycznym.

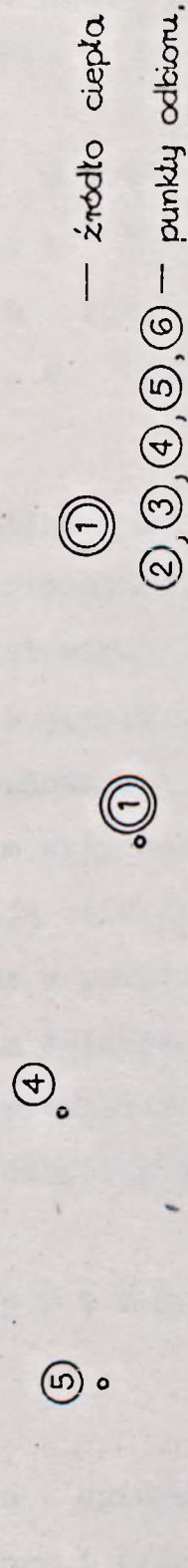
Wyznaczanie przebiegu sieci rozpoczyna się od budowy konturu elementarnego dla trzech pierwszych wierzchołków 1,2,3 /przy czym $G_1 = G_2 + G_3$ / z gwiazdą w punkcie /n+1/ /rys.30/.

Podłączenie następnego punktu dokonuje się szukając najkrótszej jego odległości od krawędzi już utworzonych /przy budowie pierwszej gwiazdy/.

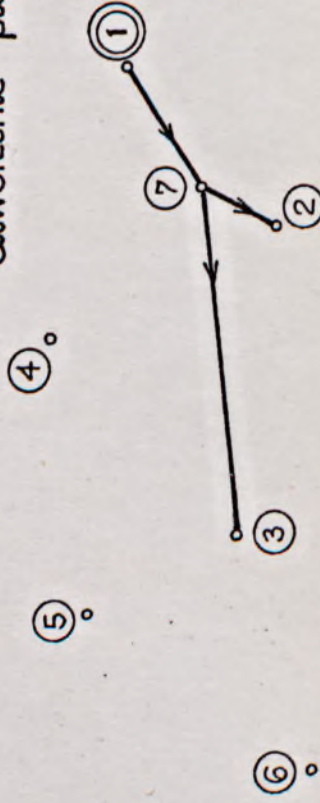
Czynność tę powtarza się przy podłączaniu każdego nowego wierzchołka.

W ten sposób uzyskuje się wstępne położenie następnej gwiazdy. Ostateczne jej położenie otrzymuje się drogą iteracyjną uwzględniając aktualne przepływy w poszczególnych krawędziach, a co za tym idzie aktualne obciążenia poszczególnych punktów.

Przykładowe rozmieszczenie punktów (wierzchołków)



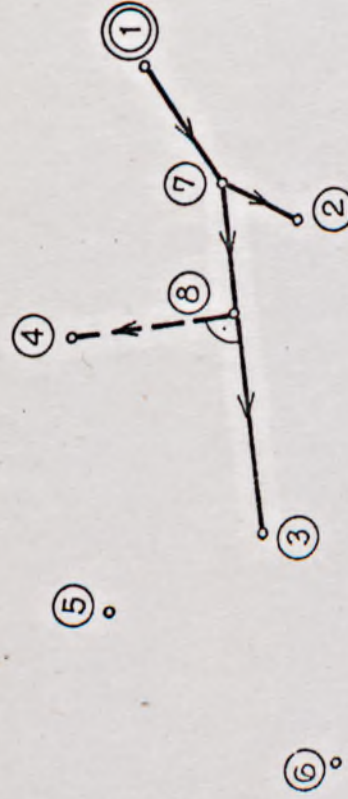
Utworzenie pierwszej gwiazdy - punkt ⑦



Matryce incydencji

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	7	0	1	0	0	0	X	0	0	0
B	8	0	0	0	0	0	0	X	0	0
C	9	0	0	0	0	0	0	0	X	0
D	10	0	0	0	0	0	0	0	0	X

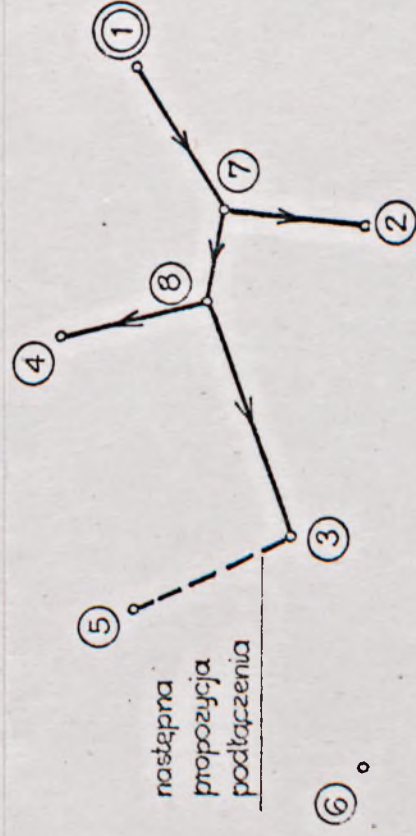
Podłączenie kolejnego punktu ④.



Matryce incydencji

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	7	1	0	0	0	0	X	1	0	0
B	8	0	0	1	0	0	1	X	0	0
C	9	0	0	0	0	0	0	0	X	0
D	10	0	0	0	0	0	0	0	0	X

Zmiana położenia punktów ⑦ i ⑧ po aktualizacji przepływów i po wykonaniu iteracji.



Rys. 30. Szkic przedstawiający podłączenie nowego wierzchołka w metodzie Coła.

Ze względu na pracochłonność podanego sposobu wskazane jest użycie EMC.

Opisana powyżej metoda zostanie poddana analizie w punkcie 7.3. niniejszej pracy.

7.3. A n a l i z a m e t o d y o p i s a n e j
w p u n k c i e 7.2. i p o r ó w n a n i e
z m e t o d ą p r z e d s t a w i o n ą
w p u n k c i e 7.1.

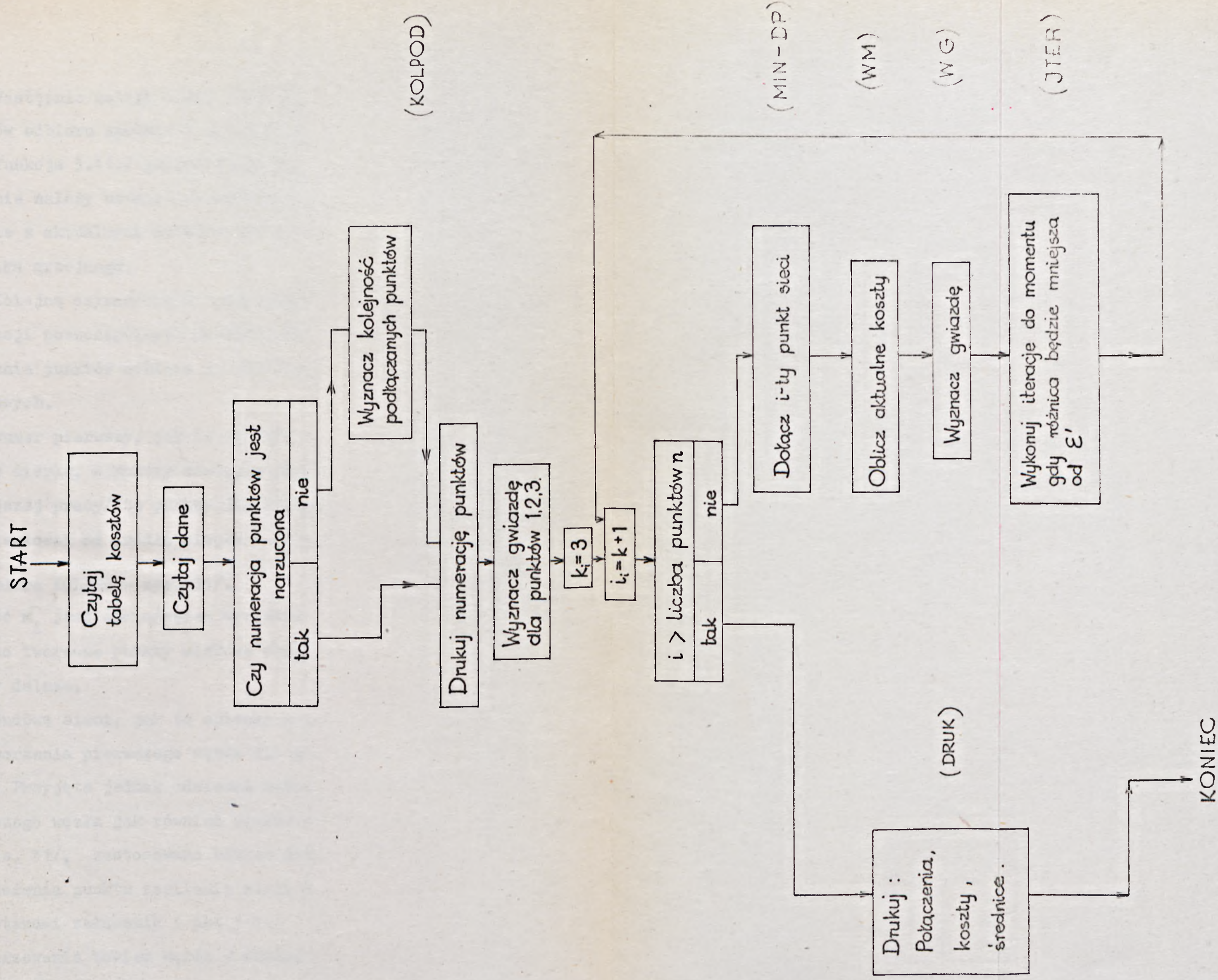
W celu przeanalizowania metody opisanej w punkcie 7.2. zbudowano w ramach niniejszej pracy /z modyfikacjami/ program na EMC, który przedstawiono jako załącznik 2 punktu 11 pracy. Program opracowano w języku ALGOL na maszynę Odra 1204.

Program ten zbudowano w ten sposób, aby uczynić go przydatnym przy wstępnym wytyczaniu sieci promieniowej zgodnie z uproszczoną funkcją celu /pkt 3.1./ a także, aby móc porównać metody przedstawione w punktach 7.1. i 7.2.

Dla wyjaśnienia działania programu przedstawiono jego schemat blokowy na rysunku 31, a w dalszej części niniejszego punktu opisano poszczególne procedury.

7.3.1. O p i s o p r a c o w a n e g o p r o g r a m u
n a E M C

Punktem wyjścia w opisywanej metodzie jest zlokalizowanie danych punktów odbioru i źródła zasilania w układzie współrzędnych "Oxy".



Rys. 31. Schemat blokowy programu do wstępnego wyznaczania optymalnego układu sieci cieplnej promieniowej.

Następnie należy ustalić obciążenia poszczególnych punktów odbioru zgodnie z założoną wcześniej funkcją celu, /np. funkcja 3.11./ gwarantującą minimum określonych kosztów. Podobnie należy ustalić obciążenia tworzonych punktów węzłowych zgodnie z aktualnymi natężeniami przepływającego przez nie czynnika grzejjego.

Kolejną czynnością w opisywanej metodzie jest ustalenie numeracji poszczególnych punktów. Numeracja ta narzuci kolejność włączania punktów odbioru do chwilowo utworzonych układów sieciowych.

Numer pierwszy, jak to opisano w punkcie 7.2., otrzymuje źródło ciepła, a numery następne otrzymują /według autora niniejszej pracy/ te punkty dla których stosunek obciążenia m_i do odległości od źródła ciepła $-\frac{m_i}{l_i}$ przyjmuje wartość największą /procedura KOLPOD - rys. 31/.

Wartość m_i jest obciążeniem wynikłym z przyjętej funkcji celu. Kolejno tworzone punkty węzłowe otrzymują dla porządku numery dalsze.

Budowę sieci, jak to opisano w punkcie 7.2. rozpoczyna się od utworzenia pierwszego węzła dla punktów oznaczonych numerami 1,2,3. Przyjęto jednak odmienną metodę ustalania położenia pierwszego węzła jak również węzłów następnych /procedura WG- rys. 31/, zastosowano bowiem metodę wyznaczania optymalnego położenia punktu zasilania sieci cieplnej pajęczej /podprogram stanowi załącznik 1 pkt 1.1./

Zlokalizowanie bowiem węzła w środku ciężkości /pkt 7.2./ obciążeń poszczególnych wierzchołków nie jest jak to pokazano wcześniej /pkt 6.1./ rozwiązaniem właściwym.

Podłączenie każdego następnego punktu dokonuje się szukając najkrótszej jego odległości od gałęzi utworzonych przy budowie poprzedniego węzła /prowadząc prostą prostopadłą przez dany punkt, względnie przy braku zasadności poprowadzenia prostopadłej, znalezienie najkrótszej odległości podłączanego punktu do wierzchołków już rozpatrzonych/.

Procedurę podłączenia punktów oznaczono w programie jako MIN-DP. Procedura ta jest powtarzana przy podłączaniu każdego następnego punktu.

W ten sposób uzyskuje się wstępne położenia kolejnych węzłów. Ostateczne ich położenie uzyskuje się drogą iteracyjną, przy uwzględnieniu obciążeń poszczególnych wierzchołków i węzłów odpowiadających aktualnym przepływowi. Iteracje przeprowadzane są aż do momentu uzyskania odchyłki $\leq$ od zadanej ε . Procedurę tę oznaczono w programie jako JTER /rys.31/.

Po przyłączeniu wszystkich punktów i zakończeniu ostatniej iteracji następuje wydruk połączeń /gałęzi/, ich kosztów, średnic oraz kosztu sumarycznego /zgodnie z przyjętą funkcją celu/.

Dane niezbędne do wprowadzenia do EMC obejmują:

tabelę kosztów w postaci:

l_w , /- liczba wierszy w tabeli kosztów/

G,	d,	k,
...	...	...
...	...	...
...	...	...

oraz

1; /lub 0, - sygnalizacja 0 - numeracja punktów narzucona
1 - numeracja punktów nieznana/,

n; /- ilość punktów wraz ze źródłem ciepła/,

x_1, y_1 ; /- współrzędne źródła ciepła/,

m_2, x_2, y_2 ;

.....

/- obciążenia $m_i = G_i$; współrzędne x_i, y_i
poszczególnych punktów odbioru;

m_i, x_i, y_i ;

.....

program przetwarza dane G_i na $k/i/$

m_n, x_n, y_n ;

$\varepsilon', \varepsilon$; /- odchyłki iteracji ε' - dla procedury JTER

ε - dla procedury WG/

Budowa programu pozwala na dokonanie numeracji punktów /wierzchołków/ zgodnie z opisaną procedurą KOLPOD lub na zadanie dowolnej numeracji zgodnie z życzeniem projektanta, co umożliwia rozpatrzenie wielu wariantów połączeń i wybór rozwiązania najkorzystniejszego w danych warunkach.

7.3.2. Przykłady przedstawiające
efekty omawianej metody
i opracowanego programu
na EMC

Przykład I pkt 7.3.

Przy użyciu opracowanego programu zaprojektować układ sieci cieplnej promieniowej dla przykładowych punktów odbioru,

mając dane masowe natężenia przepływu czynnika grzejącego w poszczególnych punktach odbioru /t/h/ oraz współrzędne tych punktów i źródła ciepła.

Dla uwidocznienia prawidłowości omawianej metody przyjęto funkcję celu gwarantującą minimum kosztów inwestycyjnych w oparciu o konkretne wartości jednostkowych kosztów inwestycyjnych zgodnie z poz. lit. 21.

Dane przygotowane do wprowadzenia do EMC zawierają:
taśmę z tabelą kosztów /poz. lit. 21/

16;

1	32	1200;
2	40	1300;
5	50	1500;
10	65	1700;
20	80	1900;
25	100	2100;
42	125	2400;
70	150	3100;
125	200	3800;
215	250	4600;
325	300	5700;
470	350	7200;
650	400	8500;
1100	500	10000;
1700	600	13800;
2500	700	16900;

oraz taśmę z następującymi danymi:

1;

10;

0,0;

18,5,11; 138,10,4; 22,12,9;

43,16,13; 27,16,17; 16,23,6;

726,25,27; 43,28,16; 98,35,6;

0.1; 0.1;

Wyniki obliczeń przedstawiają się następująco:

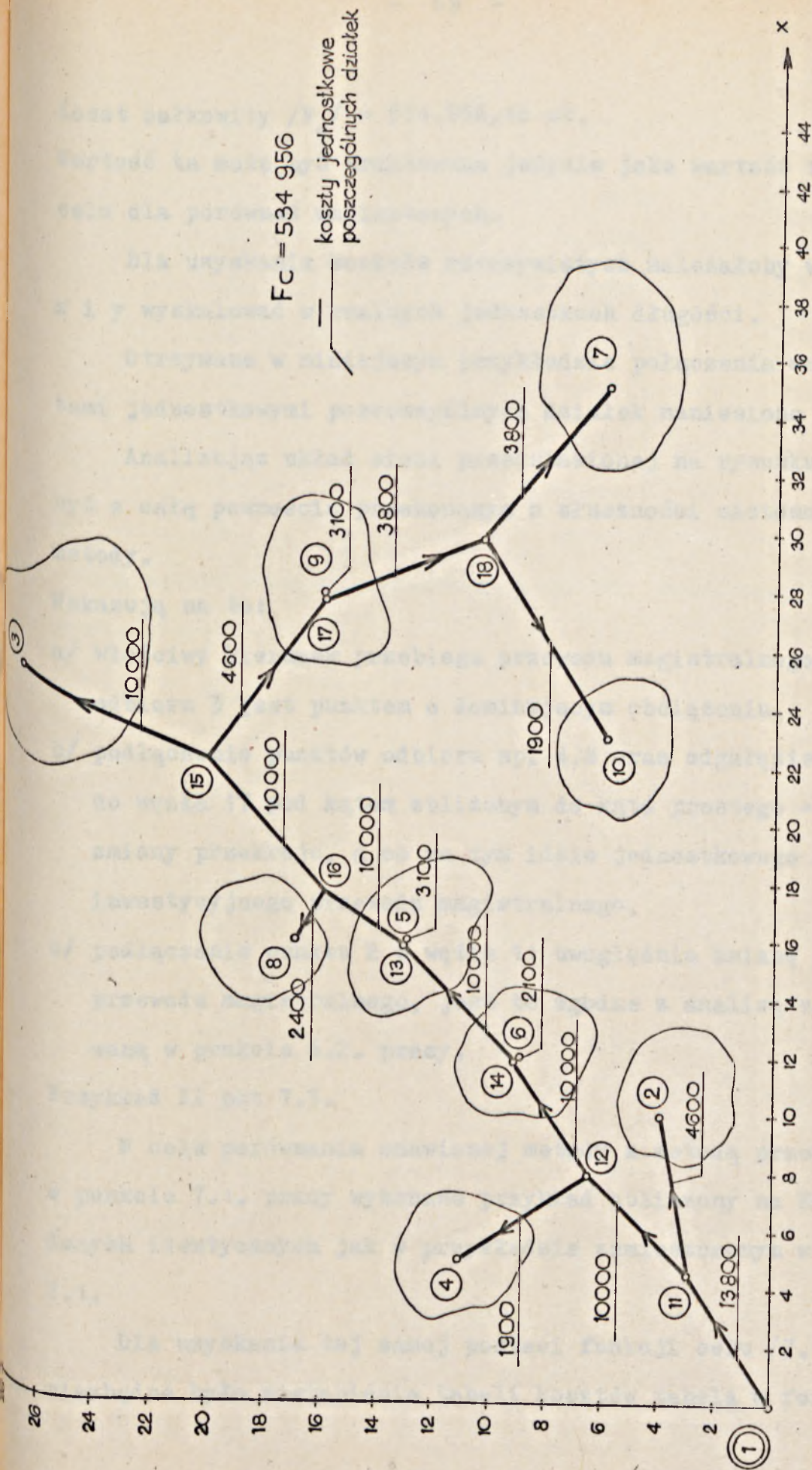
Nr	koszt jednostkowy	x	y
1		0,00	0,00
2	4600,00	10,00	4,00
3	10000,00	25,00	27,00
4	1900,00	5,00	11,00
5	3100,00	16,00	13,00
6	2100,00	12,00	9,00
7	3800,00	35,00	6,00
8	2400,00	16,00	17,00
9	3100,00	28,00	16,00
10	1900,00	23,00	6,00

Numeracja i współrzędne punktów węzłowych

Nr	x	y
11	4,43	3,01
12	7,94	6,54
13	15,91	13,07
14	11,87	9,22
15	22,36	20,09
16	17,80	15,89
17	27,72	15,92
18	29,81	10,40

Połączenia ich koszty i średnice

Od	do	koszt jedn. /zł/m/	koszt działki /zł/	średnica /mm/
1	11	13800,00	73868,25	600,00
11	12	10000,00	49823,93	500,00
14	13	10000,00	55781,77	500,00
12	14	10000,00	47576,35	500,00
16	15	10000,00	62006,60	500,00
13	16	10000,00	34007,09	500,00
15	17	4600,00	31229,85	250,00
17	18	3800,00	22427,03	200,00
11	2	4600,00	26036,45	250,00
15	3	10000,00	73917,80	500,00
12	4	1900,00	10149,37	80,00
13	5	3100,00	349,92	150,00
14	6	2100,00	533,31	100,00
18	7	3800,00	25858,43	200,00
16	8	2400,00	5074,86	125,00
17	9	3100,00	919,80	150,00
18	10	1900,00	15395,65	80,00



Rys. 32. Wyznaczenie optymalnej sieci promieniowej.
Przykład II pkt. 7.3.

Koszt całkowity $/F_c/ = 534.956,46$ zł.

Wartość ta może być traktowana jedynie jako wartość funkcji celu dla porównań wariantowych.

Dla uzyskania kosztów rzeczywistych należałoby współrzędne x i y wyskalować w realnych jednostkach długości.

Otrzymane w niniejszym przykładzie połączenia wraz z kosztami jednostkowymi poszczególnych działek naniesiono na rys. 32.

Analizując układ sieci przedstawionej na rysunku 32, można być z całą pewnością przekonany o słuszności zastosowanej metody.

Wskazują na to:

- a/ właściwy kierunek przebiegu przewodu magistralnego - punkt odbioru 3 jest punktem o dominującym obciążeniu,
- b/ podłączenie punktów odbioru np. 4,8 oraz odgałęzienia do węzła 17 pod kątem zbliżonym do kąta prostego - brak zmiany przekroju, a co za tym idzie jednostkowego kosztu inwestycyjnego przewodu magistralnego,
- c/ podłączenie punktu 2 w węźle 11 uwzględnia zmianę przekroju przewodu magistralnego, jest to zgodne z analizą zaproponowaną w punkcie 6.2. pracy.

Przykład II pkt 7.3.

W celu porównania omawianej metody z metodą przedstawioną w punkcie 7.1. pracy wykonano przykład obliczony na EMC przy danych identycznych jak w przykładzie zamieszczonym w punkcie 7.1.

Dla uzyskania tej samej postaci funkcji celu /7.11./ niezbędne było zastąpienie tabeli kosztów tabelą w formie:

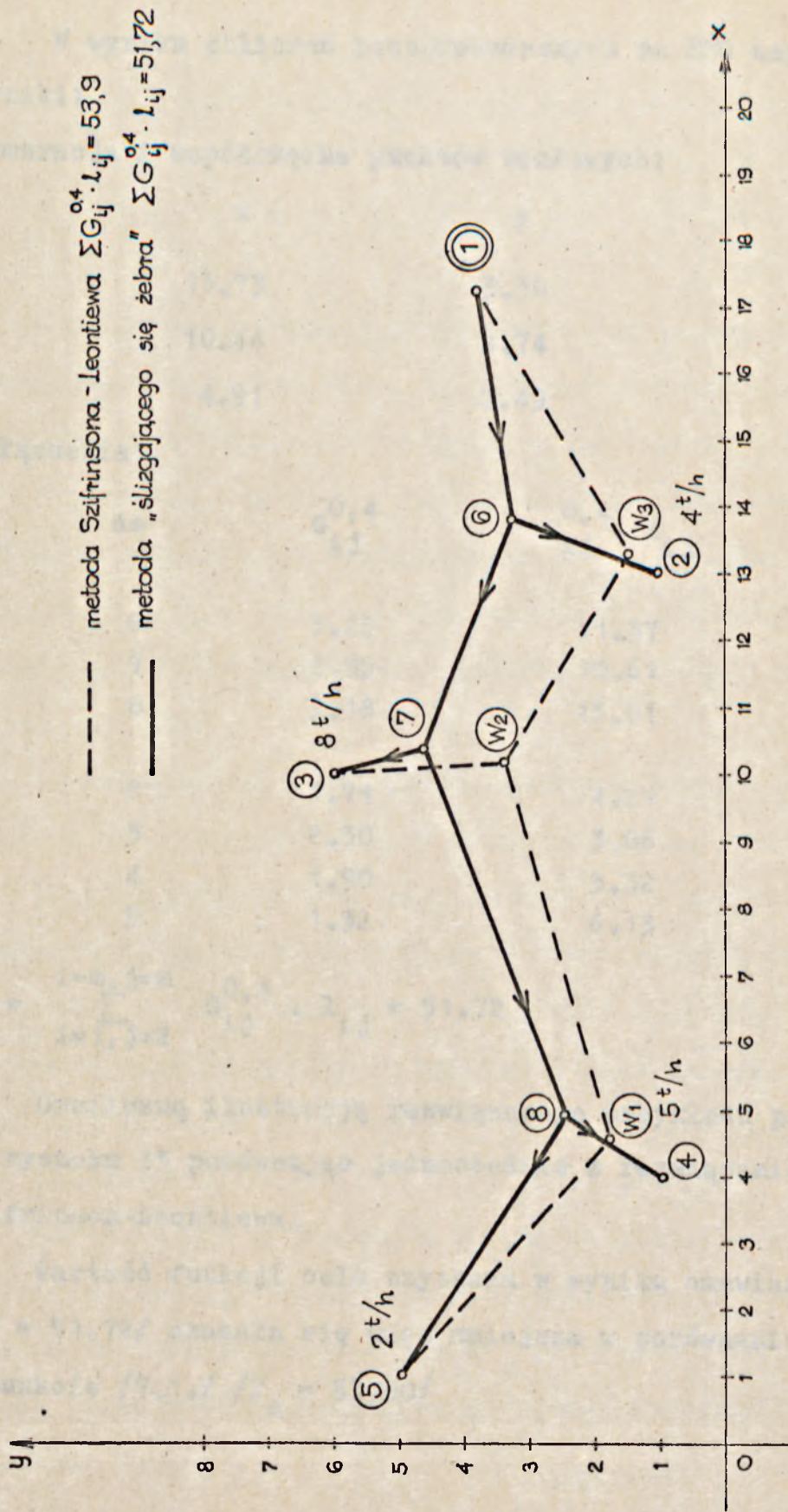
G	-	G ^{0,4}
1	1	1.000;
2	2	1.319;
3	3	1.552;
.	.	;
.	.	;
.	.	;
.	.	;
19	19	3.314;

Przygotowane dane do wprowadzenia do EMC przedstawiały się następująco:

19;		
1	1	1.000;
2	2	1.319;
.	.	;
.	.	;
.	.	;
.	.	;
19	19	3.314;

oraz

1;
5;
17.2; 3.8;
4; 13; 1;
8; 10; 6;
5; 4; 1;
2; 1; 5;
0.2; 0.1;
>



Rys. 33. Budowa optymalnej sieci promieniowej metodą opisaną w punkcie 7.3.1
 Przykład II. (Porównanie z metodą Sziftrinson-Leontiewa).

W wyniku obliczeń przeprowadzonych na EMC uzyskano wyniki:

Numeracja i współrzędne punktów węzłowych:

Nr	x	y
6	13.73	3.30
7	10.44	4.74
8	4.91	2.49

Połączenia:

od	do	$G_{ij}^{0,4}$	$G_{ij}^{0,4} \cdot l_{ij}$
1	6	3.25	11.37
6	7	2.95	10.61
7	8	2.18	13.01
6	2	1.74	4.21
7	3	2.30	3.06
8	4	1.90	3.32
8	5	1.32	6.13

$$F_c = \sum_{i=1, j=2}^{i=m, j=n} G_{ij}^{0,4} \cdot l_{ij} = 51.72$$

Graficzną ilustrację rozwiązanego przykładu przedstawiono na rysunku 33 porównując jednocześnie z rozwiązaniem metodą Szifrinson-Leontiewa.

Wartość funkcji celu uzyskana w wyniku omawianej metody $/F_c = 51,72/$ okazała się więc mniejsza w porównaniu z obliczoną w punkcie $/7.1./$ $/F_c = 53,90/$

7.4. Metodyka ustalania optymalnego układu sieci cieplnej promieniowej wykazonwana przez autora niniejszej pracy

W niniejszym punkcie przedstawiono metodykę ustalania optymalnego przebiegu sieci cieplnej promieniowej w oparciu o uzyskanie minimum kosztów ogólnych zgodnie z równaniem 3.10.

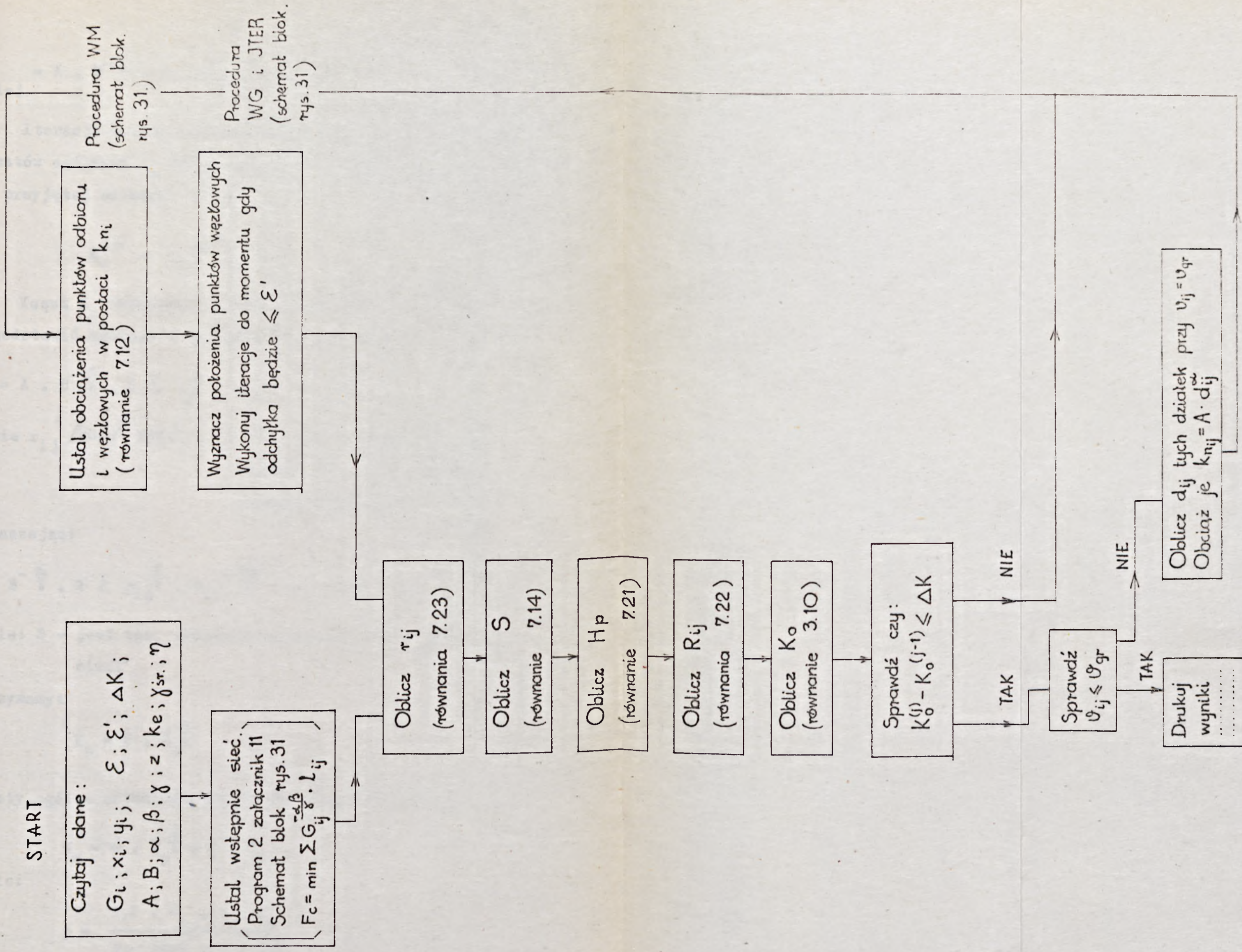
W problemie tym wykorzystano analizę przeprowadzoną w punkcie 3 pracy, metodę przedstawioną i przeanalizowaną w punktach 7.2. i 7.3., oraz metodę ustalania racjonalnych średnic przewodów i wysokości podnoszenia pompy zgodnie z poz. lit. /26/.

Dla zobrazowania kolejności poszczególnych operacji przedstawiono schemat blokowy zamieszczony na rysunku 34.

Punktem wyjścia jest wstępne ustalenie przebiegu trasy przewodów ciepłowniczych w oparciu o uproszczoną funkcję celu /zależność 3.11./, przyjmując obciążenie poszczególnych punktów odbioru i punktów węzłowych zgodnie z zależnością 3.12. Ustalenie to można przeprowadzić stosując program przedstawiony w punkcie 7.3. /załącznik 2 punkt 11 pracy/.

Dalsze prace sprowadzają się do ustalenia metodą kolejnych przybliżeń skorygowanych położenia punktów węzłowych w oparciu o obliczenie racjonalnej wysokości podnoszenia pompy H_p i racjonalnych spadków ciśnienia R_{ij} na poszczególnych działkach sieci.

Obciążenia poszczególnych punktów należy wówczas przyjmować w postaci jednostkowych kosztów k_n /zgodnie z zależnością 3.4./



Rys. 34. Schemat blokowy wyznaczania optymalnego układu sieci cieplnej promieniowej zgodnie z kryterium uzyskania minimum kosztów ogólnych.

$$k_{n_{i-j}} = A \cdot B^{-\frac{\alpha}{\gamma}} \cdot 2 \cdot R_{ij}^{\frac{\alpha}{\gamma}} \cdot G_{ij}^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} \quad /7.12./$$

Iteracje należy przeprowadzać aż do momentu gdy różnica kosztów ogólnych K_o dwóch kolejnych iteracji będzie mniejsza od przyjętej odchyłki ΔK .

$$K_o^{(j)} - K_o^{(j-1)} \leq \Delta K$$

Koszt K_n wchodzący w skład kosztów ogólnych można przedstawić zgodnie z zależnością 3.4. jako:

$$K_n = A \cdot B^{-\frac{\alpha}{\gamma}} \cdot 2 \sum H_p^{\frac{\alpha}{\gamma}} \cdot r_{ij}^{\frac{\alpha}{\gamma}} \cdot G_{ij}^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} \cdot l_{ij} \quad /7.13./$$

gdzie r_{ij} [kg/m² /N/m²/] - jest jednostkowym oporem tarcia w działce przy ciśnieniu dyspozycyjnym równym 1 m.

Oznaczając:

$$A \cdot B^{-\frac{\alpha}{\gamma}} \cdot 2 \sum r_{ij}^{\frac{\alpha}{\gamma}} \cdot G_{ij}^{-\frac{\alpha\beta}{\gamma}} \cdot l_{ij} = S \quad /7.14./$$

gdzie: S - jest tzw. ekonomiczną hydrauliczną charakterystyką sieci

otrzymamy:

$$K_n = S \cdot H_p^{\frac{\alpha}{\gamma}} \quad /7.15./$$

Koszty ogólne natomiast można przedstawić w formie :

$$K_o = S \cdot H_p^{\frac{\alpha}{\gamma}} + p \cdot H_p \quad /7.18./$$

gdzie:

$$p = \frac{1,2 \cdot G_c \cdot z \cdot k_e}{\gamma_{sr} \cdot 3600 \cdot \eta \cdot 102} \quad /7.19./$$

Racjonalną wysokość podnoszenia pompy można obliczyć z zależności:

$$\frac{d K_o}{d H_p} = \frac{\alpha}{\gamma} \cdot S \cdot H_p^{\frac{\alpha}{\gamma} - 1} + p = 0 \quad /7.20./$$

$$H_p^{\frac{\alpha}{\gamma} - 1} = - \frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{p}{S} \quad /7.21/$$

$$H_p = \left[- \frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{p}{S} \right]^{\frac{\gamma}{\alpha - \gamma}}$$

Racjonalne spadki ciśnienia dla poszczególnych działek R_{ij} znaleziono /poz.lit.26/ szukając minimum funkcji przedstawionej równaniem 3.4.

$$\frac{d K_n}{d R_{ij}} = 0$$

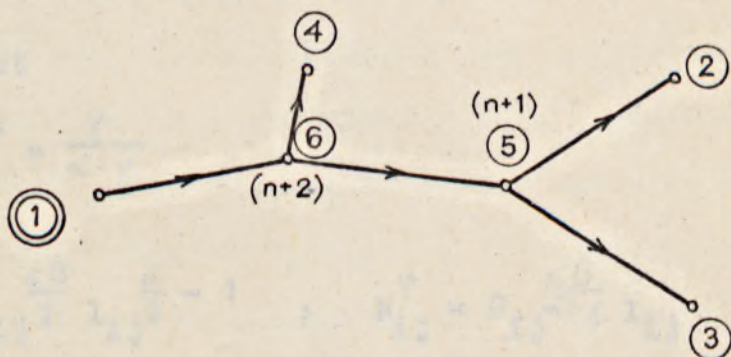
Ze względu na znaczną ilość zmiennych R_{ij} zastosowano metodę Lagrange'a szukania ekstremum warunkowego. Warunkami dodatkowymi będzie wykorzystanie ciśnienia dyspozycyjnego na drodze do każdego odbiorcy

$$\sum R_{ij}^2 l_{ij} = H_p$$

Dla uproszczenia obliczeń pominięto stratę ciśnienia ΔH_o u poszczególnych odbiorców, wyrazić ją można jednak uwzględniając tzw. długość zastępczą.

W wyniku przeprowadzonych operacji /26/ przedstawiono racjonalne spadki ciśnienia R_{ij} poszczególnych działek w formie skomplikowanych zależności będących funkcją wysokości

podnoszenia pompy H_p , długości danej działki oraz przepływów i długości pozostałych działek. Obliczanie jest tak pracochłonne, iż konieczność użycia EMC jest niezbędna.



Rys. 35 Przykładowy schemat układu sieciowego

Przykładowo dla układu sieciowego jak na rysunku 35 racjonalne spadki ciśnienia dla poszczególnych działek przedstawiają się:
dla odgałęzień do poszczególnych odbiorców

$$R_{2-5} = \frac{H_p}{l_{2-5}} \cdot \frac{1}{W_{5-6}^{\varphi} \cdot W_{1-6}^{\varphi}}$$

$$R_{3-5} = \frac{H_p}{l_{3-5}} \cdot \frac{1}{W_{5-6}^{\varphi} \cdot W_{1-6}^{\varphi}}$$

$$R_{4-6} = \frac{H_p}{l_{4-6}} \cdot \frac{1}{W_{1-6}^{\varphi}}$$

dla działek niosących sumaryczną ilość czynnika

$$R_{5-6} = \frac{H_p}{l_{5-6}} \cdot \frac{W_{5-6}^{\varphi} - 1}{W_{5-6}^{\varphi} \cdot W_{1-6}^{\varphi}}$$

$$R_{1-6} = \frac{H_p}{l_{1-6}} \cdot \frac{W_{1-6}^{\varphi} - 1}{W_{1-6}^{\varphi}}$$

/7.22./

Przy tym:

$$W_{5-6}^{\varphi} = \left[\frac{1}{N_{2-5}} + \frac{1}{N_{3-5}} \right]^{\varphi} N_{5-6}^{\varphi} + 1$$

$$W_{1-6}^{\varphi} = \left[\frac{1}{N_{2-5} \cdot W_{5-6}} + \frac{1}{N_{3-5} \cdot W_{5-6}} + \frac{1}{N_{4-6}} \right]^{\varphi} N_{1-6}^{\varphi} + 1$$

natomiast

$$\varphi = \frac{\gamma}{\alpha - \gamma}$$

$$N_{ij} = G_{ij}^{\frac{\alpha\beta}{\gamma}} l_{ij}^{\frac{\alpha}{\gamma}} - 1 \quad ; \quad N_{ij}^{\varphi} = G_{ij}^{\frac{\alpha\beta}{\alpha-\gamma}} l_{ij}$$

Analogicznie można przedstawić wzory na jednostkowe opory tarcia r_{ij} , przyjmując $H_p = 1$

$$r_{2-5} = \frac{1}{l_{2-5}} \frac{1}{W_{5-6}^{\varphi} \cdot W_{1-6}^{\varphi}}$$

$$r_{3-5} = \frac{1}{l_{3-5}} \frac{1}{W_{5-6}^{\varphi} \cdot W_{1-6}^{\varphi}}$$

.....

.....

/7.23./

Kolejność zastosowania poszczególnych zależności przedstawiono na schemacie blokowym zamieszczonym na rysunku 34. Może on być podstawą do zbudowania programu na EMC pozwalającego na wyznaczenie optymalnego układu sieci cieplnej promieniowej z jednoczesnym jej obliczeniem, gwarantującym minimum kosztów ogólnych.

8. METODA WYZNACZANIA KIERUNKU PRZEBIEGU PRZEWODU MAGISTRALNEGO

W niniejszym punkcie przedstawiono metodę, opracowaną dla potrzeb niniejszej pracy, pozwalającą na znalezienie prostej obrazującej najkorzystniejszy kierunek przebiegu przewodu magistralnego, dla określonych grup odbiorców.

Metoda ta może być wykorzystana w szeregu analizach dotyczących projektowania układów sieci cieplnych. Może służyć do wstępnego określania miejsca włączenia sieci niższego rzędu do przewodu magistralnego lub też wyboru najkorzystniejszego miejsca lokalizacji źródła zasilania z podanych wariantów.

Ponadto może być szeroko stosowana przy wyznaczaniu konfiguracji sieci cieplnych pierścieniowych w aglomeracjach miejskich, jak to zostanie pokazane na kilku modelach aglomeracji w punkcie 9.

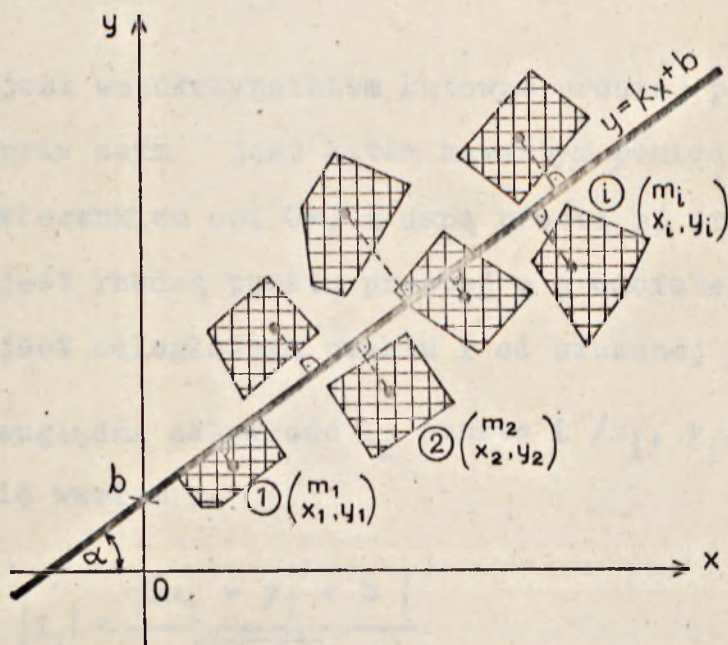
8.1. S f o r m u ł o w a n i e p r o b l e m u

Problem polega na znalezieniu takiego kierunku przebiegu przewodu magistralnego, aby łączna suma kosztów doprowadzenia ciepła od przewodu magistralnego do poszczególnych odbiorców była minimalna.

Ogólnie formułując należy znaleźć równanie takiej prostej p w układzie Oxy, aby suma iloczynów odległości i jednostkowych kosztów doprowadzenia ciepła do poszczególnych punktów odbioru o danych współrzędnych $/x_i, y_i/$, była minimalna, jak to przedstawiono na rysunku 36.

$$F_c = \min \sum_{i=1}^n m_i \cdot |l_i| \quad /8.1./$$

Każdemu punktowi "i" odpowiada obciążenie m_i . Zgodnie z uproszczoną funkcją celu pkt 3.1. $m_i = k_{n_i}$



Rys. 36 Graficzne przedstawienie problemu wyznaczania kierunku przebiegu przewodu magistralnego

8.2. S p o s ó b r o z w i ą z a n i a

Danych jest n punktów o współrzędnych x_i, y_i przy czym $i = 1, \dots, n$, oraz ich obciążenia m_i stanowiące liczby dodatnie.

Należy znaleźć równanie kierunkowe prostej p w układzie Oxy w postaci:

$$y = kx + b \quad /8.2./$$

dla której suma

$$D = \sum_{i=1}^n m_i |l_i| \quad /8.3./$$

przyjmie wartość minimalną,
gdzie:

k - jest współczynnikiem kątowym prostej p , równym $\operatorname{tg} \alpha$,
przy czym α jest kątem zawartym pomiędzy dodatnim
kierunkiem osi Ox , a daną prostą p , oraz

b - jest rzędną punktu prostej p o odciętej $x = 0$

l_i - jest odległością punktu i od szukanej prostej p .

Bezwzględna odległość l_i punktu i $/x_i, y_i/$ od prostej p ,
wyraża się wzorem:

$$|l_i| = \frac{|kx_i - y_i + b|}{\sqrt{k^2 + 1}} \quad /8.4./$$

Należy więc zminimalizować funkcję

$$D/k, b/ = \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} \sum_{i=1}^n m_i |kx_i - y_i + b| \quad /8.5./$$

czyli znaleźć minimum funkcji dwóch zmiennych $D/k, b/$.

Funkcja $D/k, b/$ jest funkcją ciągłą, lecz w punktach $/k, b/$
spełniających którekolwiek z równań

$$x_i k + b - y_i = 0 \quad /i=1, \dots, n/$$

nie jest różniczkowana.

Niżej zostaje udowodnione, że funkcja $D/k, b/$ przyjmuje najmniejsze wartości w zbiorze punktów $/k_{ij}, b_{ij}/$, które są rozwiązaniami następujących układów dwóch równań liniowych:

$$\left. \begin{aligned} x_i k + b - y_i &= 0 \\ x_j k + b - y_j &= 0 \end{aligned} \right\} \quad /8.6./$$

przy czym

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

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

o ile to rozwiązanie istnieje.

Jeżeli przez R oznaczy się zbiór tych punktów $/k_{ij}, b_{ij}/$, które spełniają układ równań /8.6./, to:

$$\min_{k, b} D/k, b/ = \min_{k, b \in R} D/k, b/$$

Dowód:

Wszystkie proste $x_i k + b - y_i = 0$ dzielą płaszczyznę Oxy na podobszary, w których funkcja $D/k, b/$ jest funkcją ciągłą i różniczkowalną [$D/k, b/$ nie jest różniczkowalne tylko na prostych $x_i k + b - y_i = 0$].

Postać funkcji $D/k, b/$ w każdym z tych podobszarów jest następująca:

$$D/k, b/ = \frac{\alpha k + \beta b + \gamma}{\sqrt{k^2 + 1}} \quad /8.7./$$

gdzie:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n m_i x_i \delta_i$$

$$\beta = \sum_{i=1}^n m_i \delta_i$$

$$\delta_i = \begin{cases} -1 \\ +1 \end{cases}$$

$$\gamma = - \sum_{i=1}^n m_i y_i \delta_i$$

$$f_i = \text{sign} \frac{kx_i - y_i + b}{\text{znak}}; \quad i=1,2,\dots,n$$

Poszukajmy punktów, w jakich funkcja $D/k, b/$ może osiągać ekstremum.

Zauważmy, że pochodna cząstkowa:

$$\frac{\partial D}{\partial b} = \frac{\beta}{\sqrt{k^2 + 1}} \quad /8.8./$$

będzie przyjmować wartość równą zero tylko wtedy, gdy $\beta = 0$.

$$\frac{\partial D}{\partial b} = \frac{\beta}{\sqrt{k^2 + 1}} = 0 \iff \beta = 0$$

Zatem funkcja $D/k, b/$ może osiągać ekstremum tylko wtedy, gdy współczynnik β będzie równy 0.

Wówczas funkcja $D/k, b/$ przyjmie postać

$$D/k, b/ = \frac{\alpha k + \gamma}{\sqrt{k^2 + 1}} \quad /8.9./$$

Jest to więc już funkcja tylko jednej zmiennej k

$$D/k/ = \frac{\alpha k + \gamma}{\sqrt{k^2 + 1}}$$

$$\frac{d D}{d k} = \frac{\alpha - \gamma k}{(k^2 + 1)^{3/2}} = 0 \iff k = \frac{\alpha}{\gamma}; \quad \gamma \neq 0 \quad /8.10./$$

Zatem funkcja $D/k/$ może osiągać ekstremum w punktach $k = \frac{\alpha}{\gamma}$.

Ponieważ $D/k/ \geq 0$ dla każdego k [z def. $D/k/$], więc punkty $k = \frac{\alpha}{\gamma}$ można brać pod uwagę tylko wówczas, gdy $D/\frac{\alpha}{\gamma}/ \geq 0$, tzn. gdy:

$$\alpha \frac{\alpha}{\gamma} + \gamma \geq 0 \quad \text{ i } \gamma \neq 0$$

Stąd

$$\frac{\alpha^2 + \gamma^2}{\gamma} > 0 \implies \gamma > 0 \quad /8.11./$$

Funkcja $D/k/$ może więc osiągać ekstremum tylko w takich punktach $k = \frac{\alpha}{\gamma}$, dla których $\frac{\alpha^2 + \gamma^2}{\gamma} > 0$.

Następnie badamy wartość /znak/ ekstremum na podstawie /8.11./

$$\frac{d^2 D}{d k^2} = \frac{2 \gamma k^2 - 3 \alpha k - \gamma}{/k^2 + 1/^{5/2}} \quad /8.12./$$

$$\left[\frac{d^2 D/k/}{d k^2} \right]_{k=\frac{\alpha}{\gamma}} = \frac{-\frac{\alpha^2 + \gamma^2}{\gamma}}{[(\frac{\alpha}{\gamma})^2 + 1]^{5/2}} < 0 \quad /8.13./$$

Wobec tego funkcja $D/k/$ w wyżej opisanych podobszarach może osiągać tylko maksimum.

Oznacza to, że funkcja $D/k, b/$ uzyskuje minimum w punktach leżących na prostych p_j

$$x_j k + b - y_i = 0 \quad /j=1, \dots, n/$$

Rozpatrzmy j -tą prostą p_j

$$b = y_j - x_j k$$

stąd:

$$D/k, b/ = \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n m_i |x_i k + y_j - x_j k - y_i| \quad /8.14./$$

Zatem jest to znów funkcja jednej zmiennej

$$D/k/ = \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^n m_i \left| /x_i - x_j/ k + /y_j - y_i/ \right| \quad /8.15./$$

$D/k/$ jest oczywiście ciągła i różniczkowalna wszędzie poza punktami k spełniającymi równość

$$/x_i - x_j/k + /y_j - y_i/ = 0$$

Weźmy pod uwagę przedziały, w których funkcja $D/k/$ jest różniczkowalna. Dla wszystkich k z tych przedziałów $D/k/$ będzie miała postać:

$$D/k/ = \frac{\alpha_1 k + \beta_1}{\sqrt{k^2 + 1}} \quad /8.16./$$

Przeprowadzając rozumowanie analogicznie jak dla funkcji oznaczonej numerem /8.9./

$$\frac{\alpha k + \beta}{\sqrt{k^2 + 1}}$$

wnioskujemy, że funkcja $\frac{\alpha_1 k + \beta_1}{\sqrt{k^2 + 1}}$ może w tych przedziałach

osiągać tylko maksimum.

Stąd wniosek, że funkcja $D/k, b/$ przyjmuje najmniejsze wartości w punktach przecięć prostych

$$x_i k + b - y_i = 0$$

czyli w punktach $/k, b/$, których współrzędne spełniają układy równań /8.6./

$$\begin{cases} x_i k + b - y_i = 0 & i = 1, 2, \dots, n-1 \\ x_j k + b - y_j = 0 & j = i+1, i+2, \dots, n \end{cases}$$

o ile rozwiązania tych układów istnieją.

Tak więc

$$\min_{/k, b/} D/k, b/ = \min_{/k, b/ \in R} D/k, b/$$

c.b.d.o.

Rozwiązując układ równań /8.6./ otrzymujemy:

$$\begin{cases} k_{ij} = \frac{y_i - y_j}{x_i - x_j} \\ b_{ij} = \frac{x_i y_j - x_j y_i}{x_i - x_j} \end{cases} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, 3, \dots, n-1 \\ j = i+1, i+2, \dots, n \end{matrix} \quad /8.17./$$

Metoda poszukiwania minimum polega więc na obliczeniu wartości k_{ij} oraz b_{ij} zgodnie ze wzorami /8.17./, a następnie wybraniu minimum z wartości $D/k_{ij}, b_{ij}/$.

W skrajnym przypadku, gdy szukana prosta będzie prostopadła do osi x , należy obrócić nieco układ współrzędnych i wykonać ponowne obliczenie.

8.3. Przykłady ilustrujące sposób rozwiązania

Dla poparcia przedstawionego wcześniej sposobu rozwiązania zamieszczono w niniejszym punkcie proste przykłady ilustrujące rozważane zagadnienie, a także omówiono sposób przygotowania danych do opracowanego dla potrzeb niniejszej pracy programu na EMC.

Przykład I pkt 8.3.

Mamy dane cztery punkty $n=4$ o współrzędnych $/x_i, y_i/$ i obciążeniach $/m_i/$ jak poniżej

pkt 1,	$/x_1, y_1/$	$= /0, 0/;$	$m_1 = 1$
pkt 2,	$/x_2, y_2/$	$= /1, 0/;$	$m_2 = 1$
pkt 3,	$/x_3, y_3/$	$= /1, 1/;$	$m_3 = 1$
pkt 4,	$/x_4, y_4/$	$= /0, 1/;$	$m_4 = 1$

Poszukujemy minimum funkcji przedstawionej wzorem /8.5./, która w tym przykładzie będzie się przedstawiać:

$$D/k, b/ = \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} \left[|b| + |k + b| + |k + b - 1| + |b - 1| \right]$$

Rozwiązując w niniejszym przykładzie układy równań /8.17/ otrzymujemy:

$$\begin{cases} k_{1,2} = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{0 - 0}{0 - 1} = 0 \\ b_{1,2} = \frac{x_1 y_2 - x_2 y_1}{x_1 - x_2} = \frac{0 - 0}{0 - 1} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} k_{1,3} = \frac{y_1 - y_3}{x_1 - x_3} = \frac{0 - 1}{0 - 1} = 1 \\ b_{1,3} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} k_{1,4} = ? \\ b_{1,4} = ? \end{cases} \quad \text{nie ma rozwiązań}$$

$$\begin{cases} k_{2,3} = ? \\ b_{2,3} = ? \end{cases} \quad \text{nie ma rozwiązań}$$

$$\begin{cases} k_{2,4} = \frac{-1}{1} = -1 \\ b_{2,4} = \frac{1}{1} = 1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} k_{3,4} = \frac{0}{1} = 0 \\ b_{3,4} = \frac{1}{1} = 1 \end{cases}$$

a więc

$$D/k_{1,2}, b_{1,2}/ = D/0,0/ = |-1| + |-1| = 2$$

$$D/k_{1,3}, b_{1,3}/ = D/1,0/ = \frac{1}{\sqrt{2}} [|1| + |0| + |-1|] = \frac{2}{\sqrt{2}}$$

$$D/k_{2,4}, b_{2,4}/ = D/-1,1/ = \frac{1}{\sqrt{2}} [|1| + |0| + |-1+1-1| + |1-1|] = \frac{2}{\sqrt{2}}$$

$$D/k_{3,4}, b_{3,4}/ = D/0,1/ = |1| + |1| + |1-1| + |1-1| = 2$$

Minimum uzyskujemy więc dla

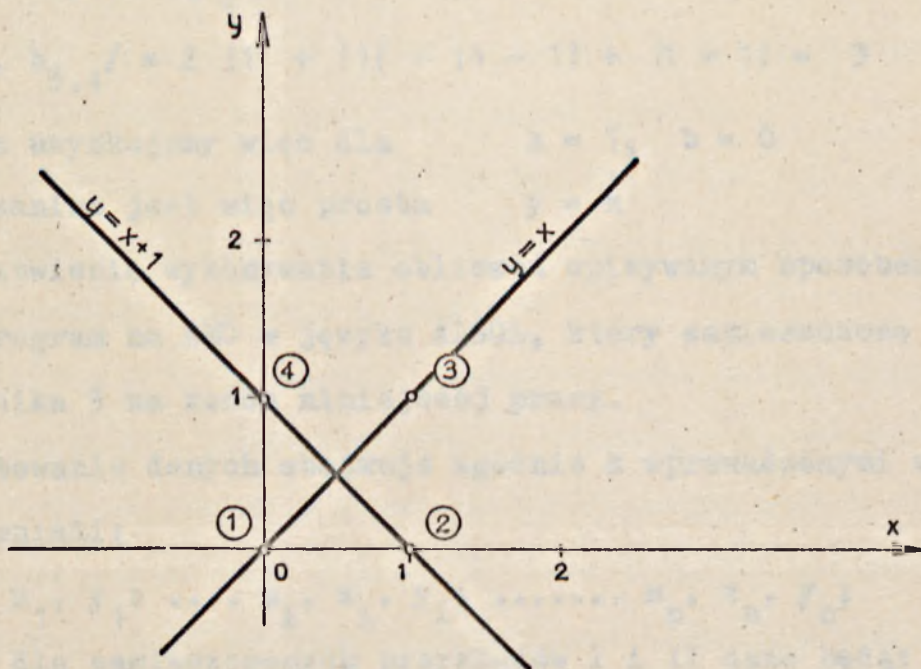
$$k = 1 \text{ i } b = 0$$

$$y = x$$

$$\text{lub } k = -1 \text{ i } b = 1$$

$$y = -x + 1$$

Jak to przedstawiono na rysunku 37.



Rys. 37 Graficzne przedstawienie przykładu I pkt 8.3. pracy

Przykład II pkt 8.3.

Dane identyczne jak w przykładzie I, jedynie ze zmianą wartości m_1 w punkcie 1, $m_1 = 2$

Wówczas:

$$D/k, b/ = \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} \left[2 |b| + |k + b| + |k + b + 1| + |b - 1| \right]$$

Teraz:

$$D/k_{1,2}, b_{1,2}/ = 2$$

$$D/k_{1,3}, b_{1,3}/ = \frac{2}{\sqrt{2}}$$

$$D/k_{2,4}, b_{2,4}/ = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[2 |1| + |0| + |-1 + 1 - 1| + |1 - 1| \right] = \frac{3}{\sqrt{2}}$$

$$D/k_{3,4}, b_{3,4}/ = 2 |1| + |1| + |1 - 1| + |1 - 1| = 3$$

Minimum uzyskujemy więc dla $k = 1, b = 0$

Rozwiązaniem jest więc prosta $y = x$

Dla ułatwienia wykonywania obliczeń opisywanym sposobem, opracowano program na EMC w języku ALGOL, który zamieszczono w formie załącznika 3 na końcu niniejszej pracy.

Przygotowanie danych obejmuje zgodnie z wprowadzonymi wcześniej oznaczeniami:

$n; m_1, x_1, y_1; \dots m_i, x_i, y_i; \dots m_n, x_n, y_n;$

a więc dla zamieszczonych przykładów I i II dane będą:

Przykład I

4; 1,0,0; 1,1,0; 1,1,1; 1,0,1;

Przykład II

4; 2,0,0; 1,1,0; 1,1,1; 1,0,1;

9. POSZUKIWANIE OPTIMALNYCH UKŁADÓW SIECI CIEPLNYCH PIERŚCIENIOWYCH I WIELOPIERŚCIENIOWYCH

Układy sieci ciepłych pierścieniowych i wielopierścieniowych istniejące w aglomeracjach miejskich, powstawały zazwyczaj żywiołowo i są dziełem splotu przypadków. Korzystne warunki zaprojektowania przemysłanych układów sieci ciepłych pierścieniowych i wielopierścieniowych stwarzają natomiast aglomeracje potencjalne /pkt 2.1./. Wydaje się że najkorzystniejszym sposobem ustalania układu sieci ciepłych w takich aglomeracjach będzie ustalenie przebiegu sieci ciepłej pierścieniowej jako osnowy dla pozostałych rodzajów układów.

Sieci wielopierścieniowe powstawać będą poprzez wykonanie "spięć" przewodów w sieci jednopierścieniowej.

W niniejszym punkcie przedstawiono metodologię wyznaczania przebiegu sieci ciepłej pierścieniowej, bazując na metodzie zamieszczonej w punkcie 8 pracy.

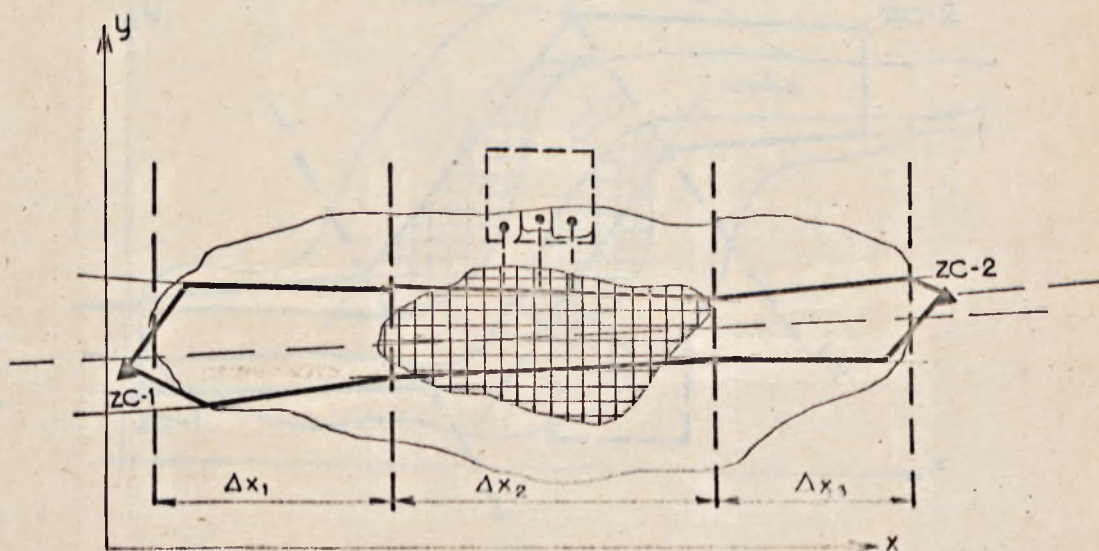
Natomiast w dalszej części przeanalizowano teoretyczne modele sieci ciepłych pierścieniowych i wykazano, że wykonanie spięć w sieci pierścieniowej i przekształcenie jej w sieć wielopierścieniową nie zawsze musi wpłynąć na wzrost nakładów inwestycyjnych. Przy okazji omówiono niektóre problemy dotyczące projektowania sieci ciepłych pierścieniowych i wielopierścieniowych przy obecnym stanie wiedzy. Problemy te są ze sobą powiązane sprzężeniami zwrotnymi komplikując znacznie ogólne rozpatrywanie zagadnienia sieci ciepłych pierścieniowych i wielopierścieniowych. Wydaje się, że zagadnienie to powinno w swych elementach a następnie w powiązaniu w jedną całość stanowić tematy odrębnych prac.

9.1. Najkorzystniejsze układy sieci ciepłych pierścieniowych na przykładzie modelowych aglomeracji miejskich

Poniżej przedstawiono metodologię wyznaczania najkorzystniejszych układów sieci ciepłych pierścieniowych dla przykładowych teoretycznych modeli aglomeracji miejskich. Przy czym wykorzystano tu metodę ustalania kierunku przebiegu przewodu magistralnego przedstawioną uprzednio w punkcie 8.

9.1.1. Sieć ciepła pierścieniowa dla modelowej aglomeracji pasmowej

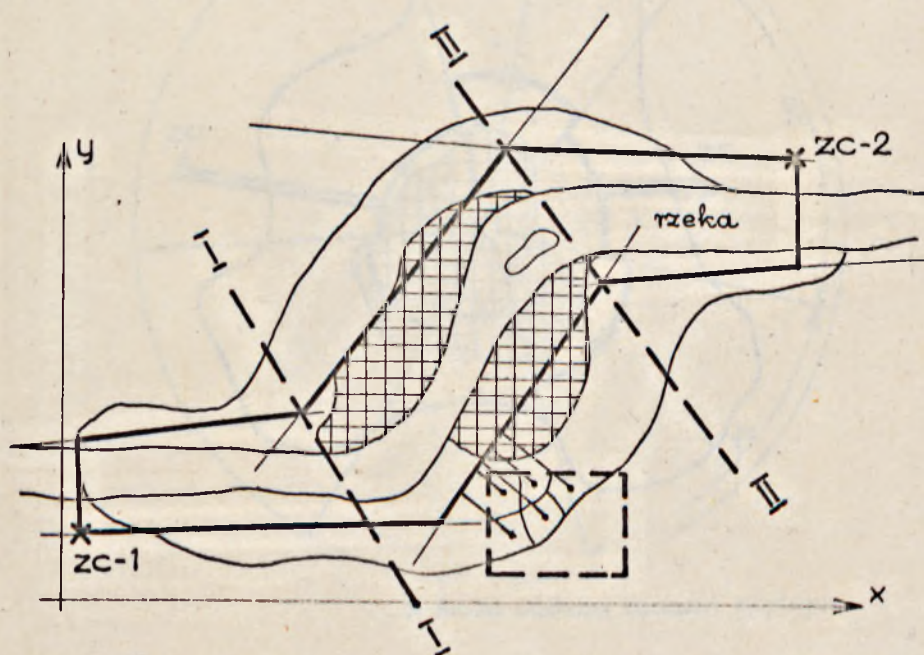
Model tej aglomeracji przedstawiono na rysunku 38.



Rys. 38 Wyznaczanie sieci ciepłej pierścieniowej dla modelowej aglomeracji pasmowej

Pierwszą czynnością w opisywanej metodologii jest podział obszaru aglomeracji na dwa podobszary /stosując metodę pkt 8/ jak to wskazuje linia przerywana na rysunku 38. Następnie należy podzielić obszar aglomeracji na mniejsze podobszary liniami pionowymi w odstępach Δx . Przy czym o wielkości odstępów Δx decydują względy urbanistyczne mianowicie, zbliżony rozkład gęstości zaludnienia, a co za tym idzie gęstości cieplnej wzdłuż pionowych linii podziału. Dalszy tok postępowania będzie obejmował wyznaczenie, metodą opisaną w punkcie 8, kierunków przebiegu przewodów magistralnych w poszczególnych podobszarach. Połączenie ich i spięcie w źródłach ciepła da w efekcie najkorzystniejszy układ sieci cieplnej pierścieniowej dla tego typu aglomeracji.

Innym przykładem aglomeracji pasmowej będzie model przedstawiony na rysunku 39.

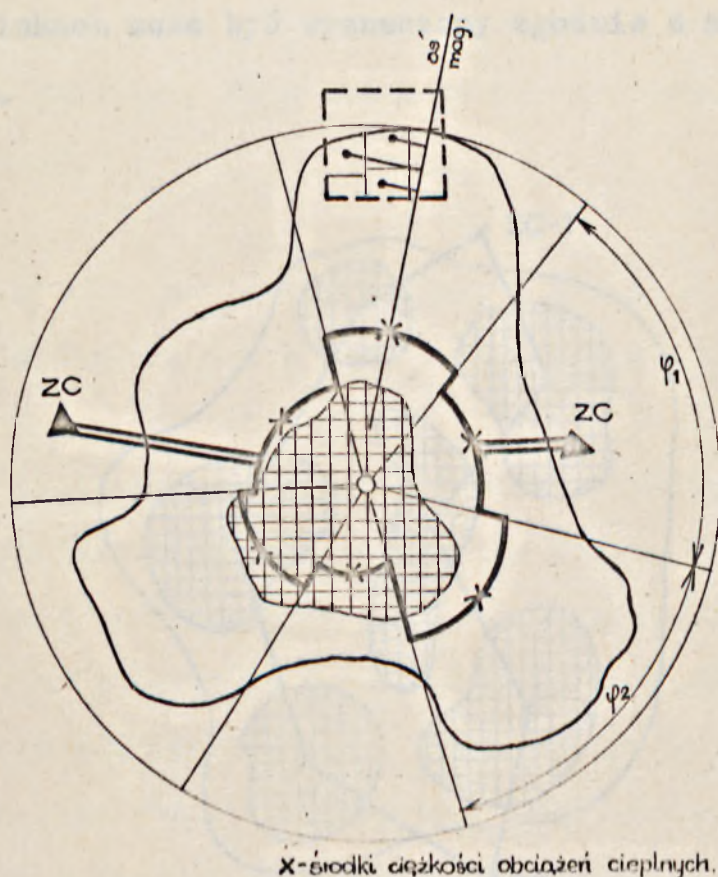


Rys. 39 Wyznaczanie sieci cieplnej pierścieniowej dla specyficznej formy aglomeracji pasmowej

Jest to specyficzna forma aglomeracji pasmowej, w której podział na dwa podobszary jest dokonany w sposób naturalny poprzez przepływającą rzekę, dalszy tok postępowania będzie zbliżony do przedstawionego powyżej.

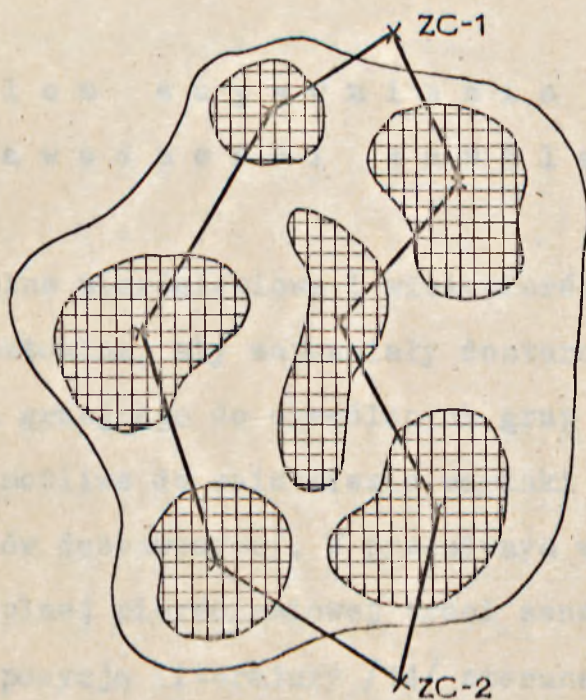
9.1.2. Sieć cieplna pierścieniowa dla modelowej aglomeracji monocentrycznej i policentrycznej

Model aglomeracji monocentrycznej przedstawiono na rysunku 40.



Rys. 40 Sieć cieplna pierścieniowa dla aglomeracji monocentrycznej

Sposób wyznaczania sieci cieplnej pierścieniowej dla aglomeracji monocentrycznej odbiega nieco od sposobów podanych uprzednio. Plan aglomeracji należy bowiem podzielić na wycinki koła, którego środek znajduje się w środku ciężkości obciążeń cieplnych całej aglomeracji. O wielkości kąta środkowego " γ " decydują względy urbanistyczne mianowicie zbliżony rozkład gęstości zaludnienia, a co za tym idzie gęstości cieplnej wzdłuż promienia. Wyznaczona sieć cieplna promieniowa składać się będzie z odcinków znalezionych odrębnie dla każdego z wycinków a poprowadzonych przez środki ciężkości ich obciążeń cieplnych. Połączenie poszczególnych elementów sieci da w efekcie najkorzystniejszy układ sieci cieplnej pierścieniowej dla tego typu aglomeracji. Natomiast kierunek przebiegu przewodów magistralnych w poszczególnych wycinkach może być wyznaczony zgodnie z metodą podaną w punkcie 8.



Rys. 41 Przykład sieci cieplnej pierścieniowej dla aglomeracji policentrycznej

Dla aglomeracji policentrycznej rys. 41 można znaleźć układ sieci cieplnej pierścieniowej łącząc środki ciężkości obciążeń cieplnych poszczególnych jednostek osadniczych najkrótszą siecią pierścieniową /p. pkt 5./.

9.2. Niektóre problemy dotyczące projektowania sieci cieplnych pierścieniowych i wielopierścieniowych

Poniżej scharakteryzowano niektóre problemy dotyczące projektowania sieci cieplnych pierścieniowych i wielopierścieniowych, w obecnym stanie wiedzy. Mogą one mieć niekiedy, jak to zostanie pokazane, duży wpływ na decyzję wyboru układu sieci cieplnej.

9.2.1. Problem zapewnienia niezawodności zasilania

Sieci cieplne pierścieniowe i wielopierścieniowe muszą być tak zaprojektowane, aby zapewniały dostarczenie odpowiedniej ilości czynnika grzejącego do określonych grup odbiorców, bez względu na możliwe do zaistnienia warunki awaryjne /awarie przewodów dostawczych/. W przeciwnym wypadku proponowanie sieci cieplnej pierścieniowej traci sens.

Zgodnie z pozycją literatury /14/ stosunek masowego natężenia przepływu czynnika dostarczonego do punktów odbioru G_x , do natężenia obliczeniowego G_o , oznaczony jako "A"

powinien wynosić:

$$A = \frac{G_x}{G_o} = 0,6 \div 0,8 \quad /9.1./$$

Przyjęcie współczynnika $A = 0,8$ zabezpiecza różnicę temperatur Δt w pomieszczeniach reprezentatywnych /obrazujących średnie warunki strat ciepła/

$$\Delta t = t_{w_o} - t_{w_x} = 2^{\circ}\text{C} \quad /9.2./$$

t_{w_o} - temperatura wewnętrzna obliczeniowa

t_{w_x} - temperatura wewnętrzna chwilowa

Przy czym czas trwania awarii $\ll 16$ h.

Ponadto zmiany masowego natężenia przepływu w granicach od 100% do 60%, powodujące zmiany spadku ciśnienia we wszystkich obiegach, przebiegają z dostateczną proporcjonalnością i nie powodują poważniejszego wzrostu odchylek przepływów przez węzły u poszczególnych odbiorców.

9.2.1. O b l i c z a n i e s i e c i c i e p l n y c h p i e r ś c i e n i o w y c h i w i e l o - p i e r ś c i e n i o w y c h

Obliczanie sieci ciepłych wielopierścieniowych jest problemem bardzo żmudnym. Stosowana powszechnie do obliczeń sieci ciepłych wielopierścieniowych metoda Crossa jest przy tradycyjnym sposobie liczenia metodą bardzo czasochłonną. Zastosowanie EMC w tym przypadku było szczególnie celowe.

Dla potrzeb ciepłownictwa programy do obliczania sieci ciepłych wielopierścieniowych są aktualnie stosowane między innymi przez Stołeczne Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej w Warszawie /9/ oraz przez Biuro Planowania Rozwoju Warszawy /33/.

9.2.2. Analogia pomiędzy klasycznym zagadnieniem transportowym, a problemem rozdziału czynnika w sieciach ciepłych wielopierścieniowych

Przedstawione w niniejszym punkcie rozważania ukazują analogię pomiędzy rozdziałem przepływu czynnika w sieciach ciepłych, a klasycznym zagadnieniem transportowym, będącym jedną z metod matematycznych stosowanych w badaniach operacyjnych /8,10/. Zagadnienie to sprowadza się do uzyskania minimum kosztów transportu.

Istnieje szereg metod z zakresu programowania liniowego, a także opracowanych programów na EMC /19,30/ pozwalających na rozwiązanie tego szczególnego problemu, jakim jest zagadnienie transportowe, stosowane często w komunikacji i transporcie.

9.2.2.1. Matematyczne sformułowanie klasycznego zagadnienia transportowego

Podstawowa postać zagadnienia transportowego jest następująca /10/. "Dane są punkty odprawy $S_1, S_2, \dots, S_m$ i punkty odbioru $D_1, D_2, \dots, D_n$. Załóżmy, że w punkcie S_i znajduje się p_i jednostek pewnego artykułu P, i że koszt transportu jednej jednostki z punktu S_i do punktu D_j wynosi c_{ij} / $i=1, 2, \dots, m$; $j=1, 2, \dots, n$ /.

Przypuśćmy dalej, że w punkcie D_j istnieje zapotrzebowanie na q_j jednostek artykułu P, przy czym oczywiście $\sum_i p_i = \sum_j q_j$. Zagadnienie polega na wyznaczeniu ilości jednostek x_{ij} , którą należy przetransportować z punktu S_i do punktu D_j , aby ogólny koszt transportu wszystkich jednostek do punktów odbioru był minimalny".

Matematycznie można ująć zagadnienie w następujący sposób: znaleźć mn nieujemnych liczb całkowitych, takich że:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = p_i; \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = q_j \quad /9.3./$$

a funkcja celu F_c przyjmie wartość minimalną wówczas gdy:

$$F_c = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad /9.4./$$

9.2.2.2. P o r ó w n a n i e k l a s y c z n e g o
z a g a d n i e n i a t r a n s p o r t o w e g o
z p r o b l e m e m r o z d z i a ł u
c z y n n i k a w s i e c i a c h c i e p l n y c h
w i e l o p i e r ś c i e n i o w y c h

Znaleziono powiązanie klasycznego zagadnienia transportowego z problemem rozdziału czynnika w sieciach cieplnych wprowadzając zależności i oznaczenia zamieszczone w punktach /3/ i /4/ niniejszej pracy.

Ilości jednostek " x_{ij} " odpowiada masowe natężenie przepływu czynnika grzejjego " G_{ij} ", kosztom transportu " c_{ij} " odpowiada strata ciśnienia " p_{ij} " na odcinku od punktu "i" do punktu "j".

Przy tym zależnościom /9.3./ odpowiada zależność /4.2./ z punktu 4.1. mówiąca, że suma zapotrzebowania odbiorców równa jest sumie wydajności źródeł zasilania.

Analizując w dalszym ciągu i uwzględniając uproszczenie w postaci $R_{ij} = \text{const}$

$$\Delta p_{ij} = C_1 \cdot l_{ij}$$

otrzymano , że kosztom transportu " c_{ij} " odpowiadają długości " l_{ij} " i wówczas funkcja celu wyrażona wzorem /9.4./ przybierze postać:

$$F_c = \sum_{i,j=1}^{i=m, j=n} G_{ij} l_{ij} \rightarrow \min \quad /9.5./$$

Rozwiązanie tego problemu daje /przy nieograniczonej mocy cieplnej poszczególnych źródeł i danej konfiguracji sieci/

optymalny rozdział czynnika w sieciach cieplnych wielopierścieniowych. Każda cząsteczka czynnika bowiem, powinna pokonać drogę jak najkrótszą od wytwórcy do odbiorcy.

Przy porównywaniu rozwiązań alternatywnych spełnienie warunku /9.5./ może być jednym z czynników wpływających na wybór rozwiązania optymalnego, problem sprowadzać się będzie wówczas do znalezienia minimum funkcji celu $\sum G_{ij} l_{ij}$ dla wszystkich działek sieci.

Obliczone jednak tą drogą przepływy przez poszczególne działki nie mogą być podstawą do wymiarowania średnic, jak to zasugerowano w niektórych opracowaniach /19,20,34/.

Średnice bowiem poszczególnych działek zdeterminowane będą wielkościami przepływów w warunkach zapewnienia niezawodności zasilania przy wystąpieniu najbardziej niekorzystnych awarii przewodów dostawczych /9.2.1./. Zostanie to wykazane na modelach obliczeniowych zamieszczonych w punkcie 9.3.

Zależność $\sum G_{ij} \cdot l_{ij}$ może jednak znaleźć zastosowanie przy wstępnym określaniu optymalnej wydajności źródeł ciepła o ustalonej lokalizacji, względnie pozwolić na wybór ilości i miejsca lokalizacji źródeł ciepła spośród zadanych alternatywnie. Może wskazać, które ze źródeł i w jakich ilościach powinny pokrywać obciążenia podstawowe, a które szczytowe.

Przy uwzględnieniu etapowania rozwoju inwestycji ciepłowniczej, można tą drogą w prosty sposób określić wstępnie w jakiej kolejności należy budować źródła ciepła, aby uzyskać minimum kosztów transportu.

Rozwiązanie powyższych problemów drogą znalezienia minimum $\sum G_{ij} \cdot l_{ij}$ będzie jednak ustaleniem wstępnym,

nie ma bowiem związku z samą zasadą doboru średnic i obliczania sieci cieplnych pierścieniowych polegającą na wyrównaniu, z uwzględnieniem znaku, wartości strat ciśnienia w poszczególnych pierścieniach jak to pokazano w punkcie 4.1. Ponadto dla większej ilości punktów odbioru użycie EMC dla rozwiązania zagadnienia transportowego /19,3/ i tak jest niezbędne.

W związku z powyższym w punkcie 9.3. niniejszej pracy próbowano znaleźć rozwiązanie zasygnalizowanych powyżej problemów /dla przykładowych modeli sieci/ inną drogą, a mianowicie drogą odpowiedniej zmiany kolejności i wartości danych wprowadzonych do EMC przy użyciu programu STC-1 /33/.

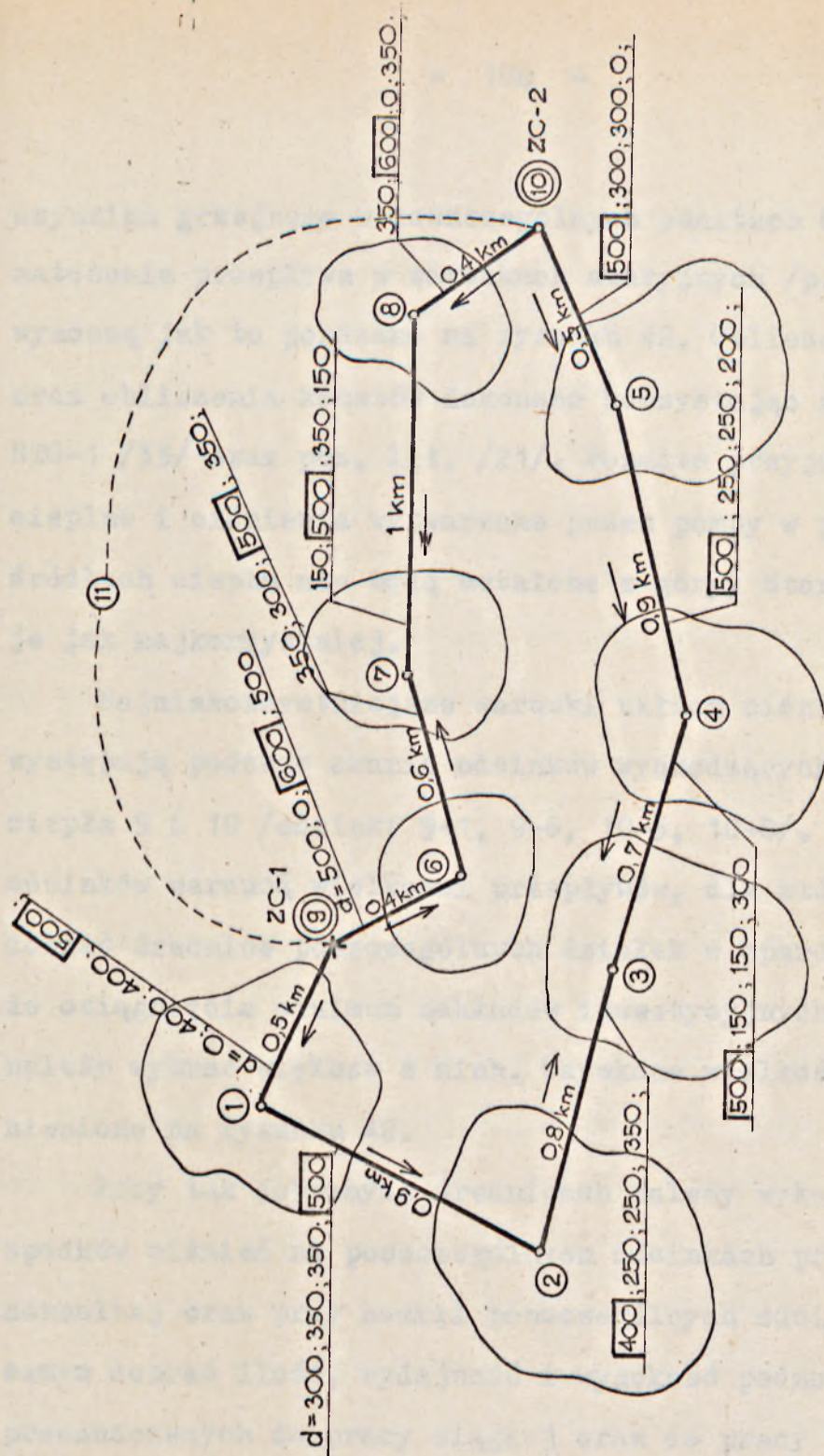
9.3. Z a p r o p o n o w a n a t e c h n i k a u s t a l a n i a n a j k o r z y s t n i e j s z y c h u k ł a d ó w s i e c i c i e p l n y c h w i e l o p i e r ś c i e n i o w y c h w o p a r c i u o p r o s t e m o d e l e t e o r e t y c z n e

W niniejszym punkcie przedstawiono w jaki sposób sieć cieplna pierścieniowa może być przekształcona w sieć cieplną wielopierścieniową. Rozważania oparto o proste modele teoretyczne, poruszając jednocześnie problemy zasygnalizowane w punkcie 9.2.

Początkowo rozpatrzono sieć cieplną pierścieniową z przykładowymi ośmioma punktami odbioru /obrazującymi węzły cieplne grupowe/ jak na rysunku 42. Odbiory te są zasilane z dwóch źródeł ciepła 9 i 10. Masowe natężenia przepływu

$G_o [t/h], 0,8 G_o [t/h]$

①	-	300	, 240	;
②	-	300	, 240	;
③	-	250	, 200	;
④	-	200	, 160	;
⑤	-	100	, 80	;
⑥	-	400	, 320	;
⑦	-	600	, 480	;
⑧	-	500	, 400	;
⑨+⑩	-	2650	, 2120	;
=⑪				



Rys. 42. Przykładowa sieć ciepła pierścieniowa.

czynnika grzeijnego w poszczególnych punktach G_0 , oraz zalecane natężenia przepływu w warunkach awaryjnych /p. pkt 9.2.1./ wynoszą jak to pokazano na rysunku 42. Obliczenia hydrauliczne oraz obliczenia kosztów dokonano korzystając z programu STC-1 /33/ oraz poz. lit. /21/. Ponadto przyjęto, że moce cieplne i ciśnienia wytwarzane przez pompy w poszczególnych źródłach ciepła nie będą ustalone z góry. Starano się dobrać je jak najkorzystniej.

Najniekorzystniejsze warunki układu ciśnień i przepływów występują podczas awarii odcinków wychodzących ze źródeł ciepła 9 i 10 /odcinki 9-1, 9-6, 10-5, 10-8/. Awarie tych odcinków narzuca wielkości przepływów, dla których należy dobrać średnice poszczególnych działek w oparciu o możliwe do osiągnięcia minimum nakładów inwestycyjnych. Ostatecznie należy wybrać większe z nich. Uzyskane wielkości średnic naniesiono na rysunku 42.

Przy tak dobranych średnicach należy wykonać obliczenia spadków ciśnień na poszczególnych odcinkach przy pracy normalnej oraz przy awarii poszczególnych odcinków, a tym samym dobrać ilość, wydajność i wysokość podnoszenia pomp przeznaczonych do pracy ciągłej oraz do pracy w warunkach awaryjnych.

Obliczenia powyższe wykonano korzystając z programu STC-1. Najkorzystniejszy rozdział czynnika grzeijnego uzyskano wprowadzając do danych programu STC-1 jako nieznane; wydajności źródeł 9 i 10, oraz zakładając na wyjściu z nich jednakowe wartości ciśnienia.

W tym celu wprowadzono tzw. źródło fikcyjne /zastępcze/ oznaczone numerem 11 /rys. 42/ o wydajności sumarycznej źródeł 9 i 10. Źródło 11 połączono ze źródłami 9 i 10 za pomocą fikcyjnych gałęzi o długości równej zero.

Ponadto założono jednakową wartość ciśnienia na wyjściu ze źródła 11. W przykładach przyjmowano np. 150 m sł. H_2O .

Wielkość ta w pierwotnych rozważaniach nie ma znaczenia, służy tylko jako wartość wyjściowa do obliczania spadków ciśnień na poszczególnych odcinkach. Ostateczne jej ustalenie nastąpi po wybraniu odpowiedniego systemu zabezpieczająco-stabilizującego.

Wprowadzenie źródła fikcyjnego, a co za tym idzie założenie jednakowych wartości wyjściowych ciśnień w źródłach 9 i 10 zapewnia w tym konkretnym przykładzie modelowym najkorzystniejszy rozdział czynnika grzejnego. Zmiana ciśnienia bowiem w jednym ze źródeł pociągnęłaby za sobą wzrost zasięgu zasilania ze źródła drugiego, a co za tym idzie znaczny wzrost ciśnienia wytwarzanego przez zainstalowane w nim pompy /pamiętając, że spadek ciśnienia rośnie z kwadratem natężenia przepływu/.

Po wstępnie ustalonych średnicach poszczególnych działek przygotowano więc dane do programu STC-1 wprowadzając źródło fikcyjne 11, w wyniku obliczeń uzyskano najkorzystniejsze wydajności źródeł 9 i 10 w warunkach pracy normalnej i przy najniekorzystniejszych awariach.

Wyniosły one dokładnie:

w warunkach bezawaryjnych: - źródło 9 - 1382,20 t/h

- źródło 10 - 1267,80 t/h

przy awarii odcinka 9-1: - źródło 9 - 593,87 t/h

źródło 10 - 1526,13 t/h

przy awarii odcinka 9-6: - źródło 9 - 511,96 t/h

źródło 10 - 1608,04 t/h

przy awarii odcinka 10-5: - źródło 9 - 1513,87 t/h

źródło 10 - 606,13 t/h

przy awarii odcinka 10-8: - źródło 9 - 1711,96 t/h

źródło 10 - 408,04 t/h

Z powyższego wnioskuję intuicyjnie, że najwłaściwsze będzie przyjęcie wydajności źródła 9 w wysokości 1400 t/h, zaś źródła 10 w wysokości 1250 t/h. Przy czym przy awarii odcinków 9-1 lub 9-6, źródło 10 będzie pracowało przy swej największej wydajności, natomiast przy awarii odcinków 10-5 i 10-8 - źródło 9.

Ponowne obliczenie średnic w warunkach bezawaryjnych dla przyjętych powyżej wydajności źródeł ciepła nie wykazały zmian w stosunku do przyjętych poprzednio.

Orientacyjne nakłady inwestycyjne, dla tak przyjętego układu modelowego wyniosły, zgodnie z poz. lit. 21 około 69 mln. zł.

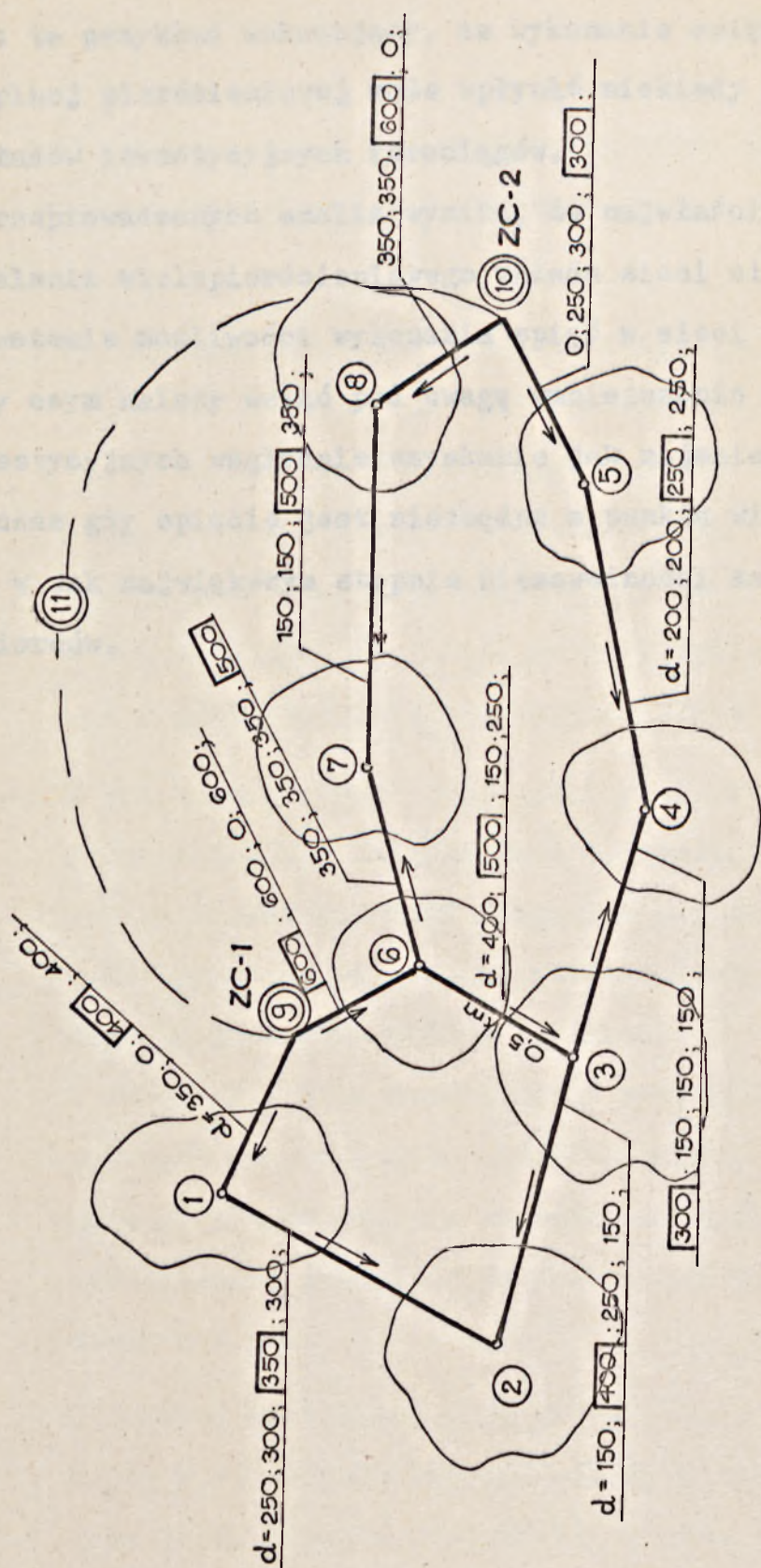
Analogiczne rozważania przeprowadzono dla układu sieciowego ze spięciem punktu 6 i 3 odcinkiem 6-3. Obliczone średnice wyniosły jak na rysunku 43.

Najkorzystniejsze wydajności źródeł ustalono w wysokości:

źródło 9 - 1600 t/h

źródło 10 - 1050 t/h

Nakłady inwestycyjne dla tak zaproponowanego układu sieciowego wyniosły około 60 mln. zł.



Rys. 43. Przykładowa sieć ciepła pierścieniowa ze spięciem.

Jest to przykład wskazujący, że wykonanie spięć w sieci cieplnej pierścieniowej może wpłynąć niekiedy na zmniejszenie nakładów inwestycyjnych rurociągów.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że najwłaściwszym sposobem ustalania wielopierścieniowego układu sieci cieplnej będzie rozważenie możliwości wykonania spięć w sieci jednoprzewodowej. Przy czym należy wziąć pod uwagę zmniejszenie nakładów inwestycyjnych względnie uzyskanie jak najmniejszych nakładów wówczas gdy spięcie jest niezbędne z punktu widzenia zapewnienia w jak największym stopniu niezawodności zasilania wybranych odbiorców.

10. WNIOSKI I UWAGI OGÓLNE

W wyniku analiz i rozważań przeprowadzonych w ramach niniejszej pracy nasuwają się autorowi następujące wnioski i uwagi:

- 10.1. Ze względu na liczne czynniki wpływające na ukształtowanie sieci ciepłych /pkt 1.2. pracy/, oraz brak możliwości ujęcia ich w globalnym rachunku optymalizacyjnym zaopatrzenia w ciepło, wynika celowość poszukiwania optymalnych rozwiązań poszczególnych rodzajów układów sieci ciepłych /pkt 2.3. pracy/. Znalazło to potwierdzenie w przyjętym układzie merytorycznym pracy.
- 10.2. W wyniku przeprowadzonej analizy wielkości wpływających na poszczególne rodzaje kosztów sieci ciepłych wodnych /pkt 3./ oraz rozważań zawartych w punkcie 3.1. przyjęto jako kryterium uzyskania rozwiązania optymalnego - minimum rocznych kosztów ogólnych.
Z uwagi na liczne determinanty wpływające na decyzję wyboru trasy przewodów ciepłowniczych, celowym również wydaje się przyjęcie w uzasadnionych przypadkach uproszczonej funkcji celu /pkt 3.1./ dającej rozwiązanie suboptymalne.
- 10.3. Stosowany dotychczas intuicyjny sposób projektowania trasy sieci ciepłowniczej, zależy w dużej mierze od zasobu doświadczenia projektanta i może w niektórych przypadkach prowadzić do podania rozwiązania daleko odbiegającego od rozwiązania optymalnego.

Dlatego też wydaje się celowa znajomość optymalnego układu przyjętego rodzaju sieci ciepłej.

- 10.4. Opracowane lub wyeksponowane w ramach niniejszej pracy metody i metodologie pozwolą na wyznaczenie optymalnego /w sensie wniosku 10.2./ układu przyjętego rodzaju sieci ciepłej, który mógłby być naniesiony na plan urbanistyczny.

Tak przyjęty tryb postępowania będzie sugerował przyjęcie rozwiązania zbliżonego do rozwiązania optymalnego.

- 10.5. Opracowane dla potrzeb niniejszej pracy sposoby rozwiązań poszczególnych problemów wymagają w większości przypadków użycia EMC.

Przygotowanie danych niezbędnych do każdorazowego wprowadzenia do maszyny cyfrowej jest niezwykle proste. Pozwoli to, mając do dyspozycji maszynę matematyczną, na analizę wielu wariantów rozwiązań projektowych w krótkim okresie czasu.

Jak zwykle przy zastosowaniu w projektowaniu ETO niezbędny jest udział projektanta o wszechstronnej znajomości merytorycznej opracowywanych zagadnień.

Pozwoli to na: wybór odpowiedniego układu sieci ciepłej, na właściwe grupowanie obiektów przewidzianych do zao-
patrzenia w ciepło oraz na wyeliminowanie rozwiązań niedopuszczalnych itp.

- 10.6. Zdaniem autora niniejszej pracy doktorskiej przedstawione sposoby rozwiązań i analiz mogą znaleźć szerokie zastosowanie w technice projektowej sieci ciepłych.

11. ZAŁĄCZNIKI :

Załącznik 1 Program na EMC służący do wyznaczania optymalnego układu sieci cieplnej "pajęcznej".

Procedura MIN

Załącznik 2 Program na EMC do wyznaczania optymalnego układu sieci cieplnej promieniowej zmodernizowaną metodą Cala

Załącznik 3 Program na EMC służący do wyznaczania najkorzystniejszego kierunku przewodu magistralnego

begin

procedure MIN(n,K,X,Y,eps,x,y,j);

value n, eps;

real eps, x, y;

integer n, j;

array K, X, Y;

begin

real a, b, p, q;

integer i; x:=y:=p:=0;

for i:=1 step 1 until n do

begin

q:=K[i];

x:=x+q×X[i];

y:=y+q×Y[i];

p:=p+q

end;

x:=x/p; y:=y/p;

format('?.1111.11.....1111.11');

for j:=0.j+1 while sqrt((x-a)↑2+(y-b)↑2)>eps do

begin

print(x,y);

a:=x; b:=y;

x:=y:=p:=0;

for i:=1 step 1 until n do

begin

q:=K[i]/sqrt((X[i]-a)↑2+(Y[i]-b)↑2);

x:=x+q×X[i];

y:=y+q×Y[i];

p:=p+q

end;

x:=x/p; y:=y/p;

end;

end MIN;

integer i, j, n;

real x, y, eps;

read(n);

begin

array K, X, Y[1:n];

for i:=1 step 1 until n do read(K[i],X[i],Y[i]);

read(eps);

MIN(n,K,X,Y,eps,x,y,j);

format('???x=-1111.11.....y=-1111.11??

Liczba iteracji=1111??');

print(x,y,j)

end;

end;

```

begin
integer n,q,e,h,i,j,k,t,f,wt,pt;
real eps,dcl,sm;
read(wt);
begin array GG,dd, KK[1:wt];
for h:=1 step 1 until wt do
read(GG[h],dd[h],KK[h]);
read(pt,n);
q:=2*n-2; e:=n+1;
begin
array M,X,Y,B[1:q],X1,Y1[e:q];
integer array A[e:q,1:q],C[e:q];
real procedure FM(r);
real r;
begin
integer i,j;
for i:=1 step 1 until wt do
if r le GG[i] then begin i:=i; go to E end;
E:FM:=KK[j]
end FM;
real procedure G(t);
integer t;
begin
integer i,j;
real a;
a:=M[t];
for i:=1 step 1 until wt do
if KK[i]=a then begin j:=i; goto E end;
E:G:=GG[j]
end G;
real procedure PR(r);
value r; real r;
begin integer i,j;
for i:=1 step 1 until wt do
if KK[i]=r then begin j:=i; go to E end;
E:PR:=dd[j];
end PR;
procedure DRUK;
begin integer i,k,h,t,z;
real kc,ks,kq;
format(' ?u1111uuuu-111111.11uuuu-111111.11' );
line(5);
print(' ?uuuNRuuuuuuuuuuXuuuuuuuuuuY??' );
for i:=e step 1 until q do
print(i,X[i],Y[i]);
line(5);
format(' ?u1111uuu1111uuuuuu111111.11uuuuuu111111.11uuuuuu111111

```

```

print(' ???OD????DO????KOSZT????KOSZT/M????SRE
kc:=.0;
for z:=e step 1 until q do
begin
k:=C[z];
kq:=M[z];
ks:=kq*sqrt((X[z]-X[k]) $\times$ 2+(Y[z]-Y[k]) $\times$ 2);
kc:=kc+ks;
print(k,z,ks,kq,PR(kq));
end;
line(1);
for i:=2 step 1 until n do
begin
for t:=e step 1 until q do
if A[t,i]=1 then
begin
k:=t; go to EE end;
EE: kq:=M[i];
ks:=kq*sqrt((X[i]-X[k]) $\times$ 2+(Y[i]-Y[k]) $\times$ 2);
kc:=kc+ks;
print(k,i,ks,kq,PR(kq));
end;
format(' ???KOSZT-CALKOWITY=111111.11????' );
print(kc);
end DRUK;
procedure KOLPOD;
begin
array KZ[2:n];
integer i,j;
real a,g;
if pt=0 then go to E;
a:=X[1]; g:=Y[1];
for i:=2 step 1 until n do
KZ[i]:=M[i]/sqrt((a-X[i]) $\times$ 2+(g-Y[i]) $\times$ 2);
for j:=2 step 1 until n-1 do
for i:=2 step 1 until n-j+1 do
if KZ[i] lt KZ[i+1] then
begin
a:=KZ[i]; KZ[i]:=KZ[i+1]; KZ[i+1]:=a;
a:=X[i]; X[i]:=X[i+1]; X[i+1]:=a;
a:=Y[i]; Y[i]:=Y[i+1]; Y[i+1]:=a;
a:=M[i]; M[i]:=M[i+1]; M[i+1]:=a;
a:=B[i]; B[i]:=B[i+1]; B[i+1]:=a;
end;
E: print(' ???N????N????R????A????C????J????R????U????N????K????W????' );
format(' ?u111????-1111.11-1111.11?' );
print(' ?uNR????KOSZT/M????X????Y????' );
print(1,X[1],Y[1]);
format(' ?u111-11111.11-1111.11-1111.11?' );
for i:=2 step 1 until n do
print(i,M[i],X[i],Y[i]);
end KOLPOD;

```

```

procedure MIN(k,i,j);
integer k,i,j;
begin
  real procedure d(k,i,j);
  value k,i,j;
  integer k,i,j;
  begin
    real a,b,c,x,y,xi,xj,yi,yj,xk,yk,e;
    xi:=X[i];    xj:=X[j];
    yi:=Y[i];    yj:=Y[j];
    xk:=X[k];    yk:=Y[k];
    if xi=xj  $\wedge$  yi=yj then
      begin
        d:=150;    goto E
      end;
    a:=yj-yi;    b:=xi-xj;
    c:=-b*yj-a*xj;
    e:=a*a+b*b;
    y:=(a*(a*yk-b*xk)-b*c)/e;
    x:=(b*(b*xk-a*yk)-a*c)/e;
    if xi=xj then
      begin
        if yi  $\leq$  y  $\wedge$  y  $\leq$  yj  $\vee$  yj  $\leq$  y  $\wedge$  y  $\leq$  yi then
          goto EE else goto EF end else
          if xi  $\leq$  x  $\wedge$  x  $\leq$  xj  $\vee$  xj  $\leq$  x  $\wedge$  x  $\leq$  xi then
            goto EE;
          EF:    a:=sqrt((xi-xk)2+(yi-yk)2);
                b:=sqrt((xj-xk)2+(yj-yk)2);
                d:= if a  $\leq$  b then a else b;
                goto E;
          EE:    d:=abs(a*xk+b*yk+c)/sqrt(e);
          E:    end d;

        integer p,q;
        real l,t;
        l:=150;
        for p:=n+1 step 1 until n+k-2 do
          for q:=1 step 1 until 2*n-2 do
            if A[p,q]=1 then
              begin
                t:=d(k,p,q);
                if t < l then
                  begin
                    i:=p;    j:=q;    l:=t
                  end
                end
              end
            end MIN;

```

```

procedure WG(k,i,j,s);
value s,k,i,j;
integer k,i,j,s;
begin
  real a,b,p,q,x,y;
  integer m,h,v;
  array M[1:2*n-2];
  for v:=k,i,j do
    M[v]:=FM(B[v]);
  v:=C[s];
  M[v]:=FM(B[s]);
  x:=y:=p:=.0;
  for m:=k,i,j do
    begin
      q:=M[m];
      x:=x+q*X[m];
      y:=y+q*Y[m];
      p:=p+q
    end;
  x:=x/p;    y:=y/p;

  for h:=0, h+1 while sqrt((x-a)2+(y-b)2) > del do
    begin
      a:=x;
      b:=y;
      x:=y:=p:=.0;
      for m:=k, i, j do
        begin
          q:=M[m]/sqrt((X[m]-a)2+(Y[m]-b)2);
          x:=x+q*X[m];
          y:=y+q*Y[m];
          p:=p+q;
        end;
      x:=x/p;
      y:=y/p;
    end;
  X[s]:=x;  Y[s]:=y;
end WG;

procedure WM(k,i,j,h);
integer k,i,j,h;
begin
  integer r,s; real g,t;
  if C[h]=i then
    begin r:=i; s:=j end
  else
    begin r:=j; s:=i end;
  g:=B[k];
  t:=B[h]:=B[s]+g;
  M[h]:=FM(t);
  r:=h;
  E: r:=C[r];
  t:=B[r]:=B[r]+g;
  M[r]:=FM(t);
  if r=1 then go to E
end WM;

```

```

procedure DP(k,i,j,s);
value s;
integer k,i,j,s;
begin
  boolean b,bb;
  A[i,j]:=0;
  if j>n then A[j,i]:=0;
  A[s,k]:=A[s,i]:=A[i,s]:=A[s,j]:=1;
  if j>n then A[j,s]:=1;
  if j<n then b:=true else
  begin
    b:=false;
    if C[i]=j then bb:= false else bb:=true;
  end;
  if b then C[s]:=i else
  if bb then
  begin
    C[s]:=i;
    C[j]:=s
  end else
  begin
    C[s]:=j;
    C[i]:=s
  end
end DP;

```

```

procedure JTER(p);
value p;
integer p;
begin
  integer t,q,r,m,z;
  integer array a[1:3];
  for q:=n+1 step 1 until n+p do
  begin
    r:=1;
    for m:=1 step 1 until 2×n-2 do
      if A[q,m]=1 then
      begin
        a[r]:=m;
        r:=r+1
      end;
    WG(a[1],a[2],a[3],q);
  end
end JTER;

```

```

for f:=e step 1 until q do
begin
  B[f]:=0;
  C[f]:=0;
  M[f]:=0;
  X[f]:=Y[f]:=0;
  for h:=1 step 1 until q do
    A[f,h]:=0;
  end;
  read(X[1],Y[1]);
  for h:=2 step 1 until n do
    read(B[h],X[h],Y[h]);
  read(eps,del);
  for h:=2 step 1 until n do M[h]:=FM(B[h]);
  KOLPOD;
  B[1]:=B[2];
  for h:=1,2,3 do
    A[e,h]:=1;
  C[e]:=1;
  WM(3,1,2,n+1);
  WG(3,1,2,n+1);
  for k:=4 step 1 until n do
  begin
    h:=n+k-2;
    MIN(k,i,j);
    DP(k,i,j,h);
    WM(k,i,j,h);
    WG(k,i,j,h);
    f:=1;
    E: f:=f+1;
    if f>150 then
    begin
      print(' ???ITER?? ');
      go to F
    end;
    copy(k-2,X[e],X1[e]);
    copy(k-2,Y[e],Y1[e]);
    JTER(k-2);
    for t:=e step 1 until h do
      if sqrt((X1[t]-X[t])2+(Y1[t]-Y[t])2)>eps then go to E
    end;
    DRUK;
  F: end
  end
end

```


12. Piśmiennictwo

1. Aglomeracje miejskie w Polsce, pojęcia i terminologia.
PAN. Komitet Przestrzennego Zagospodarowania Kraju.
Biuletyn. Zeszyt 79. Warszawa 1973r.
2. Bąbiński C., Chorobiński A.: Metody optymalizacji w projektowaniu planów generalnych zakładów przemysłowych.
Warszawa 1971, Arkady.
3. Berge C.: Programme, Spiele, Transportnetze.
Leipzig 1969, B.S.B.B.G. Teuber Verlagsgesellschaft.
4. Berge C.: The theory of graphs and its applications.
London 1964.
5. Cal : Построение оптимальной конфигурации инженерных систем и сетей с использованием ЭВМ-BESM-2M. Спорник.
Градостроительство. Применение математических методов и электронночислительной техники в градостроительстве.
Киев 1966.
6. Cherubin W., Rosada J.: Regulacja jako element pewności zasilania w systemach ciepłowniczych. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja. Wrzesień 1973.
7. Ford L.R., Fulkerson D.R.: Przepływy w sieciach.
Warszawa 1969. Biblioteka naukowa inżyniera.
8. Gass S.J.: Programowanie liniowe /tłumacz z ang./
Warszawa 1973. P.W.N.
9. Glinka J., Horbowiec E.: Zastosowanie elektronicznej techniki obliczeniowej do hydraulicznych obliczeń sieci cieplnych w SPEC. Inżynieria Miejska. Biuletyn Międzyzakładowego Klubu Techniki i Racjonalizacji przy Zjednoczeniu Miejskich Przedsiębiorstw Inżynieryjnych. Nr 7 1972.

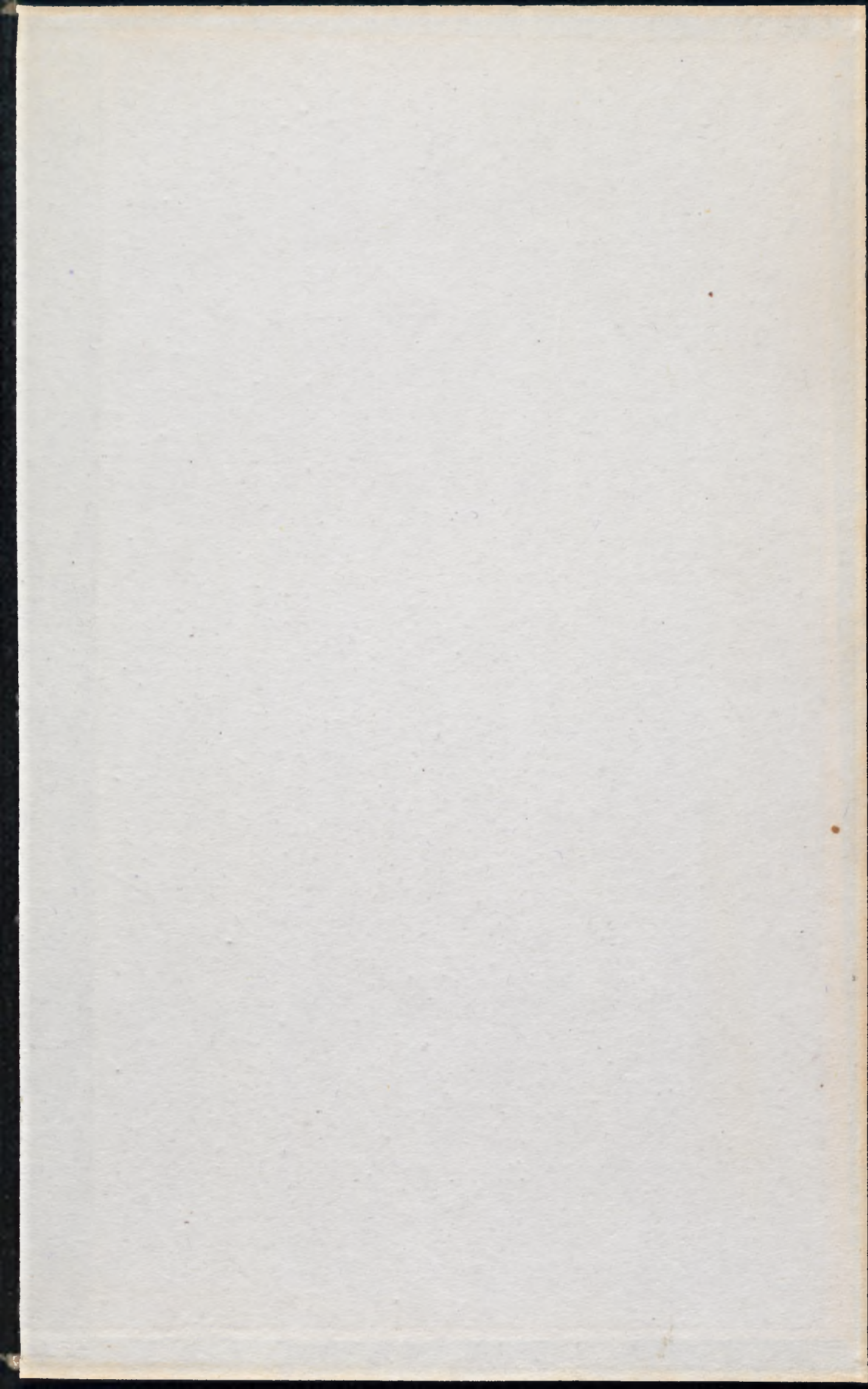
10. Goddard L.S.: Metody matematyczne w badaniach operacyjnych.
Warszawa 1966. P.W.N.
11. Jarczyk : "Wärmeversorgung von Städten."
Berlin 1971. VEB Verlag für Bauwesen.
12. Kamler W.; Ciepłownictwo cz.II. Sieci ciepłne.
Warszawa 1968. P.W.N.
13. Kamler W., Mizielińska K., Rosada J.: "Ustalenie związków
między ciepłownictwem jako elementem infrastruktury
przestrzennej a rozwojem aglomeracji miejskich w Polsce".
Warszawa 1970-74. Problem węzłowy 11.2.1.06.05.
14. Kamler W., Piotrowska M., Piotrowski Z., Rossian T.:
Niezawodność zasilania odbiorców z sieci ciepłnej
z uwzględnieniem współpracy źródeł na przykładzie
warszawskiej sieci ciepłnej. Etap III. 1974. Praca wyko-
nywana w Instytucie Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki
Warszawskiej na zlecenie Ośrodka Badawczo Rozwojowego
Ciepłownictwa przy SPEC.
15. Karłowicz R.: Plany kierunkowe i problemy rozwoju WZM .
Architektura 4/1961.
16. Kaufmann A., Coster D.: Exercices de combinatoire avec
solutions. Dunod, Paris 1970.
17. Kaufmann A.: Méthodes et modèles de la recherche
opérationnelle. Tom 2. Dunod, Paris 1964.
18. Kruskal J.B.Jr.: On the Shortest Spanning Subtree of the
Graph and the Travelling Salesman Problems. Proc. Amer.
Soc. Val. 7. 1956.

19. Krzyszczuk H., Olszyński B.: Prace studialne wykonywane w Ośrodku Zastosowań Elektronicznej Techniki Obliczeniowej. Zjednoczenie Biur Projektów Budownictwa ETOPROJEKT. 1966-1969.
20. Krzyszczuk H.: Zastosowanie elektronicznej techniki obliczeniowej w inżynierii sanitarnej. Warszawa 1963. Arkady.
21. Katalog orientacyjnych wskaźników jednostkowych nakładów inwestycyjnych. Zarządzenie nr 69 Przewodniczącego Komisji Planowania przy Radzie Ministrów z dnia 13 grudnia 1962. Departament Inwestycji MGKIOS. N-5-4061-1/74 z dnia 4.I.1974.
22. Little J.D.C., Murty K.G., Sweeney D.W., Karel C.: An Algorytm for the Travelling-Salesman Problem Operations Research. Vol.11. no 6. 1963.
23. Machnik Z., Sałasiński J.: Czterorurkowe osiedlowe sieci cieplne. Konceptje rozwiązań i projekt techniczny. Praca studialna. Warszawa. Energoprojekt 1973.
24. Mejro Cz.: Podstawy gospodarki energetycznej. Warszawa 1966. W.N.T.
25. Nicholson T.A.J.: A Boundary Method for Planar Travelling Salesman Problems. Operational Research. Quarterly. Vol. 19. 1968.
26. Nowicki J.: Racjonalne średnice przewodów i wysokości podnoszenia w rozgałęzionych sieciach cieplnych. Praca doktorska. 1965. Promotor doc. dr Witold Wasilewski.
27. Ore Oystein: Wstęp do teorii grafów /tłumacz.z ang./ Warszawa 1966. P.W.N.

28. Procedura "myszka". Koczyk A. Zakład Obliczeń Numerycznych Uniwersytetu Warszawskiego. Biblioteka programów i procedur.
29. Projektowanie ciepłno-hydrauliczne zewnętrznych sieci ciepłowniczych. Opracowanie wykonane przez Instytut Projektowania Architektonicznego P.W. na zlecenie Instytutu Matematyki PAN w ramach problemu węzłowego 06.1.1. temat 07.3.02. Grudzień 1971.
30. Program IP-9ćp31-67 do wyznaczania ekonomicznego rozdziału obciążeń w systemach transportowych. Instytut Maszyn Matematycznych.
31. Rietschel H.: Prodręcznik Ogrzewanie i Klimatyzacja. Warszawa 1973. Arkady.
32. Rosada J.: Ciepłownictwo w dużych aglomeracjach miejskich w rozwoju kierunkowym. Referat na sympozjum: Zespólna infrastruktura techniczno-ekonomiczna w aglomeracjach miejskich. Instytut Projektowania Architektonicznego P.W. Warszawa 1973.
33. Szablak S.: Program do obliczania sieci pierścieniowych : Sieć transport cieczy STC-1. Cukroprojekt. Warszawa 1973.
34. Suttor: Wege zur Optimierung von Fernwärmenetzen. Wärme. Band 71. Heft 4.
35. Szifrinson B.L., Leontiewa T.K.: Trassированье тепловых сетей. Электрические станции. Nr 3/1950.
36. Wasilewski W.: Racjonalne przekroje przewodów wentylacji mechanicznej i wodnych ogrzewań pompowych. Warszawa - wrzesień 1961. Rozprawa habilitacyjna.

37. Wilski J.: Rozwój aglomeracji miejskich w układzie satelitalnym na przykładzie Warszawskiego Zespołu Miejskiego. Praca doktorska. Promotor doc. dr Ryszard Karłowicz. Warszawa 1970.
38. Praca zbiorowa. Warmwasser-Fernheizung. Danfoss A/S Automatik für Heizanlagen 1972.
39. Praca zbiorowa: Chasiliew W., Marenkow A., Niekrasowa O., Kagonowicz B.: Wahl der Schaltungen und Parameter für industrielle Fernwärmeversorgungsnetze. Energietechnik. 3/1970.
40. Wołgin L.N.: Optamalizacja /tłumacz. z ros./ Warszawa 1970. W.N.T.
41. Wójcicki J.: Zasady etapowania scentralizowanego układu zaopatrzenia w ciepło m.st. Warszawy. Materiały TERN przy Prezydium Stołecznej Rady Narodowej. Warszawa, listopad 1971.







R

2087



Warszawa, dnia 20 maja 1975 r

OPINIA o pracy doktorskiej mgr inż. Krystyny MIZIELINSKIEJ
pt. OPTYMALNE UKŁADY SIECI CIEPLNYCH W ZALEŻNOŚCI OD STRUK-
TURY PRZESTRZENNEJ JEDNOSTEK OSADNICZYCH W AGLOMERA-
CJACH MIEJSKICH

Wstępna część opiniowanej pracy, poświęcona ogólnym informacjom z zakresu planowania przestrzennego i definicjom poszczególnych układów sieci cieplnej, wykazuje dość dobrą znajomość autorki pracy, zagadnień planowania przestrzennego.

Przytoczona w p.3 analiza wielkości wpływających na koszty wodnych sieci cieplnych bazuje w głównej mierze na pracach innych autorów. Przytaczane w tym punkcie zależności ogólne - wykorzystywane w dalszych częściach pracy dla konkretnych obliczeń, powinny być uzupełnione informacjami o wartościach liczbowych poszczególnych stałych i sposobie ich określania. Przyjęty przez autorkę w p.3 pracy końcowy wniosek zakładający możliwość określania optymalnych średnic przewodów a tym samym i kosztów poszczególnych działek /niezależnie od ich usytuowania w sieci/- w oparciu o jednakowy dla całej sieci jednostkowy liniowy spadek ciśnienia jest dyskusyjny.

Również dyskusyjne jest założenie o pominięciu wpływów kosztów pompowania na ogólne koszty sieci /str.20/. W konsekwencji tych założeń, zagadnienie optymalizacji kosztów sieci sprowadza się do znalezienia minimum sumy iloczynów poszczególnych działek sieci przez ilość przepływającej przez nie wody w n-tej potęgze.

Jest to bardzo proste ujęcie, ale nie w pełni oddające rzeczywistą wielkość kosztów sieci. Z zasadą stałości jednostkowego liniowego spadku ciśnienia, można się zgodzić w odniesieniu

do obiegu decydującego o wysokości podnoszenia pompy. Dla obiegów krótszych wartości R są z zasady odpowiednio większe.

W pracy powinno się więc znaleźć choćby oszacowanie skutków przyjętych założeń /różnych od tych, które są podstawą doboru średnic sieci o układach ustalonych w sposób "intuicyjny". Ponadto przytaczając powyższe założenia upraszczające należało ~~zixxxx~~ przytoczyć informację, że z założeń tych nie korzysta się w analizie niektórych rozpatrywanych w pracy przypadków /np. sieć pajęczaka/. W punkcie 4 pracy podano analityczną i graficzną interpretację zagadnienia optymalizacji struktury sieci cieplnej, a w p. 5 stosowane w teorii grafów metody minimalizacji długości sieci. Treść tych punktów wykazuje dobrą znajomość omawianych zagadnień, poprawną interpretację i wybór metod.

W p.6 przytoczono proponowaną metodę optymalizacji sieci pajęczych. Sprowadza się ona do znalezienia optymalnego położenia źródła, które daje w efekcie minimalną sumę iloczynów długości $\dot{m}$ mas przypisanych poszczególnym punktom. Wzory określające położenie tego punktu - jak można domniemywać - są dziełem autorów pracy. Korekta położenia źródła następuje po uprzednim określeniu optymalnego spadku ciśnienia dla najdłuższego odgałęzienia i towarzyszących mu spadków, pozostałych gałęzi. Poszczególne punkty odbioru obciążane są w trakcie korekty jednostkowym kosztem gałęzi.

W proponowanej dla sieci pajęczej metodzie optymalne R /lub średnica/ należało określać rozpatrując sumę kosztów wszystkich odgałęzień - a nie koszty odgałęzienia najdłuższego. Tylko takie postępowanie daje w efekcie rzeczywiste optymalne koszty sieci.

Uzupełnienie "metody sieci pajęczej" stanowi analiza wyboru miejsca włączenia jej "źródła" do przewodu magistralnego.

a W kolejnym p.7 rozpatruje autorka sieci ciepłne o układzie promieniowym. Po opisie metody wykreślnej Szufrinsona-Leontiewa /zilustrowanej przykładem/ i metody analitycznej "ślizgającego się żebra" /metody Cala/ przytoczono opis modyfikacji tej ostatniej /wprowadzenie jako jej elementu - "metody pajęczej"/ oraz przykłady liczbowe.

Zwraca uwagę orak jednoznacznej informacji co do przyjętego sposobu "łobciążenia" punktów rozbioru, jak również co do wprowadzonych symboli r_{ij} i S /str.73/.

Kolejnym elementem pracy jest rozdział traktujący o wyznaczaniu kierunku przebiegu przewodu magistralnego. Kierunek ten określa autorka poszukując minimalnej sumy iloczynów odległości środka ciężkości obsługiwanych przez magistralę obszarów zabudowy i ich umownych mas. Rozumowanie i wzory wyprowadzone przez autorkę są poprawne. Zasadniczym jednak założeniem jest ^{intuicyjny} wybór grupy obszarów zabudowy, które mają być obsługiwane prostym odcinkiem magistrali.

Ostatni rozdział pracy poświęcony jest poszukiwaniu optymalnych układow sieci ciepłnych pierścieniowych. Podaje w nim autorka opisy metod, które można ogólnie ocenić jako połączenie intuicyjnych założeń z opisaną w poprzednim rozdziale metodą wyznaczania kierunku przewodu magistralnego. Kończy ten rozdział opis i adaptacja klasycznego zagadnienia transportowego do sieci ciepłnych wielopierścieniowych.

Pracę kończą wnioski i uwagi ogólne.

OCENA PRACY

Opiniowana praca doktorska ma mimo wyżej przytoczonych uwag i zastrzeżeń określoną przydatność praktyczną. Napisana jest, poza nielicznymi wyjątkami, dość jasno i poprawnie oraz wykazuje dobre przygotowanie i znajomość problematyki optymalizacji układów sieci ciepłnych przez jej autorkę.

Stwierdzam, że opiniowana praca mgr inż. Krystyny MIZIELINS-
KIEJ spełnia w dostateczny sposób wymagania stawiane przez ośnośne
przepisy rozprawom doktorskim.

M. Andrzejewski



Doc. dr inż. Ferdynand DEMBICKI

ul. Kórnicka 26 a m 6

61-141 POZNAŃ



R e c e n z j a

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krystyny MIZIELINSKIEJ p.t.

„Optymalne układy sieci ciepłych w zależności od struktury przestrzennej jednostek osadniczych w aglomeracjach miejskich”.

1. Charakterystyka rozprawy.

Rozwój budownictwa ogólnego i przemysłowego wymaga coraz więcej scentralizowanych układów zaopatrzenia w energię ciepłą. W praktyce projektowej wybór sposobu i drogi prowadzenia sieci ciepłowniczej dokonuje się na ogół intuicyjnie bez poprawnej analizy rozwiązań optymalnych. Tezą recenzowanej pracy jest ustalenie zasad prowadzenia tras wodnych sieci ciepłowniczych w oparciu o metody optymalizacyjne.

Celem pracy jest opracowanie podstaw teoretycznych metod obliczenia i projektowania optymalnych układów sieci ciepłowniczych.

Przedstawiona rozprawa obejmuje :

- omówienie systemów osadniczych w aglomeracjach miejskich i podstawowych układów sieci ciepłowniczych,
- analizę wielkości wpływających na koszty wodnych sieci ciepłowniczych,
- matematyczną interpretację założeń do wyznaczania układu sieci,
- wybrane metody optymalizacji grafów w poszukiwaniu optymalnych układów,
- wyznaczenie optymalnych układów sieci ciepłych pajęczych,

- metody rozwiązania optymalnych układów sieci promieniowych [Sziffrinson - Leontiewa, ślizgającego się zebra /Cala/ oraz metodą zmodyfikowaną przez autorkę],
- opracowaną przez autorkę metodę kierunku przebiegu przewodów magistralnych z ilustracyjnymi przykładami,
- poszukiwanie optymalnych rozwiązań układów sieci pierścieniowych i wielopierścieniowych,
- technikę ustalania najkorzystniejszych układów sieci wielopierścieniowych w oparciu o modele matematyczne,
- programy na emc do wyznaczania optymalnego układu sieci : pajecznej, sieci promieniowej, zmodyfikowaną metodą Cala oraz program służący do wyznaczania najkorzystniejszego kierunku przewodu magistralnego.

W pracę przeprowadzono również analizę przypadków awarii przewodów i źródeł dla wybranych układów sieci pierścieniowej.

2. Uwagi ogólne

Tytuł rozprawy nie oddaje w pełni jej treści. Praca dotyczy głównie metod obliczania i projektowania optymalnych układów sieci ciepłowniczych.

Założony jednak we wstępie cel pracy doktorskiej został zrealizowany.

Przedstawiono metody optymalizacji obejmują wszystkie rodzaje układów sieci ciepłych, a głównym celem było znalezienie ich optymalnych konfiguracji. Przez takie ujęcie tematu, praca obejmuje szeroki wachlarz zagadnień z pewną szkodą dla niektórych szczegółowych rozpracowań dotyczących sieci pierścieniowych. Z punktu widzenia teoretycznego, ujęcie problemu i zaproponowane metody obliczeń i projektowania nie budzą zastrzeżeń.

Przy praktycznym wykorzystaniu wyników badań będą zachodziły odchylenia ze względu na niemożność zastosowania dowolnej konfiguracji sieci w poszczególnych aglomeracjach miejskich.

Dużą zaletą pracy jest możliwość szerokiego wykorzystania jej wyników, szczególnie przy projektowaniu wstępnym nowych aglomeracji miejskich. Przedstawione programy na emc pozwolą na szybkie przeprowadzenie analiz.

We wnioskach końcowych autorka zbyt mało uwypukliła własne osiągnięcia uzyskane w pracy.

3. Uwagi szczegółowe

Praca napisana jest przy zastosowaniu obydwu układów jednostek. Pożądane byłoby zastosowanie układu SI na pierwszym miejscu.

Rozprawa nie zawiera zestawienia ważniejszych oznaczeń stosowanych w tekście.

s. 17 we wzorze /3.5/ uwzględniono stały współczynnik 1,2 na udział kosztów nakładowych w rocznych kosztach ruchowych. Wielkość ta jest zmienna w zależności od warunków i układów. Lepiej byłoby oznaczać ją przy pomocy litery, np. „y”.

„ η - sprawność pompy. Powinno być sprawność agregatu pompowego łącznie z silnikiem, ponieważ w analizie uwzględnia się koszty zużytej energii elektrycznej.

s. 41 we wzorze /6.18/ winny być uwzględnione opory miejscowe.

s. 43, rys. 18. Niejasne jest przesuwanie odbiorców do punktów fikcyjnych.

s. 62 rys. 30.cz.4 - winno być „zmiana położenia p.7 i 8 a nie 9.

s. 94 - brak bliższego uzasadnienia stwierdzenia, że przy 80 % natężeniu przepływu wody spadek temperatury w pomieszczeniu wynosić będzie po 16 h tylko 2° C.

s. 101 Wprowadzenie fikcyjnego źródła ciepła przy jednakowych ciśnieniach *wyjściowych* jest możliwe w płaskim terenie. Nie uwzględniono wpływu konfiguracji terenu.

Przedstawiony przykład obliczeniowy dla sieci pierścieniowej z dwoma źródłami ciepła jest mało czytelny, ze względu na brak pełnego przedstawienia danych wyjściowych i sposobu przeliczeń.

4. Wnioski Końcowe.

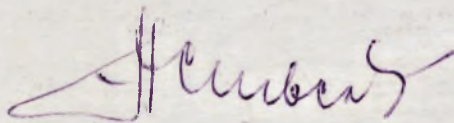
Po przestudiowaniu rozprawy doktorskiej mgr inż. Krystyny Mizielińskiej pt. „Optymalne układy sieci ciepłowniczych w zależności od struktury przestrzennej jednostek osadniczych w aglomeracjach miejskich” stwierdzam, że doktorantka wykazała:

- umiejętność formułowania i rozwiązywania zagadnień naukowych, ważnych w projektowaniu optymalnych układów sieci ciepłowniczych
- dobrą znajomość zagadnień związanych z tematem rozprawy.

Praca charakteryzuje się zwięzłym i w dużym stopniu przejrzystym układem, napisana jest poprawną polszczyzną.

Rozprawa doktorska mgr inż. K. Mizielińskiej odpowiada wymaganiom Ustawy o stopniach naukowych i wnosi o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Poznań 29.05.1975 r.



Doc. dr hab. Bogusław Grochowski

Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji



R e c e n z j a

pracy doktorskiej mgr inż. Krystyny Mizielińskiej pt. Optymalne układy sieci ciepłych w zależności od struktury przestrzennej jednostek osadniczych w aglomeracjach miejskich

A. W pracy mgr inż. K. Mizielińskiej o podanym powyżej tytule podjęty jest problem optymalizacji układów sieci ciepłych ze względu na koszty inwestycyjne i eksploatacyjne.

Rozdziały 1 i 2 pracy zawierają wstępne informacje o aglomeracjach miejskich i o podstawowych układach sieci ciepłych.

W rozdziale 3 wprowadzony jest wzór /3.11./ wyrażający koszty związane z siecią ciepłą w zależności od długości poszczególnych działek sieci l_{ij} i od masowego natężenia czynnika grzejącego G_{ij} .

Wzór ten otrzymuje autorka przy pewnych upraszczających założeniach, jakim jest np. przyjęcie stałego średniego spadku ciśnienia.

Wzór /3.11./ wyraża funkcję celu w dalszych rozważaniach optymalizacyjnych.

W rozdziałach 4 i 5 przedstawione są znane rozwiązania optymalizacji sieci ciepłych promieniowych i pierścieniowych. Rozwiązania te uzyskano w teorii grafów, w której dane punkty /węzły/ łączy się odcinkami spełniającymi pewne warunki. Warunek nie tworzenia przez krawędzie grafu zamkniętych cykli odpowiada sieci promie-

niowej, a dopuszczalność powstawania cykli odpowiada sieci pierścieniowej.

Omówione metody umożliwiają wybór najkorzystniejszego wariantu pod względem długości sieci, ale nie dają możliwości wyznaczenia optymalnych dróg przewodów ciepłowniczych.

Zadanie to rozwiązuje autorka w paragrafie 6 pracy dla sieci ciepłych pajęczych stosowanych ostatnio przy zasilaniu osiedli z węzłów ciepłych grupowych.

Wyznaczone tu zostało optymalne położenie punktu zasilania dla sieci pajecznej. Uzyskano je jako minimum funkcji wyrażającej położenie zmiennego punktu zasilania w zależności od jego odległości od punktów odbioru i od zadanych obciążeń poszczególnych przewodów.

Zwraca tu uwagę metoda kolejnych przybliżeń zastosowana przy rozwiązywaniu układów równań powstałych z przyrównania do 0 pochodnych cząstkowych badanej funkcji. Metoda ta - wzorowana na metodzie Picarda kolejnych przybliżeń w teorii równań różniczkowych - daje ciągi przybliżeń szukanych rozwiązań. Ciągi te określają rozwiązania z dowolnieadaną dokładnością.

Występujące tu wielokrotne powtarzanie określonych operacji jest szczególnie korzystne rachunkowych przy programowaniu na maszynę cyfrową. Autorka opracowuje odpowiedni program /załącznik nr 1/.

Swą oryginalną metodę optymalizacji punktu zasilania sieci pajecznej stosuje autorka do ustalenia optymalnego miejsca przyłączenia do magistrali odgałęzienia zasilającego sieć pajęczą, a następnie - w rozdziale 8 pracy - do pewnej modyfikacji

metody Cala.

W rozdziale 8 - przy wyznaczaniu kierunku przebiegu przewodu magistralnego - rozważana jest funkcja, której wykres składa się z płatów powierzchniowych połączonych parami w łukach krawędziowych przecinających się w węzłach. Szukając minimum tej funkcji autorka wykazuje, że nie może ono mieć miejsca wewnątrz tworzących wykres płatów powierzchniowych ani też w punktach wewnętrznych łuków krawędziowych. Minimum zachodzi zatem w jednym z węzłów i może być wyznaczone przez porównanie wartości funkcji w punktach węzłowych.

W rozdziale 9 wykazano, że zagadnienie transportowe programowania liniowego może być zastosowane tylko do wstępnego wyznaczania przepływów przez poszczególne działki; nie daje ono możliwości wymiarowania przekrojów działek, ponieważ nie uwzględnia przepływów w warunkach awarii. Rozumowanie to wydaje się być przekonywujące.

B. Zauważyłem w pracy następujące drobne usterki:

1. str. 20₉ zamiast "krzywa kosztów" powinno być: funkcja kosztów. Jest to bowiem funkcja wielu zmiennych, której wykresem jest hiperpowierzchnia, nie krzywa.
2. str. 20₆ - powołanie się na podręcznik powinno wskazywać odpowiednie rozdziały i strony.
3. wzór /3.11/ zawiera stałą C, której znaczenie nie jest podane
4. str. 26⁹ - zamiast w punkcie 2 powinno być w punkcie 3.

5. rozdziały 4 i 5 zawierające materiał zaczerpnięty z literatury powinny być skrócone.

5. str. 37 - przy obliczaniu minimum funkcji nie wzięto pod uwagę warunków dostatecznych istnienia ekstremum.

C. Moja ocena pracy mgr inż. K. Mizielińskiej jest pozytywna.

Autorka pracy wykazała dobrą znajomość literatury /w tym także geometrycznej i matematycznej/, potrafiła krytycznie ocenić dotychczasowe opracowania badanych zagadnień, umiała postawić i wyraźnie sformułować nowe problemy oraz zastosować do ich rozwiązywania nietrywialne metody matematyczne.

Według mojego przekonania praca spełnia wszystkie warunki stawiane pracom doktorskim przez odpowiednie zarządzenia władz.

Stawiam wniosek o dopuszczenie recenzowanej pracy mgr inż. K. Mizielińskiej do publicznej obrony.

30. V. 1975

