

BADANIE RUCHÓW PIONOWYCH OBSZARÓW WARSZAWY I OKOLIC

Stanisław Margański¹, Edwin Wierzbicki², Tomasz Olszak¹

¹ Politechnika Warszawska

² Przedsiębiorstwo Pomiarów Geodezyjnych, Warszawa

Streszczenie. W omawianym opracowaniu podjęto zadanie wyznaczenia ruchów pionowych obszaru Warszawy i najbliższych okolic na podstawie wyników pomiarów krajowej sieci niwelacji precyzyjnej I klasy, wykonanych w ramach II, III i IV kampanii niwelacyjnej. Jako że badany fragment krajowej sieci wysokościowej stanowi sieć wiszącą, nie dowiązaną do jakiegokolwiek poziomu odniesienia w sposób bezpośredni, wyznaczone tutaj wartości ruchów pionowych mają charakter względny i opisują jedynie wewnętrzne deformacje obiektu. Mimo to, jak się okazuje, już jako takie stanowią solidne podłoże do prowadzenia analiz i interpretacji pod kątem działania czynników fizycznych.

Przedmiotem badań ruchów pionowych był fragment krajowej podstawowej sieci wysokościowej obejmujący teren Warszawy wraz z terenami przyległymi. Granice badanego obszaru, o rozpiętości około 100 km, stanowiły linie niwelacyjne łączące miejscowości Sochaczew, Wyszogród, Płońsk, Pułtusk, Wyszaków, Niegów, Mińsk Mazowiecki, Stara Wieś, Góra Kalwaria, Grójec, Mszczonów. W opracowaniu przedstawiono omówienie materiału źródłowego, algorytm i wyniki poszukiwania bazy punktów odniesienia oraz zarys interpretacji przyczyn otrzymanych ruchów pionowych. Wyniki, przedstawione w postaci map ruchów pionowych, wskazują istotne (rzędu kilku milimetrów na rok) przemieszczenia punktów. Tło tych przemieszczeń wskazuje ich głównie endogeniczny charakter, ale w wynikach widać również echo lokalizacji badanego obszaru w sąsiedztwie strefy T-T. Przedstawiono także analizę przemieszczeń w kontekście stabilizacji znaków wysokościowych, wykazując, że charakter otrzymanych zmian wysokości wyraźnie koresponduje z typem stabilizacji znaków.

Słowa kluczowe: niwelacja precyzyjna, geodynamika, ruch punktów

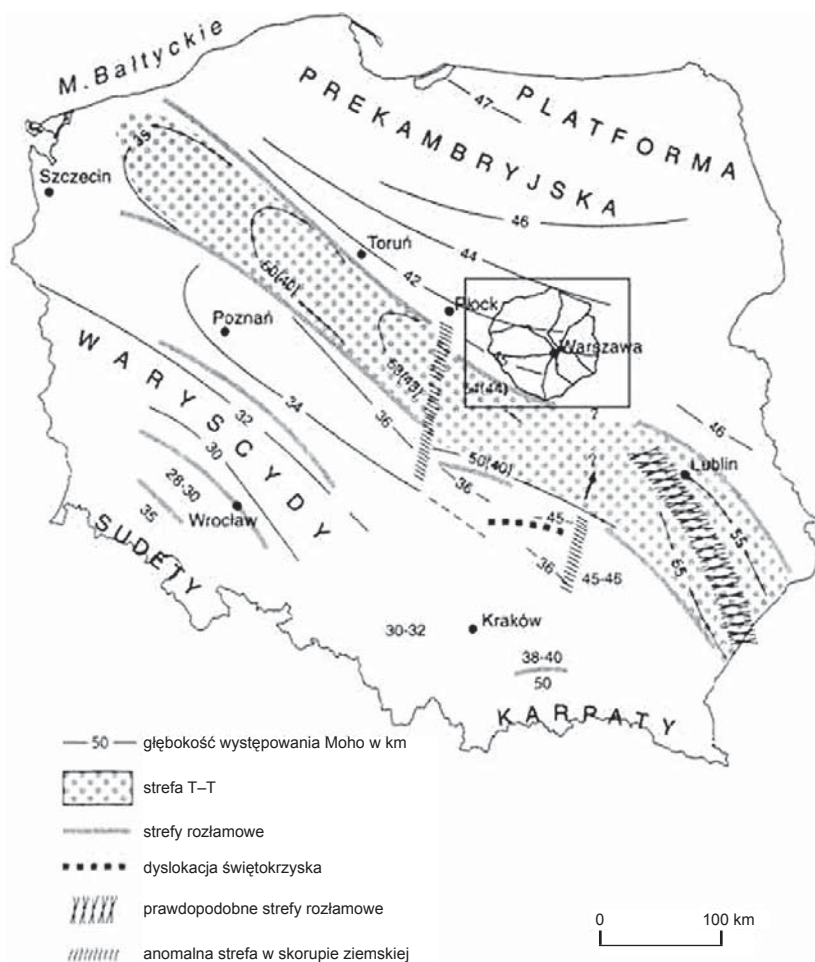
OPIS OBIEKTU BADAŃ

Obszar, na którym rozpościera się badana sieć, w całości położony jest na prekambryjskiej platformie wschodnioeuropejskiej, a jego południowo-zachodnia granica znajduje się bardzo blisko strefy Teisseyre'a-Tornquista, czyli strefy przejściowej pomiędzy platformą

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

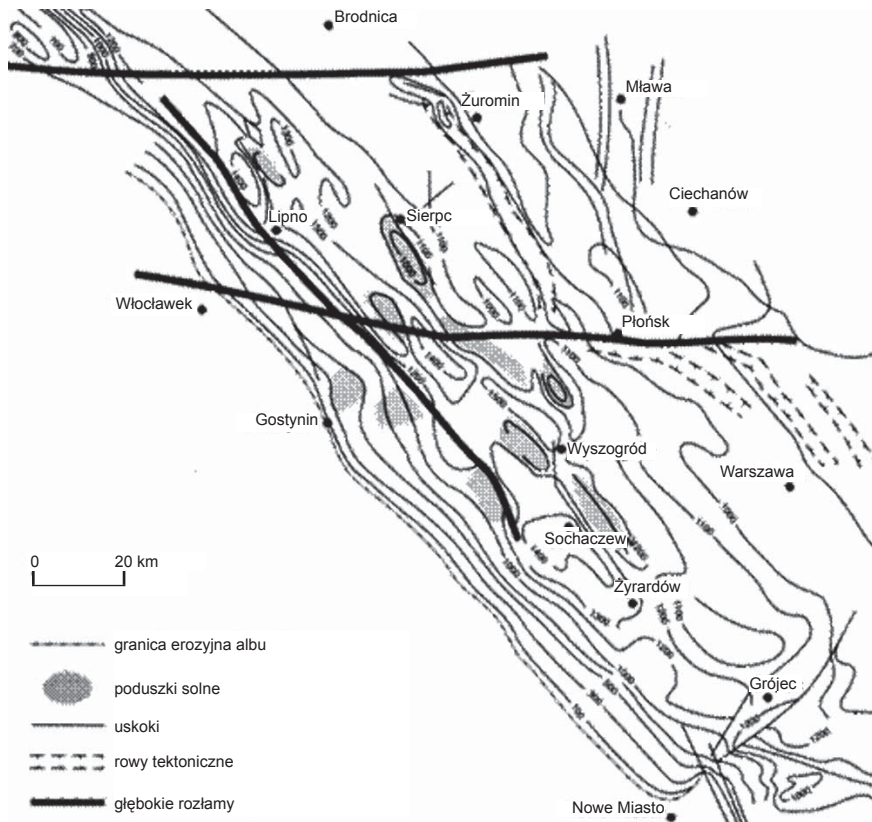
Adres do korespondencji – Corresponding author: Margański Stanisław, Katedra Geodezji i Nawigacji Satelitarnej, Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska, Plac Politechniki 1, 00-661 Warsaw, e-mail: s.marganski@gik.pw.edu.pl

a obszarem orogenu Waryscyjskiego. Lokalizację badanego obszaru na tle głównych jednostek tektonicznych Polski przedstawiono na rysunku 1. U schyłku ery mezozoicznej, w wyniku tzw. ruchów laramijskich, w obrębie młodszej pokrywy platformowej wyodrębniły się rozległe jednostki tektoniczne, zwane *jednostkami laramijskimi*. Zdecydowana większość obszaru objętego analizą leży wewnątrz jednostki zwanej *niecką brzeżną*, a konkretnie w jej części zwanej *niecką warszawską*. Jej południowo-zachodnia granica jest bardziej stroma i wyraźna, natomiast obszary północno-wschodnie mają bardziej łagodne nachylenie. Niecka warszawska to centralny odcinek niecki brzeżnej, zlokalizowany pomiędzy dwiema strefami uskokuowymi Czarnków-Tuchola-Brodnica na północy i Nowe Miasto-Grójec na południu. Charakterystyczną cechą tej struktury jest największa w całej niecce brzeżnej miąższość. Rejony okolic Żyrardowa, Sochaczewa i Wyszogrodu leżą w miejscach, gdzie podłoże krystaliczne jest najgłębiej położone (ok. 1400 m). Nieco płycej położone jest w okolicach Grójca i Płońska (1000–1100 m), a w Warszawie ta głębokość wynosi już 900 m [Mizerski 2009].



Rys. 1. Szkic badanej sieci na tle schematycznej mapy głównych jednostek tektonicznych
 Fig. 1. A sketch of the network on a schematic map featuring main tectonic units

Ponadto w okolicy Płońska przebiega uskok Włocławek-Płońsk oraz płytsze uskoki w okolicy Grójca i Góry Kalwarii i rowy tektoniczne na północ od Warszawy. Są to miejsca, gdzie można spodziewać się większych skutków ruchów tektonicznych. Ukształtowanie spągu kredy niecki warszawskiej, wraz z naniesionym szkicem badanej sieci, przedstawiono na rysunku 2.

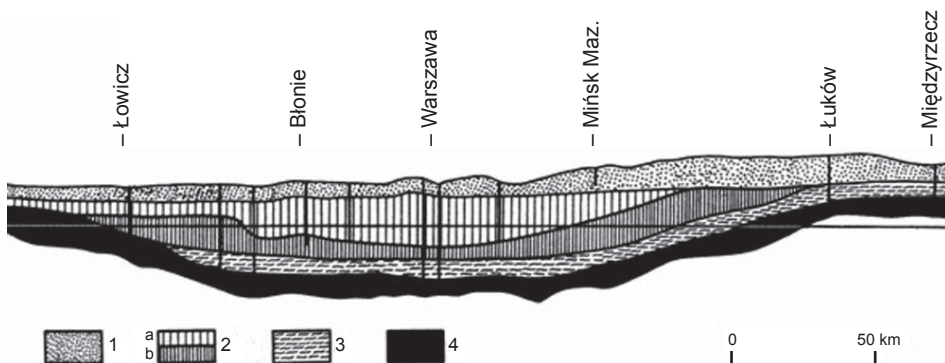


Rys. 2. Mapa strukturalna spągu kredy w niecce warszawskiej [źródło: Włodzimierz Mizerski, Geologia Polski] z naniesionym szkicem badanej sieci

Fig. 2. Schematic view of bottom of the Cretaceous layers [source: Włodzimierz Mizerski, Geologia Polski] with scheme of analyzed network

Nachylenie warstw południowo-zachodniego skrzydła niecki wynosi od 5° do 10° , w skrzydle wschodnim skały leżą prawie poziomo. Większość dyslokacji wgłębnych ma kierunki NW–SE, równoległe do osi niecki. Liczne są jednak również głębokie uskoki równoleżnikowe, które będąc aktywne synsedymacyjnie, wpływały na zmiany miąższości skał mezozoicznych. Niektóre ze struktur solnych, np. w okolicach Kamionek i Płońska, znajdują się na przecięciu uskoków wymienionych dwóch zespołów. Tereny niecki warszawskiej po ruchach laramijskich i po erozji stały się ponownie obszarem akumulacji. W trzeciorzędzie w środkowej Polsce powstała rozległa depresja z centrum w okolicach Warszawy, sięgająca poza granice niecki warszawskiej – jest to niecka mazowiecka wypełniona detrytycznymi osadami od eocenu po pliocen [Stupnicka 1989].

Schematyczny widok równoleżnikowego przekroju przez strukturę niecki arcyzyskiej, powstałej w zagłębieniu niecki warszawskiej, przedstawiono na rysunku 3. Widać na nim wyraźnie mechanizm powstawania ciśnienia hydrostatycznego na dnie niecki, pod nieprzepuszczalną pokrywą iłów plioceńskich. Woda wypełniająca piaski oligoceny i mioceńskie na dnie niecki – zasilana jest w miejscach, gdzie warstwa piasków trzeciorzędowych wychodzi na powierzchnię. W niecce warszawskiej obszary zasilania wód arcyzyskich znajdują się na południowej i południowo-wschodniej krawędzi niecki, w szerokim pasie łączącym rejon Radomia, Dębina i Kocka.



Rys. 3. Przekrój przez warszawską nieckę arcyzyską według J. Lewińskiego [źródło: Kostrowicki J., Środowisko geograficzne Polski, PWN, Warszawa 1968, s. 265]

1 – czwartorzęd, 2 – a) pstry ły plioceńskie, b) miocen węglonośny,
3 – piaski oligoceny, 4 – margle kredowe

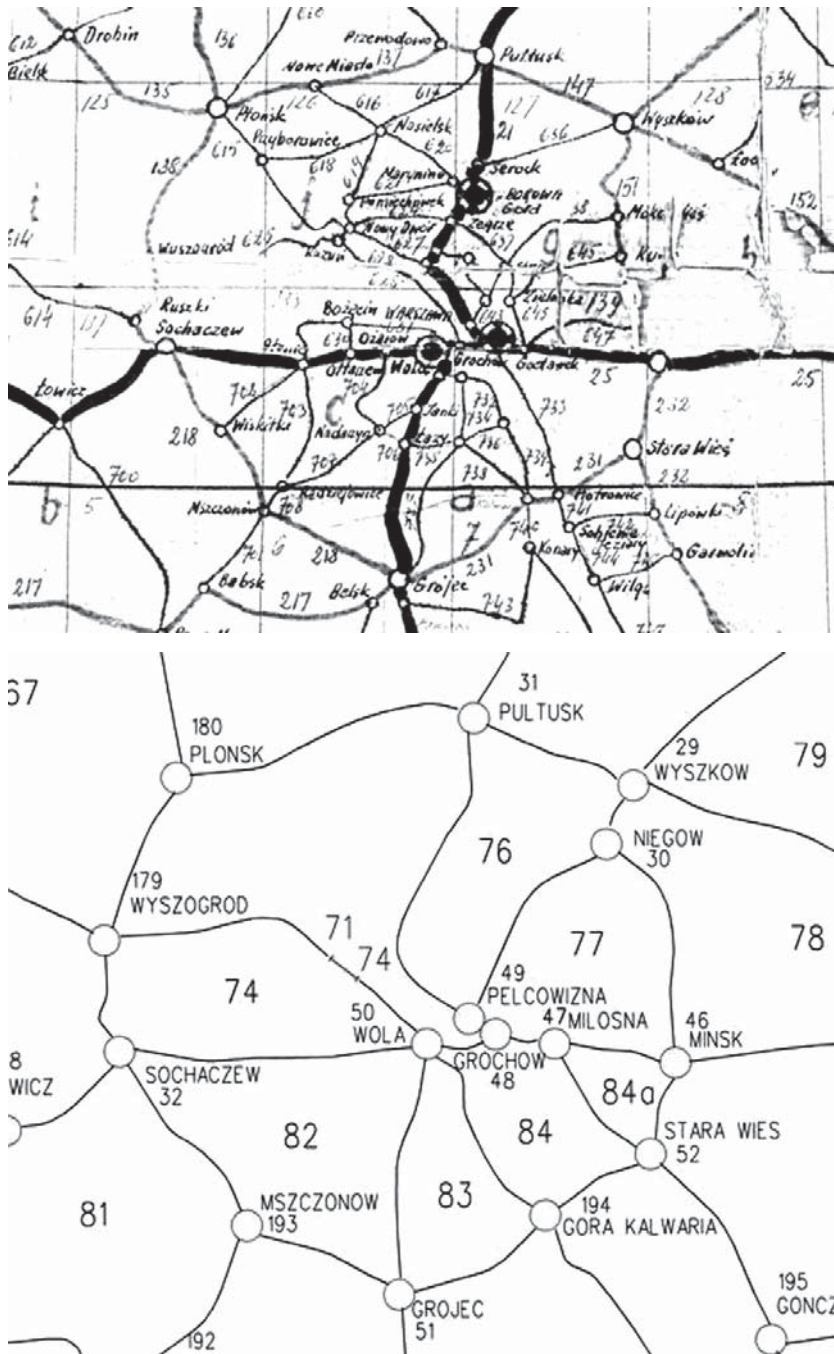
Fig. 3. Section of the Warsaw Basin according to J. Lewiński [source: Kostrowicki J., Środowisko geograficzne Polski, PWN, Warsaw 1968, p. 265]

1 – quaternary, 2 – a) mottled Pliocene clay, b) coal-bearing Miocene,
3 – Oligocene sands, 4 – chalk marl

Pokrywą omawianej struktury niecki arcyzyskiej i zarazem wierzchnią warstwę podłoża stanowią piaszczyste, gliniaste i ilaste utwory czwartorzędowe, przeważnie związane z działalnością lodowca skandynawskiego.

OMÓWIENIE I UJEDNOLICENIE MATERIAŁU BADAWCZEGO

Badane fragmenty sieci klasy I z III i IV kampanii pomiarowej mają niemalże identyczny kształt i składają się z 22 linii niwelacyjnych, uformowanych w 8 poligonów zawierających 767 punktów z III kampanii i 836 reperów z IV kampanii, z czego 21 to znaki fundamentalne. Przebieg tych linii zmienił się na przestrzeni lat 1978–2002 w bardzo niewielkim stopniu. Sieć klasy z II kampanii jest względem nich nieporównywalnie uboższa i składa się z 5 linii niwelacyjnych z dwoma punktami węzłowymi (rys. 4). Zatem, w celu unifikacji kształtu sieci wszystkich pomiarów do linii sieci klasy I najstarszego z pomiarów dołączono dodatkowo 7 linii ówczesnej sieci klasy II pierwszej kategorii. W ten sposób powstała sieć 12 linii niwelacyjnych tworzących 4 zamknięte poligony, zawierające łącznie 438 punktów o różnym typie stabilizacji.



Rys. 4. Kształt badanego fragmentu podstawowej sieci wysokościowej: góry – z II kampanii, dolny – z III i IV kampanii (źródło: archiwum CODGiK)

Fig. 4. Shape of the analyzed leveling network fragment: upper image – from the 2nd campaign, lower image – from the 3rd and 4th campaigns (source: CODGiK archive)

Wszelkie użyte w tym celu dane uzyskano z archiwum Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartografii. Dotyczyły one pomiarów II, III i IV kampanii niwelacyjnej, a więc dały podstawę do wyznaczenia ruchów pomiędzy latami 1953 i 2002. Materiał pomiarowy stanowiły dzienniki pomiarów poszczególnych odcinków niwelacyjnych.

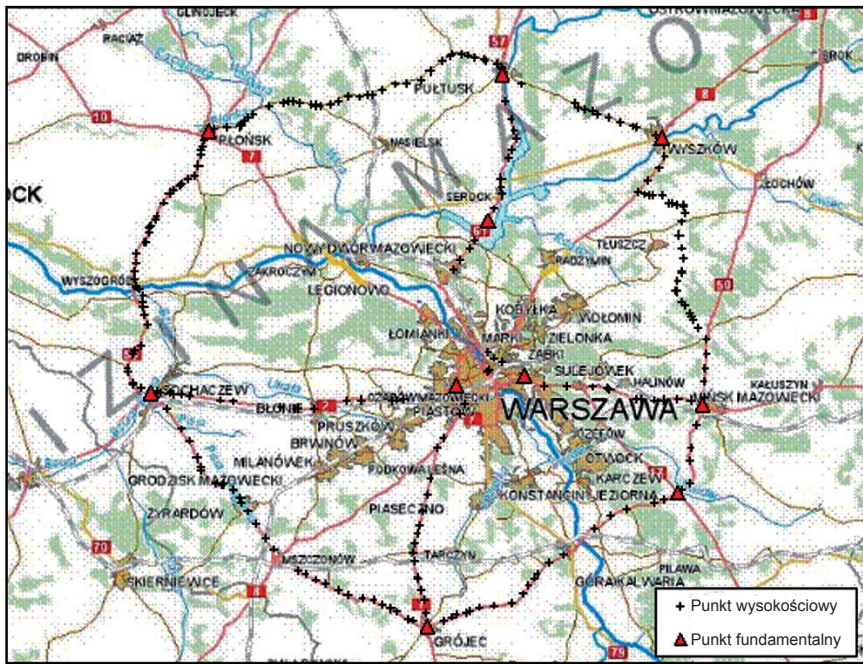
Po zestawieniu i interpretacji punktów wspólnych porównywanych kampanii uzyskano w stosunku do liczby punktów w kampanii III:

- 292 punkty wspólne dla kampanii II i III; co stanowi 38% w stosunku do III kampanii;
- 645 punktów wspólnych III i IV kampanii, co stanowi 84% w stosunku do IV kampanii.

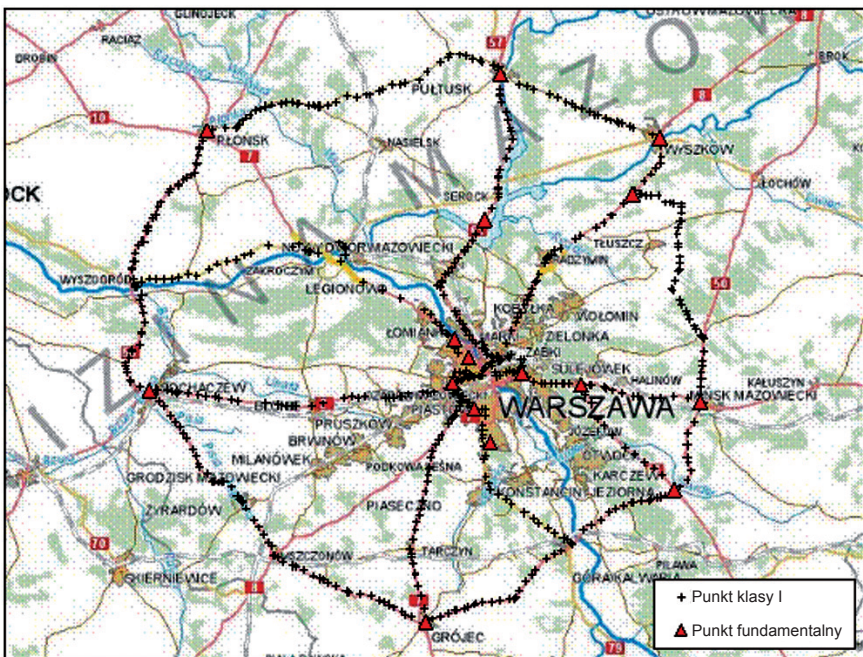
Zinterpretowano również 262 punkty wspólne pomiędzy kampaniami II i IV, co stanowi 90% zbioru punktów wspólnych II i III kampanii (rys. 5 i 6).

Aby uzyskać w pełni jednolity materiał pomiarowy, należało zadbać także, by same wielkości obserwowane były zgodne pod względem merytorycznym, w takim znaczeniu by miary przewyższeń odcinków z materiałów wszystkich kampanii były spójne pod względem użytych poprawek pomiarowych oraz stosowanego systemu wysokości. W badanym przypadku – sieci wszystkich trzech rozpatrywanych kampanii realizowały system wysokości normalnych, z tym że materiały z II kampanii, jako jedyne, nie zawierały żadnych informacji odnośnie do wartości członów poprawki normalnej ani miar przewyższeń normalnych. Wprowadzenie poprawki normalnej ma dość istotny wpływ na wysokość wyrównaną punktu badanej sieci. Analiza wykonana na podstawie anomalii Faya wyznaczonych dzięki modelowi geopotencjału wykazała, iż przy założeniu stałej wysokości reperu Warszawa-Wola wprowadzenie tej poprawki powoduje zmianę wysokości punktów o około +4 mm na krańcach południowych badanej sieci i około –5 mm na krańcach północnych. Jednakże, obliczenie przemieszczeń pionowych ma charakter różnicowy i realizacja systemu wysokości normalnych nie wprowadziłaby znaczących zmian. Zatem, jedynym prostym i skutecznym rozwiązaniem tutaj okazało się wyeliminowanie poprawki normalnej z miar przewyższeń uzyskanych w ramach III i IV kampanii.

Znacznie poważniejszy problem stanowił brak uwzględnienia niwelacyjnej poprawki pływowej podczas pomiarów II kampanii, gdyż jej wartość trudno oszacować, nie znając dokładnego momentu pomiaru każdego odcinka. Co gorsza, po wstępnej analizie wzorów matematycznych określających wielkość poprawki ze względu na zmianę kształtu powierzchni ekwipotencjalnej można zauważyć, podobnie jak w przypadku poprawki normalnej, wpływ systematyczny na wyniki pomiarów, jednak maksymalnie o około 3,5-krotnie mniejszych wartościach. Ten fakt sprawia, że obserwacje z II kampanii będą odmiennie wagowane ze względu na około 1,5-krotnie większy błąd typowego spostrzeżenia, gdzie można by doszukiwać się między innymi właśnie także wpływu nieuwzględnienia poprawki pływowej i również wówczas nie uwzględnianej poprawki termicznej. Błąd pomiaru przewyższenia na pojedynczym odcinku, wynikający z długości odcinka, został zwiększony w proporcji do średniego błędu m_0 wyrównania poszczególnych kampanii.



Rys. 5. Punkty wspólne dla sieci II, III i IV kampanii niwelacji precyzyjnej
 Fig. 5. Common points for II, III and IV campaign



Rys. 6. Punkty wspólne dla sieci III i IV kampanii niwelacji precyzyjnej
 Fig. 6. Common points for III and IV campaign

WYZNACZENIE RUCHÓW PIONOWYCH OBSZARU

Wyznaczeń prędkości ruchów pionowych skorupy ziemskiej z krajowej sieci niwelacji precyzyjnej, biorąc pod uwagę obszar całej Polski, dokonali wcześniej Tadeusz Wyrzykowski [1985] i Kamil Kowalczyk [2008]. Poziom odniesienia w tych opracowaniach realizowano poprzez wykorzystanie dowiązań sieci do kilku bałtyckich mareografów.

W badanej sieci brakuje nawiązania do tego samego, definiowanego fizycznie poziomu odniesienia, zatem konieczne było przeprowadzenie identyfikacji punktów stałych, tworzących tzw. bazę odniesienia. Wziąwszy pod uwagę różnorodność rodzajów stabilizacji punktów badanej sieci, jak i treść wytycznych technicznych w tym zakresie (Wytyczne Techniczne G-1.9), bazy odniesienia poszukiwano wśród punktów stabilizowanych znakami fundamentalnymi.

Identyfikacja reperów odniesienia

Identyfikację bazy odniesienia przeprowadzono metodą redukcji w iteracyjnym procesie obliczenia przemieszczeń. Tutaj w pierwszej iteracji dokonuje się obliczenia przemieszczeń względem bazy utworzonej ze wszystkich potencjalnych punktów odniesienia, a w ciągu kolejnych eliminowane są kolejno punkty bazy, które wykazały przemieszczenia wykraczające poza określone kryterium stałości. W algorytmie zastosowano kryterium podwójnej wartości błędu średniego wyznaczenia przemieszczenia. Proces iteracyjny kończy wyłonienie właściwej bazy odniesienia, spełniającej wymogi dokładnościowe. Otrzymane w wyniku ostatniej iteracji wielkości przemieszczeń uznaje się za ostateczne. Do obliczenia zmian wysokości punktów wykorzystana została jedna z metod geodezyjnego wyznaczania przemieszczeń – metoda różnic rzędnych z zastosowaniem elastycznego układu odniesienia. Elastyczny model układu odniesienia był tu szczególnie adekwatny, gdyż dopuszcza wystąpienie szczytkowych przemieszczeń na punktach odniesienia, co pozwala na uwzględnienie ograniczonej dokładności obserwacji. W tym modelu poziom odniesienia jest niejako „wpasowywany” w wielkości przemieszczeń punktów bazy [Prószczyński, Kwaśniak 2006].

Po procesie identyfikacji bazy odniesienia wyznaczano rzędne reperów badanej sieci na daną epokę w nawiązaniu do tych punktów, które zidentyfikowano jako stałe w bazie punktów odniesienia. Po ścisłym wyrównaniu takiej sieci, przy wagowaniu w funkcji długości odcinka niwelacyjnego, uzyskiwano rzędne reperów w danej epoce i porównywano z wyznaczeniami w innych epokach. Do obliczenia prędkości ruchów, z uwagi na względnie krótki czas trwania pomiarów w ramach każdej epoki pomiarowej (rzędu 2–3 lat) i duży interwał czasu pomiędzy poszczególnymi epokami (rzędu 22–23 lat), wystarczyło podejście przybliżone, redukujące czas każdorazowego pomiaru sieci do pojedynczego momentu. Wielkości prędkości wynikają tu wprost ze zmian wysokości punktów i interwału czasu między momentami poszczególnych pomiarów okresowych. Przemieszczenia i prędkości obliczono w przypadku lat: 1956–1978, 1956–2001 oraz 1978–2001, porównując sieci z poszczególnych pomiarów parami. Do pomiarów II i III kampanii, dotyczących lat 1956 i 1978, oraz pomiarów II i IV kampanii zbiorów potencjalnych punktów odniesienia składała się z 10 reperów fundamentalnych. Właściwą bazę odniesienia do lat 1956–1978 wyłoniono w ciągu pięciu iteracji procesu obliczania przemieszczeń, a do lat 1956–2001 – w ciągu sześciu iteracji. Na podstawie obu zidentyfikowanych baz utwo-

rzono jedną wspólną bazę odniesienia, którą uznano za ostateczną. Wyznaczała ją pięć punktów: 25240025 (Płońsk), 25340037 (Wyszaków), 26240040 (Sochaczew), 27320025 (Stojadła), 27320058 (Kolbiel), 27330026 (Grójec). Końcowe miary przemieszczeń badanych punktów fundamentalnych, uzyskane w ostatnich iteracjach obliczeń, wraz z oceną ich istotności przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Miary przemieszczeń punktów fundamentalnych dla lat 1956–1978 i 1956–2001
Table 1. Vertical movements between epochs 1956–1978 and 1956–2001

Znak fundamentalny Fundamental point			Lata 1956–1978 1956–1978 period			Lata 1956–2001 1956–2001 period		
Id 65 punktu Point ID	Typ znaku Type of stabilization	Lokalizacja Localization	ΔH_i [mm]	$m_{\Delta H_i}$ [mm]	Istotność $ \Delta H_i \leq 2m_{\Delta H_i}$ Proportion	ΔH_i [mm]	$m_{\Delta H_i}$ [mm]	Istotność $ \Delta H_i \leq 2m_{\Delta H_i}$ Proportion
26330081	I	Wola	-40,53	6,11	istotne	-37,75	7,17	istotne
25240025	III	Płońsk	-1,33	7,75	nieistotne	-7,72	9,03	nieistotne
25330017	III	Pułtusk	-22,01	6,92	istotne	15,74	8,07	nieistotne
25340037	III	Wyszaków	-1,86	6,66	nieistotne	1,12	7,78	nieistotne
26240040	III	Sochaczew	2,67	7,44	nieistotne	-16,89	8,71	nieistotne
26310023	I	Borowa G.	-22,68	7,71	istotne	-19,8	8,92	istotne
26340057	IA	Grochów	-39,99	5,72	istotne	-25,69	6,74	istotne
27320025	III	Stojadła	-4,26	4,86	nieistotne	-1,85	5,79	nieistotne
27320058	III	Kolbiel	4,53	5,26	nieistotne	7,31	6,24	nieistotne
27330026	III	Grójec	2,92	6,18	nieistotne	1,14	7,28	nieistotne

Z tabeli 1 wynika, że w latach początkowych warszawskie punkty fundamentalne typu I doznały znacznych osiadań, sięgających rzędu 4 cm, natomiast najstabilniejsze okazały się, znajdujące się na obrzeżach badanego obszaru, repery typu III.

W przypadku pomiarów III i IV kampanii liczba badanych potencjalnych punktów odniesienia była nieco większa i zawierała już aż 16 znaków fundamentalnych. Właściwą bazę odniesienia uzyskano już w czwartej iteracji procesu obliczania przemieszczeń, po odrzuceniu tylko trzech z tych punktów (tab. 2).

Tworzy ją 13 reperów, usytuowanych zarówno w Warszawie, jak i poza nią. Na uwagę zasługuje szczególnie, uwidocznioma w tabeli 2, miara przemieszczenia reperu Warszawa-Grochów, który w odróżnieniu do zaobserwowanego w latach 1956–1978 osiadania wykazał około centymetrowe wypiętrzenie. Zatem, reper ten zachowywał się dość niestabilnie.

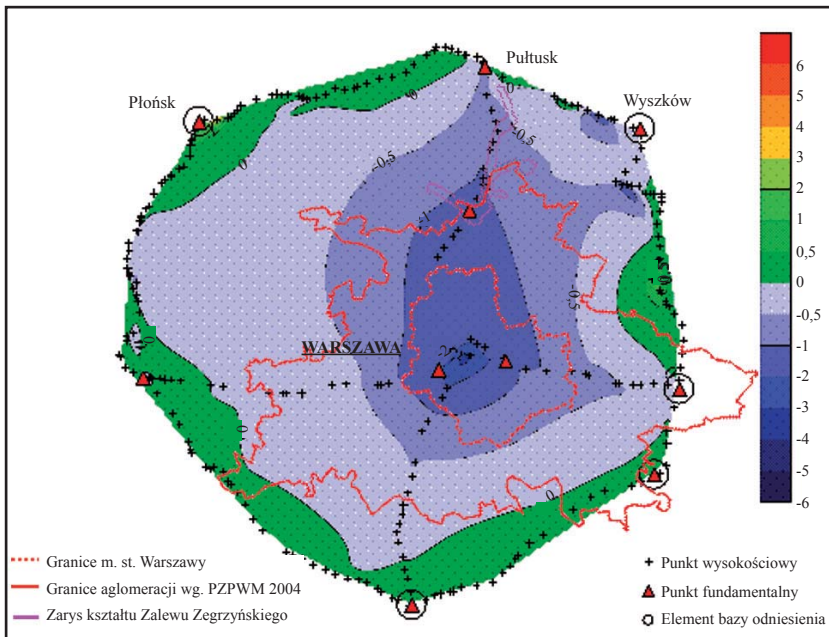
Tabela 2. Miary przemieszczeń punktów fundamentalnych dla lat 1978–2001
 Table 2. Vertical movements between epoch 1978–2001

Id 65 punktu Point ID	Znak fundamentalny Fundamental point		Lata 1978–2001 1978–2001 period		
	Typ znaku Type of stabilization	Lokalizacja Localization	ΔH_i [mm]	$m_{\Delta H_i}$ [mm]	Istotność $ \Delta H_i \leq 2m_{\Delta H_i}$ Proportion
26330081	I	Warszawa-Wola	0,1	2,72	nieistotne
25240025	III	Płońsk	-9,06	5,55	nieistotne
25330017	III	Pułtusk	35,09	4,82	istotne
25340037	III	Wyszaków	0,31	4,59	nieistotne
26240040	III	Sochaczew	-22,22	4,84	istotne
26310023	I	Borowa Góra	0,21	5,01	nieistotne
26320023	IIA	Niegów	3,07	4,19	nieistotne
26330064	I	Warszawa Lasek Bielański	0,49	3,92	nieistotne
26330070	I	Warszawa Park Żeromskiego	-0,09	3,49	nieistotne
26340057	IA	Grochów	11,64	3,06	istotne
27310043	I	Warszawa Belska	4,82	3,33	nieistotne
27310055	I	Warszawa Las Kabacki	3,59	3,82	nieistotne
27320020	IIA	Ratajewo (Miłosna)	1,15	3,31	nieistotne
27320025	III	Stojadła (Mińsk Maz.)	-0,26	3,66	nieistotne
27320058	III	Kołbiel (St. Wieś)	0,11	3,54	nieistotne
27330026	III	Grójec	-4,45	4,26	nieistotne

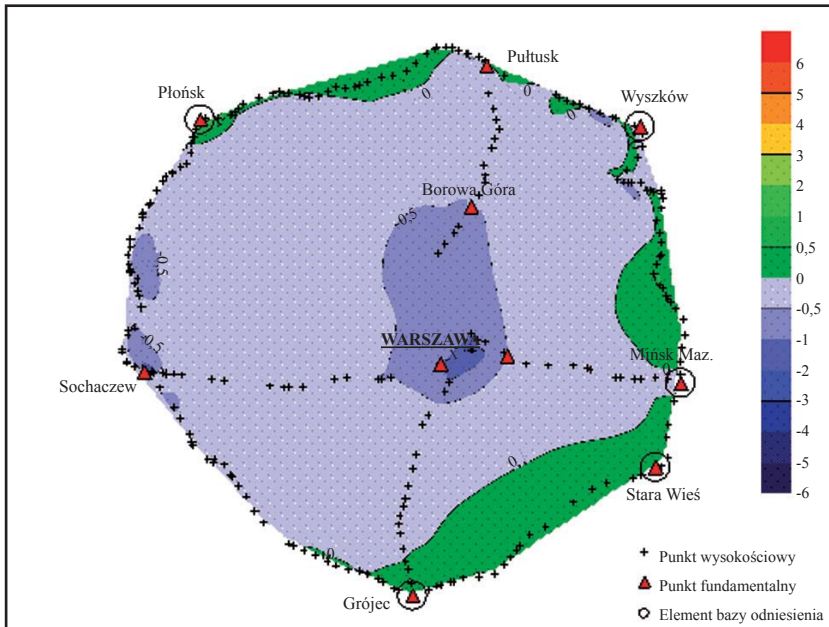
Określenie ruchów pionowych

Ogółem, w odniesieniu do lat 1956–1978 zbadano 292 punkty sieci, do 1956–2001 zaś 262 punkty, a do 1978–2001 aż 645 punktów. Średnia dokładność określenia zmian wysokości wyniosła w przypadku tych lat odpowiednio: 7,1, 8,3 oraz 4,4 mm. Natomiast błąd średni określenia prędkości ruchu wyniósł odpowiednio: 0,3, 0,2 oraz 0,2 mm/rok. Istotne pionowe przemieszczenia (przekraczające podwójny błąd średni wyznaczenia wielkości przemieszczenia) wykazano: w odniesieniu do 1956–1978 – 55 punktów, do 1956–2001 – również 55 punktów, a do 1978–2001 – 216 punktów. Na różną wykrywalność punktów istotnie przemieszczonych wpływ miała dokładność wyznaczenia samych przemieszczeń, a więc pośrednio – również dokładności określenia rzędnej punktu z wyników pomiaru.

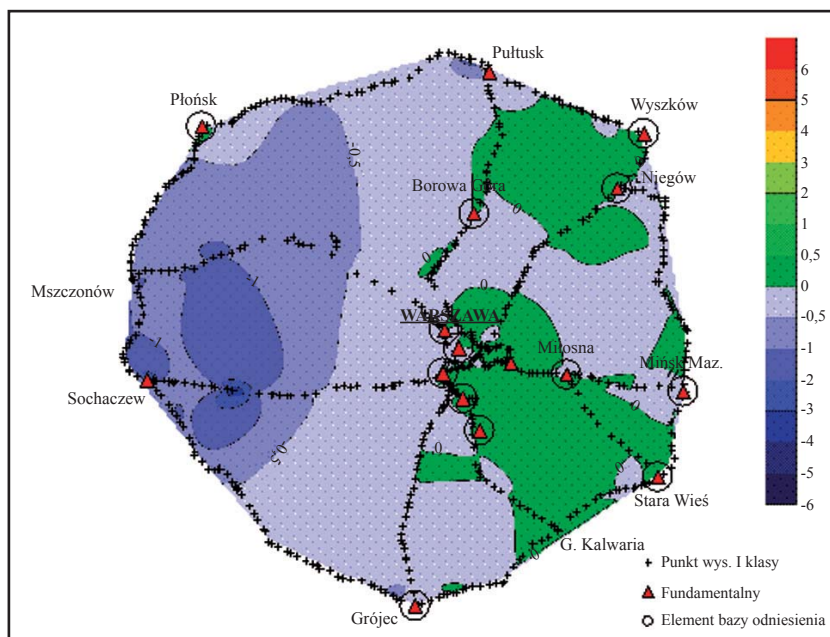
Bazując na wynikach obliczeń, sporządzono mapy prędkości ruchów badanego obszaru – odpowiednio do każdej pary porównywanych pomiarów. Przedstawiono je na rysunkach 7, 8 oraz 9. Z rysunków tych wynika, że w latach 1956–1978 badany obszar uległ silnym osiadaniom w centralnej części, przy czym obrzeża pozostały niemalże bez zmian (rys. 7). Lata 1978–2001 natomiast wykazują odmienną tendencję w tym rejonie. Porównanie III i IV kampanii wskazuje na trend osiadania w zachodnim rejonie sieci, wykazując ponad milimetrowe prędkości w rejonie Sochaczewa. Tereny wschodnie pozostawały w tym okresie bez zmian lub ulegały tylko niewielkim, lokalnym wypiętrzeniom (rys. 9).



Rys. 7. Mapa ruchów punktów wysokościowych w odniesieniu do lat 1956–1978, wyrażonych w mm/rok, z naniesionym szkicem lokalizacji aglomeracji miejskiej i Zalewu Zegrzyńskiego
 Fig. 7. Map of leveling point movements between 1956 and 1978, expressed in mm per year, with sketch of local urban agglomerations and the Zegrzyński Lake



Rys. 8. Mapa ruchów punktów wysokościowych w odniesieniu do lat 1956–2001, wyrażonych w mm/rok
 Fig. 8. Map of leveling point movements between 1978 and 2001, expressed in mm per year



Rys. 9. Mapa ruchów punktów wysokościowych w odniesieniu do lat 1978–2001, wyrażonych w mm/rok

Fig. 9. Map of leveling point movements between 1978 and 2001, expressed in mm per year

Przedstawiane na rysunkach 7, 8 i 9 ruchy pionowe można przyrównać do opracowań Wyrzykowskiego [1985] i Kowalczyka [2008]. Jak się okazuje, znaleźć można wiele podobieństw. Podobne jest ukształtowanie odpowiednich izolacji, a więc przestrzenne zróżnicowanie prędkości ruchów, różne natomiast same bezwzględne wartości prędkości ruchów. Wnioskować można, iż różnica tkwi w doborze poziomu odniesienia, gdyż ruchy obrazowane na tych rysunkach mają charakter lokalny.

INTERPRETACJA WYKAZANYCH RUCHÓW PIONOWYCH

Czynniki technogenne

Wyznaczone wielkości ruchów wykazywały w latach 1956–1978 istotne osiadania centralnej części badanej sieci, obejmującej tereny aglomeracji warszawskiej. Jak się okazuje, czynnikiem wywołującym takie ruchy może być działalność ludzka, a mianowicie – obciążenie gruntu od nowo powstałej w tym czasie zabudowy miejskiej, a także wysuszenie niecki mazowieckiej w wyniku nadmiernej eksploatacji wód artezyjskich. Nasilenie zabudowy pomiędzy latami pięćdziesiątymi i siedemdziesiątymi w Warszawie dobrze tłumaczy wykazane osiadania centralnej części sieci niwelacji precyzyjnej w latach 1956–1978. Może to być spowodowane właśnie pojawieniem się na gruncie dodatkowego obciążenia. Wiadomą rzeczą jest to, iż prowadzonym wykopom towarzyszy osuszanie gruntu i powstawanie lejów depresyjnych, co może prowadzić do zsuchania się podłoża. Szczególnie wyraźne są efekty osuszania podłoża ilastego i gliniastego, jakim zresztą cechuje się większość badanego obszaru.

Innym zjawiskiem, również powiązaniem z wilgotnością gruntu, jest intensywna eksploatacja wód artezyjskich, zawartych w utworach oligoceńskich i mioceńskich niecki mazowieckiej. Od momentu odkrycia mazowieckiej wody oligoceńskiej w 1896 roku, w ciągu 100 lat eksploatacji wód artezyjskich odwiercono w Warszawie ponad 200 studni, a w obrębie całego zbiornika artezyjskiego ponad 300 [Stempień-Sałek 2005]. Tak duże i skoncentrowane wydobywanie wody ze słabo odnawialnego zbiornika oligoceńskiego spowodowało znaczne obniżenie zwierciadła wody. Początkowo poziom wody nawiercanej na głębokości 230–250 m stabilizował się na wysokości około 100 m n.p.m. W latach sześćdziesiątych zaobserwowano jego obniżenie aż do wysokości około 60 m n.p.m. i powstanie leja depresyjnego o depresji dochodzącej do 40 metrów. Ciśnienie hydrostatyczne, wynoszące pierwotnie 23 atm., powodujące wytryskiwanie wody z odwiertu na wysokość kilkunastu metrów nad powierzchnię terenu, spadło do tego stopnia, że woda przeważnie już nie wypływa na powierzchnię samoczynnie. Tak znaczne przesuszenie, połączone ze zwiększonym obciążeniem terenu, z pewnością było główną przyczyną wykazywanych osiadań terenów aglomeracji warszawskiej.

Drugim źródłem silnych osiadań, lokalizowanym na mapie ruchów, może być także teren Zalewu Zegrzyńskiego, który powstał w 1963 r. po wybudowaniu zapory na Narwi. Wykazywane osiadania mogły być spowodowane obciążeniem od nagromadzonej wody w nowo powstałym zbiorniku. Usytuowanie obu omawianych zjawisk na tle mapy ruchów przedstawiono na rysunku 7.

Zalew Zegrzyński powstał w 1963 r. po przegrodzeniu koryta Narwi zaporą w Dębem. Powierzchnia powstałego zbiornika obecnie wynosi 3030 ha, długość wzdłuż biegu Narwi – 41 km, szerokość do ok. 3,5 km, a pojemność 94,3 mln m³, zwierciadło wody utrzymuje się na poziomie 79 m powyżej poziomu morza. Ilości wody równej 95·10⁶ m³ odpowiada masa równa około 95·10⁶ ton, co przy powierzchni zalewowej 3030 ha, na którą działa ta masa, daje ciśnienie ponad 30 kN/m². Zatem, grunt poddawany jest istotnemu obciążeniu. Pojawienie się w latach sześćdziesiątych tak silnego bodźca musiało więc powodować odkształcenie podłoża. Podsumowując, nasilenie inwestycji budowlanych i nadmierne korzystanie z zasobów wodnych środowiska w latach sześćdziesiątych wyraźnie koreluje z wykrytymi osiadaniami w latach 1956–1978. Teren aglomeracji warszawskiej i Jeziora Zegrzyńskiego był tu dobrym tego przykładem.

Analizując natomiast ruchy w latach 1978–2001, nie widać tak wyraźnego ich związku z działalnością człowieka. Przyjrząwszy się ruchom punktów warszawskiej części sieci klasy I, można stwierdzić jedynie, że znacznie więcej osiadań wystąpiło w zachodniej części miasta. Istotne osiadania zaobserwowano w dzielnicy Ochota na Szczeńliwcech i w okolicach Parku Młocińskiego na Bielanach. Nieco mniejsze osiadania wystąpiły wzdłuż ulicy Wolskiej i dalej – Połczyńskiej oraz wzdłuż Alei Krakowskiej. Po wschodniej stronie Wisły zdecydowanie dominują ruchy pionowe dodatnie, osiadania zaobserwować można niemal tylko przy nabrzeżu. Rozmieszczenie przestrzenne i skala ruchów pionowych na terenie Warszawy jednak nie wskazuje na obecność ruchów technogenicznych w tym okresie.

Wpływ typu stabilizacji punktów

Na wielkość i kierunek wykrywanych ruchów poszczególnych punktów duży wpływ ma niewątpliwie typ stabilizacji. Jak się okazuje, w przypadku niektórych typów znaków wpływ może mieć również czas, jaki upłynął od momentu osadzenia. Analizując wyniki zamieszczone w tabeli 3 przemieszczeń punktów sieci w latach 1956–1978, można założyć, że wszystkie punkty typu I doznały istotnych osiadań.

Tabela 3. Ruchy punktów poszczególnych typów stabilizacji

Table 3. Vertical movements for different types of benchmarks stabilization

Typ Znaku Type of stabilization	Lata 1956–1978 1956–1978 Period			Lata 1978–2001 1978–2001 Period		
	Liczba w sieci Quantity in network	Istotnych ruchów [%] Significant movements	W tym dodatnich [%] Positive movements	Liczba w sieci Quantity in networkk	Istotnych ruchów [%] Significant movements	W tym dodatnich [%] Positive movements
wszystkie	292	18,8	9,1	645	33,5	25,0
typ I	5	100,0	0,0	7	0,0	–
typ IA	1	100,0	0,0	2	100,0	100,0
typ II	–	–	–	–	–	–
typ IIA	–	–	–	2	0,0	–
typ III	7	14,3	0,0	7	28,6	50,0
typ IV	36	5,6	0,0	41	29,3	0,0
typ IVA	–	–	–	21	33,3	28,6
typ V	137	13,1	27,8	139	25,2	5,7
typ VA	–	–	–	91	36,3	24,2
typ VI	106	26,4	0,0	227	40,5	37,0
typ VIA	–	–	–	108	30,6	15,2

Cztery ze wszystkich pięciu znaków tego typu są położone na terenie Warszawy, który w całości wówczas uległ dość intensywnym osiadaniom (rys. 7). Znaki te, osadzone w większości w latach pięćdziesiątych, a więc niemalże tuż przed pomiarami II kampanii, osiadając w latach 1956–1978, mogą dopiero stabilizować swoje położenie, bowiem w latach 1978–2001 są już zupełnie stabilne. Również punkty III typu na przestrzeni lat 1956–1978–2001 zmieniały charakter wykazywanych ruchów. W pierwszym okresie w całości ulegały lekkim osiadaniom, natomiast w późniejszym okresie ulegały osiadaniom i wypiętrzeniom w równym stopniu. Bardzo stabilne okazały się punkty typu IV, z których zaledwie 5,6% w latach 1956–1978 przemieściło się istotnie, a w kolejnych latach nadal poniżej 30%. Ich ruchy wykazywały jednak dużą systematykę przemieszczeń, gdyż ulegały one wyłącznie osiadaniom, tak w latach 1956–1978, jak i 1978–2001. Dużą stabilność wykazywały, masowo stabilizowane w sieci, punkty naziemne typu V. W latach 1956–1978 zaledwie 13% tych punktów wykazało istotne przemieszczenia, natomiast w latach 1978–2001 – 25%, co w odniesieniu do pozostałych typów również jest

bardzo dobrym wynikiem. Jeżeli chodzi o zwrot wykazywanych przemieszczeń, punkty typu V jako jedyne w pierwszym okresie wykazywały ruchy wypiętrzające, i to w ponad 25% przypadków. W późniejszym okresie natomiast wypiętrzenia stanowiły tylko około 6% istotnych ruchów tych punktów. W największej ilości przemieszczeniom ulegały znaki ścienne typu VI, gdyż w pierwszym okresie aż 26%, a w drugim nawet 40% wykazało przemieszczenia istotne. Trudno doszukiwać się tu konsekwencji w wykazywanych ruchach, gdyż zależą one ściśle od stabilności budowli, na której znaki te zostały osadzone.

Przemieszczenia a budowa geologiczna

Wskazane przez autorów technogenne przyczyny zmian rzędnych są czynnikiem zdecydowanie dominującym. Przez technogenne czynniki rozumiano efekt obciążenia powierzchni ziemi wynikający z zabudowy lub inwestycji oraz czynnik związany z eksploatacją zbiorników wód podziemnych. Ostatni efekt, wiążący się z działalnością człowieka, wynika również z lokalizacji badanego obszaru na bogatych, wodonośnych osadach piaszczystych akumulujących wodę w najgłębszych miejscach niecki mazowieckiej.

Próbując wytłumaczyć ruchy punktów w szerszym kontekście geologicznym, wskazuje, iż w latach 1978–2001 wykazały nasilenie osiadań w zachodniej części sieci. Może to być spowodowane ruchami tektonicznymi w pobliżu strefy Teisseyre'a-Tornquista i osuwaniem się mas ziemi po pochyłym dnie kredowej niecki warszawskiej. Efekt ten może być również wzmacniany przez eksploatację zbiorników wód podziemnych w rejonie zachodniego fragmentu Puszczy Kampinoskiej.

W rejonie Warszawy obserwowane dodatnie trendy ruchów mogą być wywołane przez podniesienie się poziomu wody gruntowej, związane z rozwojem infrastruktury wodociągowej w rejonie aglomeracji warszawskiej. Szukając powiązania obserwowanych ruchów wschodniej części sieci z budową geologiczną podłoża, próżno szukać tu takich zależności, jak w przypadku obszarów zachodnich. Tutaj grubość skorupy ziemskiej nie zmienia się tak drastycznie, a struktura spągu utworów kredowych, w odróżnieniu od charakteru niecki warszawskiej, staje się łagodna i już niemal płaska. Zauważalna jedynie jest niestabilność reperów osadzonych na podłożu piaszczysto-żwirowym terenów pomiędzy Wyszkowem a Mińskiem Mazowieckim.

PIŚMIENNICTWO

- Grzempowski P., Cacoń S., 2003. Analysis and interpretation of vertical ground movements in Wrocław. *Acta Montana IRSM AS CR* (2003), Series A, 24 (130), 1–9.
- Kostrowicki J., 1968. Środowisko geograficzne Polski. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Kowalczyk K., 2008. Vertical Crustal Movements in Poland for Instance Any Fragment Three Levellings Network. The 7th International Conference "Environmental Engineering" Selected Papers. Vol 3, Vilnius Gediminas Technical University Publishing House „Technika”, 1354–1358.
- Mizerski W., 2009. Geologia Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Stupnicka E., 1989. Geologia regionalna Polski. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa.
- Prószyński W., Kwaśniak M., 2006. Podstawy geodezyjnego wyznaczania przemieszczeń. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa.

- Stempień-Sałek M., 2005. Zbiorniki wód podziemnych. Przyroda Polska. Warszawa.
- Wyrzykowski T., 1985. Mapa prędkości współczesnych pionowych ruchów powierzchni skorupy ziemskiej na obszarze Polski, Warszawa. Instytut Geodezji i Kartografii.
- Wytyczne Techniczne G-1.9. Katalog znaków geodezyjnych oraz zasady stabilizacji punktów. Główny Urząd Geodezji i Kartografii. Warszawa.

INVESTIGATIONS OF VERTICAL MOVEMENTS IN WARSAW AND SURROUNDING REGIONS

Abstract. The aim of the research was to establish vertical movements in the Warsaw region and surrounding regions, based on measurements of the 1st class national precision leveling network, conducted as part of the 2nd, 3rd and 4th leveling campaigns. As the examined fragment of the national leveling network is not a networked linked directly with any level of reference, the indicated vertical movement values are relative in nature and describe only structure deformations [Grzepakowski, Cacoń 2003]. The boundaries of the region, with a span of approx. 100 km, were the leveling lines of the towns of Sochaczew, Wyszogród, Płońsk, Pułtusk, Wyszaków, Niegów, Mińsk Mazowiecki, Stara Wieś, Góra Kalwaria, Grójec and Mszczonów. The paper includes an outline of source materials, algorithms and results of the reference point database search as well as a summary of the interpretation of the causes of vertical movements. The technogenic causes of height changes are a dominating factor, but other attempts of interpretation in geological context is also presented. Computed vertical movements are presented in comparison with types of leveling benchmarks stabilization.

Key words: precise leveling, geodynamic, vertical movements

Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 30.11.2011

For citation – Do cytowania: Margański S., Wierzbicki E., Olszak T., 2011. Badanie ruchów pionowych obszarów Warszawy i okolic. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.* 10(4), 5–20.