

Geodezyjne pomiary odkształceń przy badaniach hydrogeologicznych i gruntowych na terenie Pałacu Kultury i Nauki imienia Józefa Stalina w Warszawie

1. Wstęp

Niniejsze opracowanie zostało wykonane w ramach prac Stacji Naukowo-Badawczej Polskiej Akademii Nauk na terenie Pałacu Kultury i Nauki im. J. Stalina w Warszawie na podstawie materiałów z badań planowych prowadzonych przez Zakład Pomiarów Odkształceń Geodezyjnego Instytutu Naukowo-Badawczego.

Tematem są geodezyjne pomiary odkształceń wchodzące w skład badań gruntowych przy pomocy próbnego obciążenia gruntu, badania odprężenia gruntu po wykonaniu wykopu, poprzez badania hydrogeologiczne — badanie ruchów powierzchniowej warstwy gruntu podczas próbnego pompowania wody.

Pionierski charakter tych prac na terenie naszego kraju zmuszał do opracowania nowych typów przyrządów, metod pomiarowych i obliczeniowych.

W czasie pracy spotkaliśmy się z daleko idącą pomocą Kierownictwa Radzieckiego Budowy P. K. i N. oraz Biura Pełnomocnika Rządu do Spraw Budowy Pałacu Kultury i Nauki im. J. Stalina w Warszawie. W przygotowaniu znajduje się druga część pracy obejmująca geodezyjne pomiary odkształceń wykonywane podczas dalszych etapów prac budowlanych (wznoszenie konstrukcji) na terenie P. K. i N.

2. Prace geodezyjne przy próbnym obciążeniu gruntu

Przed rozpoczęciem budowy wysokościowca, w celu dokładnego zbadania gruntu, jego własności fizycznych i mechanicznych, należało przeprowadzić badania terenowe i laboratoryjne, które dałyby materiał do określenia dopuszczalnych nacisków na grunt, obliczenie wielkości osiadania pod wpływem obciążenia, wybranie rodzaju posadowienia, jego głębokości itp.

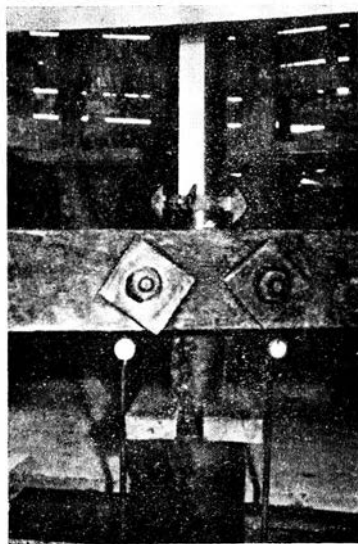
Poza tym badania terenowe miały być kontrolą dla pewnej części badań laboratoryjnych. Jedną z pierwszych prac było próbne obciążenie gruntu wykonane w dwóch wariantach:

- a) obciążenie (odciążenie) gruntu w otworach wiertniczych,
- b) obciążenie (odciążenie) gruntu w szybach wykonanych metodą górniczą.

Zasadnicza różnica między nimi (oprócz sposobu wykonania szybu bądź otworu wiertniczego) wyrażała się w zastosowaniu różnych wielkości stopy, a tym samym powierzchni gruntu poddanej temu zabiegowi. Stosunek ten wynosił 6 : 50.

Pominiemy tutaj szczegółowy opis sprzętu i sposobu wykonania próbnego obciążenia, który znajduje się w specjalnych opracowaniach, a podamy go tu ogólnie, zwracając przede wszystkim uwagę na wykonywane prace geodezyjne.

W pierwszym wariantcie w celu wykonania próbnego obciążenia użyto zestawu, który składał się ze stopy opartej bezpośrednio na gruncie na



Rys. 55

wymaganej głębokości, kolumny rur łączących stopę z szalą, na którą nakładano obciążniki i znajdującą się około 2 m nad powierzchnią terenu, oraz przyrządów do pomiaru przesunięć stopy pod wpływem obciążenia (odciążenia). Przyrządy te składały się z dwóch czujników oraz z kompletu sprzętu do niwelacji precyzyjnej i dodatkowej krótkiej łąty. Rozstawienie czujników oraz miejsce zawieszenia łątki niwelacyjnej przedstawia rys. 55.

W drugim wariantcie powierzchnia stopy była około 9 razy większa, w związku z tym uzyskanie identycznych nacisków na grunt, jak w wariantcie pierwszym, wymagało tylekrotnego zwiększenia obciążenia. Tak duże obciążenia zmusiły ze względów statycznych do umieszczenia szali tuż nad stopą, od której przeprowa-

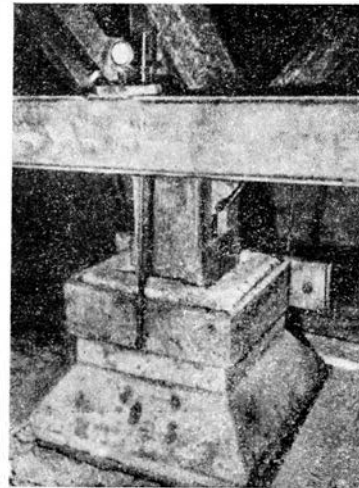
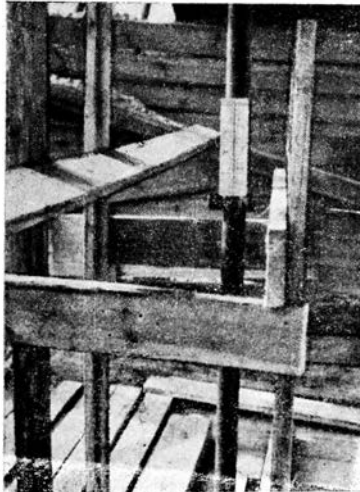
dzono żerdź na wysokość około 1,5 m nad teren, służącą do zamocowania czujników oraz łątki niwelacyjnej — rys. 56 i 56a.

Do pomiaru niwelacyjnego w obu przypadkach użyto następujących przyrządów:

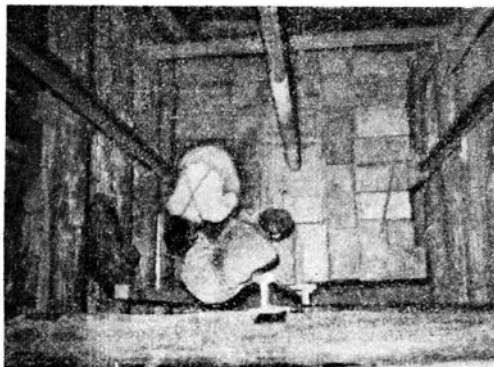
- a) niwelator precyzyjny firmy Zeiss,
- b) łąta inwarowa o podziale 1/2 cm,
- c) krótka łąta z duraluminium z podziałem jak łąta inwarowa,
- d) reper ścienny,

- e) parasol mierniczy,
- f) żabki metalowe,
- g) termometr.

Szczegółowe wymagania, dotyczące sprzętu, metod pomiaru i obliczeń przy wykonywaniu prac przedstawimy w następnym rozdziale. W danej



Rys. 56a



Rys. 56

pracy należy pamiętać, aby niwelator miał równoległą oś libeli do osi celowej, gdyż często warunki terenowe nie pozwolą na obserwacje „ze środka“, oraz aby reper nawiązujący miał kształt zapewniający jednoznaczne ustawienie łąty przy każdym pomiarze. Reper ten należy założyć w pobliżu miejsca, gdzie wykonuje się próbne obciążenie, najlepiej w odległości około 30-80 m, tj. tak, by pomiar można wykonać z jednego stanowiska niwelatora. Jeżeli reper służyć ma tylko do tej pracy, która nie

trwa zbyt długo, może być najprostszej konstrukcji, np. jak na rys. 57. W celu zabezpieczenia ciągłości obserwacji w okresie stopniowego obciążenia, a następnie odciążenia gruntu na



Rys. 57

danej głębokości, trwającego około 10 dni, należy reper dowiązać niwelacyjnie do 2 — 3 reperów zamocowanych na pewnych, starych budynkach, aby zawsze można sprawdzić jego stałość lub wyznaczyć wielkość jego przesunięcia. Krótką łatkę niwelacyjną zawieszamy pionowo na kolumnie rur (alternatywa a) rys. 55 lub na żerdzi (alternatywa b) rys. 56 przy pomocy ścisków lub inaczej, lecz tak by nie uległa ona przesunięciu. Po wykonaniu wszystkich prac przygotowawczych, założeniu czujników, łatki, sprawdzeniu niwelatora, rektyfikacji libeli łąty, możemy przystąpić do wykonania odczytu zerowego, równocześnie z odczytaniem czujników przez ich obsługę.

Niwelator ustawiamy jeśli to możliwe na środku między reperem nawiązującym

i łatką, chroniąc go parasolem przed słońcem i deszczem. Łatkę pionowo na reperze i odczytujemy wg nast. kolejności:

$$\left. \begin{array}{l} \text{odczyt wstecz na łatkę} \\ \text{odczyt wprzód na łatkę} \end{array} \right\} \text{ z podziałów głównych}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{odczyt wprzód na łatkę} \\ \text{odczyt wstecz na łatkę} \end{array} \right\} \text{ z podziałów kontrolnych}$$

(szczegółowe czynności wykonuje się analogicznie jak w niwelacji precyzyjnej). Następnie zmieniamy horyzont niwelatora i odczytujemy w kolejności odwrotnej. Czynności te należy wykonać możliwie w najkrótszym czasie. Odczyty zapisujemy w dzienniku polowym niwelacji precyzyjnej, podając przy tym datę, godzinę, temperaturę powietrza, stan pogody, głębokość stopy oraz nacisk na grunt przy danej obserwacji. Orientacyjnie błąd stałej różnicy między odczytami z 2 -ch podziałów na tej samej łacie nie powinien przekroczyć $d_I = \pm 0,10 \div 0,20 \text{ mm}$ ($2 \div 4$ działek na mikrometrze), zaś różnica wysokości na stanowisku z podziału głównego i kontrolującego $d_{II} = \pm 0,20 \div 0,30 \text{ mm}$ ($4 \div 6$ działek).

Różnica wysokości przed i po zmianie horyzontu niwelatora nie powinna być większa niż $d_{III} = \pm (0,15 \div 0,20) \sqrt{n}$, gdzie n — ilość stanowisk. Średni błąd średniej różnicy wysokości można obliczyć ze wzoru:

$m = \pm 1/2 \sqrt{\frac{[p d d]}{r}}$ przy obserwacjach parami, gdzie d — różnice między pochyleniem pomierzonym w kierunku głównym i powrotnym, r — ilość

par obserwacji, lub $m = \pm \sqrt{\frac{|vv|}{n(n-1)N}}$ przy większej ilości obserwacji niż parami, gdzie n — ilość pojedynczych pomiarów składających się na średnią arytmetyczną, N — ilość stanowisk niwelatora przy pojedynczym pomiarze, v — odchyłki wyników pojedynczych pomiarów od średniej arytmetycznej. Opierając się na danych orientacyjnych z praktyki średni błąd średniej różnicy wysokości można przyjąć około $\pm 0.10 \div 0.15$ mm.

Taką wartość błędu średniego można otrzymać przy długości celowej 20 — 30 m, którą przeważnie stosowaliśmy, w dość dobrych warunkach terenowych i atmosferycznych. Przy dłuższych celowych wartość ta może wzrosnąć. Obliczenia wielkości błędu średniego na podstawie średniego błędu niwelacji na 1 km i innych wzorów podane są w rozdziale 4, 4. Porównując średnią różnicę wysokości między reperem i łatką z pomiaru aktualnego ze średnią różnicą z odczytu wyjściowego (zerowego) otrzymujemy całkowite osiadanie łatki, a tym samym i stopy, które wpisujemy na formularze obserwacji czujników. Równocześnie wykonane odczyty na czujnikach i niwelatorem pozwolą na porównanie otrzymanych wielkości osiadań. Możliwe jest to przy próbnym obciążeniu w wariancie a i b wtedy, gdy temperatura w czasie obserwacji aktualnej, będzie różniła się niewiele od temperatury przy obserwacji wyjściowej. Natomiast w wariancie b , gdzie jedna para czujników jest tuż nad stopą, druga w pobliżu wylotu szybu, a łatka niwelacyjna nad terenem, przy porównaniu osiadań otrzymanych z niwelacji z osiadaniem z poszczególnych czujników, należy określić zmianę długości żerdzi pod wpływem różnicy temperatury. Zmiana długości samej łatki będzie minimalna ze względu na jej niewielkie wymiary (do 40 cm) i może być pominięta. Gdy zmiana długości żerdzi przekroczy połowę średniego błędu przesunięcia łatki, należy zmianę tę uwzględnić.

Częstość obserwacji niwelacyjnych wynosiła 2 — 10 na dobę i określała ją kierownik badania w porozumieniu z geodetą.

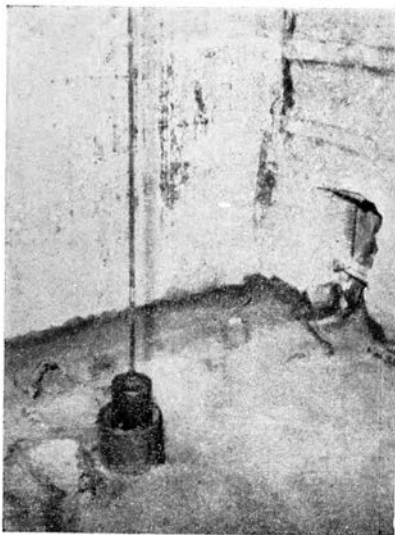
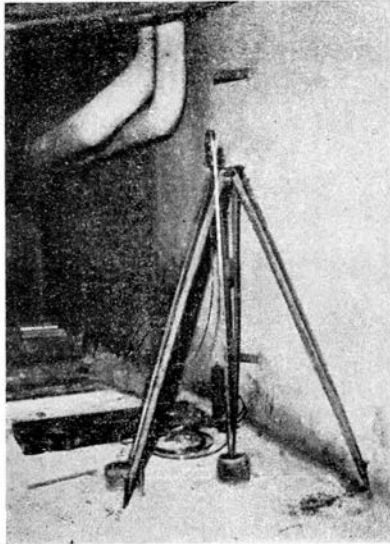
3. Prace geodezyjne przy badaniu odkształceń gruntu po wykonaniu wykopu pod część wysokościową

Celem tych prac był pomiar wielkości odprężenia gruntu po wykonaniu wykopu. Aby to osiągnąć należało osadzić repere na poziomie około 0,5 m poniżej projektowanego dna wykopu i określić ich wysokość przed i po jego wykonaniu. Do tego celu użyto poza normalnie stosowanymi — kilku przyrządów dodatkowych, skonstruowanych specjalnie dla potrzeb wymienionych w tytule badań.

3. 1. Instrumenty i urządzenia

- a) Niwelator precyzyjny f-my Zeiss,
- b) łąta inwarowa o podziale $1/2$ cm,
- c) urządzenie do pomiaru wysokości reperu znajdującego się na dnie

projektowanego wykopu (reper „pływający” lub „wglębny”) w stosunku do reperu stałego.



Rys. 58

- d) repery wglębne,
- e) repery ściennie,
- f) podstawki do łąt (żabki),
- g) parasol mierniczy,
- h) termometr czerpakowy.

Instrumentów wymienionych w punktach *a*, *b*, *f*, *g*, *h*, nie będziemy tutaj omawiać, gdyż albo są ogólnie znane, albo szerzej przeanalizowane w części 4. 3 niniejszej pracy.

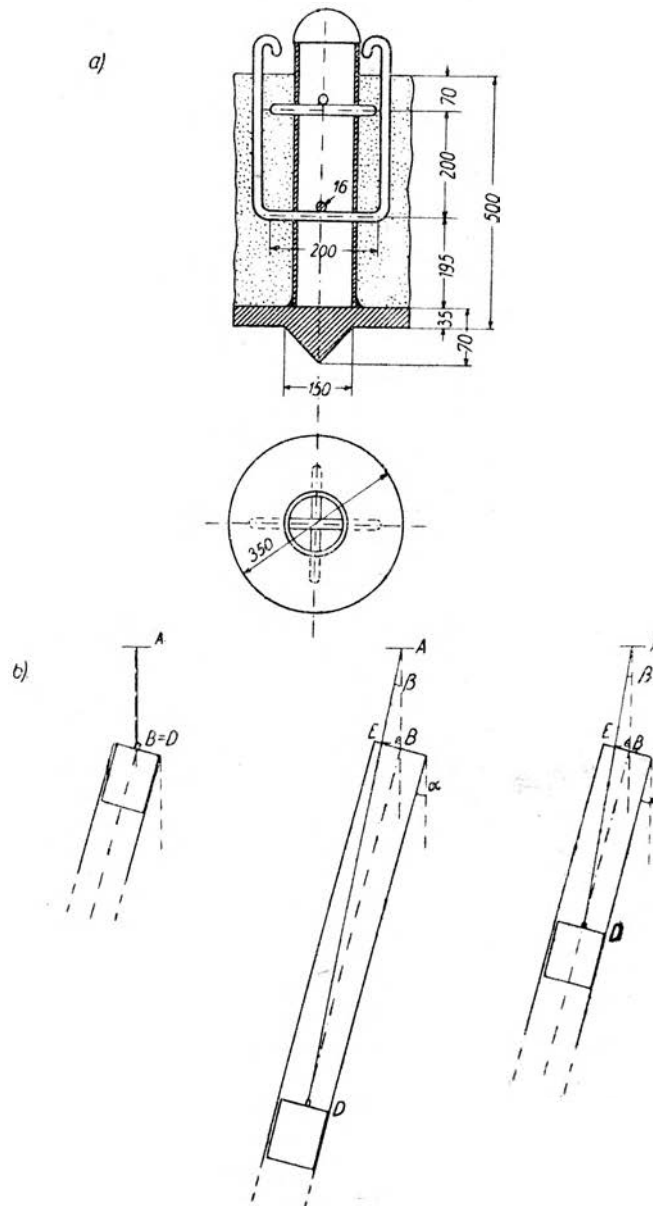
Urządzenie podane w punkcie *c* (rys. 58) składa się z wąskiej taśmy stalowej (lepiej inwarowej), na końcu której zamocowany jest bezprzegubowo walec metalowy o średnicy 80 mm (średnica rury wynosiła 89 mm), wysokości 271 mm i wadze 10 kg. Oś walca powinna stanowić przedłużenie osi taśmy. Dolna podstawa walca jest dokładnie wyszlifowana tak, że tworzy kąt prosty z jego osią. Do statywu mierniczego jest odpowiednio przymocowany bloczek, po którym może się przesuwąć taśma.

Celem zmniejszenia tarcia osadzono bloczek na łożysku kulkowym, umożliwiając mu ruch obrotowy dookoła osi poziomej i pionowej. Do naciągu taśmy przewieszanej przez bloczek służy przeciwwaga w formie walca o ciężarze 5 kg. Do powyższego kompletu dochodzi podziałka milimetrowa o długości 10 cm, z dwoma czopkami, których średnica odpowiada średnicy otworków decymetrowych taśmy.

Reper wglębny podany w punkcie *d* składa się z samego znaku prefabrykowanego pokazanego na rys. 59a oraz rury ochronnej. Zamocowanie znaku na

odpowiedniej głębokości odbywa się w sposób następujący: w ustalonych punktach projektowanego wykopu wierci się otwory o średnicy większej niż średnica znaku prefabrykowanego (ok. 18"). Głębokość otworu jest większa o ok. 1.0 m od projektowanego poziomego wykopu. Na dno otworu

wsypuje się beton (specjalnymi kublami) warstwą grubości ok. 30 cm, a następnie na linach opuszcza się sam znak. Po jego związaniu z betonem



Rys. 59

ustawia się na nim rurę ochronną o średnicy ok. 4". Do spodu rury przymocowana jest warstwa nasączonych bitumem paków, które amortyzują naciski i drgania rury oraz uszczelniają główkę reperu przed napływem wody

i zamuleniem. Następnie wyciąga się rurę wiertniczą zewnętrzną wypełniając przestrzeń między rurami ziemią lub piaskiem.

Reper ścienny pokazany na rys. 60, 60a, wykonany został według projektu G. I. N. B. Jednoznaczne ustawienie łaty zapewnia zaokrąglony czo-



Rys. 60



Rys. 60a

pek ze stali nierdzewnej. Specjalna pokrywa zabezpiecza reper przed uszkodzeniami mechanicznymi lub korezją.



Rys. 61

3. 2. Rozmieszczenie znaków geodezyjnych

Na załączonym szkicu (rys. 62) uwidoczniono rozmieszczenie reperów wglębnych w stosunku do projektowanego wykopu. Poza wykopem znajdowały się repery tzw. hydrowęzła służące do badania powierzchniowych ruchów gruntu pod wpływem zabiegów hydrogeologicznych. Znaki stosownie do przeznaczenia wykonane były w dwóch postaciach:

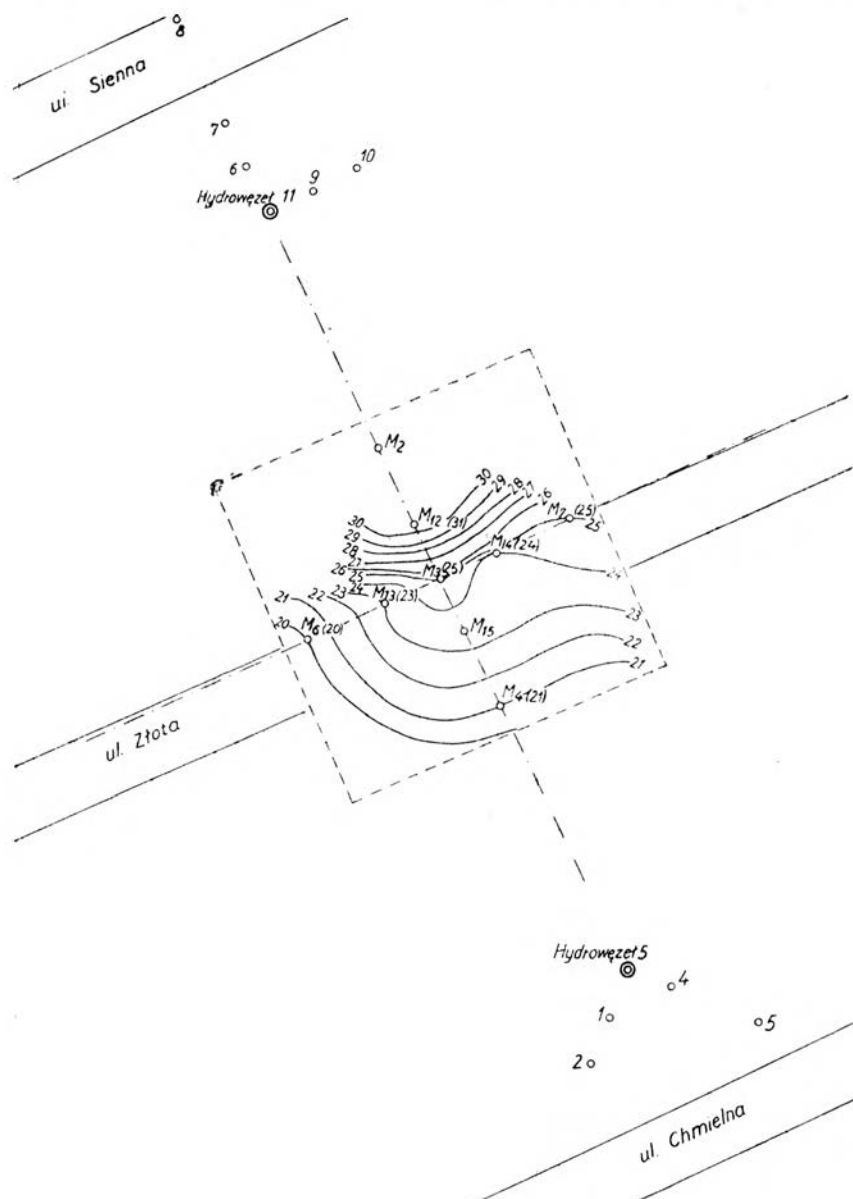
a) repery stałe założone przez G. I. N. B., bądź należące do miejskiej sieci niwelacyjnej, rys. 61,

b) repery wglębne na dnie projektowanego wykopu (rys. 59a).

Do nawiązania reperów wglębnych służyła sieć reperów stałych pokazana na rys. 63. Nawiązanie wykonywano bezpośrednio do reperów sta-

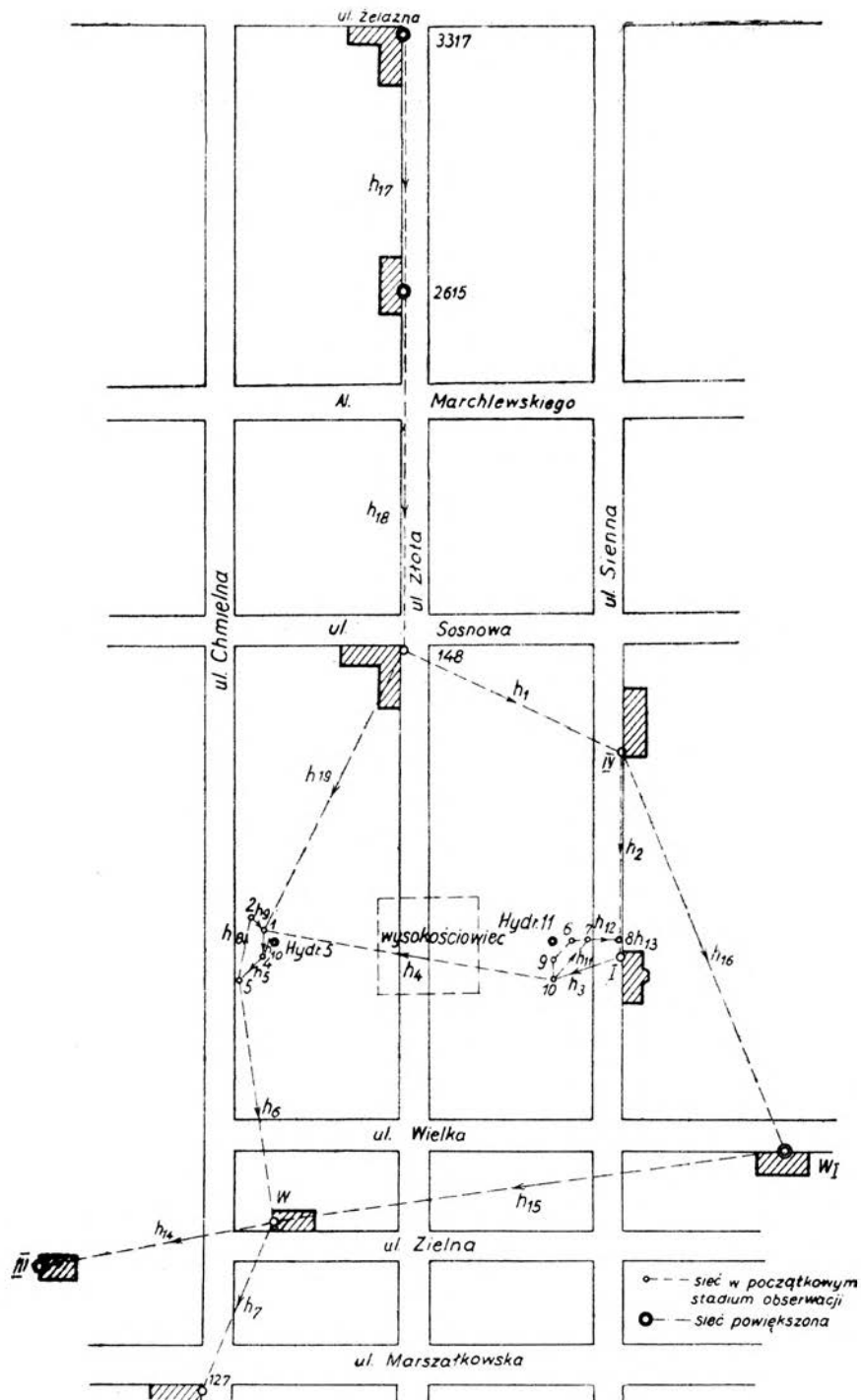
łych lub do najbliższych leżących reperów hydrowęzła, których wysokość była następnie określona.

Po zakończeniu niwelacji rury ochronne reperów wgłębnych były usuwane, aby nie utrudniały wykonywania wykopu sprzętem mechanicznym.



Rys. 62

W celu łatwiejszego odszukania reperu należało zamierzyć jego położenie. Wykonano to w ten sposób, że z wysokich balkonów wcięto poszczególne punkty.



Rys. 63

gólne rury wykorzystując następnie pomierzone kąty do odszukania reperów w wykonanym wykopie. Pomocniczym środkiem było wypełnienie rury ochronnej, bądź też przestrzeni między nią a rurą wiertniczą piaskiem o jasnym kolorze — przed ich wyciągnięciem. Na tle ciemnej gliny łatwo dawał się odszukać na dnie wykopu „słup“ piasku, u spodu którego tkwił poszukiwany reper.

Rozmieszczenie reperów wgłębnych, jak widać z załączonego szkicu rys. 62 umożliwia pomiar odprężenia gruntu w dwóch kierunkach prostopadłych. Na środku wykopu znaki są bardziej zagęszczone niż na jego skrajach, gdzie ruchy gruntu będą małe.

3. 3. Metoda pomiaru

Do pomiaru wyjściowego możemy przystąpić z chwilą zastabilizowania koniecznych reperów stałych (nawiązujących) oraz reperów wgłębnych, tj. po stwardnieniu betonu łączącego reper stały z murem lub wgłębnym z gruntem.

Dla reperów ściennych okres 2 dniowy przy dobrych warunkach atmosferycznych może być wystarczający, dla wgłębnych zaś około 5 dni. Dane te są orientacyjne szczególnie przy betonowaniu w gruncie, gdzie warunki wiązania mogą być utrudnione przez wodę, kwasy humusowe itp. W poszczególnych przypadkach należy to rozważyć i ew. zastosować odpowiedni rodzaj cementu, środki przyspieszające twardnienie itp.

Nad reperem wgłębnym (rurą wiertniczą) ustawiamy statyw z bloczkiem i poziomujemy jego głowicę przy pomocy libeli pudełkowej, po czym przy pomocy pionu zawieszonego na bloczku korygujemy jego ustawienie nad rurą. Należy tak manipulować statywem, żeby opuszczony pion zajmował centryczne położenie w stosunku do górnego otworu rury oraz żeby głowica statywu była spoziomowana.

Następnie przewieszamy przez bloczek taśmę, walec zaś opuszczamy wgłąb rury do styku z główką reperu wgłębnego. Do naciągu taśmy służy 5 kg przeciwwaga. Bardzo ważną rzeczą będzie uzyskanie kontaktu walca z główką reperu, co może być utrudnione przez wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia np. mułem, piaskiem itp.

W tym celu z dużą ostrożnością palcami jednej ręki podciągamy w górę cylinder na niewielką wysokość, obniżając drugą ręką przeciwwagę, po czym wprowadzamy taśmę w ruch w odwrotnym kierunku. Dotykając i słuchem staramy się wyczuć, czy nastąpiło metaliczne stuknięcie walca o główkę reperu. Po osiągnięciu styku pozostawiamy taśmę na 15 minut w celu przyjęcia temperatury otoczenia, którą mierzymy np. termometrem czerpakowym na poziomie główki reperu, na środku i u wylotu rury ochronnej reperu.

Sprawdzony niwelator ustawiamy w odległości 20 — 30 m i na wysokości osi celowej spoziomowanego niwelatora zakładamy na odpowiedni

decymetr taśmy podziałkę milimetrową. Powinna ona oprócz czopków posiadać sprężynkę, która dociskałaby ją do taśmy. Przy pomocy bębena (mikrometru) nastawiamy nitkę poziomą niwelatora na najbliższą półcentymetrową kreskę podziałki. W dzienniku polowym zapisujemy metry i decymetry taśmą, gdzie zamocowana jest podziałka, połówkę centymetra oraz odczyt z mikrometru. Następnie kierujemy lunetę niwelatora na odczyt wprzód na łąkę niwelacyjną, która stoi na reperze pomocniczym lub na podstawie i odczytujemy ją. Następnie prowadzimy pomiar do najbliższego reperu nawiązującego (stałego).

Pomiar powtarzamy w kierunku powrotnym, przy czym badamy powtórnie styk walca z główką reperu. Różnica między spadem pomierzonym w kierunku głównym i powrotnym nie powinna być większa od wielkości

$$d = \pm 2 m \sqrt{n},$$

gdzie n — ilość stanowisk,

m — średni błąd średniej różnicy wysokości na jednym stanowisku.

Przy długości celowej ok. 30 m wartość ta wyniesie około

$$d = \pm 2 \cdot 0.12 \sqrt{n}.$$

Jak widać z załączonej na str. 250 tabeli największa różnica między niwelacją w kierunku głównym i powrotnym między reperem 1 i M_{14} wynosi — 0.16, a wg podanego wzoru może wynieść w przybliżeniu:

$$d = \pm 2 \cdot 0.12 \sqrt{2} \cong \pm 0.3 \text{ mm}.$$

Szczegółowa analiza wielkości błędu średniego średniej różnicy wysokości m w zależności od długości celowej jest podana w punkcie 4. 4. W dzienniku polowym przy każdej obserwacji należy zanotować oprócz danych pomiarowych: datę, godzinę, temperaturę powietrza pomierzoną w trzech poziomach rury ochronnej reperu, warunki atmosferyczne (wiatr, słońce), warunki lokalne (natężenie ruchu na placu budowy, wstrząsy). Powyższe dane będą wykorzystane przy obliczaniu przesunięć reperów i przy ich interpretacji.

Po zakończeniu pomiaru oddano taśmę wraz z podziałką, cylindrem i obciążnikiem do komparacji, podając metry i decymetry zamocowania podziałki oraz numery kolejne tych kresek półcentymetrowych, na które naprowadzono oś celową niwelatora. Jest także potrzebna komparacja łąty (łat). Należy przy komparacji wyznaczyć współczynnik rozszerzalności termicznej taśmy. Rozpoczynając pracę nie mieliśmy urządzeń do pomiaru wysokości reperu wgłębnego, ani też określonej metody pomiaru. Pierwsze próby wykonano przy pomocy przymiaru o długości ok. 10 m.

z rur o średnicy 2" na końcach zasklepionych i wygładzonych tak, aby płaszczyzny podstaw były prostopadłe do osi przymiaru. Chcąc zaniwelować reper wgłębny należało zapuścić przymiar w rurę do styku z główką reperu. Dokładny styk uzyskiwało się przez delikatne ruchy pionowe przymiaru, który następnie pozostawiało się ok. 15 minut w celu wyrównania jego temperatury z temperaturą otoczenia. Tę ostatnią mierzono analogicznie jak przy zastosowaniu urządzenia z taśmą. Na górną płaszczyznę stawiało się krótką łatkę niwelacyjną. Sposób ten został zaniechany, gdyż posiadał cały szereg wad:

- a) niedokładne wyszlifowanie płaszczyzn styku przymiaru z reperem i łatką i problematyczna ich prostopadłość do jego osi podłużnej,
- b) znaczny ciężar przymiaru (ok. 50 kg) i długość (ok. 10 m) utrudniał posługiwanie się nim podczas niwelacji.

Ponadto łatwo ulegał wyboczeniu, przez co obniżała się dokładność wykonywanych prac.

- c) z racji długości i sztywności przymiaru nie można było go poddać komparacji w Głównym Urzędzie Miar ze względu na trudności transportowe.

Licząc się z powyższymi trudnościami rozpoczęto poszukiwania taśmy inwarowej oraz zaprojektowano uprzednio opisane urządzenie. Niestety mimo starań nie uzyskano taśmy inwarowej, w związku z czym zdecydowano się na użycie precyzyjnej taśmy stalowej, której współczynnik rozszerzalności wyznaczono w Głównym Urzędzie Miar (0,000012). Wspomniano o próbie rozwiązania zagadnienia przy pomocy wyżej opisanego przymiaru z myślą, że przy braku odpowiedniego urządzenia i mniejszej głębokości posadowienia reperów wgłębnych przymiar sztywny, szczególnie z lekkiego metalu mógłby być z pozytywnym wynikiem zastosowany.

3. 4. Metody obliczeń

Materiał pomiarowy otrzymany w polu, wynik komparacji, współczynnik rozszerzalności termicznej i temperatura w jakiej wykonana została komparacja, pozwala na obliczenie wysokości reperu wgłębego w stosunku do nawiązującego.

Poniżej podajemy 2 sposoby ujednolicenia odczytów wykonanych na różnych podziałkach (taśma z nakładaną podziałką mm i 1/2 cm łąta inwarowa Zeissa).

- a) Przeliczenie odczytów z taśmy z nałożoną podziałką milimetrową i łąty w dostosowaniu do podziału półcentymetrowego łąty Zeissa (obliczenie różnicy wysokości między reperem wgłębny i stałym).

L. p.	Obliczenia	
1	9 m 8 dcm 65 mm	odeczyt metrów, decymetrów z taśmy i półcentymetrów z podziałki
2	10297,3	długość taśmy w milimetrach z komparacji liczona od spodu walca do kreski 65 na podziałce przy temperaturze komparacji $+ 15^{\circ} \text{C}$
3	20594,6	podwojona długość taśmy
4	+ 0,82	podwojona poprawka termiczna (obliczenie dalej).
5	20	odeczyt z mikrometru (bębenka)
6	20595,62	podwojona długość taśmy z poprawkami
7	— 1202,30	odeczyt wprzód na łątę
8	19393,32	podwojona różnica między reperem wgłębnym a żabką
9	— 1539,65	różnica między żabką i reperem stałym
10	17853,67	podwojona różnica między reperem wgłębnym i stałym
11	8926,84	właściwa różnica w mm między reperem wgłębnym i stałym

- b) Przeliczenie można wykonać również w inny sposób, a mianowicie: przeliczenie odczytów z taśmy i łąty w dostosowaniu do podziału taśmy.

L. p.	Obliczenia	
1	9 m 8 dcm 65 mm	jak p. 1 poprzedniej tabeli
2	10297,3	jak p. 2 poprzedniej tabeli
3	+ 0,41	poprawka termiczna
4	10	połowa wartości odczytu mikrometru (bębenka)
5	10297,81	właściwa długość taśmy z poprawkami
6	— 601,15	połowa wartości odczytu łąty wprzód
7	9696,66	właściwa różnica między reperem wgłębnym a żabką
8	— 769,82	połowa różnicy między żabką i reperem stałym
9	8926,84	właściwa różnica wysokości w mm.

- c) Obliczenie poprawki termicznej.

Przy pracach polowych mierzono temperaturę na trzech poziomach rury ochronnej reperu wgłębnego: na dnie, w środku i u wylotu.

Przyrost długości można obliczyć dla każdego odcinka taśmy oddzielnie przez pomnożenie długości taśmy L w metrach (odległości między położeniami termometru) przez współczynnik rozszerzalności liniowej α i przyrost temperatury w stopniach w stosunku do temperatury komparacji.

$$\lambda = \alpha \cdot \Delta t \cdot L \quad \text{gdzie } t - \text{średnia temperatura z dwóch położen termometru na krańcach rozpatrywanego odcinka np. dno rury i jej środek}$$

$$\Delta t = t - T \quad T - \text{temperatura komparacji}$$

W podanym powyżej przykładzie temperatura na dnie rury (głębokość 10 m) wynosiła $+17^{\circ}\text{C}$, na środku $+18^{\circ}\text{C}$ i u wylotu $+20^{\circ}$, zaś temperatura komparacji wynosiła $+15^{\circ}\text{C}$. Stąd wydłużenie odcinka:

$$\begin{aligned} \text{dno} - \text{środek rury} & \quad \lambda_1 = 0.000012 \times 2.5 \times 5000 = 0.15 \text{ mm}, \\ \text{środek} - \text{wylot rury} & \quad \lambda_2 = 0.000012 \times 4.0 \times 5000 = 0.24 \text{ mm}, \\ \text{wylot rury} - \text{podziałka} & \quad \lambda_3 = 0.000012 \times 5.0 \times 300 = 0.02 \text{ mm}, \end{aligned}$$

Wydłużenie całkowite taśmy $\lambda_c = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = +0.41 \text{ mm}$. Mając obliczoną różnicę wysokości między reperem stałym i wgłębnym w dalszej kolejności liczymy jego rzędną. Należy pamiętać, że repery uważane za stałe powinny być w tym czasie sprawdzone, a ich rzędne uaktualnione. W naszym przypadku dowiązywaliśmy repery wgłębne do najbliższych leżących reperów do badań hydrogeologicznych tzw. hydrowęzła, które z kolei dowiązano do sieci reperów stałych, położonych poza zasięgiem wpływów badań i prac budowlanych i łącznie wyrównano. Poniższa tabela zawiera zestawione różnice wysokości między reperami stałymi i wgłębnymi uzyskane na podstawie podwójnego pomiaru w kierunku głównym i powrotnym. Różnice między nimi dają pogląd na otrzymywane dokładności.

Jak wynika z tabeli 1 maksymalna różnica między obserwacją w kierunku głównym i powrotnym wynosi $\pm 0.16 \text{ mm}$, przy dwóch stanowiskach niwelatora. Ogólnie biorąc można powiedzieć, że dokładność odczytów osiągnięta przy pomocy taśmy jest nie gorsza niż przy stosowaniu samych łań, gdzie dopuszczalne różnice między poszczególnymi obserwacjami wynoszą (patrz p. 4. 4)

$$d_{III} = h_I - h_{II} = \pm 2m \sqrt{n}$$

Przyjmując $m = 0.10 \div 0.15 \text{ mm}$, n — ilość stanowisk,

otrzymamy przy dwóch stanowiskach:

$$d = \pm 2(0.10 \div 0.15) \sqrt{2} \cong \pm (0.3 \div 0.4) \text{ mm}.$$

Pomiar wyjściowy reperów wgłębnych trwa kilka dni od 10. V. — 19. V. 52, gdyż były one stopniowo wykonywane, natomiast pomiar reperów hydrowęzła, do których nawiązano część reperów wgłębnych wyko-

Tabela Nr 1

Nr reper.	Ilość stan. n	Różnica wysokości		$d =$ $h_I - h_{II}$	Różnica średnia	Rzędne w milimetr.	Uwagi
		h_I	h_{II}				
10 M_7	2	— 8926.84	— 8926.81	— 0.03	— 8926.82	35 500.80 26 573.98	Pomiar z dn. 10. V. 52 r.
1 M_{14}	2	— 8426.80	— 8426.64	— 0.16	— 8426.72	34 962.52 26 535.80	z dn. 15. V. 52 r.
10 M_3	2	— 8854.33	— 8854.40	— 0.07	— 8854.36	35 500.80 26 646.14	z dn. 10. V. 52 r.
1 M_{15}	2	— 7908.71	— 7908.56	— 0.15	— 7908.64	34 962.10 27 053.46	z dn. 19. V. 52 r.
1 M_4	2	— 8373.85	— 8373.98	+ 0.13	— 8373.92	34 962.85 26 588.93	z dn. 12. V. 52 r.
148 M_6	4	— 10128.82	— 10128.72	— 0.10	— 10128.77	36 871.70 26 742.93	z dn. 13. V. 52 r.
1 M_{13}	2	— 8312.02	— 8312.12	+ 0.10	— 8313.07	34 962.52 26 650.45	z dn. 15. V. 52 r.
1 M_{12}	2	— 7887.32	— 7887.38	+ 0.06	— 7887.35	34 962.52 27 075.17	z dn. 15. V. 52 r.

nano dn. 10. V. i 20. V. 52 r. Po obliczeniu okazało się, że w ciągu tego okresu repery te uległy przesunięciu i tak np. rzędna

$$H_{10} = 35.500.80 \text{ w dn. 10. V. 52}$$

$$H_1 = 34.963.06 \text{ mm}$$

$$H_{10} = 35.500.60 \text{ w dn. 20. V. 52}$$

$$H_1 = 34.961.99 \text{ mm}$$

$$\Delta H_{10} = -0.20 \text{ mm}$$

$$\Delta H_1 = -1.07 \text{ mm w ciągu 10 dni.}$$

Różnicę tą interpolowano liniowo na poszczególne daty obserwacji reperów wgłębnych i wprowadzono poprawkę do rzędnej. Postępowanie takie nie jest słuszne, ale wykonanie częstszych obserwacji uniemożliwił brak czasu. Następnym etapem pracy było nawiązanie odkrytych reperów wgłębnych przy pomocy niwelacji precyzyjnej do reperów stałych (przy użyciu jednej łaty).

Poniższa tabela ilustruje przesunięcia reperów wgłębnych.

Tabela Nr 2

Nr pomiaru	Nr reperu	Pomiar z dn. 4. VI	Pomiar z dn. 9. VI	Pomiar z dn. 11. VI	Uwagi
II I	M_7	26 595.88 26 573.98	niedostępny	26 598.60 26 573.98	Pomiar II po wykonaniu wykopu
II I	M_{11}	+ 21.90 26 556.23 26 535.80	26 559.35 26 535.80	+ 24.62 26 559.89 26 535.80	Pomiar I przed wykonaniem wykopu
II I	M_3	+ 20.43 26 666.02 26 646.44	+ 23.55 26 670.25 26 646.44	+ 24.09 26 671.40 26 646.44	Znak plus oznacza ruch reperu w górę pod wpływem odprężenia gruntu w mm.
II I	M_{13}	+ 19.58 nieodkryty	+ 23.81 26 672.44 26 650.45	+ 24.96 26 673.42 26 650.45	
II I	M_6	nieodkryty	+ 21.99 26 762.18 26 742.93	+ 22.97 26 762.84 26 742.93	
II I	M_{12}	nieodkryty	+ 19.25 nieodkryty	+ 19.91 27 105.99 27 075.17	
II I	M_{15}	27 071.70 27 053.44	27 075.33 27 053.46	+ 30.82 przewrócony	
II I	M_1	+ 18.24 nieodkryty	+ 21.87 26 609.82 26 588.93	26 610.15 26 588.93	
			+ 20.89	+ 21.22	

Przedstawione rzędne i przesunięcia w milimetrach z dwoma znakami po przecięciu (setne milimetra) mogłyby sugerować, że dokładność określenia ich jest tego rzędu. W rzeczywistości tak nie jest, a dwa znaki po przecinku zachowano z obliczeń. Przy przekazywaniu wyników podaje się je z jednym znakiem po przecinku (dziesiątne mm) lub w milimetrach. Jak wyniknie z analizy dokładności przesunięć będzie rzędu około 1 mm. Dokładność określenia przesunięcia zależy od szeregu czynników i błędów [11].

a) Błąd określenia rzędnej reperu stałego w czasie dowiązywania do niego reperu wgłębnego. Można go obliczyć przy wyrównaniu sieci niwelacyjnej. W naszym przypadku największym błędem wynoszącym ok. ± 0.2 mm był obarczony reper nawiażujący Nr 1 hydrowężła. Jeżeli dowiązujemy do tego samego reperu faktycznie stałego reper wgłębny przed i po wykonaniu wykopu, błąd rzędnej reperu stałego przyjmuje się za równy zero.

Odcinek DE, z którego obliczyliśmy β jest wartością założoną, gdyż kąt α — pochylenia rury nie został z przyczyn omawianych we wnioskach (patrz str. 254) pomierzony. Jak wynika z obliczeń wpływ nachylenia rury jest znaczny i dlatego należy go uwzględnić.

c) *Mimośród osi cylindra w stosunku do najwyższego punktu reperu wgłębnego.* Średnica walca służącego wraz z taśmą jest mniejsza o około 4 mm od średnicy rury ochronnej i w związku z tym punkt styczności walca K może być przesunięty w stosunku do punktu E — środka jego podstawy. Będzie to wpływać na wielkość wyznaczonej głębokości reperu w wypadku pochylenia rury ochronnej. Jeżeli punkt K leży wyżej od punktu E rys. 64b, poprawkę p_2 należy odjąć od wielkości pomierzonej. Wartość ta wyniesie:

$$p_2 = KM + PN = e \sin \alpha + r (1 - \cos \alpha)$$

po przekształceniu:

$$p_2 = \frac{e\alpha'}{3438} + r \frac{\alpha'^2}{2 \cdot 3438^2} \cong \frac{e\alpha'}{3438}$$

Przy pracach na terenie P.K. i N. wartość e wynosiła około 5 mm w przypadku, gdy główka reperu była centrycznie osadzona w stosunku do rury ochronnej. Maksymalna wielkość e może wynosić około 20 mm. Promień główki reperu $r=25$ mm. Przy założeniu kąta $\alpha=34'$ (jak uprzednio) $p_2 \cong 0.20$ mm. W przypadku gdy punkt K leży poniżej punktu E rys. 64c wartość poprawki

$$p_2 = EN - PQ = \frac{e\alpha'}{3438} - r \frac{\alpha'^2}{2 \cdot 3438^2} \cong \frac{e\alpha'}{3438} \cong 0.20 \text{ mm}$$

należy dodać.

Natomiast gdy punkt K pokrywa się z punktem E rys. 64d, $e = 0$

$$p_1 = r \frac{\alpha'^2}{2 \cdot 3438^2} \cong 0.001 \text{ mm}$$

wartość ta nie ma znaczenia praktycznego.

d) *Zanieczyszczenie główki reperu.* Główka reperu może być zanieczyszczona mulem i piaskiem, które przenikną do rury przez uszczelkę. Wpływ ten trudno ująć cyfrowo, lecz będzie on występował ze znakiem plus, przez co znosiłby częściowo błąd wynikający z pochylenia rury na wynik pomiaru. Staramy się go wyeliminować przez uzyskanie dobrego styku walca z główką reperu (patrz p. 3. 3).

e) *Nacisk i ruch maszyn w wykopie.* Ustalenie wpływu pracy maszyn na wynik pomiaru jest bardzo trudne, gdyż oprócz obciążenia statycznego występuje zmienne obciążenie dynamiczne gruntu. Wpływ ten jest zmniejszony ze względu na to, że reper jest osadzony o kilkadziesiąt cm poniżej dna wykopu. Przy pomiarze starano się wykonywać odczyty na reperach wtedy, gdy w pobliżu nie pracowały maszyny.

f) *Błąd komparacji.* Taśma z walcem nie jest dostosowana do normalnych urządzeń komparacyjnych, a komparację przeprowadza się w innych warunkach niż pomiar. Z tego względu błąd komparacji jest dość duży i wynosi około ± 0.25 mm. W stosunku do tej wielkości błąd komparacji łąty nie ma praktycznego znaczenia.

g) *Błąd niwelacji.* Błąd z jakim określić możemy przesunięcie reperu zależy od rodzaju sprzętu jakim dokonujemy pomiar, warunków, oraz od ilości stanowisk od reperu nawiązującego. Orientacyjna wartość średniego błędu przesunięcia (dokładniejszą otrzymamy po wyrównaniu sieci) wynosi: $m_p = \pm m \sqrt{2n}$ gdzie m — średni błąd średniej różnicy wysokości, n — ilość stanowisk.

Przy pracach na P.K. i N. można wartość m przyjąć równą około ± 0.10 — 0.15 mm, co przy ilości 4 stanowisk najczęściej stosowanych da:

$$m_p = \pm 0.1 \sqrt{2 \cdot 4} \approx \pm 0.28 \text{ mm.}$$

h) *Sumaryczny błąd wyznaczenia przesunięcia reperu wglębnego.* Błąd omawiany w punkcie b ma charakter systematyczny i może być wyeliminowany. Natomiast błędy wymienione w punkcie c raczej należy uznać za przypadkowe, szczególnie przy małym kącie odchylenia rury od pionu, gdyż środek walca może zająć dowolne położenie w stosunku do najwyższego punktu główki reperu. Duża głębokość posadowienia znaków umożliwia nam prawie ustawienie walca w sposób z góry założony oraz pomiar mimośrodów e . Łączny wpływ błędów przypadkowych omawianych w punktach c, f, g, wyniesie:

$$m = \pm \sqrt{0.20^2 + 0.25^2 + 0.28^2} = \pm 0.43 \text{ mm.}$$

W wypadku dowiązania reperu wglębnego do stałego, którego rzędna określona jest z pewnym błędem np. ± 0.20 mm, błąd przypadkowy przesunięcia wyniesie:

$$m = \pm \sqrt{0.20^2 + 0.20^2 + 0.25^2 + 0.28^2} = \pm 0.47 \text{ mm.}$$

Wielkości błędów omówionych w punkcie d i e nie dadzą się dokładnie ustalić i dlatego w czasie pomiaru należy ściśle przestrzegać warunków, które sprowadzają je do niewielkich wartości lub do zera. Z powyższych rozważań wynika, że po wyeliminowaniu błędu systematycznego i zwróceniu szczególnej uwagi na wpływy omawiane w punkcie d, e średni błąd wyznaczenia przesunięcia nie powinien przekroczyć wielkości ± 1 mm. Jednak brak większej ilości materiałów doświadczalnych nie pozwala na zupełnie ściśle jego wyznaczenie.

3. 5 Wnioski

1. Obserwacje

Pomiar wyjściowy wysokości reperów wglębnych musieliśmy wykonać w możliwie krótkim czasie, gdyż rury ochronne reperów przeszkadzały w rozpoczęciu wykopu pod część wysokościową Pałacu. Z tego też względu

nie można było uwzględnić przy pomiarze wszystkich czynników, które ujawniły się w trakcie analizowania wyników. Do nich należy pochylenie rury ochronnej reperu, które ma duże znaczenie przy dokładnym wyznaczeniu jego wysokości.

Kąt odchylenia rury od pionu można pomierzyć dość prostymi sposobami, które jednak nie zostały wypróbowane w praktyce przez autora niniejszej pracy. (Należy zaznaczyć, że błąd wynikający z tego powodu rośnie proporcjonalnie do kwadratu kąta pochylenia, w związku z tym przy większych kątach należy skrupulatniej go mierzyć).

a. W przypadku wystawiania dość długiego odcinka rury nad terenem (np. 1 m) dzielimy jej obwód na szereg części (np. 8) i w punktach tych do zewnętrznej krawędzi przytykamy nić ze zwisającym pionem, mierząc od niego po prostopadłej w kilku miejscach odległość rury. Przechodząc kolejno po poszczególnych punktach podziału na obwodzie znajdziemy miejsce maksymalnego wychylenia rury, w którym odległości należy pomierzyć skrupulatnie i kilkakrotnie. Kąt pochylenia rury obliczamy ze wzoru $\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}$, lub przy małych kątach $\alpha'' \cong \frac{a}{b} \rho''$ gdzie a i b — przyprostokątne utworzonego trójkąta. Jeżeli część rury dostępna do pomiaru jest krótka, należy ją przedłużyć prostym prętem, liniałem itp., a dalej postępować jak w poprzednim przypadku.

b. Nad rurą ustawiamy trójnog lub inne urządzenie, na którym zawieszamy pion oraz walec o średnicy 2 — 4 mm mniejszej od średnicy rury. Punkt zawieszenia winien leżeć na przedłużeniu pionu wyprowadzonego ze środka przekroju rury u wylotu (środek znajdziemy np. przez skrzyżowanie 2 nitki). W tym przypadku kąt wychylenia rury od pionu pomierzmy drogą pomiarów liniowych rys. 59b. W tym celu wpuszczamy walec w rurę do punktu D i mierzymy odległość EB i AB . Powtarzamy to kilkakrotnie na różnych poziomach położenia walca w rurze.

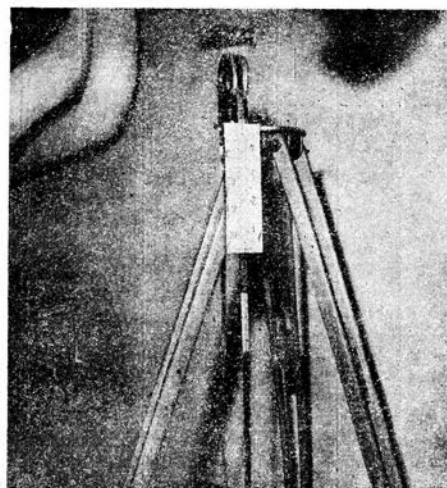
Z zależności $\operatorname{tg} \alpha = \frac{EB}{AB}$ obliczamy kąt β , kąt $\alpha \cong \frac{AD}{AB} \cdot \beta$.

Pomiar kąta α można wykonać sposobem bezpośrednim przy pomocy poziomiczy uchyłnej z kątownikiem (rys. 65) zaopatrzonej w libelę lub przyrządu o innej konstrukcji, w którym podstawową częścią będzie libela. Pomiar wysokości reperów wgłębnych można trochę usprawnić przez zastosowanie zamiast 10 cm podziałki milimetrowej zawieszanej na taśmie iatki niwelacyjnej o długości około 20 cm i podziale analogicznym jak przy łacie inwarowej używanej do pomiaru (rys. 66). Praca przy pomocy podziałki była utrudniona ze względu na jej niewielką długość — 1 dcm, przez co trudno było ustawić niwelator tak, by jego celowa trafiała na podziałkę. Powodowało to często konieczność zmiany położenia podziałki, a w konsekwencji zwiększenia ilości pracy przy komparacji taśmy. Drugą wadą stosowania podziałki był pojedynczy, niewyraźny podział, utrudniający

dokładne nastawienie osi celowej niwelatora. Przez zawieszenie łątki znikną powyższe trudności i będzie można zwiększyć dokładność pomiaru.



Rys. 65



Rys. 66

Podział łątki wykonanej w Głównym Urzędzie Miar użytej przy pomiarach odkształceń konstrukcji P.K. i N. jest analogiczny jak w łacie precyzyjnej Zeissa, z tym, że opis kresek rozpoczyna się od 1 a kończy na 4 na podziale głównym i od 60 a kończy na 63 na podziale kontrolnym (długość łątki ponad 20 cm) rys. 66.

Dokładność nacięcia kresek jest rzędu ± 0.02 mm i dlatego przy komparacji sprawdza się długość od spodu walca do kresek opisanych liczbami 1, 4, 60, 63, a nie do poszczególnych, na które naprowadzono oś celową niwelatora.

Obliczenie różnic wysokości między reperem wgłębnym i stałym przebiegałoby następująco:

L. p.	Obliczenia	
1	9 m 8 ÷ 10 dcm	oznaczenie zawieszenia łątki na 98 — 100 dcm taśmy;
2	20516.64	podwójna długość z komparacji od spodu walca do cyfry 1 łątki;
3	78.2	odczyt z łątki zmniejszonej o 1 dcm (właściwy 178.2) i mikrometru;
4	+ 0.82	podwójna poprawka termiczna;
5	20595.66	podwójna długość taśmy (dostosowana do podziału łątki);
6	— 1202.30	odczyt wprzód na łątkę;

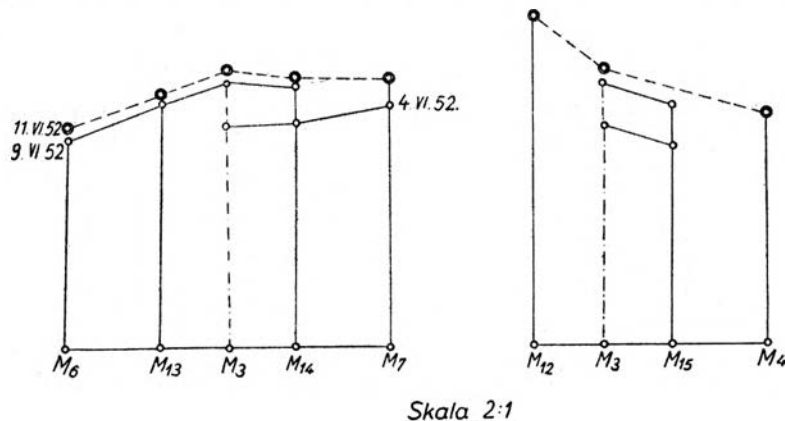
L. p.	Obliczenia	
7	19395.36	podwójna różnica między reperem wgłębnym i żabką;
8	— 1539.65	podwójna różnica wysokości między żabką i reperem stałym;
9	17853.71	podwójna różnica wysokości między reperem wgłębnym i stałym;
10	8926.86	właściwa różnica wysokości między reperem wgłębnym i stałym.

Analogicznie przeprowadzamy obliczenia dla drugiego (kontrolnego) odczytu na łatce, biorąc z komparacji długość od spodu walca do kreski oznaczonej liczbą 60. Średnia różnica wysokości z obliczeń posłuży do wyznaczenia rzędnej. Podobnie jak w punkcie 3. 4b można liczyć i w tym przypadku, biorąc połowy odczytów z łąty i łatki, a właściwą długość taśmy. Z obliczonych różnic wysokości między reperami stałymi i wgłębnymi oblicza się rzędne reperów wgłębnych. Różnica rzędnych otrzymanych z obserwacji przed i po wykonaniu wykopu daje przesunięcia czyli ruch gruntu, w którym repery wgłębne były zastabilizowane.

Nr rep.	dn. 4. VI. 52. w m m	dn. 9. VI. 52. w m m	dn. 11. VI. 52. w m m	U w a g i
M_7	+ 22	—	+ 25	odkryty dn. 4. VI. 52.
M_{14}	+ 20	+ 24	+ 24	"
M_3	+ 20	+ 24	+ 25	"
M_{13}	—	+ 22	+ 23	
M_6	—	+ 19	+ 20	
M_2	—	—	—	nieodkopyj
M_{12}	—	—	+ 31	
M_{15}	+ 18	+ 22	—	odkryty 4. VI. 52. przewrócony 11. VI. 52
M_1	—	+ 21	+ 21	

Dotychczas nie podaliśmy sposobu graficznego przedstawienia wyników. Można to wykonać dwiema drogami. Jedną to naniesienie wielkości przesunięcia reperów (odprężenie gruntu) na poszczególnych przekrojach

jest pokazana na rys. 67, druga zaś, to przedstawienie na rzucie poziomym wykopu rozmieszczenia reperów wgłębnych wraz z danymi liczbowymi ich przesunięć, oraz wyinterpolowanie między nimi warstwic rys. 62. Na-



Rys. 67

leży zaznaczyć z naciskiem, że warstwiec te są przedstawione jedynie dla zilustrowania sposobu, gdyż ze względu na zbyt małą ilość reperów nie obrazują one dokładnie ruchu dna wykopu.

4. Prace geodezyjne przy badaniu odkształceń gruntu (w płaszczyźnie pionowej) pod wpływem pompowania wody

Celem prac geodezyjnych było systematyczne obserwowanie pionowych ruchów gruntu pod wpływem odpompowywania wody. Wobec przewidywanego dość długiego okresu obserwacji, przy różnych temperaturach (w zimie) należało użyć odpowiednich typów znaków pomiarowych, instrumentów i urządzeń.

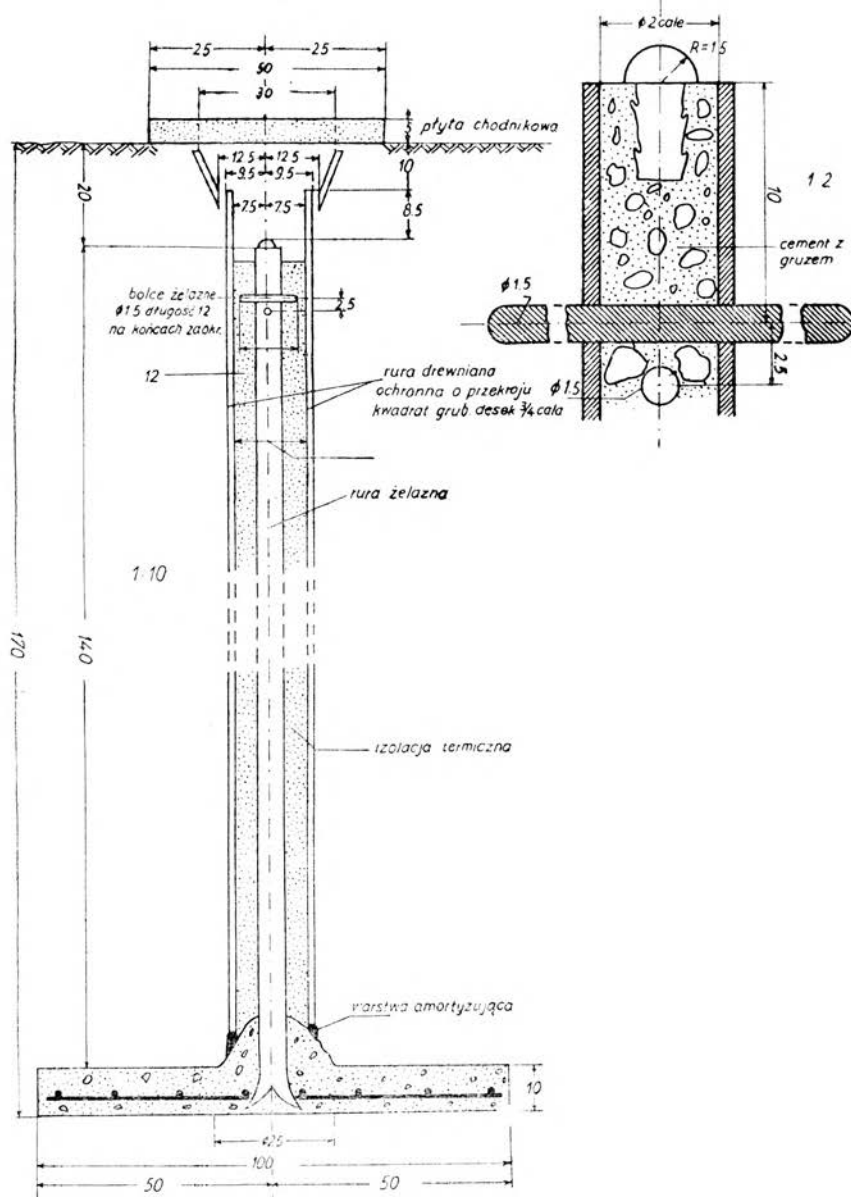
3. 1 Instrumenty i urządzenia

Do pomiaru użyto:

- a) niwelator precyzyjny f-my Zeiss (ten sam, który zastosowano do prac opisanych w poprzednim rozdziale),
- b) łatę inwarową.
- c) repery do badania pionowych ruchów gruntu rys. 68,
- d) repery ściennie rys. 60, 60a, 61,
- f) żabki,
- g) parasol mierniczy,
- h) termometr.

Instrumenty i urządzenia wymienione w p. a, b, d, f, g, h, są powszechnie znane lub opisane w poprzednich rozdziałach. Objasnienia wymagają natomiast repery zastosowane do wyznaczenia pionowych ruchów grun-

tu, zwane potocznie „reperami hydrowęzła“. Na rys. 68 przedstawiono taki reper w dwóch rzutach. Projekt jego został opracowany w Zakładzie Pomiarów Odkształceń G.I.N.B. Zadaniem znaku było przekazywanie pio-



Rys. 68

nowych ruchów górnej warstwy gruntu i dlatego reper ten został oparty o grunt za pośrednictwem szerokiej podstawy (płyty) o wymiarach jak na rys. 68 zbrojonej krzyżowo kilkoma prętami.

W płycie sztywno zamocowano metalową rurę, na wierzchu której zabetonowano nierdzewną główkę metalową służącą do ustawienia łąty (patrz szczegól rys. 68). W celu uniknięcia wpływu gruntu leżącego nad płytą odizolowano rurę reperu drewnianą skrzynką o przekroju kwadratowym lekko opartą o płytę. Badanie miało być wykonywane również w zimie i dlatego płytę reperu należało posadowić poniżej poziomu zamarzania gruntu, przez co eliminowało się wpływ na reper ewentualnych ruchów gruntu pod wpływem mrozu. Przyjęto głębokość 1.7 m jako dostateczną do posadowienia podstawy znaku w naszych warunkach klimatycznych. Od góry reper przykrywano płytą chodnikową, chroniącą go od zniszczenia, zamulenia itp.

4. 2. Rozmieszczenie znaków geodezyjnych

Rozmieszczenie reperów do badania ruchów gruntu pokazano na rys. 63. Repery te w ilości 9 sztuk (początkowo projektowano kilkadziesiąt) założono w otoczeniu dwóch punktów pompowania wody zwanych hydrowęzłami o nr 5 i 11 w miejscach ustalonych przez Kierownictwo Badań Hydrogeologicznych. Oprócz powyższych, konieczna była sieć reperów stałych, do których dowiązywano niwelacyjnie repery hydrowęzła. Część reperów stałych o nr I, III, IV, II założona została przez GINB o konstrukcji jak na rys. 60 i 60a. Znak ten zaopatrzony jest w czopek nierdzewny oraz pokrywę ochronną. Reszta należała do miejskiej sieci niwelacyjnej, częściowo do niwelacji precyzyjnej, częściowo technicznej.

Przy wyznaczaniu przesunięć nie jest potrzebna znajomość rzędnych reperów, więc jest obojętne do jakiego rzędu sieci należą poszczególne repery. Konieczne jest natomiast takie ich wykonanie, by zapewniało jednoznaczne ustawienie łąty przy każdym pomiarze. Jednak związanie siatki lokalnej z siecią niwelacji miejskiej dawało tę korzyść, że przy zwiększaniu strefy zasięgu deformacji gruntu i ewentualnym naruszeniu stałości najbliższych reperów nawiązujących, można było włączyć w miarę potrzeby do sieci lokalnej repery miejskie, traktując różnice rzędnych jako wyniki pomiaru wyjściowego. Nie było to ściśle, lecz warunki lokalne (rozbiórka domów) nie pozwoliły na założenie jednolitej sieci niwelacyjnej. Po za tym w początkowym okresie nie zostały jeszcze wykonane repery głębinowe, które miały być podstawą do wszystkich prac niwelacyjnych. Dość duży obszar obiektu oraz prawdopodobieństwo zniszczenia części reperów przez rozbiórkę domów, na których były osadzone, lub zmiany ich wysokości zmuszały do założenia sieci o większej ilości reperów i kształcie dość wydłużonym.

Przy rozmieszczeniu reperów kierowano się w granicach możliwości następującymi zasadami:

a) Reperów nie należy osadzać zbyt blisko siebie, lecz w odległości około 100 m i więcej na możliwie pewnych śtarych budowlach.

b) Odległości reperów ruchomych (hydrowęzła) od stałych nie powinny być zbyt małe, gdyż zabiegi hydrogeologiczne mogą spowodować ich jednakowe przesunięcia. Nie mogą być też zbyt duże, aby błędy przypadkowe pomiaru nie obniżyły zbyt mało dokładności wyznaczenia przesunięć reperów hydrowęzła, która zależy w znacznej mierze od tej długości. Praktycznie najkorzystniejszą wydaje się odległość 50 — 200 m tj. 1 — 3 stanowisk niwelatora.

c) Repery stałe i hydrowęzła powinny być mniej więcej w tym samym poziomie, a to w celu wyeliminowania wpływu błędów łaty na wyniki, oraz celowania w zbliżonych ośrodkach optycznych na poszczególnych stanowiskach.

4. 3. Metody pomiaru

Pomiar niwelacyjny reperów stałych oraz hydrowęzła wykonywano przy pomocy niwelacji precyzyjnej, lecz różniące się od normalnej tym, że odczytywano tylko jedną łatę, stosowano krótsze celowe ze względu na warunki lokalne budowy, oraz nie zawsze niwelowano ze środka, przez co nie zachowuje się warunków niezmienności ogniskowania lunety.

Niwelacja na jedną łatę ma przy badaniach odkształceń więcej zalet niż niwelacja na dwie łaty, co da się uzasadnić po rozpatrzeniu wpływu błędów instrumentów i pomiaru, a mianowicie:

1. Wpływ błędów łat

- a) błąd zera łaty wynikający z niewłaściwego zorientowania podziału taśmy inwarowej względnie dolnej płaszczyzny stopki,
- b) przypadkowe błędy naniesienia kresek na taśmie,
- c) niewłaściwa długość taśmy, powodująca, że 1 metr łaty równa się $(1 + \lambda)$ metra normalnego,
- d) zmiany długości taśmy, powodujące zmianę współczynnika.

ad. a) Wpływ błędów zer łat eliminuje się, jeśli przy określeniu różnicy wysokości między dwoma reperami ustawiamy na nich tę samą łatę. Można to osiągnąć przez stosowanie parzystej ilości stanowisk między reperami przy użyciu dwóch łat, lub przez użycie jednej łaty. Ostatni sposób jest bardziej uzasadniony, a że odległości między reperami mogą być niewielkie, więc rozbijanie ich na dwa stanowiska byłoby niecelowe. Poza tym, wskutek wstrząsów przy pracy i transporcie w łatach inwarowych mogą zachodzić poważne zmiany długości i w każdej łacie inne. Przy niezachowaniu warunku parzystej ilości stanowisk między reperami mogłyby one powodować dość duże błędy, dla uniknięcia których należałoby poddawać łaty częstej komparacji. Obserwacja przy pomocy jednej łaty będzie wprawdzie przedłużać czas jej wykonania, lecz bardzo niewiele, ponieważ odległości przy pomiarach odkształceń są z reguły znacznie krótsze, niż w niwelacji normalnej.

ad. b) Przy obecnej technice błąd ten jest minimalny i mieści się w granicach błędów przypadkowych obserwacji.

ad. c) i d) Szczegółowe wyprowadzenie wzorów znajduje się w pracy T. Lazzariniego „Geodezyjne Pomiary Odkształceń“ (Prace Geodezyjnego Instytutu Naukowo-Badawczego Nr. 12) [9] § 19 skąd zaczerpnięto także dane omówione w punkt. a i b.

Przy użyciu jednej łąty oraz zachowaniu warunków, aby wszystkie repery sieci leżały w przybliżeniu w poziomie, można zrezygnować z komparacji łąty i z wprowadzenia poprawek, pod warunkiem ochrony łąty przed wstrząsami. W przypadku bardzo trudnych przeszkód terenowych, które narażałyby łątę na uderzenie, należałoby łątę komparować przed rozpoczęciem pracy i po jej zakończeniu. Wynika stąd potrzeba przechowywania łąty w pobliżu obiektu by uniknąć transportowania jej w niekorzystnych warunkach. Stanowiska przejściowe między reperami mogą odbiegać od poziomu tych ostatnich. Zachodzi konieczność zmiany wypróbowanego programu odczytów na dwie łąty [9] i w przypadku zastosowania jednej łąty program ten przedstawiałby się następująco:

Pierwszy pomiar:

- a) łąta wstecz
 - 1. odczyt opisu podziałek głównej i dodatkowej (kontrolnej),
 - 2. libela do poziomu, nitka na podziałkę dodatkową, odczyt z bębena, kontrola libeli,
 - 3. libela do poziomu, nitka na podziałkę główną, odczyt z bębena, kontrola libeli,
- b) przeniesienie łąty,
- c) łąta w przód
 - 1. libela do poziomu, nitka na podziałkę główną, odczyt z bębena, kontrola libeli,
 - 2. libela do poziomu, nitka na podziałkę dodatkową, odczyt z bębena, kontrola libeli,
 - 3. odczyt opisu podziałki głównej i dodatkowej.

Drugi pomiar:

Zmiana wysokości niwelatora i powtórzenie postępowania w odwrotnym porządku, tj. w przód — wstecz.

W identyczny sposób należało wykonać podwójny pomiar na stanowisku idąc z niwelacją w kierunku powrotnym. Przy pracy na terenie P.K. i N. nie zmieniano horyzontu niwelatora na stanowisku ze względu na zbyt silny ruch oraz dużą ilość reperów, które należało zaniwelować w ograniczonym czasie. Z pomiarem przechodzono od reperu do reperu i z powrotem, odczytując podział główny i pomocniczy na każdym stanowi-

sku łąty. Po przeanalizowaniu danych teoretycznych i praktycznych, naksuwają się wnioski jakie należy uwzględnić przy wykonaniu pomiaru.

Niwelator powinien być w pierwszorzędnym stanie, gdyż pożądane byłoby, aby służył przez cały czas pracy na danym obiekcie. Przed rozpoczęciem pomiaru należy go sprawdzić w dobrym zakładzie justerskim, zaś podczas pracy kontrolować codziennie równoległość osi libeli do osi celowej i w miarę potrzeby rektyfikować. Należy to zrobić, gdy różnica wysokości określona ze środka i wprzód przekroczy wartość błędu samego pomiaru zwiększonego o pewną wartość dodatkową k tj.

$$d = 2m + k$$

Przy rektyfikacji długość celowej w przód jest z reguły znacznie większa niż przy pomiarze i w związku z tym wartość k powstała z niezupełnie idealnego sprowadzenia osi libeli do równoległości z osią celową, może nie wpłynąć na dokładność pomiaru. Przy pracach na terenie P. K. i N. stosunek długości celowej w przód przy rektyfikacji i pomiarze wynosił 2 : 1, a wartość k przyjęto równą dwóm działkom podziału mikrometru. Dla powyższych warunków $d = 0.4$ mm. Częste sprawdzanie niwelatora jest uzasadnione tym, że nie zawsze możemy wykonać pomiar ze środka, który byłby najwłaściwszy.

Poza tym konieczne jest przestrzeganie następujących warunków:

1. Sprawdzenie przed przystąpieniem do pracy pionowości łąty w dwóch kierunkach oraz zapisanie w dzienniku polowym jej numeru, żeby była wykluczona zamiana na inną. W przypadku stwierdzenia niepionowości łąty, należy zrektfikować jej libelę.

2. Używanie do pomiaru ciężkich żabek lub klinów wbitych na stałe w ziemię, jeśli to umożliwią warunki terenowe.

3. Dążenie do ustawienia niwelatora i żabek w czasie kolejnych obserwacji w tych samych miejscach, a to w celu wyeliminowania błędów podziału łąty i zachowania tej samej pozycji soczewki ogniskującej.

4. Wykonywanie pomiaru w takich godzinach, w których nie ma wibracji oraz porywistego wiatru. Nierównomierne nagrzewanie różnych materiałów nagromadzonych na budowie, nad którymi przebiega celowa powoduje znaczne błędy. Silny ruch w nie mniejszym stopniu wpływa na dokładność pomiaru.

5. Należy oprócz warunków specjalnych zachować przepisy ogólne dotyczące wykonywania niwelacji precyzyjnej.

Obecnie przedstawiamy pokrótce kolejność wykonywania pomiarów przy badaniu ruchów reperów hydrowężła. Jak widać ze szkicu sieci niwelacyjnej (rys. 63) repery stałe są zgrupowane w dwóch zespołach, podzielonych reperami hydrowężła. Pomiar wykonywano od reperów stałych — w pierwszym okresie od reperu 148, IV, I przez repery hydrowężła 10, 1, 4, 5, do stałych: W i 127, w późniejszym natomiast okresie dołączy-

no do sieci repery stałe 3317, 2615 i III, ze względu na przesunięcia blisko hydrowęzła leżących reperów IV i I. Przejście powyższe oznaczało się prawie najkrótszą drogą między reperami I i W dając możliwość dobrego powiązania reperów hydrowęzłów Nr 5 i 11. Pozostałe repery Nr 7 i 8 hydrowęzła Nr 5 oraz reper Nr 2 hydrowęzła Nr 11 zaniwelowano w następnej kolejności w ten sposób, że utworzyły przy każdym z hydrowęzłów zamknięte ciągi. Przesunięcia reperów Nr 6 i 9 nie włączonych do sieci wyrównywanej liczono na podstawie przesunięć reperów Nr 7 i 9 (przykład str. 278).

W celu usztywnienia sieci pożądanym był pomiar różnicy wysokości między reperem 148 i 1, który początkowo z powodu trudnych warunków terenowych (rozbiórki) nie był wykonywany. Po oczyszczeniu placu budowy odcinek ten zaniwelowano. Podobnie postąpiono z reperem W1. Zasada jest aby niwelację wykonywać tą samą drogą, przy tej samej ilości stanowisk i tym samym ich położeniu w terenie.

Przy pracy na terenie P. K. i N. były wyjątkowo trudne warunki terenowe i z konieczności byliśmy zmuszeni od powyższej zasady czynić odstępstwa.

4. 4 Metody wyrównania

Należy wymienić dwie metody wyrównania i obliczenia przesunięć stosowane przy pracach na terenie P. K. i N. W pierwszym etapie przy badaniach hydrogeologiczno-gruntowych posługiwano się metodą zawarunkowaną bezpośredniego wyznaczania przesunięć i tę omówimy. Natomiast w późniejszych pracach — przy pomiarze osiadań budowli — zastosowano z różnych względów obliczenie przesunięć reperów z różnicy ich rzędnych. Podstawą do wyznaczenia przesunięć reperów hydrowęzła były repery stałe (patrz rys. 63) rozmieszczone w różnych odległościach od miejsc zabiegów hydrogeologicznych (hydrowęzłów) i robót budowlanych. W stosunku do najbliższych leżących zachodziła obawa ich przesunięcia i dlatego należało stwierdzić ich stałość po każdym pomiarze. Stałość możemy ocenić w przybliżeniu przez porównanie różnic wysokości między pomiarem wyjściowym (zerowym) i aktualnym oraz ściślej przez porównanie wielkości jednostkowych średnich błędów przed i po wyrównaniu. Za średni błąd typowego spostrzeżenia można przyjąć średni błąd średniej z różnic wysokości pomierzonych w kierunku głównym i powrotnym na jednym stanowisku.

Wielkość jego można obliczyć przez wyrównanie na podstawie wzoru ścisłego gdy mamy same pary w obserwacji pierwotnej i aktualnej:

$$m = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{|pdd|}{r}}$$

gdzie r — ilość par, d — różnice między pomiarami składającymi się na poszczególne pary,

lub przybliżonego:

$$m = \sqrt{\frac{1}{M}(m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + \dots + m_n^2)}$$

gdzie m_1 — średni błąd obliczony z par obserwacji,

$m_2, m_3, \dots, m_n$ — średnie błędy pochyłeń poszczególnych odcinków obliczone według wzoru:

$$m_2 = \pm \sqrt{\frac{|vv|}{n(n-1)N}}$$

v — odchyłki wyników pojedynczych pomiarów od średniej arytmetycznej,

n — ilość pojedynczych pomiarów składających się na średnią arytmetyczną,

N — ilość stanowisk niwelatora przy pojedynczym pomiarze.

Należy zaznaczyć, że wzór przybliżony stosujemy, gdy zachowanie par spostrzeżeń nie jest możliwe z powodu konieczności powtarzania niektórych pomiarów. Sposób obliczania średniego błędu typowego spostrzeżenia podano w załączonym przykładzie. Brak doświadczenia przy rozpoczynaniu prac, trudne warunki pomiaru spowodowały konieczność kilkakrotnego powtarzania obserwacji poszczególnych odcinków między reperami i dlatego zastosować należało drugi wzór.

Wielkość błędu średniego typowego spostrzeżenia można również określić a priori na podstawie analizy czynności i dokładności narzędzia. E. Warchałowski w dziele *Niwelacja geometryczna* [15] podaje następujący wzór na błąd odczytu m_0

$$m_0^2 = d^2 \cdot c_2^2 \cdot n \cdot 1000^2 \cdot \sin^2 1'' + c^2 d$$

gdzie $c_2 = 0.06$ współczynnik charakteryzujący średni błąd z jakim pęcherzyk libeli osiągnie położenie równowagi.

$c = 0.03$ — współczynnik charakteryzujący średni błąd nastawienia osi celowej na kreskę $1/2$ cm łaty,

d — długość celowej w metrach,

n — przewaga libeli

oraz *Jordan - Eggert* „Handbuch der Vermessungskunde“ II t. 2 cz.

$$m_0^2 = (0.0185 \frac{1}{v^2} + 0.000000194 A) s^2 + 0.00794 \frac{T}{V} \cdot s + 0.00085 T^2$$

gdzie: A — przewaga libeli w sekundach

T — jednostka podziału łaty w milimetrach

V — powiększenie lunety

s — długość celowej w metrach.

Podstawiając do powyższych wzorów dane niwelatora, którym wykonywane były prace na terenie P.K. i N.

$$A = \kappa = 10''/2 \text{ mm.}$$

$$T = 5 \text{ mm}$$

$$V = 44^\circ$$

$$d_1 = s_1 = 40 \text{ m.}$$

$$d_2 = s_2 = 20 \text{ m.}$$

otrzymamy wg Warchałowskiego

$$m_{o40} = \pm 0.19 \text{ mm.}$$

$$m_{o20} = \pm 0.13 \text{ mm.}$$

wg Jordana

$$m_{o40} = \pm 0.28 \text{ mm.}$$

$$m_{o20} = \pm 0.21 \text{ mm.}$$

Z błędu odczytu m_o można obliczyć średni błąd typowego spostrzeżenia (średniej różnicy wysokości) m ze wzoru:

$$m = \pm \frac{m_o \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = \pm \frac{m_o}{\sqrt{2}}$$

przy pomiarze na łacie precyzyjnej o dwóch podziałach podstawiając do wzoru E. Warchałowskiego otrzymamy:

$$m_{(40)} = \pm \frac{0.19}{\sqrt{2}} = \pm 0.13 \text{ mm} \quad \text{wg Jordana } m_{(40)} = \pm 0.20 \text{ mm}$$

$$m_{(20)} = \pm \frac{0.13}{\sqrt{2}} = \pm 0.09 \text{ mm} \quad m_{(20)} = \pm 0.15 \text{ mm}$$

Wielkość błędu m z wzoru podanego przez E. Warchałowskiego bardziej odpowiada obecnym wymogom niż z wzoru Jordana. Przy niwelacji precyzyjnej reperów, błąd średni na 1 km niwelacji $m_k \leq \pm 0.5 \text{ mm}$, a w przeliczeniu na jedno stanowisko wyniesie około $\pm 0.15 \text{ mm}$.

Przy badaniu odkształceń długość celowych jest z reguły mniejsza i wynosi około 20 m. Analizując wzór na błąd odczytu podany przez E. Warchałowskiego można przyjąć, że stosunek błędów średnich w zależności od długości celowych podstawia się nast. [9]

$$\frac{m_{(40)}}{m_{(1)}} = \frac{\sqrt{40}}{\sqrt{1}} \quad 1 \text{ — długość celowej}$$

Podstawiając $1 = 20 \text{ m}$ otrzymamy:

$$m_{(20)} = \pm \frac{m_{(40)} \cdot \sqrt{20}}{\sqrt{40}} = \pm 0.15 \cdot 0.707 \cong \pm 0.10 \text{ mm}$$

W dalszych rozważaniach będziemy się opierać na powyższych wartościach, które wzięte z dużej ilości prac niwelacji precyzyjnej najlepiej odpowiadają rzeczywistości.

W czasie pomiaru należy sprawdzać, czy otrzymane rozbieżności nie przekraczają wartości podanych poniżej.

1. Na stanowisku instrumentu wahania stałej różnicy między odczytem głównym i kontrolnym $d_1 \leq \pm 2m$,
2. Różnica między pochyleniem obliczonym z odczytów na podziale głównym i kontrolnym na stanowisku $d_{II} \leq \pm 2m \sqrt{2}$.
3. Różnica niwelacji w kierunku głównym i powrotnym

$$d_{III} \leq \pm 2m \sqrt{n} \text{ gdzie } n \text{ — ilość stanowisk.}$$

4. Różnica przy zamknięciu obwodnicy do zera

$$d_{IV} \leq \pm m \sqrt{n}.$$

Wartość ta może znacznie wzrosnąć w tym przypadku, gdy niwelator posiada nieprawidłowy ruch soczewki ogniskującej, a pomiar wykonuje się nie ze środka i o różnych długościach celowych. Należy więc tego unikać. Po wykonaniu pomiaru, w którym poszczególne różnice nie będą przekraczać wartości obliczonych z wyżej podanych wzorów, należy zestawić je w tabelę Nr 3 dla pomiaru pierwotnego (zerowego) h obliczając dla niego średni błąd typowego spostrzeżenia i porównać z wartością wyprowadzoną na podstawie wzorów E. Warchałowskiego lub Jordana ewentualnie średniego błędu na 1 km, z uwzględnieniem średniej długości celowych (dzieląc długość ciągu przez ilość stanowisk), od których nie powinien zbyt odbiegać. W naszym przypadku $m_{(20)}$ z błędu średniego na 1 km wynosi ± 0.10 mm z obserwacji $m_{(20)} = \pm 0.09$ mm. Analogicznie należy zrobić z obserwacją aktualną h' dodając kolumnę ze średnią różnicą wysokości obserwacji zerowej i licząc różnice $w = h - h'$; jest to szczególnie ważne dla odcinków między reperami stałymi, gdyż przekroczenie dopuszczalnej wartości wynoszącej $m_r = \pm m \sqrt{2n}$ (oznaczenia jak uprzednio) jest sygnałem, że któryś z reperów stałych uległ przesunięciu.

Reper taki przy wyrównaniu należy traktować jako ruchomy. Należy także obliczyć średni błąd typowego spostrzeżenia dla obserwacji zerowej i aktualnej łącznie, z którym będziemy porównywać średni błąd po wyrównaniu.

Na podstawie ustalonych reperów stałych można przejść do układania równań warunkowych, których ilość wyniesie:

$$w = h + r - z$$

h — ilość różnic wysokości (spadów),
 r — ilość reperów ruchomych,
 z — ilość obwodnic (zamknięć do zera).

Sposób zestawienia wyników, obliczenie średnich błędów typowego spostrzeżenia, ułożenie równań, ich rozwiązanie oraz obliczenie przesunięć ilustrujemy przykładem zaczerpniętym z obliczeń hydrowężła w pierwszym i dalszym okresie obserwacji.

Zestawienie wyników pomiarów obserwacji wyjściowej (zerowej) h hydrowężła
oraz obliczenie średniego błędu typowego spostrzeżenia

Tabela 3

Nr re- peru	Nr pochy- lenia (spadu)	Ilość stano- wisk n	Różnica wysokości		$d =$ $= I - II$	$pdfd =$ $\frac{d^2}{n}$	Różnica średnia w mm	U w a g i
			I	II				
148	1	3	— 302.32	— 302.52	+ 0.20	0.0133	— 302.42	Dziennik Nr str. od do Średnia data obserwacji 10. V. 52 r. Liczba przy m oznacza nr pochylenia (np. m_3, m_6). Cyfra przy różnicy średniej — ilość pojedynczych pomiarów (np. — 803.32 ₇) Np. Spad I — 10 niwelowano 7-krotnie i otrzy- mano wyniki
IV	2	3	— 265.48	— 265.30	— 0.18	0.0108	— 265.39	
I	3	1					— 803.32 ₇	
10								
1	4	5	— 537.70	— 537.68	— 0.02	0.0001	— 537.69	
4	10	1	— 216.60	— 216.80	+ 0.20	0.0400	— 216.70	
	5	1	— 136.58	— 136.65			— 136.60 ₃	
5	6	4	+ 902.42	+ 902.10	+ 0.32	0.0256	+ 902.26	
W	7	3	+ 332.71	+ 332.90	— 0.19	0.0120	+ 332.80	
127								
I	3	3					— 803.32 ₇	$\frac{[l]}{n} = -803.32 \quad [v] = -0.02 \quad [vv] = 0.4210$ $m_3 = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)N}} = \pm \sqrt{\frac{0.4210}{7(7-1)3}} = \pm$ $\pm \sqrt{\frac{0.4210}{126}} = \pm \sqrt{0.00334} = \pm 0.06$
10	11	1	+ 332.12	+ 322.10	+ 0.02	0.0004	+ 322.12	
7								
	12	1	— 972.75	— 972.40			— 972.58 ₃	
8								
I	13	1	+ 1453.52	+ 1453.55			+ 1453.59 ₃	

Liczac analogicznie					
10					$m_5 = \pm \sqrt{\frac{0.0045}{6}} = \pm \sqrt{0.00075} = \pm 0.03$
9	1		+ 448.43		$m_{12} = \pm \sqrt{\frac{0.0613}{6}} = \pm \sqrt{0.0102} = \pm 0.10$
6	1	+ 59.48	+ 59.52	- 0.04	$m_{13} = \pm \sqrt{\frac{0.0234}{6}} = \pm \sqrt{0.0039} = \pm 0.06$
7	1	- 185.80	- 185.80	0.00	$m_8 = \pm \sqrt{\frac{0.1143}{12}} = \pm \sqrt{0.00953} = \pm 0.10$
					$m_9 = \pm \sqrt{\frac{0.0350}{6}} = \pm \sqrt{0.0058} = \pm 0.08$
Średni błąd obliczony z par obserwacji					
5	8	+ 847.02 + 847.40	+ 847.42 + 847.15		$m_p = \pm 1.2 \sqrt{\frac{[pdd]}{r}} = \pm 1.2 \sqrt{\frac{0.1038}{8}} =$
2	9	- 494.23	- 494.03		$= \pm 0.06$
Średni błąd całej obserwacji m_k					
$m_h = \pm \sqrt{\frac{1}{M} (m_p^2 + m_3^2 + m_5^2 \dots)} = \pm \sqrt{\frac{1}{7} (0.06^2 + 0.06^2 + 0.03^2 + 0.10^2 + 0.06^2 + 0.10^2 + 0.08^2)} = \pm \sqrt{0.0054} = \pm 0.07 \text{ mm}$					

Dla każdej następnej obserwacji h' zestawia się taką tabelę i oblicza się średni błąd typowego spostrzeżenia. Dalsze obliczenia wykonano dla obserwacji aktualnych h' (pierwszej). Średni błąd typowego spostrzeżenia obserwacji pierwszej wyniósł $m'_h = \pm 0.10$

zaś średni błąd dla obu obserwacji:

$$m = \pm \sqrt{\frac{1}{M} (m_h^2 + m_h'^2)} = \pm \sqrt{\frac{1}{2} (0.07^2 + 0.10^2)} = \pm \sqrt{0.0075} = \pm 0.09 \text{ mm}$$

Orientacyjny szkic sieci niwelacyjnej (rys. 63)

(początkowe stadium sieci)

Repery stałe 148, IV, I, W, 127 pomiar wyjściowy — h — 10. V. 52 r.,
pomiar aktualny — h' — 20. V. 52 r.

Repery ruchome (hydrowęzła) 1, 2, 4, 5 przy hydrowęzle Nr 5,
„ „ „ 6, 7, 8, 9, 10, przy hydrowęzle Nr 11.

Repery 6 i 9 zaniwelowano łącznie z reperem 10 i 7 z jednego stanowiska i nie wchodzi do wyrównania. Przesunięcie ich obliczono na podstawie przesunięć reperów 10 i 7.

Ilość równań warunkowych

$$W = h - r + z = 13 - 7 + 1 = 8$$

Warunki

- a) $h_1 + v_1 = h'_1 + v'_1$
- b) $h_2 + v_2 = h'_2 + v'_2$
- c) $h_7 + v_7 = h'_7 + v'_7$
- d) $h_3 + v_3 + h_4 + v_4 + h_{10} + v_{10} + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 =$
 $= h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 + h'_{10} + v'_{10} + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6$
- e) $h_5 + v_5 + h_8 + v_8 + h_9 + v_9 + h_{10} + v_{10} = 0$
- f) $h'_5 + v'_5 + h'_8 + v'_8 + h'_9 + v'_9 + h'_{10} + v'_{10} = 0$
- g) $h_{11} + v_{11} + h_{12} + v_{12} + h_{13} + v_{13} + h_3 + v_3 = 0$
- h) $h'_{11} + v'_{11} + h'_{12} + v'_{12} + h'_{13} + v'_{13} + h'_3 + v'_3 = 0$

Równanie warunkowe

- a) $v_1 - v'_1 + w_a = 0$ $w_a = h_1 - h'_1 = -0.26$
- b) $v_2 - v'_2 + w_b = 0$ $w_b = h_2 - h'_2 = -0.07$
- c) $v_7 - v'_7 + w_c = 0$ $w_c = h_7 - h'_7 = -0.28$
- d) $v_3 - v'_3 + v_4 - v'_4 + v_{10} - v'_{10} +$
 $+ v_5 - v'_5 + v_6 - v'_6 + w_d = 0$ $w_d = (h_3 + h_4 + h_{10} + h_5 + h_6) - (h'_3 +$
 $+ h'_4 + h'_{10} + h'_5 + h'_6) = +0.14$
- e) $v_5 + v_8 + v_9 + v_{10} + w_e = 0$ $w_e = h_5 + h_8 + h_9 + h_{10} = -0.23$
- f) $v'_5 + v'_8 + v'_9 + v'_{10} + w_f = 0$ $w_f = h'_5 + h'_8 + h'_9 + h'_{10} = -0.12$
- g) $v_{11} + v_{12} + v_{13} + v_3 + w_g = 0$ $w_g = h_{11} + h_{12} + h_{13} + h_3 = -0.17$
- h) $v'_{11} + v'_{12} + v'_{13} + v'_3 + w_h = 0$ $w_h = h'_{11} + h'_{12} + h'_{13} + h'_3 = -0.18$

Współczynniki równań warunkowych

	v_1	v'_1	v_2	v'_2	v_3	v'_3	v_4	v'_4	v_5	v'_5	v_6	v'_6	v_7	v'_7	v_8	v'_8	v_9	v'_9	v_{10}	v'_{10}	v_{11}	v'_{11}	v_{12}	v'_{12}	v_{13}	v'_{13}	ω	Kontrola obliczeń v	Uwagi	
a_i	1	-1																									-0.26	+0.26		
b_i			1	-1																								-0.07	+0.07	
c_i													1	-1														-0.28	+0.28	
d_i					1	-1	1	-1	1	-1	1	-1							1	-1							+0.14	-0.143		
e_i									1						1		1		1								-0.23	+0.228		
f_i										1					1		1										-6.12	+0.120		
g_i																							1				-0.17	+0.170		
h_i																							1				-0.18	+0.180		
Σ	1	-1	1	-1	2	0	1	-1	2	0	1	-1	1	-1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1				
n	3	3	3	3	1	1	5	4	1	1	4	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				

Równanie normalne i obliczenie korelat

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	ω	$\Sigma \mid + \omega$	Kontr. ułożenia równań	Kontrola korelat
	$a \mid$	$b \mid$	$c \mid$	$d \mid$	$e \mid$	$f \mid$	$g \mid$	$h \mid$				
a/p	+ 6.0000	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	- 0.26	+ 5.7400	+ 6.0	+ 0.2598
b/p		+ 6.0000	0.	0.	0.	0.	0.	0.	- 0.07	+ 5.9300	+ 6.0	+ 0.0702
c/p			+ 6.0000	0.	0.	0.	0.	0.	- 0.28	+ 5.7200	+ 6.0	+ 0.2802
d/p				+ 22.0000	+ 2.0000	- 2.0000	+ 1.0000	- 1.0000	+ 0.14	+ 22.1400	+ 22.0	- 0.1406
e/p					+ 4.0000	0.	0.	0.	- 0.23	+ 5.7700	+ 6.0	+ 0.2298
f/p						+ 4.0000	0.	0.	- 0.12	+ 1.8800	+ 2.0	+ 0.1193
g/p							+ 4.0000	0.	- 0.17	+ 4.8300	+ 5.0	+ 0.1697
h/p								+ 4.0000	- 0.18	+ 2.8200	+ 3.0	+ 0.1799
	+ 2.4495	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	- 0.1061	+ 2.3433		
		+ 2.4495	0.	0.	0.	0.	0.	0.	- 0.0286	+ 2.4209		
			+ 2.4495	0.	0.	0.	0.	0.	- 0.1143	+ 2.3352		
				+ 4.6904	+ 0.4264	- 0.4264	+ 0.2132	- 0.2132	+ 0.0298	+ 4.7203		
					+ 1.9540	+ 0.0930	- 0.0465	+ 0.0465	- 0.1242	+ 1.9229		
						+ 1.9518	+ 0.0488	- 0.0488	- 0.0420	+ 1.9028		
							+ 1.9875	+ 0.0252	- 0.0904	+ 1.9221		
								+ 1.9873	- 0.0845	+ 1.9028		
	+ 0.0433	+ 0.0117	+ 0.0467	- 0.0099	+ 0.0624	+ 0.0250	+ 0.0449	+ 0.0425	+ 1.0000			
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8				

Obliczanie poprawek

(na podstawie tablicy współczynników równań warunkowych)

$$v_i = n_i(a_i k_1 + b_i \cdot k_2 + c_i k_3 + \dots)$$

$$v'_i = n'_i(a'_i k_1 + b'_i \cdot k_2 + c'_i k_3 + \dots) \quad pvv = \frac{v_i^2}{n}; \quad p'v'v' = \frac{v'^2_i}{n}$$

$v_1 = + 0.130$	$v'_1 = - 0.130$	0.005633	0.005633
$v_2 = + 0.035$	$v'_2 = - 0.035$	408	408
$v_3 = + 0.035$	$v'_3 = + 0.052$	1225	2704
$v_4 = - 0.050$	$v'_4 = + 0.040$	500	400
$v_5 = + 0.052$	$v'_5 = + 0.035$	1820	1225
$v_6 = - 0.040$	$v'_6 = + 0.030$	400	300
$v_7 = + 0.140$	$v'_7 = - 0.140$	6533	6533
$v_8 = + 0.062$	$v'_8 = + 0.025$	3844	625
$v_9 = + 0.062$	$v'_9 = + 0.025$	3844	625
$v_{10} = + 0.052$	$v'_{10} = + 0.035$	2704	1225
$v_{11} = + 0.045$	$v'_{11} = + 0.043$	2025	1849
$v_{12} = + 0.045$	$v'_{12} = + 0.042$	2025	1764
$v_{13} = + 0.045$	$v'_{13} = + 0.043$	2025	1849

$$[p'v'v'] = 0.032986 \quad [p'v'v'] = 0.025140$$

$$[p'v'v'] + [p'v'v'] = 0.058126$$

$$- [k_{vv}] = 0.059174$$

$$(m^0) = \pm \sqrt{\frac{[p'v'v'] + [p'v'v']}{W}} \left(1 \pm \frac{0.7071}{\sqrt{W}} \right) = \pm \sqrt{\frac{0.058126}{8}} \left(1 \pm \frac{0.7071}{\sqrt{8}} \right) = \pm \sqrt{0.007266} (1 \pm 0.246) = \pm (0.08 \pm 0.03) \text{ mm.}$$

(m^0) — średni błąd średniej różnicy wysokości na jednym stanowisku (średni błąd typowego spostrzeżenia) po wyrównaniu.

Średni błąd typowego spostrzeżenia po wyrównaniu (m^0) powinien w przybliżeniu odpowiadać analogicznemu błędowi m przed wyrównaniem czyli $(m^0) \simeq m$ co ma miejsce w podanym przykładzie

gdyż: $m = \pm 0.09 \text{ mm.}$

$(m^0) = + 0.08 \text{ mm.}$

Podajemy drugi przykład obliczenia przesunięcia reperów hydrowężla. Rozwiązano równania warunkowe, oraz obliczono średnie błędy przesunięć dwóch reperów. Orientacyjny szkic sieci niwelacyjnej rys. 63.

Obserwacje wyjściowe h_i 10. V. 52 r.

„ aktualne h'_i 18. VII. 52 r.

Jak widać ze szkicu sieci rys. 63 przy pomiarze aktualnym zasięg jej rozszerzył się. W ciągu pierwszych obserwacji okazało się, że najbliższe repery stałe: I, IV, (przy hydrowężlu Nr 11) uległy przesunięciom, wobec czego zaszła konieczność włączenia do sieci reperów niwelacji miejskiej Nr Nr 2615 i 3317, W_I oraz III, założonego przez GINB.

Repery miejskie posiadały rzędne, a ich różnice potraktowano jako pomiar wyjściowy. Reper W_I rzędnej nie posiadał i traktowany był jako

Obliczenie przesunięć

Nr rep.	Nr poch.	10. V. 52. h_i	v_i	$h_i + v_i$	20. V. 52. h_i'	v_i'	$h_i' + v_i'$	Przesunięcia $\Delta_i = (h_i' + v_i') - (h_i + v_i)$
148								0.000
IV	1	-0302.42	+0.130	-0302.290	-0302.16	-0.130	-0302.290	0.000
	2	-0265.39	+0.035	-0265.355	-0265.32	-0.035	-0265.355	0.000
I	3	-0803.30	+0.035	-0803.265	-0803.50	+0.052	-0803.468	0.000
10	4	-0537.69	-0.050	-0537.740	-0538.65	+0.040	-0538.610	-0.183
1	10	-0216.70	+0.052	-0216.648	-0216.62	+0.035	-0216.585	-1.053
4	5	-0136.60	+0.052	-0136.548	-0136.52	+0.035	-0136.485	-0.990
5	6	+0902.26	-0.040	+0902.220	+0903.12	+0.030	+0903.150	-0.927
W	7	+0332.80	+0.140	+0332.940	+0333.08	-0.140	+0332.940	+0.003 bł. zaokr.
127								0.000
10	11	+0322.12	+0.045	+0332.165	+0321.90	+0.043	+0321.943	-0.183
7	12	-0972.58	+0.045	-0972.535	-0972.28	+0.042	-0972.238	-0.405
8	13	+1453.59	+0.045	+1453.635	+1453.70	+0.043	+1453.743	-0.108
I								0.000
5	8	+0847.25	+0.062	+0847.312	+0847.31	+0.025	+0847.335	-0.927
2	9	-0494.18	+0.062	-0494.118	-0494.29	+0.025	-0494.265	-0.904
1								-1.053
Wyrównanie na podstawie przesunięć reperu 10 i 7								
10		+0448.43	+0.012	+0448.442	+0448.52	+0.004	+0448.524	-0.183
9		+0059.50	+0.011	+0059.511	+0059.49	+0.005	+0059.495	-0.101
6		-0185.80	+0.012	-0185.788	-0186.08	+0.004	-0186.076	-0.117
7		+0322.13	+0.035	+0322.165	+0321.93	+0.013	+0321.943	-0.405

przejściowy, dla którego wyznaczono przesunięcia. Zamiast reperu 127 przyjęto reper III, o lepszej konstrukcji i wygodniejszy do nawiązania.

Przyjęcie różnic rzędnych jako pomiar wyjściowy jest nieściśle, lecz w danym przypadku konieczne ze względu na brak jednolitej precyzyjnej sieci niwelacyjnej na dość znacznym obszarze (poza zasięgiem wpływu deformacji gruntu).

W podanym przykładzie reper Nr 2615 traktowano jako ruchomy gdyż znajdował się on na budynku popękanym, a pomiar wykazywał jego ruchy. Wielkości jego ruchów nie liczono, traktując go jako żabkę, przez co w równaniach warunkowych połączono spady: h_{17} i h_{18} .

Ilość równań warunkowych: $w = h - r + z = 16 - 8 + 2 = 10$.

Warunki

a) $h_{17} + v_{17} + h_{18} + v_{18} = h'_{17} + v'_{17} + h'_{18} + v'_{18}$

b) $h_1 + v_1 + h_2 + v_2 + h_3 + v_3 + h_4 + v_4 + h_{10} + v_{10} + h_5 + v_5 + h_6 + v_6 + h_{14} + v_{14} = h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 + h'_{10} + v'_{10} + h'_5 + v'_5 + h'_6 + v'_6 + h'_{14} + v'_{14}$

c)

d) $h'_1 + v'_1 + h'_2 + v'_2 + h'_3 + v'_3 + h'_4 + v'_4 + h'_{19} + v'_{19} = 0$

e)

f) $h'_{16} + v'_{16} + h'_{15} + v'_{15} - h'_6 - v'_6 - h'_5 - v'_5 - h'_{10} + v'_{10} - h'_4 + v'_4 - h'_3 + v'_3 - h'_2 + v'_2 = 0$

g) $h_3 + v_3 + h_{11} + v_{11} + h_{12} + v_{12} + h_{13} + v_{13} = 0$

h) $h'_3 + v'_3 + h'_{11} + v'_{11} + h'_{12} + v'_{12} + h'_{13} + v'_{13} = 0$

i) $h_5 + v_5 + h_8 + v_8 + h_9 + v_9 + h_{10} + v_{10} = 0$

j) $h'_5 + v'_5 + h'_8 + v'_8 + h'_9 + v'_9 + h'_{10} + v'_{10} = 0$

nie było pomiaru pierwotnego tylko aktualny

nie było pomiaru pierwotnego tylko aktualny

Równania warunkowe

a) $v_{17} - v'_{17} + v_{18} + v'_{18} + \omega_a = 0$

b) $v_1 - v'_1 + v_2 - v'_2 + v_3 - v'_3 + v_4 - v'_4 + v_{10} - v'_{10} + v_5 - v'_5 + v_6 - v'_6 + v_{14} - v'_{14} + \omega_b = 0$

d) $v'_1 + v'_2 + v'_3 + v'_4 - v'_{19} + \omega_d = 0$

f) $v'_{16} + v'_{15} - v'_6 - v'_5 - v'_{10} - v'_4 - v'_3 - v'_2 + \omega_f = 0$

g) $v_3 + v_{11} + v_{12} + v_{13} + \omega_g = 0$

h) $v'_3 + v'_{11} + v'_{12} + v'_{13} + \omega_h = 0$

i) $v_5 + v_8 + v_9 + v_{10} + \omega_i = 0$

j) $v'_5 + v'_8 + v'_9 + v'_{10} + \omega_j = 0$

$\omega_a = (h_{17} + h_{18}) - (h'_{17} + h'_{18}) = -0.59$

$\omega_b = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_{10} + h_5 + h_6 + h_{14}) - (h'_1 + h'_2 + h'_3 + h'_4 + h'_{10} + h'_5 + h'_6 + h'_{14}) = -1.10$

$\omega_d = h'_1 + h'_2 + h'_3 + h'_4 + h'_{19} = +0.60$

$\omega_f = h'_{16} + h'_{15} - h'_6 - h'_5 - h'_{10} - h'_4 - h'_3 - h'_2 = -0.70$

$\omega_g = h_3 + h_{11} + h_{12} + h_{13} = -0.17$

$\omega_h = h'_3 + h'_{11} + h'_{12} + h'_{13} = +0.08$

$\omega_i = h_5 + h_8 + h_9 + h_{10} = -0.23$

$\omega_j = h'_5 + h'_8 + h'_9 + h'_{10} = +0.06$

Równania normalne dla obliczenia poprawek

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	kontrola ułożenia równań		kontrola korelat
									Σ	ω	
$\left[\frac{a}{p} \right]$	+20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	+20.0	-0.59	+0.590
$\left[\frac{b}{p} \right]$		+38.0	-11.0	+10.0	+1.0	-1.0	+2.0	-2.0	+37.0	-1.10	+1.100
$\left[\frac{d}{p} \right]$			+15.0	-5.0	0.0	+1.0	0.0	0.0	0.0	+0.60	-0.599
$\left[\frac{f}{p} \right]$				+21.0	0.0	-1.0	0.0	-2.0	+23.0	-0.70	+0.701
$\left[\frac{g}{p} \right]$					+4.0	0.0	0.0	0.0	+5.0	-0.17	+0.170
$\left[\frac{h}{p} \right]$						+4.0	0.0	0.0	+3.0	+0.08	-0.080
$\left[\frac{i}{p} \right]$							+4.0	0.0	+6.0	-0.23	+0.230
$\left[\frac{j}{p} \right]$								+4.0	0.0	+0.06	-0.060

Równania normalne do obliczenia błędów średniego przesunięć reperów 10 i 1.

$f_{10 \text{ od } 148}$	0.0	-14.0	+7.0	-1.0	-1.0	+1.0	0.0	0.0	+14.0
$f_{10 \text{ od } 111}$	0.0	+24.0	-4.0	+9.0	0.0	0.0	+2.0	-2.0	+24.0
$f_{1 \text{ od } 148}$	0.0	-23.0	+11.0	-5.0	-1.0	+1.0	0.0	0.0	+23.0
$f_{1 \text{ od } 111}$	0.0	+15.0	0.0	+5.0	0.0	0.0	+2.0	-2.0	+15.0

Równania normalne rozwiązano przy pomocy algorytmu Gaussa, a wynik posłużył do obliczenia poprawek i średnich błędów (str. 277)

Współczynniki równań warunkowych

	v_1	v'_1	v_2	v'_2	v_3	v'_3	v_4	v'_4	v_5	v'_5	v_6	v'_6	v_8	v'_8	v_9	v'_9	v_{10}	v'_{10}	v_{11}	v'_{11}	v_{12}	v'_{12}	v_{13}	v'_{13}	v_{14}	v'_{14}	v_{15}	v'_{15}	v_{16}	v'_{16}	v_{17}	v'_{17}	v_{18}	v'_{18}	v_{19}	v'_{19}	ω				
a_i																																							-0.59		
b_i	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1					+1	-1								+1	-1													-1.10	
d_i		+1		+1		+1		+1																															-1	+0.60	
f_i						-1		-1		-1		-1					-1											+1		+1										+0.60	
g_i					+1													+1		+1		+1																	-0.70		
h_i						+1													+1		+1		+1																-0.17		
i_i									+1				+1		+1		+1																							+0.23	
j_i										+1				+1		+1		+1																							+0.06
Σ	+1	0	+1	0	+2	0	+1	-1	+2	-1	+1	-2	+1	+1	+1	+1	+2	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-	+1	-	+1	+1	-1	+1	-1	-	-1				
n	3	3	3	3	1	1	5	4	1	1	4	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	-	7	-	4	4	4	6	6	-	4			
f_{10} od 148	-1	+1	-1	+1	-1	+1																																			
f_{10} od III							+1	-1	+1	-1	+1	-1					+1	-1								+1	-1														
f_1 od 148	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1																																	
f_1 od III									+1	-1	+1	-1					+1	-1								+1	-1														

Współczynniki przy f_{10} i f_1 służą do obliczenia średniego błędu przesunięcia reperu 10 i 1.

Obliczenie poprawek

$v_i = n_i(a_i k_1 + b_i k_2 + \dots)$		$v'_i = n'_i(a'_i k_1 + b'_i k_2 + \dots)$	
		$pvv = \frac{v^2}{n}$	$p'v'v' = \frac{v'^2}{n'}$
$v_1 = + 0.0383$	$v'_1 = - 0.1079$	0.00049	0.00388
$v_2 = + 0.0383$	$v'_2 = - 0.1079$	49	388
$v_3 = + 0.0521$	$v'_3 = - 0.0633$	271	401
$v_4 = + 0.0639$	$v'_4 = - 0.2307$	82	1330
$v_5 = + 0.0639$	$v'_5 = - 0.0322$	408	104
$v_6 = + 0.0511$	$v'_6 = - 0.1034$	65	356
$v_8 = + 0.0511$	$v'_8 = + 0.0023$	261	0
$v_9 = + 0.0511$	$v'_9 = + 0.0023$	261	0
$v_{10} = + 0.0639$	$v'_{10} = - 0.0322$	408	104
$v_{11} = + 0.0393$	$v'_{11} = - 0.0050$	154	3
$v_{12} = + 0.0393$	$v'_{12} = - 0.0056$	154	3
$v_{13} = + 0.0393$	$v'_{13} = - 0.0056$	154	3
$v_{14} = + 0.0256$	$v'_{14} = - 0.0256$	33	33
$v_{15} = -$	$v'_{15} = + 0.1519$	-	329
$v_{16} = -$	$v'_{16} = + 0.0868$	-	188
$v_{17} = + 0.1180$	$v'_{17} = - 0.1180$	348	348
$v_{18} = + 0.1757$	$v'_{18} = - 0.1770$	522	522
$v_{19} = -$	$v'_{19} = + 0.0928$	-	215
		$[pvv] = 0,03219$	$[p'v'v'] = 0,04715$
		$[pvv] + [p'v'v'] = 0.07934$	
		$[k\omega]$	$= - 0.07631$

$$(m^o) = \pm \sqrt{\frac{[pvv] + [p'v'v']}{n}} \left(1 + \frac{0.7071}{\sqrt{n}} \right) = \pm \sqrt{\frac{0.07934}{8}} \left(1 \pm \frac{0.7071}{\sqrt{8}} \right) =$$

$$= \pm (0.10 \pm 0.03).$$

Średni błąd przesunięcia reperów Nr. 10 i 1:

$$(m\Delta_{10}) = \pm (m^o) \sqrt{\left[\frac{ff}{p} 8 \right]} = \pm (0.10 \pm 0.03) \sqrt{7.2041} = \pm (0.27 \pm 0.08)$$

$$(m\Delta_1) = \pm (0.10 \pm 0.03) \sqrt{6.7579} = \pm (0.25 \pm 0.08)$$

Wyrazy $\left[\frac{ff}{p} 8 \right]$ obliczone zostały dla kontroli dwukrotnie przy przejściu różnymi drogami — otrzymano zgodne wyniki.

Obliczenie przesunięć

Nr rep.	Nr poch.	10. V. 52 h_i	v_i	$h_i + v_i$	18. VII. h'	v'_i	$h'_i + v'_i$	Przesunięcia $\Delta l =$ $(h'_i + v'_i) -$ $-(h_i + v_i)$
3317	17	+0845.60	+0.118	+0845.718	+0845.00	-0.118	+0844.882	0.000
2615	18	+0722.70	+0.177	+0722.877	+0723.89	-0.177	+0723.713	-0.836
148	1	-0302.42	+0.038	-0302.382	-0303.28	-0.108	-0303.388	0.000
IV	2	-0265.39	+0.038	-0265.352	-0265.79	-0.108	-0265.898	-1.006
I	3	-0803.30	+0.052	-0803.248	-0801.82	-0.063	-0801.883	+1.448
10	4	-0537.69	+0.064	-0537.626	-0537.60	-0.231	-0537.831	+2.813
1	10	-0216.70	+0.064	-0216.636	-0216.39	-0.032	-0216.422	+2.608
4	5	-0136.60	+0.064	-0136.536	-0136.65	-0.032	-0136.682	+2.822
5	6	+0902.26	+0.051	+0902.311	+0899.80	-0.103	+0899.697	+3.676
W	14	-0137.53	+0.026	-0137.504	-0138.54	-0.026	-0138.566	+1.062
III								0.000
10	11	+0322.12	+0.039	+0322.153	+0320.98	-0.006	+0320.774	+2.813
7	12	-0972.58	+0.039	-0972.541	-0972.54	-0.006	-0972.546	+1.628
8	13	+1453.59	+0.039	+1453.629	+1453.46	-0.006	+1453.454	+1.623
I								+1.448
I	16						-0481.453	
W _I	15						-0310.668	
W								
5	8	+0847.25	+0.051	+0847.301	+0846.56	+0.002	+0846.562	+3.676
2	9	-0494.18	+0.051	-0494.129	-0494.46	+0.002	-0494.458	+2.937
1								+2.608
Wyrównanie na podstawie przesunięć rep. 10 i 7.								
10		+0448.43	+0.010	+0448.440	+0449.02	-0.002	+0449.018	+2.813
9		+0059.50	+0.009	+0059.509	+0056.18	-0.002	+0056.178	+3.391
6		-0185.80	+0.010	-0185.790	-0184.22	-0.002	-0184.222	+0.060
7		+0322.13	+0.029	+0322.159	+0320.98	-0.006	+0320.974	+1.628

4. 5 Wnioski

a) *Reper hydrowęzła* (rys. 68) posiada odpowiednią konstrukcję, która zdała egzamin praktyczny. Może budzić zastrzeżenie ochronna rynna drewniana oraz sposób jej oparcia. Przy dłuższym okresie obserwacji należy raczej używać rur metalowych lub kamionkowych opartych na reperze poprzez warstwę materiału amortyzującego i izolującego (np. nasyczone bitumem pakuly, szmaty itp. Wylot rury ochronnej powinien znajdować się w odpowiedniej studziencie np. z kręgu betonowego), która będzie chronić reper przed uszkodzeniami oraz przepływem wody i zamuleniem. W czasie zakładania reperu należy uważać, ażeby nie naruszyć naturalnej struktury gruntu, na którym będzie oparta podstawa reperu. Zmiana struktury gruntu spowoduje przez pewien okres czasu inny ruch reperu niż badanej warstwy ziemi, przez co interpretacja wyników otrzymanych z pomiaru będzie fałszywa.

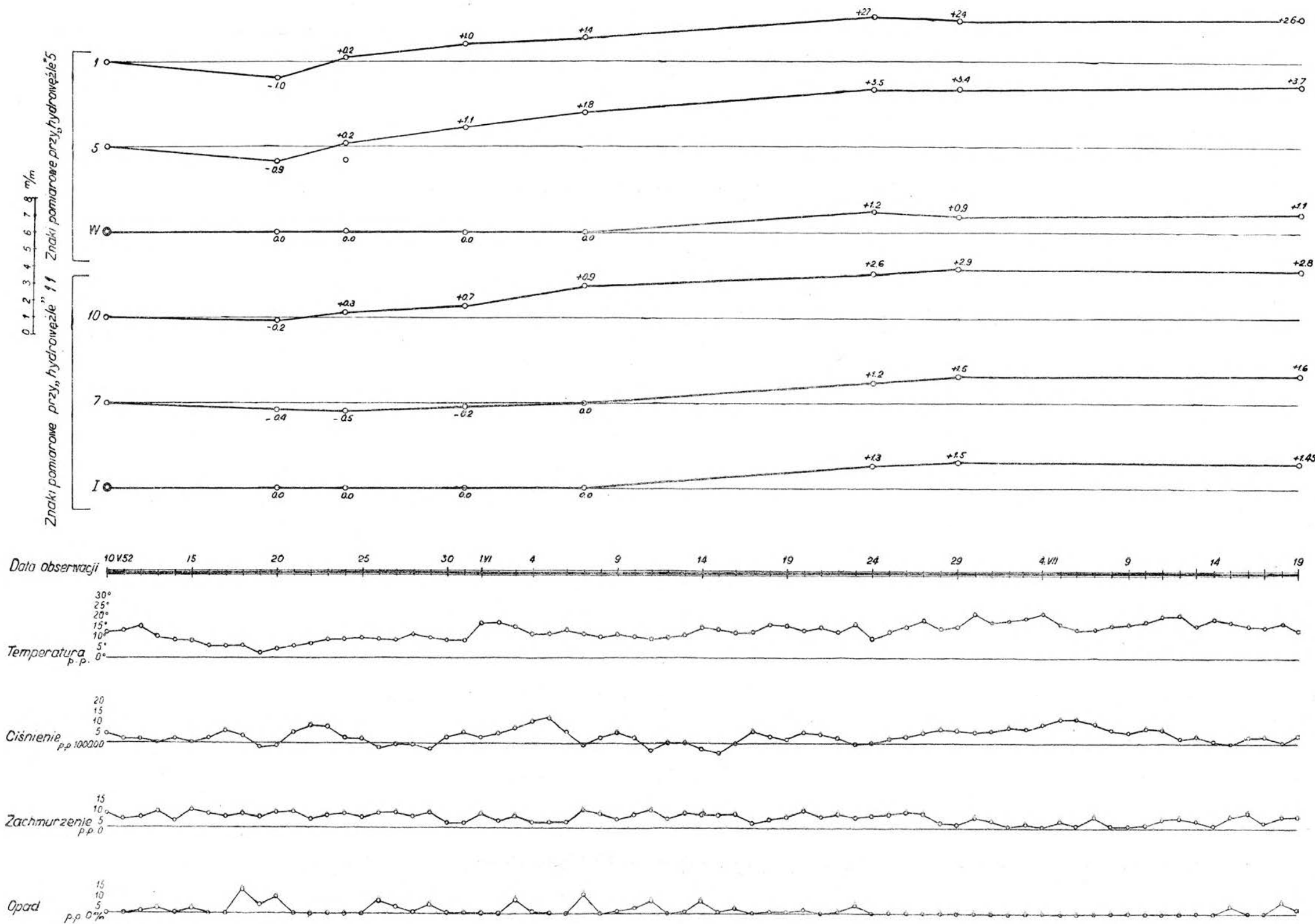
b) *Sieć reperów*. Przed przystąpieniem do prac geodezyjnych przy badaniu odkształceń należy ustalić z kierownictwem badań hydrogeologiczno-gruntowych przybliżony zasięg deformacji pod wpływem badań i zabiegów budowlanych. Projektuje się na tej podstawie obszar rozmieszczenia reperów, których znaczna część musi leżeć poza zasięgiem deformacji gruntu. Na interesującym obszarze należy zainwentaryzować wszystkie repery miejskiej sieci niwelacyjnej z podziałem na rzędy. Najbardziej pożądane byłyby repery precyzyjne, a następnie techniczne o kształcie dającym gwarancję jednoznacznego ustawienia łąty podczas każdego pomiaru. Przy małym zagęszczeniu reperów należy założyć nowe.

Tak utworzona sieć powinna być precyzyjnie zaniwelowana i jako całość wyrównana. Będzie ona mogła służyć do wszystkich prac geodezyjnych, do czasu ustabilizowania reperów specjalnego typu tzw. głębinowych (patrz punkt f).

c) *Obserwacje*. Sposób wykonania obserwacji został dość wyczerpująco omówiony w poszczególnych punktach, można by zalecić przy ograniczonym czasie wykonanie niwelacji, przy użyciu dwóch łąt opieranych nie na żabkach lecz na klinach (program obserwacji stosowany w Czechosłowacji), który dałby oszczędności w czasie, nie pogarszając prawdopodobnie wyników. Odczyt wstecz wykonuje się równocześnie na podział główny i kontrolny łąty, a następnie podobnie, odczytuje się łątę w przód. W odróżnieniu od stosowanego u nas programu odczytów gdzie kolejność jest następująca:

- | | | |
|-------------------|---|--------------------------------|
| 1. Odczyt wstecz | } | z podziałów głównych na łątach |
| 2. „ w przód | | |
| 3. Odczyt w przód | } | z podziałów kontrolnych |
| 4. „ wstecz | | |

sposób czeski skraca czas obserwacji, w związku z tym dokładniej można wykonać odczyty (im krótszy czas obserwacji tym mniejsze osiadanie in-



Rys. 69

d) *Obliczenie*. Zestawienie wyników niwelacji precyzyjnej należy przeprowadzić z dwoma miejscami po przecinku (setne milimetra). Obliczenia przesunąć reperów lub ich rzędnych z czterema znakami po przecinku, chociaż w częstych przypadkach wystarczą trzy znaki. Wyniki ostateczne podaje się przeważnie z dokładnością do dziesiątych części milimetra, lecz to zależy od otrzymanych z obliczeń średnich błędów, które charakteryzują uzyskaną dokładność.

f) *Graficzne przedstawienie wyników*. Na rys. 69 przedstawiliśmy przesunięcie reperów hydrowężla oraz dwóch reperów stałych, położonych w sąsiedztwie hydrowężla w funkcji czasu. Dla lepszej interpretacji wyników podane (wykreślone) zostały dane meteorologiczne. Dla pełnego zobrazowania wpływów zewnętrznych na przesunięcia reperów na rys. 70 podane są postępy prac budowlanych oraz ich lokalizacje w stosunku do obserwowanych znaków geodezyjnych. Innym rodzajem graficznego przedstawienia wyników byłby sposób wykreślenia warstwicy, który dość wyraźnie pokazywałby ruch obszaru poddanego zabiegom badawczym. Do tego celu potrzebna jest dość gęsta sieć reperów, których przesunięcia można interpolować i wykreślać warstwice. Na terenie P.K. i N. nie można było użyć tego sposobu ze względu na zbyt małe zagęszczenie reperów.

Podane wnioski w poprzednich punktach, a szczególnie w p. b. dotyczyły reperów zastabilizowanych w budowlach (repery ściennie). W przypadku, gdy projektowany teren pod obiekt jest niezabudowany, będzie zachodzić potrzeba założenia sieci reperów gruntowych, a tym samym opracowanie odpowiedniej ich konstrukcji i stabilizacji. Na terenie P.K. i N. wykonane były trzy repery ziemne tzw. głębinowe. Stopa reperu posadowiona była na dużej głębokości w odpowiednio wytrzymałej warstwie gruntu. Specjalna konstrukcja zabezpiecza reper od wpływów zewnętrznych. Całość konstrukcji pozwala na dość bliskie posadowienie reperów w stosunku do budowanego obiektu, bez obawy o szkodliwe jego oddziaływanie. Mała odległość reperów stałych (głębinowych) od interesujących nas reperów ruchomych pozwala na dokładne wyznaczenie ich przesunięć.

LITERATURA

- [1] *Abramow N. M.* — Stroitelstwo fundamenta wysotnowo zdania.
— Mechanizacja trudnojomkich i triazolych robot Nr 2/1950 r.
- [2] *Czerski Z.* — Wpływ przeszkody przy pomiarach lunetowych.
— Przegląd geodezyjny Nr 2 — 3/1946 r.
- [3] *Cytowicz H. A.* — Mechanika gruntów. — Moskwa 1951 r.
- [4] *Hausbrandt St.* — Rachunki geodezyjne. — Warszawa 1953 r.
- [5] *Jordan - Eggert* — Handbuch der Vermessungskunde, Zweiter Band, Zweiter Haldbach 1933 r.
- [6] *Korczynskij J. T.* — Kolebania wysotnych zdaniy — Stoitielnaja Promyslenost Nr 11/ 1952 r.
- [7] *Kosarukow J. J.* — Konstrukcji wysotnowo doma na Smolenskoj płoszczadi — Gorodskoje Chozajstwo Moskwy Nr 2/1953 r.
- [8] *Kulakow A. P.* — Wystnoje zdaniye u krasnych worot — Gorodskoje Chozajstwo Moskwy Nr 1/1953 r.
- [9] *Lazzarini T.* — Geodezyjne pomiary odkształceń (ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb kontroli zapór wodnych). Prace GINB Nr 12 — Warszawa 1952 r.
- [10] *Lazzarini T.* — Ogólne wiadomości o geodezyjnych pomiarach odkształceń. — Rocznik geodezyjny 1953 r. część VI, rozdział X.
- [11] *Lazzarini T.* — Wyznaczenie odkształceń metodami geodezyjnymi. — Rocznik geodezyjny 1954 r., rozdział Xa.
- [12] *Piętkowski F.* — Mechanika gruntów. — Warszawa 1950 r.
- [13] *Szymoński J.* — Instrumentoznawstwo geodezyjne. Warszawa 1954 r.
- [14] *Warchałowski E.* — Niwelacja geometryczna. — Warszawa 1954 r.
- [15] *Weigel K.* — Rachunek wyrównawczy wedle metody najmniejszych kwadratów oraz jego zastosowanie przy rozmierzaniu kraju. — Lwów — Warszawa 1923 r.
- [16] *Wyszogrodzki Cz.* — Zagadnienie reperów fundamentalnych w sieci niwelacji m. st. Warszawy. — Przegląd Geodezyjny Nr 4, 5/1945 r.
- [17] Materiały z badań na terenie Pałacu Kultury i Nauki wykonywanych przez Geodezyjny Instytut Naukowo-Badawczy. —

КЛЭМЕНС ТАРНОВСКИ

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГРУНТОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ Д. К. и Н. им. И. СТАЛИНА в ВАРШАВЕ

В этом труде оговорены методы наблюдения и вычисления деформации при следующих исследовательских гидрологических и земляных работах на строительной площади Д. К. и Н. в Варшаве.

1. Геодезические наблюдения при пробной нагрузке грунта имели своей целью определение величины оседания грунта под влиянием его нагрузки или отгрузки. Результаты, полученные при помощи прецизионной нивелировки контролировали величины, получаемые при измерении перемещений грунта специальными фюльгелеями.

Пробные нагрузки производились :

- а) в буровых скважинах,
- б) в шахтах.

Нагрузка грунта производилась при помощи лежащего на поверхности грунта башмака, нагружаемого гирями. Величины оседания определялись при помощи специальных фюльгелей и прецизионной нивелировкой. Размещение фюльгелей и рейки дано на фотографии. Средняя ошибка определения перемещения рейки была порядка 0,1 мм.

2. Геодезические работы при определении деформации грунта после выемки котлована под высотную часть Д. К. и Н.

Для получения величины деформации грунта после выемки котлована под высотную часть Д. К. Н. нужно было перед выемкой заложить ряд глубинных (т. наз. „плавающих“) реперов на глубине ок. 1 м. ниже проектируемого дна котлована, и, конечно, определять превышения между постоянным репером и „плавающими“ реперами до и после выемки котлована. С этой целью, на дне буровых скважин в районе котлована, на слое бетона, были заложены „плавающие“ реперы. Потом, внутри бурильной трубы ставилась на репер защитная труба со слоем изоляционного материала на дне, который хранил репер от сотрясений, осадков и грязи.

Наблюдения производились при помощи стальной рулетки с прикрепленным к ней (без шарнира) противовесом. Рулетка перемещалась на блоке, завешенном на обыкновенном геодезическом штативе. К рулетке прикреплялась миллиметровая шкала или небольшая прецизионная рейка. Рулетка с цилиндром опускалась в трубе до соприкосновения цилиндра с головкой репера, а потом, путём прецизионной нивелировки привязывали „плавающий“ репер к постоянному.

При этих наблюдениях нужно учитывать влияние температуры и возможного отклонения трубы от отвеса (рис. 64 а, б, в). Отклонение трубы от отвеса можно определить или линейными измерениями, или при помощи „уровня с угломером“ (рис. 65). Численные величины и результаты наблюдений даны на рис. 62 и 67 и в таблицах № 1 и № 2.

3. Геодезические работы при исследованиях деформации грунта под влиянием откачивания воды.

Эти работы имели своей целью наблюдения движения грунта под влиянием откачивания воды. В местах откачивания воды, т. наз. „гидроузлах“ были закреплены специальные реперы „гидроузла“ (рис. 68). Размещение исходных, постоянных реперов и реперов „гидроузлов“ показано на рис. 63. Измерения велись методом прецизионной нивелировки, привязывая реперы „гидроузлов“ к постоянным; полученная таким образом нивеляционная сеть была полностью уравновешена.

Дан анализ точности наблюдений и критерия, какие ошибки наблюдений ещё допускаемы при заложенной наперёд точности.

Даны примеры вычисления перемещений реперов гидроузла (стр. 267-278). Рис. 69 графически изображает получаемые результаты, рис. 70 изображает состояние строительных работ, оказывающих большое влияние на перемещения реперов.

KLEMENS TARNOWSKI

GEODETICAL SURVEYING OF DEFORMATIONS AT
HYDROLOGICAL AND GROUND RESEARCHES ON THE GROUNDS
OF THE PALACE OF CULTURE AND SCIENCE.

S u m m a r y

In the treatise there are discussed methods and results of deformation measurement executed in liaison with ground and hydrological research work on the grounds of the Stalin Palace of Culture and Science in Warsaw.

1. The aim of geodetical surveying at the trial charging of the grounds was the determination of ground sinking under the influence of their being charged or discharged. The results of the precise levelling served as a control to ground movements measured by help of a dial gauge. There were used two modifications of test weighing:

- a) the ground was charged in pit-mouth, and
- b) in shafts borred by mining method.

The weighing set consisted of a footplate reposing on the ground and joined with a scale where weights were laid on, and of measuring implements. Both mechanical methods and precise levelling were used. Location of dial gauges and suspension of small levelling rod are shown on the photograph. The levelling results were entered in the same formulary where the observations of dial gauge indications were recorded. Mean error of determination of levelling rod movement was at about 0.1 mm.

2. Geodetical work for researches of ground deformation after the excavation for building was made.

In order to receive the amount of change of ground tension some levelling marks so called „soundings“ were arranged at the depth at about 1 m beneath the bottom of the planned dig-out, and the height differences measured between them and a fixed levelling benchmark before and after the earthwork was done. For that purpose in chosen points of the planned dig-out boreholes were drilled, and their bottoms covered with a concrete layer, and the marks shown in fig. 59a laid in. On the levelling mark within the boringtube, was put a protecting tube the bottom of which was provided with a layer of damping — and isolation material

in order to protect the mark from outside influences, such as shakes and slime. The boring tube was pulled out after the protecting tube was settled.

The surveying was executed by the help of an arrangement fig. 58. consisting of a tape with a cylinder fixed joinlessly on its end, and an attached counterweight. The tape could slide on a pulley fastened to a surveying tripod. A millimeter scale or a small levelling rod was fastened to the tape. After the tripod was set, the cylinder was deepened into the tube till it touched head of the mark, and then the „soundings“ were connected by precise levelling to fixed benchmarks.

The temperature influence on the tape, and respective out of perpendicular of the tube had to be taken into account (fig. 64 a, b, c). Out of perpendicular of the tube might be measured by means of linear surveying (fig. 59 b) or by means of a special level (fig. 65). The results of surveying are shown on the fig 62 and the numerical quantities in the table 1 and 2.

3. Geodetical work concerning ground deformations caused by pumping out the water.

The purpose was to observe the ground movements when the ground was deprived of water by pumping it out. At each point where the water was pumped out — called „hydroknot“ — a special mark, called „hydroknot mark“ was foreseen (fig. 68). Distribution of hydroknot marks and of benchmarks of standart points is shown on fig. 63.

A net of precision levelling consisting of „hydroknots“ connected with standart benchmarks was adjusted as a whole. There is also given the analysis of exactitude of measurement i. e. the quantity of admissible error by which end result will not surpass beforehand accepted limit. Two examples illustrate the calculation of the movement of „hydroknot“ (page 34-49). The results are shown in the graphical manner on diagram (fig. 69), and fig. 70 represents the state of building work at that time, which also exerted considerable influence on the movement of the benchmarks.