

JERZY NIEWIAROWSKI
TADEUSZ WYRZYKOWSKI

551.241 : 526.36 (438)

Wyznaczenie współczesnych ruchów pionowych skorupy ziemskiej na obszarze Polski przez porównanie wyników powtarzanych niwelacji precyzyjnych^{*)}

1. Wstęp

Dzięki postępującemu stale rozwojowi nauki o Ziemi i stałemu nagromadzeniu się materiału obserwacyjnego, stwierdzone zostało, że wielkości współczesnych ruchów tektonicznych skorupy ziemskiej są tego rzędu, iż znajomość ich ma już nie tylko naukowe ale i praktyczne znaczenie. Przebiegające powoli, a na niektórych obszarach dające się wyraźnie stwierdzić ruchy pionowe skorupy ziemskiej są czynnikiem, który z biegiem czasu może dezaktualizować wyniki pomiaru niwelacji precyzyjnej, a nawet w pewnych przypadkach powinien być brany pod uwagę przy pracach inżynierskich (np. w budownictwie portowym).

Współczesne ruchy pionowe skorupy ziemskiej są badane różnymi metodami przez różne gałęzie nauki o Ziemi. Instytut Geodezji i Kartografii prowadzi ich badania metodą porównania wyników pomiarów niwelacji precyzyjnej, dokonanych w odpowiednio odległych odstępach czasu na tym samym terenie.

2. Materiały niwelacyjne wykorzystane do wyznaczenia ruchów pionowych

2.1. Powojenna sieć niwelacji precyzyjnej I i II klasy

Sieć ta pokrywa całą Polskę i została pomierzona w latach 1952—55 (I klasa) i 1955—58 (II klasa).

Linie I klasy tworzą 8 zamkniętych poligonów, wewnątrz których wyrównano niwelację II klasy. Ogółem długość linii niwelacji precyzyjnej I klasy wynosi 5 500 km, niwelacji precyzyjnej II klasy — 10 000 km.

^{*)} Jest to — z drobnymi zmianami — treść komunikatu przedstawionego na XII Zgromadzeniu Ogólnym MUGG w Helsinkach (25 lipca — 6 sierpnia 1960 r.).

Sieć ta, jak widać z dat, została pomierzona w ciągu bardzo krótkiego czasu, co stanowi jej dużą zaletę.

Sieć niwelacji precyzyjnej z lat 1952—58 charakteryzuje się następującą dokładnością:

I klasa:

średni błąd przypadkowy na 1 km: $\eta \leq \pm 0,50$ mm

średni błąd systematyczny na 1 km: $|\sigma| \leq 0,20$ mm

średni błąd na 1 km po wyrównaniu: $m_{sr} \leq \pm 0,80$ mm

II klasa:

średni błąd przypadkowy na 1 km: $\eta \leq \pm 0,75$ mm

średni błąd systematyczny na 1 km: $|\sigma| \leq 0,40$ mm

średni błąd na 1 km po wyrównaniu: $m_{sr} \leq \pm 1,50$ mm

Sieć niwelacji precyzyjnej I i II klasy z lat 1952—58 została ostatecznie obliczona i wyrównana w systemie wysokości normalnych. Do pomierzonych przewyższeń wprowadzono poprawki, uwzględniające pomierzone zmiany anomalii siły ciężkości wzdłuż linii niwelacyjnych. Poziomym odniesienia jest poziom zera mareografu w Kronsztadzie. Sama sieć I klasy została przed wyrównaniem ostatecznym obliczona i wyrównana tymczasowo w systemie wysokości normalnych ortometrycznych, przyjmując za punkt wyjściowy Toruń — Ratusz, a jako poziom odniesienia — poziom N.N.

Linie niwelacji precyzyjnej przebiegają zasadniczo wzdłuż głównych dróg. W sieci tej znajduje się około 1500 podziemnych znaków niwelacyjnych stabilizowanych poniżej poziomu przemarzania.

2.2. Polska sieć niwelacji precyzyjnej I rzędu pomierzona w latach 1926—1937

Ogólna długość linii tej sieci wynosiła około 10 000 km.

Sieć tworzyła 36 zamkniętych poligonów. Poziomym odniesienia był niemiecki poziom „Normal Null”, czyli poziom zera wodowskazu w Amsterdamie. Punktem wyjściowym był reper I klasy na Ratuszu w Toruniu, którego wysokość, wzięta z niemieckiego katalogu, wynosiła + 50,518 m. Dokładność tej sieci charakteryzuje się następującymi wielkościami błędów:

błąd średni na 1 km (z pomiaru linii „tam” i „z powrotem”):

$$m_k = \pm 0,73 \text{ mm}$$

błąd średni na 1 km obliczony z poprawek po wyrównaniu:

$$M_k = \pm 1,04 \text{ mm}$$

Sieć ta, obliczona w systemie normalnych wysokości ortometrycznych, przedstawia sobą jednorodną sieć niwelacji precyzyjnej, mogącą służyć do porównań.

Długość wspólnych linii niwelacji precyzyjnej z lat 1952—58 i 1926—37, które były wykorzystane przy badaniu współczesnych ruchów pionowych, wynosi około 2 200 km. Linie te nie tworzą, niestety, zamkniętych figur.

2.3. Dawna niwelacja niemiecka na zachodnich i północno-wschodnich ziemiach Polski

Są to dawne pomiary niwelacyjne z lat 1870 i późniejszych, następnie stopniowo częściami uzupełniane. Pomiary te nie tworzyły jednorodnej sieci. Poziomem odniesienia był poziom zera wodowskazu w Amsterdamie. Powstanie tej sieci, jej różnorodność i dokładność są szczegółowo opisane w źródłach niemieckich („Planheft Grossdeutsches Reich” Berlin 1944, „Handbuch der Vermessungskunde”, Jordan, Eggert, Kneissl, III, Stuttgart, 1956). Dokładność tej niwelacji nie odpowiada dzisiejszym wymaganiom niwelacji precyzyjnej.

Długość linii dawnej niwelacji niemieckiej, wykorzystanych przy badaniach ruchów pionowych, wynosiła około 1500 km.

3. Metoda wyznaczenia pionowych ruchów skorupy ziemskiej

3.1. Poziom odniesienia

Ruchy skorupy ziemskiej na terenie Polski zostały wyznaczone jako wielkości względne, w odniesieniu do dawnego punktu głównego niwelacji polskiej Toruń — Ratusz, który był przyjęty za poziom odniesienia dla niwelacji polskiej z lat 1926—37 oraz przy tymczasowym wyrównaniu nowej powojennej sieci niwelacji I klasy. Wyznaczenie bezwzględnych wartości ruchów skorupy nie było możliwe ze względu na zbyt krótki okres rejestracji mareografów, a tym samym — zbyt duży błąd wyznaczenia średniego poziomu morza.

3.2. Wybór metody

Dla wyznaczenia wielkości pionowych ruchów skorupy ziemskiej na terenie Polski została przyjęta metoda porównania wysokości wspólnych punktów dwu wyrównanych sieci niwelacyjnych, mierzonych w odległych od siebie okresach czasu. Przyjęcie tej, w pewnym stopniu przybliżonej metody, zostało podyktowane następującymi względami:

a) wspólne linie obu porównanych sieci niwelacyjnych nie tworzyły zamkniętych poligonów i mogły dać jednolite porównanie jedynie przy stosowaniu tej metody,

b) porównując wysokości wyrównane, porównywało się ich najprawdopodobniejsze wartości, otrzymane w wyniku wykorzystania wszystkich pomiarów nadliczbowych w sieci,

c) około 60% powierzchni Polski było objęte porównaniem dwu sieci o wysokiej dokładności, z których jedna pomierzona została w bardzo krótkim okresie czasu, wobec czego wyniki otrzymane tą metodą — przy najmniej na tym terenie — nie były obciążone dużymi błędami.

3.3. Sposób wykorzystania sieci niwelacyjnych

Na terenie Polski środkowej i wschodniej porównaniu podlegały wysokości reperów polskiej sieci niwelacji precyzyjnej I rzędu, mierzonej w latach 1926—37, z sieciami niwelacji I i II klasy, mierzonymi odpowiednio w latach 1952—58.

Bezpośredniemu porównaniu podlegały tylko wysokości sieci z roku 1926—37 z wysokościami powojennej sieci niwelacji I klasy z wyrównania tymczasowego, gdyż obie miały ten sam poziom odniesienia i obliczone były w tym samym systemie wysokości (wysokości ortometryczne normalne). Porównanie z wysokościami sieci powojennej II klasy, obliczonej w oparciu o sieć I klasy z wyrównania ostatecznego, której wysokości odniesiono do poziomu zera mareografu w Kronsztadzie i obliczono w systemie wysokości normalnych, było dokonane pośrednio. Mianowicie do wysokości punktów sieci niwelacji II klasy dodawano poprawki redukujące je do dawnego poziomu odniesienia (poziom N. N.) i do systemu wysokości ortometrycznych normalnych. Poprawki te były wyznaczone między innymi na podstawie porównania wyników wyrównania tymczasowego i ostatecznego sieci niwelacji I klasy.

Na terenach zachodnich i północno-wschodnich Polski porównywano tę samą sieć powojennej niwelacji I i II klasy z dawnymi sieciami niemieckimi, obliczonymi w tzw. „starym systemie” i odniesionymi do poziomu N. N.

3.4. Sposób wyznaczenia wielkości pionowych ruchów skorupy ziemskiej

Wielkości ruchów pionowych, ściślej — ich prędkości dla poszczególnych punktów, wyznaczono ze wzoru:

$$v = \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

gdzie: v — prędkość ruchu w mm/rok, ΔH — różnica wysokości punktu, uzyskana z porównania sieci, Δt — interwał czasu między pomiarami.

Na terenach Polski środkowej i wschodniej interwały czasu (Δt) były liczone dla każdej linii oddzielnie i zawarte były w granicach 17—31 lat (przeciętnie 22 lata). Na terenach objętych dawną siecią niemiecką, z uwagi na specyficzny sposób jej pomiaru i obliczenia, przyjęto wspólny przybliżony interwał czasu $\Delta t = 70$ lat.

Z wielkości ΔH obliczonych dla poszczególnych punktów określano odcinki linii powtórnej niwelacji gdzie wielkości v miały jednakową przeciętną wartość, w interwałach co 0,5 mm/rok. W oparciu o tak wyznaczone odcinki linii niwelacyjnych o jednakowej wartości ruchu skorupy ziemskiej, interpolowano (w niektórych wypadkach — ekstrapolowano) te wielkości na obszary między liniami. W ten sposób otrzymano mapkę ruchów skorupy ziemskiej na całym obszarze Polski.

4. Wyniki i dokładności wyznaczenia pionowych ruchów skorupy ziemskiej

Wyniki wyznaczenia wykazały, że względne wielkości ruchów skorupy ziemskiej są na terenie Polski stosunkowo mało zróżnicowane i posiadają małe wartości, w granicach $-1 \div +1,5$ mm/rok.

Ponieważ są one odniesione do punktu Toruń, nie wykazującego ruchu w stosunku do wybrzeża morskiego, które wzdłuż południowego Bałtyku jest uważane za wykazujące małe ruchy pionowe w stosunku do poziomu morza, wobec tego wyznaczone względne ruchy pionowe można uważać za mało różniące się od wielkości bezwzględnych.

Mimo wielu wad materiału niwelacyjnego (małe dokładności starej sieci niemieckiej, duży procent linii o krótkim interwale czasu między pomiarami, szczupła ilość linii powtórnej niwelacji) przedstawiony obraz ruchów skorupy ziemskiej ma — biorąc generalnie — duże cechy prawdopodobieństwa. Wyznaczone obszary jednakowych prędkości pionowych ruchów w wielu wypadkach znajdują odpowiednik w tektonicznej budowie skorupy ziemskiej na tych obszarach. Zbieżność ta jest potwierdzeniem prawdopodobieństwa przedstawionego obrazu, z tym że potwierdzenie to dotyczy tylko ogólnej tendencji podnoszenia się lub opuszczania wykazanych obszarów.

Liczbowe wartości wyznaczonych ruchów pionowych skorupy ziemskiej, jak z góry przewidywano i co potwierdziły niezgodności na granicy obszaru sieci, są obarczone dość dużym błędem.

Dla terenów objętych siecią niwelacyjną pomierzoną w latach 1926—37 i dla przeciętnej wartości interwału czasu między pierwotnym i powtórnyim pomiarem ($\Delta t = 22$ lata), określono następująco błąd wyznaczenia, biorąc pod uwagę błędy średnie niwelacji i odległość od punktu odniesienia.

Odległość od punktu odniesienia (w km)	100	200	400
Średni błąd wyznaczenia ruchu skorupy (w mm/rok)	$\pm 0,5$	$\pm 0,7$	$\pm 1,0$

Charakterystyka dokładności wyznaczenia wielkości ruchów na terenach zachodnich i północno-wschodnich, z uwagi na wymienione uprzednio cechy starej niwelacyjnej sieci niemieckiej, jest znacznie trudniejsza. Można jednak przyjąć, że na skutek długiego interwału czasu ($\Delta t \approx 70$ lat) i tu błąd wyznaczenia jest rzędu ± 1 mm/rok.

Analizując ruchy na obszarach dawnej niemieckiej i międzywojennej polskiej sieci niwelacyjnej można zauważyć, że wyznaczone wartości ruchów na granicach tych sieci wykazują niezgodności. Nasuwa to przypuszczenie większych błędów w starej sieci niemieckiej, na skutek czego przyjęta z tej sieci rzędna punktu odniesienia polskiej sieci z lat 1926—37 (marka w Toruniu) nie mogła zagwarantować zgodności poziomów sieci polskiej i starej niemieckiej.

Przedstawione tu opracowanie ruchów pionowych skorupy ziemskiej jest pierwszym, które obejmuje cały obszar kraju. Jednak na skutek korzystania ze stosunkowo szczupłej ilości materiałów niwelacyjnych — w pewnym sensie przypadkowych i nie zawsze jednakowo dokładnych — wyznaczenie to należy traktować jako przybliżone, tym bardziej, że wyznaczone wielkości ruchów mieszczą się najczęściej w granicach błędu wyznaczenia.

Mimo swego prowizorycznego charakteru, to dokonane metodą geodezyjną wyznaczenie już dziś pozwala na zupełnie pewne stwierdzenie, że obszar Polski podlega bardzo małym współczesnym ruchom pionowym skorupy ziemskiej. Stwierdzenie to jest zgodne z uzasadnionymi opiniami innych dyscyplin nauki o Ziemi.

5. Uwagi końcowe

Przedstawione tu wyniki badań, prowadzonych przez Instytut Geodezji i Kartografii nad współczesnymi ruchami pionowymi skorupy ziemskiej, należy uważać — jak już powiedzieliśmy — za wyniki przybliżone, nie dające pełnego i ostatecznego obrazu. Otrzymane wielkości obrazują ruchy względne; posiadane materiały niwelacyjne — szczególnie materiały starsze — nie pozwoliły na jednakowo dokładne opracowanie całego obszaru Polski.

Polska posiada obecnie sieć mareografów i wodowskazów na wybrzeżu morza Bałtyckiego. Wszystkie mareografy i wodowskazy są włączone do państwowej sieci niwelacji precyzyjnej. Można więc mieć nadzieję, że już wkrótce obserwacje mareograficzne pozwolą określić średni poziom morza. Sieć niwelacji precyzyjnej, pomierzona w okresie lat 1952—58, posiada około 1500 podziemnych znaków niwelacyjnych, stabilizowanych poniżej poziomu przemarzania. Powtórzenie pomiaru tej sieci, planowane w przybliżeniu za 15—20 lat, pozwoli już na dokładne

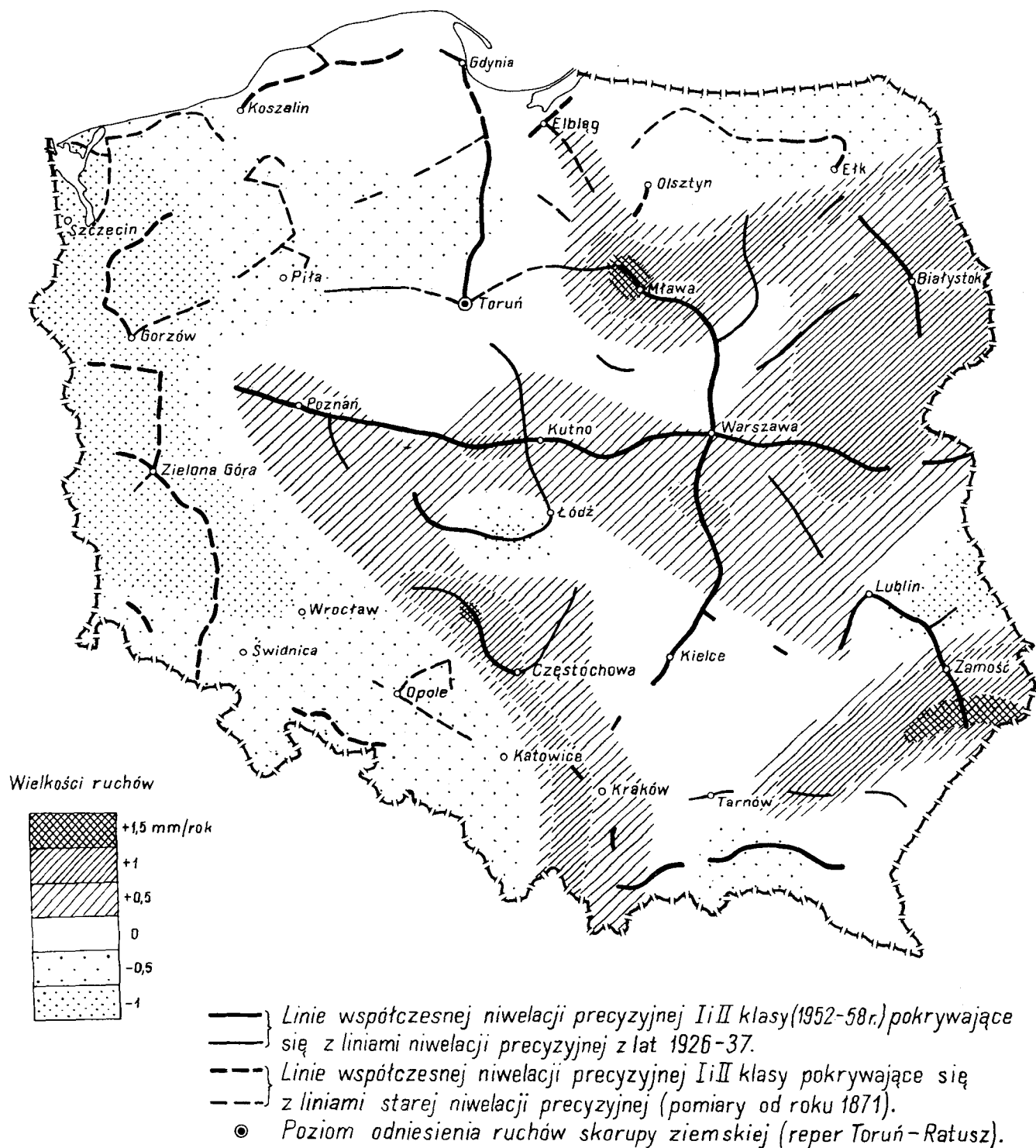
opracowanie obrazu współczesnych ruchów pionowych skorupy ziemskiej na obszarze Polski i już ruchów nie względnych, lecz absolutnych, odniesionych do poziomu morza.

Zagadnienie badania współczesnych pionowych ruchów skorupy ziemskiej jest zagadnieniem bardzo obszernym, opracowywanym przez przedstawicieli różnych gałęzi nauki o Ziemi. Instytut Geodezji i Kartografii prowadzi te badania od strony geodezyjnej. Koordynację całokształtu badań współczesnych ruchów skorupy ziemskiej, z punktu widzenia różnych gałęzi nauki, prowadzi Polska Akademia Nauk.

Wyznaczone względne ruchy pionowe skorupy ziemskiej na obszarze Polski zostały przedstawione na załączonej mapce.

Rękopis dostarczono Redakcji w sierpniu 1960 r.

WIELKOŚCI WSPÓŁCZESNYCH PIONOWYCH RUCHÓW SKORUPY ZIEMSKIEJ NA OBSZARZE POLSKI



Skala 1:4000000

INSTYTUT GEODEZJI I KARTOGRAFII
Warszawa 1960

ЕЖЫ НЕВЯРОВСКИ
ТАДЭУШ ВЫЖЫКОВСКИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ТЕРРИТОРИИ ПОЛЬШИ ПРИ ПОМОЩИ СРАВНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВТОРНЫХ ВЫСОКОТОЧНЫХ НИВЕЛИРОВОК

Резюме

В результате поднятой в Институте Геодезии и Картографии темы, касающейся исследований современных вертикальных движений земной коры на территории Польши, было выполнено их первое определение. Это определение является первым, которые охватывает всю территорию страны. Оно опирается на геодезическом методе сравнения двух, выполненных после значительного промежутка времени, измерений высокоточного нивелирования.

Для сравнения были использованы:

1. Современная сеть (измерения 1952—58 г.) — линии нивелирования I и II класса высокоточного нивелирования, сеть охватывающая территорию всей страны.
2. Давние сети:
 - а) польская сеть высокоточного нивелирования I класса с 1926—37 годов, охватывающая центральную и южную область страны. Длина общих с современной сетью линий была приблизительно равна 2 200 км,
 - б) сеть 1870 и последующих годов — охватывающая западные и северо-восточные территории Польши; точность этого нивелирования была значительно ниже по сравнению с двумя вышеприведенными нивелированиями. Длина общих с современной сетью линий была приблизительно равна 1 500 км.

Принимая во внимание качество собранного материала, а в особенности учитывая то, что линии повторного нивелирования не создавали замкнутых полигонов, сравнению подлежали высоты общих точек двух нивелирных сетей после их уравнивания. Перед сравнением

были введены редукции вытекающие вследствие разных поверхностей относимости и разных высотных систем, в которых были обработаны сравниваемые нивелировки.

Величины вертикальных движений земной коры были определены как относительные по отношению к прежнему исходному пункту нивелирования (Торунь — Ратуша). Определение абсолютных значений не является пока что целесообразным, принимая во внимание большую ошибку при определении среднего уровня моря. Численные значения скорости вертикального движения земной коры определены из формулы: $v = \frac{\Delta H}{\Delta t}$, где ΔH — разность высоты пункта, полученная из сравнения двух сети, Δt — интервал времени между измерениями.

Распределение скоростей вертикальных движений земной коры изображено на прилагаемом рисунке. Они заключаются в пределах $-1 \div +1,5$ мм/год. Ошибка определения, зависящая от расстояния от точки относимости, не превосходит величины ± 1 мм/год.

Несмотря на то, что это определение следует считать как первое приближение, однако же констатированные тенденции некоторых областей страны к поднятию или опусканию во многих случаях находят свое обоснование в тектоническом строении этих областей.

JERZY NIEWIAROWSKI
TADEUSZ WYRZYKOWSKI

THE DETERMINATION OF THE VERTICAL MOVEMENTS OF THE
EARTH'S CRUST ON THE TERRITORY OF POLAND BY THE
COMPARISON OF THE REPEATED PRECISE LEVELLINGS

S u m m a r y

The Institute of Geodesy and Cartography initiated in 1958 a determination of the recent vertical movements of the Earth's crust on the territory of Poland. For the first time such a determination was made for the whole territory of the country. It bases on the method of comparison of two precise levellings which were accomplished in the far extended epochs.

There were compared:

1. A modern levelling net (1952—58) of I and II class precision levelling laid out on the whole territory of the country.
2. Former nets:
 - a) Polish net of precise I class levelling from 1936—37, containing the central, eastern and southern regions of the country; the joint length of the lines common with the modern net is 2 200 km.
 - b) the net from 1870 and after containing the western and northern regions of the country; the precision of this levelling was much lower than that of the two levellings mentioned before. The joint length of the lines common with the modern net is 1 500 km.

Taking into account the quality of the collected materials, and the fact that the lines of the levelling were not forming closed loops, there were compared the elevations of points common to both nets, after the adjustment. Before the comparison the corrections of different datum levels and different systems of adjustment were introduced. The sizes of vertical movements were determined as relative to the old reference bench mark Toruń — City Hall. The determination of absolute sizes of vertical movements was not appropriate because of great errors in the

determination of mean sea level. The numerical values of the velocity of vertical movements of the Earth's crust were computed from the formula:

$$v = \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

where ΔH is the difference in the elevation of point, resulting from the comparison of both nets, Δt — time interval between the two levellings.

The disposition of the vertical movements of the crust is displayed on the annexed sketch. They are contained in the limits of -1 to $+1,5$ mm per year. The error of the determination depends of the distance from the reference point and does not exceed $+1$ mm per year. Although this determination should be treated as the first approximation, nevertheless the corroborated tendencies of lifting, resp. sinking of some areas have in any case its evidence in the tectonic structure of these areas.