

Metoda obserwacyjna i monitoring geotechniczny w świetle przepisów prawa do oceny zachowania podłoża i konstrukcji inżynierskich

Aleksandra Borecka¹, Agnieszka Stopkowicz², Klaudia Sekuła¹



A. Borecka



A. Stopkowicz



K. Sekuła

The observational method and the geotechnical monitoring in law to assess subsoil and construction conditions. Prz. Geol., 65: 685–691.

A b s t r a c t. The observational method is one of the designing methods specified in Eurocode 7. It is recommended when the subsoil behavior prediction is difficult. Geotechnical monitoring is an integral part of the observational method. It can be also used for evaluation of subsoil and/or construction conditions at every investment stage. The article presents compulsory law regulation, standards and literature analysis in terms of using the observational method and geotechnical monitoring.

Keywords: geotechnical monitoring, observational method (OM), analysis of legislation, Eurocode 7, road (highway) engineering

Monitoring oznacza regularne (systematyczne) zbieranie oraz analizowanie jakościowych i ilościowych informacji uzyskanych z pomiarów oraz obserwacji zjawisk. Przeprowadza się go przez z góry określony czas, zwykle w sposób cykliczny lub ciągle oraz długoterminowy.

A czym jest monitoring geotechniczny? – Jest oparty „na obserwacji zachowania się podłoża i/lub konstrukcji geotechnicznych przed, w trakcie i/lub po zakończeniu jej budowy” (PN-EN ISO 18674-1:2015-07E). Stanowi więc integralną częścią projektowania na podstawie tzw. metody obserwacyjnej (PN-EN 1997-1:2008). Jest zatem jednym z elementów zapewniających bezpieczeństwo i jakość stawianych obiektów, powinien być prowadzony już w fazie projektowania, podczas budowy i po jej zakończeniu. Ma on na celu sprawdzenie słuszności założeń poczynionych podczas projektowania, co do zachowania konstrukcji, oraz upewnienia się, że po zakończeniu budowy obiekt będzie nadal zachowywał się zgodnie z założonymi wymaganiami projektowymi. Może również stanowić użyteczne narzędzie podczas weryfikacji zachowania się nowych materiałów i technologii stosowanych w geotechnice czy budownictwie.

Umiejętne wykorzystanie metody obserwacyjnej (w tym monitoringu geotechnicznego) może się okazać cennym narzędziem w codziennej pracy inżynierów i projektantów, zwłaszcza w tematyce związanej z zarządzaniem ryzykiem, i wzmocnić jakość procesu decyzyjnego. Szacowanie poziomu ryzyka ma istotne znaczenie dla jakości procesów zarządzania, ponieważ pozwala określać stan ryzyka w momencie jego pomiaru. Jeśli zatem stan ryzyka wykazuje duże odchylenia od stanów dopuszczalnych, określonych w założeniach realizowanych planów, należy bezwarunkowo dokonać zmian scenariusza, wg którego są realizowane procesy decyzyjne. Metoda obserwacyjna jest więc zasadniczo systemem zarządzania ryzykiem (Powderham, 2002; Zemke 2013).

Celem postawionym sobie przez autorów było przedstawienie i przeanalizowanie przepisów prawnych, norm i literatury przedmiotu w zakresie wykorzystania metody obserwacyjnej i monitorowania geotechnicznego do oceny zachowania podłoża i konstrukcji inżynierskich

METODA OBSERWACYJNA A MONITORING GEOTECHNICZNY

Metoda obserwacyjna

Metody obserwacyjne już od stuleci były w praktyce w mniejszym lub większym stopniu wykorzystywane przez projektantów i inżynierów. Jednym z pierwszych, który ją opisał był Terzaghi (1943), jednak znaczący wkład w jej rozwój należy przypisać Peckowi (1969). Opisana przez nich metoda zapewnia potencjalne oszczędności zarówno czasu, jak i pieniędzy, bez uszczerbku dla bezpieczeństwa realizowanej inwestycji, ale pod jednym warunkiem, że proponowane rozwiązania projektowe mogą być modyfikowane w trakcie realizacji projektu. Innymi słowy metoda ta nie ma zastosowania, jeśli projektant założył, że w trakcie budowy projekt nie może podlegać zmianom. Nicholson i in. (1999) zdefiniowali ją jako „zarządzany, zintegrowany i ciągły proces projektowania, kontroli budowy, monitorowania i dokonywania przeglądów, który w razie potrzeby umożliwia wprowadzenie w trakcie realizacji lub po zakończeniu budowy wcześniej zaplanowanych modyfikacji. Wszystkie ww. składowe procesy muszą być jednakowo ważne. Celem jest uzyskanie ekonomicznych rozwiązań geotechnicznych bez kompromisów w zakresie bezpieczeństwa”.

Peck (1969) w swoich rozważaniach podał również kilka niezbędnych warunków, które powinny być spełnione, żeby było można ją zastosować:

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: aborecka@agh.edu.pl, kkorzec@agh.edu.pl.

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: astopkowicz@agh.edu.pl.

– dobór metod powinien być wystarczający do ustalenia co najmniej ogólnego charakteru, modelu i właściwości podłoża, bez konieczności wchodzenia w szczegóły;

– oszacowanie najbardziej prawdopodobnych i niekorzystnych możliwych odchyłań dla ustalonych warunków; tu ocena warunków geologicznych odgrywa często główną rolę;

– opracowanie projektu bazującego na koncepcji roboczej dla przewidywanego zachowania się konstrukcji w najbardziej prawdopodobnych warunkach;

– wybór parametrów (wielkości), które będą obserwowane w miarę postępu budowy, i obliczanie ich przewidywanych wartości na podstawie koncepcji roboczej;

– obliczenie wartości wybranych parametrów dla najbardziej niekorzystnych warunków w powiązaniu z dostępnymi danymi dotyczącymi stanu podłoża;

– ustalenie z wyprzedzeniem działań i modyfikacji w projekcie dla każdego przewidywanego znacznego odchylenia w wynikach obserwacji, w stosunku do przewidywanych na podstawie koncepcji roboczej;

– pomiary wybranych do obserwacji parametrów i ocena rzeczywistych warunków;

– modyfikacja projektu, dostosowanie do aktualnie panujących warunków.

Zakres, w jakim mogą być stosowane wszystkie te czynności, jest uzależniony od charakteru i stopnia złożoności realizowanych prac.

Przez kolejne dziesięć lat metoda obserwacyjna była udoskonalana i modyfikowana. Na przełomie XX i XXI w. nabrała ostatecznego kształtu (Nicholson i in., 1999; Eurokod 7) i w efekcie została ujęta w Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne (EN 1997-1:2004, w Polsce dopiero w 2008 r. PN-EN 1997-1:2008 pkt 2.7). Zgodnie z zapisami tam zawartymi metoda obserwacyjna została wskazana jako jedna z metod dopuszczalnych przy sprawdzaniu stanów granicznych (pkt 2.1). Jednak przed jej zastosowaniem należy spełnić następujące wymagania (PN-EN 1997-1:2008, pkt 2.7):

– ustalić granice zachowań dopuszczalnych;

– oszacować podział możliwego zachowania konstrukcji i wykazać ostateczne prawdopodobieństwo, że rzeczywiste zachowanie konstrukcji będzie w dopuszczalnych granicach;

– ustalić program monitorowania, który umożliwi stwierdzenie, czy zachowanie obiektu mieści się w akceptowanych granicach. Monitorowanie powinno wykazać to w dostatecznie wczesnym stadium robót i z wystarczającą częstotliwością, żeby w sytuacji zagrożenia była możliwa podjęta skutecznych działań interwencyjnych;

– dostosować czas reakcji przyrządów i procedury analizy wyników do szybkości możliwych zmian systemu;

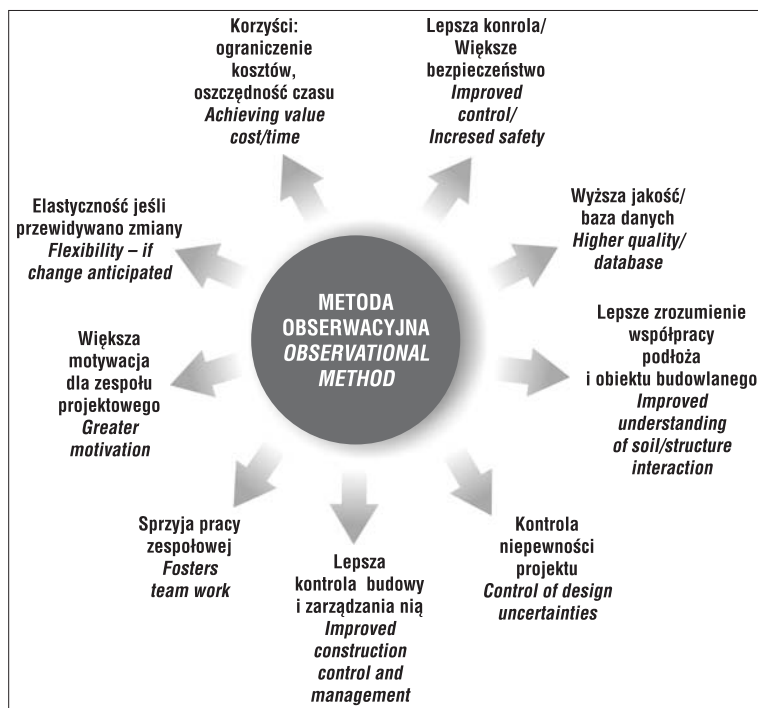
– opracować plan działań interwencyjnych, które można zastosować, jeśli monitorowanie wykáže zachowanie wykraczające poza granice zachowań dopuszczalnych.

W odróżnieniu od tradycyjnego podejścia do projektowania (*predefined design*) metoda obserwacyjna jest jedną z metod tzw. aktywnego projektowania. W swoim pełnym i ostatecznym kształcie zapewnia nowe podejście do projektowania. Nie powinna być jednak stosowa-

wana tam, gdzie jest zbyt mało czasu, żeby w pełni wdrożyć i bezpiecznie zakończyć planowane modyfikacje lub plany awaryjne (Nicholson i in., 1999). Kluczowym elementem metody obserwacyjnej jest bieżąca analiza danych pochodzących zarówno z badań polowych oraz laboratoryjnych, jak i wyników uzyskanych z monitorowania parametrów konstrukcji i/lub rozpoznanych warunków geotechnicznych podłoża. Uzyskiwane w ten sposób informacje pozwalają ocenić parametry geotechniczne i aktualne warunki zarówno samej budowli, jak i jej podłoża. Metoda obserwacyjna wykorzystuje obecnie również wyniki z symulacji numerycznych jako element porównawczy. Takie kompleksowe podejście umożliwia szybkie reagowanie i weryfikację pierwotnych założeń projektowych na każdym etapie budowy.

Stosowanie metody obserwacyjnej oferuje potencjalne oszczędności czasu i pieniędzy oraz zapewnia niezbędną pewność dotyczącą bezpieczeństwa (Peck, 1969, 2001). Oczywistym warunkiem jej wykorzystania jest to, że musi ona zaoferować rozwiązania korzystniejsze niż inne dostępne metody projektowania. Część z potencjalnych korzyści wynikających ze stosowania metody obserwacyjnej przedstawiono na rycinie 1.

Mimo że metoda obserwacyjna niesie ze sobą wiele korzyści, jest raczej sporadycznie wykorzystywana, a jeśli już się z nią spotykamy to najczęściej w ramach kontraktów w formule „zaprojektuj i zbuduj”. Jednym z powodów takiego podejścia może być to, że metoda ta jest uważana za wieloaspektową, a strony biorące udział w procesie inwestycyjnym nie mają identycznych brzegowych warunków odniesienia (inwestor – koszty inwestycji, projektant – koncepcja i przepisy prawa, organy administracji publicznej – przepisy prawa, wykonawca – łatwości realizacji inwestycji, dostępność materiałów). Ostatnio coraz częściej pojawiają się przypadki jej stosowania, również w Polsce (np. Stefanek i in., 2010; Romaniuk i in., 2013; Gor-



Ryc. 1. Kilka potencjalnych korzyści płynących ze stosowania metody obserwacyjnej (na podstawie: Nicholson i in., 1999; Powderham, 2002)

Fig. 1. Several potential benefits of using the Observational method (based on: Nicholson et al., 1999; Powderham et al., 2002)

Tab. 1. Analiza SWOT metody obserwacyjnej (na podstawie Korff i in., 2013)
Tabela 1. SWOT analysis for Observational Method (based on Korff i in., 2013)

Mocne strony <i>Strengths</i>	Słabe strony <i>Weaknesses</i>
<ul style="list-style-type: none"> – wieloetapowość projektów / <i>multiple stages or parts in a project</i> – w związku z szybką reakcją podłoża, możliwość skrócenia czasu realizacji inwestycji / <i>short project duration in relation with beneficial short term behaviour of soil</i> – przemieszczenia jako wiodąca cecha projektowanych konstrukcji / <i>displacements as leading design characteristic</i> – zintegrowana odpowiedzialność zespołów projektowych i budowlanych / <i>integrated responsibility for both design and construction</i> – elastyczność <i>vis a vis</i> zarządzanie ryzykiem / <i>flexible and risk management based culture</i> 	<ul style="list-style-type: none"> – zbyt mało czasu pomiędzy pomiarami a ich interpretacją / <i>too little time between measurements and their interpretation</i> – metody pomiarowe, mogące przyczyniać się do uszkodzenia konstrukcji (pół-destrukcyjne metody badawcze) / <i>measurements that cause failure (semi-destructive testing methods)</i> – przyjęty mechanizm zniszczenia (parametry nie mogą być zmierzone) / <i>Failure mechanism/parameter can not be measured</i> – zmiana mechanizmu zniszczenia w trakcie budowy / <i>change of failure mechanism during construction</i> – koszty zmian wprowadzane w projekcie w trakcie budowy są większe niż zyski pomniejszone o koszty monitorowania / <i>costs for changes during construction are higher than profits minus costs for monitoring</i> – komunikacja pomiędzy placem budowy a biurem projektowym / <i>communication between site and design office</i>
Szanse <i>Opportunities</i>	Zagrożenia <i>Threats</i>
<ul style="list-style-type: none"> – obecność zagrożeń o niskim, ale nie do przyjęcia <i>a priori</i> prawdopodobieństwie przekroczenia granic dopuszczalnych i tego istotne skutki / <i>presence of risks with low, but unacceptable a priori probability of exceedance and significant consequences</i> – interesariusze (organizacje lub osoby indywidualne, które uczestniczą w tworzeniu projektu (biorą czynny udział w jego realizacji) lub są bezpośrednio zainteresowane jego wynikami) / <i>stakeholders (individuals or other organizations that participate in the creation of the project or company (taking an active part in its implementation) or are directly concerned by the results of it)</i> – podejście w formule „najlepsze wyjście” / <i>best way out</i> 	<ul style="list-style-type: none"> – szybko zmieniające się obciążenia / <i>quickly changing loads</i> – niechęć władz, mocodawców / <i>unwillingness of authorities</i> – ograniczenia czasowe / <i>time restrictions</i> – metody i narzędzia obliczeniowe nie zawsze pozwalające na właściwe wykorzystanie metody obserwacyjnej / <i>calculation methods and tools do not always allow for proper use of observational methods</i>

ska i in., 2013; Baran, Żak, 2015, Borecka, 2016; Borecka i in., 2017; Korzec i in., 2017). Nie jest ona niestety idealnym rozwiązaniem (Spross, 2014). Przyczyn tego stanu może być kilka. Spross i in. (2014) podkreślają przede wszystkim, że zapisy zawarte w Eurokod 7 nie stawiają wyraźnych wymagań odnośnie wymagane marginesu bezpieczeństwa dla wykonywanego obiektu budowlanego, co może prowadzić w najlepszym przypadku do umownego bezpieczeństwa, a w najgorszym do nieznanego poziomu bezpieczeństwa. Istotną kwestią jest także konieczność spełnienia wymagań Eurokodu 7, zwłaszcza obowiązek, żeby „wykazać ostateczne prawdopodobieństwo, że rzeczywiste zachowanie konstrukcji będzie w dopuszczalnych granicach”. Spross i Johansson (2017) podkreślają ponadto brak wskazówek, wspomagających decyzje projektanta – kiedy i w jakich warunkach, metoda obserwacyjna jest korzystniejsza niż konwencjonalne metody projektowania. Proponują oni jednocześnie probabilistyczny model optymalizacji jako jeden z tych, który może ją w znacznym stopniu wspomóc. Podejście to ma pewne zalety, jednak nie do wszystkich sytuacji może być zastosowane (Spross, 2014). Spross i Johansson (2017) uważają również, że zastosowanie metody obserwacyjnej pozwala na pozyskanie istotnych informacji dla procesu projektowania, nawet jeśli projektant zdecyduje się zastosować jednak konwencjonalne podejście, a przy umiejętnym jej wykorzystaniu staje się cennym narzędziem dla poprawy świadomości oceny ryzyka i podniesienia jakości procesu decyzyjnego.

Korff i in. (2013) przeanalizowali szereg projektów, w których metoda obserwacyjna została wykorzystana. Na ich przykładzie przeprowadzili analizę SWOT, wskazując jej mocne i słabe strony oraz szanse i zagrożenia płynące

z zastosowania jej w praktyce inżynierskiej oraz kiedy jej stosowanie jest doskonałym rozwiązaniem, a kiedy najlepiej jej unikać (tab. 1). Doszli również do wniosku, że metoda ta daje najwięcej korzyści przy sprawdzaniu stanów granicznych użyteczności (SLS), niż stanów granicznych nośności (ULS), a zwłaszcza wówczas kiedy przy sprawdzaniu ULS mamy do czynienia z kruchym zachowaniem ośrodka. Nagłe kruche zniszczenie jest trudne do zaobserwowania, a ramy czasowe potrzebne do wprowadzenia działań interwencyjnych są wówczas bardzo ograniczone lub niewystarczające do podjęcia niezbędnych działań przewidzianych przez projektanta.

Monitoring geotechniczny

Eurokod 7 jest aktualnie podstawowym dokumentem, w którym określono zasady projektowania geotechnicznego w Polsce. Integralną częścią projektowania geotechnicznego opartego na tzw. metodzie obserwacyjnej zalecanej w sytuacjach, gdy prognozowanie zachowania się podłoża gruntowego jest trudne do przewidzenia, jest monitoring geotechniczny. W Eurokodzie 7 dużo uwagi poświęcono tej metodzie już na etapie projektowania (pkt 2.8), następnie wznoszenia budowli i/lub szerzej na etapie dozoru i kontroli (pkt 4.5).

Zapisy zawarte w Eurokod 7 (Część 1) stanowią, że na etapie pisania projektu geotechnicznego informacja o monitoringu, a właściwie opis programu monitorowania powinien znaleźć się w nim jedynie w razie potrzeby (czyli nie koniecznie), przez podanie informacji o (pkt 2.8):

- celu zastosowania systemu obserwacji lub pomiarów;
- części konstrukcji, które mają być monitorowane, i stanowisk, na których mają być robione obserwacje;

- częstotliwości, z jaką mają być wykonywane odczyty;
- sposobach oceny wyników (obserwacji i pomiarów);
- zakresie wartości, w których spodziewane są wyniki;
- okresie, przez który monitorowanie ma być prowadzone po zakończeniu budowy;

- podmiotach odpowiedzialnych za wykonanie pomiarów i obserwacji, interpretację otrzymanych wyników oraz konserwację urządzeń.

Zapisy te odnoszą się głównie do monitoringu konstrukcji (SHM – *Structural Health Monitoring* – Systemy Monitorowania Konstrukcji; w polskiej nomenklaturze można niekiedy spotkać skrót SMK), można je jednak również odnieść do monitoringu podłoża.

Na etapie wznoszenia i po zakończeniu budowy monitoring staje się narzędziem do: weryfikacji słuszności poczynionych podczas projektowania założeń odnośnie zachowania się konstrukcji, określenia różnic pomiędzy rzeczywistym zachowaniem podłoża a warunkami przyjętymi w projekcie. Służy również do oceny długotrwałego zachowania się obiektu czy podłoża. Informacje pozyskane w trakcie jego prowadzenia często dają podstawę do dokonywania zmian w projekcie, określenia potrzeb działań zaradczych, czy chociażby zmian w kolejności wykonywania konstrukcji. Monitorowanie może obejmować następujące pomiary (pkt 4.5, Eurokod 7):

- odkształcenia podłoża gruntowego spowodowane przez konstrukcję;
- wartości oddziaływań;
- wartości naprężeń kontaktowych między podłożem gruntowym a konstrukcją;
- ciśnienia wody w porach;
- sił i przemieszczeń (przemieszczenia pionowe i poziome, obroty, odkształcenia postaciowe (w elementach konstrukcji)).

Na podstawie wyniku obserwacji uzyskanych podczas budowy, zaleca się zmienianie długości okresu monitorowania po zakończeniu budowy. Dla obiektów, które mogą niekorzystnie wpływać na znaczne obszary otaczającego środowiska lub ich awaria może stanowić duże ryzyko dla życia lub mienia, zaleca się monitorowanie przez więcej niż dziesięć lat od zakończenia budowy, a nawet przez cały okres użytkowania konstrukcji.

W PN-EN 1997-1:2008 zawarto także zalecenia dla monitorowania w odniesieniu do stateczności ogólnej (pkt 11.7) oraz budowli ziemnych (pkt 12.7).

Ogólną stateczność skarp i zboczy, z uwzględnieniem wpływu istniejących i planowanych konstrukcji, należy sprawdzić ze względu na ULS. Jeśli nie można udowodnić przez obliczenia lub na podstawie przepisów, że występowanie stanów granicznych jest wystarczająco mało prawdopodobne lub założenia przyjęte do obliczeń nie są oparte na wiarygodnych danych, wówczas bardzo przydatnym okazuje się monitoring – w celu zapewnienia danych o (pkt 11.7 (2), PN-EN 1997-1:2008):

- poziomach wód gruntowych lub ciśnieniach wody w porach gruntu (analizy naprężeń efektywnych);
- poziomych i pionowych ruchach gruntu do przewidzenia dalszych odkształceń;
- głębokości i kształcie powierzchni poślizgu w powstałym osuwisku aby oszacować parametry wytrzymałościowe podłoża potrzebne do projektu robót naprawczych;
- prędkości ruchów, żeby umożliwić ostrzeżenie przed zbliżającym się niebezpieczeństwem. W takich przypad-

kach może być przydatny zdalny odczyt cyfrowy, lub zdalny system alarmowy.

W przypadku budowli ziemnych monitorowanie zaleca się stosować gdy (pkt 12.7 (2), PN-EN 1997-1:2008):

- stateczność nasypu, pełniącego rolę wału lub zapory, zależy w dużym stopniu od rozkładu ciśnienia wody w porach gruntu, w nasypie i 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 1997-1:2008):

- pomiary ciśnienia wody w porach wewnątrz i poniżej nasypu;

- pomiary osiadań całego nasypu lub jego części oraz konstrukcji będących pod jego wpływem;

- pomiary przemieszczeń poziomych;

- sprawdzenie parametrów wytrzymałościowych materiału nasypowego podczas budowy;

- analizy chemiczne przed budową, w jej trakcie i po wykonaniu budowy, jeśli wymagana jest kontrola zanieczyszczeń;

- obserwacje dotyczące zabezpieczenia przed erozją;

- sprawdzenie przepuszczalności materiału nasypowego i gruntów podłoża podczas budowy;

- pomiary głębokości przemarzania korony nasypu.

Wykaz podstawowych czynności nadzoru nad budową i monitorowaniem zachowania obiektu inżynierskiego zamieszczono w Załączniku J (PN-EN 1997-1:2008). Lista nie jest pełna, zawiera jednak ważniejsze czynniki, jakie zleca się rozpatrywać podczas nadzorowania budowy lub monitorowania zachowania już ukończonej konstrukcji. Znaczenie poszczególnych działań jest uzależnione od rodzaju monitorowanego obiektu.

Głównym dokumentem, który porządkuje metody monitorowania geotechnicznego jest norma EN ISO 18674. Składa się ona z 10 części, z czego tylko dwie pierwsze zostały opublikowane. Pozostałe części pozostają na etapie opiniowania przez Komitet Techniczny PKN nr 254 (część 3), zostały sporządzone i są na etapie roboczym w ISO (części 4 i 5) lub są dopiero w przygotowaniu (części od 6 do 10). Każda z nich jest opisem innej techniki pomiarowej wykorzystywanej w monitoringu geotechnicznym:

Część 1: Zasady ogólne – opublikowana – lipiec 2015r.

Część 2: Pomiar przemieszczeń wzdłuż linii pomiarowych: Ekstensometry – opublikowana – styczeń 2017 r.

Część 3: Pomiar przemieszczeń w przekrojach pomiarowych: Inklinometry – projekt ukończony (EN) – przewidywany termin publikacji w Polsce – czerwiec 2018 r.

Część 4: Piezometry – sporządzony – na etapie roboczym.

Część 5: Pomiar parcia gruntu (TPC) – sporządzony – na etapie roboczym.

Część 6: Przyrządy do pomiarów hydraulicznych osiadań.

Część 7: Pomiar tensometryczny.

Część 8: Pomiar naprężeń.

Część 9: Geodezyjne przyrządy monitorujące.

Część 10: Pomiar drgań.

Dotyczą one urządzeń terenowych oraz pomiarów wykonywanych:

- w związku z badaniami geotechnicznymi gruntów i skał;

- w czasie projektowania z wykorzystaniem metody obserwacyjnej;

- podczas oceny zachowania się konstrukcji geotechnicznych przed, w trakcie oraz po ich wykonaniu;
- na potrzeby oceny zachowania się podłoża, takiego jak niestateczne skarpy, przebieg konsolidacji itp.;
- do obserwacji i udokumentowania stabilizacji procesów zachodzących w podłożu po ingerencji w jego stan *in situ*, wskutek robót budowlanych (np. obciążenie fundamentami, wykopy, tunelowanie);
- na potrzeby obserwacji i udokumentowania stateczności, użytkowania oraz bezpieczeństwa obiektów, na które mogą mieć wpływ prace geotechniczne;
- dla zapewnienia ciągłości procesu gromadzenia danych;
- do oceny oraz kontroli robót geotechnicznych.

Wymagania dotyczące ogólnych zasad prowadzenia monitorowania podłoża, budowli z nim współpracujących, nasypów oraz robót geotechnicznych w ramach badań geotechnicznych zgodnie z PN-EN 1997-1:2008 oraz PN-EN 1997-2:2009 zawarto w pierwszej części normy PN-EN ISO 18674-1. Określono w niej również pozycje monitoringu geotechnicznego na tle projektowania geotechnicznego w nawiązaniu do etapów budowy obiektów inżynierskich: przed, w trakcie i po ich zakończeniu (ryc. 2).

W załączniku E (PN-EN ISO 18674-1:2015-07E) zestawiono natomiast najbardziej powszechne metody monitorowania wykorzystywane w badaniach geoinżynierskich. Wśród nich wyróżniono pięć głównych grup metod pomiarowych.

Grupa I – monitoring powierzchniowy – uwzględnia metody geodezyjne (metody klasyczne, naziemny i satelitarny skaning laserowy, naziemna i satelitarna interferometria radarowa) oraz wybrane rodzaje urządzeń do pomiaru deformacji (przemieszczeń) powierzchniowych (szczelinomierze, pochylomierze, taśmy, struny, rozety geodezyjne i inne).

Grupa II – monitoring przemieszczeń – pomiary przemieszczeń podłoża lub konstrukcji inżynierskich z wykorzystaniem inklinometrów, ekstensometrów oraz czujników do pomiarów osiadań.

Grupa III – monitoring położenia zwierciadła wody i ciśnienia porowego – dotyczy piezometrów oraz czujników do pomiaru ciśnienia porowego wody.

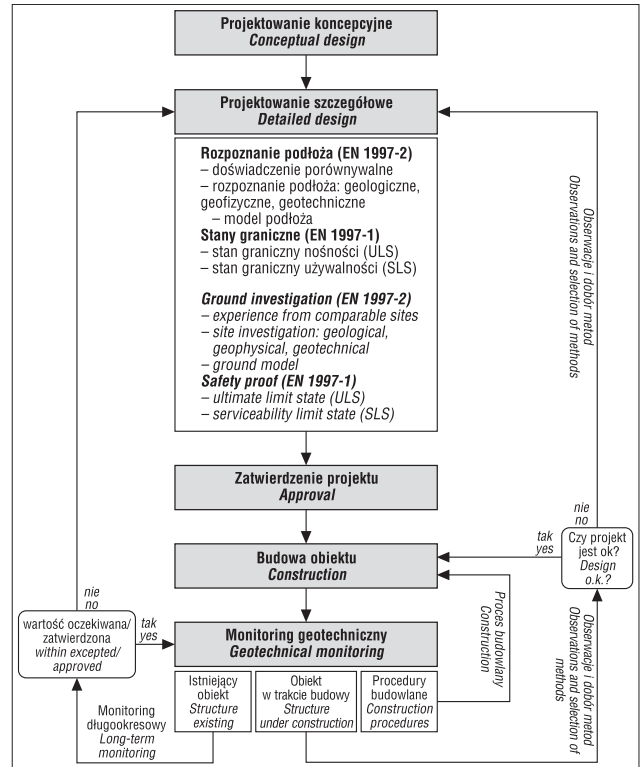
Grupa IV – monitorowanie sił i naprężeń – uwzględnia czujniki, które są wykorzystywane do pomiaru sił i naprężeń rejestrowanych w podłożu lub konstrukcjach inżynierskich.

Grupa V – instrumenty inne – np. instrumenty do pomiaru drgań.

Druga część EN ISO 18674 znajduje zastosowanie podczas pomiarów przemieszczeń wzdłuż linii pomiarowych z wykorzystaniem ekstensometrów. Trzecia – dotyczy pomiarów przemieszczeń z wykorzystaniem inklinometrów. Stosowanie ich obu pozwala na określenie przemieszczeń w dowolnym kierunku.

Części 2 i 3 EN ISO 18674 znajduje zastosowanie w szczególności do:

- monitorowania zachowania się gruntów, nasypów oraz skał;
- monitorowania geotechnicznego obiektów przed, w trakcie oraz po zakończeniu robót (np. istniejące skarpy, nasypy, ściany oporowe wokół wykopów, zapory, tunele);
- sprawdzania projektów geotechnicznych przy zastosowaniu procedur Metody Obserwacyjnej;



Ryc. 2. Pozycja monitoringu geotechnicznego na tle projektowania i budowy obiektów inżynierskich (wg PN-EN ISO 18674-1:2015)

Fig. 2. Position of geotechnical monitoring in connection with the design and construction of engineering structures (according to PN-EN ISO 18674-1: 2015)

- określania kluczowych parametrów geotechnicznych (np. na podstawie wyników badań pali lub prób tunelowania);

- oceny stateczności – przed, podczas oraz po realizacji prac wykonawczych (np. stateczność naturalnych zboczy, skarp wykopów, nasypów, ścian oporowych, fundamentów, tuneli),

- identyfikacji i monitorowania aktywnych powierzchni poślizgu w gruncie (inklinometry).

MONITORING GEOTECHNICZNY W ŚWIETLE PRZEPISÓW PRAWA

Analiza przywołanych w dalszej części aktów prawnych powiązanych z oceną zachowania podłoża i konstrukcji inżynierskich dla celów drogownictwa pozwoliła stwierdzić, że nie wprowadzają one określonych regulacji prawnych w zakresie prowadzenia monitoringu geotechnicznego, a podają jedynie bardzo lakoniczne wytyczne.

W ustawie Prawo geologiczne i górnicze (Ustawa, 2011) brakuje przepisów dotyczących monitoringu geotechnicznego. W swoich zapisach odnosi się ona jedynie do monitoringu środowiskowego, który nie jest przedmiotem rozważań niniejszego artykułu. Również w rozporządzeniu wydanym na jej podstawie, a dotyczącym projektu robót geologicznych (Rozporządzenie, 2011) i zmieniającym je (Rozporządzenie, 2015) nie ma zapisów w tym zakresie. Jedyne formalne wymogi odnosi się do Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Rozporządzenie, 2016) i dotyczy wskazania odcinków tras wymagających monitoringu w ramach projektowania obiektów inwestycji linio-

wych ze względu na niekorzystne warunki geologiczno-inżynierskie występujące w podłożu (§ 23. ust. 1. pkt 10).

Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawienia obiektów budowlanych (Rozporządzenie, 2012), wydane na podstawie ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Ustawa, 1994), również nie przewiduje bardziej rozbudowanych zapisów dotyczących monitorowania podłoża czy konstrukcji w zakresie planowanych i wykonywanych badań geotechnicznych pod inwestycje drogowe. W dokumencie wskazano, że ustalanie geotechnicznych warunków posadawienia oprócz ogólnie znanych zaleceń polega również na: określeniu przemieszczeń podłoża (§ 3.1.5.), ustaleniu wzajemnego oddziaływania obiektu budowlanego i podłoża gruntowego w różnych fazach budowy i eksploatacji, a także ustaleniu wzajemnego oddziaływania obiektu budowlanego z obiektami sąsiadującymi (§ 3.1.6.) czy na ocenie wzajemnego oddziaływania wód gruntowych i obiektu budowlanego (§ 3.1.9.). W rozporządzeniu tym zwrócono również uwagę, że ustalenie przemieszczeń podłoża czy części wskazanych wyżej oddziaływań można wykonać na podstawie analizy danych i oceny prowadzonych obserwacji geodezyjnych (§ 5) lub przez określenie niezbędnego monitorowania na etapie pisania projektu geotechnicznego dla wybudowanego obiektu budowlanego, obiektów sąsiadujących i otaczającego gruntu niezbędnego do rozpoznania zagrożeń mogących wystąpić w trakcie robót budowlanych lub w ich wyniku oraz w czasie użytkowania obiektu budowlanego (§ 10, pkt 10), powołując się tym samym na zapisy zawarte w PN-EN 1997-1. Wyżej wymienione czynności winny być więc podjęte w odniesieniu do obiektów drugiej i trzeciej kategorii geotechnicznej.

Informację o monitoringu geotechnicznym opartym na pomiarach geodezyjnych można również znaleźć w zapisach Rozporządzenia Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa w sprawie rodzaju i zakresu opracowań geodezyjno-kartograficznych oraz czynności geodezyjnych obowiązujących w budownictwie z dn. 21 lutego 1995 r. (Rozporządzenie, 1995), a dotyczących pomiaru przemieszczeń i odkształceń obiektów i jego podłoża zarówno:

- w trakcie realizacji budowy w ramach podstawowych pomiarów (§ 12.1. pkt 2),
- w celu zapewnienia bezpieczeństwa budowy obiektu oraz bezpieczeństwa jego utrzymania (§ 14),
- po zakończeniu budowy i w trakcie jego użytkowania w ramach okresowych pomiarów jeżeli pomiary takie przewidywał projekt budowlany lub na wniosek zainteresowanego podmiotu (§ 18.).

Jedynym rozporządzeniem, które w sposób nieco bardziej szczegółowy określa zakres monitorowania geotechnicznego, jest Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi (Rozporządzenie, 2007), wydanym na podstawie Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Ustawa, 2001). Dotyczy ono obszarów, na których wystąpiły lub istnieje realne zagrożenie wystąpienia ruchów masowych. Poniżej przedstawiono kilka zapisów, które znalazły się w ww. rozporządzeniu:

- w celu przeprowadzenia monitoringu określa się liczbę i rodzaj punktów obserwacyjnych, na podstawie wywiadu i analizy dostępnych w tym zakresie materiałów archiwalnych;

- dla terenów zagrożonych oraz terenów, na których wystąpiły ruchy masowe ziemi, powinno się prowadzić monitoring polegający na pomiarach powierzchniowych w celu określenia prędkości i charakteru tego przemieszczania, przy zastosowaniu w szczególności metod geodezyjnych. W przypadku gdy zastosowanie tych metod nie jest niewystarczające, wprowadza się monitoring polegający na pomiarach wglębnego ruchu mas ziemnych w celu rozpoznania liczby, rodzaju i głębokości położenia powierzchni poślizgu;

- zalecana częstotliwość pomiarów – co najmniej dwa razy w roku (w okresach: marzec–kwiecień oraz wrzesień–październik) oraz każdorazowo po wystąpieniu ekstremalnych zjawisk przyrodniczych, które mogą spowodować ruchy masowe ziemi.

W przedmiotowym zapisie, wskazującym konieczność prowadzenia monitoringu, jego zakres ogranicza się tylko do badania dynamiki ruchów masowych, ponieważ jest on realizowany „w celu określenia prędkości i charakteru tego przemieszczania, a w szczególnych sytuacjach dla rozpoznania liczby, rodzaju i głębokości położenia powierzchni poślizgu”. Dodatkowo w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dn. 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi (Rozporządzenie, 2007), zalecana częstotliwość pomiarów (dwa razy do roku lub po wystąpieniu ekstremalnych zjawisk) skutkuje tylko zapisem w rejestrze. Brak jest informacji o określeniu progowych wartości przemieszczeń, ani o sposobie analizy lub ostrzegania na bazie zgromadzonych danych.

PODSUMOWANIE

Aktualne przepisy wskazują metodę obserwacyjną jako jedno z podejść do projektowania geotechnicznego. Eurokod 7 wyszczególnia warunki jakie muszą być spełnione, żeby było można ją zastosować. Metoda ta jest jedną z tzn. aktywnego projektowania, przeznaczoną dla sytuacji, gdy zachowanie podłoża jest trudne do prognozowania. Jest ona przyjmowana do weryfikacji stanów granicznych. Jej stosowanie może przynieść potencjalne korzyści, w tym oszczędności w zakresie czasu i pieniędzy, przy zapewnieniu akceptowalnego poziomu bezpieczeństwa dla realizowanej inwestycji. Mimo szeregu korzyści, jest stosowana stosunkowo rzadko. Wynika to z niedoprecyzowania warunków, kiedy jej zastosowanie jest korzystniejsze od metod klasycznych. Ograniczone zainteresowanie wykorzystaniem tej metody może także wynikać z obiektywnych trudności spełnienia wymogów związanych ze stosowaniem zapisów zawartych w Eurokodach.

Integralną częścią metody obserwacyjnej jest monitoring geotechniczny. Może być on stosowany jako element oceny zachowania podłoża, konstrukcji na każdym etapie realizacji zadań projektowych, a także jako część oceny stanu bezpieczeństwa podczas jej użytkowania.

W zakresie monitoringu geotechnicznego szczególnie istotne są zapisy Eurokod 7 oraz normy EN ISO 18674. Zapisy zawarte w Eurokod 7 (Część 1) stanowią, że na etapie sporządzania projektu geotechnicznego informacja o monitoringu, a właściwie opis programu monitorowania powinien się znaleźć jedynie w razie potrzeby (czyli nie koniecznie). W dalszej części znajdują się informacje dotyczące m.in. parametrów i właściwości podłoża/konstrukcji, będących przedmiotem pomiarów na różnych etapach prowadzonego projektu, a także ze wskazaniami odnośnie wymaganego zakresu oceny stanu podłoża dla

poszczególnych kategorii geotechnicznych. Zalecania dotyczą szczególnie oceny pracy konstrukcji, stanu podłoża, oceny stateczności skarp i zboczy oraz budowli podziemnych. Norma EN ISO 18674 jest natomiast głównym dokumentem, który porządkuje metody monitorowania geotechnicznego.

Analiza aktów prawnych, powiązanych z oceną zachowania podłoża i konstrukcji inżynierskich dla celów drogownictwa pozwoliła stwierdzić, że nie wprowadzają one określonych regulacji w zakresie prowadzenia monitoringu geotechnicznego. Również przywołane rozporządzenia, albo nie podają określonych wytycznych w zakresie metod pomiarowych czy sporządzania dokumentacji dla monitoringu podłoża (geotechnicznego), bądź podają jedynie bardzo lakoniczne wskazówki.

Monitoring geotechniczny, niezależnie czy będący elementem metody obserwacyjnej, czy prowadzony dla oceny stanu podłoża i/lub konstrukcji, stanowi istotny element bezpiecznego projektowania i wznoszenia obiektów budowlanych.

Artykuł odnosi się do stanu prawnego na dzień 30 stycznia 2017 roku.

Praca została sfinansowana ze środków NCBiR i GDDKiA w ramach projektu Nowoczesne metody rozpoznania podłoża gruntowego w drogownictwie OT1-1E/PIG-AGH-PW. Wyrazy wdzięczności kierujemy pod adresem naszych recenzentów Pana prof. dr. hab. inż. P. Popielskiego oraz drugiego recenzenta za spojrzenie krytycznym okiem na efekt naszej pracy i za bardzo cenne uwagi i wskazówki, które pozwoliły wzbogacić wartość merytoryczną naszej publikacji.

LITERATURA

- BARAN M., ŻAK M. 2015 – Rola i zadania monitoringu na nowoczesnym placu budowy. *Geoinżynieria*, 53: 52–56.
- BORECKA A. 2016 – Monitoring wałów przeciwpowodziowych w systemie bezpieczeństwa powodziowego. *Geoinżynieria*, 57: 60–64.
- BORECKA A., KORZEC K., KESSLER D., MAJERSKI P. 2017 – Zastosowanie testowych czujników pomiaru temperatury w quasi-prze-strzennych (3D) sieciach pomiarowych do zastosowania w hydrotechnicznych budowach ziemnych – wyniki wstępne. *Prz. Geol.*, 65 (10/2): 748–755.
- KORZEC K., BORECKA A., KESSLER D., MAJERSKI P. w druku – Smart levee in Poland. Full-scale monitoring experimental study of levees by different methods. *Computer Science* (w druku).
- GORSKA K., MUSZYŃSKI Z., RYBAK J. 2013 – Displacement monitoring and sensitivity analysis in the observational method. *Stud. Geotech. Mech.*, 35 (3): 25–43.
- KORFF M., DE JONG E., BLES T.J. 2013 – SWOT analysis observational method applications. [W:] Delange P., Desrues J., Frank R., Puech A., Schlosser F. (red.), *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Paris, 2–6 September 2013, 1883–1888.
- NICHOLSON D., TSE C-M., PENNY C. 1999 – The Observational Method in ground engineering – principles and applications. Report 185, CIRIA, London.
- PECK R.B. 1969 – Advantages and limitations of the Observational Method in applied soil mechanics, *Geotechnique*, 19 (2): 171–187.
- PECK R.B. 2001 – The observational method can be simple. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Geotech. Eng.*, 149 (2): 71–74.
- POWDERHAM A.J. 2002 – The observational method – learnig for projects. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Geotech. Eng.*, 155 (1): 59–69.
- PN-EN 1997-1:2008P Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne, z późniejszymi zmianami.
- PN-EN 1997-2:2009P Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego, z późniejszymi zmianami.
- PN-EN ISO 18674-1:2015-07E – Rozpoznanie i badania geotechniczne – Monitorowanie geotechniczne za pomocą urządzeń terenowych – Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN ISO 18674-2:2017-01E – Rozpoznanie i badania geotechniczne – Monitorowanie geotechniczne za pomocą urządzeń terenowych – Część 2: Pomiar przemieszczeń wzdłuż linii pomiarowych: Ekstensometry.
- ROMANIUK D., SORBJAN P., STEFANEK P. 2013 – Zastosowanie metody obserwacyjnej przy bezpiecznym wznoszeniu budowli geotechnicznych na przykładzie Obiektu Unieszkodliwiania Odpadów Wydobyczych Żelazny Most. *Cuprum*, 1 (66): 101–111.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dn. 21 lutego 1995 r. w sprawie rodzaju i zakresu opracowań geodezyjno-kartograficznych oraz czynności geodezyjnych obowiązujących w budownictwie. *Dz.U. z 1995 r. Nr 25 poz. 133.*
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dn. 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi. *Dz.U. z 2007 r. Nr 121 poz. 840.*
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dn. 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji. *Dz.U. z 2011 r. Nr 288 poz. 1696.*
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dn. 1 lipca 2015 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji. *Dz.U. z 2015 r. poz. 964.*
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dn. 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej. *Dz.U. z 2016 r. poz. 2033.*
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dn. 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych. *Dz.U. z 2012 r. poz. 463.*
- STEFANEK P., SORBJAN P., STĘPIEŃ M. 2010 – Monitoring i jego wykorzystanie w eksploatacji i projektowaniu rozbudowy składowiska Żelazny Most. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 8 (1): 105–116.
- SPROSS J., JOHANSSON F., STILLE H., LARSSON S. 2014 – Towards an improved observational method. [W:] Alejano L.R., Peruchó A., Olalla C., Jiménez R. (red.), *Rock Engineering and Rock Mechanics: Structures in and on Rock Masses*, Taylor & Francis Group, London: 1435–1440.
- SPROSS J. 2014 – A critical review of the observational method. *KTH, School of Architecture and the Built Environment (ABE), Civil and Architectural Engineering, Soil and Rock Mechanics.*
- SPROSS J., JOHANSSON F. 2017 – When is the observational method in geotechnical engineering favourable? *Structural Safety*, 66: 17–26.
- USTAWA z dn. 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane. *Dz.U. z 1994 r. Nr 89 poz. 414 z późn. zm.*
- USTAWA z dn. 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze. *Dz.U. z 2011 r. Nr 163 poz. 981 z późn. zm.*
- WOLSKI B. 2006 – Monitoring metrologiczny obiektów geotechnicznych. *Wyd. PKrak.*
- ZEMKE J. 2013 – Scenariusze procesów decyzyjnych w warunkach zarządzania ryzykiem obsługi zobowiązań długoterminowych. *UGdań., Zarządzanie i Finanse*, 11 (3/2): 275–291.