

INSTYTUT BUDOWNICTWA
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
Raport serii / / 81.

OPTYMALIZACJA WYBRANEGO
TYPU KONSTRUKCJI RAMOWYCH Z WY-
KORZYSTANIEM METODY SIECIOWEJ.

Andrzej Janczura

P R A C A D O K T O R S K A

Promotor:

Doc.dr hab.inż. Jeremi Sieczkowski

Słowa kluczowe:

konstrukcje ramowe, metoda sieci,
optymalizacja.

WROCŁAW 1981

Mgr inż. Andrzej Janczura
Instytut Budownictwa
Politechniki Wrocławskiej
Pl. Grunwaldzki 13,
budynek C-7, pok. 802, tel: 20-36-54

Raport wpłynął do Redakcji Wydawnictw Naukowych
i Dydaktycznych Instytutu Budownictwa dnia

1. WPROWADZENIE	5
1.1. Przedmiot i zakres pracy	5
1.2. Wykaz ważniejszych oznaczeń stosowanych w pracy...	9
2. PRZEGLĄD WYBRANEJ LITERATURY ZWIĄZANEJ Z TEMATEM PRACY.	11
3. SFORMUŁOWANIE CELU PRACY. TEZY PRACY.....	15
4. ANALIZA STATYCZNA RAM Z WYKORZYSTANIEM METODY SIECIOWEJ	17
4.1. Podstawowe równania sieciowe ram	17
4.2. Sieciowe równania analizy statycznej ram przestrzen- nych	20
4.3. Sieciowa analiza ram płaskich	27
4.4. Uwagi	31
5. ZAGADNIENIE OPTYMALIZACJI RAM STAŁOWYCH	32
5.1. Ogólne sformułowanie zadania optymalizacji ram....	32
5.2. Model matematyczny optymalizacji ram poddanych działaniu wielu układów obciążeń	35
5.2.1. Określenie zmiennych decyzyjnych i parametrów ..	35
5.2.2. Układy obciążeń działających na konstrukcję ramy	42
5.2.3. Określenie funkcji celu	44
5.2.4. Obszar rozwiązań dopuszczalnych	46
5.2.5. Sformułowanie zadania optymalizacji ram poddanych działaniu wielu układów obciążeń	55
5.3. Uwagi	57
6. NUMERYCZNE METODY ROZWIĄZANIA SFORMUŁOWANEGO ZADANIA OPTYMALIZACJI	58
6.1. Uzasadnienie wyboru techniki programowania nieli- niowego	58
6.2. Symulacyjna metoda błędzenia	61
6.3. Przykłady testowe modyfikacji metody błędzenia....	65
6.4. Metoda zewnętrznej funkcji kary	71
6.5. Uwagi	75
7. SYSTEM OPTYMALIZACYJNY RAM STAŁOWYCH	76
7.1. Uwagi o Systemach Projektowania Ram	76
7.2. System Optymalizacji RAM-ANNA1.	79

	str.
8. PRZYKŁADY OBLICZEŃ	83
8.1. Przykłady optymalizacji wybranych ram	83
8.2. Uwagi	90
9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI OGÓLNE	93
9.1. Podsumowanie	93
9.2. Wnioski Ogólne	96
WYKAZ LITERATURY	98

1. WPROWADZENIE.

1.1. Przedmiot i zakres pracy.

W ostatnich latach nastąpił bardzo szybki wzrost liczby zastosowań elektronicznych maszyn cyfrowych /EMC/ w obliczeniach inżynierskich. Spowodowane to jest rosnącym zapotrzebowaniem na prace projektowe jak również coraz bardziej złożonymi i zintegrowanymi zadaniami stawianymi przed projektantem wraz z wymaganiami dotyczącymi skrócenia cyklu prac projektowych i wdrożeniowych.

W procesie projektowania musi być podjętych szereg decyzji od których zależy jakość projektowanej konstrukcji. Można je podzielić na decyzje o charakterze generalnym /np. wybór układu konstrukcyjnego, materiału, technologii itp./ oraz decyzje szczegółowe /dotyczące np. kształtów elementów konstrukcji, parametrów geometrycznych przekrojów prętów itp./. Już dla stosunkowo niewielkich układów konstrukcyjnych wymienione decyzje prowadzą do skomplikowanych i bardzo czasochłonnych obliczeń. Dlatego też w miarę postępu w opanowywaniu technik programowania na EMC, nastąpiła automatyzacja procesu projektowania konstrukcji budowlanych.

Najczęściej zagadnienie automatyzacji projektowania dotyczy techniki projektowania CAD /Computer Aided Design/ wspomaganej przez komputer. Pozwala ona na zastąpienie przez EMC najbardziej zrutynizowanej pracy ludzkiej, pozostawiając projektantowi pracę twórczą umożliwiającą mu ingerencję w przebiegu obliczeń komputerowych.

Bardzo ważne z punktu widzenia użyteczności systemu automatyzującego projektowanie jest wprowadzenie takich pojęć i technik postępowania, które umożliwiłyby prostą formalizację matematyczną procesu oraz łatwe zaprogramowanie.

Najbardziej efektywną formą automatyzacji projektowania konstrukcji są systemy projektowania optymalnego. Różnią się one od tradycyjnych systemów projektowania przede wszystkim tym, że następuje w nich oprócz analizy statycznej i wytrzymałościowej, optymalizacja która prowadzi do syntezy konstrukcji. W tradycyjnych systemach projektowania, w przypadku nie

spełnienia odpowiednich warunków wytrzymałościowych, następuje nowy dobór elementów konstrukcyjnych lub ich charakterystyk geometrycznych, przy czym zwykle już po kilku iteracjach otrzymuje się rozwiązanie. W systemach tych nie ma jakościowej oceny konstrukcji, dlatego też ma się w nich do czynienia tylko z analizą konstrukcji, nie zaś z jej syntezą.

Porównując projektowanie optymalne z projektowaniem tradycyjnym konstrukcji należy podkreślić, że istnieje cały szereg zagadnień projektowych w których konieczna jest optymalizacja. Należą do nich m.in.:

- projektowanie konstrukcji wielokrotnie powtarzalnych, gdzie wieloseryjność wpływa w istotny sposób na efektywność rozwiązań,
- projektowanie konstrukcji o dużej liczbie czynników kształtujących oraz wymogów eksploatacyjnych, technologicznych i normatywnych.

Podstawą funkcjonowania systemu projektowania optymalnego /zwany dalej systemem optymalizacyjnym/ jest, odpowiednio zdefiniowany, model matematyczny³⁶ optymalizacji. Podstawowymi elementami tego modelu są zmienne decyzyjne - prezentujące określone wielkości konstrukcyjne, obszar rozwiązań dopuszczalnych - określony przez ograniczenia funkcyjne zmiennych decyzyjnych, oraz funkcja celu która opisuje daną własność konstrukcji i względem której przebiega optymalizacja. Składniki modelu matematycznego stanowią o praktycznej przydatności systemu projektowania optymalnego konstrukcji. Należy przy tym zauważyć, że w systemie optymalizacyjnym konstrukcji prętowych bardzo ważny jest dobór metody statycznej analizy konstrukcji jak i sposobu rozwiązywania równań liniowych. Wynika to z faktu, że w czasie optymalizacji setki razy dokonuje się odwracania globalnej macierzy sztywności, co następuje po każdej zmianie zmiennych decyzyjnych. Inym nie mniej ważnym elementem stanowiącym o efektywności systemu optymalizującego, jest odpowied-

³⁶ Przez model matematyczny procesu projektowania rozumie się zbiór reguł i wymagań projektowanej konstrukcji zapisanych w postaci matematycznych symboli i wyrażeń algebraicznych.

ni dobór metod programowania matematycznego.

Reasumując, należy stwierdzić, że Systemy Projektowania Optymalnego są najbardziej adekwatnymi sposobami automatyzacji procesu projektowania konstrukcji budowlanych.

Na temat optymalizacji konstrukcji ramowych istnieje bardzo obszerna literatura, z której reprezentacyjne pozycje omówiono w rozdziale 2 niniejszej pracy. Tym niemniej istnieje ciągle zapotrzebowanie na Systemy Optymalizacyjne i odpowiednie modele matematyczne, szczególnie w odniesieniu do praktycznych zastosowań.

Przedmiotem niniejszej pracy jest optymalizacja wybranego typu stalowych konstrukcji ramowych poddanych działaniu wielu układów obciążeń. Przedstawiono w niej pewien model matematyczny optymalizacji, który z uwagi na sposób sformułowania, może być wykorzystywany w zastosowaniach praktycznych.

Praca składa się z dwóch części. W pierwszej, po wprowadzeniu, przedstawiono aktualny stan wiedzy związany z tematem pracy, a następnie sformułowano cel i tezy pracy /rozdziały 1,2,3/. Następnie, w rozdziale 4, omówiono zastosowanie techniki sieciowej do statycznej analizy ram płaskich i przestrzennych. Uczyniono przy tym uogólnienia w metodzie sieciowej, które pozwalają na jednolite podejście do analizy statycznej wszystkich konstrukcji prętowych.

W rozdziale 5 sformułowano zadanie optymalizacji ram poddanych działaniu wielu układów obciążeń oraz opisano model matematyczny optymalizacji. Kolejne rozdziały 6i7, dotyczą odpowiednio metod programowania nieliniowego, przyjętych do rozwiązania zadania optymalizacji, oraz zbudowanego Systemu Optymalizacyjnego ram. Odnośnie do wybranej metody błędzenia, należy zaznaczyć, że po modyfikacji zwiększono efektywność tej metody, co pokazano na przykładach. Pracę kończą przykłady optymalizacji wybranych typów ram, których celem jest przedstawienie niektórych z możliwości działania systemu optymalizacyjnego.

W części drugiej pracy, którą jest załącznik, przedstawiono podstawowe pojęcia teorii grafów, postacię macierzy transformacji i lokalnej sztywności, sposób przygotowania danych do Systemu Optymalizacyjnego oraz wydruki przykładów obliczeń.

Aktualnie opracowany przez autora system projektowania optymalnego, w wersji dla ram płaskich, jest wykorzystywany w Biurze Projektów Przemysłu Metali Nieżelaznych "BIPROMET" w Katowicach.

1.2. Wykaz ważniejszych oznaczeń stosowanych w pracy:

- T - podstawowa macierz incydencji,
- C - macierz cykli bazowych,
- H - globalna macierz incydencji,
- \bar{F}^L, \bar{F}^G - wektory sił wewnętrznych w prętach konstrukcji dla lokalnego i globalnego układu współrzędnych,
- \bar{U}^L, \bar{U}^G - wektory przemieszczeń końców prętów w lokalnym, i globalnym układzie współrzędnych,
- \bar{F}^W, \bar{F}^{LPT} - wektory obciążeń zewnętrznych konstrukcji działających odpowiednio na węzły i pręty,
- R_i - macierz transformacji dla prętów z lokalnego do globalnego układu współrzędnych,
- K^L, K^G - macierze sztywności w lokalnym i globalnym układzie współrzędnych,
- K - globalna macierz sztywności,
- \bar{V} - wektor pomieszczeń węzłów,
- M, LP - liczba prętów,
- N, LW - liczba węzłów,
- S - stopień swobody węzła,
- L_{WP}, L_{WWWP} - liczba więzi podporowych,
- H^T - transpozycja macierzy H,
- $[, \dots,]^T$ - składowe wektorów,
- diag [a, ..., a_N] - macierz diagonalna o elementach liczbowych na głównej przekątnej,
- diag [D₁, ..., D_N] - macierz diagonalna o elementach macierzowych na głównej przekątnej,
- Ψ - wektor obrotów cięciw prętów,
- LSK - stopień swobody mechanizmu płaskiej ramy,
- dimR - wymiar macierzy R,
- B - macierz permutacji,
- rzR - rząd macierzy R,
- E - moduł sprężystości podłużnej,
- G - moduł sprężystości poprzecznej,
- I_d - współczynnik skręcania Saint-Venanta,
- I_y - moment bezwładności przekroju względem osi Y-Y, lokalnego układu współrzędnych,
- I_z - moment bezwładności przekroju względem osi Z lokalnego układu współrzędnych,

- I_W - wycinkowy moment bezwładności przekroju,
- w - powierzchnia wycinkowa,
- B_W - bimoment,
- M_Y - moment zginający względem osi Y,
- M_Z - moment zginający względem osi Z,
- M_S - moment skręcający Saint-Venanta,
- M_W - moment giętno-skrętny,
- S_Y - moment statyczny przekroju względem osi Y,
- S_Z - moment statyczny przekroju względem osi Z,
- S_W - wycinkowy moment statyczny przekroju,
- $P=F_1$ - siła podłużna,
- F_Y - siła poprzeczna wzdłuż osi Y,
- F_Z - siła poprzeczna wzdłuż osi Z,
- A - pole przekroju poprzecznego,
- V_{xj} - przemieszczenie węzła j w kierunku x globalnego układu współrzędnych,
- θ_{xj} - kąt obrotu węzła j wokół osi x,
- d_z, d_y - szerokość przekroju pręta na wysokości odpowiednio z i y,
- R_x - ramię asymetrii przekroju,
- y_s - odległość środka ścinania od środka ciężkości,
- $I_o = I_x + I_y$ - biegunowy moment bezwładności względem środka ciężkości,
- $I_{os} = I_o + A \cdot (Y_S)^2$ - biegunowy moment bezwładności względem środka ciężkości,
- λ_z - smukłość przekroju pręta w płaszczyźnie z,
- λ_y - smukłość przekroju pręta w płaszczyźnie Y,
- a_z - współczynnik długości wyboczeniowej w płaszczyźnie Z,
- a_y - współczynnik długości wyboczeniowej w płaszczyźnie Y,
- a_s - współczynnik spaczenia,
- P_W - wagnerowska siła krytyczna wyboczenia czystoskrętnego,
- P_Y - eulerowska siła krytyczna wyboczenia giętnego w płaszczyźnie Y,
- i_y - promień bezwładności w płaszczyźnie Y,
- i_z - promień bezwładności w płaszczyźnie Z,

2. PRZEGLĄD WYBRANEJ LITERATURY ZWIĄZANEJ Z TEMATEM PRACY.

Niniejsza praca zatytułowana "Optymalizacja wybranego typu konstrukcji ramowych z wykorzystaniem metody sieciowej", dotyczy w szczególności zagadnienia optymalizacji ram stalowych poddanych działaniu wielu układów obciążeń ze zwróceniem uwagi na zastosowania praktyczne.

Problem optymalizacji konstrukcji prętowych z uwzględnieniem wielu układów obciążeń poruszany był w szeregu pracach różnych autorów.

W pracy [63] Mayeda R. i Prager W. dyskutują problem minimalizacji belek zezmieniającymi się w sposób ciągły przekrojami poprzecznymi, przenoszącymi jeden lub N -układów obciążeń. Założono, że ciężar jednostkowy jest proporcjonalny do momentu plastycznego, a zadanie rozwiązano metodami rachunku wariacyjnego. Wykorzystanie mnożników Lagrange'a w zadaniu optymalizacji belek z uwzględnieniem wielu układów obciążeń podał między innymi Martin J.B., w pracy [46]. Autor rozwiązuje zadanie w zakresie sprężystym oraz wyprowadza, z zasady prac wirtualnych, warunki konieczne i dostateczne istnienia optimum globalnego dla wypukłej funkcji kosztu.

Problem znalezienia minimum ciężaru belki sandwiczowej z kawałkami stałymi sztywnościami zginania, rozważa w pracy [61] Chern J.M. i Prager W. Autorzy podali konieczne i dostateczne warunki na istnienie globalnego optimum stosując do rozwiązania podejście analityczne.

Podstawy do rozważań optymalizacji kratownic poddanych działaniu N , układom obciążeń przedstawił m.in. Wasiutyński Z. [89]. Metodami analitycznymi w pracy tej wykazano m.in., że w procesie optymalizacji dla wielu układów obciążeń kratownica statycznie wyznaczalna "przechodzi" w statycznie niewyznaczalną.

Do pracy tej nawiązuje Niemierko A. [48], który stosując metody programowania matematycznego rozwiązuje zadanie optymalizacji kratownic dla N -układów obciążeń. Z uwagi na sformułowanie problemu, rozwiązania poszukuje się na hiperpowierzchni zbioru ograniczeń, przy czym za zmienne decyzyjne przyjęto pola przekrojów prętów, a funkcją celu jest ciężar konstrukcji.

Problem optymalizacji kratownic z uwzględnieniem wielu układów obciążeń rozpatrują również Nagtegaal J.C., Prager W. [47, 59]. W pracach tych rozważono minimalizację ciężaru kratownicy w zakresie pozasprężystym dla dwóch układów obciążeń. Wykazano, że konstrukcję optymalną można otrzymać przez superpozycję optymalnych rozwiązań dla sumy i różnicy rozpatrywanych alternatywnych układów obciążeń. W pracy [62] Chern J.M. i Prager W. znajdują minimalny ciężar statycznie wyznaczalnej kratownicy również dla dwóch układów obciążeń. Ogólne rozwiązanie otrzymano stosując warunki Kuhna - Tuckera przy założeniu wypukłości funkcji celu. Podobne podejście prezentuje Lev O.E. [38]

W pracy tej przedstawiono minimalizację ciężaru kratownicy stosując dwa sposoby rozwiązania; analityczny z wykorzystaniem mnożników Lagrange'a i warunków Kuhna - Tuckera oraz numeryczny z użyciem metody projekcji gradientu na hiperpowierzchnię ograniczeń. Temat optymalizacji kratownic, belek dla wielu układów obciążeń podejmuje Rozwany G.I.N. [66] jak również Spillers W.R. [70].

W pracy [56] Pederson P. wykorzystuje metody programowania nieliniowego do minimalizacji kratownicy dla wielu układów obciążeń. Zmiennymi decyzyjnymi są pola przekroju prętów oraz współrzędne węzłów kratownicy, a funkcję celu ciężar konstrukcji. Podobne sformułowanie i sposób rozwiązania przedstawia autor Maciulevicius D. [43]. Inne podejście prezentuje w pracy [44] Moris H.J., który dla zmiennych decyzyjnych w postaci pól przekrojów prętów, znajduje minimum ciężaru kratownicy przy wykorzystaniu metod programowania geometrycznego.

Odnośnie konstrukcji ramowych jedną z pierwszych była praca Heymana J., Pragera W. [60]. Przedstawiono w niej optymalizację w zakresie plastycznym płaskiej ramy, poddanej działaniu dwóch układów obciążeń z uwagi na minimum ciężaru konstrukcji. Zmiennymi decyzyjnymi były pola przekrojów prętów, a zadanie rozwiązano metodami programowania liniowego.

Schmidt L.C. w pracy [77]. Oprócz przeglądu dostępnej literatury na ten temat /do roku 1962/ podaje metodę optymalizacji ramy płaskiej w zakresie sprężystym. Przy pewnych założeniach autor wykazuje, że minimalny ciężar ramy jest otrzymywany jeśli suma pracy wirtualnej każdego elementu konstrukcji stanie się minimalna. Zmiennymi decyzyjnymi są podobnie jak poprzednio pola przekrojów prętów.

W pracy [26] Ghista D.N. rozwiązuje problem optymalizacji płaskich konstrukcji statycznie niewyznaczalnych /belek, ram/ w zakresie sprężystym pod wpływem jednego i wielu układów obciążeń. Poszukuje się minimum ciężaru przy zmiennych w sposób ciągły polach przekrojów prętów oraz hipotezie pełnego wyteżenia. Podobnie rozwiązuje to zagadnienie Sved G i Ginos Z. [75].

Felton L.P. i Nelson R.B. w pracy [19] rozważają optymalizację sprężystych ram płaskich zbudowanych z prętów o przekrojach cienkościennych. Przyjmując za zmienne decyzyjne momenty bezwładności w prętach i pomijając w warunkach ograniczających efekt osiowej deformacji pręta, znajdują rozwiązanie optymalne korzystając z metod programowania nieliniowego.

W pracy [54] Polizzotto C. przedstawia minimalizację ciężaru ramy w zakresie pozasprężystym. Przyjmuje on liniowe zależności funkcji celu i ograniczeń stosując do rozwiązania metody programowania liniowego. W zakresie sprężystym formułuje problem Plaut R.H. [55].

W warunkach ograniczających zmienne decyzyjne, oprócz ograniczeń naprężeń i przemieszczeń, rozważa się tutaj warunki stateczności konstrukcji. Rozwiązanie optymalne uzyskuje się stosując metody numeryczne.

Inne podejście w problemie optymalizacji ram z uwzględnieniem wielu układów obciążeń prezentuje Thierauf G., [80]. Przy wyznaczaniu minimalnego ciężaru konstrukcji proponuje on zastąpienie układów obciążeń przez ich wypukłą kombinację. Dla tak określonego nowego układu obciążeń, stosując odpowiednie

aproksymacje funkcji celu i ograniczeń, wyznaczone jest rozwiązanie optymalne przy wykorzystaniu techniki iteracyjnej Newtona. Zmiennymi decyzyjnymi są w tym zadaniu pola przekrojów prętów.

Wszystkie wymienione wyżej prace z zakresu optymalizacji konstrukcji prętowych można podzielić z uwagi na:

- podejście analityczne [26,38,46,47,59,63,75,77,89]
- podejście numeryczne [19,43,44,54,55,56,60,80].

W pracach z pierwszej grupy rozważono przede wszystkim małe układy prętowe, takie jak belka rama portalowa czy kratownica trójprętowa, uwzględniając przy tym nieliczne ograniczenia zmiennych decyzyjnych. Ponadto w niektórych pracach np. [26] rozważano hipotezę pełnego wyteżenia, która prowadzi do konstrukcji o zmiennych w sposób ciągły polach przekrojów na długości prętów, a to w większości praktycznie realizowanych konstrukcjach nie jest stosowane.

Prace drugiej grupy przedstawiają rozwiązania większych układów prętowych za pomocą metod programowania liniowego, geometrycznego, nieliniowego i innych metod numerycznych. Przy formułowaniu zadania optymalizacji stosuje się aproksymacje liniowe np. [54,60], kwadratowe [81] funkcji celu i ograniczeń lub "upraszcza się" obszar rozwiązań dopuszczalnych przez nieuwzględnianie dużej liczby ograniczeń zmiennych decyzyjnych występujących w rzeczywistych warunkach pracy konstrukcji np. [19, 43,44,60,80]. Uwagi te dotyczą przede wszystkim konstrukcji ramowych dla których nie osiągnięto w przypadku ogólnym tych samych jakościowych rozwiązań co dla kratownic.

Wymienione wyżej sposoby podejścia w rozwiązywaniu zadania optymalizacji ram poddanych działaniu wielu układów obciążeń prowadzą albo do wąskiej klasy ustrojów prętowych albo do uproszczonego modelu optymalizacji bardziej złożonych konstrukcji.

3. SFORMUŁOWANIE CELU PRACY. TEZY PRACY.

Przy podejmowaniu prac związanych z zagadnieniem optymalizacji ram, ogólny ich cel wynika z tendencji zmierzających do coraz szerszego stosowania technik optymalizacji w praktyce projektowej.

Można go sformułować następująco:

Należy tak zautomatyzować proces projektowania konstrukcji ramowych, aby w całym jego przebiegu ingerencja projektanta ograniczała się jedynie do niezbędnych procedur dotyczących danych geometrii, materiału i obciążeń oraz jednocześnie aby otrzymana konstrukcja była optymalna względem pewnego kryterium jakości przy zachowaniu warunków pracy konstrukcji.

Zawężając tak zdefiniowany cel, określono cel szczegółowy niniejszej pracy, którym jest:

Zbudowanie modelu matematycznego optymalizacji wybranego typu ram stalowych poddanych działaniu wielu układów obciążeń z punktu widzenia jego praktycznych zastosowań.

W realizacji tak sformułowanego celu pracy autorowi chodziło przede wszystkim o:

- określenie reguły przyjmowania niezbędnych wielkości konstrukcyjnych jako zmienne decyzyjne i parametry,
- określenie zbioru ograniczeń zmiennych decyzyjnych w ujęciu normowym oraz organizacja sposobu ich obliczania.

Aby zweryfikować przydatność modelu matematycznego w praktyce projektowej, zadaniem autora było zbudowanie Systemu Optymalizacyjnego Ram Stalowych.

Przy opracowywaniu Systemu Optymalizacyjnego przyjęto następujące zasady:

- 1^o System ma być otwarty i uniwersalny poprzez możliwość prostego dołączania segmentów opisujących nowe ograniczenia i funkcję celu jak i nowe metody optymalizacyjne.
- 2^o System ma być ekonomiczny w sensie czasu obliczeń i zajmowanej pamięci operacyjnej EMC, przez zwrócenie uwagi na:
 - sposób analizy statycznej konstrukcji i rozwiązywania równań liniowych,

- metody programowania nieliniowego z ograniczeniami.

Należy przy tym podkreślić, że zamierzeniem autora nie było zbudowanie dużego systemu optymalizacyjnego zastępującego projektanta całkowicie w procesie projektowaniem. Naczelną zasadą było jedynie zautomatyzowanie najbardziej zrutynizowanych i pracochłonnych czynności projektowania konstrukcji ramowych, zostawiając projektantowi przy tym możliwość aktywnego włączania się w sam proces optymalizacji.

Przy określaniu modelu matematycznego optymalizacji, a w tym wyboru metody analizy statycznej i techniki programowania nieliniowego, dążono do weryfikacji poniższych tez:

- 1/ Model matematyczny optymalizacji ram stalowych poddanych działaniu wielu układów obciążeń można sformułować tak, aby w procesie projektowania optymalnego wykorzystywane były wszystkie niezbędne informacje o konstrukcji ramowej.
- 2/ Można określić sposób wyboru zmiennych decyzyjnych dla konstrukcji ramowych tak aby umożliwić projektantowi ingerencję w przebieg obliczeń komputerowych pozwalającą na modyfikację zmiennych decyzyjnych do założonych warunków pracy konstrukcji.
- 3/ Sieciowa technika analizy statycznej konstrukcji jest jednym z najbardziej adekwatnych sposobów rozwiązywania układów ramowych przy zastosowaniu elektronicznych maszyn cyfrowych.

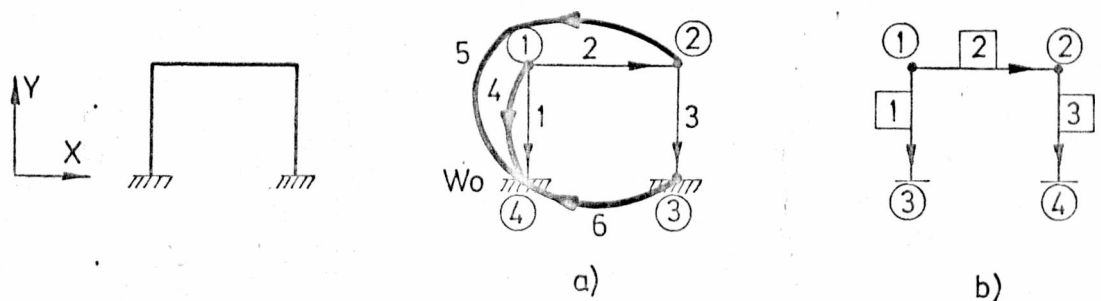
4. ANALIZA STATYCZNA RAM Z WYKORZYSTANIEM METODY SIECIOWEJ.

4.1 Podstawowe równania sieciowe ram.

W sieciowym sposobie analizy konstrukcji prętowych, wyróżniają się dwa podejścia. Pierwsze zwane jest "mesh method" (metodą oczek) i odpowiada metodzie sił, drugie zwane jest "node method" (metodą węzłów) i równoważne jest metodzie przemieszczeń. Podział taki stosuje między innymi S.J. Fenves w pracach [16, 17, 18].

Wyczerpujący opis zastosowania obu technik do statycznej analizy kratownic przedstawił J. Pietrzak w pracach [50, 51, 52]. Obie metody opierają się na tych samych elementach teorii grafów w odniesieniu do konstrukcji prętowych. Druga z wymienionych metod jest jednak bardziej uniwersalna i łatwiejsza w oprogramowaniu na EMC. Wynika to z faktu bardziej prostego i szybszego sposobu budowania równań macierzowych w metodzie przemieszczeń, niż jak to ma miejsce w przypadku metody sił.

W niniejszej pracy wykorzystano metodę węzłów w odniesieniu do konstrukcji ramowych. Wszystkie niezbędne informacje stosowanej metody sieciowej podano w załączniku pkt. 1. Najistotniejszą rolę w metodzie węzłowej odgrywa macierz incydencji, zwana też macierzą podstawowych przekrojów grafu [50] zawierająca informacje o sposobie połączeń węzłów i prętów oraz o zwrocie prętów konstrukcji. Na rys. przedstawiono ramę portalową wraz z pełną i uproszczoną wersją liniowego, zorientowanego grafu.



Rys. 1 Rama portalowa wraz z odpowiadającymi jej grafami w wersji a/ podstawowej, b/ uproszczonej.

W przypadku podstawowym, pogrubione linie oznaczają krawędzie pierwszego rodzaju, cienkie - krawędzie drugiego rodzaju. Dla grafu uproszczonego zaznaczono tylko krawędzie drugiego rodzaju. Macierze

incydencji dla grafów z rys. 1 mają postać:

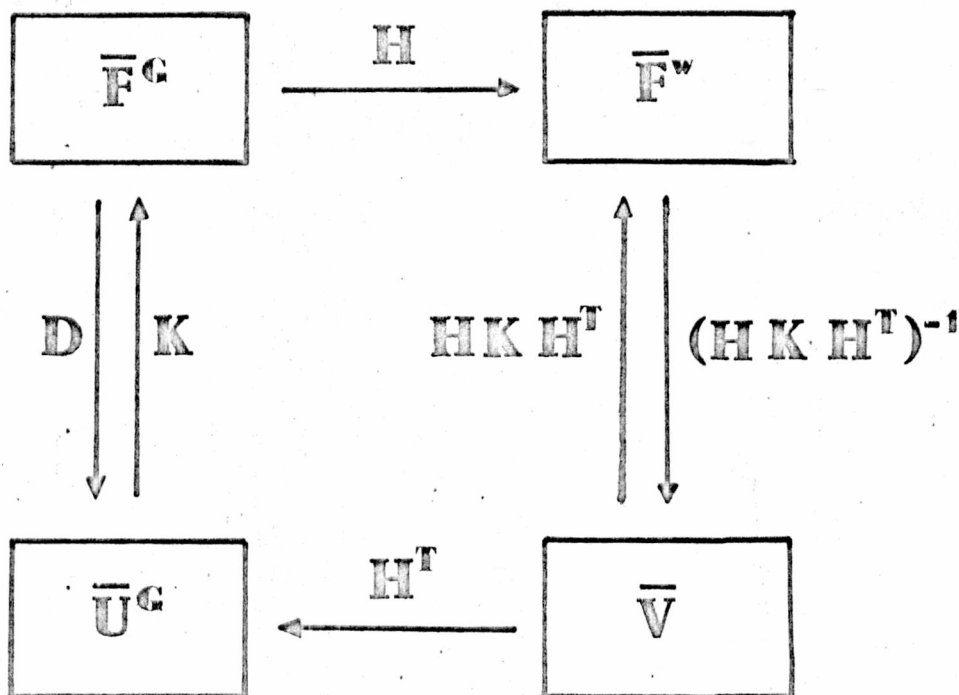
$T_a) =$	Węzły ↓	Pręty					
		1	2	3	4	5	6
1		1	1		1		
2			-1	1		1	
3				-1			1
4		-1			-1	-1	-1

$T_b) =$	Węzły ↓	Pręty		
		1	2	3
1		1	1	
2			-1	1
3				-1
4		-1		

Rys. 2

Pełna informacja o topologii konstrukcji zawarta jest w obu macierzach incydencji, toteż w analizie konstrukcji można stosować drugą, uproszczoną wersję grafu liniowego.

Na podstawie zdefiniowanej macierzy incydencji T określana jest uogólniona macierz incydencji H zwana dalej macierzą incydencji. Podstawowe zależności sieciowego sposobu analizy konstrukcji ramowej w ujęciu metody węzłowej przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3 Diagram podstawowych zależności metody węzłowej.

Wszystkie wielkości oraz zależności na rys. 3 rozpatrywane są w globalnym układzie współrzędnych konstrukcji. W wierszach przedstawiono reprezentacje uogólnionych sił \bar{F} , \bar{F}^G i przemieszczeń \bar{U}^W , \bar{V} , natomiast w kolumnach, wielkości odpowiadające elementom charakterystycznym grafu konstrukcji, którymi są (dla metody węzłowej), krawędzie i wierzchołki. Transformacje między blokami oznaczają w wierszach macierz incydencji H oraz jej transpozycję H^T , w kolumnach macierze sztywności K^G , $H \cdot K^G \cdot H^T$ oraz macierz podatności $(H \cdot K^G \cdot H^T)^{-1}$.

Podstawowe związki metody węzłowej zapisano w postaci równań macierzowych:

$$H^T \cdot \bar{V} = \bar{U}^G \quad (1)$$

$$H \cdot \bar{F}^G = + \bar{F} \quad (2)$$

W przypadku ogólnym równania (1) i (2) uwzględniają więzi węzłów konstrukcji toteż wektor \bar{F} jest rozszerzony o niewiadome reakcje podporowe, natomiast wektor \bar{V} o zadanie przemieszczenia podpór.

Równania (1) i (2) mają prostą interpretację fizyczną. Pierwsze jest równaniem zgodności geometrycznej między wektorem przemieszczeń węzłów \bar{V} a wektorem przemieszczeń końców prętów \bar{U}^G , drugie określa warunki równowagi między wektorem sił wewnętrznych w prętach \bar{F}^W a wektorem sił zewnętrznych \bar{F} .

Budowa macierzy incydencji H występujące w tych równaniach, zależy oprócz macierzy T , od sposobu określenia wektorów uogólnionych sił \bar{F} i przemieszczeń \bar{V} .

Z prac dotyczących konstrukcji kratowych charakterystyczne podejście prezentuje J. Pietrzak, J. Poplewska w [50], którzy określają element $H(i,j)$ jako macierz jednostkową I_S^1 dla $T(i,j) = 1$ macierz $-I_S^1$ dla $T(i,j) = -1$ oraz macierz zerową I_S^0 dla $T(i,j) = 0$. Wskaźnik S jest stopniem macierzy I_S^1 równym 2 dla kratownic płaskich oraz 3 dla kratownic przestrzennych. Odnośnie ram płaskich na uwagę zasługuje sposób J. E. Benveniste [2], który definiuje elementy $H(i,j)$ jako macierze $[1,0]$ dla $T(i,j) = 1$, $[0,1]$ dla $T(i,j) = -1$ oraz $[0,0]$ dla $T(i,j) = 0$. Wektory sił uogólnionych \bar{F}^G , \bar{F} reprezentują momenty, a wektory \bar{U}^G , \bar{V} kąty obrotu i cięciw prętów.

Wiąże się to z przyjętym przez autora sposobem analizy konstrukcji opartym o badanie mechanizmu układu. Podobnie określona jest macierz H w pracy von Klüppela K., [34].

Dla ram przestrzennych ogólne sformułowanie analizy statycznej konstrukcji z wykorzystaniem metody sieciowej przedstawili w pracach m.in. Di Maggio F. L., [45], Spillers W. R. [70 71 73]. W pracach tych zdefiniowano macierz incydencji H biorąc pod uwagę maksymalną liczbę stopni swobody w węźle oraz wprowadzając do niej macierz transformacji z lokalnego do globalnego układu współrzędnych. Macierz H zawiera w tym przypadku informacje zarówno o topologii jak i o geometrii układu. Podobne ogólne ujęcie w budowie macierzy incydencji H prezentują autorzy Konishi J., Shiraishi N., [37], Lind N. C., [42], Weber G., [88] oraz Oden J.T., [49].

W niniejszej pracy elementy $H(i, j)$ macierzy incydencji H określono następująco :

$$H(i, j) = \begin{cases} f^+ & \text{dla } T(i, j) = 1 \\ f^- & \text{dla } T(i, j) = -1 \\ f^0 & \text{dla } T(i, j) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Elementy f^+ , f^- , f^0 są macierzami wymiaru $S \times 2S$ o postaci :

$$f^+ = \begin{bmatrix} I_s^1 & | & I_s^0 \end{bmatrix}, \quad f^- = \begin{bmatrix} I_s^0 & | & I_s^1 \end{bmatrix}, \quad f^0 = \begin{bmatrix} I_s^0 & | & I_s^0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

gdzie I_s^1 jest macierzą jednostkową stopnia s , I_s^0 jest macierzą zerową wymiaru $S \times S$, S jest stopniem swobody węzła konstrukcji ramowej. Tak określona macierz incydencji H zawiera w sobie informacje tylko o topologii i strukturze połączeń węzłów konstrukcji. Przedstawiona budowa macierzy H jest uogólnieniem sformułowania w porównaniu z wymienionymi pracami dotyczącymi analizy statycznej konstrukcji ramowych z wykorzystaniem metody sieciowej.

4.2 Sieciowe równania analizy statycznej ram przestrzennych.

Sieciową analizę statyczną konstrukcji ramowych przeprowadzono przyjmując następujące założenia :

- konstrukcja zbudowana jest ze skończonej liczby prętów stalowych prostoliniowych, pryzmatycznych o stałych lub co najwyżej skokowo zmiennych przekrojach poprzecznych,

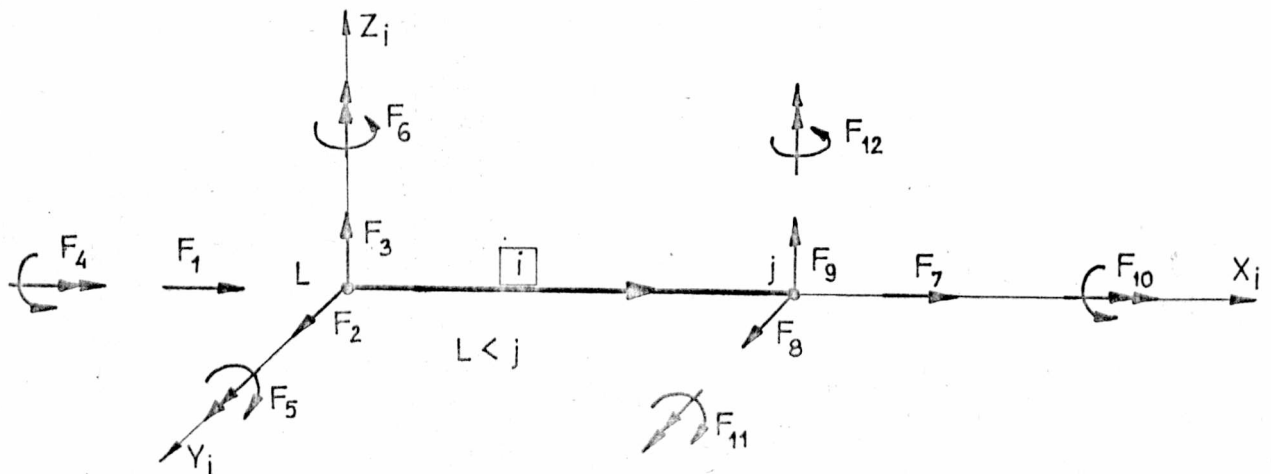
- linie środków ciężkości przekrojów prętów zbiegających się w danym węźle przecinają się w jednym punkcie,
- pomija się wpływ odkształceń początkowych konstrukcji,
- analizę statyczną przeprowadza się w zakresie sprężystym dla małych odkształceń, pomijając wpływ sił podłużnych w prętach na odkształcenia układu,
- obciążenia zewnętrzne przyłożone do węzłów i prętów konstrukcji mają charakter statyczny.

Dalsze szczegółowe ograniczenia odnośnie konstrukcji ramowej i układów obciążeń podano w tekście.

Wprowadzono dwa układy współrzędne. W pierwszym, globalnym układzie współrzędnych, zadaje się topologię konstrukcji, określa się współrzędne węzłów oraz wartości obciążeń zewnętrznych, a także formułuje się równania sieciowe analizy ram. W drugim, lokalnym układzie współrzędnych rys. 4 określa się wektor sił \vec{F}_i^{LPT} oraz zapisuje się transformacyjne równania metody przemieszczeń.

W ogólnym przypadku dla ram przestrzennych o przekrojach zwartych, liczba stopni swobody przekroju poprzecznego pręta równa jest liczbie stopni swobody bryły sztywnej w przestrzeni, co stanowi trzy niezależne obroty i trzy niezależne przemieszczenia w trzech nawzajem prostopadłych płaszczyznach.

Dla i -tego pręta rami, dodatnie zwroty sił węzłowych w lokalnym układzie współrzędnych podano na rys. 4.



Rys. 4.

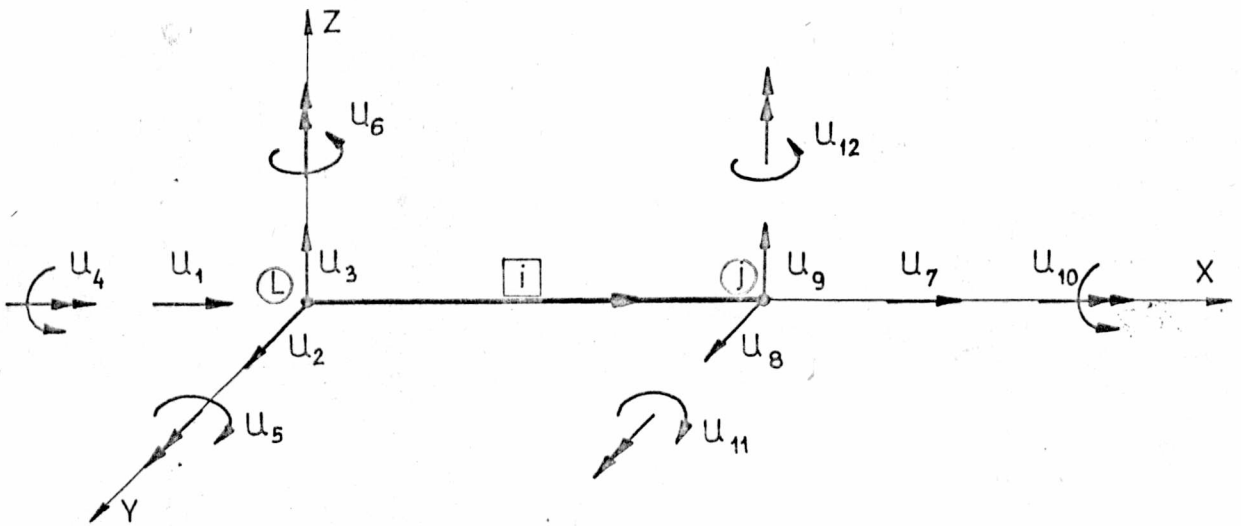
Początek lokalnego układu współrzędnych przyjęto w węźle o mniejszym numerze porządkowym. W metodzie sieciowej orientacja krawędzi grafu jest dowolna. Pozwala to na ustalenie zwrotów wszystkich gałęzi od wierzchołka o numerze mniejszym do wierzchołka o numerze większym.

Wektor uogólnionych sił wewnętrznych \bar{F}_i^L i-tego pręta w lokalnym układzie współrzędnych ma postać:

$$\bar{F}_i^L = [F_1, F_2, \dots, F_{12}]^T \quad (5)$$

Wielkości F_1, F_2, F_3 oraz F_7, F_8, F_9 oznaczają siły wewnętrzne przekroju ① oraz ②, natomiast F_4, F_5, F_6 oraz F_{10}, F_{11}, F_{12} prezentują momenty zginające i skręcające w przekroju ① oraz ② i-tego pręta.

Elementy składowe uogólnionego wektora przemieszczeń \bar{U}_i^L odpowiadającego wektorowi sił \bar{F}_i^L dla i-tego pręta ramy przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5.

Wektor przemieszczeń \bar{U}_i^L jest zbudowany analogicznie do wektora \bar{F}_i^L , to znaczy:

$$\bar{U}_i^L = [u_1, u_2, \dots, u_{12}]^T \quad (6)$$

gdzie u_1, u_2, u_3 oraz u_7, u_8, u_9 oznaczają przemieszczenia liniowe przekroju ① oraz ②, natomiast u_4, u_5, u_6 oraz u_{10}, u_{11}, u_{12} oznaczają kąty obrotu przekroju ① oraz ② dla i-tego pręta ramy.

Równania transformacyjne metody przemieszczeń dla i -tego pręta ramy są postaci:

$$\bar{F}_i^L = K_i^L \cdot \bar{U}_i^K + \bar{F}_i^{LPT} \quad (7)$$

Macierz K_i^L jest lokalną macierzą sztywności pręta. Jeśli Λ_i będzie macierzą transformacji lokalnego układu współrzędnych i -tego pręta, do globalnego układu współrzędnych (złącznik) tą macierz transformacji wektorów \bar{F}_i^L oraz \bar{U}_i^L ma następującą postać:

$$R_i = \text{diag} [\Lambda_i, \Lambda_i, \Lambda_i, \Lambda_i] \quad (8)$$

Macierz ta jest wymiaru 12×12 . Dla wektorów \bar{F}_i^L , \bar{U}_i^L oraz lokalnej macierzy sztywności pręta K_i^L zachodzą związki:

$$\bar{F}_i^G = R_i \cdot \bar{F}_i^L ; \quad \bar{U}_i^G = R_i \cdot \bar{U}_i^L ; \quad \bar{U}_i^{GPT} = R_i \cdot \bar{U}_i^{LPT} \quad (9)$$

$$K_i^G = R_i \cdot K_i^L \cdot R_i^T$$

Wprowadzając wektory: $\bar{F}^G = [\bar{F}_1^G, \bar{F}_2^G, \dots, \bar{F}_M^G]^T$, $\bar{F}^{LPT} = [\bar{F}_1^{LPT}, \dots, \bar{F}_M^{LPT}]^T$, $\bar{U}^G = [\bar{U}_1^G, \dots, \bar{U}_M^G]$ oraz macierze $R = \text{diag} [R_1, R_2, \dots, R_M]$, $K^L = \text{diag} [K_1^L, K_2^L, \dots, K_M^L]$ i wykorzystując równanie (7), (8), zachodzi:

$$\bar{F}^G = R \cdot K^L \cdot R^T \cdot \bar{U}^G + R \cdot \bar{F}^{LPT} \quad (10)$$

Wektor sił wewnętrznych odnośnie końców pręta z równania (10) zapisany jest już w globalnym układzie współrzędnych. Niech na n -ty węzeł układu ramowego działa uogólniona siła \bar{F}_n^W o składowych:

$$\bar{F}_n^W = [F_n^{1W}, F_n^{2W}, \dots, F_n^{6W}]^T, \quad (11)$$

gdzie F_n^{1W} , F_n^{2W} , F_n^{3W} to wartości sił skupionych, F_n^{4W} , F_n^{5W} , F_n^{6W} to wartości momentów w globalnym układzie współrzędnych. Wówczas wektor uogólnionych sił zewnętrznych przyłożonych do węzłów konstrukcji jest w postaci:

$$\bar{F}^W = [F_1^W, F_2^W, \dots, F_N^W]^T, \quad (12)$$

a odpowiadający mu wektor przemieszczeń węzłów \bar{V} ma postać:

$$\bar{V} = [\bar{V}_1, \bar{V}_2, \dots, \bar{V}_N]^T$$

N-ty element wektora \bar{V} tj. \bar{V}_n ma składowe:

$$\bar{V}_n = [v_n^1, v_n^2, v_n^3, v_n^4, v_n^5, v_n^6]^T,$$

gdzie v_n^1, v_n^2, v_n^3 oznaczają przemieszczenia liniowe węzła natomiast v_n^4, v_n^5, v_n^6 obroty węzła wzdłuż kolejnych osi globalnego układu współrzędnych. Korzystając z sieciowego równania równowagi (2) oraz równania (10) otrzymano związek:

$$H \cdot R \cdot K^L \cdot R^T \cdot \bar{U}^G + H \cdot R \cdot \bar{F}^{LPT} - \bar{F}^W = 0 \quad (13)$$

Równanie to wraz z sieciowym warunkiem zgodności geometrycznej (1) daje ostatecznie równanie:

$$H \cdot R \cdot K^L \cdot R^T \cdot H^T \cdot \bar{V} + H \cdot R \cdot \bar{F}^{LPT} - \bar{F}^W = 0, \quad (14)$$

które jest podstawową relacją między przemieszczeniami węzłów a siłami zewnętrznymi w sieciowym ujęciu analizy statycznej ram. Macierz $K = H \cdot R \cdot K^L \cdot R^T \cdot H^T$ zwana globalną macierzą sztywności jest wymiaru $N \cdot S \times N \cdot S$. Wprowadzając oznaczenie $\bar{F} = \bar{F}^W - H \cdot R \cdot \bar{F}^{LPT}$ otrzymuje się z (14) postać:

$$K \cdot \bar{V} = \bar{F} \quad (15)$$

Dla konstrukcji geometrycznie niezmienniej macierz sztywności K , po wykreśleniu z niej wierszy i kolumn odpowiadającym wierszom węzłów podporowych, jest nieosobliwa i wówczas rozwiązanie równania (15) jest jednoznaczne, o postaci:

$$\bar{V} = K^{-1} \cdot \bar{F}$$

W ogólnym przypadku gdy uwzględnia się osiadanie podpór, a więc gdy zadaje się przemieszczenia w kierunku więzi węzłów podporowych, należy dysponować całą macierzą K , bez skreśleń. Ponieważ numeracja węzłów może być dowolna, zatem niewiadome składowe wektora \bar{V} , których jest $N \cdot S - LW$, mogą występować w różnych miejscach

pozycyjnych. W celu ułatwienia i uproszczenia algorytmu obliczeń wprowadzono macierz permutacji B , która porządkuje wektor \bar{V} w ten sposób, że $N \cdot S - LW$ pierwszych składowych wektora $B \cdot \bar{V}$ odpowiada dokładnie niewiadomym przemieszczeniom, pozostałe zaś oznaczają zadane przemieszczenia podpór.

Macierz permutacji B , porządkuje również macierz K w ten sposób, że pierwszych $N \cdot S - LW$ wierszy i kolumn macierzy $B \cdot K \cdot B^T$ równoznaczne jest macierzy sztywności K ze skreśleniami. Zachodzą też następujące związki:

$$B \cdot B^T = B^T \cdot B = I_{N \cdot S}^1$$

$$B \cdot \bar{F} = \bar{F}' = \begin{bmatrix} \bar{F}^Z \\ \bar{F}^R \end{bmatrix}, \quad B \cdot \bar{V} = \bar{V}' = \begin{bmatrix} \bar{V}^Z \\ \bar{V}^R \end{bmatrix},$$

$$B \cdot K \cdot B^T = \begin{bmatrix} K_{AA} & K_{AB} \\ K_{BA} & K_{BB} \end{bmatrix},$$

(16)

gdzie \bar{F}^Z jest zadany wektorem sił zewnętrznych, \bar{F}^R jest niewiadomym wektorem reakcji podporowych, \bar{V}^Z jest niewiadomym wektorem przemieszczeń węzłów niepodporowych, \bar{V}^R jest zadany wektorem przemieszczeń podpór.

Dla konstrukcji geometrycznie niezmiennej otrzymano z równań (15), (16) związki:

$$\bar{F}^Z = K_{AA} \cdot \bar{V}^Z + K_{AB} \cdot \bar{V}^R \quad (17)$$

$$\bar{F}^R = K_{BA} \cdot \bar{V}^Z + K_{BB} \cdot \bar{V}^R \quad (18)$$

stąd wobec nieosobliwości macierzy K_{AA} jest:

$$\bar{V}^Z = K_{AA}^{-1} \cdot (\bar{F}^Z - K_{AB} \cdot \bar{V}^R) \quad (19)$$

Ponieważ macierz permutacji ma tę własność, że $B \cdot B^T$ jest macierzą jednostkową, zatem dla obliczonego wektora \bar{V} , korzystając z (1), (17), (10), (14) i (16) otrzymano równanie na siły wewnętrzne w prętach konstrukcji:

$$\bar{F}^L = K^L \cdot R^T \cdot H^T \cdot B^T \cdot \bar{V}' + \bar{F}^{LPT} \quad (20)$$

Równanie (20) stanowi rozwiązanie zadania sieciowej analizy statycznej ram przestrzennych.

Rozważając konstrukcje ramowe zbudowane z prętów o przekrojach cienkościennych, dodano do wektorów uogólnionych sił \bar{F}^L i przemieszczeń \bar{U}^L , \bar{V} nowe wielkości takie jak bimoment B_W oraz spaczenie θ mierzone pochodną kąta skręcania przekroju pręta.

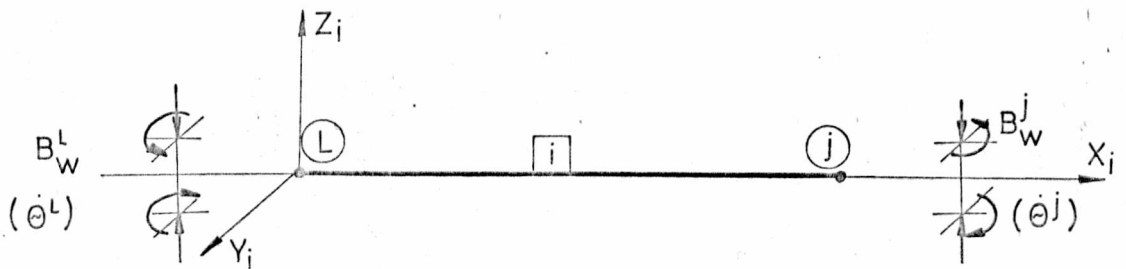
Przyjęto, że miara spaczenia przekrojów przywęzłowych wszystkich schodzących się w węźle prętów jest jednakowa, równa spaczeniu węzła. Dla rozszerzonych definicji wektorów sił i przemieszczeń oznacza to spełnienie warunków zgodności geometrycznej (1). Aby uzyskać warunek zgodności spaczeń w węzłach zakłada się, że:

- pręty przecinają się w węzłach pod kątem prostym, oraz mają jednakową wysokość przekroju,
- linie środków ścinania prętów schodzących się w węźle, przecinają się w jednym punkcie,
- proste równoległe do linii środków ścinania, leżące na półkach prętów i przechodzące przez punkty zerowe wykresów pól wycinkowych w , dla prętów schodzących się w węźle, przecinają się w jednym punkcie.

Przy tych założeniach można posługiwać się równaniem równowagi bimomentów w węźle [78]:

$$\sum_i B_W^i = 0 \quad (21)$$

Na rys. 6 przedstawiono dodatnie zwroty bimomentów B_W i spaczeń na końcach pręta



Rys. 6.

Wektory sił \bar{F}_i^L oraz przemieszczeń \bar{U}_i^L dla i -tego pręta mają postać:

$$\bar{F}_i^L = [F_1, F_2, \dots, F_6, B_W^L, F_7, F_8, \dots, F_{12}, B_W^J]^T, \quad (22)$$

$$\bar{U}_i^L = [U_1, U_2, \dots, U_6, \theta^L, U_7, U_8, \dots, U_{12}, \theta^J]^T.$$

W równaniu transformacyjnym metody przemieszczeń (7) wektory sił i przemieszczeń określone będą według (22), macierz sztywności K_i^L rozszerzono o wiersze i kolumny odpowiadające bimomentom. Wymiar macierzy sztywności K_i^L wynosi 14×14 , w porównaniu z 12×12 dla ram o przekrojach zwartych (załącznik). Macierz transformacji R_i określona jest:

$$R_i = \text{diag}[\Lambda_i, \Lambda_i, 1, \Lambda_i, \Lambda_i, 1] \quad (23)$$

i, ma wymiar 14×14 , natomiast wektory \bar{F}_j^W , \bar{V}_j dla j -tego węzła ramy przyjmą postać:

$$\bar{F}_j^W = [F_{jx}^W, F_{jy}^W, F_{jz}^W, M_{jx}^W, M_{jy}^W, M_{jz}^W, 0]^T$$

oraz (24)

$$\bar{V}_j = [v_{xj}, v_{yj}, v_{zj}, \theta_{xj}, \theta_{yj}, \theta_{zj}, \dot{\theta}_j]^T$$

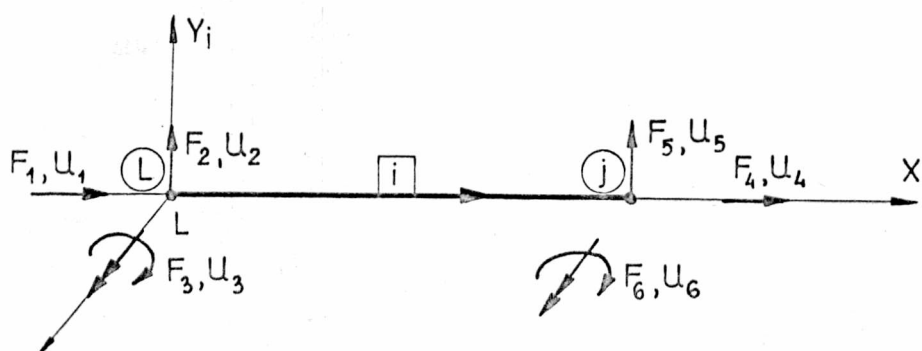
Spełnienie warunku (21) jest wraz z pozostałymi warunkami równowagi sił w węzle, równoważne sieciowemu równaniu (2).

Biorąc pod uwagę określenie macierzy incydencji H oraz zależności (22), (23), (24), dalsza analiza sieciowa ram cienkościennych będzie przebiegała identycznie jak dla ram o przekrojach zwartych i ostatecznie niewiadome przemieszczenia dane będą równaniem (19) natomiast siły wewnętrzne równaniem (20).

4.3 Sieciowa analiza ram płaskich.

Technikę sieciową w analizie statycznej konstrukcji prętowych wykorzystano również w przypadku ram płaskich. Przez rami płaskie rozumie się konstrukcje prętowe dla których, oprócz założeń z punktu 4.2, linie środków ścinania przekrojów wszystkich prętów, leżą w jednej płaszczyźnie. Założono również, że obciążenia zewnętrzne działają tylko w płaszczyźnie rami. Wektory sił wewnętrznych \bar{F}_i^L oraz przemieszczeń \bar{U}_i^L przedstawione na rys. 7, mają po sześć składowych:

$$\bar{F}_i^L = [F_1, F_2, \dots, F_6]^T; \quad \bar{U}_i^L = [u_1, u_2, \dots, u_6]^T \quad (25)$$



Rys. 7 Składowa siła i przemieszczeń na końcach i-tego pręta ramy płaskiej.

Macierz transformacji i-tego pręta R_i określona jest następująco:

$$R_i = \text{diag} [\Lambda_{i,1}^*, \Lambda_{i,1}^*, 1] \quad , \quad (26)$$

natomiast elementy f^+ , f^- , f^0 macierzy incydencji H mają wymiary 3×6 . Składowymi wektora przemieszczeń V_j j-tego węzła są dwa przemieszczenia i jeden obrót. Wektor obciążeń zewnętrznych \bar{F}_i^W ma odpowiednio dwie składowe siły skupionej oraz jedną momentu skupionego. Dla przyjętych wektorów sił i przemieszczeń (25) oraz odpowiadającej im lokalnej macierzy sztywności K_i^L (załącznik), sieciową analizę statyczną ram płaskich przeprowadza się według równań (14), (16), (20). Dotychczasowe rozważania wykorzystywały podejścia sieciowe w statycznej analizie ram, praktycznie do budowy globalnej macierzy incydencji. Przyjmując dodatkowe założenie w postaci zasady zesztynnienia można pełniej wykorzystać własności metody sieciowej.

Wraz z uczynionymi wcześniej założeniami powoduje ona, że przemieszczenia poziome węzłów danego piętra ramy są sobie równe. Oznacza to, że nie wszystkie składowe wektora uogólnionych przemieszczeń $\bar{V} = [V_1, V_2, \dots, V_n]^T$ są wielkościami niezależnymi a stąd otrzymuje się, że liczba niewiadomych przemieszczeń jest mniejsza niż $3 \times (N-LW)$

Aby wyznaczyć odpowiednie związki rozważono układ prętowy, powstały z ramy przez zastąpienie sztywnych węzłów przegubami. Oznaczano przez $\bar{\Psi} = [\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_M]^T$ wektor obrotu konstrukcji którego składowe są kątami obrotu cięciw prętów, dodatnimi w kierunku ruchu wskazówek zegara.

Wprowadzono dalej oznaczenia:

$$L_x = \text{diag} [L_{1x}, L_{2x}, \dots, L_{Mx}] ,$$

$$L_y = \text{diag} [L_{1y}, L_{2y}, \dots, L_{My}] .$$

Z warunku koniecznego i dostatecznego na to aby $\bar{\Psi}$ był wektorem obrotu prętów otrzymuje się równania:

$$C^T \cdot L_x \cdot \bar{\Psi} = 0 \quad , \quad (27)$$

$$C^T \cdot L_y \cdot \bar{\Psi} = 0 \quad , \quad (28)$$

przy czym C jest macierzą cykli bazowych.

Wykorzystując własności topologiczne grafu konstrukcji (J.E. Benveniste [2]) otrzymuje się z równań (27), (28) po przekształceniu związki:

$$G \cdot \bar{Y} = C^T \cdot L_y^{-1} \cdot L_x \cdot T^T \cdot \bar{Y} = \bar{0} \quad (29)$$

$$\bar{\Psi} = L_y^{-1} \cdot T^T \cdot \bar{Y} \quad . \quad (30)$$

Jak wykazuje dalej autor pracy [2] liczba niezależnych rozwiązań równania (29) równa $LSK = N - LW/3 - \text{rz } G$ jest liczbą niezależnych wektorów $\bar{\Psi}$ czyli stopniem swobody równoważonego układu konstrukcyjnego. Rzeczywisty wektor obrotu $\bar{\Psi}$ ramy jest funkcją liniową wektorów obrotu $\bar{\Psi}^{(i)}$ otrzymanych z równań (29) i (30), a więc:

$$\bar{\Psi} = \sum_{i=1}^{LSK} \beta_i \cdot \bar{\Psi}^{(i)} \quad (31)$$

gdzie β_i są nieznanymi skalarami. Wektor niewiadomych przemieszczeń określono następująco:

$$\bar{V} = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N, \beta_1, \dots, \beta_{LSK}]^T, \tilde{N} = N - LW/3 \quad (32)$$

Przyjmując, że elementy f^+ , f^- , f^0 macierzy incydencji H mają wymiar 1×2 dla $i \leq \tilde{N}$ oraz $H(i,j) = [\psi_j^{i-\tilde{N}}, \psi_j^{i-\tilde{N}}]^T$ dla $\tilde{N} \leq i \leq \tilde{N} + LSK$, równania transformacyjne metody przemieszczeń można zapisać w postaci:

$$\bar{F}^G = K^G \cdot H^T \cdot \bar{V} + \bar{F}^{GP} \quad (33)$$

Składowe wektora uogólnionych sił \bar{F}^G stanowią same momenty zginające w przekrojach przywęzłowych prętów.

Ostatecznie równania sieciowe analizy ram płaskich, przy założeniu zasady zeszywnienia, przyjmą postać:

$$H \cdot K \cdot H^T \cdot \bar{V} = + \bar{F}^W - H \cdot \bar{F}^{WP} \quad (34)$$

Równanie (34) jest poszukiwanym równaniem w którym liczba niewiadomych równa $\tilde{N} + LSK$ jest mniejsza niż $3 \times N - LW$.

Z równań (33) i (34) wyznaczone są tylko momenty zginające w przekroju końcowych prętów. Pozostałe siły wewnętrzne w prętach ramy otrzymuje się z warunków równowagi pręta oraz warunków równowagi sił w węzłach konstrukcji.

4.4 Uwagi.

Przedstawiony sposób sieciowej analizy statycznej ram będący połączeniem techniki sieciowej z metodą przemieszczeń jest, zdaniem autora, jednym z najdogodniejszych sposobów analizy statycznej konstrukcji prętowych przy użyciu EMC. Wynika to między innymi z faktu bardzo prostej formalizacji macierzowej metody, szczególnie widocznej w porównaniu z ujęciem sieciowym opartym na metodzie sił, co na przykładzie kratownic opisane jest w pracy [50]. Również z uwagi na rozpatrywanie konstrukcji o ciągłym rozkładzie masy, prezentowana metoda ma przewagę nad metodami elementów skończonych, bazującymi na dyskretyzacji konstrukcji.

W samym ujęciu metoda sieciowa jest sposobem wysoce uniwersalnym co uwydatnia się przede wszystkim w odniesieniu do ram płaskich. Wykorzystano tutaj podejście sieciowe nie tylko do budowy macierzy incydencji ale także zbadano stopień swobody układu prętowego stworzonego z rozpatrywaną konstrukcją ramy. Umożliwiło to na zmniejszenie wymiaru globalnej macierzy sztywności konstrukcji. Należy przy tym podkreślić, że przedstawiona formalizacja macierzowa metody sieciowej stwarza jednolite i proste podejście do sieciowej analizy ram płaskich i przestrzennych, jak też do konstrukcji kratowych.

Porównanie równań sieciowych analizy statycznej układu prętowego ze sposobem opisanym przez Pietrzaka J. [50] przedstawiono w załączniku.

Najważniejszym elementem metody sieciowej jest tak zwana macierz incydencji, która odgrywa decydującą rolę w budowie globalnej macierzy sztywności konstrukcji. Z uwagi na charakter metody sieciowej, proces generowania macierzy incydencji można całkowicie zautomatyzować, używając przy tym bardzo małą liczbę danych.

W celu większej uniwersalności metody sieciowej wprowadzono do analizy statycznej macierz permutacji, która pozwoliła na dowolną numerację węzłów konstrukcji jak też umożliwiła na optymalizację tej numeracji. W przypadku optymalnej numeracji węzłów, maksymalna różnica między numerami końców pręta, dla wszystkich prętów, musi być jak najmniejsza. Prowadzi to do najmniejszej szerokości półpasma w kierunku wierszy (lub kolumn) globalnej macierzy sztywności.

W konsekwencji daje to największą liczbę stopni swobody konstrukcji możliwych do rozważenia dla określonej PAO (pamięci operacyjnej) rezerwowanej przez macierz K .

Wszystkie wymienione wyżej zalety metody sieciowej są szczególnie ważne i przydatne w systemach projektowania optymalnego konstrukcji prętowych, w których sposób analizy statycznej odgrywa podstawową rolę. Zalety te mają swój wyraz przede wszystkim w tym, że wobec wysokiej algorytmizacji metody, można całkowicie uwolnić projektanta od znajomości techniki sieciowej, pozostawiając cały proces topologii, geometrii i sieci konstrukcji, odpowiednim programom na EMC.

5. ZAGADNIENIE OPTYMALIZACJI RAM STAŁOWYCH.

5.1 Ogólne sformułowanie zadania optymalizacji ram.

Podstawowymi elementami zadania optymalizacji konstrukcji prętowych, jak i w ogóle optymalizacji, są zmienne decyzyjne, obszar rozwiązań dopuszczalnych oraz funkcja celu. Przez zmienne decyzyjne rozumie się te wielkości charakteryzujące konstrukcję, które są nawzajem niezależne, zmieniają swą wartość w procesie optymalizacji i wpływają na jakość rozwiązania. Ponieważ w większości praktycznych zastosowań optymalizacji ma się do czynienia z wiązaniami nałożonymi na zmienne decyzyjne, zatem w dalszym ciągu rozpatrywany będzie tylko ten typ zadań optymalizacji. Wszystkie ograniczenia zmiennych decyzyjnych, jakie musi spełniać projektowana konstrukcja, tworzą zbiór rozwiązań dopuszczalnych G . Rozwiązaniem dopuszczalnym nazywa się taką wartość zmiennych decyzyjnych $\bar{x} \in E^N$, która należy do obszaru dopuszczalnego.

Z projektowanego punktu widzenia każdy element zbioru G , będący wektorem decyzyjnym \bar{x} , wraz z odpowiednim wektorem parametrów \bar{p} oznacza konstrukcję poprawnie zaprojektowaną.

Do wyboru jednego z elementów zbioru G prowadzi proces projektowania tradycyjnego. Polega on ogólnie na tym, że jeśli w danym kroku projektowania okazuje się, iż nie wszystkie warunki obszaru dopuszczalnego są spełnione, to następuje nowy wybór wartości zmiennych decyzyjnych i ponowne sprawdzenia. Zwykle doświadczony projektant po kilku kolejnych powtórzeniach uzyskuje pożądane rozwiązanie.

W tym sposobie postępowania jednoznaczne rozwiązanie uzyskać można tylko w przypadku gdy obszar dopuszczalny jest jednopunktowy, to znaczy wymogi projektowania określają jedną i tylko jedną wartość wielkości charakterystycznych konstrukcji.

W pozostałych przypadkach mimo poprawnego zaprojektowania nie można dokonać oceny jakościowej zarówno sposobu projektowania jak i konstrukcji. Możliwe to się staje dopiero przy wprowadzeniu nowego miernika efektywności procesu projektowania którym jest funkcja celu zwana też kryterium optymalizacji. Wprowadzenie tego nowego czynnika zmienia zasadniczo proces projektowania, który staje się teraz projektowaniem optymalnym. Wynikiem działania tego procesu jest konstrukcja optymalna w sensie stosowanego kryterium. Ponieważ w zadaniach optymalizacji dąży się do ekstremalizacji funkcji celu Φ , zatem wobec warunku:

$$\max \Phi = - \min(- \Phi) \quad (35)$$

można poszukiwać minimum.

Ogólnie zadanie optymalizacji konstrukcji ramowych można zapisać w postaci:

$$\Phi(\bar{x}^*, \bar{p}) = \min_{\bar{x} \in G} \Phi(\bar{x}, \bar{p}) \quad (36)$$

gdzie zbiór rozwiązań dopuszczalnych G określają zależności funkcyjne:

$$g(\bar{x}) = K(\bar{x}) \cdot \bar{V} - \bar{F} \quad , \quad (37)$$

$$g_i(\bar{x}, \bar{F}^L, \bar{p}) \leq 0 \quad , \quad i=1, \dots, IS \quad (38)$$

Oznacza to, że poszukuje się takiego wektora zmiennych decyzyjnych \bar{x}^* , który minimalizowałby funkcję celu Φ przy jednoczesnym spełnieniu warunków (37) i (38). Wektor ten zwany jest rozwiązaniem optymalnym, natomiast odpowiadające mu konstrukcja ramy jest konstruk-

cją optymalną.

Warunki opisane równaniem (38) dotyczą zależności geometrycznych, wytrzymałościowych, przemieszczeń oraz technologiczno-eksploatacyjnych. Natomiast równanie (37) oznacza spełnienie równania analizy statycznej (15) dla jednego układu obciążeń działających na konstrukcję ramy.

Aby móc rozpatrywać sposób rozwiązania zadania optymalizacji (36), zbiór rozwiązań dopuszczalnych G musi być niepusty, co jest równoważne niesprzeczności warunków (37) i (38). Stanowi to też o poprawności sformułowania problemu. Jeśli przez G_0 oznaczy się zbiór zdefiniowany:

$$G_0 = \{ \bar{x} \in E^N : \Phi(\bar{x}, p) < \Phi(\bar{x}^*, \bar{p}) \} , \quad (39)$$

to wówczas warunkiem koniecznym i dostatecznym rozwiązaniem problemu optymalizacji (36) jest warunek:

$$G \cap G_0 = \emptyset . \quad (40)$$

Powyższy opis zagadnienia optymalizacji dotyczył jednego układu obciążeń zewnętrznych. Biorąc pod uwagę wiele układów obciążeń działających na konstrukcję ramy, zbiór rozwiązań dopuszczalnych G^L określa następujące zależności:

$$g_1(\bar{x}) = K(\bar{x}) \cdot \bar{V} - \bar{F}^L = 0, \quad L=1, \dots, \text{LSB} \quad (41)$$

$$g_i(\bar{x}, \bar{F}_i^L, \bar{p}) \leq 0, \quad i=1, \dots, \text{IS} \quad (42)$$

gdzie: LSB oznacza liczbę układów obciążeń.

Zbiór G^L można zapisać w postaci:

$$G^L = \bigcap_{j=1}^{\text{LSB}} G_j , \quad (43)$$

gdzie G_j jest obszarem dopuszczalnym dla j -tego układu obciążeń.

Zatem ogólne sformułowanie zadania optymalizacji ram poddanych działaniu wielu układów obciążeń, jest postaci:

$$\Phi(\bar{x}^*, \bar{p}) = \min_{\bar{x} \in G^L} \Phi(\bar{x}, \bar{p}) \quad (44)$$

O poprawności tego zadania stanowi niepustość zbioru G^L , co wobec (44) jest równoznaczne żądaniu aby obszary dopuszczalne G_j , dla różnych układów obciążeń, były nawzajem nierozłączne. Warunkiem koniecznym i dostatecznym istnienia rozwiązania jest, podobnie jak poprzednio, spełnienie przez zbiór G^L warunku (40).

Zadanie optymalizacji konstrukcji ramowych w postaci równań (44), (42) i (41) przy nieliniowej funkcji celu Φ i ograniczeniach jest zadaniem programowania nieliniowego z ograniczeniami. Sformułowanie problemu optymalizacji w tej postaci jest najbardziej ogólne, gdyż umożliwia ono największe zbliżenie modelu matematycznego do rzeczywistych warunków pracy konstrukcji.

5.2 Model matematyczny optymalizacji ram poddanych działaniu wielu układów obciążeń.

5.2.1 Określenie zmiennych decyzyjnych i parametrów.

Z matematycznego punktu widzenia zmienne decyzyjne tworzą wektor zmiennych decyzyjnych $\bar{X} = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$ należący do N -wymiarowej przestrzeni euklidesowej E^N . Zmianę wektora \bar{X} , zgodnie z obraną procedurą optymalizacyjną, można wyznaczyć wektor \bar{e}^i określający kierunek oraz skalar d^i określający długość kroku, co przyjmie postać:

$$\bar{x}^i = \bar{x}^{i-1} + d^i \cdot \bar{e}^i \quad (45)$$

Wybór wektora \bar{X} według równania (45) jest charakterystyczny dla sekwencyjnych metod programowania matematycznego. Metody, które zasady (45) nie spełniają, tworzą grupę metod symultanicznych optymalizacji. Należy do nich między innymi surowa metoda Monte Carlo [23], w której wartość zmiennych decyzyjnych dla danego kroku nie zależy od wartości zmiennych kroku poprzedzającego.

Z uwagi na charakter zmiennych decyzyjnych mogą one być typu ciągłego oraz dyskretnego. W przypadku dyskretnym zmienne przyjmują w sposób skokowy tylko określone wartości.

Należy podkreślić, że duża część wielkości konstrukcyjnych będących zmiennymi decyzyjnymi ma w praktyce projektowej charakter dyskretny. Zmiennymi dyskretnymi może być na przykład zbiór różnych profili prętów konstrukcji wykonanych z różnych gatunków stali.

Dyskretność zmiennych decyzyjnych w zadaniu optymalizacji narzuca jest przez różnego rodzaju ograniczenia technologiczne, eksploatacyjne użytkowe i normowe. Tym niemniej w szeregu zagadnieniach optymalizacji ustrojów prętowych skokowe zmiany wektora decyzyjnego są na tyle małe, że można uważać je za ciągłe. W takim przypadku, jako optymalne rozwiązanie zadania, przyjmuje się przybliżenie dyskretne możliwie najbliższe rozwiązaniu ciągłego.

Jakościowo innym rodzajem zmiennych decyzyjnych są zmienne będące funkcjami czasu. Zadania optymalizacji w których występują sterowane w czasie zmienne decyzyjne, zwane też sterowaniami, należą do grupy zadań teorii sterowania optymalnego [1]. W niniejszej pracy rozważa się zadania optymalizacji typu stacjonarnego, a więc takie zadania których elementy składowe nie zależą od czasu.

Oprócz zmiennych decyzyjnych typu ciągłego \bar{X}_c i dyskretnego \bar{X}_d występuje w zadaniu optymalizacji wektor parametrów \bar{p} , który tworzą wielkości konstrukcyjne o stałej wartości w procedurze optymalizacji. Mogą to być stałe materialne, długości prętów, rozmieszczenie węzłów wymiary przekrojów prętów, itp.

W większości opracowań dotyczących optymalizacji konstrukcji ramowych za zmienne decyzyjne przyjmowano pola przekrojów prętów: [9], [14], [20], [29], [33], [61], [83]. W niektórych pracach np. Ghista D.N. [26], zakładając hipotezę pełnego wyężenia poszukiwano optymalny rozkład masy prętów konstrukcji, który prowadził do ramy optymalnej o zmiennych polach przekrojów prętów. Taki wybór zmiennych decyzyjnych jest zalecany wtedy gdy znaczne rozmiary konstrukcji lub ograniczenie wysokości ustrojowej uzasadniają stosowanie elementów o zmiennych przekrojach wzdłuż długości prętów.

Podobne sformułowanie zagadnienia optymalizacji ram występuje w pracach [13], [43], [63].

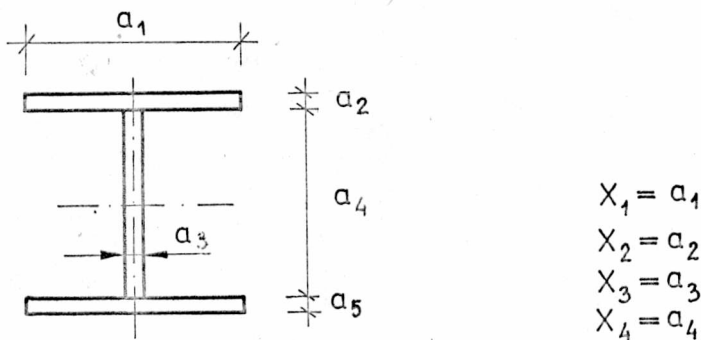
W zadaniu optymalizacji ram zmiennymi decyzyjnymi mogą być również wielkości opisujące geometrię ramownicy przy zadanej liczbie węzłów oraz określenie miejsc przyłożenia obciążeń zewnętrznych. W tym przypadku poszukiwany jest optymalny układ prętów konstrukcji.

Tak sformułowane zadanie rozwiązano dla konstrukcji kratowych między innymi w pracach [38], [70], [74], [86]. Przy pewnych założeniach upraszczających dotyczących obszaru rozwiązań dopuszczalnych powyższe zagadnienie rozwiązano dla ram w pracy [69].

Ponieważ w praktycznych realizacjach konstrukcji ramowych spotyka się przede wszystkim pręty pryzmatyczne o stałych lub co najwyżej skokowo zmiennych przekrojach, toteż określenie zmiennych decyzyjnych konstrukcji przy pominięciu ciągłej zmiany przekroju na długości pręta, jest jak najbardziej wskazane.

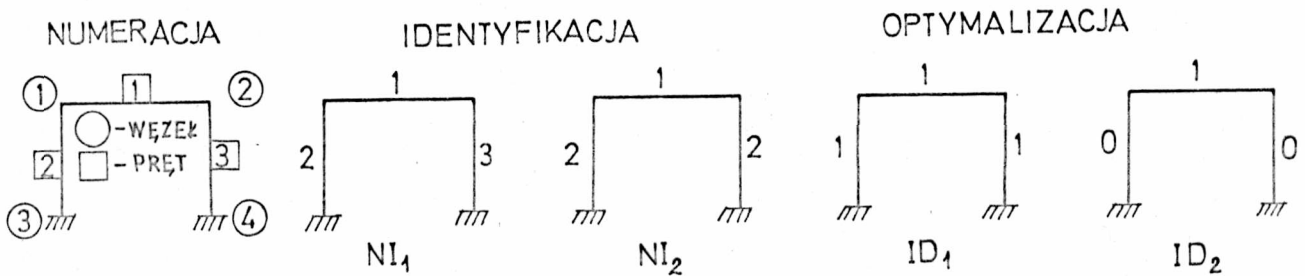
W niniejszej pracy za zmienne decyzyjne zadania optymalizacji ram przyjęto wielkości opisujące wymiary poprzecznych przekrojów pręta.

Rozważono przekroje równoległościenne, dwuteowe, bisymetryczne i symetryczne, wykonane ze spawanych, stalowych blachownic. Na rys. 8 przedstawiono wielkości przekroju dwuteowego bisymetrycznego, które mogą być zmiennymi decyzyjnymi.



Rys. 8

W modelu konstrukcyjnym ramy założono, że pewne grupy prętów mogą mieć identyczne pola przekrojów. Parametrem różniącym pręty z uwagi na przekroje jest wskaźnik identyfikacji NI. Podobnie przyjęto, że optymalizacji nie muszą podlegać wszystkie pręty. Liczbą prętów optymalizowanych LPØ określa wskaźnik optymalizacji ID. Na rysunku 9 zilustrowano dwa sposoby identyfikacji prętów ramy portalowej oraz dwa sposoby numeracji prętów optymalizowanych.



Rys. 9.

W drugim sposobie identyfikacji pręty [2] i [3] mają te same pola przekrojów, a przy wyborze drugiego sposobu optymalizacji ID_2 nie podlegają one optymalizacji i wymiary ich przekrojów traktowane są jako parametry.

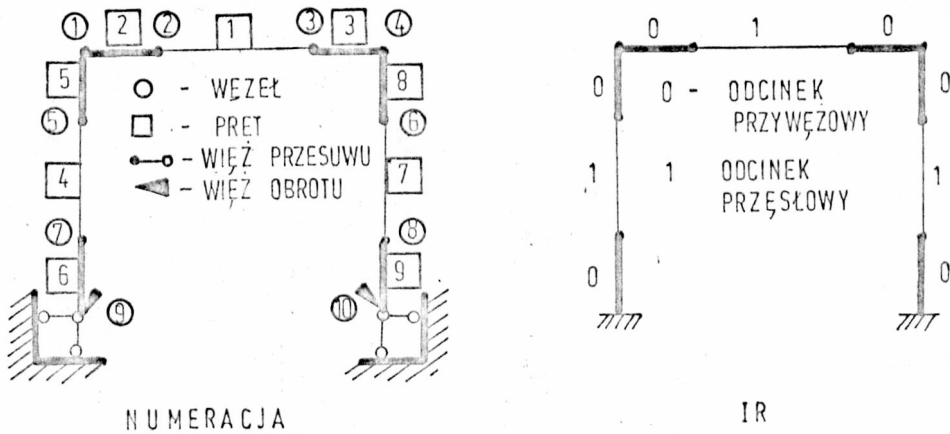
W celu zbliżenia zadania optymalizacji ram do rzeczywistych sposobów realizacji konstrukcji, wprowadzono przywęzłowe elementy sztywne o większych przekrojach poprzecznych niż odpowiadające im elementy przęsłowe (rys. 10). Wskaźnikiem różniącym pręty na przęsłowe i przywęzłowe jest IR . Odcinki przywęzłowe mają ten sam typ przekroju co odpowiadające im odcinki przęsłowe. Oznaczając przez \bar{a}_w wektor wymiarów przekrojów przywęzłowego oraz przez \bar{a}_p wektor wymiarów przekroju przęsłowego danego pręta ramy, podobieństwo obu przekrojów zapisano w postaci:

$$\bar{a}_w^i = \bar{F}_w^i * \bar{a}_p^i, \quad i=1, \dots, ITP \quad (46)$$

gdzie składowe \bar{F}_w^i są stałymi co najmniej równymi jedności,

$$\bar{a}_w = [a_w^1, a_w^2, \dots, a_w^{ITP}]^T, \quad \bar{a}_p = [a_p^1, a_p^2, \dots, a_p^{ITP}]^T$$

natomiast ITP jest liczbą wymiarów przywęzłowych.



Rys. 10.

Odcinki przywęzłowe będące sztywnymi długościami d_1 i d_2 , rys. 11, uwzględniający wpływ geometrycznych wymiarów węzłów i ich tarczowej współpracy. Długości d_1 oraz d_2 wyliczone są ze wzoru [53]:

$$d = a - 0.1 \cdot h - 0.15 \cdot h_{\max} + \Delta \quad (47)$$

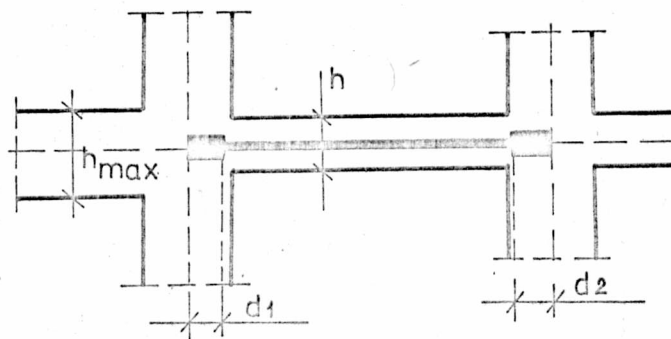
gdzie:

- d - długość odcinka przywęzłowego / d_1 lub d_2 /,
- h - wysokość przekroju pręta,
- h_{\max} - największa wysokość przekrojów prętów zbiegających się w rozpatrywanym węźle,
- Δ - parametr zależny od skosów.

W tabeli 1 podano wartości parametru Δ przyjmowane do obliczeń.

Tabela 1.

	<p>brak skosu $\Delta = 0$</p>
	<p>skos jednostronny $\Delta = 0,565 \sqrt{b \cdot c}$</p>
	<p>skos dwustronny $\Delta = 0,634 \sqrt{b \cdot c}$</p>
	<p>skos rozwarty $\Delta = C$</p>



Rys. 11 Węzeł rzeczywistej ramy oraz długości elementów sztywnych w schemacie zastępczym węzła.

Do określenia które z wymiarów pola przekroju pręta mają być zmiennymi decyzyjnymi lub parametrami, służy macierz XZMD(*;*) wymiaru LPO x ITP. Na przykład dla ramy z rys. 9 o identyfikacji NI₂ oraz sposobie optymalizacji prętów ID₁, macierz XZMD(*;*) może mieć postać:

$$\text{XZMD} = \begin{matrix} & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} & & & \end{matrix} \quad \begin{matrix} 1 - \text{zmienna decyzyjna} \\ 0 - \text{parametr} \end{matrix}$$

Oznacza to, że optymalizacji podlega grubość środnika i długość górnej półki prętów numer 2, 3 oraz wysokość środnika i grubość górnej półki pręta numer 1.

Przez \bar{X}_s oznaczono początkowy wektor wymiarów przekrojów prętów, który ma postać:

$$\bar{X}_s = [\bar{X}_{s_1}, \bar{X}_{s_2}, \dots, X_{s_{LP}}]^T \quad (48)$$

gdzie \bar{X}_{s_i} jest wektorem wymiarów przekroju i-pręta:

$$\bar{X}_{s_i} = [a_1^i, a_2^i, \dots, a_{IPT}^i]^T \quad (49)$$

W celu uporządkowania wektora \bar{X}_s tak aby dokładnie NV pierwszych jego składowych oznaczało zmienne decyzyjne, wprowadzono macierz permutacji B budowanej na bazie macierzy XZMD(*,*) , która spełnia wymagane przekształcenie:

$$B \cdot \bar{X}_s = \begin{bmatrix} \bar{X} \\ p \end{bmatrix} \quad (50)$$

W ten sposób, dalej w zadaniu optymalizacji, a szczególnie w metodach numerycznych rozwiązania, zmianom podlega tylko właściwy wektor zmiennych decyzyjnych \bar{X} nie zaś cały wektor \bar{X}_s .

Dla przedstawionego sposobu wyboru zmiennych decyzyjnych, liczba zmiennych składników wektora wymiarów przekrojów prętów \bar{X}_s zależy od:

- sposobu identyfikacji prętów,
- liczby LPO optymalizowanych prętów,

- liczby ITX zmiennych wymiarów przekrojów prętów.

Jeśli liczba ITX jest mniejsza od liczby LPO wymiarów przekroju, to wówczas, wykorzystując (40) pole przekroju pręta można zapisać w postaci:

$$A_i(\bar{x}) = \frac{1}{2} \cdot \bar{x}_i^T \cdot A_{i2} \cdot \bar{x}_i + \bar{x}_i^T \cdot \bar{A}_{i3} + A_{i0} \quad (51)$$

gdzie: \bar{x}_i są zmiennymi decyzyjnymi, A_{i2} - macierzą stałych współczynników o wymiarze $ITX \times ITX$, \bar{A}_{i3} - wektorem, A_{i0} - skalarem dla i -tego pręta.

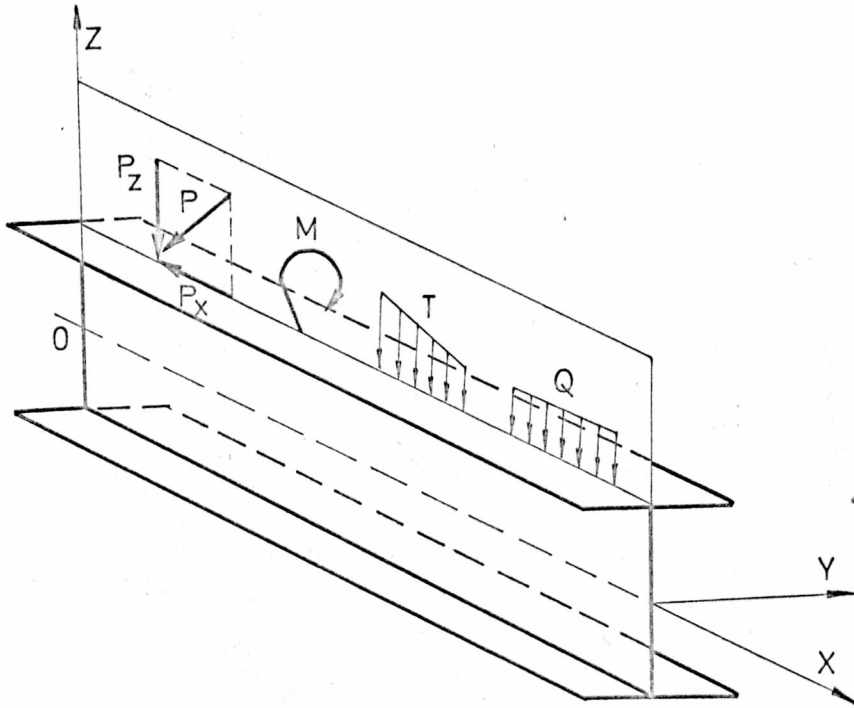
5.2.2 Układy obciążeń działające na konstrukcję ramy.

W modelu matematycznym zadanie optymalizacji ram pominięto charakterystyki probabilistyczne obciążeń zewnętrznych, traktując je jako zwykłe reprezentacje skalarne wektora sił. Przyjęto, że rozpatrywane obciążenia mają charakter statyczny. Rozważono następujące rodzaje obciążeń zewnętrznych:

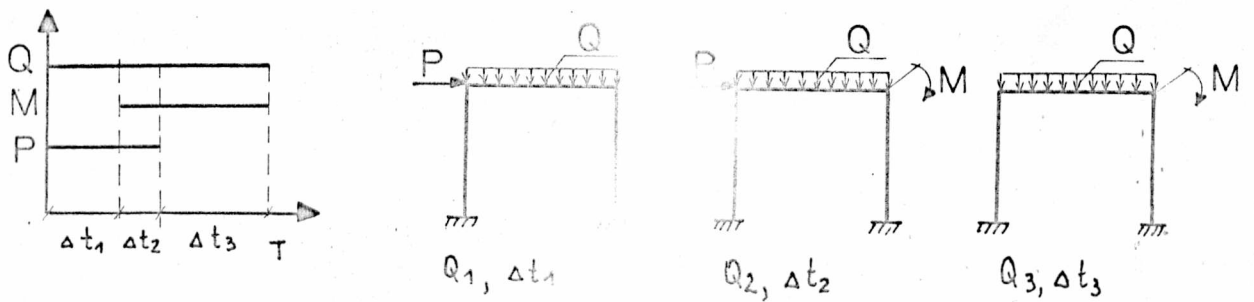
- momenty i siły skupione działające w węzłach i na długości prętów,
- obciążenia ciągłe rozmieszczone w sposób równomierny lub trapezowy na długości pręta,
- obciążenia termiczne w postaci równomiernego rozkładu temperatury na pręcie.

Założono ponadto, że obciążenia zewnętrzne prętów działają w jednej płaszczyźnie symetrii przekroju pręta, co przedstawiono schematycznie na rys. 12.

Wszystkie wymienione rodzaje obciążeń, działają na konstrukcję ramy w zadanym okresie eksploatacji \mathcal{T} i tworzą zbiór obciążeń $Q_{\mathcal{T}}$ konstrukcji. Okres eksploatacji \mathcal{T} podzielono na takie rozłączne przedziały Δt_i aby występowała w nich stała liczba rodzajów obciążeń ze zbioru $Q_{\mathcal{T}}$, działających na konstrukcję jednocześnie przez okres czasu Δt_i . Na rysunku 13 przedstawiono wykres działania na konstrukcję ramy, trzech obciążeń zewnętrznych o różnym okresie występowania wraz z wydzieleniem układów obciążeń.



Rys. 12 Obciążenie zewnętrzne pręta działające w płaszczyźnie symetrii przekroju pręta dwuteowego.



Rys. 13.

Układy obciążeń Q_j , działające niezależnie w sensie czasu występowania, generują wektor uogólnionych sił zewnętrznych \bar{F}_j , który zgodnie z równaniami (14), (15) ma postać:

$$\bar{F}_j = \bar{F}_j^W - H \cdot R \cdot \bar{F}_j^{LPT} \quad (52)$$

Wektory \bar{F}_j tworzą układ niezależny zatem równanie analizy statycznej (a więc równania (38)) są układem niezależnym.

W procesie projektowania optymalnego rozważa się skończoną liczbę układów obciążeń.

5.2.3. Określenie funkcji celu.

Najważniejszym elementem zadania optymalizacji jest wybór funkcji celu zwanej też kryterium optymalizacji. Przez funkcję celu przyjęto nazywać określoną zależność funkcjonalną zmiennych decyzyjnych i parametrów, która opisuje pożądaną własność konstrukcji. W pracach z zakresu optymalizacji konstrukcji pretowych używane są najczęściej kryteria:

- 1^o minimum kosztu np. [67],
- 2^o minimum objętości np. [13],
- 3^o minimum ciężaru np. [14], [31], [85].

Dla bezpośrednich zastosowań praktycznych najbardziej adekwatne są rezultaty uzyskane przy kryterium kosztowym. Tym niemniej w zadaniach optymalizacji stalowych konstrukcji ramowych, a więc konstrukcji z materiałów jednorodnych, równie miarodajne wyniki otrzymuje się przy stosowaniu kryterium minimum objętości lub ciężaru konstrukcji.

Powyższe kryteria mają największe znaczenie w bezpośrednim zastosowaniu do praktycznych problemów projektowych. Należy jednak podkreślić, że w zadaniach optymalizacji o charakterze poznawczym istotną rolę odgrywają inne kryteria takie jak np.: minimum kwadratu ugięcia [76] czy minimum potencjału sprężystego [11]. Bardzo obszerne omówienie różnych stosowanych kryteriów optymalizacji przedstawiono w pracach pod redakcją A. M. Brandta [4], [5] jak też w ostatnich pracach innych autorów np.: [72][87].

W niniejszej pracy, w zadaniu optymalizacji ram stalowych poddanych działaniu wielu układów obciążeń, jako funkcję celu rozważono ciężar konstrukcji, a mianowicie:

$$\Phi(\bar{x}) = \sum_{i=1}^{LP} \rho_i \cdot A_i(\bar{x}) \cdot L_i \quad (53)$$

Po uwzględnieniu sposobu określenia wektora zmiennych decyzyjnych oraz warunków (51), (52) funkcję celu zapisano w postaci formy kwadratowej:

$$\Phi(\bar{x}) = \frac{1}{2} \cdot \bar{x}^T \cdot A_1 \cdot \bar{x} + \bar{x}^T \cdot \bar{A}_2 + A_3 \quad (54)$$

gdzie macierz A_1 , wektor \bar{A}_2 oraz skalar A_3 zależy od ciężaru właściwego pręta ρ_i , pola przekroju $A_i(\bar{x})$, długości pręta L_i i wektora parametrów \bar{p} .

5.2.4. Obszar rozwiązań dopuszczalnych.

W przyjętym modelu matematycznym zadania optymalizacji ram. obszar rozwiązań dopuszczalnych określony ogólnymi warunkami (41), (42), tworzą więzy nałożone bezpośrednio na zmienne decyzyjne reprezentowane przez dolne i górne ograniczenia, o postaci:

$$a_i \leq x_i \leq b_i, \quad i=1, \dots, NV, \quad (55)$$

oraz więzy pośrednie w postaci zależności funkcyjnych. Te ostatnie stanowią najważniejszą klasę warunków ograniczających zmienne decyzyjne. Dotyczą one zależności wytrzymałościowych, stateczności lokalnej i przemieszczeń.

Wśród więzów przemieszczeń rozważono dwa rodzaje ograniczeń. Pierwsze odnoszą się do ograniczeń poziomych przemieszczeń więzłów (z wyłączeniem węzłów podporowych) i są postaci:

$$v_{xi} \leq v_{dop}, \quad i=1, \dots, LW - LWP, \quad (56)$$

gdzie $v_{dop} = h/500$, przy czym h - oznacza wysokość konstrukcji od stopy dolnego słupa.

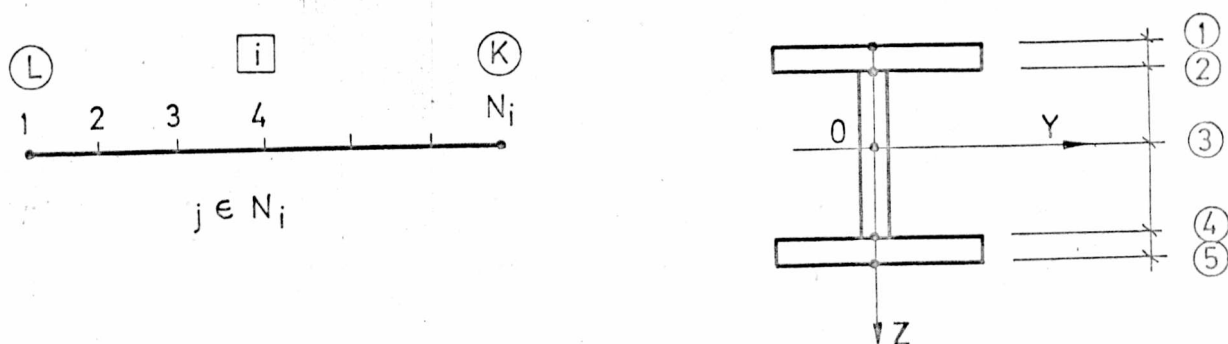
Drugie dotyczą ograniczeń pionowych ugięć prętów, co zapisano:

$$u_i \leq u_{dop}, \quad i=1, \dots, LP, \quad (57)$$

gdzie u_f oznacza maksymalne ugięcie i -tego pręta, u_{dop} wartość przyjętą zgodnie z normą [57].

Postacie wzorów naprężeń, przedstawione poniżej oraz ich ograniczenia, określono według normy PN-76/B-03200, komentarza do tej normy oraz podstawowych rozważań wytrzymałościowych.

Wszystkie naprężenia wyznaczone są w różnych punktach przekrojów pręta, których liczba zależy od układu obciążeń na pręcie i typu przekroju. Dla ramy płaskiej punkty obliczenia naprężeń na długości pręta oraz w jego przekroju, przedstawiono na rys. 14.



Rys. 14.

Zbiór N_i jest określany przez punkty charakterystyczne przyłożenia obciążeń zewnętrznych na pręcie oraz przez zadaną liczbę wyznaczającą gęstość przeszukiwania pręta. Zbiór T_i określony jest przez punkty charakterystyczne odnoszące się do miejsc zmian przekroju pręta (to jest np. punktów ② i ④), największych naprężeń normalnych (punkty ①, ⑤), oraz stycznych w środku ścinania (punkt ③).

Funkcje naprężeń stycznych i normalnych, dla określonego przekroju pręta, zapisano w ogólnej postaci:

$$\tau = \alpha_y \cdot \frac{F_y \cdot S_y}{I_z \cdot y} + \alpha_z \cdot \frac{F_z \cdot S_z}{I_y \cdot z} + \alpha_s \cdot \frac{M_s \cdot \delta_s}{I_s}, \quad (58)$$

$$\sigma = \beta_x \cdot \frac{F_x}{A} + \beta_z \cdot \frac{M_z \cdot Y}{I_z} + \beta_y \cdot \frac{M_y \cdot Z}{I_y} + \beta_w \cdot \frac{B_w}{I_w}, \quad (59)$$

gdzie $F = [F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z, B_w]^T$ jest wektorem sił wewnętrznych w rozważanym przekroju, natomiast wielkości $\alpha_y, \alpha_z, \alpha_s, \beta_x, \beta_z, \beta_y$ i β_w przyjmują wartości $-1, 0, 1$.

W zależności od znaku siły podłużnej występują dwa podstawowe stany pracy pręta, to jest rozciąganie oraz ściskanie. Pręt uważany jest za rozciągany osiowo, wtedy gdy wypadkowa sił rozciągających działa wzdłuż osi pręta. Zatem, wobec założeń odnośnie obciążeń zewnętrznych oraz przyjętego wektora sił wewnętrznych \bar{F}^{LPT} w lokalnym układzie współrzędnych spełnienie

warunku:

$$F_1 \leq 0 \quad , \quad (60)$$

stanowi o rozciąganiu pręta. Ograniczenie naprężeń normalnych przyjmuje wtedy postać:

$$\sigma = \beta_x \frac{F_x}{A} + \beta_z \frac{M_z \cdot Y}{I_z} + \beta_y \frac{M_z \cdot Y}{I_y} \leq 1.1 R_{\sigma} \quad , \quad (61)$$

przy czym:

$$\sigma = \frac{F_x}{A} + y \frac{M_y \cdot Z}{I_y} \leq n \cdot R \quad , \quad (62)$$

$$\sigma = \frac{F_x}{A} + z \frac{M_z \cdot Y}{I_z} \leq n \cdot R \quad , \quad (63)$$

gdzie R_{σ} jest wytrzymałością obliczeniową stali, $\beta = 1$ oraz $n=1$. Ostatni składnik wzoru (61) pomija się gdy $\frac{B \cdot w}{I_w} \leq 0,05 R_{\sigma}$.

Gdy warunek (61) nie jest spełniony, to pręt jest ściskany i następuje obliczenie naprężeń z uwagi na wytrzymałość, wyboczenie oraz stateczność miejscową ścianek przekroju. Przed obliczaniem odpowiednich naprężeń sprawdzone jest ograniczenie smukłości $\bar{\lambda}$:

$$\bar{\lambda} \leq 250 \quad , \quad (64)$$

przez którą rozumie się największą ze smukłości wyboczenia giętnego λ_y , λ_z i giętno-skrętnego (w szczególnym przypadku skrętnego), λ_i czyli:

$$\bar{\lambda} = \max \{ \lambda_y, \lambda_z, \lambda_i \} \quad , \quad (65)$$

Długości wyboczeniowe L_{wz} , L_{wy} występujące we wzorach:

$$\lambda_y = \frac{L_{wy}}{i_y} \quad , \quad \lambda_z = \frac{L_{wz}}{i_z} \quad , \quad (66)$$

określone są przez projektanta.

Dla rozpatrywanego przekroju pręta, smukłość giętno-skrętna λ_i określono tak, jak w pracy [36] wzorem:

$$\lambda_i = \frac{\lambda_y}{\sqrt{\psi_2}} \quad , \quad (67)$$

gdzie wielkość ψ_2 wyznaczona jest przez następujące wyrażenie:

$$\psi_2 = \frac{1 + \Lambda_3 - (1 - \Lambda_3)^2 + \Lambda_4}{2 \cdot (\Lambda_3 - \Lambda_4)} \quad , \quad (68)$$

przy czym:

$$\Lambda_3 = \frac{A \cdot e_y (R_x - 2 \cdot Y_s) + I_{os}}{\alpha \cdot I_{os}} \quad , \quad \Lambda_4 = \frac{4 \cdot \lambda \cdot (e_y - Y_s)^2}{\alpha \cdot I_{os}} \quad , \quad (69)$$

$$e_y = \frac{M}{F_1} \quad . \quad (70)$$

Parametr α jest postaci:

$$\alpha = \frac{\lambda_y^2 \cdot (0.039 \cdot I_s + I_w / (L_s)^2)}{I_{os}} \quad . \quad (71)$$

Wielkość ψ_2 wyrażona wzorem (68), daje zawsze wartość siły krytycznej wyboczenia giętno-skrętnego, określonej równaniem:

$$P_w = \psi_2 \cdot P_y \quad , \quad (72)$$

mniejszą lub co najwyżej równą sile eulerowskiej wyboczenia giętnego w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny symetrii.

Zachodzi bowiem nierówność:

$$0 \leq \psi_2 \leq 1 \quad (73)$$

Ostatecznie, porównując (67) i (73) otrzymuje się, że zawsze będzie $\lambda_i \geq \lambda_y$, a zatem w algorytmie obliczeń wystarczy wybrać większą spośród smukłości λ_z oraz λ_s .

Sposób obliczeń współczynnika λ_i , przedstawiony w [36] i wykorzystany w niniejszej pracy, jest mniej pracochłonny i bardziej przejrzysty niż aktualnie obowiązujący w projektowaniu według normy [57].

Dla określonej smukłości $\bar{\lambda}$ oraz spełnionego warunku (64) oblicza się naprężenia w pręcie z uwagi na ściskanie ze zginaniem, których postać i ograniczenia prezentują warunki (61), (62), (63), przy czym $n = 1.05$ oraz $\beta = -1$.

Kolejnym rodzajem naprężeń są naprężenia obliczane z uwagi na wyboczenie giętne ze zginaniem oraz giętno-skrętne. Wyznaczane one są według równania (59) z tym, że pierwszy składnik naprężenia ma teraz postać znanego wzoru Jasińskiego $\frac{F \cdot x \cdot m_w}{A}$.

Zgodnie z normą [57] m_w jest współczynnikiem wyboczeniowym, który zależy od smukłości względnej $\tilde{\lambda} = \bar{\lambda} / \lambda_p$,

przy czym $\bar{\lambda}$ jest określone warunkiem (65), natomiast $\lambda_p = 5250 / \sqrt{R_G}$.

Drugi składnik wzoru (59), przyjmie postać $\beta \cdot \frac{M_z \cdot Y \cdot \gamma}{I_z}$, gdzie parametr γ jest określony:

$$\gamma = \frac{A_M}{1 - F_x / P_x} \quad (74)$$

przy czym A_M jest współczynnikiem poprawkowym, zależnym od wykresów momentów zginających działających w pręcie [58].

Ostatecznie dla pasa górnego ściskanego przekroju dwuteowego, ograniczenie naprężenia wyboczenia giętnego i giętno-skrętnego przyjmie postać:

$$\sigma = \frac{F_z}{A} m_w + \frac{M_y \cdot Z}{I_y} + \frac{M_z \cdot Y}{I_z} \ll 1.1 R_{\sigma} \quad (75)$$

Jeśli drugi lub trzeci składnik jest mniejszy od $0.06 R_{\sigma}$, to się go pomija, stosując w nierówności (75) ograniczenie $1.05 R_{\sigma}$, natomiast gdy ich suma jest mniejsza od $0.05 R_{\sigma}$, to po ich pominięciu we wzorze (75), przyjmuje się ograniczenie R_{σ} .

Dla pasa dolnego rozciąganego sprawdzenie ograniczenia naprężenia normalnego przebiega według warunku [6]:

$$\sigma = C \cdot \frac{F_1}{A} + \frac{M_y \cdot Z}{I_y} + \frac{M_z \cdot Y}{I_z} \ll 1.1 R_{\sigma} \quad (76)$$

gdzie $C = 1 - 1.8(\lambda_y/100)^2$. Uwagi odnośnie wartości pierwszego i drugiego składnika wzoru (76) są te same jak wyżej.

W przypadku gdy pierwszy składnik naprężenia (59) jest co do modułu mniejszy niż $\phi \cdot \phi_1$, wówczas w ograniczeniach (61), (62) i (63) jest on pomijany, przy czym $n=1$. Istnieje wtedy możliwość utraty płaskiej postaci zginania, którą należy sprawdzać według wzoru:

$$\sigma = \frac{M_y \cdot Z}{I_y} \cdot m_z + \frac{M_z \cdot Y}{I_z} \ll 1.1 R_{\sigma} \quad (77)$$

gdzie m_z jest współczynnikiem zwichrzenia. W celu pominięcia przypadku zwichrzenia wprowadzono następujące ograniczenia wynikające z interpolacji tabeli 11 normy [57], (oznaczenia z rys. 8):

$$2 \ll b \ll 6 \quad (78)$$

$$a_1 \ll \frac{1}{(0.125 \cdot b^2 - 1.75 \cdot b + 21) \cdot d} \quad (79)$$

gdzie $b=a_4/a_1$ oraz $d=1$ dla stali St3 i $d=2200/R_{\sigma}$ dla pozostałych gatunków stali.

Ponieważ rozpatruje się przekroje dwuteowe, zatem w miejscach przejścia od środника do pólki przeprowadza się obliczanie naprężeń według hipotezy największej energii odkształcenia postaciowego:

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq 1.1 R_{\sigma} \quad (80)$$

Dalszą okolicznością uzasadniająca zastosowanie ograniczenia (80) jest, dla przyjętych układów obciążeń, możliwość jednoczesnego osiągnięcia maksymalnych wartości przez moment zginający i siłę poprzeczną w tym samym przekroju pręta. Położenie tego punktu na pręcie jest określane podczas przeszukiwania zdefiniowanego wcześniej zbioru punktów N_i .

Ostatnim rodzajem więzów nałożonych na zmienne decyzyjne są ograniczenia wynikające z warunków stateczności lokalnej ścianek przekroju pręta. W przypadku pólki przekroju dwuteowego zakłada się spełnienie warunku:

$$a_1 \leq a_2 \cdot \xi \cdot \sqrt{2200/R_{\sigma}} \quad (81)$$

gdzie ξ określone jest według normy [58]. Gdy zależność (81) nie jest spełniona, to przyjmuje się górną wartość ograniczenia, to jest:

$$a_1 = a_2 \cdot \sqrt{2200/R_{\sigma}} \quad (82)$$

Dla środnika nie sprawdza się stateczności miejscowej, gdy:

$$a_4 \leq a_3 \cdot \sqrt{2200/R_{\sigma}} \quad (83)$$

Jeśli ograniczenie (83) nie jest spełnione, to wówczas obliczenia naprężeń na stateczność lokalną środnika przeprowadza się według wzoru:

$$\sigma_z = \xi_1 \cdot m_{sn} \cdot \sigma + \sqrt{(1 - \xi_1)^2 \cdot (m_{sn} \cdot \sigma)^2 + 3 \cdot (m_{st} \cdot \tau)^2} \leq R_{\sigma} \quad (84)$$

gdzie współczynniki ξ_1 , m_{sn} , m_{st} określa norma [57].

Wprowadzono przy tym ograniczenie na minimalny rozstaw żeber a_z pręta w postaci:

$$a_z \gg 2.5 \cdot a_4 \quad (85)$$

Wszystkie wymienione wyżej postacie ograniczeń wytrzymałościowych unormowano dzieląc nierówności obustronnie przez ich prawe strony, czyli:

$$\zeta(i, j, t, N, \bar{x}) = \frac{f_{\zeta, \tau}}{n \cdot R_{\zeta}}, \quad i=1, \dots, LP \quad (86)$$

gdzie $f_{\zeta, \tau}$ jedna z funkcji naprężeń normalnych stycznych, zastępczych ζ_z , wybożeniowych lub stateczności lokalnej, $t \in T_i$ oznacza punkt przekroju, $j \in Ni$ jest punktem na długości i -tego pręta. Wprowadzając oznaczenia:

$$Q_g = \{ \bar{x} \in E^N : \bar{a} \leq \bar{x} \leq \bar{b} \}, \quad Q_p = \{ \bar{x} \in E^N : \bar{v} \leq v_d, \bar{u} \leq u_d \},$$

$$Q_w(i, j, t, r, \bar{x}) = \{ \bar{x} \in E^N : |\zeta(i, j, t, v, \bar{x})| \leq 1 \} \quad (87)$$

Zbiór rozwiązań dopuszczalnych zadania optymalizacji ram G , przy jednym układzie obciążeń, jest postaci:

$$G = Q_g \cap Q_w \cap Q_p, \quad (88)$$

przy czym:

$$Q_w = Q_w(\bar{x}) = \bigcap_{i=1}^{LP} \bigcap_{j \in Ni} \bigcap_{t \in T_i} \bigcap_{r \in R_i} Q_w(i, j, t, r, \bar{x}) \quad (89)$$

Jeśli rozważa się skończoną liczbę LSB układów obciążeń, wówczas z równania analizy statycznej (14) otrzyma się LSB wektorów \bar{v} przemieszczeń węzłów a więc i LSB wektorów \bar{F}^{LPT} sił wewnętrznych w prętach, co ostatecznie zwiększa LSB razy liczbę wszystkich typów ograniczeń. Dla l -tego układu obciążeń zbiór rozwiązań dopuszczalnych $G(l)$ jest więc postaci:

$$G(l) = Q_g(l) \cap Q_w(l) \cap Q_p(l), \quad (90)$$

$$Q_g(l) = Q_g, \quad Q_p(l) = \{ \bar{x} \in E^N: \bar{v}(l) \leq \bar{v}_d, U_f(l) \leq U_{dop} \}, \quad (91)$$

oraz

$$Q_w(l) = \bigcap_{L=1}^{LP} \bigcap_{i \in N_i} \bigcap_{j \in J_i} \bigcap_{r \in R_i} Q_w(l, i, j, t, r, \bar{x}). \quad (92)$$

Zatem w rozpatrywanym modelu matematycznym optymalizacji ram poddanych działaniu wielu układów obciążeń, zbiór rozwiązań dopuszczalnych G^L ma ostatecznie postać:

$$G^L = \bigcap_{l=1}^{LSB} G(l). \quad (93)$$

Stąd otrzymuje się, że aby model matematyczny optymalizacji był poprawnie określony, to obszary dopuszczalne $G(l)$, dla każdego z układów obciążeń, muszą być nawzajem nierozłączne.

5.2.5. Sformułowanie zadania optymalizacji ram poddanych działaniu wielu układów obciążeń.

Dla określonego obszaru rozwiązań dopuszczalnych G^L , przyjętej reguły wyboru zmiennych decyzyjnych oraz zdefiniowanej funkcji celu /punkt 5.2/ problem optymalizacji ram poddanych działaniu wielu układów obciążeń, zdefiniowano w postaci:

Zadanie I : Znaleźć wektor zmiennych decyzyjnych \bar{x}^x w obszarze dopuszczalnym G^L , taki który minimalizowałby funkcję celu $\Phi(\bar{x})$, to jest:

$$\Phi(\bar{x}, \bar{p}) = \min_{\bar{x} \in G^L} \Phi(\bar{x}, \bar{p}) \quad (94)$$

W tak sformułowanym zadaniu występuje znaczna liczba ograniczeń zmiennych decyzyjnych biorących bezpośrednio udział w procedurze optymalizacji. Liczbę tych równań zmniejszono przez wybranie dla wszystkich układów obciążeń najniekorzystniejszych warunków wytrzymałościowych i przemieszczeń. Wprowadzono oznaczenia:

$$\bar{v}(i, \bar{x}) = \max_{l=1, LSB} \max_{j \in N_i} \max_{t \in T_i} \max_{r \in R_i} | \bar{v}(l, i, j, t, r, \bar{x}) | \quad (95)$$

$K=1, \dots, LW-LWP, \quad i=1, LP$

$$V_k(\bar{x}) = \max_{l=1, LSB} | V_K(l, \bar{x}) |, \quad U_{fi}(\bar{x}) = \max_{l=1, LSB} | U_{fi}(l, \bar{x}) | \quad (96)$$

Podobnie jak poprzednio definiuje się zbiory $Q_w^*(\bar{x}), Q_p^*(\bar{x})$:

$$Q_w^* = Q_w^*(\bar{x}) = \sum_{i=1}^{LP} Q_w^*(i, \bar{x}) \quad (97)$$

gdzie:

$$Q_w^*(i, \bar{x}) = \{ \bar{x} \in E^N : \bar{v}(i, \bar{x}) \leq 1, \quad i=1, LP \}, \quad (98)$$

$$Q_p^*(\bar{x}) = \{ \bar{x} \in E^N : \bar{v}(\bar{x}) \leq \bar{v}_{dop}, \quad U_f \leq U_{dop} \}, \quad (99)$$

przy czym składowe wektorów $\bar{v}(\bar{x})$ i U_f określa warunek (96).

Dla nowego obszaru rozwiązań dopuszczalnych G^* :

$$G^* = Q_g \cap Q_w \cap Q_p \quad (100)$$

sformułowano problem optymalizacji ram stalowych poddanych działaniem

zaniu wielu układów obciążeń, postaci:

Zadanie II: Wyznaczyć $\bar{x}^{xx} \in G^x$ taki, że

$$\Phi(\bar{x}^{xx}, \bar{p}) = \min_{\bar{x} \in G^x} \Phi(\bar{x}, \bar{p}) \quad (101)$$

Z uwagi na postać warunków ograniczających obszaru dopuszczalnego w postaci nierówności słabych oraz ograniczenia geometryczne otrzymuje się, że zbiór G^x jest obszarem domkniętym i ograniczonym w przestrzeni euklidesowej E^N . Ponadto wektor zerowy $\bar{0}$ nie należy do zbioru G^x . Ponieważ przyjęta w pracy funkcja celu jest wypukła zatem prawdziwe jest stwierdzenie:

Jeśli istnieje rozwiązanie optymalne o charakterze globalnym dla Zadania II optymalizacji ram, to należy ono do hiperpowierzchni zbioru ograniczeń.

*** Aby wykazać to stwierdzenie należy wprawdzie zauważyć, że minimum globalne \bar{x}^x funkcji celu zadanie II, wobec ograniczeń geometrycznych, nie należy do zbioru dopuszczalnego G^x . Należy więc wykazać warunek, że jeśli $\Phi(\bar{x}^0) = \min \Phi(\bar{x})$ to $\bar{x}^0 \in \partial G^x$.

Założmy więc, że istnieje $\bar{x}^0 \in G^x$ takie, że $\Phi(\bar{x}^0) = \min \Phi(\bar{x})$. Przypuśćmy nie wprost, że $\bar{x}^0 \notin \partial G^x$ czyli $\bar{x}^0 \in \text{INT } G^x$. Wówczas istnieje takie $\epsilon > 0$, że kula o środku \bar{x}^0 i promieniu ϵ zawiera się całkowicie w G^x , czyli:

$$K(\bar{x}^0, \epsilon) \subset G^x \quad \text{oraz} \quad K(\bar{x}^0, \epsilon) \cap G^x = \emptyset \quad (102)$$

Niech \bar{x}^* będzie minimum globalnym funkcji celu, to jest:

$$\Phi(\bar{x}^*) = \min_{\bar{x} \in E^N} \Phi(\bar{x}) \quad (103)$$

Oznaczmy przez \bar{x}^1 punkt przecięcia się prostej przechodzącej przez punkty \bar{x}^* i \bar{x}^0 z brzegiem kuli $K(\bar{x}^0, \epsilon)$, czyli dla $d = \|\bar{x}^1 - \bar{x}^0\|$ oraz $\bar{x}^1 = \alpha \bar{x}^* + (1-\alpha)\bar{x}^0$, gdzie $\alpha = \epsilon/d$.

Ponieważ Φ jest funkcją wypukłą więc:

$$\Phi(\bar{x}^1) \leq \alpha \Phi(\bar{x}^*) + (1-\alpha)\Phi(\bar{x}^0) \quad (104)$$

Zachodzi też związek $\Phi(\bar{x}^0) \leq \Phi(\bar{x}^1)$, co razem z 104 daje, że $\Phi(\bar{x}^1) \leq \Phi(\bar{x}^*)$. Z warunku 103 jest $\Phi(\bar{x}^*) \leq \Phi(\bar{x}^1)$ czyli otrzymuje się, że $\Phi(\bar{x}^1) = \Phi(\bar{x}^*)$, co oznacza, że \bar{x}^1 jest minimum globalnym i $\bar{x}^1 \in G^x$ wbrew założeniu. Tak więc $\bar{x}^0 \in \partial G^x$, gdzie ∂G^x jest hiperpowierzchnią zbioru ograniczeń G^x . **

5.4. Uwagi.

W opisanym modelu matematycznym optymalizacji ram przedstawiono praktyczny sposób określania zmiennych decyzyjnych, zawierający dużą liczbę możliwych wyborów tych zmiennych. Stwarza to dla projektanta szerokie możliwości zarówno w kształtowaniu konstrukcji jak i w ocenie przydatności wybranych zmiennych decyzyjnych.

Poprzez wprowadzenie macierzy permutacji, porządkującej wektor wymiarów przekrojów prętów, rolę projektanta sprowadzono do określenia, które z wymiarów przekroju pręta mają być zmiennymi decyzyjnymi.

W obszarze rozwiązań dopuszczalnych uwzględniono normowe zależności naprężeń, w postaci naprężeń wytrzymałościowych, wyboczenie i stateczności lokalnej / w ogólnej postaci dla pręta cienkościennego/, wyznaczanych w dostatecznej liczbie punktów w przekroju i na długości pręta. Zbliżyło to wydatnie model matematyczny optymalizacji do rzeczywistych warunków pracy konstrukcji. Pominięto przy tym niektóre ograniczenia np. wynikające z naprężeń spawalniczych, które nie pomniejszają ogólności sformułowania zadania. Stosując reguły zbudowanego modelu matematycznych, można bowiem rozszerzyć zbiór rozwiązań dopuszczalnych o dalsze ograniczenia.

Ponieważ połączenia prętów w węzłach powinny być wykonane jak najprościej, tzn. tak aby przebieg linii sił wewnętrznych był możliwie najbardziej płynny, w modelu konstrukcyjnym ramy wyprowadzono odcinki przywęzłowe prętów, które mają wymiary większe niż przekrój przeszłowy danego pręta. Współczynnik zwiększający jest określany przez projektanta i powinien on stanowić o zakładanej sztywności węzła. Warunek ten spełnia m.in. ukosowanie końców prętów. Z punktu widzenia optymalizacji działanie to zwiększa ciężar konstrukcji ale w tym wypadku należy kierować się zasadą aby w węzłach nie dążyć do oszczędności materiałowych. Minimalne bowiem różnice ciężaru konstrukcji uzyskane na tej drodze, mogą być niewspółmierne do szkód jakie może spowodować niewystarczająco mocne połączenie.

6. NUMERYCZNE METODY ROZWIĄZANIA SFORMUŁOWANEGO ZADANIA OPTYMALIZACJI.

6.1. Uzasadnienie wyboru technik programowania nieliniowego.

Jednym z ważniejszych elementów Systemu Optymalizacyjnego, oprócz modelu matematycznego jest procedura rozwiązywania zadania optymalizacji. Ogólne sformułowanie zadania optymalizacji konstrukcji prętowych przedstawiane jest w postaci zadania programowania nieliniowego z ograniczeniami. O sposobie podejścia w rozwiązywaniu, decyduje postać funkcji celu i ograniczeń, przy czym metody rozwiązań można podzielić na metody analityczne oraz numeryczne.

Zastosowanie technik analitycznych, takich jak rachunek wariacyjny, metoda mnożników Lagrange'a /warunki Kuhna-Tuckera/ [90] czy metody teorii sterowania optymalnego [10], jest praktyczne w przypadku prostych konstrukcji prętowych /belka/ ze stosunkowo nielicznymi nieliniowymi ograniczeniami, co przedstawiono między innymi w pracach [1,13,26,46,61,64,82]. W przypadku bardziej złożonych układów prętowych /kraty, ramy/, wyżej wymienione techniki stosuje się przy jednoczesnym uproszczeniu modelu optymalizacji przez kwadratowe [80],[81] lub liniowe [59,62,70] aproksymacje funkcji celu i ograniczeń.

Aby móc rozpatrywać złożone układy prętowe z możliwie dokładnym modelem matematycznym, stosuje się numeryczne techniki rozwiązania.

Często spotyka się zastosowanie metod programowania liniowego [24] co przedstawiono w pracach np: [20,54,67]. Z innych sposobów to programowanie geometryczne [44], dynamiczne [84], metody dekompozycyjne stosowane w przypadku dużej liczby prętów, konstrukcji [33], lub też metody analizy wartości [8].

Metody numeryczne programowania nieliniowego z ograniczeniami [16,21] w zastosowaniu do konstrukcji prętowych, prezentują między innymi prace: [7,19,27,30,56].

Mimo dużej liczby ograniczeń zmiennych decyzyjnych, możliwych do rozważenia w tego typu zadaniach, to algorytmy programowania liniowego, takie jak metoda Sympleks [24], pozwalają

na uwzględnienie znacznie większej liczby ograniczeń. Fakt ten wiąże się przede wszystkim ze zbieżnością metod, a więc i z czasem obliczeń EMC.

Tym niemniej dokładność rozwiązania jest większa w przypadku metod programowania nieliniowego niż metod programowania liniowego.

Większa trudność w zadaniach programowania nieliniowego z ograniczeniami pojawia się przy ocenie otrzymanego rozwiązania i polega ona na określeniu czy znalezione optimum jest lokalne czy też globalne. Problem ten porusza między innymi Heyman J. w pracy [28]. Zagadnienie to w większości numerycznych algorytmów programowania nieliniowego sprowadza się do testowania otrzymanego wyniku, a po spełnieniu odpowiednich warunków stwierdza się, że rozwiązanie jest zadaną dokładnością optymalne w sensie globalnym. Należy podkreślić, że stosując metody analityczne możliwe jest znalezienie dokładnego rozwiązania optymalnego, które w metodach numerycznych osiąga się tylko z pewnym przybliżeniem.

W niniejszej pracy z uwagi na sformułowanie modelu optymalizacji ram poddanych działaniu wielu układów obciążeń, sposób rozwiązania zadania optymalizacji poszukiwano wśród metod numerycznych programowania nieliniowego z ograniczeniami.

Mimo wielu algorytmów przedstawionych w różnych opracowaniach, między innymi w obszernej pracy Findeisena W., Szymanowskiego J., Wierzbickiego A., [20] do tej pory brak jest wyczerpującej klasyfikacji algorytmów oraz obszernej ich oprogramowania.

Wśród mnogości różnych algorytmów można wprowadzić zasadę porządkującą, której celem byłoby:

- 1^o. - ułatwienie wyboru stosowanego algorytmu dla określonego modelu matematycznego optymalizacji,
- 2^o. - wskazanie metod którymi można zbadać własności tego algorytmu.

Większość istniejących klasyfikacji między innymi [8,22,39] połowicznie służy celowi 1^o i praktycznie nie spełnia w ogóle celu 2^o.

Ponadto prawie żadna klasyfikacja nie spełnia ściśle nawet jednego z kryteriów stawianych wszelkim klasyfikacjom naukowym, a mianowicie:

- kryterium podziału według jednej zasady,
- kryterium wyłączości,
- kryterium zupełności.

Pewną znaczącą próbą zbudowania miarodajnej i jednoznacznej klasyfikacji algorytmów, a w szczególności w ocenie efektywności metod programowania nieliniowego z ograniczeniami jest Adaptacyjny System Optymalizacji opracowany przez Golińskiego J. [23].

W niniejszej pracy w związku z przedstawionymi trudnościami w klasyfikacji algorytmów, przy wyborze metod numerycznych programowania nieliniowego z ograniczeniami, kierowano się:

- charakterem określonego zadania optymalizacji /podrozdział 5.2.5/, który z uwagi na wypukłą funkcję celu i domknięty oraz ograniczony zbiór rozwiązań dopuszczalnych określa położenie minimum globalnego na hiperpowierzchni zbioru ograniczeń,
- postulowaną otwartością systemu optymalizacji Ram, która powoduje, że przy zmianie funkcji celu i rozszerzenia zbioru ograniczeń należy dysponować możliwie uniwersalną techniką optymalizacji.

Ostatecznie wybrano dwie techniki optymalizacyjne:

- deterministyczną metodą zewnętrznej funkcji kary z metodą Hooke'a & Jeevse'a minimalizacji wzdłuż kierunku w wersji przedstawionej przez Jendo S. w pracy [30] oraz,
- symultaniczną metodą błędzenia, której pierwotny algorytm przedstawił Goliński J., w pracy [23].

6.2 Symulacyjna metoda błędzenia.

Metoda Błędzenia oparta jest na technice Monte Carlo.

Podstawowym elementem tej metody są losowania kolejnych wartości zmiennych decyzyjnych według generatora liczb losowych o rozkładzie równomiernym na odcinku $[0,1]$. Ponieważ generator realizowany jest programowo, to znaczy określony jest przez zadany ciąg instrukcji, zatem liczby otrzymywane w wyniku jego działania nie mają tego samego losowego charakteru co liczby pochodzące od generatora fizycznego lub z rzutu kostką do gry. Z tego względu liczby te nazwano liczbami pseudolosowymi.

Dla sformułowania i opisanie algorytmu metody przyjęto nazywać n -wymiarowy wektor zmiennych decyzyjnych \bar{X} , punktem, a ponadto wprowadzono następujące definicje i oznaczenia:

1° komórkę o środku \bar{Q} i wymiarze k , co zapisano w postaci $K(\bar{Q},k)$, nazywa się domknięty i ograniczony podzbiór punktów n -wymiarowej przestrzeni E^N , odległych od \bar{Q} conajwyżej o wielkości $\frac{1}{2}k$ czyli:

$$K(\bar{Q},k) = \{\bar{x} \in E^N: |x^i - q^i| \leq k/2, \quad i=1, \dots, N\}, \quad (105)$$

gdzie: $\bar{X} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$, $\bar{Q} = [q_1, q_2, \dots, q_n]^T$.

2° punktem dobrym nazywa się punkt \bar{X} należący do obszaru dopuszczalnego G , natomiast punktem złym nazywa się punkt spoza obszaru G ,

3° serią dobrą nazywa się ciąg kolejnych punktów dobrych, natomiast serią złą nazywa się ciąg kolejnych punktów złych wylosowanych z komórek o tym samym wymiarze,

4° przez parametr P oznaczono długość serii złej natomiast T określa zadaną długość serii dobrej.

Sposób obliczania wartości punktu \bar{X} w komórce $K(\bar{Q},k)$ przebiega w ten sposób, że dla wylosowanej i -tej liczby pseudolosowej η_i z odcinka $[0,1]$ określa się i -tą składową punktu \bar{X} następująco:

$$x_i = Q_i - k / 2 + k \cdot \eta_i$$

(106)

Jeśli zatem określony jest N składowych punktu \bar{X} to na wylosowanie jednego punktu z komórki należy wygenerować ciąg n liczb pseudolosowych η_i z odcinka $[0,1]$.

Algorytm metody błędzenia przebiega według kolejnych losowań punktów z komórek $K(\bar{Q}, k)$ których środek i wymiar zmienia się w trakcie procedury. W przypadku złych losowań położenie środka komórki pozostaje bez zmian przy czym gdy zostanie przekroczona długość serii złej to wymiar komórki zmniejsza się dwukrotnie. Licznik tej serii jest zerowany każdorazowo gdy wylosuje się punkt dobry lub przekroczy długość serii złej, to znaczy liczbę P/ρ .

Jeśli wylosowany punkt znajduje się w obszarze dopuszczalnym, to następuje obliczenie funkcji celu, porównanie jej z wartością poprzednio najlepszą i zapamiętanie jej, jeśli jest lepsza od dotychczas uzyskanej. Dla każdego losowania dobrego następuje zmiana położenia środka komórki, bez względu na to czy poprawia wartość funkcji celu czy też nie, przy czym po przekroczeniu długości serii dobrej T/ρ następuje dwukrotne powiększenie komórki. Cała procedura kończy działanie w chwili gdy licznik losowań przekroczy zadaną z góry liczbę lub gdy błąd względny wartości funkcji celu, dla kolejnych najlepszych losowań, będzie mniejszy od zadanej tolerancji.

Tak określony algorytm metody błędzenia poddano modyfikacji wzdłuż kierunku poszukiwanego ekstremum. Zdefiniowano pojęcie serii dostatecznej, która oznacza ciąg punktów dobrych nie poprawiających wartości funkcji celu. Długość serii dostatecznej oznaczono liczbą NTP. Przebieg algorytmu dla losowań złych jest w tym przypadku taki sam jak w opisanej metodzie błędzenia. Różnica występuje przy serii losowań dobrych. Polega ona na tym, że jeśli licznik serii dostatecznej jest mniejszy od liczby NTP, to środek komórki nie zmienia owego położenia. Natomiast gdy wylosowany punkt będzie lepszy lub przekroczona zostanie liczba NTP, to wówczas środek komórki zmienia położenie, tak jak w podstawowej metodzie, z jednoczesnym wyzerowaniem licznika serii dos-

tatecznej. Zwiększenie komórki dla serii dobrej jak również zakończenie działania procedury przebiega tak jak poprzednio.

Zatrzymanie środka komórki w serii losowań dobrych powoduje, że komórka będzie podlegała lepszemu przeszukaniu z uwagi na długość serii dostatecznej. Zmniejsza to prawdopodobieństwo "wychodzeniu" algorytmu z podobszaru zbioru dopuszczalnego w którym funkcje celu osiąga ekstremum.

Pozwala to też, na wysunięcie przypuszczenia, że:

Zmodyfikowana metoda błędzenia dochodzi do minimum globalnego "szybciej" niż ma to miejsce w przypadku metody podstawowej.

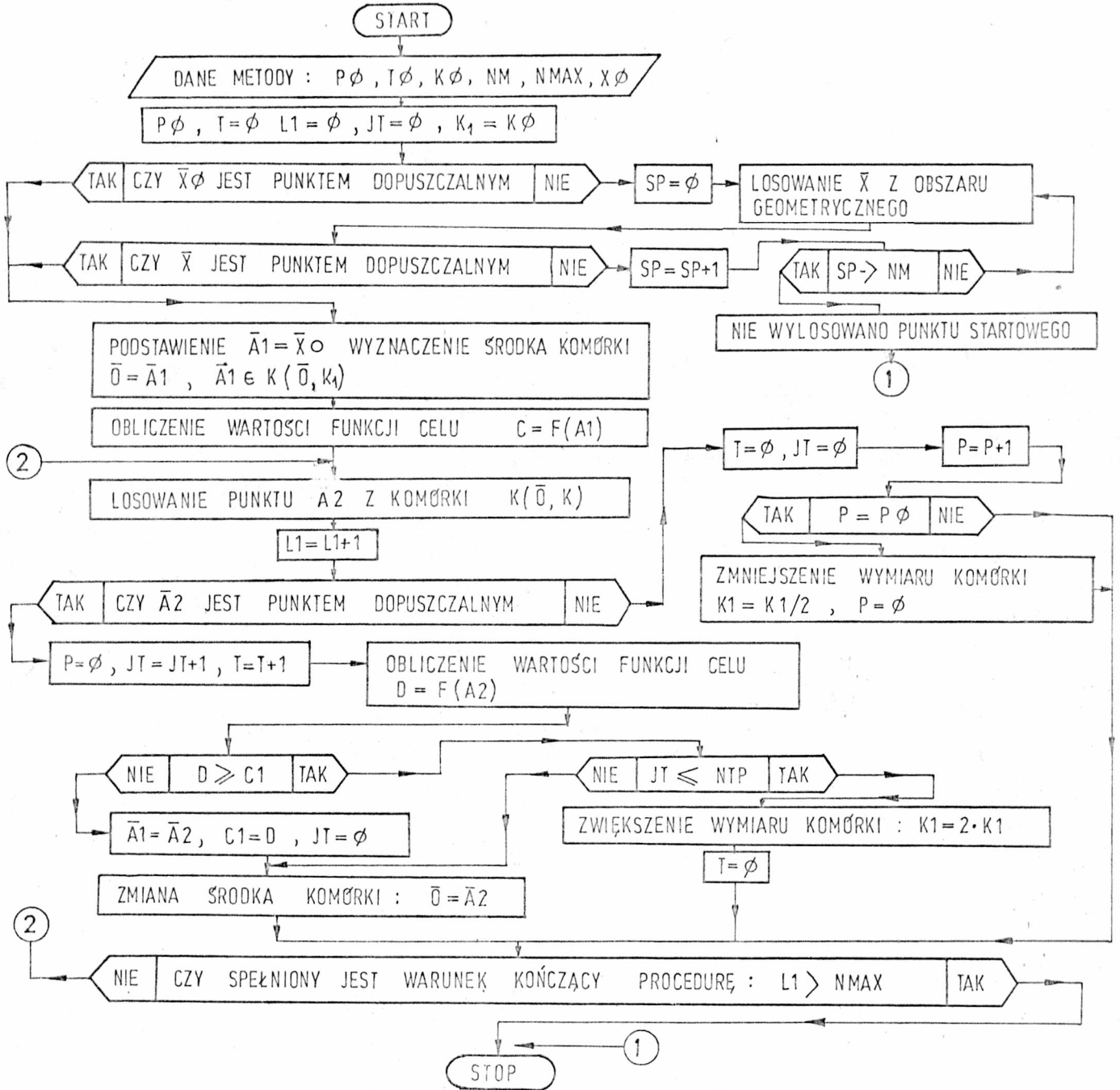
Należy przy tym zaznaczyć, że liczba NTP określająca długość serii dostatecznej nie może być dużo większa od długości serii dobrej. Zbyt duża wartość NTP może spowodować, że nastąpi zatrzymanie się algorytmu w obszarze minimum lokalnego co też pogorszy wartość funkcji celu.

Dlatego też przyjęto ograniczenie postaci:

$$NTP \leq 2 \cdot T_0$$

(107)

W przypadku kiedy punkt startowy jest spoza obszaru dopuszczalnego, to następuje losowanie nowego punktu początkowego z obszaru Q_0 , który określają ograniczenia geometryczne zmiennych decyzyjnych. Na rys. 15 przedstawiono schemat blokowy zmodyfikowanej metody błędzenia wraz z procedurą poszukiwania punktu startowego.



Rys. 15

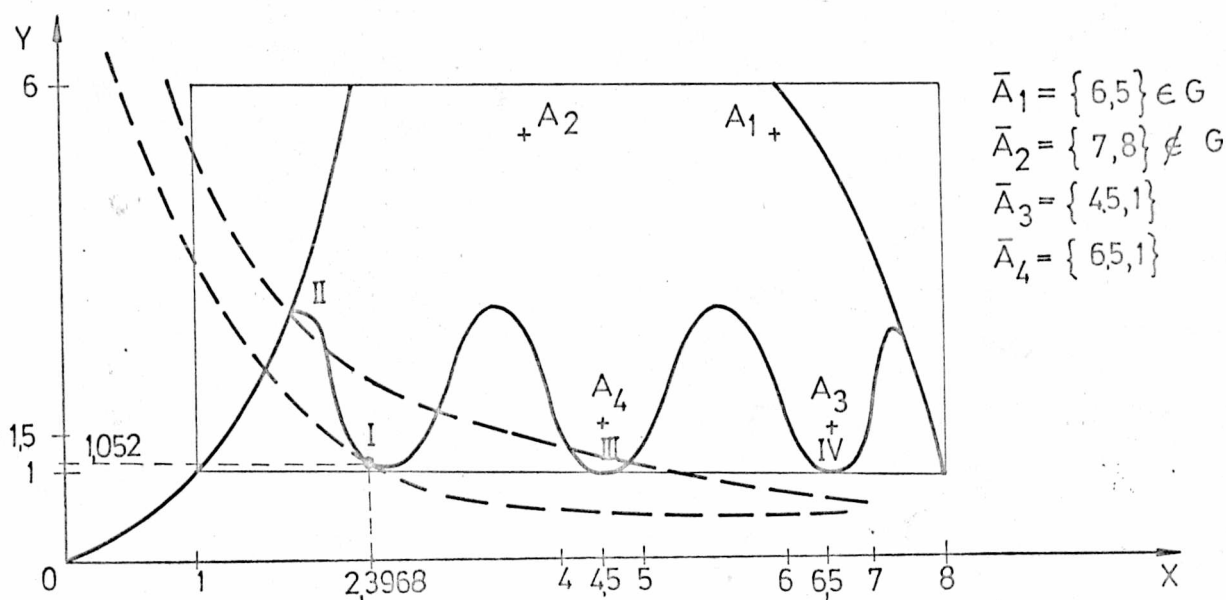
6.3 Przykłady testowe modyfikacji metody błędzenia.

W celu wykazania stwierdzenia z punktu 6.2, przetestowano metodę błędzenia (MB) i jej modyfikację (ZMB) na następującym przykładzie zadania optymalizacji:

Zminimalizować funkcję $\Phi(x,y) = x \cdot y$, przy ograniczeniach

$$\begin{aligned} 1 \leq x \leq 8, \quad Y \geq x^2, \quad y \geq 2 - \sin(x) \\ 1 \leq Y \leq 6, \quad Y \leq \sqrt{64 - x^2} \end{aligned} \quad (108)$$

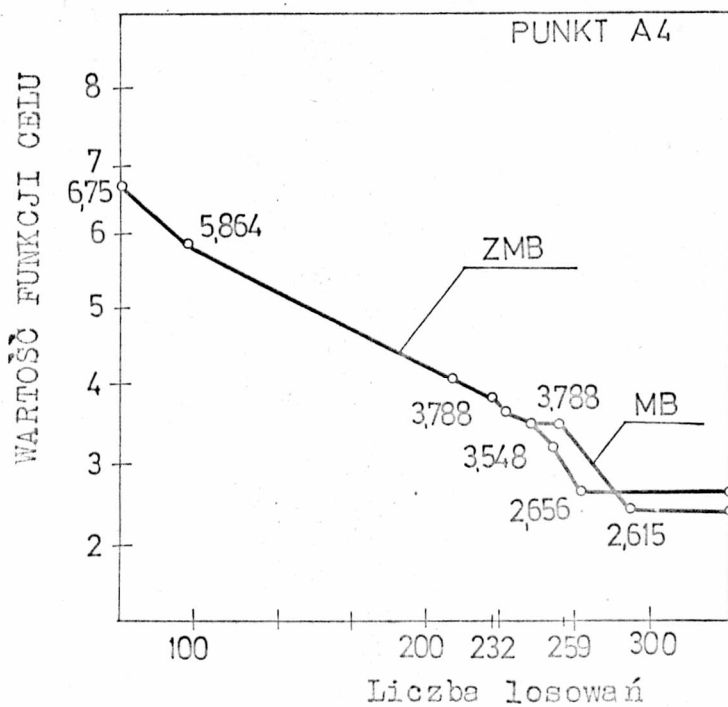
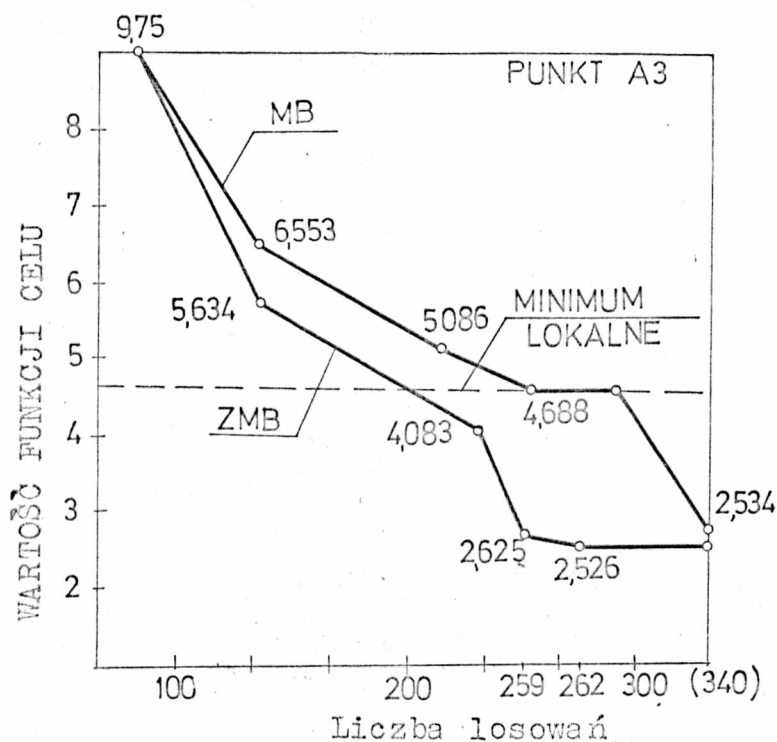
Obszar rozwiązań dopuszczalnych tego zadania, wraz z przyjętymi punktami startowymi A_1, A_2, A_3, A_4 , przedstawiono na rys. 16.



Rys. 16.

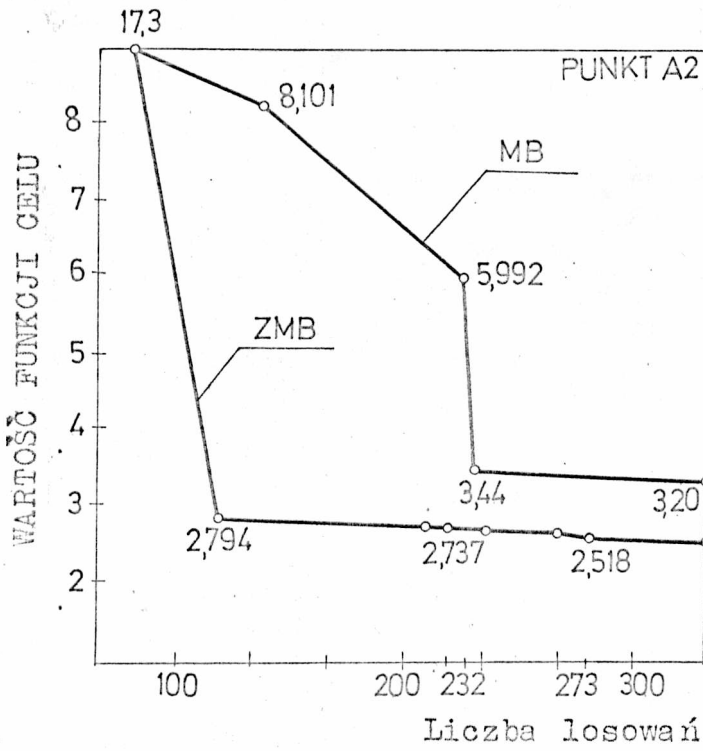
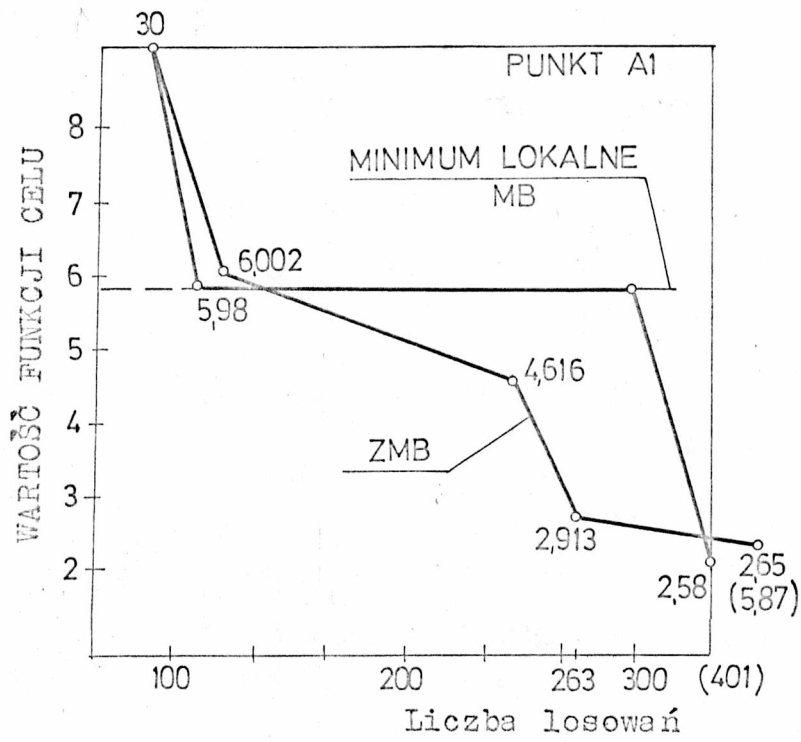
Zadanie to, ma rozwiązanie optymalne w punkcie o współrzędnych $X^* = 2,3968$ oraz $Y^* = 1,052$. Optymalna wartość funkcji celu wynosi $F_{opt} = 2,4796$. Proces optymalizacji przeprowadzono z czterech zaznaczonych na rys. 16, punktów startowych, dla różnych liczb długości serii dobrej T_p , złej P_0 oraz dostatecznej NTP.

Na wykresach przedstawiono przebieg optymalizacji przy 300 podstawowych losowaniach dla parametrów $P\phi = 2$, $T\phi = 4$ oraz $NTP = 5$. Punkty wykresów dotyczą losowań kolejno lepszych.



Rys. 17. MB - metoda błędzenia, ZMB - zmodyfikowana metoda błędzenia.

Na rys. 18 przedstawiono przebieg optymalizacji dla punktów A₁ i A₂.



Rys. 18.

Punkt $A_2 = [7,8]^T$ jest punktem spoza obszaru dopuszczalnego toteż procedura w dwóch kolejnych losowaniach wyznaczyła nowy punkt startowy $A_2 = [3.5911, 4.8295]^T$.

Obie metody dotarły do obszaru minimum globalnego I z tym, że lepszy wynik uzyskano metodą zmodyfikowaną.

W przypadku punktu A_3 procedura MB weszła w obszar minimum lokalnego II natomiast ZMB osiągnęła już obszar minimum globalnego.

Odnosnie punktu A_1 oba procesy przebiegały prawie identycznie, osiągając obszar minimum globalnego z tym, że teraz nieznacznie lepszą wartość funkcji celu uzyskano procedurę MB.

Dla punktu A_1 procedura MB wchodzi w obszar II minimum lokalnego natomiast proces ZMB osiąga obszar minimum globalnego.

Należy podkreślić, że przy zwiększeniu liczby losowań podstawowych do 1000, nastąpiło wyjście metody błędzenia z podobszarów minimum lokalnych, w niektórych przypadkach nawet poprawiając nieznacznie wartości funkcji celu uzyskaną procedurą ZMB. Warto zauważyć, że zarówno dla parametrów $P_0 = 2$, $T_0 = 4$ jak i na odwrót, zmodyfikowana metoda błędzenia, /dla której $MTP = 5$ /, charakteryzowała się lepszymi wynikami niż proces metody błędzenia. Ostatecznie na 40 przeprowadzonych obliczeń testowych jedynie w 4 przypadkach metoda błędzenia dawała wyniki lepsze niż jej modyfikacja. Szczególnie zaś w pierwszych 300 losowaniach otrzymano wyraźną poprawę zbieżności metody.

Odnosnie do parametrów serii dobrej T_0 oraz serii złej P_0 to uzyskano dla obu metod prawie identyczną liczbę losowań złych i dobrych. Ustawienie tych liczb w relacji $T_0 < P_0$ spowodowało gorsze przeszukiwanie wnętrza obszaru dopuszczalnego a lepsze jego brzegu, natomiast przy spełnieniu warunku $T_0 > P_0$ otrzymano lepsze przeszukiwanie wnętrza gorsze zaś brzegu. W drugim przypadku większość dobrych losowań miała miejsce w obszarach brzegu zbioru dopuszczalnego na co wskazują najlepsze wartości funkcji celu jak i mały rozmiar końcowej komórki.

W tabeli 2 przedstawiono wartości liczbowe zmiennych decyzyjnych, wartości funkcji celu dla obu metod błędzenia przy różnych punktach startowych i parametrach metod.

Tabela 2

$\bar{X}\phi$	P ϕ	T ϕ	NTP	NMAX	Lopt	Lz	ZM. DEC.	FUNKCJA CELU	K
A2 {7,83}	2	4	5	300	273	102	2.428 1.037	2.5186	0,25
	2	4	0	300	222	102	2.363 1.457	3.444	0,25
	4	2	5	300	80	198	2.636 1.431	3.772	4,0
	4	2	0	300	15	197	2.465 1.757	4.332	4,0
	2	4	0	1000	405	323	2.697 1.211	3.267	4,0
	4	2	0	1000	309	667	2.477 1.053	2.609	8
	2	4	2	1000	187	320	2.470 1.013	2.504	1
A3 {6,5,15}	2	4	5	300	263	103	2.408 1.049	2.526	0,25
	2	4	0	300	259	102	4.417 1.061	4.688	0,5
	4	2	5	300	281	196	2.273 1.323	3.010	8
	4	2	0	300	170	194	4.306 1.254	5.399	8
	2	4	0	1000	340	334	2.518 1.006	2.534	1
	4	2	5	1000	201	662	2.488 1.108	2.758	8
	4	2	0	1000	150	659	2.300 1.628	3.747	8
A4 {4,5,15}	2	4	5	300	275	101	2.536 1.047	2.656	0,5
	2	4	0	300	274	101	2.425 1.078	2.615	0,25
	4	2	5	300	218	196	2.742 1.375	3.769	8
	4	2	0	300	188	209	2.313 1.188	2.749	8
A1 {6,5}	2	4	5	300	263	102	2.429 1.199	2.914	1
	2	4	0	300	207	93	1.954 3.065	5.989	2
	4	2	0	1000	307	668	2.482 1.115	2.769	8
	4	2	5	300	281	201	2.374 1.281	3.037	1
	2	4	5	1000	587	332	2.337 1.134	2.652	1
	2	4	0	1000	401	678	2.550 1.013	2.585	0,5
	4	2	5	1000	300	658	2.528 1.115	2.769	8
	2	4	2	10000	6707	3293	2.471 1.010	2.497	4

Oznaczenia tabeli:

- KWP = 0 — dla metody błądzenia,
- KWP \neq 0 — dla zmodyfikowanej metody błądzenia,
- MNAX — maksymalna liczba losowań podstawowych,
- L_{opt} — numer losowania optymalnego,
- \bar{L}_Z — liczba losowań złych,
- \bar{X} — optymalna wartość wektora zmiennych decyzyjnych,
- f_{opt} — optymalna wartość funkcji celu,
- k — końcowy rozmiar komórki.

6.4. Metoda zewnętrznej funkcji kary.

Pierwszym etapem działania metody zewnętrznej funkcji kary EPT jest sprawdzenie zadania programowania nieliniowego z ograniczeniami do zadania optymalizacji bez ograniczeń, przez wprowadzenie do funkcji celu wyrazu reprezentującego karę za przekroczenie ograniczeń.

W związku z tym dokonuje się transformacji kryterium optymalizacji do postaci:

$$\Phi(\bar{x}, \bar{r}) = \Phi(\bar{x}) + r_k \mathcal{L} [\mathcal{H}(\bar{x})] \quad (109)$$

gdzie: \mathcal{L} - operatorem kary, r_k - współczynnik liczbowy,

$\mathcal{H}(\bar{x})$ - wektor funkcji ograniczających określony następująco:

$$\mathcal{H}(\bar{x}) = [\mathcal{H}_1(\bar{x}), \dots, \mathcal{H}_N(\bar{x})] \quad (110)$$

gdzie:

$$\mathcal{H}_i(\bar{x}) = \begin{cases} -g_i(\bar{x}) & \bar{x} \notin G \\ 0 & \bar{x} \in G \end{cases} \quad i=1, \dots, N \quad (111)$$

natomiast $g_i(\bar{x})$ stanowią funkcje ograniczające zmienne decyzyjne. Zbiór rozwiązań dopuszczalnych G ma w tym przypadku postać:

$$G = \{ \bar{x} \in E^N : g_i(\bar{x}) \geq 0 \} \quad (112)$$

Przyjęto, że operator kary \mathcal{L} jest postaci:

$$\mathcal{L} [\mathcal{H}(\bar{x})] = \sum_{i=1}^N (g_i(\bar{x}))^2 \quad (113)$$

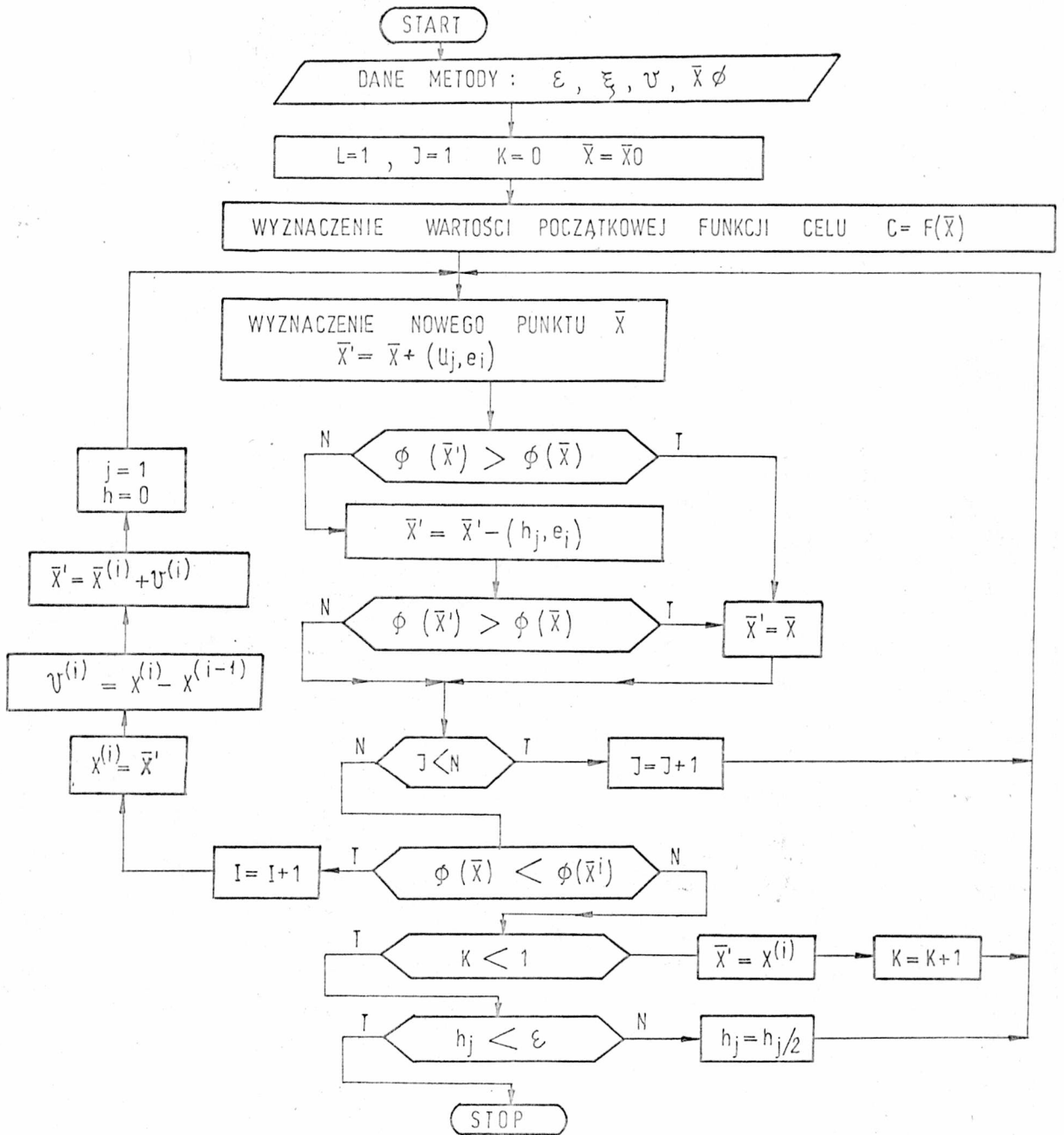
Celem transformacji (109) jest zwiększenie wartości funkcji celu poza obszarem dopuszczalnym o wielkość "kary" równą $r_k \mathcal{L} [\mathcal{H}(\bar{x})]$. Jeżeli żadne z ograniczeń nie jest przekroczone to wyraz kary jest równy zero. Im dalej od obszaru dopuszczalnego tym większy jest wyraz kary.

Operator kary, wraz z odpowiednio dobranym współczynnikiem "r", cofają poszukiwanie minimum do obszaru dopuszczalnego.

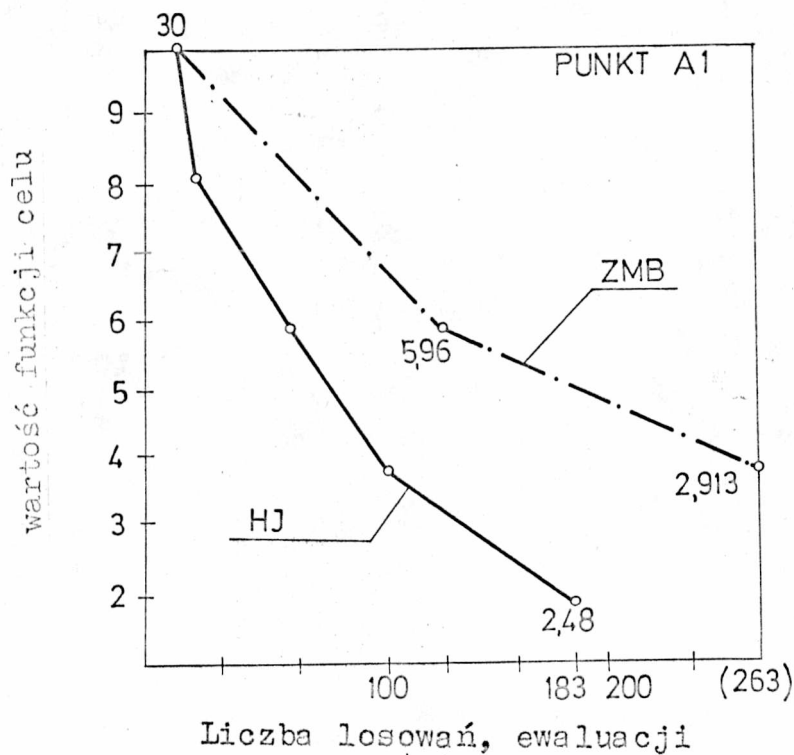
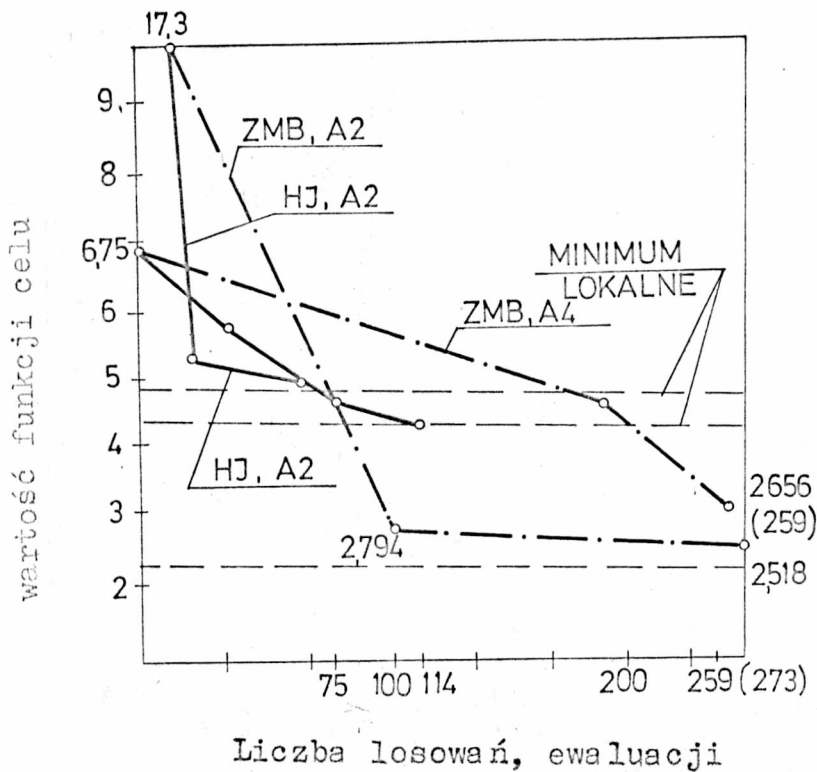
Dla tak określonego zadania programowania nieliniowego, teraz już bez ograniczeń, stosuje się jedną z technik ekstremalizujących dla tej klasy zagadnień. Ponieważ transformowana funkcja celu

przy zastosowaniu liniowego operatora kary cechuje się ostrymi narożami uniemożliwiającymi stosowanie technik gradientowych, to należy skorzystać z metod poszukiwania minimum wzdłuż kierunku. Metody te wymagają obliczenia wartości funkcji celu bez uwzględnienia jej pochodnych. W przedstawionej metodzie zewnętrznej funkcji kary podobnie jak w pracy S. Jendo [30] zastosowano metodę Hooka i Jeevse'a poszukiwania minimum wzdłuż kierunku. Metoda ta zalicza się do metod iteracyjnych poszukiwania ekstremum co oznacza, że wyznacza ona punkt minimalny \bar{X} jako granicę ciągu $\{\bar{x}_i\}_{i=1}^N$, gdzie \bar{x}_0 jest punktem początkowym. W metodzie tej w kolejnej iteracji występują dwa sposoby poruszania się, to jest krok próbny i roboczy. Pierwszy sposób służy do zbadania lokalnego zachowania się funkcji w niewielkim wybranym obszarze, przez wykonanie kroków próbnych wzdłuż wszystkich kierunków ortogonalnej bazy. Drugi, roboczy polega na przejściu w ściśle zdeterminowany sposób do następnego obszaru, w którym powtarzany jest pierwszy etap tylko w tym przypadku gdy przynajmniej jeden z wykonanych kroków próbnych był krokiem poprawiającym wartość funkcji celu. W przeciwnym razie powraca się do poprzednio badanego obszaru i cyklu przeszukiwania rozpoczyna się od nowa dla zmniejszonej długości kroku. Na rys. 19 przedstawiono schemat blokowy algorytmu metody Hooke'a i Jeevse'a (HJ). Jako kryterium kończące pracę algorytmu przyjęto warunek, że aktualna długość kroku \bar{e} jest mniejsza od zadanej liczby ξ .

Liczne przykłady testowe oraz porównanie tej techniki z innymi metodami programowania nieliniowego przedstawione jest w [21]. W niniejszej pracy do rozwiązania zadania optymalizacji stosuje się ulepszoną wersję metody Hooke'a i Jeevse'a. Celem porównania tej deterministycznej techniki z opisaną w podrozdziale 6.2. metodą błędzenia, rozwiązano to samo zadanie testowe optymalizacji co uprzednio. Na wykresie z rys. 19 przedstawiono najlepsze wyniki uzyskane w 10 testach metody EPT&HJ porównując je z najlepszymi wnioskami procedury ZMB /zmodyfikowana metoda błędzenia/.



Rys. 19. Algorytm metody Hooke'a i Jeevse'a.



Rys. 20.

Z przeprowadzonych obliczeń testowych, zilustrowanych wykresami z rys. 20, wynika, że metoda EPT z obszaru minimum lokalnego wpada w to minimum i nie wychodzi. Miało to miejsce w przypadku punktów A1, A4 i A3. Natomiast w obszarze minimum globalnego uzyskuje się tą metodą wyniki znacznie dokładniejsze i co równie ważne, w mniejszej liczbie iteracji.

6.5. Uwagi.

W Systemie Optymalizacyjnym Ram Stalowych wykorzystano metody programowania nieliniowego. Z metod deterministycznych posłużono się metodą zewnętrznego funkcji kary EPT ze sposobem Hooke'a & Jeevse'a minimalizacji wzdłuż kierunku. Z metod symultanicznych wykorzystano Metodę Błądzenia (MB) oraz jej modyfikację (ZMB). Metody symultaniczne zasługują tu na uwagę dlatego gdyż przy ich zastosowaniu można rozwiązywać zadania optymalizacji nawet dla nieciągłej funkcji celu i funkcji ograniczeń zmiennych decyzyjnych. W przedstawionej metodzie błądzenia uczyniono modyfikacje, które powodują osiągnięcie obszaru minimum globalnego w mniejszej liczbie iteracji /dla najlepszych wyników/ niż w metodzie podstawowej. Na przykładzie testowym porównano wyniki osiągane wymienionymi wyżej trzema metodami to jest metodą MB, ZMB oraz EPT. Co prawda w otoczeniu minimum globalnego lepsze wyniki otrzymuje się metodą zewnętrznego funkcji kary EPT, to jednak metoda ta ma tendencję do "wchodzenia" w minima lokalne. Obie metody symultaniczne mimo, że działają dłużej niż metoda deterministyczna EPT, to jednak "wychodzą" one z obszaru minimum lokalnego. Stanowi to też o ich przewadze dla zadań optymalizacji z wieloma minimami lokalnymi.

7. SYSTEM OPTYMALIZACJI RAM STALOWYCH.

7.1. Uwagi o systemach projektowania konstrukcji ramowych.

W nowoczesnych sposobach projektowania konstrukcji prętowych przy pomocy EMC, praca projektanta została znacznie ułatwiona poprzez Automatyczne Systemy Obliczania Konstrukcji. Zwolniły one projektantów z często żmudnych i czasochłonnych obliczeń inżynierskich. Wraz z szybkim rozwojem kolejnych generacji maszyn cyfrowych oraz nowych języków programowania o wysokim poziomie zorganizowania /FORTRAN, ALGOL, PL1/ powstało wiele różnych Systemów Automatykacji Obliczania konstrukcji prętowych. Najwięcej z nich dotyczy statycznej analizy konstrukcji, a jednym z pierwszych był amerykański system STRESS /Structural Engineering System Solver/ opracowany przez Fenvesa S.J., Logchera R.D. i Manch S.P. w 1964 roku. System ten przeznaczony jest do obliczania płaskich i przestrzennych konstrukcji ramownic, rusztów i kratownic.

Z innych dużych systemów wymienić można ICES opracowany przez Roosa D. w 1967, GENESYS opracowany przez Albocha D.G. i Shearinga B.M. w 1972. Informacyjny opis wymienionych oraz innych systemów przedstawili między innymi Fenves S.J., [16] oraz Babiński C., Wolpe M. [3].

Wspólną zaletą dużych systemów automatyzacji projektowania jest ich kompleksowość. W ramach obliczeń z jednym projektem można korzystać z kilku podsystemów. Jedną z ważniejszych zalet tych systemów jest stosowanie języka problemowo zorientowanego /J.P.Z./, który znacznie ułatwia pracę użytkownikom systemów.

W naszym kraju systemy o poziomie zorganizowania i możliwościami takimi jak wyżej wymienione są praktycznie nie eksploatowane. Do najważniejszych systemów automatyzacji obliczeń w procesie projektowania konstrukcji prętowych należą między innymi:

- STRAINS - opracowany na bazie STRESS przez Bzymka Z. na Politechnice Warszawskiej w 1973,
- PROBUS - opracowany przez Paszkiewicza T. w 1977, [53].
- ASKA - opisany przez Demsa F., Kleibera T. w pracy [15].

Mniejsze systemy projektowania, a właściwie programy kompleksowe spełniające mniej uniwersalne zadania niż wymienione wyżej /Systemy bez J.P.Z./ przedstawiają np. prace: [68,70,79].

Dla automatyzacji projektowania największe znaczenie mają systemy projektowania optymalnego w których, oprócz tradycyjnej statycznej i wytrzymałościowej analizy konstrukcji, następuje optymalizacja względem pewnej funkcji celu. Ten nowy jakościowo element systemu daje możliwość oceny zarówno sposobu projektowania jak i samej konstrukcji.

Przykłady realizacji takich małych systemów optymalizacji podano na przykład w pracach: [25,27,85].

W naszym kraju jednymi z największych systemów optymalizacji konstrukcji prętowych są między innymi:

- system OSY - opracowany przez Leśniaka Z.H. [40], służący do optymalizacji hal stalowych jednokondygnacyjnych,
- system PROCHEM - opracowany przez Dzikiewicz-Golka [3] w którym optymalizuje się konstrukcje nośne budynków halowych i wielokondygnacyjnych.

W pracy [35] autorzy przedstawiają informacyjny spis programów z zakresu projektowania tradycyjnego i projektowania optymalnego konstrukcji budowlanych.

Z innych mniej znanych systemów na uwagę zasługuje System Optymalizacyjny Ram opracowany przez Jendo S. [30], przeznaczony dla ramownic okrętowych. W odróżnieniu od wyżej wymienionych program ten stanowi próbę idealnej optymalizacji, w której po każdej zmianie wektora decyzyjnego następuje ponowna analiza statyczna i wytrzymałościowa całej konstrukcji, aż do zakończenia pracy Systemu poprzez procedurę zatrzymującą przebieg algorytmu

Na uwagę zasługuje też program optymalizacji kratownic opracowany przez Jackiewicza M. [32], w którym stosuje się technikę sieciowej analizy statycznej konstrukcji upraszczającej budowę algorytmu.

System Optymalizacyjny Ram- ANNA1 opracowany przez autora niniejszej pracy i przedstawiony w podrozdziale 7.2/wraz z opisem umieszczonym w załączniku/, należy porównywać z mniejszymi Systemami wymienionymi powyżej. Jest to program kompleksowy o

podobnym sposobie optymalizacji jak na przykład w Systemie Ram [30] ale o znacznie większych możliwościach.

Wobec dużej ilości programów i systemów optymalizacyjnych konstrukcji prętowych, czego przykładem są wymienione wyżej opracowania, nasuwa się pytanie czy należy podejmować prace nad nowymi systemami. Odpowiedź na to pytanie jest jak najbardziej pozytywna i pochodzi ona z przemysłu budowlanego. Istnieje bowiem stałe zapotrzebowanie na coraz doskonalsze systemy projektowania a w szczególności na bardziej zaawansowane systemy projektowania optymalnego. Jest to konsekwencja gwałtownie rosnących i coraz bardziej skomplikowanych potrzeb, których zaspokojenie staje się możliwe tylko dzięki przejmowaniu przez EMC sformalizowanych czynności projektowych. Daje to w konsekwencji więcej czasu na eksperymenty różnych rozwiązań i możliwość pracy twórczej.

Przy opracowywaniu nowych systemów należy korzystać z budowy poprzednich, gdyż im mniej podprogramów, struktur organizacyjnych czy języków programowania, musi być napisanych od początku, tym bardziej usprawiedliwiony staje się wysiłek zbudowania nowego systemu optymalizacyjnego.

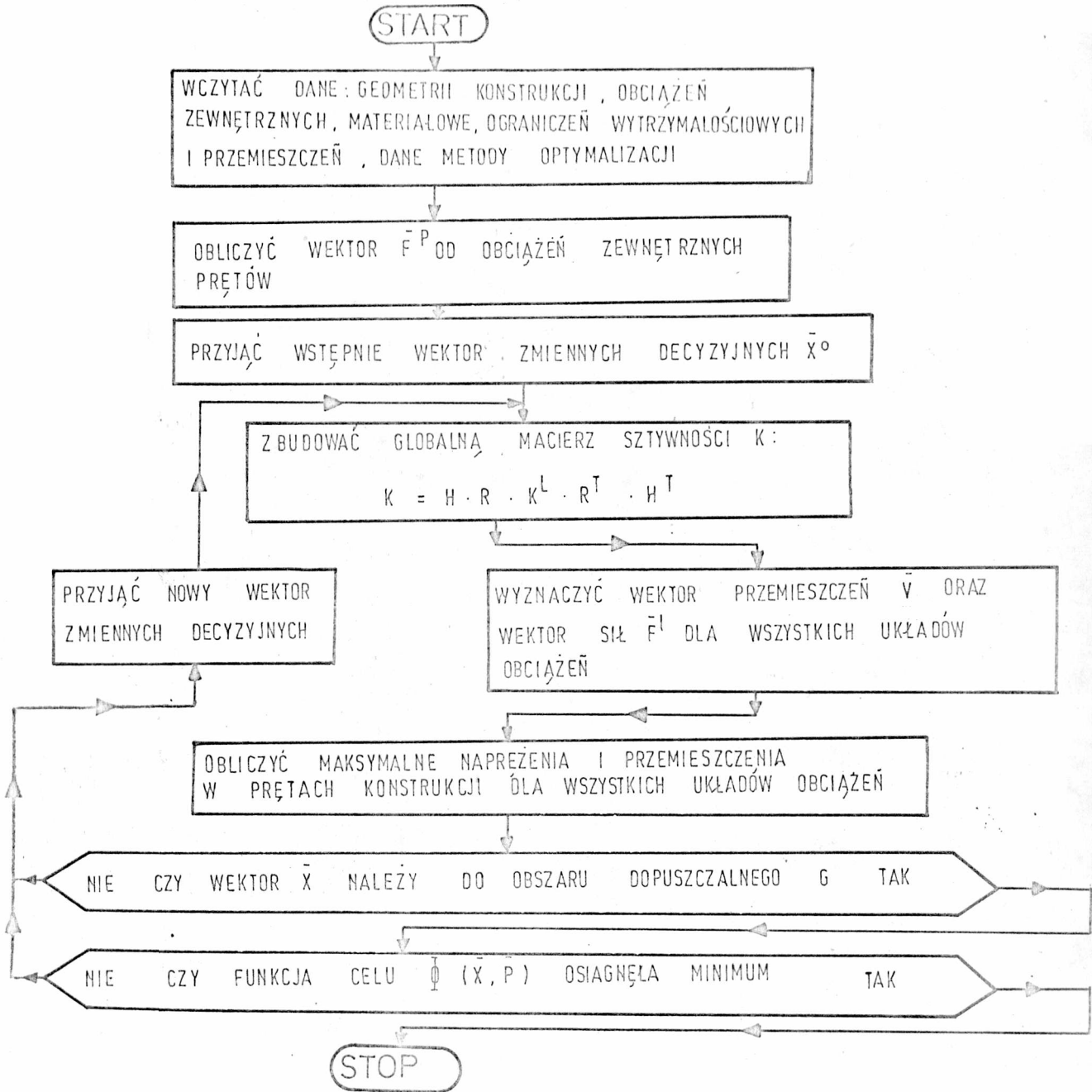
Rozwój systemów optymalizacyjnych konstrukcji jest też jedyną drogą do uniknięcia uniformizacji i monotoni budownictwa oraz przede wszystkim do zapewnienia ekonomiczności rozwiązań projektowych.

7.2. System optymalizacji Ram - ANNA1.

Przedstawiony w rozdziale 5 model matematyczny zadania optymalizacji ram poddanych działaniu wielu układom obciążeń, razem z sieciową metodą statycznej analizy konstrukcji (rozdział 4) oraz wybrane metody programowania nieliniowego z ograniczeniami (rozdział 6) stanowią podstawę opracowanego Systemu Optymalizacyjnego Ram- ANNA1. System ten oprogramowany w języku FORTRAN 1900 na EMC 1305 ma charakter programu kompleksowego, podzielonego na procedury z których każda pełni odzielną funkcję. Na rys. 21 przedstawiono schemat ideowy przebiegu zadania optymalizacji.

System rozpoczyna pracę od wczytania danych topologii i geometrii konstrukcji, danych materiałowych, danych sterujących systemem (to jest np. wybór analizy statycznej lub optymalizacji Segment INGEOM), oraz danych obciążeń zewnętrznych konstrukcji (Segment INOBC). W procedurach INGEOM, INOBC następuje początkowe przetwarzanie danych i tak w pierwszej po wczytaniu startowego wektora zmiennych decyzyjnych \bar{X}^0 następuje obliczenie początkowych charakterystyk geometrycznych przekrojów prętów (wywołanie podprogramu XPOLE), natomiast w drugiej procedurze tworzone są wektory \bar{F}^W i \bar{F}^{LPT} od obciążeń zewnętrznych przyłożonych do węzłów i do prętów konstrukcji. Uwzględnione są przy tym wszystkie układy obciążeń działających na konstrukcję. W przypadku tylko statycznej analizy konstrukcji następuje wywołanie podprogramu XSTAT zawierającego algorytm sieciowej metody analizy statycznej oraz segmentu XOUT drukującego wyniki końcowych obliczeń.

Dla statycznej i wytrzymałościowej analizy konstrukcji, następuje dodatkowe wywołanie procedury XWTRZ, która sprawdza naprężenia we wszystkich prętach konstrukcji, uwzględniając przy tym wszystkie układy obciążeń. W tym przypadku projektant ma możliwość ingerencji w przebieg obliczeń kompute-



Rys. 21. Schemat ideowy optymalizacji ramy.

rowych, poprzez wybór zmiennych decyzyjnych lub ustalenie nowych wartości wektora początkowego \bar{X}^0 , tak aby ograniczenia tych zmiennych nie były w żadnym przypadku przekroczone. Ta możliwość pracy Systemu równoważna jest zasadom projektowania tradycyjnego z użyciem EMC.

W ostatnim przypadku, to jest optymalizacji, następuje wywołanie oprócz wymienionych wyżej, jednej z procedur optymalizacyjnych to jest na przykład XOPT1 (którą jest zmodyfikowana Metoda Błądzenia) lub XOPT2 (którą jest metoda Zewnętrznej Funkcji Kary). Przed przystąpieniem do właściwej optymalizacji sprawdza się czy zadany wektor początkowy \bar{X}^0 należy do obszaru rozwiązań dopuszczalnych. Jeśli warunek ten nie jest spełniony to następuje wywołanie procedury LWPD, która ma za zadanie znaleźć, w zadanej liczbie iteracji, pierwszy dopuszczalny wektor zmiennych decyzyjnych. Segment ten bazuje na losowaniach liczb losowych o rozkładzie równomiernym na kostce o wymiarach dolnych i górnych ograniczeń geometrycznych. Dla zadania optymalizacji poprawnie postawionego, a więc dla niepustego zbioru rozwiązań dopuszczalnych, czyli $G \neq \emptyset$, zachodzi warunek:

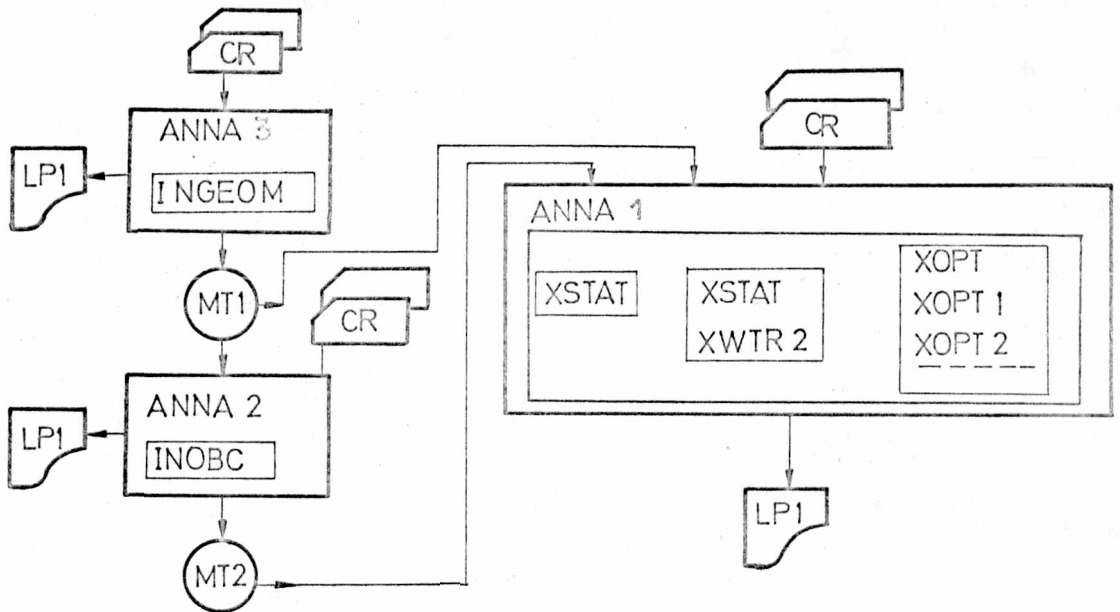
$$G \subseteq Q_g, \quad (114)$$

a zatem istnieje taka liczba losowań, która wystarczy do wylosowania wektora dopuszczalnego.

W przypadku gdy określony jest wektor startowy \bar{X}^0 , to wybierany jest nowy wektor \bar{X} zgodnie z daną procedurą optymalizacji i dalej następuje budowa globalnej macierzy sztywności konstrukcji K, wyznaczenie wektora przemieszczeń węzłów \bar{V} , sił wewnętrznych w prętach \bar{F}^L (procedura XSTAT) oraz obliczenie naprężeń i sprowadzenie ograniczeń (procedura XWTRZ).

Uwzględniane są przy tym wszystkie układy obciążeń. Dalej następuje sprowadzenie czy nowy wektor \bar{X} jest wektorem dopuszczalnym. Jeśli warunek ten jest spełniony oraz zachodzi kryterium kończące pracę algorytmu optymalizacji, to następuje wydruk wyników końcowych i koniec optymalizacji.

W przypadku gdy nowy wektor \bar{X} nie jest dopuszczalny lub nie zachodzi kryterium końca pracy algorytmu, to następuje wybór kolejnego wektora zmiennych decyzyjnych zgodnie z procedurą optymalizacji oraz powtórzenie obliczeń od segmentu XSTAT. Na rys. 22 przedstawiono schemat blokowy Systemu Optymalizacyjnego w postaci gdy procedury INGEM, INOBS oraz ANNA1 tworzą oddzielne programy z których część sterująca spełnia program ANNA 1 natomiast dwa pozostałe pełnią role pomocnicze. Przesłanie danych między INGEOM, INOBC a ANNA1 następuje przez pamięć zewnętrzną (taśmy magnetyczne).



Rys. 22. Diagram blokowy Systemu Optymalizacyjnego RAM- ANNA1.

Przedstawiony opis działania opracowanego Systemu Optymalizacyjnego ma charakter wyłącznie informacyjny. Pełny opis systemu, wraz z opisem przygotowania danych, grup danych oraz procedur przedstawiono w załączniku.

8. PRZYKŁADY OBLICZEŃ.

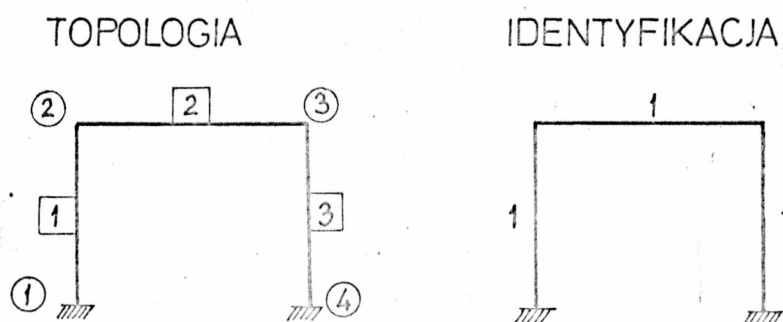
8.1. Przykłady optymalizacji wybranych typów ram.

Z uwagi na dużą czasochłonność w testowaniu zadań optymalizacji według opracowanego Systemu Optymalizacyjnego Ram ANNA1, przykłady testowe optymalizacji dotyczą prostych konstrukcji ramowych. Obliczenia przeprowadzono według wersji Systemu dla ram płaskich na EMC UNIVAC 9060 w Biurze Metali Nieżelaznych "BIPROMET" w Katowicach, oraz EMC ODRA 1305 w Centrum Obliczeniowym Politechniki Wrocławskiej. Testowanie pracy Systemu przeprowadzono na dwóch geometriach stalowych ram płaskich, to jest ramy portalowej (rys. 23.) oraz dwunawowo-dwupiętrowej (rys. 24), poddanych działaniu różnych układów obciążenia.

W niniejszej pracy przedstawiono dwa przykłady optymalizacji ram, a wydruki obliczeń zamieszczono w załączniku.

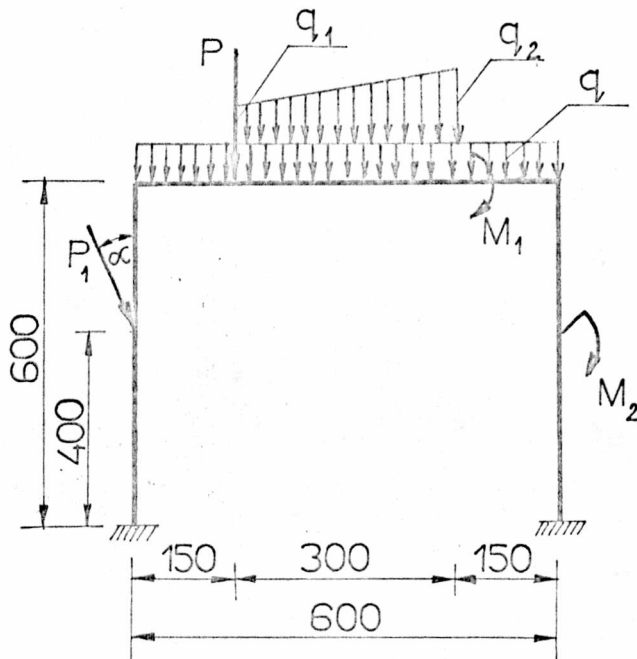
Przykład 1^o.

W pierwszym przykładzie zoptymalizowano stalową ramę portalową o schemacie statycznym, geometrii oraz identyfikacji jak na rys. 23.



Rys. 23. Identyfikacja prętów i topologia ramy portalowej.

Rozważono jeden układ obciążeń działających na konstrukcję. Rodzaje obciążeń zewnętrznych wraz z wymiarami geometrycznymi przedstawia rys. 24.



Rys. 24. Obciążenia zewnętrzne ramy portalowej.

Wartości obciążeń zewnętrznych wynoszą:

$$P = 8 \cdot 10^3 \text{ kG}, \quad P_1 = 12 \cdot 10^3 \text{ kG}, \quad \alpha = 45^\circ, \quad g = 10 \text{ kG/cm}, \\ q_1 = 6 \text{ kG/cm}, \quad q_2 = 12 \text{ kG/cm}, \quad M_1 = 5 \cdot 10^5 \text{ kG/cm}, \\ M_2 = 105 \text{ kGcm}.$$

Wszystkie pręty konstrukcji zbudowane są ze stalowych dwuteowników bisymetrycznych.

Przyjęto następujące dane materiałowe: moduł sprężystości podłużnej $E = 2.1 \cdot 10^6 \text{ kG/cm}^2$ ($= 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$), wytrzymałość obliczeniową stali $R = R_g = 2200 \text{ kG/cm}^2$ ($= 2.2 \cdot 10^2 \text{ MPa}$).

Zmienne wymiary przekroju pręta określono według oznaczeń z rys. 8;

$$x_1 = a_4, \quad x_2 = a_3, \quad x_3 = a_1 \cdot a_2.$$

Ponieważ wszystkie pręty mają ten sam wskaźnik identyfikacji $NI(.) = 1$, zatem wektor zmiennych decyzyjnych ma trzy składowe $\bar{x} = [x_1, x_2, x_3]^T$. Jako wektor początkowy zadania optymalizacji, przyjęto wektor o składowych:

$\bar{x}^0 = [30., 0.6; 15.]^T$. Ograniczenia geometryczne zmiennych decyzyjnych są postaci:

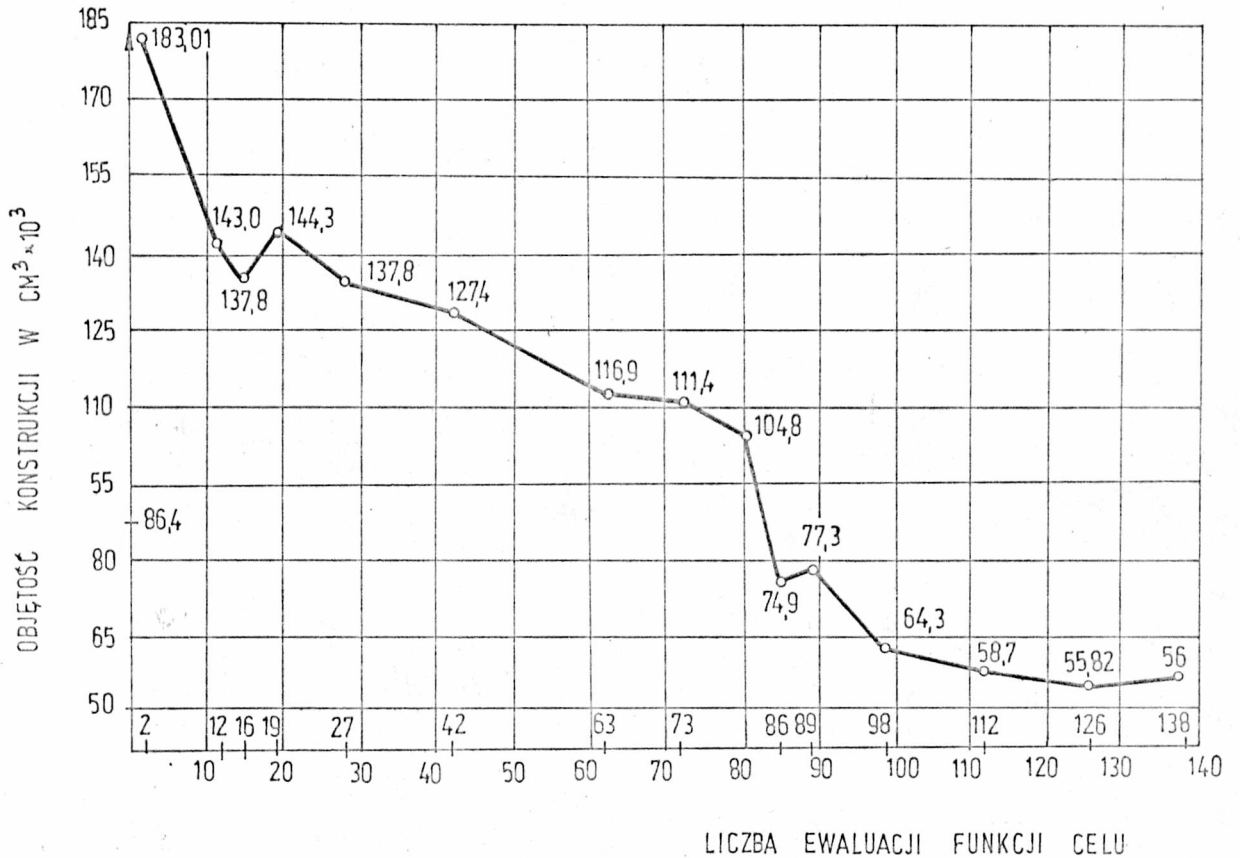
$$\begin{aligned} 4. & \leq x_1 \leq 120. \\ 0.1 & \leq x_2 \leq 3. \\ 5. & \leq x_3 \leq 50. \end{aligned}$$

Liczba ograniczeń biorących bezpośrednio udział w metodzie optymalizacji wynosi $KNG=3$, gdyż ograniczenia te, zgodnie z przyjętym algorytmem obliczeń wytrzymałościowych (podrozdział 5.2.4), odpowiadają maksymalnym wartościom naprężeń w kolejnych prętach ramy.

Z uwagi na to, że wszystkie pręty konstrukcji wykonane są z tego samego materiału, jako funkcję celu rozważono objętość konstrukcji. Do rozwiązania zadania optymalizacji posłużono się metodą zewnętrznej funkcji kary. Na rys. 23 zilustrowano przebieg optymalizacji dla wybranych dopuszczalnych wartości zmiennych decyzyjnych.

Z przebiegu optymalizacji wynikało, że wektor startowy nie należał do zbioru dopuszczalnego. Procedura poszukująca wektory dopuszczalne wyznaczyła dopuszczalny wektor startowy o składowych $\bar{x}^0 = [45., 1.075, 24.5]^T$.

Rozwiązanie optymalne otrzymano w 126 ewaluacji funkcji celu, a optymalny wektor zmiennych decyzyjnych ma składowe $\bar{x}^0 = [120., 0.1, 3.5]^T$. Odpowiadająca mu optymalna wartość funkcji celu wynosi $\Phi(\bar{x}^*) = 55.82 \cdot 10^3 \text{ cm}^3$. W tabeli 3 przedstawiono zestawienie wybranych pośrednich wyników optymalizacji dla dopuszczalnego wektora zmiennych decyzyjnych.



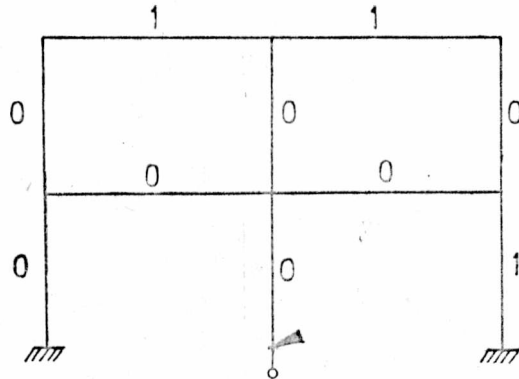
Rys. 25. Przebieg optymalizacji ramy.

TABELA 3.

Lp.	Liczba ewaluacji		Zmienne decyzyjne cm			Wartość funkcji celu
	E:F.C	O.C.	X1	X2	X3	$\times 10^3 \text{ cm}^3$
1.	12	16	45.00	0.63	25.50	142.476
2.	42	73	31.78	0.33	30.14	127.422
3.	126	224	120.00	0,10	9.507	55.825 ^{opt.}
4.	138	240	117.40	0.10	9.688	56.022

Przykład 2^o.

Przykład drugi stanowi optymalizację ramy stalowej dwunawowo-dwupiętrowej o geometrii i identyfikacji prętów przedstawionej na rys. 26.



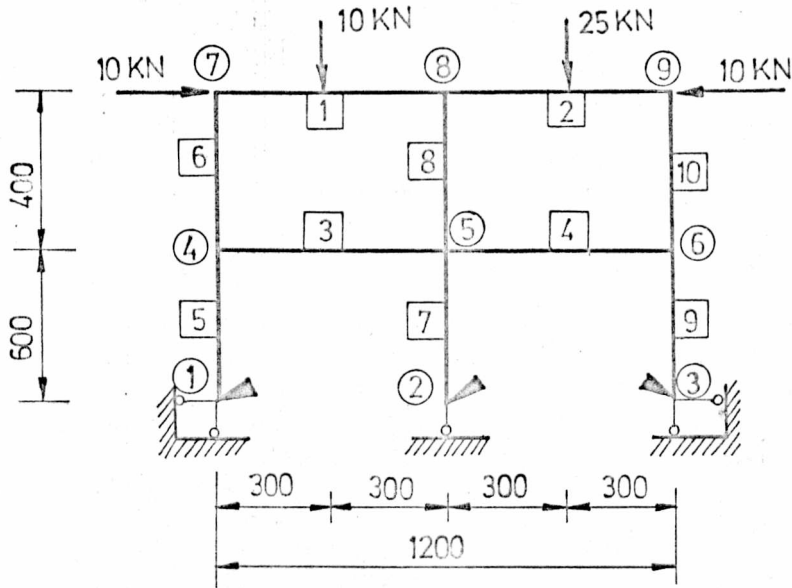
Rys. 26. Geometria i identyfikacja ramy.

Pręty konstrukcji o przekrojach dwuteowych bisymetrycznych, wykonane są ze stali o wytrzymałości obliczeniowej $R=R_f=2.2 \cdot 10^3$ kg/cm^2 ($= 2.2 \cdot 10^2$ MPa).

Na konstrukcję ramy działa układ obciążeń zewnętrznych w postaci sił skupionych, których wartości i punkty przyłożenia przedstawiono na rys. 27.

Wymiary prętów ramy podane są na rys. 27 w cm. W tym przykładzie, optymalizacji podlegają tylko pręty o numerach **1** i **2**. Za zmienne decyzyjne przyjęto te same wielkości co w przykładzie 1^o, toteż wobec identyfikacji prętów, wektor zmiennych decyzyjnych ma trzy składowe $\bar{x} = [x_1, x_2, x_3]^T$. Przyjęto następujące wartości początkowe zmiennych decyzyjnych $\bar{x}^0 = [40., 1., 25.]^T$, natomiast ograniczenia geometryczne ustalono w postaci:

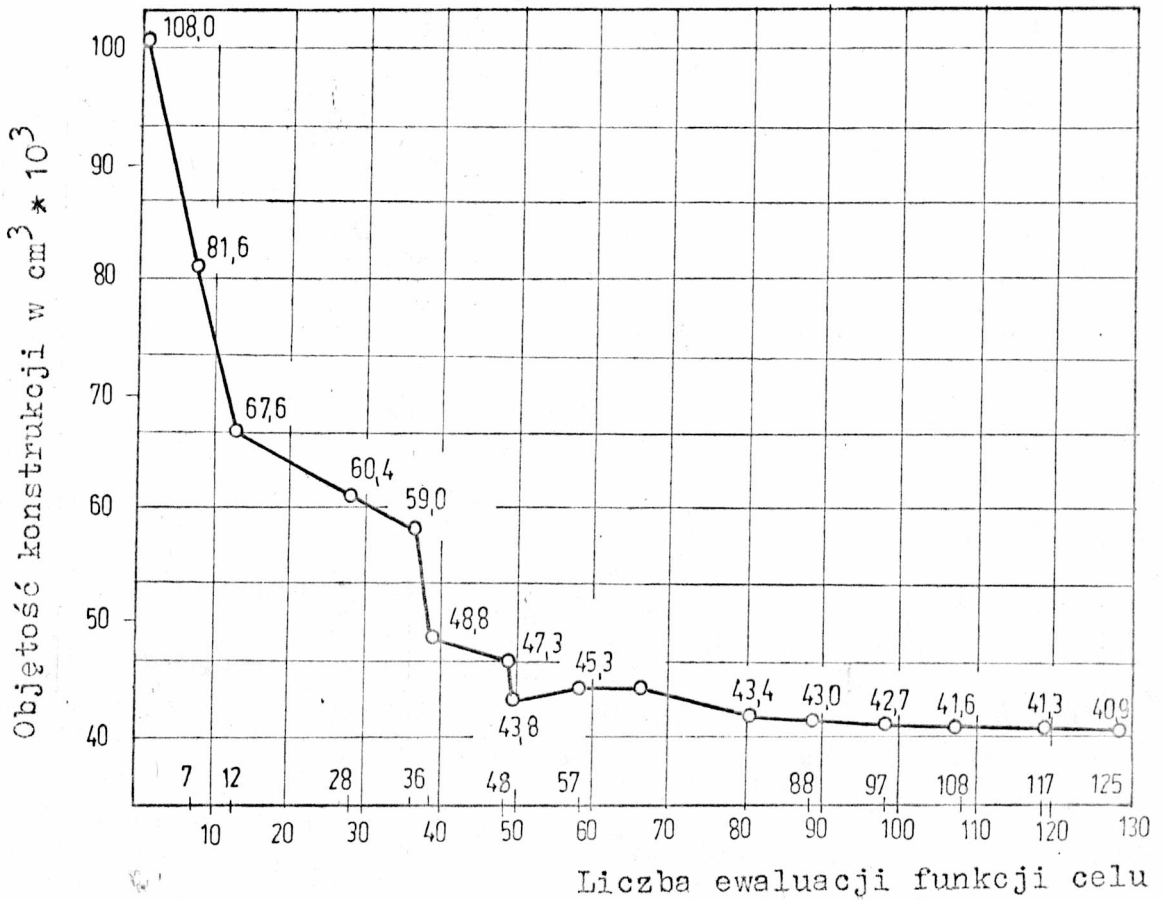
$$\begin{aligned} 5. & \leq x_1 \leq 60. \\ 0.2 & \leq x_2 \leq 2. \\ 3. & \leq x_3 \leq 40. \end{aligned}$$



Rys. 27. Obciążenia zewnętrzne działające na konstrukcję ramy.

Funkcją celu jest objętość konstrukcji. Podobnie jak w przykładzie 1^o, do rozwiązania zadania optymalizacji posłużono się metodą zewnętrznej funkcji kary. Rysunek 28 ilustruje przebieg optymalizacji dla wybranych dopuszczalnych wartości zmiennych decyzyjnych.

Na wykresie rys. 28 oś rzędnych przedstawia objętość konstrukcji (ten sam materiał prętów ramy) natomiast oś odciętych prezentuje liczbę ewaluacji funkcji celu. W tym zadaniu optymalizacji w ciągu czasu $t=1$ godzina procedura nie zakończyła działania i z uwagi na dużą czasochłonność przerwano działanie Systemu. Najlepszy wektor zmiennych decyzyjnych jaki otrzymano w tym czasie ma składowe $\bar{X}^0 = [22.1, 0.2, 14.8]^T$ a odpowiadająca mu wartość funkcji celu równa jest $\Phi(\bar{x}^*) = 40.9 \cdot 10^3 \text{ cm}^3$.



Rys. 28. Przebieg optymalizacji.

W tabeli 4 przedstawiono wybrane wyniki pośrednie omawianego przykładu optymalizacji.

TABELA 4.

Lp.	Liczba ewaluacji		Zmienne decyzyjne			Wartość funkcji celu
	E.F.C.	O.C.	x_1	x_2	x_3	$\approx 10^3$
1.	7	1	35.00	0.80	20.00	81.60
2.	36	33	60.00	0.2	18.58	59.00
3.	88	108	35.00	0.2	14.42	43.00
4.	125	161	22.11	0.2	14.83	40.9067 [*] opt.

8.2. UWAGI.

Przedstawione dwa przykłady optymalizacji stanowią typowe zadania testowe Systemu Optymalizacyjnego. Ilustrują one też, ekonomiczność rozwiązań optymalnych w zastosowaniach praktycznych. W pierwszym przykładzie wartość funkcji celu, a więc objętości materiału konstrukcji, zmalała o blisko 70%, a w drugim, mimo nie pełnego zakończenia pracy procedury, o blisko 50%.

Oba wyniki są więc znaczącymi oszczędnościami materiałowymi projektowanych konstrukcji prętowych.

W zadaniach praktycznych, wobec złożonych geometrii ram oraz dużej liczby i rodzajów obciążeń zewnętrznych działających na konstrukcję, należy liczyć się dużymi (rzędu godzin) przebiegami czasowymi pracy Systemu. Związane to jest przede wszystkim z odwracaniem globalnej macierzy sztywności co następuje po każdej zmianie wektora zmiennych decyzyjnych, jak również zależy to od liczby zmiennych decyzyjnych i ograniczeń.

Wykorzystana w Systemie metoda Banachiewicza (procedura XMBAN) pozwalająca na szybkie odwracanie globalnej macierzy sztywności, jest aktualnie jedną z najefektywniejszych technik stosowanych w tym celu.

Tym niemniej w miarę pojawiania się lepszych metod odwracania macierzy, wobec segmentowej budowy Systemu, można w prosty sposób dokonać wymiany metod.

W wyniku działania Systemu otrzymuje się rozwiązanie optymalne, które następnie podlega ocenie z uwagi na jego lokalny lub globalny charakter. W tym celu należy restartować dany przykład optymalizacji z różnych punktów początkowych a po otrzymaniu tych samych lub prawie tych samych wartości funkcji celu, przyjmuje się uzyskane rozwiązanie jako minimum globalne. Należy przy tym podkreślić, że stosując metody numeryczne optymalizacji, otrzymane minimum jest minimum globalnym tylko w ramach tolerancji określonej przez parametry zbieżności tych metod.

W pewnych przypadkach, tak jak w przykładzie 2⁰, może się zdarzyć, że w wyznaczonym limicie czasu pracy EMC nie otrzyma się zakończenia pracy działania procedury optymalizacji. Wówczas można zadać nowy przedział czasowy i restartować zadanie lub zakończyć obliczenia na dotychczasowym etapie. W tym drugim podejściu otrzymany do tej pory wynik można uznać za rozwiązanie "optymalne" tym bardziej, że określa ono aktualnie minimalną wartość funkcji celu, a z projektowego punktu widzenia wystarczy stosować najlepsze rozwiązanie z dotychczas uzyskanych.

Należy podkreślić, że opracowany System ANNA1 spełnia, postulowane zasady otwartości i uniwersalności. Segmentowa i przejrzysta budowa Systemu stwarza łatwą możliwość zmiany procedur funkcji celu FNCU, sposobu odwracania macierzy sztywności XMBAN, rozszerzenia zbioru rozwiązań dopuszczalnych w segmencie XWTRZ czy też dołączenia nowych technik optymalizacyjnych w postaci procedur XOPT3, XOPT4 w Segmencie XOPT.

System Optymalizacji Ram ANNA 1 w wersji dla ram płaskich jest wykorzystywany przez Biuro Projektowe Metali Nieżelaznych "BIPROMET" w Katowicach.[31]. System dla ram płaskich został opracowany na podstawie systemu [30] przy znacznym rozszerzeniu możliwości tego ostatniego między innymi o:

- uwzględnienie wielu układów obciążeń,
- znaczne rozszerzenie zbioru rozwiązań dopuszczalnych poprzez wprowadzenie szeregu nowych ograniczeń zmiennych decyzyjnych w postaci np.: ograniczeń przemieszczeń, smukłości, naprężeń wybożenia i stateczności lokalnej środnika itd., według algorytmu podrozdziału 5.2.4,
- zwiększenie sposobu wyboru zmiennych decyzyjnych /na cztery wobec trzech dla każdego pręta/,
- uwzględnienie wpływu osiadania podpór i temperatury równomiernie rozłożonej na pręcie,
- wprowadzenie wstępnej analizy sieciowej konstrukcji - budowa macierzy incydencji,
- zwiększenie liczby rodzajów obciążeń możliwych do jednoczesnego rozpatrzenia /z jednego do trzech/, bez wprowadzania węzłów zastępczych.

- przeprowadzanie optymalizacji według nowego modelu matematycznego uwzględniającego wszystkie rozszerzenia /podrozdział 5.2.5/.

System Optymalizacji Ram ANNA1 w wersji aktualnej różni się z kolei od wersji dla ram płaskich o:

- pełną sieciową analizą statyczną konstrukcji według równań macierzowych podrozdziału 4.2 , /ramy płaskie i przestrzenne/,
- nową regułę wyboru zmiennych decyzyjnych zwiększając wydatnie możliwości starej wersji/np. liczba możliwych wyborów zmiennych wymiarów przekrojów prętów dla dwuteownika bisymetrycznego, równa jest 2^4 wobec 2^1 poprzedniej wersji/,
- większą liczbę rodzajów obciążeń możliwych jednocześnie do rozpatrzenia na przecie, bez wprowadzania węzłów fikcyjnych /5-sił momentów skupionych, 2 - obciążenia równomiernie rozłożone i trapezowe wobec liczb kolejno 1 i 1 dla poprzedniej wersji/,
- możliwość obliczania w dowolnym punkcie belki momentu zginającego, siły tnącej lub ugięcia w lokalnym układzie współrzędnych.

9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI OGÓLNE.

9.1. Podsumowanie.

W pracy rozważono zadanie optymalizacji wybranego typu konstrukcji stalowych poddanych działaniu wielu układów obciążeń. W szczególności przedstawiono model matematyczny optymalizacji oraz System Optymalizacyjny Ram. W zbudowanym modelu zwrócono przede wszystkim uwagę na możliwość praktycznych zastosowań, co znalazło swój wyraz poprzez określenie reguły przyjmowania niezbędnych wielkości konstrukcyjnych jako zmienne decyzyjne oraz określenie koniecznych ograniczeń zmiennych decyzyjnych w ujęciu normowym.

W części analitycznej opracowanego Systemu Optymalizującego wykorzystano technikę sieciową analizy statycznej ram. Zdaniem autora przedstawiona metoda sieciowa jest jednym z najdogodniejszych sposobów analizy statycznej konstrukcji prętowych przy użyciu EMC. Wynika to przede wszystkim z faktu bardzo prostej macierzowej formalizacji metody.

W swoim ujęciu metoda sieciowa jest sposobem wysoce uniwersalnym, co uwydatnia się w odniesieniu do ram płaskich. Podejście sieciowe wykorzystano nie tylko do budowy globalnej macierzy sztywności ale także do badania stopnia swobody układu prętowego, stowarzyszonego z daną konstrukcją rami. Pozwoliło to na zmniejszenie wymiarów globalnej macierzy sztywności.

W przedstawionej metodzie sieciowej, stworzono możliwość jednolitego podejścia do statycznej analizy wszystkich konstrukcji prętowych. Wprowadzono ogólny sposób budowania globalnej macierzy incydencji.

Z uwagi na charakter metody, proces generowania macierzy incydencji można całkowicie zautomatyzować, uwalniając tym samym projektanta od znajomości tej techniki. W zbudowanym Systemie Optymalizacyjnym proces tworzenia globalnej macierzy incydencji przebiega według prostych podprogramów i, co należy podkreślić, wykorzystano przy tym możliwie jak najmniejszą liczbę danych.

W celu zwiększenia uniwersalności metody wprowadzono tak zwaną macierz permutacji, która umożliwia dowolną numerację węzłów konstrukcji (w tym podporowych) jak też pozwala na optymalizację tej numeracji. W konsekwencji, daje to możliwość rozważenia maksymalnej liczby stopni swobody konstrukcji dla określonej pamięci operacyjnej EMC, rezerwowanej przez globalną macierz sztywności.

Przy rozwiązywaniu sformułowanego zadania optymalizacji posłużono się dwiema metodami programowania nieliniowego z ograniczeniami. Są nimi metoda zewnętrzna funkcji kary ze sposobem Hooke'a i Jeevse'a minimalizacji wzdłuż kierunku oraz zmodyfikowana metoda błędzenia. Szczególnie ostatnia z wymienionych metod zasługuje na uwagę. Daje ona bowiem możliwość rozwiązywania zadań optymalizacji nawet dla nieciągłych funkcji celu i ograniczeń, co nie jest możliwe w przypadku metody zewnętrznej funkcji kary jak i innych metod nie symultanicznych. Zastosowanie tej metody w systemie optymalizacyjnym zwiększa możliwości systemu, ponieważ wprowadzając nową funkcję celu i ograniczenia zmiennych decyzyjnych można nie zważać na ich charakter.

Należy też podkreślić, że w przedstawionej metodzie błędzenia uczyniono modyfikację, która powoduje osiągnięcie obszaru minimum globalnego w mniejszej liczbie iteracji.

Porównując tę metodę z metodą zewnętrznej funkcji kary HJ, otrzymuje się wprawdzie lepsze rezultaty stosując metodę HJ w kierunku bezpośrednim do minimum globalnego, to jednak wobec nie "wychodzenia" metody HJ z obszaru minimum lokalnego, zaznacza się przewaga metody symulacyjnej. Jak stwierdzono na przykładach zmodyfikowana metoda błędzenia "wychodzi" z podobszaru minimum lokalnego. Można zaproponować zalecenie aby w zadaniu optymalizacji nieliniowej z ograniczeniem, rozwiązanie przebiegało w początkowej liczbie iteracji metodą symulacyjną, następnie zaś metodą deterministyczną. Może to dać w efekcie dokładniejszy wynik uzyskany ponadto w mniejszej liczbie iteracji, niż miałyby to miejsce stosując każdą z tych metod z osobna.

W opracowanym systemie stworzono też możliwość prostego dołączania innych technik programowania nieliniowego zależnie od postaci określonego zadania optymalizacji.

W modelu matematycznym optymalizacji stworzono dla projektanta szerokie możliwości zarówno w kształtowaniu konstrukcji ramowych jak i w ocenie przydatności wybranych zmiennych decyzyjnych. W obszarze rozwiązań dopuszczalnych uwzględniono normowe zależności naprężeń, w postaci naprężeń wytrzymałościowych, wyboczenia i stateczności lokalnej, wyznaczonych w dostatecznej liczbie punktów przekroju i na długości pręta. Zbliżono przez to model matematyczny optymalizacji do rzeczywistych warunków pracy konstrukcji. Pominęto przy tym niektóre ograniczenia wynikające np. z naprężeń spawalniczych, ale nie pomniejsza to ogólności sformułowania zadania. Tym bardziej, że stosując się do reguł opracowanego Systemu Optymalizacyjnego, można poprzez odpowiednie podprogramy rozszerzyć zbiór rozwiązań dopuszczalnych o dalsze ograniczenia.

W modelu konstrukcyjnym ramy wprowadzono możliwość rozróżnienia odcinków przywęzłowych od przeszłowych danego pręta. Odpowiednie współczynniki zwiększające wymiary przekrojów przywęzłowych są określone przez projektanta i powinny one stanowić o sztywności węzła ramy. Działanie to z punktu widzenia optymalizacji zwiększa ciężar konstrukcji (a więc kryterium optymalizacji), ale w tym przypadku kierowano się zasadą aby w węzłach nie dążyć do oszczędności materiałowych. Minimalne bowiem różnice ciężaru konstrukcji, uzyskane na tej drodze, mogą być niewspółmierne do szkód jakie może spowodować niewystarczająco mocne połączenia.

9.2. Wnioski ogólne.

Po określeniu modelu matematycznego optymalizacji wybranego typu ram stalowych poddanych działaniu wielu układów obciążeń oraz przeprowadzeniu obliczeń testowych według opracowanego Systemu Projektowania Optymalnego Ram, sformułowano następujące wnioski ogólne:

1. Zbudowany model matematyczny optymalizacji ram, poddanych działaniu wielu układów obciążeń pozwala na ujęcie wszystkich niezbędnych informacji o danej konstrukcji ramowej poprzez uwzględnienie w obszarze rozwiązań dopuszczalnych normowych zależności naprężeń wytrzymałościowych, wyboczenia i stateczności lokalnej, obliczonych w dostatecznej liczbie punktów w przekroju i na długości pręta. Umożliwiło to na zbliżenie modelu matematycznego optymalizacji do rzeczywistych warunków pracy konstrukcji.

2. Opracowana reguła wyboru zmiennych decyzyjnych daje projektantowi możliwość określania zmiennych wymiarów przekrojów prętów, w ramach złożonych warunków pracy konstrukcji, poprzez odpowiednią identyfikację prętów, określenie liczby prętów optymalizowanych oraz określenie zmiennych wymiarów przekrojów prętów. Ponadto przedstawiony sposób wyboru zmiennych decyzyjnych wraz z konwersacyjną wersją Systemu Optymalizacyjnego Ram- ANNA1, pozwala projektantowi na ingerowanie w przebieg obliczeń komputerowych poprzez, między innymi, wybór nowych zmiennych wymiarów przekrojów prętów lub zadanie nowej wartości wektora startowego optymalizacji.

3. Sieciowa technika analizy statycznej jest najbardziej adekwatnym sposobem rozwiązywania układów ramowych, wobec bardzo prostej formalizacji macierzowej i wynikającej stąd wysokiej algorytmizacji. Poprzez swoje ujęcie metoda ta uwalnia projektanta całkowicie od znajomości techniki sieciowej, pozostawiając cały proces określania topologii, geometrii i sieci konstrukcji, odpowiednim podprogram w opracowanym Systemie Optymalizacyjnym.

4. O uniwersalności Systemu Optymalizacyjnego decyduje model matematyczny optymalizacji, przyjęte techniki optymalizacyjne oraz organizacja budowy Systemu. Szczególnie ważną rolę odgrywają w Systemie metody optymalizacyjne. Z wykorzystanych w niniejszej pracy metod na uwagę zasługuje Metoda Błądzenia w której uczyniono pewne modyfikacje poprawiające szybkość osiągania obszaru minimum globalnego. Wymieniona metoda w porównaniu z metodami deterministycznymi, zwiększa wydatnie możliwości Systemu Optymalizacyjnego z uwagi na to, że nie są konieczne założenia o ciągłości funkcji celu i ograniczeń zmiennych decyzyjnych.

WYKAZ LITERATURY:

1. Armand J.L., Application of Optimal Control Theory to Structural Optimization; Analytical and Numerical Approach, IUTAM Sym., Warszawa, Optimization in Structural Design, ed. Sawczuk A., Mróz Z., Springer Verlag, Berlin 1975.
2. Benveniste J.E., Study of Mechanism with Application to Frame, Proc. ASCE, J. Eng. Mech. Div., Vol. 91, No. EM1, Feb. 1965, pp. 19-50.
3. Bąbiński Cz., Wolpe M., Automatyizacja projektowania, Arkady, Warszawa 1976.
4. Brandt A.M., /praca zbiorowa/, Kryteria i metody optymalizacji konstrukcji, PWN, Warszawa 1977.
5. Brandt A.M., /praca zbiorowa/, Podstawy optymalizacji elementów konstrukcji budowlanych, PWN, Warszawa 1978.
6. Brézina V., Stateczność prętów konstrukcji metalowych, Arkady, Warszawa 1966.
7. Brown D.M., Ang A.H., Structural optimization by non linear programming, J. Struct. Div., Proc. ASCE, Vol. 92, No. ST 6, 1966, pp. 319-340.
8. Biegus A., Kowal Z., Optymalizacja strukturalnych przekryć warstwowych metodami analizy wartości, V Konf. Nauk. Techn. "Konstrukcje metalowe", T. II, Warszawa 1974.
9. Berke L., Khot N.S., Comparison of Optimality Criteria Algorithms for Minimum Weight Design of Structures, ALAA J., 17,2, Feb. 1979, pp. 182-190.
10. Canon M.D., Culluman C.D., Polak E., Sterowanie optymalne i programowanie matematyczne, WNT, Warszawa 1975.
11. Ce'ra J., Optimization, theorie at algorithmes, Duond-Paris, 1971, /tłum. na j.polski/, PWN, Warszawa 1976.
12. Chen W.F., Atsuta T., Theory of Beam-Columns, Vol 2, Space Behavior and Design, MC Graw-Hin, Inc., 1977.
13. Chern J.M., Optimal Design of Beams for Alternative Loads and Constraints and Generalized Compliance and Stiffness, Int. J. Mech. Sc., Vol 13, 8, pp. 661-674, AMR, 1972, 8, 6286.

14. Doroszeńko O.P., O rasczotie optimalnych kombinowanych sistem na ECWM, /j.ros./, Rim. EMM Stroit. Mech., Kijów 1968.
15. Dems F., Kleiber M., O systemach programów macierzowej anali-
zy konstrukcji, ASKA jako przykład budowy systemu, Mechanika
i komputer, t. 1. Komputer w mechanice budowli, PWN, Warszawa
1978.
16. Fenves S.J., ... , Numerical and Computer Methods in Structu-
ral Mechanics, New York, Academic Press, 1973.
17. Fenves S.J., Structural Analysis by Networks, Matrices and
Computers, Proc. ASCE, J. Struct. Div., Vol. 92, No. ST 1,
Feb. 1966, pp. 200-221.
18. Fenves S.J., Branin F.H., Network - Topological Formulation
of Structural Analysis, Proc. ASCE, J. Struct. Div., Vol. 89,
Aug. 1963, pp. 483-514.
19. Felton L.P., Nelson R.B., Optimized Components in Frame
Synthesis, ALAA J., 9, 6, June 1971, pp. 1027-1031.
20. Fu K.-C., Levey G.E., Discrete Frame Optimization by Complex-
-Simplex Procedure, Comp. Struct., 9, 2, Aug. 1978, pp. 207-
-217.
21. Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A., Metody oblicze-
niowe optymalizacji, Wyd. Polit. Warszawskiej, Warszawa 1972.
22. Fletcher R., Method for the Solution of Optimization Problem,
Study No 5, Comp.-aid. Eng., Sol. Mech. Div., University of
Waterloo, Ontario.
23. Goliński J., Adaptacyjne systemy poszukiwania konstrukcji opty-
malnej, PWN, Warszawa 1976.
24. Gass S.I., Programowanie liniowe. Metody i zastosowania. War-
szawa, PWN, 1976.
25. Gellatly R.A., Gallagher R.H., A procedure for Automated
Minimum Weight Structural Design, J. Roy. Acor., Soc. Acor,
Quart., 17, 1966, pp. 216-230.

26. Ghista D.N., Fully - Stressed Design for Alternative Loads, Proc. ASCE, J. Struct. Div., Vol. 92, No. ST 5, 1966, pp. 237-260.
27. Gable G.G., Moses F., Practical Applications of Structural Optimizations, J. Struct. Div., Proc. ASCE, 101, ST4, Apr. 1975, pp. 635-648.
28. Heyman J., On the Absolute Minimum Weight Design of Framed Structures, Quart. J. Mech. Appl. Math., Vol. 12, No. 3, 1959, pp. 314-324.
29. Huberian K.M., Naprężenia w statycznie nieopriedelimoj formie otwiczajuszczije najmiesziemu jeje wiesu pri fiksirowannych usilijach, /j.ros./, cz. I, Izv. AN, ARm, CCP, 16, 1, 13-19, 1963, cz. II, Izv. AN, Arm. CCP, 16,4, 1963, 15-22.
30. Jendo S., Optymalizacja konstrukcji ramownicowych metodami programowania nieliniowego, cz. 3, /rozprawa habilitacyjna/, IPPT PWN, Warszawa 1979.
31. Janczura A., Sieczkowski J., Optymalizacja w projektowaniu ustrojów prętowych, ETAP III, Raport Inst. Bud. P. Wrocławskiej, Nr 69/81, Wrocław 81.
32. Jackiewicz M., Wieloparametrowa optymalizacja wybranej klasy ustrojów prętowych - szczególny przypadek wykorzystania teorii sieci, Polit. Wrocławska, Wrocław 1978, /praca doktorska/.
33. Kirsch U., Multilevel Approach to Optimum Structural Design, J. Struct. Div., Proc. ASCE., 101, ST4, Apr. 1975, pp. 957-974.
34. Von Kloppel K., Reuschling D., Zur Anwendung der Theorie der Graphen bei der Matrizenformulierung statischer Probleme, Der Stahlbau, No. 8, 1966, pp. 236-245.
35. Kociatkiewicz K., Krzyszczyk H., Wadecka B., Przegląd programów dla EMC z zakresu projektowania budowlanego, Arkady, Warszawa 1974.
36. Kalasa E., Gergorich K., Weiss K., Kryteria postaci wybożenia i racjonalizacja obliczeń ściskanych prętów metalowych, Arch. Inż. Łąd., 24,3, 1978, str. 423-437.

37. Konishi I., Shiraishi N., Tamamura S., Toniguch T., A Network - Topological Study on Statical Analysis of Rigid Framed Structures, Mem. Fac. Eng., Kyoto University, Vol. 31, P.4, Apr. 1969.
38. Lev O.E., Optimum Choice of Determinate Trusses Under Multiple Loads, J. Struct. Div., Proc. ASCE, 103, ST2, Feb. 1977, pp. 391-403.
39. Leon A., Classified Bibliography on Optimization, In: Recent Advances in Optimization Techniques, Eds., Lave A., Vogel T.P. Wiley 1966. pp. 593-649.
40. Leśniak Z.K., OSY - System automatycznego projektowania i optymalizacji konstrukcji stalowych hal przemysłowych, V Konf. Nauk. Techn. "Konstrukcje Metalowe", Warszawa 1974.
41. Livesley R.K., Optimum Design of Structural Frames for Alternative System of Loads, Civ. Eng. Pub. Work Rev., London, Vol. 54, Nr 636, 1959, pp. 732-740.
42. Lind N.C., Analysis of Structures by System theory, Proc. ASCE, J. Struct. Div., Vol. 88, No. ST 2, Apr. 1962, pp.1-22.
43. Maciulevicius D., On the Synthesis of Elastic Minimum Weight Trusses Subject to Multiple Loading and General System Constraints, /j.ros./, litowski Mechaniczieskij sbornik, 1, 1967, str. 18-31.
44. Moris A.J., A Primal-Dual Method for Minimum Weight Design of Statically Determinate Structures with Sereral Systems of Loads, Int. J. Sol. Struct., 16, 11, Nov. 1974, pp.801-807.
45. Di Maggio F.L., Network Analysis of Structures, Proc. ASCE, J. Eng. Mech. Div., Vol. 91, No EM 3, Jun 1965, pp. 169-188.
46. Martin J.B., The Optimal Design of Elastic Structures For Multipurpose Loading, J. Opt. Th. Appl., Vol. 6, 1970, pp.22-40.
47. Nagtegaal J.C., A Superposition Principle in Optimal Plastic Design for Alternative Loads, Int. J. Sol. Struct., 9, 12, Dec. 1973, pp. 1465-1471.

48. Niemierko A., O optymalizacji statycznie niewyznaczalnych przegubowych konstrukcji prętowych na wiele stanów obciążenia, Arch. Inż. Łąd. 18, 1, 1972, str. 75-86.
49. Oden J.T., Neighbors A., Network - Topological Formulation of Analysis of Geometrically and Materialy Non-linear space frame, Space Struct. Octord- Edinbzhgh, 1967.
50. Pietrzak J., Poplewska J., Obliczanie kratownic przy użyciu teorii sieci, Wyd. II, Warszawa-Poznań 1977, PWN.
51. Pietrzak J., Analiza statyczna przestrzennych kratownic statycznie niewyznaczalnych przy zastosowaniu teorii grafów. Arch. Inż. Łąd. 20, 1, 1974.
52. Pietrzak J., Teoria grafów w zastosowaniu do analizy statycznej przestrzennych kratownic statycznie wyznaczalnych, Arch. Inż. Łąd., 18, 2, 1972.
53. Paszkiewicz T., Probus - Pakiet programów do analizy statycznej konstrukcji inżynierskich, Polit. Warszawska, 1977.
54. Polizzatto C., Optimum plastic Design For Multiple Sets of Loads, Meec. J. Ital. Assoc. Th. Appl. Mech., 9, 3, Sept. 1974, pp. 206-213.
55. Plaut R.H., Postbuckling Analysis of Contionous Elastic Systems Under Multiple Loads, P 1, Trans, ASME, Vol. 46, No. 2, June 1979, pp. 393-397: P 2, Trans. ASME, Vol. 46, No. 2, June 1979, pp. 398-403.
56. Pederson P., On the Optimal Layout of Multi-Purpose Trusses, Comp. Struct., 2, 5/6, Dec. 1972, pp. 695-712.
57. PN-76/B-03200, Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
58. Komentarz do normy PN-76/B-03200, Projektowanie konstrukcji stalowych. Warszawa 1976.
59. Prager W., Nagtegaal J.C., Optimal Layout of a Truss for Alternative Loads, Inst. J. Mech. Sc., Vol. 15, 1973, pp. 583-592.

60. Prager W., Heyman J., Automatic Minimum Weight Design of Steel Frames. *J., Frank. Inst.*, 266, 1958, pp. 339-364.
61. Prager W., Chern J.M., Optimal Design of Beams for Prescribed Compliance under Alternative Loads, *I. Opt. Th. App.*, Vol. 5, 1970, pp. 424-431.
62. Prager W., Chern J.M., Optimal Design of Trusses for Alternative Loads, *Ing.-Arch.*, Vol. 41, 1972, pp. 225-231.
63. Prager W., Mayeda R., Minimum - Weight Design of Beame for Multiple Loading, *Int. J. Sol. Struct.*, Vol. 3, 1967, pp. 1001-1011.
64. Prager W., Shield R.T., A General theory of Optimal Plastic Design, *Trans. ASME*, 184, March 1967, pp. 184-186.
65. Rozvany G.I., Mróz Z., Analytical Methods in Structural Optimization, *Appl. Mech. Rev.* 30, 11, 1977, pp. 1461-1470.
66. Rozvany G.I.N., Optimal Design of Multiload Multispan Systems *J. Eng. Mech. Div., Proc. ASCE*, roz. EM6, Dec. 1976, pp.1085-1087.
67. Russel A.D., Choudhory K.T., Cost Optimizations of Buildings, *J. Struct. Div., Proc. ASCE*, 106, ST1, Jan. 1980, pp. 283-300.
68. Rakowski G., Dzikiewicz-Galka A., Synteza hiperstatycznych konstrukcji prętowych. *Mech. Komp.*, T. 1, Komputer w mechanice budowli, PWN, Warszawa 1978.
69. Saka M.P., Majid K.I., Optimum Shape Design of Rigidly Jointed Frames, *Proc. Symp. Appl. Comp. Math. Eng.*, University of Southern California, Berkeley, California Ang. 1977.
70. Spillers W.R., Iterative Structural Design, *Sol. Mech. Arch.*, 2, 4, Nov. 1977, pp. 369-401.
71. Spillers W.R., Network Analogy for the Truss Problem, *Proc. ASCE, J. Eng. Mech. Div.*, Vol. 88, Dec. 1962, pp. 33-40.
72. Save M.A., A General Criterion for Optimal Structural Design, *J. Opt. Th. Appl.* 15, 1, Jan. 1975, pp. 119-129.
73. Spillers W.R., Applications of Topology in Structural Analysis, *Proc. ASCE, J. Struct. Div.* Vol. 89, Ang. 1963, pp.301-313.
74. Saka M.P., Shape optimization of Trusses, *Proc. ASCE, J. Struct. Div.*, Vol. 106, No. ST5, May 1980, pp. 1155-1174.

75. Sved G., Ginos Z., Structural Optimization under Multiple loading, Inst. J. Mech. Sc., Vol. 10, No. 10, Oct. 1968.
76. Siergiejew N.D., Bogatyniew A.I., Problemy optimalnowo projektowania konstrukcji, /j.ros./, Izd. Lit., Leningrad 1971.
77. Schmidt L.C., Minimum Weight Layouts of Elastic, Statically Determinate, Tringulated Frames Under Alternative Load Systems, J. Mech. Phys. Solids., 10, 1962, pp. 139-149.
78. Szmidt J.K., Analiza konstrukcji ramowych z elementów cienkościennych, Cz. I, Szczecin 1973, /praca doktorska/.
79. Scheliny D.R., Krueger R.C., Heins C.P., Design Program for Multi-Story Structures, Comp. Struct., 7,4, Ang. 1977- - pp. 547-551.
80. Thierauf G., A Method for optimal Limit Design of Structures with Alternative Loads, Comp. Meth. Appl. Mech. Eng., Vol. 16, 1978, pp. 135-149.
81. Thierauf G., A Quadratic Approximation of the Structural Design Problem, Kurso-Konf. "Optimalizacja wytrzymałościowa konstrukcji", Jabłonna, wrzesień 1980, IPPT PAN, / w druku/.
82. Turner A., Kestorachi H., Optimal Design of Elastic Structures for Stability Under Multiple Loads, Dai, 1979, 2299-9, vol.40, No. 5, Nov. 1979.
83. Tajnyllina C.H., Rascziot ram najmniejszego wiesia s ucziotom prodolnych sił, Trudy, KAU, 77, 1963, str. 71-82, /j.ros./.
84. Twisdale L.A., Khachaturien N., Multistage Optimization of Structures, J. Struct. Div., Proc. ASCE, 101, ST5, Manh. 1975, pp. 1005-1020.
85. Venkayya V.B., Khat N.S.,... , Experiences with Minimum Weight Design of Structures Using Optimality Criteria Method, SAE Trans., 86, 3, 1977, pp. 2244-2254.
86. Vanderplaats G.N., Moses F., Automated Design of Trusses for Optimum Geometry, J. Struct. Div., Proc., ASCE, vol. 98, No. ST 3, Mar. 1972, pp. 671-690.

87. Willmert K.D., Knen M.R.,..., An Optimality Criterion Method for Large Scale Structures, AIAA J., 17, 7, July 1979, pp. 753-761.
88. Weber G., The Determination of Geometric and Static Indeterminary of Thres Dimensional Frames With. The Aid of Graph Theory. /in German/, Bautechnik, 53, 5, 1976, pp. 166-167.
89. Waslutyński Z., O kryterium kształtowania ustrojów podlegających N - stanom obciążenia, Konwersatorium PTMTS, "Zagadnienia optymalizacji w mechanice", str. 105-107, Gliwice-Szczyrk 1967.
90. Zangwil W.T., Programowanie nieliniowe, WNT, Warszawa 1976.

R o z d z i e l n i k

1. Recenzenci	2 egz.
2. Promotor	1 egz.
3. Biblioteka i Ośrodek Informacji Naukowo-Technicznej Politechniki Wrocławskiej	1 egz.
4. Biblioteka i Ośrodek Informacji Naukowej Instytutu Budownictwa	1 egz.
5. Autor	2 egz.

RAZEM: 7 egz.

INSTYTUT BUDOWNICTWA
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
Raport serii / /81

OPTYMALIZACJA WYBRANEGO
TYPU KONSTRUKCJI RAMOWYCH Z WY-
KORZYSTANIEM METODY SIECIOWEJ

Andrzej Janczura

Załącznik do pracy doktorskiej

WROCŁAW 1981

Mgr inż. Andrzej Janczura
Instytut Budownictwa
Politechniki Wrocławskiej
Plac Grunwaldzki 13,
Budynek C-7, pok. 802, tel. 20-36-54

Raport wpłynął do Redakcji Wydawnictw Naukowych
i Dydaktycznych Instytutu Budownictwa dnia

SPIS TREŚCI

	str.
1. Podstawowe definicje metody sieciowej w zastosowaniu do konstrukcji prętowych.	1
2. Macierz transformacji oraz macierz lokalnej sztywności pręta.	8
3. Opis sposobu przygotowania danych do Systemu Optymalizacyjnego RAM- ANNA 1.	14
3.1. Grupy danych.	14
3.2. Opis grup i sposobu przygotowania danych.	20
4. System Optymalizacyjny RAM- ANNA 1.	42
4.1. Wydruk Systemu.	42
4.2. Opis procedur systemu ANNA 1.	80
5. Wydruki przykładów optymalizacji wybranych ram.	101

1. Podstawowe definicje metody sieciowej w zastosowaniu do konstrukcji ramowych.

W rozdziale tym podano podstawowe definicje z teorii grafów stosowane w metodzie sieciowej ram. Z uwagi na pewną różnorodność w nazwach niektórych elementów metody, spotykaną w pracach różnych autorów, w nawiasach podano terminy równoznaczne.

Def. 1

Grafem skończonym G nazywamy skończony zbiór punktów $\{V_i, i = 1, M\}$ zwanych wierzchołkami i skończony zbiór linii $\{u_i, i = 1, M\}$ zwanych krawędziami takimi, że każda krawędź ma dwa (nie koniecznie różne) wierzchołki jako jej punkty końcowe oraz nie przechodzi ona przez inne wierzchołki. Mówimy, że krawędź jest incydentna (powiązana) z wierzchołkiem, jeśli jest on jednym z jej końców.

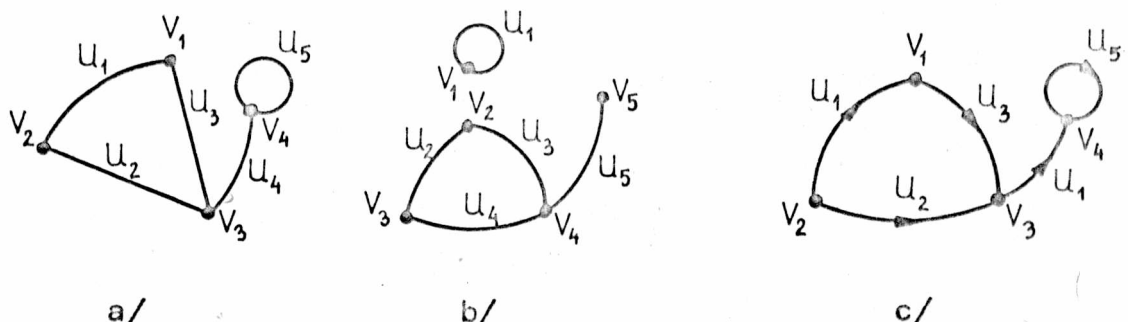
Def. 2

Graf G nazywany skierowanym jeśli każda jego krawędź ma określoną orientację. Zorientowana krawędź "wypływa" z wierzchołka który jest jej początkiem i "wpływa" do wierzchołka, który jest jej końcem lub inaczej jest względem obu wierzchołków dodatnio i ujemnie incydenta.

Def. 3

Graf G jest grafem spójnym jeśli nie ma wierzchołków izolowanych, tzn. wierzchołków z których nie można przejść po krawędziach grafu do dowolnego innego wierzchołka.

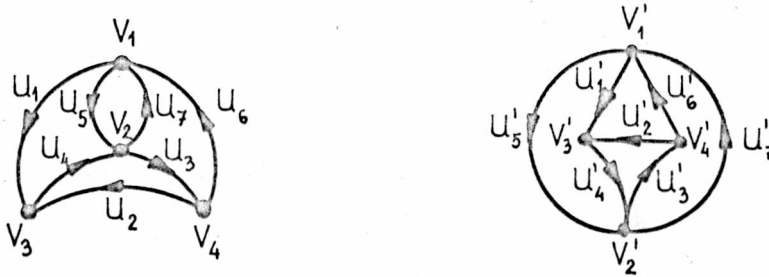
Na rys. 1 przedstawiono graf spójny, graf niespójny oraz spójny graf skierowany.



Rys. 1 Grafy : a/ spójny, b/ nie spójny, c/ spójny, zorientowany.

DEF. 4 Dwa grafy są izomorficzne jeśli:

- 1^o Jest wzajemnie jednoznaczna odpowiedniość między ich zbiorami wierzchołków.
- 2^o Jest wzajemnie jednoznaczna odpowiedniość między ich zbiorami krawędzi.
- 3^o Zachowana jest orientacja krawędzi dla grafów zorientowanych.



Rys. 2. Grafy izomorficzne.

- Def. 5 Ścieżką nazywamy ciąg różnych krawędzi takich, że dwie kolejne krawędzie w ciągu są incydentne względem tego samego wierzchołka.
- Def. 6 Cyklem nazywamy ścieżkę, której początkowy wierzchołek zbiega się z końcowym wierzchołkiem pierwszej i ostatniej krawędzi.

W grafie spójnym skierowanym mającym N wierzchołków i M Krawędzi, każdemu cyklowi \bar{C}_j przyporządkowano m -wymiarowy wektor:

$$\bar{C}_j = [c_{1j}, \dots, c_{Mj}]^T, \text{ gdzie:}$$

$$c_{ij} = \begin{cases} d_i^+ - d_i^- & \text{jeśli krawędź } u_i \text{ jest "przechodzona" } d_i^+ \\ & \text{razy w kierunku zgodnym z jej orientacją} \\ & \text{oraz } d_i^- \text{ w przeciwnym,} \\ 0 & \text{jeśli } U_i \text{ nie jest częścią cyklu.} \end{cases}$$

Dla grafu z rys. 2 wektor \bar{C}_j odpowiadający cyklowi $\bar{C}_j = [u_1, u_2, u_3, u_4, u_2, u_6, u_4]^T$ jest równy $\bar{C}_j = [1, -2, -1, -1, 0, 1, 0]^T$.

Wszystkie cykle są liniowymi kombinacjami V cyklów bazowych.

Dla grafu spójnego jest z rleacji Eulera - Poincara [2]:

$$V = M - N + 1 \tag{1.1}$$

Def. 7 Podprzestrzeń wektorowa S_c przestrzeni M -wymiarowej S_M , rozpięta jest na V cyklach bazowych i zwana jest wektorową podprzestrzenią cyklu.

Def. 8 Macierz $T = [t_{ij}]$ wymiaru $N \times M$ nazywamy macierzą incydencji wtedy, gdy:

$$t_{ij} = \begin{cases} -1 & \text{gdy } u_j \text{ "wpływa" do wierzchołka } V_i, \\ +1 & \text{gdy } u_j \text{ "wypływa" z wierzchołka } V_i, \\ 0 & \text{gdy } u_j \text{ nie ma końca w wierzchołku } V_i. \end{cases}$$

Dla grafu $c/$ z rys. 1 macierz incydencji ma postać:

WĘZŁY		1	2	3	4	5	KRAWĘDZIE
	1	-1	0	1	0	0	
	2	1	1	0	0	0	
	3	0	-1	-1	1	0	
	4	0	0	0	-1	0	

Z tw. Poincare-Veblen - Alexandre'a wynika, że :

$$\bar{c} \in S_c \Leftrightarrow T \cdot \bar{c} = 0 \quad (1.2)$$

Jeśli przez C oznaczymy macierz cykli bazowych wymiaru $M \times V$, to powyższe twierdzenie można sformułować następująco:

Warunkiem koniecznym i dostatecznym na to aby macierz C wymiaru $M \times V$ była macierzą cyklu jest równanie:

$$T \cdot C = 0 \quad \text{lub} \quad C^T \cdot T^T = 0 \quad (1.3)$$

Równanie (1.2) są wykazywane również przez S.J. Fenvesa [17].

Def. 9 Gwiazdą $S(V_i)$ nazywamy podgraf zawierający te gałęzie grafu podstawowego, które są incydentne z wierzchołkiem V_i .

Def. 10 Wektorem gwiazdowym \bar{S}_i nazywamy i -ty wiersz macierzy incydencji T .

Wektory gwiazdne \bar{S}_i tworzą przestrzeń gwiazdną S_s będącą podprzestrzenią przestrzeni S_M .

Z równania (1.1) wynika, że:

$$\bar{c} \in S_c \Leftrightarrow \bar{S}_i \cdot \bar{c} = 0 \quad \forall \bar{S}_i \in S_s \quad (1.4)$$

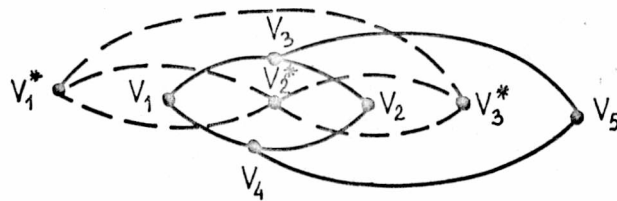
a więc podprzestrzenie S_c i S_s są ortogonalne.

Def. 11 Grafem planarnym nazywamy graf, którego żadne krawędzie nie przecinają się z wyjątkiem punktów końcowych.

Def. 12 Skończoną powierzchnię czołową grafu planarnego nazywamy dowolny obszar płaszczyzny ograniczony krawędziami nie zawierający żadnego wierzchołka ani krawędzi w swoim wnętrzu.

Def. 13 Grafem dualnym G^* do grafu planarnego nazywamy skończony zbiór wierzchołków i krawędzi taki, że:

- 1^o tylko jeden wierzchołek może należeć do wnętrza danej płaszczyzny czołowej grafu G ,
- 2^o dwa wierzchołki połączone są przez tyle linii ile jest wspólnych krawędzi grafu G , odpowiednich płaszczyzn czołowych, dla tych wierzchołków.



Rys. 3. Graf dualny (linie przerywane) odpowiadający grafowi planarnemu G .

J. Pietrzak w swoich pracach poświęconych metodom sieciowym w analizie kratownic to jest np. w [50], [51], [52] wprowadza pojęcie macierzy podstawowych pętli grafu oraz macierz podstawowych przekrojów grafu. Łatwo sprawdzić, że to równoznaczne definicje macierzy cyklu i incydencji z tym, że odniesione do przeciwnego znaczenia orientacji krawędzi oraz do transpozycji wymienionych macierzy.

Stosowane przez J. Pietrzaka równania sieciowe mają postać:

$$U * D' = \begin{bmatrix} R_1 & | & I_2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} D_1' \\ D_2' \end{bmatrix} = 0, \quad (1.5)$$

$$Q * F' = \begin{bmatrix} I_1 & | & H_2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} F_1' \\ F_2' \end{bmatrix} = 0, \quad (1.6)$$

gdzie: D_1' , D_2' - to przemieszczenia przypisane krawędziom I, II rodzaju,

F_1' , F_2' - to siły odpowiadające odpowiednio krawędziom I, II rodzaju,

U - jest macierzą podstawowych pętli grafu,

Q - jest macierzą podstawowych przekroji grafu.

Rozbicie macierzy U i Q na dwie podmacierze /tak jak we wzorach (1.5), (1.6)/ z których I_1 , I_2 są macierzami jednostkowymi, uzyskuje się przez odpowiednie ponumerowanie krawędzi i wierzchołków grafu. Między macierzami H_2 oraz R_1 zachodzi związek:

$$R_1 = -H_2^T. \quad (1.7)$$

Definicje macierzy U , Q oraz wprowadzonej macierzy incydencji W są następujące:

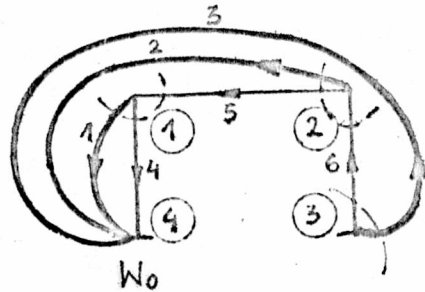
DEF. 14. Elementy U_{ij} macierzy podstawowych pętli grafu /cykli/ są postaci:

$$U_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli krawędź } U_i \text{ zawarta jest w pętli } C_i \text{ z zachowaniem orientacji w pętli,} \\ -1 & \text{jeżeli krawędź } U_i \text{ zawarta jest w pętli } C_i \text{ z przeciwną orientacją do orientacji pętli,} \\ 0 & \text{jeżeli krawędź } U_j \text{ nie zawiera się w pętli } C_i. \end{cases}$$

DEF. 15. Elementy g_{ij} macierzy podstawowych przekrojów grafu Q mają postać:

$$g_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli krawędź } U_i \text{ zawarta jest w przekroju } i \text{ grafu, przy zachowaniu orientacji przekroju grafu,} \\ -1 & \text{jeżeli krawędź } u_j \text{ zawarta jest w przekroju } i \text{ grafu, przy orientacji przeciwnej do orientacji przekroju,} \\ 0 & \text{jeżeli krawędź } u_j \text{ nie zawiera się w przekroju } i \text{ grafu.} \end{cases}$$

Na rysunku 4 przedstawiono graf zorientowany ramy portelowej z zaznaczeniem krawędzi I rodzaju /linie grube/ oraz krawędzi II rodzaju /linie cienkie/.



Rys. 4.

Macierze Q , U dla tego grafu mają postać:

$$Q = \begin{array}{c|cccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \hline 1 & 1 & & & 1 & -1 & \\ 2 & & 1 & & & 1 & -1 \\ 3 & & & 1 & & & 1 \\ 4 & & & & & & \end{array}$$

Przyjmuje się, że orientacja podstawowych przekrojów grafu jest taka sama jak orientacja krawędzi I rodzaju które do niego należą.

$$U = \begin{array}{c|cccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \hline 1 & -1 & & & 1 & & \\ 2 & 1 & -1 & & & 1 & \\ 3 & & 1 & -1 & & & 1 \end{array}$$

Przyjęto, że orientacja pętli grafu jest dodatnia w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara. Macierz incydencji W przyjęta w [51] jest transponowana w stosunku do macierzy incydencji T z definicji 8, czyli:

$$W = T^T \quad (1.8)$$

Macierz incydencji W dla grafu z rys. 4 jest postaci:

$$W = \begin{array}{c|cccc} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 1 & & & -1 \\ 2 & & 1 & & -1 \\ 3 & & & 1 & -1 \\ 4 & 1 & & & -1 \\ 5 & -1 & 1 & & \\ 6 & & -1 & 1 & \end{array}$$

Jak widać na przykładzie z rys.4. warunek (1.7) jest spełniony. Ponadto gdy odniesiemy macierz incydencji tylko do krawędzi II rodzaju z pominięciem wierzchołka odniesienia W_0 to otrzyma się macierz:

$$W' = \begin{array}{c|ccc} & 1 & 2 & 3 \\ \hline 4 & 1 & & \\ 5 & -1 & 1 & \\ 6 & & -1 & 1 \end{array}$$

czyli porównując z podmacierzą H_2 macierzy Q jest:

$$W' = H_2^T \tag{1.9}$$

Z równań (1.8) i (1.9) otrzymuje się, że macierz incydencji T , przyjmowana w niniejszej pracy, równoważna jest podmacierzy H_2 w macierzy podstawowych przekrojów grafu Q . Przy tej uwadze oraz definicji globalnej macierzy incydencji H /punkt 4.1/ z równań sieciowych (1.5) i (1.6) otrzymuje się, po prostym przekształceniu równania (1) i (2) rozdziału 4.1.

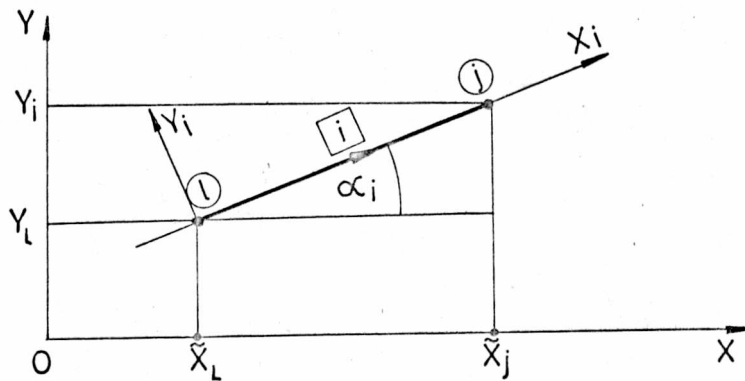
2 Macierz transformacji oraz lokalna macierz sztywności

Dla przypadku płaskiego sieciowej analizy ram macierz transformacji Λ_i^x i-tego pręta do globalnego układu współrzędnych ma postać:

$$\Lambda_i^x = \begin{array}{|c|c|} \hline \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i \\ \hline \sin \alpha_i & \cos \alpha_i \\ \hline \end{array}$$

gdzie $\cos \alpha_i = \frac{\tilde{x}_j - \tilde{x}_L}{L_i}$, $\sin \alpha_i = \frac{y_i - y_L}{L_i}$, $L_i = \sqrt{(\tilde{x}_j - \tilde{x}_L)^2 + (y_i - y_L)^2}$

Współrzędne końców (j) oraz (L) i-tego pręta przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5 Lokalny układ współrzędnych i-tego pręta.

Lokalną macierz sztywności dla określonych wektorów sił \bar{F}_i^L i przemieszczeń \bar{U}_i^L , pokazano w tabeli 1.

Tabela 1

$K_i^t =$

$\frac{EA}{L}$			$-\frac{EA}{L}$		
	$\frac{12EIy}{L^3}$	$\frac{6EIy}{L^2}$		$-\frac{12EIy}{L^3}$	$\frac{6EIy}{L^2}$
		$\frac{4EIy}{L}$		$-\frac{6EIy}{L^2}$	$\frac{2EIy}{L}$
	SYMETRIA		$\frac{EA}{L}$		
				$\frac{12EIy}{L^3}$	$\frac{6EIy}{L^2}$
					$\frac{4EIy}{L}$

Macierz K_i^1 odpowiada przypadkowi obustronnego zamocowania pręta. Dla ram przestrzennych macierz transformacji Λ_i związana z i -tym prętem ma postać:

$$\Lambda_i = \begin{bmatrix} \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i & \cos\alpha_i \cdot \sin\beta_i & \sin\alpha_i \\ \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i & \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i & \cos\alpha_i \\ -\sin\beta_i & \cos\beta_i & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin\xi_i & \cos\xi_i \\ 0 & -\cos\xi_i & \sin\xi_i \end{bmatrix}$$

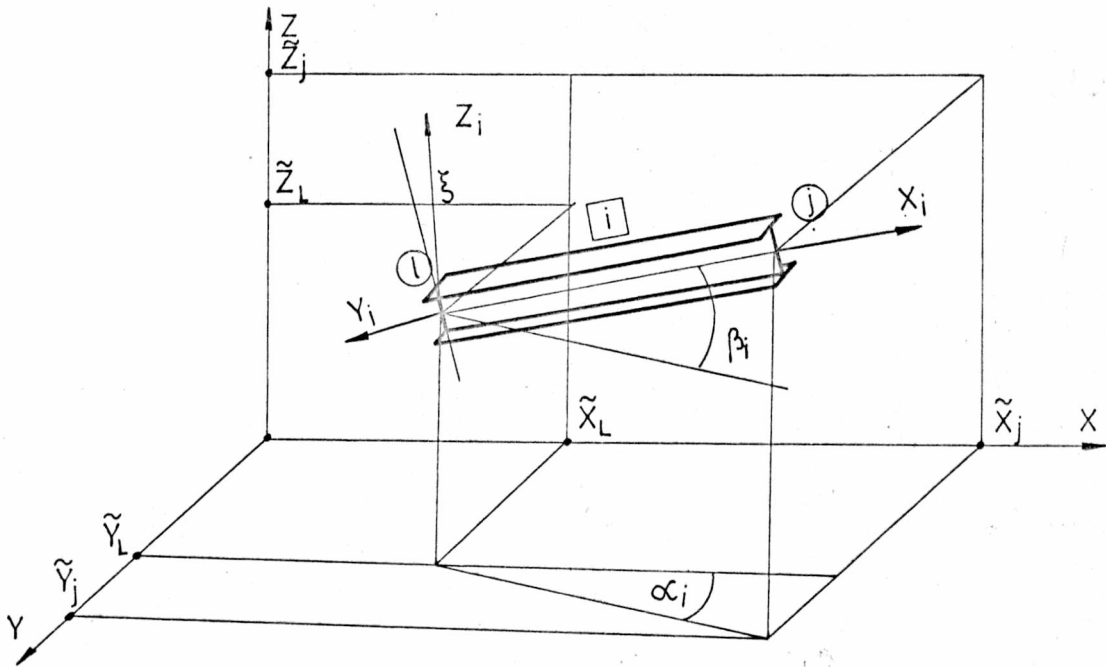
Funkcje $\sin \alpha, \beta, \xi$ oraz $\cos \alpha, \beta, \xi$ określone są przez współrzędne końców pręta w globalnym układzie współrzędnych:

$$\cos \alpha_i = \begin{cases} \frac{x_i}{L_{xy}} & \text{dla } L_{xy} \neq 0 \\ 0 & \text{dla } L_{xy} = 0 \end{cases}, \quad \sin \alpha_i = \begin{cases} \frac{y_i}{L_{xy}} & \text{dla } L_{xy} \neq 0 \\ 0 & \text{dla } L_{xy} = 0 \end{cases}$$

$$\cos \beta_i = \frac{L_{xy}}{L_i}, \quad \sin \beta_i = -\frac{z_i}{L_i}, \quad L_{xy} = \sqrt{(\Delta x_i)^2 + (\Delta y_i)^2},$$

$$L_i = \sqrt{(\Delta x_i)^2 + (\Delta y_i)^2 + (\Delta z_i)^2}, \quad \Delta x_i = \tilde{x}_j - \tilde{x}_1, \quad \Delta y_i = \tilde{y}_j - \tilde{y}_1, \quad \Delta z_i = \tilde{z}_j - \tilde{z}_1$$

Na rys. 6 zaznaczono kąty α , β , ξ oraz współrzędne końców pręta \boxed{i} w globalnym układzie współrzędnych:



Rys. 6 Globalny i lokalny układ współrzędnych pręta ramy przestrzennej.

Kąt ξ_i będący kątem obrotu dookoła osi wprowadza się do obliczeń dodatkowo. Określa on położenie głównych centralnych osi bezwładności przekroju.

Ponieważ przyjęto, że centralne osie bezwładności pokrywają się z płaszczyznami X_iOZ_i oraz X_iOY_i zatem $\xi_i = 0$.

Lokalna macierz sztywności dla ramy przestrzennej o przekrojach zwartych jest postaci:

$$K_i^L = \begin{array}{|c|c|} \hline K_{11} & K_{12} \\ \hline K_{21} & K_{22} \\ \hline \end{array}$$

gdzie $K_{21} = K_{12}^T$. Bloki K_{11} , K_{12} , K_{22} podano dla prętów o węzłach sztywnych, w tabelach 2, 3, 4.

Tabela 2

$K_{11} =$

$\frac{EA}{L}$					
	$\frac{12EIz}{L^3}$				$\frac{6EIz}{L}$
		$\frac{12EIy}{L^3}$		$\frac{-6EIy}{L}$	
	SYMETRIA		$\frac{GI_s}{L}$		
				$\frac{4EIy}{L}$	
					$\frac{4EIz}{L}$

Tabela 3

$K_{12} =$

$-\frac{EA}{L}$					
	$\frac{-12EIz}{L^3}$				$\frac{6EIz}{L^2}$
		$\frac{-12EIy}{L^3}$		$\frac{-6EIy}{L^2}$	
	ANTYSYMETRIA		$\frac{-GI_s}{L}$		
				$\frac{2EIy}{L}$	
					$\frac{2EIz}{L}$

Tabela 4

$K_{22} =$

$\frac{EA}{L}$					
	$\frac{12EI_z}{L^3}$				$-\frac{6EI_z}{L^2}$
		$\frac{12EI_y}{L^3}$		$\frac{6EI_y}{L^2}$	
	SYMETRIA		$\frac{GI_s}{L}$		
				$\frac{4EI_y}{L}$	
					$\frac{4EI_z}{L}$

W przypadku ramy przestrzennej złożonej z prętów o przekrojach cienkościennych, lokalna macierz sztywności K_i^L jest wymiaru 14×14 i ma postać:

$K_i^L =$

K_{11}				K_{12}				b									
										b		c		-b		d	
										K_{21}				K_{22}			
b		d		-b		c											

Elementy a, b, c, d macierzy K_i^L są postaci [12]:

$$a = \frac{12EI_{LW}}{L_i^3} + \frac{36 \cdot GI_d}{30 \cdot L_i}, \quad B = \frac{6EI_{LW}}{L_i^2} + \frac{3}{30} GI_d, \quad (2.1)$$

$$c = \frac{4 EI_{LW}}{L_i} + \frac{4}{30} GI_d \cdot L_i, \quad d = \frac{2EI_{LW}}{L_i} - \frac{GI_d \cdot L_i}{30} \quad (2.2)$$

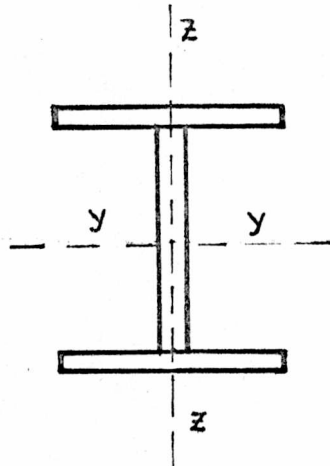
gdzie: I_d współczynnik skręcania Saint-Venanta równy dla przekroju dwuteowego:

$$I_d = \frac{k}{3} \sum_i t^3 \cdot b_i ,$$

przy czym b_i - to szerokości i grubości a k -to współczynnik doświadczalny przyjmowany dla dwuteowników $k=1,2$,

Ponadto elementy $k_{4,4}$ w macierzach K_{11} , K_{12} , K_{21} i K_{22} są postaci odpowiednio a , $-a$, $-a$ oraz a .

Oznaczenie osi symetrii dla przekroju dwuteowego przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7.

3. OPIS SPOSOBU PRZYGOTOWANIA DANYCH DO SYSTEMU
OPTYMALIZACYJNEGO RAM-ANNA1.

3.1. Grupy danych.

1°.

Użytkownik	
Stanowisko	
Numer przykładu	
Jednostki obciążeń	
Jednostki długości	

2°.

Parametry sterujące Systemem.

IOPT	KSTAT	KTEMP	KPODP	KBIM	KŻEB	KPRZEK

3°.

Parametry geometrii konstrukcji.

IWYM	LP	LW	LWP	LWW	LWWP

4°.

Charakterystyki przekroju.

ITP	E	G	NJMX

5°.

Współrzędne węzłów

(XMWW (I, J), J=1, IKK)

5^o.1. Ramy płaskie.

Współrzędna X	Współrzędna Y
XMWW (1,1)	XMWW (1,2)
...	...
XMWW (LP,1)	XMWW (LP,2)

5^o.2. Ramy przestrzenne.

Współrzędna x	Współrzędna Y	Współrzędna Z
XMWW (1,1)	XMWW (1,2)	XMWW (1,3)
...
XMWW (LP,1)	XMWW (LP,2)	XMWW (LP,3)

5^o.3. Ramy przestrzenne - lokalny układ współrzędnych.

(XKSI(I), I=1,LP)

XKSI(1)	XKSI(2)	...	XKSI(LP)

6^o. Oznaczenia prętów.

J	NI(J)	ID(J)	IR(J)	L	K

6.^o1. Odcinki przywęzłowe

(FXF(I), I=1, ITP)

FXF(1)	FXF(2)	...	FXF(ITP)

6^o.2. Żebra w przypadku przekrojów dwuteowych.

$(XZB(I, J), J=1, 2)$

XZB(1,1)	XZB(1,2)
...	...
XZB(LP,1)	XZB(LP,2)

7^o. Zamocowanie węzłów.

$(WW(I, J), J=1, LWW)$

WW(1,1)	...	WW(1, LWW)
...
WW(LW,1)	...	WW(LW, LWW)

7^o.1. Optymalizacja - ograniczenie przemieszczeń-X węzłów.

$(DDX(I), I=1, LW)$

DDX(1)
...
DDX(LW)

7^o.2. Ograniczenie strzałek ugięć prętów.

$(DDU(I), I=1, LP)$

DDU(1)
...
DDU(LP)

7^o.3. Współczynniki wyboczenia i spaczenia.

AWX(J)	AWY(J)	AS1(J)	AS2(J)

7^o.4. Przesuwany podpór.

$$\left(XWPD (I * LWW - LWW + J), J=1, LWW \right)$$

XWPD (1)	...	XWPD(LWW)	...	XWPD((LW-1)*LWW+1)	...	XWPD(LW*LWW)
----------	-----	-----------	-----	--------------------	-----	--------------

8^o. Liczba układów obciążeń.

$$LSBT$$

9^o. Komentarz odnośnie obciążeń

--

10^o.

NW	NP

10^o.1. Obciążenia węzłów (NW ≠ ∅) dla wielu układów obciążeń.

$$K, \left(A (LWW * K - LWW + KK + NN * (LL-1)), KK=1, LWW \right)$$

1	A (1)	...	A (LWW)
...
LW	A (LW+1)	...	A (LWW+LW)

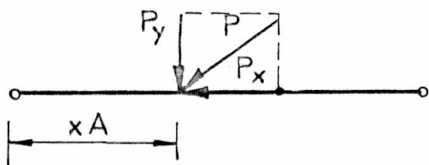
LSBT
razy

10^o.2. Obciążenia prętów (NP ≠ ∅), macierz krątności obciążeń.

$$\left(XOBP (I, J, LL), J=1, 5 \right)$$

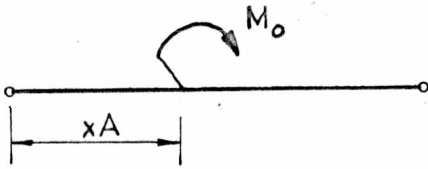
XOBP (1,1, LL)	...	XOBP (1,5, LL)
...
XOBP (LP,1, LL)	...	XOBP (LP,5, LL)

10^o.2.1. Siła skupiona.



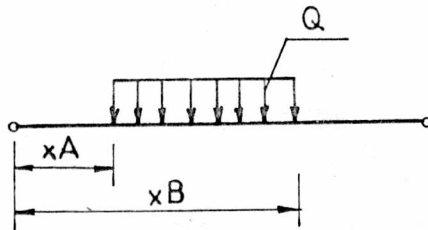
1	PX	PY	XA
...
IS			

10⁰.2.2. Moment skupiony.



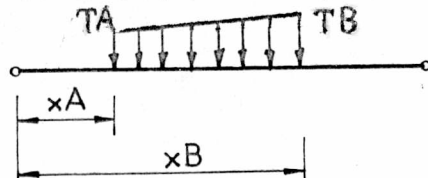
1	M	XA
...
IS		

10⁰.2.3. Obciążenie równomiernie rozłożone.



1	Q	XA	XB
IS			

10⁰.2.4. Obciążenie trapezowe.



1	TA	TB	XA	XB
IS				

10⁰.3. Wpływ temperatury równomiernie rozłożonej na pręcie.

10⁰.3.1. Dla ram płaskich.

ALFA	DDT(1,LL)	...	DDT(LP,LL)	DDT1(1,LL)	DDT1(LP,LL)
		...			

10⁰.3.2. Dla ram przestrzennych.

ALFA	DDT(1,LL)	...	DDT(2*LP,LL)	DDT1(1,LL)	...	DDT1(LP,LL)
		

11⁰. Początkowe wymiary poprzeczne prętów.

$$(XS(J + ITP * (I - 1)), J = 1, ITP)$$

XS(1)	...	XS(ITP)
...
XS(ITP*(LP-1)+1)	...	XS(LP*ITP)

12°. Optymalizacja.

XNV	XNG	XIREST	XLOK	FP	ISTART

13°. Ograniczenia geometryczne zmiennych decyzyjnych.

XLA(1)	XLB(1)
...	...
XLA(NV)	XLB(NV)

14°. Określenie zmiennych wymiarów przekroju.

(XMZD(I,J), J=1, ITP+1)

XMZD(1,1)	...	XMZD(1, ITP+1)
...
XMZD(LP,1)		XMZD(LP, ITP+1)

14°.1. Zmodyfikowana Metoda Błądzenia.

XPØ	XTØ	XKØ	XKWP	XNTP	XNA	XNMAX	EK

14°.2. Metoda zewnętrznej funkcji kary.

14°.2.1. Długość i tolerancja kroku.

D(1)	...	D(ITP)	EPSI(1)	...	EPSI(ITP)
	

14°.2.2.

EPSIF	RK	PRINT

15°. Nazwisko i imię przygotowującego dane

--

3.2. Opis grup i sposobu przygotowania danych.

Dane grupy 1^o.

Dane typu tekst. Format wczytania 5A4.
Wszystkie dane wejściowe muszą być podawane konsekwentnie w zadeklarowanych jednostkach.

Dane grupy 2^o.

Wszystkie kolejne grupy danych /oprócz danych typu tekst/ wczytywać formatem swobodnym F \emptyset . \emptyset .

IOPT - parametr sterujący sposobem pracy Systemu,

- = \emptyset . - analiza statyczna,
- = 1. - analiza statyczna i wytrzymałościowa /projektowanie tradycyjne/,
- = 2. - Optymalizacja z wykorzystaniem Metody Błądzenia,
- = 3. - Optymalizacja z wykorzystaniem Metody Zewnętrznej funkcji kary.

* W razie rozszerzania Systemu o nowe metody projektowania nieliniowego, zwiększyć wartość parametru IOPT dla kolejnych metod wraz z dołączeniem odpowiednich procedur np. XOPT3, XOPT4 oraz uzupełnić podprogram XOPT o nowe wywołania.

KSTAT - parametr sterujący sposobem analizy statycznej konstrukcji,

- = \emptyset . - analiza statyczna wg- teorii geometrycznie liniowej,
- = 1. - analiza statyczna wg- teorii geometrycznie nieliniowej.

* Aktualnie KSTAT= \emptyset . Przewiduje się rozszerzenie do zagadnień geometrycznie nieliniowych, przez rozbudowę współczynników lokalnej macierzy sztywności uwzględniającej wpływ siły

osiowej na odkształcenia układu.

KTEMP - parametr uwzględniający wpływ temperatury równomiernie rozłożonej na pręcie:

= 0. - NIE,

= 1. - TAK.

KPODP - parametr uwzględniający bimoment jako składnik w wektorze uogólnionych sił wewnętrznych, /tylko dla ram przestrzennych/:

= 0. - NIE,

= 1. - TAK.

KZEB - parametr występowania żeber dla dwuteowników,

= 0. - NIE,

= 1. - TAK.

KPRZEK - parametr typu przekroju pręta:

0. - dwuteowy bisymetryczny,

1. - dwuteowy symetryczny,

2. - skrzynkowy.

* Aktualnie KPRZEK = 0. lub 1. *

Dane grupy 3⁰.

Dane geometrii konstrukcji prętowej.

IWYM - parametr określający rodzaj konstrukcji prętowej:

= 0. - belka,

= 1. - rama płaska przy założeniu nieściśliwości prętów /badanie "mechanizmu" ramy/,

= 2. - rama płaska przypadek ogólny,

= 3. - rama przestrzenna.

LP - liczba wszystkich prętów,

* Przez liczbę LP rozumie się wszystkie elementy skończone - odcinki powstałe z podziału rzeczywistej konstrukcji prętowej. Jeśli rozróżnia się również i więzy, traktując je jako np. podpory sprężyste, to podlegają one także numeracji i wliczeniu do LP. Ogólnie rozpatruje się pręty: "podstawowe", "przywęzłowe" i "fikcyjne" /grupa 6^o/ *

LW - liczba wszystkich węzłów konstrukcji,

LWP - liczba węzłów podporowych,

LWW - liczba stopni swobody węzła:

= 3. belka, rama płaska,

= 6. rama przestrzenna,

= 7. rama przestrzenna z uwzględnieniem bimomentów.

LWWP - Liczba wszystkich więzi węzłów konstrukcji.

Dane grupy 4^o.

Dane charakterystyk przekroju i materiału prętów konstrukcji.

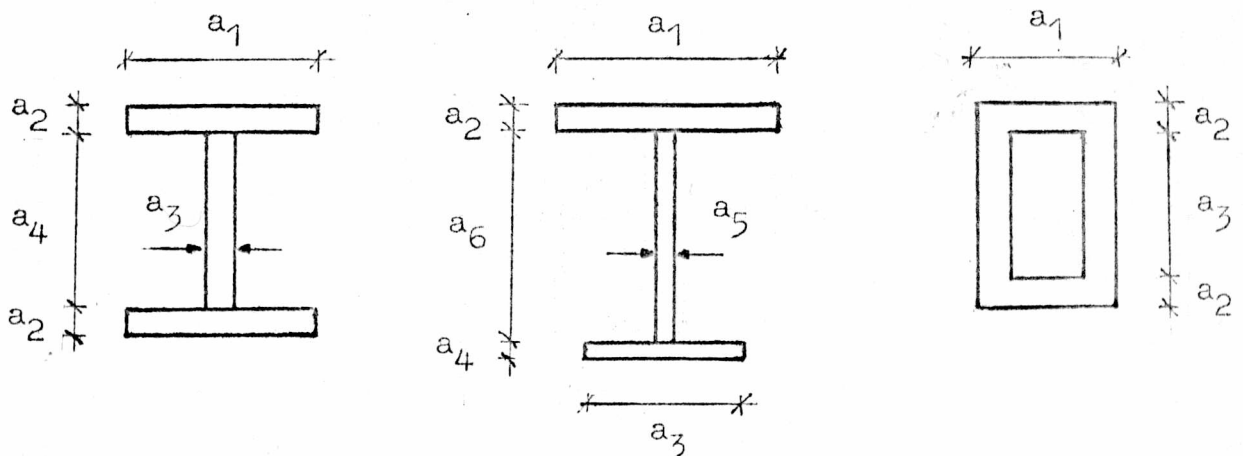
ITP - liczba wymiarów przekroju poprzecznego prętów:

= 3. - skrzynkowy,

= 4. - dwuteowy bisymetryczny,

= 6. - dwuteowy symetryczny.

* Na rys. 8. przedstawiono kolejno wymiary dla trzech wymienionych przekrojów pręta:



Rys. 8. Przekroje pręta a/ dwuteowy bisymetryczny, b/ dwuteowy symetryczny, c/ skrzynkowy, *

E - moduł sprężystości podłużnej,
G - moduł sprężystości poprzecznej,
NJMX - ograniczenie liczby węzłów i prętów konstrukcji.

* W aktualnej wersji liczba węzłów i prętów zależy od "upakowania" globalnej macierzy sztywności dla której zarezerwowano tablicę SG (6 \emptyset , 6 \emptyset). Przy pasmowym zapamiętaniu macierzy dla najlepszej numeracji węzłów /to jest takiej, że maksymalna różnica między numerami końców prętów jest możliwie najmniejsza/, otrzymuje się następujące przybliżone zestawienie:

Tabela 5

IWYM	MLWP	LWW	LWP	LW	LP
2.	4.	3.	2 \emptyset .	13 \emptyset .	15 \emptyset .
3.	4.	6.	2 \emptyset .	78.	100.
3.	6.	7.	2 \emptyset .	59.	100.

gdzie: MLWP - oznacza maksymalną liczbę prętów zbiegających się w węźle.

Dane grup 5⁰, 5⁰.1, 5⁰.2, 5⁰.3.

Dane dotyczą współrzędnych węzłów konstrukcji w globalnym układzie współrzędnych. Wczytywać kolejno według wzrastającej numeracji węzłów. Na każdej karcie umieszczać współrzędne tylko jednego węzła. Liczba wszystkich kart tej grupy musi być zgodna z liczbą LW grupy 3⁰. Dla ram płaskich podajemy tylko współrzędne węzłów /grupa 5⁰.1/.

Dla ram przestrzennych /grupa 5⁰.2/ po karcie ze współrzędnymi ostatniego węzła konstrukcji, podajemy dla kolejnych prętów, kąty obrotu dookoła lokalnej osi x - współrzędnych danego pręta. Kąty obrotu określają położenie głównych centralnych

osi bezwładności przekroju pręta /grupa 5⁰.3/.

Dane grup 6⁰, 6⁰.1, 6⁰.2.

Wyróżniono trzy grupy prętów konstrukcji:
 pręt podstawowy - którym jest dowolny rzeczywisty pręt konstrukcji, pręt przywęzłowy - którym jest odcinek przywęzłowy pręta rzeczywistego oraz pręt fikcyjny - którym jest np. podpora sprężysta.

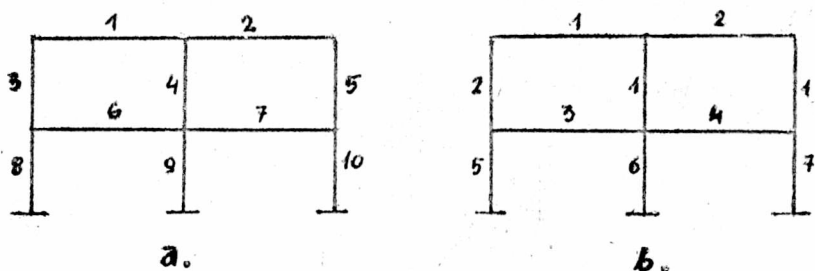
IR(.) = ∅. - pręt fikcyjny,
 = 1. - pręt przywęzłowy,
 = 2. - pręt podstawowy,
 NI(.) - wskaźnik identyfikacyjny prętów,
 ID(.) - wskaźnik optymalizacji prętów,
 = ∅. - pręt nie jest optymalizowany,
 = 1. - pręt jest optymalizowany,

L = XMPRW(J,1) - mniejszy numer węzła dla pręta j

K = XMPRW(J,2) - większy numer węzła dla pręta j
 /koniec pręta/

* Podział pręta rzeczywistego na pręt podstawowy i przywęzłowy odbywa się przez wprowadzenie węzła fikcyjnego.

Poprzez parametr identyfikacji prętów NI(.) istnieje możliwość nadania określonym grupom prętów tych samych przekrojów poprzecznych Np:

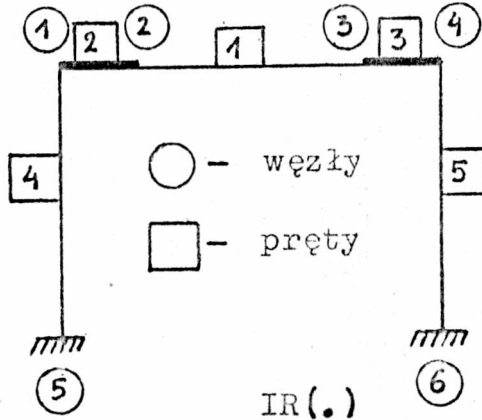


Rys. 9.

Na rys. 9 a/ - wszystkie pręty mają różne pole przekroju prętów; b/ - pręty 1,5,4 mają ten sam przekrój oraz pręty 2 i 3.

Oczywiście ta sama identyfikacja prętów pociąga za sobą ten sam wskaźnik optymalizacji $ID(.)$ oraz wskaźnik określający $IR(.)$.

Jeśli występują odcinki przywęzłowe to przyjęto następującą numerację prętów: pręt podstawowy numerujemy daną liczbę, natomiast odpowiadające mu odcinki przywęzłowe kolejnymi większymi liczbami rys. 10.



Rys. 10 .

Przyjęto też zasadę, że pręty przywęzłowe i fikcyjne nie podlegają optymalizacji /przyjmować $ID(.) = \emptyset$ /.

Dane tej grupy wczytuje się kolejno kartami /nie koniecz-
nie według wzrastającej numeracji prętów/. W pierwszej kolum-
nie karty umieszcza się numer pręta a następnie $NI(J)$, $ID(J)$,
 $IR(J)$, L , K .

Liczba kart tej grupy musi być zgodna z liczbą LP grupy 3^o.

W przypadku gdy rozróżnia się odcinki przywęzłowe /grupa
6^o.1/ wprowadza się współczynniki zwiększające wymiary tych
odcinków w stosunku do prętów podstawowych. Dane wczytuje
się na jednej karcie dla kolejnych wymiarów wybranego typu
przekroju pręta /rys. 8/.

$$FXF(J) = \frac{a_{ip}}{a_{iw}} > 1$$
, gdzie a_{ip} - dany wymiar pręta
w przęśle, a_{iw} - a_{iw} odpowiedni do a_{ip} - wymiar pręta
na odcinku przywęzłowym. Wielkości $FXF(.)$ powinny uwzględniać
zakładaną sztywność węzłów konstrukcji. Zgodnie z modelem
matematycznym nie muszą one podlegać optymalizacji oraz mają
być wystarczająco wytrzymałe.

W przypadku przekrojów dwuteowych tj. $IIP > 3$ jeśli $KZEB = 1$, to wczytuje się po grupie 6^o lub 6^{o.1} parametry uźebrowania pręťów:

$XZB(I,1)$ - liczba źeber dla pręťa I

$XZB(I,2)$ - grubość źeber dla pręťa I.

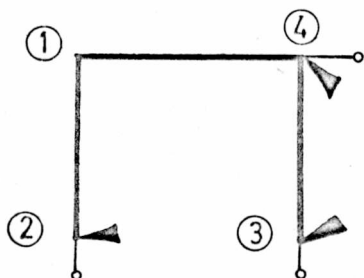
Dane wczytuje się kolejno dla kaźdego pręťa, w pierwszej kolumnie $XZB(I,1)$, w drugiej $XZB(I,2)$ na wszystkich kartach. Liczba kart musi być równa liczbie LP[#].

Dane grupy 7^o.

Dane dotyczą sposobu zamocowania węźków konstrukcji w odniesieniu do globalnego układu współrzędnych. Podaje się je w tablicy $WW(.,.)$, gdzie w pierwszej kolumnie wpisuje się numer węźka, a w następnym występowanie $WW(.,.) = 1$ lub brak $WW(.,.) = \emptyset$. więzi w danym kierunku globalnego układu współrzędnych. Dla przykładu na rys. 11 podano ramę portalową, odpowiadającą jej macierz $WW(.,.)$ oraz macierz permutacji B.

Liczba kart tej grupy musi być równa liczbie LP.

Liczba kolumn na jednej karcie ma być równa $LWW+1$.



$WW =$

NR	x	y	Q
1	0	0	0
2	0	1	1
3	0	1	1
4	1	0	1

B =

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1											
2			1									
3				1								
4						1						
5							1					
6										1		
7											1	
8		1										
9					1							
10								1				
11									1			
12												1

Rys. 11.

Dane grupy 7⁰.1

Dane tej grupy podaje się tylko dla optymalizacji, a więc dla IOPT > 1. Dotyczą one ograniczenia na poziomie przemieszczenia węzłów niepodporowych w globalnym układzie współrzędnych. Wezwać kolejno dla wzrastającej numeracji węzłów. Liczba ograniczeń /kart/ równa LW-LWP.

Dane grupy 7⁰.2.

Dane tej grupy podaje się tylko dla optymalizacji, IOTP > 2. Wczytywać ograniczenia strzałek ugięć prętów dla wzrastającej numeracji prętów. Liczba kart równa LP.

Dane grupy 7⁰.3.

Dane wczytuje się kolejno dla wzrastającej numeracji prętów oraz IOPT > 1. Na jednej karcie podaje się AWX(.), AWY(.), AS1(.), AS (.) gdzie:

AWX (.) - współczynnik długości wybozeniowej w płaszczyźnie Y-Y przekroju pręta,

AWY (.) - współczynnik długości wybozeniowej w płaszczyźnie Z-Z przekroju pręta,

AS1(I) - współczynnik spaczenia końca pręta o mniejszym numerze,

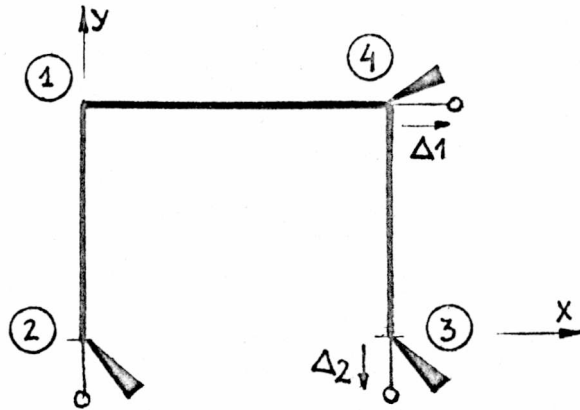
AS (I) - współczynnik spaczenia końca pręta o większym numerze.

Liczba kart musi być równa LP.

Dane grupy 7⁰.4.

Dane dotyczą zadanych przemieszczeń podpór konstrukcji. Wczytuje je się dla KPODP = 1, przy czym uwzględnia się tylko węzły podporowe. Na jednej karcie umieszcza się kolejno przemieszczenia danego węzła podporowego we wszystkich kierunkach globalnego układu współrzędnych.

Dla ram z rys. 12 przedstawiono zapis tej grupy danych:



Rys. 12.

Macierz KWPD (.),

∅.	∅.	∅.	∅	$-\Delta 2$	∅	$\Delta 1$	∅.	∅.	
2			3			4			WĘZŁY
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Dane grup 8⁰, 9⁰.

Dane tych grup zawierają kartami kolejno liczbę rozpatrywanych układów obciążeń oraz komentarz typu tekst dotyczący obciążeń zewnętrznych działających na konstrukcję. Aktualnie liczba układów obciążeń tj. $LSBT \leq 3$.

Dane grup 10⁰, 10⁰.1, 10⁰.2.

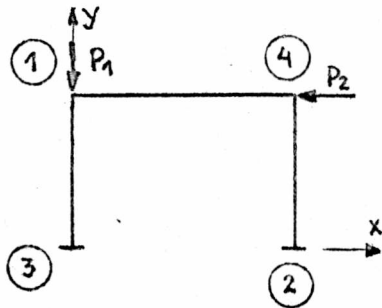
Dla danych grupy 10⁰ na jednej karcie podaje się liczby:

NW - liczba obciążonych węzłów konstrukcji,

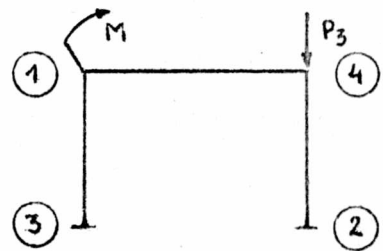
NP - liczba obciążonych prętów konstrukcji.

Dane grupy 10⁰.1 wczyt je się dla $NW \neq \emptyset$. Wtedy pierwsza kolumna karty oznacza numer obciążonego węzła, następne obciążenia zewnętrzne podawane kolejno we wszystkich kierunkach globalnego układu współrzędnych. Liczba kart tej grupy, dla

jednego układu obciążeń, równa jest liczbie NW. Dla drugiego i kolejnego układu obciążeń powtarzamy grupę 10⁰.1 tak, że ostatecznie liczba kart równa się $\sum_1^{LSBT} NW_i$. Na rys. 13 podano przykład rami i sposób wczytania



Pierwszy układ obciążeń



Drugi układ obciążeń

Rys. 13.

1.	∅.	-P ₁ .	∅.
4.	-P ₂ .	∅.	∅.
1.	∅.	∅.	M.
4.	∅.	-P ₃ .	∅.

Dane grupy 10⁰.2 wczytuje się gdy występuje obciążenie zewnętrzne prętów tj. dla NP ≠ ∅. Określa się wówczas tak zwaną macierz krotności typów obciążeń XOBP (I,J,LL). Wczytywanie odbywa się według numerów prętów /dla każdego pręta jedna karta/ z tym, że:

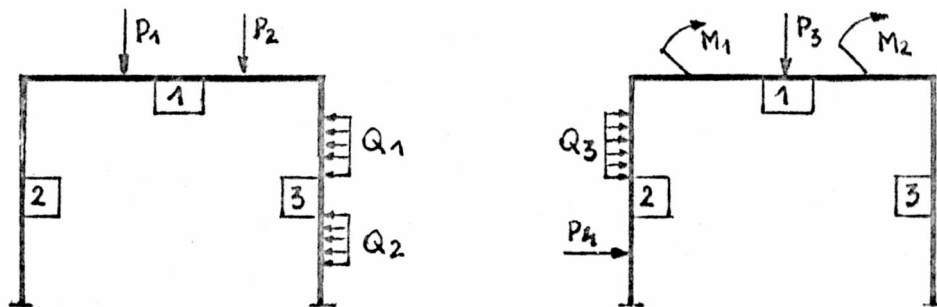
- XOBP (I,1,LL) = J - numer pręta,
- IS1=XOBP(I,2,LL)- liczba sił skupionych na pręcie J,
- IS =XOBP(I,3,LL)- liczba momentów skupionych na pręcie J,
- IS =XOBP(I,4,LL)- liczba obciążeń równomiernie rozłożonych na pręcie J,
- IS4=XOBP(I,5,LL)- liczba obciążeń trapezowych na pręcie J.

Numery prętów nie muszą następować kolejno. Liczba kart tej grupy dla jednego układu obciążeń wynosi NP. Dla pozostałych układów obciążeń powtarzamy tą grupę, tak że ogólna liczba kart wynosi $\sum_1^{LSBT} NP_i$.

Aktualnie obowiązują ograniczenia:

$$IS1 = IS2 \ll 5 \quad \text{oraz} \quad IS3 = IS4 \ll 2.$$

Na rys. 14 podano przykład obciążenia ramy dwoma układami obciążeń:



Pierwszy układ obciążeń

Drugi układ obciążeń

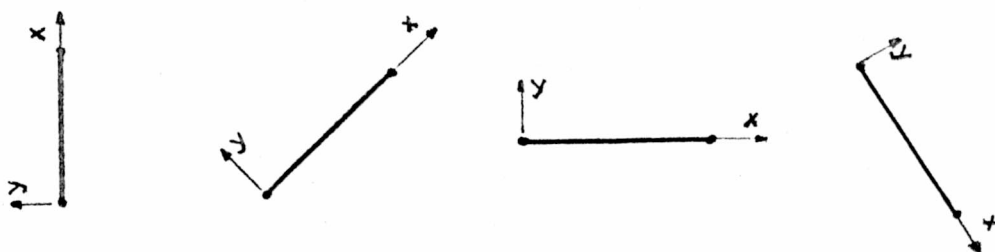
Rys. 14.

Sposób wczytania XOBP (.,.,.,.) :

1.	2.	∅.	∅.	∅.
3.	∅.	∅.	2.	∅.
1.	1.	2.	∅.	∅.
2.	1.	∅.	1.	∅.

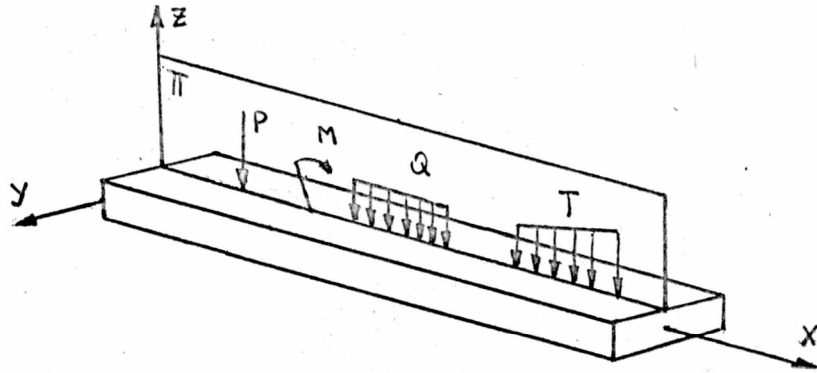
Dane grupy 10⁰.2.1.

* Dane grup 10⁰.2.1. - 10⁰.2.4 określają jednoznacznie przyjęcie lokalnego układu współrzędnych. Na rys. 15 przedstawiono przyjęte zwroty lokalnych układów współrzędnych do których należy odnosić wartość obciążeń wymienionych grup.



Rys. 15. Lokalne układy współrzędnych w odniesieniu do różnych kątów pochylenia prętów.

Dla ram przestrzennych rozpatruje się obciążenia w płaszczyźnie Π pręta tak jak na rys. 16.



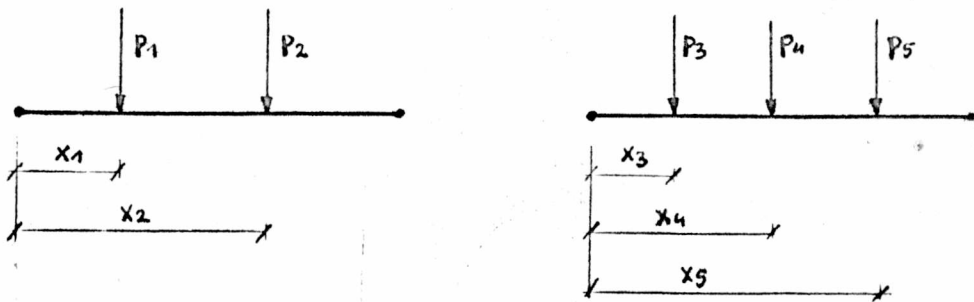
Rys. 16.

Płaszczyzna Π określa położenie centralnych osi bezwładności poprzecznego przekroju pręta.

Grupa danych 10⁰.2.1 dotyczy sił skupionych na pręcie. Wczytujemy karty dla LL-układu obciążeń jeśli $XOBP(I,2,LL) \neq 0$. Dla danego układu obciążeń liczba kart równa liczbie sił skupionych na I-tym pręcie.

- Px - wartość siły skupionej wzdłuż osi ox lok.ukł.wspł.
- Py - wartość siły skupionej wzdłuż osi oy lok.ukł.wspł.
- XA - odległość od końca pręta /zgodnie z rys. 15/.

Na rys. 17 przedstawiono obciążenie pręta i dla dwóch układów obciążeń.



pierwszy układ obciążeń drugi układ obciążeń

Sposób wczytania 10⁰.2.1 :

$\emptyset.$	$-P_1.$	$X1.$		LL = 1
$\emptyset.$	$-P_2.$	$X2.$		
$\emptyset.$	$-P_3.$	$X3.$		LL = 2
$\emptyset.$	$-P_4.$	$X4.$		
$\emptyset.$	$-P_5.$	$X5.$		

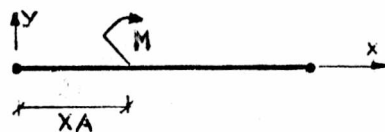
Dane grupy 10⁰.2.2.

Dane dotyczą momentów skupionych na pręcie. Wczytuje się
gdy $XOBP(I,3,LL) \neq \emptyset$ /tak jak 10⁰.2.1./

M - wartość momentu skupionego,

X_A - odległość punktu przyłożenia M od końca pręta.

Jeśli:



Rys. 18.

to, dane wczytujemy:

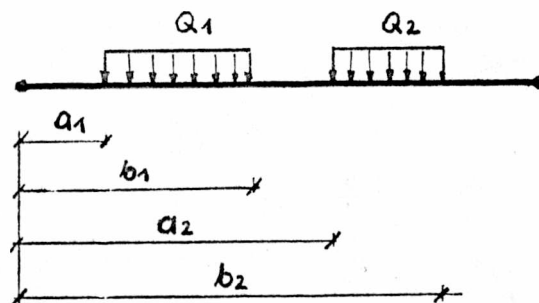
$-M.$ $X_A.$

Dane grupy 10⁰.2.3.

Dane dotyczą obciążenia równomiernie rozłożonego. Wczytuje się się gdy XOBP (I,4,LL) $\neq \emptyset$.

Q - wartość obciążenia równomiernie rozłożonego

XA, XB - odległość przyłożenia obciążenia Q od końców pręta, rys. 19:



Rys. 19.

Sposób wczytania XOBP (I,4,LL):

$-Q_1$	Q_1	b_1
$-Q_2$	Q_2	b_2

Dane grupy 10⁰.2.4.

Dane tej grupy dotyczą obciążenia trapezowego prętów i są wczytywane jeśli XOBP (I,5,LL) $\neq \emptyset$.

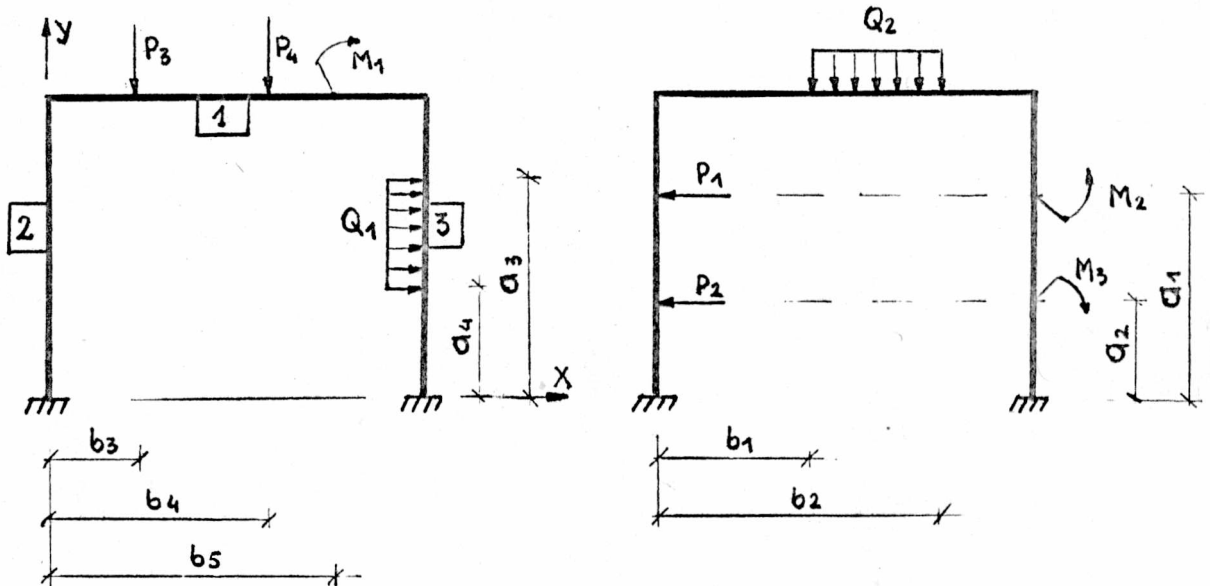
TA - mniejsza z wartości obciążenia trapezowego

TB - większa z wartości obciążenia trapezowego

XA - odległość wartości T od końca pręta

XB - odległość wartości T od końca pręta.

Dane grup $10^0.2.1 \div 10^0.2.4$ wczytywane są wpierrw dla wszystkich prętów, a następnie dla układów obciążeń.
 Na rys. 20 przedstawiono ramę portalową z dwoma układami obciążeń oraz odpowiadającym jej sposobowi wczytania



Rys. 20.

Sposób wczytania:

XOBP (., ., .)

1.	2.	1.	∅.	∅.
3.	∅.	∅.	1.	∅.
1.	∅.	∅.	1.	∅.
2.	2.	∅.	∅.	∅.
3.	∅.	2.	∅.	∅.

Sposób wczytania grup 10⁰.2.1 ÷ 10⁰.2.4.

Tabela 6

			PRĘT	UKŁAD OBCIĄŻEŃ
∅.	-P ₃ .	b ₃ .	1	1
∅.	-P ₄ .	b ₄ .		
M ₁ .	b ₅ .			
-Q ₁ .	Q ₄ .	Q ₃ .	3	
-Q ₂ .	b ₁ .	b ₂ .	1	
∅.	P ₁ .	Q ₁ .	2	2
∅.	P ₂ .	Q ₂ .		
M ₃	Q ₂ .			
-M ₂	Q ₁ .			

Liczba wszystkich kart grup 10⁰.2.1 ÷ 10⁰.2.4 powinna wynosić:

$$\sum_{i=1}^{LSBT} (IS1_i + IS2_i + IS3_i + IS4_i)$$

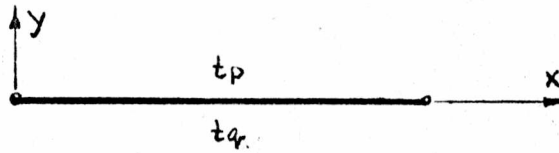
Dane grupy 10⁰.3.

Dane dotyczą wpływu temperatury równomiernie rozłożonej na pręcie. Wczytuje się gdy KTEMP=1.

ALFA - współczynnik rozszerzalności liniowej materiału pręta

DDT (I,LL) - amplituda temperatur między skrajnymi włóknami przekroju w płaszczyźnie Π rys. 16 ,

DDT1(I,1) - amplituda temperatur w środku dla przekroju dwuteowego lub ścianek bocznych dla skrzynkowego.



$$DDT(i, LL) = t_p - t_q$$

Rys. 21

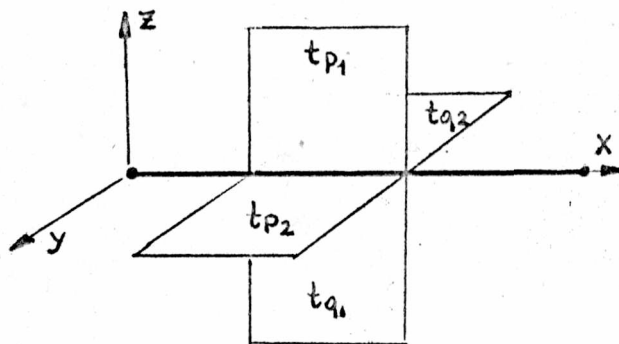
$$DDT1(i, LL) = (t_p + t_q) / 2 - t_0$$

t_0 = temperatura początkowa w środku /ściankach bocznych/ przekroju

Dane tej grupy wczytujemy kolumnami kolejno ALFA, a następnie DDT(i, LL) dla wszystkich prętów oraz DDT1(i, LL) również dla wszystkich prętów.

/grupa 10⁰.3.2/

W przypadku ram przestrzennych wczytuje się:



$$DDT(I, LL) = t_{p1} - t_{g1} \quad , \quad \text{dla } I=1, LP$$

$$DDT(I, LL) = t_{p2} - t_{g2} \quad , \quad \text{dla } I=LP+1, \text{ oraz bez zmian } ZLP$$

$$DDT1(I, LL) \quad , \quad \text{dla } I=1, LP.$$

Rys. 22

Dane grupy 11⁰.

Dane dotyczą początkowych wymiarów poprzecznych przekrojów prętów. Zadaje się je w postaci tablicy XS(.). Wczytywanie odbywa się kolejno kartami, według wzrastającej numeracji prętów, poczynając od ,1,2,...., LP.

Wartości wymiarów zależą od typu przekroju i muszą być adekwatne do przyjętych oznaczeń z rys. 8, gdzie:

$$XS(i) = a_i \quad , \quad i=1, ITP$$

Dane grupy 12⁰.

Dane tej grupy dotyczą optymalizacji. Wczytujemy dla IOPT \gg 2.

XNV - liczba zmiennych decyzyjnych,

XNG - liczba ograniczeń zmiennych decyzyjnych.

Z uwagi na maksymalne naprężenia w każdym pręcie oraz grupy 7⁰.1, 7⁰.2 liczba XNG = LW - LWP + 2 * LP.

XLOK - parametr badania minimum lokalnego,

= 0. - NIE,

= 1. - TAK.

FP - naprężenie dopuszczalne,

ISTART - liczba losować punktu startowego,

XIREST - parametr startu /wyniki pośrednie/,

= 0. - NIE

= 1. - TAK

Dane grupy 13⁰.

Dane ograniczeń geometrycznych zmiennych decyzyjnych. Wczytywać kolejno dla wzrastającej numeracji zmiennych decyzyjnych (IOPT \gg 2):

XLA(I) - dolne ograniczenie zmiennej "i",

XLB(I) - górne ograniczenie zmiennej "i".

Liczba kart musi być równa liczbie XNV z grupy 12⁰.

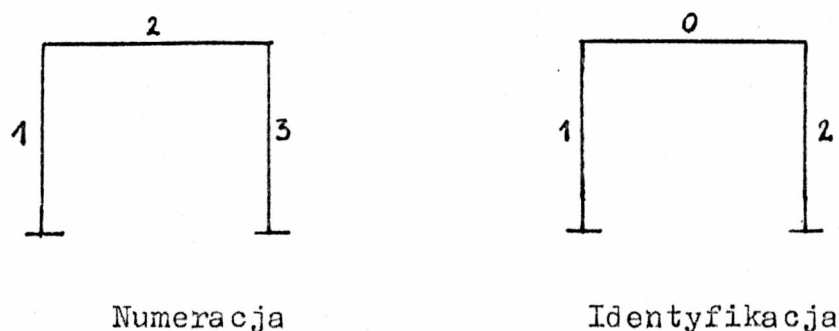
Dane grupy 14⁰.

Dane w postaci tablicy określają które z wymiarów przekrojów mają być zmiennymi w procesie optymalizacji.

Wczytuje się do tablicy ((XMZD(I,J), I=1, LPX) J=1, ITP+1), kolejno kartami według dowolnej numeracji prętów. Liczba kart musi być równa liczbie prętów optymalizowanych LPX.

- $X_{MZD}(I,1) = K$ - numer pręta,
 $X_{MZD}(I,J) = \emptyset$ - wymiar J -ty przekroju pręta K jest parametrem w procesie optymalizacji,
 $= 1$ - wymiar J -ty przekroju pręta K jest zmienną decyzyjną.

Dla ramy portalowej o prętach zrobionych z dwuteowników bisymetrycznych jak na rys. 23 otrzymuje się np.:



Rys. 23

Macierz $X_{MZD}(\dots)$:

1.	1.	\emptyset .	\emptyset .	1.
3.	\emptyset .	1.	\emptyset .	\emptyset .

Co oznacza, że pręt o nr. 1 będzie miał optymalizowaną długość górnej półki i wysokość środnika, natomiast pręt nr 3 tylko grubość górnej półki.

Liczba X_{NV} musi być równa liczbie jedynek w macierzy $X_{MZD}(\dots)$.

Dane grupy 14⁰.1.

Dane dotyczą parametrów sterujących zmodyfikowanej metody błędzenia i metody błędzenia:

- $XP\emptyset$ - długość serii złej,
- $XT\emptyset$ - długość serii dobrej,
- $XK\emptyset$ - początkowy wymiar komórki,

- XKWP - początkowy przebieg generatora liczb losowych o rozkładzie równomiernym na odcinku $[0,1]$.
- XNTP - parametr maksymalnej długości postojów dla losowań dobrych,
= \emptyset . - Metoda Błądzenia,
> \emptyset . - Modyfikacja Metody Błądzenia.
- XNA - liczba rekordów-wydruków pośrednich
- XNMAX - maksymalna liczba losowań,
- EK - stała generatora, przyjmować:
= $\emptyset.123456789\emptyset$.

* Jeśli $XP\emptyset > XT\emptyset$, to lepiej przeszukiwany jest środek Obszaru dopuszczalnego, natomiast dla $XT\emptyset > XP\emptyset$ lepiej przeszukiwany jest brzeg obszaru dopuszczalnego. Zaleca się przyjmować:

$$XNTP < XT\emptyset \quad *$$

Dane wczytać na jednej karcie.

Dane grupy 14⁰.2

Dane dotyczą metody zewnętrznej funkcji kary z minimalizacją Hooke'a i Jevse'a wzdłuż kierunku.

Grupa 14⁰.2.1 określa długość i tolerancję kroku dla wymiarów przekrojów poprzecznych wszystkich prętów. Dane wczytuje się kartami, kolejno według wzrastającej numeracji prętów.

Na jednej karcie umieszcza się w pierwszych $i=1$, ITP kolumnach $D(i)$ - długość kroku dla i -tego wymiaru przekroju danego pręta,

Następnie w kolumnach $ITP+1 \div 2$ * ITP:

EPSI (J) - tolerancję kroku dla j -tego wymiaru przekroju danego pręta.

Liczba kart tej grupy musi wynosić LP; na każdej karcie ma być 2 * LP kolumn.

Grupa 14⁰.2.2 określa parametry sterujące metody:

EPSIF - tolerancja z jaką ma być wyznaczana wartość funkcji celu,

RK - współczynnik kary $RK \in [0,00001, 2]$

PRINT - parametr wydruku wyników pośrednich metody:

= 0. - NIE,

= 1. - TAK.

Dane grupy 15⁰

Wpisać nazwisko i imię przygotowującego dane.

Format 6A4.

4. SYSTEM OPTYMALIZACYJNY RAM-ANNA1.

4.1. Wydruk Systemu.

W niniejszym podrozdziale przedstawiono wydruk Systemu Optymalizacyjnego Ram-ANNA1. W prezentowanej wersji programu ANNA1, można rozwiązywać i optymalizować ramy płaskie i ramy przestrzenne z uwzględnieniem bimomentów. System ANNA1 stanowi odrębną i znacznie poszerzoną postać programową w porównaniu z pierwszą wersją systemu optymalizacyjnego RAMA-ANNA, która jest przeznaczona dla ram płaskich. Opis i wydruk systemu optymalizacji Ram-ANNA przedstawiono w opracowaniu dla Biura Metali Nieżelaznych "BIPROMET" w Katowicach, etap III, [31].

4.1.1. Segment ANKA.

```

MASTER ANKA
COMMON/XIUC/XORP(10,5,3),AME(10,3),XLM(3),XLP(3),HDX(10,5,3),
1UPA(10,5,3),UPY(10,5,3),UDX(10,5,3),UMA(10,5,3),UOX(10,2,3),
1UOA(10,2,3),UOL(10,2,3),TAX(10,2,3),TEX(10,2,3),TA(10,2,3),
1TB(10,2,3),DDT(20,3),ALFA,ANL(10,14,3),A(120),DDT1(20,3)
COMMON/IXXX/F,XG,ITP,KIDZEK,KZER,KPID,KSTAT,KPOPP,KTEMP,LSTR,LW,
1LUP,LP,LVUP,LWU,IOPD,HL,HRS,LSP,MSB,FXE(6),DIX(10),XZR(10,2)
1,MI(10),YKSI(10),
1IP(10),IE(10),XWU(10,3),XWPU(10,2),WU(10,7),XUPD(60),YWR(10),
1AMX(10),AMY(10),AS1(10),AS2(10)
COMMON/XTAB/SG(60,60),I,MAX(10),SS(60,3),BMY(10)
COMMON/XYOP/XMZP(10,6),YS(60),NV,UG,IRES,T,IIOK,FP,D(60),EPSI(60),
1LPX,ISTART,G(30),XIA(60),XLR(60),DDY(10),DSU(10),MMU
DIMENSION AA(6)
CALL INGR0E
CALL INGR0C
CALL XOPT(Y)
CALL XOUT
IF(IOPD.EQ.1)GO TO 10
WRITE(3,100)ISTR,Y
DO 1 I=1,LP
1 WRITE(3,101)I,(XS(J+ITP*(I-1)),J=1,ITP)
10 READ(1,102) (AA(I),I=1,6)
WRITE(3,102)(AA(I),I=1,6)
100 FORMAT(///// OPTYMALNE WYMIARY PRZETON  P0, 2X, I3, 3 STADACH OBCIAZ
1EN'// OPTYMALNY CIĘŻAR KONSTRUKCJI : ',E17.10//
1' PRZET OPTYMALNE WYMIARY PRZEKROJU PRZETON'//
101 FORMAT(2X, I3, 2X, 6(3X, F7.4))
102 FORMAT(6A4)
PAUSE
STOP
END

```

4.1.2. Podprogram XOPT.

```

SUBROUTINE XOPT(Y)
COMMON /IMXK/ F, XG, ITP, KPIZFK, KZEP, IPHI, KSTAT, KPODP, KTEUP, LSTR, LW,
1 LVP, LP, LUMP, LUP, JOPT, ND, DNS, LSP, MSP, FXF(6), FLX(10), XZB(10,2)
1, NI(10), XESI(10),
1 ID(10), IR(10), XUVH(10,3), XMPBW(10,2), WY(10,7), XUPD(60), XWR(10),
1 AUX(10), AVY(10), AS1(10), AS2(10)
COMMON /XOP1/ XPC, XT0, XK0, KUP, NTP, NA, IPAX, EK, VEX, KRX, IYX, ILX, XXY
COMMON /XOP2/ EPSI, BF, ICPT, HCONST, HG, IPRIHT
COMMON /XOP3/ XHZD(10,6), XS(60), HV, HG, IREST, ILOK, EP, D(60), EPSI(60),
1 LPX, ISTART, G(30), XLA(60), XLB(60), DBX(10), DSU(10), NNN
COMMON /XTAB/ SG(60,60), BUAX(10), SS(60,3), BMY(10)
DIMENSION X(60)
DO 1 I=1,LP
1 READ(1,100) (XS(J+ITP*(I-1)), J=1,ITP)
WRITE(3,101)
DO 2 I=1,LP
2 WRITE(3,102) I, (XS(J+ITP*(I-1)), J=1,ITP)
IF(IOPT.EQ.0) GO TO 10
IF(IOPT.EQ.1) GO TO 20
READ(1,100) XNV, XNG, XIREST, XLOK, EP, XSTART
HV=XNV+0.1
HG=XNG+0.1
IREST=XIREST+0.1
ILOK=XLOK+0.1
ISTART=XSTART+0.1
WRITE(3,105) HV, HG, IREST, ILOK, EP, ISTART
DO 7 I=1, HV
READ(1,100) XIA(I), XLI(I)
7 WRITE(3,106) I, XIA(I), XLI(I)
LPX=0
DO 3 I=1,LP
3 IF(ID(I).EQ.1) LPX=LPX+1
IF(LPX.EQ.0) CALL XPLAD(1)
WRITE(3,103)
DO 4 I=1,LPX
READ(1,100) (XHZD(I,J), J=1,ITP+1)
K=XHZD(I,1)+0.1
4 WRITE(3,102) K, (XHZD(I,J), J=2,ITP+1)
NVX=0
DO 5 I=1,LPX
DO 5 J=2,ITP+1
5 IF(XHZD(I,J).EQ.1) NVX=NVX+1
IF(NV, NE, NVX) CALL XPLAD(1)
NNN=LP*ITP
NVX=NNN-NV
DO 6 I=1,NNN
X(I)=0.
DO 6 J=1,NNN
CALL XDAT1(I,J,ITP,LP,LPX,XZPD,AX,NVX)
6 X(I)=X(I)+AX*XS(J)
IF(IOPT.NE.2) GO TO 300
EK=0.123456789
CALL LUPD(ISTART, EP, X, LPP, KK)
IF(LPP.EQ.0) GO TO 55
WRITE(3,110)
IF(EK.EQ.0) GO TO 54
WRITE(3,111) ISTART
DO 53 I=1,NNV
53 WRITE(3,112) I, X(I)
STOP
54 WRITE(3,114) IFF
DO 52 I=1,NNV
52 WRITE(3,112) I, X(I)
55 WRITE(3,115)
300 IF(IOPT.EQ.2) CALL XOPT1(Y,NNN,Y)
IF(IOPT.EQ.2) RETURN

```



```

WRITE(3,100)
DO 8 I=1,NM
  I1=N1(I)
  IK=ID(I)
  IF(I1.EQ.0)GO TO 8
  IF(IK.EQ.0)GO TO 8
  READ(1,100)(D(I1+ITP-ITP+J),J=1,ITP),(EPSI(I1+ITP-ITP+J),J=1,ITP)
8 WRITE(3,100)I1,(D(I1+ITP-ITP+J),J=1,ITP),
  (EPSI(I1+ITP-ITP+J),J=1,ITP)
  IF(IOPT.EQ.2)CALL XOPT2(X,MNN,Y)
  RETURN
20 CALL XWTRZ(XS)
10 CALL XSTAT(XS)
101 FORMAT(' POCZĄTKOWE WYMIARY PRZEKROJOW POPRZECZNYCH PRETOW' /
1' PREF' /)
102 FORMAT(2X,I3,2X,6(3X,F7.4))
103 FORMAT(' OPTIMALIZOWANE WYMIARY PRZEKROJOW PRETOW' /
1' PREF' /,3X,' W Y N I A R Y' /)
105 FORMAT(' LICZBA ZMIENNYCH DECYZYJNYCH', 7X,I3 /
1' LICZBA OGRANICZENI MASYMALNYCH', 5X,I3 /
1' PARAMETR STARTU', 20X,I3 /
1' PARAMETR INSTU BIŻYJNY', 12X,I3 /
1' NAPREŻENIE DOZUSZCZALNE', 7X, F40.2 // ' LICZBA LOSOWAŃ X0', 9X,I3 /
1' OGRANICZENIA GEOMETRYCZNE ZMIENNYCH DECYZYJNYCH' / 2X,I3,5X,
1' DOLNE', 7X,' GORNE' / /)
106 FORMAT(2X,I3,2X,2(3X,F8.2))
108 FORMAT(' DŁUGOSC KROKU POCZĄTKOWEGO', 50X, ' TOLERANCJA' // ' PREF' /)
109 FORMAT(2X,I3,2X,6(2X,F8.2),7X,6(1X,F8.3))
110 FORMAT('/ ZADANY WEKTOR DECYZYJNY NIE JEST DOPUSZCZALNY /)
115 FORMAT('/ ZADANY WEKTOR DECYZYJNY JEST DOPUSZCZALNY /)
111 FORMAT('/ NIE WYLOSOWANO WEKTORA DOPUSZCZALNEGO W ',I5,' ITERACJACH
1' / ZADANY WEKTOR DECYZYJNY' // ' OSTATNI WYLOSOWANY WEKTOR' /
1' WE ZMIENNEJ PARTOSCI //)
112 FORMAT( 3X,I3,6X,E17.10)
114 FORMAT('/ WYLOSOWANO NOWY WEKTOR DECYZYJNY DO ',2X, I4,' LOSOWAŃ
1' ACH' // ' ZMIENNA WE. PARTOSCI' //)
100 FORMAT(100F0.0)
RETURN
END

```

4.1.3. Podprogram XOPT1.

```

SUBROUTINE XOPT1(XX,IMM,YMM)
COMMON/XOP1/XPO,XTO,XKO, XKUP, XNTP, XNA, XMAX, EK, MNN, LKX, IVK, ILX, XXY
EXTERNAL FUCH
DIMENSION XX(NM)
READ(1,100)XPO,XTO,XKO,XKUP,XNTP,XNA,XMAX,EK
WRITE(2,101)XPO,XTO,XKO,XKUP,XNTP,XNA,XMAX,EK
KUP=XKUP+0.1
NA=XNA+0.1
MAX=XMAX+0.1
NTP=XNTP+0.1
CALL ZKUC(FUCH,XX,YMM)
100 FORMAT(10F0.0)
101 FORMAT(/ / 20X, ' **** WIELOŚĆ BŁĄDZENIA ****' / / / / /)
1' DANE METODY : //
1' DŁUGOSC SERII ZIĘT', 28X, 'PO = ', F4.1 /
1' DŁUGOSC SERII DOLNEJ', 26X, 'TO = ', F4.1 /
1' POCZĄTKOWY DOZWIĄZ KROKOWY', 20X, 'KO = ', F4.1 /
1' POCZĄTKOWY PRZES. GENERATORA', 18X, 'KUP = ', F4.1 /
1' MARS. DŁUG. POSTOJU DLA LOSOW. DOBRYCH', 5X, 'NTP = ', F4.1 /
1' LICZBA WYGRZECHU KROKOWYCH', 19X, 'NA = ', F4.1 /
1' LICZBA WSZYSTKICH LOSOWAŃ', 16X, 'MAX = ', F4.1 /
1' DANE GENERATORA LICZB LOSOWYCH', 14X, 'EK = ', F17.10 /)
RETURN
END

```

4.1.4. Podprogram XOPT2.

```
SUBROUTINE XOPT2(X,HH,YL)
COMMON/XOP2/EPSIF,RE,ICNT,NCNST,NG,IPRINT
COMMON/XXOP/XYZD(10,6),XS(60),HV,NG,IREST,ILOK,FP,D(60),EPSI(60),
1 LPX,ISTART,G(30),XLA(60),XLB(60),DDX(10),DSH(10),MNH
EXTERNAL FNEFIT
DIMENSION X(HH)
READ(1,100)EPSIF,RE,PRINT
IPRINT=PRINT+0.1
WRITE(3,101)IPRINT,RE,EPSIF
DO 1 I=1,HH
1 WRITE(3,102)I,D(I),EPSI(I)
CALL DIRECT(TRAUSE,X,OPT)
WRITE(3,103)ICNT
100 FORMAT(10F0.0)
101 FORMAT(/20X,'*** IFTODA HOOKEA I JEEVSEA ***'/
1 ' PAPANETE DRUKU',10X,I2/
1 ' PAPANETE KADY',20X,F10.4/
1 ' TOLERANCJA FUNKCJI CELU B.O.',5Y,F10.3//
1 ' NP. ZMIENIEJ',7X,'DLUGOSC KROKU',2X,'TOLERANCJA')
102 FORMAT(4X,I2,7X,F10.3,5X,F10.3)
103 FORMAT(' LICZBA EWALUACJI FUNKCJI CELU',5X,I10)
RETURN
END
```

4.1.5. Podprogram INGEOM.

```
SUBROUTINE INGEOM
COMMON/XXAP/AXY(10),YI(10),YI(10),SI(10),XD(10),YI(10),RX(10),
1 YS(10),DS1(10),DS2(10),CS1(10),CS2(10),DS3(10),YY1(10),CUMX(10,10,
13)
COMMON/XXOP/XYZD(10,6),YS(60),HV,NG,IREST,ILOK,FP,D(60),EPSI(60),
1 LPX,ISTART,G(30),XLA(60),XLB(60),DDX(10),DSH(10),MNH
COMMON/IUXX/P,YG,ITP,KBRZEE,KZER,KRTH,KSTAT,KPOBP,KTEMP,LSTR,LW,
1 LUP,IP,LUUP,LUU,TOPT,HH,MNS,LSP,NSP,FXF(6),DIX(10),YZP(10,2)
1 HI(10),YESI(10)
1 ID(10),IP(10),XHUW(10,3),XTPRW(10,2),UH(10,7),XUPD(60),XWR(10),
1 AUX(10),AMY(10),AS1(10),AS2(10)
COMMON/XTAE/SC(60,60),EAX(10),SS(60,3),BMY(10)
DIMENSION BB(10),ALF(3),CC(2),KX(7),YY(60)
DATA CC/'TAP', 'DIE'/
DATA ALP/'FIKCYJBY', 'PRZYWEZLOMY', 'PODSTAUCHY' /
WRITE(3,101)
READ(1,100)(BP(I),I=1,3)
WRITE(3,102)(BP(I),I=1,7)
READ(1,100)(BP(I),I=1,5)
WRITE(3,103)(BP(I),I=1,5)
READ(1,100)(BP(I),I=1,5)
WRITE(3,104)(BP(I),I=1,5)
READ(1,100)(BP(I),I=1,5)
WRITE(3,105)(BP(I),I=1,7)
READ(1,100)(BP(I),I=1,5)
WRITE(3,106)(BP(I),I=1,5)
```

```

READ(1,200)X1,Y2,X3,X4,X5,X6,X7
ICPT=X1+0.1
KSTAT=X2+0.1
KTEMP=X3+0.1
KPODP=X4+0.1
KPIH=X5+0.1
K7FI=X6+0.1
KPRZFK=X7+0.1
IF(1OPT.EQ.0)WRITE(3,107)
IF(1OPT.EQ.1)WRITE(3,108)
IF(1OPT.EQ.2)WRITE(3,109)
IF(1OPT.EQ.3)WRITE(3,110)
IF(KSTAT.EQ.0)WRITE(3,111)
IF(KSTAT.EQ.1)WRITE(3,112)
READ(1,200)X1,X2,X3,X4,Y5,X6
IMYL=X1+0.1
LP=X2+0.1
LM=X3+0.1
LUP=X4+0.1
LWM=X5+0.1
LWUP=X6+0.1
IF(IMYH.EQ.0)WRITE(3,114)
IF(IMYH.EQ.1)WRITE(3,115)
IF(IMYH.EQ.2)WRITE(3,116)
IF(IMYH.GT.3)CALL XFLAD(1)
IF(IMYH.LT.3)GO TO 1112
IF(KRIH.EQ.0)WRITE(3,117)
IF(KRIH.EQ.1)WRITE(3,118)
IF(LWU.EQ.0)LWU=LWU+KRI
1112 READ(1,200)X1,E,X6,X2
ITP=X1
NJHX=Y2
NN=LW*LWU
LSP=2*LWU
NNS=NN-LWUP
WRITE(3,120)IP,LU,LUP,LWUP,LWM,NN,LSP,NNS,E,X6
IF(LW.GT.NJHX)CALL XFLAD(3)
IF(IP.GT.NJHX)CALL XFLAD(4)
IF(IMYH.EQ.0)WRITE(3,121)
IF(IMYH.EQ.1.OR.IMYH.EQ.2)WRITE(3,122)
IF(IMYH.GT.2)WRITE(3,123)
IKK=IMYH
IF(IMYH.EQ.4)IKK=3
DO 1 J=1,LU
READ(1,200)(XMMU(I,J),J=1,IKK)
1 WRITE(3,201)I,(XMMU(I,J),J=1,IKK)
IF(IMYH.GT.2)READ(1,200)(XKSI(I),I=1,LP)
WRITE(3,125)
WRITE(3,124)
DO 2 I=1,LP
READ(1,200)X1,X2,X3,X4,Y5,X6
J=Y1
EI(J)=X2
ID(J)=X3
IP(J)=X4
XMPM(J,1)=X5
XMPM(J,2)=X6
IF(X5.EQ.X6)CALL XFLAD(5)
K1=X5
L1=X6
X1=XMMU(K1,1)-XMMU(L1,1)
X2=XMMU(K1,2)-XMMU(L1,2)
IF(IMYH.GT.2)X3=XMMU(K1,3)-XMMU(L1,3)
DLX(J)=SORT(X1**2+X2**2)
IF(IMYH.GT.2)DLX(J)=SORT(X1**2+X2**2+X3**2)
IF(DLX(J).LT.0.0001)DLX(J)=0.0001
IF(IMYH.GT.2)WRITE(3,2000)
IF(IMYH.GT.2)F2=XKSI(J)
IF(IMYH.GT.2)WRITE(3,105)J,K1,L1,K2
2 WRITE(3,125)J,EI(J),ID(J),IP(J),K1,L1

```

```
WRITE(3,126)
DO 3 I=1,LP
3 YY(I)=I
WRITE(3,127)(YY(I),I=1,LP)
DO 4 I=1,LP
4 YY(I)=0
DO 5 J=1,LU
DO 6 I=1,LP
K1=XMPRU(I,1)
L1=XMPRU(I,2)
IF(E1.EQ.J)GO TO 7
IF(L1.EQ.J)GO TO 8
GO TO 6
7 YY(I)=1
IF(E1.GT.L1)YY(I)=-1
GO TO 6
8 YY(I)=-1
IF(L1.LT.K1)YY(I)=1
6 CONTINUE
WRITE(3,128)J,(YY(I),I=1,LP)
5 CONTINUE
L1=0
MLPW=0
L1=L1+1
IF(L1.GT.MLPW)MLPW=L1
DO 700 I=1,LP
K=XMPRU(I,1)
L=XMPRU(I,2)
L1=ABS(K-L)
IF(L1.GT.HSP)HSP=L1
700 CONTINUE
HSP=LMW*HSP
MLPW=LMW*MLPW
WRITE(3,701)HSP,MLPW
IF(MLPW.NE.HSP)WRITE(3,702)
IF(MLPW.NE.HSP)STOP
IF(KPRZFK.EQ.1)WRITE(3,130)
IF(KPRZFK.EQ.2)WRITE(3,131)
IF(KPRZFK.EQ.3)WRITE(3,132)
WRITE(3,133)
CALL XPCIE
DO 10 I=1,LP
K=IR(I)+1
10 WRITE(3,134)I,ALP(K),DLX(I),AXX(I),XI(I),YI(I),SI(I),UIY(I),PX(I)
L=0
DO 11 I=1,LP
IF(IR(I).EQ.1)L=L+1
11 CONTINUE
WRITE(3,136)
IF(ITP.EQ.4)WRITE(3,137)
IF(ITP.EQ.6)WRITE(3,138)
IF(ITP.NE.4.OR.ITP.NE.6)CALL XBIAD(1)
IF(L.NE.0)IFAD(1,200)(EYE(I),I=1,ITP)
IF(L.NE.0)WRITE(3,135)(IXF(I),I=1,ITP)
IF(FZFB.EQ.0)GO TO 1115
WRITE(3,139)
DO 12 I=1,LP
IF(KZFB.EQ.1)READ(1,200)(XZB(I,J),J=1,2)
IF(LZFB.EQ.1)WRITE(3,140),(XZP(I,J),J=1,2)
12 CONTINUE
1115 WRITE(3,141)
IF(LMW.NE.3.OR.LMW.NE.6.OR.LMW.NE.7)CALL XBIAD(1)
IF(LMYH.NE.3.AND.KFID.EQ.1)CALL XBIAD(1)
IF(LMW.EQ.3)WRITE(3,142)
IF(LMW.EQ.6)WRITE(3,143)
IF(FRID.EQ.1)WRITE(3,144)
LWPY=0
IJ=0
```

```

WRITE(3,1466)
DO 14 I=1,LU
READ(1,200)(UU(I,J),J=1,LUU)
K=0
DO 15 J=1,LUU
15 K=K+UU(I,J)
LJ=LJ+K
IF(K.EQ.0)GO TO 14
LWFX=LWFX+1
DO 16 J=1,LUU
16 KX(J)=UU(I,J)+1.1
IF(LMU.EQ.3)WRITE(3,146)I,CC(KX(1)),CC(KX(2)),CC(KX(3))
IF(LMU.NE.6)GO TO 14
IF(KX(1).EQ.1)GO TO 17
WRITE(3,146)I,CC(KX(1)),CC(KX(2)),CC(KX(3)),CC(KX(4)),CC(KX(5)),
1CC(KX(6))
GO TO 14
17 WRITE(3,146)I,CC(KX(1)),CC(KX(2)),CC(KX(3)),CC(KX(4)),CC(KX(5)),
1CC(KX(6)),CC(KX(7))
14 CONTINUE
IF(LWFX.NE.LWUP)CALL XBLAD(6)
IF(IOPT-1)20,21,0
WRITE(3,147)
DO 25 I=1,LU
READ(1,200)DDX(I)
25 WRITE(3,148)I,DDX(I)
WRITE(3,157)
DO 26 I=1,LP
READ(1,200)DSU(I)
26 WRITE(3,148)I,DSU(I)
21 IF(KSTAT.EQ.1)GO TO 20
WRITE(3,149)
DO 27 I=1,LP
READ(1,200)AUX(I),AVY(I),AS1(I),AS2(I)
27 WRITE(3,150)I,AUX(I),AVY(I),AS1(I),AS2(I)
20 IF(KPRND.EQ.0)RETURN
WRITE(3,151)
IF(LMU.EQ.3)WRITE(3,152)
IF(LMU.EQ.6.OR.LMU.EQ.7)WRITE(3,153)
DO 40 I=1,LUP
READ(1,200)(XUFD(I*LUU-LUU+J),J=1,LUU)
40 WRITE(3,155)I,(XUFD(I*LUU-LUU+J),J=1,LUU)
100 FORMAT(5A4)
101 FORMAT(' POLITECHNIKA LEOCLAUSKA'// ' INSTYTUT RUDOWNICTWA'//)
102 FORMAT(' UZYTECZNOŚĆ',12X,5A4)
103 FORMAT(' STAROUJSKO',12X,5A4)
104 FORMAT(' BIUREO PRZYMŁADU',7X,5A4)
105 FORMAT(' JEDNOSTKI OBCIĄŻENIA',4X,5A4//)
106 FORMAT(' JEDNOSTKI PRĘGNOŚCI',6X,5A4//)
107 FORMAT(///// ' **** ANALIZA STATYCZNA ****'////)
108 FORMAT(///// ' **** ANALIZA STATYCZNA I WYTRZYMAŁOŚCIOWA ****'////)
109 FORMAT(///// ' **** OPTIMALIZACJA METODA BIADZENIA ****'////)
110 FORMAT(///// ' **** OPTIMALIZACJA METODA HOOKERA I JEFVSEF ****'////)
111 FORMAT('/ ' ANALIZA STATYCZNA MG. TEORII GEOMETRYCZNEJ EYKIDOWEJ'//)
112 FORMAT('/ ' ANALIZA STAT. MG. TEORII GEOM. NIELINIOWEJ'//)
114 FORMAT('/ ' POLFA CIĄGLA'//)
115 FORMAT('/ ' RANA PŁASKA'// ' BADANIE MECHANIZMU'//)
116 FORMAT('/ ' RANA PŁASKA'//)
117 FORMAT('/ ' RANA PRZESTRZYNNA'// ' DOMIJANY WPLYW MOMENTU'//)
118 FORMAT('/ ' RANA PRZESTRZYNNA'// ' WZGLĘDNIANY WPLYW MOMENTU'//)
121 FORMAT(// ' WZEL',6X,'Y',12X//)
122 FORMAT(// ' WZEL',6X,'Y',12X,'V'//)
123 FORMAT(// ' WZEL',6X,'Y',12X,'Y',12X,'Z'//)
200 FORMAT(100F0.0)
201 FORMAT(2X,13.3(4X,F8.2))

```

```
120 FORMAT(// ' DANE GEOMETRYI KONSTRUKCJI '//  
1 ' LICZBA PRĘTÓW', 34X, 'IP = ', I4// ' LICZBA WĘZŁÓW', 34X, 'LU = ', I4//  
1 ' LICZBA WĘZŁÓW PODPORÓWYCH', 21X, 'LUP = ', I4//  
1 ' LICZBA WIEZI', 33X, 'LUPP = ', I4// ' LICZBA MOŻLIWYCH STOPNI SWOB.  
1DY WĘZŁA', 10X, 'LUPU = ', I4//  
1 ' SUMA MOŻLIWYCH STOP. SWOB. WĘZŁÓW', 13X, 'LNU = ', I4//  
1 ' LICZBA MOŻLIWYCH STOP. SWOB. PRĘTÓW', 12X, 'LSP = ', I4//  
1 ' SUMA PRZECZ. STOP. SWOB. WĘZŁÓW', 16X, 'LMS = ', I4//  
1 ' MODUŁ SPRĘŻYSTOŚCI PODŁUŻNEJ', 20X, 'E = ', F17.10//  
1 ' MODUŁ SPRĘŻYSTOŚCI POPRZECZNEJ', 19X, 'G = ', F17.10//  
125 FORMAT(// '* UWAGA * // 1X, ' PRZYJMUJĄC DLA // ' PRĘTÓW //  
116X, ' UP', 2X, 'BI', 2X, 'ID', 2X, 'IR' // ' FIKCYJNYCH', 5X, 'MAX', 2X, '0', //  
12X, '0', 2X, '0', // ' PRZY WĘZŁOWYCH', 1X, 'K-1', 2X, 'J', 1X, '0%1', 2X, '0', //  
1//16X, 'K+1' // ' PODSTAWOWYCH', 3X, 'K', 2X, 'J', 1X, '0%1', 2X, '1' //  
1 ' HI - WSKAZNIK IDENTYFIKACJI // ' ID - WSKAZNIK OPTYMALIZACJI //  
1 ' IR - WSKAZNIK PRĘTÓW PODSTAWOWYCH // //  
124 FORMAT(2X, 'PRET', 3X, 'BI', 3X, 'ID', 3X, 'IR', 2X, 'POCZATEK', 2X, 'KONIEC'  
//)  
125 FORMAT(2X, I3, 1X, 3(2X, I3), 2(5X, I3))  
126 FORMAT(// ' NACIEŻ INCYDENCJI // //  
127 FORMAT(2X, 'PRETY', 30(2X, F4.1) // ' WĘZŁY // //  
128 FORMAT(3X, I3, 7X, 30(2X, F4.1))  
701 FORMAT(// ' MAKSYMALNA SZEROKOŚĆ PASMA GŁOBY. MAC. SZTYW. W KIER.  
1 WIERZYSZY // ' MSP = ', I3// ' MAKSYMALNA LICZBA PRĘTÓW W WĘZLE //  
1 ' NIPU = ', I3// //  
702 FORMAT(// ' NIEOPTYMALNA NUMERACJA WĘZŁÓW // ' PRZENUMEROWAĆ WĘZŁY //  
//)  
130 FORMAT(// ' PRZELICZ SZEROKOŚĆ RYSYMETRYCZNY // ' WYMIARY PRZEKROJ  
1 U // ' A1 - ZEM. SZEROKOŚĆ, A2 - GRUBOŚĆ POLKI //  
1 ' A3 - GRUBOŚĆ ŚCIANEK DŁOBY, A4 - WYSOKOŚĆ // //  
131 FORMAT(// ' PRZEKROJ DUCTOWY RYSYMETRYCZNY // ' OZNAČZENIA WYMIARÓ  
1 W PRZEKROJU // ' A1 - SZEROKOŚĆ POLKI, A2 - GRUBOŚĆ POLKI //  
1 ' A3 - GRUBOŚĆ SPÓDNIKA, A4 - WYSOKOŚĆ SPÓDNIKA // //  
132 FORMAT(// ' PRZEKROJ DUCTOWY SYMETRYCZNY // ' OZNAČZENIA WYMIARÓ  
1 PRZEKROJU // ' A1 - SZEROKOŚĆ GÓR. POLKI, A2 - GRUBOŚĆ GÓRNEJ POLK  
1 // ' A3 - SZEROKOŚĆ DOL. POLKI, A4 - GRUBOŚĆ DOL. POLKI //  
1 ' A5 - GRUBOŚĆ SPÓDNIKA, A6 - WYSOKOŚĆ ŚRODNIKA // //  
133 FORMAT(// ' CHARAKTERYSTYKI PRĘTÓW //  
1 ' PRET', 3X, 'PODZIAŁ PRĘTÓW', 1X, 'DŁUGOŚĆ', 3X, 'POLE', 9X, 'IX', 10X, 'IY'  
1, 10X, 'IS', 10X, 'IL', 10X, 'IX' // //  
134 FORMAT(2X, I3, 4X, 4A3, 2(1X, F9.2), 5(2X, F10.2))  
136 FORMAT(// ' WSPÓŁCZYNNIKI ZWIĘKSZAJĄCE WYMIARY PRZEKROJU PRZY WĘZŁ  
1 WEGÓ WŁ. WYMIARÓW PRZESIA // ' DLA PRĘTÓW PODSTAWOWYCH I PRZESŁÓ  
1 WYCH // //  
137 FORMAT(4X, 'F1', 4X, 'F2', 4X, 'F3', 4X, 'F4' // //  
138 FORMAT(4X, 'F1', 4X, 'F2', 4X, 'F3', 4X, 'F4', 4X, 'F5', 4X, 'F6' // //  
135 FORMAT(2X, 6(F4.1))  
139 FORMAT(// ' PRET', 2X, 'LICZBA ZEPŁÓW', 2X, 'GRUBOŚĆ ZEPŁÓW',  
1 20X, '* U W A G A * 1. TYTUŁ DLA PRĘTÓW PODSTAWOWYCH //  
1 33X, 12 ZEPŁÓW Z PŁASZCZYNNĄ RÓWNOLEGŁOŚCIENNYCH // //  
140 FORMAT(3X, I3, 7X, I3, 9X, F6.2)  
141 FORMAT(// ' LISTA WĘZŁÓW PODPORÓWYCH // //  
142 FORMAT(// ' PRET', 3X, 'X', 5X, 'Y', 5X, '0' // //  
143 FORMAT(// ' PRET', 3X, 'X', 5X, 'Y', 5X, 'Z', 5X, 'OX', 4X, 'OY', 4X, 'OZ' // //  
144 FORMAT(// ' PRET', 3X, 'X', 5X, 'Y', 5X, 'Z', 5X, 'OX', 4X, 'OY', 4X, 'OZ',  
1 14X, 'ISP' // //  
1460 FORMAT(// ' * U W A G A * UW(I, J) = 1. JEST WIEZ WĘZŁA I U KIER.  
1 J // 17X, 'UW(I, J) = 0. TAK WIEZI WĘZŁA I U KIER. J // //  
146 FORMAT(3X, I3, 7(2X, A3))  
147 FORMAT(// ' OGRANICZENIA NA PRZEMIESZCZENIA POZIOME WĘZŁÓW //  
1 ' WĘZEL', 3X, 'WARTOŚĆ OGRANICZENIA // //  
148 FORMAT(3X, I3, 4X, I3, 2)  
157 FORMAT(// ' OGRANICZENIE NA STRZAŁKI WŁIEC PRĘTÓW //  
1 ' PRET', 2X, 'WARTOŚĆ DOL.' // //
```

```

149 FORMAT(//' PRET',2X,'USP. DL.WYB. Y',2X,'USPI.DL.WYB. Y',2X,
1 'USPI.SP.LLUA ST.',2X,'USP.SP.PPAWA ST. '/')
150 FORMAT(3X,I3,2(2X,F10.2),2(5X,F5.1,7X))
151 FORMAT(//' OSIADANIE PODPOR' /)
152 FORMAT(/' PODPOR',8X,'X',8X,'Y',8X,'O' /)
153 FORMAT(/' PODPORA',8X,'Y',8X,'Y',8X,'Z',8X,'OX',7X,'OY',7X,'OZ' /)
155 FORMAT(4X,I3,2X,6(1X,F7.1))
2000 FORMAT(' LOKALNY UZLAD USPOLEZEDNYCH' /' PRET',5X,'POCZOTEK',5X,
1 ' KONIEC',5X,'FAT' /)
RETURN
END

```

4.1.6. Podprogram INOBC.

```

SUBROUTINE INOBC
COMMON/XTHC/YOPP(10,5,3),AMF(10,3),XHM(3),XHP(3),HPY(10,5,3),
1 HPA(10,5,3),HPX(10,5,3),HUX(10,5,3),HMA(10,5,3),HOX(10,2,3),
1 UQA(10,2,3),HOL(10,2,3),TAX(10,2,3),IPX(10,2,3),IA(10,2,3),
1 IL(10,2,3),DPT(20,3),ALFA,ANL(10,14,3),A(120),DPT1(20,3)
COMMON/IMXX/F,XG,ITP,KPZTEK,KZER,KBIE,KSTAT,KPDRP,KTEMP,LSTF,LU,
1 LUP,IP,LUMP,IMU,IOPD,HH,MMS,LSP,MSB,FXF(6),DIX(10),XZP(10,2)
1,NI(10),XKSI(10),
1 IP(10),JP(10),XHMU(10,3),XMPRU(10,2),MV(10,7),XMPD(60),XWR(10),
1 AMX(10),AMY(10),AS1(10),AS2(10)
COMMON/XYAD/AXX(10),XI(10),Y1(10),S1(10),X0(10),OIX(10),RX(10),
1 YS(10),OS1(10),OS2(10),OS3(10),OS2(10),OS3(10),YY1(10),CUMX(10,10,
13)
DIMENSION BB(8),XTX(7),YL(10)
READ(1,100)X1
LSTF=X1+0.1
WRITE(3,101)LSTF
DO 50 LL=1,LSTF
READ(1,102)(BB(I),I=1,8)
WRITE(3,102)
READ(1,100)X1,X2
NU=X1+0.1
NP=X2+0.1
WRITE(3,103)NU,HP
XHM(11)=NU
XHP(11)=NP
IF(IMYB.EQ.0)CALL XBIAD(1)
IF(IMYB.EQ.2)WRITE(3,104)
IF(IMYB.EQ.3)WRITE(3,105)
IF(IP.EQ.0)GO TO 20
DO 1 I=1,IP
READ(1,1000)F,(A(LM*K-IP+KK+NU*(LL-1)),KK=1,LM)
AMF(I,LL)=F
1 WRITE(3,106)F,(A(LM*K-IP+KK+NU*(LL-1)),KK=1,LM)
20 IF(IP.EQ.0)GO TO 55
WRITE(3,107)
DO 2 I=1,IP
READ(1,100)(XOIP(I,J,LL),J=1,5)
2 WRITE(3,108)(XOPP(I,J,LL),J=1,5)
L=0
DO 30 I=1,IP
J=XORP(I,1,LL)+0.1
DO 31 K=1,4
IS=XOPP(I,I+1,LL)+0.1
IF(IS.EQ.0)GO TO 30
L=L+IS
DO 32 JJ=1,IS
GO TO (3,5,7,9),F
3 READ(1,100)X1,X2,X3

```

```
WRITE(3,109)J,JJ,X1,X2,X3
UPX(J,JJ,LL)=X1
UPY(J,JJ,LL)=X2
UPA(J,JJ,LL)=X3
GO TO 32
5 READ(1,100)X1,X2
UPX(J,JJ,LL)=X1
UPA(J,JJ,LL)=X2
WRITE(2,110)J,JJ,X1,X2
GO TO 32
7 READ(1,100)X1,X2,X3
UPX(J,JJ,LL)=X1
UPA(J,JJ,LL)=X2
UPB(J,JJ,LL)=X3
WRITE(3,111)J,JJ,X1,X2,X3
GO TO 32
9 READ(1,100)X1,X2,X3,X4
TAX(J,J,LL)=X1
TPX(J,JJ,LL)=X2
TA(J,JJ,LL)=X3
TPB(J,JJ,LL)=X4
WRITE(3,112)J,JJ,X1,X2,X3,X4
32 CONTINUE
34 CONTINUE
30 CONTINUE
WRITE(3,116)
WRITE(3,115)
DO 33 I=1,LP
J=XORP(I,1,LL)+0.1
XFB=XFX3(1,J,LL,XLB)
XFR=XFX3(2,J,LL,XLB)
YF1=XFX3(3,J,LL,XLB)
YF2=XFX3(4,J,LL,XLB)
XMA=-YF1*6./(XL(J))*2+YF2*2./X1(J)
XPA=YF1*12./(XL(J))*3-YF2*6./(XL(J))*2
XMB=-YF1*6./(XL(J))*2+YF2*4./X1(J)-XFB
XRE=-YF1*12./(XL(J))*3+YF2*6/(XL(J))*2-XFR
XNA=0.
IS=XORP(I,2,LL)
DO 34 JK=1,IS
34 XNA=XNA+UPX(J,JK,LL)
XNB=-XNA
IPP=XMPRU(I,1)
IPK=XMPRU(I,2)
WRITE(3,114)J,LL,IPP,XNA,XRA,XMA,IPK,XPB,XRB,XRF
114 FORAT(7X,13,8X,13,7X,13,5X,3(F10.1,2X)/24X,13,5X,3(F10.1,2X))
DO 35 KJ=1,LSP
AHL(J,KJ,LL)=0.
35 XTX(KJ)=0.
IF(LMU.EQ.7)JX=1
IF(LMU.EQ.6)JX=1
IF(LMU.EQ.5)JX=0
XTX(1)=XMA
XTX(2+JX)=XRA
XTX(3+2*JX)=XPA
XTX(4+(3+KBI0)*JX)=XFR
XTX(5+(4+KBI0)*JX)=XBR
XTX(6+(5+KBI0)*JX)=XPR
DO 38 KJ=1,LSP
38 AHL(J,KJ,LL)=XTX(KJ)
33 CONTINUE
55 IF(PTFLI.EQ.0) RETURN
WRITE(3,117)
IF(LMU.EQ.5)WRITE(3,118)
IF(LMU.EQ.5)WRITE(3,119)
LI=LP
IF(LMU.EQ.5)LI=2*LP
READ(1,100)AIFA,(DDT(KJ,LI),KJ=1,LI),(DDT1(KJ,LI),KJ=1,LP)
K=LI/LP
```



```

DO 45 I=1,LP
45 WRITE(3,120) I, (DDT(KJ+K*(I-1),LL),KJ=1,K)
DO 46 I=1,LP
CALL XTEMP(LL,I,XTX)
DO 46 J=1,LPS
46 ABL(I,J,IL)=ABL(I,J,IL)+XTX(J)
50 CONTINUE
101 FORMAT(//' OBCIAZENIA KONSTRUKCJI//' LICZBA UKLADOW OBCIAZEN',
1' LSTB = ',I3/)
102 FORMAT(8A4)
103 FORMAT(//' LICZBA OBCIAZONYCH WEZLOW',10X,'NU = ',I3/
1' LICZBA OBCIAZONYCH PRĘTÓW',10X,'NP = ',I3/)
104 FORMAT(//' OBCIAZENIA WEZŁÓW//' WEZEL',6X,'FX',10X,'FY',10X,'M'/
1)
105 FORMAT(//' OBCIAZENIA WEZŁÓW//' WEZEL',6X,'FX',10X,'FY',10X,'FZ'
1,10X,'MX',10X,'MY',10X,'MZ'/)
106 FORMAT(100F0.0)
1000 FORMAT(10,50F0.0)
106 FORMAT(2X,I3,4X,6(F10.2,2X))
107 FORMAT(//' OBCIAZENIA PRĘTÓW//' KĄTOWOSC RODZAJÓW OBCIAZEŃ//
1' PRĘT',5X,'SKUPIONA',4X,'MOMENT',4X,'RÓWN. ROZK.',2X,'TRAPEZOWE'
1/)
108 FORMAT(2X,F4.1,5(9X,F4.1))
109 FORMAT(//' SIŁA SKUPIONA//' PRĘT',2X,'HR. OBC.',6X,'PX',10X,'PY',
110X,'XA',/3X,I3,4X,I3,3X,4(2X,F10.1))
110 FORMAT(//' MOMENT SKUPIONY//' PRĘT',2X,'HR. OBC.',6X,'M',10X,'XA'
1'/3X,I3,4X,I3,3X,4(2X,F10.1))
111 FORMAT(//' OBCIAZENIE RÓWNOCIERNIE POZŁOŻONE//' PRĘT',2X,'HR. OBC'
1',6X,'X0',10X,'XA',10X,'XB',/3X,I3,4X,I3,3X,4(2X,F10.1))
112 FORMAT(//' OBCIAZENIE TRAPEZOWE//' PRĘT',2X,'HR. OBC.',6X,'TA',
110X,'TB',10X,'XA',10X,'XB',/3X,I3,4X,I3,3X,4(2X,F10.1))
114 FORMAT(//' REAKCJE PODPORÓW OD USZYTYCH OBCIAZEŃ PRĘTA//)
115 FORMAT(//' PRĘT',2X,'HR. OBCIAZEŃ',2X,'KONCE',10X,'H',10X,'R',
110X,'U'/)
117 FORMAT(//' WPLYW TEMPERATURY RÓWNOCIERNIE POZŁOŻONE//)
118 FORMAT(//' PRĘT',2X,'DELTA Y'/)
119 FORMAT(//' PRĘT',2X,'DELTA Y',8X,'DELTA Z'/)
120 FORMAT(3X,I3,2X,2(F7.1,8X) )
RETURN
END

```

4.1.7. Podprogram XTEMP.

```

SUBROUTINE XTEMP(LL,IJ,FF)
COMMON/XINC/XOIP(10,5,3),AWF(10,3),XHU(3),XIP(3),HDX(10,5,3),
1UPA(10,5,3),UPY(10,5,3),PUX(10,5,3),UPA(10,5,3),LOX(10,2,3),
1UOA(10,2,3),UOP(10,2,3),TAX(10,2,3),TBX(10,2,3),TA(10,2,3),
1TR(10,2,3),DDT(20,3),ALFA,ABL(10,14,3),A(120),DDT1(20,3)
COMMON/YXOP/XHZD(10,6),YS(60),NV,UG,IPEST,ILOK,FP,D(60),EPSI(60),
1LPX,ISTART,G(30),XIA(60),XLB(60),DBX(10),PSI(10),HNU
COMMON/IXX/E,XG,ITC,KPZFK,KZEP,KRTO,KSTAT,KPODP,KTEMP,LSTB,LU,
1LMP,IP,LMPF,LMP,IOPT,HH,HNS,LSP,HSD,EXF(6),PIX(10),YTB(10,2)
1,HI(10),XKSI(10),
1ID(10),IP(10),XHUU(10,3),XHPRU(10,2),UH(10,7),XUPD(60),XUP(10),
1APX(10),AWY(10),AS1(10),AS2(10)
COMMON/XXAR/AXZ(10),XI(10),YI(10),SI(10),X0(10),HIX(10),RX(10),
1YS(10),PS1(10),PS2(10),CS1(10),OS2(10),OS3(10),YY1(10),CUMX(10,10,
13)
DIMENSION FF(14)
DO 1 I=1,LSP
1 FF(I)=0.
CALL XPCIF
BY=DDT(IJ,LL)
IF(LMU.GT.3)BZ=DDT(IJ+1,LL)
IF(LMU.GT.3)DB=BY+LZ
X1=I*XI(IJ)*ALFA/X1
IF(KPZFK.EQ.1)X1=X5(4+4*(IJ-1))
IF(KPZFK.EQ.2)X1=YS(4+4*(IJ-1))+2*X5(2+4*(IJ-1))
IF(KPZFK.EQ.3)X1=X5(6+6*(IJ-1))+X5(2+6*(IJ-1))+YS(4+6*(IJ-1))
X1=X1/PLX(IJ)

```

```

XN=FD*ALFA*E*AXX(I,J)
FF(1)=XN
FF(LMW+1)=-XN
IF(LMW.EQ.3)X2=DY
IF(LMW.EQ.3)X2=DZ
IF(LMW.EQ.7)JX=1
IF(LMW.EQ.6)JX=1
IF(LMW.EQ.3)JX=0
FF(3+2*JX)=XM*X2
FF(5+(4+KBII)*JX)=-XR*X2
RETURN
END

```

4.1.8. Podprogram XMAT1.

```

SUBROUTINE XMAT1(I1, JJ, LMW, LI, LHP, UJ, AA, LSWJ)
REAL MU(4,4)
N=LM*LMW
AA=0.
L7=0.
LJ=0
LA=N-LSWJ
I1=0
40 I1=I1+1
I=1+((I1-1)/LMW)
K=UJ(I, I1+1)
IF(K-1)0,1,1
L7=L7+1
GO TO 40
1 LJ=LJ+1
IF(I1.GT.LA)GO TO 10
IF(L7.NE.I1)GO TO 40
RETURN
10 LA=LA+LJ
IF(LA.NE.I1)GO TO 40
IF(JJ.NE.I1)RETURN
AA=1.
RETURN
END

```

4.1.9. Podprogram XSTAT.

```

SUBROUTINE XSTAT(LI)
COMMON/XTAD/SG(60,60),IFAX(10),SS(60,3),BMY(10)
COMMON/XYAR/AXX(10),XI(10),YI(10),SI(10),X0(10),NIX(10),RX(10),
1YS(10),NS1(10),NS2(10),OS1(10),OS2(10),OS3(10),YY1(10),CUX(10,10,
13)
COMMON/IWXX/F,XG,ITD,KPPZEK,KZEB,KRIG,KSTAT,FPQDP,KTQHP,LSTP,LW,
1LMP,IP,LMP,LWI,IORT,ND,NNS,LSP,MSO,FXF(6),DIX(10),X7B(10,2)
1,NI(10),XKSI(10),
1ID(10),IR(10),XMMW(10,3),XMPRY(10,2),MU(10,7),XMPD(60),YMP(10),
1AMX(10),AMY(10),AS1(10),AS2(10)
COMMON/XINC/XOEP(10,5,3),ABF(10,3),XNH(3),XNP(3),UPX(10,5,3),
1UPA(10,5,3),UPY(10,5,3),UPX(10,5,3),UMA(10,5,3),UCX(10,2,3),
1UPA(10,2,3),UPP(10,2,3),TAX(10,2,3),TPX(10,2,3),TA(10,2,3),
1TR(10,2,3),DDT(20,3),ALFA,AML(10,14,3),A(120),DDY1(20,3)
REAL SX(14,14),PR(14,14),SY(7,7),SP(60,60),VF(60),VU(60)
EQUIVALENCE (SF(1,1),SX(1,1)),(SB(15,15),PR(1,1))
IF(LI.GT.1)GO TO 90
CALL XPOIE
IF(IWYN.NE.1)GO TO 1
CALL AOSK
RETURN
1 DO 2 I=1,NI
DO 2 J=1,NI
2 SG(I,J)=0.

```

```
C BUDOWA GLOBALNEJ MACIERZY SZTYWNOŚCI
DO 10 I=1,LU
DO 10 J=1,LU
DO 20 M=1,LP
CALL XMATG(RP,I)
CALL YLNST(SX,I)
CALL IDMP(LSP,LSP,LSP,RP,RP,SX,SX)
CALL TRANS(LSP,LSP,LSP,RP,RP)
CALL IDMP(LSP,LSP,LSP,SX,RP,SX)
C ZBUDOWAAMY ILOCZYNI E*K*RT DLA N-TEGO PRETA
CALL MINC(I,M,RP)
CALL IDMP(LMU,LSP,LSP,RP,SX,SX)
CALL MINC(J,M,RP)
CALL TRANS(LMU,LSP,RP,RP)
CALL IDMP(LMU,LSP,LMU,SX,RP,RP)
C ZBUDOWAAMY ILOCZYNI H*P*K*IT*RT DLA N-TEGO PRETA
DO 15 II=1,LMU
DO 15 JJ=1,LMU
15 SY(II, JJ)=SY(II, JJ)+RP(II, JJ)
20 CONTINUE
C ZBUDOWANA SUWA ILOCZYNI H*R*K*RT*HT DLA PRETOW
DO 25 II=1,LMU
DO 25 JJ=1,LMU
25 SG((I-1)*LMU+II, (J-1)*LMU+JJ)=SY(II, JJ)
10 CONTINUE
DO 3 I=LMU+1,NN
DO 3 J=1,I-1
3 SG(I, J)=SG(J, I)
C BUDOWANIE UPORZĄDKOWANEJ MACIERZY SZTYWNOŚCI
DO 4 I=1,NN
DO 4 J=1,NN
S1=0.
DO 5 K=1,NN
S2=0.
DO 6 L=1,NN
CALL XMAT1(I, L, LMU, LU, LUP, UU, AA, NJP)
IF(NHS.NE.NJP)CALL XBLAD(1)
6 S2=S2+AA*SG(L, K)
CALL XMAT1(K, J, LMU, LU, LUP, UU, AA, NJP)
5 S1=S1+S2*AA
4 SR(I, J)=S1
CALL XBRAN(SR, NHS)
C BUDUJEMY WEKTOR ODCIOZEM ZIEMNIEZNYCH WZLOW I WEKTOR PRZEMIESZCZEN
C WZLOW
90 DO 7 I=1,NN
VF(I)=0.
7 VV(J)=0.
DO 8 I=1,LU
DO 8 J=1,LUP
K=UU(J, 1)
IF(I-K)0,0,0
DO 11 JJ=1,LMU
JK=JJ+(I-1)*LMU
KK=J*LMU-LMU+JJ
11 VV(KK)=XMPD(KK)
GO TO 8
9 CONTINUE
LN=XMU(LI)
DO 12 JJ=1,LMU
K=AUU(JJ, LL)
IF(1.NE.K)GO TO 12
DO 13 J=1,LMU
13 VF(J+(I-1)*LMU)=A(LMU+I-LMU+J+(LL-1)*NN)
12 CONTINUE
8 CONTINUE
C TWORZYMY UPORZĄDKOWANE WEKTORY V ORAZ F
C TWORZYMY WEKTOR F=F-H*L*FF
C MACIERZ SS(1,1) DO WYKORZYSTANIA
```

```
DO 14 I=1, NH
SS(I,1)=0.
SS(I,2)=0.
14 SS(I,3)=0.
IF(XMP(LI),EO,0)GO TO 30
DO 18 J=1, LP
CALL XMATG(RR,J)
DO 16 L=1, LSP
DO 16 K=1, LSP
16 SS(L,1)=SS(I,1)+RR(L,K)*AML(J,K,LL)
CALL MIRC(I,J,RR)
CALL IDPP(LUU,LSP,1,RR,SS,SS)
DO 17 K=1, LUU
17 SS(L,2)=SS(K,2)+SS(K,1)
18 CONTINUE
DO 19 K=1, LUU
19 SS((I-1)*LUU+K,3)=SS(K,2)
95 CONTINUE
30 DO 35 I=1, NH
35 SS(I,1)=-VF(I)-SS(I,3)
DO 36 I=1, NH
SS(I,2)=0.
SS(I,3)=0.
DO 36 J=1, NH
CALL XMAT1(I,J,LUU,LU,LUP,WH,AA,NJR)
SS(I,2)=SS(I,2)+AA*VV(J)
36 SS(I,3)=SS(I,3)+AA*SS(J,1)
C OBLICZAMY VU=L11-1*(FU-K12*VU)
C WPIERW WYZNACZAMY FU-K12*VU
DO 37 I=1, NJR
VF(I)=0.
DO 38 J=NJR+1, NH
38 VF(I)=VF(I)+SB(I,J)*SS(J,2)
37 VF(I)=SS(I,3)-VF(I)
C OBLICZAMY VV
DO 39 I=1, NJR
VV(I)=0.
DO 39 J=1, NJR
39 VV(I)=VV(I)+SB(I,J)*VF(J)
C WYRACHAMY DO PODSTAWOWEGO WEKTORA PRZEMIESZCZEN V=AT*V
DO 370 I=1, NH
370 SS(I,2)=0.
DO 40 I=1, NH
SS(I,1)=0.
DO 40 J=1, NH
CALL XMAT1(J,I,LUU,LU,LUP,WH,AA,NJR)
SS(I,1)=SS(I,1)+AA*VV(J)
C RUCHOWA WEKTORA SIL DEWIECIETRZYNYCH FL=K*RT*HT*AT*V+FLD
DO 41 I=1, LP
CALL XLST(SX,I)
CALL XMATG(RR,I)
CALL TRANS(LSP,LSP,RR,RR)
CALL IDPP(LSP,LSP,LSP,SX,RR,SX)
DO 42 J=1, LU
CALL MIRC(J,I,RR)
CALL TRANS(LUP,LSP,RR,RR)
CALL IDPP(LSP,LSP,LUU,SX,RR,SX)
DO 43 II=1, LSP
DO 43 JJ=1, LUU
43 SS((I-1)*LSP+II,2)=SS((I-1)*LSP+II,2)+SX(II,JJ)*SS((I-1)*LUU+JJ,1)
42 CONTINUE
DO 44 II=1, LSP
44 SS((I-1)*LSP+II,2)=SS((I-1)*LSP+II,2)+AML(I,II,LL)
41 CONTINUE
C POUPOT WEKTORA OBCIAZEN DO POSTACI PODSTAWOWEJ F=AT*F
DO 45 I=1, NH
VF(I)=0.
DO 45 J=1, NH
CALL XMAT1(J,I,LUU,LU,LUP,WH,AA,NJR)
45 VF(I)=VF(I)+AA*SS(J,3)
```

```
DO 46 J=1,NI
46 SS(J,3)=VF(I)
C TABLICA SS(.,1) ZAWIERA PRZEMIESZCZENIA WZGLĘDNE Z PODPORANI
C TABLICA SS(.,2) ZAWIERA SIŁY WEWNĘTRZNE W PRĘTACH
C TABLICA SS(.,3) ZAWIERA SIŁY ZEWNĘTRZNE (ZEROWE REAKCJE)
IF(KSTAT.EQ.0)RETURN
RETURN
END
```

4.1.10. Podprogram XLMST .

```
SUBROUTINE XLMST(SX,II)
COMMON/XXAR/AXX(10),XI(10),YI(10),SI(10),YO(10),UIX(10),RX(10),
1 YS(10),US1(10),US2(10),OS1(10),OS2(10),OS3(10),VY1(10),CURX(10,10,
1 13)
COMMON/UXXX/F,XG,ITP,KPZKZK,KZEP,KRTO,KSTAT,KDOP,KTEMP,LSTP,LW,
1 LUP,IP,LUMP,IUV,IOP,NI,HUS,LSP,MSF,EXF(6),DLX(10),XZB(10,2)
1,NI(10),XKSI(10),
1 IR(10),IR(10),XPRM(10,7),XPRM(10,2),MW(10,7),XUPD(60),XNR(10),
1 AX(10),AY(10),AS1(10),AS2(10)
DIMENSION SX(14,14)
DO 1 I=1,LSP
DO 1 J=1,LSP
1 SX(I,J)=0.
X1=F*XI(II)/DLX(II)
Y1=F*YI(II)/DLX(II)
X2=X1/DLX(II)
X3=X2/DLX(II)
Y2=Y1/DLX(II)
Y3=Y2/DLX(II)
X0=F*AXX(II)/DLX(II)
SX(1,1)=X0
G1=XG+SI(II)/DLX(II)
IF(IUV.EQ.3)GO TO 10
SX(2,2)=12*Y3
SX(2,6)=6*Y2
SX(3,3)=12*X3
SX(3,5)=-6*X2
SX(4,4)=G1
IF(KRTO.NE.1)GO TO 20
XM3=F*UIX(II)/(DLX(II)**3)
XA=12.*XM3+36.*G1/30.
XB=7.*XM3*DLX(II)+3.*G1*DLX(II)/30.
XC=(4.*XM3+4.*G1/30.)*(DLX(II)**2)
XD=(2.*XM3-61/30.)*(DLX(II)**2)
SX(4,4)=XA
SX(7,4)=-XB
SX(4,7)=XB
SX(7,7)=XC
20 SX(5,3)=-6*X2
SX(5,5)=6.*X1
SX(6,2)=6.*Y2
SX(6,6)=4.*Y1
SX(1,IUV+1)=-SX(1,1)
SX(2,IUV+2)=-SX(2,2)
SX(2,IUV+6)=-SX(2,6)
SX(3,IUV+3)=-SX(3,3)
SX(3,IUV+5)=-SX(3,5)
SX(4,IUV+4)=-SX(4,4)
IF(KRTO.EQ.0)GO TO 30
SX(4,14)=-SX(4,7)
SX(7,14)=-SX(7,7)
```

```

30 SX(14,14)=XD
   SX(5,LUU+3)=-SX(3,5)
   SX(5,LUU+5)=2.*X1
   SX(6,LUU+2)=-SX(2,6)
   SX(6,LUU+6)=2.*Y1
   DO 35 I=1,LUU
   DO 35 J=1,LUU
35 SX(1+LUU,J)=SX(J,I+LUU)
   DO 36 I=1,LUU
   DO 36 J=1,LUU
   IF(I.NE.J)GO TO 36
   SX(LUU+I,LUU+I)=SX(I,I)
36 CONTINUE
   SX(LUU+2,LUU+6)=-SX(2,6)
   SX(LUU+3,LUU+5)=-SX(3,5)
   SX(LUU+5,LUU+3)=-SX(3,5)
   SX(LUU+6,LUU+2)=-SX(2,6)
   IF(FRTR.FQ.0)RETURN
   IF(LMU.NE.7)CALL XBLAD(1)
   SX(11,14)=-XR
   SX(14,11)=-XR
   RETURN
10 SX(2,2)=12.*Y3
   SX(2,3)=6.*X2
   SX(3,2)=SX(2,3)
   SX(3,3)=4.*X1
   SX(4,4)=SX(1,1)
   SX(5,5)=12.*X3
   SX(5,6)=-6.*X2
   SX(6,5)=-6.*X2
   SX(6,6)=4.*X1
   RETURN
END

```

4.1.11. Podprogram XMATG *

```

SUBROUTINE XMATG(PA,I)
COMMON/INXY/P,XG,ITP,KDPZEK,KZER,KPII,KSTAT,KPODP,KTRND,LSTR,LW,
1LUP,IP,LUMP,LUU,IOPD,HH,HHS,LSP,MSD,FXF(6),DIX(10),Y7R(10,2)
1,UI(10),YKSI(10),
1ID(10),IP(10),XMMW(10,3),XMPRW(10,2),MM(10,7),XUPD(60),Y7P(10),
1AUX(10),AUY(10),AS1(10),AS2(10)
REAL PA(14,14)
DO 20 I=1,LSP
DO 20 J=1,LSP
20 RA(I,J)=0.
   XL=DIX(1)
   K=XMPRW(I,1)
   L=XMPRW(I,2)
   DX=XMMW(I,1)-XMMW(K,1)
   DY=XMMW(I,2)-XMMW(K,2)
   IF(LUU.GT.3)DZ=XMMW(I,3)-XMMW(K,3)
   IF(F.IT.1)GO TO 1
   DX=-DX
   DY=-DY
   DZ=-DZ
1 IF(LUU.GT.3)GO TO 10
   RA(1,1)=DX/XI
   RA(2,2)=DX/XI
   RA(2,1)=DY/XI
   RA(1,2)=-DY/XL
   RA(3,3)=1.
   RA(6,6)=1.
   DO 2 I=1,2
   DO 2 J=1,2
2 RA(I+3,J+3)=PA(I,J)
   RETURN

```

```

10 DXY=SQRT(DX**2+DY**2)
    A=0.
    B=0.
    IF(DXY.NE.0.)A=DX/DXY
    IF(DXY.NE.0.)B=DY/DXY
    C=DXY/XL
    D=-D7/XL
    E=COS(XKSI(1))
    F=SIN(XKSI(1))
    RA(1,1)=A*C
    RA(2,1)=B*C
    RA(3,1)=-D
    RA(1,2)=A*D+F-E
    RA(2,2)=B*D+F+A*E
    RA(3,2)=C*F
    RA(1,3)=A*D+F+E
    RA(2,3)=B*D+F-A*E
    RA(3,3)=C*E
    DO 3 I=1,3
    DO 3 J=1,3
3   RA(I+3,J+3)=RA(I,J)
    IF(KRIN.FO.1)KA(7,7)=1.
    DO 4 I=1,3
    DO 4 J=1,3
    RA(I+LUM,J+LUM)=RA(I,J)
4   RA(I+LUM+3,J+LUM+3)=RA(I,J)
    IF(KRIN.FO.1)RA(14,14)=1.
    RETURN
    END

```

4.1.12. Podprogram MINC.

```

SUBROUTINE MINC(L,I,RR)
COMMON/IMXX/F,XG,IT,KPDZFK,KZED,KRIN,KSTAT,KPODP,KTEMD,LSTF,LW,
1 LUP,IP,LUMP,LM,IPDT,HP,HNS,LSP,ASP,FXF(6),DLX(10),X7R(10,2)
1,HI(10),
1 ID(10),IP(10),XMPU(10,3),XMPRU(10,2),UM(10,7),XUPD(60),YUR(10),
1 AVX(10),AMY(10),AS1(10),AS2(10)
REAL RR(7,14)
DO 1 I=1,LUM
DO 1 J=1,LSP
1 RR(I,J)=0.
K=XMPRU(I,1)
L1=YMPRU(I,2)
IF(L.LT.11)GO TO 2
L2=L
L=L1
1 IF(L.NE.K.AND.L.NE.L1)RETURN
DO 3 I=1,LUM
DO 3 J=1,LUM
IF(I.NE.J)GO TO 3
IF(L.EQ.11)GO TO 4
RR(I,J)=1.
GO TO 3
4 RR(I,J+LUM)=1.
3 CONTINUE
RETURN
END

```

4.1.13. Podprogram XPOLE.

```

SUBROUTINE XPOLE
COMMON/XXAR/AXX(10),XI(10),YI(10),SI(10),X0(10),HIX(10),RX(10),
1 YS(10),OS1(10),OS2(10),OS3(10),OS2(10),OS3(10),YY1(10),CORY(10,10,
13)
COMMON/XXOP/XMZD(10,6),YS(60),NV,NG,IPREST,ILOK,FP,D(60),EPSI(60),
1 LPX,ISTART,G(30),XLA(60),YLR(60),DDY(10),DSH(10),MMH
COMMON/IMXX/E,XG,ITP,KPIZFK,KZER,KPIU,KSTAT,KPOPP,KTEHP,LSTP,LW,
1 LMP,IP,LUMP,LVV,TOPT,ND,BNS,LSP,HSP,EXF(6),DLX(10),X7B(10,2)
1,MI(10),
1 ID(10),IF(10),YHMW(10,3),XMPRW(10,2),MU(10,7),XUPD(60),XWR(10),
1 AUX(10),AHY(10),AS1(10),AS2(10)
REAL T(6)
DO 1 J=1,LP
DO 2 J=1,ITP
2 T(J)=XS(J+(I-1)*ITP)
IF(LV(I).EQ.0)GO TO 1
IF(IR(I).EQ.2)GO TO 30
DO 3 J=1,ITP
3 T(J)=T(J)*EXF(J)
30 IF(LPPZFK.GT.0)GO TO 10
YI(1)=T(2)*(T(1))**3/6+T(3)*(T(4))**3/12
XI(1)=T(1)*(T(2))**3/6+T(1)*T(2)*(T(5)+T(2))**2/2+T(1)*(T(2))**3/6
SI(1)=1.2*(2*T(1)*(T(2))**3+T(3)*(T(4))**3)/3
X0(1)=XI(1)+YI(1)
HIX(1)=(VI(1)*(T(3)+T(2))**2)/4
YS(1)=0.
PX(1)=0.
OS1(1)=2*XI(1)/T(3)
OS2(1)=OS1(1)
OS1(1)=0.5*T(1)+T(2)+(T(3)+T(2))
OS2(1)=OS1(1)
OS3(1)=OS1(1)+0.125*T(3)*T(1)*T(2)*T(3)
GO TO 1
10 IF(KORZFK.GT.1)GO TO 20
PRZFKFOJ DUMTECUIY SYMETRYCZNY
X1=0.5*T(5)*(T(6))**2+T(3)*T(4)+(0.5*T(3)+T(6))+T(1)+T(2)+(T(3)+
1 T(6))
Y2=X1/AXX(I)
Y1=X1+T(6)-Y2
YY1(T)=Y1
XI(1)=T(5)*(T(6))**3/12+T(5)*T(6)*(Y2-0.5*T(6))*(Y2-0.5*T(6))+
1 T(1)*T(2)*Y1**2+T(4)+(T(3))**3/12+T(4)*T(3)*(0.5*T(3)+T(6)-Y2)**2
YI(1)=T(2)*(T(1))**3/12+T(3)*(T(2))**3/12+T(6)*(T(5))**3/12
X0(1)=XI(1)+YI(1)
SI(1)=1.2*(T(1)+T(2)+(T(2))**2+T(3)*(T(4))**3+T(5)*(T(6))**3)/3
YS(1)=(T(3)+T(2)-Y2)*T(2)*T(1)+(T(2))**2-Y2*T(6)*(T(5))**3/YI(1)
P=(T(2)*(T(1))**3/12-T(6)*(T(5))**3/12)/YI(1)
HIX(1)=(T(2)-P**2)+Y1(T)*(T(3)+T(6)/2)**2/4
RY(1)=(YS(1)+YI(1)+T(1)*T(2)*(T(3)+T(6)-Y2)**3-T(5)*T(6)*Y2**3
1 +T(4)*(T(3)+T(6)-Y2)**4-Y2**4)/4/YI(1)
OS1(1)=XI(1)/Y1
OS2(1)=XI(1)/Y2
OS1(1)=T(1)*T(2)*Y1
OS2(1)=T(5)*T(6)*(Y2-0.5*T(6))
OS3(1)=T(1)*T(2)*Y1+T(4)*Y1**2/2
20 X1=0.
PRZFKFOJ SRZYHFOUY
1 CONTINUE
RETURN
END
```


4.1.14. Podprogram XMBAN.

```
SUBROUTINE XMBAN(B,H)
DIMENSION B(30,30)
1 I=I+1
IF(I.GT.H) GO TO 25
DO 5 J=1,H
SUM=B(I,J)
L=I-1
IF(L.EQ.1) GO TO 12
DO 10 K=1,L
SUM=SUM-B(K,I)*B(K,J)
10 IF(L.EQ.1) GO TO 20
IF(SUM.GT.0.) GO TO 15
CALL XBLAB(9)
WRITE(6,70) SUM
70 FORMAT(1X,E14.7)
15 TEMP=1./SQRT(SUM)
B(I,J)=TEMP
GO TO 5
20 B(I,J)=SUM*TEMP
5 CONTINUE
GO TO 1
I=0
25 I=0
30 I=I+1
IF(I.GT.N) GO TO 45
L=I+1
DO 40 J=L,H
SUM=0.0
M=J-1
DO 35 K=1,M
SUM=SUM-B(K,I)+B(K,J)
35 B(J,I)=SUM*B(J,J)
40 GO TO 30
45 I=0
50 I=I+1
IF(I.GT.N) GO TO 65
DO 60 J=1,H
SUM=0.0
DO 55 K=J,H
SUM=SUM+B(K,I)*B(K,J)
55 B(J,I)=SUM
60 B(I,J)=B(J,I)
GO TO 50
65 RETURN
END
```

4.1.15. Podprogram XWTRZ.

```

SUBROUTINE XWTRZ(XX)
COMMON/XTAB/SG(60,60),L1,AX(10),SS(60,3),BMY(10)
COMMON/XXOP/XYZD(10,7),XS(60),NV,NG,IPST,ILOK,FP,D(60),EPSI(60),
1 LPX,ISTART,G(30),XLA(60),XLD(60),DDX(10),DSU(10),MDU
COMMON/ITXX/F,YG,ITP,FPF7FK,KZER,KPTD,KSTAT,KPODP,KTEMP,LSTF,LM,
1 LMP,IP,LWPF,LWU,IOPD,HU,MNS,LSP,NSO,FXF(6),DIX(10),X7B(10,2)
1 HI(10),YKSI(10),
1 IL(10),IR(10),XHMU(10,7),XNPRU(10,2),UH(10,7),XUPD(60),XWR(10),
1 APX(10),AWY(10),AS1(10),AS2(10)
COMMON/XYAR/AXX(10),XI(10),YI(10),SI(10),XD(10),DIX(10),RX(10),
1 YS(10),HS1(10),HS2(10),OS1(10),OS2(10),OS3(10),VY1(10),CUMX(10,10,
1 3)
COMMON/XIHC/XOEP(10,5,3),AUF(10,3),YHM(3),XMP(3),UPX(10,5,3),
1 UPA(10,5,3),UPY(10,5,3),UMX(10,5,3),UPA(10,5,3),UQX(10,2,3),
1 UQA(10,2,3),UQB(10,2,3),TAX(10,2,3),TPX(10,2,3),TA(10,2,3),
1 TH(10,2,3),DOT(20,3),ALFA,AML(10,14,3),A(120),DDY1(20,3)
REAL CG(27),SB(24),SU(14),BG(5),TG(5),GG(30),GS(20,3)
EQUIVALENCE (SU(3),EG(1)),(SW(9),TG(1))
IF(IOPD,IT,1) GO TO 10
CALL XPL(XX)
10 FDT=FP/SORT(3.)
DO 70 I=1,LSB
IF(ILOK,EG,0)GO TO 11
WRITE(2,100)IL
IF(ITP,LT,6)WRITE(2,101)
IF(ITP,GE,6)WRITE(2,102)
11 DO 1000 I=1,IP
DO 1000 J=1,6
1000 CONTY(I,J,LL)=0.
DO 30 I=1,IP
DO 31 J=1,27
31 CC(J)=0
IF(HI(I),EQ,0)GO TO 30
L1=DIX(I)
LX=L1+AWY(I)
LY=L1+AWY(I)
X1=XS(1+(I-1)*ITP)
X2=XS(2+(I-1)*ITP)
LS=L1+AS1(I)
X3=XS(3+(I-1)*ITP)
X4=XS(4+(I-1)*ITP)
X5=XS(5+(I-1)*ITP)
X6=XS(6+(I-1)*ITP)
IF(X2,GT,L1/25.)X2=L1/25.
IF(L1,LT,7.5*X1/2)X1=2*L1/7.5
IF(ITP,GE,6) GO TO 40
IF(L1,LT,2.5*X4)X4=L1/2.5
GO TO 41
40 IF(L1,LT,2.5*X6)X6=L1/2.5
IF(X4,GT,L1/25)X4=L1/25
IF(L1,LT,7.5*X3/2)X3=2*L1/7.5
41 CALL XSTAT(L1)
CALL XRMV(I,LL)
CALL XUTP(I,SB)
S1=-SB(1)+SB(3)
S2=-SB(1)-SB(4)
SS1=(S1+S2)/2
S1=-SB(1)+SB(5)
S2=-SB(1)-SB(6)
SS2=(S1+S2)/2
IF(ABS(SS1),LT,0.0001)GO TO 444
PSI3=SS2/SS1
S1=ABS(PSI3)
IF(S1,LT,1)GO TO 444
PSI3=1./PSI3
S1=SS1
SS1=SS2
SS2=S1

```

```
444 DO 42 J=1,LSP
42 SW(J)=SS(J+(I-1)*LSP,2)
IF(SW(1).LT.0.AND.SW(1+LSP).GT.0)GO TO 15
S1=-SP(1)+SB(13)
S2=-SB(1)-SB(14)
S1=ABS(S1)
S2=ABS(S2)
IF(S1.LT.S2)S1=S2
G(I)=1.-S1/FP
DO 9 K=1,2
COMX(I,3+K-2,LL)=1.-(-SP(1)+SB(2+K))/FP
COMX(I,5+K-1,LL)=1.-(-SP(1)-SB(4+K))/FP
9 COMX(I,7+K,LI)=1.-(-SS(1,2))/FP
C ROZCIAGANIE
GO TO 30
S11=SP(1)
15 IF(ABS(S11).GT.0.001)GO TO 25
IF(KPRZFK-1)0,12,14
CALL XDLAD(1)
GO TO 43
12 S1=X4+X2
GO TO 43
S1=X6+X2/2+X4/2
IF(X3.GT.X1)X3=X1
43 IF(S1/X1.LT.2)X1=2*S1
IF(S1/X1.GT.6)X1=6*S1
S2=(2./16.)*(S1/X1)**2-(26./16.)*(S1/X1)+21.
S0=SQRT(2200./FP)
IF(S0.GT.1)S2=S2+S0
IF(S2.GT.(-1/2)*(S1/X1)+16.)S2=(-1/2)*(S1/X1)+16.
IF(L1.GE.S2*X2)GO TO 16
X2=L1/S2
CALL XSTAT(LI)
CALL XWTR(I,SB)
16 CC(2)=1.
CC(4)=1.
CC(5)=1.
CC(7)=1.
CC(8)=1.
CC(10)=1.
CC(21)=1.
CC(23)=1.
PHI=120.
GO TO 145
C ZGINANIE
25 S1=SQRT(YI(I)/AXX(I))
S2=SQRT(VI(I)/AXX(I))
T1=LX/S1
T2=LY/S2
ZS=XO(I)+AXX(I)*(YS(I))**2
A1=T2*T2*(0.030*SI(I)+PIX(I)/(S*LS))/ZS
P1=XO(I)/ZS
GO TO 1700
IF((ABS(S1(13)).LT.0.001).AND.(ABS(S1(14)).LT.0.001))GO TO 170
1700 DO 14 K=1,27
14 CC(K)=1.
D1=1.
C ZGINANIE ZE SCISKANIEM
PHI=90.-30.*PSI5
E1=PMAX(1)/SM(1)
S1=AXX(I)*E1*(EX(I)-2.*YS(I))+ZS
S2=AXX(I)*(E1-YS(I))**2
S3=S1/A1+ZS
S4=S2/A1+ZS
PSI2=(1.+S3-SQRT((1.-S3)**2-S4))/(2*(S3-S4))
XLL=T2/SQRT(ABS(PSI2))
IF(XLL.LT.T1)XLL=T1
XLP=5250./S0
XLL=XLL/XLP
```

```
IF(100-6)0,195,196
S1=SW(3)
S2=SW(6)
GO TO 197
195 S1=SW(5)
S2=SW(11)
GO TO 197
196 S1=SW(5)
S2=SW(12)
197 S3=S1/S2
IF(ABS(S3).LT.1)GO TO 16
S3=1./S3
18 AM=0.6+S3*0.4
IF(AM.LT.0.4)AM=0.4
S1=(2.07*10.**7*XI(J))/(LX**2)
S2=2.F70
IF(S1.GT.S2)S1=S2
IF(S1.LT.-S2)S1=-S2
AM=AM/(1.-ABS(SW(1)/S1))
CC(11)=HF6(X1L)
CC(12)=AM/1.085
CC(13)=1.-1.8*(T2/100.)**2
CC(17)=CC(11)
CC(24)=CC(11)
CC(25)=CC(12)
CC(26)=CC(13)
GO TO 145
C 170 PHI=60.
SCISKANIF
PSI2=(1.+A1-SORT((1.+A1)**2-4*A1*B1))/2*B1
XLL=T2/SORT(ABS(PSI2))
IF(X1L.LT.T1)XLL=T1
XLP=5250./SQ
XLL=X1L/XLP
CC(11)=HF6(X1L)
CC(17)=CC(11)
CC(1)=1.
CC(3)=1.
CC(5)=1.
CC(6)=1.
CC(8)=1.
CC(9)=1.
CC(18)=1.
145 IF(KPPZFK-2)0,148,149
CALL XBLAD(1)
148 S1=X4/X3
GO TO 333
149 S1=X6/X5
333 S2=PHI*50
IF(S1.LT.S2)GO TO 146
S3=HF7(FS13)
S4=4840.
S3=S3/SORT(FP)
S4=S4/SORT(FP)
S5=HF5(S1/S3)
S6=HF5(S1/S4)
S3=5.-4.*S5
S4=5.-4.*S6
IF(S3.LT.0.)S3=0.
IF(S3.LT.S4)S3=S4
S3=(1.+PSI3)+(1-S3)/4.
S4=(1.-S3)**2
IF(D1.EQ.1)GO TO 777
D1=0.
CC(15)=1.
S3=1.
777 CC=CC(15)+ABS(S3*S5+SS1+D1+SQRT(S4*(S5+SS1)**2+S*(S4+SS(7))**2))
146 S3=7*Y1/(2*Y2)
IF(S3.LT.S2)GO TO 147
```

```

X2=3*X1/(2*S2)
147 IF(FPRZFK.LT.3)GO TO 140
S3=7*X3/(2*X4)
IF(S3.LT.S2)GO TO 140
X4=3*X3/(2*S3)
CALL XSTAT(LI)
CALL XCMY(J,IL)
CALL XHTP(I,SP)
140 DO 20 K=1,2
IF(F.FO.3)GO TO 1005
BG(1)=ABS(-CC(1)*SB(K)+CC(2)*SB(K+2))
TG(1)=ABS(-CC(3)*SB(K)-CC(4)*SB(K+4))
BG(2)=ABS(SB(K+6)*FP/FPT)
TG(2)=ABS(SE(K+8)*FP/FPT)
BG(3)=CC(5)*SQRT((-CC(6)*SB(K)+CC(7)+SB(K+2))*2+3*(SB(K+6))*2)/
11.1
TG(3)=CC(8)*SQRT((-CC(9)*SB(K)-CC(10)*SB(K+4))*2+3*(SB(K+8))*2)/
11.1
BG(4)=ABS(-CC(11)*SB(K)+CC(12)*SB(K+2))
TG(4)=ABS(-CC(13)*SB(K)-CC(14)*SB(K+4))
CALL XPORZ1(4,BG,S1,S2)
COMX(I,3*K-2,LL)=S2
CALL XPORZ1(4,TG,S1,S3)
COMX(I,3*K-4,LL)=S3
IF(S2.LT.S3)S2=S3
G(2*K-1)=1.-S2/FP
BG(1)=CC(17)*ABS(SS(K,2))
BG(2)=ABS(SS(K+10,2)*FP/FPT)
BG(3)=CC(18)+SQRT(SE(K)*2+3*(SE(K+10))*2)
CALL XPORZ1(3,BG,S1,S2)
G(2*K)=1.-S2/FP
COMX(I,3*K,LI)=S2
GO TO 20
1005 BG(1)=ABS(-CC(20)*SE(1)+CC(21)*SB(K+10))
BG(2)=ABS(-CC(22)*SE(1)-CC(23)*SB(K+11))
BG(3)=ABS(-CC(24)*SE(1)+CC(25)*SB(K+10))
BG(4)=ABS(-CC(26)*SE(1)-CC(27)*SB(K+11))
BG(5)=CCC
CALL XPORZ1(5,BG,S1,S2)
G(5)=1.-S2/FP
S1=G(1)
DO 35 J=2,5
IF(S1.GT.G(J))S1=G(J)
35 CONTINUE
GG(I)=S1
20 CONTINUE
30 CONTINUE
DO 50 I=1,LP
II=IT(I)
IF(II.FO.0)GO TO 50
GS(I,LL)=GG(I)
IF(ILOK.FO.0)GO TO 50
K1=KPPZFK
IF(P1.LT.3)WRITE(2,105)I,GS(I,LL),X1,X2,X3,X4
IF(P1.FO.3)WRITE(2,105)I,GS(I,LL),X1,X2,X3,X4,X5,X6
50 CONTINUE
IF(ILOK.FO.0)GO TO 51
WRITE(2,106)
51 DO 75 K=1,LU-LUP
GS(IP+K,LL)=1.-SS(1+(K-1)*LUW,1)/DSY(K)
IF(ILOK.FO.0)GO TO 75
WRITE(2,105)K,GS(1+(K-1)*LUW,1),GS(IP+K,LL)
75 CONTINUE
IF(ILOK.FO.0)GO TO 76
WRITE(2,107)
76 DO 77 K=1,LP
GS(IP+LU-LUP+K,LL)=1.-UY(K)/DSH(K)
IF(ILOK.FO.0)GO TO 77
WRITE(2,105)K,UY(K),GS(IP+LU+K-LUP,LL)
77 CONTINUE
70 CONTINUE

```

```

DO 80 I=1,2*IP+LM-LMP
G(I)=GS(I,1)
DO 80 L=1,LSP
IF(G(I).GT.GS(I,L))G(I)=GS(I,L)
80 CONTINUE
100 FORMAT(//' OGRANICZENIA I ZMIENNE BECZYWYJNE DLA', 2X,I3,2X,' UKLADY
1 OBCIAZEN'/' PRET',8X,' WAPREZNIENIE',5X,' U Y M I A R Y P R Z E K R
10 J O U ')
101 FORMAT(32X,'X1',13X,'X2',13X,'X3',13X,'X4'/)
102 FORMAT(32X,'X1',13X,'X2',13X,'X3',13X,'X4',13X,'X5',13X,'X6'/)
106 FORMAT(//' OGRANICZENIE PRZEMIESZCZENIE WZLOU'/' WZEL',7X,' PRZEMIE
1 SZCZENIE X',4X,' WARTOSC OGRANICZENIA'/)
105 FORMAT(2X,I3,5X,7(3X,F12.5))
107 FORMAT(//' OGRANICZENIA WZLEC PRETDU'/' PRET',8X,' MAKS. WZIECIE',
12X,' OGRANICZENIE'/)
RETURN
END

```

4.1.16. Podprogram XWTR.

```

SUBROUTINE XWTR(J,SP)
COMMON/XYAP/AXX(10),XI(10),YI(10),SI(10),XO(10),MIX(10),RX(10),
1 YS(10),MS1(10),MS2(10),CS1(10),CS2(10),CS3(10),YY1(10),CUMY(10,10,
13)
COMMON/IMXX/r,XG,ITP,KPRZEK,KZEF,KWIE,KSTAT,KPODP,KTEMP,LST5,LM,
1 LMF,IP,LUMP,IMW,IOP,HH,MUS,LSP,MSP,FXF(6),DLX(10),XZR(10,2)
1,MI(10),XKSI(10),
1IB(10),IR(10),XPMU(10,3),XMPW(10,2),MU(10,7),XUPD(60),XWR(10),
1AUX(10),AWY(10),AS1(10),AS2(10)
COMMON/XTAB/SG(60,60),BI/Y(10),SS(60,3),BNY(10)
COMMON/XXOP/YMZD(10,6),XS(60),WV,NG,IPREST,ILCK,FP,D(60),EPSI(60),
1LPX,ISTART,G(30),XLA(60),XLR(60),DIX(10),DSU(10),MMH
REAL SB(24),F1(7)
DO 1 I=1,LMU
1 F1(I)=SS(I+LMU*(J-1),2)
IF(KPRZEK.GT.1)GO TO 10
X1=XS(4+(J-1)*ITP)
A=AXX(J)
S1=MS1(J)
S2=MS2(J)
Q1=CS1(J)
Q2=CS2(J)
Q3=CS3(J)
IF(LMU.GT.3)GO TO 20
SB(1)=F1(1)/A
SB(2)=F1(4)/A
SB(3)=F1(3)/S1
SB(4)=F1(6)/S1
SB(5)=F1(3)/S2
SB(6)=F1(6)/S2
SB(7)=F1(2)*Q1/(X1*Y1(J))
SB(8)=F1(5)*Q1/(X1*X1(J))
SB(9)=F1(2)*Q2/(X1*Y1(J))
SB(10)=F1(5)*Q2/(X1*X1(J))
SB(11)=F1(2)*Q3/(X1*YI(J))
SB(12)=F1(5)*Q3/(X1*X1(J))
SB(13)=BMAX(J)/S1
SB(14)=BMAX(J)/S2
RETURN
20
SB(1)=F1(1)/A
SB(2)=F1(7)/A
SB(3)=F1(6)/S1
SB(4)=F1(11)/S1
SB(5)=F1(6)/S2
SB(6)=F1(11)/S2
SB(7)=F1(3)*Q1/(X1*X1(J))
SB(8)=F1(9)*Q1/(X1*Y1(J))
SB(9)=F1(3)*Q2/(X1*X1(J))
SB(10)=F1(9)*Q2/(X1*YI(J))
SB(11)=F1(3)*Q3/(X1*X1(J))
SB(12)=F1(9)*Q3/(X1*YI(J))
SB(13)=BMAX(J)/S1
SB(14)=BMAX(J)/S2
10 RETURN
END

```

4.1.17. Podprogram XBMY.

```
SUBROUTINE XBMY(J,LL)
COMMON/IXXX/F,XC,ITP,KPZFK,KZEP,EPID,KSTAT,KPOPB,KTEMP,LSTP,LW,
1LUP,IP,LUPF,IUV,IOPT,NI,PHS,LSP,MSP,FXF(6),LIX(10),YZR(10,2)
1,HI(10),XKSI(10),
1ID(10),IR(10),XHUW(10,3),XNDEN(10,2),WU(10,7),XIPD(60),YWR(10),
1AUX(10),AMU(10),AS1(10),AS2(10)
COMMON/XTAB/SG(60,60),LMAX(10),SS(60,3),RNY(10)
COMMON/XXOP/XM7D(10,6),YS(60),UV,UG,IPRST,ILUK,FP,D(60),EPSI(60),
1LFX,ISTAPT,G(30),XIA(60),YLD(60),DDX(10),DSH(10),HNN
COMMON/XIHC/XOEP(10,5,3),AHE(10,3),XHU(3),XUP(3),UPX(10,5,3),
1UPA(10,5,3),UPY(10,5,3),UPX(10,5,3),UPA(10,5,3),UOX(10,2,3),
1UOW(10,2,3),HOF(10,2,3),TAX(10,2,3),TRX(10,2,3),TA(10,2,3),
1TD(10,2,3),DDT(20,3),ALFA,ANL(10,14,5),A(120),DDT1(20,3)
PMAX - MAKSYMALNY MOMENT IIA J-TEGO PRUTA
PMY - MAKSYMALNY UGIECIE J-TEGO PRUTA
LL - UKLAD ORCIAZEP
IF(NI(1).EQ.6)RETURN
XX=0.
XM=XFX3(1,J,LL,XY)
XD=LIX(J)
XB=XFX3(1,J,LL,XD)
XBB=ABS(XB)
IF(XBB.GT.ABS(XM))XDF=XD
XPY=0.
DO 50 K=1,4
IS=XOEP(J,K+1,LL)
IF(IS.EQ.0)GO TO 50
DO 35 I=1,IS
GO TO (1,2,3,4),K
1 XX=UPA(J,I,LL)
GO TO 30
2 XX=UPA(J,I,LL)
GO TO 30
3 XX=HOA(J,I,LL)
GO TO 30
4 XX=TR(J,I,LL)
XM=XFX3(1,J,LL,XY)
XD=ABS(XM)
IF(XD.GT.XBL)XIF=XB
XY=XFX3(3,J,LL,XY)
BY=ABS(XY)
IF(BY.GT.XBY)XBY=BY
XX=TA(J,I,LL)
30 XM=XFX3(1,J,LL,XX)
XD=ABS(XM)
IF(XD.GT.XFI)XFI=XB
XY=XFX3(3,J,LL,XY)
BY=ABS(XY)
IF(BY.GT.XBY)XBY=BY
35 CONTINUE
50 CONTINUE
K=0
IF(LUU.GE.3)K=3
EMAX(J)=SS(K+3+(J-1)*ITP,2)+XBB
RNY(J)=XBY
RETURN
END
```

C
C
C

4.1.18. Podprogram XPL.

```
SUBROUTINE XPL(XY)
COMMON/XYAR/AXX(10),XI(10),VI(10),SI(10),XO(10),WIX(10),RX(10),
1 YS(10),HS1(10),HS2(10),OS1(10),OS2(10),OS3(10),YY1(10),COMX(10,10,
1 13)
COMMON/XXOP/XHZD(10,6),XS(60),HM,HG,IREST,ILOK,IP,D(60),EPSI(60),
1 LPX,ISTART,G(30),XIA(60),XLP(60),DDX(10),DSU(10),MM
COMMON/IUXX/F,XG,IJP,KPZEK,KZER,KBTI,KSTAT,KPOPP,KTEMP,LSTR,LW,
1 LUP,IP,LWUP,IUU,IOPU,MM,HNS,LSP,HSP,FXF(6),DIX(10),XZR(10,2)
1,HI(10),XESI(10),
1 IP(10),IP(10),XBUU(10,3),XNPRU(10,2),MM(10,7),XUPD(60),YWR(10),
1 AMX(10),AUY(10),AS1(10),AS2(10)
DIMENSION T(6),XY(BHH)
NVX=MMH
DO 1 I=1,MMH
XS(I)=0.
DO 1 J=1,MMH
CALL XHAT1(J,I,ITP,LP,LPX,XMZD,AX,NVX)
1 XS(I)=XS(I)+AX*XX(J)
DO 2 I=1,LP
DO 3 J=1,ITP
3 T(J)=XS(J+(1-I)*ITP)
IF(IR(I).EQ.0)GO TO 2
IF(IR(I).EQ.2)GO TO 10
DO 20 J=1,ITP
20 T(J)=T(J)*FXF(J)
10 IF(KPZEK-2)0,4,5
AXX(I)=T(4)*T(1)-(T(4)-2*T(2))*(T(1)-2*T(3))
GO TO 2
4 AXX(I)=T(1)*T(2)*2+T(3)*T(4)
GO TO 2
5 AXX(I)=T(1)*T(2)+T(3)+T(4)+T(5)+T(6)
2 CONTINUE
RETURN
END
```

4.1.19. Segment XFX3.

```
FUNCTION XFX3(L,I,LI,XX)
COMMON/XINC/XOFP(10,5,3),AWF(10,3),XUN(3),XNP(3),UPY(10,5,3),
1 UPA(10,5,3),UPY(10,5,3),UMX(10,5,3),UMA(10,5,3),UGX(10,2,3),
1 UQA(10,2,3),UQB(10,2,3),TAX(10,2,3),FX(10,2,3),TA(10,2,3),
1 TR(10,2,3),DDT(20,3),ALFA,AML(10,14,3),A(120),DDT1(20,3)
COMMON/IUXX/F,XG,IJP,KPZEK,KZER,KBTI,KSTAT,KPOPP,KTEMP,LSTR,LW,
1 LUP,IP,LWUP,IUU,IOPU,MM,HNS,LSP,HSP,FXF(6),DIX(10),XZR(10,2)
1,HI(10),
1 IP(10),IP(10),XBUU(10,3),XNPRU(10,2),MM(10,7),XUPD(60),YWR(10),
1 AMX(10),AUY(10),AS1(10),AS2(10)
XFX3=0.
DO 50 K=1,4
IS=XOPP(1,K+1,LI)+0.1
IF(IS.EQ.0)GO TO 50
DO 70 J=1,IS
GO TO (1,5,9,12),K
1 XU1=UPY(J,J,LI)
XA=UPA(I,J,LI)
XF2=0.
IF(L.EQ.1)XF1=-XFX1(1,XU1,XA,XX)
IF(L.EQ.2)XF1=-XFX1(1,XU1,0.,1.)
IF(L.EQ.3)XF1=-XFX1(3,XU1,XA,XX)
IF(L.EQ.4)XF1=-XFX1(2,XU1,XA,XX)
GO TO 30
5 XU1=UMX(I,J,LI)
XA=UMA(I,J,LI)
XF2=0.
IF(L.EQ.1)XF1=XFX1(1,XU1,1.,0.)
```



```

A1=1
IF(L.EQ.2)XF1=XFX1(1,XU1,A1,1.)
IF(L.EQ.3)XF1=XFX1(2,XU1,XA,XX)
IF(L.EQ.4)XF1=XFX1(1,XU1,XA,XX)
GO TO 30
0 XU1=UOX(I,J,IL)
XA=UOA(I,J,LI)
XB=UOB(I,J,LI)
IF(L.EQ.1)XF1=XFX1(2,XU1,XA,XX)*(-1)
IF(L.EQ.1)XF2=XFX1(2,XU1,XA,XB)*(-1)
IF(L.EQ.2)XF1=XFX1(1,XU1,XA,XX)*(-1)
IF(L.EQ.2)XF2=XFX1(1,XU1,XA,XB)*(-1)
IF(L.EQ.3)XF1=XFX1(4,XU1,XA,XX)*(-1)
IF(L.EQ.3)XF2=XFX1(4,XU1,XA,XB)*(-1)
IF(L.EQ.4)XF1=XFX1(3,XU1,XA,XX)*(-1)
IF(L.EQ.4)XF2=XFX1(3,XU1,XA,XB)*(-1)
GO TO 30
12 XU1=TAX(I,J,IL)
XU2=TPX(I,J,IL)
XA=TA(I,J,LL)
XB=TB(I,J,LL)
IF(L.EQ.1)XF1=-XFX2(2,XU1,XU2,XA,XB,XX)
IF(L.EQ.1)XF2=-XFX2(2,XU1,XU2,XA,XB,XB)
IF(L.EQ.2)XF1=-XFX2(1,XU1,XU2,XA,XB,XX)
IF(L.EQ.2)XF2=-XFX2(1,XU1,XU2,XA,XB,XB)
IF(L.EQ.3)XF1=-XFX2(4,XU1,XU2,XA,XB,XX)
IF(L.EQ.3)XF2=-XFX2(4,XU1,XU2,XA,XB,XB)
IF(L.EQ.4)XF1=-XFX2(3,XU1,XU2,XA,XB,XX)
IF(L.EQ.4)XF2=-XFX2(3,XU1,XU2,XA,XB,XB)
30 XFX3=XFX3+XF1*(XHH(XA,XX)-XHH(XB,XX))+XF2*XHH(XB,XX)
50 CONTINUE
RETURN
END

```

4.1.20. Segment XFX1.

```

FUNCTION XFX1(N,XU1,XA,XX)
A=1
DO I=1,N
1 A=A*I
XFX1=XU1*((XX-XA)**N)/A
RETURN
END

```

4.1.21. Segment XFX2.

```

FUNCTION XFX2(N,XU1,XU2,XA,XB,XX)
A=1
C=1
DO I=1,N
B=C*I
1 A=A*(I+1)
XM=(XU2-XU1)/(XB-XA)
XFX2=XU1*((XX-XA)**(N+1))/A+XM*((XX-XA)**N)/B
RETURN
END

```

4.1.22. Segment XHH.

```

FUNCTION XHH(XA,XX)
XHH=0
IF(XX.GE.XA)XHH=1.
RETURN
END

```

4.1.23. Podprogram IDMP.

```
SUBROUTINE IDMP(L1,L2,L3,K1,K2,K3)
REAL K1(I1,L2),K2(L2,L3),K3(60,60)
DO 1 I=1,L1
DO 1 J=1,L3
K3(I,J)=0.
DO 1 K=1,L2
K3(I,J)=K3(I,J)+K1(I,K)*K2(K,J)
1 CONTINUE
RETURN
END
```

4.1.24. Podprogram TRANS.

```
SUBROUTINE TRANS(L1,L2,A1,A2)
REAL A1(I1,L2),A2(L2,L1)
DO 1 J=1,L1
DO 1 I=1,L2
1 A2(I,J)=A1(J,I)
RETURN
END
```

4.1.25. Segment UF5.

```
FUNCTION UF5(XX)
IF(XX.LT.0)CALL XBLAD(2)
UF5=1.
IF(XX.GE.0.5.AND.XX.LT.1.)UF5=1./(1.-0.2*XX**4)
IF(XX.GE.1.)UF5=1.25*XX**2
RETURN
END
```

4.1.26. Segment UF6.

```
FUNCTION UF6(XX)
IF(XX.LT.0)CALL XBLAD(2)
UF6=1./(1.-0.2*XX-0.1*XX**2-0.2*XX**3)
IF(XX.GE.1)UF6=2*XX**2
RETURN
END
```

4.1.27. Segment UF7.

```
FUNCTION UF7(XX)
IF(XX.LT.-1.GE.XX.GT.1)CALL XBLAD(2)
UF7=1406.*SQRT(0.67-10.73*XX+12.8*XX**2)
IF(XX.GE.0.AND.XX.LE.1.)UF7=1406.*SQRT(8.7/(XX+0.9))
RETURN
END
```

4.1.28. Podprogram XOUT.

```
SUBROUTINE XOUT
COMMON/IMPXX/F,XG,ITP,KPFZEK,KZER,KRTH,KSTAT,KPODP,KTEMP,LSTB,LW,
1 LWP,IP,LWMP,LWW,IOP,NU,MNS,LSP,MSP,FXF(6),DIX(10),X7B(10,2)
1,NI(10),
1 ID(10),IP(10),XHW(10,3),XMPRW(10,2),MW(10,7),XUPD(60),YWR(10),
1 AMX(10),AMY(10),AS1(10),AS2(10)
COMMON/XINC/XOBP(10,5,3),AWF(10,3),XHW(3),XMP(3),UPX(10,5,3),
1 UPA(10,5,3),UPY(10,5,3),UMX(10,5,3),UMA(10,5,3),UQX(10,2,3),
1 UOA(10,2,3),UOB(10,2,3),TAX(10,2,3),TPX(10,2,3),TA(10,2,3),
1 TR(10,2,3),DDT(10,2,3),ALEA,AML(10,14,3),A(120),DDT(120,3)
COMMON/XXAR/AXX(10),XI(10),YI(10),SI(10),XO(10),WIX(10),RX(10),
1 YS(10),NS1(10),NS2(10),OS1(10),OS2(10),OS3(10),YY1(10),COMX(10,10,
13)
COMMON/XTAB/SG(60,60),BMAX(10),SS(60,3),RMY(10)
COMMON/XXOP/XMZD(10,6),XS(60),NV,NG,IREST,ILOK,FP,D(60),EPSI(60),
1 LPA,ISTART,G(30),XIA(60),XLE(60),DDX(10),DSU(10),MNN
REAL SW(60),SR(60),RR(14,14)
WRITE(2,100)
DO 88 KK=1,LSTB
CALL XSTAT(KK)
WRITE(2,101)KK
WRITE(2,102)
S=0
DO 1 I=1,LW
K=WU(I,1)
DO 2 J=1,LWW
2 S=S+WU(I,J+1)
IF(S.NE.0)GO TO 1
IF(LWW.GT.3)GO TO 3
WRITE(2,103)
GO TO 10
3 IF(KRTH.EQ.1)GO TO 4
WRITE(2,104)
GO TO 10
4 WRITE(2,105)
10 WRITE(2,125)K,(SS(J+(K-1)*LWW,1),J=1,LWW)
1 CONTINUE
S=0
IF(KPODP.EQ.0)GO TO 20
WRITE(2,106)
DO 5 I=1,LWW
K=WU(I,1)
DO 6 J=1,LWW
6 S=S+WU(I,J+1)
IF(S.EQ.0)GO TO 5
WRITE(2,106)
IF(LWW.GT.3)GO TO 15
WRITE(2,108)
GO TO 16
15 WRITE(2,106)
16 WRITE(2,125)K,(SS(J+(K-1)*LWW,1),J=1,LWW)
5 CONTINUE
TRANSFORMACJA WEKTORA SII WEW. SS(,2) DO GLOBALNEGOUKLADU WSPOLRZ
EDNYCH
20 DO 60 I=1,LP
CALL XMATG(RR,I)
DO 61 II=1,LSP
DO 61 JJ=1,LSP
61 SR(II)=SR(II)+RR(II,JJ)*SS((I-1)*LSP+JJ,2)
DO 62 JJ=1,LSP
62 SS((I-1)*LSP+JJ,2)=SR(II)
60 CONTINUE
WRITE(2,106)
IF(LWW.GT.3)GO TO 25
WRITE(2,117)
GO TO 17
25 IF(KRTH.EQ.1)GO TO 26
WRITE(2,108)
GO TO 17
```

```
26 WRITE(2,199)
17 DO 70 I=1,LP
   K=XIPRW(I,1)
   L=XIPRW(I,2)
   WRITE(2,110) I,K,(SS(J+(I-1)*LSP,2),J=1,LWU)
   WRITE(2,111) I,(SS(J+(I-1)*LSP,2),J=LWU+1,LSP)
30 CONTINUE
   WRITE(2,1111)
   DO 40 I=1,LWU
     SW(I)=0.
40 SR(I)=0.
   DO 45 I=1,LP
     DO 45 J=1,7
45 SW(J)=SU(J)+SS((I-1)*LSP+J,2)+SS((I-1)*LSP+J+LWU,2)
     DO 46 I=1,LWU
       DO 46 J=1,7
46 SR(J)=SR(J)+SS((I-1)*LWU+J,3)
     WRITE(2,116)
     IF(LWU.GT.3) GO TO 55
     WRITE(2,115)
     GO TO 96
55 WRITE(2,127)
96 WRITE(2,110) (SU(I),J=1,LWU)
   WRITE(2,120)
   IF(LWU.GT.3) GO TO 48
   WRITE(2,122)
   GO TO 96
48 WRITE(2,122)
90 DO 65 I=1,LWU
65 SW(I)=ABS(SU(I)+SP(I))
   WRITE(2,123) (SU(I),I=1,LWU)
   DO 66 I=1,LWU
66 IF(SW(I).GT.1.) CALL XBLAD(7)
   WRITE(2,124)
   DO 71 I=1,LP
71 WRITE(2,125) I,(XS((I-1)*ITP+J),J=1,ITP)
   WRITE(2,126)
   DO 72 I=1,LP
72 WRITE(2,125) I,XI(I),YI(I),WIX(I),PY(I)
88 CONTINUE
100 FORMAT(//' WYNIK KONCOWE ANALIZY STATYCZNEJ'//)
101 FORMAT(//' WELAD ODCIAZEN NUMBER :',I3//)
102 FORMAT(//' PRZENIESZCZENIA WZELOW'//)
103 FORMAT(/' WZEL',2X,'PRZEN. X',5X,'PRZEN. Y',5X,'OBROT'//)
104 FORMAT(/' WZEL',2X,'PRZEN. X',5X,'PRZEN. Y',5X,'PRZEN. Z',5X,'OBROT
10X',4X,'OBROT OY',4X,'OBROT OZ'//)
105 FORMAT(/' WZEL',4X,'PRZEN. X',5X,'PRZEN. Y',5X,'PRZEN. Z',5X,'OBROT
10X',4X,'OBROT OY',4X,'OBROT OZ',4X,'SPACZENIE'//)
106 FORMAT(/' PRZELIESZCZENIA PODPOR'//)
125 FORMAT(2X,I3,3X,7(F10.3,3X))
108 FORMAT(/' PODPORA',2X,'PRZEN. X',5X,'PRZEN. Y',5X,'OBROT'//)
109 FORMAT(/' PODPORA',2X,'PRZEN. X',5X,'PRZEN. Y',5X,'PRZEN. Z',5X,'OBRO
11X',5X,'OBROT OY',5X,'OBROT OZ'//)
107 FORMAT(//' SILY NA KONCACH PRETOW W GLOBALNYM UKL. WSPORZEDNYM'//
1)
117 FORMAT(/' PRET',4X,'KONCE PRETA',6X,'SILA X',7X,'SILA Y',7X,'MOMEN
11T'//)
108 FORMAT(/' PRET',4X,'KONCE PRETA',4X,'SILA X',7X,'SILA Y',7X,'SILA Z'
1,7X,'MOMENT X',7X,'MOMENT Y',7X,'MOMENT Z'//)
109 FORMAT(/' PRET',6X,'KONCE PRETA',4X,'SILA X',7X,'SILA Y',7X,'SILA Z
1'//)
117 FORMAT(/' PRET',4X,'KONCE PRETA',6X,'SILA X',7X,'SILA Y',7X,'MOMENT X',7X,'MOMENT Y',7X,'MOMENT Z',7X,'MOMENT'//)
```

```
110 FORMAT(2X,7(F10.3,3X))
110 FORMAT(2X,I3,8X,I3,8X,7(F10.3,2X))
111 FORMAT(2X,I3,7(F10.3))
1111 FORMAT(/' SPRAWDZENIE LARUNKOW POMIOWAGI'//)
127 FORMAT(' SILE X',8X,' SILE Y',8X,' SILE Z'//)
116 FORMAT(' SUMA SIL NIEMETRZYCH NA KOŃCACH PRETOM'//)
115 FORMAT(' SILE X',8X,' SILE Y'//)
120 FORMAT(/' GŁOŚALNA SUMA SIL'//)
1222 FORMAT(/' SUMA SIL X',9X,' SUMA SIL Y'//)
122 FORMAT(/' SUMA SIL Y',9X,' SUMA SIL Z'//)
123 FORMAT(2X,3(F12.8,7X))
124 FORMAT(/' CHARAKTERYSTYKI GEOMETRYCZNE PRETOM'//)
1' PRET',4X,' DOŁE',7X,' U Y M I A R Y P R Z E K P O J U'//)
126 FORMAT(/' MOMENT BEZW. IX',6X,' MOMENT BEZW. IY',6X,' MOC. MOMENT B
1EZW.',2X,' WART. ASYMETRII'//)
RETURN
END
```

4.1.29. Podprogram ZKMC.

```
SUBROUTINE ZKMC(F,A1,C1)
COMMON/XXOP/XYZD(10,6),XS(60),NV,MG,IREST,ILOK,FP,D(60),EPSI(60),
1 LFX,ISTART,G(30),XIA(60),XIB(60),DBX(10),DSB(10),NNN
COMMON/XXDR/XX,KK,DD,IL,IY
COMMON/XOP1/XPC,XTO,XKO,KUP,PTP,NA,NMAX,EK,HNX,PKX,IYX,ILX,XXY
EXTERNAL F
INTEGER P,PO,T,TO,PT
REAL A2(60),G(60),K0,K3,A1(NNN)
PO=XPO+0.1
TO=XTO+0.1
K0=XKO
C1=F(A1)
N=NV
IF(KUP.EQ.0)GO TO 1000
DO 1 I=1,KUP
1 FF=AMOD((3125.0*FK),1.0)
1000 P=0
T=0
L1=0
L2=0
K3=K0
PT=1
DO 4 I=1,N
4 O(I)=A1(I)
WRITE(2,107)NA,EK
50 IF(L1.LE.NMAX-1A)GO TO 5
WRITE(2,108)A1(1),A2(1),G(1),C1,0.11,L3,L2,K3
DO 6 I=2,N
6 WRITE(2,109)I,A1(I),A2(I),G(I)
5 IF(L1.EQ.NMAX)GO TO 80
DO 7 I=1,N
EK=AMOD((3125.0*EK),1.0)
7 A2(I)=FF*K3+G(I)-K3/2
L1=L1+1
CALL SUBP(A2,IMG)
Q=F(A2)
CALL XDRUK(L1,NMAX,IA,C1,0)
IF(IMG.EQ.1)GO TO 40
L2=L2+1
T=0
P=P+1
PT=1
JT=0
```

```
IF(P.NE.P0)GO TO 50
K3=F3/2
P=0
GO TO 50
40 L3=L1-L2
P=0
T=T+1
JT=JT+1
IF(O.GT.C1)GO TO 26
PT=0
C1=0
DO 9 I=1,N
9 A1(I)=A2(I)
GO TO 12
26 IF(PT.EQ.1)GO TO 14
IF(JT.LE.NTP)GO TO 15
14 PT=1
12 JT=0
DO 19 I=1,N
19 O(I)=A2(I)
15 IF(T.NE.T0)GO TO 50
K3=2*K3
T=0
GO TO 50
80 WRITE(2,112)
WRITE(2,114)MMAX
DO 35 I=1,N
35 WRITE(2,106)I,A1(I)
WRITE(2,116)C1,L3,L2,K3
107 FORMAT(46X,'TABELA',3X,I5,2X,'WYNIKOW KONCOWYCH'//46X,'EK = ',
1E17,10//119('-')//
11X,' NUNEE WSPOLRZEDNA WSPOLRZEDNA WSPOLRZEDNA WARTOSC FUNKC
11J LICZBA LICZBA LICZBA AKTUALNY'/
13X,'WSPOL- AKTUALNEGO WYLOSOWANE- SPODKA KO- CELU DLA PUNKTU
1 CELU DLA PUNKTU ITERA- LOSOW. LOSOW. ROZMIAR'/
11X,' RZEDU- MINIMUM GO PUNKTU MORKI',12X,'A1',18X,'A2',
114X,'C1',3X,'DOPR.',11ZLYCH KOLORKI'/
11X,' EJ',16X,'A1(I)',8X,'A2(I)',8X,'O(I)',12X,'C1',17X,'O',
114X,'L1',6X,'L3',6X,'L2',8X,'K3'//)
108 FORMAT(1X,4X,'1',2X,3(5X,F10.5),2(3X,F15.8),3(3X,15),3X,F8.5)
109 FORMAT(4X,12.2X,3(3X,F10.5))
112 FORMAT(/1X,119('-')//)
114 FORMAT(11X,'WSPOLRZEDNE MINIMUM PO WMAX LOSOWANIACH MMAX = ',15,
111X,'NR.WSPOL. WARTOSC'//)
106 FORMAT(11X,15,4X,F17.10)
116 FORMAT(11X,'MINIMALNA WARTOSC FUNKCJI CELU C1 = ',F17.10/
111X,' LICZBA LOSOWAN DOP. ',13X,'L3 = ',15/
111X,' LICZBA LOSOWAN SPOZA GRDP',8X,'L2 = ',15/
111X,' KONCOUW ROZMIAR KOLORKI',11X,'K3 = ',F12.8)
90 RETURN
END
```

4.1.30. Podprogram OBDP.

```
SUBROUTINE OBDP(X1,SIUC)
COMMON/XXOP/XMZD(10,6),XS(60),NV,NG,IPST,ILOK,EP,D(60),EPSI(60),
1 LPX,ISTART,6(30),XLA(60),XLR(60),DOPX(10),DSU(10),NNP
DIMENSION X1(600)
INTEGER SIUC
DO 1 I=1,NV
IF(X1(I).LT.XLA(I))X1(I)=XLA(I)
1 IF(X1(I).GT.XLR(I))X1(I)=XLR(I)
CALL XUTRZ(X1)
SIUC=0
DO 2 I=1,NG
2 IF(6(I).LT.0.)LEFTUP
SIUC=1
RETURN
END
```

4.1.31. Podprogram XDRUK.

```
SUBROUTINE XDRUK(II,MMX,II,XC1,YD)
COMMON/XOP1/XPC,XT0,XK0,KUP,RT0,NA,MAX,EK,ENX,FKX,IVX,ILX,XXY
COMMON/XXDR/XX,KK,HH,II,IY
DIMENSION AA(300),AB(300),XL(300)
IF(II.LT.4.OR.II.GT.300.OR.II.GT.MMX)CALL XFIAD(2)
IF(II.NE.1)GO TO 20
IL=1
KK=0
HH=1
YY=MMX/(II-1)
IY=INT(YY)
XX=YY-IY
IF(XX.EQ.0.)GO TO 10
YY=MMX/(II-2)
IY=INT(YY)
XX=YY-IY
HH=MMX-IY*(II-2)
GO TO 10
20 IF(XX.EQ.0.)GO TO 30
IF(II-HH)90,10,0
30 IF(II.LT.HH+KK*II)RETURN
IF(II.EQ.MMX)GO TO 90
10 IF(EK-IY)90,0,90
IL=II+1
KK=EK+1
WRITE(4,205)IL,XC1,YD
205 FORMAT(2X,I5,2E17.10)
90 RETURN
END
```

4.1.32. Podprogram LYPD.

```
SUBROUTINE LYPD(K1,EK,X,IIP,FK)
COMMON/XXOP/XXZP(10,4),XS(60),MV,NG,IPST,ILOK,FP,D(60),EPSI(60),
1LPX,ISTART,G(30),XLA(60),XLB(60),DDX(10),DSU(10),HHH
DIMENSION X(MM)
FK=0
IIP=0
2 CALL QBBD(X,IVC)
IF(IMG.LO.1)RETURN
IF(IIP.EQ.K1)FK=1
IF(IIP.EQ.K1)RETURN
DO 1 I=1,MV
EK=AMOD((3125.(0*EK),1,0)
1 X(I)=EK*(XLB(I)-XLA(I))+XLA(I)
IIP=IIP+1
GO TO 2
RETURN
END
```

4.1.33. Podprogram DIRECT

```
SUBROUTINE DIRECT(F,X,CPT)
COMMON/XOP2/EPSIF,FL,ICNT,NCONST,NC,IPRINT
COMMON/XXOP/XMZR(10,6),XS(60),NV,NG,IREST,ILOK,FD,D(60),EPSI(60),
1 LPX,ISTART,G(30),XLA(60),XLB(60),DPX(10),DSU(10),NUP
EXTERNAL F
N=NV
IP=IPRINT
LOGICAL FLAG
DIMENSION X(NNH),DELTA(60), B1(60),B2(60)
*,T(16),SAVE(60)
ICNT=0
ICS=0
ICUT=6
NC=1
FNC2=1.0F10
DO 75 I=1,N
IF(X(I).LT.XLA(I))X(I)=XLA(I)
75 IF(X(I).GT.XLB(I))X(I)=XLB(I)
DO 1 I=1,N
SAVE(I)=DELTA(I)
1 B1(I)=X(I)
1000 CALL F(N,B1,FB1)
FLAG=.FALSE.
CCC=FNCU(B1)
IF(IP.EQ.1)WRITE(6,100)
IF(IP.EQ.0)WRITE(6,101)FB1,CCC,(B1(I),I=1,N)
IF(FB1.LT.1.E34) GO TO 2
WRITE(3,102)
DIRECTT=1.E34
RETURN
2 FB2=EXPLOR(N,F,FB1,B1,DELTA,B2)
IF(NC.LT.4) GO TO 15
IF(FLAG) GO TO 15
IF(FB2.GE.FD1) GO TO 60
CCC=FNCU(B2)
IF(IP.EQ.1)WRITE(6,100)
15 IF(IP.EQ.1)WRITE(6,101)FB2,CCC,(B2(I),I=1,N)
IF(FB1.NE.FB2) GO TO 6
DO 3 I=1,N
3 CONTINUE
CALL FNEFIT(B1,FB1)
ISW=0
DO 16 I=1,NCONST
IF(G(I).GE.0.0) GO TO 16
ISW=1
16 CONTINUE
IF(ISW.EQ.0) GO TO 10
GO TO(20,40,50,50), NC
40 IF(ABS(FB2-FNC2).GT.EPSIF)GO TO 20
NC=3
DO 45 I=1,N
45 DELTA(I)=SAVE(I)
GO TO 1000
20 NC=2
IF(ABS(FB2-4.*FNC2).LT.0.00001) GO TO 50
FNC2=FB2
DO 30 I=1,N
30 DELTA(I)=SAVE(I)
RK=4.*RK
WRITE(6,103) RK
GO TO 1000
50 NC=4
DO 55 I=1,N
55 DELTA(I)=SAVE(I)/2.
B1(I)=B2(I)
WRITE(3,300)
```



```

GO TO 1000
60 DO 70 I=1,H
70 DELTA(I)=DELTA(I)+SAVE(I)/2.
   ICS=ICS+1
   IF(ICS.GT.50) GO TO 12
   GO TO 2
4 DO 5 I=1,H
5 DELTA(I)=DELTA(I)/2.
   IF(IP.EQ.1)WRITE(6,200)
   GO TO 2
6 DO 7 I=1,H
7 Y(I)=2.0*B2(I)-B1(I)
   CALL F(H,T,FT)
   IF(FT.LT.FP2) GO TO 6
   DO 8 I=1,H
8 B1(I)=B2(I)
   FP1=FP2
   IF(IC.EQ.4) FLAG=.TRUE.
   GO TO 2
   CCC=FNCU(B2)
9 FP2=EXPLOR(H,F,FP2,P1,DELTA,B2)
   IF(IP.EQ.1)WRITE(6,100)
   IF(IP.EQ.1)WRITE(6,101)FP2,CCC,(B2(I),I=1,H)
   GO TO 6
12 WRITE(3,104)
10 DO 11 I=1,H
11 X(I)=P1(I)
   DIRECTT=FB1
   OPT=DIRECTT
   RETURN
100 FORMAT(/' FUNKCJA Z KARA      FUNKCJA CELU      ZMIENNE NIEZALEZNA'/)
101 FORMAT(2X,2(E15.6,2X)/36X,(E17.10))
102 FORMAT(/' FUNKCJA NIE OKP      LO NAM PUNKCIE STARTOWYU'/)
103 FORMAT(/' PRZES.      RK = ',E17.10)
104 FORMAT(/' BADANIE NIE OKPESLONE'/'      POWTORZYC      ORICZENIA DLA
1 INNYCH PARAMETROU METODY FUNKCJI RABY'///)
200 FORMAT(/'      SERIJK      '/')
300 FORMAT(/' PRZEKROCZONE OGRANICZENIA'/)
END

```

4.1.34. Podprogram FMERIT.

```

SUBROUTINE FMERIT(X,FX)
COMMON/XYOP/YMZD(10,6),YS(60),NV,UG,IPST,ILOK,FP,D(60),EFSI(60),
1LPX,ISTART,G(30),XIA(60),XLB(60),DBX(10),DSU(10),MHH
DIMENSION X(NV)
FX=FNCU(X)
DO 10 I=1,NV
IF(X(I).LE.0)GO TO 20
10 CONTINUE
GO TO 30
20 FX=0.
DO 21 I=1,UG
21 G(I)=-1.F5
RETURN
30 CALL XMTBZ(X)
RETURN
END

```

4.1.35. Podprogram TRANSF

```
SUBROUTINE TRANSF(P,X,FX)
COMMON/XXOP/XBZD(10,6),XS(60),NV,NG,IREST,ILOK,FP,D(60),EPSI(60),
1LPX,ISTART,G(30),XIA(60),XLB(60),DDX(10),DSU(10),MND
COMMON/XOP2/EPSIF,RK,ICNT,HCNST,NC,IPRINT
DIMENSION X(40), XJJ(200),RKK(200)
ICNT=ICNT+1
IF(ICNT.EQ.1) IDLY=0
CALL FHERIT(X,FX)
ISW=0
DO 20 I=1,HCNST
XJJ(I)=0.0
IF(HC.EQ.4) RKK(I)=0.0
IF(G(I).GE.0.0) GO TO 20
GO TO(10,10,12,12), NC
10 XJJ(I)=G(I)**2
ID=0
GO TO 14
12 XJJ(I)=G(I)
IF(HC.EQ.4) RKK(I)=1000.*FX
14 ISW=1
20 CONTINUE
IF(ISW.EQ.0) RETURN
SUM=0.0
IF(HC.EQ.4) SUBR=0.0
DO 30 I=1,HCNST
IF(HC.EQ.4) SUBR=SUBR+RKK(I)
30 SUM=SUM+ABS(XJJ(I))
FX=FX+RK*SUM
IF(HC.EQ.4) FX=FX+SUBR
IF(HC.EQ.1) GO TO 40
32 IF(HC.NE.3) RETURN
ID=ID+1
IF(ID.EQ.1.OR.IRK.EQ.1) GO TO 41
IF(FX.LE.SAVEF.AND.SUM.GE.SAVES.OR.FX.GE.SAVEF.AND.SUM.LE.SAVES)
1 GO TO 50
40 IF(IDLY.GT.0) GO TO 42
IDLY=ICNT+10*N+11
42 IF(ICNT.LE.IDLY) RETURN
IF(ICNT.GT.IDLY+8*N+0) RETURN
IF(ICNT.EQ.IDLY.OR.IRK.EQ.1) GO TO 41
IF(FX.LE.SAVEF.AND.SUM.GE.SAVES) GO TO 50
41 SAVEF=FX
SAVES=SUM
IRK=0
RETURN
50 RK=2.0*RK
ICNT=ICNT-1
IRK=1
WRITE(3,103)RK
RETURN
103 FORMAT(' PRZES. RK = ',E17.10/)
END
```

4.1.36. Podprogram EXPLOR

```

FUNCTION EXPLOR(N, F, FP1, P1, DELTA, P2)
DIMENSION P1(N), P2(N), DELTA(N)
DO 1 I=1, N
1 P2(I)=P1(I)
  SAVE=FP1
  DO 4 I=1, N
  P2(I)=P2(I)+DELTA(I)
  CALL F(N, P2, FP2)
  IF(FP2.GF.SAVE) GO TO 2
  SAVE=FP2
  GO TO 4
2 P2(I)=P2(I)-2.*DELTA(I)
  CALL F(N, P2, FP2)
  IF(FP2.GF.SAVE) GO TO 3
  SAVE=FP2
  GO TO 4
3 P2(I)=P2(I)+DELTA(I)
4 CONTINUE
EXPLOR=SAVE
RETURN
END

```

4.1.37. Podprogram FNCU.

```

FUNCTION FNCU(X)
COMMON/XXOP/XM7D(10,6), XS(60), MV, MG, IREST, ILOK, FP, D(60), EPSI(60),
1 LPX, ISTART, G(30), XLA(60), XLB(60), DDX(10), DSU(10), MNN
COMMON/XXAR/AXX(10), XI(10), YI(10), SI(10), XO(10), MIX(10), RX(10),
1 YS(10), OS1(10), OS2(10), OS3(10), OS2(10), OS3(10), YY1(10), CUMX(10,10,
1 13)
COMMON/XXXX/F, XG, ITP, KPRZEK, KZER, KBIF, KSTAT, KPODP, KTEHP, LSTP, LW,
1 LMP, IP, IUPP, IUI, IOPT, NH, MNS, LSP, MSP, FFX(6), DLX(10), X7B(10,2)
1, MI(10), XESI(10),
1 ID(10), IP(10), XUUU(10,3), XMPRU(10,2), MU(10,7), XUPD(60), XMP(10),
1 AMX(10), AMY(10), AS1(10), AS2(10)
DIMENSION X(NNH)
K=KPRZEK
FNCU=0.
CALL XPL(X)
DO 1 I=1, LP
1 FNCU=FNCU+AXX(I)+DLX(I)
  IF(KZER.EQ.0) RETURN
  S=0.
  DO 2 I=1, LP
  A=X7B(I,1)
  B=X7B(I,2)
  IF=IR(I)
  IF(IK.EQ.0) GO TO 2
  X1=X(1+(I-1)*4)
  X3=X(3+(I-1)*4)
  IF(FPRZEK-2) 2, 0, 4
  X4=X(4+(I-1)*4)
  V=X4+B*(X1-X3)*A
  GO TO 5
4 X6=Y(6+(I-1)*6)
  X5=Y(7+(I-1)*5)
  IF(X3.GT.X1) X3=X1
  V=X3*A*B*X6*(X3-X5)
5 S=S+V
2 CONTINUE
FNCU=FNCU+S
RETURN
END

```

4.1.38. Podprogram XPORZ1.

```
SUBROUTINE XPORZ1(L1, K1, AMK1, AMNK)
REAL K1(L1)
AMK1=K1(1)
AMNK=K1(1)
DO 1 I=1, L1
D=K1(I)
IF(AMNK.GT.D)GO TO 2
AMNK=D
2 IF(AMK1.LT.D)GO TO 1
AMK1=D
1 CONTINUE
RETURN
END
```

4.1.39. Podprogram XBLAD.

```
SUBROUTINE XBLAD(H)
WRITE(3,100)
100 FORMAT(' BLEDNA WIADOMOSC/' ' BLAG DANYCH')
GO TO (0,2,4,5,6,7,8,9),H
STOP
2 WRITE(3,101)
101 FORMAT(' BLAG USKAZHIKA')
STOP
4 WRITE(3,102)
102 FORMAT(' PRZEKROCZONA LICZBA PRETOU'//)
STOP
5 WRITE(3,103)
103 FORMAT(' PRZEKROCZONA LICZBA WEZLOW'//)
STOP
6 WRITE(3,104)
104 FORMAT(' DWA WEZLY MAJA TEN SAM NUMER'//)
STOP
7 WRITE(3,105)
105 FORMAT('/' ' PRZEKROCZONA LICZBA WEZLOW'// ' BLAG DANAJ LUB LUB WWC.
1,.)'//)
STOP
8 WRITE(3,106)
106 FORMAT('/' ' BLAG W ANALIZIE STATYCZNEJ'// ' NIE ZACHODZI WARUNEK ROWNO
1WAGI SIL'//)
STOP
9 WRITE(3,107)
107 FORMAT('/' ' FACIERZ OSOBLIWA'// ' BLAG DANYCH'//)
STOP
RETURN
END
FINISH
```

4.2. Opis procedur Systemu ANNA 1.

W podrozdziale opisano kolejno procedury Systemu Optymalizacyjnego Ram - ANNA1. Przedstawiono najważniejsze funkcje jakie dane podprogramy spełniają w Systemie. Zmienne, tablice i obszary wspólne opisano w podprogramach, które je tworzą.

4.2.1. Segment ANKA.

Jest to segment główny sterujący pracą całego Systemu. Następuje w nim wywołanie kolejno procedur: INGEOM, INOBC, XOPT(Y), XOUT. W przypadku optymalizacji drukowane są optymalne wymiary przekroju prętów konstrukcji. Segment zawiera następujące obszary wspólne: /XINC/, /IWXX/, /XTAB/, /XXOP/.

4.2.2. Podprogram INGEOM.

Wywołanie w MASTER ANKA . CALL INGEOM.

Jest to podprogram wczytania danych geometrycznych konstrukcji /grupy danych 1^o ÷ 7^o.4/ oraz początkowego ich przetwarzania.

Podprogram zawiera obszary wspólne /XXAR/, /XXOP/, /IWXX/, /XTAB/.

Opis składowych obszaru /IWXX/:

- E - moduł sprężystości podłużnej,
- XG - moduł sprężystości poprzecznej,
- ITP - parametr liczby wymiarów przekroju pręta,
- KPRZEK - parametr typu przekroju pręta,
- KZEB - parametr występowania żeber dla przekroju dwuteowego pręta,
- KBIM - parametr uwzględnienia bimomentu jako dodatkowej siły wewnętrznej w przypadku ram przestrzennych,
- KSTAT - parametr sposobu przeprowadzania analizy statycznej,
- KPODP - parametr uwzględnienia zadanego przesuwu podpór,
- KTEMP - parametr uwzględnienia wpływu temperatury równomiernie rozłożonej na pręcie,
- LSTB - liczba rozpatrywanych układów obciążeń,
- LW - liczba węzłów,
- LWP - liczba węzłów podporowych,

- LP - liczba prętów,
- LWWP - liczba więzi węzłów podporowych,
- LWW - liczba możliwych stopni swobody węzła,
- IOPT - parametr optymalizacji i analizy statycznej,
- NN=LW * LWW - liczba wszystkich możliwych stopni swobody,
- NNS=NN-LWWP - liczba stopni swobody konstrukcji,
- LSP= 2 * LWW - liczba możliwych stopni swobody pręta,
- MSP - maksymalna szerokość pasma globalnej macierzy sztywności w kierunku wierszy,
- FXF(6) - tablica ilorazów wymiarów przekroju pręta podstawowego do przywęzłowego,
- DLX(1Ø) - tablica długości prętów,
- XZB(1Ø,2)- tablica liczby i grubości żeber dla kolejnych prętów,
- NI(1Ø) - tablica wskaźników identyfikacji prętów,
- XKSI(1Ø) - tablica kątów obrotu wokoło osi x lokalnego układu współrzędnych dla prętów,
- ID (1Ø) - tablica współczynników optymalizacji prętów,
- IR (1Ø) - tablica podziału prętów na podstawowe, przywęzłowe i fikcyjne,
- XMWW (1Ø,3)- tablica współrzędnych węzłów w globalnym układzie współrzędnych,
- XMPRW (1Ø,2)- tablica powiązań prętów i węzłów konstrukcji,
- WW (1Ø,7) - tablica więzi węzłów,
- XWPD (6Ø) - tablica zadanych przemieszczeń podpór,
- XWR (1Ø) - tablica kątów obrotu cięciw prętów,
- AWX (1Ø) - tablica współczynników długości wybojeniowych w płaszczyźnie **Y-Y** przekrojów prętów,
- AWY (1Ø) - tablica współczynników długości wybojeniowych w płaszczyźnie **Z-Z** przekrojów prętów,
- AS1 (1Ø) - tablica współczynników spaczenia końców prętów o numerach mniejszych,
- AS2 (1Ø) - tablica współczynników spaczenia końców prętów o numerach większych.

4.2.3. Podprogram INOBC.

Wywołanie w Master ANKA: CALL INOBC.

W podprogramie następuje wczytanie danych obciążeń zewnętrznych działających na konstrukcję. Początkowe przetwarzanie danych. Budowa wektora F^{LP} . Segment zawiera następujące obszary

wspólne: /XINC/, /IWXX/, /XXAR/.

Opis składowych obszaru wspólnego /XINC/.

- XOBP (1Ø,5,3) - tablica krotności występowania czterech rodzajów obciążeń zewnętrznych /siła skupiona, moment skupiony, obciążenie równomiernie rozłożone, obciążenie trapezowe/ na prętach,
- AWF (1Ø,3) - tablica numerów obciążonych węzłów,
- XNW (3) - tablica liczby obciążonych węzłów,
- XNP (3) - tablica liczby obciążonych prętów,
- UPX (1Ø,5,3) - wartość poziomej składowej siły skupionej,
- UPA (1Ø,5,3) - odległość punktu przyłożenia siły skupionej od końca pręta,
- UPX (1Ø,5,3) - wartość pionowej składowej siły skupionej,
- UMX (1Ø,5,3) - wartość momentu skupionego,
- UMA (1Ø,5,3) - odległość punktu przyłożenia momentu skupionego od końca pręta,
- UQX (1Ø,5,3) - wartość obciążenia równomiernie rozłożonego,
- UQA (1Ø,5,3) - mniejsza odległość przyłożenia obciążenia równomiernie rozłożonego od końca pręta,
- UQB (1Ø,5,3) - większa odległość przyłożenia obciążenia równomiernie rozłożonego od końca pręta,
- TAX (1Ø,5,3) - mniejsza wartość obciążenia trapezowego,
- TAB (1Ø,5,3) - większa wartość obciążenia trapezowego,
- TA (1Ø,5,3) - mniejsza odległość obciążenia trapezowego od końca pręta,
- TB (1Ø,5,3) - większa odległość obciążenia trapezowego od końca pręta,
- DDT (2Ø,3) - amplituda temperatur włókien skrajnych przekroju Z- Z pręta,
- ALFA - współczynnik rozszerzalności cieplnej liniowej materiału prętów,
- AML (1Ø,14,3) - tablica odpowiadające wektorowi \bar{P}^{LPT} ; wartości sił wewnętrznych na końcach pręta od obciążeń zewnętrznych pręta,
- A (12Ø) - tablica obciążeń zewnętrznych przyłożonych do węzłów konstrukcji,
- DDT1 (2Ø,3) - tablica amplitud temperatur w środku lub ściankach bocznych pręta,

Wszystkie wymienione wyżej tablice przechowują informacje dla $LSBT=3$ - układów obciążeń.

Wczytywanie danych w podprogramie INOBC dotyczy grup danych: $8^0 \div 10^0.2.2.$

Podprogram INOBC przy budowie wektora F^{LPT} wywołuje XFX3, XTEMP.

4.2.4. Segment XFX3.

Wywołanie segmentu w procedurach: INOBC, MAXBM; przez podstawowe: $Y=XFX3 (1, J, LL, b)$. Segment oblicza reakcje podporowe pręta oraz ugięcie, moment zginający i siłę tnącą w danym punkcie na długości pręta.

Oznaczenia:

- 1 - parametr sterujący rodzajem siły wewnętrznej i ugięcia pręta,
 - = 1. - oblicza się moment zginający,
 - = 2. - oblicza się siłę tnącą,
 - = 3. - oblicza się ugięcie,
- J - numer pręta,
- LL - układ obciążeń,
- b - punkt na pręcie w którym dokonuje się obliczeń, licząc od początku lokalnego układu współrzędnych pręta.

Reakcje podporowe oblicza się przez podstawienie:

$Y = XFX3 (., ., ., \emptyset)$ - w początku lokalnego układu współrzędnych pręta,

$Y = XFX3 (., ., ., DLX)$ - na drugim końcu pręta,

natomiast wartości sił wewnętrznych i ugięcia w punkcie $x \in (0, DLX)$ przez podstawienie:

$$Y = XFX3 (., ., ., x).$$

Wartości momentu zginającego $M(x)$, siły tnącej $T(x)$ oraz ugięcia $Y(x)$, oblicza się z następujących równań:

$$M(x) = \varphi_M^1(x) + \varphi_M^2(x), \quad (4.1)$$

$$T(x) = \varphi_T^1(x) + \varphi_T^2(x), \quad (4.2)$$

$$Y(x) = \varphi_Y^1(x) + \varphi_Y^2(x), \quad (4.3)$$

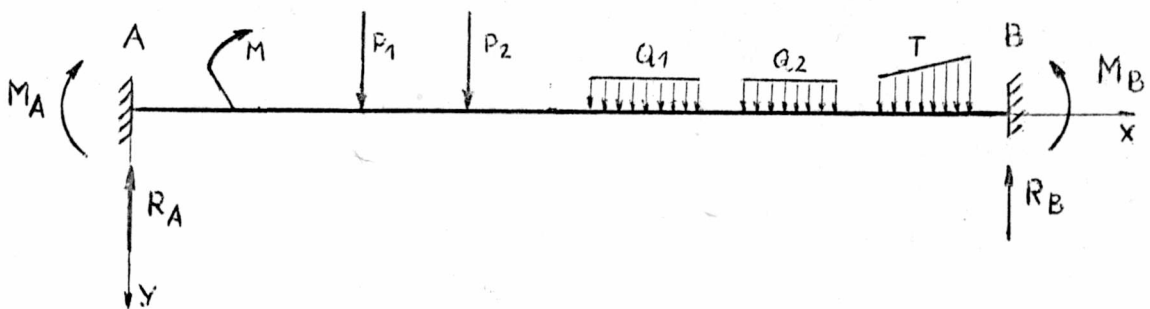
gdzie

$$\varphi_M^1(x) = M_A + R_A \cdot x, \quad (4.4)$$

$$\varphi_T^1(x) = R_A \cdot x, \quad (4.5)$$

$$\varphi_Y^1(x) = -\frac{M_A}{2EI} \cdot x^2 - \frac{R_A}{6EI} \cdot x^3 + Q_A x + \Delta_A, \quad (4.6)$$

Wielkości M_A , R_A są reakcjami podporowymi pręta na końcu A rys. 24, Q_A i Δ_A odpowiednio kątem obrotu oraz przemieszczeniem w A dla pręta obustronnie zamocowanego od obciążeń zewnętrznych pręta.



Rys. 24

Reakcje podporowe pręta obustronnie zamocowanego.

Funkcje $\varphi_M^2(x)$, $\varphi_T^2(x)$, $\varphi_Y^2(x)$ mają postać:

$$\varphi_M^2(x) = \varphi_M^{2P}(x) + \varphi_M^{2M}(x) + \varphi_M^{2Q}(x) + \varphi_M^{2TR}(x), \quad (4.7)$$

$$\varphi_T^2(x) = \varphi_T^{2P}(x) + \varphi_T^{2M}(x) + \varphi_T^{2Q}(x) + \varphi_T^{2TR}(x), \quad (4.8)$$

$$\varphi_Y^2(x) = \varphi_Y^{2P}(x) + \varphi_Y^{2M}(x) + \varphi_Y^{2Q}(x) + \varphi_Y^{2TR}(x), \quad (4.9)$$

gdzie składniki $\varphi^{2P}(x)$, $\varphi^{2M}(x)$, $\varphi^{2Q}(x)$, $\varphi^{2T}(x)$, są wielkościami powstałymi od działania obciążeń zewnętrznych pręta w postaci, kolejno siły skupionej P, momentu M, obciążenia równomiernie rozłożonego Q oraz obciążenia trapezowego TR.

Wartość wymiennych składników zależy od liczby rodzajów obciążeń. Mają one postać:

$$\varphi_M^{2P}(x) = - \sum_{i=1}^{IP} P_i \cdot (x-a_{pi}) \cdot \mathcal{U}(x-a_{pi}), \quad (4.10)$$

$$\varphi_T^{2P}(x) = - \sum_{i=1}^{IP} P_i \cdot \mathcal{U}(x-a_{pi}), \quad (4.11)$$

$$\varphi_Y^{2P}(x) = - \sum_{i=1}^{IP} (P_i / 6EI) \cdot (x-a_{pi})^3 \cdot \mathcal{U}(x-a_{pi}), \quad (4.12)$$

P_i - wartość kolejnych sił skupionych,

a_{pi} - odległości punktu przyłożenia sił skupionych P_i od początku lokalnego układu współrzędnych,

IP - liczba sił skupionych na pręcie,

$\mathcal{U}(x)$ - jest funkcją Heavisade'a zdefiniowaną:

$$= 1. - \text{dla } x \gg 0.$$

$$= 0. - \text{dla } x < 0.$$

$$\varphi_M^{2M}(x) = \sum_{i=1}^{IM} M_i \cdot \mathcal{U}(x-a_{Mi}), \quad (4.13)$$

$$\varphi_T^{2M}(x) = 0,$$

$$\varphi_Y^{2M}(x) = - \sum_{i=1}^{IM} (M_i / 2EI) \cdot (x-a_{Mi})^2 \cdot \mathcal{U}(x-a_{Mi}), \quad (4.14)$$

M_i - wartości kolejnych momentów skupionych,

a_{Mi} - odległość punktu przyłożenia momentów skupionych od początku lokalnego układu współrzędnych,

IM - liczba momentów skupionych,

$$M^{2Q}(x) = \sum_{i=1}^{IQ} (Q_i/2) \cdot (x-a_{Qi})^2 \cdot [\mathcal{U}(x-a_{Qi}) - \mathcal{U}(x-b_{Qi})] + \\ + (Q_i/2) (b_{Qi}-a_{Qi})^2 \cdot \mathcal{U}(x-b_{Qi}), \quad (4.15)$$

$$\varphi_T^{2Q}(x) = \sum_{i=1}^{IQ} Q_i \cdot (x-a_{Qi}) \cdot [\mathcal{U}(x-a_{Qi}) - \mathcal{U}(x-b_{Qi})], \quad (4.16)$$

$$\varphi_Y^{2Q}(x) = \sum_{i=1}^{IQ} (Q_i/24EI) \cdot (x-a_{Qi})^4 \cdot [\mathcal{U}(x-b_{Qi}) - \mathcal{U}(x-a_{Qi})] - \\ - (Q_i/24EI) \cdot (b_{Qi}-a_{Qi})^4 \cdot \mathcal{U}(x-b_{Qi}), \quad (4.17)$$

Q_i - wartość obciążenia równomiernie rozłożonego,
 IQ - liczba obciążeń równomiernie rozłożonego,
 a_{Qi} , b_{Qi} - odległości odpowiednio mniejsza, większa od początku lokalnego układu współrzędnych pręta.

$$\varphi_M^{2TR}(x) = \sum_{i=1}^{IT} f_i^M(x) [\mathcal{U}(x-a_{Ti}) - \mathcal{U}(x-b_{Ti})] + f_i^M(b_{Ti}) \cdot \mathcal{U}(x-b_{Ti}) \quad (4.18)$$

$$f_i^M(x) = \frac{T_{bi} - T_{ai}}{6 \cdot (b_{Ti} - a_{Ti})} \cdot (x-a_{Ti})^3 + \frac{T_{ai}}{2} \cdot (x-a_{Ti})^2, \quad (4.19)$$

$$\varphi_T^{2TR}(x) = \sum_{i=1}^{IT} f_i^T(x) [\mathcal{U}(x-a_{Ti}) - \mathcal{U}(x-b_{Ti})] + \\ + f_i^T(b_{Ti}) \cdot \mathcal{U}(x-b_{Ti}), \quad (4.20)$$

$$f_i^T(x) = \frac{T_{bi} - T_{ai}}{2 \cdot (b_{Ti} - a_{Ti})} \cdot (x-a_{Ti})^2 + T_{ai} \cdot (x-a_{Ti}) \quad (4.21)$$

$$\varphi_Y^{2TR}(x) = \sum_{i=1}^{IT} f_i^Y(x) [\mathcal{U}(x-a_{Ti}) - \mathcal{U}(x-b_{Ti})] + \\ + f_i^Y(b_{Ti}) \cdot \mathcal{U}(x-b_{Ti}), \quad (4.22)$$

$$f_i^Y(x) = - \frac{T_{bi} - T_{ai}}{120EI \cdot (b_{Ti} - a_{Ti})} \cdot (x - a_{Ti})^5 - \frac{T_{ai}}{24EI} \cdot (x - a_{Ti})^4 \quad (4.23)$$

T_{ai} , T_{bi} - wartości kolejno mniejsza, większa obciążenia trapezowego,

a_{Ti} , b_{Ti} - odległości kolejno mniejsza, większa obciążenia trapezowego od początku lokalnego układu współrzędnych.

IT - liczba obciążeń trapezowych.

* UWAGA: Początek lokalnego układu współrzędnych umieszcza się tylko w jednym z końców pręta rys. 21. *

Przy uwzględnieniu zerowych warunków brzegowych, to jest:

$Y(1) = 0$ i $Y^{(4)}(1) = 0$, gdzie 1 - długość pręta, to z równania (4.3) otrzymuje się:

$$M_A = EI \cdot \varphi_y^2(1) \cdot \frac{6}{l^2} - EI \frac{d}{dx} \left(\varphi_y^2(1) \right) \cdot \frac{2}{l} \quad (4.24)$$

$$R_A = EI \frac{d}{dx} \left(\varphi_y^2(1) \right) \cdot \frac{6}{l^2} - EI \varphi_y^2(1) \cdot \frac{12}{l^3} \quad (4.25)$$

Segment XFX3 wywołuje segmenty FUNCTION: XFX1, XFX2 oraz XHH.

4.2.5. Segment XFX1.

Wywołanie segmentu w XFX3 przez podstawienie:

$$Y = XFX1 (N, XW, XA, XX) .$$

Parametry formalne:

N - parametr sterujący,

XW - wartość obciążenia,

XA - odległość od początku układu współrzędnych,

XX - punkt obliczeń na osi pręta,

W tabeli 7 podano ustawienie parametrów formalnych.

Tabela 7.

Znaczenie XFX1	N	Obciążenie	XA	XX
Moment zginający	1	P	XA	XX
	1	M	1.	∅.
	2	Q	XA	XX
Siła tnąca	1	P	∅.	1.
	1	M	1.	1.
	1	Q	XA.	XX.
Ugięcie	3	P	XA.	XX.
	2	M	XA.	XX.
	4	Q	XA.	XX.
Kąt obrotu	2	P	XA.	XX.
	1	M	XA.	XX.
	3	Q	XA.	XX.

4.2.6. Segment XFX2.

Wywołanie w segmencie KFX3 przez podstawienie:

$$Y = KFX2 (N, XW1, XW2, XA, XB, XX) .$$

Parametry formalne:

N - parametr sterujący,

XW1, XW2 - mniejsza i większa wartość obciążenia trapezowego,

XA, XB - mniejsza i większa odległość przyłożenia obciążenia trapezowego od początku lokalnego układu współrzędnych pręta,

XX - punkt obliczeń na osi pręta.

Wartość XFX2 (., ., ., ., .) zależy od parametru N.

N = 1. - siła tnąca,

= 2. - moment zginający,

= 3. - kąt obrotu,

= 4. - ugięcie pręta.

4.2.7. Segment XHH.

Segment funkcji Heavisade'a. Wywołanie przez podstawienie

$$Y = XHH(xA, XX),$$

XA - punkt charakterystyczny obliczeń,

XX - zmienna.

4.2.8. Podprogram KOPT.

Wywołanie w segmencie MASTER ANKA:

```
CALL KOPT (X)
```

Y - optymalna wartość funkcji celu.

Podprogram steruje procesem optymalizacji poprzez parametr IOPT. Następuje w nim wczytanie danych procesu optymalizacji i początkowych wymiarów przekrojów prętów /grupy danych 11⁰; 14⁰/. Segment zawiera obszary wspólne: /IWXX/, /XOP1/, /XOP2/, /XXOP/, /XTAB/.

Opis składników obszaru /XXOP/:

- XMZD (10,6) - macierz optymalizowanych wymiarów przekroju, pręta /tylko dla prętów optymalizowanych/,
- XS (60) - macierz wymiarów początkowych przekrojów prętów,
- NV - liczba zmiennych decyzyjnych (≤ 60),
- NG - liczba ograniczeń zmiennych decyzyjnych,
- IREST - parametr restartu i wydruków pośrednich,
- ILOK - parametr testowania minimum globalnego funkcji celu,
- FP - naprężenie dopuszczalne,
- D(60) - macierz długości kroku dla zmiennych decyzyjnych,
- EPSI(60) - macierz tolerancji obliczeń zmiennych decyzyjnych,
- LPX - liczba prętów optymalizowanych,
- ISTART - zadawana liczba iteracji /losowań/ punktu startowego w procesie optymalizacji,
- G (30) - tablica ograniczeń zmiennych decyzyjnych,
- XLA (60), XLB(60) - tablice ograniczeń geometrycznych zmiennych decyzyjnych odpowiednio dolne i górne,
- DDX(60) - tablica ograniczeń poziomych przemieszczeń węzłów konstrukcji,

DSU (1 \emptyset) - tablica ograniczeń strzałek ugięcia prętów,
NNN=LP * ITP,

Podprogram wywołuje dla IOPT:

IOPT = 0. - XSTAT(XS),
= 1. - XWTRZ (XS), XSTAT (XS),
= 2. - XMAT1 , XOPT1,
= 3. - XMAT1, XOPT2.

4.2.9. Segment XTEMP.

Wywołanie w procedurze INOBC, dla parametru KTEMP=1.:

```
CALL XTEMP (LL,IJ, FF),
```

LL - układ obciążeń,

IJ - numer pręta ,

FF(.) - wektor sił wewnętrznych na końcach pręta od równomiernego rozkładu temperatury.

4.2.10. Podprogram XSTAT.

Wywołanie w procedurach: XOPT, XWTRZ :

```
CALL XSTAT (XS),
```

XS(.) - tablica aktualnych wymiarów przekrojów prętów.

Jest to podprogram analizy statycznej konstrukcji. Zawiera on obszary wspólne: /XTAB/, /XXAR/, /IWXX/, /XINC/.

W podprogramie wykorzystano podejście sieciowe opisane w rozdziale 4. Część pierwszej niniejszej pracy.

Opis składników obszaru wspólnego /XTAB/:

SG (6 \emptyset , 6 \emptyset) - tablica elementów globalnej macierzy sztywności
/bez skreśleń/,

BMAX(1 \emptyset) - tablica maksymalnych momentów zginających na pręcie,

SS (6 \emptyset ,3) - tablica zawierająca wyniki sieciowej analizy statycznej,

SS (., 1) - przemieszczenia węzłów /z zadanymi przemieszczeniami podpór/,

SS (., 2) - siły wewnętrzne na końcach prętów,

SS(., 3) - obciążeni zewnętrzne działające na konstrukcję sprowadzone do obciążeń węzłów,
to jest: $F - H.R. F^{LPT}$, łącznie z reakcjami podporowymi.

Podprogram wywołuje procedury: XMAT1, XPOLE, XMATG, XLMST, IDMP, TRANS, MINC, XMBAN.

4.2.11. Podprogram XMAT1.

Wywołanie segmentu:

```
CALL XMAT1 ( II, JJ, LWW, LW, LWP, WW, XA, LWWP )
```

II - numer wiersza macierzy permutacji,

JJ - numer kolumny macierzy permutacji, ,

LWW, LWW, LW, LWP, WW (.,.) - opisano w 4.2.2,

AA= B(II, JJ) - element II - wiersza, JJ- kolumny macierzy permutacji,

Podprogram XMAT1 generuje poszczególne elementy macierzy permutacji.

4.2.12. Podprogram XPOLE.

Wywołanie: CALL XPOLE.

Segment oblicza charakterystyki geometryczne przekrojów prętów zależnie od typu przekroju. Obszary wspólne /XXAR/, /XXOP/, /IWXX/. Parametry obszaru /XXAR/:

AXX(1Ø) - pole przekroju pręta,

XI (1Ø) - moment bezwładności w płaszczyźnie Y-Y przekroju,

YI (1Ø) - moment bezwładności w płaszczyźnie Z-Z przekroju,

SI (1Ø) - moment bezwładności czystego skręcania,

XO (1Ø) - biegunowy moment bezwładności,

WIX (1Ø)- wycinkowy moment bezwładności,

MS1(1Ø), MS2(1Ø), RX(1Ø)- tablice pomocnicze,

YS(1Ø) - ramię asymetrii,

QS1(1Ø) - moment statyczny przekroju względem punktu ① przekroju,

- QS2(1Ø) - moment statyczny przekroju względem punktu ② przekroju,
QS3(1Ø) - moment statyczny przekroju względem punktu ③ przekroju,
YY1(1Ø) - odległość od środka ciężkości do zewnętrznego włókna w płaszczyźnie Z-Z przekroju,
COMX(1Ø,1Ø,3) - tablica maksymalnych naprężeń w prętach.

Aktualnie obliczane są charakterystyki geometryczne przekroju dwuteowego symetrycznego i bisymetrycznego.

4.2.13. Podprogram XMATG.

Wywołanie: CALL XMATG (RA,I).

Podprogram generuje macierz transformacji z lokalnego do globalnego układu współrzędnych w zależności od parametru LWW

I - numer pręta,

RA (.,.) - macierz transformacji.

4.2.14. Podprogram XLMST.

Wywołanie: CALL XLMST (SX,II).

Podprogram generuje lokalną macierz sztywności w zależności od parametru LWW.

SX (.,.) - tablica lokalnej macierzy sztywności

II - numer pręta.

4.2.15. Podprogram IDMP.

Wywołanie: CALL IDMP (N,M,k,A,B,C).

Podprogram mnożenia dwóch macierzy:

$$A \times B = C \quad (4.26)$$

gdzie $\dim A = N \times M$, $\dim B = M \times K$, $\dim C = N \times K$.

4.2.16. Podprogram TRANS.

Wywoływanie: CALL TRANS (N,M,A,B).

Podprogram transponowania macierzy.

dim A = NXM, dim B = MXN

4.2.17. Podprogram MINC.

Podprogram generujący elementy f^t , f^- , f^0 globalnej macierzy incydencji H.

Wywołanie: CALL MINC (I, J,RR).

I - numer węzła

J - numer pręta

RR (..) - tablica określająca elementy f^0 , f^- , f^+ /budowana na bazie podstawowej macierzy incydencji/.

Podprogram zawiera obszar wspólny /IWXX/.

4.2.18. Podprogram XMBAN.

Podprogram odwracania macierzy. Jest to metoda Benachiewicza przystosowana do macierzy górnio-trójkątnej. Przewiduje się rozszerzenie dla pasmowego pamiętania globalnej macierzy sztywności.

Wywołanie: CALL XMBAN (B,N)

B (..) - tablica macierzy odwracanej,

N - stopień macierzy B /dim B=NXN/.

4.2.19. Podprogram XWTRZ.

Podprogram wyznacza maksymalne naprężenia w prętach według algorytmu przedstawionego w rozdziale 5.2.4 pierwszej części pracy.

Sprawdzane są też ograniczenia nałożone na zmienne decyzyjne:

$$\varepsilon_i(x) = \frac{f_{i,\tau}}{R_{\tau}} - 1 \quad (4.27)$$

Podprogram zawiera obszary wspólne: /XTAB/, /XXOP/, /IWXX/, /XXAR/, /XINC/.

Wywołanie: CALL XWTRZ (XX),

XX (.) - tablica aktualnych zmiennych decyzyjnych.

Podprogram wywołuje procedury: XPL, XSTAT, XBMY, XWTR, UF5, UF6, UF7.

Obliczenia wykonywane są dla wszystkich układów obciążeń.

4.2.20. Podprogram XPL.

Podprogram porządkuje wektor wymiarów prętów XS(.), przy pomocy macierzy permutacji B do postaci gdzie pierwszych NNN składowych są zmiennymi decyzyjnymi, pozostałe zaś parametrami.

Wywołanie: CALL XPL(X),

X(.) - wektor zmiennych decyzyjnych,

$$\bar{X}' = B \cdot \bar{X}S = \begin{array}{|c|} \hline \bar{X} \\ \hline \bar{P} \\ \hline \end{array}$$

Podprogram zawiera obszary wspólne: /XXAR/, /XXOP/, /IWXX/.

Wywołuje procedurę XMAT1.

4.2.21. Podprogram XBMY.

Podprogram oblicza maksymalny moment zginający na pręcie od obciążeń zewnętrznych pręta oraz strzałkę ugięcia pręta.

Wywołanie:

CALL XBMY (J,LL),

J - numer pręta,

LL- układ obciążeń.

Podprogram zawiera obszary wspólne: /IWXX/, /XTAB/, /XXOP/, /XINC/. Wywoływana jest procedura XFX3.

4.2.22. Podprogram XWTR.

Podprogram oblicza składowe naprężenia normalnych i stycznych dla danego pręta.

Wywołanie: CALL XWTR (I, SB),

I - numer pręta,

SB (.) - tablica składowych naprężeń,

Podprogram zawiera obszary wspólne: /XXAR/, /IWXX/, /XTAB/, /XXOP/.

4.2.23. Segment UF5.

Jest to segment FUNCTION. Wywołanie przez podstawienie:

$$Y = UF5 (X).$$

Procedura służy do obliczania współczynnika m_s w przypadku badania stateczności miejscowej. Segment jest wywoływany w XWTRZ.

4.2.24. Segment UF6.

Jest to segment FUNCTION. Wywołanie przez podstawienie:

$$Y = UF6 (X).$$

Procedura służy do obliczania współczynnika wyboczeniowego m_w . Segment wywoływany jest w XWTRZ.

4.2.25. Segment UF7.

Jest to segment FUNCTION. Wywołanie przez podstawienie

$$Y = UF7 (X).$$

Procedura służy do obliczania współczynnika K_n przy badaniu stateczności miejscowej. Segment wywoływany jest w XWTRZ.

4.2.26. Podprogram XOPT1.

Wywołanie: CALL XOPT1 (X, NNN, Y),

X(.) - tablica zmiennych decyzyjnych ,

Y - wartość funkcji celu,

Segment wywołuje Metodę Błądzenia i jej modyfikację.

Zawiera on obszar wspólny /XOP1/ o składnikach:

XPØ - długość serii złej,

XTØ - długość serii dobrej,

XKØ - początkowy rozmiar komórki,

KWP - początkowy przebieg generatora liczb losowych o rozkładzie równomiernym na odcinku [0,1]

NTP - parametr zatrzymania środka komórki w miejscu, dla losowań dobrych:

= Ø. - Metoda Błądzenia ,

>Ø. - modyfikacja ,

NA - parametr wydruku końcowych NA rekordów tabeli,

NMAX - liczba wszystkich losowań wektorów zmiennych decyzyjnych,

EK - stała generatora liczb losowych,

NNX, KKX, NX, ILX, XXY - zmienne pomocnicze do wyprowadzenia wykresu funkcji celu, używane w procedurze XDRUK.

W segmencie wczytana jest grupa danych 14⁰.1.

Wywołanie procedury ZKMC.

4.2.27. Podprogram ZKMC.

Wywołanie: CALL ZKMC (FNCU, XX, YMN),

FNCU - segment FUNCTION funkcji celu poprzez deklarację EXTERNAL,

XX (.) - tablica zmiennych decyzyjnych,

YMN - wartość funkcji celu.

Segment zawiera algorytm metody błądzenia i jej modyfikacji.

Nowe wartości wektora zmiennych decyzyjnych wyznaczane są za pomocą generatora liczb pseudolosowych o rozkładzie równomiernym na odcinku [0,1]. Generator ten ma postać:

$$Y = \text{AMOD} ((3125.Ø * Ek), 1.Ø) \quad (4.28)$$

gdzie $Ek = 0.1234567890.$

Podprogram zawiera obszary wspólne: /XXOP/, /XXOP1/.
Segment wywołuje procedurę OBPD, XDRUK.

4.2.28. Podprogram LWPD.

Wywołanie: CALL LWPD (K1, Ek, X, ILP, KK)

Podprogram wywołany jest w XOPT a dotyczy on losowania początkowego wektora zmiennych decyzyjnych.

K1 = NA,

X(.) - tablica zmiennych decyzyjnych,

ILP - licznik kolejnych losowań,

KK - parametr sterowania.

Segment wywołuje procedurę OBDP.

4.2.29. Podprogram OBDP.

Wywołanie: CALL OBDP (X, IWG),

Podprogram sprawdza czy zadany wektor zmiennych decyzyjnych X(.) należy do obszaru rozwiązań dopuszczalnych to jest czy:

$$g_i(x) \gg 0 \quad (4.29)$$

IWG - parametr sterujący:

= 0. - $\bar{x} \notin G$

= 1. - $\bar{x} \in G$

4.2.30. Podprogram XDRUK.

Podprogram służy do wyprowadzenia pośrednich danych dotyczących przebiegu funkcji celu. Dane te wyprowadzone na tasiemkę perforowaną służą za dane wejściowe do programu XDRK, który rysuje na tabulogramie, zadanymi znakami graficznymi, przebieg funkcji celu.

Wywołanie: CALL XDRUK (LL, MMX, II, XC1, XD).

LL - numer kolejnego losowania,

MMX - liczba wszystkich losowań,

II - zadana liczba wydruku punktów,
BC(.) - tablica komentarza,
XC1 - wartość aktualnego minimum funkcji celu,
XD - wartość funkcji celu dla losowania LL.

4.2.31. Segment FNCU.

Jest to segment FUNCTION. Wywołanie przez podstawienie:

$$Y = FNCU(X).$$

Segment oblicza wartość funkcji celu, którą jest ciężar konstrukcji prętowej, dla wektora zmiennych decyzyjnych $X(\cdot)$.

Procedura zawiera obszary wspólne: /XXOP/, /XXAR/, /IWXX/.

W przypadku innej funkcji celu należy wymienić ten segment.

4.2.32. Podprogram XOPT2.

Wywołanie: CALL XOPT2 (X, NN, YM).

Parametry formalne o tym samym znaczeniu co w XOPT1.

Procedura zawiera obszary wspólne: /XOP2/, /XXOP/. Opis parametrów /XOP2/:

EPSIF - współczynnik tolerancji obliczania funkcji celu,

Rk - parametr kary,

ICNT - liczba ewaluacji funkcji celu,

NCONST = NG,

NC - parametr sterowania,

IPRINT - parametr wydruku wyników pośrednich.

W podprogramie wczytane są grupy danych 14⁰.1 ÷ 14⁰.2.2.

Segment wywołuje procedurę DIRECT, która dotyczy optymalizacji metodą zewnętrznej funkcji kary z metodą Hooke'a i Jeevse'a, minimalizacji wzdłuż kierunku. Wykorzystano tutaj postać algorytmu przedstawioną w systemie optymalizacji Ram [30].

4.2.33. Podprogram DIRECT.

Wywołanie: CALL DIRECT (F, X, OPT).

X(.) - wektor zmiennych decyzyjnych,

F=TRANSF poprzez deklarację EXTERNAL,

OPT = YMN.

Segment zawiera obszary wspólne: /XOP2/, /XXOP/.

Wywołane są procedury: TRANSF, EXPLOR, FNCU, FMERIT.

4.2.34. Podprogram TRANSF.

Wywołanie: CALL TRANSF (N, X, FX)

N=NNN - liczba zmiennych decyzyjnych wektora X(.),

FX - nowa funkcja celu po przetransformowaniu z wykorzystaniem współczynnika kary dla $\bar{x} \in G$:

$$FX = \Phi(X) + \sum_k r_k \varepsilon_k(X) \quad (4.30)$$

Podprogram zawiera obszary wspólne: /XXOP/, /XOP2/.

Wywoływana jest procedura FMERIT.

Gdy zadany wektor zmiennych decyzyjnych $\bar{x} \in G$ to funkcja celu nie jest transformowana i $FX = \Phi(X)$.

4.2.35. Segment EXPLOR.

Jestto segment FUNCTION. Wywołanie przez podstawienie

$$Y = EXPLOR (N, F, FP1, F1, DELTA, P2).$$

Procedura wywoływana jest przez DIRECT, służy do obliczania kolejnych kroków w metodzie zewnętrznej funkcji kary.

Funkcja EXPLOR steruje procesem ruchów lokalnych. Tworzony jest nowy wektor X(.) poprzez aktualne długości kroków. Jeśli dla nowego wektora następuje zmniejszenie wartości funkcji celu to wartość ta jest zapamiętana, w przeciwnym wypadku pamiętana jest wartość poprzednia. Jeśli w wyniku danego przyrostu nie zmniejsza się wartość funkcji celu to następuje przyrost ujemny.

W kolejnych cyklach w pierwszej kolejności zmianom podlegają te zmienne decyzyjne, które w poprzednim kroku zmniejszyły wartość funkcji celu.

4.2.36. Podprogram FMERIT.

Wywołanie: CALL FMERIT (X,FX).

Podprogram zawiera obszar wspólny /XXOP/. Wywoływane są procedury: FNCU, KWTRZ.

Podprogram służy do obliczania przekroczenia ograniczeń.

4.2.37. Podprogram XPORZ1.

Wywołanie: CALL XPORZ1 (L1,K1,AMK1,AMMK).

Podprogram porządkuje (wzrastająco) elementy tablicy K1(L1) tak że:

$$AMK1 = \min_{i=1,L1} K1(i), \quad AMMK = \max_{i=1,L1} K1(i) \quad (4.31)$$

4.2.38. Podprogram XOUT.

Wywołanie w procedurze MASTER ANKA.

CALL XOUT.

Podprogram służy do wyprowadzenia wyników końcowych analizy statycznej i wytrzymałościowej. Segment zawiera obszary wspólne: /IWXX/, /XINC/, /XXAR/, /XTAB/, /XXOP/. Wywoływane są procedury: XSTAT, XMATG.

4.2.39. Podprogram XBLAD.

Wywołanie: CALL XBLAD(N).

Segment sygnalizuje błędy w przygotowaniu danych; macierze osobliwe. Należy restartować program dla nowych danych.

N - parametr określający rodzaj błędu.

5. Wydruki przykładów optymalizacji wybranych ram.

Przykład 1°.

NAZWA INSTYTUCJI BP BIPROMET
 NAZWA UZYTKOWNIKA TAI
 NAZWA PRZYKŁADU RAMA TEST
 JEDNOSTKI OBCIĄZENIA KG
 JEDNOSTKI DŁUGOŚCI CM

RAMOWNICA PŁASKA
 IŁOŚĆ PRĘTÓW 3
 IŁOŚĆ WEZŁÓW 4
 IŁOŚĆ PODPOR 2
 IŁOŚĆ STOPNI SWOBODY 1
 MODUŁ SPRĘŻYSTOŚCI 2100000.00
 STOSUNKI WIELKOŚCI PRZYWEZŁOWYCH DO PRZESŁOWYCH :
 DLA WYSOKOŚCI ŚRODNIKÓW 1.000
 DLA GRUBOŚCI ŚRODNIKÓW 1.000

METODA HOOKERA & JEBENRA

WSPÓLRZĘDNE WEZŁÓW

NR WEZŁA	X	Y
1	0.000	0.000
2	0.000	600.000
3	600.000	600.000
4	600.000	0.000

IDENTYFIKACJA PRĘTÓW

NR PRĘTA	NR WEZŁA PO CZ.	NR WEZŁA KONC.
1	1	2
2	2	3
3	3	4

NR PRETA	WSKAZNIK NUMERACJI PRETOW	WSKAZNIK ELEMENTU PRETA	EFEKTYWNA SZEROKOSC POLKI DOLNEJ	EFEKTYWNA GRUBOSC POLKI DOLNEJ
1	1	1	0.000	0.000
2	1	1	0.000	0.000
3	1	1	0.000	0.000

WLASNOSCI PRETOW

NR PRETA	DLUGOSC	POLE PRZEKROJU POPRZECZNEGO	MOMENT BEZWLADNOSCI PRZEKROJU
1	600.000	48.000	8100.000
2	600.000	48.000	8100.000
3	600.000	48.000	8100.000

CHARAKTERYSTYKA WEZLOW PODPOROWYCH

WEZEL PODPOR.	X	Y	Z
1	NO	NO	NO
4	NO	NO	YES

SPECYFIKACJA OBCIAZENIA 1 STALE

LICZBA OBCIAZONYCH WEZLOW 0
 LICZBA OBCIAZONYCH PRETOW 3

OBCIAZENIA PRETOW

1 OBC. SKUPIONE P-12000.00 L 400.00 THETA 135.00 DEG.
 2 OBC. SKUPIONE P -8000.00 L 150.00 THETA 90.00 DEG.
 2 OBC. MOMENTEM SKUP. Z***** L 450.00
 2 OBC. POWNOMIERNE W -10.00 LA 0.00 LB 600.00
 2 OBC. TRAPEZOWE WA -6.00 LA 150.00 WB -12.00 LB 450.00
 3 OBC. MOMENTEM SKUP. Z***** L 200.00

WARTOSCI ZMIENNYCH DECYZYJNYCH:

NR	WART. POCZ.	UGR. GORNE	UGR. DOLNE	KROK OBL.	TOLERANCJA
1	30.000	120.000	20.000	4.000	1.000
2	8.600	3.000	0.100	0.100	0.025
3	15.000	50.000	5.000	2.000	0.500

CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.36144E 00	0.49000E 02	0.10750E 01	0.24500E 02
1	0.36144E 00	0.49000E 02	0.10750E 01	0.24500E 02
1	0.61937E 00	0.49000E 02	0.10750E 01	0.24500E 02
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.36144E 00	0.49000E 02	0.10750E 01	0.24500E 02
1	0.36144E 00	0.49000E 02	0.10750E 01	0.24500E 02
1	0.61937E 00	0.49000E 02	0.10750E 01	0.24500E 02
ORIGIN	0.183014812E 06	3 2 8	0.49000000E 02	0.10749979E 01 0.24500000E 02
STEP-SZ	0.183014812E 06	3 2 8	0.40000000E 01	0.99999964E-01 0.20000000E 01
RETURN	0.183014812E 06	3 2 8	0.49000000E 02	0.10749979E 01 0.24500000E 02
EXPLORE	0.159974687E 06	3 8 8	0.45000000E 02	0.97499794E 00 0.22500000E 02

CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.22849E 00	0.45000E 02	0.97500E 00	0.22500E 02
1	0.22849E 00	0.45000E 02	0.97500E 00	0.22500E 02
1	0.54041E 00	0.45000E 02	0.97500E 00	0.22500E 02
PATTERN	0.128114512E 06	4 9 9	0.39000000E 02	0.82499790E 00 0.19500000E 02

CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	-0.62680E 00	0.34000E 02	0.60000E 00	0.15000E 02
1	-0.62680E 00	0.34000E 02	0.60000E 00	0.15000E 02
1	0.33167E-01	0.34000E 02	0.60000E 00	0.15000E 02
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	-0.57031E 00	0.34000E 02	0.70000E 00	0.15000E 02
1	-0.57031E 00	0.34000E 02	0.70000E 00	0.15000E 02
1	0.65325E-11	0.34000E 02	0.70000E 00	0.15000E 02
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	-0.42606E 00	0.34000E 02	0.70000E 00	0.17000E 02
1	-0.42606E 00	0.34000E 02	0.70000E 00	0.17000E 02
1	0.15218E 00	0.34000E 02	0.70000E 00	0.17000E 02
EXPLORE	0.363055348E 00	0 1 5	0.34000000E 02	0.69999999E 00 0.17000000E 02

CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.39260E-01	0.34312E 02	0.39395E 00	0.31406E 02
1	0.39260E-01	0.34312E 02	0.39395E 00	0.31406E 02
1	0.28268E 00	0.34312E 02	0.39395E 00	0.31406E 02
PATTERN	0.127422250E 06	8 42 73	0.31781250E 02	0.33066505E 00 0.30140625E 02
STEP-SZ	0.137393500E 06	8 42 73	0.25312500E 01	0.63281178E-01 0.12656250E 01

CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	-0.11300E 00	0.31781E 02	0.33067E 00	0.30141E 02
1	-0.11300E 00	0.31781E 02	0.33067E 00	0.30141E 02
1	0.11790E 00	0.31781E 02	0.33067E 00	0.30141E 02

VIOLATION -0.112996101D 00= G(1) -0.112996101D 00= G(2)

CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	-0.94414E-03	0.34312E 02	0.33067E 00	0.31406E 02
1	-0.94414E-03	0.34312E 02	0.33067E 00	0.31406E 02
1	0.19684E 00	0.34312E 02	0.33067E 00	0.31406E 02

CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.77607E-02	0.34312E 02	0.39395E 00	0.30141E 02
1	0.77607E-02	0.34312E 02	0.39395E 00	0.30141E 02
1	0.27078E 00	0.34312E 02	0.39395E 00	0.30141E 02

CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.41106E-01	0.33323E 02	0.39395E 00	0.32672E 02
1	0.41106E-01	0.33323E 02	0.39395E 00	0.32672E 02
1	0.27131E 00	0.33323E 02	0.39395E 00	0.32672E 02

CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.35362E-01	0.35302E 02	0.39395E 00	0.30141E 02
1	0.35362E-01	0.35302E 02	0.39395E 00	0.30141E 02
1	0.29246E 00	0.35302E 02	0.39395E 00	0.30141E 02

CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.55805E-02	0.37834E 02	0.26716E 00	0.30141E 02
1	0.55805E-02	0.37834E 02	0.26716E 00	0.30141E 02
1	0.14493E 00	0.37834E 02	0.26716E 00	0.30141E 02

CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	-0.29757E-01	0.47326E 02	0.18512E 00	0.24801E 02
1	-0.29757E-01	0.47326E 02	0.18512E 00	0.24801E 02
1	0.58582E-01	0.47326E 02	0.18512E 00	0.24801E 02
VIOLATION -0.2975654600-01= G(1) -0.2975654600-01= G(2)				
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.15222E 00	0.53733E 02	0.18388E 00	0.28005E 02
1	0.15222E 00	0.53733E 02	0.18388E 00	0.28005E 02
1	0.18691E 00	0.53733E 02	0.18388E 00	0.28005E 02
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	-0.32303E-01	0.47326E 02	0.18388E 00	0.24801E 02
1	-0.32303E-01	0.47326E 02	0.18388E 00	0.24801E 02
1	0.53352E-01	0.47326E 02	0.18388E 00	0.24801E 02
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.10033E 00	0.53733E 02	0.16384E 00	0.28005E 02
1	0.10033E 00	0.53733E 02	0.16384E 00	0.28005E 02
1	0.10033E 00	0.53733E 02	0.16384E 00	0.26005E 02
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	-0.59562E-01	0.40919E 02	0.20393E 00	0.28005E 02
1	-0.59562E-01	0.40919E 02	0.20393E 00	0.28005E 02
1	0.95337E-02	0.40919E 02	0.20393E 00	0.28005E 02
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.24162E-01	0.40919E 02	0.26196E 00	0.28005E 02
1	0.24162E-01	0.40919E 02	0.26196E 00	0.28005E 02
1	0.18569E 00	0.40919E 02	0.26196E 00	0.28005E 02
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	-0.43537E 00	0.47326E 02	0.11404E 00	0.31208E 02
1	-0.43537E 00	0.47326E 02	0.11404E 00	0.31208E 02
1	-0.43537E 00	0.47326E 02	0.11404E 00	0.31208E 02
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.34530E 00	0.47326E 02	0.53821E 00	0.31208E 02
1	0.34530E 00	0.47326E 02	0.53821E 00	0.31208E 02
1	0.57205E 00	0.47326E 02	0.53821E 00	0.31208E 02
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.67886E-01	0.47326E 02	0.25372E 00	0.24801E 02
1	0.67886E-01	0.47326E 02	0.25372E 00	0.24801E 02
1	0.26114E 00	0.47326E 02	0.25372E 00	0.24801E 02

CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.19417E 00	0.12000E 03	0.16328E 00	0.95071E 01
1	0.19417E 00	0.12000E 03	0.16328E 00	0.95071E 01
1	0.52133E 00	0.12000E 03	0.16328E 00	0.95071E 01
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.11245E 00	0.12000E 03	0.10000E 00	0.10773E 02
1	0.11245E 00	0.12000E 03	0.10000E 00	0.10773E 02
1	0.31202E 00	0.12000E 03	0.10000E 00	0.10773E 02
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.74195E-01	0.12000E 03	0.10000E 00	0.10078E 02
1	0.74195E-01	0.12000E 03	0.10000E 00	0.10078E 02
1	0.30912E 00	0.12000E 03	0.10000E 00	0.10078E 02
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	-0.21812E-01	0.11747E 03	0.10000E 00	0.89359E 01
1	-0.21812E-01	0.11747E 03	0.10000E 00	0.89359E 01
1	0.28966E 00	0.11747E 03	0.10000E 00	0.89359E 01
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.30061E-01	0.11747E 03	0.10000E 00	0.96884E 01
1	0.30061E-01	0.11747E 03	0.10000E 00	0.96884E 01
1	0.29346E 00	0.11747E 03	0.10000E 00	0.96884E 01
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.11245E 00	0.12000E 03	0.10000E 00	0.10773E 02
1	0.11245E 00	0.12000E 03	0.10000E 00	0.10773E 02
1	0.31202E 00	0.12000E 03	0.10000E 00	0.10773E 02
CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.40770E-01	0.12000E 03	0.12994E 00	0.82414E 01
1	0.40770E-01	0.12000E 03	0.12994E 00	0.82414E 01
1	0.41648E 00	0.12000E 03	0.12994E 00	0.82414E 01
WEST	0.560226914E 05	24 134 235	0.11746875E 03	0.99999964E-01 0.96884317E 01

LICZBA EWALUACJI FUNKCJI CELU 152

LICZBA EWALUACJI OGRANICZEN ZACHOWAWCZYCH 251

***** WYNIKI KONCOWE *****

CONSECUTIVE NO.	G(I) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.
1	0.39080E-01	0.12000E 03	0.10000E 00	0.95071E 01
1	0.39080E-01	0.12000E 03	0.10000E 00	0.95071E 01
1	0.30648E 00	0.12000E 03	0.10000E 00	0.95071E 01

PRZEMIESZCZENIA WEZLOW

NR WEZLA	KIERUNEK X	KIERUNEK Y	OBROT
1	0.000E 00	0.000E 00	0.000E 00
2	0.780E 00	-0.116E 00	-0.107E-02
3	0.763E 00	-0.895E-01	0.996E-04
4	0.000E 00	0.000E 00	-0.193E-02

SILY WEWNETRZNE W PRETACH

NR PRETA	NR WEZLA	SILY WZDLUZNE	SILY POPRZECZNE	MOMENT ZGINAJACY
1	1	0.1546725E 05	0.6636156E 04	0.2018243E 07
1	2	-0.6981941E 04	0.1849086E 04	0.2664049E 06
2	2	0.1849000E 04	0.6981977E 04	-0.2663959E 06
2	3	-0.1849000E 04	0.9718000E 04	-0.1209411E 07
3	3	0.9717996E 04	0.1849020E 04	0.1209411E 07
3	4	-0.9717996E 04	-0.1849020E 04	-0.3281250E 00

REAKCJE PODPOR

NR WEZLA	X	Y	MOMENT ZGINAJACY
1	-0.6636E 04	0.1546725E 05	0.2018243E 07
4	-0.1849E 04	0.9717996E 04	0.0000000E 00

SPRAWDZENIE ROWNOWAGI SIL I REAKCJI

	X	Y	X
SUMA SKLADOWYCH SIL	-0.2518529E 05	0.6485238E 04	
SUMA SKLADOWYCH REAKCJI	0.2518524E 05	-0.8485176E 04	

SUMA GLOBALNA 0.0000E 00 0.0000E 00

NAZWA INSTYTUCJI BP BIPROMET
NAZWA UZYTKOWNIKA TAI
NAZWA PRZYKLADU RAMA PRZEGUBOWA
JEDNOSTKI OBCIAZENIA KG
JEDNOSTKI DLUGOSCI CM

RAMOWNICA PLASKA
ILOSC PRETOW 10
ILOSC WEZLOW 9
ILOSC PODPOR 3
ILOSC STOPNI SWOBODY 1
MODUL SPRZYSTOSCI 2100000.00
STOSUNKI WIELKOSCI PRZYWEZLOWYCH DO PRZESLOWYCH :
DLA WYSOKOSCI SRODNIKOW 1.000
DLA GRUBOSCI SRODNIKOW 1.000

*** METODA ZEWNETRZNEJ FUNKCJI KARY /EPT/ ***

LICZBA /CYKLI/ EWALUACJI FUNKCJI CELU DO CHWILI PRZERWANIA PROCESU OPTIMALIZACJI 1
WSPOLRZEDNE WEZLOW

NR WEZLA	X	Y
1	0.00	-1000.00
2	600.00	-1000.00
3	1200.00	-1000.00
4	0.00	-400.00
5	600.00	-400.00
6	1200.00	-400.00
7	0.00	0.00
8	600.00	0.00
9	1200.00	0.00

IDENTYFIKACJA PRETOW

NR PRETA	NR WEZLA PO CZ.	NR WEZLA KONC.
1	7	8
2	8	9
3	4	5
4	5	6
5	1	4
6	4	7
7	2	5
8	5	8
9	3	6
10	6	9

MACIERZ INCYDENCJI WEZEL

1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4	0	0	1	0	-1	1	0	0	0	0	0
5	0	0	-1	1	0	0	-1	-1	0	0	0
6	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	1	0
7	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
8	-1	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
9	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1

NR PRETA	WSKAZNIK NUMERACJI PRETOW	WSKAZNIK ELEMENTU PRETA	EFEKTYWNA SZEROKOSC POLKI DOLNEJ	EFEKTYWNA GRUBOSC POLKI DOLNEJ
1	1	1	3.000	0.000
2	1	1	3.000	0.000
3	0	0	0.000	0.000
4	0	0	0.000	0.000
5	0	0	0.000	0.000
6	0	0	0.000	0.000
7	0	0	0.000	0.000
8	0	0	0.000	0.000
9	0	0	0.000	0.000
10	0	0	0.000	0.000

CHARAKTERYSTYKA WEZLOW PODPOROWYCH

WEZEL PODPOR.	X	Y	Z
1	NIE	NIE	NIE
2	NIE	NIE	TAK
3	NIE	NIE	NIE

X-DISPLACEMENT CONSTRAINTS OF JOINT

NO. X

1	10.000
2	10.000
3	10.000
4	10.000
5	10.000
6	10.000

NO. OF MEMBER X- BUCK. FACTOR V- BUCK. FACTOR JOINT BUCK. FACTOR

1	1.0	1.0	0.5
2	1.0	1.0	0.5
3	1.0	1.0	0.5
4	1.0	1.0	0.5
5	1.0	1.0	0.5
6	1.0	1.0	0.5
7	1.0	1.0	0.5
8	1.0	1.0	0.5
9	1.0	1.0	0.5
10	1.0	1.0	0.5

SPECYFIKACJA OBCIAZENIA I SILY SKUPIONE

LICZBA OBCIAZONYCH WEZLOW 0

LICZBA OBCIAZONYCH PRETOW 2

OBCIAZENIA PRETOW

1	OBC. SKUPIONE P	-10000.00	L	300.00	THETA	90.00	DEG.
2	OBC. SKUPIONE P	-5000.00	L	300.00	THETA	90.00	DEG.

METODA ZEWNETRZNEJ FUNKCJI KARY

ILOSC ZMIENNYCH DECYZYJNYCH 3
 ILOSC OGRANICZEN ZACHOWAWCZYCH 2
 PARAMETR WYDRUKU 1
 WSPOLCZYNNIK KARY 0.5000
 TOLERANCJA FUNKCJI CELU 5.000
 NAPREZENIA DOZWOLONE 2200.000

WARTOSCI CHARAKTERYZUJACE ZMIENNE DECYZYJNE:

NR	DANE PO CZ.	KROK OBL.	TOLERANCJA
1	40.000	5.000	2.400
2	1.000	0.200	0.100
3	25.000	5.000	2.400

NO.	INITIAL V	UPPER B	LOWER B
1	40.000	60.000	5.000
2	1.000	2.000	0.200
3	25.000	40.000	3.000

CONSTRAINTS AND DES. VAR. FOR 1 STATE OF LOADING

CONSECUTIVE NO.	GS(I,LL) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.	WIDHT OF FL.A	LENGHT OF FL. A
1	0.72727E 00	0.40000E 02	0.10000E 01	0.25000E 02	0.83333E 01	0.30000E 01
1	0.72727E 00	0.40000E 02	0.10000E 01	0.25000E 02	0.00000E 00	0.30000E 01

CONSTRAINTS AND DES. VAR. FOR 1 STATE OF LOADING

CONSECUTIVE NO. GS(I,LL) VALUE WEG H. WEB T. FLANGE A. WIDHT OF FL.A LENGHT OF FL. A

1	0.72727E 00	0.35000E 02	0.10000E 01	0.25000E 02	0.83333E 01	0.30000E 01
1	0.72727E 00	0.35000E 02	0.10000E 01	0.25000E 02	0.00000E 00	0.30000E 01

CONSECUTIVE NO. CONSTRAINTS OF JOINT DISPL.
GS(L,LL) VALUE

3	0.1E 01
4	0.1E 01
5	0.1E 01
6	0.1E 01
7	0.1E 01
8	0.1E 01
9	0.1E 01
10	0.1E 01
11	0.1E 01

CONSTRAINTS AND DES. VAR. FOR 1 STATE OF LOADING

CONSECUTIVE NO. GS(I,LL) VALUE WEG H. WEB T. FLANGE A. WIDHT OF FL.A LENGHT OF FL. A

1	0.72727E 00	0.45000E 02	0.10000E 01	0.25000E 02	0.83333E 01	0.30000E 01
1	0.72727E 00	0.45000E 02	0.10000E 01	0.25000E 02	0.00000E 00	0.30000E 01

CONSECUTIVE NO. CONSTRAINTS OF JOINT DISPL.
GS(L,LL) VALUE

3	0.1E 01
4	0.1E 01
5	0.1E 01
6	0.1E 01
7	0.1E 01
8	0.1E 01
9	0.1E 01
10	0.1E 01
11	0.1E 01

CONSTRAINTS AND DES. VAR. FOR 1 STATE OF LOADING

CONSECUTIVE NO.	GS(I,LL) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.	WIDHT OF FL.A	LENGHT OF FL. A
1	0.72727E 00	0.35000E 02	0.12000E 01	0.25000E 02	0.83333E 01	0.30000E 01
1	0.72727E 00	0.35000E 02	0.12000E 01	0.25000E 02	0.00000E 00	0.30000E 01

CONSECUTIVE NO. CONSTRAINTS OF JOINT DISPL.
GS(L,LL) VALUE

3	0.1E 01
4	0.1E 01
5	0.1E 01
6	0.1E 01
7	0.1E 01
8	0.1E 01
9	0.1E 01
10	0.1E 01
11	0.1E 01

CONSTRAINTS AND DES. VAR. FOR 1 STATE OF LOADING

CONSECUTIVE NO.	GS(I,LL) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.	WIDHT OF FL.A	LENGHT OF FL. A
1	0.72727E 00	0.35000E 02	0.80000E 00	0.25000E 02	0.83333E 01	0.30000E 01
.1	0.72727E 00	0.35000E 02	0.80000E 00	0.25000E 02	0.00000E 00	0.30000E 01

CONSECUTIVE NO. CONSTRAINTS OF JOINT DISPL.
GS(L,LL) VALUE

3	0.1E 01
4	0.1E 01
5	0.1E 01
6	0.1E 01
7	0.1E 01
8	0.1E 01
9	0.1E 01
10	0.1E 01
11	0.1E 01

CONSTRAINTS AND DES. VAR. FOR 1 STATE OF LOADING

CONSECUTIVE NO. GS(I,LL) VALUE WEG H. WEB T. FLANGE A. WIDHT OF FL.A LENGHT OF FL. A

1	0.11221E 00	0.25000E 02	0.60000E 00	0.15000E 02	0.50000E 01	0.30000E 01
1	0.55607E 00	0.25000E 02	0.60000E 00	0.15000E 02	0.00000E 00	0.30000E 01

CONSECUTIVE NO. CONSTRAINTS OF JOINT DISPL.
GS(L,LL) VALUE

3	0.1E 01
4	0.1E 01
5	0.1E 01
6	0.1E 01
7	0.1E 01
8	0.1E 01
9	0.1E 01
10	0.1E 01
11	0.1E 01

CONSTRAINTS AND DES. VAR. FOR 1 STATE OF LOADING

CONSECUTIVE NO.	GS(I,LL) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.	WIDHT OF FL.A	LENGHT OF FL. A
1	0.12447E 00	0.25000E 02	0.80000E 00	0.15000E 02	0.50000E 01	0.30000E 01
1	0.56216E 00	0.25000E 02	0.80000E 00	0.15000E 02	0.00000E 00	0.30000E 01

CONSECUTIVE NO. CONSTRAINTS OF JOINT DISPL.
GS(L,LL) VALUE

3	0.1E 01
4	0.1E 01
5	0.1E 01
6	0.1E 01
7	0.1E 01
8	0.1E 01
9	0.1E 01
10	0.1E 01
11	0.1E 01

CONSTRAINTS AND DES. VAR. FOR STATE OF LOADING

CONSECUTIVE NO.	GS(I,LL) VALUE	WEG H.	WEB T.	FLANGE A.	WIDHT OF FL.A	LENGHT OF FL. A
1	0.10420E 00	0.25000E 02	0.40000E 00	0.15000E 02	0.50000E 01	0.30000E 01
1	0.55222E 00	0.25000E 02	0.40000E 00	0.15000E 02	0.00000E 00	0.30000E 01

CONSTRAINTS OF JOINT DISPL.
 GS(L,LL) VALUE

3	0.1E 01
4	0.1E 01
5	0.1E 01
6	0.1E 01
7	0.1E 01
8	0.1E 01
9	0.1E 01
10	0.1E 01
11	0.1E 01

R o z d z i e l n i k

-
- | | |
|---|--------|
| 1. Recenzenci | 2 egz. |
| 2. Promotor | 1 egz. |
| 3. Biblioteka i Ośrodek Informacji Naukowo - Technicznej Politechniki Wrocławskiej. | 1 egz. |
| 4. Biblioteka i Ośrodek Informacji Naukowej Instytutu Budownictwa. | 1 egz. |
| 5. Autor | 1 egz. |