

Ograniczenie śladu węglowego w geotechnice sposobem na uniknięcie globalnej awarii środowiska naturalnego

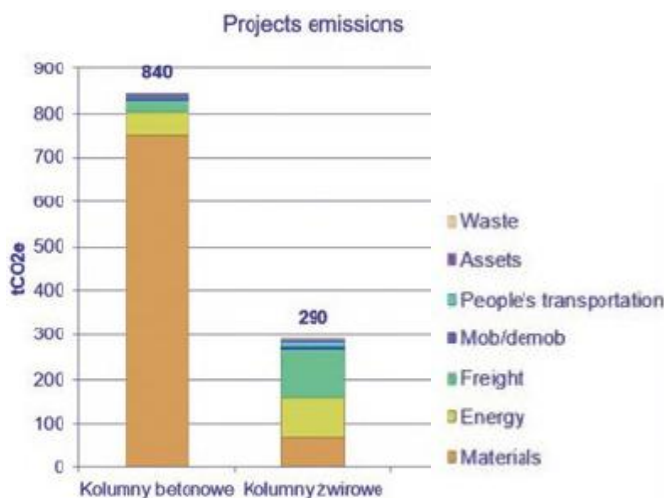
LECH DANIELUK, MARCIN MARCINIAK
Keller Polska

Podstawowym celem w procesie projektowania obiektu kubaturowego czy infrastrukturalnego jest zapewnienie jego bezpiecznej pracy zarówno w fazie budowlanej, jak i użytkowej. Oczywiście oprócz bezpieczeństwa niezwykle istotne są takie czynniki jak czas budowy, ekonomia, a od niedawna dostępność materiałów. Zbiór tych czynników jest brany pod uwagę podczas planowania, projektowania, a później realizacji inwestycji, niemniej jednak bezpieczeństwo pracy obiektu, a więc zapobieganie jego awarii jest zawsze stawiane na pierwszym miejscu. Aktualna sytuacja geopolityczna, ale przede wszystkim klimatyczna na świecie, zmusza wszystkich uczestników procesu budowlanego do wzięcia pod uwagę jeszcze jednej kwestii: jaki wpływ realizacja inwestycji będzie miała na lokalne środowisko. Zmiany klimatyczne są w dzisiejszych czasach efektem bardzo odczuwalnym. Wszyscy z Was, urodzeni w latach 80. i wcześniej pamiętają, że zimy w Polsce zawsze były śnieżne i mroźne – dziś jak jest, sami widzimy. Zmiany klimatu, z jakimi mamy dziś do czynienia, niestety w dużej mierze są spowodowane przez działalność sektora budownictwa. Mając tego świadomość dużo firm budowlanych zna i stosuje zasadę zrównoważonego rozwoju. Zagadnienie w jaki sposób go osiągnąć oraz obiektywnie zmierzyć jest jednak niezwykle złożone. Niemniej jednak zbiór tych wszystkich działań to nic innego, jak zapobieganie globalnej awarii środowiska naturalnego. O ile skutki awarii konstrukcji budowlanej mają zawsze charakter lokalny, to nie odpowiedzialne działania sektora budownictwa w zakresie ochrony środowiska mogą doprowadzić do awarii, której skutki będą odczuwalne w znacznie szerszym obszarze. Jako przykład można przywołać hipotetyczną budowę elektrowni wodnej, czy farmy wiatrowej, do zbudowania której użyjemy materiałów o bardzo wysokim śladzie węglowym. Cóż z tego, że powstanie obiekt wytwarzający zieloną energię, jeśli zanim to się stanie doprowadzimy do całkowitej degradacji środowiska poprzez nadmierną produkcję CO₂. Zrównoważony rozwój w budownictwie w aspekcie środowiskowym jest naszym zdaniem podstawą w zapobieganiu awarii środowiska naturalnego w wyniku procesu budowlanego. Z uwagi na bardzo szeroki aspekt tego zagadnienia oraz wąską specjalizację firmy Keller, ograniczymy się do analizy powyższej tezy w zakresie technologii geotechnicznych.

Pod pojęciem zrównoważonego rozwoju John Elkington ukrył sumę bilansu zysków i strat, tzw. TBL (ang. triple bottom line) „Ludzi, Planety i Zysku” [1]. TBL to termin istotny dla inwestorów oraz korporacji w podejmowaniu decyzji biznesowych. Zgodnie z ideą TBL zamiast podejmować decyzje inwestycyjne tylko na podstawie oczekiwanych zwrotów, tj. opartych tylko na elemencie „zysku” decyzje powinny uwzględniać także zwroty środowiskowe i społeczne. TBL zaleca, aby firmy skupiały się na kwestiach społecznych i środowiskowych tak samo jak na zyskach. TBL ma na celu ocenę poziomu zaangażowania inwestorów

i korporacji w społeczną odpowiedzialność biznesu i jego wpływu na środowisko. Prawdziwie zrównoważony biznes można opisać równaniem $\text{Ludzie} + \text{Planeta} = \text{Zysk}$. Zysk jest rezultatem dostarczania ludziom i planecie wartości. Nie powinien być ani większy ani mniejszy [1].

Z inżynierskiego punktu widzenia emisja CO_2 jest miarą zrównoważenia środowiskowego obiektu budowlanego w trakcie jego całego „życia”. Szacuje się, że wybudowanie np. nabrzeża głębokowodnego, a następnie wyburzenie go po okresie 50 lat eksploatacji, wiąże się z emisją CO_2 w ilości około 45 ton/mb nabrzeża [2]. Wzmocnienie podłoża gruntowego na obszarze terminalu wiąże się także z dodatkową emisją CO_2 . Na wykresie (rys. 1) przedstawiono porównanie emisji dla wybranych technologii przy założeniu wzmocnienia podłoża na obszarze 1 hektara do głębokości 10 m. Mając na uwadze zdolność poszczególnych technologii do redukcji osiadania przyjęto wykonanie kolumn betonowych w siatce 2,4' 2,4 m i kolumn żwirowych w siatce 2' 2 m. Z porównania wynika, że w przypadku kolumn betonowych przeważającym składnikiem emisji jest materiał, czyli beton a dla kolumn żwirowych jest to transport.



Rys. 1 – Emisja CO_2 dla wybranych technologii na 10 000 m^2 wzmocnionego podłoża gruntowego. Źródło: Kalkulator emisji – Keller Polska.

Technologią, którą warto również brać pod uwagę mówiąc o niskiej emisji CO_2 są niezbrojone kolumny cementowo-gruntowe DSM, do których wytworzenia wykorzystuje się zaczyn cementowy. Technologia DSM dzięki niezwykle szerokim możliwościom zastosowania w budownictwie jest wielokrotnie brana pod uwagę przez projektantów już na wczesnym etapie projektowania. Brak urobku technologicznego, wibracji podczas wykonywania kolumn oraz stosunkowo niewielkie ilości cementu używane do formowania kolumn w gruncie należą do podstawowych zalet tej technologii.

Ograniczeniu emisji, obniżeniu kosztów oraz maksymalnemu wydłużeniu okresu użytkowania ma służyć program zarządzania życiem konstrukcji [3], tj. LCM (ang. life cycle management). Program obejmuje trzy podstawowe fazy: projektowania, budowy i utrzymania.

Fazę projektowania można podzielić na etapy: badań, planowania oraz wymiarowania. Bardzo ważne znaczenie dla ostatecznych kosztów inwestycji i jej zrównoważenia ma często w praktyce bagatelizowana przez inwestorów faza badań. Pozorne oszczędności na badaniach, np. badaniach geotechnicznych, ich niewystarczający zakres lub nieodpowiedni program badań, który uniemożliwia wyprowadzenie podstawowych parametrów wytrzymałościowych gruntu, powodują, że konstrukcje projektowane są na tzw. „bezpiecznych” parametrach

zaczepniętych z literatury. Takie podejście już w pierwszym kroku skazuje konstrukcję na przewymiarowanie i czyni ją nieoptymalną. Brak optymalnych rozwiązań niekorzystnie odbija się zarówno na budżecie Inwestora, ale i na środowisku naturalnym. Zatem od ilości i zakresu badań geotechnicznych zależy nie tylko bezpieczeństwo konstrukcji, ale także jej koszt oraz ślad środowiskowy mierzony emisją CO₂.

Bardzo ważnym elementem w projektowaniu i wymiarowaniu konstrukcji są narzędzia obliczeniowe. Współczesne specjalistyczne oprogramowanie pozwala na przestrzenne (3D) modelowanie konstrukcji i podłoża gruntowego, dzięki czemu wyniki obliczeń są bardzo zbliżone do rzeczywistości. Przy użyciu zaawansowanych narzędzi numerycznych 3D można w sposób optymalny zwymiarować poszczególne elementy konstrukcji, nie dodając im „ciężaru” wynikającego z uproszczonych obliczeń w stanie płaskim. Bardzo ważną rolę w programie zarządzania życiem konstrukcji pełni nowoczesny, zautomatyzowany monitoring – w naszym kraju niestety niedoceniany. O ile np. na projektach tzw. „Oil & Gas” jakość robót, gwarancje wykonania oraz sposób rejestracji parametrów produkcyjnych w trakcie pracy mają znaczenie na równi z ceną ich wykonania, to na pozostałych inwestycjach nadal niestety w dużej mierze rządzi ekonomia.

Jak to działa w praktyce na przykładzie branży geotechnicznej? Technologie geotechniczne wykorzystywane do posadowienia obiektów, wzmocnienia podłoża gruntowego czy zabezpieczenia skarp i ścian wykopów, tak jak wszystkie gałęzie budownictwa, zostawiają w naszym środowisku ślad węglowy. Jego wielkość zależy od realizacji samych prac geotechnicznych, ale przede wszystkim zastosowanych materiałów (w szczególności stali i betonu) oraz ich transportu do miejsca wbudowania. Aby uchronić się przed globalną awarią środowiska naturalnego, musimy świadomie dobierać technologie geotechniczne do warunków gruntowych oraz celu jakiemu mają służyć, pamiętając jednak o tym aby jak najmniej ingerować w naturę. Jeżeli jest to tylko możliwe powinniśmy zastosować materiały pochodzenia naturalnego (zerowy lub minimalny wpływ na środowisko), dostępne w pobliżu miejsca wykonania (ograniczenie odległości ciężkich transportów samochodowych).

Wybór metody geotechnicznej jest procesem złożonym, uwarunkowanym głównie warunkami gruntowymi, wymaganymi nośnościami oraz dopuszczalnymi przemieszczeniami (osiadaniem).

Bardzo często poszukuje się technologii, które są alternatywą dla wymiany gruntów czyli wykopania gruntów słabych często z koniecznością odwodnienia, dowóz i zagęszczenie materiałem o kontrolowanych parametrach. Z wymianą gruntów bardzo często wiąże się ryzyko zarówno wykonawcze (kontrola poprawności wymiany pod względem wymaganej głębokości oraz parametrów gruntu po wymianie) jak również projektowe (określenie rzeczywistej ilości gruntu wymagającego wymiany na podstawie kilku badań geologicznych oraz zasięgu obszaru wymiany w planie). Bardzo często o tym czy wymiana jest realizowana czy nie decydują względy finansowe, ale czy tylko kwestia różnicy kosztów powinna być tutaj decydująca? Wymiana gruntu jest procesem długotrwałym, wymaga utylizacji wykopanych gruntów słabych i ich wywiezienia (wraz z kosztami BDO) oraz bardzo często ogromnych ilości materiału zasywowego (koszty zakupu i ich 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 nam czas realizacji, zwiększa koszty oraz ślad węglowy w zakresie energii potrzebnej do przywiezienia, pograżenia, wyciągnięcia i wywozu brusów.

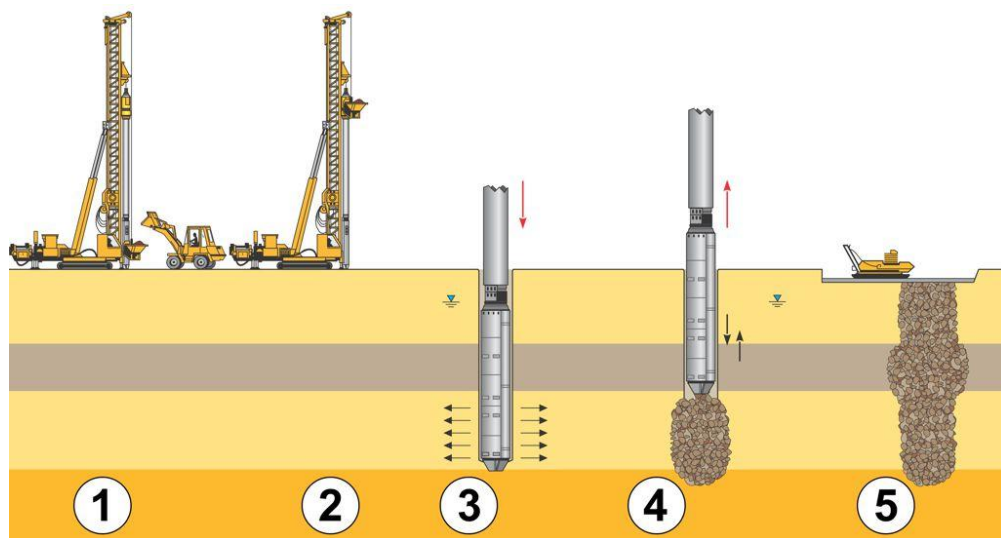
Z pewnością alternatywą dla wymiany gruntów, jaką warto wziąć pod uwagę jest wzmocnienie podłoża gruntowego w technologii wibrowymiany za pomocą kolumn żwirowych KSS. Kolumny żwirowe należą do grupy technologii geotechnicznych z najdłuższym stażem.

Podwaliny technologii zostały stworzone jeszcze w latach 30-tych ubiegłego stulecia, a dynamiczny rozwój przeżywają od wczesnych lat 70-tych XX wieku.

Jak wygląda samo wykonania kolumn żwirowych KSS? W pierwszej fazie wykonania kolumny żwirowej wibrator wypełnia się kruszywem i pogrąża w podłoże przy udziale wibracji i docisku maszyny podstawowej. Po osiągnięciu przewidzianej głębokości następuje formowanie poszerzonej stopy piaskowo-żwirowej w gruncie nośnym, przy czym podłoże rodzime doznaje dodatkowo wzmocnienia na skutek zagęszczenia (grunty sypkie) lub przyspieszonej konsolidacji (nawodnione grunty spoiste).

W drugiej fazie następuje formowanie trzonu 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 ostrza wibratora przy udziale sprężonego powietrza i wypełnia przestrzeń zajęta wcześniej przez wibrator. Z kolei ponowne opuszczenie wibratora powoduje rozepchnięcie kruszywa na boki i 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.

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



Rys. 2 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).

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

Zaletami technologii wibrowymiany są:

- możliwość obserwacji i automatycznej rejestracji podstawowych parametrów produkcyjnych kolumn,
- zastosowanie wibratora wgłębnego z wbudowanym silnikiem elektrycznym, który przekazuje jednakową energię zagęszczania niezależnie od głębokości pogrążenia wibratora w podłoże (w odróżnieniu do wibratorów nasadowych),

- dostosowanie długości każdej kolumny do rzeczywistej głębokości zalegania nośnych warstw gruntu oraz średnicy kolumny do reakcji bocznej gruntu dzięki ciągłej rejestracji oporu penetracji wibratora w podłoże gruntowe,
- łatwość wykonania (po wykonaniu 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, które są korzystne dla prawidłowej eksploatacji układu torowego,
- technologia przyjazna dla środowiska ze względu na zastosowanie naturalnych materiałów oraz niski ślad węglowy.

Mamy świadomość, że jako inżynierowie, najlepiej rozumiemy czyste fakty, najlepiej przedstawione na liczbach, stąd też pokusiliśmy się o mały przykład. Poniżej szacunkowe zestawienie ilości materiałów i transportów określonych dla przykładu posadowienia nasypu drogowego szerokości 20 i długości 300 m, na gruntach słabonośnych. Układ warstw przedstawia się następująco:

- do 3,0 m od poziomu terenu nasyp niebudowlany ($G_p + P_d + N_m$),
- warstwa organiki o miąższości około 2,0 m (namuł $I_L = 0,5$, torf),
- piaski drobne średniozagęszczone.

Tablica 1. Zestawienie ilości materiału, transportów i szacunkowy czas wykonania – porównanie wymiany klasycznej z wibrowymianą 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 PLN netto]
Wymiana gruntów	Wymiana do 5 m, zasypianie P_d , zagęszczenie	Nie dotyczy	20' 300' 5 m + poszerzenie obszaru wymiany = ok. 2' 5 m ² 300 = 30000+1500 = 31 500 m ³ Plus ok. 20–30% dodatku na rozpulchnienie daje około 39 000 m ³	39 000 m ³	ok. 17 tygodni (500 m ³ /dzień) *	ok. 2,0 (przy założeniu kosztu wymiany 50 zł/m ³) **
Wzmocnienie kolumnami żwirowymi	Długość kolumn żwirowych $L = 6$ m, rozstaw 2,0' 2,0 m	Wymagana: 40 cm przekrzesz betonowy + geotkanina separacyjna	Nie dotyczy	1500 szt. ' 6,0 m ' 1,2 m ³ /mb = = 10 800 m ³ ***	do 7 tygodni	ok. 1,3 (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 wg naszej wiedzy na dzień dzisiejszy.

(***) Zużycie kruszywa w kolumnach zależy od warunków gruntowych, powyższą ilość należy traktować jako bezpieczny szacunek.

Z powyższego zestawienia 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. Na uwagę zasługuje również fakt,

iż ilość kruszywa naturalnego również ma swoje ograniczone zasoby i to, że na chwilę obecną jest dostępne nie oznacza, że możemy czerpać z tych źródeł w nieskończoność. Podsumowując, w przykładzie kolumny żwirowe w porównaniu do klasycznej wymiany pozwalają na:

- 1) ograniczenie czasu realizacji o 60%,
- 2) ograniczenie zużycia materiału z dowozu o 27%,
- 3) ograniczenie urobku technologicznego o 100 %,
- 4) ograniczenie kosztów inwestycji w zakresie robót ziemnych/geotechnicznych o około 35%.

Oczywiście kolumny żwirowe to tylko jeden z przykładów. Dziś do dyspozycji Projektanta jest cały wachlarz technologii geotechnicznych, jednakże bez wiedzy na poziomie eksperckim, niezwykle trudno jest wybrać tę najbardziej optymalną dla naszego projektu. Dlatego też zachęcamy do kontaktu wszystkich uczestników procesu budowlanego na każdym jego etapie z firmami specjalizującymi się w technologiach geotechnicznych, takich jak np. Keller Polska. Możliwości, jakie daje współczesny świat w zakresie kontaktu, korzystania z dostępnej wiedzy i doświadczeń innych pozwalają na wiele i tylko od nas samych zależy, jak z tego skorzystamy.

Jak widać temat globalnej awarii środowiska naturalnego w aspekcie realizacji obiektów budowlanych jest tematem na niejeden artykuł. Od nas wszystkich: inwestorów, projektantów, wykonawców oraz bezpośrednich użytkowników obiektów budowlanych, zależy czy projekty te zostaną zrealizowane w sposób bezpieczny, optymalny technicznie i ekonomicznie oraz użytkowane jak najdłużej, z jak najmniejszym wpływem na środowisko w którym żyjemy. Optymizmem napawa fakt, iż w coraz szerszym gronie odbywają się dyskusje na ten temat oraz to, że nie zawsze ochrona środowiska, jako dodatkowy czynnik realizacji budowy, musi wiązać się z większymi kosztami realizacji budowy. Jak pokazuje przedstawiony przykład, może być zupełnie na odwrót.

Dziś wielu specjalistów w zakresie geotechniki łamie sobie głowy nad pytaniem: co dalej? Jak modyfikować technologie, znane nam dziś. Materiał z odpadów poprodukcyjnych (żużel, szlaka, przekrusz itp.), inteligentne stosownie mikroorganizmów do neutralizacji skażonego środowiska, czy iniekcje różnego rodzaju poprawiające parametry gruntów ściśliwych. Zbrojenie z materiałów kompozytowych, czy masywne obudowy wykopu lub „inteligentne” – nie wymagające zbrojenia. Pogoń za lepszym pomysłem trwa, nakręca go popyt na lepsze, tańsze, „czystsze”, a ogranicza jedynie nasza wyobraźnia.

Literatura

1. Strona internetowa: www.greenpathrecovery.com.
2. G.P. Maas, „Comparison of quay wall design.
3. Doan Trang, „Application of life cycle management on port design and operations”.

Reducing carbon footprint in geotechnics a way to avoid global environmental failure