

# CENTRUM TECHNIKI OKRETOWEJ

SHIP DESIGN AND RESEARCH CENTRE  
ЦЕНТР СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ



*zeszyty*

# PROBLEMOWE

REPORTS • ТРУДЫ

B-005

Z. WIŚNIEWSKI

SYSTEM HYBRYDOWY APII-600  
I JEGO ZASTOSOWANIE W MECHANICE KONSTRUKCJI OKRETU



GDANSK

W serii ZESZYTY PROBLEMOWE dotychczas ukazały się następujące pozycje:

- B-001 L. Malak: Prognozowanie obciążeń statku na fali. XI 1978.
- B-002 L. Konieczny: Wytrzymałość ogólna kadłuba z uwzględnieniem sprzężenia skręcania i zginania poprzecznego. XI 1978.
- B-003 A. Baraniak, A. Domański, U. Sznajder: Wpływ struktury geometrycznej powierzchni blach okrętowych na własności ochronne powłok malarskich. II 1979.
- B-004 Z. Bilicki: Metoda określania współczynników wnikania ciepła podczas wrzenia freonu w przepływie. III 1979.

**CENTRUM TECHNIKI OKRĘTOWEJ**

**OŚRODEK MECHANIKI KONSTRUKCJI OKRĘTU**

B - 005

**SYSTEM HYBRYDOWY APH-600  
I JEGO ZASTOSOWANIE W MECHANICE KONSTRUKCJI OKRĘTU**

**dr inż. Zbigniew Wiśniewski**

**Symbole klasyfikacji wg BKD: 3102 : 3106 : 3013 : 30113**

**GDĄSK, MAJ 1979**



## STRESZCZENIE

W Centrum Techniki Okrętowej uruchomiono system hybrydowy, przeznaczony do badania zagadnień brzegowych mechaniki konstrukcji okrętu. System składa się z 600-węzłowej sieci oporowej z elementami pamięci "sample-hold", połączonej z kalkulatorem w zamkniętej pętli. Sieć działa jako podprogram w systemie oprogramowania kalkulatora. Modelowanie hybrydowe oparte jest na analogii równań prawa Kirchoffa dla rozptywu prądów w sieci oporowej oraz równań algebraicznych otrzymanych z różnicowego przybliżenia pola badanej funkcji. Celem niniejszej pracy jest zwrócenie uwagi Czytelnika na możliwości wykorzystania modelowania hybrydowego do symulacji pól fizycznych, a zwłaszcza procesów przejściowych i nieliniowych. Przedstawiono podstawy teoretyczne metody, opis techniki modelowania oraz oprogramowanie systemu hybrydowego. Podano przykłady zastosowań oraz dokonano oceny dokładności metody. Wskazano również nowe dziedziny zastosowań symulacji hybrydowej.

## HYBRID SIMULATION OF BOUNDARY PROBLEMS IN SHIP STRUCTURE MECHANICS HYBRID COMPUTER APH-600

In Ship Design and Research Centre a hybrid computer system was installed with aim to study the field problems in ship structure mechanics. The system consists of 600-nodes resistance network with "sample-hold" units /1 for each node/, interfaced to a desktop calculator in closed loop. The network acts as a parallel - computing subroutine for the digital computer program. The basis for the analogy lies in the fact that the Kirchoff's law equations governing the current distribution in the resistance network are identical in the form to the simultaneous algebraic equations which are to be solved by matrix inversion. The purpose of this paper is to attract the Reader's attention to advantages of application of hybrid simulation technique as useful tool for investigation of field problems - transient and nonlinear especially. The basic theory of simulation and general description of typical procedure are presented with some examples of application in ship structure mechanics. A brief review of software is given and accuracy of the method is discussed. The area of application is pointed out.

## ГИБРИДНАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АПХ-600 И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ КОНСТРУКЦИИ СУДОВ

В Центре Судостроительной Техники введена в действие гибридная вычислительная система для исследования краевых задач механики конструкции судов. Система состоит из 600-узловой аналоговой сети сопротивлений с элементами типа "sample-hold", соединённой с вычислительной машиной. Аналоговая сеть действует, как подпрограмма в системе программ для вычислительной машины. Принцип аналогии, который используется в технике гибридного моделирования состоит в соответствии уравнений Киргоффа для сети сопротивлений и совместных алгебраических уравнений, которые решаются путём матричного вычисления. Целью настоящей работы является обращение внимания Читателя на возможности, вытекающие из использования гибридного моделирования для решения задач механики конструкции судов - особенно неустановившихся и нелинейных режимов. Представляется основная теория моделирования краевых задач и техника моделирования. Дан обзор состава программ для решения типичных задач и приведены примеры решений некоторых проблем распределения температуры в корпусах судов. Указаны области применения гибридного моделирования.



## SPIS TREŚCI

Wstęp . . . . .	5
1. Przegląd ważniejszych prac w dziedzinie modelowania analogowego . . . . .	7
2. Zasady modelowania hybrydowego . . . . .	9
2.1. Idealizacja modelowanego obiektu . . . . .	9
2.2. Przygotowanie danych . . . . .	10
2.3. "Budowa" modelu analogowego . . . . .	15
2.4. Transmisja wejściowa - rozwiązanie - transmisja wyjściowa . . . . .	15
2.5. Wyprowadzenie wyników . . . . .	18
3. Oprogramowanie systemu hybrydowego . . . . .	20
4. Przykłady zastosowania symulacji hybrydowej . . . . .	23
4.1. Rozwiązanie równania ciągłości w obszarze jednorodnym . . . . .	23
4.2. Rozkład temperatury w zładzie poprzecznym zbiornikowca do przewozu gazów skroplonych . . . . .	25
5. Dokładność modelowania hybrydowego . . . . .	31
5.1. Idealizacja . . . . .	31
5.2. Wpływ tworzenia sieci aproksymacyjnej . . . . .	31
5.3. Wpływ fazy tworzenia sieci oporowej . . . . .	33
5.4. Błędy cyklu automatycznego . . . . .	33
5.5. Wstępna obróbka wyników . . . . .	33
6. Ocena efektywności modelowania hybrydowego . . . . .	35
7. Uwagi końcowe . . . . .	36
Bibliografia . . . . .	36

## CONTENTS

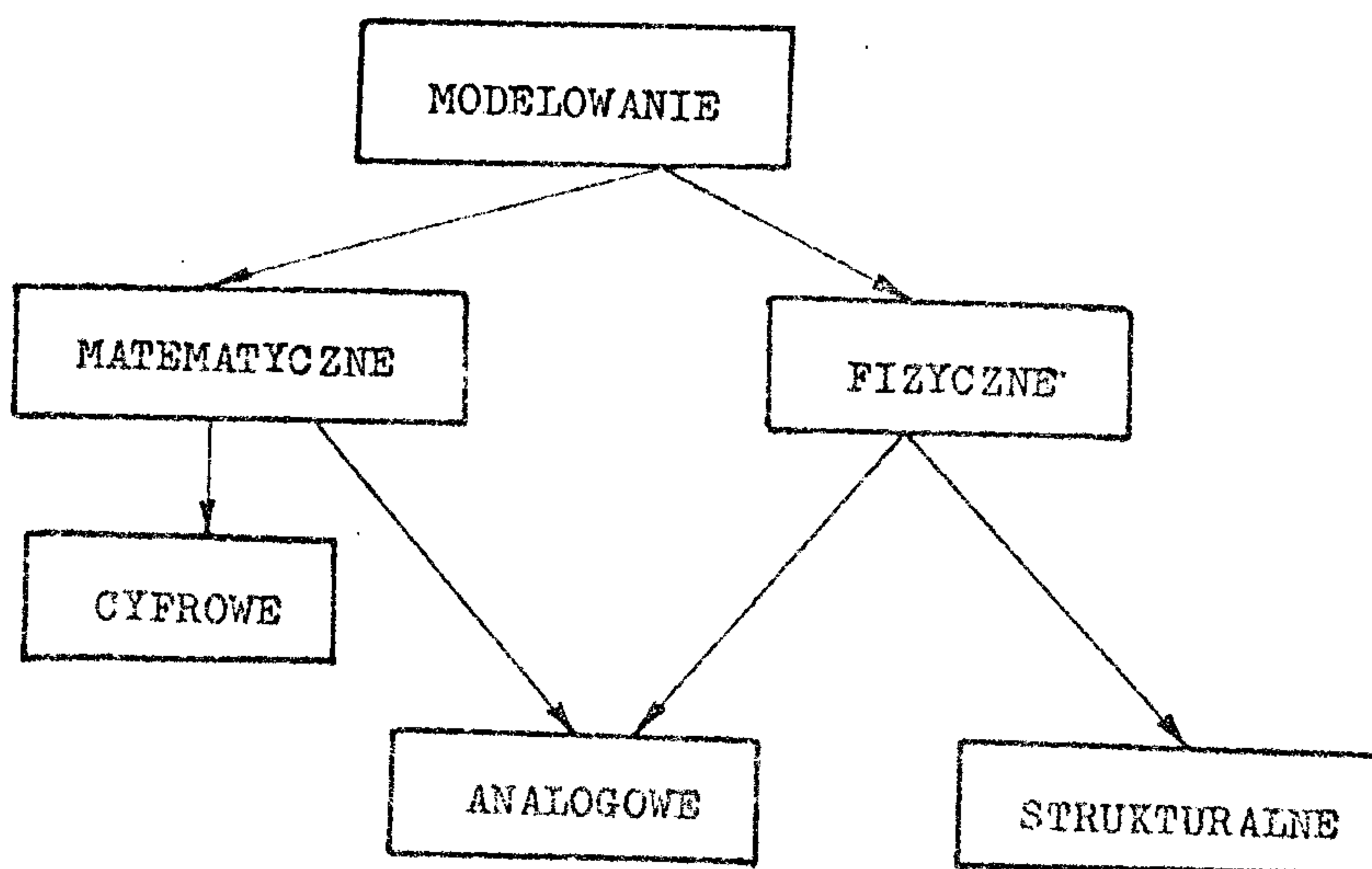
Introduction . . . . .	5
1. Review of "state of art" in analog simulation . . . . .	7
2. Principles of hybrid simulation . . . . .	9
2.1. Idealisation . . . . .	9
2.2. Data preparation . . . . .	10
2.3. Setting the analog model . . . . .	15
2.4. Input - solution - output . . . . .	15
2.5. Results edition . . . . .	18
3. System software . . . . .	20
4. Exemplary problems . . . . .	23
4.1. Equation of Laplace for uniform domain . . . . .	23
4.2. Temperature distribution in midship section of LNG tanker . . . . .	25
5. Accuracy of hybrid simulation . . . . .	31
5.1. Idealisation errors . . . . .	31
5.2. Errors of approximation mesh . . . . .	31
5.3. Accuracy of resistance network . . . . .	33
5.4. Accuracy of automatic solution procedure . . . . .	33
5.5. Preliminary analysis of results . . . . .	33
6. Discussion on efficiency of hybrid simulation . . . . .	35
7. Concluding remarks . . . . .	36
Bibliography . . . . .	36

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	5
1. Обзор работ по аналоговому моделированию . . . . .	7
2. Основы гибридного моделирования . . . . .	9
2.1. Идеализация исследуемого объекта . . . . .	9
2.2. Подготовка данных . . . . .	10
2.3. Составление аналоговой модели . . . . .	15
2.4. Входная трансмиссия - решение - выходная трансмиссия . . . . .	15
2.5. выпуск результатов . . . . .	18
3. Программирование гибридной системы . . . . .	20
4. Примеры применения гибридной симуляции . . . . .	23
4.1. Решение уравнения непрерывности в однородной области . . . . .	23
4.2. Распределение температур в поперечном сечении корпуса танкера ЛНГ . . . . .	25
5. Точность гибридного моделирования . . . . .	31
5.1. Идеализация . . . . .	31
5.2. Влияние аппроксимационной сети . . . . .	31
5.3. Ошибки резисторной сети . . . . .	33
5.4. Ошибки автоматического решения . . . . .	33
5.5. Влияние начальной обработки результатов . . . . .	33
6. Об эффективности гибридного моделирования . . . . .	35
7. Окончательные замечания . . . . .	36
Библиография . . . . .	36

## WSTĘP

Każdy problem mechaniki konstrukcji rozwiązuje się drogą modelowania, bowiem aby uzyskać informację o odpowiedzi obiektu /konstrukcji/ na określone zewnętrzne bodźce fizyczne /obciążenie, temperatura, przemieszczenie itp./, formuluje się abstrakcyjnie lub fizycznie pewne przybliżenie badanego zjawiska. Z punktu widzenia postaci tego przybliżenia /modelu/ wyróżnić można różne rodzaje procesu modelowania /rys. 1/.



Rys. 1. Podział metod modelowania

Wprowadzając podział metod modelowania zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 1, nie zamierzano przedstawić ściśle całego zakresu pojęć, a jedynie umiejscowić omawianą niżej metodę w zbiorze procedur modelowania.

Symulacja na hybrydowym analizatorze pola należy do grupy metod analogowych i ma charakter częściowo matematyczny - ponieważ w pierwszym przybliżeniu odwzorowuje się matematyczny opis zjawiska, a częściowo fizyczny - gdyż parametrami modelowanego obiektu odpowiadają nie liczby, lecz wielkości fizyczne. Klasa problemów, które można badać metodą hybrydowej symulacji pól charakteryzuje się modelem formalnym mającym w pierwszym przybliżeniu postać równania różniczkowego cząstkowego, typu eliptycznego. Zgodnie z ogólnie przyjętą terminologią takie zagadnienia określa się jako brzegowe. Z punktu widzenia charakteru zjawisk przedmiotem modelowania hybrydowego są pola fizyczne.

Dotychczasowe wyniki zastosowań modelowania analogowego i hybrydowego do badania zagadnień brzegowych mechaniki konstrukcji okrętu wskazują na celowość stosowania i rozwijania tej techniki badań. Uruchomiony w r. 1978 w CTO hybrydowy analizator pola umożliwił znaczne rozszerzenie zakresu wykorzystania modelowania zagadnień pól fizycznych, zarówno pod względem typu, jak i stopnia trudności rozwiązywanych problemów. Pierwsze doświadczenia praktyczne, uzyskane w trakcie pracy na analizatorze, upoważniają do zaprezentowania metod modelowania hybrydowego szerszemu kręgowi pracowników, zarówno zaplecza badawczego, jak i biur projektowo-konstrukcyjnych przemysłu okrętowego, jako efektywnego narzędzia do rozwiązywania szeregu zagadnień występujących w projektowaniu statków.

W niniejszej pracy omówione zostaną ogólne zasady modelowania hybrydowego oraz podane zostaną przykłady ilustrujące tę metodę.



## 1. PRZEGLĄD WAŻNIEJSZYCH PRAC W DZIEDZINIE MODELOWANIA ANALOGOWEGO

W ciągu 9 lat stosowania metod modelowania analogowego i hybrydowego do zagadnień mechaniki konstrukcji okrętu, ukazało się wiele publikacji<sup>x/</sup>, głównie na temat wymiany ciepła w konstrukcjach kadłubów i wytrzymałości węzłów konstrukcji statków.

Wykonano między innymi takie prace, jak:

- optymalizacja rozmieszczenia nagrzewnic przeznaczonych do podgrzewania ładunków ciekłych w ładowniach statku OBO;
- analiza pól temperatur w kadłubach zbiornikowców LNG i LPG;
- optymalizacja kształtu wymienników ciepła, przeznaczonych do okrętowych systemów urządzeń chłodniczych;
- analiza wytrzymałości węzłów konstrukcji statków.

Obok prac stanowiących element procesu projektowania statku wykonano szereg prac metodycznych, takich jak:

- opracowanie zasad stosowania modelowania hybrydowego do rozdzielania naprężeń głównych - przy współdziałaniu z techniką elastooptycznej warstwy powierzchniowej /procedura EAMAP/;
- opracowanie metodyki rozwiązania równań przemieszczeń dla zagadnień sprężystych i sprężysto-plastycznych;
- zastosowanie techniki superelementów do symulacji hybrydowej pól temperatury w konstrukcjach kadłubów statków;
- opracowanie metodyki modelowania płaskich stanów naprężeń;
- opracowanie i realizacja sprzężenia ON LINE między układem do pomiaru wielkości mechanicznych firmy HOTTINGER a analizatorem hybrydowym;
- opracowanie podstawowego oprogramowania hybrydowego analizatora pola do symulacji liniowych problemów brzegowych.

Przydatność metod modelowania analogowego zagadnień brzegowych, jako środka wspomagającego projektowanie, została potwierdzona już w początkowej fazie ich

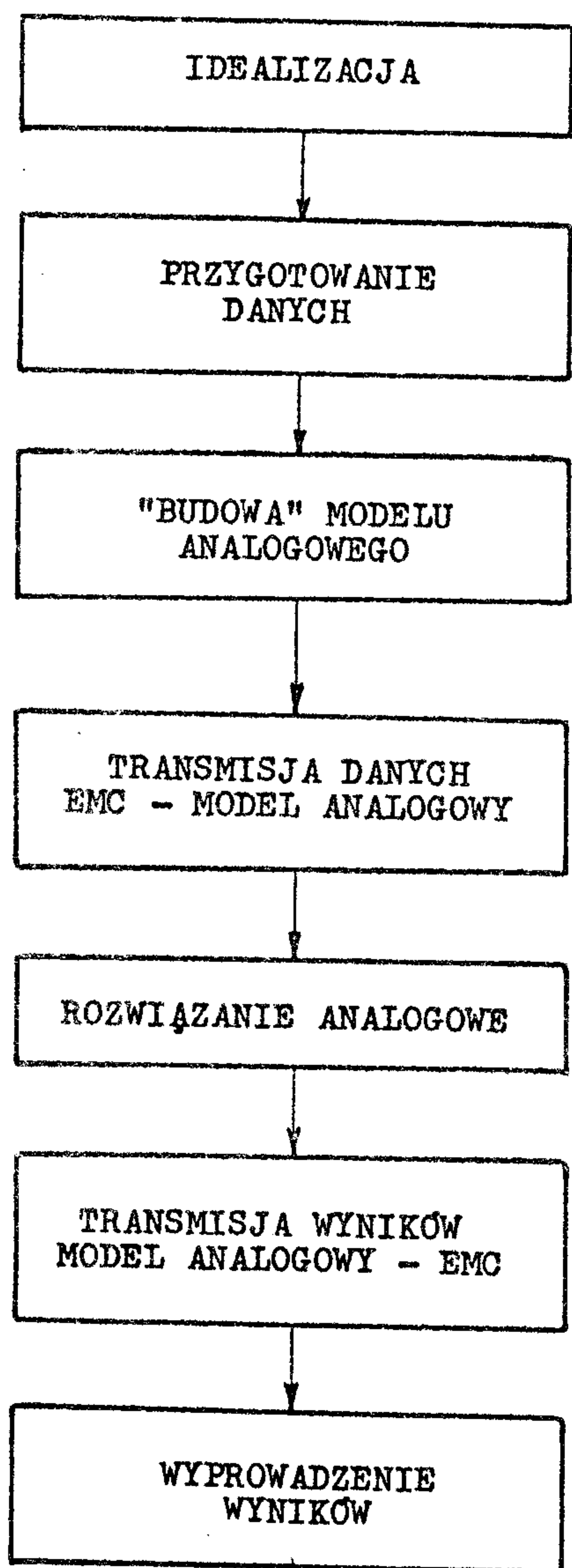
---

<sup>x/</sup> patrz bibliografia



stosowania, gdy używano jedynie najprostszych środków technicznych, takich, jak np. papier przewodzący. Właśnie metodą modelowania na papierze przewodzącym określono rozkłady temperatury w konstrukcji kadłuba zbiornikowca LNG systemu MOSS-ROSENBERG [5]. Ponieważ potrzeby stosowania metod modelowania zagadnień brzegowych rosły, odpowiednio do nowych zadań przemysłu okrętowego, rozbudowywano stopniowo bazę techniczną do modelowania analogowego, przez wprowadzenie kolejno: sieci oporowej S-900 [9], kalkulatora HP 9820A - do przygotowywania danych i obróbki wyników modelowania, następnie przez automatyzację pomiaru potencjałów w sieci i wreszcie - wprowadzenie systemu hybrydowego, w którym model analogowy stanowi podprogram do rozwiązywania równań typu Laplace'a lub Poissona. Równocześnie zbudowano i uruchomiono urządzenia do modelowania procesów nieustalonych w czasie rzeczywistym, tj. sieć RC-RIC.

## 2. ZASADY MODELOWANIA HYBRYDOWEGO



Rys. 2. Schemat procedury symulacji hybrydowej

Podstawy teoretyczne zastosowania elektrycznej analogii pola do badania zagadnień brzegowych były przedmiotem rozważań w licznych pracach [2], [3], [4], [15]. Były one również - stosownie do zakresu potrzeb - omawiane w opracowaniach wewnętrznych CTO. W niniejszej pracy przytoczone będą jedynie te informacje o podstawach techniki modelowania hybrydowego, które są niezbędne dla zachowania jasności i ciągłości tekstu.

Modelowanie analogowe i hybrydowe zagadnień brzegowych ma charakter modelowania matematycznego, gdyż opiera się na odwzorowaniu opisu matematycznego badanego zjawiska. Równocześnie jednak - ze względu na użytą technikę badań - modelowanie analogowe i hybrydowe ma cechy eksperymentu fizycznego.

Proces symulacji hybrydowej przedstawiono schematycznie na rys. 2. W procesie tym zachowany został charakter samego modelu i sposób jego budowy. Zautomatyzowane zostały natomiast czynności odwzorowania warunków brzegowych i warunków równowagi oraz odczytanie rozwiązania i jego wyprowadzenie w postaci dogodnej dla użytkownika. Równocześnie modyfikacji uległ sposób przygotowania danych.

### 2.1. IDEALIZACJA MODELOWANEGO OBIEKTU

Idealizacja oznacza tu przyjęcie założeń upraszczających, które umożliwiłyby rozpatrywanie badanego zjawiska /objektu/ jako procesu opisanego równaniem róż-

niczkiowym cząstkowym typu eliptycznego, w obszarze o kształcie możliwym do odwzorowania za pomocą systemu hybrydowego.

Tak więc idealizacja obejmuje:

1. uproszczenia praw fizycznych określających obiekt i jego więzi z otoczeniem,
2. uproszczenie kształtu /np. zastąpienie układów trójwymiarowych płaskimi/.

Przy ocenie błędów związanych z idealizacją wykorzystuje się ogólnie znane procedury, które stosuje się w metodach numerycznych. Ponieważ model analogowy ma charakter dyskretny, w wyniku idealizacji tworzy się sieć aproksymacyjną, tak dobraną, by wartości modelowanej funkcji w punktach węzłowych reprezentowały rzeczywisty rozkład tej funkcji, a odcinki międzywęzłowe przedstawiały dostatecznie dokładnie geometrię i własności fizyczne modelowanego obszaru. Pojemność analizatora ogranicza dyskretyzację do obszaru 20 x 30 węzłów. Sposób podziału sieci przedstawiono na przykładach /rozd. 3/.

## 2.2. PRZYGOTOWANIE DANYCH

Na zbiór danych, koniecznych do rozwiązania zagadnienia brzegowego metodą symulacji hybrydowej, składają się:

- informacje o geometrii obiektu,
- informacje o rozkładzie własności fizycznych obiektu,
- warunki brzegowe.

Geometrię obiektu określa tabela wymiarów sieci aproksymacyjnej. Własności fizyczne w przypadku ogólnym zawiera tabela, w której poszczególnym punktem /węzłom/ sieci przyporządkowano odpowiednie parametry obiektu. Warunki brzegowe przedstawia się w postaci dyskretnej - jako wartości w węzłach brzegowych sieci aproksymacyjnej. Powyższe dane przelicza się na parametry modelu analogowego, zgodnie z przyjętymi kryteriami podobieństwa.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymuje się:

- 2 macierze przewodności /kolumny i wiersze sieci oporowej/,
- macierz iniekcji, zawierającą warunki brzegowe i warunki równowagi węzłów wewnętrznych, wyrażone za pomocą potencjałów lub prądów.

Sposób obliczenia macierzy przewodności wynika z zasad podobieństwa modelu i obiektu. Modelowanie równania Laplace'a /Poissona/ na sieci oporowej oparte jest na metodzie różnic skończonych. Przybliżenie wartości funkcji  $F$  w punkcie  $i, j$  /rys. 3/ otrzymuje się z rozwinięcia w szereg Taylora:



$$F(x+h,y) = F(x,y) + h \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{1}{2!} h^2 \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \frac{1}{3!} h^3 \frac{\partial^3 F}{\partial x^3} + \dots \quad /2.1/$$

$$F(x-h,y) = F(x,y) - h \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{1}{2!} h^2 \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} - \frac{1}{3!} h^3 \frac{\partial^3 F}{\partial x^3} + \dots \quad /2.2/$$

Pomijając wyrazy zawierające krok  $h$  w potęgze 4 lub wyższej i dodając stronami równania /2.1/ i /2.2/ otrzymuje się:

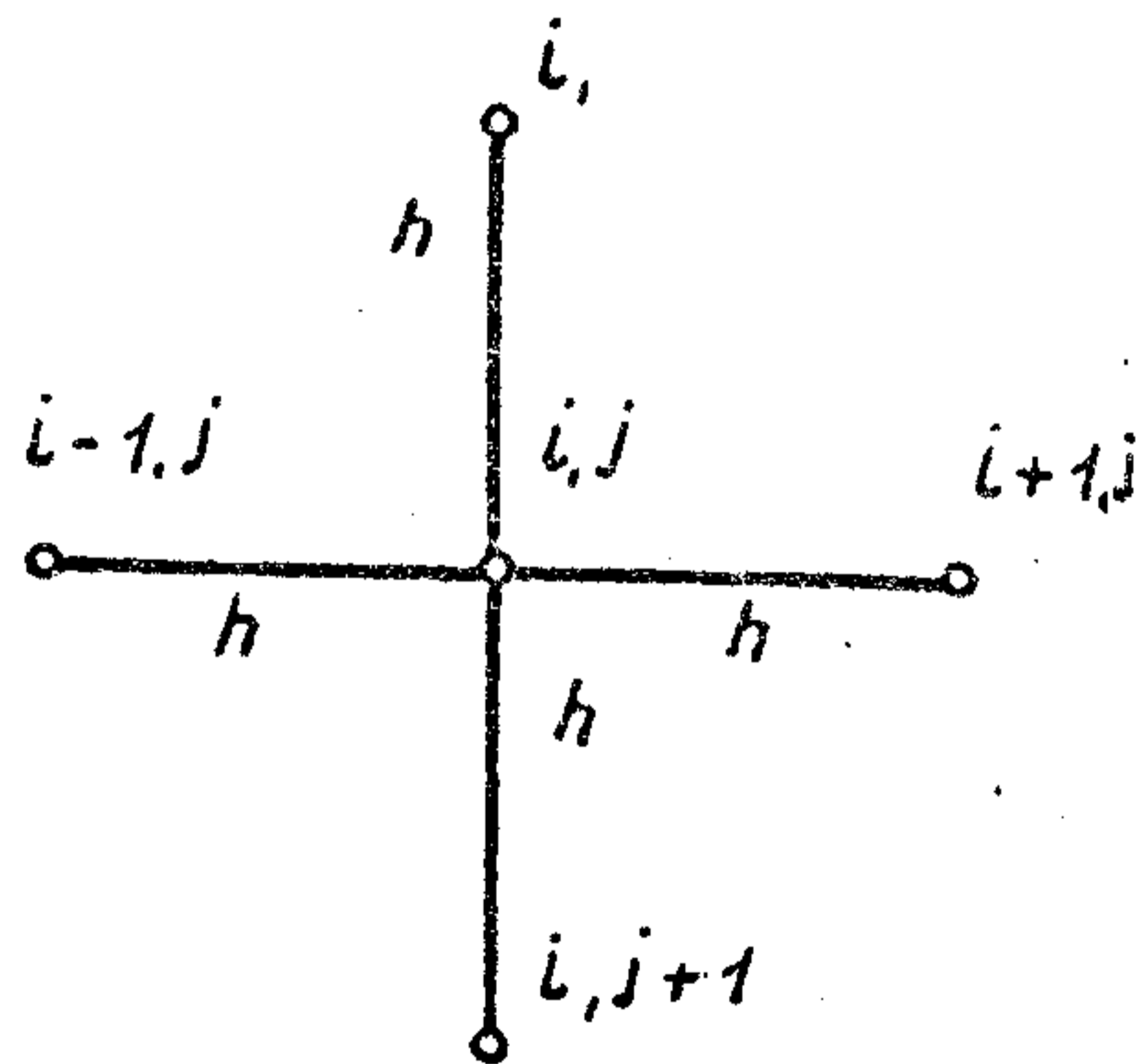
$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \approx \frac{F(x+h,y) - 2F(x,y) + F(x-h,y)}{h^2} \quad /2.3/$$

Analogicznie dla kierunku  $y$ :

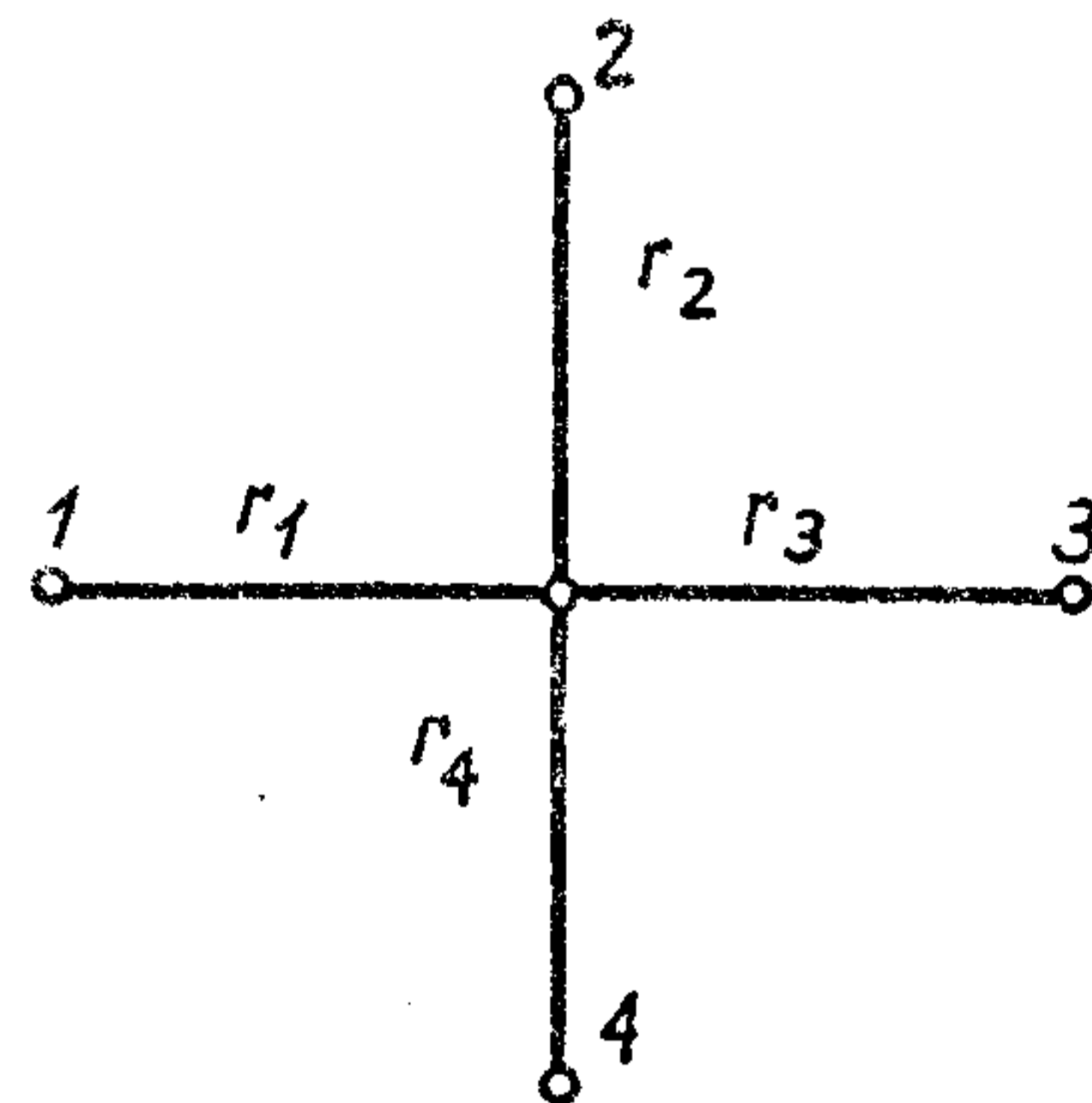
$$\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \approx \frac{F(x,y+h) - 2F(x,y) + F(x,y-h)}{h^2} \quad /2.4/$$

Należy rozpatrzyć sieć elektryczną o module przedstawionym na rys. 4. Zgodnie z prawem Kirchoffa:

$$\frac{u_1 - u_0}{r_1} + \frac{u_2 - u_0}{r_2} + \frac{u_3 - u_0}{r_3} + \frac{u_4 - u_0}{r_4} = 0 \quad /2.5/$$



Rys. 3. Węzeł sieci aproksymacyjnej



Rys. 4. Węzeł sieci oporowej

Dla dostatecznie małych wartości różnic potencjałów równanie /2.5/ przechodzi w postać różniczkową

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial y} \right) = 0 \quad /2.6/$$

a gdy opór nie jest funkcją współrzędnych:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0 \quad /2.7/$$

W przypadku zasilania węzłów prądami /rys. 5/

$$J = \frac{u - u_0}{R} \quad \text{przy } R \gg r$$

otrzymuje się w granicy równanie różniczkowe Poissona:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = J(x, y) \quad /2.8/$$

Z powyższych zależności wynika podobieństwo potencjału  $U$  i modelowanej funkcji  $F$ . Odwzorowanie płaskiego obszaru ciągłego, jednorodnego /rys. 6/ odbywa się przez dobór wartości oporów za pomocą następujących formuł [2], [4]:

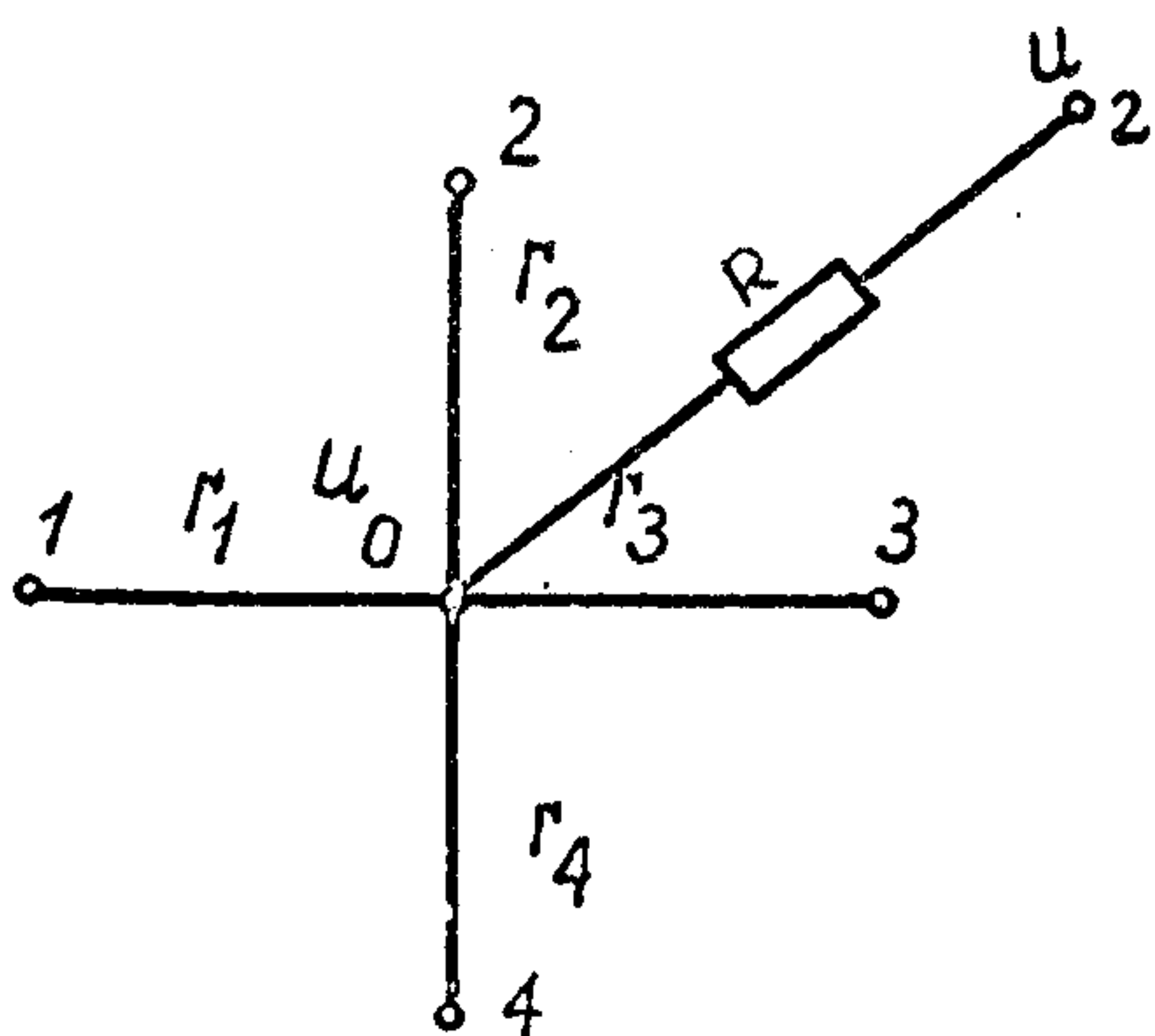
$$r_1 = \frac{2h_1}{h_2+h_4} \times r_0$$

$$r_2 = \frac{2h_2}{h_1+h_3} \times r_0$$

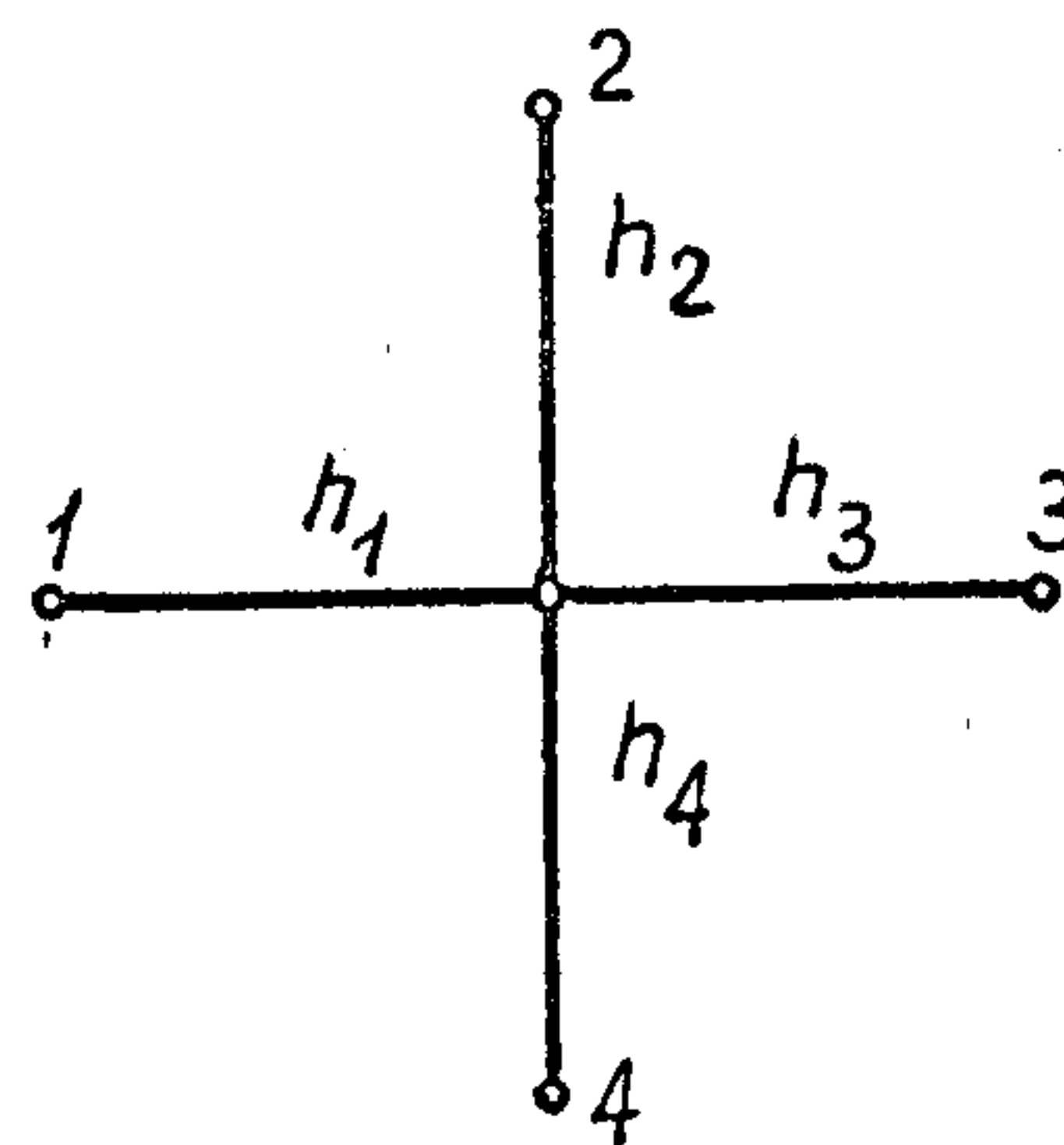
$$r_3 = \frac{2h_3}{h_2+h_4} \times r_0$$

$$r_4 = \frac{2h_4}{r_1+r_2} \times r_0$$

/2.9/



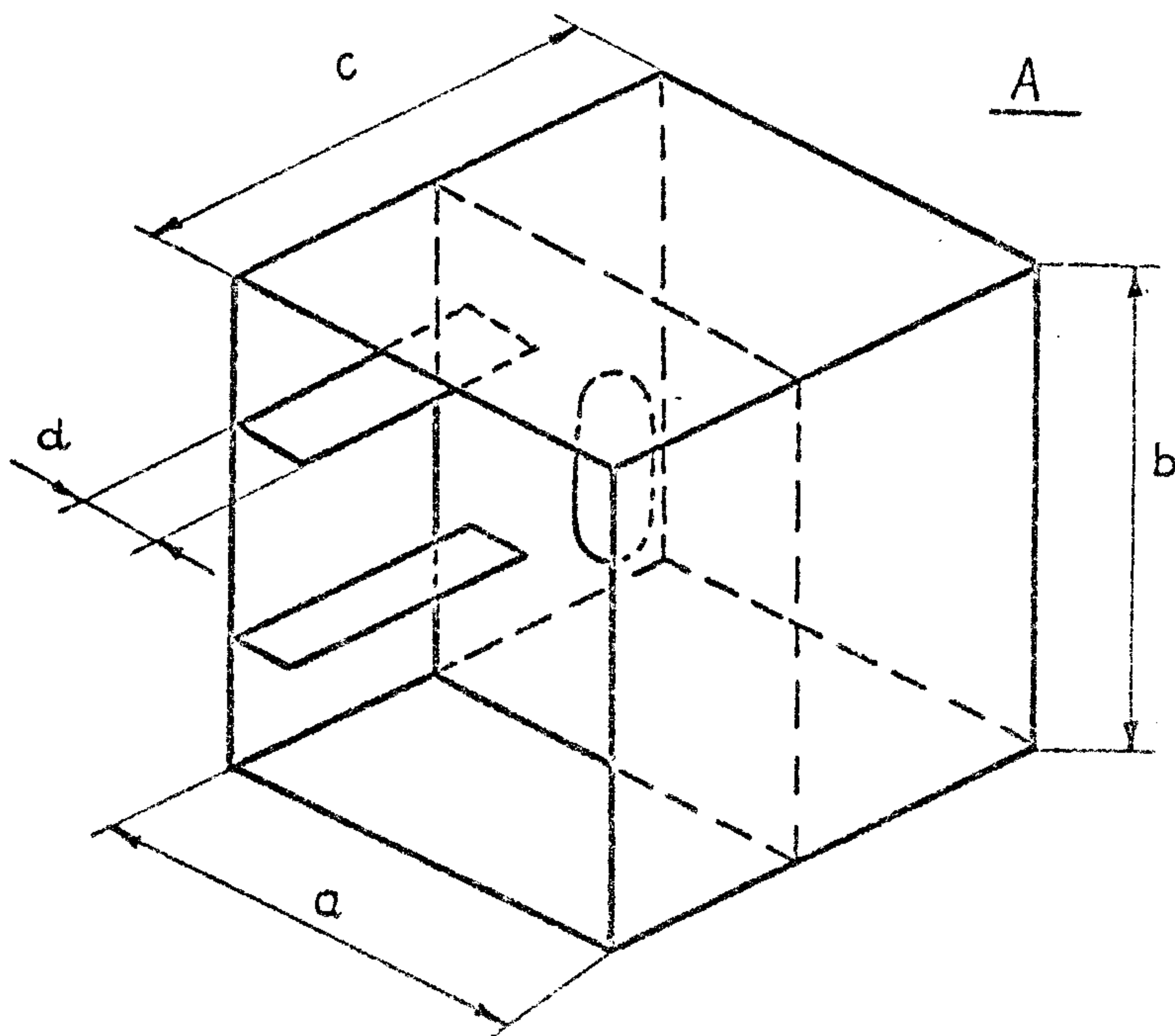
Rys. 5. Węzeł zasilany



Rys. 6. Schemat do obliczenia węzła niejednorodnej sieci oporowej

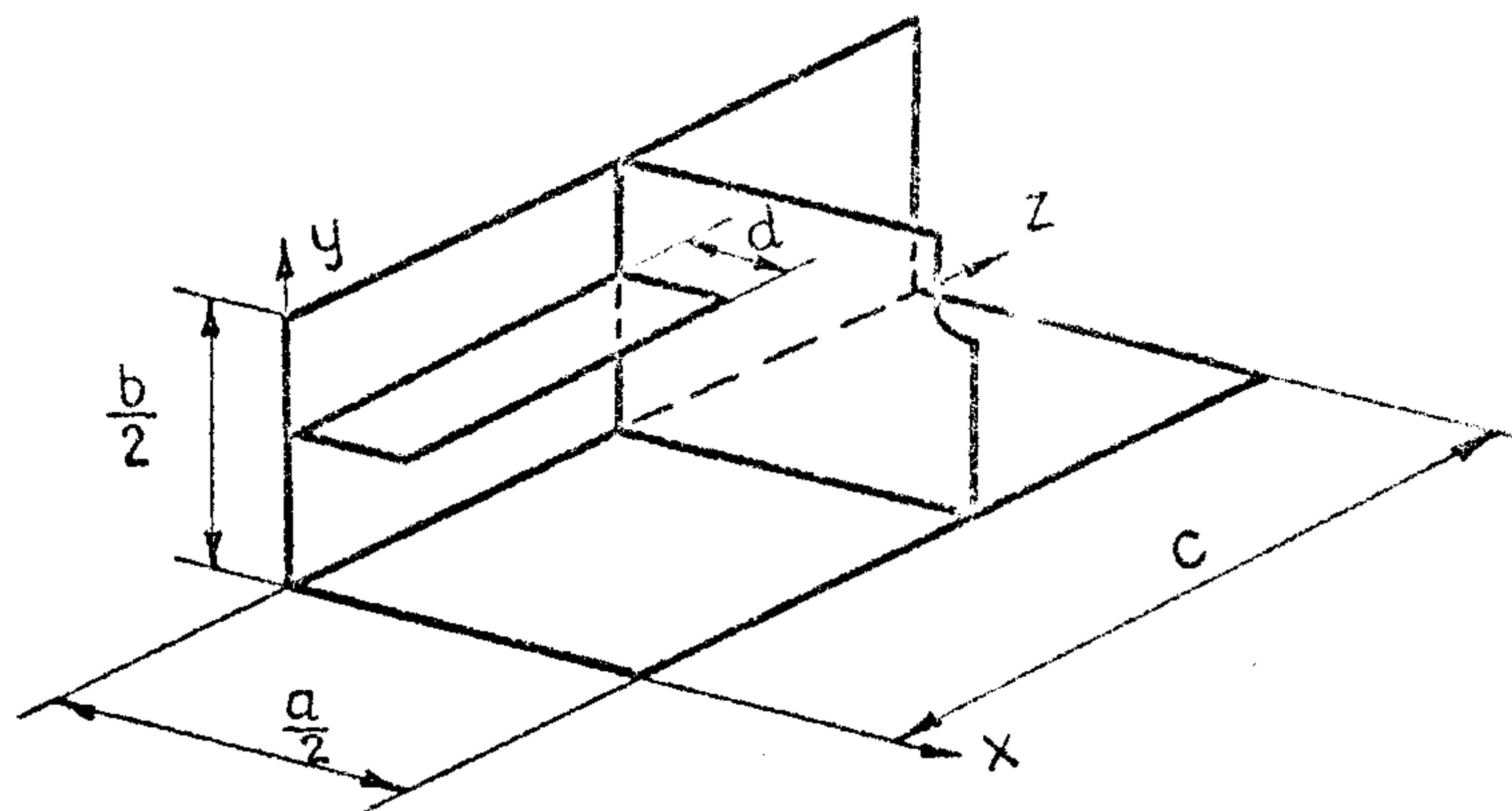
Do obliczania oporów brzegowych stosuje się szereg wzorów pomocniczych, dobieranych zależnie od kształtu brzegu. Zagadnienie to przedstawiono szerzej m.in. w [4], [11].

W powyższych formułach wielkość  $\gamma_0$  oznacza podziałkę modelową i uwzględnia fizyczny charakter modelowanego problemu. Szereg zagadnień mechaniki konstrukcji okrętu wymaga stosowania innych metod doboru wartości oporów, z uwagi na specyfikę przestrzenną konstrukcji okrętowych. I tak, do modelowania zagadnień wymiany ciepła w konstrukcji kadłuba opracowano metodę podziału na superelementy, tj. takie fragmenty konstrukcji, w obszarze których rozkład oporów cieplnych można ująć za pomocą stałych formuł /rys. 7/. Fragment konstrukcji przedstawiony na rys. 7 określa się jako superelement.



Rys. 7. Superelement konstrukcji kadłuba do analizy pól temperatury

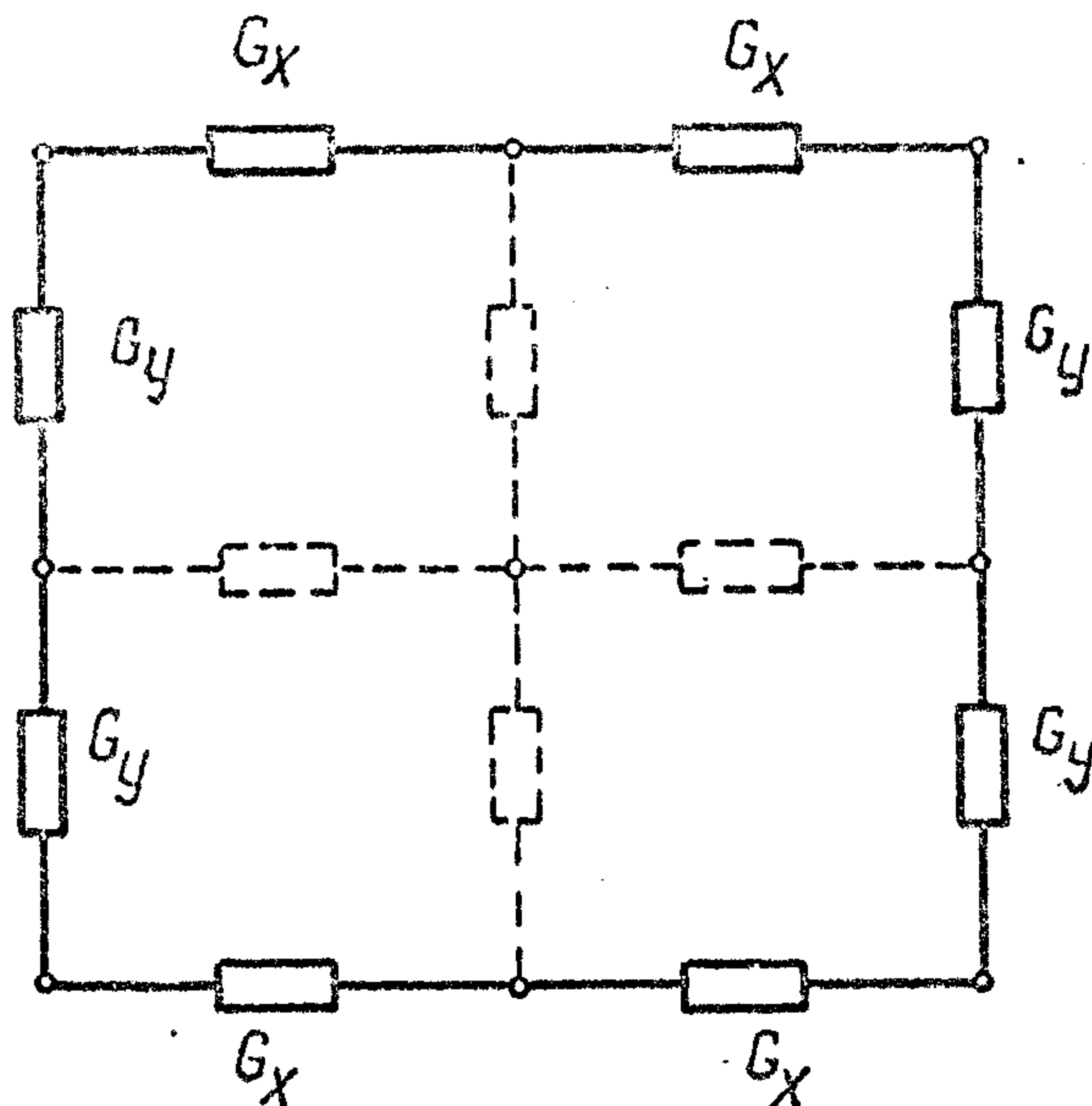
W celu obliczenia oporów cieplnych podzielono superelement  $A$  na cztery części /rys. 8/ i dla każdej z nich obliczono opory /pomijając otwór w płycie środkowej/.



Rys. 8. Komórka elementarna superelementu A



Dla uproszczenia przyjęto, że wszystkie płyty tworzące wycinek przedstawiony na rys. 7 mają jednakową grubość i jednakowy współczynnik przewodności cieplnej  $\lambda$ . Schemat sieci oporowej, odwzorowującej superelement pokazany na rys. 6, przedstawia rys. 9.



Rys. 9. Sieć oporowa odpowiadająca superelementowi A

/Linie przerywane oznaczają opory symulujące wpływ wymiany ciepła przez konwekcję/ ~~węzła~~ ~~oporu~~

Wycinkowi superelementu odpowiadają przewodności  $G_0$  i  $G_y$ :

$$G_x = \lambda \cdot g \left( \frac{2c}{a} + \frac{2b}{a} + \frac{c}{d} \right) G_0$$

$$G_y = \frac{\lambda g}{b} \left( 2c + \frac{a}{b} \right) G_0$$

Ponieważ superelement składa się z czterech identycznych wycinków, pozostałe przewodności mają wartości odpowiednio równe.

Łatwo zauważyć, że powyższe formuły wynikają z prawa Ohma. Wartości przewodności wyrażone w  $[\mu S]$  stanowią wyrazy macierzy przewodności.

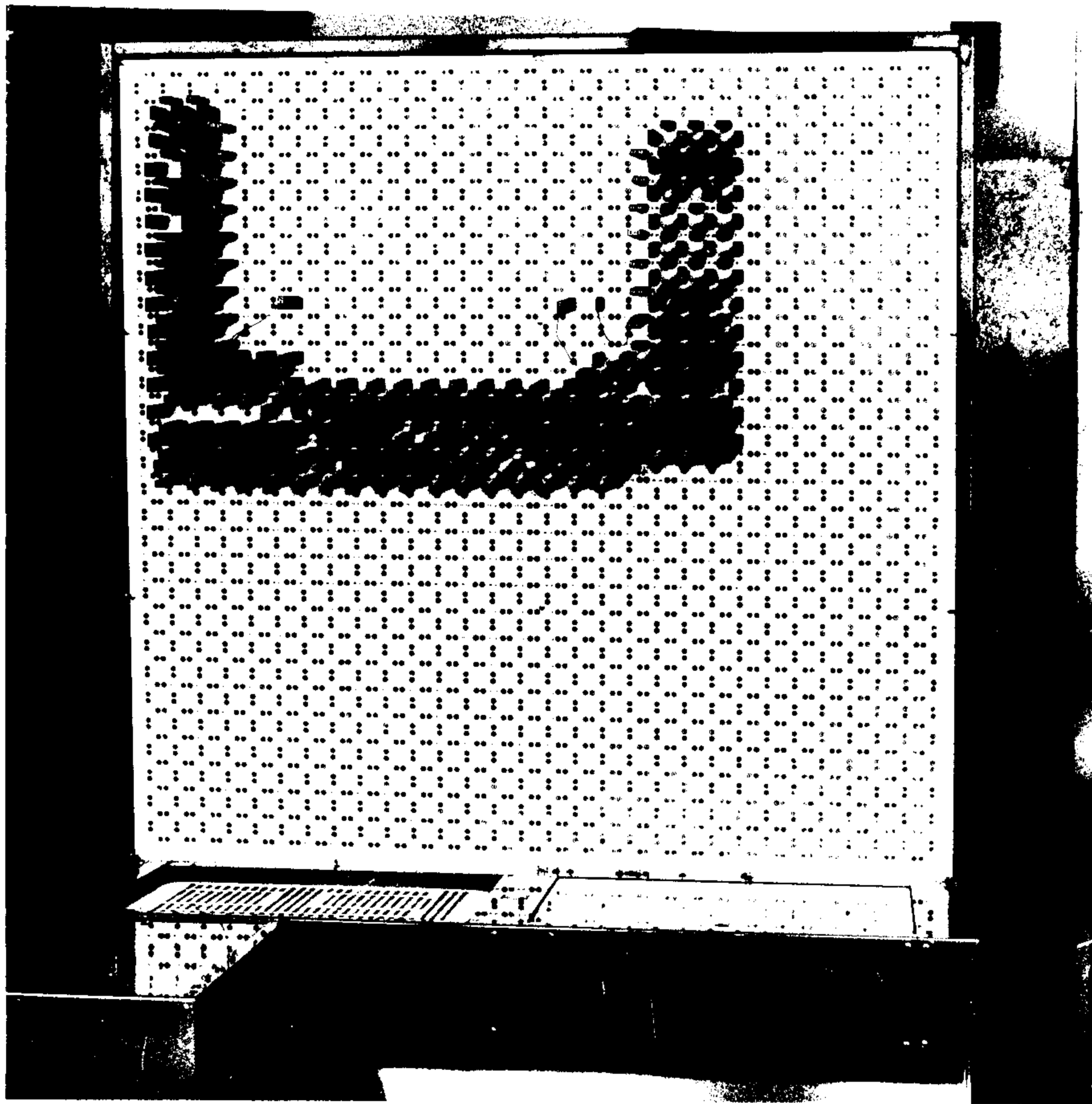
Z kolei przyjmuje się podziałkę modelową

$$k = \frac{F}{\Phi}$$

i zgodnie z tą podziałką określa się potencjały /prądy/ brzegowe oraz iniekcje do wnętrza obszaru.

11.3. WYKONANIE PRACY WYKONAWCZYCH

Prace wykonawcze wykonywane są w celu zapewnienia prawidłowego przebiegu procesu produkcyjnego, poprzez wyeliminowanie przyczyn powstania wadliwych produktów. W tym celu należy wykonać następujące prace: - wyeliminowanie przyczyn powstania wadliwych produktów, - wyeliminowanie przyczyn powstania wadliwych produktów, - wyeliminowanie przyczyn powstania wadliwych produktów.

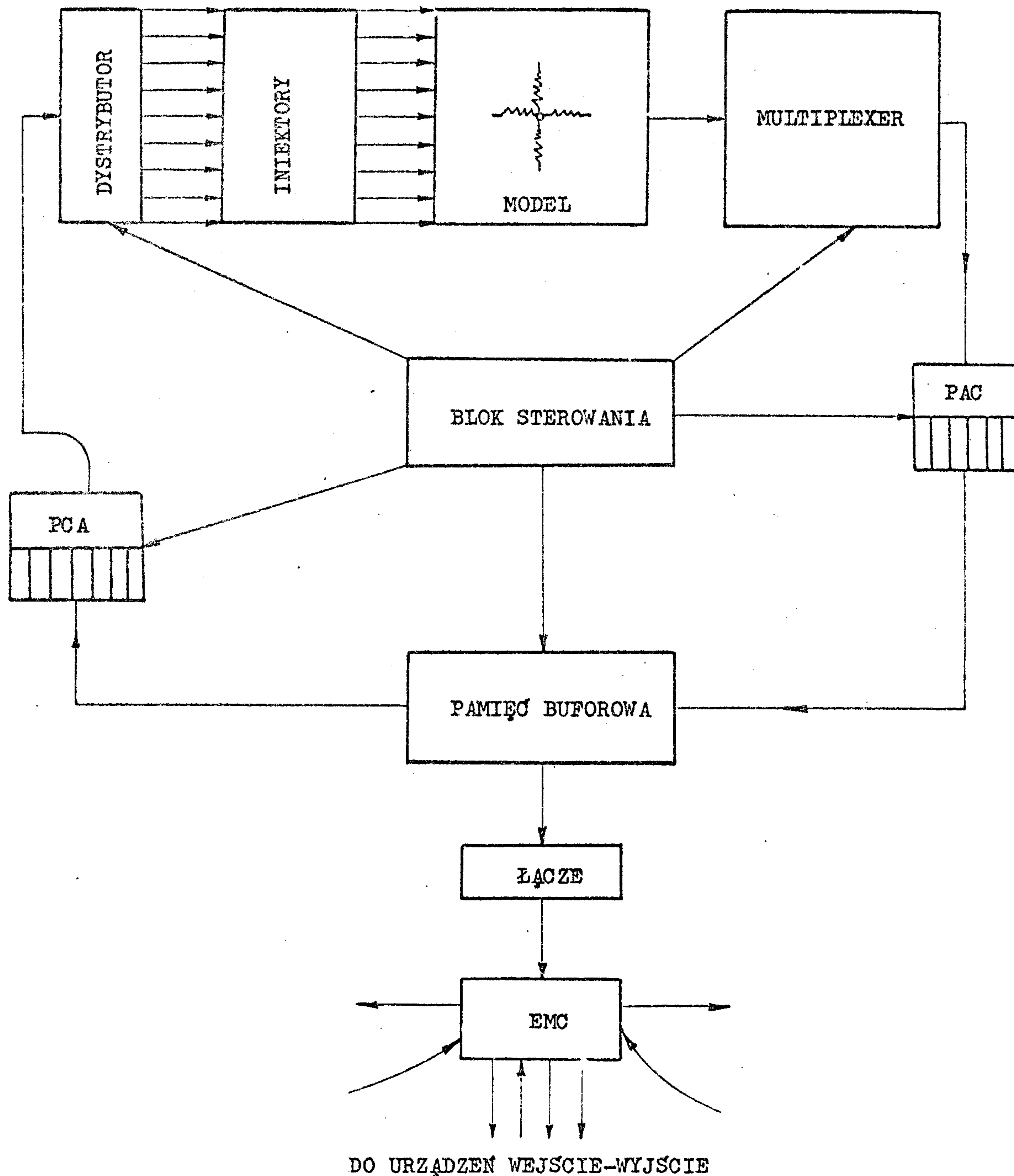


rys. 11.3.1. Wykonawczy zespół pracy w celu wyeliminowania przyczyn powstania wadliwych produktów

11.4. WYKONANIE PRACY WYKONAWCZYCH - WYKONANIE WYKONAWCZYCH

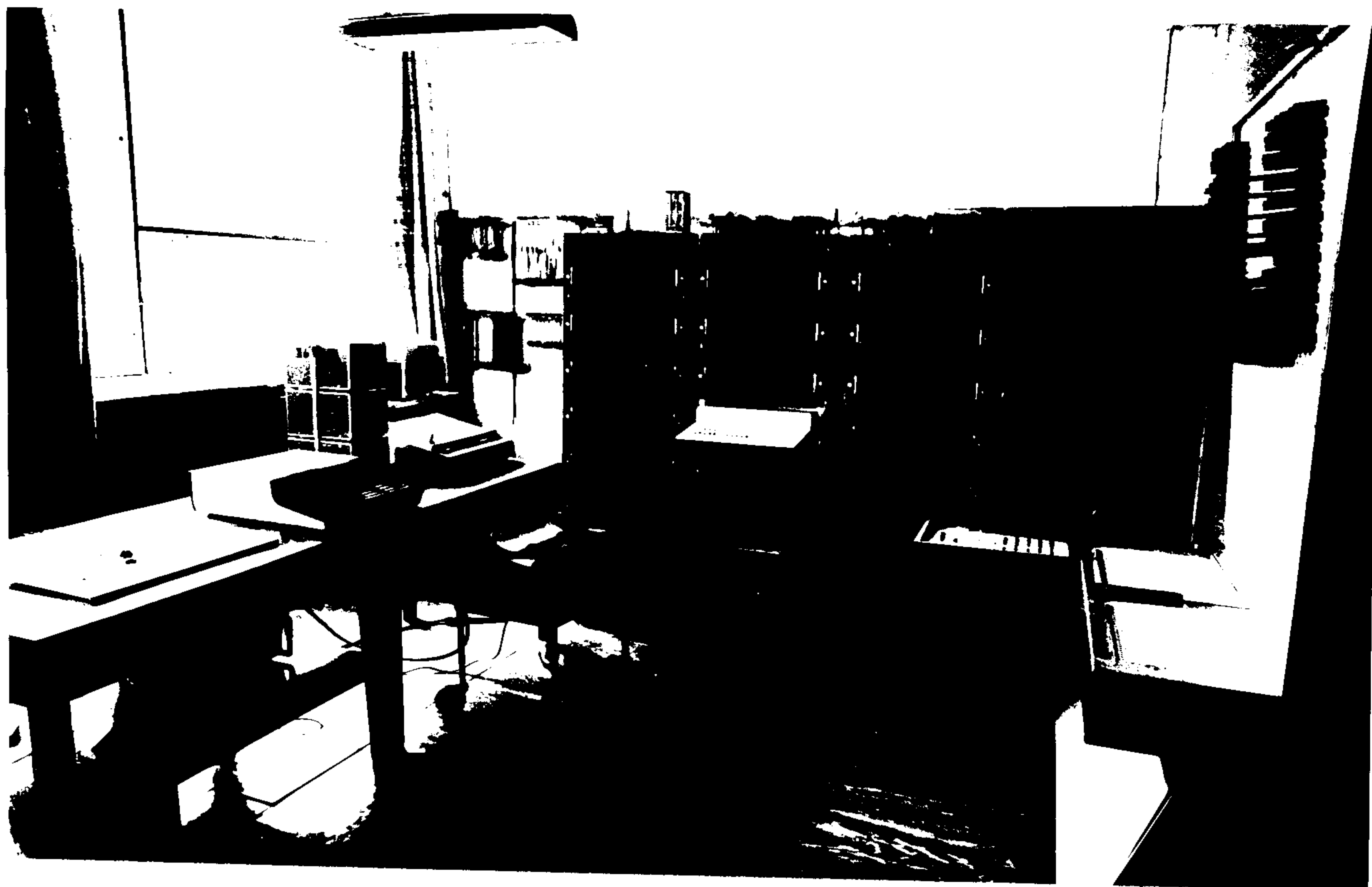
Wykonawcze prace polegają na wyeliminowaniu przyczyn powstania wadliwych produktów. W tym celu należy wykonać następujące prace: - wyeliminowanie przyczyn powstania wadliwych produktów, - wyeliminowanie przyczyn powstania wadliwych produktów, - wyeliminowanie przyczyn powstania wadliwych produktów.

wartości potencjałów lub prądów. Zakończenie zapisu /zapis w 600 węzle/ powoduje generację sygnału "odczyt", bowiem rozwiązanie następuje automatycznie, z chwilą zakończenia zapisu. Multiplexer "zbiera" kolejno potencjały z węzłów sieci i poprzez przetwornik analogowo-cyfrowy przesyła je do pamięci buforowej. Dalsze czynności następują zależnie od instrukcji zawartych w programie.



Rys. 11. Schemat blokowy analizatora





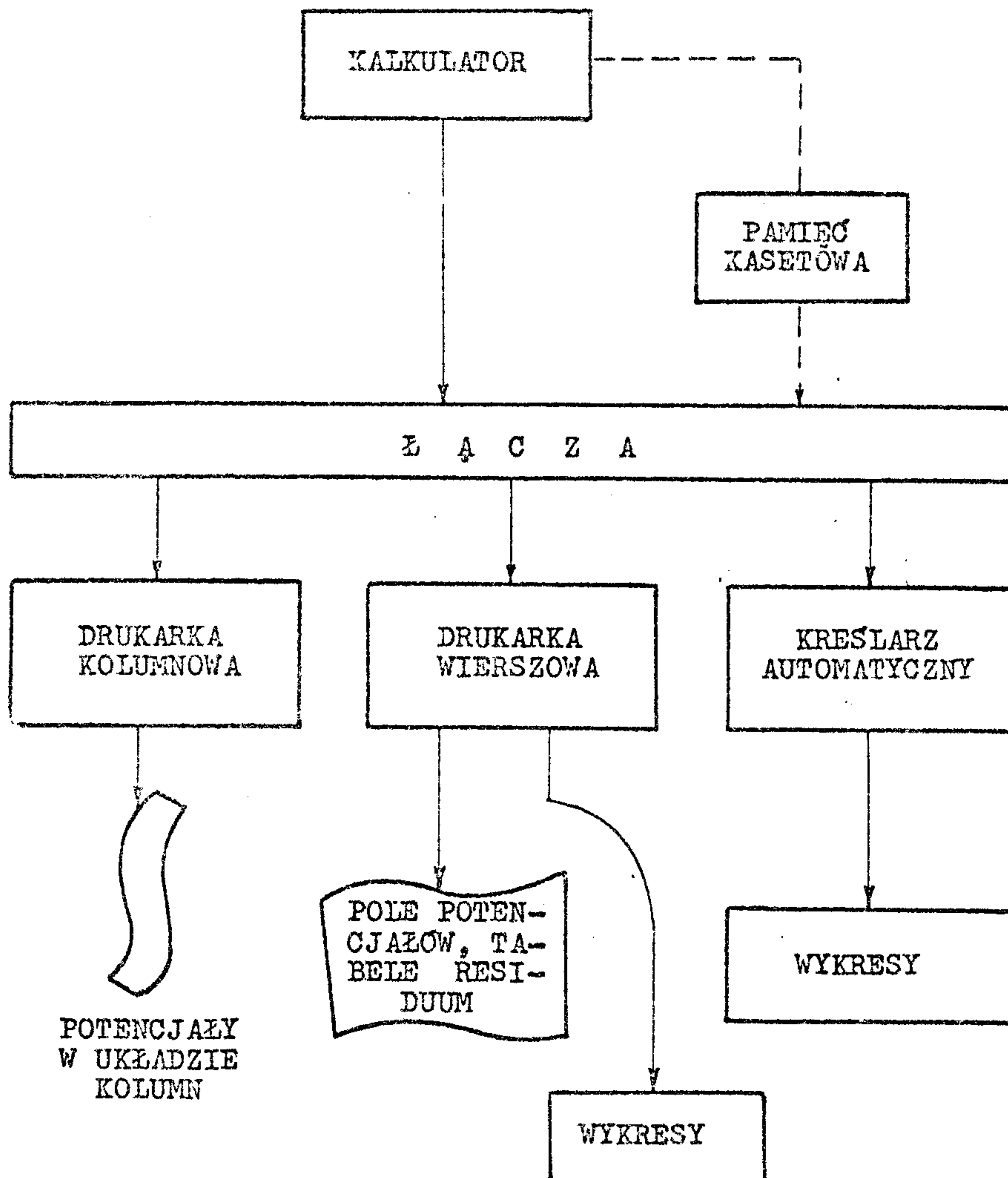
Rys. 12. Widok ogólny hybrydowego analizatora pola  
1 - sieć oporowa, 2 - szafy iniektorów i pulpit sterowania, 3 - kalkulator, 4 - urządzenia peryferyjne



Rys. 13. Kalkulator sterujący systemem wraz z urządzeniami peryferyjnymi

## 2.5. WYPROWADZENIE WYNIKÓW

Zestaw urządzeń peryferyjnych kalkulatora HP 9820A umożliwia wyprowadzenie wyników modelowania w różnych formach - zależnie od przeznaczenia. Na rys. 14 pokazano wszystkie warianty postaci rozwiązania.



Rys. 14. Formy wyników modelowania

Wydruk szeregowy stosuje się głównie do wyników pośrednich, ponieważ forma ta jest zbyt mało pogładowa. Podstawową - najczęściej stosowaną - formą wyprowadzenia wyników jest wydruk pola na pełnym formacie drukarki wierszowej. Taka postać wyników odwzorowuje kształt modelowanego obszaru, dzięki czemu jest ona najbardziej przejrzysta. Dotyczy to również wyprowadzenia wartości residuum.

Wykresy ilustrujące wybrane fragmenty pola stanowią informację dodatkową - zwykle wtórną - tj. wyprowadzaną po wstępnej ocenie rozkładu potencjałów na podstawie wydruku. Dla przedstawienia graficznego obrazu modelowanego pola najczęściej stosuje się linie ekwipotencjalne.

### 3. OPROGRAMOWANIE SYSTEMU HYBRYDOWEGO

Jak wyżej wspomniano, oprogramowanie systemu hybrydowego ma strukturę podobną do oprogramowania przeznaczonego do innych obliczeń.

Stosownie do przebiegu procesu modelowania, oprogramowanie podzielono na grupy, odpowiadające poszczególnym fazom prac, tzn.:

- programy do przygotowania danych,
- programy sterujące przebiegiem symulacji,
- programy do obróbki wyników,
- programy o specjalnym przeznaczeniu.

W fazie przygotowania danych oprogramowano:

- obliczenie oporów dla obszarów ciągłych - płaskich oraz opis tabeli przewodności;
- obliczenie i generację macierzy iniekcji.

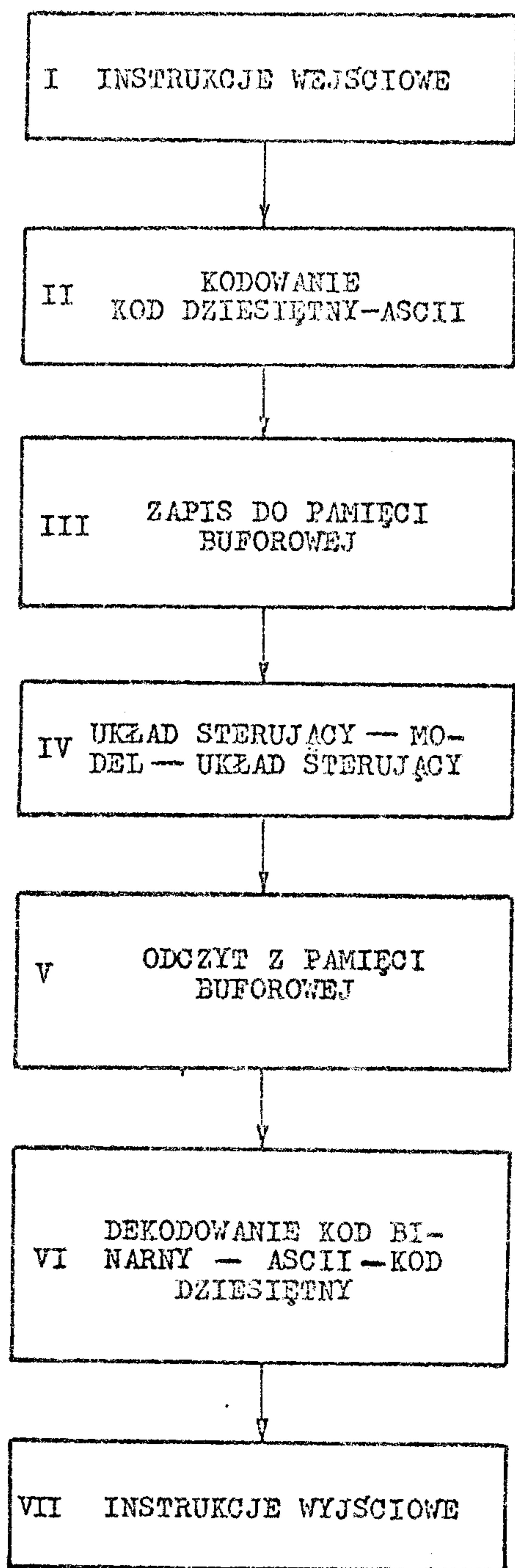
Programy te mają strukturę standardową, gdyż ich działanie nie ma bezpośredniego związku z obiegiem informacji w systemie hybrydowym.

Programy sterujące przebiegiem symulacji mają strukturę uwzględniającą różnice w kodach sygnałów, obowiązujących w układach kalkulatora i części sterującej analizatora. Kalkulator wysyła i przyjmuje sygnały w kodzie ASCII /słowa 8-bitowe/, zaś układ sterujący pracuje w kodzie binarnym słowem 16-bitowym. Dlatego programy realizujące rozwiązanie równania Laplace'a /Poissona/, zawierają bloki działań, ułożone jak na rys. 15. Grupy instrukcji I i II złożone są z typowych zdań, a ich układ zależy od użytych urządzeń peryferyjnych<sup>x/</sup>. Grupy II i VI realizują warunki ciągłości współpracy kalkulatora z układem sterującym analizatora. Opisy tych grup instrukcji zawarto w opracowaniu [14]. Zapis do pamięci buforowej, podobnie jak odczyt potencjałów z pamięci buforowej, realizowany jest instrukcją WRITE BYTE /READ BYTE/, powodującą przesłanie do urządzenia zewnętrznego /pobranie z urządzenia zewnętrznego/ liczby w postaci dwóch słów 8-bitowych. Etap IV programu realizowany jest automatycznie po zakończeniu instrukcji III, przy czym instrukcje mają postać układową /HARDWARE/.

---

<sup>x/</sup> Program rozwiązania zawiera instrukcje wyjściowe tylko w przypadku, gdy używa się drukarki kolumnowej.





Faza rozwiązania kończy się przesłaniem 600 wartości potencjałów do pamięci buforowej analizatora. O dalszych czynnościach, tj. pobraniu informacji z pamięci buforowej, transmisji do pamięci kasetowej i wyprowadzeniu wyników, decyduje wybór odpowiedniego programu. Programy realizujące obróbkę wyników pobierają informacje z pamięci kasetowej, ponieważ z zasady działania analizatora wynika konieczność zerowania pamięci buforowej po wysłaniu pełnego zestawu wartości potencjałów. Dlatego też pierwszą czynnością w fazie wyprowadzania wyników jest przesłanie macierzy potencjałów do pamięci kasetowej. Ze względu na niewielką pojemność pamięci operacyjnej kalkulatora, każdą postać wyprowadzenia wyników i każdą formę obróbki steruje inny program. Oczywiście właściwe ustalenie kolejności programów w pamięci kasetowej umożliwia zmniejszenie strat czasu, wynikających z konieczności stosowania wielu programów. Podstawową operację obróbki wyników stanowi obliczenie residuów, pozwalające na ocenę dokładności rozwiązania oraz umożliwiające realizację procedur iteracyjnych.

Programy specjalnego przeznaczenia tworzone są, w miarę potrzeb, dla realizacji konkretnych zagadnień. Do tej grupy zalicza się także programy sterujące transmisją informacji z urządzenia zewnętrznego do systemu hybrydowego. Programy te umożliwiają wprowadzenie do modelu hybrydowego

Rys. 15. Schemat podstawowego bloku oprogramowania hybrydowego analizatora pola

informacji pochodzących z badań na obiektach rzeczywistych lub modelach fizycznych. Opisy tych programów zawarto w opracowaniu [14]. Tabela 1 zawiera wykaz programów wraz z ich symbolami oraz podstawowe informacje o przeznaczeniu tych programów.