

Lidia FEDOROWICZ

Jerzy WÓJCIK

## PROGRAM NA ZX SPECTRUM + DO ANALIZY PERFOROWANYCH ŚCIAN USZTYWNIAJĄCYCH WYSOKIE BUDYNKI

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono program o nazwie S-T/86 opracowany w języku Basic na mikrokomputer ZX Spektrum+, służący do analizy statycznej perforowanych ścian usztywniających budynków wysokich. Algorytm programu oparto na metodzie SES w wersji statycznej z wykorzystaniem superelementu tarczowego.

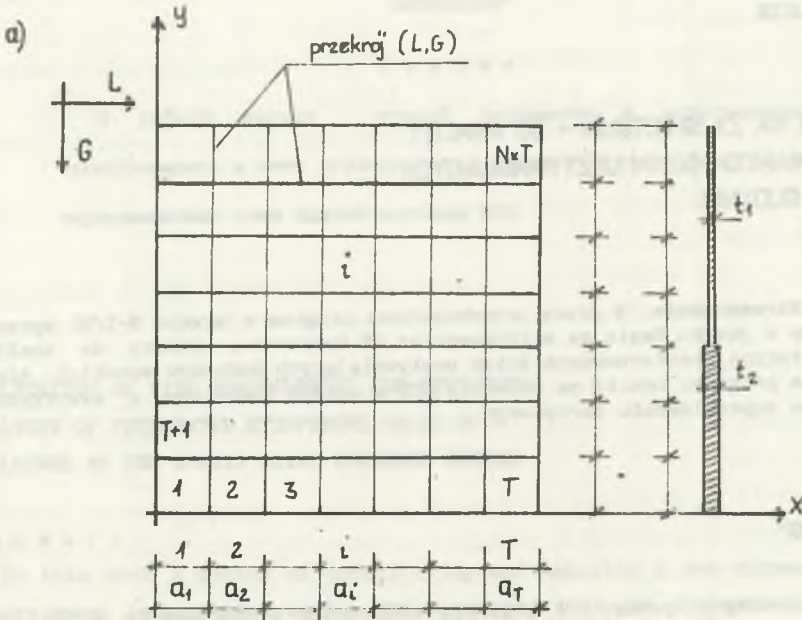
### 1. WSTĘP

Przedstawiony w pracy [1] algorytm obliczania perforowanych ścian oraz sposób przybliżonego określania charakterystyk sztywnościowych elementów dwuspójnych stanowił podstawę opracowania programu na mikrokomputer typu Spectrum.

W pracy podaje się ogólne informacje dotyczące organizacji programu, przygotowania danych wejściowych i postaci otrzymywanych wyników. Tok postępowania przy korzystaniu z programu oraz sposób przygotowania danych przedstawiono na przykładzie perforowanej ściany usztywniającej 17-kondygnacyjnego budynku.

### 2. OGÓLNY OPIS PROGRAMU

Omawiany program o nazwie S-T/86 opracowano w języku Basic [2] na mikrokomputer ZX Spektrum+, współpracujący z monitorem i drukarką. Zajmuje on około 18 kB pamięci mikrokomputera. Maksymalny podział tarczy, który można wprowadzić do obliczeń, spełniać musi warunek  $N \times T \leq 55$  ( $N, T$  - liczba elementów prostokątnych, na które podzielono tarczę w kierunku pionowym i poziomym (rys. 1)).



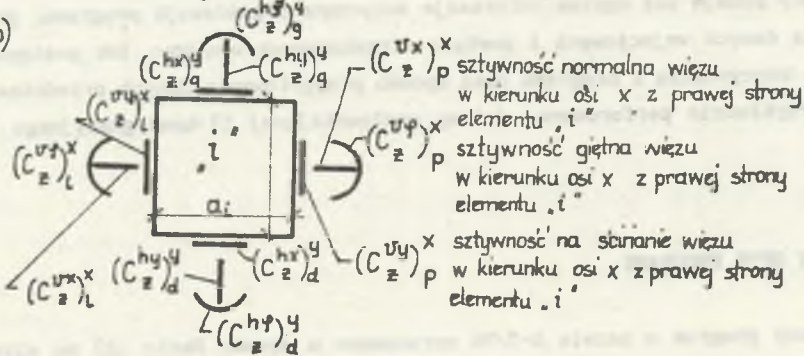
$i$  - numer elementu,  $i = 1, 2, \dots, N \cdot T$ ,

Numeracja przekrojów

$1 \leq L \leq T-1$  } dla przekrojów pionowych  
 $0 \leq G \leq N-1$  } tarczy

$1 \leq L \leq T$  } dla przekrojów poziomych  
 $0 \leq G \leq N-2$  } tarczy

b)



$(C_z^x)^p$  sztywność normalna więzu  
 w kierunku osi  $x$  z prawej strony  
 elementu  $i$   
 $(C_z^y)^p$  sztywność giętna więzu  
 w kierunku osi  $x$  z prawej strony  
 elementu  $i$   
 $(C_z^y)^x$  sztywność na ścianie więzu  
 w kierunku osi  $x$  z prawej strony  
 elementu  $i$

Rys. 1

Program umożliwia wprowadzenie danych wejściowych bezpośrednio z klawiatury lub taśmy magnetofonowej, przy czym w celu wyeliminowania ewentualnych pomyłek przy bezpośrednim wprowadzaniu danych wejściowych konieczne jest akceptowanie każdego wiersza lub elementu wprowadzonej macierzy.

Dla zmniejszenia czasu pracy komputera przy wielokrotnym rozwiązywaniu tego samego modelu obliczeniowego (różne rodzaje obciążeń) w programie zadeklarowano macierz obciążeń umożliwiającą wprowadzenie siedmiu różnych przypadków obciążenia równocześnie.

Jako dane wejściowe podaje się:

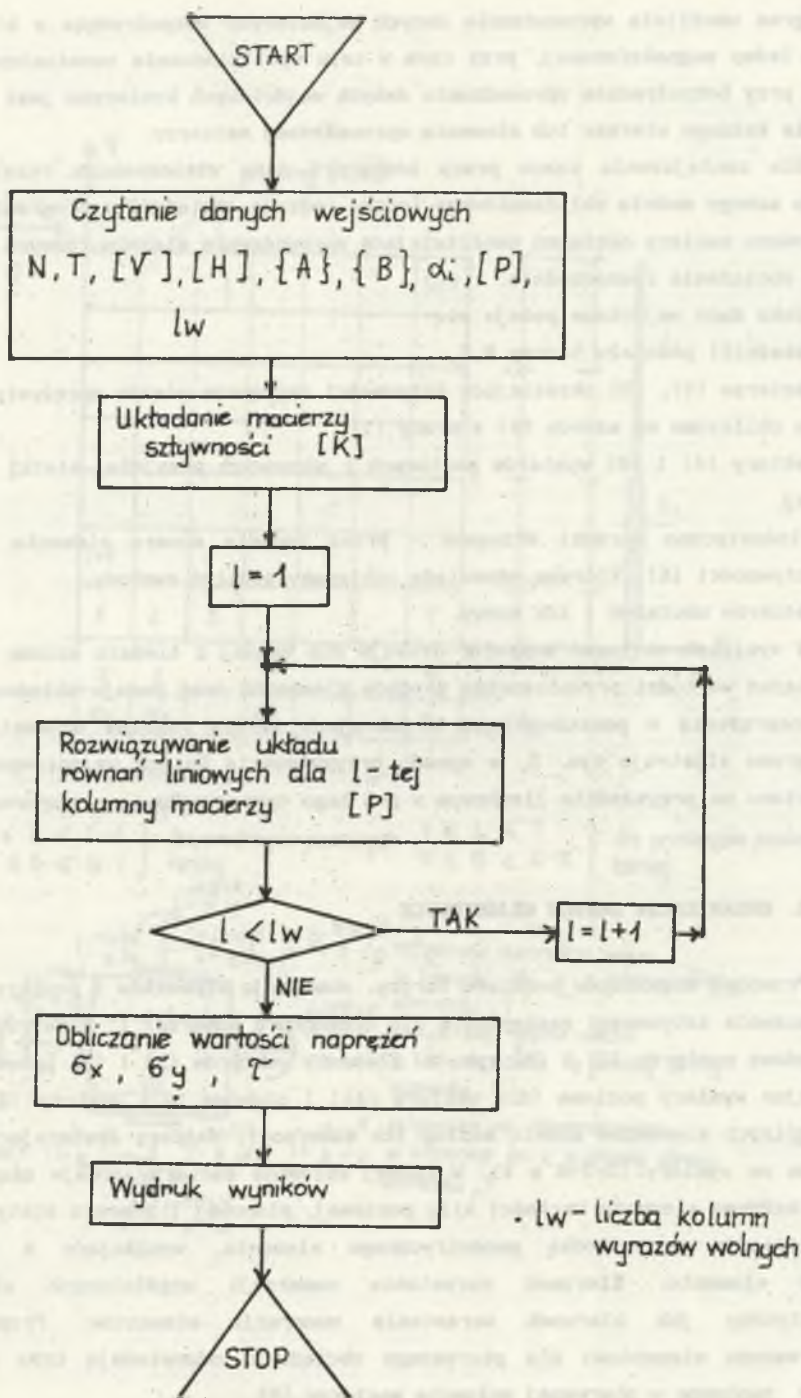
- wskaźniki podziału tarczy  $N, T$ ,
- macierze  $[V]$ ,  $[H]$  określające sztywności zastępcze więzów sprężystych modelu obliczone wg wzorów (1) z pracy [1],
- wektory  $\{A\}$  i  $\{B\}$  wymiarów poziomych i pionowych przyjętej siatki dyskretnej,
- kinematyczne warunki brzegowe - przez podanie numeru elementu macierzy sztywności  $[K]$ , któremu odpowiada odbierany stopień swobody,
- macierze obciążeń i ich nazwy.

W wynikach obliczeń komputer drukuje dla każdej z siedmiu kolumn macierzy obciążeń wartości przemieszczeń środków elementów oraz podaje składowe tensora naprężenia w poszczególnych przekrojach tarczy. Ogólny schemat blokowy programu ilustruje rys. 2, a sposób przygotowania danych wejściowych przedstawiono na przykładzie liczbowym w p.5 tego opracowania.

### 3. ORGANIZACJA DANYCH WEJŚCIOWYCH

Przebieg wskaźników podziału tarczy. numerację elementów i przekrojów oraz oznaczenia sztywności zastępczych dla elementu o numerze "1" ilustruje rys.1, a budowę macierzy  $[V]$  i  $[H]$  rys. 3. Elementy wektorów  $\{A\}$  i  $\{B\}$  przedstawiają kolejne wymiary poziome (dla wektora  $\{A\}$ ) i pionowe (dla wektora  $\{B\}$ ) poszczególnych elementów modelu według ich numeracji. Macierz zawierająca wyrazy wolne ma wymiary  $(3 \cdot T \cdot N \times 7)$ . W każdej kolumnie macierzy podaje się kolejno dla każdego elementu wartości siły poziomej, pionowej i momentu statycznego w odniesieniu do ośrodka geometrycznego elementu, wynikające z obciążeń tego elementu. Kierunek wzrastania numeracji uogólnionych sił jest identyczny jak kierunek wzrastania numeracji elementów. Przykładowo: pierwszemu elementowi dla pierwszego obciążenia odpowiadają trzy pierwsze siły zapisane w pierwszej kolumnie macierzy  $[P]$ .





Rys. 2

Macierz [V] - oznaczenia wg rys. 2b

|                                     |  |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-------------------------------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| kolejne numery<br>elem. modelu<br>↓ |  | $(C_{z}^{vx})^x$<br>L | $(C_{z}^{vx})^x$<br>p | $(C_{z}^{hy})^y$<br>d | $(C_{z}^{hy})^y$<br>g | $(C_{z}^{vy})^x$<br>L | $(C_{z}^{vy})^x$<br>p |
| 1                                   |  | •                     | •                     | •                     | •                     | •                     | •                     |
| 2                                   |  | •                     | •                     | •                     | •                     | •                     | •                     |
|                                     |  |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
| T-N-1                               |  | •                     | •                     |                       |                       |                       |                       |
| T-N                                 |  | •                     | •                     | •                     | •                     | •                     | •                     |

Macierz [H] - oznaczenia wg rys. 2b

|                                     |  |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-------------------------------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| kolejne numery<br>elem. modelu<br>↓ |  | $(C_{z}^{hx})^y$<br>d | $(C_{z}^{hx})^y$<br>g | $(C_{z}^{vy})^x$<br>L | $(C_{z}^{vy})^x$<br>p | $(C_{z}^{hy})^y$<br>d | $(C_{z}^{hy})^y$<br>g |
| 1                                   |  | •                     | •                     | •                     | •                     | •                     | •                     |
| 2                                   |  | •                     | •                     | •                     | •                     | •                     | •                     |
|                                     |  |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
| T-N-1                               |  | •                     |                       |                       |                       |                       |                       |
| T-N                                 |  | •                     | •                     | •                     | •                     | •                     | •                     |

Kinematyczne warunki brzegowe podaje się przez podanie dwóch liczb:

1) numeru  $\alpha$  elementu macierzy sztywności obliczonego ze wzoru:

$$\alpha = \sum_{j=1}^{3(i-1) + \psi} j, \quad \text{dla } i \leq T + 1, \quad (1)$$

$$\alpha = \sum_{j=1}^{3(T+1)} \left[ j + 9(T+1)(T-1-2) + 3\psi(T+1) \right],$$

dla  $T+1 < i \leq 3TN$ ,

gdzie:

- $i$  - numer elementu, dla którego odbierane są stopnie swobody,  
 $\psi = \begin{cases} 1 - \text{jeżeli jest odbierany stopień swobody na przesów poziomy,} \\ 2 - \text{jeżeli odbierany jest stopień swobody na przesów pionowy,} \\ 3 - \text{jeżeli odbierany jest stopień swobody na obrót,} \end{cases}$

2) dużej wartości liczbowej  $\beta$  imitującej charakterystykę więzi nieodkształcalnej. Wartości tej liczby należy określać w przedziale:

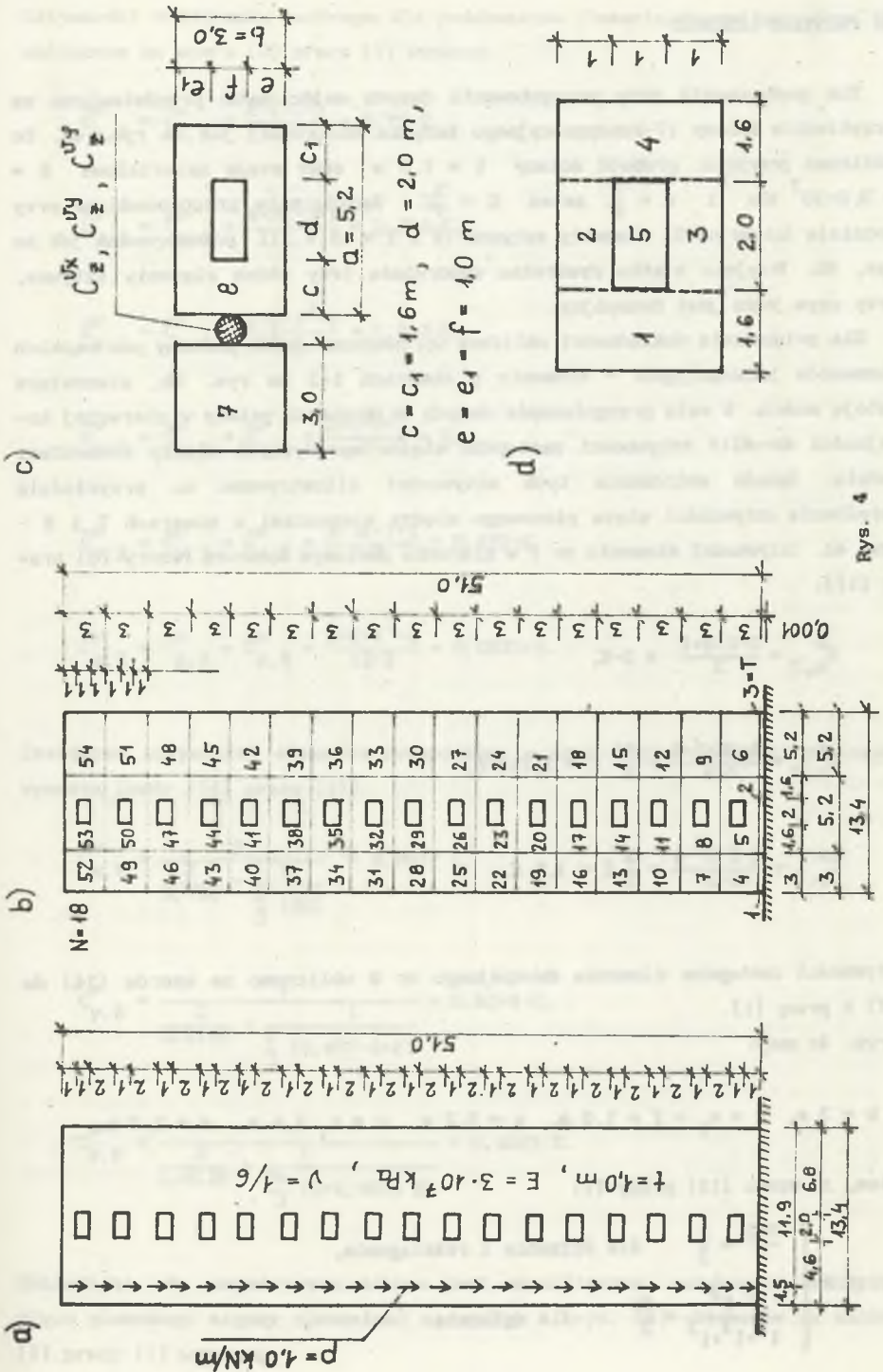
$$10^5 \cdot C \leq \beta \leq 10^{16} \cdot C, \quad (2)$$

gdzie:

$C$  - maksymalna wartość charakterystyk sztywnościowych więzów sprężystych modelu zapisanych w macierzach  $[V]$  i  $[H]$ .

#### 4. POSTACIE WYNIKÓW

Wyniki rozwiązania drukowane są w tym samym porządku jak kolumny macierzy obciążeń  $[P]$ . Drukowane są mianowicie kolejno dla każdego elementu: przemieszczenia poziome, pionowe i kąty obrotów, a następnie wartości naprężeń normalnych i stycznych w przekrojach pionowych i poziomych dla kolejnych kolumn macierzy obciążeń  $[P]$ .





## 5. PRZYKŁAD LICZBOWY

Tok postępowania przy przygotowaniu danych wejściowych przedstawiono na przykładzie ściany 17-kondygnacyjnego budynku obciążonej jak na rys. 4a. Do obliczeń przyjęto: grubość ściany  $t = 1,0$  m oraz stałe materiałowe  $E = 3,0 \cdot 10^7$  kPa i  $\nu = \frac{1}{6}$ , zatem  $G = \frac{3}{7}E$ . Rozwiązanie przeprowadzono przy podziale ściany na 54 elementy sztywne ( $N \times T = 18 \times 3$ ), ponumerowane jak na rys. 4b. Przyjęta siatka dyskretna wyodrębnia trzy różne elementy sztywne, przy czym jeden jest dwuspójny.

Dla zwiększenia dokładności obliczeń wprowadzono jeden poziomy pas wąskich elementów jednospójnych - elementy o numerach 1-3 na rys. 4b, stanowiące ostoję modelu. W celu przygotowania danych wejściowych należy w pierwszej kolejności określić sztywności zastępcze więzów sprężystych między elementami modelu. Sposób obliczania tych sztywności zilustrowano na przykładzie określenia sztywności więzu pionowego między elementami o numerach 7 i 8 - rys. 4c. Sztywności elementu nr 7 w kierunku poziomym wynoszą (wzory (3) pracy [1]):

$$C_{x,7}^v = \frac{2 \cdot E \cdot 3 \cdot 1}{3} = 2 \cdot E,$$

$$C_{y,7}^v = \frac{4 \cdot 3E \cdot 3 \cdot 1}{7 \cdot 3} = \frac{12}{7} E = 1,714 E,$$

$$C_{\varphi,7}^v = \frac{2 \cdot E \cdot 3^3 \cdot 1}{12 \cdot 3} = \frac{3}{2} E = 1,5 E.$$

Sztywności zastępcze elementu dwuspójnego nr 8 obliczono ze wzorów (14) do (17) z pracy [1].

Z rys. 4c mamy:

$$b = 3 \text{ m}, \quad e = e_1 = f = 1,0 \text{ m}, \quad a = 5,2 \text{ m}, \quad c = c_1 = 1,6 \text{ m}, \quad d = 2,0 \text{ m}.$$

Zatem, ze wzoru (15) pracy [1]

$$\gamma \begin{cases} \frac{3-1}{3-1} \frac{2}{3^2} & \text{dla ścinania i rozciągania,} \\ \frac{3-1}{3-1} \frac{3}{3^3} & \\ \frac{1}{1+1+1} \frac{3}{3^3} & \text{dla zginania.} \end{cases} = \frac{26}{3}$$



Sztywności w kierunku poziomym dla podobszarów elementu dwuspójnego (rys. 4d) obliczone ze wzoru (3) pracy [1] wynoszą:

$$\bar{c}_{x,1}^v = \bar{c}_{x,4}^v = \frac{2 \cdot E \cdot 3 \cdot 1}{1,6} = 3,75 \cdot E,$$

$$\bar{c}_{y,1}^v = \bar{c}_{y,4}^v = \frac{4 \cdot 3E \cdot 3 \cdot 1}{7 \cdot 1,6} = 3,214 \cdot E,$$

$$\bar{c}_{\varphi,1}^v = \bar{c}_{\varphi,4}^v = \frac{2 \cdot E \cdot 3^3 \cdot 1}{12 \cdot 1,6} = 2,813 \cdot E,$$

$$\bar{c}_{x,2}^v = \bar{c}_{x,3}^v = \bar{c}_{x,5}^v = \frac{2 \cdot E \cdot 1 \cdot 1}{2} = E,$$

$$\bar{c}_{y,2}^v = \bar{c}_{y,3}^v = \bar{c}_{y,5}^v = \frac{4 \cdot 3E \cdot 1 \cdot 1}{7 \cdot 2} = 0,857 \cdot E,$$

$$\bar{c}_{\varphi,2}^v = \bar{c}_{\varphi,3}^v = \bar{c}_{\varphi,5}^v = \frac{2 \cdot E \cdot 1^3 \cdot 1}{12 \cdot 2} = 0,0833 \cdot E.$$

Zastępcze sztywności elementu dwuspójnego o nr 8 wzdłuż krawędzi pionowych wynoszą (wzór (14) pracy [1]):

$$C_{x,8}^v = \frac{1}{\frac{2}{3,75E} + \frac{1}{\frac{2}{3}(3E)}} = 0,9677 E,$$

$$C_{y,8}^v = \frac{1}{\frac{2}{3,214E} + \frac{1}{\frac{2}{3}(0,857 \cdot 3 \cdot E)}} = 0,8294 \cdot E,$$

$$C_{\varphi,8}^v = \frac{1}{\frac{2}{2,813E} + \frac{1}{\frac{26}{3}(3 \cdot 0,0833 E)}} = 0,8529 E.$$

Zakładając, że rozpatrywana ściana jest monolityczna, sztywności zastępcze więzu pionowego między elementami o nr 7 i 8 (rys. 4c) obliczone ze wzorów (1) pracy [1] wynoszą:

$$C_2^{yx} = \frac{1}{\frac{1}{2E} + \frac{1}{0,9677E}} = 0,6522 E,$$

$$C_2^{yy} = \frac{1}{\frac{1}{1,714E} + \frac{1}{0,8294E}} = 0,5589 E,$$

$$C_2^{yz} = \frac{1}{\frac{1}{1,5E} + \frac{1}{0,8529E}} = 0,5437 E.$$

W analogiczny sposób określa się pozostałe wartości sztywności zastępczych więzów między elementami modelu.

Kinematyczne warunki brzegowe w rozpatrywanym przykładzie nałożone są na elementy o nr 1-3, a odpowiadające im wartości liczb  $\alpha$  wyznaczone ze wzoru (1) wynoszą kolejno:

$\alpha = 1, 3, 6, 10, 15, 21, 28, 36, 45$ , zaś wartość liczby  $\beta$  przyjęto zgodnie z (2) równą  $\beta = 10^{16}$ .

Dla obciążenia tarczy według rys. 4 macierz obciążeń stanowi wektor, którego elementy różne od zera występują tylko na pozycjach odpowiadających siłom pionowym obciążonych elementów o numerach 1, 4, 7, 10, ... 52. Wartości tych sił wynoszą odpowiednio:  $V_1 = 0,001$  kN dla elementu nr 1 oraz  $V_1 = 3,0$  kN dla pozostałych elementów.

Określone w ten sposób dane wejściowe dla rozpatrywanego przykładu mają postać:

- 1  $N = 18$ ,
- 2  $T = 3$ ,
- 3 Macierz  $[V]$  - tablica 1,
- 4 Macierz  $[H]$  - tablica 2,
- 5 Macierz  $\{A\} = \{ | 3,0 \quad 5,2 \quad 5,2 | \leftarrow 18 \text{ razy} \}$ ,
- 6 Macierz  $\{B\} = \{ 0,001 \quad | 3,0 | \leftarrow 53 \text{ razy} \}$ ,
- 7 Warunki kinematyczne: kolejne pary liczb  $(\alpha, 10^{16})$  gdzie:  $\alpha = 1, 3, 6, 10, 15, 21, 28, 36, 45$
- 8 Macierz obciążeń  $[P] = \left[ \begin{array}{cccccccccccc} 0 & 0,001 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \leftarrow 17 \text{ razy}$
- 9 Nazwa obciążenia: "Obciążenie  $Q_y$ ".

W tablicach 1 i 2 obliczone przykładowe wartości sztywności więzu pionowego między elementami o nr 7 i 8 wyróżniono przez podkreślenie.

Tablica 1

Mnożnik  $\delta = E$ 

| nr. elem. | $(c_{z}^{vx})_1^x$ | $(c_{z}^{vx})_p^x$ | $(c_{z}^{hy})_d^y$ | $(c_{z}^{hy})_g^y$ | $(c_{z}^{v\varphi})_1^x$ | $(c_{z}^{v\varphi})_p^x$ |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1         | 0                  | 0,0002             | 0                  | 1,9993             | 0                        | $2,03_{10}^{-11}$        |
| 2         | 0,0002             | 0,0002             | 0                  | 2,8683             | $2,03_{10}^{-11}$        | $1,6_{10}^{-11}$         |
| 3         | 0,0002             | 0                  | 0                  | 3,4657             | $1,6_{10}^{-11}$         | 0                        |
| 4         | 0                  | 0,6522             | 1,9993             | 1                  | 0                        | 0,5437                   |
| 5         | 1,9993             | 0,5263             | 2,8683             | 1,4347             | 0,5437                   | 0,4293                   |
| 6         | 0,5263             | 0                  | 3,4657             | 1,7333             | 0,4293                   | 0                        |
| 7         | 0                  | <u>0,6522</u>      | 1                  | 1                  | 0                        | <u>0,5437</u>            |
| 8         | <u>0,6522</u>      | 0,5263             | 1,4347             | 1,4347             | <u>0,5437</u>            | 0,4293                   |
| 9         | 0,5263             | 0                  | 1,7333             | 1,7333             | 0,4293                   | 0                        |
| .         | .                  | .                  | .                  | .                  | .                        | .                        |
| .         | .                  | .                  | .                  | .                  | .                        | .                        |
| .         | .                  | .                  | .                  | .                  | .                        | .                        |
| 52        | 0                  | 0,6522             | 1                  | 0                  | 0                        | 0,5437                   |
| 53        | 0,6522             | 0,5263             | 1,4347             | 0                  | 0,5437                   | 0,4293                   |
| 54        | 0,5263             | 0                  | 1,7333             | 0                  | 0,4293                   | 0                        |

W wyniku rozwiązania otrzymujemy wartości przemieszczeń środków elementów (przemieszczenie poziome, pionowe i obrót) oraz wartości naprężeń normalnych i stycznych w kolejnych przekrojach pionowych i poziomych.

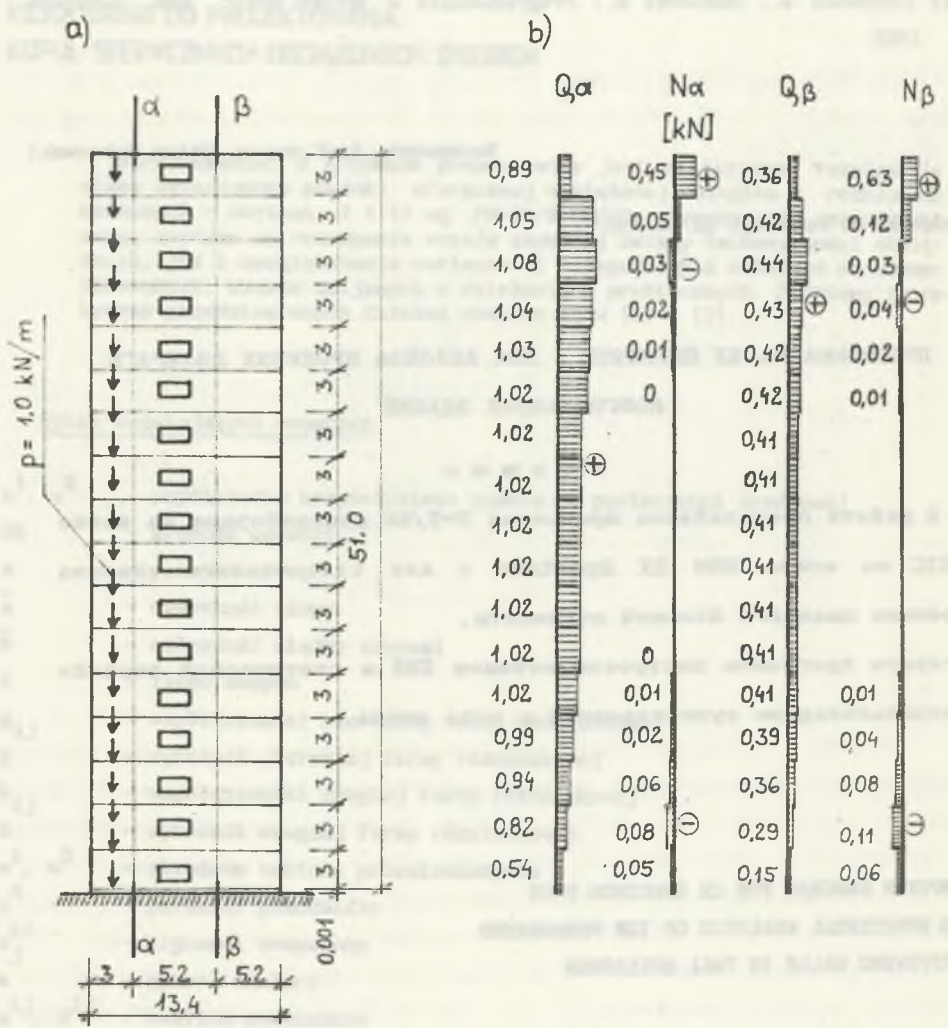
Na rys. 5 przedstawiono wykresy otrzymanych średnich na długości elementu sił ścinających  $Q$  i sił normalnych  $N$  w dwóch przekrojach pionowych tarczy.

Tablica 2

Mnożnik  $\delta = E$ 

|    | $(\underset{Z}{C}^{hx})_d^y$ | $(\underset{Z}{C}^{hx})_g^y$ | $(\underset{Z}{C}^{vy})_1^x$ | $(\underset{Z}{C}^{vy})_p^x$ | $(\underset{Z}{C}^{hp})_d^y$ | $(\underset{Z}{C}^{hp})_g^y$ |
|----|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1  | 0                            | 1,7140                       | 0                            | 0,0002                       | 0                            | 1,4993                       |
| 2  | 0                            | 2,4587                       | 0,0002                       | 0,00017                      | 0                            | 7,6550                       |
| 3  | 0                            | 2,9710                       | 0,00017                      | 0                            | 0                            | 8,0642                       |
| 4  | 1,7140                       | 0,8573                       | 0                            | 0,5589                       | 1,4993                       | 0,7500                       |
| 5  | 2,4587                       | 1,2300                       | 0,5589                       | 0,4510                       | 7,6550                       | 3,8287                       |
| 6  | 2,9710                       | 1,4860                       | 0,451                        | 0                            | 7,8090                       | 3,9057                       |
| 7  | 0,8573                       | 0,8573                       | 0                            | <u>0,5589</u>                | 0,7500                       | 0,7500                       |
| 8  | 1,2300                       | 1,2300                       | <u>0,5589</u>                | 0,4510                       | 3,8287                       | 3,8287                       |
| 9  | 1,4860                       | 1,4860                       | 0,4510                       | 0                            | 3,9057                       | 3,9057                       |
| .  | .                            | .                            | .                            | .                            | .                            | .                            |
| .  | .                            | .                            | .                            | .                            | .                            | .                            |
| .  | .                            | .                            | .                            | .                            | .                            | .                            |
| 52 | 0,8573                       | 0                            | 0                            | 0,5589                       | 0,7500                       | 0                            |
| 53 | 1,2300                       | 0                            | 0,5589                       | 0,4510                       | 3,8287                       | 0                            |
| 54 | 1,4860                       | 0                            | 0,4510                       | 0                            | 3,9057                       | 0                            |





Rys. 5

## LITERATURA

- [1] Fedorowicz L., Fedorowicz J., Wójcik J.: Przybliżona analiza statyczna perforowanych ścian usztywniających wysokie budynki. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria Budownictwo, z. 70, Gliwice 1991.
- [2] Iszkowski W., Maniecki M.: Programowanie w języku Basic. PWN, Warszawa 1982.

Recenzent: Prof. zwyczaj. Otton Dąbrowski

Wpłynęło do Redakcji 31.03.1987 r.

**ПРОГРАММА НА ZX СПЕКТРУМ + ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЕМНЫХ ДИАФРАГМ  
МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ**

**Р е з ю м е**

В работе представлена программа S-T/86 разработана на языке BASIC на микро ЭВМ ZX Spektrum + для статического анализа проемных диафрагм большой этажности.

Алгоритм программы построено методом SES в статической версии с использованием суперэлемента в виде диска.

**COMPUTER PROGRAM FOR ZX SPEKTRUM PLUS  
FOR STRUCTURAL ANALYSIS OF THE PERFORATED  
STIFFENING WALLS IN TALL BUILDINGS**

**S u m m a r y**

In the paper there is presented program S-T/86 written in Basic for micro-computer ZX Spektrum plus, for carrying out static analysis of perforated walls stiffening tall buildings. The algorithm is based on Finite Stiff Elements Method in its static version with application of the disc super-element.