

# Monitoring inklinometryczny ścian szczelinowych

tekst: **ALICJA FICEK, ŁUKASZ KRYWULT**, Budokop Sp. z o.o., Mysłowice

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów inklinometrycznych przemieszczeń poziomych ścian szczelinowych, wykonywanych przez kilkanaście miesięcy na budowie głęboko posadowionego obiektu, zlokalizowanego wśród zwartej zabudowy miejskiej, w trudnych warunkach gruntowo-wodnych podłoża oraz przy zmiennych warunkach pogodowych. Inklinometry, które zabudowano w ścianach szczelinowych, umożliwiły prowadzenie pomiarów przemieszczeń poziomych na znacznej wysokości monitorowanej konstrukcji. Pozwalało na wczesne podejmowanie określonych przedsięwzięć w celu przeciwdziałania powstającym zagrożeniom.

## Wprowadzenie

Obecnie coraz częściej na terenach o zwartej zabudowie lub w samych centrach miast realizowane są inwestycje z zastosowaniem specjalistycznej obudowy wykopów fundamentowych, w tym m.in. ścian szczelinowych. Ich zadaniem jest zapewnienie stateczności gruntu w otoczeniu wykopu fundamentowego w celu bezpiecznego prowadzenia robót oraz ochrony zabudowy sąsiedniej. Chcąc określić warunki pracy rozpatrywanych konstrukcji oporowych na poszczególnych etapach realizacji inwestycji, prowadzony jest monitoring geodezyjny oraz inklinometryczny [1]. Na wielkość przemieszczeń ścian szczelinowych wpływa rodzaj i stan gruntów budujących podłoże, odwadnianie wykopu, jego wielkość i głębokość, a także tempo realizacji robót fundamentowych [2].

W niniejszym artykule odniesiono się do pomiarów inklinometrycznych prowadzonych na budowie głęboko posadowionego obiektu. Podłoże przedmiotowego terenu budują warstwy gruntów niejednorodnych, nieciągłych, o zmiennych parametrach geotechnicznych. Niekorzystne są również warunki wodne podłoża terenu. Zwierciadło wód gruntowych ustabilizowało się powyżej poziomu posadowienia obiektu, dlatego konieczne było prowadzenie odwodnienia wykopu fundamentowego. Teren budowy obejmował powierzchnię blisko 3 ha i był zlokalizowany w bezpośrednim sąsiedztwie starych kamienic, wśród sieci infrastruktury kolejowej i drogowej. Ściany szczelinowe o łącznej długości prawie 1 km i głębokości do 30 m zabezpieczyły wykop fundamentowy o głębokości



Ryc. 1. Fragment ściany szczelinowej zakotwionej na I i II poziomie

15 m. Głębienie wykopu wykonywano etapowo z zastosowaniem trzech poziomów zakotwień i rozpór znajdujących się na różnych głębokościach (I poziom kotwienia na głębokości ok. 2–4 m p.p.t., II poziom kotwienia na głębokości ok. 7–9 m p.p.t. oraz III poziom kotwienia na głębokości ok. 12 m p.p.t.). Rycina 1 przedstawia fragment ściany szczelinowej zakotwionej na I i II poziomie. Realizacja robót fundamentowych trwała kilkanaście miesięcy. Wymienione czynniki miały istotny wpływ na zaobserwowane przemieszczenia ścian szczelinowych.

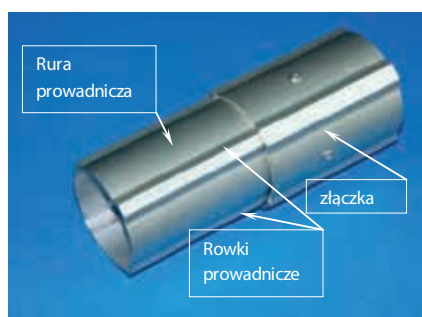
## Sposób realizacji pomiarów inklinometrycznych

Na terenie budowy w żelbetowych ścianach szczelinowych zabudowano 14 inklinometrów o długości pomiarowej 19,5–21,5 m. Roboty fundamentowe, jak

również instalację inklinometrów wykonywano etapowo. Pomiary inklinometryczne prowadzono w trakcie głębienia wykopu fundamentowego oraz w krótkim okresie podczas wykonywania konstrukcji nadziemnej. Wstępnie zaplanowano wykonanie serii czterech pomiarów w każdym z inklinometrów, tzn. pomiaru bazowego i trzech pomiarów kontrolnych dla poszczególnych poziomów kotwienia. Z uwagi na znaczne przemieszczenia ścian szczelinowych zwiększono liczbę i częstotliwość prowadzonych obserwacji inklinometrycznych.

Stanowiska badawcze tworzyły kolumny inklinometryczne zabudowane w połowie grubości ścian szczelinowych. Kolumna inklinometryczna powstała w wyniku połączenia rur przewodniczych o długości 5 m i średnicy  $\varnothing$  58/63 mm za pomocą złączek kształtowych o długości

0,3 m i średnicy  $\varnothing$  63/68 mm o profilu dostosowanym do przekroju rur inklinometrycznych. Rury i złączki wykonane były z aluminium. Każda z rur na całej długości posiadała cztery wyprofilowane rowki, rozmieszczone co  $90^\circ$ , służące do zorientowanego prowadzenia sondy inklinometrycznej (ryc. 2). Miejsca łączenia rur złączkami zabezpieczono specjalną taśmą uszczelniającą, od strony dna kolumny wprowadzono szczelnie wklejoną zatyczkę, a wlot kolumny zamknięto korkiem aluminiowym. Kolumnę wprowadzono do szkieletu zbrojeniowego tak, aby jedna z osi pomiarowych była prostopadła do ściany, zaś dno kolumny znajdowało się na dole ściany szczelinowej [3].



Ryc. 2. Rura prowadnicza ze złączką

Pomiary inklinometryczne wykonano w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach, tzn. w osiach A i B. Oś A wyznaczała kierunek prostopadły do ściany szczelinowej, natomiast oś B była do niej równoległa. Z uwagi na konstrukcję sondy

pomiarowej odczyty dokonywane były w interwale głębokości co 0,5 m od dna inklinometru do jego wlotu. Dla uzyskania większej dokładności pomiarów oraz zminimalizowania błędów pomiarowych odczyty dokonywano dwukrotnie dla każdego kierunku, tzn. w pozycji A+, B+ oraz po obroceniu sondy o  $180^\circ$  (w pozycji A- i B-). Sondę w pozycji A+ zawsze kierowano w stronę wykopu fundamentowego.

Wyniki pomiarów, rejestrowane przez miernik za pomocą sondy inklinometrycznej opuszczanej do kolumny, podawane były jako sinus kąta odchylenia sondy od kierunku pionowego. Dalszą analizę wyników prowadzono przy założeniu, że dno kolumny jest nieruchome. W celu określenia przemieszczeń inklinometru konieczne było wykonanie pierwszego, bazowego pomiaru (po zakończeniu betonowania ściany a przed rozpoczęciem głębienia wykopu), stanowiącego podstawę do dalszych pomiarów, na podstawie których można było określić przede wszystkim przemieszczenia sumaryczne, czyli wartości przemieszczeń w okresie pomiędzy pomiarem w kolejnej sesji pomiarowej a pomiarem bazowym.

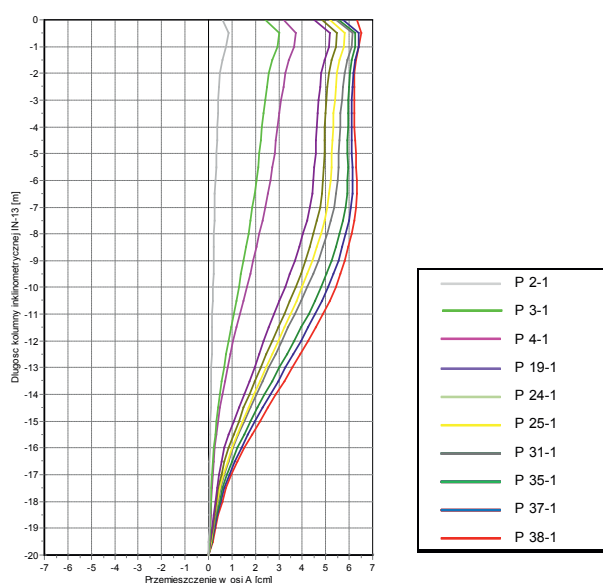
### Wyniki pomiarów inklinometrycznych

Na rycinach 3 i 4 pokazano przykładowe wykresy przemieszczeń sumarycznych kolumn inklinometrycznych w osi A (osi prostopadłej do ściany szczelinowej), uzyskane na różnych etapach

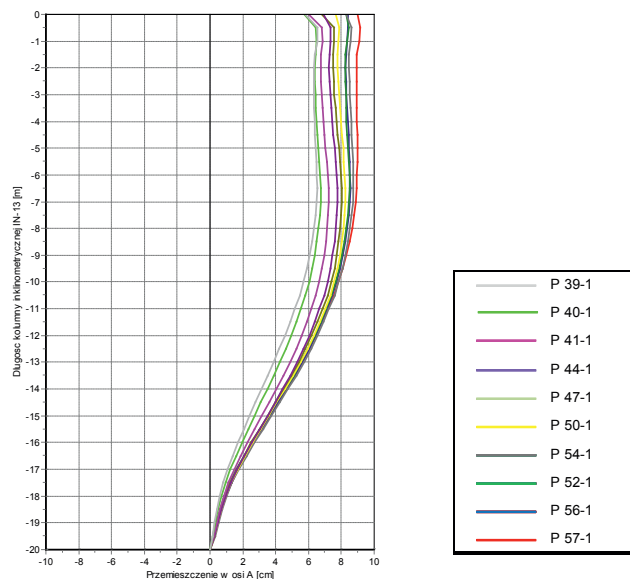
realizacji inwestycji. Wyniki pomiarów wskazywały na przemieszczenia ścian szczelinowych w kierunku wykopu fundamentowego (wartości + w osi A).

Pierwsze wyniki pomiarów przemieszczeń, odnotowane w kilku inklinometrach zlokalizowanych w rejonie wykonanego wykopu do poziomu I kotwienia, nie przekraczały wartości 1,0 cm (ryc. 3, inklinometr IN-13, pomiar nr 2-1). Kolejne wyniki pomiarów wykonane w tych samych inklinometrach dla II poziomu kotwienia oraz w pozostałych inklinometrach dla I poziomu kotwienia wykazały już znacznie większe przemieszczenia, które w przypadku inklinometru IN-13 wyniosły powyżej 2,0 cm (ryc. 3, pomiar 3-1). W miarę postępu robót fundamentowych pomiary inklinometryczne rejestrowały coraz większe przemieszczenia ścian szczelinowych. Największe przemieszczenia – powyżej 8,0 cm dla III poziomu kotwienia, a zarazem największą liczbę pomiarów zanotowano w inklinometrze IN-13 (ryc. 4, pomiar 57-1). W okresie wykonywanych pomiarów maksymalne wartości przemieszczeń sumarycznych kolumn inklinometrycznych w kierunku wykopu fundamentowego nie przekroczyły: 2 cm w jednym inklinometrze, 3 cm w trzech inklinometrach, 4 cm w trzech inklinometrach, 5 cm w trzech inklinometrach, 6 cm w jednym inklinometrze, 7 cm w dwóch inklinometrach oraz 9 cm w inklinometrze IN-13.

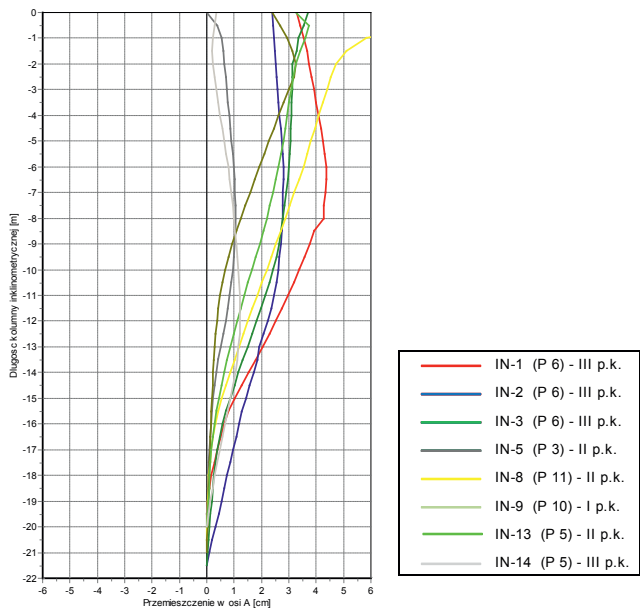
Wyniki wskazywały na przekroczenie obliczeniowej maksymalnej wartości prze-



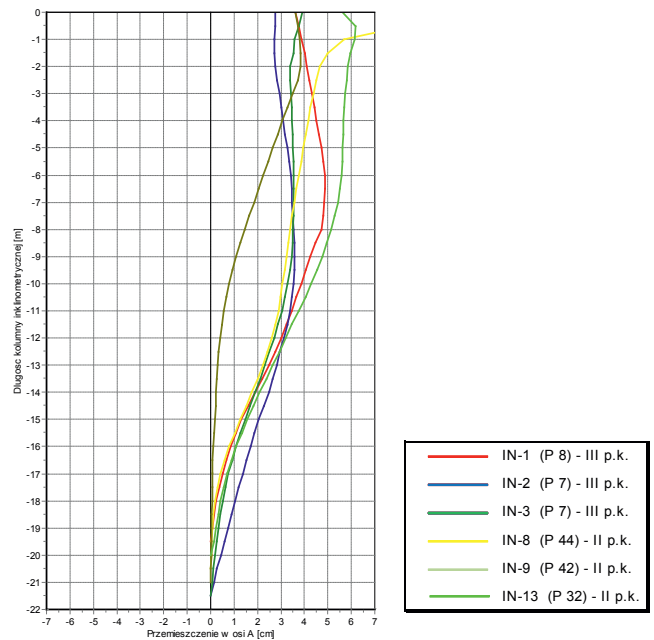
Ryc. 3. Wykresy przemieszczeń sumarycznych w osi A inklinometru IN-13 określone podczas głębienia wykopu fundamentowego do I i II poziomu kotwienia (przykładowo, P 2-1 oznacza wartość przemieszczenia w okresie pomiędzy pomiarami nr 2 a 1)



Ryc. 4. Wykresy przemieszczeń sumarycznych w osi A inklinometru IN-13 określone podczas głębienia wykopu fundamentowego do III poziomu kotwienia (przykładowo, P 39-1 oznacza wartość przemieszczenia w okresie pomiędzy pomiarami nr 39 a 1)



Ryc. 5. Wykresy przemieszczeń sumarycznych w osi A wybranych inklinometrów zabudowanych w ścianach szczelinowych – ta sama data pomiarów, ok. 2–4 miesiące od wykonania pomiarów bazowych (przykładowo, IN-1 – numer inklinometru, (P6) – numer pomiaru, III p.k. – poziom kotwienia)



Ryc. 6. Wykresy przemieszczeń sumarycznych w osi A wybranych inklinometrów zabudowanych w ścianach szczelinowych – ta sama data pomiarów, ok. 7–8 miesięcy od wykonania pomiarów bazowych (przykładowo, IN-1 – numer inklinometru, (P8) – numer pomiaru, III p.k. – poziom kotwienia)

mieszczeń poziomych określonej dla ścian szczelinowych. W celu przeciwdziałania wzrastającym przemieszczeniom konstrukcji oporowych zastosowano dodatkowo rozpory oraz przypory ziemne. W sąsiedztwie wykonywanych fundamentów stwierdzono uszkodzenia budynków mieszkalnych.

Na rycinach 5–7 pokazano wykresy przemieszczeń sumarycznych w osi A wybranych inklinometrów w wytypowanych momentach czasowych. Z uwagi na rozpoczęcie realizacji poszczególnych pomiarów inklinometrycznych na różnych etapach wykonania inwestycji wykresy na danej rycinie – charakteryzujące się taką samą datą pomiarów i odwzorowujące przemieszczenia ścian szczelinowych w rejonie zabudowy konkretnego inklinometru – odpowiadają różnym poziomom kotwienia konstrukcji. I tak, wykresy na rycinie 5 ilustrują przebieg przemieszczeń inklinometrów zarejestrowanych w okresie ok. 2–4 miesiące od wykonania pomiarów bazowych. W tym czasie w rejonie inklinometru IN-9 głębienie wykopu zakończono na I poziomie kotwienia, w sąsiedztwie inklinometrów IN-5, IN-8 i IN-13 na II poziomie kotwienia, a w rejonie pozostałych inklinometrów na III poziomie kotwienia. Na rycinie 6 przedstawiono wyniki pomiarów inklinometrycznych wykonanych w okresie ok. 7–8 miesięcy od realizacji pomiarów bazowych. W tym czasie w rejonie inklinometrów IN-8, IN-9 i IN-13 głębienie

wykopu zakończono na II poziomie kotwienia, a dla inklinometrów IN-1, IN-2 i IN-3 na III poziomie kotwienia. Rycina 7 pokazuje przemieszczenia kolumn inklinometrycznych w okresie ok. 8–11 miesięcy od wykonania pomiarów bazowych. Dla inklinometru IN-11 w tym czasie wykonano pomiar na I poziomie kotwienia, a dla pozostałych inklinometrów na III poziomie kotwienia.

Na podstawie analizy wykresów na rycinach 5–7, odnoszących się do tego samego poziomu kotwienia, zwrócono uwagę na zróżnicowanie przemieszczeń sygnalizowanych przez poszczególne inklinometry. Może być to związane z położeniem inklinometru w obrębie ściany szczelinowej, tzn. im bliżej naroża ściany, gdzie zastosowano system rozpór, tym przemieszczenia są mniejsze. I tak, np. dla inklinometru IN-5, który znajduje się stosunkowo blisko rozpór narożnych, zarejestrowane przemieszczenia są znacznie mniejsze niż dla pozostałych inklinometrów (ryc. 7). Również przemieszczenia zarejestrowane przez inklinometr IN-9 (ryc. 6), znajdujący się w pobliżu rozpór narożnych, były mniejsze niż określone przez inklinometr IN-8, zabudowany w obrębie tej samej ściany, lecz dalej od naroża konstrukcji. Różnice przemieszczeń mogą również wynikać z instalacji systemu zakotwień ściany w gruncie. Przykładowo, analizując wykresy przemieszczeń ścian szczelinowych, określone za pomocą in-

klinometrów IN-1, IN-2 i IN-14, przedstawione na rycinie 5, zwrócono uwagę na mniejsze wartości przemieszczeń w części stropowej konstrukcji w stosunku do występujących na głębokości ok. 8 m, co może świadczyć o lepszym zakotwień ściany na poziomie I niż na poziomie II.

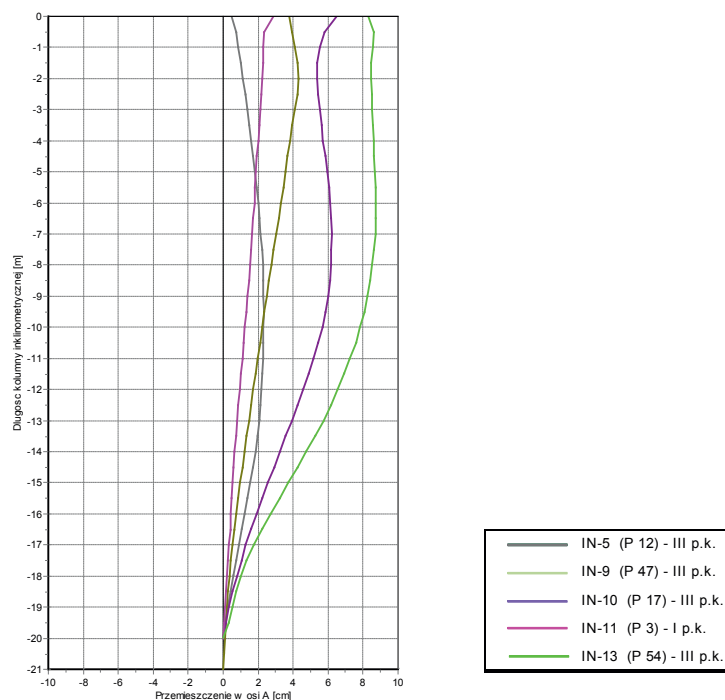
## Podsumowanie

Na podstawie dotychczasowych doświadczeń w prowadzeniu pomiarów inklinometrycznych należy jednoznacznie potwierdzić konieczność prowadzenia monitoringu inklinometrycznego ścian szczelinowych stanowiących obudowę fundamentów obiektów budowlanych, w szczególności głęboko posadowionych, zlokalizowanych wśród zwartej zabudowy miejskiej.

Duże znaczenie dla zwiększenia dokładności określania przemieszczeń ścian szczelinowych w trakcie realizacji inwestycji ma połączenie pomiarów inklinometrycznych z geodezyjnymi.

Biorąc pod uwagę zaobserwowaną podczas prowadzonych pomiarów zróżnicowaną skuteczność kotwienia ścian szczelinowych na poszczególnych poziomach kotwienia, w celu określenia rzeczywistych wartości sił powstających w kotwiach gruntowych mocujących ściany szczelinowe do górotworu można zastosować czujniki obciążenia kotwi.

Odpowiednio zaprojektowany monitoring, w zależności od kategorii obiektu



Ryc. 7. Wykresy przemieszczeń sumarycznych w osi A wybranych inklinometrów zabudowanych w ścianach szczelinowych – ta sama data pomiarów, ok. 8–11 miesięcy od wykonania pomiarów bazowych (przykładowo, IN-5 – numer inklinometru, (P12) – numer pomiaru, III p.k. – poziom kotwienia)

oraz warunków gruntowych, zapewni bezpieczną realizację inwestycji.

### Literatura

- [1] Horodecki G.A., Bolt A.F., Dembicki E.: *Przemieszczenia ścian szczelinowych stanowiących obudowy wykopów głębokich*. 49. Konferencja Naukowa KILiW PAN KN PZITB Krynica 2003. Materiały konferencyjne. Warszawa–Krynica 2003, s. 33–40.
- [2] Wolski W., Fürstenberg A., Sorbjan P.: *Wykorzystanie pomiarów inklinometrycznych do oceny stanu bezpieczeństwa budowli*. XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna *Awarie budowlane 2007*. Materiały konferencyjne. Szczecin–Międzyzdroje 2007.
- [3] *Instrukcja instalacji kolumn inklinometrycznych w ścianach szczelinowych*. Budokop, 2007.

Artykuł recenzowany zgodnie z wytycznymi MNiSW.

PODWÓJNY  
JUBILEUSZ

**20**lat

Ogólnopolskiej Izby Gospodarczej Drogownictwa  
i targów Autostrada-Polska

**14-16 maja 2014**

**TargiKielce**  
EXHIBITION & CONGRESS CENTRE

**AUTOSTRADA-POLSKA**

XX Międzynarodowe Targi Budownictwa Drogowego

**Konkurs**

OPERATORÓW  
MASZYN BUDOWLANYCH

**SHOW  
AFTER FAIR**

**17.05.2014**

**III SALON  
KRUSZYW**



organizowany  
przy współpracy  
IMBiGS

**MASZBUD**



www.maszbud.com

Pokazy dynamiczne na unikalnym terenie pokazowym o wielkości 1,6 ha umożliwiające wyeksponowanie wszystkich walorów prezentowanych maszyn i sprzętu budowlanego



**ROTRA**



www.rotra.targiKielce.pl

**TRAFFIC  
-EXPO-TIL**



www.traffic-expo.pl

**W programie targów:**

- Konferencja "Nowa generacja urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego - projektowanie i badania". Organizator IBDiM
- Seminarium n.t. *Bezpieczeństwo techniczne maszyn budowlanych i żurawi*. Organizator PIMB
- Konferencja "Przyszłość dróg zależy od Ciebie - nie myśl szablonowo". Organizator BLL
- Konferencja "Budowa Systemów ITS w Polsce- ich zaawansowanie". Organizatorzy: Stowarzyszenie KLUB INŻYNIERII RUCHU i ITS Polska
- Konferencja "Inwestycje infrastrukturalne w Polsce wschodniej". Organizator SITK
- Konferencja "Wybrane konstrukcje stalowe w drogownictwie w Zjednoczonej Europie". Organizator : PIKS

**WSPÓŁPRACA**



Instytut Badawczy  
Dróg i Mostów  
www.ibdim.edu.pl

www.autostrada-polska.pl