

## **Technologia drenów pionowych z nasypem przeciążającym – wybrane aspekty projektowe oraz wykonawcze**

**Mgr inż. Anita Meger, dr inż. Piotr Kanty  
Menard Polska Sp. z o.o.**

Technologia drenów prefabrykowanych wraz z nasypem przeciążającym polega na zainstalowaniu pionowych prefabrykowanych drenów w podłożu oraz przeciążeniu, co w efekcie skutkuje przyspieszeniem konsolidacji gruntów słaboprzepuszczalnych lub nieprzepuszczalnych. Dreny pionowe to płaskie, plastikowe, elastyczne przewody, które po zainstalowaniu

w odpowiednim rozstawie, znacząco skracają czas konsolidacji. W celu zwiększenia efektywności procesu konsolidacji wraz z drenażem pionowym stosuje się tymczasowy nasyp przeciążający. Zastosowanie nasypu przeciążającego przyspiesza osiadania na skutek konsolidacji gruntów. Dodatkowo pozwala zminimalizować osiadania wtórne, wynikające z pełzania grun-

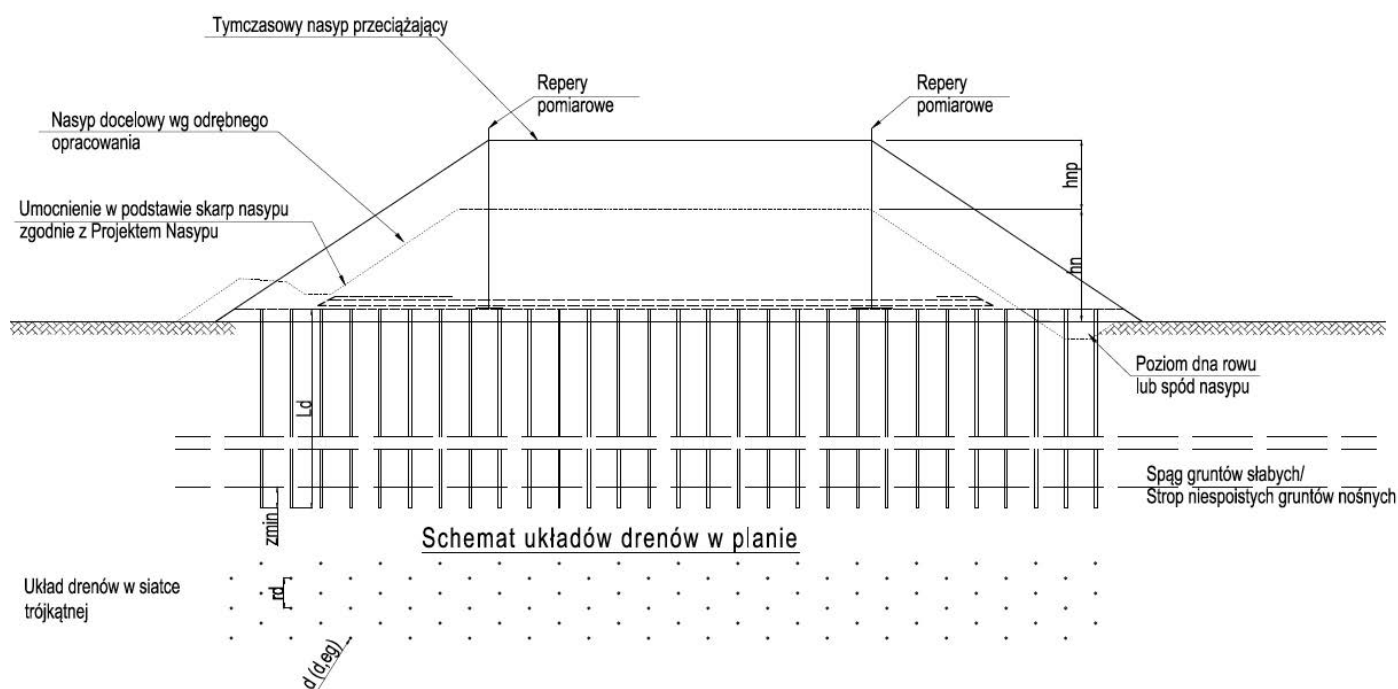


Rys. 1. Zdjęcia z realizacji „Zadania 2: Koszwały – Kazimierzowo Drogi ekspresowej S7”

tu. Technologia drenów pionowych wraz z nasypem przeciążającym wymaga czasu, dlatego najczęściej jest wykorzystywana przy realizacji obiektów liniowych, to jest przy nasypach drogowych czy kolejowych. Technologia ta to jedna z niewielu technologii wzmacniania gruntów stosowana w warstwach nienośnych o znacznej miąższości, nawet do głębokości 50 m. Poniżej przedstawiono zdjęcia z wykonywania drenów prefabrykowanych podczas realizacji „Zadania 2: Koszwały – Kazimierzowo Drogi ekspresowej S7” (rys. 1). Konsolidacja to proces zmniejszenia objętości gruntu pod własnym lub zewnętrznym, stałym

obciążeniem. Mechanizm konsolidacji oparty jest na zmniejszaniu się przestrzeni porowej (a więc też objętości gruntu) połączonej z wyciśnięciem wody. Konsolidacji ulegają różne grunty mineralne (szczególnie istotna jest ona w przypadku gruntów spoistych) oraz organiczne (np. torf, gytia, namuły).

W celu przyspieszenia konsolidacji gruntów stosuje się drenaż pionowy wraz z nasypem przeciążającym. Dreny aplikuje się w gruncie w siatce trójkąta równobocznego lub kwadratu w rozstawie uzależnionym od warunków geologicznych, przeważnie od 1,0 do 1,2 m. Dreny prefabrykowane wprowadza się



Rys. 2. Przykładowy schemat z zastosowaniem technologii drenów prefabrykowanych na budowie S7

pionowo za pomocą maszety o odpowiedniej długości, umocowanej na maszcie maszyny, na głębokość minimum  $30 \div 50$  cm w piaski lub gliny podścielające konsolidowane, słabe grunty organiczne. Projektowany nasyp przeciążający najczęściej ma wysokość od 2,0 do 5,0 m powyżej docelowej niwelety drogi. Wymagana wysokość nasypu przeciążającego określana jest na podstawie przeprowadzonych obliczeń konsolidacyjnych. Poniżej przedstawiono przykładowy schemat wzmocnienia podłoża z zastosowaniem technologii drenów pionowych (rys. 2).

Istotnym i nieodłącznym elementem tej technologii jest monitoring geotechniczny. Celem tego monitoringu jest pomiar osiadań podstawy nasypu zarówno w celu kontroli tempa jego budowy, jak i czasu konsolidacji. W naszym kraju zwyczajowo stosuje się repery talerzowe, jedynie w niektórych sytuacjach instaluje się profilometry hydrauliczne bądź inklinometry poziome.

Przy odpowiedniej organizacji placu budowy technologię VD można uznać za najbardziej ekonomiczną metodę wzmocnienia podłoża gruntowego. Jedynym (najczęściej mentalnym) problemem może być czas, który jest konieczny do odpowiedniej aplikacji technologii.

### WYMAGANIA DLA PLATFORM ROBOCZYCH

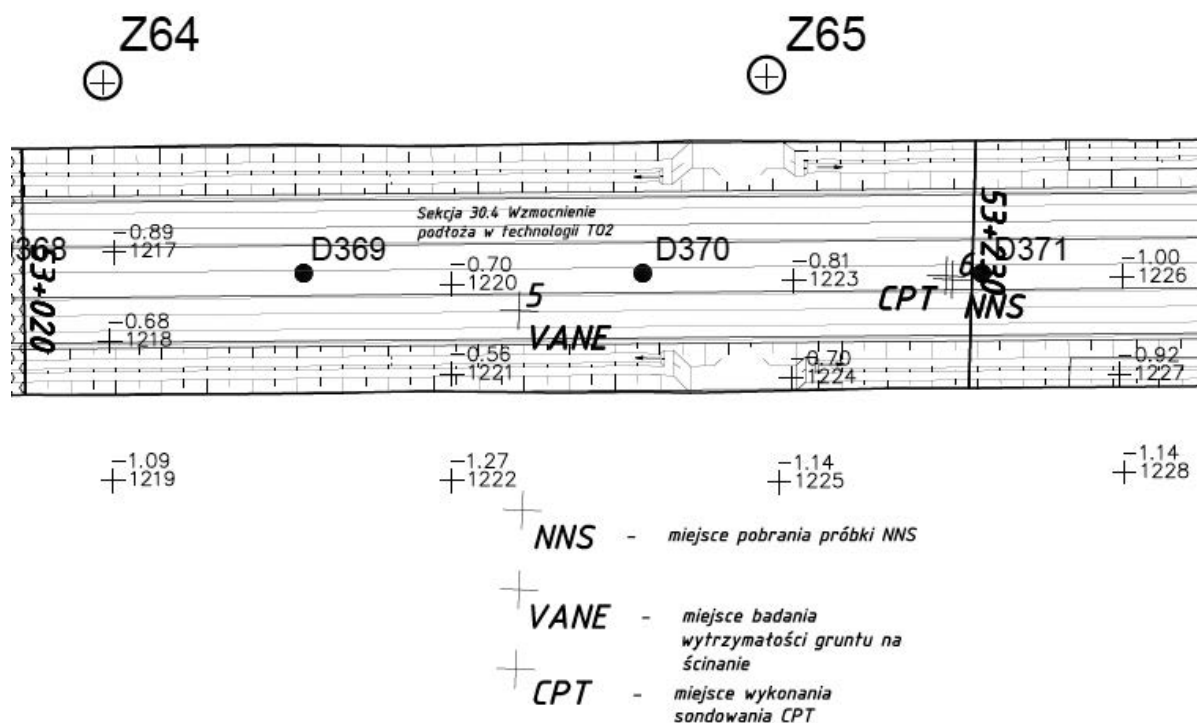
Przed przystąpieniem do prac związanych z aplikacją drenów prefabrykowanych konieczne jest przygotowanie stabilnej platformy roboczej. W zależności od warunków geologicznych, jej miąższość powinna wynosić minimum 0,5 m i znajdować się minimum 0,5 m powyżej zwierciadła wody gruntowej. Zapisy dotyczące parametrów platformy roboczej uwzględnia się w Projekcie Technologicznym oraz w Specyfikacji Technicznej. W dokumentach tych określa się warunki odbiorowe dla współ-

czynnika filtracji  $k$ , uziarnienia materiału, wskaźnika różnoziarnistości  $U$  oraz wtórnego modułu odkształcenia  $E_{v2}$ . Pomiar modułu odkształcenia wykonuje się statyczną płytą VSS. Częstotliwość badań płytą VSS oraz badań przydatności materiału na platformę określa się w Specyfikacji Technicznej. Często pod platformą układa się geosyntetyk pełniący funkcję separacyjną.

### BADANIA GEOLOGICZNE DLA TECHNOLOGII DRENÓW PIONOWYCH WRAZ Z NASYPEM PRZECIĄŻAJĄCYM

#### Badania geologiczne na etapie sporządzania koncepcji wzmocnienia podłoża

Przygotowanie koncepcji wzmocnienia podłoża wymaga znajomości warunków geologicznych oraz projektu konstrukcji. W oparciu o najbardziej aktualną dokumentację Projektant dobiera optymalną technologię wzmocnienia. Zdarza się, że w przypadku wątpliwości, Projektant zleca część badań uzupełniających już na etapie koncepcji. W fazie sporządzania koncepcji wzmocnienia, Projektant zwykle nie dysponuje parametrami konsolidacyjnymi, które odgrywają kluczową rolę podczas obliczania czasu konsolidacji oraz wysokości nasypu przeciążającego. Projektant szacuje czas i wysokość przeciążenia na podstawie doświadczeń ze zrealizowanych projektów w danym regionie, przy których zlecał wykonanie badań parametrów konsolidacyjnych. Obliczony w taki sposób czas oraz wysokość przeciążenia mogą odbiegać od rzeczywiście wymaganych, gdyż grunty słabonośne mogą się różnić od siebie parametrami, nawet jeśli występują w sąsiedztwie. Wszystkie badania powinny być wykonane zgodnie z Eurokodem 7 część 2 [7].



Rys. 3. Przykładowy plan badań uzupełniających na budowie S7

## Badania geologiczne na etapie prac projektowych

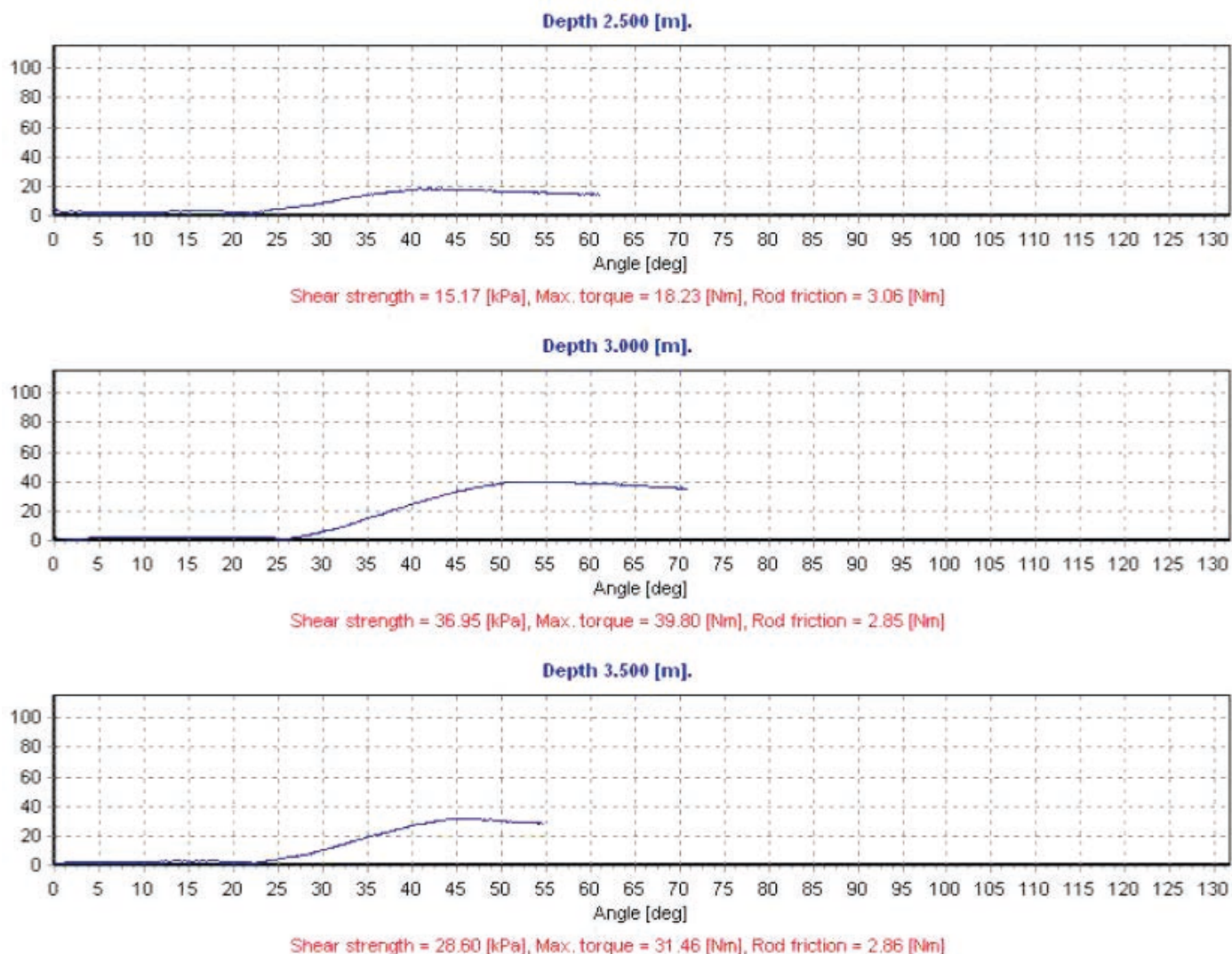
Przygotowanie projektu wzmocnienia podłoża zwykle wymaga wykonania uzupełniających badań geologicznych. Rodzaj i zakres badań dodatkowych uzależniony jest od zmienności warunków gruntowych. Na podstawie dokumentacji podstawowej Projektant wzmocnienia sporządza plan badań uzupełniających (rys. 3). W przypadku technologii drenów prefabrykowanych badania uzupełniające obejmują między innymi: badania wytrzymałości gruntu na ścinanie, sondowania statyczne CPT, otwory wiertnicze oraz badania edometryczne (na próbkach NNS).

**Badania wytrzymałości gruntu na ścinanie** – badania *in-situ* sondą krzyżakową, wykonywane w gruntach słabonośnych, co 0,5 do 1,0 m. Badania przeprowadza się sondą ręczną lub elektryczną o stałej prędkości ścinania. Ze względu na stateczność nasypu przeciążającego zwykle konieczne jest jego fazowanie. Na podstawie wyników z pierwszego pomiaru wytrzymałości gruntu na ścinanie (pomiar zerowy) Projektant określa dopuszczalną wysokość pierwszej fazy przeciążenia. Na rys. 4 zamieszczono wyciąg z badań wytrzymałości gruntu na ścina-

nie sondą elektryczną VANE [4]. Należy również sprawdzić stateczność nasypu przeciążającego w poszczególnych etapach jego wznoszenia.

W przypadku problemów z zachowaniem globalnej stateczności nasypów przeciążających wykonuje się materac geosynteetyczny, który pełni funkcję zbrojenia podstawy nasypu. Należy również sprawdzić, czy ze względu na stateczność lokalną konieczne jest zastosowanie zbrojenia skarp nasypu.

**Sondowania statyczne CPT oraz otwory wiertnicze** – w przypadku technologii drenów prefabrykowanych wraz z nasypem przeciążającym sondowania statyczne CPT oraz odwierty wiertnicze pozwalają okonturować zakres wzmocnienia podłoża oraz zweryfikować głębokości gruntów słabonośnych. Dodatkowo otwory wiertnicze uszczegóławiają rodzaj gruntu słabonośnego (gytia, torf, namuł). Wymienione grunty są zróżnicowane pod względem parametrów konsolidacyjnych, dlatego opis „grunty organiczne” w badaniach jest zbyt ogólny do poprawnego zbudowania modelu obliczeniowego. Niewłaściwe przyjęcie rodzaju gruntu i jego miąższości może doprowadzić do złego oszacowania wysokości nasypu przeciążającego oraz czasu konsolidacji.



Rys. 4. Wyniki badań wytrzymałości gruntu na ścinanie [4]

**Badania edometryczne** – parametry otrzymane z tych badań pozwalają określić wymagany czas konsolidacji przy odpowiadającej wysokości nasypu przeciążającego. Badania przeprowadza się w edometrze na próbce o nienaruszonej strukturze (NNS). Obciążenie przykłada się w krokach do 400 kPa, przy czym każdy krok trwa 24 godziny, z wyjątkiem ostatniego. Ostatni krok przedłużony jest do 7 dni, aby wyznaczyć współczynnik ścisłości wtórnej  $C_\alpha$ . Dla każdego przyrostu obciążenia wyznacza się moduł edometryczny  $E_{oed}$ , współczynnik konsolidacji pionowej  $C_v$ , wskaźnik ścisłości  $C_c$  oraz wskaźnik odprężenia  $C_s$ . W celu wyznaczenia tych parametrów wykorzystuje się zależności:

$$C_c = -\frac{\delta e}{\delta \log \sigma v'}$$

$$C_s = -\frac{\delta e}{\delta \log \sigma v'}$$

$$C_\alpha = \frac{\delta H}{H_i} \times \frac{1}{\delta \log t'}$$

gdzie:

- $\delta e$  – zmiana wskaźnika porowatości wzdłuż wybranej liniowej krzywej ścisłości,
- $\delta \log \sigma$  – zmiana logarytmu naprężenia wzdłuż wybranej liniowej krzywej ścisłości,
- $\delta H$  – zmiana wysokości próbki wzdłuż wybranej liniowej krzywej ścisłości względem czasu,
- $\delta \log t$  – zmiana logarytmu czasu wzdłuż liniowej krzywej ścisłości względem czasu.

Równocześnie ze standardowym badaniem w edometrze przeprowadzane jest badanie z próbką gruntu obróconą o 90°. Celem tego badania jest wyznaczenie współczynnika konsolidacji radialnej (poziomej)  $C_r$ . Próbkę obciąża się zgodnie z programem, jak dla próbki badanej w kierunku pionowym. W obu badaniach oznacza się właściwości fizyczne gruntu w miejscu pobrania próbki do badań – gęstość właściwą szkieletu gruntowego, wilgotność naturalną oraz gęstość objętościową.

Na rys. 5 przedstawiono przykładowe wyniki z badań edometrycznych z „Budowy drogi ekspresowej S7. Zadanie 2: Koszwały – Kazimierzowo” [5].

Na podstawie otrzymanych wyników z sondowań CPT, otworów wiertniczych oraz badań edometrycznych Projektant

wzmocnienia podłoża przeprowadza obliczenia konsolidacyjne. Celem analizy jest określenie wymaganego czasu konsolidacji przy odpowiadającej wysokości nasypu przeciążającego tak, aby spełniony został warunek dopuszczalnych osiadań rezydualnych w trakcie eksploatacji. Dodatkowo obliczone będą osiadania całkowite, które wystąpią podczas przeciążenia.

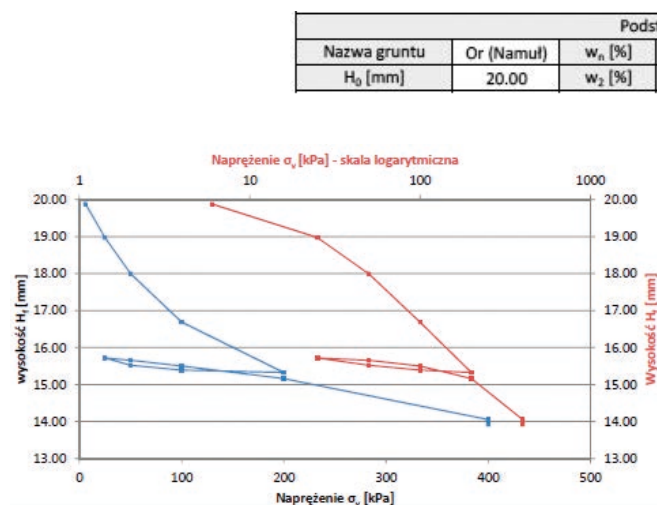
## Badania geologiczne na etapie wykonawstwa

### Próbne pograżanie drenów – weryfikacyjne sondowania CPT oraz otwory wiertnicze

Przed przystąpieniem do robót zasadniczych, związanych z wykonywaniem drenów prefabrykowanych, dobrze jest przeprowadzić ich próbne pograżanie. Podczas próbnego wciskania dreny wykonuje się co około 10 do 20 m po obu stronach drogi oraz w osi, aby sprawdzić, czy długości rzeczywiste drenów odpowiadają długościom zaprojektowanym. W przypadku, gdy różnica długości jest większa niż 10 ÷ 15% Projektant wzmocnienia podłoża zleca wykonanie weryfikacyjnych otworów wiertniczych lub sondowań CPT. Na podstawie dodatkowych badań Projektant przeprowadza ponowną analizę projektową.

### Analiza wyników wytrzymałości na ścinanie po kolejnych fazach przeciążenia

Kolejnym etapem robót po zaaplikowaniu drenów w gruncie oraz ewentualnym wykonaniu materaca geosyntetycznego jest wybudowanie nasypu przeciążającego. Nasyp przeciążający buduje się etapami, aby zapobiec utracie stateczności. Na podstawie pomiarów zerowych Projektant wyznacza dopuszczalną wysokość pierwszego etapu przeciążenia. Przed przystąpieniem do sypania kolejnej fazy przeciążenia, Projektant zleca weryfikacyjne badania wytrzymałości na ścinanie i sprawdza, czy przyrost wytrzymałości, wynikający z wykonania pierwszej fazy przeciążenia, pozwala na wykonanie następnego etapu nasypu. Na rys. 6 przedstawiono przykładową analizę wyników wytrzymałości gruntu na ścinanie.



Rys. 5. Wyciąg z badań edometrycznych [5]

| Podstawowe parametry |            |                    |      |                                     |      |                                     |      |
|----------------------|------------|--------------------|------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|------|
| Nazwa gruntu         | Or (Namul) | w <sub>n</sub> [%] | 67.3 | ρ [g/cm <sup>3</sup> ]              | 1.64 | ρ <sub>s</sub> [g/cm <sup>3</sup> ] | 0.98 |
| H <sub>0</sub> [mm]  | 20.00      | w <sub>2</sub> [%] | 35.5 | ρ <sub>v</sub> [g/cm <sup>3</sup> ] | 2.60 | e <sub>0</sub> [-]                  | 1.65 |
|                      |            |                    |      | ρ <sub>2</sub> [g/cm <sup>3</sup> ] | 1.96 |                                     |      |

| Nr. | σ <sub>v</sub> [kPa] | H <sub>1</sub> [mm] | e <sub>v</sub> [-] | e [-] | E <sub>oed</sub> [kPa] | c <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> /rok] | C <sub>c</sub> /C <sub>r</sub> [-] | C <sub>α</sub> [-] |
|-----|----------------------|---------------------|--------------------|-------|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| 1   | 6                    | 19.879              | 0.006              | 1.636 | 992                    | n/d                                  | n/d                                | n/d                |
| 2   | 25                   | 18.971              | 0.051              | 1.516 | 419                    | 3.899                                | 0.1943                             | n/d                |
| 3   | 50                   | 17.993              | 0.100              | 1.386 | 511                    | 2.174                                | 0.4308                             | n/d                |
| 4   | 100                  | 16.685              | 0.166              | 1.213 | 765                    | 1.727                                | 0.5762                             | n/d                |
| 5   | 200                  | 15.325              | 0.234              | 1.032 | 1471                   | 1.873                                | 0.5991                             | n/d                |
| 6   | 100                  | 15.388              | 0.231              | 1.041 | n/d                    | n/d                                  | 0.0278                             | n/d                |
| 7   | 50                   | 15.518              | 0.224              | 1.058 | n/d                    | n/d                                  | 0.0573                             | n/d                |
| 8   | 25                   | 15.714              | 0.214              | 1.084 | n/d                    | n/d                                  | 0.0863                             | n/d                |
| 9   | 50                   | 15.655              | 0.217              | 1.076 | 8475                   | n/d                                  | 0.0260                             | n/d                |
| 10  | 100                  | 15.500              | 0.225              | 1.056 | 6452                   | n/d                                  | 0.0683                             | n/d                |
| 11  | 200                  | 15.159              | 0.242              | 1.010 | 5865                   | n/d                                  | 0.1502                             | n/d                |
| 12  | 400                  | 14.052              | 0.297              | 0.864 | 3613                   | 1.391                                | 0.4877                             | 0.0119             |
| 13  | 400                  | 13.924              | 0.304              | 0.847 | n/d                    | n/d                                  | n/d                                |                    |

|                       | Wytrzymałość gruntu na ścinanie -<br>pomiar zerowy [kPa] |    |    |    |
|-----------------------|----------------------------------------------------------|----|----|----|
| Głębokość<br>/Vane nr | 2                                                        | 3  | 4  | 5  |
| [m]                   |                                                          |    |    |    |
| 0,5                   |                                                          |    |    |    |
| 1                     |                                                          |    |    |    |
| 1,5                   |                                                          |    |    |    |
| 2                     |                                                          |    |    |    |
| 2,5                   |                                                          | 16 |    |    |
| 3                     |                                                          | 24 |    |    |
| 3,5                   | 31                                                       | 59 |    |    |
| 4                     | 25                                                       | 26 | 24 |    |
| 4,5                   | 43                                                       | 18 | 18 |    |
| 5                     |                                                          | 27 | 18 | 25 |
| 5,5                   |                                                          | 33 | 28 | 21 |
| 6                     | 38                                                       | 26 | 28 | 26 |
| 6,5                   | 50                                                       | 26 | 24 | 22 |
| 7                     | 28                                                       | 26 | 27 | 27 |
| 7,5                   | 29                                                       | 31 | 48 | 37 |
| 8                     | 27                                                       | 32 | 29 | 32 |
| 8,5                   | 25                                                       | 34 | 38 | 33 |
| 9                     | 23                                                       |    |    |    |
| 9,5                   | 23                                                       |    |    |    |
| 10                    |                                                          |    |    |    |
| 10,5                  |                                                          |    |    |    |
| 11                    |                                                          | 42 |    |    |
| 11,5                  | 52                                                       |    |    |    |
| 12                    |                                                          |    | 29 | 52 |
| 12,5                  |                                                          |    | 75 |    |
| 13                    |                                                          |    |    |    |
| 13,5                  |                                                          |    |    |    |
| średnia wartość       | 33                                                       | 30 | 28 | 31 |
|                       | 30                                                       |    |    |    |

|                       | Wytrzymałość gruntu na ścinanie -po<br>piewszej fazie przeciążenia [kPa] |        |        |       |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------|--------|-------|
| Głębokość<br>/Vane nr | 2                                                                        | 3      | 4      | 5     |
| [m]                   |                                                                          |        |        |       |
| 0,5                   |                                                                          |        |        |       |
| 1                     |                                                                          |        |        |       |
| 1,5                   | 67,22                                                                    | 57,31  | 82,69  | 70,07 |
| 2                     |                                                                          |        |        |       |
| 2,5                   | 33,14                                                                    | 36,52  | 22,57  | 43,98 |
| 3                     |                                                                          |        |        |       |
| 3,5                   | 70,58                                                                    | 48,71  | 122,02 | 29,73 |
| 4                     |                                                                          |        |        |       |
| 4,5                   | 103,34                                                                   | 49,03  | 30,26  | 23,24 |
| 5                     |                                                                          |        |        |       |
| 5,5                   | 67,03                                                                    | 39,68  | 41,16  | 35,75 |
| 6                     |                                                                          |        |        |       |
| 6,5                   |                                                                          | 40,49  | 30,64  | 50,06 |
| 7                     |                                                                          |        |        |       |
| 7,5                   | 27,68                                                                    | 37,11  | 36,82  | 76,59 |
| 8                     |                                                                          |        |        |       |
| 8,5                   | 56,6                                                                     | 46,48  | 59,02  | 100,6 |
| 9                     |                                                                          |        |        |       |
| 9,5                   | 85,17                                                                    | 100,63 | 81,75  |       |
| 10                    |                                                                          |        |        |       |
| 10,5                  | 101,81                                                                   |        |        | 80,97 |
| 11                    |                                                                          |        |        |       |
| 11,5                  | 73,03                                                                    | 52,93  | 52,67  |       |
| 12                    |                                                                          |        |        |       |
| 12,5                  |                                                                          |        |        |       |
| 13                    |                                                                          |        |        |       |
| 13,5                  |                                                                          |        |        |       |
| średnia wartość       | 50                                                                       | 45     | 39     | 37    |
|                       | 43                                                                       |        |        |       |
| PROJEKTOWANE          | 40,1                                                                     |        |        |       |
| RÓŻNICA               | 10                                                                       | 5      | -1     | -4    |

Rys. 6. Analiza wytrzymałości gruntu na ścinanie z budowy S7

## MONITORING OSIADAŃ I JEGO INTERPRETACJA

W trakcie konsolidacji Projektant monitoruje osiadania reperów talerzowych wbudowanych co około 25 ÷ 50 m, po trzy sztuki w każdym przekroju (z reguły po dwie sztuki w przypadku dróg dojazdowych). Taki pomiar pozwala uzyskać trzy lub dwa punkty pomiaru osiadań, z których środkowy jest kluczowy. W każdym przypadku, a zwłaszcza gdy występuje zmienna geologia pod przekrojem drogi, dobrze jest stosować pomiar ciągły osiadań, który można uzyskać z pomiarów profilometrycznych lub inklinometrycznych. Takim pomiarom zawsze towarzyszą precyzyjne pomiary geodezyjne końców profilometrów / inklinometrów, dzięki którym uzyskuje się nie tylko kształt niecki osiadań, ale również jej zamocowanie wysokościowe bezwzględne.

Analizę konsolidacji przeprowadza się na przykład metodą Asaoka [1, 3]. Pomiary wykonywane są w stałym interwale czasowym i na ich podstawie graficznie wyznacza się osiadania całkowite oraz stopień konsolidacji. Aproksymacja osiadań opisana jest wzorem:

$$S_n = \beta_0 + \beta_1 \times S_{n-1}$$

gdzie:

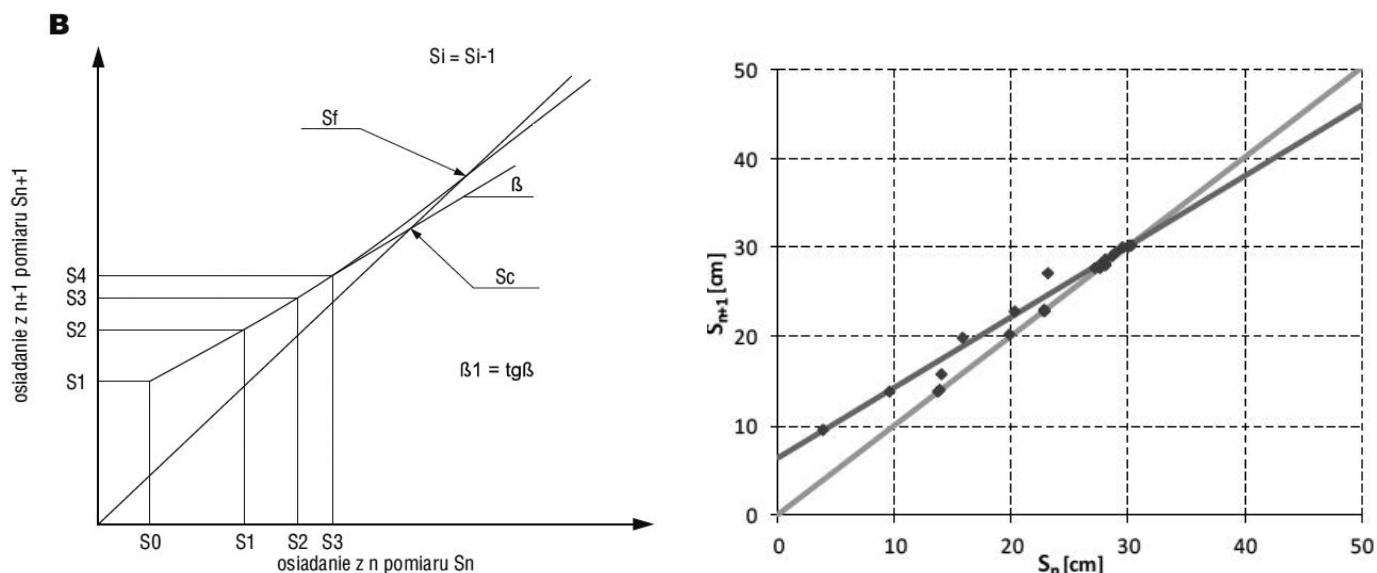
$S_n$  – osiadania w czasie  $t_n$ ,  
 $S_1, S_2, \dots, S_n$  – pomierzone osiadania.

Na wykresie zależności  $S_n = f(S_{n-1})$  (rys. 7) należy znaleźć punkt przecięcia punktów przechodzących przez krzywą  $S_n$  z linią, która spełnia warunek  $S_n = S_{n-1}$ . Prosta ta jest nachylona do poziomu pod kątem 45°. Następnie z wykresu odczytuje się parametry  $\beta_0$  oraz  $\beta_1$ . Osiadania całkowite w czasie  $t$  oblicza się z zależności:

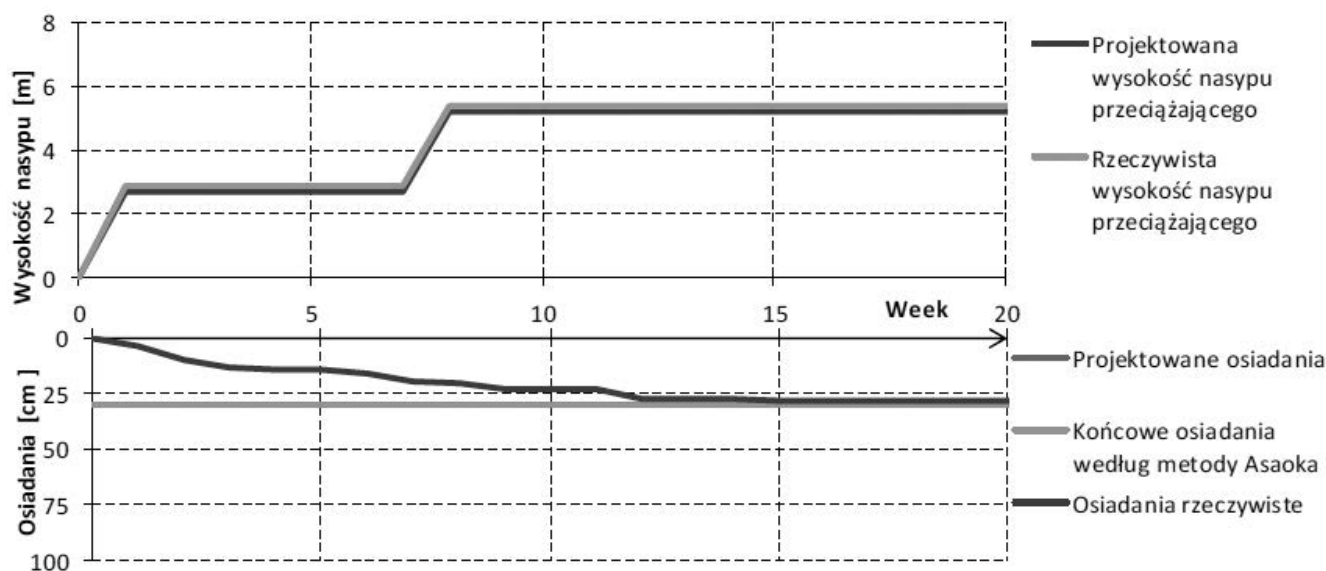
$$S_t = S \left[ 1 - \exp \left( \frac{\ln \beta_1}{\Delta_t} t \right) \right]$$

Za moment zakończenia konsolidacji uznaje się zazwyczaj uzyskanie współczynnika konsolidacji minimum 95%. Na rys. 8 przedstawiono przykład analizy osiadań z wykorzystaniem metody Asaoka.

W przypadku dużej różnicy osiadań w stosunku do wartości projektowanych Projektant wzmocnienia podłoża podejmuje decyzję o dalszym postępowaniu.



Rys. 7. Graficzne wyznaczenie parametru  $\beta_1$  teoretyczne oraz praktyczne



Rys. 8. Przykładowa analiza konsolidacji z budowy S7 – metoda Asaoka

## ASPEKTY WYKONAWCZE

### Pograżanie drenów przy przewarstwieniach piasków

Pograżanie drenów w gruncie odbywa się za pomocą koparki gąsienicowej wyposażonej w osprzęt do montażu drenów, to jest maszt pionowy. Pograżanie staje się problematyczne, gdy w podłożu występują znaczne przewarstwienia piasków o  $q_c > 5$  MPa. W takiej sytuacji podczas wykonywania drenów stosuje się przewiert, przedmuchy lub dodatkowe wibracje, które znacznie zwiększają możliwości wykonawcze.

### Instalacje projektowane oraz istniejące

W przypadku gdy wartości osiadań dochodzą do kilkudziesięciu centymetrów, wszystkie istniejące instalacje należy

przełożyć na czas konsolidacji. Projektowane instalacje można wykonywać dopiero po procesie konsolidacji. W tym celu konieczne jest rozebranie nie tylko nasypu przeciążającego, ale również nasypu docelowego do wymaganej rzędnej posadowienia instalacji. Dla przepustów istniejących należy wykonać przepusty tymczasowe.

### Monitoring osiadań

Technologia drenów prefabrykowanych wraz z nasypem przeciążającym jest metodą obserwacyjną zgodną z Eurokodem 7 i opisaną w jego pierwszej części, rozdziale drugim [6]. W procesie projektowania oraz wykonawstwa Projektant zleca badania uzupełniające. Na bieżąco prowadzi również monitoring osiadań. Dużym problemem podczas prowadzenia monitoringu jest utrzymanie reperów talerzowych w nienaruszonym stanie. Ruch samochodów ciężarowych po nasypach przeciążających

jących oraz sypanie kolejnych etapów przeciążenia powodują, że część reperów talerzowych jest zniszczona lub przechylona. Pracownicy zajmujący się wykonywaniem nasypu przeciążającego nie zwracają uwagi, gdy reper talerzowy jest niecałkowicie przykryty. Aspekty te mają jednak istotny wpływ na późniejsze problemy z analizą monitoringu. Z tego względu, jeżeli tylko to możliwe, sugeruje się instalację profilometrów hydraulicznych lub inklinometrów poziomych. Obecne pomiary z wykorzystaniem tych urządzeń najczęściej wykonuje się ręcznie. Systemy automatyczne [2] raczej zarezerwuje się do bardziej odpowiedzialnych konstrukcji, choć autorzy są przekonani, że w przyszłości systemy stałe będą aplikowane również pod nasypami drogowymi budowanymi na konsolidowanym podłożu.

## PODSUMOWANIE

Ujmując w całość zebrany w artykule materiał można stwierdzić, że:

- 1) Prostota wykonania zapewnia skuteczność w stosowaniu tej metody nawet w gruntach organicznych o bardzo wysokiej wilgotności (przykład budowy S7), dla których inne technologie wzmocnienia mogą być nieodpowiednie.
- 2) Najważniejsze znaczenie w projektowaniu technologii drenów prefabrykowanych odgrywają badania laboratoryjne. Bez dokładnych badań laboratoryjnych szacowanie czasu konsolidacji i wielkości osiadań jest niedokładne.
- 3) Uzupełniające badania geologiczne wykonuje się w trakcie projektowania oraz realizacji prac na placu budowy.

- 4) Technologia drenów prefabrykowanych ma charakter obserwacyjny. Odpowiednio prowadzony monitoring nasypów pozwala na szczegółową ocenę postępu konsolidacji i weryfikację przyjętych założeń projektowych. Skuteczność tego podejścia potwierdzono na opisywanej budowie S7.

## LITERATURA

1. Asaoka A.: Observational procedure of settlement prediction. *Soils and Foundations*, grudzień 1978, Vol. 18, No. 4, 87-101.
2. Bednarski L., Sieńsko R., Howiacki T.: Wybrane zagadnienia monitorowania konstrukcji. XXX Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji Szczyrk, 2015.
3. Białobrzęski T.: Metody wzmocnienia podłoża gruntowego na przykładzie Południowej Obwodnicy Gdańska, *Przegląd Geologiczny*, 2013, Vol. 61, Nr. 2, 133-139.
4. Geoteko Projekty i Konsultacje Geotechniczne Spółka z o.o.: Sprawozdanie z badań geotechnicznych wykonanych na potrzeby inwestycji „Projekt budowy drogi ekspresowej S7 na odcinku Koszwały – Kazimierzowo” Zadanie 2: Nowy Dwór Gdański – Kazimierzowo. Odcinek: Obszar nr 3.2 – 5.4, km – 39+465 ÷ 40+420” Warszawa, marzec 2016.
5. Samodzielne Laboratorium Geotechniki Instytutu Morskiego w Gdańsku: Raport z badań laboratoryjnych SLG/12/2016”, Gdańsk, marzec 2016.
6. PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7 2008 – Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne.
7. PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7 2009 – Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.