

# Sposób realizacji monitoringu geotechnicznego przeciążenia gruntu organicznego nasypem w sąsiedztwie gazociągu wysokiego ciśnienia

mgr inż. Magdalena Czyż, InvestBau, mgr inż. Maciej Lis, InvestBau,  
dr hab. inż. Elżbieta Szafranko, Wydział Geoinżynierii, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

## 1. Wprowadzenie

Postęp technologiczny na placu budowy ma swoje odzwierciedlenie nie tylko w rosnących wydajnościach wykonywanych prac, ale także zwiększeniu bezpieczeństwa i kontroli nad zachodzącymi procesami [1]. Monitoring geotechniczny zgodnie z PN-EN ISO 18674-1:2015-07E [11] to „obserwacja zachowania się podłoża i/lub konstrukcji geotechnicznych przed, w trakcie, i/lub po zakończeniu jej budowy”. Ma za zadanie weryfikować założenia projektowe oraz stanowić system ostrzegania przed potencjalną katastrofą [2, 3]. W przypadku budowli ziemnych prowadzenie monitoringu zaleca się stosować, gdy (pkt 12.7 (2) PN-EN 1997-1):

- stateczność nasypu, zależy w dużym stopniu od rozkładu ciśnienia wody w porach gruntu, poniżej nasypu,
- wymagana jest kontrola negatywnego wpływu nasypów na inne konstrukcje lub instalacje,
- istnieje znaczące zagrożenie erozją powierzchniową.

Program monitorowania powinien wówczas obejmować (pkt 12.7 (4) PN-EN 1997-1):

- pomiary ciśnienia wody w porach gruntu, wewnątrz i poniżej nasypu,
- pomiary osiadań (przemieszczeń pionowych) całego nasypu lub jego części oraz konstrukcji będących pod jego wpływem,
- pomiary przemieszczeń poziomych,
- obserwacje elementów konstrukcji zabezpieczających.

Zalety jego stosowania są niepodważalne, warto więc korzystać z doświadczeń wykonawców zdobytych podczas procesu montażu oraz utrzymania tak, by zminimalizować trudności oraz zoptymalizować ekonomikę rozwiązania. W niniejszym artykule zaprezentowano sposób geomonitoringu osiadań oraz przemieszczeń

poziomych nasypu przeciążającego zlokalizowanego w pobliżu gazociągu wysokiego ciśnienia realizowanego podczas budowy drogi ekspresowej [8, 10, 1, 12].

## 2. Sposób monitoringu geotechnicznego nasypu przeciążającego – studium przypadku

W przypadku zalegania w podłożu warstwy gruntów organicznych o niewielkiej miąższości istnieje możliwość wzmocnienia podłoża, konsolidując przewarstwienie dodatkowym obciążeniem. Proces ten może być zrealizowany poprzez nadbudowanie warstwy nasypu, spełniającej rolę przeciążenia. Grunty organiczne są ściśliwe, ale przebieg odkształceń pod wpływem obciążenia jest skomplikowany i długotrwały [4, 5] dlatego też, szczególnie w przypadku możliwego negatywnego wpływu nasypu przeciążającego na instalacje, uzasadnione jest [6, 7, 9] stosowanie monitoringu geotechnicznego.

W podłożu gruntowym inwestycji na odcinku od km 0+275 do 0+340 rozpoznano warstwę namułu (Nmg) o miąższości 0,6 m zalegającą na głębokości 4,6 m. Powyżej gruntu organicznego w podłożu znajdowały się piaski średnie i piaski grube. W wyżej wymienionym miejscu zaprojektowano wzmocnienie podłoża w technologii nasypu przeciążającego wraz z systemem geomonitoringu.

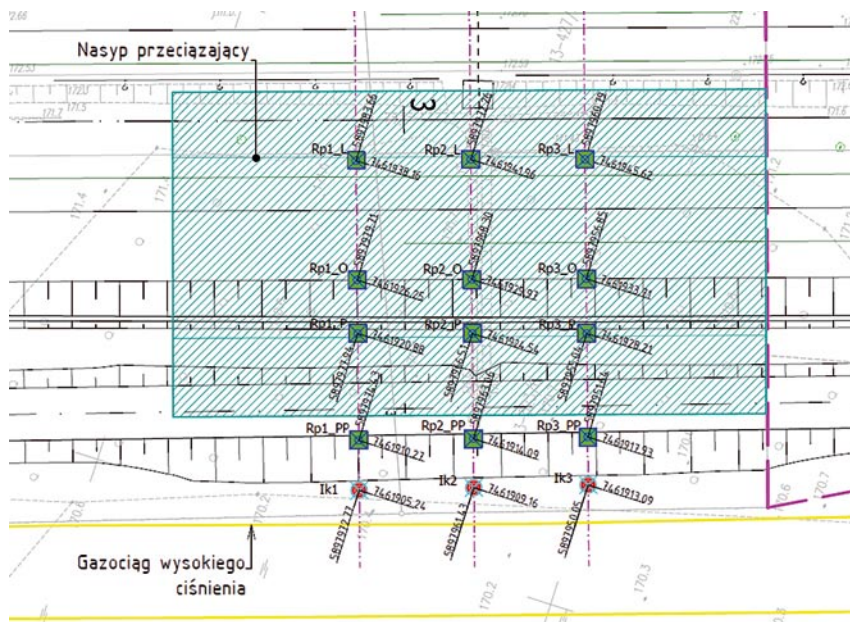
Ze względu na bliskość gazociągu wysokiego ciśnienia (ok. 11,5 m od krawędzi nasypu) monitoring geotechniczny zaprojektowano w postaci:

- pomiaru osiadań reperów talerzowych – po trzy repery w trzech przekrojach pomiarowych, z częstotliwością pomiarów;
- pomiaru przemieszczeń poziomych za pomocą zainstalowanych inklinometrów pionowych; zainstalowano trzy inklinometry pionowe w przekroju o najbardziej niekorzystnych warunkach gruntowych.

**Rys. 1.** Rozmieszczenie monitoringu geotechnicznego

Rozmieszczenie monitoringu geotechnicznego przedstawiono na rysunku 1.

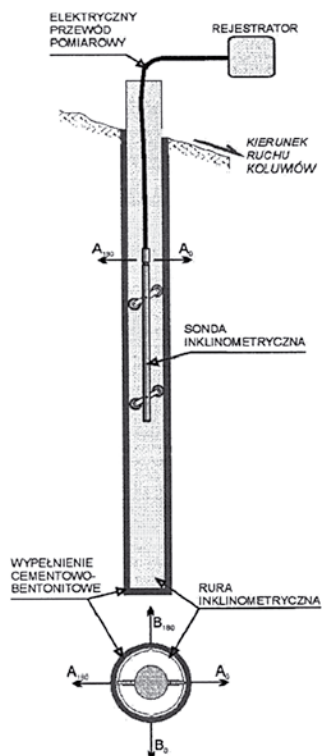
Inklinometry (rys. 2) zostały zainstalowane w otworach wierconych w gruncie z poziomu terenu po usunięciu warstwy humusu. Wiercenia otworów montażowych były prowadzone wiertnicą mechaniczną. Podczas wiercenia przeprowadzono makroskopową obserwację gruntu, która posłużyła do sporządzenia kart otworów. Po wykonaniu otworu do planowanej głębokości zainstalowano kolumny inklinometryczne typu ABS fi 70 mm w odcinkach długości 3 m. Kolumny obsadzono centrycznie w otworze i uszczelniono poprzez wypełnienie przestrzeni pomiędzy rurą inklinometryczną a ścianami otworu. Górny odcinek kolumny inklinometrycznej zabezpieczono przez wykonanie obudowy z PVC, a górę zaślepiono. Zamontowano inklinometry o długości 7 m każdy, przy czym część zagłębiona w gruncie objęła odcinek 6,5 m.



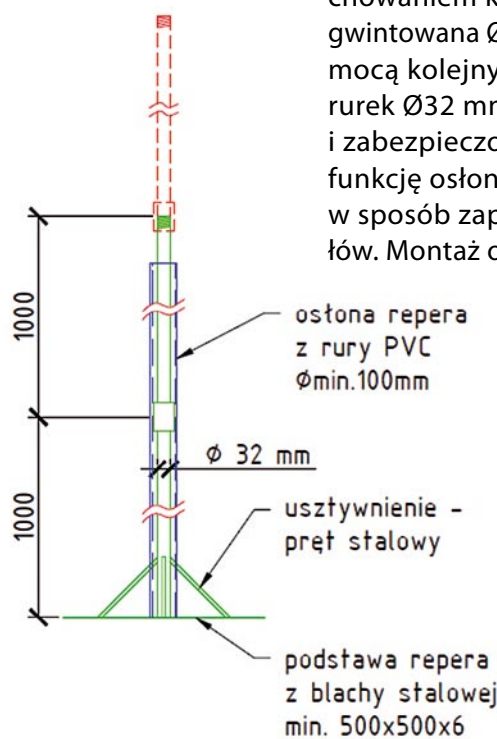
Dla zminimalizowania błędów pomiar wykonano dwukrotnie z obróceniem sondy o 180°C. Dopuszczalny błąd pomiaru nie przekraczał 1 mm/12 mb profilu. Repery talerzowe (rys. 3) zostały zamontowane w trzech przekrojach pomiarowych, w każdym po 4 repery. Podstawa repera zbudowana jest z blachy stalowej niemalowanej, o grubości 6 mm i wymiarach 500x500 mm usztywnionej czterema zastrzałami. Do podstawy jest przymocowana, z zachowaniem kątów prostych, jednometrowa rurka gwintowana  $\varnothing 32$  mm. Reper przedłużany jest za pomocą kolejnych jednometrowych gwintowanych rurek  $\varnothing 32$  mm łączonych ze sobą za pomocą muf i zabezpieczony jest rurą PVC  $\varnothing 100$  mm pełniącą funkcję osłony. Rurę należy naciąć u podstawy w sposób zapewniający dopasowanie do zastrzałów. Montaż opisanego systemu monitoringu geotechnicznego przedstawiają fotografie na rysunku 4, a montaż reperów talerzowych – rysunek 5.

Przyjęto następujące zasady prowadzenia prac pomiarowych:

- przed przystąpieniem do budowy nasypu drogowego, po rozmieszczeniu w podłożu reperów talerzowych wykonano pomiar zerowy;
- w czasie prowadzenia robót ziemnych;
- przez cały okres prowadzenia monitoringu – pomiary wykonywano w stałych odstępach czasu, nie rzadziej niż jeden pomiar na dwa tygodnie,



**Rys. 2.** Budowa inklinometru wgłębnego



**Rys. 3.** Schemat konstrukcji punktu pomiarowego (reper talerzowy)

**Rys. 4.** Montaż systemu monitoringu geotechnicznego

- wyniki każdej sesji pomiarowej były zapisywane w dzienniku pomiarów.

### 3. Zalety i ograniczenia opisanego sposobu monitoringu

Prognozowanie zachowania się podłoża gruntowego jest ważnym elementem systemu zarządzania ryzykiem. Doświadczenie w realizacji pokazuje, że geomonitoring jest przedsięwzięciem wymagającym dodatkowych nakładów zarówno w postaci samych urządzeń, obsługi geodezyjnej, kadry kontrolującej i archiwizującej pomiary oraz utrudnień w prowadzeniu robót ziemnych. Szczególnej staranności należy dochować podczas wznoszenia nasypu, eliminując uszkodzenia systemu pomiarowego. W przypadku realizacji pomiarów rzędnych reperów talerzowych nie ma możliwości zdalnego odczytu. Dokładność odczytu jest zależna od wielu czynników w szczególności od doświadczenia personelu i precyzji urządzeń geodezyjnych. Pręty przeszkadzają we wznoszeniu nasypu, istnieje możliwość ich uszkodzenia, co zaburzy proces zbierania danych pomiarowych. Należy zorganizować najlepiej metrowe „przedłużenia” prętów dokręcane kolejno wraz ze wznoszeniem nasypu – dłuższy element uniemożliwi zebranie pomiaru za pomocą tachimetru.

Pomiar inklinometryczny cechuje się dużą dokładnością i powtarzalnością, jego obsługa wymaga jednak specjalistycznego sprzętu – sondy inklinometrycznej, co przekłada się na koszty monitoringu. W przypadku gdy pomiarów nie mogą wykonywać stacjonujący na budowie geodeci, należy zapewnić odpowiednią koordynację procesu.

Dane zbierane przez służby geodezyjne są przetwarzane i archiwizowane w postaci raportów, zawierających informację o osiadaniach i przemieszczeniach. Ocena zebranych informacji należy do projektanta. W opisanym przypadku pomiary reperów talerzowych zostały przeprowadzone przez stacjonującą na budowie służbę



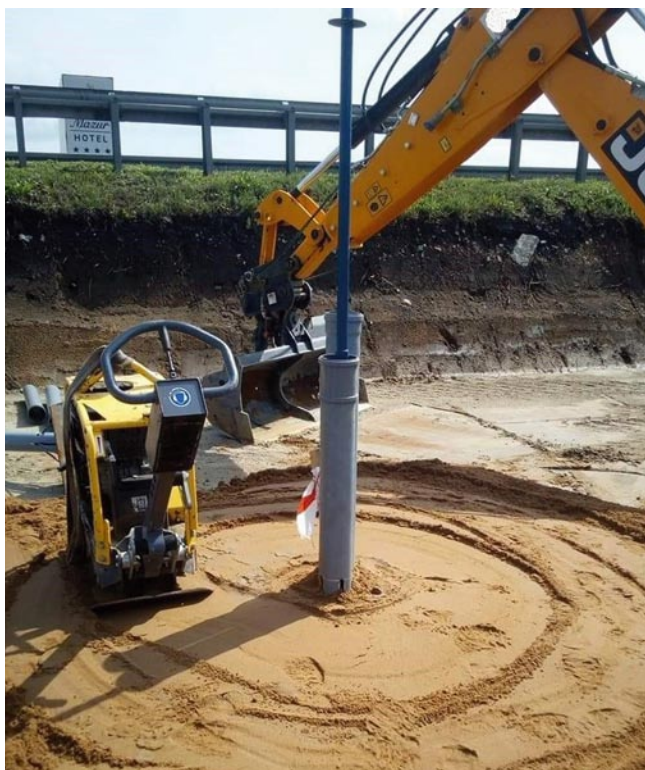
geodezyjną, odczyty z inklinometrów były dokonywane przez zewnętrzną obsługę. Zebrane dane nie wskazują na występowanie osiadań przekraczających osiadania maksymalne (zarówno podczas wznoszenia nasypu, jak i po uzyskaniu maksymalnej wysokości).

### 4. Podsumowanie

Prowadzenie robót ziemnych, w czasie których mogą wystąpić niekontrolowane osiadania i przemieszczenia, zwłaszcza w pobliżu gazociągu wysokiego ciśnienia w sposób szczególny kwalifikuje się do stosowania monitoringu geotechnicznego. Kalkulacja i ocena kosztów monitoringu powinna uwzględniać: montaż urządzeń pomiarowych – reperów i inklinometrów (w opisanym przypadku repery zostały wykonane na zamówienie i mogą być wykorzystane ponownie na kolejnych działkach roboczych bądź innej budowie, inklinometry – nie mogą zostać wykorzystane ponownie), obsługę geodezyjną systemu pomiarowego oraz zmniejszenie wydajności robót ziemnych na odcinkach z zamontowanym systemem monitoringu.

Pomimo licznych instrukcji dotyczących stosowania monitoringu oraz rozwijającej się techniki zbierania danych często pomijana jest faza opracowania szczegółowego opisu postępowania w przypadku pojawienia się niepokojących wyników. Zgodnie z zapisami Eurokodu 7 stosowanie metod obserwacyjnych wymaga m.in.:

- ustalenia granic zachowań dopuszczalnych – w opisanym przypadku, osiadania na etapie wznoszenia



Rys. 5. Montaż reperów talerzowych

nasypu przeciążającego z założenia powinny przekroczyć dopuszczalne osiadania gotowej konstrukcji, jednak z biegiem czasu oczekiwane jest ich ustabilizowanie, tak by po zakończeniu okresu konsolidacji, ustąpiły zupełnie; zachowania dopuszczalne przemieszczeń poziomych (inklinometry) są trudniejsze do określenia ze względu, na to że wpływały na stateczność sieci gazociągu wysokiego ciśnienia i powinien zarekomendować je gestor odpowiedzialny za sieć;

- oszacowania podziału możliwego zachowania konstrukcji i wykazania prawdopodobieństwa, że rzeczywista konstrukcja będzie w dopuszczalnych granicach – niewielka miąższość warstwy organicznej zalegająca w podłożu oraz odległość krawędzi nasypu przeciążającego od gazociągu przekraczająca 11 m pozwoliły na oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia zjawisk niepożądanych jako mało prawdopodobnego;

- ustalenia programu monitorowania, który umożliwi stwierdzenie, czy zachowanie obiektu mieści się w akceptowanych granicach – w okresie wznoszenia nasypu monitorowano osiadania i przemieszczenia każdorazowo po nowo wbudowywanej warstwie nasypu (50 cm), co umożliwiło niemal bieżącą obserwację zachowania konstrukcji, następnie obserwowano stabilizację osiadań wraz z występowaniem przemieszczeń poziomych mieszczących się w granicach błędów pomiarowych, co potwierdziło zasadność

określonej w dokumentacji projektowej dalszej cykliczności pomiarów;

- ustalenia programu monitorowania – tak by w sytuacji zagrożenia była możliwość podjęcia skutecznych działań;
- dostosowania czasu reakcji przyrządów i procedury analizy wyników do szybkości możliwych zmian systemu;
- opracowania planu działań interwencyjnych – plan działań interwencyjnych został opracowany w porozumieniu z gestorem sieci gazowej, dodatkowo gestor sprawował stały nadzór nad prowadzonymi, w pobliżu gazociągu, robotami.

Wykorzystanie danych z monitoringu geotechnicznego jest ważnym narzędziem w pracy inżynierów i projektantów, jednak w przypadku braku sprawdzonych procedur interwencji w sytuacji zagrożenia może okazać się bezużyteczne. Należy pamiętać, że system monitoringu to szereg podejmowanych działań, które podejmowane bezkompromisowo prowadzą do sukcesu przedsięwzięcia.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Baran M., Żak M., Rola i zadania monitoringu na nowoczesnym placu budowy, *Geoinżynieria* (53)2015, str. 52–56
- [2] Borecka A., Stopkowicz A., Sekuła K., Metoda obserwacyjna i monitoring geotechniczny w świetle przepisów prawa do oceny zachowania podłoża i konstrukcji inżynierskich, *Przegląd Geologiczny* 65(10/2)2017, str. 685–691
- [3] Coufal R., Olszewska M., Przeciążenie gruntu organicznego nasypem pod składowisko przeznaczone do magazynowania elementów konstrukcyjnych, *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*, 15(3)2016, str. 93–102
- [4] Horodecki G. A., Bolt A. F., Dembicki E., Przemieszczenia ścian szczylinowych stanowiących obudowy wykopów głębokich, XLIX Konferencja Naukowa KILiW PAN i Komitetu Nauki PZITB, tom V, Warszawa – Krynica, 2003
- [5] Porębski A., Szlachcikowska E., Pomiary przemieszczeń ścian zabezpieczających głębokie wykopy na przykładzie tunelu drogowego pod Martwą Wisłą, *Inżynieria i Budownictwo* 5/2014, str. 260–262
- [6] Romaniuk D., Sorbjan P., Stefanek P., Zastosowanie metody obserwacyjnej przy bezpiecznym wznoszeniu budowli geotechnicznych na przykładzie Obiektu Unieszkodliwiania Odpadów Wydobywczych Żelazny Most, *Cuprum* 1(66)2013, str. 101–111
- [7] Spross J., Johansson F., When is the observational method in geotechnical engineering favourable? *Structural Safety* (66)2017, str. 17–26
- [8] Stefanek P., Sorbjan P., Stępień M., Monitoring i jego wykorzystanie w eksploatacji i projektowaniu rozbudowy składowiska żelazny Most, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 8(1)2010, str. 105–116
- [9] Talik M., Porębski A., Systemy monitoringu geotechnicznego, *Geoinżynieria: drogi, mosty, tunele* 2/2016, str. 82–83
- [10] PN-EN 1997-1:2008P Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne, z późniejszymi zmianami, Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego, z późniejszymi zmianami
- [11] PN-EN ISO 18674-1:2015-07E: Rozpoznanie i badania geotechniczne – Monitorowanie geotechniczne za pomocą urządzeń terenowych – Część 1: Zasady ogólne
- [12] PN-EN ISO 18674-2:2017-01E: Rozpoznanie i badania geotechniczne – Monitorowanie geotechniczne za pomocą urządzeń terenowych – Część 2: Pomiar przemieszczeń wzdłuż linii pomiarowych: Ekstenso-metry