

Monika MITEW
Politechnika Warszawska

POMIARY PRZEMIESZCZEŃ ŚCIAN SZCZELINOWYCH – ZASTOSOWANIE INKLINOMETRU AUTOMATYCZNEGO

Streszczenie. W artykule omówiono zastosowanie inklinometru automatycznego do ciągłego monitoringu przemieszczeń obudowy głębokiego wykopu. Przeprowadzono analizę porównawczą wyników badań zrealizowanych na budowie parkingu podziemnego różnymi metodami pomiarowymi. W podsumowaniu przedstawiono wady i zalety zastosowanych rozwiązań.

DIAPHRAGM WALL DISPLACEMENTS MEASUREMENTS – AUTOMATIC INCLINOMETER USE

Summary. The paper describes the application of an automatic inclinometer chain for continuous monitoring of displacements of a deep excavation wall. The analysis has been carried out in order to compare the results of measurements taken during an underground car park construction, using different measuring methods. Advantages and disadvantages of these methods have been presented in the summary.

1. Wstęp

Realizacja inwestycji w gęstej zabudowie miejskiej wymaga zapewnienia bezwzględności bezpieczeństwa zarówno budowy, jak również sąsiadujących z inwestycją obiektów. W tym celu projekt zabezpieczenia ścian wykopu, oprócz analizy statycznej i wymiarowania, powinien obejmować także plan obserwacji przemieszczeń projektowanej konstrukcji.

Wyróżnia się kilka metod pomiaru przemieszczeń ścian szczelinowych. W warunkach polskich najczęściej stosuje się niwelację geodezyjną oraz pomiary inklinometrem manualnym. W obu przypadkach harmonogram badań dostosowuje się do faz wykonawczych, przewidując pomiary dodatkowe w przypadku gwałtownego

nieoczekiwanego przyrostu przemieszczeń ponad określone w projekcie wartości dopuszczalne. Ten sposób monitoringu zapewnia wystarczającą kontrolę stateczności obudowy wykopu, z wyjątkiem przypadków, w których konieczna jest ciągła obserwacja przemieszczeń ze względu na sąsiedztwo obiektów zabytkowych lub użyteczności publicznej. Stosuje się wówczas ciągły pomiar przemieszczeń z wykorzystaniem inklinometrów automatycznych. Analiza tego rodzaju pomiarów przeprowadzonych podczas realizacji głębokiego wykopu, a także porównanie wyników z otrzymanymi z zastosowaniem inklinometru manualnego jest przedmiotem niniejszego referatu.

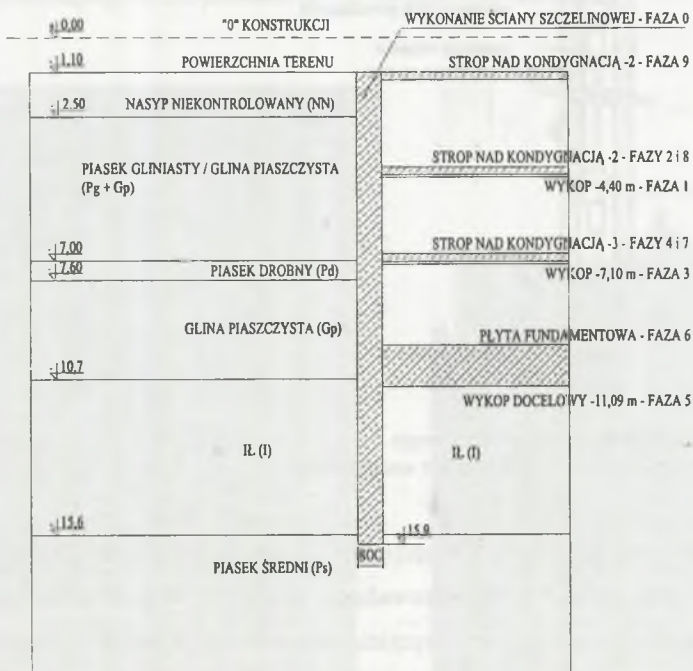
2. Opis badań

2.1. Opis obiektu

Pomiary przeprowadzono na budowie 3-kondygnacyjnego parkingu podziemnego. Wykop wykonano w obudowie ze ścian szczelinowych o grubości 80 cm, rozpartych w trakcie budowy pierścieniami stropów kondygnacji podziemnych (metoda stropowa). Stropy konstrukcji rozpiętej oparto na słupach tymczasowych posadowionych na baretach o wymiarach 2,5 x 0,8 x 3,5 m. Głębokość wykopu docelowego pod płytę fundamentową wynosiła około 10 m p.p.t., a zagłębienie ściany szczelinowej, sekcji, w której zainstalowano aparaturę pomiarową - 4,8 m poniżej dna wykopu. Łączna wysokość ściany na tym odcinku z uwzględnieniem wieńca żelbetowego (0,6 m) wynosiła 14,3 m. Na rysunku 1 przedstawiono przekrój podziemia wraz z fazami realizacji w miejscu zainstalowania inklinometru. Technologia wykonania wykopu w obrębie ścian szczelinowych, w analizowanym przekroju pomiarowym, obejmuje następujące fazy:

- Faza 0 – Wykonanie ściany szczelinowej i wieńca żelbetowego (oraz baret do posadowienia słupów tymczasowych).
- Faza 1 – Głębienie wykopu poniżej spodu stropu nad kondygnacją -2, tj. do głębokości -4,4 m p.p.t.
- Faza 2 – Wykonanie pierścienia stropu nad kondygnacją -2.
- Faza 3 – Głębienie wykopu poniżej spodu stropu nad kondygnacją -3, tj. do głębokości -7,1 m p.p.t.
- Faza 4 – Wykonanie pierścienia stropu nad kondygnacją -3.
- Faza 5 – Głębienie wykopu do rzędnej docelowej do głębokości -11,09 m p.p.t.

- Faza 6 – Wykonanie płyty dennej.
- Faza 7 – Wykonanie pozostałej części stropu nad kondygnacją -3.
- Faza 8 – Wykonanie pozostałej części stropu nad kondygnacją -2.
- Faza 9 – Wykonanie stropu nad kondygnacją -1 (tzw. stropu „0”).



Rys. 1. Przekrój podziemia oraz fazy realizacji wykopu
 Fig. 1. Underground structure section and construction phasing

2.2. Opis aparatury pomiarowej

Aparatura badawcza składała się ze specjalnej profilowanej rury inklinometrycznej, wykonanej z tworzywa sztucznego, mocowanej do zbrojenia przed betonowaniem ściany szczelinowej, oraz umieszczonego w niej pionu pomiarowego (łańcucha sond inklinometrycznych) i centralnej stacji automatycznego rejestrowania danych. Schemat budowy pionu pomiarowego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat budowy pionu pomiarowego
 Fig. 2. The principle of inclinometer chain composition

Pion pomiarowy składał się z 4 czujników (inclinometrów) typu Geokon, model 6300, połączonych przegubowo. W celu wprowadzenia urządzenia do rury inclinometrycznej każdy odcinek zaopatrzony był w dwa sprężyste zamocowane wahacze z dwoma kółkami na końcach. Na rysunku 3 przedstawiono schemat instalacji sond inclinometrycznych.



Rys. 3. Schemat instalacji inclinometru
 Fig. 3. The principle of inclinometer installation

Przetwornikiem w czujniku Geokon 6300 jest wibrująca struna o rozdzielczości 10 arcsec. Urządzenie umożliwia pomiar odchylenia kąтового w zakresie $\pm 10^\circ$. Pomiar na każdym czujniku odbywał się automatycznie co 30 sekund, a następnie przekazywany był drogą kablową do centralnej stacji rejestrowania danych (MICRO-10 datalogger – rys. 4). Datalogger wyposażony jest w wyjście kontrolne aktywujące alarm świetlny w przypadku przekroczenia, określonego przez projektanta, przemieszczenia (10 mm).



Rys. 4. Automatyczna stacja rejestracji danych oraz stanowisko pomiarowe
Fig. 4. Datalogger and working site

2.3. Opis przebiegu pomiarów

Pion pomiarowy zainstalowano w ścianie szczelinowej i uruchomiono po zabetonowaniu wieńca, a przed rozpoczęciem głębinia wykopu w celu wykonania pomiaru zerowego. Pierwszy pomiar wykonano 3 września 2001 r. Harmonogram badań dostosowano do czasu realizacji konstrukcji podziemia. Podczas całego okresu obserwacji prowadzono stały nadzór badań, kontrolując prawidłowość ich przebiegu (np. odpowiednie zabezpieczenie urządzeń pomiarowych). Pomiary zakończono w lutym 2002, po zamknięciu stanu „0” konstrukcji.

Rejestrowane co 30 sekund odczyty analizowano na bieżąco wykorzystując do tego celu oprogramowanie dostarczone wraz z aparaturą badawczą.

Podczas prowadzenia opisywanych badań równocześnie wykonywano pomiary inklinometrem manualnym, w odległości około 10 m od opisywanego stanowiska badawczego. Szczegółowy opis powyższych pomiarów nie jest przedmiotem niniejszego referatu. Harmonogram badań kontrolnych dostosowano do faz realizacji konstrukcji podziemia. Terminy pomiarów uzgadniano na bieżąco z wykonawcą.

3. Wyniki pomiarów

Ze względu na wpływ ruchu ciężkiego sprzętu (40 t) na naziemie na odczyty czujników położonych w górnej części ściany przemieszczenia analizowano w cyklu dobowym, przyjmując umownie, do tworzenia wykresów przemieszczeń, pomiary z godziny 20⁰⁰, po pełnej stabilizacji odczytów.

Tablica 1

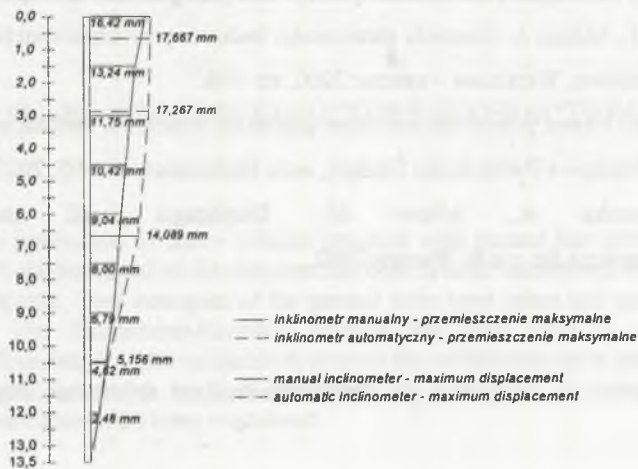
Porównanie wyników pomiarów przemieszczeń
inklinometrem automatycznym i inklinometrem manualnym

	PRZEMIESZCZENIA POZIOME + Przemieszczenie do wykopu [mm]								
	FAZA 1	FAZA 2	FAZA 3	FAZA 4	FAZA 5	FAZA 6	FAZA 7	FAZA 8	FAZA 9
inkl. automatyczny CZUJNIK NR 1 (-0,67m)	1,67	3,67	4,67	5,67	7,67	11,67	16,67	17,67	15,67
inkl. manualny (-0,5 m)	0,58	1,54	2,38	6,14	8,13	8,75	16,42	11,77	
inkl. automatyczny CZUJNIK NR 2 (-2,87 m)	3,27	3,27	3,27	6,27	7,27	12,27	16,27	17,27	17,27
inkl. manualny (-3,0 m)	-0,37	0,49	1,18	3,29	4,93	5,03	11,75	8,33	
inkl. automatyczny CZUJNIK NR 3 (-6,67 m)	2,09	3,09	4,09	6,09	7,09	10,09	13,09	13,09	14,09
inkl. manualny (-6,0 m)	-0,60	-0,16	0,08	2,42	3,78	3,27	9,04	6,84	
inkl. automatyczny CZUJNIK NR 4 (-10,47 m)	1,16	3,16	2,16	2,16	1,16	2,16	3,16	4,16	5,16
inkl. manualny (-10,5 m)	-0,36	-0,15	0,30	1,34	2,02	1,81	4,62	4,19	

Następnie, opierając się na określonych ruchach dobowych, określono przemieszczenia poziome ściany szczelinowej w kolejnych, omówionych wcześniej, fazach realizacji konstrukcji podziemia. Przemieszczenia w poziomach pomiarowych wyliczono przyjmując założenie nieruchomości dna ściany szczelinowej. Wyniki analizy, w postaci maksymalnych poziomych przemieszczeń ściany w każdej fazie, zestawiono łącznie z wynikami prowadzonych równoległe pomiarów inklinometrem manualnym w tabelicy 1.

4. Podsumowanie i wnioski

Przedstawione zestawienie tabelaryczne czytelnie obrazuje długoterminowe zachowanie ściany szczelinowej w odniesieniu do faz budowy. Na potrzeby analizy porównawczej wykonano wykres obwiedni maksymalnych przemieszczeń poziomych pomierzonych obydwoma metodami (rysunek 5).



Rys. 5. Zestawienie maksymalnych przemieszczeń ściany
Fig. 5. Comparison of maximum diaphragm wall displacements

Porównując wykresy, stwierdza się, że ogólny charakter przemieszczeń ściany w obydwu przypadkach jest zbieżny. Zarejestrowane inklinometrem manualnym maksymalne przemieszczenia w koronie ściany są ok. 1,5 mm mniejsze od pomierzonych automatycznie. Wynika to prawdopodobnie z faktu położenia pionu do pomiarów manualnych bliżej naroża

ściany szczelinowej. Zróżnicowanie przemieszczeń w fazach może być spowodowane oddaleniem od siebie pionów pomiarowych i wynikającymi z tego różnicami przebiegu robót.

Zaletą pomiaru ciągłego jest możliwość reagowania na wszystkie nie przewidziane w projekcie zmiany położenia ściany, oraz stała kontrola wpływu realizacji budowy na otoczenie. Istotna jest również niezmiennosc przyjętej bazy pomiarowej i brak konieczności kalibracji urządzenia podczas trwania badań. Niedogodnością, przy stosowaniu inklinometrów automatycznych w warunkach budowy, jest problem zabezpieczenia urządzeń przed poruszeniem wiodącym do generowania błędów pomiarowych.

Na zakończenie należy stwierdzić, iż podstawową wadą omawianej metody pomiarowej jest jej cena – koszt wynajmu urządzeń znacznie przewyższa koszty zarówno tradycyjnej niwelacji geodezyjnej, jak i coraz szerzej stosowanych pomiarów inklinometrem manualnym.

LITERATURA

1. Vibrating Wire In-Place Inclinometer – Specification. Geokon Incorporated.
2. Krywult J., Mateja J.: Kontrola stateczności budowli przy użyciu inklinometru. Inżynieria i Budownictwo, Warszawa – marzec 2000, str. 148.
3. Mitew M.: Ocena przemieszczeń ścian głębokich wykopów metodą podłoża sprężystego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Budownictwo z. 95, 2002, str. 407-416.
4. Lewandowska A., Mitew M.: Diaphragm wall monitoring report. Geokonstrukcja Sp. z o.o. Warsaw 2002.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Eugeniusz DEMBICKI

Abstract

The paper describes the application of an automatic inclinometer chain for continuous monitoring of displacements of the deep excavation wall. The results of in-situ tests have been analyzed and compared with the results of manual measurements. The discussion of the advantages and disadvantages of these methods has been presented.