

dr inż. Krzysztof Deska\*

# Badania sieci odniesienia do wyznaczania przemieszczeń obudowy wykopu

*Research of reference network to determine displacements of curtain wall of excavation*

Przy wyznaczaniu przemieszczeń obudowy wykopu, ze względu na specyfikę różnych obiektów inżynierskich, bezwzględnie musi być stosowane podejście interdyscyplinarne [8]. Wyznaczone przemieszczenia zwykle dzieli się na względne i bezwzględne. Przemieszczenia bezwzględne uzyskiwane są przez pomiar punktów w przyjętym układzie odniesienia [1, 8]. Informują one nie tylko o przesunięciach punktów obiektu objętych pomiarami kontrolnymi, ale również o ich wzajemnych zmianach położenia. Przy projektowaniu pomiaru szczególnie istotne jest ustalenie rozmieszczenia punktów sieci kontrolnej, dobór typu znaków i sposobu ich stabilizacji, a podczas opracowania wyników pomiaru zasadniczą rolę odgrywa proces identyfikacji układu odniesienia [8]. Badania zaprezentowane w artykule realizowane są w ramach badań statutowych nr 504.01.26. Katedry Geodezji WILŚiG PK. W części prac pomiarowych uczestniczyli studenci studiów pierwszego stopnia kierunku Geodezja i Kartografia, pozyskując materiały do swoich inżynierskich prac dyplomowych realizowanych pod opieką autora.

## Stołość układu odniesienia

Na układ odniesienia składają się dwa elementy: baza odniesienia i układ współrzędnych. Bazę stanowi odpowiednio liczny zbiór punktów materialnych (znaków w terenie), spełniających określone kryterium stołości wzajemnego położenia w czasie, względem których są wyznaczane przemieszczenia innych punktów [8]. Punkty te po-

winny być lokalizowane poza strefą wpływów czynników mogących powodować ich przemieszczenia. Z bazą związany jest układ współrzędnych służący do zapisu pozycji punktów, wektorów przemieszczeń i ich charakterystyk dokładnościowych, który jest niejako elementem pomocniczym układu odniesienia. Układ jest powiązany z konkretnym momentem czasu (epoką), w którym go przyjęto. Warunkiem podstawowym wyznaczenia przemieszczeń (pomiarów i obliczeń realizowanych w kolejnych epokach) jest zachowanie stałości położenia przez punkty sieci odniesienia. Identyfikacja układu/bazy odniesienia to proces polegający na poszukiwaniu w zbiorze potencjalnych punktów odniesienia podzbioru punktów wzajemnie nieprzemierzonych i realizowana jest na podstawie odpowiednio przetworzonych wyników pomiarów [8]. Chcąc potwierdzić stabilność wybranych punktów stanowiących układ odniesienia i wskazać, które należy przyjąć jako stałe (w danej epoce pomiarowej), stosuje się odpowiednie strategie obliczeniowe. W procesie tym stosuje się warunki (kryteria wzajemnej stałości) nakładane na wielkości będące funkcjami wyników obserwacji w sieci kontrolnej, umożliwiające wyłonienie punktów odniesienia o przemieszczeniach wzajemnych niewykraczających poza granice wynikające z dokładności pomiaru [8]. Stosowane są w tym celu różne strategie obliczeniowe i metody, w których na kolejnych etapach procesu identyfikacji stosowane mogą być różne kryteria. Tym samym wielokrotnie dokonywana musi być ocena istotności składowej przemieszczenia punktu (spełnienie kryterium stałości lub nie). Sama precyzja kryterium zależeć mo-

że np. od przyjęcia do tej oceny wartości przetworzonych – błędów średnich współrzędnych lub nieprzetworzonych – elementów elips błędów średnich. Identyfikacja realizowana jest najczęściej przez sprawdzenie, czy wielkość składowej wektora przemieszczenia nie przekracza, co do wartości bezwzględnej,  $k$ -krotności wielkości błędu średniego wyznaczenia tej składowej (związanych z prawdopodobieństwem jej nieprzekroczenia). W przypadku standaryzowanego rozkładu normalnego najczęściej wartość współczynnika  $k$  to 2 lub 2,5, a wyjątkowo 3. Istotność wielkości składowej przemieszczenia punktu sieci odniesienia jest tym samym pochodną wielu czynników, m.in. dokładności sprzętu i metody pomiaru, a także pośrednio warunków pomiaru i właściwości obiektu.

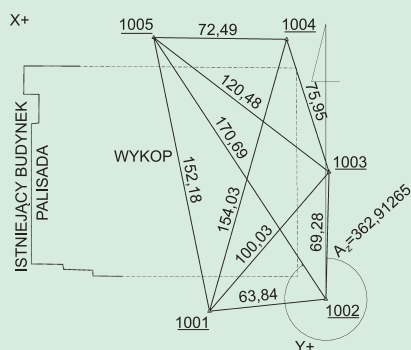
Podstawy zagadnienia wyznaczania przemieszczeń w literaturze polskiej zawarte są m.in. w pracach [1, 8]. Technika i organizacja pomiarów mających na celu wyznaczanie przemieszczeń ścian osłonowych była od ponad 20 lat przedmiotem wielu prac polskich autorów. Należałoby chociażby wskazać autorów i część ich prac [2, 3, 4, 9] dotyczących tej tematyki. Na szczególną uwagę zasługują także wyniki badań przedstawione w pracy [6] dotyczącej wpływu niezawodności wewnętrznej sieci geodezyjnej na efektywność metod wykrywania błędów grubych obserwacji i różnych strategii diagnostycznych. Należy jednak wyraźnie stwierdzić za [8], iż nie ma zalecanej czy też najskuteczniejszej i najszybszej metody identyfikacji stałych punktów sieci odniesienia. Wybór metody zależy w dużej mierze nie tylko od intuicji wykonawcy i jego zdolności do trafnej interpretacji wyników, ale również często

\* Politechnika Koszalińska, Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji, Katedra Geodezji

od apriorycznego oszacowania osiągniętej dokładności pomiaru i wszystkich istotnych czynników, które się na nią składają. Tym samym tematyka ta jest nadal aktualna.

### Obiekt badań, realizowane pomiary i obliczenia

Obiekt badań stanowi założona sieć punktów odniesienia wykorzystywana do wyznaczania ewentualnych przemieszczeń poziomych palisady – odbudowy wykopu od strony istniejącego budynku. Szczegółową lokalizację pięciu punktów odniesienia ustalono z uwzględnieniem zinventaryzowanego wykopu, warunków terenowych, aktualnego projektu zagospodarowania terenu, istniejących i projektowanych sieci, zaleceń zawartych w projekcie zabezpieczenia palisady, lokalizacji punktów kontrolowanych na palisadzie i możliwości realizacji późniejszych ich obserwacji [5]. Punkty zlokalizowano wokół istniejącego wykopu (140 x 110 x 8 m) w maksymalnym możliwym odaleniu od jego krawędzi. Szkic sieci przedstawiono na rysunku 1. Ze względu na bardzo krótki czas do rozpoczęcia realizacji zadania zdecydowano się

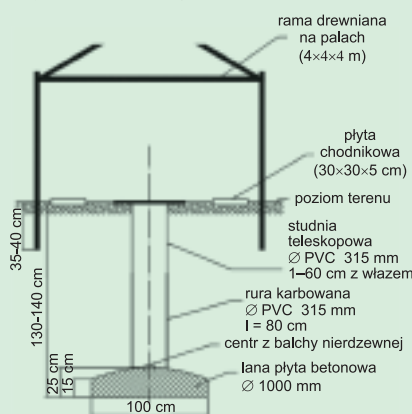


Rys. 1. Szkic sieci odniesienia

na podziemną lokalizację znaków punktów sieci odniesienia. Realizacja ich w formie kolumn, filarów obserwacyjnych (z wymuszonym centrowaniem instrumentów i sygnałów) wymagałaby co najmniej kilkumiesięcznego okresu, dodatkowych pomiarów kontrolnych sieci i zapewne kilkakrotnie wyższych kosztów. Wpływ na wybór tej formy stabilizacji miała również stosunkowo niewielka odległość punktów od istniejącego szerokoprzestrzennego wykopu. Pomimo iż palisada i wykop pod budowę zostały wykonane 2 lata wcześniej, to punkty znajdować się miały praktycznie na granicy strefy je-

go oddziaływania, dlatego też lokalizację punktów, wymiary płyty betonowej i głębokość jej wylania skonsultowano ze specjalistami z dziedziny geotechniki, aby skrócić czas i zminimalizować ewentualny wpływ odprężania gruntu, osiadania płyty i wykluczyć wpływ wykopu na przemieszczanie się znaków. Po rozpoznaniu parametrów geotechnicznych gruntu i warunków terenowych zarówno lokalizacja punktów, jak i sposób ich stabilizacji zostały zaakceptowane przez geotechników. Tak bliska lokalizacja punktów od istniejącego wykopu wynikała również z praw do dysponowania terenem i możliwości ich umieszczenia. Założono, iż powinny być one wykorzystane jako osnowa realizacyjna – w momencie kiedy inwestycja będzie kontynuowana.

Jesienią 2009 r. wykonano stabilizację punktów: wylano podziemne płyty betonowe i osadzono centry z blachy nierdzewnej, osadzono zabezpieczenia w postaci studni teleskopowych z włazami, ułożono płyty betonowe pod nogi statywów i wykonano bariery drewniane (4 x 4 x 4 m) na palach. Szkic sposobu stabilizacji punktów sieci i ich zabezpieczenia przedstawiono na rysunku 2. Po stabilizacji punktów konieczne było zachowanie odstępu miesiąca od wylania płyt do pomiaru sieci odniesienia i pomiaru zerowego. Następnie wykonano pomiary sieci odniesienia i punktów kontrolowanych. Kolejne pomiary okresowe realizowane były wg przewidzianego harmonogramu po kolejnych etapach prac zabezpieczających palisadę, realizacji przypory gruntowej, a także po ich zakończeniu (nadal są kontynuowane). Do maja 2013 r. wykonano, w różnych odstępach czasowych, łącznie 10 pomia-



Rys. 2. Szkic sposobu stabilizacji punktów na podstawie [5]

rów okresowych (z pomiarem wyjściowym/zerowym 11).

Zgodnie z opracowaną metodyką pomiarowi (z wykorzystaniem zrobotyzowanego tachimetru 1") podlegają zawsze wszystkie kierunki i odległości pomiędzy pięcioma punktami sieci odniesienia (rysunek 1) oraz jednocześnie do punktów kontrolowanych na palisadzie. Sieć odniesienia umożliwia obserwację metodą biegunową (tym samym określenie współrzędnych każdego punktu na palisadzie) z co najmniej trzech stanowisk pomiarowych przy stałej orientacji przyrządu w punkcie kontrolowanym. Pomiar wykonywany jest na każdym z pięciu stanowisk w pięciu seriach i w dwóch położeniach lunety, z wykorzystaniem opcji pomiaru stacyjnego i trybu ATR (automatycznego celowania). Pomiary wykonywane są przy stabilnych warunkach zewnętrznych (atmosferycznych), w godzinach rannych oraz przedpołudniowych. Czas wykonania pomiaru ogranicza się do niezbędnego minimum (ok. 2,5 h od momentu rozpoczęcia). W wyniku przeprowadzonego za każdym razem wyrównania stacyjnego bezpośrednio na stanowisku otrzymywano dokładność dla kierunków średnich nieprzekraczającą wartości 2<sup>cc</sup> oraz odległość średnich nieprzekraczającą 0,2 mm.

Sieć punktów odniesienia została wyrównana na podstawie obserwacji zarejestrowanych w trakcie dwóch pierwszych pomiarów, wykonanych w dwóch kolejnych dniach. Otrzymane wyniki są traktowane jako stan wyjściowy – zerowy. Przeprowadzono wyrównanie ściśle sieci kątowno-liniowej w układzie lokalnym 2D (X, Y) na podstawie przyjętych stałych (bezbłędnych) współrzędnych jednego z punktów odniesienia – punktu nr 1002 oraz przyjętego azymutu jednego z boków sieci, tj. boku 1002 – 1005 (rysunek 1). Wartość azymutu boku przyjęto tak, aby oś najdłuższego odcinka zachodniego palisady była równoległa do osi X współrzędnych układu lokalnego. Umożliwia to łatwiejszą interpretację ewentualnych przemieszczeń poziomych obserwowanych punktów w kierunkach prostopadłych do ścian palisady – bezpośrednio na podstawie zmian poszczególnych współrzędnych (X, Y) obserwowanych punktów. Po kolejnych pomiarach okresowych zastosowano taką samą, jak w przypadku stanu zerowego, metody-

kę postprocessingu. Wyrównania przeprowadzono z wykorzystaniem modułu wyrównanie ściśle sieci płaskiej programu Winkalk v. 3.8 – v. 4.03. Każdorazowo przyjmowano charakterystyki dokładnościowe uzyskane w wyniku wyrównania stacyjnego i średni błąd centrowania instrumentu i sygnałów o wartości 1 mm. W wyniku wyrównania uzyskiwano współrzędne punktów sieci i ich charakterystyki dokładnościowe. Błędy średnie położenia punktów  $m_p$  nieprzekraczające 1 mm (0,4 do 1,0 mm), błędy średnie współrzędnych:  $m_x$  od 0,3 do 0,7 mm,  $m_y$  od 0,2 do 0,7 mm. Wartości średniego błędu jednostkowego  $m_0$  wynosiły od 0,60 do 1,37. Kontrolę zachowania stałości położenia punktów sieci odniesienia realizowano po każdym pomiarze okresowym.

### Przeprowadzone badania i ich wyniki

Badania realizowano, wykorzystując założoną, opisaną wcześniej, sieć testową. Podstawowe pytania, na które szukano odpowiedzi, to: czy punkty sieci w okresie 3,5 roku od ich stabilizacji zachowywały stałość wzajemnego położenia (przede wszystkim ze względu na lokalizację na granicy strefy wpływu wykopu); czy zastosowany sposób stabilizacji i zabezpieczenia znaków spełnił oczekiwania; czy można, stosując uproszczone procedury, dokonać prawidłowej identyfikacji bazy odniesienia po kolejnych pomiarach okresowych?

W tym celu przeprowadzono wyrównanie wstępne sieci na podstawie obserwacji po każdym z pomiarów. Zastosowano założenie, takie jak w wyrównaniu po pomiarze zerowym, tj. stałości jednego z punktów sieci (1002) i azymutu jednego z boków (1002 – 1005). Pozwala ono zidentyfikować punkty, które uległy wzajemnemu przemieszczeniu, pomimo iż porównywane mogą być tylko różnice współrzędnych (przemieszczenia pozorne). W tym przypadku mogą być porównywane różnice współrzędnych pomiędzy epoką zerową-wyjściową a aktualną-każdą kolejną, z uwzględnieniem otrzymywanej każdorazowo po ich wyrównaniu charakterystyki dokładnościowej. Jest to ocena wstępna i z założenia mniej precyzyjna. Polega na sprawdzeniu, czy wyznaczona wielkość każdej ze składowych

wektora przemieszczenia pozornego (co do wartości bezwzględnej) nie przekracza k-krotnej wielkości błędu średniego wyznaczenia tej składowej. Precyzja kryterium zależy również od przyjęcia do tej oceny błędów średnich współrzędnych (w wariancie uproszczonym) lub elementów elips błędów (w wariancie pełnym). W tym przypadku przyjmowano błędy średnie współrzędnych po każdym z wyrównań wstępnych i w konsekwencji k-krotną wielkość błędu średniego różnicy współrzędnych. Do analiz jako k przyjmowano różne wartości, a ostatecznie jako kryterium przyjęto  $k = 2,5$ . Wyniki tego etapu podano w tabeli, wyróżniając porównywane epoki i punkty, w przypadku których stwierdzono niespełnienie tego ustalonego kryterium oraz wartości przemieszczeń pozornych. Tylko w trzech epokach stwierdzono przekroczenie tak ustalonego kryterium. Obliczone przemieszczenia pozorne sugerować mogą niezachowanie stałości (niespełnienie kryterium) przez punkty: 1005 (w 1. epoce), 1003 (w 6. epoce), 1003 i 1004

(w 7. epoce). Oczywisty jest też wpływ na otrzymane wyniki przyjęcia w wyrównaniu jednego z punktów sieci (1002) za stały. Obliczone różnice współrzędnych (składowe przemieszczenia) nie przekraczają wartości 2,2 mm. Zauważyć należy, że różne punkty sieci nie spełniały kryterium tylko w wybranych epokach. Mając na uwadze wszystkie przeprowadzone analizy, stwierdzono, iż kryterium zastosowane dla tej sieci nie było właściwe. Należy założyć, iż w tym przypadku decydujące znaczenie dla powtarzalności wyznaczeń ma wpływ błędu centrowania z wykorzystaniem pionu optycznego (określonego dla warunków terenowych jako 1 mm – przy celowych długości 3 m). Wówczas zastosowane kryterium stałości należy bezpośrednio z nim powiązać i ustalić na poziomie nie mniejszym niż 2,5 mm. Tym samym na podstawie wyrównania wstępnego można stwierdzić, iż stałość położenia została zachowana we wszystkich epokach w granicach możliwości jej stwierdzenia warunkowanych metodą pomiaru, dokładno-

### Wartości przemieszczeń pozornych P oraz ich składowe $\Delta X$ , $\Delta Y$ po wyrównaniu wstępnym

Porównywane epoki	Nr punktu	P [mm]	$\Delta X$ [mm]	$\Delta Y$ [mm]	Porównywane epoki	Nr punktu	P [mm]	$\Delta X$ [mm]	$\Delta Y$ [mm]
0-1	1001	1,5	0,2	1,5	0-5	1001	0,6	0,4	-0,5
	1003	0,7	-0,7	-0,1		1003	1,1	-0,7	-0,9
	1004	1,4	-1,4	-0,2		1004	0,7	0,6	-0,3
	<b>1005</b>	<b>1,7</b>	<b>-1,4</b>	<b>0,9</b>		1005	1,2	1,0	-0,7
0-2	1001	1,1	0,2	-1,1	0-6	1001	0,1	0,0	0,1
	1003	0,9	0,0	-0,9		<b>1003</b>	<b>2,3</b>	<b>-0,6</b>	<b>-2,2</b>
	1004	1,0	0,3	-1,0		1004	1,0	-0,9	0,5
	1005	1,6	1,3	-0,9		1005	0,8	-0,7	0,4
0-3	1001	1,2	0,9	0,8	0-7	1001	0,7	-0,7	0,2
	1003	0,5	-0,4	-0,3		<b>1003</b>	<b>1,8</b>	<b>-0,4</b>	<b>-1,8</b>
	1004	1,4	-0,2	-1,4		<b>1004</b>	<b>1,4</b>	<b>-1,4</b>	<b>-0,2</b>
	1005	1,0	-0,9	0,5		1005	0,4	-0,4	0,2
0-4	1001	0,2	0,0	0,2	0-8	1001	1,4	-0,3	1,4
	1003	0,5	0,3	-0,4		1003	1,3	-0,5	-1,2
	1004	1,1	0,5	-1,0		1004	0,8	-0,4	-0,7
	1005	0,4	-0,4	0,2		1005	0,6	-0,5	0,3
0-5	1001	0,6	0,4	-0,5	0-9	1001	1,4	1,2	-0,7
	1003	1,1	-0,7	-0,9		1003	1,1	-1,1	-0,1
	1004	0,7	0,6	-0,3		1004	1,1	0,7	-0,8
	1005	1,2	1,0	-0,7		1005	0,4	-0,4	0,2
0-6	1001	0,1	0,0	0,1	0-10	1001	1,3	0,7	1,1
	<b>1003</b>	<b>2,3</b>	<b>-0,6</b>	<b>-2,2</b>		1003	1,5	-0,1	-1,5
	1004	1,0	-0,9	0,5		1004	0,3	0,1	-0,3
	1005	0,8	-0,7	0,4		1005	0,0	0,0	0,0



ścią sprzętu i sposobem stabilizacji w badanym 3,5-letnim okresie funkcjonowania osnowy. Aby definitywnie potwierdzić te wnioski, należy w kolejnym etapie, po wyrównaniu wstępnym, zastosować metodę transformacji poszukiwawczych, wykorzystując liniową transformację izometryczną oraz transformację Helmerta (liniową transformację konforemną przez podobieństwo). Takie postępowanie miałyby na celu obliczenie przemieszczeń pozornych, pośrednio eliminując wpływ założenia bezbłądności współrzędnych punktu 1002 równoważny z założeniem stałości jego położenia. Dodatkowo, w przypadku zastosowania transformacji Helmerta (ze względu na zmianę skali), można byłoby uwzględnić ewentualny, być może niedoszacowany, wpływ błędów systematycznych na pomiary odległości w tej sieci. Zmiana skali sieci w kolejnych epokach (ze względu na kształt sieci i jej lokalizację wokół wykopu) mogłaby też wskazywać na ewentualne przemieszczenia punktów w jego kierunku.

### Podsumowanie i wnioski

Pomimo iż zastosowana strategia obliczeniowa (ograniczona do wyrównania wstępnego i analizy jego wyników) jest strategią uproszczoną, to przy trafnym określeniu kryterium stałości wydaje się wystarczająco skuteczna. Podstawową jej zaletą jest szybkość wykonania przez możliwość zastosowania uproszczeń. Pełną skuteczność i wiarygodność wyników tej strategii należy również potwierdzić, dodając kolejny etap i testując inne strategie. Ponadto trzeba przeprowadzić weryfikację istotności przemieszczeń, wykorzystując elipsy średnich błędów przemieszczeń oraz testy statystyczne. Można również interpretować wartości, kierunki i zwroty wyznaczanych wektorów przemieszczeń pozornych punktów sieci z uwzględnieniem lokalizacji punktów względem wykopu oraz zastosować do tej identyfikacji nie metody różnic współrzędnych, lecz różnic obserwacji (odległości, kątów pomiędzy punktami sieci w kolejnych epokach). Obie metody można też stosować do kolejnych po sobie epok pomiarowych, a nie tylko porównując zerową do wybranej. Całość badań sieci kątowno-liniowych ma prowadzić do opracowania uproszczonej strategii identyfikacji stałej bazy odnie-

sienia w aktualnej epoce. Wszystkie opracowywane strategie należy stosować jako dodatkowe/alternatywne, tak aby porównać ich skuteczność.

Poszukiwanie punktów niespełniających kryterium może okazać się nieskuteczne (ze względu na zachowanie stałości) w przypadku tej konkretnej bazy punktów odniesienia, ale uzyskane wyniki pomiaru mogą być (po wprowadzeniu uporządkowanego lub losowego zaburzenia) wykorzystane do testowania innych strategii, również do oceny efektywności różnych metod wyrównania sieci i wpływu niezawodności wewnętrznej na wykrywanie błędów grubych.

Należy stwierdzić, iż stałość położenia punktów sieci we wszystkich epokach została potwierdzona, a więc konstrukcja sieci i zastosowany sposób stabilizacji spełniły oczekiwania.

### Streszczenie

Artykuł przedstawia obiekt badawczy, część prac realizowanych oraz pierwsze wyniki prowadzonych badań związanych z zagadnieniem wyznaczania przemieszczeń. Celem badań jest opracowanie metody realizacji tego typu prac ze szczególnym uwzględnieniem możliwości opracowania uproszczonej i dającej wiarygodne wyniki strategii identyfikacji stałej bazy odniesienia w przypadku sieci kątowno-liniowej. Jest to szczególnie istotne, gdy pomiary prowadzone są po kolejnych etapach realizacji obiektu i czas na opracowanie wyników jest bardzo ograniczony. Wykorzystano w tym celu założoną sieć i poddano analizie wyniki wyrównania wstępnego realizowanego po każdej epoce pomiarowej. Wyznaczono przemieszczenia pozorne punktów sieci i wstępnie potwierdzono skuteczność wybranej strategii. Ustalono też ostateczne kryterium stałości położenia punktów odniesienia. Jako kolejny etap strategii obliczeniowej zaproponowano zastosowanie metody transformacji poszukiwawczych. W pracy wskazano też dalsze możliwości wykorzystania obiektu i kierunku przyszłych badań.

**Słowa kluczowe:** sieć punktów odniesienia, przemieszczenia, obudowa wykopu.

### Abstract

The paper presents a research object, part of the work carried out on it, and the first results of the conducted studies related to the issue of determining the displacements. The purpose of the research is to develop a methodology for the implementation of this

type of work, with particular reference to the possibility of developing a simplified and giving reliable results strategy which identifies a fixed reference base of the angular-linear network. This is particularly important when measurements are carried out at various stages of work carried out on the object, and then time for the evaluation of results is very limited. The fixed network was used to do it and the results of initial alignment implemented after each measurement epoch were analysed. Apparent displacements of network points were set and effectiveness of the strategy was initially confirmed. The final criterion for the stability of location for reference control points was established. A research transformation method was proposed as the next stage of a computing strategy. The study also identified further possibilities of using the object and directions of the future research.

### Literatura

- [1] Bryś H., Przewłocki S.: Geodezyjne metody pomiarów przemieszczeń budowli. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1998.
- [2] Janusz J.: Niektóre rozwiązania metodyczne i instrumentalne na potrzeby geodezyjnego monitoringu przemieszczeń i deformacji ścian osłonowych. T. XLVIII, z. 103, Prace IGiK, Warszawa 2001, 139 – 155.
- [3] Janusz J., Janusz W.: Problemy geodezyjnej kontroli bezpieczeństwa budynków znajdujących się w strefie wpływu głębokich wykopów. Prace IGiK, T. XLV, z. 96, Warszawa 1998, 47 – 72.
- [4] Janusz J., Janusz W.: Warunki skuteczności prowadzenia i wykorzystania wyników monitoringu przemieszczeń i deformacji ścian szczelinowych i obiektów istniejących w strefie wpływu głębokich wykopów. Prace IGiK, T. XLVII, z. 100, Warszawa 2000, 94 – 100.
- [5] Kunasz M.: Sieć punktów odniesienia dla obserwacji przemieszczeń poziomych obudowy wykopu. Praca dyplomowa inżynierska, promotor K. Deska, Koszalin 2012.
- [6] Kwaśniak M.: Badanie wpływu niezawodności wewnętrznej sieci geodezyjnej na efektywność wybranych podejść do wykrywania błędów grubych. Prace naukowe – Geodezja z. 49, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2012.
- [7] Prószyński W. red: Geodezyjny monitoring przemieszczeń podczas wznoszenia obiektów w głębokich wykopach: Aspekty naukowo-techniczne i organizacyjne. Wyd. PW, Warszawa 1999.
- [8] Prószyński W., Kwaśniak M.: Podstawy geodezyjnego wyznaczania przemieszczeń. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
- [9] Prószyński W., Woźniak M.: Geodezyjny monitoring przemieszczeń obudowy wykopu i obiektów sąsiadujących. Doświadczenia z obiektu EUROPLEX w Warszawie. Konferencja Naukowo-Techniczna w UW w Warszawie, 30 września 1998.