

JERZY ROGOWSKI

528.33

## Badanie dokładności projektowanych sieci geodezyjnych

Sieci geodezyjne, takie jak sieci niwelacyjne, sieci kątowe, sieci liniowe i sieci liniowo-kątowe, zwłaszcza jeżeli chodzi o sieci służące nie tylko celom lokalnym, winny być zakładane w oparciu o wstępnie sporządzony projekt. Projektowanie sieci normowane jest przez odpowiednie przepisy zawarte w instrukcjach pomiarowych.

Projekt sieci stosownie do powszechnie obowiązujących obecnie zasad powinien uwzględniać:

- wymagania instrukcji pomiarowych regulujących zasady projektowania sieci geodezyjnych,
- warunki techniczne, jakim projektowana sieć winna odpowiadać,
- warunki, jakie dyktuje ukształtowanie, uzbrojenie i pokrycie terenu.

Ostateczny projekt jest opracowaniem kompromisowym, uwzględniającym wymagania instrukcji, warunki techniczne obowiązujące dla danej sieci oraz czynniki obiektywne, które dyktuje teren. Wartość natomiast takiego projektu jest przede wszystkim zależna od osobistych predyspozycji projektanta i od jego doświadczenia.

W obecnie stosowanej praktyce, o tym, czy sieć będzie mogła sprostać wymaganiom, można przekonać się dopiero po wykonaniu pomiarów, po wyrównaniu sieci i po jej obliczeniu. Ocenę dokładności przeprowadza się bowiem porównując średnie błędy wielkości wyrównanych, one bowiem charakteryzują dokładność i wartość sieci.

Proponowana przez autora metoda badania dokładności projektowanych sieci oparta jest na metodzie najmniejszych kwadratów, pozwala w sposób ścisły przeprowadzić analizę projektu sieci i określić, jakich dokładności będzie można się spodziewać po założeniu sieci, po wykonaniu pomiarów, po jej wyrównaniu i obliczeniu.

Wstępna analiza dokładności projektowanej sieci przeprowadzona na podstawie jej projektu ma istotne znaczenie dla właściwego zaprojektowania sieci. Z chwilą bowiem, gdy analiza wykaże wadliwość sieci, można będzie odpowiednio zmodyfikować jej projekt. Najwłaściwszym poszukiwanym rozwiązaniem będzie taka konstrukcja sieci, która zapewni jednolitą dokładność w całej sieci.

Podstawą do przeprowadzenia analizy dokładności projektu sieci wg metody proponowanej przez autora będą:

- szkic projektowanej sieci wykonany na podkładzie mapowym,
- dane dotyczące nawiązania sieci (w przypadku sieci nawiązanych), winny one określać rozmieszczenie punktów nawiązania i ich dokładności (średnie błędy),
- dane dotyczące dokładności, z jaką mają być wykonane projektowane pomiary. Dane te powinny pozwolić na ustalenie spodziewanych średnich błędów wielkości mierzonych w projektowanej sieci.

Autor nie omawia w tej pracy zasady określania wag pomiarów, jest to bowiem zagadnienie odrębne. Jednak dla właściwego przeprowadzenia analizy wagi elementów mierzonych, które wejdą w skład sieci, powinny być określone w sposób prawidłowy, mają one istotne znaczenie dla przeprowadzenia analizy w sposób ścisły. Winny one być starannie przeanalizowane i przygotowane przez projektanta sieci.

Projektowana przez autora metoda polega na obliczeniu współczynników równań normalnych. Autor opracował formy krakowianowe pozwalające obliczyć współczynniki równań normalnych bez potrzeby układania równań obserwacyjnych (J. Rogowski „Uogólnienie metody W. W. Popowa wyrównywania sieci geodezyjnych” — *Geodezja i Kartografia*, kwartalnik PAN, rocznik XXII, zeszyt nr 2. Warszawa 1973).

Celem przeprowadzenia analizy projektowanej sieci geodezyjnej wg metody autora, układając równania normalne za pomocą wymienionych form krakowianowych, pomija się kolumny zawierające wyrazy wolne. Te ostatnie będą mogły być obliczone dopiero po wykonaniu pomiarów, wówczas obliczone współczynniki przy niewiadomych w równaniach normalnych będą mogły być uzupełnione wyrazami wolnymi i posłużą do wyrównania sieci. Do przeprowadzenia analizy sieci wyłącznie potrzebne są współczynniki równań normalnych, znajdujących się przy niewiadomych. Wyrazy wolne nie biorą bowiem udziału w obliczeniu współczynników wagowych sieci.

Analizę dokładności projektowanej sieci przeprowadza się posługując się w tym celu współczynnikami wagowymi, te ostatnie oblicza się za pomocą znanych wzorów wyznacznikowych.

Mając układ równań normalnych o  $r$  niewiadomych tworzymy wyznacznik główny  $D$  ze wszystkich współczynników przy wszystkich niewiadomych pomijając wyrazy wolne.

Następnie na podstawie tabeli wyznacznika głównego tworzymy podwyznaczniki  $D_{ii}$ , skreślając w tabeli głównej wyznacznika  $D$   $i$ -ty wiersz

i i-tą kolumnę, przy czym  $i$  jest to indeks oznaczający kolejne niewiadome  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_r$ .

$$\begin{aligned} [paa]x_1 + [pab]x_2 + [pac]x_3 + \dots + [par]x_r + [pa\lambda] &= 0, \\ [pab]x_1 + [pbb]x_2 + [pbc]x_3 + \dots + [pbr]x_r + [pb\lambda] &= 0, \\ [pac]x_1 + [pcb]x_2 + [pcc]x_3 + \dots + [pcr]x_r + [pc\lambda] &= 0, \\ \dots &\dots \\ [par]x_1 + [pbr]x_2 + [pcr]x_3 + \dots + [prr]x_r + [pr\lambda] &= 0, \end{aligned}$$

$$D = \begin{vmatrix} [paa] & [pab] & [pac] & \dots & [par] \\ [pab] & [pbb] & [pbc] & \dots & [pbr] \\ [pac] & [pbc] & [pcc] & \dots & [pcr] \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ [par] & [pbr] & [pcr] & \dots & [prr] \end{vmatrix}$$

Poszczególne współczynniki wagowe  $Q_{ii}$  obliczymy na podstawie znanej zależności

$$Q_{ii} = \frac{D_{ii}}{D},$$

wówczas średnie błędy niewiadomych  $M_{xi}$  obliczymy na podstawie zależności

$$M_{xi} = \pm \mu_0 \sqrt{Q_{ii}},$$

gdzie  $\mu_0$  — jest średnim błędem typowego spostrzeżenia, wyznacza się go z wzoru

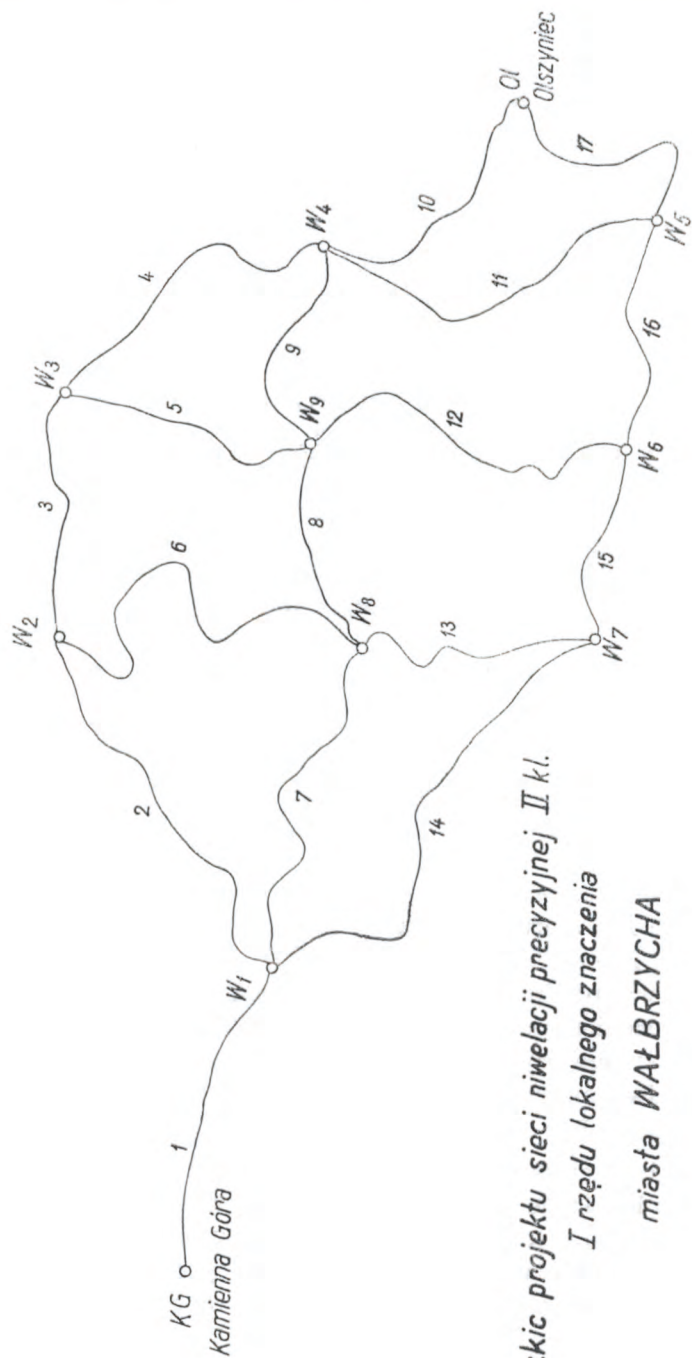
$$\mu_0 = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{n-r}},$$

gdzie  $n$  — liczba obserwacji, a  $r$  — liczba równań. Poza tym błąd typowego spostrzeżenia  $\mu_0$  można również określić szacunkowo. Nie ma on bowiem wpływu na istotę przeprowadzanej analizy.

Autor opracował program na maszynie cyfrową Odra 1305, za pomocą którego oblicza się kolejno dla zadanego układu równań normalnych wszystkie wymienione czynniki, a więc kolejno wyznacznik główny  $D$ , poszczególne podwyznaczniki  $D_{ii}$ , poszczególne współczynniki wagowe  $Q_{ii}$  oraz ich pierwiastki  $\sqrt{Q_{ii}}$ .

Dla ilustracji autor posłużył się projektem sieci niwelacji precyzyjnej II kl. I rzędu lokalnego znaczenia miasta Wałbrzycha.

Sieć zgodnie z projektem składa się z 9 węzłów połączonych 17 ciągami. Sieć jest siecią zależną nawiązaną do dwóch reperów niwelacji precyzyjnej I klasy oznaczonych nazwami Kamienna Góra (KG) i Olszynec (Ol). (rys. 1).



Szkic projektu sieci niwelacyjnej II kl.  
I rzędu lokalnego znaczenia  
miasta WAŁBRZYCHA

Rys. 1

Jako wagi ciągów przyjęto odwrotności długości ciągów  $p_{\text{ciągu}} = \frac{100}{L}$  (tabl. 1). Wagi rzędnych wyrównanych punktów nawiazania przyjęto  $P_{\text{OI}} = 1$  oraz  $P_{\text{KG}} = 11$ .

W przykładzie wagi zostały przyjęte w sposób szacunkowy. Tym samym podane w przykładzie dane można traktować jedynie w sposób przybliżony, przedstawiony zaś przykład może jedynie służyć jako ilustracja przeprowadzenia analizy dokładności sieci o podanych parametrach.

Tablica 1

## Wykaz ciągów, ich długości i wag

| Nr ciągu | Nr węzłów ograniczających ciąg |    | Długość ciągu<br>$L$<br>km | Waga ciągu<br>$p = \frac{100}{L}$ |
|----------|--------------------------------|----|----------------------------|-----------------------------------|
|          | od                             | do |                            |                                   |
| 1        | KG                             | 1  | 7,2                        | 14                                |
| 2        | 1                              | 2  | 9,0                        | 11                                |
| 3        | 2                              | 3  | 6,5                        | 15                                |
| 4        | 3                              | 4  | 7,5                        | 13                                |
| 5        | 3                              | 9  | 6,0                        | 17                                |
| 6        | 2                              | 8  | 10,0                       | 10                                |
| 7        | 1                              | 8  | 8,0                        | 12                                |
| 8        | 8                              | 9  | 5,0                        | 20                                |
| 9        | 9                              | 4  | 5,0                        | 20                                |
| 10       | 4                              | 01 | 6,5                        | 15                                |
| 11       | 4                              | 5  | 8,5                        | 12                                |
| 12       | 9                              | 6  | 8,0                        | 12                                |
| 13       | 8                              | 7  | 5,5                        | 18                                |
| 14       | 1                              | 7  | 11,0                       | 9                                 |
| 15       | 6                              | 7  | 5,5                        | 18                                |
| 16       | 5                              | 6  | 5,2                        | 19                                |
| 17       | 5                              | 01 | 6,3                        | 16                                |

Posługując się formami krakowianowymi podanymi przez autora w pracy cytowanej na wstępie, w rozdziale dotyczącym wyrównania sieci niwelacyjnych oraz na podstawie projektu sieci niwelacji precyzyjnej m. Wałbrzycha, autor obliczył współczynniki przy niewiadomych układu równań normalnych (tabl. 2). W tym celu wykorzystane zostały dane dotyczące projektu sieci, a więc wagi punktów nawiazania, wagi ciągów (tabl. 1) i szkic sieci przedstawiający wzajemne połączenie węzłów i ciągów sieci (rys. 1). Stosownie do zasady wyjaśnionej w cytowanej na wstę-

pie (na str. 23) pracy, dla wyrównania sieci niwelacyjnych układu się tyle równań normalnych, ile łącznie jest w danej sieci węzłów oraz punktów nawiązania, których nie będzie się traktować jako bezbłędnych. W omawianym przypadku dla sieci m. Wałbrzyska projekt sieci przewiduje 9 węzłów oraz dwa punkty nawiązania, których nie będzie się traktować jako bezbłędnych, czyli w omawianym przypadku będziemy mieli do czynienia z 11 równaniami normalnymi (tabl. 2).

Tablica 2

**Współczynniki przy niewiadomych układu równań normalnych sieci niwelacyjnej  
m. Wałbrzyska**

|                     | Nr<br>nie-<br>wiad.         | 1            | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11             |
|---------------------|-----------------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|
| Nr<br>rów-<br>nania | Nr<br>lub<br>nazwa<br>węzła | Kam.<br>Góra | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | Olszy-<br>niec |
| 1                   | Kam.<br>Góra                | 25           | -14 |     |     |     |     |     |     |     |     |                |
| 2                   | 1                           | -14          | 46  | -11 |     |     |     |     | -9  | -12 |     |                |
| 3                   | 2                           |              | -11 | 36  | -15 |     |     |     |     | -10 |     |                |
| 4                   | 3                           |              |     | -15 | 45  | -13 |     |     |     |     | -17 |                |
| 5                   | 4                           |              |     |     | -13 | 60  | -12 |     |     |     | -20 | -15            |
| 6                   | 5                           |              |     |     |     | -12 | 47  | -19 |     |     |     | -16            |
| 7                   | 6                           |              |     |     |     |     | -19 | 49  | -18 |     | -12 |                |
| 8                   | 7                           |              | -9  |     |     |     |     | -18 | 45  | -18 |     |                |
| 9                   | 8                           |              | -12 | -10 |     |     |     |     | -18 | 60  | -20 |                |
| 10                  | 9                           |              |     |     | -17 | -20 |     | -12 |     | -20 | 69  |                |
| 11                  | Olszy-<br>niec              |              |     |     |     | -15 | -16 |     |     |     |     | 42             |

Posługując się programem na maszynę cyfrową, przygotowanym przez autora (str. 33), oblicza się wartości wszystkich elementów potrzebnych do przeprowadzenia analizy dokładności badanego projektu sieci.

W podanym na str. 33 programie w wierszu oznaczonym

72 FORMAT (11F5.0)

cyfra 11 oznacza liczbę równań. W przypadku więc innej liczby równań trzeba wstawić w tym miejscu cyfrę odpowiadającą rozpatrywanej liczbie równań.

To samo odnosi się do wiersza

73 FORMAT (5X, 22HWYZNACZNIK GLOWNY W11 = E14.7,2X,4HTIME2X, A8) zamiast W11 = należy napisać po literze W odpowiednią cyfrę.

```

FORTRAN COMPILATION BY #XFAM MK 4E

LIST
PROGRAM(ANALIZA SIECI NIWELACYJNEJ)
INPUT 5=CR7
OUTPUT6=LP7
COMPRESS INTEGER AND LOGICAL
TRACE 2
END

MASTER RUGOWSKI
DIMENSION A(50,50),B(2500),W(50)
CALL DATE(S)
CALL TIME(T)
WRITE(6,77)S,T
77 FORMAT(//5X,4HDATE,2X,A8,2X,4HTIME,2X,A8)
75 READ(5,71)N
74 FORMAT(2110)
71 FORMAT(15)
READ(5,72)((A(K,I),I=1,N),K=1,N)
72 FORMAT(11F5.0)
DO 20 K=1,N
DO 20 L=1,N
20 B((K-1)*N+L)=A(K,L)
CALL FPMGEIN(N,E,B(1),W(1),D,I,NR)
CALL TIME(T)
WRITE(6,73)D,T
WRITE(6,74)I,NR
DO 30 K=1,N
L=0
DO 60 I=1,N
DO 60 J=1,N
IF (K-I)50,60,50
50 IF (K-J)80,60,80
80 L=L+1
B(L)=A(I,J)
60 CONTINUE
L=N-1
CALL FPMGEIN(L,E,B(1),W(1),H,I,NR)
CALL TIME(T)
WRITE(6,76)H,T
WRITE(6,74)I,NR
H=H/D
WRITE(6,78)H,T
H=SQRT(ABS(H))
WRITE(6,79)H,T
73 FORMAT(//5X,22HWYZNACZNIK GLOWNY W11=E14.7,2X,4HTIME2X,A8)
76 FORMAT(//5X,13HKOFAKTOR K =E14.7,2X,4HTIME2X,A8)
78 FORMAT(//5X,12HQ K :W =E14.7,2X,4HTIME2X,A8)
79 FORMAT(//5X,10HSQRT(Q )=E14.7,2X,4HTIME2X,A8)
30 CONTINUE
STOP
END

```

END OF SEGMENT, LENGTH 310, NAME RUGOWSKI

```

LIBRARY
READFROM(MT,-,FSCE)
FINISH

```

```

PROGRAM NAME #ANAL, CORE 14868, LOWER AREA 536, PROGRAM 3688
END OF COMPILATION - NO ERRORS

```

Po wprowadzeniu danych do maszyny został wydany maszynie rozkaz wydruku danych GENERAL LISTING XRLP. W efekcie maszyna wydrukowała dane zgodnie z tablicą nr 2. W tym wydruku w wierszu 1 cyfra 11 oznacza liczbę równań.

# GENERAL LISTING /XRLP/ 25/01/75

|    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |     |     |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|-----|-----|
| 1  | 11  |     |     |     |     |     |     |     |     |  |     |     |
| 2  | 25  | -14 |     |     |     |     |     |     |     |  |     |     |
| 3  | -14 | 46  | -11 |     |     |     |     | -9  | -12 |  |     |     |
| 4  |     | -11 | 36  | -15 |     |     |     |     | -10 |  |     |     |
| 5  |     |     | -15 | 45  | -13 |     |     |     |     |  | -17 |     |
| 6  |     |     |     | -13 | 60  | -12 |     |     |     |  | -20 | -15 |
| 7  |     |     |     |     | -12 | 47  | -19 |     |     |  |     | -16 |
| 8  |     |     |     |     |     | -19 | 49  | -18 |     |  | -12 |     |
| 9  |     | -9  |     |     |     |     | -18 | 45  | -18 |  |     |     |
| 10 |     | -12 | -10 |     |     |     | -18 | 60  | -20 |  |     |     |
| 11 |     |     |     | -17 | -20 |     | -12 | -20 | 69  |  |     |     |
| 12 |     |     |     |     | -15 | -16 |     |     |     |  |     | 42  |

Z kolei zostały policzone przez maszynę i wydrukowane wszystkie interesujące nas elementy dotyczące analizy dokładności sieci niwelacyjnej m. Wałbrzycha.

```

DATE 25/01/75 TIME 14/11/12
WYZNACZNIK GLOWNY W11= 0.4272794E 17
11 0
KOFAKTOR K = 0.2893211E 16 TIME 14/11/20
10 0
Q K :W = 0.6771239E-01 TIME 14/11/20
SQRT(Q )= 0.2602160E 00 TIME 14/11/20
KOFAKTOR K = 0.3775807E 16 TIME 14/11/23
10 0
Q K :W = 0.8836859E-01 TIME 14/11/23
SQRT(Q )= 0.2972685E 00 TIME 14/11/23
KOFAKTOR K = 0.4666329E 16 TIME 14/11/27
10 0

```

```

Q   K   :W = 0.1092103E 00  TIME  14/11/27
SQRT(Q   )= 0.3304698E 00  TIME  14/11/27
KOFAKTOR K   = 0.4478089E 16  TIME  14/11/31
      10      0
Q   K   :W = 0.1048047E 00  TIME  14/11/31
SQRT(Q   )= 0.3237356E 00  TIME  14/11/31
KOFAKTOR K   = 0.3764979E 16  TIME  14/11/34
      10      0
Q   K   :W = 0.8811515E-01  TIME  14/11/34
SQRT(Q   )= 0.2968420E 00  TIME  14/11/34
KOFAKTOR K   = 0.3902158E 16  TIME  14/11/38
      10      0
Q   K   :W = 0.9132568E-01  TIME  14/11/38
SQRT(Q   )= 0.3022014E 00  TIME  14/11/38
KOFAKTOR K   = 0.4281946E 16  TIME  14/11/41
      10      0
Q   K   :W = 0.1002142E 00  TIME  14/11/41
SQRT(Q   )= 0.3165663E 00  TIME  14/11/41
KOFAKTOR K   = 0.4430533E 16  TIME  14/11/45
      10      0
Q   K   :W = 0.1036917E 00  TIME  14/11/45
SQRT(Q   )= 0.3220120E 00  TIME  14/11/45
KOFAKTOR K   = 0.4151352E 16  TIME  14/11/49
      10      0
Q   K   :W = 0.9715778E-01  TIME  14/11/49
SQRT(Q   )= 0.3117014E 00  TIME  14/11/49
KOFAKTOR K   = 0.4034848E 16  TIME  14/11/52
      10      0
Q   K   :W = 0.9443116E-01  TIME  14/11/52
SQRT(Q   )= 0.3072965E 00  TIME  14/11/52
KOFAKTOR K   = 0.2893211E 16  TIME  14/11/55
      10      0
Q   K   :W = 0.6771239E-01  TIME  14/11/55
SQRT(Q   )= 0.2602160E 00  TIME  14/11/55

```

W powyższym wydruku mamy do czynienia z oznaczeniami, które należy omówić.

$$\text{WYZNACZNIK GŁOWNY } W_{11} = 0.4272794\text{E } 17$$

11

Jest to wartość wyznacznika powstałego ze wszystkich wyrazów tablicy 2. Cyfra 11 oznacza liczbę równań normalnych.

$$\text{KOFAKTOR } K = 0.2893211\text{E } 16$$

10

jest wartością podwyznacznika  $D_{11}$ , którego tabela powstała przez skreślenie w tabeli głównej pierwszego wiersza i pierwszej kolumny.

Cyfra 10 pod wyrazem KOFAKTOR oznacza, że ten podwyznacznik składa się z 10 wierszy i 10 kolumn.

$$Q_{11} \quad K_{11} : W = 0.6771239 \text{ E}^{-1}$$

daje nam wartość współczynnika wagowego  $Q_{11}$ , gdyż

$$Q_{11} = \frac{K_{11}}{W} = \frac{D_{11}}{D}$$

$$\text{SQRT } Q_{11} = 0.2602160 \text{ E}^{\circ}$$

daje nam wartość pierwiastka kwadratowego z wartości współczynnika  $Q_{11}$ .

W kolejności podane są wartości następnych podwyznaczników  $D_{22}$ ,  $D_{33}$ , ...,  $D_{11 \ 11}$ , oraz odpowiednich współczynników wagowych  $Q_{22}$ ,  $Q_{32}$ , ...,  $Q_{11}$  i ich pierwiastków. Jak widać z podanych czasów TIME obliczenie całości trwało 44 sekundy.

Na podstawie wydrukowanych rezultatów obliczeń zestawiono tablicę 3, w której dla poszczególnego węzła sieci podane zostały wartości podwyznaczników  $D_{ii}$ , współczynników wagowych  $Q_{ii}$ , ich pierwiastków  $Q_{ii}$  oraz średnie błędy. Te ostatnie zostały obliczone zakładając, że średni błąd typowego spostrzeżenia dla tego rodzaju sieci  $\mu_0$  powinien być rzędu  $\pm 3$  mm, a więc średni błąd poszczególnych rzędnych reperów zastabilizowanych w węzłach sieci może być obliczony z zależności

$$M_i = \pm \mu_0 \sqrt{Q_{ii}} = \pm 3 \text{ mm } \sqrt{Q_{ii}}.$$

Tablica 3

Obliczenie elementów analizy dokładności sieci niwelacji precyzyjnej m. Wałbrzycha  
 $D = 0.4272749 \text{ E}^{17}$

| Nr<br>rów-<br>nania | Nr<br>węzła    | $D_{ii}$                   | $Q_{ii} = \frac{D_{ii}}{D}$ | $\sqrt{Q_{ii}}$         | $M_i = \pm 3 \text{ mm} \sqrt{Q_{ii}}$<br>(mm) |
|---------------------|----------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------------------------------|
| 1                   | Kam.<br>Góra   | $0.2893211 \text{ E}^{16}$ | $0.6771239 \text{ E}^{-1}$  | $0.2602160 \text{ E}^0$ | $\pm 0,78$                                     |
| 2                   | 1              | $0.3775807 \text{ E}^{16}$ | $0.8836859 \text{ E}^1$     | $0.2972685 \text{ E}^0$ | $\pm 0,89$                                     |
| 3                   | 2              | $0.4666329 \text{ E}^{16}$ | $0.1092103 \text{ E}^0$     | $0.3304698 \text{ E}^0$ | $\pm 0,99$                                     |
| 4                   | 3              | $0.4478089 \text{ E}^{16}$ | $0.1048047 \text{ E}^0$     | $0.3237356 \text{ E}^0$ | $\pm 0,97$                                     |
| 5                   | 4              | $0.3764979 \text{ E}^{16}$ | $0.8811515 \text{ E}^{-1}$  | $0.2968420 \text{ E}^0$ | $\pm 0,89$                                     |
| 6                   | 5              | $0.3902158 \text{ E}^{16}$ | $0.9152658 \text{ E}^{-1}$  | $0.3022014 \text{ E}^0$ | $\pm 0,91$                                     |
| 7                   | 6              | $0.4281946 \text{ E}^{16}$ | $0.1002142 \text{ E}^0$     | $0.3165663 \text{ E}^0$ | $\pm 0,95$                                     |
| 8                   | 7              | $0.4430533 \text{ E}^{16}$ | $0.1036917 \text{ E}^0$     | $0.3220120 \text{ E}^0$ | $\pm 0,97$                                     |
| 9                   | 8              | $0.4151352 \text{ E}^{16}$ | $0.9715778 \text{ E}^{-1}$  | $0.3117014 \text{ E}^0$ | $\pm 0,94$                                     |
| 10                  | 9              | $0.4034848 \text{ E}^{16}$ | $0.9443116 \text{ E}^{-1}$  | $0.3072965 \text{ E}^0$ | $\pm 0,92$                                     |
| 11                  | Olszy-<br>niec | $0.2893911 \text{ E}^{16}$ | $0.6771239 \text{ E}^{-1}$  | $0.2602160 \text{ E}^0$ | $\pm 0,78$                                     |

Wyniki przeprowadzonej analizy wskazują na to, że sieć została zaprojektowana w sposób prawidłowy, gdyż można przyjąć, że średnie błędy poszczególnych węzłów sieci będą takiego samego rzędu. Różnice między skrajnymi wartościami średnich błędów pomiędzy węzłami sieci wynoszą 0,1 mm, a pomiędzy punktami nawiazania i węzłami sieci 0,21 mm. Jednak węzeł 2, 3, 6, 7 ma cokolwiek gorszą dokładność od pozostałych węzłów. Tłumaczy się to tym, że węzły te leżą najdalej od punktów nawiazania. Aby doprowadzić do zmniejszenia tych rozbieżności, należałoby parę węzłów 2, 3 dowieść do reperu sieci wyższego rzędu, jeżeli taki znajduje się w pobliżu, i to samo dotyczy również pary węzłów 6,7. Naturalnie taka okoliczność może być brana pod uwagę tylko w tym przypadku, gdy odległość wymienionych węzłów do punktów nawiazania sieci wyższego rzędu (tzn. sieci państwowej niwelacji precyzyjnej I klasy) nie przekroczy 7÷10 km.

Jak widać z przytoczonego przykładu, sprawdzenie projektu sieci niwelacyjnej nie jest zabiegiem skomplikowanym i czasochłonnym, ma poważne znaczenie tak gospodarcze, jak i ekonomiczne.

W identyczny sposób można przeprowadzić również analizę dokładności projektowanej sieci poligonowej w przypadku, gdy projektowana sieć ma być wyrównana metodą punktów węzłowych.

Stosując formy krakowianowe podane w cytowanej na wstępie pracy, można również wyrównywać wielostopniowe i wielowęzłowe układy sieci poligonowych, przy zastosowaniu metody punktów węzłowych, bez potrzeby podziału sieci poligonowej na klasy. Analizę dokładności projektu takiej sieci można również wykonać w sposób jednolity, bez potrzeby podziału jej na klasy. Ma to zasadnicze znaczenie, zwłaszcza przy projektowaniu miejskich sieci poligonowych.

Dotychczas stosowana praktyka podziału miejskich sieci poligonowych na klasy i wykonanie wyrównania ich w poszczególnych klasach, przyjmując punkty nawiazania, którymi są punkty poligonowe należące do klas wyższych jako bezbłędnych, jest niezgodna z zasadami rachunku wyrównawczego. Taka metoda wyrównania może powodować przypadkowe grupowanie się błędów. W praktyce znane są wypadki, gdy wykonawca zakładając sieci pomiarowe w oparciu o miejską sieć poligonową otrzymuje niedopuszczalne i niczym nie uzasadnione odchyłki.

Zagadnienie badania dokładności projektów sieci geodezyjnych, a mianowicie sieci triangulacyjnych, sieci trilateracyjnych, sieci liniowo-kątowych, składających się z sieci trójkątów, gdzie wykonane zostały pomiary kątowe i liniowe, oraz sieci poligonowych, które mają być wyrównane metodami ścisłymi, wymaga osobnego omówienia. W omawianych przypadkach technika przeprowadzania analizy będzie taka sama, jak omówiona w przypadku sieci niwelacyjnych i polegać będzie na obliczeniu współczynników wagowych.

W pracy cytowanej na wstępie podane są formy krakowianowe, pozwalające obliczyć współczynniki przy niewiadomych układu równań normalnych dla wyrównania wszystkich typowych sieci geodezyjnych. Stosując wymienione formy krakowianowe można będzie przygotować materiał dla przeprowadzenia analizy. Obliczenie wartości współczynników wagowych można będzie wykonać, stosując omawiany powyżej program na maszynie cyfrową. Wyodrębnienie w badanej sieci czynników, jakie wpływają na zwiększenie współczynników wagowych, wymagać będzie osobnego opracowania.

*Recenzował: Prof. zw. dr hab. Czesław Kamela*

*Rękopis złożono w Redakcji w styczniu 1975 r.*

ЕЖИ РОГОВСКИ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

### Р е з ю м е

Автор представляет метод исследования точности проектируемых геодезических сетей. Предлагаемый автором метод является точным методом, заключается в вычислений весовых коэффициентов для узлов проектируемой сети, в соответствии с методом минимальных квадратов, на основе данных, получаемых по эскизу проектируемой сети, выполненному на картографической подложке. Кроме того представленный метод позволяет учитывать те элементы, которые устанавливает проектировщик, а именно, точность измерений, веса измеряемых элементов, а в увязанных сетях — размещение элементов увязывания и их точность.

В труде приводится программа для вычислительной машины ОДРА 1304, позволяющая производить вычисления, применяя предлагаемый метод.

JERZY ROGOWSKI

## INVESTIGATIONS CONCERNING THE ACCURACY OF DESIGNED GEODETIC NETWORKS

### Abstract

The author presents a method of investigating the accuracy of designed geodetic networks. The proposed method is precise and it consists in calculation of weight coefficients for junctions of designed network, according to the method of minimal squares and on the bases of data of drafts for designed network that has been worked out on the mapping bases. Besides, the above mentioned method allows to consider all the elements estimated by a designer i.e. accuracy of measurements, weight of the measured items and in case of reference networks spacing of reference points and their accuracy.

Programme for the digital computer ODRA 1304 that enables to make calculations in accordance with the proposed method has been introduced in this paper.