

TADEUSZ WYRZYKOWSKI

526.36 : 551.241

Zagadnienia projektowania sieci powtarzanej niwelacji precyzyjnej dla potrzeb badania współczesnych pionowych ruchów skorupy ziemskiej

1. Ogólne wiadomości o współczesnych pionowych ruchach skorupy ziemskiej i geodezyjnej metodzie ich wyznaczania

Podręczniki geodezji, omawiając teorię i praktykę pomiarów i obliczeń geodezyjnych, najczęściej jako fakt oczywisty, nie wymagający nawet drobnej wzmianki, przyjmują założenie stałości położenia materialnych punktów leżących na powierzchni Ziemi, których wzajemne położenie zostaje przez geodetę określone na drodze pomiaru. Założenie to jest generalnie słuszne. Istnieją jednak tego rodzaju zagadnienia geodezyjne, w których przyjęcie *a priori* założenia stałości — w ciągu dłuższego okresu czasu — wzajemnego położenia punktów objętych pomiarem byłoby błędem. W pewnym stopniu do tego rodzaju zagadnień należy też niwelacja precyzyjna. Poszczególne punkty (repery) niwelacji precyzyjnej przez swą stabilizację związane z podłożem, w którym są osadzone, podlegają bowiem bardzo złożonym, w zasadzie małym i powolnym, ale dającym się stwierdzić ruchom o różnych kierunkach i różnym charakterze.

Składowa pozioma ruchu reperu jest najczęściej wynikiem wadliwego obrania miejsca jego osadzenia (zsuwy) i odzwierciedla ruchy o charakterze lokalnym.

Składowa pionowa ruchu reperu jest z punktu widzenia niwelacji ważniejsza, a jednocześnie łatwiej przez nią stwierdzana.

Wymienimy tu różne możliwe źródła przemieszczenia reperu, poczynając od ruchu o charakterze najbardziej lokalnym, a kończąc na najbardziej ogólnym.

1. Osiadanie stabilizacji reperu w podłożu.
2. Pionowa składowa zsuwu podłoża.
3. Pionowy ruch podłoża na skutek zmian warunków termicznych i wilgotnościowych (kurczenie się lub pęcznienie podłoża).

4. Pionowy ruch podłoża na skutek wymywania głębszych jego warstw przez wody podskórne.

5. Pionowy ruch podłoża na skutek zmian poziomu wody gruntowej.

6. Pionowy ruch podłoża na skutek współczesnych wielkopromiennych ruchów głębszych warstw skorupy ziemskiej.

Pięć pierwszych punktów, w porównaniu do ostatniego, dotyczy ruchów o znacznie mniejszym zasięgu, o zmiennych w czasie wartościach i lokalnym znaczeniu.

Ostatni punkt dotyczy ruchów o zupełnie innym, znacznie ogólniejszym charakterze. Ruchy tu wymienione są współczesnym przedłużeniem działających w zamierzonych czasach ruchów tektonicznych, których wynikiem jest znana nam dziś podstawowa budowa rzeźby terenu poszczególnych kontynentów. W punkcie tym również mieścić się będą wielkopromienne ruchy o charakterze glacialno-izostatycznym, czyli ruchy skorupy ziemskiej wynikające z dążenia do zachowania równowagi izostatycznej po cofnięciu się z obszarów lądowych grubej powłoki lodowcowej.

Właśnie te ruchy o charakterze ogólnym, długookresowym, powodujące między innymi trwałe i systematyczne zmiany wysokości położenia poszczególnych punktów sieci niwelacji, są obecnie różnymi metodami badane i wyznaczane.

Znajomość ich ma duże znaczenie teoretyczne i praktyczne dla różnych gałęzi nauk o Ziemi, pozwalając na zrozumienie wielu na pierwszy rzut oka nie powiązanych z sobą zjawisk, zachodzących w górnych warstwach skorupy ziemskiej i na jej powierzchni. Znajomość wielkości tych ogólnych ruchów skorupy ziemskiej i zmienności ich na poszczególnych obszarach ma też i znaczenie czysto praktyczne; prócz wspomnianego już stopniowego deaktualizowania wyników dokonanych pomiarów niwelacji precyzyjnej, wpływają one na przykład na zmianę poziomu położenia obiektów budownictwa wodnego (zapory, budownictwo portowe) w stosunku do zwierciadła wody, co przy tych kosztownych budowlach, obliczonych na długoletnie użytkowanie, powinno w niektórych wypadkach być brane pod uwagę.

Oczywiście waga ogólnych, długookresowych ruchów skorupy ziemskiej zależy od ich wielkości. W obrębie obszaru Europy stwierdzono dotychczas szybkości ruchów przeważnie w granicach jednego centymetra na rok.

Zmiany średniego poziomu morza w stosunku do obiektów położonych na lądzie, a także zmiany linii brzegowej morza w ciągu dłuższych okresów czasu, zaczęto badać w sposób naukowy już przed przeszło dwustu laty. Głównie zajmowali się tym Skandynawowie, którzy — jak dziś to wiemy — mają do czynienia z obszarem podlegającym szczególnie dużym ruchom pionowym skorupy ziemskiej. Spostrzegane zmiany były początkowo tłumaczone obniżaniem się poziomu morza Bałtyckiego. Z biegiem

jednak czasu, na skutek nagromadzenia się materiału obserwacyjnego świadczącego o zróżnicowaniu wielkości tych zmian wzdłuż linii brzegowej, zwyciężył pogląd iż ruchom pionowym, o różnej wielkości na różnych obszarach, podlega sama skorupa ziemska [7]. W sukurs oceanografii przyszły również badania geologiczno-geomorfologiczne, które już w głębi łądu, na podstawie studiów najmłodszych utworów geologicznych i analizy rozwoju ich form, stwierdziły występowanie współczesnych pionowych ruchów skorupy ziemskiej.

W ostatnich dziesiątkach lat zaczęto do badań współczesnych ruchów skorupy ziemskiej wykorzystywać również pomiary niwelacyjne. Stało się to możliwe ze względu na osiągniętą wysoką już precyzję tych pomiarów i fakt powtarzania pomiarów dawnych sieci, mierzonych przed dziesiątkami lat. Stwierdzane często wyraźne i systematyczne zmiany w wysokościach punktów sieci wskazywały na współczesną działalność ruchów tektonicznych, bądź innych, dających podobny efekt.

Wyniki powtarzanych pomiarów niwelacji mogą w zasadzie w sposób dwojaki być wykorzystane dla wyznaczenia wielkości, a ściślej — prędkości ruchów skorupy ziemskiej.

1. Przez porównanie nie wyrównanych wartości przewyższeń na poszczególnych liniach niwelacji, to znaczy wartości uzyskanych z dwu kolejnych pomiarów, dokonanych w odpowiednio odległych odstępach czasu. Wynikiem tego porównania będą różnice:

$$\Delta h_i = h_i'' - h_i'. \quad (1)$$

Wyrównaniu podlegają następnie przyrosty prędkości ruchów skorupy ziemskiej między punktami węzłowymi sieci niwelacyjnej, tj. wartości ΔV_i , obliczone jako:

$$\Delta V_i = \frac{\Delta h_i}{\Delta T_i}, \quad (2)$$

gdzie ΔT_i jest interwałem czasu między dwoma kolejnymi pomiarami i -tej linii [11]. Ostatecznie, prędkości ruchu poszczególnych punktów sieci (n) uzyskujemy przez zsumowanie przyrostów ΔV_i na drodze (D) od punktu przyjętego za poziom wyjściowy (O) do danego punktu, czyli jako:

$$V_n = V_0 + \sum_{i=0}^n \Delta V_i. \quad (3)$$

Jeśli za punkt wyjściowy przyjmiemy punkt, którego prędkość (V_0) określona została w odniesieniu do średniego poziomu morza, to wszystkie wyznaczone dla punktów sieci prędkości będą też odniesione do poziomu morza i będą nosiły miano prędkości bezwzględnych.

Jeśli za punkt wyjściowy przyjmiemy jakiś punkt w głębi łądu, zakładając stałość jego poziomu, czyli przyjmując $V_0 = 0$, to wszystkie wyzna-

czone w oparciu o ten punkt prędkości punktów sieci niwelacyjnej będą określały jedynie ich prędkości względne.

2. Pionowe ruchy skorupy ziemskiej mogą być określone przez porównanie wyrównanych wysokości punktów, tj. wysokości wspólnych punktów dwu sieci, mierzonych w odległych od siebie interwałach czasu [5]. Oczywiście porównywane wysokości muszą być obliczone w tych samych systemach wysokości i odniesione do tego samego poziomu odniesienia. Prędkości ruchu punktów sieci w stosunku do poziomu odniesienia niwelacji, przyjętego za niezmienny w okresie między pomiarami, będą się wyrażały jako:

$$V'_n = \frac{H''_n - H'_n}{T'' - T'} = \frac{\Delta H_n}{\Delta T}, \quad (4)$$

gdzie ΔT jest średnim interwałem czasu między pomiarami dwu pokrywających się sieci.

Jeśli poziom (punkt) odniesienia ruchów skorupy ziemskiej różni się od poziomu (punktu) odniesienia niwelacji, to otrzymamy zależność analogiczną do tej, jaką mieliśmy w punkcie poprzednim, czyli:

$$V_n = V_o + V'_n. \quad (5)$$

W zależności od tego czy przyjmiemy dla punktu odniesienia wyznaczenia ruchów prędkości $V_o = 0$, czy też wyznaczymy ją w odniesieniu do średniego poziomu morza, otrzymamy dla wszystkich punktów prędkości względne lub bezwzględne ich ruchów.

Przedstawione powyżej dwa sposoby geodezyjnego wyznaczenia współczesnych pionowych ruchów skorupy ziemskiej nie są sobie równorzędne.

Pierwszy sposób jest bardziej prawidłowy, daje lepsze wyniki wyznaczenia, ale wymaga bardziej pełnego pokrycia się porównywanych sieci, tak by linie powtórnej niwelacji tworzyły zamknięte poligony, umożliwiające wyrównanie wartości ΔV .

Drugi sposób jest mniej ścisły, wprowadza do wyznaczenia ruchów błędy niwelacji, wynikłe na skutek tychże ruchów skorupy w okresie kilku- czy kilkunastoletniego pomiaru sieci [14]. Częściowe zmniejszenie tego błędu uzyskać można drogą kolejnych wyrównań obu sieci, po wprowadzeniu coraz to pewniejszych wartości redukcji ze względu na wyznaczone wielkości ruchów skorupy ziemskiej [3].

Sposób porównania wysokości bywa jednak czasami jedynym możliwym do zastosowania, gdyż przy łącznym opracowywaniu linii podwójnej niwelacji, w wypadku kiedy nie tworzą one zamkniętych poligonów, sposób ten daje jeszcze możliwość w pewnym sensie jednolitego opracowania, wykorzystującego pomiary nadliczbowe obu sieci, poprzez wykorzystanie wartości wyrównanych [5].

Powyższe, krótkie wprowadzenie w zagadnienie współczesnych pionowych ruchów skorupy ziemskiej i ogólne omówienie sposobów wykorzystania niwelacji precyzyjnej do ich wyznaczenia wydawało się celowe, jako naświetlenie roli i możliwości niwelacji w tym zagadnieniu, które to czynniki w zasadniczy sposób rzutować będą na charakter sieci niwelacyjnej, projektowanej pod kątem wykorzystania jej do badań ruchów pionowych skorupy ziemskiej.

Niniejsza praca ma na celu omówienie tych właśnie cech sieci niwelacji precyzyjnej, które odpowiadają potrzebom badań współczesnych pionowych ruchów skorupy ziemskiej metodą geodezyjną.

2. Projektowanie sieci powtarzanej niwelacji precyzyjnej. Wstęp

Prawie wszystkie wykorzystywane dotychczas do badań współczesnych ruchów skorupy ziemskiej materiały powtórnych niwelacji miały w pewnym sensie charakter przypadkowy. Ani projekt pierwotnej sieci i przebiegu jej poszczególnych linii, ani powtórny pomiar nie uwzględniały potrzeb tych badań. Wskutek tego możliwość wykorzystania materiałów niwelacyjnych była w znacznym stopniu ograniczona, a uzyskiwane w oparciu o nie wyniki wyznaczenia ruchów skorupy ziemskiej były obciążone stosunkowo dużym błędem.

Zmniejszenie tego błędu jest łatwe do osiągnięcia, jeśli projekt sieci i każdorazowy jej pomiar będzie odpowiadał pewnym, częściowo nowym — w stosunku do ogólnie dotychczas przyjmowanych — wymaganiom.

Przystępując do projektowania sieci powtarzanej niwelacji precyzyjnej, która ma służyć do ogólnych badań współczesnych ruchów skorupy ziemskiej na dużym obszarze, należy przede wszystkim dążyć do zrealizowania tego, aby: a) sieć ta miała możliwie jednolitą strukturę i obejmowała cały badany obszar, b) linie tej sieci przecinały ważne pod względem budowy geologicznej i tektonicznej jednostki strukturalne danego obszaru, c) pomiar całej sieci był dokonywany w krótkim okresie czasu z możliwie wysoką precyzją oraz d) aby powtarzane pomiary obejmowały całą sieć, co umożliwiłoby wyznaczenie ruchów skorupy ziemskiej przy zastosowaniu dokładniejszej metody porównywania nie wyrównanych przewyższeń.

Prócz tych zasadniczych cech samej sieci i jej pomiaru, wszystkie inne jej elementy wynikać będą z konkretnych wymagań stawianych badaniu (zasięg, poziom odniesienia, dokładność wyznaczenia) oraz z konkretnych w danym okresie możliwości (stan istniejącej sieci niwelacyjnej, dokładność pomiaru niwelacyjnego).

Poniżej omówimy poszczególne elementy sieci przeznaczonej do badań ruchów skorupy ziemskiej, którą dalej — dla uproszczenia — często nazywać będziemy siecią badawczą.

3. Elementy wpływające na kształt i strukturę sieci badawczej

Należy na wstępie zwrócić uwagę na fakt, że projektowanie sieci badawczej będzie z reguły dotyczyło obszaru, na którym istnieją już sieci niwelacji precyzyjnej. Fakt ten w znacznym stopniu ogranicza swobodę projektowania, zmuszając — ze względów ekonomicznych — do wykorzystania istniejącej stabilizacji reperów, co z drugiej strony stwarza możliwość porównania wyników dawnych pomiarów z przyszłymi i otrzymanie pierwszego, przybliżonego wyznaczenia prędkości współczesnych ruchów skorupy ziemskiej.

Biorąc pod uwagę powyższe względy, należy w projekcie sieci badawczej w możliwie dużym stopniu wykorzystać istniejące już linie niwelacji precyzyjnej.

Przy wyborze linii istniejących i przy projektowaniu nowych, należy brać pod uwagę budowę geologiczną i tektoniczną obszaru. Wychodząc z założenia, że poszczególne jednostki strukturalne mogą wykazywać charakterystyczne dla siebie, aczkolwiek zróżnicowane, prędkości pionowych ruchów, powinno się sytuować linie niwelacyjne tak, aby łączyły one, a jednocześnie przecinały te jednostki w sposób pozwalający na otrzymanie najbardziej charakterystycznych przekrojów, w najbardziej pewny sposób wyznaczających zmiany wysokościowe. Celowe więc jest, aby linie niwelacji przebiegały prostopadle do krawędzi poszczególnych jednostek tektonicznych, prostopadle do osi synklin i antyklin.

Jak już powiedzieliśmy przedtem, sieć badawcza powinna posiadać jednolitą strukturę, wysoko precyzyjny pomiar i powinna być pomierzona w krótkim okresie czasu. Wszystkie te elementy decydują o stopniu przydatności sieci do badań ruchów skorupy ziemskiej. Ponieważ ze względów ekonomicznych oczywiste jest, że sieć taka nie mogłaby być zakładana i mierzona tylko dla potrzeb badań, wobec tego — prócz wykorzystania w niej linii już istniejących — należy przewidzieć całkowite wykorzystanie sieci badawczej w państwowej sieci niwelacji precyzyjnej, mającej charakter użytkowy.

W zależności od obszaru objętego siecią badawczą, stosunek jej do państwowej sieci niwelacji precyzyjnej I i II klasy (wg nomenklatury sieci polskiej) byłby różny, a jednocześnie zmieniałaby się waga poszczególnych czynników, mających wpływ na projekt sieci.

A. W wypadku sieci badawczej o charakterze lokalnym — w stosunku do sieci krajowej — kiedy badaniu podlega niewielki stosunkowo obszar, specjalnie ciekawy ze względów geologicznych (np. w Polsce obszar Tatr), sieć ta powinna zawierać w sobie istniejące już na tym terenie linie niwelacji I i II klasy oraz linie niwelacji precyzyjnej

specjalnie dla celów badania doprojektowane, a dające możliwość uzyskania bardziej pełnego wyznaczenia.

Oczywiście sieć taka służyłaby z reguły do wyznaczenia ruchów względnych, a wobec tego powinna zawierać w sobie punkt będący przyjętym poziomem odniesienia.

Ograniczenie badania do względnie małego obszaru pozwala nie kłaść nacisku na możliwie wysoką precyzję pomiaru niwelacyjnego, a warunek szybkiego pomiaru jest tu łatwy do spełnienia.

B. W wypadku gdy sieć badawcza ma objąć teren całego kraju, w grę wchodzi już większa ilość czynników kształtujących projekt.

Projektując taką sieć, uwzględnić musimy oczywiście linie istniejące, o najbardziej odpowiednim pod względem badań ruchów skorupy ziemskiej przebiegu. Ze względu na warunek jednolitego, szybkiego i precyzyjnego pomiaru celowe byłoby, aby na sieć badawczą składały się linie I klasy. I tu występuje możliwość fragmentarycznego lub zasadniczego przeprojektowania sieci niwelacji I klasy, w oparciu o dotychczasowe linie I i II klasy, tak by projektowana, przyszła sieć niwelacji I klasy odpowiadała zarówno celom gospodarczym jak i potrzebom omawianych badań. Oczywiście jest jednak, że założenia projektu sieci badawczej nie powinny zakładać całkowitej jej identyczności z siecią niwelacji I klasy. Sieć badawcza może składać się na przykład tylko z odpowiednio wybranych linii przeprojektowanej sieci niwelacji I klasy lub może na pewnych, ciekawszych z punktu widzenia badań obszarach, korzystać z linii niwelacji II klasy.

Cała sieć badawcza musi być zaprojektowana również i pod tym kątem widzenia, aby zawierała taką ilość linii niwelacji precyzyjnej, aby pomiar ich — biorąc pod wzgląd konkretne warunki wykonawstwa i możliwości ekonomiczne — mógł być dokonany w stosunkowo krótkim okresie czasu (patrz rozdz. 6).

Linie sieci badawczej powinny zawierać możliwie wszystkie repery fundamentalne (wiekowe) istniejącej sieci niwelacyjnej. Służyć one mogą między innymi jako pewne punkty oparcia dla badań lokalnych. W wypadku kiedy cała sieć badawcza służy do wyznaczenia jedynie względnych prędkości ruchów pionowych, jeden z tych punktów fundamentalnych, o najlepszym usytuowaniu, może być przyjęty za stały poziom odniesienia.

W wypadku wyznaczania ruchów bezwzględnych, odniesionych do średniego poziomu morza, projekt sieci musi przewidzieć powiązanie jej z zerami łąt na stacjach mareograficznych i wodowskazowych, za pomocą specjalnych linii niwelacyjnych. Jeśli stacje te są rozrzucone wzdłuż długiego odcinka wybrzeża morskiego, należy zaprojektować wzdłuż brzegu linię niwelacyjną, łączącą je pomiędzy sobą.

C. Sieć badawcza obejmująca teren kilku państw, obszarowo większa od poprzednio omawianej, stawia przed niwelacją jeszcze wyższe wymagania i zmusza do uwzględnienia dodatkowych, nie uwzględnianych uprzednio czynników. Daje jednak w zamian możliwość uzyskania bardziej pełnego, geologicznie i tektonicznie zrozumiałego obrazu współczesnych ruchów skorupy ziemskiej i większe prawdopodobieństwo uzyskania możliwości oparcia wyznaczenia o średni poziom morza, względnie nawet kilku mórz.

Wspólna sieć badawcza, składająca się z sieci niwelacji precyzyjnej kilku państw, powinna być taką, aby cały badany obszar był pokryty powiązаныmi z sobą sieciami, w których gęstość linii, okresy i dokładność pomiaru, rodzaj i gęstość stabilizacji i inne elementy były uzgodnione, tak by połączona sieć zapewniła jednolitą, z góry założoną możliwie wysoką ale realną do osiągnięcia dokładność wyznaczenia ruchów skorupy ziemskiej.

W omawianym wypadku linie wiążące poszczególne sieci nie tylko umożliwiają wspólne wyznaczenie, ale zabezpieczają też jednolitą strukturę sieci i usuwają możliwość znaczniejszego spadku dokładności wyznaczenia, przy przejściu z jednej sieci do drugiej.

W pewnym stopniu na kształt i strukturę sieci badawczej ma wpływ przewidywany sposób opracowania wyników wyznaczenia szybkości pionowych ruchów skorupy Ziemi — wybór wspomnianego już poziomu odniesienia i sposobu wyrównania sieci.

Już przy projektowaniu sieci badawczej należy w zasadzie brać pod uwagę sposób jej wyrównania; czy ma to być sieć jednorzędowa czy też przewidywane jest jej zagęszczenie siecią niższego rzędu. Będzie to miało wpływ na dobór linii i przebieg pomiaru.

4. Poziom odniesienia pionowych ruchów skorupy ziemskiej

Waga wyboru najbardziej odpowiedniego poziomu odniesienia wzrasta wraz ze wzrostem sieci badawczej, a także wraz ze wzrostem wielkości i zróżnicowania występujących na danym obszarze ruchów. I tak, dla sieci badawczej o charakterze lokalnym za poziom odniesienia wyznaczanych ruchów może być obrany którykolwiek z reperów o dobrej stabilizacji i wygodnym w stosunku do sieci położeniu.

Dla dużej sieci, obejmującej na przykład obszar państwa, wybór punktu (poziomu) odniesienia ma już większe znaczenie, gdyż w bardziej wyraźnym stopniu będzie decydował o rozkładzie błędów wyznaczenia — wynikających z błędów pomiaru — i o możliwości porównania wyznaczonych względnych wartości ruchu skorupy ziemskiej z ich wartościami bezwzględnymi. Punkt ten powinien mieć położenie centralne w stosunku do

sieci i leżeć na terenie, co do którego istniałyby przesłanki, iż nie wykazuje ruchów o charakterze wyraźnie lokalnym. Ruchy lokalne punktów odniesienia w całej swej wielkości rzutowałyby bowiem na wyznaczane wielkości ruchów na danym obszarze, wypaczając ich właściwy obraz.

Między innymi, aby tego uniknąć, celowe jest wyznaczać bezwzględne prędkości ruchów, odniesione do średniego poziomu morza — jeśli położenie badanego obszaru i prowadzone na wybrzeżu stałe, długoletnie rejestracje poziomu morza na to pozwalają. Powiązanie sieci niwelacyjnej z morskimi stacjami wodowskazowymi powinno być z góry przewidziane w projekcie sieci, o czym zresztą już poprzednio wspomniano.

Oparcie wyznaczenia o średni poziom morza ma następujące zalety:

a) pozwala wyznaczać prędkości ruchu skorupy ziemskiej w pewnym stopniu porównywalne z takimi samymi wielkościami, wyznaczanymi na innych obszarach kontynentów,

b) zmniejsza względne błędy wyznaczenia, pozwalając na wielokrotne i wielopunktowe nawiązanie do poziomu odniesienia.

Ta druga zaleta występuje szczególnie wtedy, gdy wyznaczenie pionowych ruchów skorupy ziemskiej dotyczy bardzo dużego obszaru, na przykład części kontynentu, i kiedy sieć badawcza dowiązana jest do większej ilości znacznie oddalonych od siebie punktów (mareografów, wodowskazów morskich), określających przyjęty poziom odniesienia.

Ponieważ przy wyznaczaniu pionowych ruchów skorupy ziemskiej nie jest ważna wysokość poziomu odniesienia, lecz jedynie jego stałość, wobec tego za poziom odniesienia można przyjąć kilka różnych, ale stałych poziomów. Z powyższego wynika możliwość wykorzystania jako oparcia dla wyznaczenia bezwzględnych ruchów skorupy ziemskiej, średnich poziomów kilku mórz, przylegających do badanego obszaru [11]. Warunkiem wykorzystania jest jednak:

a) wystarczająca dokładność wyznaczenia średnich poziomów mórz z obserwacji wieloletnich, *)

b) możliwość przyjęcia różnicy tych poziomów za stałą.

Fakt oparcia sieci badawczej o mareografy i wodowskazy, położone w odległych od siebie punktach, a szczególnie jeśli leżą one nad brzegami różnych mórz, daje możliwość znacznego zmniejszenia błędów wyznaczenia ruchów, zmniejszając odległość punktów wyjściowych od najdalej położonych punktów sieci.

Do sieci badawczej włączamy — drogą nawiązania zer ich łąt — mareografy i wodowskazy morskie, możliwie równomiernie rozłożone

*) Z uwagi na niepewne dotychczas wyznaczenie i niewielką wartość liczbową długookresowych zmian poziomu morza o charakterze eustatycznym, kwestia wprowadzenia odpowiedniej poprawki pozostaje sprawą otwartą.

wzdłuż wybrzeży morskich. Wybór stacji byłby między innymi uzależniony od długości okresu prowadzonych na nich stałych rejestracji poziomu morza oraz od tego, w jakim stopniu na wyniki ich rejestracji mają wpływ warunki lokalne (konfiguracja wybrzeża, wiatry, spływ wód lądowych).

Ponieważ średniemu poziomowi morza — pomijając zmiany eustacyjne — przypisujemy stałość, czyli przyjmujemy że:

$$V_{\text{śr. poz. morza}} = 0, \quad (6)$$

wobec tego stwierdzone na podstawie wieloletnich obserwacji systematyczne zmiany wyznaczanych średnich poziomów morza należy przypisać zmianom położenia zera łąty, na której te wartości odczytujemy, czyli ruchom pionowym przybrzeżnych części lądu. Celem kontroli stabilności osadzenia łąty, okresowo — na drodze pomiaru niwelacyjnego — powinna być sprawdzana różnica wysokości między zerem łąty, a dwoma lub trzema reperami kontrolnymi, położonymi w niewielkiej odległości w głębi lądu.

W oparciu o średni poziom morza wyznaczone i skontrolowane ruchy zer mareografów i wodowskazów stanowią wielkości wyjściowe (V_0) dla wyznaczenia prędkości ruchów reperów całej sieci badawczej, zgodnie z podanym uprzednio wzorem (3).

5. Stabilizacja punktów sieci badawczej. Repery fundamentalne

Jak wspomnieliśmy poprzednio, sieć niwelacji precyzyjnej przeznaczona do badania współczesnych ruchów pionowych skorupy ziemskiej będzie utworzona przeważnie z linii już istniejących, a linie nowo projektowane tej sieci muszą jednocześnie odpowiadać wymaganiom stawianym przed siecią państwową. Wobec tego należy rozważyć w jakim stopniu dotychczas stosowana stabilizacja i dotychczasowa gęstość reperów na liniach niwelacyjnych odpowiadają potrzebom sieci badawczej.

Zagadnienie badań pionowych ruchów skorupy ziemskiej na dużym obszarze przeważnie nie stawia przed istniejącymi sieciami niwelacji precyzyjnej generalnego warunku zagęszczenia linii dodatkowymi reperami. Dotychczasowa ich gęstość — podyktowana względami technicznymi i gospodarczymi — jest w zasadzie wystarczająca dla badań, w których chodzi o uchwycenie zmian wysokościowych na obszarowo dużych fragmentach badanego terenu. Oczywiście, większa ilość porównywanych reperów daje pewniejsze wyznaczenie i możliwość eliminacji reperów, których wskazania w sposób wyraźny odbiegają od przeciętnej ich wartości na danym terenie.

Osadzenie nowych reperów może być jednak w niektórych wypadkach wskazane bądź z uwagi na celowość ich zagęszczenia w rejonie wykazu-

jącym duże i zróżnicowane wielkości ruchów skorupy ziemskiej, bądź z uwagi na przykład na to, że dotychczasowy sposób stabilizacji na pewnych terenach, czy to ze względu na warunki klimatyczne czy geomorfologiczne, nie zabezpieczał wystarczająco stabilności reperów. Nowo osadzonymi reperami powinny być repery ziemne, osadzone poniżej poziomu zamarzania gruntu, lub repery ścienne posadowione na budowach fundamentalnych.

Celowe byłoby, aby projektowane miejsca stabilizacji nowych reperów, jak również położenie dotychczas istniejących, zostały ocenione pod względem geomorfologicznym. Pozwoliłoby to przy przyszłym opracowywaniu wyników powtarzanej niwelacji operować materiałem o pewnej, dodatkowej charakterystyce oraz zmniejszyć ilość eliminowanych reperów, wykazujących ruchy o charakterze wyraźnie lokalnym.

Dążenie do oparcia badania ruchów skorupy ziemskiej na pewnej, z konieczności znacznie mniejszej ilości reperów specjalnie fundamentalnie zastabilizowanych (większa głębokość osadzenia, repery kontrolne), nie wydaje się właściwe. Żaden z tych reperów nie mógłby nam bowiem mimo wszystko gwarantować, że wskazywane przez niego zmiany wysokości odtwarzają ruch skorupy ziemskiej o charakterze ogólnym, tektonicznym. W każdym wypadku trzeba by się bowiem jeszcze liczyć z możliwością ruchu podłoża na skutek zmian termicznych, wilgotnościowych, wymywającego działania wód podskórnych i zmian poziomu wody gruntowej. Jednak — jak wynika z ich charakteru — są to ruchy o małym powierzchniowo zasięgu, o różnym znaku i wielkości, i choć przyciemniają właściwy obraz ogólnych ruchów skorupy ziemskiej, dają się — ale tylko w wypadku większej ilości wyznaczeń — częściowo wyeliminować.

Rozmieszczenie reperów fundamentalnych (wiekowych) prócz normalnej ich roli w sieci niwelacyjnej, powinno uwzględniać również budowę geologiczną i tektoniczną badanego obszaru. Repery fundamentalne powinny być posadowione na każdym z obszarów, odpowiadających odrębnemu typowi struktury geologicznej.

6. Pomiar sieci badawczej. Dokładność pomiaru

Prędkości współczesnych ruchów skorupy ziemskiej mieszczą się przeważnie w granicach jednego centymetra na rok. Różnice między szybkościami ruchu poszczególnych, sąsiadujących z sobą obszarów, są również odpowiednio małe. Zmiany wysokości mogą więc być uchwycone — i to po upływie dość znacznego okresu czasu — dopiero między odległymi od siebie o kilka, kilkanaście czy kilkadziesiąt kilometrów punktami. Z tego względu dokładność pomiaru niwelacji odgrywa tu decydującą rolę. Zej-

ście poniżej pewnej dokładności przekreśla praktycznie możliwość użycia niwelacji dla celów omawianych badań.

Sieć niwelacyjną, służącą do badań współczesnych pionowych ruchów skorupy ziemskiej, powinna cechować przede wszystkim wysoka dokładność i możliwie krótki okres pomiaru. Z tego względu — szczególnie przy badaniu dużych obszarów — sieć powinna składać się z linii niwelacji precyzyjnej I klasy. W wypadku korzystania z kilku sąsiadujących z sobą sieci (sieć badawcza kilku państw), celowe jest, aby pomiar ich był dokonany z zachowaniem jednakowej dokładności i możliwie jednolitej techniki pomiaru. Poszczególne sieci należy pomierzyć w okresie maksimum kilku lat, a okres ten powinien być wspólny dla wszystkich sieci.

Korzystne ze względu na wybitne skrócenie czasu pomiaru byłoby ewentualne użycie precyzyjnych niwelatorów samopoziomujących.

Wskazane jest, aby każdorazowy pomiar poszczególnych linii niwelacyjnych był dokonywany w tym samym okresie roku, co w pewnym stopniu eliminowałoby z wyznaczenia ruchów skorupy ziemskiej wpływ okresowych zmian w położeniu reperów, wywołanych sezonowymi zmianami temperatury i wilgotności podłoża.

Jednocześnie z pomiarem całej sieci — w przypadku wyznaczenia bezwzględnych prędkości ruchów — powinno być dokonane nawiązanie zer mareografów i wodowskazów morskich, a szczególnie tych, których wskazania będą służyły do wyznaczenia średniego poziomu morza.

7. Minimalny interwał czasu między kolejnymi pomiarami sieci badawczej

Geodezyjna metoda badań współczesnych pionowych ruchów skorupy ziemskiej, to jest badań drogą porównania dokonanych w dużych odstępach czasu pomiarów niwelacyjnych, ma prócz niewątpliwych zalet poważną wadę. Jest nią fakt, że praktycznie jedno niezależne wyznaczenie prędkości ruchów skorupy ziemskiej, na danym terenie, otrzymujemy dopiero w ciągu dziesięciu czy dwudziestu lat. Na fakt ten składają się dwie przyczyny:

- a) ponawianie pomiarów dużych sieci niwelacyjnych ze względów ekonomicznych jest dokonywane w bardzo dużych odstępach czasu,
- b) porównanie dwu pomiarów niwelacji dokonanych w krótkich odstępach czasu jest bezwartościowe, z uwagi na niekorzystny stosunek błędu wyznaczenia do wielkości wyznaczanej.

Z powyżej stwierdzonej niedoskonałości metody wynika i druga jej wada. W rzeczywistości bowiem porównanie niwelacji daje nam wielkości pionowych p r z e s u n i ę ć porównywanych punktów (reperów) w okresie między dwoma pomiarami, a nie p r ę d k o ś c i ich ruchu. Wartość pręd-

kości otrzymujemy dopiero zakładając jej stałość w okresie między pomiarami, czyli zakładając:

$$V_n = \text{const.} \quad (7)$$

W założeniu tym kryje się oczywiście niebezpieczeństwo popełnienia błędu. Jest to jednak założenie w dużym stopniu uzasadnione i jedyne, możliwe w tych warunkach do przyjęcia. Dla zachowania większej ścisłości należałoby jednak raczej mówić o wyznaczeniu przeciętnych prędkości pionowych ruchów skorupy ziemskiej.

Po tej małej dygresji przejdźmy do zasadniczego tematu tego rozdziału, to jest do zagadnienia określenia minimalnego interwału czasu pomiędzy kolejnymi, powtarzanymi pomiarami sieci badawczej.

Okresowość ponawiania pomiarów sieci badawczej — niezależnie od przewidywanego sposobu wykorzystania wyników niwelacji dla wyznaczenia wielkości współczesnych ruchów skorupy ziemskiej (patrz rozdz. 1 str. 52) — może być ze znacznym przybliżeniem określona wychodząc z podanego już wzoru:

$$V'_n = \frac{H''_n - H'_n}{T'' - T'} = \frac{\Delta H_n}{\Delta T}. \quad (4)$$

Po zróżniczkowaniu otrzymamy:

$$\Delta T = \pm \frac{1}{m_{V'_n}} \cdot \sqrt{V_n'^2 \cdot m_{\Delta T}^2 + m_{\Delta H_n}^2}. \quad (8)$$

Przyjęte oznaczenia:

$H''_n - H'_n = \Delta H_n$ — różnica wysokości n -tego punktu sieci, wyznaczona z dwu pomiarów tej sieci,

$T'' - T' = \Delta T$ — średni interwał czasu między dwoma pomiarami sieci niwelacji,

V'_n — prędkość ruchu n -tego punktu sieci, w stosunku do przyjętego stałego poziomu (punktu) odniesienia niwelacji,

$m_{\Delta H_n}$, $m_{\Delta T}$, $m_{V'_n}$ — średnie błędy powyższych wielkości.

Elementami decydującymi o wielkości minimalnego interwału czasu pomiędzy pomiarami niwelacyjnymi, na obszarach nie wykazujących dużych prędkości ruchów skorupy — jak na przykład obszar Polski [5] — oraz w wypadku gdy pomiar sieci był dokonany w krótkim okresie czasu, są następujące wielkości:

a) błąd wyznaczenia różnicy wysokości n -tego punktu ($m_{\Delta H_n}$), zależny od przewidywanej dokładności obu pomiarów niwelacyjnych oraz od rozciągłości sieci, a szczególnie od odległości (D) danego punktu od punktu stanowiącego poziom wyjściowy niwelacji,

b) założona dopuszczalna wielkość średniego błędu wyznaczenia względnych ruchów skorupy ziemskiej (m_V).

Jak z powyższego wynika, dla przybliżonego określenia minimalnego interwału czasu między kolejnymi pomiarami sieci badawczej, możemy posłużyć się znacznie uproszczonym wzorem:

$$\Delta T \approx \pm \frac{m_{\Delta H_n}}{m_V} . \quad (9)$$

Konkretną wielkość minimalnego interwału czasu (ΔT_{min}) otrzymamy po wstawieniu maksymalnej wartości na błąd wyznaczenia różnicy wysokości punktu sieci — oznaczymy go jako $m_{\Delta H}^{maks.}$ — i przyjęciu dopuszczalnej wartości błędu wyznaczenia prędkości ruchów ($m_V^{dop.}$). Otrzymamy wtedy:

$$\Delta T_{min} \approx \left| \frac{m_{\Delta H}^{maks.}}{m_V^{dop.}} \right| . \quad (10)$$

Jeśli chcemy wyznaczyć bezwzględne prędkości ruchów skorupy ziemskiej — wzory (3) i (5) — wtedy należy również uwzględnić prędkości ruchu punktów odniesienia (V_o) i błędy ich wyznaczenia (m_{V_o}). W oparciu o wzór (5) otrzymamy zależność:

$$m_V^2 = m_{V_o}^2 + m_{V'}^2 , \quad (11)$$

a zakładając dopuszczalną wartość błędu wyznaczenia bezwzględnych prędkości ruchów skorupy ziemskiej, uzyskamy dopuszczalną wartość błędu prędkości względnej jako:

$$m_{V'}^{dop.} = \pm \sqrt{(m_V^{dop.})^2 - m_{V_o}^2} . \quad (12)$$

Dla zobrazowania podamy wielkości minimalnych interwałów czasu pomiędzy kolejnymi pomiarami sieci niwelacyjnej, obliczone przy założeniu, że błędy wyznaczanych względnych ruchów skorupy ziemskiej nie mogą być, dla najniekorzystniej położonego punktu, większe niż $m_{V'}^{dop.} = \pm 1$ mm/rok. Błędy wyznaczenia różnicy wysokości punktu zostały obliczone ze wzoru:

$$m_{\Delta H} = \pm \sqrt{\eta^2 + \sigma^2 \cdot L_m} \cdot \sqrt{2D} \quad (13)$$

przy założeniu że:

$\eta = \pm 0,5$ mm/ $\sqrt{\text{km}}$ — błąd przypadkowy niwelacji,

$\sigma = \pm 0,04$ mm/km — błąd systematyczny niwelacji,

$L_m = 50$ km — średnia długość odcinka linii niwelacyjnej o jednakowym błędzie systematycznym.

(Podane wielkości są rzędu błędów pomiaru współczesnych sieci, między innymi i sieci polskiej.)

Otrzymamy wtedy następującą, orientacyjną — gdyż przy jej określe-
niu pomijany był wpływ wyrównania — wielkość minimalnego interwału
czasu pomiędzy pomiarami sieci, w zależności od maksymalnej odległości
(D) jej punktów od punktu stanowiącego wyjściowy poziom niwelacji, czyli
od rozległości sieci.

T a b l i c a 1

| Maksymalna odległość (D) (w kilometrach) | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Minimalny interwał czasu ($\Delta T_{min.}$) (w latach) | 8 | 11 | 16 | 20 | 23 | 27 |

Oczywiście, przy założeniu n -krotnie większego dopuszczalnego błędu
wyznaczenia, otrzymamy n -krotnie krótszy minimalny interwał czasu.
Jednak przyjęty dopuszczalny błąd wyznaczenia powinien być zdecydowa-
nie mniejszy od znanych, bądź spodziewanych wielkości ruchów pionowych
skorupy ziemskiej na badanym obszarze, gdyż tylko wtedy wyniki wyzna-
czenia posiadać będą pełną wartość.

8. Zakończenie

Zagadnienie badań współczesnych ruchów skorupy ziemskiej jest dla
geodezji stosunkowo nowe, a stosowana przez geodezję do tych badań
niwelacja precyzyjna, prócz zalet, ma też i duże wady (choćby łatwość na-
gromadzania się błędów). Inne nauki o Ziemi też stosunkowo późno i bardzo
fragmentarycznie zajmowały się omawianymi badaniami.

W efekcie, przystępując do wyznaczenia wielkości współczesnych ru-
chów skorupy ziemskiej, geodeta nie ma do dyspozycji zbyt mocnego oręza,
a dodatkowe trudności potęguje fakt, że opracowując metodę tego wyzna-
czenia nie posiada on bardziej sprecyzowanych danych co do charakteru
badanego zjawiska. Geolog i geograf pragnie otrzymać od geodety wyzna-
czone wielkości ruchów, aby móc je p o t e m odpowiednio zinterpretować.
Geodeta chciałby znać z a w c z a s u możliwie wielostronnie cechy i cha-
rakter tych ruchów, aby dostępne mu środki w możliwie pełny i celowy
sposób wykorzystać.

Jak wynika z przedstawionej sytuacji, jedynym wyjściem jest tu znana
geodecie metoda kolejnych przybliżeń. Gromadząc i analizując wyniki ba-
dań, bardziej poznamy badane zjawisko, a lepsza znajomość tego zjawiska
pozwoli ulepszyć stosowaną do badań metodę.

Wszystko przemawia za tym, że fakty idą właśnie po tej linii. Coraz więcej obszarów objętych zostaje mniej lub bardziej dokładnym geodezyjnym wyznaczeniem wielkości współczesnych pionowych ruchów skorupy ziemskiej ([2], [3], [5], [8], [9], [11]); coraz bardziej interesują się nimi geolodzy, geomorfolodzy, geografowie, geofizycy i oceanografowie ([4], [7], [11]).

Międzynarodowa Asocjacja Geodezji, uznając wagę i pewną odrębność omawianego zagadnienia, utworzyła specjalną, permanentnie działającą grupę studiów, a ostatnio nawet komisję, poświęcającą swe prace badaniu zmian zachodzących w skorupie ziemskiej, w kierunku pionowym i poziomym [1]. W ramach działalności Międzynarodowej Unii Geodezji i Geofizyki planowane jest zorganizowanie w 1962 roku sympozjum naukowego na temat badań tych ruchów. Między innymi i Polska jest brana pod uwagę, jako kraj w którym miałyby się odbyć wspomniane sympozjum.

LITERATURA

- [1] *Baeschlin C. F.*: Report of Special Study Group Nr. 13: Determination of changes in the earth's crust in the horizontal and vertical sense., I.A.G., General Assembly, Toronto 1957.
- [2] *Kruis B.*: Výzkum svislých pohybu zemské kůry v Československé republice, Geodetický a Kartografický obzor, Nr. 8, Praga 1959.
- [3] *Kukkamäki T. J.*: The land uplift in Finland determined with two levellings as well as with water level observations, Bull. géod. Nr. 36, Londyn 1955.
- [4] *Mieszczeraikow Ju. A.*: On the organization of the international commission for the study of modern movements of the Earth's crust., Union Géodésique et géophysique internationale, Chronique de l'U.G.G.I Nr. 30, Paryż 1960.
- [5] *Niewiarowski J., Wyrzykowski T.*: Wyznaczenie współczesnych ruchów pionowych skorupy ziemskiej na obszarze Polski przez porównanie wyników powtarzanych niwelacji precyzyjnych, Prace IGiK, t. VIII, Nr 1 (17), Warszawa 1961.
- [6] *Pawłowski S.*: Przyczynek do poznania ruchów pionowych skorupy ziemskiej w Polsce, Przegl. Geol. Nr 4, Warszawa 1955.
- [7] *Pokorny J.*: Współczesne ruchy pionowe skorupy ziemskiej w Europie, Czasopismo geograficzne, t. XXVIII, Nr 3—4, Warszawa 1957.
- [8] *Salvioni G.*: Primo contributo sulla comparazione dei risultati fra la nuova rete altimetrica fondamentale e la vecchia livellazione di precisione., Boll. geod. sci. affini., Nr 1, Florencja 1953.
- [9] *Simonsen O.*: Report on the secular movement of ground observed in Denmark by means of comparing precise level networks of 1885—1905 and 1938—48, Bull. géod. Nr. 18, Paryż 1950.
- [10] *Siniagina M. I., Orlenko Ł. P.*: Sowriemiennyje wiertikalnyje dwiżenija pobieriezi Kaspijskogo moria., Gieod. i Kart., Nr 8, Moskwa 1959.
- [11] Sowriemiennyje wiertikalnyje dwiżenija ziemnoj kory na tierritorii zapadnoj połowiny jewropiejskoj czasti SSSR., Trudy CNIIGAIK, Nr 123, Moskwa 1958.

-
- [12] *Waalewijn A.*: Crustal movements in the Netherlands (Brief communication) Delft 1960, (Komunikat na Ogólne Zgromadzenie MUGG).
- [13] *Wyrzykowski T.*: Zagadnienie współczesnych ruchów pionowych skorupy ziemskiej na obszarze Polski i ich badanie metodą powtarzanej niwelacji precyzyjnej, *Przeł. Geod.*, Nr 3, Warszawa 1959.
- [14] *Wyrzykowski T.*: Wpływ systematycznych pionowych ruchów skorupy ziemskiej na wyniki i wyznaczane błędy niwelacji precyzyjnej, *Prace IGiK*, t. VII, Nr 2(16), Warszawa 1960.
- [15] *Wyrzykowski T.*: Influence des mouvements systématiques verticaux de l'écorce terrestre sur les résultats et la détermination des grandeurs d'erreurs de nivellement de précision, *Comm. présentée a XII Assemblée UGGI Helsinki*, Warszawa 1960.

Rękopis dostarczono Redakcji w lutym 1961 r.

ТАДЭУШ ВЫЖЫКОВСКИ

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ПОВТОРНОГО ПРЕЦИЗИОННОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ НАДОБНОСТЕЙ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Резюме

Почти все использованные до сих пор для исследования современных движений земной коры материалы повторных нивелировании имели, в некотором смысле, случайный характер. Ни проект первоначальной сети, ни трассы ее линии, ни повторное измерение не были проектируемы и исполняемы с учётом требования этих исследований, в результате чего возможность использования материалов нивелирования была в значительной степени ограничена, а получаемые на основании этих данных результаты определения движений земной коры были отягчены относительно большой ошибкой. Можно легко добиться уменьшения этой ошибки, если проект сети и повторяемое каждый раз ее нивелирование будут отвечать определенным, отчасти новым — относительно принимаемых до сих пор — требованиям.

Этот доклад занимается именно теми свойствами сети прецизионного нивелирования, которые отвечают надобностям исследованию современных вертикальных движений земной коры геодезическим методом.

После короткого введения в проблему современных вертикальных движений земной коры и общего изложения способов использования прецизионного нивелирования для определения этих движений (см. часть 1), проведено анализ отдельных элементов сети нивелировки, отвечающей требованиям, которым должна отвечать исследовательская сеть.

Обсуждено во первых элементы, влияющие на форму и структуру сети (часть 3):

1. Целесообразность использования существующих уже линии прецизионного нивелирования.

2. Такой подбор нивелирных линии, чтобы они соединяли, а одновременно и пересекали отдельные структурные единицы территории, важные с точки зрения геологического или тектонического строения.
3. Сохранение однородной структуры исследовательской сети.
4. Необходимость полного использования исследовательской сети в государственной сети нивелирования, создающей употребляемую высотную основу.
5. Целесообразность включения возможно большого числа фундаментальных (вековых) реперов.

Потом представлена проблема выбора горизонта относимости (исходной поверхности) определяемых скоростей движений (часть 4). Значение этой проблемы возрастает вместе с увеличением исследуемой территории. Поскольку при исследованиях местного, локального характера является возможным принять как горизонт относимости один из выгодно лежащих и хорошо закрепленных высотных нивелирных знаков (определение относительных скоростей движений), постольку при исследованиях движений земной коры на большой территории целесообразным является принятие, как исходной поверхности, многолетнего среднего уровня моря (определение абсолютных скоростей движений), или нескольких морей [11]. При таком выборе приобретаем следующие выгоды:

- а) вычисленные скорости движений земной коры могут быть, в некоторой степени, сравниваемы с такими же величинами, определенными в других частях континента,
- б) относительные ошибки определения скоростей будут меньше, а то благодаря возможности многократной и в многих пунктах привязки к исходной поверхности (особенно, если исследуемая территория очень большая).

В случае определения абсолютных скоростей движений земной коры следует разработать способ включения в сеть нивелирования мареографических и уровнемерных постов и использования их данных.

Проблема исследовании вертикальных движений земной коры на большой территории в общем не ставит существующим сетям нивелирования условия загущения нивелирных линии добавочными реперами (часть 5). Однако, закрепление новых, соответственных нивелирных знаков может быть иногда целесообразным, имея ввиду специфические климатические и геоморфологические условия. Очень желательно, чтобы проектируемые места закладки новых реперов, а также положение уже существующих, были проанализированы геоморфо-

логами. Это позволило бы, при обработке результатов определения движений земной коры, иметь в своем распоряжении более достоверный, с добавочной характеристикой, материал.

Наблюдения исследовательской сети (часть 6) должны отличаться прежде всего высокой точностью и возможно коротким периодом их исполнения (для больших сетей — не более немногих лет). Имея ввиду сокращение периода времени нивелирования, очень полезным было бы, если это будет возможным, применение автоматических нивелиров. Очень желательно, чтобы повторяющиеся каждый раз измерения отдельных нивелирных линии были исполняемы в том же периоде года, что в некоторой степени исключило бы из определяемых величин движений земной коры влияние периодических изменений положения нивелирных знаков, вызываемых периодическими в течение года изменениями температуры и влажности почвы.

В части 7 проанализировано необходимую минимальную величину такого интервала времени между повторными измерениями исследовательской сети, чтобы ошибка определения скорости движений земной коры была меньше заранее заданной величины. На протяженность минимального интервала времени оказывают, главным образом, влияние:

- а) точность нивелирования,
- б) величина территории, обнятой исследовательской сетью,
- в) заранее принятая допускаемая величина ошибки определения скорости движений земной коры.

В таблице 1 даны приближенные величины минимальных интервалов времени (величины ΔT_{min} выражены в годах) между очередными измерениями сети, в зависимости от расстояния (D — в км) далее всех расположенного пункта сети от пункта, принятого как горизонт относимости определяемых скоростей движений, при предположении, что допускаемая величина ошибки определяемой скорости равна $m_{\dot{\nu}_i}^{dor} = \pm 1$ мм/год, и при предположении следующих ошибок нивелирования: $\eta = \pm 0,5$ мм/ $\sqrt{\text{км}}$, и $\sigma = \pm 0,04$ мм/км.

TADEUSZ WYRZYKOWSKI

THE PROBLEMS OF NET PLANNING OF REPEATED PRECISE
LEVELLING TO MEET THE NEEDS OF INVESTIGATIONS
ON CONTEMPORARY MOVEMENTS OF EARTH'S CRUST

S u m m a r y

Almost all materials of repeated levelling the use of which has been made for investigations on contemporary earth's crust movements had, in a certain sense, an accidental character.

Neither the primordial net and the run of its individual lines nor its remeasurement were carried out with regard to the needs of those investigations. Hence the possibility of using the levelling materials was considerably limited, and the obtained results of determination of earth's crust movements were burdened with comparatively large errors. Diminution of errors would be easy attainable if the net project and its every time measurements answered to requirements which are partly new in comparison with those accepted till now.

In the present article are discussed the very characteristics of precise levelling net, corresponding to needs of investigations on contemporary vertical movements of earth's crust, by geodetic method.

After short introduction into the problem of contemporary vertical movements of earth's crust and a general discussion on ways of making use of precise levelling to their determination (chapter I), there have been analysed individual parts of levelling net answering to requirements put to an investigation net.

Factors exercising influence on shape and structure of the net have been discussed first (chapter 3):

1. Suitableness of using already existing lines of precise levelling.
2. Such a choice of levelling lines as to tie and simultaneously to cut individual structural units or the area in consideration of their geological and tectonic structure.
3. To retain uniform structure of investigation net.

4. The necessity of total incorporation of the investigation net into national net being of general utility.

5. Suitableness of inclusion of a possibly great number of secular benchmarks into existing net.

Then the problem of choice of reference level for movement speeds has been discussed (chapter 4). Weight of the problem augments with increase of investigated area.

At an investigation of local character it is possible to accept as reference level the level of a conveniently and permanently fixed levelling points (determination of relative speed of movement), but a investigation on earth's crust movement on a vast region it is appropriate to base that determination on multiannual mean level of a sea (determination of absolute speed of movements) or several seas [11]. Thus we attain, that:

- a) the determined speed of earth's crust movements are comparable, to certain degree, with those determined on other areas of the continents,
- b) relative errors of determination are diminished owing to a possibility of the repeated and multipoint connection to reference level (particularly if the investigated area is very vast).

If absolute speed of earth's crust movements are to be determined, it is necessary to work out the way of connecting mareographs and water-gauges into levelling net, and of using their data as well.

The problem of investigations on vertical movements of earth's crust is not conditioned by any inclusion of new benchmarks into existing lines of precise levelling net (chapter 5). But setting down new benchmarks might sometimes be very appropriate because of specific climatic or geomorphologic conditions. It would be very desirable to have new sites for setting down the benchmarks as well as the sites of old ones appraised by a geomorphologist, which would provide with more reliable material to work out results of movements.

The investigation net shall be measured with great accuracy and if possible in a short time (for vast nets — maximum some years). The use of self-levelling precise instruments should be advantageous because of time economy. It would be advisable to perform the levelling of the given lines in the same season of the year, what shall eliminate the influence of periodical movements of the benchmarks, caused by the seasonal run of temperature and substratum humidity on the determination of the vertical movements of the earth's crust.

The indispensable minimal time interval between consecutive levellings of the investigation net, in order to comprise the error of the movements of the earth's crust inside the beforehand established limits, is analysed in the chapter 7.

This time interval is in general influenced by:

- a) precision of the levelling,
- b) size of the investigation net,
- c) established limit of the error of determination of the movements of the earth's crust.

Approximate minimal time intervals (ΔT_{min} -in years) between consecutive levellings of the net, according to the distance (D -in km) of the remotest point of the net from the point accepted as reference level for the movements to be determined, are given in the table 1, setting the maximal admissible error of the movement of the earth's crust $m_{\eta}^{dop.} = \pm 1$ mm per year, and the errors of levelling:

$$\eta = \pm 0,5 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}, \text{ and } \sigma = \pm 0,04 \text{ mm/km}.$$