

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Politechnika Warszawska

WYTYCZNE WYKONYWANIA BADAŃ PODŁOŻA GRUNTOWEGO NA POTRZEBY BUDOWNICTWA DROGOWEGO

Część 3:
Geomonitoring. Monitoring
podłoża budowlanego
i elementów konstrukcyjnych

Tom 2
Część szczegółowa. Wytyczne

Wytyczne wykonywania badań podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa drogowego.

Część 3: Geomonitoring podłoża i elementów konstrukcyjnych.

Tom 2 Część szczegółowa. Wytyczne

ZESPÓŁ AUTORSKI:

AGH

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska w zakresie monitoringu geotechnicznego:

dr inż. Aleksandra Borecka, dr inż. Klaudia Sekuła, mgr inż. Mateusz Ptaszek

Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska w zakresie monitoringu geodezyjnego:

dr inż. Przemysław Kuras

Wydział Górnictwa i Geoinżynierii w zakresie monitoringu tuneli oraz na terenach narażonych na szkody górnicze:

prof. dr. hab. inż. Marek Cała, mgr inż. Agnieszka Stopkowicz, mgr inż. Mateusz Blajer, mgr inż. Joanna Jakóbczyk, dr inż. Daniel Wałach

KONSULTACJE:

Firmy: SHM System Sp. z o.o., Sp. komandytowa, ZPPUH Budokop Sp. z o.o. , SATIM Monitoring Satelitarny

ZESPÓŁ OPINIUJĄCY GENERALNEJ DYREKCJI DRÓG KRAJOWYCH I AUTOSTRAD:

mgr Artur Ładoń, mgr Tomasz Skowera, mgr Paweł Zysk

Autorzy:	Nr rozdziału:
A. Borecka	Rozdz. 1, Rozdz. 2, Rozdz. 3, Rozdz. 4.1, Rozdz. 4.2, Rozdz. 4.3, Rozdz. 4.4, Rozdz. 4.5, Rozdz. 4.8
K. Sekuła	Rozdz. 2, Rozdz. 3
M. Ptaszek	Rozdz. 2, Rozdz. 3
P. Kuras	Rozdz. 4.9, Rozdz. 4.10
M. Cała	Rozdz. 4.1 Rozdz. 4.6, Rozdz. 4.7
A. Stopkowicz	Rozdz. 4.1 Rozdz. 4.6, Rozdz. 4.7
M. Blajer	Rozdz. 4.6, Rozdz. 4.7
J. Jakóbczyk	Rozdz. 4.6, Rozdz. 4.7
D. Wałach	Rozdz. 4.6, Rozdz. 4.7

SPIS TREŚCI:

<i>1. WSTĘP</i>	7
<i>2. PLANOWANIE PROGRAMU MONITORINGU</i>	8
2.1. Zdefiniować wejściowe warunki przedsięwzięcia (projektu)	9
2.2. Przewidzieć mechanizmy wystąpienia niekorzystnych zjawisk.....	9
2.3. Zdefiniować pytania/problemy, które wymagają odpowiedzi	9
2.4. Zdefiniować cel prowadzenia monitoringu (przeznaczenia instrumentu/metody pomiarowej)	11
2.5. Wybór wielkości (pomiarów), które mają być monitorowane	11
2.6. Oszacować przewidywalne wielkości (zakresy) zmian.....	12
2.7. Opracować plan działań zaradczych (interwencyjnych)	13
2.8. Przypisać zadania uczestnikom realizowanego przedsięwzięcia - faza projektowania, budowy i eksploatacji.....	13
2.9. Wybór instrumentów(narzędzi)/metod pomiarowych.....	15
2.10. Wybór lokalizacji instrumentów pomiarowych	17
2.11. Określić potrzebę automatyzacji	19
2.12. Opracować rejestr czynników mogących mieć wpływ na mierzone wielkości.....	20
2.13. Ustalić procedury zapewniające prawidłowość mierzonych wielkości.....	20
2.14. Sporządzić listę zadań przypisanych dla każdego instrumentu/metody pomiarowej wraz z opisem celu jego zastosowania	20
2.15. Sporządzić wstępny budżet (oszacować wstępne koszt)	21
2.16. Sporządzić wstępny raport z projektowanego systemu monitorowania.....	21
2.17. Sporządzić specyfikację zamówień urządzeń/metod pomiarowych	22
2.18. Plan instalacji instrumentów pomiarowych	23
2.19. Plan regularnej kalibracji i konserwacji	23
2.20. Sposób gromadzenia danych, ich przetwarzania, prezentacji, interpretacji, raportowania i wdrażania	23
2.21. Wymagania dla obsługi terenowej/serwisowej.....	23
2.22. Aktualizacja budżetu.....	24
<i>3. RAPORTOWANIE</i>	25
3.1. Raport z instalacji urządzeń monitorujących	25
3.2. Raport z monitoringu.....	26
<i>4. ZAKRES MONITORINGU</i>	28
4.1 Czas prowadzenia monitoringu.....	29
4.2 Częstotliwość pomiaru.....	30

4.3. Monitorowanie zmian położenia zwierciadła wody.....	31
4.4 . Posadowienie nasypów drogowych na podłożu słabym (słabonośnym)	33
4.5 Osuwiska zagrażające zabudowie i infrastrukturze drogowej.....	38
4.6. Tereny górnicze – potencjalne obszary występowania szkód górniczych.....	44
4.7. Obiekty budownictwa podziemnego.....	48
4.8. Głębokie wykopy.....	52
4.9. Konstrukcje oporowe.....	60
4.10. Obiekty mostowe.....	66
<i>Załączniki</i>	<i>76</i>
<i>Załącznik 1 Lista kontrolna – planowanie monitoringu</i>	<i>77</i>
<i>Załącznik 2 Przykładowa karta przypisania zadań poszczególnym uczestnikom</i>	<i>82</i>
<i>Załącznik 3 Przykładowa karta oceny środowiska pracy instrumentów pomiarowych</i>	<i>83</i>
<i>Załącznik 4 Przykłady i terminologia</i>	<i>84</i>
Załącznik 4.1 Przykłady geotechnicznych i geodezyjnych urządzeń/metod pomiarowych wykorzystywanych w monitoringu.....	84
Załącznik 4.2 Przykłady urządzeń pomiarowych wykorzystywanych w monitoringu meteorologicznym.....	85
Załącznik 4.3 Przykłady geotechnicznych i geodezyjnych urządzeń/metod pomiarowych wykorzystywanych w monitoringu w zależności (na podstawie PN-EN ISO 18674-1:2015 oraz Mazzanti 2017).....	86
<i>Załącznik 5 Główne zalety i ograniczenia metod gromadzenia danych</i>	<i>88</i>
<i>Załącznik 6 Spis wykorzystanych materiałów</i>	<i>89</i>
Załącznik 6.1 Przepisy prawne	89
Załącznik 6.2 Normy	89
Załącznik 6.3 Wytyczne, instrukcje, przewodniki.....	90
Załącznik 6.4 Literatura.....	90
Załącznik 6.5 Strony internetowe.....	94

1. WSTĘP

Powody budowy i instalacji oprzyrządowania (instrumentów) oraz wykorzystania innym metod pomiarowych dla celów monitoringu można opisać w kilku punktach, a mianowicie (Slope Indicator 2004):

Wstępne rozpoznanie terenu

Instrumenty/metody pomiarowe mogą być używane do opisu początkowych warunków jakie panują na danym obszarze badań. Typowe parametry jakie mierzy się to chociażby ciśnienie porowe, położenie zwierciadła wody (z uwzględnieniem zmian nawet w krótkim czasie), ocena przepuszczalność ośrodka gruntowego lub skalnego, ocena stateczności czy przestrzenna zmienność (metody geofizyczne).

Weryfikacja założeń projektowych

Instrumenty mogą służyć do weryfikacji założeń projektowych i sprawdzania czy zachowanie się obiektu/podłoża jest takie jak przewidywano. Dane z instrumentów/metod pomiarowych z początkowej fazy projektu mogą ujawnić potrzebę (lub możliwość) zmodyfikowania projektu w późniejszych etapach.

Kontrola powstawania konstrukcji

Instrumenty/metody pomiarowe służą do monitorowania efektów budowy. Dane z nich mogą pomóc inżynierom określić, czy tempo prac jest właściwe bez ryzyka wystąpienia awarii.

Kontroli jakości prowadzonych prac

Oprzyrządowanie może być wykorzystywane zarówno do egzekwowania jakości wykonania inwestycji, jak i udokumentowania, że praca została wykonana zgodnie ze specyfikacjami (projektem).

Bezpieczeństwa

Instrumenty/metody pomiarowe mogą zapewnić wczesne ostrzeżenie o zbliżających się zagrożeniu, umożliwiając czas na bezpieczną ewakuację z zagrożonego obszaru i czasu na wdrożenie działań zaradczych. Monitorowanie bezpieczeństwa wymaga szybkiego pozyskiwania, przetwarzania i prezentacji danych, dzięki czemu decyzje można podejmować szybko.

Ochrony prawnej

Dane z instrumentu mogą dostarczyć dowodów na obronę prawną projektantów i wykonawców, jeżeli właściciele sąsiednich nieruchomości stwierdzą, że realizacja przedsięwzięcia spowodowała szkody w ich nieruchomościach.

Skuteczności zrealizowanego przedsięwzięcia

Instrumenty pomiarowe mogą być wykorzystywane przy monitorowaniu skuteczności działania wybudowanej konstrukcji. Na przykład monitorowanie obciążeń ciągłych lub kotew skalnych a ruchu w obrębie zbocza. Może to stanowić na przykład wskazówkę dotyczącą działania systemu odwadniającego zainstalowanego na ustabilizowanym zboczu lub jakości wykonania zabezpieczenia.

DOŚWIADCZENIE POKAZUJE, ŻE KOSZTY ZAPOBIEGANIA AWARIOM SĄ ZAWSZE
ZNACZNIE MNIEJSZE OD USUWANIA ICH SKUTKÓW (Bednarski i in. 2017).

2. PLANOWANIE PROGRAMU MONITORINGU

Program monitoring sporządzono bazując na literaturze światowej (Dunncliff 1993, Raport FHWA 1998) oraz zapisach jakie znalazły się w PN-EN 1997-1:2008.

Monitoring budowli drogowych i mostowych wykonuje się na etapach:

- badań podłoża – założenie punktów monitoringu,
- budowy – uzupełnienie punktów i obserwacje,
- eksploatacji – uzupełnienie punktów i obserwacje.

Rodzaj i zakres monitoringu powinien być dostosowany do konstrukcji budowli (nasypy, wykopy, tunele, obiekty mostowe i kubaturowe), warunków geologicznych i geotechnicznych panujących podłoża oraz od możliwych zagrożeń, czyli również od kategorii geotechnicznej, którą ustala się w zależności od stopnia skomplikowania warunków gruntowych oraz konstrukcji obiektu, charakteryzujących możliwości przenoszenia odkształceń i drgań, stopnia złożoności oddziaływań, stopnia zagrożenia życia i mienia awarią konstrukcji, jak również od wartości zabytkowej lub technicznej obiektu budowlanego i możliwości znaczącego oddziaływania tego obiektu na środowisko.

W przypadku **1 kategorii geotechnicznej** ocena zachowania może być prosta, jakościowa i dokonana na podstawie wyłącznie obserwacji (np. wizualnej) zachowania się obiektów, podłoża obiektów i ich otoczenia, czyli podejmowane działania nie wykraczają poza typowe wizje terenowe, nadzór robót i przeglądy eksploatowanej budowli i jej otoczenia. W przypadku stwierdzenia dużych odstępstw od przewidywanych warunków (osiadania, przemieszczenia, widocznych deformacje nawierzchni, rysy czy spękania konstrukcji, itp) należy zmienić kategorię geotechniczną na wyższą i zaprojektować odpowiednie pomiary monitoringowe (PN-EN 1997-1, GDDP, Warszawa, 1998).

W przypadku **2 kategorii geotechnicznej** ocena zachowania oprócz obserwacji wizualnej, opiera się zasadniczo na pomiarach przemieszczeń (poziomych, pionowych) wybranych punktów konstrukcji i podłoża, kontroli stanów wód podziemnych oraz ciśnienia porowego. Na etapie planowania monitoringu jeśli stwierdzi się niepokojących zjawiska mające wpływ na konstrukcje, podłoża czy zagrażające życiu i mieniu należy zaplanować i wykonać dodatkowe pomiary (np. pomiary naprężeń konstrukcji, parcia, drgań, przechyleń, temperatury, itp.) oraz uwzględnić czynniki mające wpływ na uzyskiwane wyniki (np. opady, ciśnienia atmosferyczne, drgania, itp.).

W przypadku stwierdzenia znacznych rozbieżności w stosunku do ustalonych w dokumentacjach geologiczno-inżynierskich, geotechnicznych czy projektowych (zmiana np. konstrukcji obiektu monitorowanego) należy rozważyć odpowiednie zabiegi, ewentualnie podwyższyć kategorię geotechniczną i zaprojektować dodatkowe lub przeprojektować zaplanowane pomiary monitoringowe.

W przypadku **3 kategorii geotechnicznej** obserwacje i pomiary monitoringowe powinny być prowadzone zgodnie z programem monitorowania opracowanym na etapie badań podłoża (patrz pkt. 3), jeśli jest to konieczne to jeszcze przed fazą projektowania i uzupełnianym w miarę potrzeb podczas budowy obiektów. Zakres pomiarów i badań monitoringowych powinien być dostosowany do obiektu (nasyp, wykop, tunel, obiekt mostowe, kubaturowe itd.) oraz procesów geodynamicznych zachodzących w podłożu (GDDP, Warszawa, 1998).

Planowanie i budowa systemu monitorowania powinna zawsze wynikać z **konkretnie określonych potrzeb i rozwiązań projektowych**. W większości wypadków zakresy, jak i potrzeby będą inne, dlatego **powinien być on „szyty na miarę”** lub jeśli pozwala na to sytuacja można wykorzystać podobne rozwiązania pod warunkiem występowania podobnych warunków wejściowych. Monitoring to nie tylko wybór odpowiednich instrumentów, to realizowany krok po kroku proces,

który zaczyna się od zdefiniowania problemu, a kończy na jego wdrożeniu i wykorzystywaniu pozyskanych danych. Każdy kolejny krok tego procesu ma kluczowe znaczenie dla sukcesu lub porażki całego programu.

Pierwszy etap to zaplanowanie programu monitoringu, który jest ściśle **powiązany z procesem projektowania**. Realizowany jest wówczas podobny schemat działań, jaki prowadzi się przy realizacji prac projektowych. Zaczyna się od zdefiniowania celu, a następnie poprzez realizację szeregu logicznie postępujących po sobie kroków, kończy implementacją (wdrożeniem) pomierzonych danych w proces decyzyjny. **Nie dopuszczalne jest** postępowanie w sposób odwrotny, najpierw wybór instrumentów pomiarowych, wykonanie pomiarów a dopiero później zastanawianie się nad wykorzystaniem uzyskanych danych.

Prawidłowe planowanie wymaga **współpracy projektantów z osobami posiadającymi specjalistyczną wiedzę w zakresie stosowania poszczególnych instrumentów i metod pomiarowych**. Uznając, że oprzyrządowanie jest jedynie narzędziem, a nie celem samym w sobie, **zespół projektowy powinien ściśle współpracować z zespołem odpowiedzialnym za monitoring**. Prawidłowe planowanie programu monitoringu musi być przeprowadzone zgodnie ze wskazówkami przedstawionymi w tabeli 1 i omówionymi dokładnie w punktach 2.1-2.22. Na ich bazie sporządzono listę kontrolną (załącznik 1) wraz ze zdefiniowaniem głównych punktów. Wszystkie kroki, o ile jest to możliwe, powinny być zakończone przed przystąpieniem do prac terenowych.

2.1. Zdefiniować wejściowe warunki przedsięwzięcia (projektu)

Jeśli projektant/specjalista odpowiedzialny za planowanie programu monitorowania zapoznał się wcześniej z przedsięwzięciem (projektem), ten krok zwykle nie będzie potrzebny. Jeśli jednak program monitorowania jest planowany przez inne osoby, należy dołożyć szczególnych starań, aby zapoznać się z wejściowymi warunkami przedsięwzięcia.

Przez warunki przedsięwzięcia (projektu) będziemy rozumieć zespół informacji pozyskanych w celu prawidłowego zaprojektowania inwestycji. Obejmuje on: rodzaj i strukturę planowanego przedsięwzięcia, budowę geologiczną i właściwości geotechniczne podłoża, warunki hydrogeologiczne (wodne), stan pobliskich obiektów inżynierskich i innych konstrukcji, warunki środowiskowe oraz planowany sposób realizacji budowy, historie. Jeśli program monitoringu tworzony jest ze względu na możliwość wystąpienia sytuacji kryzysowej (np. uaktywnienie osuwiska, szkody górnicze itp.), należy zapoznać się również ze wszystkimi informacjami z nią związanymi.

2.2. Przewidzieć mechanizmy wystąpienia niekorzystnych zjawisk

Przed opracowaniem programu monitoringu należy przedstawić co najmniej jedną roboczą hipotezę dotyczącą możliwego mechanizmu wystąpienia zjawisk niekorzystnych, które mają być monitorowane (np. osuwiska – głębokość występowania stref nieciągłości, kierunek i prędkość przemieszczeń; występowanie gruntów słabonośnych pod planowanym nasypem drogowym – możliwość wystąpienia osiadań, wypierania, itp.). Hipotezy te powinny być podparte kompleksową (obszerną) wiedzą o warunkach przedsięwzięcia, jak to opisano powyżej.

2.3. Zdefiniować pytania/problemy, które wymagają odpowiedzi

„Każde urządzenie/metoda pomiarowa wykorzystywane w projekcie powinny zostać tak dobrane i zainstalowane, aby dawały odpowiedź na konkretnie postawione pytanie. Jeżeli nie ma pytań, nie są potrzebne pomiary” - Ralph B. Peck (przedmowa z Dunnicliff 1993).

Tabela 1 Kolejne kroki na etapie planowania i wdrażania programu monitoringu (Raport FHWA 1998)

FAZA	KOLEJNE KROKI
Planowanie/ projektowanie	Zdefiniować wejściowe warunki projektu Przewidzieć mechanizmy wystąpienia niekorzystnych zjawisk (np. geologicznych) Zdefiniować pytania/problemy, które wymagają odpowiedzi Zdefiniować celu prowadzenia monitoringu Wybór wielkości, parametrów które mają być monitorowane Oszacować przewidywane wielkości (zakresy) zmian Opracować plan działań zaradczych (interwencyjnych) Przypisać zadania uczestnikom realizowanego przedsięwzięcia (projektu) - faza projektowania, budowy i eksploatacji Wybór instrumentów/metod pomiarowych Wybór lokalizacji instrumentów pomiarowych Określić potrzebę automatyzacji Opracować rejestr czynników mogących mieć wpływ na mierzone wielkości Ustalić procedury zapewniającej prawidłowość mierzonych wielkości Sporządzić listę zadań przypisanych dla każdego instrumentu/metody pomiarowej wraz z opisem celu ich zastosowania Sporządzić wstępny budżet (oszacowanie kosztów) Sporządzić wstępny raport z projektowanego systemu monitorowania Sporządzić specyfikację zamówień instrumentów/metod pomiarowych Plan instalacji instrumentów pomiarowych Plan regularnej konserwacji i kalibracji instrumentów. Sposób gromadzenia danych, ich przetwarzania, prezentacji, interpretacji, raportowania i wdrażania Wymagania dla obsługi terenowej/serwisowej Aktualizacja budżetu
Wykonanie	Zamówienie/ zakup instrumentów Wykonanie testów zgodności przed instalacją Zainstalowanie instrumentów Wykonanie testów zgodności po instalacji Kalibracja i konserwacja instrumentów Zbieranie danych Przetwarzanie i prezentacja dane Interpretacja danych Zgłoszenie wniosków Impementacja (wdrożenie)

Tak więc, każdy instrument czy metoda pomiarowa wymienione w projekcie monitoringu powinny być tak dobrane i usytuowane/przeprowadzone, aby mogły udzielić odpowiedzi na konkretnie zadane pytania/problemy badawcze, które mogą się pojawić na różnych etapach realizacji inwestycji (faza wstępna, faza projektowania, budowy, eksploatacji). Zdefiniowanie instrumentów/metod pomiarowych powinno być poprzedzone sporządzeniem listy problemów/pytań, na które poszukiwane są odpowiedzi. Jeśli użycie danej metody czy instrumentu pomiarowego nie daje odpowiedzi na żadne z postawionych sobie wcześniej pytań, nie powinny być one użyte.

Zagadnienia powinny być sformułowane na początku projektu i aktualizowane w trakcie jego realizacji po uwzględnieniu informacji z pomiarów.

2.4. Zdefiniować cel prowadzenia monitoringu (przeznaczenia instrumentu/metody pomiarowej)

Instrumenty/metody pomiarowe nie powinno być używane w mniejszym stopniu niż jest to wskazane. Ich użycie powinno być uzasadnione potrzebą uzyskania informacji pomocnych przy realizacji przedsięwzięcia (projektu). Jeśli projektanci/inżynierowie nie są w stanie podać wyraźnego celu planowanego monitoringu powinni odstąpić od niego, zaprzestać dalszych działań i zamknąć program.

Peck (1984) stwierdza: „*Uzasadnione użycia oprzyrządowania jest tak istotne, a pytania, na które instrumenty pomiarowe i obserwacja mogą odpowiedzieć, są tak ważne, że nie powinniśmy ryzykować dyskredytowania ich poprzez niewłaściwe lub niepotrzebne ich używanie*”.

Poniżej zebrano kilka przykładowych celów, które mogą przemawiać za wdrożeniem monitoringu:

- przewidywanie i unikanie awarii (ujawnianie niewiadomych),
- ocena założeń projektowych (ograniczenie ryzyka),
- minimalizacja uszkodzeń obiektów sąsiadujących,
- kontrakty w formule zaprojektuj i zbuduj - metoda obserwacyjna,
- kontrola budowy i zarządzanie nią (unikanie opóźnień),
- opracowanie metod naprawczych, przy rozwiązywaniu problemów,
- informacja dla zainteresowanych stron (odpowiedzi na pytania i złagodzenie obaw),
- wspomaganie projektów wrażliwych politycznie,
- ograniczanie sporów sądowych,
- odszkodowania,
- pogłębienie stanu wiedzy , itp.

Systemy monitorowania powinny być zatem projektowane w taki sposób, aby dostarczały odpowiedzi na konkretnie postawione pytania, nie narażając jednocześnie użytkownika na nieuzasadnione koszty (Bednarski i in. 2017).

2.5. Wybór wielkości (pomiarów), które mają być monitorowane

Na tym etapie planowania monitoringu należy odpowiedzieć sobie na pytanie – *Jakie wielkości/parametry należy monitorować? Które z nich będą najbardziej znaczące ze względu na postawiony problem?* Różnice w ich wyborze mogą wynikać zarówno z rozpatrywanych przyczyn jak i skutków.

Na przykład, główną wielkością monitorowaną w trakcie oceny stateczności skarp/zboczy są zwykle przemieszczenia, które można uznać za skutek (efekt), ale ich przyczyną są np. opady atmosferyczne, zmieniające się warunki gruntowo-wodne, działalność człowieka (np. podcinanie, dociążanie skarp/zboczy) itp.. Monitorując zarówno przyczynę, jak i skutek, możemy znacznie dokładniej określić relację pomiędzy nimi, a następnie podjąć odpowiednie działania w celu wyeliminowania wszelkich niepożądanych czynników poprzez usunięcie przyczyny.

Znacząca część wykonywanych pomiarów zależy od warunków panujących w bardzo małej przestrzeni czyli zależy od jej lokalnych cech. Dotyczy to głównie pomiarów punktowych, które nie do końca odzwierciedlają rzeczywiste warunki na większą skalę. W takim przypadku może być wymagane zwiększenie liczby punktów pomiarowych lub podparcie się innymi metodami (np. metodami geofizycznymi, teledetekcyjnymi) pozwalającymi na przestrzenne zobrazowanie zachodzących zjawisk. Z drugiej strony wiele urządzeń do pomiaru np. przemieszczeń reaguje na ruch z dużej, reprezentacyjnej strefy (np. inklinometry). Dane uzyskane z takiego pojedynczego instrumentu pomiarowego mogą być zatem istotne a pomiary deformacji wiarygodne

i jednoznaczne.

Poniżej przedstawiono przykładowy zestaw wielkości (pomiarów), które pozwalają monitorować proces konsolidacji nasypów o planowanym posadowieniu na gruntach słabonośnych:

- wyznaczanie profili osiadań gruntu,
- pomiar przemieszczeń pionowych wybranych punktów na powierzchni,
- pomiar przemieszczeń poziomych gruntu,
- pomiar zmian ciśnienia porowego wody,
- pomiar zmian wód położenia zwierciadła wody gruntowej,
- pomiar drgań,
- pomiar odkształceń geosyntetyków, itp.

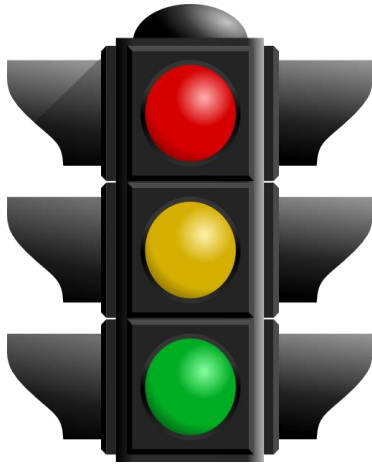
2.6. Oszacować przewidywalne wielkości (zakresy) zmian

Zdefiniowanie przewidywanych wielkości zmian jest konieczne żeby można było dobrać tak przyrząd/metodę pomiarową aby spełniał żądany zakres pomiaru, oraz charakteryzował się odpowiednią czułością i dokładnością. Oszacowanie maksymalnej możliwej wartości lub maksymalnej wartości procentowej prowadzi do wyboru zakresu pomiarowego danego przyrządu. Oszacowanie minimalnej wartości procentowej pozwala na dobór instrumentu o odpowiedniej czułości lub dokładności. Należy pamiętać, że szukanie wysokiej dokładności nie zawsze idzie w parze z uzyskaniem odpowiedniej czułości. Wysoka dokładność ma znaczenie w przypadku gdy niewielka zmiana wartości mierzonego parametru może mieć duże znaczenie lub gdy czas możliwy do określenia trendów jest krótki. Istnieje tendencja do poszukiwania niepotrzebnie wysokiej dokładności, gdy w rzeczywistości wysoka dokładność powinna być poświęcana na rzecz wysokiej niezawodności. Wysoka dokładność powiązana jest z delikatnością i kruchością elementów pomiarowych.

Jeśli prowadzone w ramach monitoringu pomiary przeznaczone są do celów kontroli konstrukcji lub ich bezpieczeństwa, należy z góry ustalić wartości liczbowe wskazujące na potrzebę (konieczność) podjęcia działań zaradczych. Wartości te są określane jako poziomy ostrzegania o zagrożeniach, wartości odpowiedzi lub poziomy alertów. Wartości te mogą być na przykład wyrażone jako prędkość zmian a nie tylko wielkości bezwzględne. W celu określenia tych wartości należy wybrać odpowiednią ilość danych jaka potrzebna jest do obliczeń w celu sprawdzenia hipotezy roboczej a następnie określenia wartości parametru w najbardziej niekorzystnych warunkach.

Te kroki pozwalają na określenie poziomów ostrzegawczych, informujących o zagrożeniu. Takich poziomów można określić kilka w zależności od wymogów ogólnej oceny zachowania podłoża/konstrukcji jak i wystąpienia mechanizmów mogących być przyczyną problemów i awarii. Bardzo przydatną staje się tutaj koncepcja ostrzegania o ryzyku oparta na trzech poziomach: zielonym, żółtym i czerwonym, które wykorzystujemy przy projektowaniu opartym o tzn. metodę obserwacyjną (PN-EN 1997-1) poprzez ustalenie granice zachowań dopuszczalnych, a których przekroczenie uruchamia komunikaty ostrzegawcze (rysunek 1).

Poziom zielony oznacza – stan bezpieczny - wszystko jest w porządku, poziom żółty sygnalizuje konieczność stosowania środków ostrożności, w tym zwiększenia częstotliwości monitorowania, a poziom czerwony wskazuje na konieczność podjęcia działań zaradczych (interwencyjnych) w odpowiednim czasie.



wskazuje na potrzebę podjęcia działań zaradczych (interwencyjnych) - wdrożenie zaplanowanych modyfikacji, zastopować postęp i zrobić wszystko, co możliwe, aby spowolnić ruchy, wdrożyć procedury awaryjne (działania interwencyjne)

etap podejmowania decyzji; zachowanie ostrożności i przygotowanie się na niebezpieczeństwo; zwiększenie częstotliwości monitorowania, przejrzanie obliczeń - wskazanie konieczności zastosowania środków ostrożności; rozpoczęcie wdrażania środków zaradczych, jeśli trendy wskazują, że wkrótce może zostać osiągnięty poziom czerwony

stan bezpieczny - wszystko jest w porządku

Rysunek 1 Poziomy ostrzeżenia o zagrożeniu

Należy również pamiętać, że system monitorowania, który wskutek BŁĘDNYCH OBLICZEŃ, wygeneruje kilka razy NIEPOTRZEBNE OSTRZEŻENIA szybko straci wiarygodność, co może zniweczyć wysiłek włożony w jego tworzenie, ale również zmarnować pozytywny potencjał jaki niesie za sobą wczesne ostrzeżenie.

Jeśli istnieją odpowiednie przepisy regulujące dopuszczalne wartości mierzonych parametrów należy się do nich dostosować, w innych przypadkach należy bazować na doświadczeniach projektanta i zespołu eksperckiego z zakresu monitoringu.

Nie zezwala się zmieniać poziomów bezpieczeństwa w ramach danego projektu, bez porozumienia z projektantem i inwestorem – zmiany wyłącznie za zgodą projektanta oraz inwestora .

2.7. Opracować plan działań zaradczych (interwencyjnych)

Nieodłącznym elementem każdego monitoringu jest bezwzględna konieczność ustalenia z wyprzedzeniem działań zaradczych (interwencyjnych) jakie należy wprowadzić w momencie powstania zagrożenia (Peck, 1973; PN-EN 1997-1) jeśli monitorowanie wykáže zachowanie wykraczające poza granice zachowań dopuszczalnych. Konieczne jest aby podjęcie wszelkich działań, opierało się na odpowiednich, wcześniej zdefiniowanych planach.

Każdy z określonych wcześniej poziomów ostrzegawczych wymaga innego planu. Planowanie powinno uwzględniać dostępność niezbędnych sił i środków, aby działania zaradcze mogły przebiegać z minimalnym i akceptowalnym opóźnieniem a personel odpowiedzialny za interpretację danych pomiarowych posiadał odpowiednie kwalifikacje do podjęcia decyzji o wdrożeniu działaniach zaradczych.

Pomiędzy personelem projektującym (projektant, specjalista od monitoringu) a wykonawcami oraz inwestorem powinien być zachowany otwarty *kanał komunikacyjny*, aby można było w dowolnym momencie omówić działania zaradcze. Należy wcześniej ustalić w jaki sposób wszystkie strony zostaną o nich uprzedzone (np. SMS, email, aplikacja telefoniczna,...).

2.8. Przypisać zadania uczestnikom realizowanego przedsięwzięcia - faza projektowania, budowy i eksploatacji

Przy przypisywaniu zadań uczestnikom realizowanego przedsięwzięcia, strona najbardziej zainteresowana uzyskaniem z niej danych powinna ponosić bezpośrednią odpowiedzialność za ich pozyskanie. Poszczególne zadania związane z realizacją programu monitorowania wraz

z możliwością przypisania ich poszczególnym uczestnikom zostały przedstawione w Tabeli 2 oraz załączniku 2. Bardzo istotne jest, aby taka tabela została wypełniona już na etapie planowania, wskazując strony odpowiedzialne za poszczególne zadanie. Oczywiście niektóre zadania będą obejmowały udział więcej niż tylko jednej strony. Specjalistami od urządzeń pomiarowych mogą być przecież pracownicy właściciela/inwestora, projektant lub inni niezależni eksperci posiadający specjalistyczną wiedzę z zakresu instrumentów/metod pomiarowych. Wszystkie zadania przypisane do specjalistów od urządzeń pomiarowych powinny być, jeśli jest to możliwe, realizowane pod nadzorem jednej osoby. Trudności mogą wystąpić jeśli dodatkowo prowadzone są pomiary geodezyjne, teledetekcyjne lub geofizyczne wymagających ekspertów z danych dziedzin, wówczas liczba uczestników zwiększa się.

CELEM STAWIANYM SOBIE NA TYM ETAPIE POWINNO BYĆ PRZYPISANIE ZADAŃ OSOBIE/OSOBOM, KTÓRE MAJĄ NAJWIĘKSZĄ MOTYWACJĘ DO OSIĄGNIĘCIA WYSOKIEJ JAKOŚCI DANYCH

Tabela 2 Przykładowa karta przypisania zadań poszczególnym uczestnikom

ZADANIE	ODPOWIEDZIALNOŚĆ			
	WŁAŚCICIEL/ INWESTOR	PROJEKTANT	SPECJALISTA OD URZĄDZEŃ POMIAROWYCH	WYKONAWCA ROBÓT
Zaplanowanie programu monitoringu				
Pozyskanie i kalibracja instrumentów pomiarowych				
Instalacja instrumentów pomiarowych				
Zarządzenie i kalibracja instrumentów pomiarowych w regularnym harmonogramie				
Tworzenie i aktualizacja harmonogramu zbierania danych				
Zbieranie danych				
Przetwarzanie i prezentacja danych				
Interpretacja i raportowanie danych				
Podjęcie decyzji w sprawie wdrożenia wyników				

Jeśli program instalacji urządzeń pomiarowych został zainicjowany przez właściciela/inwestora (obecnie częsta praktyka), niekiedy wykonawca może uznać to za ingerencję, kontrolę czy utrudnianie prac budowlanych. W takim przypadku udział i odpowiedzialność wykonawcy powinna być zminimalizowana. Wykonawca oczywiście odpowiada za przygotowanie placu robót pod instalację (pod warunkiem, że nie zostało to przypisane innej firmie) oraz dostęp do instrumentów pomiarowych w fazie zbierania danych, ale wybór, zamówienie, kalibracja początkowa, instalacja urządzeń pomiarowych a także ich regularna kalibracja i konserwacja, gromadzenie, przetwarzanie i prezentacja danych powinny być pod bezpośrednią kontrolą wybranego przez inwestora specjalisty. Jeśli niektóre z tych zadań realizowane są przez wykonawcę robót, część osób uważa, że jakość danych może być wówczas wątpliwa, jednocześnie uznając, że montaż, interpretacja danych i raporty powinny być bezpośrednim obowiązkiem: inwestora,

projektanta lub specjalisty od urządzeń pomiarowych, wybranego przez inwestora. Wszystko zależy od motywacji każdej ze stron.

Jeśli jednak wykonawca ma ekonomiczną i zawodową motywację do uzyskania wiarygodnych danych, powinien być przypisanych do głównych zadań.

Jeśli program instalacji urządzeń monitorujących został zainicjowany przez wykonawcę, oczywistym jest, że będzie on odpowiedzialny za wszystkie zadania.

Wypełniając kartę przypisania zadań (Tabela 2, załącznik 2) może okazać się, że brak jest personelu, który można byłoby przypisać do wszystkich zadań, wówczas zachodzi konieczność zatrudnienia dodatkowych osób lub zmiany kierunku programu monitorowania. Na przykład jeśli personel odpowiedzialny za zbieranie danych jest niewystarczający, zasadnym może okazać się wykorzystanie automatycznych systemów zbierania danych, co ma istotny wpływ na dobór instrumentów pomiarowych.

Przypisanie zadań powinno obejmować również zaplanowanie kanałów łączności (komunikacji) i raportowania. Zadania powinny jasno określać kto ponosi odpowiedzialność za wdrożenie wyników obserwacji.

2.9. Wybór instrumentów(narzędzi)/metod pomiarowych

Kroki opisane w poprzednich ośmiu podpunktach powinny być zakończone przed przystąpieniem do wyboru instrumentów/metod pomiarowych. Przy ich wyborze pożądaną cechą jest ich niezawodność. Nieodłączną cechą niezawodności jest maksymalna prostota. Niski koszt instrumentu pomiarowego oraz dążenie do minimalnego kosztu początkowego, nigdy nie powinny mieć wpływu na jego wybór. Oceniając pod kątem ekonomicznym potencjalne instrumenty/metody pomiarowe należy wziąć pod uwagę całkowity koszt zakupu, kalibracji, instalacji, utrzymania (konserwacji), monitorowania jak i przetwarzania danych.

Często stan wiedzy użytkownika w dziedzinie możliwości wykorzystania i zastosowania danego sprzętu pomiarowego jest daleki od stanu faktycznego. Obowiązkiem użytkownika jest zatem odpowiedni poziom „zrozumienia” wybranego przez siebie oprzyrządowania (patrz Geomonitoring – część 1). Przed wybraniem instrumentów pomiarowych powinien on zatem skorzystać z wiedzy specjalistów, przedyskutować zastosowanie i ograniczenia proponowanych instrumentów/metod oraz zapoznać się z treścią opracowania Geomonitoring – część 1 lub innymi pokrewnymi pozycjami.

Szeroki wachlarz dostępnych instrumentów/metod pomiarowych daje obecnie ogromne pole do popisu projektantom/specjalistom, lecz należy również uwzględnić fakt, że nie wszystkie z dostępnych instrumentów/metod są wystarczająco dobrze zaprojektowane, aby działać niezawodnie w każdym środowisku. Podlegają one bowiem wpływowi otoczenia, w którym się znajdują. Instrumenty pomiarowe powinny charakteryzować się więc tzn. *dobrą przeszłością* oraz cechować się maksymalną trwałością w danym środowisku. Pomiary warunków środowiskowych ułatwiają późniejszą analizę danych. Tabela 3 przedstawia przykładową listę środowisk pracy w jakich mogą się znaleźć instrumenty pomiarowe, a tabela 4 przedstawia przykładowe urządzenia pomiarowe wykorzystywane w monitoringu meteorologicznym.

Wybór instrumentu pomiarowego powinien uwzględniać wszelkie ograniczenia, zidentyfikowane na etapie przygotowania (patrz Geomonitoring - część 1, tabela 3). Należy wziąć również pod uwagę wymagania i ograniczenia wynikające z wszystkich faz realizacji inwestycji. Kryteria dla różnych etapów mogą się różnić, co pociąga za sobą konieczność wyboru na przykład dwóch różnych urządzeń/metod monitoringu.

Tabela 3 Przykładowa lista możliwych środowisk pracy w jakim mogą znaleźć się instrumenty pomiarowe

1	Duże odkształcenia – często odkształcenia ścinające prowadzące do zniszczenia
2	Wysokie ciśnienia – zarówno gruntu jak i wody.
3	Ryzyko korozji – chemiczna (np. chemizm wód gruntowych, zapraw, dodatki do betonu, bakterie) i elektrolityczna (np. elektroliza różnych materiałów)
4	Ekstremalne warunki atmosferyczne (temperatura, wyładowania atmosferyczne,...)
5	Wstrząsy (drgania) – w wyniku wybuchów, prac budowlanych, nieostrożność w trakcie transportu
6	Wandalizm, zniszczenie konstrukcji
7	Brud, kurz, błoto, deszcz, kwaśne deszcze
8	Wysoka wilgotność, płynąca lub stojąca woda
9	Nieregularne zasilanie elektryczne
10	Brak/Ograniczona możliwość zdalnego przesyłu danych
11	Brak bezpośredniego dostępu do przyrządów, gdy są zainstalowane w ośrodku skalnym, gruntowym, w betonie lub innych materiałach.

Tabela 4 Przykłady urządzeń pomiarowych wykorzystywanych w monitoringu meteorologicznym (ww.shmsystem.pl). Nie jest to oczywiście lista zamknięta.

MIERZONY PARAMETR	URZĄDZENIE
opady deszczu, śniegu	deszczomierz, śniegomierz
temperatura powietrza, wody	czujnik temperatury
prędkość i kierunek wiatru	czujnik kierunku wiatru
ciśnienie atmosferyczne	barometr
wilgotność	higrometr
pomiar nasłonecznienia	pyranometr

Innymi kryteriami jakie należy wziąć pod uwagę przy wyborze przyrządów pomiarowych są: świadectwa zgodności, minimalny wpływ na konstrukcję oraz minimalne trudności związane z dostępem podczas instalacji i zbieraniem danych.

Na tym etapie należy również rozważyć czy istnieje potrzeba zaopatrzenia w automatyczny system zbierania danych, a jeśli tak to z jaką częstotliwością miałyby się to odbywać. Należy w miarę możliwości poszukiwać rozwiązań automatycznych, minimalizujących koszty i nakłady pracy ludzkiej, ale również unikać zbędnego zaawansowania systemu i jego automatyzacji.

Powinny być również zaplanowane działania jakie należy podjąć gdy jakkolwiek część systemu przestaje działać prawidłowo i wymaga wymiany.

Na wybór instrumentu/metod powinien również wpływać czas oczekiwania na dostawę, ponowny montaż, ale i czas interpretacji pozyskanych wyników.

**NALEŻY POSTAWIĆ SOBIE PYTANIE:
CZY PRZY UŻYCIU WYBRANEGO INSTRUMENTU/METODY
POMIAROWEJ OSIĄGNIEMY ZAKŁADANY CEL?**

Zastosowanie konkretnej techniki pomiarowej zależeć będzie od kilku czynników. Należy tutaj wymienić przede wszystkim:

- rodzaj mierzonej wielkości fizycznej,

- częstotliwość pomiaru (pomiaru statyczne i dynamiczne),
- dokładność pomiaru,
- zakres pomiaru (pomiaru w punkcie oraz pomiaru globalne obiektu),
- środowisko instalacji,
- czasookres pomiaru (pomiaru chwilowe i długookresowe – systemy monitorowania).

Szereg wielkości fizycznych można mierzyć różnymi technikami (tabela 5). Wybór konkretnego rozwiązania będzie zależał od zidentyfikowanych potrzeb. Przykładowo, przemieszczenie bezwzględne środka rozpiętości belki można zmierzyć geodezyjnie lub czujnikiem przemieszczenia (indukcyjnym, strunowym, mechanicznym itp.).

2.10. Wybór lokalizacji instrumentów pomiarowych

Wybór lokalizacji instrumentów pomiarowych powinien odzwierciedlać przewidywane zachowania i powinien być zgodny z metodą analizy, która zostanie później wykorzystana podczas interpretacji danych. Metody modelowania numerycznego są często pomocne w identyfikacji krytycznych lokalizacji i preferowanych instrumentów. Praktyczne podejście do wyboru lokalizacji instrumentów składa się z trzech kroków.

Pierwszy krok to identyfikacja obszarów szczególnie narażonych, to jest obszarów np. występowania osłabień strukturalnych, podatnych na osiadanie lub na przykład przewidywanych wysokich ciśnień porowych. Jeśli nie ma takich stref podejmuje się krok drugi. Wyboru dokonuje się zwykle w strefach lub przekrojach, gdzie przewidywane zachowania są reprezentatywne dla zachowania całości obszaru. Należy uwzględnić strefy reprezentatywne zarówno dla procesów geologicznych, jak i wpływu konstrukcji. Te strefy lub przekroje traktowane są następnie jako główne/podstawowe/reprezentatywne. W tworzonym planie monitoringu powinny istnieć przynajmniej dwa takie obszary.

Ze względu na fakt, iż wybrane strefy reprezentatywne mogą nie odzwierciedlać do końca prawidłowo faktycznego stanu rzeczy, w trzecim kroku należy zdefiniować wtórne obszary pomiarowe, będące punktem odniesienia i porównania dla uzyskanych wyników pomiarów. W strefach wtórnych powinno instalować się najprostsze z możliwych instrumentów pomiarowych. Jeśli w trakcie realizacji pomiarów, wyniki uzyskane ze stref reprezentatywnych oraz wtórnych znacząco odbiegają od siebie, w trakcie budowy można rozważyć instalację dodatkowych urządzeń pomiarowych.

Przy wyborze lokalizacji należy również rozważyć wytrzymałość (trwałość) wybranych narzędzi i uwzględnić dodatkową ich ilość na wypadek, gdyby któreś nie działało po instalacji. Wybrana lokalizacja powinna uwzględniać w miarę możliwości łatwy dostęp do nich w trakcie budowy. Ze względu na losową zmienność w właściwościach gruntów i skał, zwykle nierozsądnym jest poleganie na pojedynczym instrumencie jako reprezentatywnym wskaźniku.

W miarę możliwości wybrane lokalizacje powinny zapewniać kontrole krzyżową danych uzyskanych z różnych typów instrumentów pomiarowych. Na przykład jeśli dokonywany jest zarówno wgłębny pomiar osiadań oraz pomiar ciśnienia porowego, w gruntach spoiowych, które podlegają konsolidacji, czujniki ciśnienia porowego powinny być zlokalizowane w połowie głębokości pomiędzy punktami mierzącymi osiadania. Pomimo, że w niektórych przypadkach może być wskazania instalacja czujników w bliskiej odległości od siebie to należy uważać na to by nie stworzyć stref osłabienia poprzez skoncentrowanie zbyt dużej liczby instrumentów pomiarowych w jednej strefie lub przekroju.

Należy również zachować pewną elastyczność w lokalizacji przyrządów pomiarowych wskazanych na planach, a ostatecznego wyboru dokonać na etapie zabudowy. Dopuszczenie pewnych odstępstw

Tabela 5 Przykłady geotechnicznych i geodezyjnych urządzeń/metod pomiarowych wykorzystywanych w monitoringu (na podstawie PN-EN ISO 18674-1:2015 oraz Mazzanti 2017a,b). Nie jest to oczywiście lista zamknięta

MIERZONY PARAMETR	PRZYRZĄDY/METODY GEOTECHNICZNE	PRZYRZĄDY/METODY GEODEZYJNE TELEDETEKCYJNE
przeszczenie punktu pomiarowego, uwzględniające również szczególne przypadki takie jak pionowa składowa przeszczenia (osiadanie, wypieranie), oraz wyprowadzone parametry takie jak wychylenie (przechył), odkształcenie	wskazniki rozwarcia rys (płytki), szczelinomierze, pochyłomierze, wahadła, inklinometry, deflektometry, pomiary TDR, repery wgłębnne (pomiar punktowy) ekstensometry, konwergometry hydroniwelatory, hydroprofilometry, czujniki (kable) światłowodowe	niwelatory, pomiary tachimetryczne (dalmierze, manualne, automatyczne), pomiary GNSS (GPS), skaning laserowy (naziemny, lotniczy, UAV) interferometria radarowa (naziemna i satelitarna), fotogrametria (lotnicza, UAV) techniki cyfrowej korelacji obrazu (DIC)
profile przeszczenia pionowych i poziomych gruntu, fundamentów, ścianek szczelinowych	systemy inklinometryczne poziome i pionowe (łańcuchowe, modułowe), wielopunktowe hydroniwelatory hydroprofilometry, kable światłowodowe	naziemny skaning laserowy
wahania zwierciadła wody	piezometry otwarte: studnie, otwory obserwacyjne, piezometry zamknięte: czujniki do pomiaru ciśnienia porowego wody	brak narzędzi pomiarowych
ciśnienie wody	czujniki do pomiaru ciśnienia porowego wody	brak narzędzi pomiarowych
drżania (prędkość, przyspieszenie)	akcelerometry, geofony, sejsmometry	pomiary GNSS naziemna interferometria radarowa, wibrometr laserowy techniki cyfrowej korelacji obrazu (DIC)
ciśnienie naprężenie siła	czujniki do pomiaru naprężeń/parcia gruntu /skały czujniki do pomiaru naprężeń/parcia obudowy czujnik do pomiaru obciążeń kotwi czujnik do pomiaru obciążeń konstrukcji tensometry czujniki (kable) światłowodowe	brak narzędzi pomiarowych
temperatury	termometry, termistory kable światłowodowe	kamery termowizyjne
wilgotności gruntu	czujniki do pomiaru wilgotności kable TDR	

(po wcześniejszym uzgodnieniu z projektantem) powinno być uwzględnione w specyfikacji.

Lokalizacja instrumentów/metod pomiarowych powinna obejmować zarówno obszar którego dotyczy postawiony problem jak i teren poza obiektami/obszarami badań – jako punkt odniesienia.

Podczas projektowania i realizacji badań podłoża, niezależnie od potrzeb badań podłoża, należy tak zlokalizować punkty obserwacyjne, aby przynajmniej część z nich, znajdująca się poza obiektami

budowlanymi/ obszarami badań, mogła być włączona do sieci monitoringu w etapach budowy i eksploatacji.

2.11. Określić potrzebę automatyzacji

Pomiar zautomatyzowany (ciągły) czy manualny (okresowy)? To jedno z ważniejszych pytań stawianych sobie na etapie planowania monitoringu.

Tak naprawdę, instrumenty pomiarowe gromadzą dane w sposób *nieciągły*, ale z określoną częstotliwością czasową, która może wynosić od 1/1000 sekund do lat. Czasami pomiar *ciągły* może być krótszy niż kilka sekund, czasem miesiąc (Mazzanti 2017a,b). W przeciwieństwie do monitoringu okresowego, który tak naprawdę opisuje wyłącznie aktualny stan zachowania się podłoża/konstrukcji w danej chwili pomiarowej, monitoring zautomatyzowany (ciągły) dostarcza wyników o nieporównywalnie lepszej rozdzielczości czasowej. Najprostszą formą automatyzacji jest wykorzystanie rejestratorów danych zainstalowanych na stałe w danym terenie dla jednego lub więcej instrumentów pomiarowych. Dane są okresowo pobierane ręcznie poprzez podmianę rejestratora, podłączenie dedykowanych urządzeń do zbierania danych, laptopa czy pendrive'a. Te proste rejestratory są dość tanie i mają niskie wymagania co do mocy. Ten układ jest odpowiedni, gdy wymagane są częste odczyty z jednego lub większej liczby przyrządów, ale analiza danych w czasie rzeczywistym nie jest wymagana. W przeciwieństwie do niego w pełni zautomatyzowany system (system wczesnego ostrzegania) pozwala śledzić zmiany zachodząca w czasie rzeczywistym. Umożliwia on lepsze odwzorowanie zjawisk, które obserwujemy, daje szansę na wykrycie chwilowych i szybkozmiennych zjawisk o charakterze incydentów czy też ostrzega o zbliżających się awariach, dając czas na bezpieczną ewakuację z zagrożonego obszaru i czas na wdrożenie działań zaradczych. Zwiększa to nie tylko możliwości szybszej interpretacji otrzymywanych wyników ale i szybkość reakcji na zaistniałe zagrożenie. Obecnie jest ona coraz bardziej popularna, jako ceny, ale drogi w budowie, montażu i utrzymaniu środków do gromadzenia, wizualizacji i przetwarzania danych pozyskiwanych z instrumentów pomiarowych. W wielu projektach aby zoptymalizować koszty wykorzystuje się kombinację różnych metod gromadzenia danych w zależności od potrzeb. W niektórych przypadkach, niezależnie od kosztów, automatyzacja może okazać się jedynym sposobem na odpowiednie lub bezpieczne monitorowanie sytuacji a koszty z czasem mogą zostać zmniejszone. Początkowe koszty instalacji sprzętu i oraz koszty konserwacji i napraw mogą być z nawiązką kompensowane przez zaoszczędzoną pracę dzięki automatyzacji odczytu.

Systemy automatycznego gromadzenia danych powinny być wymagane, gdy:

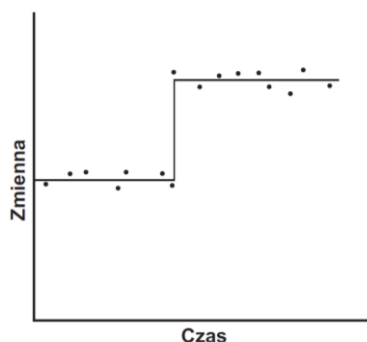
- istnieje potrzeba monitorowania w czasie rzeczywistym i wyrzucania automatycznych alarmów (alertów) informujących o zagrożeniu, rozesłanych do użytkowników w postaci SMS-ów / drogą e-mailową lub za pomocą specjalnie do tego stworzonych aplikacji;
- instrumenty znajdują się w odległym miejscu lub w miejscu, które uniemożliwia łatwy dostęp;
- zaplanowano zbyt wiele czujników aby w odpowiednim czasie dokonać ręcznego odczytu;
- brak wykwalifikowanego personelu do obsługi urządzeń manualnych.

Jeśli wymagany jest system zbierania danych, wybór instrumentów należy zawęzić do tych, które można łatwo i tanio podłączyć do systemu.

W załączniku 5 zebrano główne zalety i ograniczenia trzech podstawowych sposobów gromadzenia danych opisanych powyżej. Pamiętajmy, że celem projektowania programu monitorowania jest wykorzystanie najlepszych narzędzi do zamierzonego celu.

2.12. Opracować rejestr czynników mogących mieć wpływ na mierzone wielkości

Czasami, same wyniki pomierzonych wielkości mogą być niewystarczające do wysunięcia daleko idących wniosków. Stosowanie instrumentów/metod pomiarowych wymaga zazwyczaj określenia związku przyczynowo-skutkowego. Dlatego należy prowadzić zapiski i rejestry wszystkich czynników mogących mieć wpływ na mierzone wielkości (np. postęp budowy, zmienność czynników środowiskowych, warunków atmosferycznych, nieopisane wcześniej warunki panujące w podłożu, wysokość sypania nasypów, itp) (rysunek 2). Dlatego też bardzo często oprócz standardowego geomonitoringu prowadzi się lokalny monitoring meteorologiczny aby na etapie analiz uwzględnić maksymalną ilość czynników atmosferycznych mających wpływ na uzyskiwane wyniki. To lokalne i nietypowe warunki często wpływają na mierzone wielkości



Rysunek 2 Przykład nagłej zmiany wielkości parametru, np. wynikający z przedłużeniu ciągu reperu wglębnego (Dunnicliff 2017)

2.13. Ustalić procedury zapewniające prawidłowość mierzonych wielkości

Personel odpowiedzialny za instrumenty pomiarowe i zbieranie danych powinien mieć możliwość weryfikacji czy dany instrument działa prawidłowo a mierzone wartości są wiarygodne. Taka weryfikacja może być czasem wykonywana na podstawie chociażby wyłącznie obserwacji wizualnych czy optycznych (geodezji klasycznej). Na przykład obserwacja wizualna obudowy tunelu poprzez ocenę spękań, wycieków itp. czy proste badania optyczne przemieszczeń reperów zamontowanych na powierzchni w celu monitorowania deformacji podpowierzchniowych. W sytuacji kryzysowej można również zastosować duplikaty instrumentów pomiarowych. Systemy zapasowe są często przydatne i pozwalają na uzyskanie odpowiedzi na nurtujące nas pytanie, nawet jeśli ich dokładności jest znacznie mniejsza niż dokładność systemu podstawowego.

Poprawność uzyskanych danych może być również sprawdzona na przykład poprzez ocenę spójności mierzonych wielkości. Na przykład, w przypadku oceny postępu konsolidacji, wartość rozproszonego ciśnienia porowego powinno być zgodna z pomierzonym osiadaniem a wzrost ciśnienia porowego powinien być zgodny z wartością dodatkowo przyłożonego obciążenia. O poprawności uzyskanych danych może również świadczyć ich powtarzalność. Brak powtarzalności może wskazywać na wadliwą pracę urządzenia.

2.14. Sporządzić listę zadań przypisanych dla każdego instrumentu/metody pomiarowej wraz z opisem celu jego zastosowania

Na tym etapie tworzenia planu monitoringu warto zadać sobie pytanie po raz kolejny *czy wszystkie zaplanowane do użycia instrumenty pomiarowe są niezbędne?*. Sporządzenie listy wszystkich instrumentów wraz z opisem celu jego zastosowania pozwala wyeliminować z programu

monitoringu te z instrumentów dla których nie jest możliwe podanie konkretnego celu zastosowania.

2.15. Sporządzić wstępny budżet (oszacować wstępne koszty)

Pomimo, iż planowanie działań związanych z monitoringiem nie zostało na tym etapie jeszcze zakończone, należy przygotować wstępny budżet, który obejmuje wszystkie działania wymienione w załączniku 1, aby upewnić się, że są rzeczywiście dostępne wystarczające fundusze na ten cel. Częstym błędem popełnianym na etapie przygotowania budżetu jest niedoszacowanie czasu trwania projektu czy rzeczywistych kosztów zbierania i przetwarzania danych. Jeśli planowany budżet przekracza dostępne środki należy okroić system monitoringu lub na tym etapie zwrócić się o zwiększenie środków do inwestora (jeśli to od niego zależy) lub pozyskać dodatkowe środki z dostępnych programów (dotyczy inwestora). Każdy wniosek o zwiększenie funduszy na realizację monitoringu powinien być poparty obiektywnymi argumentami.

Uwzględniając koszty, szczególnie należy zwrócić uwagę na prawidłowe oszacowanie, czasu trwania projektu oraz uwzględnić koszty związane z:

- planowaniem programu monitorowania
- wykonaniem szczegółowych projektów instrumentów
- procedurą przetargową
- wykonaniem fabrycznej kalibracji
- instalacją przyrządów
- konserwacją i kalibracją instrumentów w regularnych odstępach czasowych
- ustalaniem i aktualizowaniem harmonogramu zbierania danych
- gromadzeniem danych
- przetwarzaniem i prezentowaniem danych
- interpretowaniem i raportowaniem danych
- wdrożeniem wyników
- utrzymanie systemu.

Należy także rozważyć zyski związane z możliwością wczesnego ostrzeżenia i minimalizacją ryzyka awarii. Współcześnie intensywnie rozwijane są metody probabilistyczne (najczęściej oparte o teorię bayesowską), które pozwalają na ocenę zaproponowanego rozwiązania pomiarowego w oparciu o kryteria finansowe. Z punktu widzenia Inwestora jest to zatem bardzo wymierne kryterium. Instalacja systemu monitorowania jest uzasadniona tylko wtedy, jeśli pozwoli na minimalizację spodziewanych kosztów całkowitych inwestycji. Prace nad rozwojem narzędzi matematycznych i informatycznych, które wykorzystywane będą przy ocenie opłacalności inwestycji w system monitorowania, prowadzone są obecnie przez grupę COST1402 (*Quantifying the Value of Structural Health Monitoring*) w ramach Europejskiego Programu Współpracy w Dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych. Prace prowadzone przez ekspertów, inżynierów, naukowców i doktorantów w ramach grupy COST TU1402 (<https://www.cost-tu1402.eu>) mają na celu obiektywne oszacowanie potencjalnych korzyści płynących z zastosowania systemów monitorowania jeszcze zanim zostaną one zainstalowane (optymalizacja decyzji inwestycyjnych), a także na efektywnym zarządzaniu informacją pomiarową w celu doskonalenia procesu projektowania, realizacji oraz utrzymania obiektów inżynierskich i geotechnicznych.

2.16. Sporządzić wstępny raport z projektowanego systemu monitorowania

Raport FWHA (1998) zaleca przygotowanie raportu z projektowania systemu oprzyrządowania. Ten raport powinien podsumować wyniki powyższych kroków planowanych od 2.1 do 2.15. Zmusza

tym samym projektanta do opracowania ostatecznego dokumentu, który obejmuje wszystkie powyższe kwestie. Taki dokument może być przeglądany, sprawdzany w celu potwierdzenia, że wszystko jest spójne, że plan jest dobry i pokrywa potrzeby projektu.

2.17. Sporządzić specyfikację zamówień urządzeń/metod pomiarowych

Instrumenty pomiarowe (w tym również systemy do gromadzenia, przetwarzania, interpretacji danych) należy najlepiej kupować (można uwzględnić instalację i rozruch) od sprawdzonych producentów/dostawców, którzy są w stanie przedłożyć odpowiednie referencje: posiadają niezbędną wiedzę i doświadczenie, posiadają odpowiednie uprawnienia do wykonywania określonej i przewidzianej zamówieniem działalności, oraz dysponują potencjałem technicznym i osobami zdolnymi do wykonania przedmiotowego zamówienia i są w stanie przedłożyć certyfikaty urządzeń. W tym celu należy sporządzić stosowne specyfikacje wszystkich instrumentów/metod pomiarowych (np. przez podanie rodzaju (np. strunowe, pneumatyczne, hydrauliczne, rezystansowe, itp.), wymiarów, zakresu pomiarowego, dokładności pomiarowej, rozdzielczości, liniowości, typu zasilania i itp) wraz z wymaganiami dotyczącymi zabezpieczeń, kalibracji fabrycznej, testów zapewniających prawidłowe działanie, gwarancji oraz szkolenia personelu. Specyfikacja powinna zawierać informację kto odpowiada za dostawę, instalację, przeprowadzenie testów prawidłowości działania, serwisowanie, itp.

Specyfikacja powinna zawierać zarówno opis techniczny przedmiotu zamówienia z podaniem typu, szczegółowych parametrów oraz opis funkcjonalny zawierający opis oczekiwanego efektu końcowego.

Przykładowy opis techniczny i funkcjonalny przedmiotu zamówienia wraz z ich zaletami i ograniczeniami przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6 Przykładowy opis techniczny i funkcjonalny przedmiotu zamówienia (Bednarski i in. 2017)

Opis techniczny	W skład automatycznej aparatury pomiarowej będą wchodzić: czujniki surowe, elektronika pomiarowa, oprogramowanie, interfejs użytkownika. Podstawowe dane techniczne czujnika strunowego: Zakres pomiarowy przemieszczeń: 300 mm, Rozdzielczość: 0,025 % pełnej skali, Dokładność: $\pm 0,1$ % pełnej skali, Nieliniowość: $< 0,5$ % pełnej skali Zakres temperatur: - 20°C to +80°C	
	Zalety	Ograniczenia
	Najbardziej bezpośredni sposób definiowania przedmiotu zamówienia Najlepiej zapobiega dostawie niechcianego rozwiązania Łatwa kontrola zgodności dostarczonego rozwiązania z zamówieniem	Wymaga obszernej szczegółowej dokumentacji, Wymaga posiadania specjalistycznej wiedzy, aby rozwiązać problem pomiarowy Pełna odpowiedzialność po stronie inwestora.
Opis funkcjonalny	Zadaniem systemu monitoringu jest kontrola przemieszczeń pionowych. System ten powinien pełnić funkcję systemu alarmowego i będzie systemem w pełni automatycznym. Pomiary mają być wykonane przynajmniej 1 raz na godzinę oraz co 10 minut po wykryciu przekroczenia progu alarmowego w sytuacji wystąpienia nagłego osiadania w efekcie np.: powstania zapadliska w podłożu pod nasypem. Taka sytuacja będzie rejestrowana poprzez przekazanie sygnału przychodzącego z elementów pomiarowych do jednostki centralnej. Jednostkę centralną stanowić będzie komputer wyposażony w odpowiednie oprogramowanie lokalizujące wykryte osiadanie, jego wielkość i postęp w czasie. Obserwacja będzie polegała na sprawdzaniu informacji czy występuje stan alarmowy czy nie. Przedmiotowy system monitoringu zostanie opracowany na etapie Projektu Wykonawczego.	
	Zalety	Ograniczenia
	Zapewnia maksymalną konkurencyjność i innowacyjność rozwiązań Nie wymaga szczegółowej wiedzy technicznej od zamawiającego	Czy umiemy opisać efekt końcowy? Dostawca musi zrozumieć zamawiającego Trudność w ocenie zgodności dostarczonego rozwiązania z oczekiwaniami

2.18. Plan instalacji instrumentów pomiarowych

Procedury związane z instalacją instrumentów pomiarowych należy określić z wyprzedzeniem przed datą planowanej instalacji. Procedura ta powinna być przygotowana w formie pisemnej i zawierać wszystkie czynności krok po kroku, uwzględniając zarówno wymogi i zalecenia producenta jak i wiedzę projektanta na temat panujących warunków gruntowo-wodnych. Wypisane procedury powinny zawierać szczegółowy wykaz wymaganych materiałów i narzędzi a także wzory arkuszy instalacji, które mają dokumentować warunki występujące w momencie instalacji. Fakt instalacji instrumentów pomiarowych przed personel inwestora nie eliminuje potrzeby tworzenia pisemnych procedur instalacji.

Należy zaplanować również szkolenie personelu. Wszelkie plany instalacji powinny być skoordynowane z wykonawcą robót budowlanych oraz powinny uwzględniać rozwiązania zapewniające dostęp i zabezpieczenie zainstalowanych instrumentów przed uszkodzeniem. Harmonogram instalacji sieci instrumentów pomiarowych potrzebnych do monitoringu powinien być skoordynowany z harmonogramem budowy.

2.19. Plan regularnej kalibracji i konserwacji

Na tym etapie należy zaplanować częstotliwość przeprowadzania kalibracji oraz konserwacji poszczególnych komponentów zastosowanych instrumentów pomiarowych, uwzględniając zarówno wymogi zawarte w specyfikacjach technicznych urządzeń pomiarowych, harmonogram realizowanych prac (np. etapy budowy) jak i nie ograniczać funkcjonowanie systemu w dopuszczalnym zakresie.

2.20. Sposób gromadzenia danych, ich przetwarzania, prezentacji, interpretacji, raportowania i wdrażania

Etap ten obejmuje przygotowanie pisemnych procedur określających gromadzenie, przetwarzanie, prezentację, interpretację, raportowanie i wdrażanie pomierzonych danych.

Nie należy lekceważyć tego etapu. Często ma miejsce sytuacja w której brakuje środków na dokładną i wiarygodną analizę dużej ilości uzyskanych i przetworzonych danych, które bez prawidłowej interpretacji mogą być bezużyteczne. Zastosowanie tutaj odpowiedniego oprogramowania jest pomocne, lecz nie rozwiązuje problemu, a ostateczna interpretacja danych pomiarowych zawsze należy do ekspertów.

W tym momencie należy również zaplanować szkolenie personelu, który posiada wystarczające kwalifikacje do prawidłowej weryfikacji uzyskiwanych danych oraz planowania działań zaradczych. Należy tutaj również określić odpowiednie kanały komunikacji pomiędzy tym personelem a pozostałymi stronami planującymi działania zaradcze.

2.21. Wymagania dla obsługi terenowej/serwisowej

Obsługa terenowa/serwisowa obejmują nie tylko instalację urządzeń pomiarowych ale również ich regularną kalibrację i konserwację a także gromadzenie, przetwarzanie, interpretację i raportowanie wyników. Ustalenie i opisanie wymagań stawianych obsłudze terenowej/serwisowej może decydować o powodzeniu programu monitoringu.

2.22. Aktualizacja budżetu

Ten etap obejmuje aktualizację pierwotnie zaplanowanego budżetu. W tym momencie zakończono określanie wszystkich sił i środków, a także niezbędnych procedur, co pozwala na wiarygodną wycenę całego programu monitoringu.

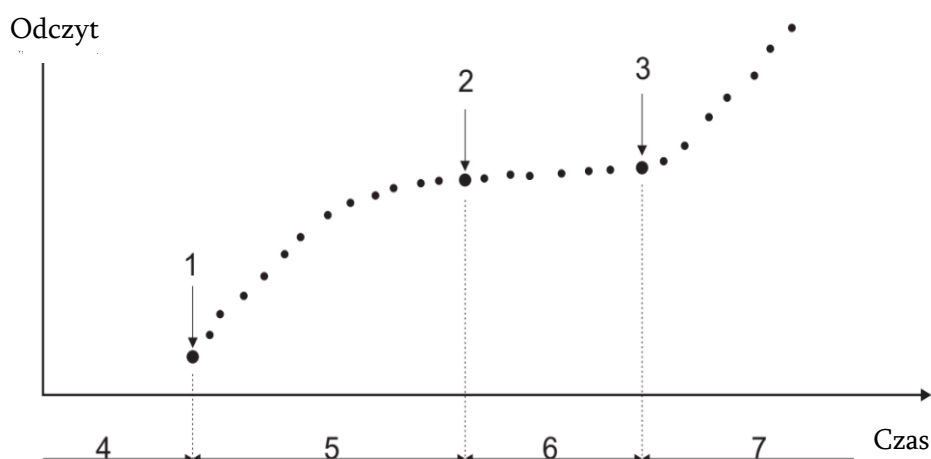
3. RAPORTOWANIE

3.1. Raport z instalacji urządzeń monitorujących

1. Raport z instalacji powinien być zamieszczony niezwłocznie po dokonaniu rozruchu systemu monitorowania.

2. Raport z instalacji powinien zawierać poniższe informacje, jeśli dotyczy:

- a) właściciela/wykonawcę projektu;
- b) nazwę i lokalizację projektu;
- c) nazwa firmy prowadzącej projekt monitoringu;
- d) nazwa i numer projektu monitoringu;
- e) listę/wykaz i opis urządzeń pomiarowych, jednostek odczytowych i mierzonych wielkości wraz z numerami fabrycznymi
- f) karty specyfikacji i kalibracji instrumentów pomiarowych (zgodnie z pkt 5.6 normy PN EN ISO 18674-1);
- g) datę, miejsce lokalizacji (np. numer otworu, mapa lokalizacji) oraz ilość urządzeń pomiarowych;
- h) szczegóły instalacji zawierające pomiary w trakcie instalacji i pomiary początkowe w okresie stabilizacji instrumentów pomiarowych rysunek 3;



1 pomiar inicjujący, 2 pomiar zerowy, 3 pomiar odniesienia, 4 okres instalacji, 5 okres stabilizacji, 6 okres pomiaru bazowego, 7 okres budowy

Rysunek 3 Zobrazowanie różnych punktów pomiarowych w trakcie projektu monitoringu geotechnicznego w czasie, łącznie z fazą budowy

- i) zapis/opis rozruchu systemu monitoringu;
- j) otwory/wyrobiska do instalacji instrumentów pomiarowych:
 - karta głowicy wiertniczej zgodnie z PN-EN ISO 22475-1
 - charakterystyka i opis gruntów, skał (na przykład zgodnie z PN-EN ISO 14688-1, PN-B-02480:1986 i skał zgodnie z PN-EN ISO 14689-1
- k) lokalizacja i data przyjęcie raportu z instalacji;
- l) nazwa/dane firmy oraz podpis osoby odpowiedzialnej za projekt monitoringu.

3.2. Raport z monitoringu

1. Raport z monitoringu powinien zawierać wszystkie istotne aspekty prowadzone geomonitoringu, szczególnie wyniki z monitoringu i wspierania wszelkich działań zaradczych.

UWAGA 1: Raport z monitoringu stanowi podstawę dla odpowiedzi na postawione sobie na początku tworzenia programu monitoringu pytania/zagadnienia które wymagały odpowiedzi dla geotechnicznych rozwiązań w rozumieniu normy PN-EN 1997-1.

UWAGA 2: Z praktycznego punktu widzenia przydatne jest pisanie krótkich, jednostronicowych raportów podsumowujących zawierający istotne informacje pojawiające się w trakcie monitoringu.

UWAGA 3: Końcowy raport z prowadzonego monitoringu jest szczególnym przypadkiem raportu, szczegóły którego są zazwyczaj zdefiniowane w programie monitoringu. Stanowi on cenny bank doświadczeń i powinien zostać przekazany wszystkim pracownikom zaangażowanym w projektowanie i realizację monitoringu, tak aby wyciągnięte wnioski mogły zostać włączone do kolejnych projektów.

2. Każdy raport z monitoringu powinien zawierać poniższe informacje:

- a) streszczenie, podsumowanie raportu;
- b) krótki opis projektu oraz zestaw postawionych sobie na początku (oraz zaktualizowanych) pytań/zagadnień na które oczekiwano odpowiedzi;
- c) procedurę monitoringu z odniesieniami do norm, szczegółowej koncepcji, wdrożenia/implementacji i oceny projektu monitoringu;
- d) najważniejsze rezultaty monitoringu;
- e) stwierdzenie czy dokładność i precyzja określona w programie monitoringu jest/została spełniona;
- f) ocenę rezultatów prowadzonych pomiarów;
- g) okoliczności i obserwacje, które mogą być ważne przy ocenie wyników pomiarów w kontekście związanym np. z geologią, projektowanie geotechnicznym, zachowania konstrukcji i utrzymania systemu monitoringu;
- h) miejsce i datę przyjęcia raportu;
- i) nazwę/dane i podpis osoby/osób odpowiedzialnych za monitoring.

3. Szczegółowe dokumenty z monitoringu powinny być dołączone i powinny zawierać w szczególności:

- raport z instalacji;
- lista/wykaz i opis urządzeń pomiarowych, jednostek odczytowych i mierzonych wielkości;
- karty specyfikacji i kalibracji instrumentów pomiarowych;
- datę, miejsce lokalizacji (np. numer otworu) oraz ilość urządzeń pomiarowych;
- warunki otoczenia (np. temperatura, budowa geologiczna, warunki hydrogeologiczne,...) - czynniki wpływające na mierzone wielkości;
- tabelaryczną oraz graficzną prezentację wyników monitoringu;
- prezentacja wyniki z monitoringu w odniesieniu do etapów realizacji danej inwestycji;
- analizę zaobserwowanych zachowań, w tym porównania między pomiarami i przewidywaniami, omówienie istotnych zmian i prawdopodobnych przyczyn oraz porównania z opublikowanymi
- szczególne wydarzenia i obserwacje zaobserwowane w trakcie pomiarów;
- wnioski, dyskusje i zalecenia, w tym oświadczenie o podjętych działaniach zaradczych.

Wnioski z interpretacji danych powinny zostać przekazane wszystkim stronom, które odgrywają rolę we wdrażaniu danych. Formalne sprawozdanie jest często przygotowywane w celu udokumentowania kluczowych aspektów programu monitorowania i wspierania wszelkich działań zaradczych. Raport stanowi także cenny bank doświadczeń i powinien zostać przekazany wszystkim pracownikom zaangażowanym w projektowanie i realizację programu monitorowania, tak aby wyciągnięte wnioski mogły zostać włączone do kolejnych projektów.

4. ZAKRES MONITORINGU

Przeanalizowano szereg sytuacji, w których można byłoby prowadzić monitoring powierzchniowy i/lub wgłębny dla obiektów drogowych, mostowych i tuneli oraz na obszarach występowania niekorzystnych zjawisk geologicznych. Z tego wytypowano osiem najbardziej istotnych problemów inżynierskich, z którymi zmagają się na co dzień służby drogowe i dla których **WYMAGANE** jest prowadzenie monitoringu jako „narzędzia” weryfikującego zachowanie się podłoża oraz konstrukcji na etapie jego rozpoznania/projektowym, w trakcie realizacji inwestycji i po jej zakończeniu:

1. Zmiany położenia zwierciadła wody
2. Posadowienie nasypów drogowych na podłożu słabym
3. Osuwiska zagrażające zabudowie i infrastrukturze drogowej
4. Tereny górnicze – potencjalne obszary występowania szkód górniczych
5. Obiekty budownictwa podziemnego - Tunele
6. Głębokie wykopy
7. Konstrukcje mostowe
8. Konstrukcje oporowe

Poniżej zestawiono kluczowe pytania/zagadnienia/zagrożenia, dla każdego rozważanego problemu inżynierskiego (tabela 7). W kolejnych rozdziałach opisano ich przykładowe rozwiązania. Nie wyczerpuje to oczywiście listy dalszych poszukiwań i rozwiązań. Jednocześnie zaleca się, aby za każdym razem, każdy nowy przypadek analizować indywidualnie, a przedstawione rozwiązania potraktować jako bazę do dalszych rozważań.

Tabela 7 Przykładowe problemy i powiązana z nimi lista kluczowych pytań/zagadnień/zagrożeń które mogą być stawiane. Nie jest to lista zamknięta

PROBLEMY INŻYNIERSKIE	KLUCZOWE PYTANIA/ZAGADNIENIA/ZAGROŻENIA
Zmiany położenia zwierciadła wody	wahania sezonowe kierunki spływu wód podziemnych zmiany naprężeń efektywnych deformacje filtracyjne ocena stateczności i osiadań efektywność odwodnienia
Posadowienie nasypów drogowych na podłożu słabym	osiadanie podłoża pod nasypem, postęp konsolidacji wypieranie gruntu utrata stateczności nasypu, odkształcenia geosyntetyków drżania a upłynnienie podłoża
Osuwiska zagrażające zabudowie i infrastrukturze drogowej	identyfikacja zjawisk osuwiskowych zasięg obszarów osuwiskowych głębokość występowania powierzchni nieciągłości prędkość deformacji kierunek przemieszczenia ocena stateczności drżania a utraty stateczności wpływ warunków środowiskowych (tło atmosferyczne)
Tereny górnicze – potencjalne obszary występowania szkód górniczych	deformacja terenu pomiar zmian położenia zwierciadła wody gruntowej, występowanie pustek w górotworze drżania parasejsmiczne

PROBLEMY INŻYNIERSKIE	KLUCZOWE PYTANIA/ZAGADNIENIA/ZAGROŻENIA
Obiekty budownictwa podziemnego - Tunele	deformacja powierzchni terenu deformacja konstrukcji oporowych pomiar zmian położenia zwierciadła wody gruntowej, deformacji masywu skalnego obciążenia przekazywane na obudowę deformacji obrysu tunelu (pomiary konwergencji) drżania parasejsmiczne
Głębokie wykopy	przemieszczenia pionowe obudowy, obiektów sąsiednich i powierzchni terenu w obrębie strefy oddziaływania ugięcie ścianki ugięcie rozpór szczelność obudowy jakość odwodnienia drżania parasejsmiczne
Konstrukcje mostowe i oporowe	deformacje (zmiany geometrii osi elementu, zmiany geometrii na długość elementu) ubytki materiału (ubytki materiału elementu, ubytki warstw zabezpieczających) utrata ciągłości (rysy, pęknięcia, rozwarstwienie) zmiany położenia (nieprawidłowe usytuowanie elementów, nadmierne przemieszczenie liniowe, nadmierny obrót, ograniczenie możliwości przemieszczenia liniowego, ograniczenie możliwości obrotu) drżania związane z wiatrem, trzęsieniami, tąpnięciami

4.1 Czas prowadzenia monitoringu

W tabeli 8 zestawiono dla każdego omawianego przypadku przewidywany minimalny czas prowadzenia monitoringu poczynając od fazy koncepcji, przez projektowanie, budowę i okres eksploatacji.

W	Wymagany - należy rozumieć, jako czynności obligatoryjne i niezbędne do stosowania, od których nie ma odstępstw.
NW	Nie wymagany , czyli nieobligatoryjny do stosowania, wykonywany opcjonalnie lub w uzgodnieniu z Inwestorem.
Z	Zalecany - zdefiniowano, jako rekomendacje do stosowania wynikający z dobrych praktyk, norm i doświadczenia, nieobligatoryjne.
Z/O	Zalecany z ograniczeniami - zalecenia mogą mieć ograniczoną przydatność do stosowania
NZ	Nie zalecany - nieprzydatne z uwagi na np.: cel badań, koszt, czasochłonność, warunki stosowania metody

Tabela 8 Minimalne czasy prowadzenia monitoringu na różnych etapach realizacji

	STEŚ	KP	PB	B	E	
Wahania zwierciadła wody	NW	Z	Z	W	do zakończenia okresu gwarancji	Z/O
Nasypty na podłożu słabonośnym	NZ	NZ	Kwartał przed rozpoczęciem robót	W	miesiąc od czasu ustabilizowania osiadań	Z/O
Osuwiska	NZ	Z na istniejących osuwiskach	Z	W	do zakończenia okresu gwarancji	Z
Tereny górnicze	NZ	NZ	Z	W	do zakończenia okresu gwarancji	Z ³
Tunele	NZ	NZ	Kwartał przed rozpoczęciem robót	W	do zakończenia okresu gwarancji	W
Głębokie wykoppy	NZ	NZ ²	Kwartał przed rozpoczęciem robót ¹	W	do zakończenia okresu gwarancji	Z/O
Konstrukcje mostowe i oporowe	NZ	NZ	NZ	W	do zakończenia okresu gwarancji	Z

Etapy procesu inwestycyjnego: **STEŚ** - studium techniczno-ekonomiczno-środowiskowe, **KP** - koncepcja programowa, **PB** – projekt budowlany, **B** – budowa, **E** – eksploatacja

¹ na terenie zurbanizowanych do 0,5 roku przed rozpoczęciem robót

² na obszarach silnie zurbanizowanych już na etapie koncepcji (Popielski 2012)

³ zgodnie z ustaleniami pomiędzy Zarządcą dróg a Przedsiębiorcą prowadzącym roboty górnicze

Eurokod 7 (pkt 4.5 (6)) podaje, że długość okresu monitorowania po zakończeniu budowy zaleca się zmieniać w wyniku obserwacji uzyskanych podczas budowy. Dla obiektów które mogą niekorzystnie wpływać na znaczne obszary otaczającego środowiska lub których awaria może stanowić duże ryzyko dla życia lub mienia zaleca się monitorowanie nawet przez więcej niż dziesięć lat od zakończenia budowy lub nawet przez cały okres użytkowania.

4.2 Częstotliwość pomiaru

Częstotliwość pomiarów jest jednym z najważniejszych parametrów branych pod uwagę przy tworzeniu systemu monitorowania. W znacznej mierze zależy ona od celu realizowanego programu, zamierzonego zastosowania, wyników obliczeń numerycznych, poziomu wymaganej dokładności, prędkości zachodzących zmian czy poziomu wymaganej analizy danych. Częstotliwość pomiarów wpływa na podjęcie decyzji o automatyzacji systemu czy zatrudnieniu personelu który w danej chwili będzie dokonać pomiarów. Częstotliwość pomiarów powinna być wystarczająca do wykrycia zarówno krótko- jak i długoterminowych zmian. **Częstotliwość obserwacji należy ustalić indywidualnie** – na przykład: dostosować do tempa postępu robót budowlanych, aktywności osuwiska, dokładności przyjętej metody pomiarowej, stopnia zagrożenia czy rangi monitorowanego obiektu itp.

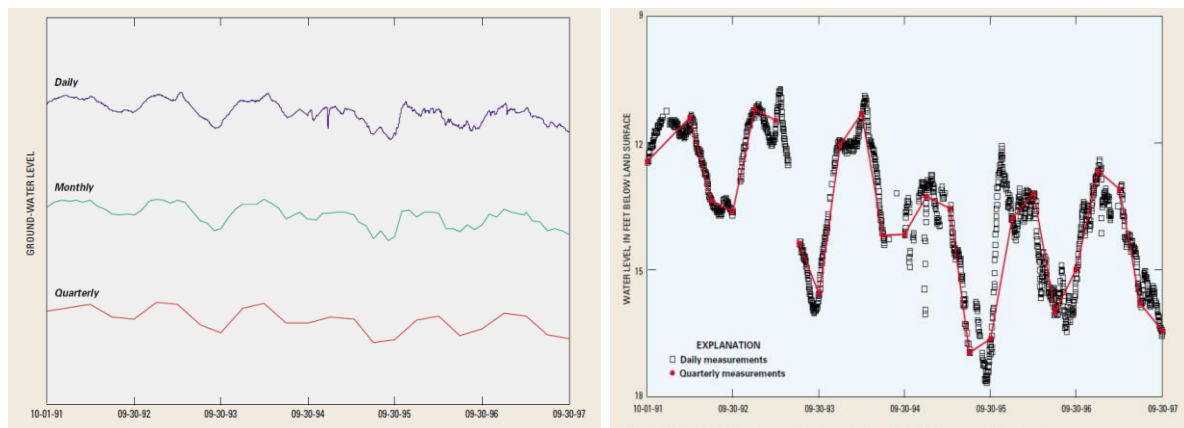
Jeśli dobór częstotliwości pomiarów zależy na przykład od częstotliwości zmian analizowanej

wielkości, pożądane jest by próbkowanie było co najmniej 2 razy szybsze niż zmienność mierzonego parametru. Wówczas będziemy mieć pewność, że przebieg mierzonej wielkości odwzorujemy poprawnie na wykresie.

Inny przykład, prędkość poszczególnych ruchów masowych zmienia się w bardzo szerokim zakresie. Ruch może być tak powolny, że prawie niezauważalny (pełzanie), ale może też osiągać bardzo duże prędkości rzędu kilku m/min, a nawet wyższe przy swobodnym spadku (obrywy). Dobór częstotliwości pomiaru musi to uwzględniać. Częstotliwość pomiaru może być mniejsza w okresach stabilnych, jednocześnie zwiększać się wraz z uaktywnieniem procesów osuwiskowych. W systemach w pełni zautomatyzowanym istnieje zdalna możliwość dostosowywania częstotliwości pomiarów do obserwowanych zmian lub automatycznego ich uaktywniania się po przekroczeniu zdefiniowanych progów - dostosowanie systemu do potrzeb odbiorcy.

Częstotliwości pomiaru mogą ulec zmianie ze względu np. na faktyczne i nieprzewidywane prędkości przesyłu (zaniki prądu, sieci, często wandalizm).

Przykładowe porównanie efektów różnych częstotliwości pomiarowych przedstawiono na przykładowych hydrogramach pomiaru zwierciadła wody gruntowej (rysunek 4).



Rysunek 4 Przykładowe hydrografy pomiaru poziomu zwierciadła wody na podstawie pomiarów dziennych, miesięcznych i kwartalnych (Taylor & Alley 2001)

4.3. Monitorowanie zmian położenia zwierciadła wody

Monitorowanie zmian położenia zwierciadła wody ma istotne znaczenie z uwagi na prawidłowe określenie zarówno warunków geotechnicznych jak i geologiczno-inżynierskich badanego terenu. Każdy wykonany pomiar to informacja o chwilowym położeniu zwierciadła wód gruntowych i jest ona wypadkową oddziaływania szeregu czynników związanych między innymi z: budową geologiczną (litologia, tektonika), morfologią terenu, bliskością przebiegu cieków wodnych (charakter drenażowy lub infiltracyjny), wielkością opadów atmosferycznych, rejonem zasilania, tranzytem wody, sposobem użytkowania wód podziemnych, sposobem zagospodarowania powierzchni terenu czy obecnością zabudowy głębokiej. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 15 maja 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033) w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej sporządzonej w celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby posadowienia obiektów budowlanych należy umieścić informację na temat „*głębokości położenia pierwszego poziomu wód podziemnych, amplitudy wahań i maksymalnego położenia poziomu zwierciadła wód podziemnych (ustalonych) na podstawie badań, wywiadu terenowego i analizy materiałów archiwalnych*” (Sokołowska i in. 2015, §21, pkt1, ust.6), a w przypadku obiektów budowlanych inwestycji liniowych wyłącznie dokonać „*opisu warunków hydrogeologicznych i hydrologicznych, w tym poziomów wodonośnych, dynamiki wód i kontaktów hydraulicznych między nimi na trasie*

projektowanego obiektu budowlanego inwestycji liniowej i w jego sąsiedztwie” (§23, pkt1, ust.5.) co z praktyki wiadomo jest nie wystarczające dla obecnie realizowanych inwestycji drogowych i należałoby te zapisy rozbudować.

Ustalenie położenia zwierciadła wód gruntowych i jego zmian w czasie można wykorzystać:

- do ustalenia początkowych warunków reżimu wodnego dla celów projektowych, a w dalszej perspektywie dla etapu budowy i użyteczności,
- do oceny wahań sezonowych,
- do określenia parametrów filtracyjnych,
- do określenia kierunku spływu wód,
- w obliczeniach stateczności, osiadań,
- do możliwości wystąpienia deformacji filtracyjnych
- do oceny kategorii geotechnicznej obiektu
- do oceny nośności podłoża na potrzeby budowy inwestycji drogowych (tabela 9) (Katalog GDDKiA, 2014) ,
- do oceny wpływu zbiorników infiltracyjnych na tereny przyległe.
- do oceny odwodnienia np. przy wykopach głębokich.

Spełnienie tych wymagań nie jest możliwe bez zainstalowania w podłożu piezometrów otwartych (otwory lub studnie obserwacyjne, piezometry Casagrande’a) lub piezometrów zamkniętych.

Należy jednak pamiętać, że nawet najdokładniejsze pomiary zwierciadła wody prowadzone w otworze piezometrycznym (piezometry otwarte) z uwzględnieniem okresu potrzebnego na ustabilizowanie się zwierciadła nie pozwolą na dokładne oszacowanie amplitudy zmian położenia zwierciadła w krótkim odstępie czasowym (hydrodynamiczne opóźnienie czasowe - szczegóły podano w Geomonitoring , część 1, pkt 3.2).

Tabela 9 Grupy nośności podłoża dla występujących warunków wodnych na podstawie (Katalog GDDKiA, 2014)

RODZAJ GRUNTÓW PODŁOŻA	WARUNKI WODNE W WYPADKU WYSTĘPOWANIA SWOBODNEGO ZWIERCIADŁA WODY OD ZAKŁADANEGO SPODU KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI		
	DOBRE woda >2 m ppt	PRZECIĘTNE woda od 1m do 2 m ppt	ZŁE woda < 1 m ppt
	GRUPA NOŚNOŚCI PODŁOŻA DLA WARUNKÓW WODNYCH		
Grunty niewysadzinowe: rumosze niegliniaste, żwiry i pospółki, piaski grube, średnie i drobne, żuźle nierozpadowe	G1	G1	G1
Grunty wątpliwe: piaski pylaste, zwietrzliny gliniaste i rumosze gliniaste, żwiry i pospółki gliniaste	G2	G2	G3
Grunty mało wysadzinowe w stanie zwartym, twaroplastycznym: Gliny piaszczyste zwięzłe, gliny zwięzłe, gliny pylaste zwięzłe, ily, ily piaszczyste i pylaste	G3	G4	G4
Grunty bardzo wysadzinowe w stanie zwartym, półzwartym lub twaroplastycznym: piaski gliniaste, pyły piaszczyste, pyły, gliny, gliny piaszczyste i pylaste, ily warwowe	G4	G4	G4
Grunty spoiste w stanie plastycznym, miękkoplastycznym i bardzo miękkoplastycznym oraz grunty organiczne	grunty słabe – wymagają indywidualnego projektowania		
W wypadku dużej zmienności gruntu oraz występowania skał i utworów antropogeniczne,	grupa nośności podłoża ustalana jest indywidualnie		
Sytuacje wyjątkowe (np. kurzawki), tereny górnicze (szkody górnicze)	wymagają indywidualnego projektowania		

UWAGA: W przypadku sąceń wody w wykopach przyjmaj warunki wodne o jeden stopień gorsze niż odczytane z tablicy.

W zamkniętych systemach wykorzystujących czujniki do pomiaru ciśnienia wody czasy reakcji są praktycznie natychmiastowe (szczegóły podano w Geomonitoring , część 1, pkt 3.2.).

Znaczenie hydrodynamicznego opóźnienia czasowego zależy przede wszystkim od celu wykonywanych pomiarów. Kryterium opóźnień czasowych a tym samym dobór instrumentarium pomiarowego należy więc oceniać indywidualnie dla każdego przypadku osobno (tabela 10).

Tabela 10 Optymalizacja pomiarów piezometrycznych

	PIEZOMETRY OTWARTE	PIEZOMETRY ZAMKNIĘTE
Pomiar położenia zwierciadła wody	Zalecane M/A	
Pomiar ciśnienia piezometrycznego		Zalecane A/M
Wahania zwierciadła wód podziemnych	Dopuszczalne M/A	Zalecane A/M

A – pomiar automatyczny (ciągły), M – pomiar manualny (okresowy)

4.4 . Posadowienie nasypów drogowych na podłożu słabym (słabonośnym)

Nasypy są jednymi z najstarszych form konstrukcyjnych, ale nadal stanowią ogromne wyzwanie inżynierskie a zwłaszcza gdy są posadawiane na podłożu słabonośnym. Samo określenie słaby grunt lub podłoże słabonośne jest pojęciem względnym. W wielu opracowanych podłoża słabonośne definiowane jest jako warstwy gruntu nie spełniające wymagań wynikających z warunków nośności lub stateczności albo warunków przydatności do użytkowania w odniesieniu oczywiście do rozpatrywanego obiektu lub elementu konstrukcji (Jemiołkowski 2016).

W praktyce inżynierskiej pod pojęciem podłoże słabonośne najczęściej przyjmuje się podłoże zbudowane z gruntów spoistych i/lub organicznych, których stopień plastyczności $I_L > 0,5$ a odpowiadający mu wskaźnik konsystencji $I_c < 0,5$. Charakteryzują się one:

- wysoką porowatością i wilgotnością,
- wysokim stopniem nasycenia wodą ($S_r > 0,9$) (MŚZNiL 1998)
- dużą odkształcalnością z wyraźną tendencją do pełzania
- dużą odkształcalnością (ściśliwością) i małą przepuszczalnością,
- znaczną zmianą przepuszczalności wraz ze zmianą porowatości,
- małą wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie $q_u < 50$ kPa (Terzaghi & Peck 1967),
- małą wytrzymałością na ścinanie w warunkach bez odpływu $c_u (s_u) < 25$ kPa (Terzaghi & Peck 1967),
- znaczną nieliniową zmiennością charakterystyk materiałowych,
- znaczną przestrzenną zmiennością właściwości (Lechowicz & Wrześniński 2013).

Duża odkształcalność gruntów słabonośnych przy jednoczesnej ich małej wytrzymałości na ścinanie powoduje, że posadawianie na nich nasypów stwarza olbrzymie problemy inżynierskie (Terzaghi & Peck 1967, Raport FHWA 2009, Hartlen & Wolski 1996). Wynikają one głównie z trudności zapewnienia stateczności budowli ziemnej oraz występowania dużych pionowych i poziomych odkształceń podłoża podczas i po zakończeniu budowy (Lechowicz & Wrześniński 2013, Lechowicz & Szymański 2002, Almedia & Marques 2013).

Przebieg, charakter i zakres odkształceń zależy od stanu i układu warstw gruntów słabych w podłożu, od wielkości i rozkładu obciążeń przekazywanych przez nasyp, jego kształtu oraz

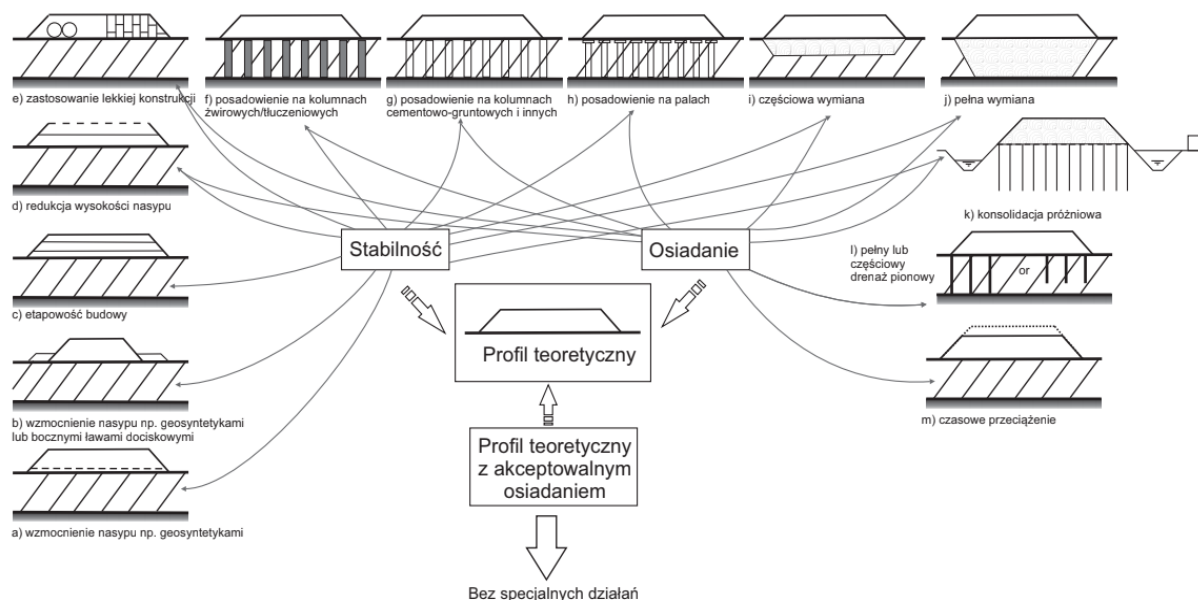
intensywności ich przyrostu (Jemiołkowski 2016).

Parametry gruntu wykorzystywane do obliczeń nośności, osiadań, oceny stateczności podłoża, jak również przyjmowane współczynniki bezpieczeństwa w wielu przypadkach są tak dobierane aby nie było konieczności wykorzystywania dodatkowych urządzeń/metod pomiarowych, a projekt był realizowany bez konieczności jego przeprojektowywania. Dlatego projekty realizowane w sposób klasyczny mają często zakładane znacznie większe współczynniki zabezpieczenia niż jest to konieczne i są tym samym przeszacowane. Pamiętajmy, że pewne niejasności jednak i tak zawsze pozostają.

Posadawianie nasypów drogowych na gruntach słabonośnych rodzi szereg problemów. Odpowiedzialny, nie bojący się zmian projektant, tam, gdzie niepewność projektu jest duża, współczynniki bezpieczeństwa niskie a konsekwencje złego wykonania poważne, obejmuje programem monitorowania realizowany projekt. Nic więc dziwnego, że monitoring odgrywa tak istotną rolę w projektowaniu i budowie nasypów w przedstawionych warunkach. Instrumenty pomiarowe wykorzystywane do monitorowania zachowania się nasypów posadawianych na gruntach słabonośnym mają służyć głównie do oceny postępu konsolidacji i ustalenia, czy nasyp jest stabilny, a w sytuacjach awaryjnych ostrzegać o grożącym niebezpieczeństwie, przyczyniając się tym samym do wdrożenia środków zaradczych przed wystąpieniem sytuacji kryzysowej.

Jeżeli niepewność w doborze parametrów gruntu jest nie do przyjęcia, lub jeśli istnieje wątpliwość co do wykonalności konstrukcji, może być właściwe wykonanie próbnego nasypu (testowego). Instrumenty wykorzystywane wówczas w monitoringu stanowią istotną rolę w ocenie skuteczności takiego testu.

Istnieje szereg metod posadawiania nasypów na podłożu słabonośnym. Większość z nich przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 5 Przykłady posadawiania nasypów na podłożu słabym (słabonośnym) (Almedia & Marques 2013)

A – wzmocnienie nasypu np. geosyntetykami, B – wzmocnienie nasypu np. geosyntetykami czy bocznymi ławami dociskowymi (bankiety dociążające), C – etapowość budowy, D – redukcja wysokości nasypu, E – zastosowanie lekkiej konstrukcji, F – posadowienie na kolumnach żwirowych/tłuczeniowych, G – posadowienie na kolumnach cementowo-gruntowych i innych, H – posadowienie na palach, I – częściowa wymiana, J – pełna wymiana, K – konsolidacja próżniowa, L – pełny lub częściowy drenaż pionowy, M – czasowe przeciążenie (nasypy przeciążające), N – inne np. zagęszczenie/dogęszczanie, wibroflotacja, mikrowybuchy

Główne zagadnienia z jakimi się zmagamy w sytuacji posadawiania nasypów na gruntach słabonośnych to przede wszystkim: określenie osiadań podłoża pod nasypem, ocena postępu konsolidacji, wypieranie gruntu czy utrata stateczności.

Poniżej zebrano i przedstawiono przykładowe zagadnienia czy pytania geotechniczne jakie można sobie postawić rozpatrując powyższe problemy wraz z przedstawieniem propozycji urządzeń lub metod pomiarowych które można wykorzystać aby przeprowadzić odpowiednie pomiary i odpowiedzieć sobie na nurtujące nas pytania (tabela 11). Lista nie ma charakteru wyłącznego, wskazuje jedynie instrumenty zapewniające zadowalające dane dotyczące danego zagadnienia.

P.1. Określenie wstępnych warunków zachowania się podłoża

Określenie warunków gruntowo-wodnych występujących w podłożu ustala się najczęściej za pomocą klasycznych badań geotechnicznych (wiercenia), uzupełnianych badaniami in situ już na etapie wstępnych prac przygotowawczych. Na etapie projektowania często konieczna staje się informacja o wahaniami zwierciadła wody gruntowej czy zdefiniowanie wstępnego reżimu ciśnień wód gruntowych. Pomiary osiadań również mogą być wymagane. Aby to spełnić należy zainstalować odpowiednie instrumenty pomiarowe lub wykonać odpowiednie pomiary (np. geofizyczne) stanowiące bazę do rozpoczęcia i prowadzenia monitoringu na dalszych etapach realizacji danego przedsięwzięcia. Co istotne oprzyrządowania można instalować na długo przed rozpoczęciem budowy, aby uzyskać jak najlepsze tło wyjściowe i zmienność parametrów w czasie w wyniku oddziaływania różnych czynników.

P.2. Wstępna ocena zachowania się słabonośnego podłoża obciążonego próbnym nasypem

Czasami zdarza się, że aby wykazać niepewności w doborze parametrów podłoża, zbadać alternatywne metody budowy nasypów, ocenić dobór technik wzmocnienia podłoża, przebieg możliwej konsolidacji czy wykazać możliwości wykonania nasypu na podłożu słabonośnym, stawiane są próbne nasypy (doświadczalne). Celem prowadzonego wówczas monitoringu jest wstępna ocena postępu konsolidacji oraz ocena stateczności posadawianego nasypu. Parametrami jakie wówczas moglibyśmy mierzyć są: przemieszczenia pionowe i poziome oraz rozkład ciśnienie wody w porach. W celu zminimalizowania już na tym etapie kosztów budowy, przyjmuje się często maksymalne wyposażenie nasypu i podłoża w instrumenty/metody monitorujące, aby uzyskać jak najwięcej informacji z prowadzonego testu próbnego, i aby na etapie realizacji ograniczyć się wyłącznie do obliczeń numerycznych oraz minimalnego wyposażenia.

P.3. Kontrola procesu konsolidacji

Oceniając przebieg konsolidacji pod nasypem posadawianym na słabonośnym podłożu, zwykle opieramy się na pomiarach osiadań i pomiarach zmian wielkości ciśnienia wody porowej. Kiedy instalujemy czujniki do pomiaru ciśnienia wody w porach w pobliżu nasypu, należy dodatkowo zainstalować czujniki referencyjne, oddalone od nasypu tak, aby monitorować również zmiany ciśnienia wody gruntowej, które mogą wynikać z innych przyczyn niż sama budowa nasypu. Kontrolę postępu konsolidacji możemy przeprowadzić na podstawie wykresu zależności ciśnienia wody porowej w funkcji czasu, a rozproszenie nadwyżki ciśnienia wody w porach spowodowanej obciążeniem nasypem, odpowiada konsolidacji całkowitej. PO zakończeniu konsolidacji wielkości ciśnienia piezometrycznych pod nasypem i poza nim będą wówczas równoważne. Przewidywanie postępu konsolidacji z wykresu osiadań względem czasu jest mniej miarodajne, ponieważ wielkości osiadania całkowitego nie można stwierdzić z całą pewnością. Instrumenty monitorujące postęp konsolidacji można wybrać z listy podanej w tabeli 11. Wybór między różnymi instrumentami zależy od szeregu czynników. Każdy z instrumentów pomiarowych ma swoje zalety i ograniczenia które należy wziąć pod uwagę przy ich wyborze, a także należy dołożyć szczególnych starań, aby dobrać takie instrumenty, które przetrwają duże odkształcenia i jednocześnie dostarczą wiarygodne

danych w miarę postępu deformacji, czyli we wszystkich przypadkach należy przewidzieć maksymalną ścisłość podłoża (również użytkowe) i poziome przemieszczenia.

P.4. Czy nasyp jest stateczny?

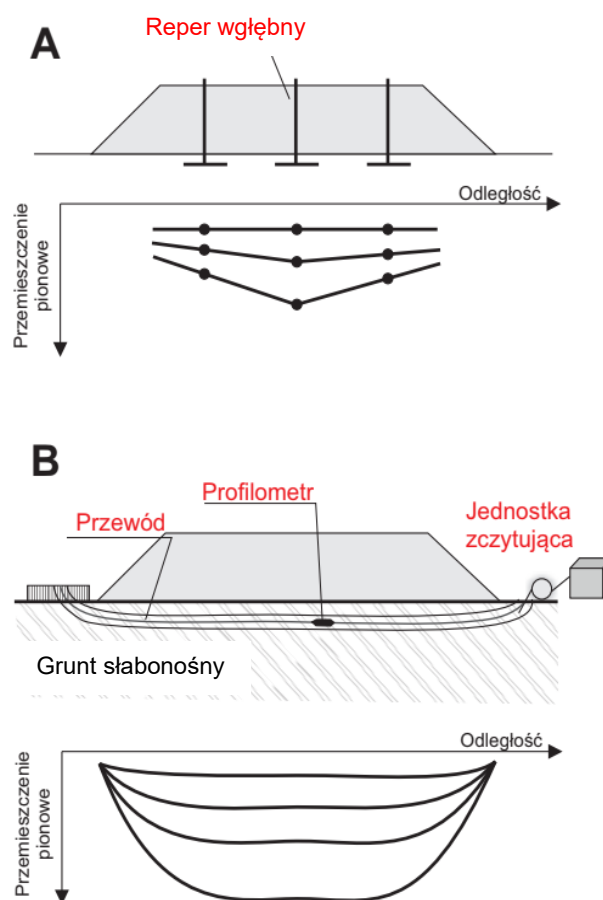
Ocena stateczności nasypów posadawianych na gruntach słabonośnych prowadzona może być zarówno na etapie jego wznoszenia, stabilizacji, jak i po zakończeniu robót, kiedy odbywa się regularny ruch drogowy.

W przypadku jeśli przewidywane przemieszczenia poziome są niewielkie, zwykle nie jest wymagane montowanie specjalistycznego oprzyrządowania monitorującego. W innych przypadkach zazwyczaj planuje się monitoring deformacji poziomych, który pełni wówczas rolę ostrzegawczą, przed wystąpieniem sytuacji kryzysowej, pozwalając na wdrożenie wcześniej zaplanowanych środków zaradczych.

Podstawowym narzędziem wykorzystywanym do tego typu pomiarów są pionowe systemy inklinometryczne, wspomagane monitoringiem geodezyjnym i/czy teledetekcyjnym powierzchni nasypu i jego otoczenia.

P.5. Jaka jest rzeczywista kubatura nasypu?

Słabonośne podłoże może ulegać znacznemu osiadaniu podczas wznoszenia nasypu drogowego. Gdy kubatura nasypu jest opłacana w oparciu o jego objętość należy określić przebieg podstawy nasypu. Stosuje się wówczas repery wgłębne, lub jeśli chcemy uzyskać ciągły profil podstawy nasypu to wykorzystujemy hydroprofilometry lub poziome systemy inklinometryczne. Różnice w obu podejściach przedstawiono na rysunku 6.



Rysunek 6 Przykład pomiaru osiadań bazujący na pomiarach punktowych lub ciągłych (Almedia & Marques 2013)

Tabela 11 Przykłady zagadnień i pytań geotechnicznych jakie można sobie postawić rozpatrując problem z posadawieniem nasypów drogowych na gruntach słabonośnych wraz z proponowanymi instrumentami (na podstawie Dunicliff 1993 i Raport FHWA 1998). Lista nie jest zamknięta

PYTANIA/ ZAGADNIENIA	POMIAR	ODPOWIEDNIE INSTRUMENTY/METODY	UWAGI	
P.1 Określenie wstępnych warunków zachowania się podłoża	Przemieszczeń pionowych - deformacje powierzchniowe	Pomiary geodezyjne: - pomiary tachimetryczne - niwelacja - GNSS	w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	Z
	Położenia zwierciadła wody (wahania)	Piezometry otwarte	w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	Z
		Piezometry zamknięte - czujniki do pomiaru ciśnienia porowego ^{P/W}		Z
Ciśnienia porowe wody gruntowej	Czujniki do pomiaru ciśnienia porowego ^{P/W}		Z	
P.2 Wstępna ocena zachowania się słabonośnego podłoża obciążonego próbnym nasypem Jakie informacje mogą być pozyskane w trakcie testu?	Odpowiednie co do oceny postępu konsolidacji czy oceny stateczności - zakres jak poniżej	Odpowiednie co do oceny postępu konsolidacji czy oceny stateczności - zakres jak poniżej		
P.3 Kontrola przebiegu konsolidacji Jaki jest postęp konsolidacji?	Przemieszczeń pionowych powierzchni nasypu i powierzchni podłoża poza stopą nasypu (wypieranie)	Pomiary geodezyjne: - pomiary tachimetryczne - GNSS	w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	Z
		Pomiary teledetekcyjne: - skaning laserowy (UAV) - fotogrametria (UAV)	w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	D
	Przemieszczeń pionowych pierwotnej powierzchni gruntu poniżej nasypu	Repery wgłębne ^P		Z
	Deformacji pionowych pierwotnej powierzchni gruntu poniżej nasypu – wyznaczenie profilu osiadań gruntu (ciągłe czy punktowe rys. 6)	Repery wgłębne ^P		D
		Hydroniwelatory ^P		D
		Profilometry hydrauliczne ^C		Z
	Deformacji pionowych i ściskanie podłoża	Inklinometry poziome ^{P/C/W}		Z
		Ekstensometry przenośne		Z
		Hydroniwelatory ^P		D
	Ciśnienia porowego wody gruntowej	Ekstensometry		Z
		Czujniki do pomiaru ciśnienia porowego ^{P/W}		Z
	Położenie zwierciadła wody (wahania)	Piezometry otwarte	w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	Z
		Piezometry zamknięte - czujniki do pomiaru ciśnienia porowego ^{P/W}		Z
Odkształceń geosyntetyków	Tensometry			
	Poduszki ciśnieniowe			
	Systemy światłowodowe (inteligentne geosyntetyki)			
Drgań	Akcelerometry		Z	
	Geofony		D	
P.4	Przemieszczeń poziomych powierzchni nasypu i powierzchni podłoża poza stopą nasypu (wypieranie)	Pomiary geodezyjne: - pomiary tachimetryczne - GNSS	w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	Z
		Inklinometry pionowe ^{P/C/W}		Z

PYTANIA/ ZAGADNIENIA	POMIAR	ODPOWIEDNIE INSTRUMENTY/METODY	UWAGI	
Czy nasyp jest stateczny?		Pomiary teledetekcyjne: - skaning laserowy (UAV) - fotogrametria (UAV) - naziemny skaning laserowy	w zależności od wymaganej dokładności pomiaru	D
	Drgań	Akcelerometry Geofony		Z D
P.5 Jaka jest rzeczywista kubatura nasypu?	Przemieszczeń pionowych pierwotnej powierzchni gruntu poniżej nasypu	Repery wgłębne ^P Profilometry hydrauliczne ^C Inklinometry poziome ^{P/C/W}		

^{P/C/W} – P - pomiar punktowy, C - pomiar ciągły (wzdłuż profilu), W - wielopunktowy

Z	D
---	---

zalecane stosowanie / dopuszczalne stosowanie

4.5 Osuwiska zagrażające zabudowie i infrastrukturze drogowej

Osuwisko to forma ruchów grawitacyjnych, której skutkiem jest przemieszczenie mas skalnych lub gruntowych zgodnie z działaniem sił grawitacji, wzdłuż powierzchni poślizgu. W Polsce około 90% wszystkich osuwisk jest skoncentrowana głównie w rejonie Karpat. Jest to związane z budową geologiczną a konkretnie z występowaniem w tym rejonie utworów fliszowych. Pozostałe 10% osuwisk zarejestrowano na obszarach pokrytych utworami lessowymi, neogeńskimi i czwartorzędowymi seriami ilastymi, wybrzeżu klifu bałtyckiego oraz dolinach dużych rzek (Grabowski 2008).



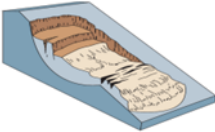
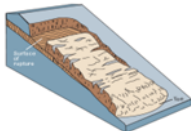
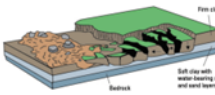
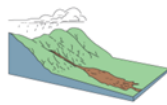
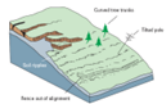
Osuwiska powodują wielkie szkody w budownictwie kubaturowym oraz infrastrukturze sieci drogowych.

Aby poprawnie zabezpieczyć teren zagrożony lub już poddany ruchom osuwiskowym należy określić przyczyny ich wystąpienia na danym terenie. Powstanie oraz stopień nasilenia ruchów osuwiskowych zależy zarówno od czynników zewnętrznych (czynniki wyzwalające i warunkujące) jak i wewnętrznych. Do pierwszych zaliczamy na przykład: warunki klimatyczne (występowanie oraz wielkość opadów), dynamiczne obciążenia stoków oraz drgania parasejsmiczne (transport, wibracje, tąpnięcia), czy brak działań konserwacyjnych w stosunku do urządzeń odwodnieniowych. Warto zauważyć, że wpływ dużej części tych czynników jesteśmy w stanie znacznie zredukować bądź całkowicie wyeliminować (Kleczkowski 1955). Do czynników wewnętrznych zaś, zaliczamy między innymi: budowę geologiczną warstw budujących podłoże (rodzaj utworów, wykształcenie strukturalne i tektoniczne, parametry wytrzymałościowe), warunki hydrogeologiczne (obecność poziomów wodonośnych, przepuszczalność utworów) oraz ukształtowanie powierzchni terenu (Kleczkowski 1955).

Istnieje wiele różnorodnych podziałów ruchów masowych. Do najczęściej wykorzystywanych należy zaliczyć klasyfikację Varnesa (tabela 12), która w prosty sposób uwzględnia zarówno rodzaj ruchu jak i rodzaj materiału podlegającego przemieszczeniom. W programie SOPO (System Ochrony Przeciwosuwiskowej), dla celów opracowania MOTZ (Mapy osuwisk i terenów zagrożonych) zastosowano podział ruchów masowych ze względu na (Grabowski, 2008):

- rodzaj ruchu (tabela 12),
- kierunek ruchu materiału przemieszczanego względem ułożenia warstw w podłożu,
- rodzaj przemieszczanego materiału,
- aktywność osuwiska.

Tabela 12 Klasyfikacja powierzchniowych ruchów masowych wg Varnesa 1978 (USGS 2004)

RODZAJ RUCHU	SCHEMAT	RODZAJ MATERIAŁU		
		UTWORY SKALNE	GRUNTY GRUBOZIARNISTE	GRUNTY DROBNOZIARNISTE
OBRYWY		Obryw skalny	Obryw zwierzeliny	Obryw gruntu
OBWAŁY		Obwał skalny	Obwał zwierzeliny	Obwał gruntu
OSUWISKA ROTACYJNE		Zsuw (osuwanie się) bryły skalnej	Zsuw (osuwanie się) zwierzeliny	Zsuw (osuwanie się) gruntu
OSUWISKA TRANSLACYJNE				
ROZPAD BOCZNY		Rozpad masywu skalnego	Rozpad zwierzeliny	Rozpad gruntu
SPLĘWY		Splęw skalny	Splęw zwierzeliny (gruzowy)	Splęw Gruntu (błotny)
SPEŁZYWANIE			Pełzanie zwierzeliny	Pełzanie gruntu
ZŁOŻONE	Kombinacja dwóch lub więcej typów ruchów masowych			

Ze względu na kierunek ruchu materiału przemieszczanego względem ułożenia warstw w podłożu wyróżniono osuwiska (Grabowski, 2008):

- asekwentne - to wszystkie osuwiska powstające w wyniku przemieszczenia jednorodnych i niezaburzonych utworów,
- konsekwentne - warstwy są ułożone równolegle, lub prawie równolegle względem powierzchni poślizgu. Strefą poślizgu może być powierzchnią uwarstwienia lub płaszczyzna która rozdziela np. skały podłoża i pokrywę zwierzelinową. Wyróżniamy tutaj trzy podgrupy:
 - osuwisko konsekwentno-zwierzelinowe, powierzchnia nieciągłości to granica pomiędzy zwierzeliną a skalnym podłożem,
 - osuwisko konsekwentno-strukturalne, powierzchnia nieciągłości zgodna z powierzchnią strukturalną (uławicenia),

- osuwisko konsekwentno-szczelinowe, powierzchnia nieciągłości zgodna z przebiegiem szczelin i spękań,
- insekwentne - kierunek przemieszczenia mas jest skośny do powierzchni strukturalnej warstw podłoża. Szczególnym przypadkiem jest osuwisko, w którym kierunek ruchu i kierunek upadu warstw są zbliżone, natomiast kąt upadu warstw jest większy od nachylenia stoku,
- subsekwentne - kierunek ruchu mas jest zgodny z biegiem powierzchni uławicenia, przemieszczenie mas następuje wzdłuż czołowych powierzchni ławic,
- obsekwentne - ruch mas przebiega prawie prostopadle do biegu warstw. Typ ten jest szczególnym przypadkiem osuwiska insekwentnego, gdzie kierunek upadu warstw jest przeciwny do kierunku ruchu osuwiska,
- złożone - ruch mas odbywa się po podłożu o skomplikowanej budowie. Jest kombinacją jednego lub więcej wcześniej wspomnianych typów osuwisk. Skomplikowana budowa geologiczna może być związana ze strefami nasunięć, uskokami czy zaburzeniami glacitektonicznymi.

Ze względu na rodzaj materiału przemieszczanego (Grabowski, 2008):

- osuwiska gruntowe (utwory drobnoziarniste lub gruboziarniste) – osuwisko rozwinięte jest w gruntach w których zdecydowana większość to utwory drobnoziarniste (pył, il) lub gruboziarniste (piaski, żwiry).
- osuwiska skalne – osuwisko rozwinięte jest w obrębie zwięzłych skał, gdzie udział zwietrzliny jest niewielki.
- osuwiska zwietrzelinowe – osuwisko rozwinięte w nieskonsolidowanych utworach które pochodzą głównie z wietrzenia skał, lub wzdłuż strefy kontaktu zwietrzliny z litą skałą.
- osuwiska skalno-zwietrzelinowe – osuwisko obejmujące swoim zasięgiem zarówno zwięzłe skały jak i pokrywę zwietrzelinową. Procentowy udział skał i zwietrzliny jest podobny.
- osuwiska mieszane – osuwisko rozwinięte na podłożach różnego rodzaju. Obejmuje skały, zwietrzliny i grunty antropogeniczne.

Klasyfikacja ruchów osuwiskowych ze względu na ich aktywność (wg Varnesa, Grabowski i in. 2008, Zabuski i in. 1999) przedstawia się następująco:

- aktywne - takie, które aktualnie są w ruchu, lub też uległy przemieszczeniu w ciągu ostatnich sezonów:
- aktywne ciągle - będące w ciągłym ruchu lub którego objawy aktywności występowały w trakcie prowadzenia rejestracji albo w ciągu co najmniej ostatnich 5 lat,
- aktywne okresowo - osuwisko, w obrębie którego objawy aktywności występowały w nieregularnych odstępach czasu, w ciągu ostatnich 50 lat,
- nieaktywne - na których ślady aktualnego ruchu nie są widoczne i na których ruch nie zachodzi w ciągu co najmniej ostatnich 50 lat; na takich zboczach ślady dawnego przemieszczenia mogą być widoczne i ruch może się ponownie uaktywnić przy niekorzystnych zmianach warunków zewnętrznych i wewnętrznych.

Przy doborze przyrządów/metod pomiarowych wykorzystywanych w monitoringu należy uwzględnić przewidywaną prędkość przemieszczanych mas. Prędkość poszczególnych rodzajów ruchu zmienia się w bardzo szerokim zakresie. Ruch może być tak powolny, że prawie niezauważalny (jest to zwykle pełzanie), ale może też osiągać bardzo duże prędkości rzędu kilku m/min, a nawet wyższe przy spadku swobodnym (obrywy). Częstotliwość pomiarów zależy więc również od częstotliwości zmian analizowanej wielkości. Pożądane jest by pomiar było co najmniej 2 razy szybszy niż zmienność parametru, wówczas będziemy mieć pewność że przebieg mierzonej

wielkości zostanie odwzorowana poprawnie na wykresie. Klasy prędkości ruchów osuwiskowych i ich skutki przedstawiono w tabeli 13.

Tabela 13 Klasy prędkości ruchów osuwiskowych i prawdopodobne ich skutki (Cruden, Varnes, 1993)

KLASA	OPIS	TYPOWE PRĘDKOŚCI	TYP RUCHU					PRAWDOPODOBNE SKUTKI
			OBRYW	OBWAŁ	ZSUW	SPIĘTYW	SPEŁZYWANIE	
7	ekstremalnie szybki	5m/s $5 \cdot 10^3 \text{mm/s}$						Bardzo rozległe zniszczenia; zniszczone budynki, duża liczba ofiar
6	bardzo szybki	3m/min $5 \cdot 10^1 \text{mm/s}$						Duże zniszczenia, prędkość zbyt duża by ostrzec wszystkich, co prowadzi do utraty życia
5	szybki	1,8m/h $5 \cdot 10^{-1} \text{mm/s}$						Możliwa ewakuacja ludzi. Budynki i infrastruktura zniszczone
4	średni	13m/miesiąc $5 \cdot 10^{-3} \text{mm/s}$						Szkody w budynkach i infrastrukturze Bardziej wytrzymałe budynki mogą zostać tymczasowo wzmocnione
3	powolny	1,6m/rok $5 \cdot 10^{-5} \text{mm/s}$						Mogą zostać przedsięwzięte środki ograniczające ruch osuwiska. Budynki mogą wymagać okresowych prac naprawczych, jeżeli pierwszej fazy ruchu przemieszczenia nie były zbyt duże
2	bardzo powolny	16mm/rok $5 \cdot 10^{-7} \text{mm/s}$						Niektóre bardziej odporne na ruch obiekty nie ulegną zniszczeniu
1	ekstremalnie powolny							Wykrycie ruchu nie jest możliwe bez odpowiednich instrumentów pomiarowych, możliwe wnioskowania na podstawie pewnych przesłanek

Ogólną stateczność skarp i zboczy z uwzględnieniem wpływu istniejących i planowanych konstrukcji, należy sprawdzić ze względu na stan graniczny nośności. 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 prowadzenie monitoringu w celu zapewnienia danych o (pkt 11.7 (2), PN-EN 1997-1):

- poziomie wód gruntowych lub ciśnieniu wody w porach gruntu, aby przeprowadzić lub zweryfikować analizy obliczeniowe w oparciu o naprężenia efektywne,
- poziomych i pionowych ruchach gruntu w celu przewidzenia dalszych przemieszczenia
- głębokości i kształcie powierzchni poślizgu w powstałym osuwisku,
- prędkości ruchów, aby umożliwić ostrzeżenie przed zbliżającym się niebezpieczeństwem (w takich przypadkach może być przydatny zdalny odczyt cyfrowy, lub zdalny system alarmowy).

PYTANIA/ ZAGADNIENIA	POMIAR	ODPOWIEDNIE INSTRUMENTY/METODY	UWAGI	
Warunki atmosferyczne	Temperatura	Stacje meteorologiczne Czujniki temperatury		Z
	Ciśnienie atmosferyczne	Stacje meteorologiczne Barometr		Z
P.4 Czy skarpa jest stateczna w dłuższej perspektywie?	Odpowiednie co do oceny stateczności - zakres jak powyżej	Odpowiednie co do oceny stateczności - zakres jak powyżej		Z
P.5 System wczesnego ostrzegania Aktywacja po przekroczeniu progów (granic) dopuszczalnych		Inklinometry łańcuchowe	Systemy zautomatyzowane ze zdalnym przesyłem danych, często wykorzystywane systemy hybrydowe	Z
		Inklinometry modułowe		Z
		Kable TDR		D
		Ekstensometry prętowe, strunowe		Z
		Systemy hybrydowe (np. inklinometry przenośne dodatkowo uzbrojone w światłowody, czy wspomagane pomiarem ekstensometrycznym lub pomiarem TDR)		D
		Ciągłe pomiary geodezyjne: - pomiary tachimetryczne - GNSS		D
		Pomiary teledetekcyjne: - skaning laserowy - interferometria radrowa		D
		Czujniki do pomiaru ciśnienia porowego P/W		Z
P.6 Zabezpieczenia skarp i zboczy	Odpowiednie co do zamontowanego instrumentarium pomiarowego - weryfikacja zabezpieczeń skarp i zboczy	Odpowiednie co do zamontowanego instrumentarium pomiarowego - weryfikacja zabezpieczeń skarp i zboczy Np. pochyłomierze, ogniwa obciążające – obciążenia kotwi , ciągien, ...)		

^{P/C/W} – P - pomiar punktowy, C - pomiar ciągły (wzdłuż profilu), W - wielopunktowy

*lokalizacja na budynkach, obiektach inżynierskich

Z	D
---	---

zalecane stosowanie / dopuszczalne stosowanie

4.6. Tereny górnicze – potencjalne obszary występowania szkód górniczych

Prowadzenie eksploatacji podziemnej i odkrywkowej wiąże się z ingerencją w górotwór, co w konsekwencji przejawia się w postaci ciągłych i nieciągłych deformacji terenu oraz w zaburzeniach zwierciadła wód gruntowych (obniżenie lub podniesienie poziomu zwierciadła wód gruntowych lub zaburzenie sływu grawitacyjnego wód). Do wpływów eksploatacji należy także zaliczyć wstrząsy parasejsmiczne. W przypadku eksploatacji odkrywkowej szczególne znaczenie ma także zapewnienie stateczności zboczy wyrobiska i zapobieganie zjawiskom osuwiskowym.

Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2011 Nr 163 poz. 981 z późn. zmianami) definiuje teren górniczy jako przestrzeń objętą przewidywanymi szkodliwymi wpływami robót górniczych zakładu górniczego. Zgodnie z Art. 24 we wniosku o udzielenie koncesji, poza wymaganiami przewidzianymi przepisami z zakresu ochrony środowiska i działalności gospodarczej, określa się: m.in. sposób przeciwdziałania ujemnym wpływom zamierzonej działalności na środowisko. Do wniosku o udzielenie koncesji na wydobywanie kopalin

ze złóż dołącza się (wg Art. 26. ust. 3) *projekt zagospodarowania złoża, określający wymagania w zakresie racjonalnej gospodarki złożem kopaliny, w szczególności przez kompleksowe i racjonalne wykorzystanie kopaliny głównej i kopaliny towarzyszących, oraz technologii eksploatacji zapewniającej ograniczenie ujemnych wpływów na środowisko. Obowiązek ten nie dotyczy koncesji udzielanych przez starostę.*

W związku z tym, że niekorzystnych wpływów eksploatacji górniczej nie można całkowicie wyeliminować, kopalnie w celu ich ograniczenia prowadzą profilaktykę górniczą oraz budowlaną. Pierwsza polega na projektowaniu i prowadzeniu robót górniczych w sposób zapewniający minimalizację szkodliwych oddziaływań na powierzchnię terenu, druga natomiast na odpowiednim, wyprzedzającym zabezpieczeniu obiektów powierzchniowych metodami budowlanymi.

W związku z powyższym kopalnie wykonują prognozy ujemnych wpływów eksploatacji na środowisko, a także prowadzą szeroko rozumiany monitoring oddziaływania eksploatacji na powierzchnię terenu.

Prezes Wyższego Urzędu Górniczego oraz dyrektorzy okręgowych urzędów górniczych i Specjalistycznego Urzędu Górniczego sprawują nadzór i kontrolę nad ruchem zakładów górniczych, w szczególności w zakresie (<http://www.wug.gov.pl>), a w tym m.in.:

- gospodarki złożami kopaliny w procesie ich wydobywania;
- ochrony środowiska i gospodarki złożem, w tym według kryterium wykonywania przez przedsiębiorców obowiązków określonych w przepisach odrębnych od ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. - Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. z 2011 r. nr 63 poz. 981 z późn. zm.) lub na ich podstawie;
- zapobiegania szkodom;
- budowy i likwidacji zakładu górniczego, w tym rekultywacji gruntów po działalności górniczej.

Zgodnie z Ustawą z dnia 10 kwietnia 2003 r. o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie dróg publicznych (Dz.U. 2003 Nr 80 poz. 721 późn. zm) oraz Kodeksem postępowania administracyjnego (Dz.U. z 2000r. Nr 98 poz. 1071 z późn. zm.) wnioski o wydanie decyzji o zezwoleniu na realizację inwestycji drogowej zawiera m.in. opinię właściwego organu nadzoru górniczego - w odniesieniu do terenów górniczych.

Prognozowanie deformacji powierzchni na terenach górniczych

Podziemna eksploatacja górnicza powoduje deformacje górotworu i powierzchni terenu, które charakteryzowane są za pomocą wskaźników deformacji:

- obniżenia powierzchni terenu,
- nachylenia brzegów powstającej niecki obniżeniowej,
- przemieszczenia poziome,
- odkształcenia poziome,
- odkształcenia pionowe,
- krzywizny oraz promienie krzywizn.

W szczególnych przypadkach wskaźniki deformacji uzupełnia się dodatkowo o wielkości wychyleń, rotację oraz skręcenie torsyjne – wskaźniki te służą przede wszystkim do charakterystyki deformacji budowli i obiektów. Do wskaźników deformacji można zaliczyć także konwergencję, określaną przy charakterystyce stanu wyrobisk górniczych.

Wyjściowymi danymi do oceny skutków projektowanej podziemnej eksploatacji górniczej

w obiektach budowlanych są prognozowane wskaźniki wywołanych nią deformacji powierzchni. Dokładność prognoz jest w znacznym stopniu zależna od rozpoznania warunków geologiczno-górnich i zamierzeń eksploatacyjnych. W zależności od potrzeb i możliwości wyróżnia się trzy zasadnicze rodzaje prognoz (tabela 15):

- przybliżoną,
- podstawową,
- szczegółową.

Tabela 15 Rodzaje prognoz deformacji powierzchni (Kwiatkiewicz 2002)

RODZAJ PROGNOZY	CHARAKTERYSTYKA DEFORMACJI POWIERZCHNI	
	DANE PODSTAWOWE	DANE UZUPEŁNIAJĄCE
Prognoza przybliżona	kategorie terenu górniczego, końcowe obniżenia	-
Prognoza podstawowa	ekstremalne wartości obniżień, nachyleń, krzywizn i poziomych odkształceń wraz z czasem ich występowania	-
Prognoza szczegółowa	ekstremalne wartości obniżień w wybranych punktach oraz nachyleń, krzywizn i poziomych odkształceń w wybranych punktach i kierunkach wraz z czasem ich występowania	charakterystyka deformacji nieustalonych, krzywizny i poziome odkształcenia dla określonych długości baz obliczeniowych i rozrzut statystyczny wskaźników deformacji powierzchni

Prognoza przybliżona jest prognozą długoterminową, sporządzaną wówczas, gdy nie ma dokładnego rozpoznania warunków geologiczno-górnich i zamierzeń eksploatacyjnych, a w szczególności dysponuje się tylko prawdopodobnymi danymi w zakresie zarysów i systemów eksploatacji, a także nie jest określony czas jej prowadzenia. Jest to prognoza stosowana głównie dla potrzeb perspektywicznego zagospodarowania powierzchni. Prognoza przybliżona dotyczy wówczas terenu będącego przedmiotem zamierzeń inwestycyjnych. Wyniki prognozy przedstawiane są w postaci izolacji kategorii terenu górniczego i końcowych obniżień powierzchni. Podawane w prognozie i akceptowane przez władze górnicze i władze administracyjne dane stanowią techniczną podstawę wzajemnych zobowiązań kopalni i użytkowników powierzchni. Zobowiązania kopalni sprowadzają się do nieprzekraczania w przyszłości określonych w prognozie skutków eksploatacji, natomiast zobowiązania użytkowników powierzchni sprowadzają się do takiego skonstruowania obiektów budowlanych, aby określone w prognozie skutki eksploatacji nie zagroziły bezpiecznemu ich użytkowaniu.

W przypadkach, w których jest to możliwe zaleca się, aby górnicze dane wyjściowe do projektowania obiektów na terenach górniczych były bardziej szczegółowe, aniżeli wynika to z określenia kategorii terenu górniczego. Wówczas podstawą do projektowania zabezpieczeń przed szkodami górniczymi obiektów nowo wznoszonych lub wzmacniania istniejących może być prognoza podstawowa, prognoza szczegółowa lub prognoza specjalna, dostosowana do potrzeb wynikających z rodzaju chronionego obiektu (Kwiatkiewicz 2002).

Do zgeneralizowanego opisu ciągłych deformacji powierzchni na terenach górniczych dla planowania przestrzennego i oceny ich wpływu na obiekty budowlane, wprowadzono podział terenów górniczych na kategorie (tabela 16).

Tabela 16 Kategorie terenu górniczego z uwagi na ciągłe deformacje powierzchni (Kwiatek 2002)

KATEGORIA	NACHYLENIE $T \left[\frac{mm}{m} \right]$	PROMIEN KRZYWIZNY $R [km]$	ODKSZTAŁCENIE POZIOME $\varepsilon \left[\frac{mm}{m} \right]$
0	$T \leq 0.5$	$40.0 \leq R $	$ \varepsilon \leq 0.3$
I	$0.5 < T \leq 2.5$	$20.0 \leq R < 40.0$	$0.3 < \varepsilon \leq 1.5$
II	$2.5 < T \leq 5.0$	$12.0 \leq R < 20.0$	$1.5 < \varepsilon \leq 3.0$
III	$5.0 < T \leq 10.0$	$6.0 \leq R < 12.0$	$3.0 < \varepsilon \leq 6.0$
IV	$10.0 < T \leq 15.0$	$4.0 \leq R < 6.0$	$6.0 < \varepsilon \leq 9.0$
V	$T > 15.0$	$ R < 4.0$	$ \varepsilon > 9.0$

Monitoring na terenach górniczych w trakcie i po zakończeniu eksploatacji

Po rozpoczęciu eksploatacji prowadzi się monitoring wpływu eksploatacji na powierzchnię terenu oraz znajdujące się na niej obiekty budowlane. Monitoring ten obejmuje następujące pomiary:

- pomiar deformacji terenu,
- pomiar zmian położenia zwierciadła wody gruntowej,
- obserwacje zaburzeń grawitacyjnego spływu wód,
- pomiary drgań parasejsmicznych,
- kontrola występowania pustek w górotworze.

Przykłady zagadnień związanych z wpływem eksploatacji na powierzchnię terenu oraz ich monitorowaniem przedstawiono w tabeli 17.

Tabela 17 Wytyczne związane z monitoringiem wpływu eksploatacji na powierzchnię terenu oraz znajdujące się na niej obiekty budowlane

PYTANIA/ZAGADNIENIA	POMIAR/PROGNOZA	ODPOWIEDNIE INSTRUMENTY/METODY		UWAGI
PRZED ROZPOCZĘCIEM EKSPLOATACJI (PROGNOZA)				
Prognoza deformacji powierzchni na terenach górniczych Analiza aktualnego ukształtowania powierzchni terenu	Deformacji powierzchni terenu	(dopuszczalne) Metody geodezyjne, Metody teledetekcja: - fotogrametria, - interferometria radarowa	(zalecane) Prognozowanie deformacji powierzchni terenu na podstawie teorii lub metod: - geometryczno-całkowych, - mechanicznych, - stochastycznych, - pośrednich, - numerycznych	Prowadzenie monitoringu na terenach górniczych przed rozpoczęciem eksploatacji pozwala na określenie warunków początkowych
	Nachyleń brzegów niecki obniżeniowej	(dopuszczalne) Metody geodezyjne, Metody teledetekcja: - fotogrametria, - interferometria radarowa		
	Krzywizn oraz promieni krzywizn powierzchni terenu	(dopuszczalne) Metody geodezyjne, Metody teledetekcja: - fotogrametria, - interferometria radarowa		
W TRAKCIE I PO ZAKOŃCZENIU EKSPLOATACJI				
Kontrola przebiegu deformacji powierzchni terenu, zaburzeń zwierciadła wody gruntowej, grawitacyjnego spływu wód, drgań parasejsmicznych. Kontrola występowania pustek w masywie skalnym	Deformacji powierzchni terenu	Metody geodezyjne,	zalecane	dopuszczalne
		Metody teledetekcyjne: - fotogrametria, - interferometria radarowa		
	Deformacji obiektów budowlanych zlokalizowanych w zasięgu wpływów eksploatacji	Metody geodezyjne,	zalecane	dopuszczalne
		Metody teledetekcyjne: - fotogrametria, - interferometria radarowa		

PYTANIA/ZAGADNIENIA	POMIAR/PROGNOZA	ODPOWIEDNIE INSTRUMENTY/METODY	UWAGI
		Tensometry	dopuszczalne
	Zmiany poziomu zwierciadła wód gruntowych	Piezometry otwarte,	zalecane
		Piezometry zamknięte – czujniki ciśnienia porowego	dopuszczalne
	Zaburzenia grawitacyjnego spływu wód	Inspekcja wizualna	dopuszczalne
	Występowania pustek w masywie skalnym	Metody geofizyczne - Tomografia elektrooporowa ERT - Profilowanie konduktometryczne EM - Profilowanie georadarowe GPR - Metoda sejsmiczna - Metoda mikrograwimetryczna	dopuszczalne
Drgań parasejsmicznych	Sejsmografy, sejsmometry Akcelerografy, akcelerometry	zalecane	
Czy ujawnione wpływy eksploatacji są zgodne z kategorią terenu górniczego?	Deformacji powierzchni terenu	Metody geodezyjne,	zalecane
		Metody teledetekcja: - fotogrametria, - interferometria radarowa	dopuszczalne
Czy spowodowane szkody związane są z prowadzoną eksploatacją?	Deformacji powierzchni terenu oraz obiektów budowlanych	Metody geodezyjne,	zalecane
		Metody teledetekcja: - fotogrametria, - interferometria radarowa	dopuszczalne
		Metody geotechniczne: - pochylomierze - wskaźniki rozwarcia rys, szczelin	zalecane
	Zmian zwierciadła wody gruntowej	Piezometry otwarte	zalecane
		Piezometry zamknięte – czujniki ciśnienia porowego	dopuszczalne
Drgań parasejsmicznych	Sejsmografy, sejsmometry Akcelerografy, akcelerometry	zalecane	

4.7. Obiekty budownictwa podziemnego

Monitoring z reguły odgrywał istotną rolę podczas drążenia tuneli, jednak wraz z postępem technologii stał się on bardzo ważną częścią procesu drążenia, kontroli, optymalizacji oraz zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa. W metodach konwencjonalnych monitoring jest ich integralną częścią, dzięki czemu budowa tuneli z wykorzystaniem tychże metod daje możliwość szybkiego dostosowywania się do zmiennych warunków geologiczno-inżynierskich, których nie sposób dokładnie przewidzieć na etapie wstępnego rozpoznania ośrodka gruntowego czy skalnego. Dodatkowo dane uzyskane z monitoringu mogą służyć do opracowania zależności empirycznych określających zachowanie się masywu skalnego w otoczeniu wyrobiska podziemnego (Tajduś i in. 2012).

Możliwość szybkiego reagowania wykonawcy w zależności od odpowiedzi ośrodka gruntowego czy też skalnego na stosowane rozwiązania techniczne pozwala zoptymalizować konstrukcję obudowy wstępnej i ostatecznej, a także w dużym stopniu podnosi bezpieczeństwo prowadzonych prac. Ingerencja w środowisko, jaką niewątpliwie jest budowa tunelu, wymaga określenia wielkości i zakresu zmian powstających w otoczeniu budowli. Monitoring dostarcza takich informacji, a co więcej pozwala na ich zminimalizowanie. Ponadto prowadzone obserwacje oraz wyniki pomiarów umożliwiają (Schubert 2015):

- ocenę stabilności obiektu podziemnego,
- weryfikację założeń projektowych,
- uszczegółowienie modelu geologicznego ośrodka,
- wykrywanie istotnych elementów strukturalnych znajdujących poza obszarem odsłoniętym wykonywanym wyrobiskiem,
- kontrolę jakości,
- dostarczenie danych do analizy odwrotnej.

Wyniki pomiarów są także istotnym elementem zarządzania bezpieczeństwem geotechnicznym.

Oprócz monitorowania interakcji pomiędzy ośrodkiem skalnym czy gruntowym i obudową tunelu bardzo ważny jest monitoring zjawisk wpływających na istniejącą zabudowę terenu, która znajduje się w strefie wpływu budowy. W tym przypadku bardzo ważne jest określenie wartości deformacji powierzchni terenu, zmian stosunków wodnych czy też wpływu i zasięgu drgań parasejsmicznych wywołanych robotami strzałowymi. Do stref, które wymagają szczegółowego monitoringu należy zaliczyć także portale tunelu. Są one zagrożone utratą stateczności ze względu na niską jakość ośrodka, w którym z reguły są zlokalizowane. Tutaj też w największym stopniu ingeruje się w środowisko poprzez zmienianie dotychczasowego ukształtowania skarp, budowę konstrukcji oporowych czy zmianę stosunków wodnych.

Monitoring stosowany podczas drążenia tunelu (różnymi metodami) dzieli się na:

- monitoring środowiskowy,
- monitoring hydrogeologiczny,
- monitoring powierzchni terenu, budynków i konstrukcji oporowych,
- monitoring obudowy wstępnej i ostatecznej tunelu.

Ze względu na specyfikę różnych metod drążenia oraz dużą zależność od warunków lokalnych nie można precyzyjnie określić wymagań co do rodzaju urządzeń pomiarowych, ich ilości, lokalizacji czy częstotliwości pomiarów. Dlatego program monitoringu powinien zostać zaprojektowany przy udziale ekspertów z zakresu monitoringu tunelowego.

W tabeli 18 przedstawiono ogólne wytyczne dotyczące monitoringu tuneli. Uszeregowano w niej mierzone parametry w zależności od stawianych celów, a także do danych pomiarów przyporządkowano metody, przy pomocy których te pomiary należy zrealizować.

Tabela 18 Wytyczne dotyczące problematyki drążenia tuneli, opracowano z wykorzystaniem (Handbook 2014)

PYTANIA/ZAGADNIENIA	POMIAR/PROGNOZA	ODPOWIEDNIE INSTRUMENTY/METODY	
PRZED ROZPOCZĘCIEM DRAŻENIA TUNELU			
Kontrola deformacji masywu skalnego, deformacji powierzchni terenu oraz obiektów budowlanych, zmian zwierciadła wody gruntowej, obciążeń przekazywanych na konstrukcje oporowe	Pomiar deformacji powierzchni terenu	Metody geodezyjne	zalecane
		Metody teledetekcyjne: - skaning laserowy - interferometria radarowa	dopuszczalne
	Pomiar deformacji konstrukcji oporowych	Metody geodezyjne	zalecane
		Metody teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy	dopuszczalne
		Metody geotechniczne: - pochylomierze, - inklinometry	zalecane
	Pomiar zmian zwierciadła wody gruntowej	Piezometry otwarte,	zalecane
		Piezometry zamknięte – czujniki ciśnienia porowego	dopuszczalne

PYTANIA/ZAGADNIENIA	POMIAR/PROGNOZA	ODPOWIEDNIE INSTRUMENTY/METODY	
	Pomiar obciążeń przekazywanych na konstrukcje oporowe	Metody geotechniczne: - czujniki do pomiaru naprężeń/parcia gruntu, - czujniki do pomiaru naprężeń/parcia obudowy, - czujniki do pomiaru obciążeń konstrukcji, - czujnik do pomiaru obciążenia kotew. - tensometry	zalecane
	Pomiar deformacji obiektów budowlanych znajdujących się w zasięgu strefy wpływu drążenia tunelu	Metody geodezyjne	zalecane
		Metody teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy - interferometria radarowa	dopuszczalne
	Pomiar deformacji masywu skalnego	Metody geotechniczne: - ekstensometry, - inklinometry	zalecane
Czy w rejonie drążenia tunelu występują duże naturalne zmiany poziomu wód gruntowych, czy występują osuwiska oraz czy skarpy i konstrukcje oporowe w strefach portali są stateczne?	Pomiar deformacji powierzchni terenu	Metody geodezyjne	zalecane
		Metody teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy	dopuszczalne
	Pomiar deformacji konstrukcji oporowych	Metody geodezyjne	zalecane
		Metody teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy	dopuszczalne
		Metody geotechniczne: - pochylomierze, - inklinometry	zalecane
	Pomiar zmian zwierciadła wody gruntowej	Piezometry otwarte	zalecane
		Piezometry zamknięte – czujniki ciśnienia porowego	dopuszczalne
	Pomiar obciążeń przekazywanych na konstrukcje oporowe	Metody geotechniczne: - czujniki do pomiaru naprężeń/parcia gruntu, - czujniki do pomiaru naprężeń/parcia obudowy, - czujniki do pomiaru obciążeń konstrukcji, - czujnik do pomiaru obciążenia kotew. - tensometry	zalecane
	Pomiar deformacji obiektów budowlanych znajdujących się w zasięgu strefy wpływu drążenia tunelu	Metody geodezyjne,	zalecane
		Metody teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy	dopuszczalne
Pomiar deformacji masywu skalnego	Metody geotechniczne: - ekstensometry, - inklinometry	zalecane	
W TRAKCIE I PO ZAKOŃCZENIU DRĄŻENIA TUNELU			
Kontrola deformacji obrysu tunelu oraz masywu skalnego, obciążeń przekazywanych na obudowę oraz konstrukcje oporowe, deformacji powierzchni terenu oraz obiektów budowlanych, zmian zwierciadła wody gruntowej, drgań parasejsmicznych	Pomiar deformacji obrysu tunelu	Metody geodezyjne,	zalecane
		Metody teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy	dopuszczalne
		Metody geotechniczne: - ekstensometry,	zalecane
	Pomiar deformacji masywu skalnego	Metody geotechniczne: - ekstensometry, - inklinometry	zalecane
Pomiar obciążeń przekazywanych na obudowę	Metody geotechniczne: - czujniki do pomiaru naprężeń/parcia gruntu, - czujniki do pomiaru naprężeń/parcia obudowy, - czujniki do pomiaru obciążeń konstrukcji, - czujnik do pomiaru obciążenia kotew. - tensometry	zalecane	

PYTANIA/ZAGADNIENIA	POMIAR/PROGNOZA	ODPOWIEDNIE INSTRUMENTY/METODY		
	Pomiar obciążeń przekazywanych na konstrukcje oporowe	Metody geotechniczne: - czujniki do pomiaru naprężeń/parcia gruntu, - czujniki do pomiaru naprężeń/parcia obudowy, - czujniki do pomiaru obciążeń konstrukcji, - czujnik do pomiaru obciążenia kotew. - tensometry	zalecane	
	Pomiar deformacji powierzchni terenu	Metody geodezyjne	zalecane	
		Metody teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy.	dopuszczalne	
		Metody geotechniczne: - ekstensometry, - inklinometry	zalecane	
	Pomiar deformacji konstrukcji oporowych	Metody geodezyjne	zalecane	
		Metody teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy	dopuszczalne	
		Metody geotechniczne: - pochyłomierze, - inklinometry	zalecane	
	Pomiar zmian zwierciadła wody gruntowej	Piezometry otwarte	zalecane	
		Piezometry zamknięte – czujniki ciśnienia porowego	dopuszczalne	
	Pomiar deformacji obiektów budowlanych znajdujących się w zasięgu strefy wpływu drążenia tunelu	Metody geodezyjne	zalecane	
Metody teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy		dopuszczalne		
Sejsmografy, sejsmometry Akcelerografy, akcelerometry		zalecane		
Czy deformacje powierzchni terenu, obiektów budowlanych oraz urządzeń są akceptowalne?	Pomiar deformacji powierzchni terenu	Metody geodezyjne	zalecane	
		Metody teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy.	dopuszczalne	
		Metody geotechniczne: - ekstensometry, - inklinometry	zalecane	
	Pomiar deformacji konstrukcji oporowych	Metody geodezyjne	zalecane	
		Metody teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy	dopuszczalne	
		Metody geotechniczne: - pochyłomierze, - inklinometry	zalecane	
	Pomiar deformacji obiektów budowlanych znajdujących się w zasięgu strefy wpływu drążenia tunelu	Metody geodezyjne	zalecane	
		Metody teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy	dopuszczalne	
	Czy zastosowana obudowa spełnia wymagania? Czy konieczne jest zastosowanie innej obudowy, bądź zaprojektowanie nowej?	Pomiar deformacji obrysu tunelu	Metody geodezyjne	zalecane
			Metody teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy	dopuszczalne
Metody geotechniczne: - ekstensometry, - deformometry			zalecane	
Pomiar obciążeń przekazywanych na obudowę		Metody geotechniczne: - czujniki do pomiaru naprężeń/parcia gruntu, - czujniki do pomiaru naprężeń/parcia obudowy, - czujniki do pomiaru obciążeń konstrukcji, - czujnik do pomiaru obciążenia kotew. - tensometry	zalecane	

PYTANIA/ZAGADNIENIA	POMIAR/PROGNOZA	ODPOWIEDNIE INSTRUMENTY/METODY	
	Pomiar zmian zwierciadła wody gruntowej	Piezometry zamknięte – czujniki ciśnienia porowego	zalecane
	Pomiar deformacji masywu skalnego	Metody geotechniczne: - ekstensometry,	zalecane
Czy drążenie nie ma zbyt negatywnego wpływu na poziom wód gruntowych?	Pomiar zmian zwierciadła wody gruntowej	Piezometry otwarte	zalecane
		Piezometry zamknięte – czujniki ciśnienia porowego	dopuszczalne
Czy generowane wstrząsy parasejsmiczne nie są zbyt duże?	Pomiar drgań parasejsmicznych	Sejsmografy, sejsmometry Akcelerografy, akcelerometry	zalecane

4.8. Głębokie wykopy

Według definicji stosowanej w Polsce głębokim wykopem nazywamy wykop o ścianach pionowych, zabezpieczonych obudową czyli konstrukcją zabezpieczającą ściany wykopu przed utratą stateczności, o głębokości większej od 3 m (Kotlicki & Wysokiński 2002, Siemińska-Lewandowska 2010), w literaturze światowej wykop o głębokości większej od 6m (Peck 1977, Puller , 2003, Ou 2006)

Głębokie wykopy wykonywane dla celów komunikacyjnych zaliczane są do II lub III kategorii geotechnicznej, zgodnie z zapisami Rozporządzeń Dz. U. 2012r. poz. 463 i Dz. U. 2010 Nr 213 poz.13 z późn. zmianami. Powinny być tak zaprojektowane aby były spełnione dla poszczególnych elementów obudowy i obiektów sąsiednich zarówno warunki nośności jak i użyteczności (Horodecki 2006)

Główne rodzaje obudów to (Siemińska-Lewandowska 2010):

- ściany szczelinowe,
- palisady z pali (np. CFA) lub mikrofali,
- obudowa berlińska,
- ściany z kolumn wykonanych metodą iniekcji strumieniowej,
- ścianka szczelna np. ścianka z grodziec stalowych,
- ściany gwoździowane,
- oraz inne (np. DSM, technologie mieszane - np. obudowa berlińska i mikropale).

Stateczność obudowy głębokiego wykopu uzyskuje się stosując ściany gwoździowane, rozpory, kotwy gruntowe lub stropy podziemnych kondygnacji (Siemińska-Lewandowska 2010).

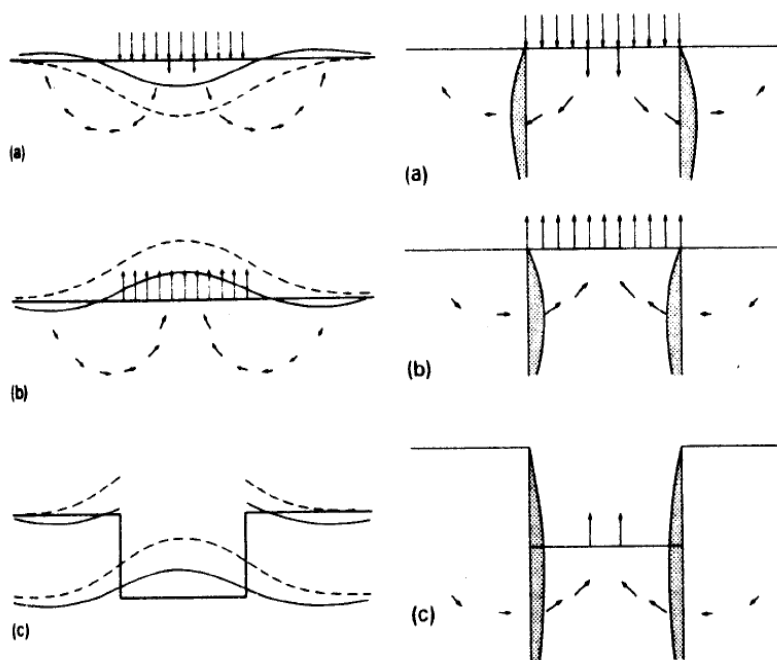
Przy realizacji głębokich wykopów musimy wziąć pod uwagę ich oddziaływanie na przyległe tereny a zwłaszcza na zabudowę znajdującą się w ich zasięgu. Wyróżnić można dwie grupy oddziaływań: oddziaływania naturalne, nieuniknione, wynikające z mechaniki ośrodka i procesu jego odciążania oraz obciążania oraz oddziaływania technologiczne związane z technologią i przyjętymi rozwiązaniami oraz starannością wykonania wkopów. Mierzalnym efektem tych oddziaływań są przemieszczenia, będące sumą skutków oddziaływań cząstkowych. Wyodrębnienie z nich poszczególnych składowych pomiarowych jest trudne, a niejednokrotnie niemożliwe (Horodecki 2006, Popielski 2012). Według Popielskiego (2012) można zaproponować dodatkowy podział, uwzględniający fakt, że przemieszczenia pionowe (szczególnie wypiętrzenia) są spowodowane w większym stopniu przez oddziaływania naturalne, a przemieszczenia poziome wynikają prawie zawsze z przyczyn technologicznych i pamiętając że między nimi istnieje współzależność.

Podstawowymi czynnikami decydującymi o zasięgu i intensywności oddziaływań naturalnych są (Popielski 2012):

- warunki geologiczne, hydrogeologiczne oraz geotechniczne podłoża (układ warstw gruntowych, warunki wodno-gruntowe, historia obciążenia – prekonsolidacja, parametry gruntu, pierwotne warunki naprężenia In situ (parcie spoczynkowe), parametry odkształceniowe (mechaniczne) i wytrzymałościowe gruntu),
- głębokość posadowienia oraz wymiary obiektu w planie (objętość wykopu – zakres odciążenia podłoża),
- oddziaływanie wody na ściany i dno wykopu,
- wpływ odwodnienia,
- wysokość i przeznaczenie konstrukcji (zakres obciążenia dodatkowego).

W trakcie realizacji głębokich wykopów rejestrujemy dodatnie przemieszczenia pionowe dna wykopu (wypiętrzanie), ścian obudowy, a przede wszystkim powierzchni oraz obiektów zlokalizowanych wokół wykopu (rysunek 7). Odręczenie podłoża i związane z nim przemieszczenia nie zależą od rodzaju zastosowanej obudowy wykopu. Głębokość oraz zasięg strefy odciążenia zależy głównie od parametrów geometrycznych (wymiarów) wykopu i właściwości podłoża, a wartości przemieszczeń będących efektem obciążenia wynikają z właściwości podłoża, obciążeń przekazywanych od konstrukcji na podłoże oraz zakresu odciążenia (Horodecki 2006).

Oddziaływania technologiczne zależą od przyjętych rozwiązań, które mają wpływ na zmiany stanu naprężenia ośrodka. Wśród nich można wyróżnić: (Horodecki 2006):



Rysunek 7 Przeszaczenia poziome i pionowe wywołane obciążeniem i odciążeniem podłoża (Ferne & Sucking 1996.)

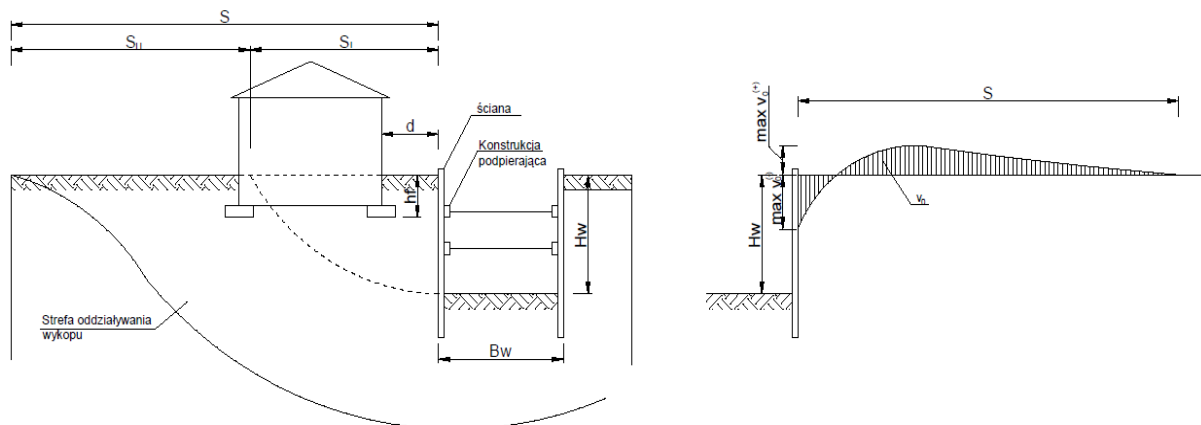
- rodzaj i technologię wykonania obudowy określające jej sztywność,
- sposób wykonania obudowy,
- zmiany stanu naprężenia w trakcie głębienia szczelin dla wykonania ścian szczelinowych,
- rodzaj podparcia lub zakotwienia (wstępne sprężenie lub rozparcie),
- drgania w trakcie wbijania/wwibrowywania ścianki szczelnej,
- technologię głębienia wykopu, jak i kolejność i tempo prac,
- odwodnienia wykopu,
- zmiany warunków przepływu wód gruntowych,

- wzmocnianie podłoża pod obiektami sąsiednimi,
- oddziaływanie ruchu kołowego w pobliżu wykopu.

Zasięg stref poszczególnych oddziaływań, jak i przemieszczenia będące wynikiem oddziaływań są wstępnie określone metodami analitycznymi, empirycznymi lub półempirycznymi. Najczęściej podawane w literaturze metody wyznaczania zasięgu stref oddziaływania głębokich wykopów (Peck 1969, Clough & O'Rourke 1990, Hsieh, Ou 1998, Kotlicki & Wysokiński 2002, Ou & Hsieh, i in. 2011, 2013) są wyrażane jako wielokrotność głębokości wykopu H_w (H_e) uzależniona od rodzaju gruntów i/lub obudowy wykopu. Podczas określania zasięgu, należy uwzględnić również inne istotne czynniki, takie jak: rozmiary wykopu w planie, kształt wykopu, głębokość obniżenia zwierciadła wody gruntowej na czas prowadzenia robót budowlanych, wykonanie podparcia lub kotew oraz ich zasięg (Popielski 2012).

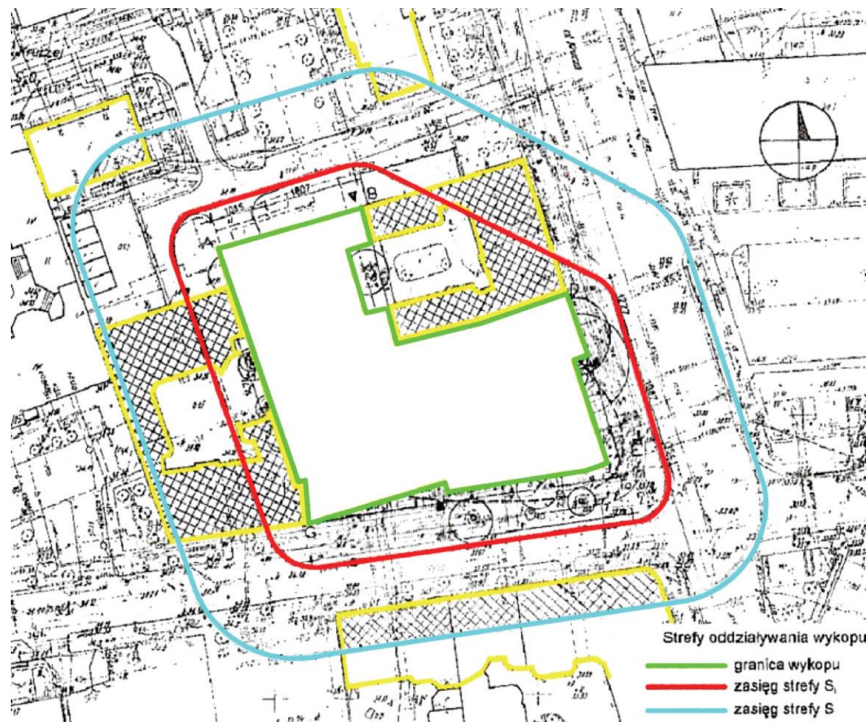
W celu oceny zasięgu oddziaływań głębokiego wykopu należy określić strefę oddziaływań wykopu ($S = S_I + S_{II}$) czyli strefę wokół wykopu, w obrębie której można zarejestrować przemieszczenia pionowe i poziome podłoża gruntowego. Strefę tą należy podzielić na dwie podstrefy (Horodecki 2006 za Kotlicki & Wysokiński 2002) (rysunek 8, 9):

- S_I - wykreślaną w bezpośrednim sąsiedztwie wykopu, w obrębie której mogą wystąpić przemieszczenia zagrażające bezpieczeństwu konstrukcji (przy niewłaściwym prowadzeniu prac, braku zabezpieczenia, nadmiernym ugięciu obudowy, itp.); Obszar ten przyjmowany jest jako maksymalna odległość od obudowy wykopu do najbardziej prawdopodobnej powierzchni poślizgu w gruncie.
- S_{II} - w której występujące przemieszczenia mogą wywołać widoczne uszkodzenia budynków, lecz nie zagrażają one bezpieczeństwu konstrukcji.



H_w , B_w – wymiary wykopu, S – zasięg strefy oddziaływania wykopu, S_I – zasięg strefy bezpośredniego oddziaływania wykopu, S_{II} – zasięg wpływów wykopów wtórnych, d – odległość od obudowy, h – głębokość posadowienia budynku, $\max v_0(-)$ – maksymalna wartość przemieszczeń ujemnych, $\max v_0(+)$ – maksymalna wartość przemieszczeń dodatnich (wypiętrzeń), opracowanie własne na podstawie

Rysunek 8 Oznaczenia parametrów głębokiego wykopu i stref jego oddziaływania (Szwarkowski 2017 za Kotlicki & Wysokiński 2002)



Rysunek 9 Przykładowe strefy zasięgu oddziaływania głębokiego wykopu w planie wg (Kotlicki & Wysokiński 2002)

Hsieh & Ou (1998) nazywają je odpowiednio – zasadniczą (bezpośrednią) strefą wpływu (PIZ – primary influence zone) oraz drugorzędną (wtórną) strefą wpływu (SIZ – secondary influence zone) (rysunek 10).

A zalecane przez ITB (Kotlicki & Wysokiński 2002) zasięgi stref oddziaływania wykopu wynoszą odpowiednio:

- dla strefy I w piaskach $0,5H_w$, w glinach $0,75H_w$, w iłach $1,0 H_w$,
- dla strefy całkowitych oddziaływań S - w piaskach $2,0H_w$, w glinach $2,5H_w$, w iłach $3\div 4 H_w$.

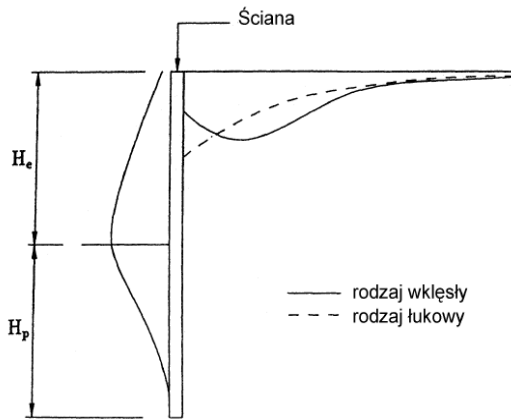
Jeśli podczas wykonywania wykopu nie jest wymagane obniżenia zwierciadła wody gruntowej – podane wartości można zmniejszyć o 20%. W przypadku dużych wykopów, których każdy wymiar w planie przekracza 60 m, należy rozpatrzyć zwiększenie podanych wartości zasięgu strefy oddziaływania wykopu.

Najbardziej znane metody określania wartości zasięgu oddziaływania przedstawiono na rysunku 10, a szczegóły obliczeń przemieszczeń wraz z podaniem ich wartości dopuszczalnych zawarte są w pracach Peck 1969, Clough & O'Rourke 1990, Hsieh, Ou 1998, Kotlicki & Wysokiński L. 2002, Ou & Hsieh, i in. 2011, 2013) Michalak H. 2008, Siemińska –Lewandowska 2010, Horodecki 2006).

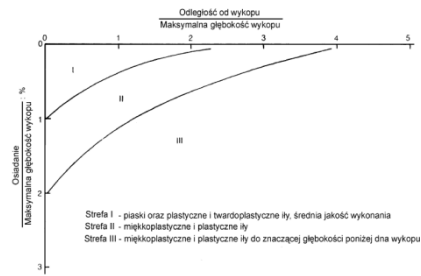
Przyjęcie określonego rozwiązania obudowy wykopu (wspornikowa lub podparta) lub uwzględnienie początkowego lub końcowego etap budowy decyduje o charakterze deformacji gruntu za ścianą (Hsieh & Ou 1998, Clough & O'Rourke 1990) (rysunek 11).

Rodzaj profilu osiadania za ścianą zależy od wielkości i charakteru ugięcia ściany (pośrednio od sztywności ściany i podparcia) i rodzaju gruntu. Wyróżnić można ogólnie dwa rodzaje profili osiadania za ścianą (rysunek 11): profil łukowy, w którym maksymalne osiadania występują bardzo blisko ściany i wklęsły, w którym maksymalne osiadania obserwuje się w pewnej odległości od ściany (Horodecki 2006).

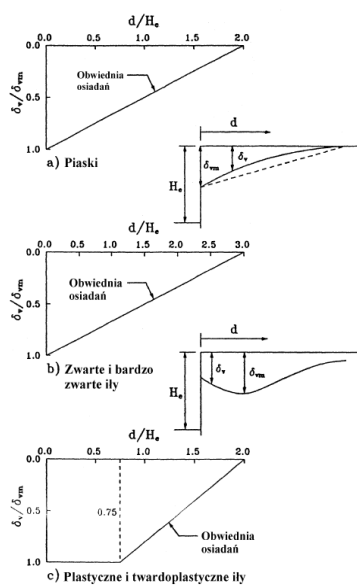
Inne rozwiązania wynoszą (Michalak 2008, Popielski 2012):



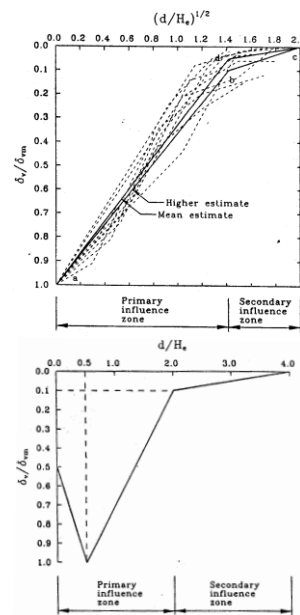
Hsieh, Ou 1998



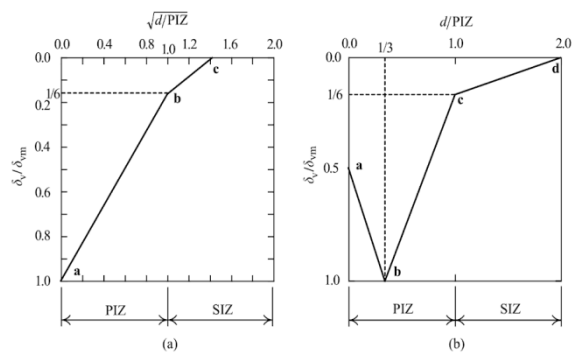
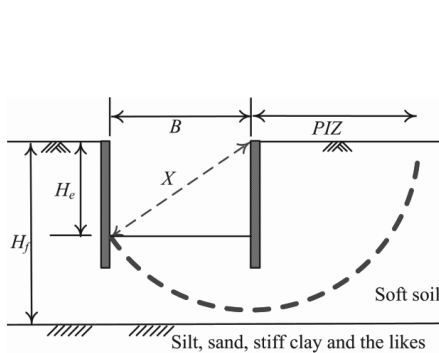
Peck 1969



Clough, O'Rourke 1990



Hsieh, Ou 1998



$$PIZ = \min(H_f, B)$$

$$PIZ = \min(2 H_w (H_e), H_g)$$

$H_w (H_e)$ – głębokość wykopu, H_f – grubość warstwy słabej, H_g – głębokość występowania warstwy o parametrach zbliżonych do skały, B – szerokość wykopu

Ou et al.2013

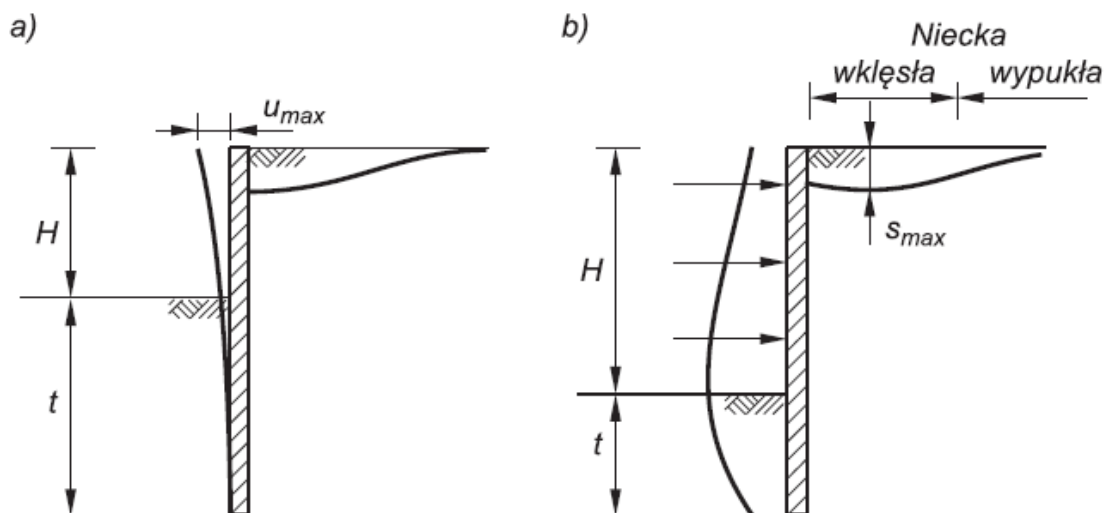
Rysunek 10 Przykłady wyznaczania profili osiadań i przemieszczeń pionowych za obudowa głębokich wykopów

- 2–2,5 H_w – wg Symonsa i Cardera – w przypadku ilów londyńskich i glin zwałowych,
- 2–3 H_w (ekstremalnie 5 h) – wg Simpsona w mocnych gruntach spoiстых,
- 1,5–2 H_w – wg Brema, Breymana w gruntach niespoistych (piaski drobne, średnie i żwiry), itd.

Określając zasięgu można wskazać obszar i budynki sąsiednie, które należy objąć monitoringiem. Zdaniem Popielskiego (2012), jeżeli tylko fragment budynku znajduje się w strefie oddziaływań, monitoringiem należy objąć cały budynek. W zwartej zabudowie miejskiej zdarzają się przypadki nakładania się oddziaływań spowodowanych różnymi zjawiskami. Nie posiadając pełnego obrazu przemieszczeń konstrukcji, można popełnić błąd przy ocenie oddziaływań. A na podstawie wielkości przemieszczeń wskazać urządzenia pomiarowe i zakres i dokładność pracy, a na podstawie modelowań numerycznych określić wstępną częstotliwość pomiaru. Przy realizacji głębokich wykopów wymagane jest prowadzenie monitoringu na każdym etapie: projektowym, pogłębiania wykopu, zabezpieczania i po jego zakończeniu.

Główne zagadnienia, z jakimi się zmagamy w sytuacji wykonywania głębokich wykopów to przede wszystkim: określenie osiadań podłoża pod nasypem, ocena postępu konsolidacji, wypieranie gruntu czy utrata stateczności.

W tabeli 19 zebrano i przedstawiono przykładowe zagadnienia czy pytania geotechniczne, jakie można sobie postawić rozpatrując powyższe problemy wraz z przedstawieniem propozycji urządzeń lub metod pomiarowych, które można wykorzystać aby przeprowadzić odpowiednie pomiary i odpowiedzieć sobie na nurtujące nas pytania (tabela 19). Lista nie ma charakteru zamkniętego: wskazuje jedynie instrumenty zapewniające zadowalające dane dotyczące danego zagadnienia (Dunnicliff 1993, Janusz & Janusz 1998, Popielski 2012, Ran & Zhu 2011, Horodecki 2006, Runkiewicz 2015, Ou 2006, Sieńko & Bednarski 2016, Horedecki i in, 2003, Topolnicki i in. 2015).



Rysunek 11 Schematy odkształceń ścian wykopu: a) w początkowej fazie wykonania wykopu lub dla obudowy wspornikowych b) etap końcowy dla obudowy podporowej (Popielski 2012 za Hsieh & Ou 1998, Clough & O'Rourke 1990)

Tabela 19 Przykłady zagadnień i pytań geotechnicznych, jakie można sobie postawić rozpatrując problem z słabonośnych realizacji głębokich wykopów wraz z proponowanymi. Lista nie jest zamknięta

PYTANIA/ZAGADNIENIA	POMIARY	ODPOWIEDNIE INSTRUMENTY/METODY	UWAGI		
PRZED ROZPOCZĘCIEM BUDOWY					
P.1 Określenie wstępnych warunków zachowania się podłoża W obrębie planowanego wykopu i zasięgu oddziaływania	Przemieszczeń pionowych - deformacje powierzchniowe	Pomiary geodezyjne: - pomiary tachimetryczne - niwelacja - GNSS	w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	Z	
		Pomiary teledetekcyjne: -satelitarna interferometria radarowa		D	
	Położenia zwierciadła wody (wahania)	Piezometry otwarte	Piezometry zamknięte - czujniki do pomiaru ciśnienia porowego P/W	w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	Z
		Ciśnienia porowe wody gruntowej		Czujniki do pomiaru ciśnienia porowego P/W	Z
P.2 Określenie wstępnych warunków zachowania się obiektów budowlanych znajdujących się w zasięgu wpływu głębokiego wykopu	Deformacji powierzchniowych obiektów budowlanych	Pomiary geodezyjne: - pomiary tachimetryczne - niwelacja - GNSS	w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	Z	
		Pomiary teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy		D	
		Wskaźniki rozwarcia rys	w zależności od dostępności odczytu	Z	
		Szczelinomierze precyzyjne		Z	
		Pochyłomierze		D	
P.3 Określenie tła drgań od codziennego ruchu komunikacyjnego, tąpnięć, itp.	Drgań	Akcelerometry		Z	
W TRAKCIE I PO ZAKOŃCZENIU BUDOWY					
P.4 Monitoring postępu realizacji wykopu	Przemieszczeń poziomych korony obudowy wykopu	Pomiary geodezyjne: - pomiary tachimetryczne - GNSS	w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	Z	
	Przemieszczeń poziomych obudowy wykopu	Inklinometry P/C	pomiar liniowy	Z	
		Pomiary geodezyjne ¹ : - pomiary tachimetryczne - GNSS	pomiar punktowy	D	
		Naziemny skaning laserowy ²	pomiar przestrzenny	D	
		Ekstensometry		D	
	Przemieszczeń pionowych dna wykopu (odprężenie = wypiętrzanie)	Repery wgłębne		pod płytą fundamentową	Z
		Pomiary geodezyjne: - pomiary tachimetryczne - niwelacja - GNSS		w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	Z
		Pomiary teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy			D
		Ekstensometry			D
Wyporu dna wykopu - parcie wody		Czujniki do pomiaru ciśnienia porowego P		Z	

PYTANIA/ZAGADNIENIA	POMIARY	ODPOWIEDNIE INSTRUMENTY/METODY	UWAGI	
	Parcie gruntu	Czujniki do pomiaru ciśnienia gruntu	płyta fundamentową w dnie wykopu (wypieranie), na ściany obudowy	Z
	Naprężeń w obrębie prętów zbrojeniowych w obudowie	Tensometry Kable światłowodowe		
P.5	Parcia	Ogniwa obciążeniowe		Z
Monitoring pracy rozpór	Naprężeń	Tensometry		Z
	Ugięcia	Kable światłowodowe		Z
	Temperatury	Czujniki to pomiaru temperatury		Z
P. 6	Wydajności ciągien	Ogniwa obciążeniowe		Z
Monitoring pracy kotew	Temperatury	Czujniki to pomiaru temperatury		D
P. 7	Temperatury	Czujniki to pomiaru temperatury		D
Monitoring szczelności obudowy		Kable światłowodowe		D
P.8	Pomiar przemieszczeń pionowych powierzchni podłoża	Pomiary geodezyjne: - pomiary tachimetryczne - niwelacja - GNSS	w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	Z
Wpływu wykonywania głębokiego wykopu podłoża wokół wykopu		Pomiary teledetekcyjne: -satelitarna interferometria radarowa		D
		Eksntensometry		D
W strefie oddziaływania i poza nią	Pomiar przemieszczeń poziomych podłoża za obudową	Inklinometry ^{P/C}		Z
		Pomiary geodezyjne: - pomiary tachimetryczne - GNSS	w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	D
	Położenia zwierciadła wody (wahania)	Piezometry otwarte Piezometry zamknięte - czujniki do pomiaru ciśnienia porowego ^{P/W}	Wpływ odwodnienia, w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	Z Z
	Ciśnienia porowe wody gruntowej	Czujniki do pomiaru ciśnienia porowego ^{P/W}		Z
P.9	Deformacji powierzchniowych obiektów budowlanych	Pomiary geodezyjne: - pomiary tachimetryczne - niwelacja - GNSS	w zależności od wymaganej dokładność pomiaru	Z
Wpływu wykonywania głębokiego wykopu na sąsiednie obiekty		Pomiary teledetekcyjne: - naziemny skaning laserowy		D
		Hydroniwelatory ^P		D
		Wskaźniki rozwarcia rys	w zależności od dostępności odczytu, automatyzacji	Z
		Szczelinomierze precyzyjne		Z
		Pochyłomierze		Z
	Drgań	Akcelerometry		Z
P. 10	Opadów	Deszczomierz		Z
Warunki atmosferyczne	Temperatury powietrza	Czujniki to pomiaru temperatury	całe stacje meteorologiczne	Z
	Ciśnienie atmosferyczne	Barometr		Z

^{P/C/W} – P - pomiar punktowy, C - pomiar ciągły (wzdłuż profilu), W - wielopunktowy

PYTANIA/ZAGADNIENIA	POMIARY	ODPOWIEDNIE INSTRUMENTY/METODY	UWAGI
---------------------	---------	--------------------------------	-------

¹ wadą tak obserwowanych przemieszczeń ścian wykopu jest ich dostępność na całej wysokości dopiero po całkowitym pogłębieniu wykopu - brak możliwości odniesienia do warunków początkowych

² możliwość wykonywania pomiaru dopiero po wykonaniu wykopu – pomiar przestrzenny

Z	D
---	---

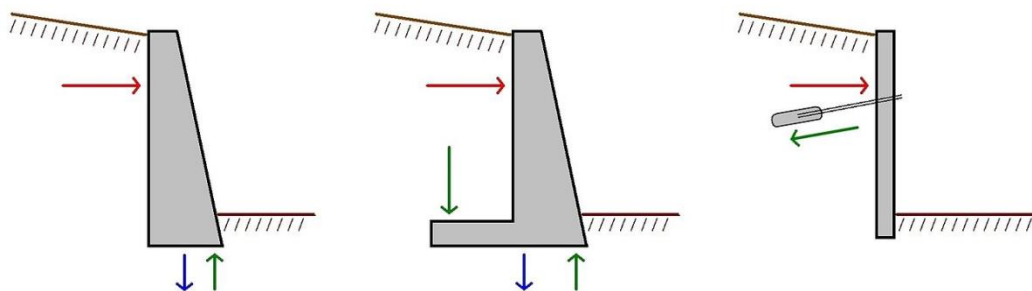
zalecane stosowanie / dopuszczalne stosowanie

4.9. Konstrukcje oporowe

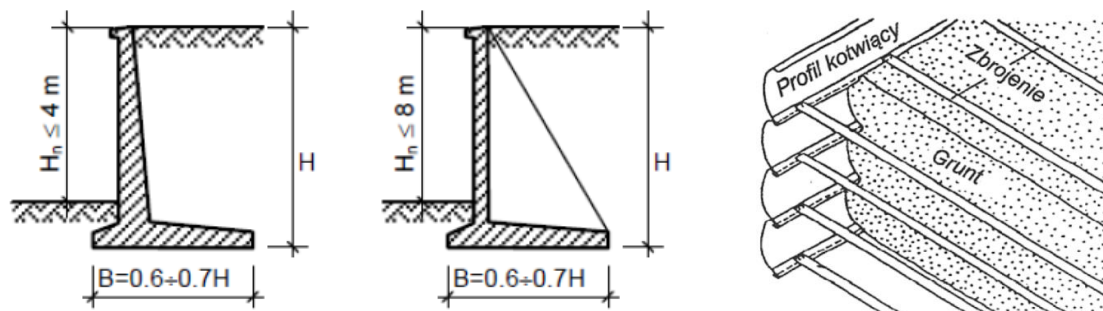
Konstrukcje oporowe to budowle utrzymujące w stanie statecznym uskok naziomu gruntów rodzimych lub nasypanych albo innych materiałów rozdrobnionych, które można scharakteryzować parametrami geotechnicznymi.

Do najczęściej spotykanych rodzajów konstrukcji oporowych można zaliczyć:

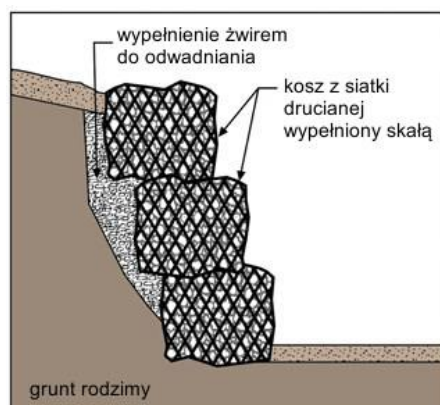
- ściany (mury) oporowe (rysunek 12-14):
- masywne (ciężkie),
- wspornikowe,
- kotwione,
- lekkie (płytowo-kątowe, płytowo-żebrowe),
- z gruntu zbrojonego (siatki stalowe lub geosyntetyczne),
- z gabionów,
- ściany szczelinowe (rysunek 15):
- wspornikowe,
- kotwione,
- ścianki szczelne.



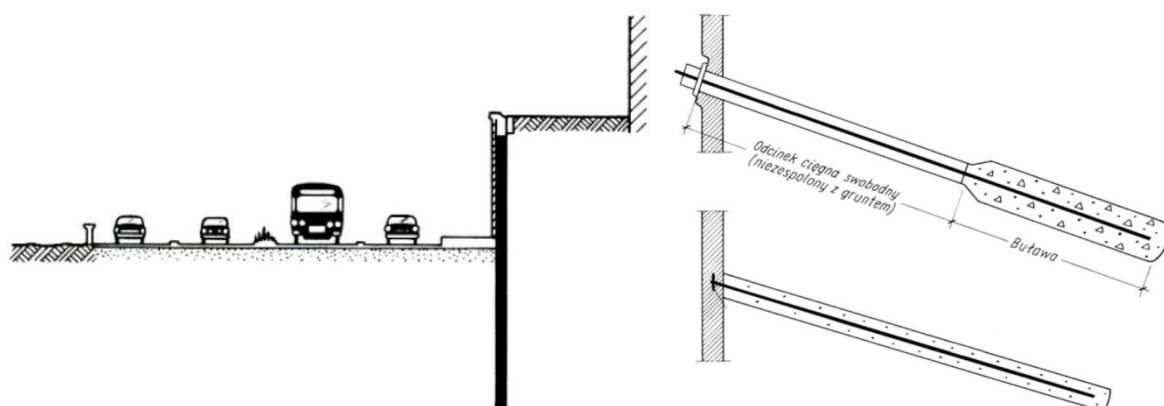
Rysunek 12 Typy ścian oporowych: masywne, wspornikowe, kotwione (<http://catsareus.org/retaining-wall-footings/>)



Rysunek 13 Typy ścian oporowych: płytowo-kątowe, płytowo-żebrowe, z gruntu zbrojonego (Pisarczyk 2012)



Rysunek 14 Ściana oporowa z gabionów (<http://www.ashireporter.org/HomeInspection/Articles/Retaining-Walls/2159>)



Rysunek 15 Typy ścian szczelinowych: wspornikowe, kotwione (Jarominiak, 2000)

Z budową konstrukcji oporowych zwykle wiąże się konieczność wykonywania wykopów. W tej sytuacji należy określić zasięg jego oddziaływania na obiekty znajdujące się w sąsiedztwie. Miarą przemieszczeń obiektów są: wychylenia, ugięcia i pęknięcia elementów konstrukcji (Runkiewicz i Sieczkowski, 2015).

Przy ocenie oddziaływań wykopu na obiekty sąsiednie należy wyróżnić dwie strefy oddziaływania wykopu (Runkiewicz i Sieczkowski, 2015):

- strefa S_I – strefa bezpośrednich oddziaływań wykopu, tj. obszar w bezpośrednim sąsiedztwie wykopu, w którym w szczególnych przypadkach (np. wskutek niedostatecznej nośności obudowy, nadmiernego ugięcia obudowy) mogą wystąpić przemieszczenia podłoża zagrażające nośności konstrukcji budynku,
- strefa S_{II} – fragment strefy oddziaływań wykopu, w którym występujące przemieszczenia podłoża mogą powodować uszkodzenia w budynku niezagrażające jednak nośności konstrukcji.

W tabeli 20 podano zasięg stref oddziaływania wykopu (Kotlicki i Wysokiński 2002). Wartości te powinny być weryfikowane i korygowane na podstawie wyników pomiarów przemieszczeń obiektów znajdujących się w danym rejonie podczas wykonywania wykopów. Rzeczywiste przemieszczenia wyznacza się w oparciu o obserwacje punktów geodezyjnych umieszczonych na ścianach, fundamentach i innych elementach znajdujących się w pobliżu (Runkiewicz i Sieczkowski 2015).

Tabela 20 Zasięg stref oddziaływania wykopu (Kotlicki i Wysokiński, 2002)

RODZAJ GRUNTU	S_I	S_{II}
Piaski	0,5 H_w	2,0 H_w
Gliny	0,75 H_w	2,5 H_w
Iły	1,0 H_w	3÷4 H_w

H_w – głębokość wykopu

W strefie najbliższej wznoszonego obiektu obserwacjami powinny być objęte przemieszczenia:

- pionowe i poziome elementów konstrukcji nośnej (słupy, ściany), a w przypadku obiektów składających się z kilku oddylatowanych segmentów – każdej oddylatowanej części,
- poziome korony obudowy wykopu oraz na głębokości podpór pośrednich,
- pionowe płyty dennej wznoszonego obiektu.

Obserwacje powinny być prowadzone do momentu stabilizacji odkształceń podłoża gruntowego, co z reguły następuje po około roku od zakończenia budowy. Wyniki badań geodezyjnych powinny być bezzwłocznie analizowane i porównywane z wartościami prognozowanymi, podawanymi w dokumentacji projektowej (Runkiewicz i Sieczkowski 2015).

Do podstawowych metod i urządzeń stosowanych w monitoringu można zaliczyć (Koerner i Koerner 2011, Bailly i in. 2014):

- pomiary geodezyjne – monitoring ruchów pionowych i poziomych terenu przyległego i budynków znajdujących się w strefie oddziaływania, a także do określania położenia reperów wgłębnych; w przypadku ścian szczelinowych pomiar przemieszczeń poziomych i pionowych szczególnie na oczepie – osiadania; oprócz punktów kontrolowanych pomiarem należy objąć punkty znajdujące się poza strefą oddziaływania (rysunek 16),
- ekstensometry lub czujniki światłowodowe – mogące służyć do pomiaru odkształceń i monitorowania ruchu lub deformacji budowli, często stosowane w przypadku gruntu zbrojonego,
- inklinometry przenośne i modułowe (np. SAA) – wykonywane w ośrodku gruntowym czy też samej konstrukcji (ściany szczelinowe, ścianki szczelne), a także w skarpach i zboczach przy monitorowaniu ich stateczności,
- piezometry zamknięte – do pomiaru zmian ciśnienia porowego; umieszczane najlepiej przed rozpoczęciem budowy w miejscu największego planowanego obciążenia ściany, nasypu lub zbocza; wykorzystywane również po zakończeniu budowy w badaniu podłoża budowli.

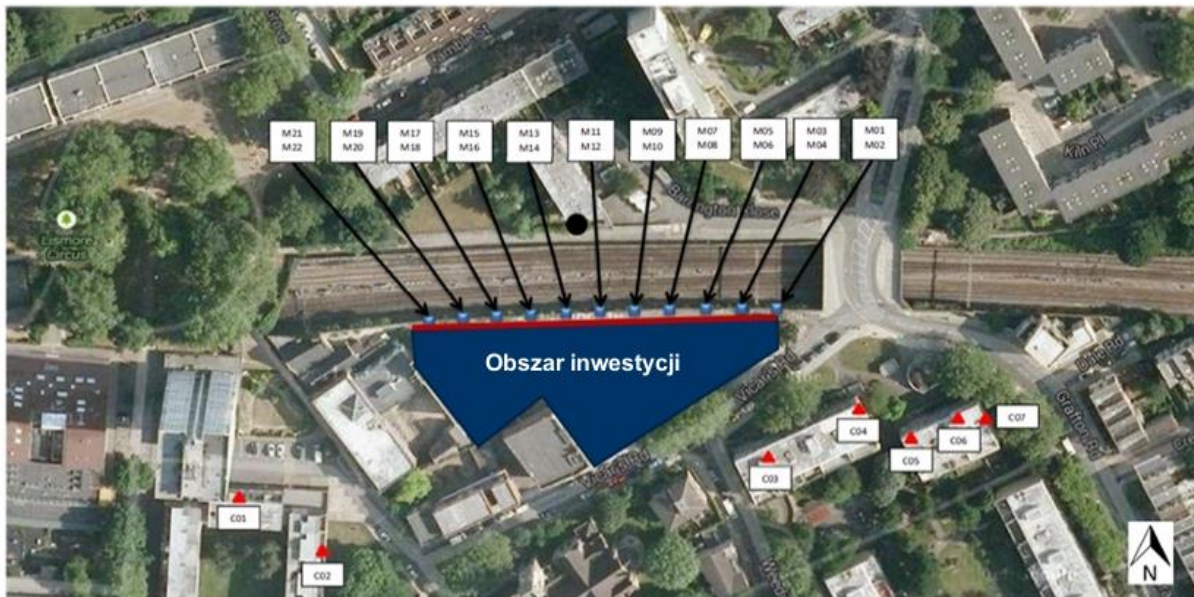
Należy rozważyć dodatkowe metody pomiarowe i urządzenia, jeżeli wystąpią trudne warunki, takie jak: wysokie budowle, duże obciążenia, rejony aktywności sejsmicznej, pobliskie ciekły wodne, miękkie podłoża gruntowe itd.

Wśród metod i urządzeń wspomagających monitoring konstrukcji oporowych można wskazać:

- czujniki do pomiaru parcia gruntu oraz obciążenia kotew (Li i in. 2018),
- tensometry – np. na rozporach stosowanych w przypadku ścian szczelinowych (Błaszczński i in. 2011),
- pochylomierze i szczelinomierze precyzyjne (Elias i in. 2001),
- repery wgłębne – do pomiaru przemieszczeń i odkształceń pionowych ośrodka gruntowego (Rychlewski 2006),
- skaning laserowy (Lienhart 2017).

Pełen zestaw urządzeń i czujników można znaleźć w raporcie (Elias i in., 2001).

- ▲ Reflektor odniesienia
- Punkt monitorowany (para reflektorów geodezyjnych - jeden na koronie, drugi na poziomie szyn)
- Tachimetr zrobotyzowany



Rysunek 16 Rozkład punktów geodezyjnych przy monitoringu konstrukcji oporowej (<http://getec-uk.com/where-weve-done-it/nwr-retaining-wall-monitoring-london-uk>)

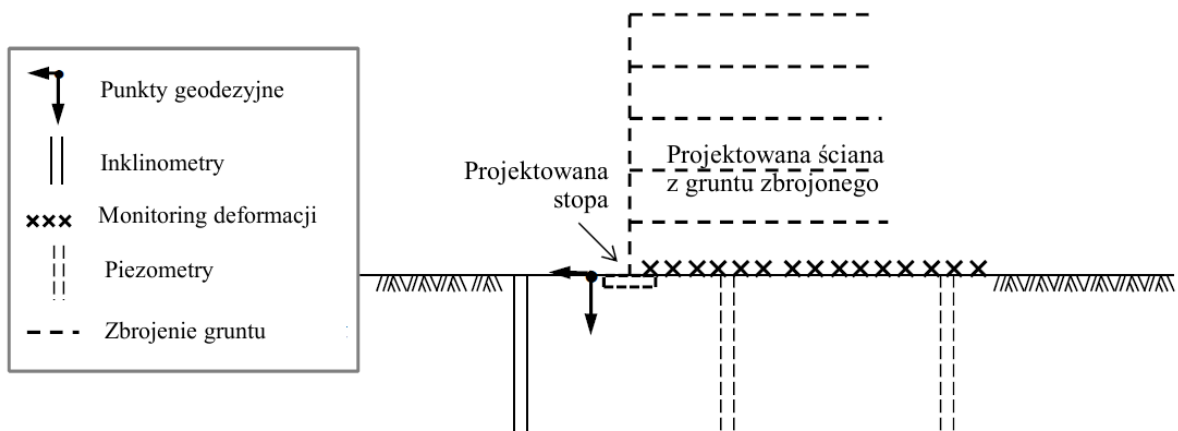
Monitoring przed rozpoczęciem budowy (Koerner i Koerner 2011)

Prowadzenie monitoringu zachowania terenu przed rozpoczęciem budowy jest szczególnie istotne w przypadku konstrukcji elastycznych, np. gruntu zbrojonego albo w przypadku krytycznych i trudnych sytuacji projektowych, takich jak np. ekstremalnie wysokie konstrukcje, wysokie obciążenia dodatkowe, obciążenia sejsmiczne lub dynamiczne, miękkie podłoża gruntowe, itp. W ten sposób można ocenić ilościowo wszelkie występujące ruchy i skonfrontować je z ruchami występującymi podczas i po zakończeniu budowy. Bez danych porównawczych prawie niemożliwe jest stwierdzenie, czy pojawiające się ruchy są nagłe czy długoterminowe.

Przede wszystkim należy prowadzić pomiary geodezyjne przestrzennego położenia punktów u podnóża budowli rozmieszczonych równomiernie np. co kilkanaście metrów. Wskazane jest również stosowanie inklinometrów u podnóża, zwłaszcza przed najwyższym fragmentem projektowanej ściany, nasypu lub zbocza. Ponadto jeżeli zostanie stwierdzone występowanie wód podziemnych, należy zainstalować piezometry. Powinny się znajdować poniżej obszarów, które mają najwyższą wysokość wypełnienia. Monitorowanie deformacji wzdłuż powierzchni fundamentu również powinno być brane pod uwagę. Urządzenia można zainstalować niezależnie lub wraz z pierwszą warstwą zbrojenia gruntu. Rozkład podstawowych urządzeń do monitoringu przedstawiono na rysunku 17.

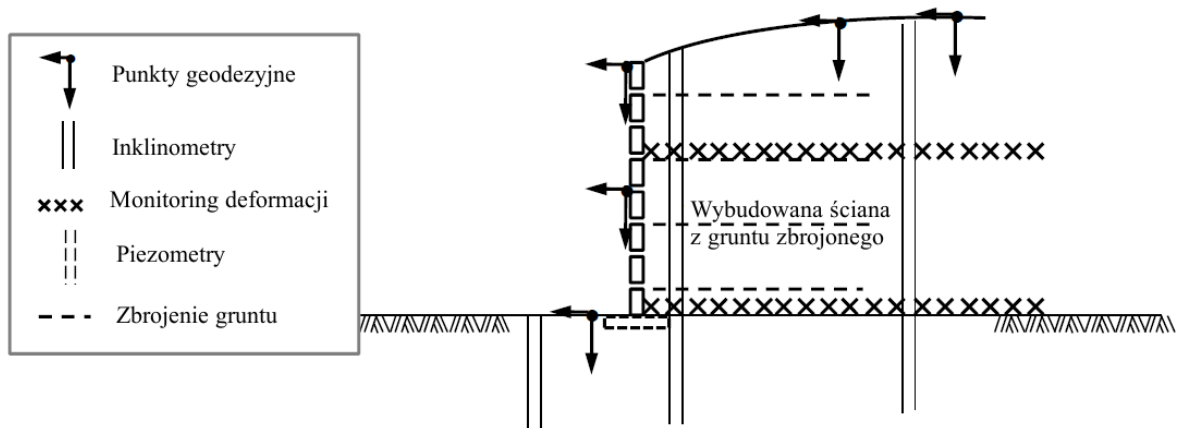
Monitoring w trakcie i po zakończeniu budowy (Koerner i Koerner 2011)

Punkty obserwacji geodezyjnych powinny być zainstalowane jak najwcześniej, aby nie przeoczyć potencjalnego ruchu podczas budowy. Powinny być zlokalizowane w połowie wysokości budowli oraz na jej szczycie. Punkty nad konstrukcją powinny być rozmieszczone równomiernie, np. co kilkanaście metrów.



Rysunek 17 Rozkład urządzeń do monitoringu przed rozpoczęciem budowy (Koerner i Koerner 2011)

Podczas budowy można monitorować deformacje na różnych wysokościach, np. w połowie lub co 1/4 wysokości budowli. W trakcie lub po wzniesieniu budowli do docelowej wysokości, inklinometry powinny być zainstalowane od góry, przez warstwy zbrojenia i do podłoża. Inklinometry mogą być również umieszczone za licem konstrukcji w celu określenia przemieszczeń podłoża i za zbrojeniem w celu wyznaczenia ruchów gruntu rodzimego. Czujniki do pomiaru deformacji można zainstalować po zakończeniu budowy (rysunek 18), (Dunnicliff 1993).



Rysunek 18 Rozkład urządzeń do monitoringu po zakończeniu budowy (Koerner i Koerner 2011)

W tabeli 21 zebrano przykładowe zagadnienia i problemy dotyczące konstrukcji oporowych (na podstawie: Stulgis 2005, Elias i in. 2001, <http://inorblock.com/monitoring.html>).

Tabela 21 Przykłady zagadnień i pytań dotyczących problematyki monitorowania konstrukcji oporowych

PYTANIA/ZAGADNIENIA	POMIAR	ODPOWIEDNIE INSTRUMENTY/METODY
Jakie są zmiany geometrii powierzchni ściany podczas budowy, obciążenia lub awarii?	Pomiar odkształceń przestrzennych ściany	Metody geodezyjne: - pomiary tachimetryczne - niwelacja - skaning laserowy Metody geotechniczne: - pochylomierze
	Pomiar przemieszczeń poziomych lica ściany	Metody geodezyjne: - pomiary tachimetryczne - skaning laserowy Metody geotechniczne: - pochylomierze - inklinometry
	Pomiar przemieszczeń pionowych całej budowli	Metody geodezyjne: - niwelacja Metody geotechniczne: - pochylomierze
	Lokalne ruchy i przemieszczenia elementów okładzinowych	Metody geotechniczne: - szczelinomierze
Czy występują deformacje w gruncie podczas budowy, obciążenia lub awarii?	Pomiar przemieszczeń poziomych w gruncie, wzdłuż wewnętrznej powierzchni ściany	Metody geotechniczne: - inklinometry - pochylomierze - ekstensometry przenośne Metody geodezyjne: - pomiary tachimetryczne
	Pomiar odkształceń pionowych w gruncie	Metody geotechniczne: - inklinometry poziome - hydroniwelatory - hydroprofilometry - ekstensometry przenośne - repery wgłębne Metody geodezyjne: - niwelacja
Czy występuje poślizg między gruntem zbrojonym a gruntem rodzimym?	Pomiar odkształceń poza granice zbrojenia	Metody geotechniczne: - ekstensometry prętowe
Jakie obciążenia są przenoszone przez elementy zbrojenia?	Pomiar odkształceń elementów zbrojenia; wyznaczenie powierzchni poślizgu	Metody geotechniczne: - tensometry - ekstensometry prętowe, strunowe
	Określenie naprężeń, rozkładu naprężeń na skutek obciążeń dodatkowych, relaksacji naprężeń	Metody geotechniczne: - tensometry - ekstensometry strunowe - czujniki do pomiaru parcia gruntu - wskaźniki rozwarcia rys
Określenie zależności między osiadaniami a rozkładem naprężeń i odkształceń	Pomiar osiadań, pomiar odkształceń	Metody geodezyjne: - niwelacja Metody geotechniczne: - inklinometry poziome - hydroniwelatory - ekstensometry przenośne - repery wgłębne - pochylomierze - tensometry - czujniki do pomiaru parcia gruntu - wskaźniki rozwarcia rys
Określenie naporu gruntu	Pomiar parcia gruntu na elementach okładzinowych	Metody geotechniczne: - czujniki do pomiaru parcia gruntu - tensometry (w miejscach połączeń) - czujniki do pomiaru obciążeń kotew (w miejscach połączeń)

PYTANIA/ZAGADNIENIA	POMIAR	ODPOWIEDNIE INSTRUMENTY/METODY
	Określenie rozkładu naprężeń u podstawy konstrukcji	Metody geotechniczne: - czujniki do pomiaru parcia gruntu
Określenie ciśnienia porowego	Pomiar ciśnienia porowego w gruncie zbrojonym oraz poniżej konstrukcji	Metody geotechniczne: - czujniki do pomiaru ciśnienia porowego
	Kontrola drenażu wypełnienia (zasyпки)	Metody geotechniczne: - piezometry (otwarte)
Czy występują niekorzystne efekty sezonowe w gruncie zbrojonym w pobliżu lica ściany i na górze ściany?	Kontrola zamarzania i rozmarzania gruntu, które mogą zwiększać siły w elementach zbrojenia	Metody geotechniczne: - czujniki do pomiaru temperatury - stacje pogodowe

4.10. Obiekty mostowe

Konieczność monitorowania stanu obiektów mostowych wynika z ich przyporządkowania do kategorii geotechnicznej. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz. U. z 2012 r., poz. 463), przyczółki i filary mostowe należą do drugiej kategorii geotechnicznej. Natomiast do kategorii trzeciej należy zaliczyć obiekty mostowe posadawiane w skomplikowanych warunkach gruntowych oraz obiekty nietypowe, w szczególności mosty przez rzeki o świetle ponad 100 m lub rozpiętości powyżej 100 m (Instrukcja, 1998). Zgodnie z Normą PN-EN 1997-1:2008 w przypadku drugiej kategorii technicznej ocena zachowania konstrukcji może opierać się na pomiarach przemieszczeń wybranych punktów, a w przypadku kategorii trzeciej pomiary przemieszczeń i ich analiza, uwzględniająca kolejność robót budowlanych, są zwykle zalecane jako podstawa oceny zachowania konstrukcji. Dla obiektów wymagających w trakcie użytkowania okresowego badania przemieszczeń i odkształceń należy wykonać pomiar stanu wyjściowego obiektów po zakończeniu prac budowlanych, a przed oddaniem obiektu do użytkowania – zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa w sprawie rodzaju i zakresu opracowań geodezyjno-kartograficznych oraz czynności geodezyjnych obowiązujących w budownictwie (Dz.U. z 1995 r. Nr 25, poz. 133).

Monitoring obiektów mostowych może być prowadzony w trybie okresowym i ciągłym.

Monitoring okresowy obiektów inżynierskich, w szczególności mostowych, bazuje przede wszystkim na cyklicznych przeglądach. Zasady prowadzenia przeglądów określone w (Instrukcje, 2005) obejmują kilka rodzajów przeglądów:

- bieżące,
- podstawowe (roczne),
- rozszerzone (5-letnie),
- szczegółowe,
- ekspertyzy.

W zakresie wpływu podłoża gruntowego na stan obiektów inżynierskich, wszystkie rodzaje przeglądów okresowych wskazują na konieczność zamieszczenia we właściwych protokołach informacji na temat deformacji i przemieszczeń elementów konstrukcji.

Na poziomie przeglądów bieżących, polegających na wizualnym sprawdzeniu stanu obiektu z poziomu jezdni, w protokole przeglądu zapisuje się m.in. dane dotyczące zaobserwowanych ugięć konstrukcji widocznych na balustradzie, gzymsie itp. czy deformacji lub przemieszczeń elementów konstrukcji.

W protokołach z przeglądów podstawowych i rozszerzonych, uszkodzenia zakwalifikowane jako deformacje i przemieszczenia odnotowuje się w odniesieniu do elementów konstrukcji, łożysk

i podpór, wyposażenia i urządzeń obcych.

W największym stopniu uszkodzenia obiektów mostowych, powstałe wskutek m.in. zachowania podłoża gruntowego, odnotowuje się w protokołach z przeglądów szczegółowych. Przeglądy te wykonuje się dla wszystkich obiektów inżynierskich przed upływem okresu gwarancyjnego oraz wytypowanych w wyniku przeglądu podstawowego lub rozszerzonego, a dodatkowo co najmniej raz na 5 lat dla:

- obiektów mostowych, tuneli i przejść podziemnych o długości powyżej 50 m,
- obiektów mostowych posiadających przęsła o rozpiętości powyżej 30 m,
- obiektów mostowych posiadających przęsła ruchome.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. z 2000 r. Nr 63, poz. 735), obiekty inżynierskie powinny być wyposażone w znaki pomiarowe, aby umożliwić pomiary geodezyjne wykonywane w ramach oceny ich stanu. Repery powinny być umieszczone:

- na głowicach tuneli – nie mniej niż 3 sztuki,
- na każdej z podpór obiektu mostowego – nie mniej niż 4 sztuki,
- po obu stronach przęsła: nad podporami oraz w środku rozpiętości przęsła dłuższych niż 21 m,
- w osiach skrajnych dźwigarów lub w punktach znajdujących się nad dolnymi krawędziami ustrojów płytowych.

Przy prowadzeniu przeglądów szczegółowych prowadzi się prace pomiarowe, w szczególności związane z wpływem podłoża gruntowego na badany obiekt. Jak podano w (Instrukcje, 2005), prace pomiarowe powinny obejmować pomiary niwelacyjne obiektów mostowych w celu wyznaczenia osiadań podpór i ugięć wszystkich przęsła. Pomiary niwelacyjne należy wykonać co najmniej po obu stronach obiektu przy balustradach, w środku rozpiętości każdego przęsła oraz nad podporami. Repery powinny być powiązane ze stałym znakiem wysokościowym, wykonanym z trwałego materiału i posadowionym na gruncie rodzimym poniżej poziomu przemarzania, poza korpusem drogi w niewielkiej odległości od obiektu. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. z 2000 r. Nr 63, poz. 735), przy obiektach o długości większej niż 100 m powinny być wykonane dwa znaki stałe, rozmieszczone w pobliżu końców obiektu. Ponadto zaleca się, aby obiekty mostowe o długościach powyżej 200 m i wymagające stałej obserwacji, były wyposażone w stanowiska pomiarowe rozmieszczone poza nimi. Stanowiska te mogą być przydatne do wyznaczania przemieszczeń przestrzennych elementów obiektu mostowego.

Prace pomiarowe mogą również obejmować m.in.:

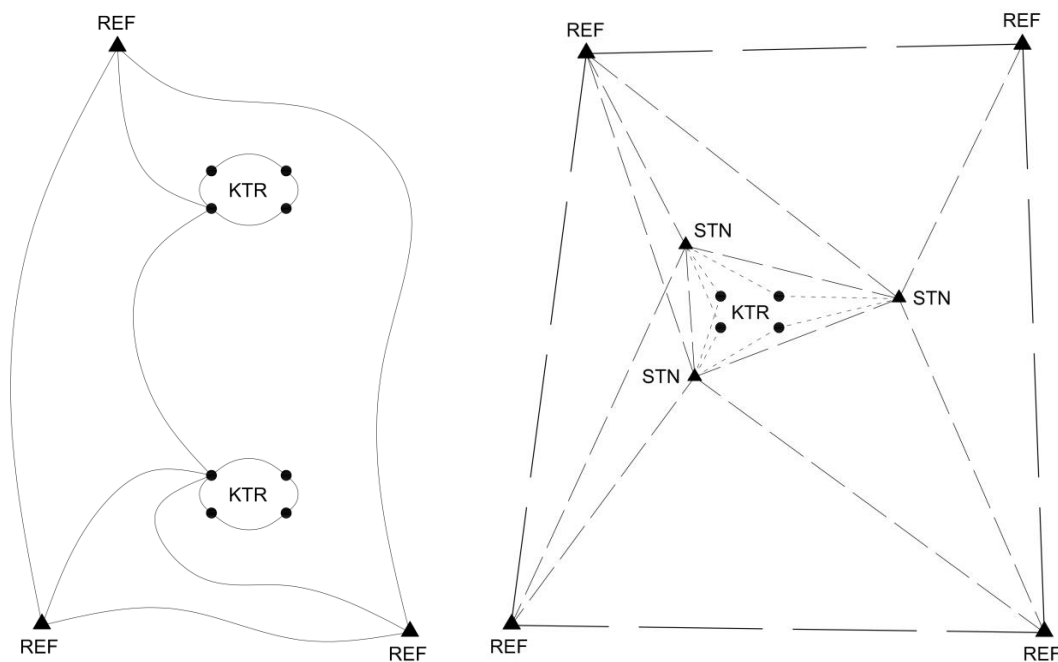
- pomiary niwelacyjne wierzchu podpór obiektów mostowych (przy skrajnych łożyskach) w celu wyznaczenia osiadań lub obrotów,
- pomiary niwelacyjne tuneli, przejść podziemnych, przepustów lub konstrukcji oporowych w przypadku stwierdzenia ich przemieszczeń lub deformacji,
- pomiary wymiarów, kształtu i położenia elementów konstrukcji,
- pomiary inwentaryzacyjne przekrojów elementów konstrukcji, które uległy uszkodzeniom,
- inne prace pomiarowe uznane za konieczne (Instrukcje, 2005).

Monitorowanie obiektów inżynierskich powinno być prowadzone przede wszystkim za pomocą geodezyjnych technik pomiarowych (niwelacja geometryczna, pomiary tachymetryczne, pomiary satelitarne GNSS). W przypadku konieczności prowadzenia pomiarów przemieszczeń wszystkie

prace powinny być realizowane w nawiązaniu do punktów odniesienia, które zachowują niezmienną położenie w czasie. Zalecana liczba dwóch stałych znaków wysokościowych może być niewystarczająca, szczególnie w przypadkach wątpliwej stabilności podłoża. Podobnie jest w przypadku stanowisk pomiarowych rozmieszczonych poza obiektem. Zalecane jest, aby stanowiska obserwacyjne posiadały stabilizację trwałą (poniżej poziomu przemarzania) w postaci filarów wyposażonych w urządzenie do centrowania mechanicznego (wymuszonego), a także w znaki wysokościowe.

Podczas prowadzenia cyklicznych pomiarów przemieszczeń wskazane jest sprawdzenie stałości punktów odniesienia między kolejnymi seriami obserwacyjnymi. Punkty odniesienia powinny być usytuowane na stabilnym podłożu poza strefą potencjalnego oddziaływania obiektu, ale możliwie blisko obiektu w celu zminimalizowania błędów pomiaru. Wszystkie prace geodezyjne podejmowane w celu wyznaczenia przemieszczeń obiektów inżynierskich powinny być poprzedzone wstępną analizą dokładności w oparciu o przewidywane wartości przemieszczeń, w celu określenia dopuszczalnych błędów pomiaru. Sprzęt stosowany do pomiarów powinien posiadać świadectwo kalibracji wydane w okresie ostatnich 12 miesięcy. W trakcie wykonywania pomiarów należy unikać ekstremalnych warunków pogodowych oraz dużego natężenia ruchu drogowego.

Dla okresowych pomiarów wysokościowych minimalna liczba punktów odniesienia wynosi 3, przy czym w sytuacji braku możliwości wzajemnego powiązania ich obserwacjami (np. na dwóch końcach stale użytkowanego mostu), należy założyć odpowiednią liczbę grup punktów odniesienia (np. dwie – po dwóch stronach rzeki). Schemat rozmieszczenia punktów oraz prowadzenia obserwacji przedstawiono na rysunku 19. Wskazane jest prowadzenie pomiarów z dokładnością właściwą dla niwelacji precyzyjnej. Każdy odcinek niwelacyjny powinien być pomierzony dwukrotnie (w kierunku tam i z powrotem). Wszystkie ciągi niwelacyjne należy zamykać w oczka. Rozmieszczenie i sposób stabilizacji reperów kontrolowanych należy określić w projekcie monitoringu.



Rysunek 19 Schemat rozmieszczenia punktów odniesienia i punktów kontrolowanych dla pomiarów niwelacyjnych i sytuacyjnych lub przestrzennych (na podstawie: Main Roads Western Australia, 2017)

W przypadku pomiarów sytuacyjnych minimalna liczba punktów odniesienia wynosi 3. Schemat rozmieszczenia punktów oraz prowadzenia obserwacji przedstawiono na rysunku 19. W trakcie pomiarów spodarki powinny pozostawać na stanowiskach obserwacyjnych, aby ograniczyć błędy centrowania. Z każdego punktu odniesienia powinny być widoczne co najmniej dwa sąsiednie punkty. Dodatkowo mogą być wykonywane obserwacje do dalekich punktów orientujących (wyraźnych celów znajdujących się w odległości ponad 1 km). Stanowiska obserwacyjne powinny być zastabilizowane za pomocą standardowych znaków geodezyjnych albo trwałych znaków na betonie lub asfalcie. Niezmiennność położenia stanowisk jest sprawdzana poprzez nawiązanie do co najmniej dwóch punktów odniesienia oraz dalekich punktów orientujących. Wskazane jest prowadzenie pomiarów z dokładnością właściwą dla precyzyjnych pomiarów kątowno-liniowych. Możliwe jest również wykonywanie obserwacji satelitarnych GNSS metodą statyczną odbiornikami dwuczęstotliwościowymi, szczególnie w przypadku ograniczonej widoczności między punktami. Punkty kontrolowane na obiekcie powinny być obserwowane ze stanowisk obserwacyjnych. Rozmieszczenie i sposób stabilizacji punktów kontrolowanych należy określić w projekcie monitoringu. Zalecane jest stosowanie reflektorów dalmierzowych typu mini przymocowanych trwale do obiektu, ewentualnie folii dalmierzowych z naniesionym centrem. Sposób montażu powinien zapewnić trwałość znaków przez cały planowany okres monitoringu.

Techniką pomiarową, która może być stosowana uzupełniająco dla celów monitoringu obiektów inżynierskich prowadzonego podczas przeglądów szczegółowych, jest skanowanie laserowe. Metoda ta zapewnia bardzo wysoką szczegółowość pomiaru, dlatego może być szczególnie przydatna podczas przeglądów obiektów inżynierskich o złożonej konstrukcji (np. obiektów mostowych) oraz obiektów wymagających dużej liczby obserwowanych punktów (np. tuneli). Dla osiągnięcia najwyższej dokładności pomiaru technika skanowania laserowego wymaga dodatkowych precyzyjnych pomiarów geodezyjnych (Vežočanik i in., 2009). Istotną zaletą jest możliwość wykonywania skanerem zdjęć cyfrowych w trakcie pomiaru. Spośród uszkodzeń i nieprawidłowości, na które należy zwracać uwagę w trakcie oględzin obiektu podczas przeglądów szczegółowych, skanowanie pozwala na udokumentowanie:

- zarysowań i pęknięć,
- ubytków,
- przemieszczeń i deformacji,
- rozluźnienia spoin elementów murowanych,
- rozluźnienia lub uszkodzenia łączników,
- uszkodzenia cięgien sprężających i ich zakotwień,
- uszkodzenia powłok antykorozyjnych,
- korozji materiału,
- zanieczyszczeń.

Ponadto skanowanie laserowe może być stosowane do określenia parametrów wyznaczanych w trakcie przeglądów szczegółowych, tj.:

- osiadań lub obrotów podpór obiektów mostowych – pomocniczo względem pomiarów niwelacyjnych,
- przemieszczeń lub deformacji tuneli, przejść podziemnych, przepustów lub konstrukcji oporowych,
- wymiarów, kształtu i położenia elementów konstrukcji,
- przekrojów elementów konstrukcji, które uległy uszkodzeniom,
- obmiarów ilościowych stwierdzonych uszkodzeń konstrukcji.

Metody fotogrametryczne, podobnie jak skanowanie laserowe, mogą stanowić uzupełnienie klasycznych metod pomiarowych dla celów pozyskiwania informacji o stanie obiektów inżynierskich w ramach przeglądów szczegółowych. W ten sposób można stosunkowo szybko pozyskać dane geometryczne o obiekcie z poziomu naziemnego albo jednostki niskopułapowej UAV (Hallermann i Morgenthal, 2014). Metoda ta jest szczególnie przydatna dla obiektów o mało zróżnicowanym kształcie (np. konstrukcje oporowe) i wymaga dodatkowych precyzyjnych pomiarów geodezyjnych. Obrazy cyfrowe pozyskiwane w trakcie pomiaru mogą w naturalny sposób stanowić uzupełnienie dla wyników oględzin obiektu inżynierskiego.

W zakresie monitoringu ciągłego (automatycznego) przepisy nie zawierają wymagań dotyczących zakresu obserwacji czy zalecanych metod i urządzeń. Systemy monitoringu opierają się w większości na różnego rodzaju czujnikach elektrycznych, które pozwalają na pomiar różnych wielkości fizycznych. Są one instalowane w miejscach (przekrojach) wytypowanych na podstawie analizy statyczno-wytrzymałościowej (Runkiewicz i Sieczkowski 2016).

Przy projektowaniu systemu monitoringu należy rozważyć trzy aspekty: typy obserwowanych wielkości, typy czujników oraz ich lokalizację. Wielkości obserwowane można podzielić na:

- oddziaływania obciążeniowe i środowiskowe – w tym: obciążenia pojazdami, obciążenie wiatrem, ruchy sejsmiczne, kolizje pojazdów, temperatura, wilgotność itp.
- globalna odpowiedź konstrukcji – obejmująca głównie przyspieszenia i odkształcenia,
- lokalna odpowiedź konstrukcji – obejmująca m.in.: naprężenia, siły naciągu lin (wieszaków), przemieszczenia na dylatacjach i łożyskach, pękanie i wyłężenie elementów, a także reakcję przyczółków (Chen i in. 2017).

Stosowane czujniki powinny umożliwiać pomiar następujących wielkości: obciążenie pojazdami, prędkość i kierunek wiatru, temperaturę i wilgotność, drgania, temperaturę konstrukcji, naprężenia, ugięcia belek, przemieszczenia na łożyskach oraz siłę naciągu lin. Przypisanie im właściwych czujników zamieszczono w tabeli 22.

Tabela 22 Czujniki stosowane w monitoringu mostów (na podstawie: Chen i in. 2017; Sung i in. 2016; Zhou i in. 2017)

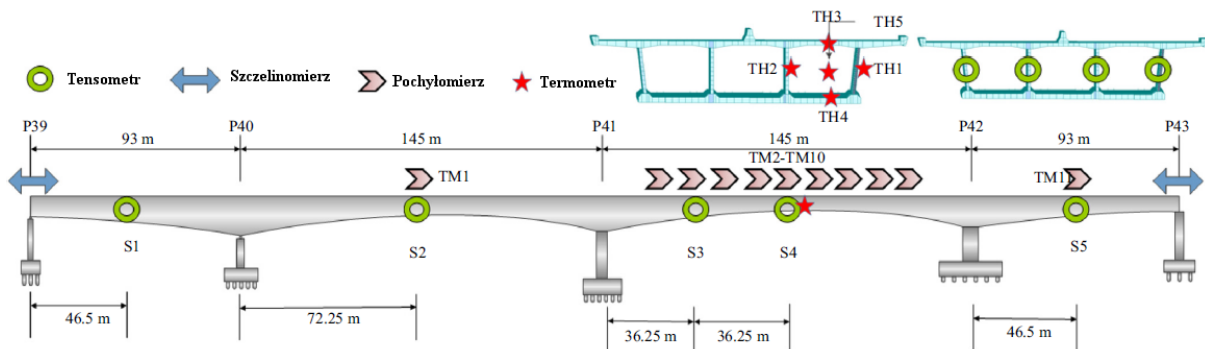
Typ wielkości	Zmienna	Czujnik
oddziaływania obciążeniowe i środowiskowe	obciążenie pojazdami	waga drogowa
	obciążenie wiatrem	wiatromierz
	ruchy sejsmiczne podłoża	sejsmometr
	zderzenia/uderzenia pojazdów	akcelerometr, sejsmometr
	temperatura i wilgotność	czujnik do pomiaru temperatury i wilgotności
	prędkość i kierunek wiatru, opady	wiatromierz kierunkowy, deszczomierz
globalna odpowiedź konstrukcji	drgania	akcelerometr
	deformacje	tensometr
	przemieszczenia	odbiornik GPS, ekstensometr, szczelinomierz
	pochylenia	pochyłomierz
lokalna odpowiedź konstrukcji	naprężenia	czujnik światłowodowy
	przemieszczenia na łożyskach	ekstensometr
	siły naciągu lin (wieszaków)	ekstensometr
	szczeliny, pęknięcia	szczelinomierz

Poniżej przedstawiono cztery przykłady systemów czujników, które zostały zastosowane w monitoringu mostów o różnych konstrukcjach.

1. **Most skrzynkowy** (na podstawie: Sung i in., 2016) – system złożony z:

- termometrów – 5 czujników do określenia gradientu temperatury w konstrukcji;
- tensometrów – 52 czujniki do wyznaczenia nierównomiernych naprężeń wynikających z nieciągłej sztywności na granicy różnych materiałów;
- szczelinomierzy – 2 czujniki umieszczone na przerwach dylatacyjnych, do określenia przemieszczeń w kierunku ruchu wynikających ze zmian temperatury, aktywności sejsmicznej, drgań wywołanych przez pojazdy;
- pochyłomierzy – 14 czujników do pomiaru dynamicznych zmian pochylenia przęsła w kierunkach równoległym i prostopadłym do kierunku ruchu.

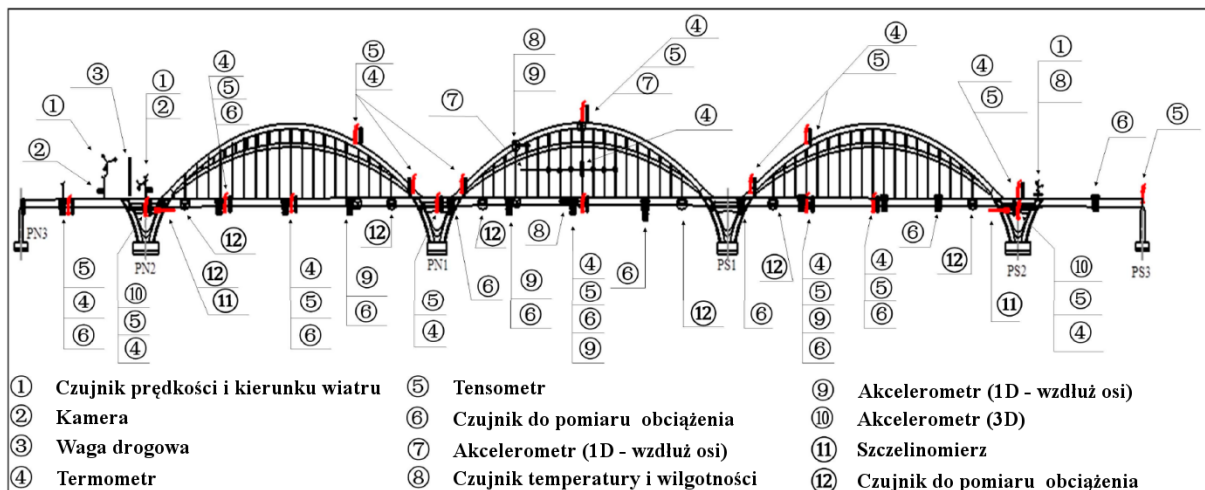
Rozmieszczenie czujników przedstawiono na rysunku 20.



Rysunek 20 Rozmieszczenie czujników na moście skrzynkowym (Sung i in., 2016)

2. **Most łukowy** (na podstawie: Chen i in., 2017)

Czujniki zostały zainstalowane na moście w celu pozyskania danych o: prędkości i kierunku wiatru, temperaturze i wilgotności, obciążeniach pojazdami, drganiach, temperaturze konstrukcji, naprężeniach, ugięciu belek, przemieszczeniach na łożyskach i sił naciągu lin. Wiele typów czujników zamontowano na moście, w tym: czujniki prędkości i kierunku wiatru, czujniki temperatury i wilgotności, przyspieszeniomierze, czujniki prędkości i obciążenia pojazdami, kamera cyfrowa, czujniki do pomiaru naprężeń i parcia, czujniki przemieszczenia, tensometry. Łącznie na obiekcie zainstalowano 333 czujniki. Ich rozmieszczenie przedstawiono na rysunku 21.

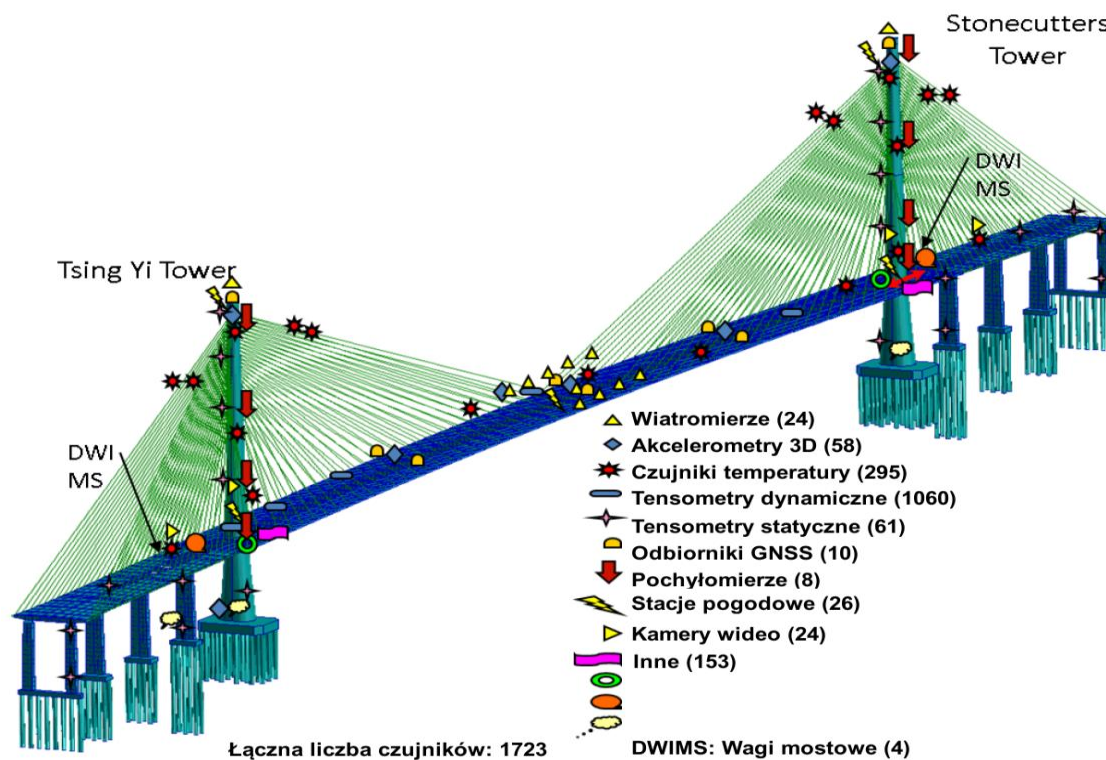


Rysunek 21 Rozmieszczenie czujników na moście łukowym (Chen i in. 2017)

3. Most podwieszony (na podstawie: Dascotte i in. 2013)

System został wdrożony w celu monitorowania zachowania konstrukcji zgodnie z wyznaczonymi kryteriami stanu granicznego użyteczności oraz w celu oceny ewentualnych wad i bezpieczeństwa konstrukcji po ich przekroczeniu. W tym celu zastosowano szeroką gamę ponad 1700 czujników, w szczególności monitorujących stan konstrukcji oraz warunki zewnętrzne – do pomiaru przemieszczeń, odkształceń, przyspieszeń, temperatury i wiatru. Jest to przykład jednego z najlepiej wyposażonego mostu na świecie w zakresie czujników.

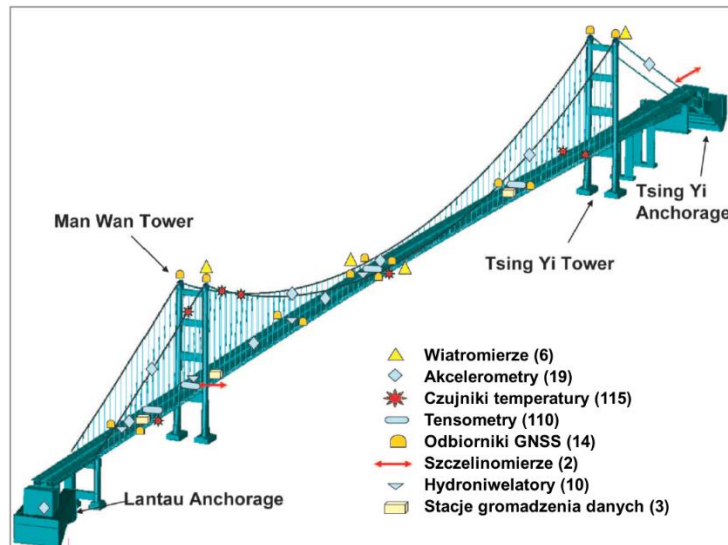
Na podstawie wymagań bezpieczeństwa dużą wagę przywiązano do monitorowania wibracji na podstawie wartości przyspieszeń i przemieszczeń z odbiorników GPS. Mierzone przemieszczenia są wykorzystywane do obliczania odkształceń, naprężeń, sił i momentów w dowolnym miejscu mostu. Rozmieszczenie i wykaz czujników przedstawiono na rysunku 22.



Rysunek 22 Rozmieszczenie czujników na moście podwieszonym (Dascotte i in., 2017)

4. Most wiszący (na podstawie: Wong 2007; Xia i in. 2013)

System monitoringu służy do zebrania danych o konstrukcji i warunkach zewnętrznych. Składa się z: wiatromierzy, czujników temperatury, akcelerometrów, tensometrów, hydroniwelatorów, szczelinomierzy, czujników obciążenia pojazdami oraz odbiorników GPS. Rozmieszczenie i wykaz czujników przedstawiono na rysunku 23.



Rysunek 23 Rozmieszczenie czujników na moście wiszącym (Wong, 2007)

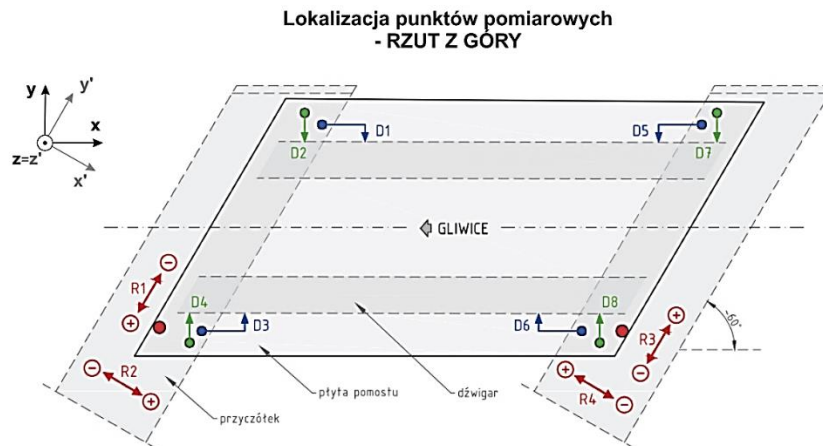
Warto także podkreślić, że również w Polsce wiele obiektów mostowych zostało wyposażonych w zaawansowane, automatyczne systemy monitorowania (Sieńko 2013), m.in. Most Solidarności w Płocku, Most Sucharskiego w Gdańsku, most przez rz. Wisłę w Puławach (2) oraz Most Rędziniński we Wrocławiu (Bednarski i in. 2015) i wiele innych.

Coraz częściej dąży się także do instalacji mniejszych, a przez to ekonomicznych i finansowo opłacalnych systemów monitorowania w celu bieżącej kontroli kluczowych parametrów eksploatacyjnych danego obiektu (np. pozostałego zakresu przesuwu łożysk, szerokości dylatacji itd.). Podejście takie (monitorowanie bryłowe) minimalizuje koszty systemu przy jednoczesnym zachowaniu użyteczności uzyskiwanych informacji. Ma to szczególne znaczenie np. dla typowych obiektów mostowych posadowionych w trudnych warunkach geotechnicznych lub na terenach szkód górniczych (Sieńko i in. 2017).

Z tego powodu oddział w Katowicach Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad podpisał z firmą SHM System (www.shmsystem.pl) w czerwcu 2015 r. porozumienie dot. współpracy naukowo-badawczej w zakresie wdrażania nowoczesnych systemów monitorowania konstrukcji obiektów mostowych, znajdujących się na obszarach objętych wpływami górniczymi. Pilotażowa instalacja systemu została wykonana na moście w ciągu autostrady A1. Miała ona na celu przede wszystkim sprawdzenie w praktyce zalet automatycznych rozwiązań pomiarowych oraz ich przydatności w codziennej działalności GDDKiA, w szczególności poprzez:

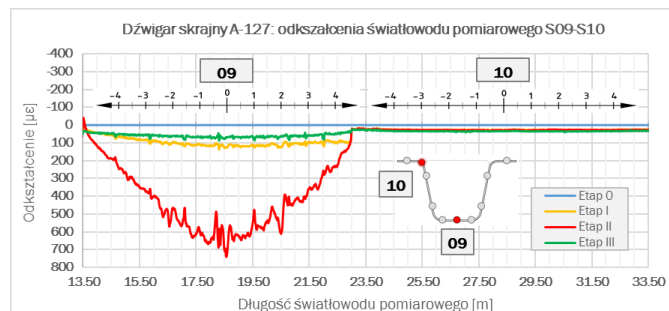
- kontrolę pracy łożysk,
- kontrolę pracy dylatacji,
- kontrolę przemieszczeń kątowych przyczółków,
- obserwację wpływu na obiekt eksploatacji górniczej,
- obserwację wpływu na obiekt zmian temperatury,
- automatyczne raportowanie,
- bezobsługowe działanie (autodiagnostyka).

Zadaniem projektu było również wykazanie, że pozyskiwanie istotnych danych związanych ze stanem technicznym obiektu mostowego może być realizowane przy zastosowaniu prostych, i w związku z tym tanich, systemów monitorowania konstrukcji.

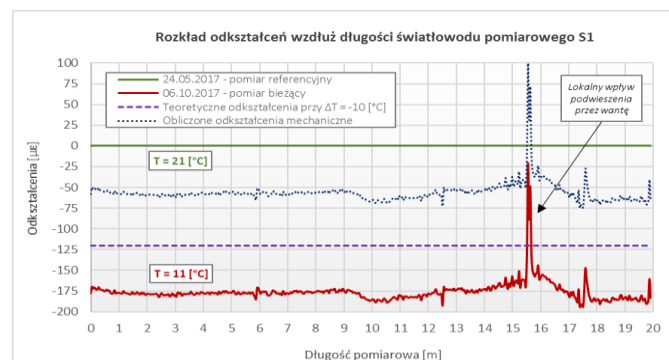


Rysunek 24 Lokalizacja i oznaczenia punktów pomiarowych systemu monitorowania mostu w ciągu autostrady A1, zlokalizowanego na obszarach szkód górniczych – widok z góry (dzięki uprzejmości SHM System)

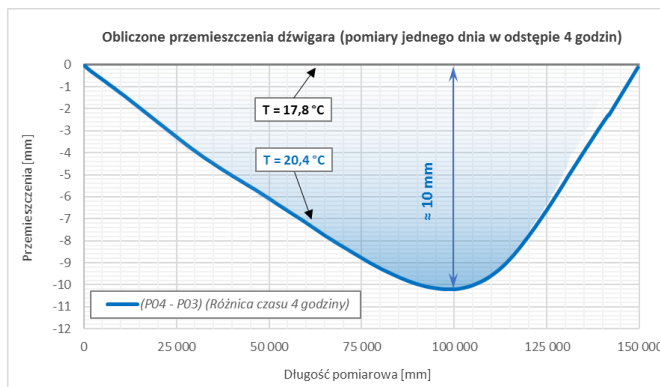
Warto także wspomnieć o pierwszych w Polsce obiektach mostowych wyposażonych w systemy monitorowania zbudowane w oparciu o światłowodowe czujniki do pomiarów geometrycznie ciągłych. Należą do nich: pierwszy w Polsce w pełni kompozytowy most w Nowej Wsi k. Rzeszowa (Siwowski i in. 2017), Most Brama Przemyska w Przemyśle, Most im. Tadeusza Mazowieckiego w Rzeszowie (Sieńko i in. 2018) czy też kładka dla pieszych w Nowym Sączu.



Rysunek 25 Obciążenie próbne mostu kompozytowego w Nowej Wsi oraz przykładowe wyniki pomiarów odkształceń (dzięki uprzejmości SHM System)



Rysunek 26 Most Brama Przemyska: widok zakotwienia wanty w stalowym dźwigarze oraz przykładowe wyniki pomiarów odkształceń na długości 20 metrów, pokazujące lokalne wzmocnienie dźwigara spowodowane obecnością zakotwienia (dzięki uprzejmości SHM System)



Rysunek 27 Most im. Tadeusza Mazowieckiego: widok tras światłowodowych o rekordowej, łącznej długości równej 600 metrom oraz przykładowy wykres przemieszczeń przęsła na długości równej 150 metrom (dzięki uprzejmości SHM System)



Rysunek 28 Instalacja światłowodowych czujników odkształceń i temperatur na długości 80-metrowego przęsła kładki dla pieszych w Nowym Sączu (dzięki uprzejmości SHM System)

Załączniki

Załącznik 1 Lista kontrolna – planowanie monitoringu

Kroki, które należy podjąć w celu systematycznego planowania systemu monitorowania od oprzyrządowania do monitorowania wydajności zapory, podsumowano w niniejszym dodatku w formie poniższej listy kontrolnej (zmodyfikowanej z Dunnycliff 1993).

1. Wstępne warunki		
1	Rodzaj przedsięwzięcia/projektu	
2	Struktura - rozmieszczenie, układ	
3	Budowa geologiczna i właściwości geotechniczne podłoża	
4	Warunki hydrogeologiczne	
5	Sąsiedztwo obiektów inżynierskich i innych konstrukcji (ich stan, budowa, oddziaływanie)	
6	Warunki środowiskowe	
7	Planowany sposób zabudowy	
8	Znajomość wystąpienia sytuacji kryzysowej (np. uaktywnienie osuwisk, zapadanie podłoża - pustki na terenach górniczych, itp)	
...	...	
2. Przewidzenie mechanizmu wystąpienia niekorzystnych zjawisk (geologicznych, geotechnicznych)		
1	Przed opracowaniem planu oprzyrządowania należy przygotować jedną lub więcej hipotez roboczych dotyczących mechanizmów, które prawdopodobnie będą kontrolowane.	
2	Hipotezy muszą być oparte na kompleksowej znajomości warunków projektowych i wejściowych (pkt 1.)	
3. Problemy/pytania, które wymagają odpowiedzi		
Każdy instrument/metoda pomiarowa powinien zostać tak dobrany i umieszczony, aby pomógł w udzieleniu odpowiedzi na konkretnie postawione pytanie/problem badawczy. Przed doбором urządzeń/metod pomiarowych należy sporządzić zestaw zagadnień/problemów geotechnicznych, które prawdopodobnie pojawią się w fazie projektowania, budowy lub eksploatacji.		
4. Cel prowadzenia monitoringu		
1	<u>Korzyści podczas projektowania:</u>	
a	Określenie wstępnych warunków zachowania się podłoża i jego otoczenia	
b	Weryfikacja wstępnych założeń	
c	Ustalenie faktycznej możliwości wystąpienia sytuacji kryzysowej	
d	Kontrakty w formule zaprojektuj i zbuduj - metoda obserwacyjna	
...	...	
2	<u>Korzyści w trakcie etapu budowy:</u>	
a	Weryfikacja założeń projektowych (ograniczenie ryzyka)	
b	Możliwość zarządzania ryzykiem	
c	Kontrakty w formule projektuj-buduj - metoda obserwacyjna	
d	Podwyższenie jakości prowadzonych prac	
e	Kontrola budowy i zarządzanie nią – podwyższenie jakości prowadzonych prac, unikanie opóźnień (zarządzanie czasem)	
f	Kontrola, bezpieczeństwo	
g	Współpraca podłoże-obiekt budowlany	
h	Przewidywanie i unikanie awarii (ujawnienie niewiadomych)	
i	Minimalizacja uszkodzenia obiektów sąsiadujących	
j	Źródło informacja dla zainteresowanych stron	
k	Źródło dokumentacji na potrzeby ewentualnych sporów gwarancyjnych, ocena odszkodowania	
l	Wspomaganie projektów wrażliwych politycznie	
m	Wsparcie procedur odbiorowych	
n	Zwiększanie public relations	
o	Pogłębienie stanu wiedzy - rozwijanie nowych technologii - postęp w obecnej praktyce	
...	...	

3	<u>Korzyści w trakcie eksploatacji</u>	
a	Sprawdzenie poprawności działania po zakończeniu budowy	
b	Weryfikacja w okresie gwarancyjnym/pogwarancyjnym	
c	Źródło dokumentacji na potrzeby ewentualnych sporów gwarancyjnych/pogwarancyjnych	
d	Pogłębienie stanu wiedzy - rozwijanie najnowocześniejszych technik	
...	...	
5. Wybór wielkości, które mają być monitorowane		
1	Położenie zwierciadła wody	
2	Wahania zwierciadła wody	
3	Ciśnienia porowe wody	
4	Całkowite naprężenia w gruncie	
5	Całkowite naprężenia – na kontakcie obudowa-górotwór	
6	Parcie na obudowę	
7	Przemieszczenia pionowe	
8	Przemieszczenia poziome	
9	Pochylenia (wychylenia)	
10	Obciążenie elementów konstrukcyjnych	
11	Odkształcenie elementów konstrukcyjnych	
12	Drgania	
13	Temperatura	
14	Opady	
15	Ciśnienie atmosferyczne	
16	Wilgotność	
...	...	
6. Przewidywana wielkość zmian		
1	Wyznaczyć maksymalną wartość, a więc zakres przyrządu	
2	Przewidzieć wartość minimalną, a więc czułość lub dokładność przyrządu	
3	Określić poziomy ostrzegania o zagrożeniach (zielony, żółty, czerwony)	
7. Działania zaradcze		
1	Opracowanie działania dla każdego poziomu ostrzegawczego, upewniając się o dostępności sił i środków	
2	Określić, kto będzie miał uprawnienia do wszczęcia działań zaradczych	
3	Upewnić się, że kanały komunikacyjne pomiędzy personelem projektowym, konstrukcyjnym, wykonawczym inwestorem są otwarte (współpraca)	
4	Określić, w jaki sposób wszystkie strony zostaną uprzedzone o planowanych działaniach zaradczych	
8. Przepisanie zadań uczestnikom realizowanego projektu do fazy projektowania, budowy i eksploatacji		
1	Określić zakres odpowiedzialności wszystkich uczestników na każdym etapie realizacji projektu	
2	Zaplanować kanały łączności i raportowania	
3	Zaplanować, kto ponosi pełną odpowiedzialność i kontrolę autorską nad realizacją projektu	
9. Wybór instrumentów pomiarowych		
1	Zapewnić jak najlepszą jakość urządzeń:	
a	Maksymalna prostota	
b	Najniższa cena nie może determinować wyboru	
c	Maksymalna trwałość w danych warunkach środowiskowych	
d	Minimalna wrażliwość na warunki klimatyczne	
e	Dobry wynik osiągnięty w przeszłości (referencje)	
f	Dobór odpowiedniego urządzenia (czujnika), jednostki odczytującej, systemu przetwarzania i łączności	
g	Czy odczyty mogą być korygowane?	
h	Czy kalibracja może zostać zweryfikowana po instalacji?	
i	Omówić zastosowanie urządzeń (zalety –ograniczenia)z producentem/ami, przedstawicielem producenta/ów (sprzedawcami) lub specjalistą od monitoringu lub skorzystać z Monitoring-część 1	

2	Rozpoznać wszelkie ograniczenia w ilości dostępnego personelu i jego umiejętnościach	
3	Uwzględnić zarówno potrzeby konstrukcyjne, jak i długoterminowe potrzeby i warunki pracy	
4	Zagwarantować świadectwa zgodności	
5	Zapewnić minimalną ingerencje w konstrukcję i minimalne trudności z dostępem do nich	
6	Zaplanować rodzaj i sposób odczytu, zgodny z wymaganą częstotliwością odczytu	
7	Określić zapotrzebowanie na automatyczny system zbierania danych (tak/nie/ w jakim zakresie)	
8	Zaplanować zapotrzebowanie na części zapasowe urządzeń pomiarowych i rezerwowe urządzenia do odczytu	
9	Oszacować czas prowadzenia projektu	
10	Oszacować czas potrzebny na dostawę/instalację/reinstalację	
11	Oszacować czas interpretacji pozyskanych wyników	
12	Zadać pytanie czy wybranymi instrumentami osiągniemy zakładany cel ?	
...	...	
10. Wybór lokalizacji instrumentów pomiarowych		
1	Określić obszar, którego dotyczy podstawiony problem	
2	Wyznaczyć miejsca/strefy podstawowe (reprezentatywne)	
3	Wyznaczyć miejsca/strefy drugorzędne (wtórne)	
4	Określić ilość dodatkowych instrumentów uwzględniając, że przetrwa mniej niż 100%	
5	Wybór lokalizacja z uwzględnieniem danych uzyskiwanych z różnych etapów budowy	
6	Lokalizacja powinna zapewniać kontrole krzyżowe z różnych typów instrumentów	
...	...	
11. Potrzeba automatyzacji systemu gromadzenia danych		
1	Pomiar manualny (ręczny)	
2	Pomiar zdalny	
3	Pomiar w czasie rzeczywistym	
4	Ustalić potrzebę automatyzacji	
5	Częstotliwość pomiaru	
6	Rejestratory danych	
7	Kombinacja systemów	
...	...	
12. Rejestracja czynników mogących mieć wpływ na mierzone parametry		
1	Elementy budowy	
2	Postęp budowy (np. poziom nasypiania)	
3	Nieopisane wcześniej warunki panujące w podłożu – warunki gruntowo-wodne	
4	Czynniki środowiskowe	
5	Warunki atmosferyczne (np. temperatura powietrza, opad deszczu, ciśnienie)	
6	Obserwacje wizualne spodziewanego i nietypowego zachowania podłoża, budowli, otoczenia	
7	Inne nieoczekiwane zjawiska	
...	...	
13. Ustalić procedury zapewniające prawidłowość mierzonych wartości		
1	Obserwacje wizualne	
2	Powielenie instrumentów	
3	System zapasowy (rezerwowo)	
4	Spójność pomiędzy instrumentami	
5	Spójność pomiędzy mierzonymi parametrami	
6	Powtarzalność	
7	Regularne kontrole na miejscu	
8	Regularne kalibracje jednostek szczytujących	
...	...	
	Przykład: ocena np. spójności reakcji instrumentów przy kolejnej nadbudowie nasypu	

14. Lista wszystkich instrumentów wraz z opisem celu ich zastosowania		
1	W tym momencie planowania warto zastanowić się, czy wszystkie zaplanowane instrumenty/metody pomiarowe są potrzebne. Należy opisać cel każdego planowanego instrumentu.	
2	Jeśli nie można znaleźć konkretnego praktycznego celu dla planowanego instrumentu, należy go usunąć.	
15. Wstępny budżet		
Uwzględniając wszystkie koszty, szczególnie należy zwrócić uwagę na prawidłowe oszacowanie czasu trwania projektu oraz uwzględnić koszty związane z:		
1	Planowaniem programu monitorowania	
2	Wykonaniem szczegółowych projektów instrumentów	
3	Przygotowaniem specyfikacji do procedury przetargowej	
4	Zakupem instrumentów	
5	Wykonaniem fabrycznej kalibracji	
6	Zainstalowaniem przyrządów	
4	Zabezpieczenia przez atakami wandalizmu	
8	Kosztami pomiarów nie uwzględnionych w zakupach (np. geofizyka, geodezja, ...) czy realizowane przez podmioty zewnętrzne	
9	Konserwacją (utrzymanie) i kalibracją instrumentów w regularnych odstępach czasowych	
10	Ustalaniem i aktualizacją harmonogramów gromadzenia danych	
11	Gromadzeniem danych	
12	Przetwarzaniem i prezentowaniem danych	
13	Interpretacją i raportowaniem danych	
14	Wdrożenie wyników	
15	Utrzymanie systemu	
...	...	
16. Wstępny raport z projektowanego systemu monitorowania		
Powinien podsumować wyniki powyższych kroków. Zmusza tym samym projektanta do opracowania ostatecznego dokumentu, który obejmuje wszystkie powyższe kwestie. Taki dokument może być przeglądany, sprawdzany w celu potwierdzenia, że wszystko jest spójne, że plan jest dobry i pokrywa potrzeby projektu.		
17. Sporządzenie specyfikacji zamówienia zakupu urządzeń pomiarowych i potwierdzenie ich dostępności		
1	Przypisanie odpowiedzialności za zamówienia	
a	Wykonawca robót budowlanych	
b	Właściciel	
c	Projektant	
d	Specjalista od urządzeń pomiarowych	
e	Dostawcy narzędzi działający jako przydzieleni podwykonawcy	
...	...	
2	Wybór metody specyfikacji	
a	Opis funkcjonalny, z marką i numerem modelu	
b	Opis funkcjonalny, bez nazwy marki i numeru modelu	
c	Specyfikacja techniczna	
...	...	
3	Wybór podstawę do decydowania o cenie	
a	Negocjacja	
b	Oferta	
c	Gwarancja	
d	Szkolenie personelu	
...	...	
4	Sporządzić specyfikację	
5	Zaplanować kalibrację	
6	Zaplanować testy zgodności po pierwszym otrzymaniu instrumentów i określ odpowiedzialność	

18. Plan instalacji		
1	Przygotować krok po kroku procedurę instalacji z dużym wyprzedzeniem przed terminem planowanej instalacji, wraz z listą wymaganych materiałów i narzędzi	
2	Przygotować formularze z instalacji	
3	Skoordynować plany z dostawcą	
4	Zaplanować szkolenie personelu	
5	Zaplanować ochronę przed uszkodzeniem i atakami wandalizmem	
6	Zaplanować harmonogram instalacji	
...	...	
19. Plan regularnych kalibracji i konserwacji		
1	Zaplanować przedinstalacyjne testy odbiorcze	
2	Zaplanować kalibrację podczas okresu użytkowania	
a	Odczyty wskazań przyrządów	
b	Przyłącza	
c	Wbudowane elementy	
...	...	
3	Zaplanować konserwację (serwisowanie)	
a	Odczyty wskazań przyrządów	
b	Przyłącza	
c	Wbudowane elementy	
...	...	
20. Sposób gromadzenie danych, przetwarzania, prezentacji, interpretacji, raportowania i wdrażania		
1	Zaplanować formę gromadzenia danych	
a	przygotować wstępne szczegółowe procedury gromadzenia danych początkowych i kolejnych	
b	zaplanować arkusze pomiarów terenowych	
c	zaplanować szkolenie personelu	
d	zaplanować harmonogram zbierania danych	
e	planować dostęp do potrzebnych danych .	
...	...	
2	Zaplanować sposoby przetwarzanie i prezentację danych	
a	określić potrzebę automatycznego przetwarzania danych	
b	przygotować wstępne szczegółowe procedury przetwarzania i prezentacji danych	
c	przygotować arkusze kalkulacyjne	
d	zaplanować format wykresu danych	
e	zaplanować szkolenie personelu	
...	...	
3	Procedura interpretacja danych przygotować wstępne szczegółowe procedury interpretacji danych	
4	Zaplanować raportowanie wyników określić wymagania dotyczące sprawozdawczości, zawartości treści, częstotliwości raportowania	
5	Plan wdrożenia	
21. Wymagania dla obsługi terenowej/serwisowej		
1	Wybór sposobu realizacji umowy serwisowej	
2	Kalibracja systemu	
3	Napisanie szczegółowej specyfikacji	
22. Aktualizacja budżetu		
Planowanie zostało zakończone, a budżet na wszystkie zadania powinien zostać zaktualizowany, biorąc pod uwagę wszystkie etapy planowania.		

Załącznik 2 Przykładowa karta przypisania zadań poszczególnym uczestnikom

ZADANIE	ODPOWIEDZIALNOŚĆ			
	WŁAŚCICIEL/I INWESTOR	PROJEKTANT	SPECJALISTA OD URZĄDZEŃ POMIAROWYCH	WYKONAWCA ROBÓT
Zaplanować program monitoringu				
Pozyskanie i kalibracja instrumentów pomiarowych				
Instalacja instrumentów pomiarowych				
Zarządzenie i kalibracja instrumentów pomiarowych w regularnym harmonogramie				
Tworzenie i aktualizacja harmonogramu zbierania danych				
Zbieranie danych				
Przetwarzanie i prezentacja danych				
Interpretacja i raportowanie danych				
Podjęcie decyzji w sprawie wdrożenia wyników				

Załącznik 3 Przykładowa karta oceny środowiska pracy instrumentów pomiarowych

1	Duże odkształcenia – często odkształcenia ścinające prowadzące do zniszczenia	
2	Wysokie ciśnienia – zarówno gruntu jak i wody.	
3	Ryzyko korozji – chemiczna (np. chemizm wód gruntowych, zapraw, dodatki do betonu, bakterie) i elektrolityczna (np. elektroliza różnych materiałów)	
4	Ekstremalne warunki atmosferyczne (temperatura, wyładowania atmosferyczne,...)	
5	Wstrząsy (drgania) – w wyniku wybuchów, prac budowlanych, nieostrożność w trakcie transportu	
6	Wandalizm, zniszczenie konstrukcji	
7	Brud, kurz, błoto, deszcz, kwaśne deszcze	
8	Wysoka wilgotność, płynąca lub stojąca woda	
9	Nieregularne zasilanie elektryczne	
10	Brak/Ograniczona możliwość zdalnego przesyłu danych	
11	Brak bezpośredniego dostępu do przyrządów, gdy są zainstalowane w ośrodku skalnym, gruntowym, w betonie lub innych materiałach.	

Załącznik 4 Przykłady i terminologia

Załącznik 4.1 Przykłady geotechnicznych i geodezyjnych urządzeń/metod pomiarowych wykorzystywanych w monitoringu

Na podstawie PN-EN ISO 18674-1:2015 oraz Mazzanti 2017. Nie jest to oczywiście lista zamknięta.

Mierzony parametr	Przyrządy/metody geotechniczne	Przyrządy/metody geodezyjne teledetekcyjne
przemieszczenie punktu pomiarowego, uwzględniające również szczególne przypadki takie jak pionowa składowa przemieszczenia (osiadanie, wypieranie), oraz wyprowadzone parametry takie jak wychylenie (przechył), odkształcenie	wskaźniki rozwarcia rys (płytki), szczelinomierze, pochyłomierze, wahadła, inklinometry, deflektometry, pomiary TDR, repery wgłębne (pomiar punktowy) ekstensometry, konwergometry hydroniwelatory, hydroprofilometry, kable światłowodowe	niwelatory, pomiary tachimetryczne (dalmierze, manualne, automatyczne), pomiary GNSS (GPS), skaning laserowy (naziemny, lotniczy, UAV) interferometria radarowa (naziemna i satelitarna), fotogrametria (lotnicza, UAV) techniki cyfrowej korelacji obrazu (DIC)
profile przemieszczeń pionowych i poziomych gruntu, fundamentów, ścianek szczelinowych	systemy inklinometryczne poziome i pionowe (łańcuchowe, modułowe), wielopunktowe hydroniwelatory hydroprofilometry, kable światłowodowe	brak narzędzi pomiarowych
wahania zwierciadła wody	piezometry otwarte: studnie, otwory obserwacyjne, piezometry zamknięte: czujniki do pomiaru ciśnienia porowego wody	brak narzędzi pomiarowych
ciśnienie wody	czujniki do pomiaru ciśnienia porowego wody	brak narzędzi pomiarowych
drżania (prędkość, przyspieszenie)	akcelerometry, geofony, sejsmometry	pomiary GNSS (GPS) naziemna interferometria radarowa, wibrometr laserowy techniki cyfrowej korelacji obrazu (DIC)
ciśnienie naprężenie siła	czujniki do pomiaru naprężeń/parcia gruntu /skały czujniki do pomiaru naprężeń/parcia obudowy czujnik do pomiaru obciążeń kotwi czujnik do pomiaru obciążeń konstrukcji tensometry kable światłowodowe	brak narzędzi pomiarowych
temperatury	termometry, termistory kable światłowodowe	kamery termowizyjne
wilgotności gruntu	czujniki do pomiaru wilgotności kable TDR	satelity operujące w zakresie radarowym

Załącznik 4.2 Przykłady urządzeń pomiarowych wykorzystywanych w monitoringu meteorologicznym

Na podstawie: shmsystem.pl. Nie jest to oczywiście lista zamknięta.

Wielkość mierzona	Rodzaj czujnika
opady deszczu, śniegu	deszczomierz, śniegomierz
temperatura powietrza	czujnik temperatury
prędkość i kierunek wiatru	anemometr, czujnik kierunku wiatru
ciśnienie atmosferyczne	barometr
wilgotność	higrometr
pomiar nasłonecznienia	pyranometr

Załącznik 4.3 Przykłady geotechnicznych i geodezyjnych urządzeń/metod pomiarowych wykorzystywanych w monitoringu w zależności (na podstawie PN-EN ISO 18674-1:2015 oraz Mazzanti 2017)

Nie jest to oczywiście lista zamknięta.

Kluczowe parametry geotechniczne i przykłady instrumentów pomiarowych

Parametr	Jednostka	Szczegóły/przykład	Instrument pomiarowy (przykład)
Lokalizacja	m	długość i szerokość geograficzna, wysokość punktu pomiarowego (związane z globalnym układem współrzędnych = pomiar bezwzględny)	tachimetr niwelatory GNSS
Odległość	m	odległość pomiędzy dwoma punktami pomiarowymi	ekstensometr linkowy dalmierze tachimetry szczelinomierze
Nachylenie	stopień	nachylenie osi pomiaru (np. wzdłuż osi otworu)	inklinometry pochyłomierze wahadła
Orientacja	stopień	orientacja (kierunek) osi pomiaru (np. azymut odchylenia)	deflektometr umieszczony w otworze żyroskop
Siła	kN	rozkład sił elementów konstrukcyjnych (kotwy, filary, podpory, liny, ciągną..).	siłomierze, tensometry czujniki do pomiaru obciążeń kotew, ciągnięć, pali
Napężenie	kPa	w słabych gruntach, nasypach, betonem na powierzchni styku (np. konstrukcja fundamentu)	czujniki do pomiaru naprężeń/parcia obudowy
	MPa	w mocnych gruntach i skałach	czujniki do pomiaru naprężeń/parcia gruntu/skał
Ciśnienie	kPa	ciśnienie porowe	czujniki ciśnienia porowego
Temperatura	°C	parametr, który często oddziałuje geotechniczny system pomiarowych	czujniki do pomiaru temperatury kable światłowodowe kamery termowizyjne
Prędkość	m/s	prędkość	geofony
Przyspieszenie	m/s ²	drżania związane z: - trzęsieniami/tąpnięciami - wstrząsy	akcelerometry

Kluczowe parametry geotechniczne i przykłady instrumentów pomiarowych

Parametr kluczowy		Instrument pomiarowy (przykład)(zobacz także Aneks E)
Pomiar w punkcie	Zmiana lokalizacji: przemieszczenie punktu (ogólnie w 3-D; bezwzględne i/lub względne)	Metody geodezyjne i teledetekcyjne (patrz tabela 4)
	Pionowe składowe tylko dla: - osiadania - pęcznienie	dla składowej pionowej za pomocą: - niwelatory - hydroprofilometry, - hydroniwelatory - repery wgłębne
	Pozioma składowa tylko dla: - poziome przemieszczenie	Dla składowej poziomej za pomocą: wahadło (normalne lub odwrócone)
	Zmiana lokalizacji: przemieszczenie nieciągłości (tylko względnie) - prostopadła do nieciągłości (w sensie otwierania/zamykania) - wzdłuż nieciągłości (dwa niezależne kierunki)	Szczelinomierze: - 1-D szczelinomierze - 3-D szczelinomierz precyzyjne
	Zmiana wielkości siły	- czujniki do pomiaru obciążeń kotew, ciągien - tensometry - siłomierze
Zmiana naprężenia	dla gruntu, betonu i nasypu	- czujnik do pomiaru naprężeń (np. poduszki ciśnieniowe)
	dla skał	- czujnik naprężenia umieszczony w otworze - miernik/czujnik deformacji umieszczony w otworze
	Zmiana ciśnienia porowego	- czujniki do pomiaru ciśnienia porowego
Pomiar wzdłuż linii	Zmiana odległości (przedłużanie/skracanie) (pomiar wzdłuż linii):	- ekstensometry - tensometry - ekstensometry taśmowe (konwergometry)
	Zmiana nachylenia/przechylenia (w płaszczyźnie pionowej) (w poprzek linii):	- inklinometry - pochyłomierze
	Zmiana kierunku/orientacji (w płaszczyźnie poziomej)	- deflektrometr - kompas

Załącznik 5 Główne zalety i ograniczenia metod gromadzenia danych

Rodzaj pomiaru	Zalety	Ograniczenia
Pomiar ręczny	<p>Zwykle łatwe do wykonania</p> <p>Możliwość monitorowania niekorzystnych zjawisk w czasie rzeczywistym, gdy wykwalifikowany personel jest na miejscu dla wykonywania regularnych obserwacji</p>	<p>Bardzo często brak możliwości monitorowania niekorzystnych zjawisk w czasie rzeczywistym</p> <p>Pracochłonne gromadzenie i przetwarzanie danych</p> <p>Możliwość wystąpienia błędów na etapie przenoszeniu danych z arkuszy kalkulacyjnych do narzędzi zarządzania danymi / prezentacji</p> <p>Niepraktyczne gdy systemy pomiarowe zlokalizowane są w odległym miejscu lub w miejscu, które uniemożliwia łatwy dostęp</p> <p>Brak wykwalifikowanego personelu do obsługi urządzeń manualnych</p> <p>Zbyt wiele zainstalowanych urządzeń aby w odpowiednim czasie dokonać manualnego odczytu</p> <p>Pozyskane dane mogą być ocenione dopiero po ich zebraniu</p>
Rejestratory danych	<p>Możliwość monitorowania niekorzystnych zjawisk w czasie rzeczywistym</p> <p>Spójne gromadzenie danych i elektroniczna obsługa danych</p> <p>Sprzęt jest dość tani i prosty w konfiguracji</p>	<p>Wymaga specjalistycznej wiedzy w zakresie konfigurowania rejestratorów danych</p> <p>Brak możliwości oceny danych w czasie rzeczywistym</p> <p>Pozyskane dane nie mogą być oceniona, dopóki nie zostaną pozyskana z terenu</p> <p>Wyładowania atmosferyczne – uszkodzenia urządzeń pomiarowych i rejestratorów</p> <p>Należy uwzględnić źródła zasilania</p> <p>Wandalizm</p>
Monitoring w czasie rzeczywistym	<p>Możliwość monitorowania niekorzystnych zjawisk w czasie rzeczywistym</p> <p>Spójne gromadzenie danych i elektroniczna obsługa danych</p> <p>Wyświetlanie i powiadamianie o zagrożeniach w czasie rzeczywistym (24/7) (z możliwością wyboru różnych użytkowników)</p> <p>Zmniejszenie nakład pracy w terenie w związku z gromadzeniem i przetwarzaniem danych automatycznie</p> <p>Możliwość zdalnej zmiany częstotliwości monitorowania i konfiguracji zbierania danych w razie potrzeby</p> <p>Możliwość szybszego oszacowanie wyników monitoringu</p> <p>Zaoszczędzenie czasu pracy i skrócenie czasu oceny danych</p> <p>Ocena danych w czasie rzeczywistym może być generowana automatycznie, z możliwością powiadomieniami o danych anomalnych.</p>	<p>Automatyzacja może sprzyjać samozadowoleniu, jeżeli program monitorowania nie jest dobrze zdefiniowany lub zrozumiany</p> <p>Wymaga wyższego poziomu doświadczenia na etapie instalacji i eksploatacji</p> <p>Wyższe koszty instalacji i okresowej konserwacji</p> <p>Znaczenie kontroli wizualnych może zostać pominięte, co wynika z rzeczywistej prezentacji wskazań przyrządów automatycznych</p> <p>Wyładowania atmosferyczne – uszkodzenia rejestratorów</p> <p>Potrzeba źródła zasilania</p> <p>Wandalizm</p>

Załącznik 6 Spis wykorzystanych materiałów

Uwaga: aktualność podanych aktów prawnych należy każdorazowo sprawdzić.

Zaleca się korzystać ze strony Internetowy System Aktów Prawnych <http://isap.sejm.gov.pl>

Uwaga: aktualność podanych norm należy każdorazowo sprawdzić.

Zaleca się korzystać ze strony Polskiego Komitetu Normalizacyjnego <http://www.pkn.pl>

Załącznik 6.1 Przepisy prawne

USTAWA z dnia 9 czerwca 2011 r. - Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. 2011 nr 63 poz.981 z późn.zm.)

USTAWA z dnia 10 kwietnia 2003 r. o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie dróg publicznych (Dz.U. 2003 nr 80 poz. 721 z późn. zm.)

USTAWA z dnia 10 kwietnia 2003 r. o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie dróg publicznych (Dz.U. 2003 Nr 80 poz. 721 z późn. zm.)

ROZPORZĄDZENIE Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 21 lutego 1995 r. w sprawie rodzaju i zakresu opracowań geodezyjno-kartograficznych oraz czynności geodezyjnych obowiązujących w budownictwie (Dz. U. 1995r. Nr 25, poz. 133)

ROZPORZĄDZENIE Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie(Dz. U. z 2000 Nr 63, poz. 735)

ROZPORZĄDZENIE Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz. U. 2010 Nr 213 poz.1397 z późn. zm.)

ROZPORZĄDZENIE Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych (Dz. U. 2012 poz. 463.)

ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2016r. poz. 2033)

Załącznik 6.2 Normy

PN-EN 1997-1 Eurokod 7 Projektowanie geotechniczne - Część 1: Zasady ogólne z późniejszymi zmianami

PN-EN ISO 22475-1:2006. Rozpoznanie i badania geotechniczne - Pobieranie próbek metodą wiercenia i odkrywek oraz pomiary wód gruntowych - Część 1: Techniczne zasady wykonania.

PN-EN ISO 18674-1:2015-07E - Rozpoznanie i badania geotechniczne - Monitorowanie geotechniczne za pomocą urządzeń terenowych - Część 1: Zasady ogólne

PN-EN ISO 14688-1, Rozpoznanie i badania geotechniczne - Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów - Część 1: Oznaczanie i opis

PN-B-02480:1986 Grunty budowlane - Określenia, symbole, podział i opis gruntów

PN-EN ISO 14689-1 Rozpoznanie i badania geotechniczne - Oznaczanie, opis i klasyfikowanie skał

Załącznik 6.3 Wytyczne, instrukcje, przewodniki

ENGINEERING AND DESIGN. 1997 - Tunnels and Shafts in Rock. Department of the Army. U.S. Army Corps of Engineers. Washington, DC 20314-1000

GRABOWSKI D., MARCINIEC P., MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., Zimnal Z. 2008 Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, PIG, Warszawa

HANDBOOK 2014 Geotechnical monitoring in Conventional Tunneling - Overall Management Schubert W. Austrian Society for Geomechanics. http://www.ytmk.org.tr/files/files/OeGG_Monitoring_Handbook.pdf

INSTRUKCJA badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych. Część 1 i 2. 1998, GDDP, Warszawa.

INSTRUKCJE przeprowadzania przeglądów drogowych obiektów inżynierskich. Załącznik do Zarządzenia nr 14 GDDKiA z dn. 7 lipca 2005 r., Warszawa.

KATALOG typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych 2014, załącznik nr 31 z 2014 roku GDDKiA

MINISTERSTWO ŚRODOWISKA ZASOBÓW NATURALNYCH I LEŚNYCH 1998, Roboty ziemne. Warunki techniczne wykonania i odbioru. Warszawa

RAPORT FHWA-HI-98-034 - Geotechnical Instrumentation. Reference Manual, National Highway Institute 1998.

RAPORT FHWA/TX-09/0-5530-1 Vipulanandan, C., Bilgin, Ö., Y Jeannot Ahossin Guezo, Vembu, K. and Erten, M. B., 2009 Prediction of embankment settlement over soft soils Technical report,

TAYLOR C. J., ALLEY W. M., Ground-Water-Level Monitoring and the Importance of Long-Term Water-Level Data U.S. Geological Survey Circular 1217, Denver Colorado 2001

Załącznik 6.4 Literatura

ALMEIDA M. de S. S., MARQUES M. E. S. 2013 Design and Performance of Embankments on very soft soil, Taylor and Francis

BAILY E., MCCABE B.A., GOGGINS J., KIERAN, P., 2014. Real time monitoring and performance of retaining structures. Proceedings of Civil Engineering Research in Ireland (CERI 2014), Belfast, pp. 229-234.

BEDNARSKI Ł., SIENKO R., HOWIACKI T. Analysis of rheological phenomena in reinforced concrete cross-section of Rędziński bridge pylon based on in situ measurements. Procedia Engineering, 108 (2015), 536-543

BŁASZCZYŃSKI T., OLEKSIEJUK H., FIRLEJ E., BŁASZCZYŃSKI M., 2011. Wielostopniowy monitoring i zabezpieczenie budynków pod ochroną konserwatorską przed awarią lub katastrofą. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane, Międzyzdroje.

CHEN Z., ZHOU X., WANG X., DONG L., QIAN Y., 2017. Deployment of a Smart Structural Health Monitoring System for Long-Span Arch Bridges: A Review and a Case Study. Sensors, Vol. 17, pp. 2151-2171.

CLOUGH G., O'ROURKE T.: Construction induced movements of in situ walls, Proc. of Conf: Design and Performance of Earth Retaining Structures, New York 1990. CRUDEN D. M., VARNES D. J., 1993, Landslide Types and Processes, Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247:36-75;

DASCOTTE E., STROBBE J., TYGESEN U.T., 2013. Continuous Stress Monitoring of Large

- Structures. Proceedings of the 5th International Operational Modal Analysis Conference, Guimarães.
- DUNNICLIFF J. 1993 - Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. Wiley, New York.
- ELIAS V., CHRISTOPHER B.R., BERG R.R., 2001. Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines. Report No. FHWA-NHI-00-043, U.S. Department of Transportation, Washington.
- FERNIE R., SUCKING T. 1996 Simplified approach for estimating lateral Wall movement of embedded walls in UK ground. Proc. Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. Balkema, Rotterdam
- HALLERMANN N., MORGENTHAL G., 2014. Visual inspection strategies for large bridges using Unmanned Aerial Vehicles (UAV). Proceedings of 7th IABMAS, International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, Shanghai, pp. 661-667.
- Main Roads Western Australia, 2017. Settlement Monitoring. Standard No. 67-08-108.
- HARTLEN J., WOLSKI W. 1996: Embankments on organic soils. Elsevier, Amsterdam.
- HORODECKI H. A. Bolt A.F., Dembicki E. 2003 Przemieszczenia scian szczelinowych stanowiących obudowy wykopów głębokich XLIX Konferencja Naukowa Krynica 2003. t.V s. 33-40
- HORODECKI G.A. 2006 Oddziaływanie środowiskowe wykopów głębokich w terenach zurbanizowanych, Inżynieria Morska i Geotechnika, 3/2006 .s. 168-181
- HSIEH P.G., OU C.Y. 1998: Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation, Canadian Geotechnical Journal, 35/1998.
- JANUSZ J., JANUSZ W. 1998 Problemy geodezyjnej kontroli bezpieczeństwa budynków znajdujących się w strefie wpływu głębokich wykopów Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, tom XLV, zeszyt 96
- JAROMINIAK A., 2000. Lekkie konstrukcjeoporowe. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- JEMIOŁKOWSKI P. 2016 Wzmacnianie nasypów drogowych wraz z ich odwadnianiem. Zasady projektowania i wykonawstwa Kielce, Świętokrzyska Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa
- KLECZKOWSKI A. 1955 Osuwiska i zjawiska pokrewne Wydawnictwo Geologiczne
- KOERNER R.M., KOERNER G.R., 2011. Recommended Layout of Instrumentation to Monitor Potential Movement of MSE Walls, Berms and Slopes, GRI White Paper #19, Geosynthetic Institute, Folsom.
- KOTLICKI W., WYSOKIŃSKI L., 2002. Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów. Instrukcja ITB nr 376/2002, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
- KWIATEK J. 2002 - Obiekty budowlane na terenach górniczych. Wydawnictwo GIG. Wydanie I, Katowice
- LECHOWICZ Z. SZYMAŃSKI A., 2002: Odkształcenia i stateczność nasypów na gruntach organicznych. Część pierwsza: Metodyka badań, Część druga: Metodyka obliczeń. Wydawnictwo SGGW.
- LECHOWICZ Z., WRZESINSKI G. 2013 Posadowienie budowli ziemnych na podłożu słabonośnym. Konferencja: Międzynarodowe Seminarium: Budowle ziemne jako obiekty na terenach zalewowych, Poznań, Volume: 33-54
- LI Y., ZHANG H., SONG X., LU L., 2018. Field Test of Multi-anchored-Plating Cantilever Retaining Wall with Pre-stressed Force. Proceedings of GeoShanghai 2018 International Conference Multi-

- physics Processes in Soil Mechanics and Advances in Geotechnical Testing, pp. 501–508.
- LIENHART W., 2017. Geotechnical monitoring using total stations and laser scanners: critical aspects and solutions. *Journal of Civil and Structural Health Monitoring*, Vol. 7, pp. 315-324.
- MAZZANTI, P. 2017a Toward Transportation Asset Management: what is the role of geotechnical monitoring? Article in *Journal of Civil Structural Health Monitoring* 7(1), DOI: 10.1007/s13349-017-0249-0
- MAZZANTI P. 2017b, Overview of Monitoring – Part 2, IV International Course on Geotechnical and Structural Monitoring, 13-15 czerwiec, Rzym, Włochy (materiały szkoleniowe).
- MICHALAK H. 2008 Budynki głęboko posadowione a przemieszczenia podłoża i zabudowy w sąsiedztwie Geoinżynieria, drogi mosty tunele 04/2008 (19)
- OU C. –Y. 2006 Deep Excavation: Theory and Practice ,Taylor and Francis Group
- OU C.-Y., TENG F.-C. HSIEH P.-G. CHIEN S.-C. 2013 Mechanism of Settlement Influence Zone due to Deep Excavation in Soft Clay Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris 2013 s. 2063-2066
- RAN L., YE X. W., ZHU H. H. 2011 Long-term monitoring and safety evaluation of a metro station during deep excavation The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. *Procedia Engineering* 14 (2011) 785–792
- PECK R.B. 1969 Deep excavation and tunneling in soft ground, State of the Art Report, Proc. 7th ICSMFE, Mexico.
- PECK R.B. 1973 Influence of Nontechnical Factors on the Quality of Embankment Dams. *Embankment-Dam Engineering*. Casagrande Volume, Wiley, New York (1973), pp. 201-208
- PISARCZYK S., 2012. Fundamentowanie dla inżynierów budownictwa wodnego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- POPIELSKI P. 2012 Oddziaływanie głębokich posadowień na otoczenie w sadowisku zurbanizowanym. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Inżynieria środowiska*, z. 61
- PULLER M. 2003 Deep excavations. A practical manual, Thomas Telford, London.
- RUNKIEWICZ L. 2015 Problemy techniczne budowy obiektów na terenie istniejącej gęstej zabudowy *Przegląd Budowlany* 9/15 s. 18-23
- RUNKIEWICZ L., SIECZKOWSKI J., 2015. Problemy techniczne budowy obiektów na terenie istniejącej gęstej zabudowy. *Przegląd Budowlany*, nr 9, str. 18-23.
- RYCHLEWSKI P., 2006. Głębokie wykopy w zabudowie miejskiej. *Geoinżynieria, drogi, mosty, tunele*, nr 3 (10), str. 44-52.
- SCHUBERT W., 2015 – State of the art in tunnel monitoring. Austrian Tunnelling Seminar Ankara, March 31st & April 1st, 2015. http://www.ytmk.org.tr/files/files/09_TUG_Monitoring.pdf
- SIEMIŃSKA-LEWANDOWSKA A.: Głębokie wykopy projektowanie i wykonawstwo, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2010.
- SIEMIŃSKA-LEWANDOWSKA A. 2010 Budowa obiektu a obudowa wykopu – niełatwe zależności *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, marzec-kwiecień 2010 s. 64-71
- SIEŃKO R., BEDNARSKI Ł 2016 Monitorowanie obiektów budowlanych w sąsiedztwie budowy *Geoinżynieria, drogi mosty tunele* 4 / 2016 / 57
- SIEŃKO R. 2013 Systemy monitorowania mostów – przykładowe realizacje, *Mosty*, 5/2013

SIEŃKO R., BEDNARSKI Ł., HOWIACKI T., 2017 Proste systemy monitorowania jako narzędzie bieżącego utrzymania obiektów mostowych. Mosty w Infrastrukturze Drogowej i Kolejowej, Praca zbiorowa pod redakcją dr hab. inż. Marka Salamaka, prof. PŚI, 2017

SIEŃKO R., BEDNARSKI Ł., HOWIACKI T., 2018 Pomiary deformacji mostu podwieszonoego z wykorzystaniem światłowodowych czujników geometrycznie ciągłych DFOS. Mosty Hybrydowe, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2018, ISBN 978-83-7125-279-2

SIWOWSKI T., SIEŃKO R., BEDNARSKI Ł., RAJCHEL M., HOWIACKI T., 2017 Światłowodowe pomiary odkształceń elementów mostów kompozytowych na przykładzie wybranych badań. Mosty, Przemiany w Projektowaniu i Technologiach Budowy, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2017, ISBN 978-83-7125-275-4

SOKOŁOWSKA M., MAJER E., SKRZECZKOWSKA M. 2015 Rola obserwacji i pomiarów hydrogeologicznych w ocenie warunków geologiczno-inżynierskich podłoża w świetle wymagań Eurokodu 7, Przegląd Geologiczny, vol. 63, nr 10/2, , s. 1053-1058

STULGIS R.P., 2005. Full-Scale MSE Test Walls. NAGS 2005 / GRI 19 Cooperative Conference Proceedings. Las Vegas.

SUNG Y.-C., LIN T.-K., CHIU Y.-T., CHANG K.-C., CHEN K.-L., CHANG C.-C., 2016. A bridge safety monitoring system for prestressed composite box-girder bridges with corrugated steel webs based on in-situ loading experiments and a long-term monitoring database. Engineering Structures, Vol. 126, pp. 571-585.

SYMONS I.F., CARDER D.R. 1992 Stress change in stiff clay caused by the installation of embedded retaining walls, Proc. Retaining Structure, London.

SZWARKOWSKI D. 2017 Wpływ wykonania głębokiego wykopu pod budynek wysoki Mogilska Tower w Krakowie na istniejącą zabudowę w ujęciu modelu przestrzennego opartego na metodzie elementów skończonych (MWS) 2017Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, z.64 (4/17)

TAJDUŚ A., CAŁA M., TAJDUŚ K., 2012 – Geomechanika w budownictwie podziemnym. Projektowanie i budowa tuneli. Wydawnictwa AGH, Kraków.

TERZAGHI K., PECK R. B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 729.

TOPOLNICKI M., BUCA R., DYMEK D. 2015 Bezpieczeństwo dużych i głębokich wykopów budowlanych Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne Wrzesień – Październik 2015 s. 42-47

VEZOČNIK R., AMBROŽIČ T., STERLE O., BILBAN G., PFEIFER N., STOPAR B., 2009. Use of Terrestrial Laser Scanning Technology for Long Term High Precision Deformation Monitoring. Sensors, Vol. 9, pp. 9873-9895.

VIPULANANDAN C., BILGIN Ö., Y Jeannot Ahossin Guezo, VEMBU K. and ERTEN M. B., 2009 Prediction of embankment settlement over soft soils Technical raport FHWA/TX-09/0-5530-1,

WONG K.-Y., 2007. Design of a structural health monitoring system for long-span bridges. Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 169-185.

XIA Y., CHEN B., ZHOU X., XU Y., 2013. Field monitoring and numerical analysis of Tsing Ma Suspension Bridge temperature behavior. Structural Control and Health Monitoring, Vol. 20, No. 4, pp. 560-575.

ZABUSKI L. THIEL K., BOBER L. 1999 Osuwiska we fliszu Karpat polski Wydawnictwo IBW PAN, Gdańsk

ZHOU J., LI X., XIA R., YANG J.,ZHANG H., 2017. Health Monitoring and Evaluation of Long-

SpanBridges Based on Sensing and Data Analysis:A Survey. Sensors, Vol. 17, pp. 603-618.

Załącznik 6.5 Strony internetowe

<http://catsareus.org/retaining-wall-footings/>

<http://getec-uk.com/where-weve-done-it/nwr-retaining-wall-monitoring-london-uk>

<http://inorblock.com/monitoring.html>

<http://www.ashireporter.org/HomeInspection/Articles/Retaining-Walls/215>

NOWOCZESNE METODY ROZPOZNANIA PODŁOŻA GRUNTOWEGO W DROGOWNICTWIE

Konsorcjum:



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy



Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie



Politechnika Warszawska

Projekt „Nowoczesne metody rozpoznania podłoża gruntowego w drogownictwie” finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Skarb Państwa - Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia RID.

