Strefa przejściowa pomiędzy obiektem mostowym a nasypem drogowym

mgr inż. Krystian Binder

Zminimalizowanie różnicy osiadań pomiędzy zjazdem z obiektu mostowego a nasypem podczas okresu eksploatacji to jedno z głównych wyzwań, przed jakimi stoi inżynier, przygotowując projekt. W niniejszym artykule autor prezentuje praktyczne rozwiązania stosowane podczas budowy obiektów mostowych na gruntach słabonośnych.

Jednym z najbardziej newralgicznych miejsc w ciągu drogowym jest połączenie obiektu mostowego z nasypem drogowym. Z uwagi na fakt, że naprężenia jednostkowe oddziałujące na podłoże gruntowe pod podstawą nasypu drogowego są mniejsze niż pod ławą fundamentową przyczółka mostowego można się spodziewać, że osiadania przyczółka będą większe. Istotą problemu jest więc zminimalizowanie różnicy odkształceń (osiadań) pomiędzy zjazdem z obiektu mostowego a nasypem podczas okresu eksploatacji.

W sytuacji gdy przyczółek mostowy oraz nasyp drogowy są posadowione bezpośrednio na gruntach nośnych niespoistych (np. piaski) lub twardoplastycznych glinach o wysokich modułach odkształceniowych, naturalnym rozwiązaniem jest zastosowanie płyty przejściowej, zastępującej jeden progowy zjazd z obiektu. W tym przypadku (rys. 1) wobec mniejszego osiadania nasypu w stosunku do osiadania przyczółka płyta przejściowa jest w głównej mierze podparta nasypem drogowym.

Jednakże w praktyce posadowienie bezpośrednie przyczółka mostowego jest stosowane dosyć rzadko, gdyż restrykcyjne wymagania dotyczące wartości osiadań podpór mostowych powodują zastosowanie pośredniego sposobu posadowienia w postaci np. pali żelbetowych.

W tym wypadku to zgoła odmienna sytuacja, w której przyczółek mostowy osiada mniej od nasypu drogowego, w wyniku czego obrót płyty przejściowej jest odwrotny do sytuacji posadowienia bezpośredniego. Często stosuje się dodatkowe zbrojenie nasypu dołem, które przeciągnięte w planie poza obrys płyty przejściowej minimalizuje różnice osiadań.

Opisane przypadki dotyczą gruntu nośnego, którego parametry odkształceniowe ograniczają osiadania nasypu do wartości 5-10 cm.

Z zupełnie inną sytuacją mamy do czynienia, gdy przemieszczenia gruntu obciążonego nasypem drogowym przekraczają wartość 5-10 cm lub gdy obiekt jest położony na gruntach nienośnych. Występuje wówczas konieczność wymiany podłoża gruntowego, co jest czasochłonne i w pewnych przypadkach wręcz niemożliwe, lub wzmocnienia istniejącego podłoża gruntowego.

Wybór technologii wzmocnienia podłoża gruntowego

Podczas wyboru technologii wzmocnienia podłoża gruntowego pod nasypem drogowym należy brać pod uwagę następujące aspekty:

SUMMARY

Minimizing the difference of subsidence between the exit from the bridge and the embankment during operation, is one of th e major challenges to be faced by the engineer preparing the draft of the design. In this article the author presents practical solutions used for the construction of bridges on weak soil.

- możliwość techniczną zastosowania danej technologii wzmocnienia podłoża gruntowego,
- bezpieczeństwo konstrukcji,
- warunki użytkowania,
- czas potrzebny na uzdatnienie podłoża do zakładanych parametrów (harmonogram budowy),
- oraz aspekt ekonomiczny.

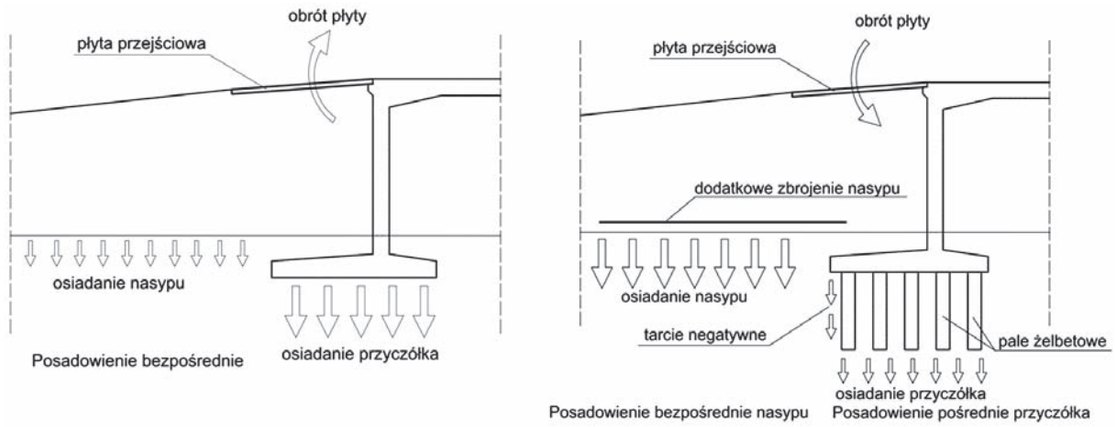
Techniki wzmocnienia podłoża gruntowego zwyczajowo przyjęło się dzielić na dwie grupy: wzmocnienie w technologii sztywnego podparcia oraz techniki konsolidacyjne (lub quasi-konsolidacyjne).

Do pierwszej grupy można zaliczyć posadowienie na palach żelbetowych (np. wierconych świdrem ciągłym, wbijanych itp.), kolumnach betonowych (np. kolumny przemieszczeniowe typu CMC), kolumnach cementowo-gruntowych (np. DSM).

Powyższa technologia charakteryzuje się przede wszystkim dość szybkim czasem wykonania i minimalnymi osiadaniami (osiadania pali czy kolumn betonowych są zazwyczaj na poziomie 2-3 cm). Współczesne techniki obliczeniowe, metody badań podłoża gruntowego, jak również doświadczenia z wielu budów realizowanych w Polsce oraz na świecie pozwalają praktycznie z dużą pewnością na oszacowanie osiadań powstałych podczas budowy oraz okresu eksploatacji konstrukcji. Ma to szczególne znaczenie przy konstrukcjach wrażliwych na różnice osiadań.

Z kolei do drugiej grupy, której ideą jest wymuszenie konsolidacji za pomocą przeciążenia nasypem z zastosowaniem różnego rodzaju drenów lub kolumn drenujących, można zaliczyć: prefabrykowane dreny pionowe, wymianę dynamiczną, kolumny żwirowe, kolumny piaskowe (powstałe np. w wyniku użycia mikrowybuchów) lub kolumny piaskowe w osłonie z geosyntetyku. Warto również wymienić technologię uzdatnienia podłoża gruntowego za pomocą konsolidacji podciśnieniowej.

Wybierając konsolidacyjną metodę wzmocnienia podłoża gruntowego, należy wziąć pod uwagę czas potrzebny na konsolidację podłoża, jak również wielkość spodzie-



Rys. 1. Posadowienie bezpośrednie nasypu drogowego oraz bezpośrednie i pośrednie przyczółka mostowego

wanych osiadań, które wynoszą od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów (w ekstremalnych przypadkach wielkość wymuszonych osiadań może sięgać nawet kilkuset centymetrów). Trafność prognozy osiadań jest uzależniona od jakości i liczby przeprowadzonych badań gruntu. Nie są rzadkością sytuacje, w których różnice w wartościach osiadań obliczonych na etapie wykonywania projektu, a osiadań pomierzonych podczas budowy i eksploatacji nasypu są rzędu 100-300%.

Precyzja w wyznaczeniu osiadań ma szczególne znaczenie na styku nasyp drogowy – przyczółek mostowy. Z reguły przyczółek mostowy, tak jak to jest przedstawione na rys. 1, jest posadowiony pośrednio, na palach żelbetowych. Wybór konsolidacyjnej techniki uzdatnienia podłoża przy dojeździe do przyczółka implikuje konieczność uwzględnienia tarcia negatywnego na pale pod przyczółkiem, uwzględnienia dodatkowego parcia gruntu, spowodowanego obciążeniem nasypem, zaprojektowania dodatkowych materacy geosyntetycznych niwelujących różnicę osiadań.

Przy założeniu, że posadowiony na palach przyczółek osiądzie o 2-3 cm, głównie podczas budowy, a bezpośrednio stykający się z nim nasyp drogowy bezpośrednio posadowiony na skonsolidowanym podłożu gruntowym osiądzie o wartość 5-10 cm, odpowiednie zaprojektowanie strefy przejściowej jest bardzo utrudnione. Rozwiązaniem może być wykonanie sztywnego podparcia nasypu drogowego, np. kolumnami betonowymi, które na bezpośrednim styku z obiektem zniwelują różnice osiadań.

Przykłady praktyczne

Przebieg obecnie realizowanych projektów infrastruktury drogowej jest czasem zlokalizowany na obszarach, na których zalegają grunty słabonośne. Jedną z takich inwestycji jest budowa Obwodnicy Południowej Gdańska (OPG). Przedmiotowy odcinek Obwodnicy Południowej Gdańska jest w całości umiejscowiony w województwie pomorskim i przebiega przez tereny miasta Gdańsk oraz przez gminy: Kolbudy, Pruszcz Gdański i Cedry Wielkie. Celami tej inwestycji są obejście terenów urbanistycznych Gdańska oraz usprawnienie powiązań komunikacyjnych terenów portowych w Gdańsku z obwodnicą Trójmiasta i autostradą A1. Obwodnica Południowa Gdańska jest budowana w klasie drogi ekspresowej. Długość całego odcinka wynosi prawie 18 km, z czego 12 km jest położone na gruntach słabonośnych.

Na powyższej inwestycji grunty słabonośne stanowią przede wszystkim torfy i namuły o bardzo niskich modułach odkształcenia oraz słabych parametrach mechanicznych. Wysokość nasypów jest dość zróżnicowana, gdyż ich niweleta waha się od 2,0 m do 11,2 m.

Do wzmocnienia podłoża gruntowego wybrano dwie technologie: wzmocnienie w technologii kolumn betonowych formowanych świdrem przemieszczeniowym typu CMC oraz wzmocnienie nasypem przeciążającym z użyciem drenów pionowych. Kryteria wyboru techniki uzdatniania podłoża gruntowego opierały się przede wszystkim na wysokości nasypu. Zdecydowano, że najekonomiczniejszym sposobem wzmocnienia podłoża pod nasypy, których wysokość nie przekracza 3,5 m, będzie zastosowanie technologii przeciążenia nadnasypem wraz z drenami pionowymi. Nadwyżka nasypów przeciążeniowych, która pozostanie po konsolidacji podłoża, zostanie użyta do budowy nasypów na dojazdach do obiektów mostowych.

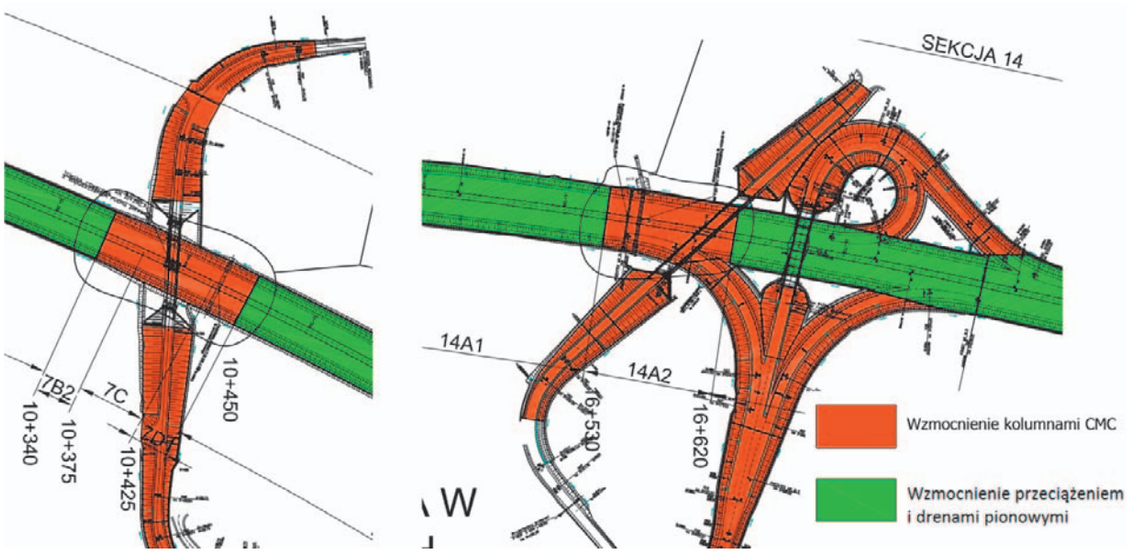
Ze względu na możliwość wystąpienia różnicy osiadań przekraczających dopuszczalną wartość wszystkie dojazdy do mostów i przepustów zostały zaprojektowane na podłożu wzmocnionym kolumnami betonowymi. Ideą zastosowania kolumn betonowych było podparcie nasypu „na sztywno" w bezpośredniej styczności z obiektem inżynierskim, co prowadziło do odsunięcia strefy przejściowej zmiany sztywności podłoża gruntowego na odcinek nasypu o niższej niwelecie. Takie podejście zaowocowało uzyskaniem niskich osiadań resztkowych oraz wyeliminowaniem tarcia negatywnego, działającego na pale pod przyczółkami.

Przeprowadzona analiza metodą elementów skończonych osiadań osi nasypu drogowego strefy przejściowej wykazała, że spodziewana różnica osiadań pomiędzy posadowieniem na sztywnych kolumnach betonowych a gruntem skonsolidowanym będzie mieściła się w granicach 2-3 cm. Dodatkowo wykonanie około 3 rzędów kolumn „zawieszonych" w skonsolidowanym gruncie organicznym spowoduje „rozmycie" różnicy osiadań na odległości około 20 m.

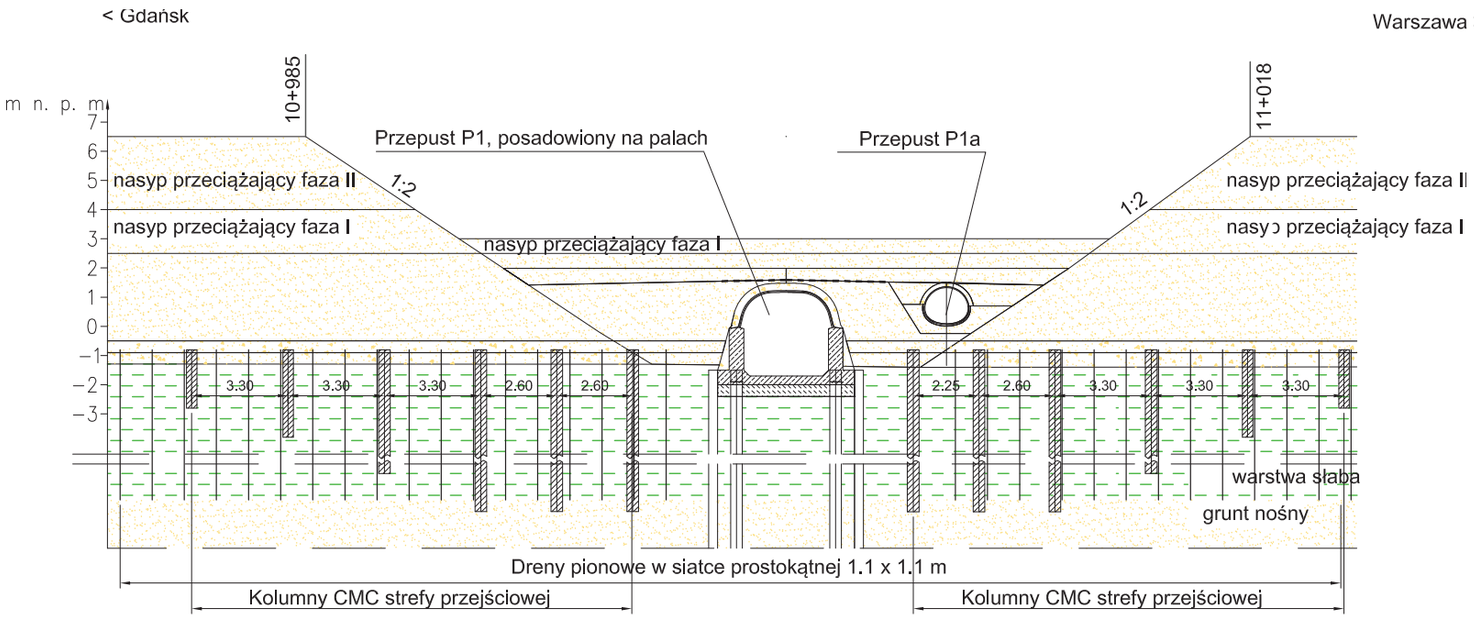
Trasa Obwodnicy Południowej Gdańska w całości biegnie przez teren Żuław, który charakteryzuje się przede wszystkim wysokim poziomem wody gruntowej. Jednym z ważniejszych zagadnień podczas projektowania przedmiotowej inwestycji było umożliwienie swobodnego przepływu wód z pól w obie strony nasypu. W tym celu został zaprojektowany cały szereg mniejszych i większych przepustów. W przypadku przepustów o mniejszych gabarytach (do średnicy 1,5 m) możliwe było posadowienie bezpośrednie na wzmocnionym podłożu. W przepustach, których gabaryty przekraczały znacznie 1,5 m, konieczne stało się posadowienie pośrednie.

By uniknąć nierównomierności osiadań i „progowego efektu" zjazdu z przepustu podpartego na sztywnych palach żelbetowych na nasyp posadowiony na podłożu skonsolidowanym, zastosowano rozwiązanie wykonania stref przejściowych zgodnie z ideą stref przejściowych opisaną powyżej (rys. 3).

Kolejną inwestycją, którą zlokalizowano na obszarach występowania gruntów słabonośnych, była budowa mostów przez Wisłę oraz Liwę wraz z dojazdami w ciągu drogi krajowej nr 90. Grunty słabonośne to przede wszystkim



Rys. 2. Koncepcje posadowienia nasypów na trasie zasadniczej i na dojazdach do obiektów inżynierskich



Rys. 3. Rozwiązanie projektowe strefy przejściowej na dojeździe do przepustu P1 i P1a w ramach zadania budowy Obwodnicy Południowej Gdańska

namuły oraz torfy o dużej ściśliwości, które zalegają do 9-10 m.

Podstawową metodą wzmocnienia podłoża gruntowego pod nasyp w ciągu głównym było połączenie dwóch konsolidacyjnych metod: wymiany dynamicznej oraz mikrowybuchów. Rozstaw kolumn wymiany dynamicznej oraz otworów strzałowych metody mikrowybuchów wynosił 5,0 x 5,0 m, przy czym siatka mikrowybuchów była przesunięta względem siatki kolumn wymiany dynamicznej o 2,5 m.

Na etapie prowadzenia wzmocnienia podłoża gruntowego okazało się, że nie jest wskazane wykonywanie w podstawowej, konsolidacyjnej technologii wzmocnienia podłoża gruntowego dojazdu do obiektu mostowego, stanowiącego przeprawę przez Liwę. Zdecydowano się na zamianę konsolidacyjnej metody na posadowienie sztywne, w technologii kolumn betonowych.

Posadowienie nasypu drogowego na kolumnach betonowych spowodowało odsunięcie strefy przejściowej od zjazdu z obiektu, w stronę nasypu o niższej niwelecie.

Podsumowanie

Przedstawiony w powyższym artykule krótki zarys problemów stref przejściowych, z jakimi styka się inżynier podczas procesu projektowego, jak również kilka przykładów praktycznych rozwiązań nie wyczerpują tematu. Istotnym czynnikiem w projektowaniu jest odpowiednie rozpoznanie geologiczne. Pomimo coraz bardziej zaawansowanych metod badania podłoża gruntowego *in situ* czy badań próbek gruntu w laboratorium wyznaczenie parametrów mechanicznych gruntów słabych jest bardzo trudne i obarczone błędem.

W najprostszych przypadkach, gdy w podłożu występują grunty o wysokich modułach ściśliwości, stosuje się betonowe płyty przejściowe oraz dodatkowe zbrojenie podstawy nasypu w postaci materacy geosyntetycznych.

W skomplikowanych przypadkach, gdy obiekt inżynierski wraz z nasypem jest zlokalizowany na obszarze występowania gruntów słabonośnych, istotnym problemem jest wybranie technologii uzdatnienia podłoża pod strefą przejściową.

Wzmocnienie podłoża można rozwiązać na kilka sposobów. Jednakże najlepszym sposobem wydaje się podejście najprostsze, w którym ograniczamy wpływ parametrów mechanicznych gruntów słabych na oszacowanie osiadań. Osiągamy to poprzez posadowienie nasypu drogowego „na sztywno", na palach lub kolumnach betonowych w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu inżynierskiego. Takie rozwiązanie, oprócz dużej pewności w kwestii prognozy różnicy osiadań, niweluje wpływ tarcia negatywnego oraz ogranicza parcie na pale pod przyczółkiem mostowym. ❑