

- [1] Calogero, V. (1969): *A new method in road design – polynomial alignment. Computer Aided Design, No.2, London*
- [2] Fulczyk, A.G. (1977): *Trassenausgleich nach Spline-Algorithmen (TRANSA), Die Straße, Heft 1, Berlin*
- [3] Fulczyk, A.G. (1981): *Probleme beim praktischen Einsatz des Algorithmus SICHT zum Simulieren der Sichtweiten. Die Straße, Heft 4, Berlin*
- [4] Grabowski, R.J. (1984): Gładkie przejścia krzywoliniowe w drogach kołowych i kolejowych. Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja nr 82, Kraków
- [5] Kobryń, A. (1999): Geometryczne kształtowanie krzywoliniowych odcinków niwelety tras drogowych. Rozprawy Naukowe nr 60, Białystok
- [6] Kobryń, A. (2002): Wielomianowe krzywe przejściowe w projektowaniu niwelety tras drogowych. Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, Rozprawy Naukowe nr 100, Białystok
- [7] Kobryń A. (2007): Projektowanie niwelety tras drogowych metodami ścisłymi. Drogownictwo 1/2007
- [8] Kühn, W. (1983): *Anwendung verallgemeinerter kubischer Spline-Funktionen für Achsberechnung von Straßen. Die Straße, Heft 3, Berlin*
- [9] Müller, G. (1988): *Ingenieurgeodäsie. Verkehrsbau – Straßenbau, Werner Verlag, Düsseldorf*
- [10] Weitlandt, G.: *Zur Anwendung der Spline-Gradienten bei der Rekonstruktion von Autobahnen und Flugbetriebsflächen. Die Straße, Heft 1, Berlin*
- [11] Wenderlein, W. (1968): *Klothoiden-Kreis-Trassierung und allgemeine mathematische Übergangskurven. Zeitschrift für Vermessungswesen, Vol. 93/4, Stuttgart* ■



ANDRZEJ JAROMINIAK

Propozycja prekonsolidacji podłoża podpór wiaduktów kotwami gruntowymi

Trudności w budowie dróg stwarzają podłoża ze słabymi gruntami. Jeżeli taki grunt występuje do głębokości

około 2 m poniżej powierzchni terenu, to racjonalnym postępowaniem bywa wymiana słabego gruntu na mocny. Jeżeli słabe przewarstwienia występują w zakresie od 2 do 5÷7 m wtedy, albo wykonuje się prekonsolidację podłoża podwyższonym nasypem drogowym, albo wzmacnia grunty zagęszczając je dynamicznie lub wibracyjnie, stosując metody iniekcyjne, inkluzję betonu (pale SDP) lub metodę SSM (*Shallow Soil Mixing*). Natomiast, gdy zakres głębokości zalegania słabych gruntów przekracza 5÷7 m, to stosuje się jedną z wielu odmian głębokiego wzmacniania: DSM – *Deep Soil Mixing*, DMM – *Deep Mixing Method*, SMW – *Soil Mix Wall*, DLM – *Deep Lime Mixing*, MIP – *Mixed In Place*, DJM – *Dry Jet Mixing*, DM – *Deep Mixing*, CSM – *Cutter Soil Mixing*, CDM – *deep mixing metod of soil stabilization*.

Jeżeli stosuje się prekonsolidację gruntów nasypem wyższym niż wymaga niweleta projektowa, to można tę metodę wykorzystać także do skonsolidowania podłoża skrajnych podpór obiektów mostowych – przedłużając nasypy nad miejsca tych podpór. Korzystnym efektem jest także wyrównanie osiadań skrajnych podpór i nasypów na dojazdach do obiektu. Natomiast w przypadku wiaduktów wieloprzęsłowych pozostaje problem ograniczenia osiadań podpór pośrednich w ten sposób, by odpowiadały osiadaniom podpór skrajnych. Ma to istotne znaczenie, gdyż z reguły wiadukty są konstrukcjami hiperstatycznymi, w których nierównomierne osiadania podpór wywołują dodatkowe siły wewnętrzne mogące doprowadzić do uszkodzeń konstrukcji. Dlatego zwykle podpory pośrednie wiaduktów, albo opiera się na fundamentach palowych, albo na wzmocnionym podłożu, zwykle metodą głębokiego mieszania.

Konsultując zagadnienia projektowania posadowień obiektów mostowych związanych z autostradami doszedłem do

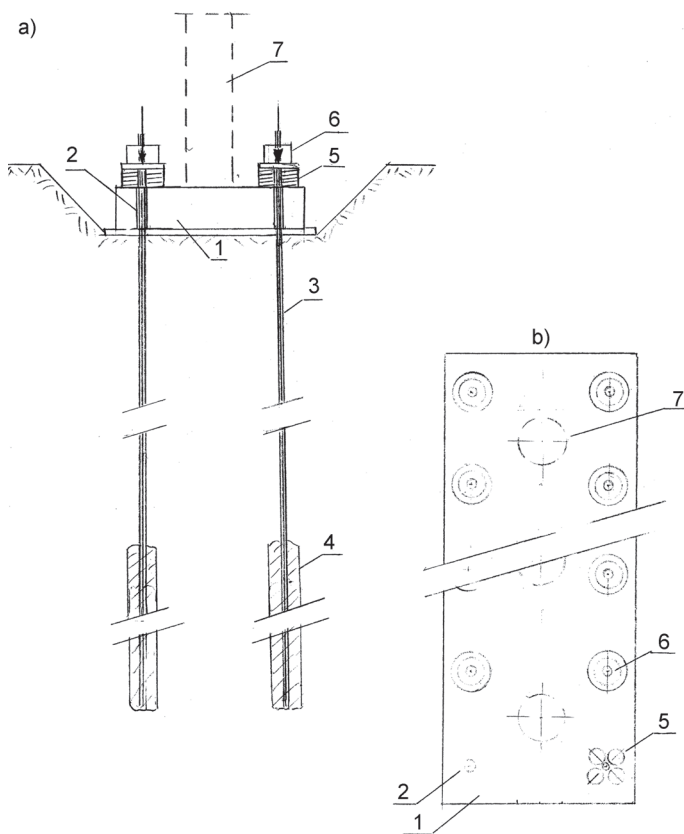
wniosku, że jest możliwa prekonsolidacja podłoża podpór pionowymi kotwami gruntowymi (rys. 1). Stosując tę metodę można uniknąć użycia pali lub głębokiego wzmacniania gruntów. Kotwy gruntowe można także stosować w innych przypadkach, gdy trzeba spowodować wstępną konsolidację podłoża gruntowego, a nie ma warunków do przeciążenia go balastem (np. nasypem).

W zarysie ogólnym, metoda prekonsolidacji podłoża kotwami gruntowymi wygląda następująco:

1. W podłożu naturalnym, na głębokości nieco większej niż poziom przemarzania gruntów, wykonuje się w zwykły sposób płytowy fundament bezpośredni; w płycie pozostawia się otwory pionowe lub z niewielkim pochyleniem do pionu na zewnątrz fundamentu, w celu późniejszego zainstalowania przez nie kotew gruntowych; liczba otworów zależy od liczby kotew koniecznych do wywarcia na fundament siły, która spowoduje wymaganą konsolidację jego podłoża; średnice otworów w fundamencie powinny umożliwić zainstalowanie przez nie kotew (tj. wynosić ok. 150 mm); można także wykonać kotwy na zewnątrz fundamentu i przenieść na niego siły obciążające pakietami belek stalowych – wtedy otwory są zbędne.

2. Po związaniu betonu fundamentu instaluje się przez uformowane w nim otwory kotwy gruntowe pionowe (lub lekko pochylone); głębokość osadzenia kotew w gruncie określa projektant fundamentu; zależy od przyjętych uciągow kotew i geotechnicznego profilu podłoża; instalowanie kotew pionowych jest łatwiejsze niż kotew poziomych i z małymi pochyleniami do poziomu (trwa krócej, dzięki czemu jest nieco tańsze); ciężno kotwy może być z wiązki drutów o dużej wytrzymałości lub z pręta Macalloy (taki pręt średnicy 50 mm bezpiecznie przenosi siłę rozciągającą 1200÷1300 kN).

3. Po stwardnieniu betonu fundamentu do wytrzymałości określonej w projekcie prekonsolidacji, napina się kotwy do



Rys. 1. Schemat systemu prekonsolidacji podłoża fundamentu kotwami gruntowymi: a – przekrój poprzeczny, b – widok z góry; 1 – fundament bezpośredni, 2 – otwór przelotowy w fundamencie do zainstalowania kotwy, 3 – ciągnio kotwy, 4 – buława kotwy, 5 – zespół sprężyn, 6 – głowica kotwy, 7 – trzon podpory

sił projektowych, które spowodują wymagane skonsolidowanie podłoża fundamentu.

Proponowana metoda może wzbudzać wątpliwości dotyczące:

- relacji jej kosztów do kosztów fundamentu palowego i głębokiego wzmocnienia podłoża,
- nieuniknionej z upływem czasu redukcji sił w kotwach dociskających fundament do podłoża, powodowanej jego osiadaniami,
- wpływu zastosowania metody na czas realizacji obiektu mostowego.

Dogodne do stosowania wydają się kotwy gruntowe napięte siłą 1100÷1200 kN, długości do 15 m. Koszt zainstalowania klasycznej kotwy wynosi około 250÷350 zł/m. Stąd, na przykład, do uzyskania wymaganej konsolidacji podłoża fundamentu podpory pośredniej wiaduktu nad autostradą, mającego przęsła rozpiętości 27÷29 m i szerokość 10 m, jest koniecznych 14÷16 takich kotew. Wtedy koszt prekonsolidacji podłoża kotwami nie powinien przekroczyć 84.000 zł (w przypadku użycia kotew z odzyskiwanymi swobodnymi odcinkami cięgien będzie nieco mniejszy). Obecnie fundamentem takiej podpory wiaduktu jest zwykle 8 pali średnicy 120 cm, długości 12÷14 m lub grupa kolumn wzmocnionego gruntu, zwykle metodą głębokiego mieszania. Przyjmując realny koszt pala 1100 zł/mb, uzyskuje się koszt funda-

mentu palowego 106 000÷123 000 zł; natomiast przy jednostkowym koszcie wzmocnienia podłoża metodą DSM około 300 zł za 1m³ spetryfikowanego gruntu – koszt wynosi 100 000÷130 000 zł. To orientacyjne porównanie kosztów wskazuje, że prekonsolidacja podłoża kotwami gruntowymi powinna być nieco tańsza niż wykonanie fundamentu palowego lub wzmocnienie podłoża metodą głębokiego mieszania.

Zagadnienie redukcji z upływem czasu sił w kotwach można rozwiązać w dwojaki sposób:

- albo co pewien czas doprężać kotwy,
- albo zainstalować pod głowicą każdej kotwy, oparty na fundamencie, zespół sprężyn, które utrzymają trwałe napięcie kotwy, mimo osiadania fundamentu.

Realizacja pierwszego sposobu może być uciążliwa. Dlatego bardziej praktycznym wydaje się drugi sposób. Można użyć zespoły zawierające po 4 sprężyny, które są stosowane w zderzakach wagonów kolejowych; jedna taka sprężyna wywiera siłę do 300 kN.

Na marginesie: jest możliwy zakup sprężyn w niskiej cenie, z wagonów przeznaczonych do kasacji.

Zagadnienie czasu koniecznego do wywołania niezbędnej prekonsolidacji podłoża podpór pośrednich można scharakteryzować następująco. W zasadzie jest do dyspozycji czas przeznaczony na prekonsolidację podłoża nasypów dojazdowych do wiaduktu. Ale można już w czasie trwania prekonsolidacji wykonać na fundamencie korpus podpory i poważnie zaawansować budowę konstrukcji przęseł – pozostawiając do czasu zakończenia prekonsolidacji tylko zabetonowanie węzła nadpodporowego tej konstrukcji. Można zatem zrealizować prace niemożliwe do wykonania w przypadku instalowania pali lub wzmocniania podłoża fundamentu. Dlatego przy poprawnym opracowaniu harmonogramu robót, prekonsolidacja podłoża podpory kotwami gruntowymi nie będzie wymagała wydłużenia terminów budowy wiaduktu.

W rzeczywistości efektywność prekonsolidacji podłoża napiętymi kotwami gruntowymi jest większa niż obciążenia grawitacyjnego i konsolidacja występuje szybciej. Obciążenie nasypem rozkłada się bowiem w podłożu i jego wpływ maleje z głębokością. Czyli, im głębiej zalega słabe przewarstwienie, tym działające na nie jednostkowe obciążenie konsolidujące jest mniejsze. Natomiast obciążenie kotwami gruntowymi ściska warstwę gruntu w obszarze miąższości podłoża: między stopą fundamentu bezpośredniego a buławami kotew. Oczywiście także takiemu ścisnieniu towarzyszy zjawisko rozkładu obciążenia w gruncie pomiędzy fundamentem a buławami kotew. Jednak redukcją z głębokością obciążania konsolidującego gruntu podłoża jest wtedy mniejsza.

Należy także zwrócić uwagę, że można zainstalować kotwy, stosując lżejszy sprzęt niż wymaga instalowanie pali i wzmocnianie gruntu oraz że prekonsolidacja kotwami gruntowymi wprowadza w środowisko naturalne podłoża mniej materiałów „sztucznych” (cementu i stali) niż inne metody.

Reasumując: metoda prekonsolidacji podłoża kotwami gruntowymi może być racjonalną opcją projektowania posadowień podpór wiaduktów (a także innych budowli) w warunkach występowania w podłożu słabych przewarstwień.

Artykuł ukazał się jednocześnie w nr 7/2010, s. 378 „Inżynierii i Budownictwa”. ■