

Ekoślad kolumn żwirowych firmy Keller

Technologie geotechniczne stosowane przy posadowieniu obiektów, wzmacnianiu podłoża gruntowego czy zabezpieczaniu skarp i ścian wykopów – podobnie jak inne dziedziny budownictwa – generują ślad węglowy. Jego wielkość zależy nie tylko od samego procesu wykonawczego, ale przede wszystkim od rodzaju użytych materiałów (głównie stali i betonu) oraz ich transportu na plac budowy.

Aby skutecznie ograniczyć emisję CO₂ w geotechnice, kluczowe jest świadome dopasowanie technologii do warunków gruntowych i funkcji, jaką mają pełnić, przy jednoczesnym minimalizowaniu ingerencji w środowisko. W miarę możliwości warto sięgać po materiały naturalne, o niskim wpływie środowiskowym, które są dostępne lokalnie. Dobór odpowiedniej metody geotechnicznej to proces złożony, zależny od warunków gruntowych, wymaganej nośności oraz dopuszczalnych przemieszczeń. Z perspektywy inżynierskiej emisja CO₂ staje się dziś jednym z kluczowych wskaźników zrównoważonego rozwoju obiektu budowlanego w całym jego cyklu życia.

Dla zobrazowania skali pokażemy przykład budowy terminala głębokowodnego z terminalem przeładunkowym. Budowa i późniejsza rozbiórka nabrzeża głębokowodnego po 50 latach użytkowania generują ok. 45 t CO₂ na każdy metr bieżący konstrukcji. Wykonanie wzmocnienia pod-

Lech Danieluk

dyrektor Biura Szczecin Keller Polska

łoża pod sam obszar terminala przeładunkowego wzdłuż wspomnianego nabrzeża również wiąże się z dodatkową emisją CO₂. Przyjęto wykonanie wzmocnienia podłoża gruntowego na obszarze 1 ha do głębokości 10 m. Postanowiliśmy porównać dwie najbardziej popularne na polskim rynku technologie wzmacniania gruntu:

1. wykonanie kolumn betonowych o średnicy ok. 40 cm w siatce kwadratowej 2,4 × 2,4 m,
2. wykonanie kolumn żwirowych o średnicy ok. 60 cm w siatce kwadratowej 2,0 × 2,0 m.

Wyniki przedstawiono w postaci wykresu słupkowego. Liczby pokazują jednoznacznie, jak diametralnie różny ślad węglowy pozostawiają po sobie obie technologie. Dla przyjętych założeń ślad węglowy popularnych kolumn żwirowych jest prawie trzykrotnie niższy niż w wypadku klasycznych betonowych kolumn przemieszczenio-

wych. Na wykresie można też zauważyć, że w przypadku kolumn betonowych głównym źródłem emisji jest beton, natomiast żwirowych – transport materiału. Warto nadmienić, że jeśli chodzi o produkcję betonu, zmniejszenie emisji CO₂ wiąże się z diametralną zmianą czy usprawnieniem bardzo wielu procesów technologicznych, związanych m.in. z produkcją cementu, dodatków do betonu czy samego betonu. Natomiast jeśli chodzi o kolumny żwirowe, zmniejszenie emisji CO₂ w transporcie jest dużo prostsze – wystarczą silniki elektryczne. Owszem, firmy transportowe, szczególnie w Polsce, nie są jeszcze na to gotowe, jednak samo rozwiązanie już jest – pozostaje jedynie kwestia jego wdrożenia.

Zwykle alternatywą dla wzmocnień wgłębnych jest zastosowanie klasycznej wymiany gruntów. Niemniej jednak z tym rozwiązaniem wiążą się ryzyka zarówno wykonawcze, jak i projektowe. Do ryzyka wykonawczego należy zaliczyć przede wszystkim niepewność i trudność w kontroli poprawności wymiany pod względem wymaganej głębokości oraz parametrów gruntu po wymianie (konieczność zagęszczenia gruntu pod wodą). W zakresie ryzyka projektowego jest konieczność oszacowania rzeczywistej objętości gruntu wymagającego wymiany na podstawie punktowych badań geologicznych. Bardzo często o podjęciu decyzji o realizacji wymiany decydują względy finansowe, ale czy tylko kwestia różnicy kosztów powinna być tutaj decydująca? Wymiana gruntu jest procesem długotrwałym, wymaga wywieżenia i utylizacji wykopanych gruntów słabych (wraz z kosztami BDO) oraz bardzo często ogromnych ilości materiału zasypowego (koszty zakupu

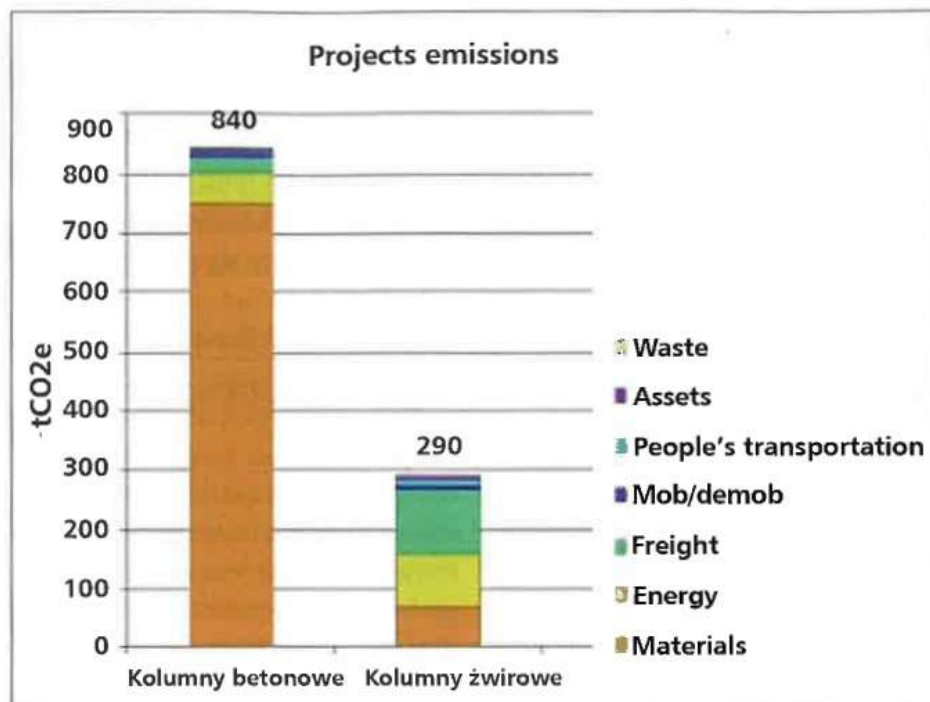


i transportu). Dodatkowo w wielu przypadkach, z uwagi na uwarunkowania lokalizacyjne, konieczne jest wykonywanie tymczasowego zabezpieczenia wykopu (np. wyciągana ścianka stalowa), które jako dodatkowy element wydłuża czas realizacji, zwiększa koszty oraz ślad węglowy w zakresie energii potrzebnej do przywiezienia, pograżenia, wyciągnięcia i wywozu brusów.

Z pewnością alternatywą dla wymiany gruntów, jaką warto wziąć pod uwagę, jest wzmocnienie podłoża gruntowego w technologii wibrowymiany za pomocą kolumn żwirowych KSS. Z założenia jest to rozwiązanie równoważne klasycznej wymianie gruntów, na co wskazuje chociażby jego nazwa.

Kolumny żwirowe należą do grupy technologii geotechnicznych z najdłuższym stażem. Jest to jedna z dwóch technologii Kellera, obok jet grouting, dla której produkujemy maszyny samodzielnie w fabryce Renchen w Niemczech.

To, jak wygląda proces wykonania kolumn żwirowych KSS, pokazano na rysunku. W pierwszej fazie wibrator wypełnia się kruszywem i pogrąża w podłoże przy udziale wibracji oraz docisku maszyny podstawowej. Po osiągnięciu przewidzianej głębokości następuje formowanie poszerzonej stopy piaskowo-żwirowej w gruncie nośnym. W drugiej fazie jest formowany trzon kolumny. W tym celu do wibratora wsypuje się od góry, przez zamykaną śluzę, kruszywo o uziarnieniu od 0 do 40 mm. W trakcie podciągania wibratora do góry kruszywo wypływa spod jego ostrza przy udziale sprężonego powietrza i wypełnia przestrzeń zajęta wcześniej przez wibrator. Z kolei ponowne opuszczenie wibratora powoduje rozepchnięcie kruszywa na boki oraz zwiększenie efektywnej średnicy kolumny. Posuwisto-zwrotny ruch wibratora kontynuowany jest na całej długości kolumny. Dodatkowym efektem, jaki towarzyszy formowaniu trzonu kolumny, jest poprawienie parametrów geotechnicznych otaczającego gruntu.



Wykres. Emisja CO₂ dla dwóch najbardziej popularnych technologii na 10 000 m² wzmocnionego podłoża gruntowego

Średnica kolumn piaskowo-żwirowych wynosi od ok. 0,6 do ok. 0,8 m i zależy od podatności bocznej gruntu.

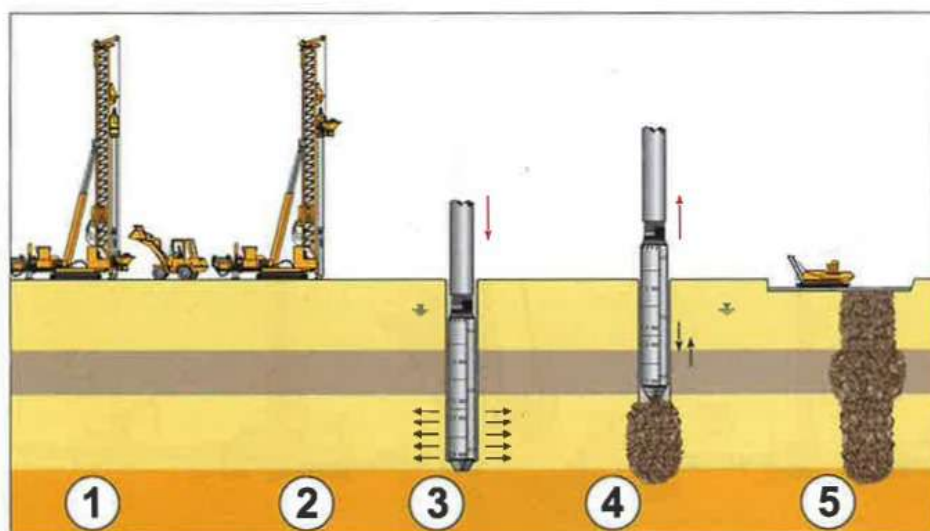
Tak wzmocnione podłoże gruntowe nadaje się do posadowienia praktycznie wszystkich liniowych obiektów infrastrukturalnych i wielu obiektów kubaturowych.

Zaletami technologii wibrowymiany są:

- możliwość obserwacji i automatycznej

rejestracji podstawowych parametrów produkcyjnych kolumn;

- zastosowanie wibratora wgłębnego z wbudowanym motorem elektrycznym, który przekazuje jednakową energię zagęszczania w podłoże, niezależnie od głębokości pogrążenia wibratora (w odróżnieniu do wibratorów nasadowych);
- dostosowanie długości każdej kolumny do rzeczywistej głębokości zalegania



Rys. Etapy wykonywania kolumn piaskowo-żwirowych KSS: 1 – zasyp kosza kruszywem, 2 – ustawienie maszyny na punkcie, 3 – pogrążenie wibratora na projektowaną głębokość, 4 – formowanie trzonu kolumny, 5 – wyrównanie platformy i powierzchniowe zagęszczenie (np. walcem)

Tab. Zestawienie ilości materiału, transportów i szacunkowy czas – porównanie wymiany klasycznej oraz wibrowymiany za pomocą kolumn żwirowych

Technologia	Rozwiązanie projektowe	Przygotowanie platformy roboczej	Grunt do wywozu i utylizacji, karty BDO	Teoretyczna ilość materiału do wbudowania	Czas wykonania	Szacunkowy koszt [mln zł netto]
Wymiana gruntów	wymiana do 5 m, zasypanie Pd, zagęszczenie	nie dotyczy	20 m x 300 m x 5 m + poszerzenie obszaru wymiany = ok. $2 \times 5 \text{ m}/2 \times 300 = 30\,000 + 1500 = 31\,500 \text{ m}^3$ oraz ok. 20–30% dodatku na rozpulchnienie, co daje ok. $39\,000 \text{ m}^3$	39 000 m ³	ok. 17 tygodni (500 m ³ /dzień)*	ok. 3,90 (przy założeniu kosztu wymiany 100 zł/m ³)**
Wzmocnienie kolumnami żwirowymi	długość kolumn żwirowych L = 6 m, rozstaw 2,0 x 2,0 m	wymagane: 40 cm przekruszu betonowego oraz geotkanina separacyjna	nie dotyczy	1500 szt. x 6,0 m x 1,2 m ³ /m.b. = 10 800 m ³ ***	do 7 tygodni	ok. 2,0 (wraz z kosztem platformy roboczej)

* Wydajność średnia, zależna od ilości sprzętu i uwarunkowań na budowie.

** Koszt zależny od lokalizacji budowy; przyjętą cenę należy traktować jako uśrednioną według stanu na dzień powstania tego artykułu.

*** Zużycie kruszywa w kolumnach zależy od warunków gruntowych; przyjętą ilość należy traktować jako bezpieczny szacunek.

nośnych warstw gruntu oraz średnicy kolumny do reakcji bocznej gruntu dzięki ciągłej rejestracji oporu penetracji wibratora w podłoże gruntowe;

- łatwość wykonania, po realizacji kolumn, liniowych wykopów w obszarze wzmocnienia kolumnami do celów np. robót instalacyjnych oraz duża elastyczność dostosowywania rozstawów kolumn do potrzeb;

- poprawienie parametrów wytrzymałościowych otaczającego gruntu i podłoża nośnego;

- przestrzenny charakter wzmocnienia i podatność rozwiązania niepowodującego nadmiernych zmian sztywności podłoża;

- technologia przyjazna dla środowiska ze względu na zastosowanie naturalnych materiałów oraz niski ślad węglowy.

W świecie inżynierskim operuje się liczbami, stąd też w tabeli został przedstawiony przykład porównania wymiany gruntów i wzmocnienia kolumnami żwirowymi. Jest to szacunkowe zestawienie ilości materiałów oraz transportów określonych dla posadowienia nasypu drogowego szerokości 20 m, długości 300 m, na gruntach słabych, z następującym układem warstw:

- do 3,0 m od poziomu terenu – nasyp niebudowlany (Gp + Pd + Nm),

- warstwa gruntów organicznych o miąższości ok. 2,0 m (namułu IL = 0,5, torf),

- piaski drobne, średnio zagęszczone.

Z zestawienia w tabeli jednoznacznie wynika, że wzmocnienie podłoża gruntowego w technologii wibrowymiany za pomocą kolumn żwirowych w tym przypadku jest rozwiązaniem prostszym do realizacji, mniej ryzykownym technicznie, szybszym, tańszym, a przede wszystkim bardziej przyjaznym dla środowiska naturalnego. Podsumowując, w przedstawionym przykładzie kolumny żwirowe w porównaniu do klasycznej wymiany pozwalają na ograniczenie:

1. czasu realizacji o 60%,
2. zużycia materiału z dowozu o 27%,
3. urobku technologicznego o 100%,
4. kosztów inwestycji w zakresie robót ziemnych/geotechnicznych o ok. 50%.

Kolumny żwirowe to tylko jeden z wielu przykładów dostępnych obecnie technologii geotechnicznych. Projektanci mają dziś do dyspozycji szeroki wachlarz rozwiązań, jednak wybór najbardziej optymalnej metody wymaga specjalistycznej wiedzy i doświadczenia. Bez wsparcia ekspertów trudno jest podjąć decyzję, która

będzie jednocześnie efektywna technicznie, ekonomicznie oraz środowiskowo.

Dlatego zachęcamy wszystkich uczestników procesu budowlanego, niezależnie od etapu ich inwestycji, do konsultacji z firmami specjalizującymi się w technologiach geotechnicznych, takimi jak Keller Polska. Dzisiejsze możliwości komunikacji, dostęp do wiedzy i doświadczeń branżowych są ogromne – to od nas zależy, czy i jak z nich skorzystamy. Współpraca z ekspertami już na wczesnym etapie projektu może przynieść wymierne korzyści: lepsze dopasowanie technologii, niższe koszty, krótszy czas realizacji i mniejszy wpływ na środowisko.

W 2026 r. Keller Polska będzie świętować swoje 30-lecie, co na przestrzeni 160 lat istnienia grupy Keller wygląda może skromnie, ale dzięki współczesnym technikom informacyjnym inżynierowie w Polsce mogą korzystać z całego dorobku i doświadczeń firmy. ■

Literatura

1. www.greenpathrecovery.com.
2. G.P. Maas, *Comparison of quay wall design*.
3. D. Trang, *Application of life cycle management on port design and operations*.
4. www.geotechnicalcarboncalculator.com.