

Irmina LAUDYN

Państwowe Wydawnictwo

Wydawnictw Kartograficznych

Warszawa

ZARYS METODYKI GEODEZYJNYCH BADAŃ PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM GEOMETRYCZNEJ INTERPRETACJI WYNIKÓW

Streszczenie. W pracy przedstawiono w zarysie metodykę badania przemieszczeń pionowych stosowaną w geodezyjnych pomiarach inżynierskich. Omówiono w niej zasady projektowania sieci niwelacyjnych, stosowane techniki pomiarowe i błędy związane z tymi technikami, proces opracowania wyników, metody obliczania przemieszczeń oraz zagadnienia geometrycznej interpretacji wyników.

1. UWAGI O ZASADACH PROJEKTOWANIA SIECI

Za pomocą pomiarów geodezyjnych możemy rejestrować położenia zwiortów punktów w przestrzeni w przyjętym układzie współrzędnych, jak również zmiany położenia punktów, sieć geodezyjna jest bowiem zbiorem punktów. Przystępując do projektowania sieci, obejmujących te punkty i służących do wyznaczania ich przemieszczeń pionowych, należy dokonać pewnych ustaleń.

Najważniejszym ustaleniem jest decyzja, czy wyznaczone mają być przemieszczenia względne, względem jednego z punktów, który ulega również przemieszczeniom - czy bezwzględne, względem grupy punktów o sprawdzonej w granicach błędów wzajemnej stałości. Wyznaczanie przemieszczeń względnych wymaga założenia tylko sieci punktów na badanym obiekcie. Wyznaczanie przemieszczeń bezwzględnych wymaga, oprócz punktów badanych, założenia jeszcze grupy punktów odniesienia, posadowionych poza obszarem objętym przemieszczeniami. Na terenach górniczych zastabilizowanie punktów odniesienia jest bardzo trudne, wymaga analizowania wszystkich przyczyn powodujących przemieszczenia (wraz z wpływem eksploatacji podziemnej), a często może okazać się niemożliwe.

Bardzo ważne jest również ustalenie szybkości zachodzących zmian, od tego zależy czas wykonywania pomiarów. Obserwacja całej sieci musi trwać krócej niż powstawanie dostrzegalnych ruchów punktów, co oznacza, że w czasie wykonywania obserwacji nie zachodzą przemieszczenia punktów większe niż błędy ich wyznaczeń. Dalsze ustalenia to określenie zjawisk, które mają być zdefiniowane za pomocą wyników pomiarów. I tak na przykład, jeśli chcemy określić przebieg konsolidacji gruntu w nasypie, to zaprojektujemy sieć reperów magnetycznych na głębokościach poszczególnych, badanych warstw nasypu. Jeśli chcemy określić również wpływ tego nasypu na rodzime podłoże, to założymy również repery w podłożu. Jeśli chcemy badać osiadanie podłoża pod budowlą betonową, to założymy repery w fundamentach tej budowli; repery posadowione wyżej, ponad fundamentem, pokazywałyby łączny wpływ osiadania podłoża, zmian termicznych betonu oraz wpływ przechyłów budowli. Zdanie sobie sprawy ze wszystkich możliwych przyczyn, które mogą spowodować osiadanie badanego obiektu, pozwoli na poprawne zaprojektowanie sieci pomiarowej. Poprawna sieć, to sieć założona z tak dobraną liczbą punktów i tak rozmieszczonych, że osiadania tych punktów we właściwy sposób charakteryzują osiadanie całego obiektu i pozwalają przeanalizować przyczyny, które spowodowały wystąpienie tych osiadań.

2. WSKAZÓWKI CO DO TECHNIKI POMIAROWEJ

Sposób wykonania pomiaru wynika z wymaganej dokładności wyznaczanych osiadań. Jeśli osiadania mają być wyznaczone z dokładnością paru dziesiątych milimetra, to musimy wykonywać pomiary za pomocą dokładnie sprawdzonego, zrektyfikowanego niwelatora precyzyjnego i sprawdzonych łąt. Oprócz tego należy zwrócić uwagę na następujące wpływy:

- wpływ okresowych zmian długości łąt niwelacyjnych,
- wpływ zmian termicznych łąt,
- wpływ refrakcji,
- wpływ drgań na terenach zakładów przemysłowych.

Zmiany długości taśmy inwarowej w łacie mogą nastąpić na skutek wstrząsów. Wyznaczać je można za pomocą okresowej komparacji, ale jedna pracownia komparacji łąt w Warszawie dla całego kraju nie może spełnić swojego zadania, bo łaty mogą ulegać zmianom podczas transportu. Tę sprawę mogą rozwiązać komparatory przenośne, ale obecnie mamy tylko jeden taki komparator w Instytucie Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej.

³ Dotyczy to pomiarów osiadań postępujących bardzo powoli, nie szybkozmiennych.

Obecnie pozostaje nam jedynie zalecenie przechowywania łąt w obrębie badanego obiektu, co nie zawsze jest realne ze względu na zbyt małą liczbę posiadanych łąt w kraju.

Należy sobie zdawać sprawę z tego, że taśma inwarowa w łacie precyzyjnej ulega rozszerzalności termicznej, a współczynnik rozszerzalności jest zbliżony do współczynnika inwaru, czyli jest około 10 razy mniejszy niż współczynnik dla stali lub betonu. Dla przykładu: przy różnicy wysokości $\Delta h = 30$ m, różnicy temperatury $\Delta t = 25^\circ\text{C}$, przyjmując współczynnik rozszerzalności $\alpha = 10^{-6} \text{ m/m/}^\circ\text{C}$, niewprowadzenie poprawki termicznej spowoduje zniekształcenie wyznaczonych osiadań o wielkości rzędu $30 \times 25 \times 10^{-6} \approx 0,75$ mm. Stąd wniosek, że wyznaczając osiadania w terenach o dużych deniwelacjach, należy mierzyć temperaturę łąt i wprowadzać poprawki po uprzednim wyznaczeniu współczynnika rozszerzalności termicznej każdej z łąt.

Możliwość wprowadzania poprawki termicznej do wyników niwelacji precyzyjnej jest w dużym stopniu ograniczona nie tylko brakiem odpowiednich termometrów do pomiaru temperatury łąt, ale również bardzo częstym brakiem precyzyjnych danych o wielkościach współczynników rozszerzalności łąt. Nie można utożsamiać tego współczynnika z wielkością współczynnika inwarowej taśmy. Wyznaczanie współczynników rozszerzalności łąt jest wykonywane w Polsce tylko w jednej pracowni, przy czym istnieją tu problemy szczegółowe z dziedziny metrologii długości, takie chociażby, jak zależność wartości współczynnika od techniki jego wyznaczania, zależności rozszerzalności łąt od urządzenia mocującego i naciągającego taśmę inwarową itp. Nie miejsce tutaj na omawianie szczegółowo problemów metrologii, należy natomiast podkreślić, że problemy metrologii mogą również ograniczać dokładność niwelacji precyzyjnej.

Na terenach zakładów przemysłowych, szczególnie w zróżnicowanej temperaturze, również refrakcja może znacznie obniżyć dokładność niwelacji precyzyjnej. Można wtedy wszędzie tam, gdzie to jest możliwe - zastąpić optyczny pomiar niwelacyjny przez mechaniczny pomiar pochyłomierzem.

Drgania wpływają ujemnie na wyniki niwelacji. Dlatego na obiektach drgających nie stosuje się niwelatorów automatycznych, tylko niwelatory libelowe, które są mniej wrażliwe na drgania.

3. UWAGI O OBLICZANIU OSIADAŃ

Jeśli wyznaczamy tak zwane bezwzględne przemieszczania, to zasadniczą częścią obliczeń jest ocena stałości układu odniesienia, czyli poszukiwanie reperów wzajemnie stałych w granicach dokładności. Naturalnie trzeba zdawać

sobie sprawę z tego, że nie możemy właściwie stwierdzić bezwzględnej stałości układu odniesienia. Przyjęto, że punkty stałe są to takie punkty, które spełniają wzajemnie między sobą warunki stałości. Zgodnie z tą definicją w sieci geodezyjnej może być kilka grup punktów wzajemnie stałych, toteż wybór układu odniesienia nie zawsze może być zagadnieniem rozwiązalnym jednoznacznie. Szczególnie na terenach górniczych często trzeba rezygnować ze stałego układu odniesienia.

Należy wyraźnie podkreślić, że nazwę "przemieszczenia bezwzględne" trzeba uznać za termin umowny. Wykonywane kontrole stałości, niezależnie do sposobu tych kontroli, pozwalają wyłącznie wybierać grupy punktów stałych względem siebie. Toteż grupę punktów o jednakowym w granicach błędów osiadaniu uznamy również za grupę punktów wzajemnie stałych. Stosowane kryteria stałości nabierają dopiero realnego znaczenia, jeśli znajomość warunków geologicznych, hydrogeologicznych i sposobu stabilizacji pozwoli nam tak rozmieścić repery posadowione poza badanym obiektem, aby można było wykluczyć przypadek jednakowego osiadania grupy tych reperów.

Stosujemy różne sposoby kontroli stałości reperów posadowionych poza spodziewanym zasięgiem osiadań. Najwcześniej stosowany sposób realizuje się na podstawie wyników obserwacji; polega on na dokonywaniu porównań dopuszczalnego błędu różnic wysokości ciągu $0,1 \text{ mm } \sqrt{2(n + n')}$ z różnicą pomiaru tego ciągu z dwóch obserwacji $h' - h$. Tak zwane kryterium stałości ma postać

$$h' - h \leq 0,1 \text{ mm } \sqrt{2(n + n')},$$

gdzie n i n' - liczby stanowisk w obydwu pomiarach, $0,1 \text{ mm}$ - przyjęty dla niwelacji precyzyjnej średni błąd różnicy wysokości dla jednego stanowiska. Ten sposób oceny stałości stosuje się raczej w obliczeniach wykonywanych kalkulatorem. Dla sieci niwelacyjnej o niewielkiej liczbie reperów w dalszym ciągu obliczenia wykonuje się kalkulatorem, często bowiem czas dostarczenia wyników do maszyny cyfrowej i nakład pracy przy perforacji danych jest powodem rezygnowania z ETO wobec prostoty obliczeń.

Wyrównanie sieci wykonuje się przeważnie metodą pośredniczącą, równanie obserwacji ma postać

$$v_1 = \Delta_p - \Delta_w - l,$$

gdzie Δ_w i Δ_p - osiadań reperu "wstecz" i "w przód", czyli poprzedniego i następnego w ciągu niwelacyjnym, v_1 - poprawka do wyrazu wolnego, $l = h' - h$ - wyraz wolny; który jest różnicą różnic wysokości w pomiarze następnym i

poprzednim. Jest to równanie dla różnicy pomiarów w dwu stanach obiektu. Takie wyrównanie, różnicy obserwacji możemy stosować, jeśli sieć geodezyjna nie ulega zmianom, w przeciwnym przypadku wyrównujemy każdą obserwację oddzielnie.

Jeśli układ odniesienia został wybrany na podstawie analizowania wyników pomiarów różnic wysokości w ciągach łączących repery zastabilizowane poza badanym obiektem, to przystępując do wyrównania znamy już ten układ odniesienia. Reperom przyjętym za stałe przypisuje się wtedy w wyrównaniu osiadania zerowe i wyrównanie przeprowadza się w odniesieniu do tych reperów.

Jeśli nie dokonano wyboru reperów odniesienia przed wyrównaniem, wtedy wyrównanie należy wykonać w odniesieniu do jednego reperu, co sprowadza się do przyjęcia dla tego reperu zerowego osiadania. W wyniku tego wyrównania otrzymuje się osiadania względne, względem tego reperu, czyli różnice osiadań pomiędzy osiadaniami każdego z reperów a osiadaniami reperu odniesienia.

Na podstawie wyników tego wyrównania możemy dokonać oceny stałości reperów. Analizując wielkości otrzymanych osiadań względnych reperów posadowionych poza badanym obiektem, wybieramy repery, których osiadania różnią się między sobą nie więcej niż o wartości średnich błędów tych osiadań - będą to repery wzajemnie stałe. Obliczamy teraz ogólną średnią (z wagami) osiadań tych reperów, przyjmując wagi równe kwadratowi odwrotności średnich błędów osiadań. Tę otrzymaną wartość średnią odejmujemy od osiadań względnych otrzymanych z wyrównania i w ten sposób osiadanie względne przeliczamy (transformujemy) na wartości bezwzględne.

Inny sposób sprawdzania wzajemnej stałości reperów, stosowany w algorytmach realizowanych za pomocą ETO, to porównywanie różnic osiadań reperów ze średnimi błędami tych różnic

$$\Delta_A - \Delta_B \leq 1m(\Delta_A - \Delta_B)$$

Osiadania Δ , tak zwane pozorne, są wyznaczone na podstawie wyrównania przeprowadzonego w odniesieniu do jednego, dowolnego reperu w sieci. Średni błąd różnicy osiadań można obliczyć jako błąd funkcji ze znanego ogólnego wzoru, który w zapisie krakowianowym ma postać

$$m_F = m_0 \sqrt{f(A^2)^{-1}f}$$

Ten wzór ogólny sprowadza się w tym szczególnym przypadku do postaci

$$m_F = m_0 \sqrt{Q_{AA} + Q_{BB} - 2Q_{AB}}$$

gdzie m_0 - średni błąd typowego spostrzeżenia z wyrównania, Q_{AA} , Q_{BB} , Q_{AB} - elementy odwrotności krakowianu utworzonego ze współczynników układu równań normalnych, czyli elementy krakowianu $(\underline{A}^2)^{-1}$, odpowiadające niewiadomym osiadanom rozpatrywanych reperów.

Istnieją zróżnicowane poglądy co do przyjmowania współczynnika l w tym sposobie kontroli stałości. Wiadomo, że ekstremalne wartości tego współczynnika zawierają się w granicach $1 \leq l \leq 3$. Konkretną wartość l można przyjmować na przykład 2.

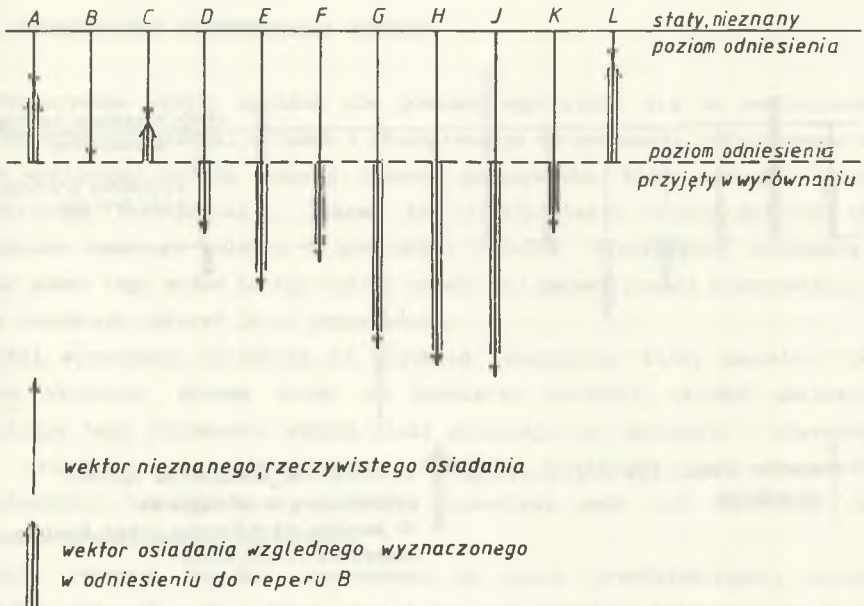
Uważam jednak, że zamiast przyjmowania wartości l , można poszukiwać reperów odniesienia (zakładając uprzednio ich minimalną liczbę) w drodze kolejnych prób: poszukiwanie w granicach pojedynczego błędu średniego, w granicach wielokrotności 1,25; 1,50; . . . 3,00. W ten sposób zostanie wybrana grupa wzajemnie stałych punktów o założonej liczebności, przy możliwie najmniejszym współczynniku l .

Dla dużych sieci niwelacyjnych obliczenia wykonuje się obecnie za pomocą ETO. Istnieją już algorytmy i programy obliczania osiadań w pełni zautomatyzowane, w których wszystkie etapy obliczeń są wykonywane w jednym cyklu. Po wprowadzeniu danych pomiarowych program realizuje kolejno: kontrolę wyników obserwacji, wyrównanie w odniesieniu do jednego reperu, wybór układu odniesienia, obliczenie osiadań w przyjętym układzie odniesienia, analizę dokładności.

4. UWAGI O WYZNACZANIU PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH NA TERENACH GÓRNICZYCH

Jeśli znalezienie układu odniesienia okaże się niemożliwe, co często zdarza się na terenach górniczych, porzeczajemy wtedy na wyznaczeniu osiadań względnych. Mamy wtedy dwie możliwości.

Możliwość pierwsza - to obliczenia osiadań na podstawie wyrównania obserwacji w odniesieniu do jednego reperu. Interpretację geometryczną tak wyznaczonych osiadań przedstawia rysunek 1. Osiadania w stosunku do stałego poziomu odniesienia pokazane na rysunku 1 wektorami o początkach na linii stałego poziomu w rzeczywistości są niezależne. Wyrównanie przeprowadzono w odniesieniu do reperu B, wobec czego od linii przerywanej na rysunku 1 zobrazowane są osiadania względne, wyznaczone z wyrównania.

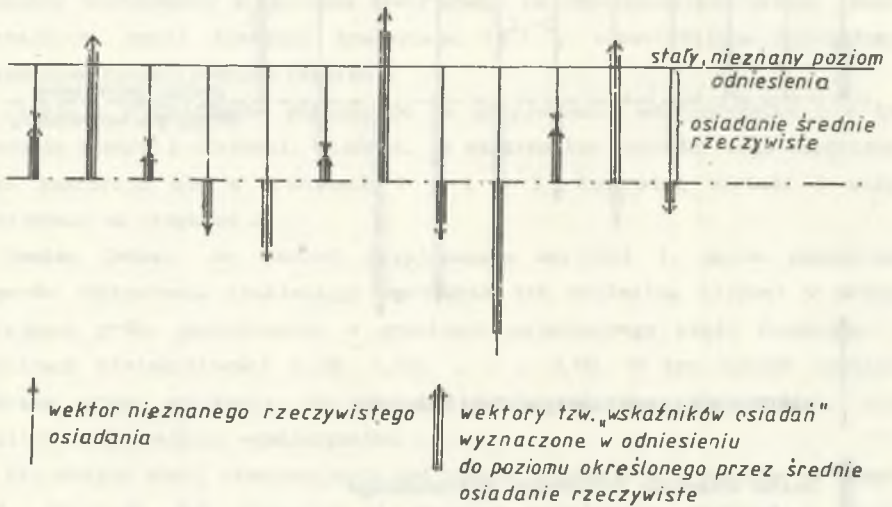


Rys. 1

Możliwość druga - to zastosowanie do wyrównania zasad wyrównania tak zwanych "sieci wolnych". W tym wyrównaniu wyznacza się niewiadome, w omawianym tutaj wypadku - osiadania, dla wszystkich punktów (reperów). W tradycyjnym ujęciu prowadzi to, jak wiadomo, do nierozwiązalnego układu równań. Aby doprowadzić zagadnienie do rozwiązalności, uzupełnia się układ równań jednym warunkiem układu odniesienia, który dla sieci niwelacyjnej ma postać $\sum_{i=1}^n \Delta_i = 0$, gdzie Δ_i - osiadania dla wszystkich reperów. Istnieją tu różne sposoby rozwiązania takiego układu równań, na przykład sposób podany w [8]. Najbardziej rozpowszechnionym u nas sposobem jest, podany przez Hausbrandta [3] sposób wielkich wag.

Interpretację geometryczną tego wyrównania przedstawia rysunek 2. Obliczone osiadania są wyznaczone względem poziomu określonego przez średnie osiadanie danej sieci. Wyznaczone wielkości są to różnice pomiędzy osiadanem średnim a osiadanem rzeczywistym każdego reperu.

* Dla sieci poziomej liniowo-kątowej będą to trzy warunki, dla sieci kątowej - cztery, dla sieci przestrzennej liniowo-kątowej - sześć.



Rys. 2

Proponuje się nazwać tę różnicę "wskaźnikiem osiadań". Wskaźnik ten jest w zasadzie miarą nierównomierności osiadań dla poszczególnych reperów, pokazuje, o ile osiadanie danego reperu odbiega od wartości osiadania średniego. Wszystkie "wskaźniki osiadań" otrzymują w toku wyrównania charakterystykę dokładności.

5. TECHNIKI POMIAROWE STOSOWANE DO WYZNACZANIA PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH

Do wyznaczania osiadań o największej dokładności stosujemy niwelację precyzyjną. Jeśli mamy osiągać dokładność rzędu kilku milimetrów lub centymetra, zastosujemy niwelację techniczną.

Do wyznaczania osiadań stromych, niedostępnych zboczy należy zastosować niwelację trygonometryczną lub fotogrametrię naziemną i wtedy osiągnie się dokładności rzędu od jednego do kilku centymetrów, zależnie od długości celowych lub odległości fotografowania.

Osiadania terenów objętych eksploatacją podziemną wyznacza się za pomocą niwelacji precyzyjnej lub technicznej oraz również za pomocą fotogrametrii lotniczej (zdjęcie z helikoptera). Dokładność (rzędu centymetrów) jest zależna od wysokości fotografowania i od tego, czy przemieszczenia są wyznaczone dla punktów sygnalizowanych czy niesygnalizowanych.

6. GEOMETRYCZNA INTERPRETACJA WYNIKÓW

Przekazywane wyniki osiadań nie powinny ograniczać się do zestawienia tabelarycznego wielkości osiadań i standardowego sprawozdania technicznego; w miarę możliwości należy wykonać jeszcze opracowanie, które nazwałam tutaj geometryczną interpretacją. Zakres tej interpretacji będzie zależny od znajomości badanego obiektu i znajomości zjawisk, wywołujących osiadania. Trudno wobec tego podać krótko ogólne zasady tej geometrycznej interpretacji, można natomiast pokazać je na przykładach.

Jeśli wyznaczamy osiadania na przykład fundamentu, który powinien być ciałem sztywnym, możemy wtedy na podstawie wartości osiadań obliczyć translację tego fundamentu wzdłuż linii pionowej, kąt przechyłu i kierunek tego przechyłu. Do wyznaczenia translacji konieczna jest znajomość przemieszczeń bezwzględnych, przechył natomiast może być określony na podstawie przemieszczeń względnych.

Linie równych osiadań, narysowane na mapie przedstawiającej nasyp okalający zbiornik wodny, mogą wskazać drogę ewentualnej filtracji. W wielu innych wypadkach również linie równych osiadań pozwalają na bardzo wyraźne scharakteryzowanie zaobserwowanego zjawiska.

Przekroje pionowe, wykreślone na podstawie mapy badanego obiektu, uzupełnione wektorami osiadań w miejscach badanych reperów, mogą być doskonałą podstawą do analizy zjawiska. Szczególnie wyraźnie będą te zjawiska mogły być odczytane, jeśli na tych rysunkach zaznaczymy również informacje o zjawiskach, które mogły te osiadania wywołać, na przykład: zmiany poziomu wody powierzchniowej lub gruntowej, zmiany obciążenia, postęp prac ziemnych na powierzchni lub postęp eksploatacji górniczej itp.

Istotną informacją jest również, co może być też pokazane na rysunku, porównanie osiadania ze średnim błędem jego wyznaczenia.

Udział w interpretacji geometrycznej wymaga od geodety wzbogacenia swojej wiedzy wieloma informacjami z dziedziny geologii, górnictwa, budownictwa itp. Wtedy geodeta będzie mógł współuczestniczyć w badaniach zjawisk, wywołujących przemieszczenia, a nie tylko wykonywać pomiary i obliczenia, ale prawidłowo projektować sieci pomiarowe, właściwie dobierać metody obserwacji i brać udział zarówno w geometrycznej, jak również w branżowej interpretacji wyników.

LITERATURA

- [1] Gaździcki J., Wahl B.: El calculo geodesico de compensacion. Maracaibo 1978.
- [2] Gille J., Clique M.: Rachunek macierzowy i wprowadzenie do analizy funkcjonalnej. Politechnika Śląska. Gliwice 1977.
- [3] Hausbrandt S.: Rachunek wyrównawczy i obliczenia geodezyjne. tom 2. PPWK, Warszawa 1971.
- [4] Hermanowski A.: Pomiarzy przemieszczeń pionowych. [W:] Niwelacja precyzyjna - praca zbiorowa. PPWK, Warszawa 1971.
- [5] Hermanowski A., Laudyn I.: Obliczanie pionowych przemieszczeń budowli. Prace IGiK, zeszyt 3, Warszawa 1981.
- [6] Laudyn I.: Rozważania nad układem odniesienia do geodezyjnego wyznaczania przemieszczeń. Prace IGiK, zeszyt 1-2, Warszawa 1985.
- [7] Lazzarini T.: Geodezyjne pomiary przemieszczeń budowli i ich otoczenia. PPWK, Warszawa 1971.
- [8] Mittermayer E.: Eine Verallgemeinerung der Methode der kleinsten Quadrate zur Ausgleichung Freier Netze. ZfV 9, Stuttgart 1971.

Recenzent: Doc. dr hab. Witold Prószyński

Wpłynęło do Redakcji 3.01.1988.

SURVEYING EXAMINATIONS OF VERTICAL MOVEMENTS WITH GEOMETRICAL INTERPRETATION OF THE RESULTS

Summary

This paper shows briefly, the methodology of vertical movement examination used in engineering land surveying.

The author described also the principles of designing levelling nets, the applied surveying procedures and the errors connected with them. The process of processing the results the methods of estimating displacements and the problem of geometrical interpretation.

KONZEPT DER PRÜFUNGMETHODIK VON HORIZONTALER VERLAGERUNGEN UNTER BEACHTUNG

Z u s a m m e n f a s s u n g

In dieser Bearbeitung wurde im Umriss die Prüfungsmethodik von horizontaler Verlagerungen vorgestellt, die bei geodätischen Abmessungen verwendet wird.

Es wurde auch der Projektierungsprinzip für Nivellierungsnetze, verwendete Messtechnik und damit verbundene Fehler, Verlauf der Bearbeitung der Ergebnisse, Berechnungsmethodik der Verlagerungen wie auch das Problem geometrischer Erklärung der Ergebnisse, beschrieben.