

# Wzmacnianie gruntów słabonośnych pod nasypem drogowym techniką łączenia technologii

Niniejszy artykuł traktuje o połączeniu dwóch technologii wzmacniania podłoża gruntowego, które w znakomity sposób dopełniły się wzajemnie, dając nowy wymiar spojrzeniu na dynamiczne metody wzmacniania podłoża gruntowego. Zrealizowana inwestycja wykazała oczekiwane rezultaty, stając się ostatecznym kryterium oceny poprawności połączenia technologii.

Przygotowanie podłoża gruntowego do posadowienia nasypu drogowego jest istotnym zadaniem w procesie budowy drogi. Projektanci i wykonawcy mają do dyspozycji wiele technologii, każda technologia ma swoje wady i zalety. Troską projektanta jest wybranie i zaproponowanie do realizacji optymalnej metody, która spełni w największym stopniu wymagania techniczne i ekonomiczne. Często zdarza się, że metoda racjonalna ekonomicznie nie jest wystarczająco efektywna technicznie, i odwrotnie.

## Opis problemu geotechnicznego

Na jednym z odcinków budowanej drogi krajowej nr 16 Olsztyn – Barczewo, w km 159 + 825 do km 160 + 000 po dodatkowych badaniach geotechnicznych zaobserwowano, że torfy i namuły sięgają miejscami do głębokości ok. 13,5 m poniżej poziomu terenu (rys. 1), czyli znacznie głębiej, niż pierwotnie ustalono. Dodatkowo sytuację pogarszał skłon warstw gruntów organicznych w kierunku prostopadłym do osi trasy.

Początkowo wykonawca zdecydował, że wystarczającym rozwiązaniem będzie wykonanie wymiany gruntu metodą wyparcia. Efektem zastosowania tej metody była tylko powierzchniowa wymiana, do głębokości około 5 m. Ponieważ poziom wody gruntowej na tym bagiennym terenie jest wysoki, gruntu nasypowego pod wodą nie udało się zagęścić tradycyjnymi metodami (walcami drogowymi). W tych złożonych warunkach geotechnicznych zaprojektowano nasyp drogowy o wysokości do 8 m.

W Katedrze Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego Politechniki Gdańskiej opracowano ekspertyzę dotyczącą stanu podłoża i przedstawiono alternatywną koncepcję wzmocnienia gruntu za pomocą połączenia metody dynamicznej wymiany (DR) i metody głębokiego zagęszczania gruntów (DDC).

## Metoda dynamicznej wymiany

Dynamiczna wymiana gruntu (DR - *dynamic replacement*) nie jest metodą nową, została szeroko opisana w wielu publikacjach i na licznych przykładach (2). Metoda ta polega na formowaniu w słabym gruncie kolumn z kruszywa mineralnego lub sztucznego. Wykorzystuje się w tej metodzie technikę ubijania gruntu masą

## Summary

This article is about combining two technologies of strengthening the subsoil, which in an excellent way complement each other, giving a completely new outlook on the dynamic methods of strengthening soil. Realized investment showed the expected results, making it the ultimate criterion for assessing the correctness of the connection of both technologies.

zrzucaną z określonej wysokości, która generuje uderzenie o wysokiej energii. Ubijak zrzucany z wysokości raz lub więcej razy formuje w gruncie krater, który wypełnia się kruszywem. Kruszywo ponownym ubijaniem wbija się w podłoże z jednoczesnym zagęszczaniem. W ten sposób formuje się w słabym gruncie kolumnę z zagęszczonego kruszywa. Dodatkowo uzyskuje się konsolidację słabego gruntu wokół kolumn.

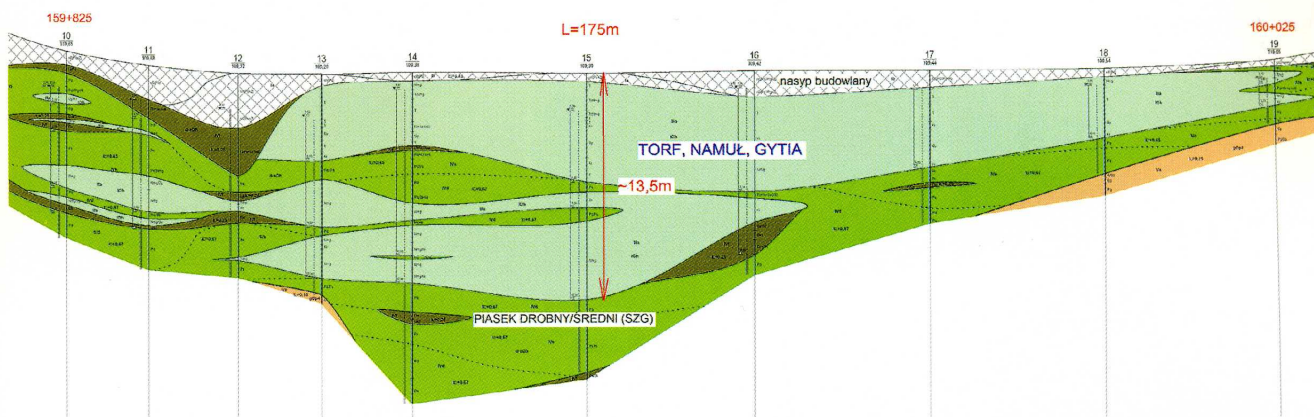
Decydujące znaczenie mają: wielkość masy ubijaka, jego kształt, wysokość zrzucania oraz rodzaj kruszywa. Praktyka wykazuje, że skuteczność tej metody uzyskuje się do głębokości około 6-7 m poniżej powierzchni gruntu. Chociaż metoda jest bardzo efektywna, w przypadku znacznych miąższości gruntów słabonośnych jest mało skuteczna.

## Metoda głębokiego zagęszczania gruntów

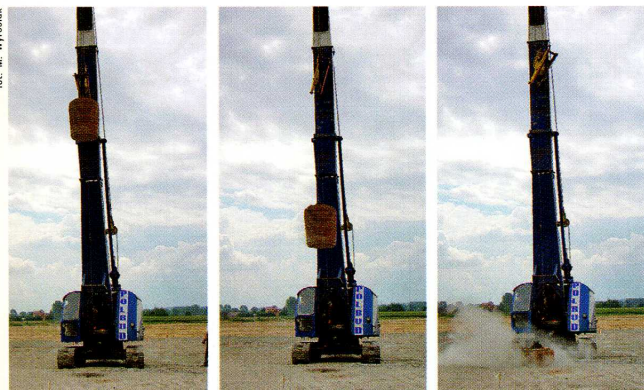
W klasie metod głębokiego zagęszczania gruntów jedną z najsukcesywniejszych jest metoda mikrowybuchów (DDC - *deep dynamic compaction*).

Podstawową cechą tej metody jest wykorzystanie wysokiej energii wygenerowanej w momencie eksplozji materiału wybuchowego. Detonacja materiału wybuchowego możliwa jest tylko przy zastosowaniu impulsu elektrycznego o wysokim napięciu, dla bezpieczeństwa nie stosuje się materiałów wrażliwych na detonację pod wpływem działania ognia. W metodzie mikrowybuchów stosuje się wydłużone ładunki, zanabojowane w szczelnym rękawie z folii PVC.

Przekrój II-II



Rys. 1. Przekrój podłużny – miąższość gruntów słabonośnych do 13,5 m (4)



Fot. 1. Przykład formowania krateru za pomocą ubijaka w metodzie dynamicznej wymiany

RODZAJ MATERIAŁU WYBUCHOWEGO	AMONIT 65H
Rozstaw punktów strzałowych	5 x 5 m
Całkowita liczba punktów strzałowych	272 szt.
Masa jednostkowa ładunków wybuchowych	1,5 kg/m.b.
Energia wybuchu	845 kJ/kg (1267 kJ/m.b.)
Cisnienie fali detonacyjnej	1450 MPa
Prędkość fali detonacyjnej	2980 m/s

Tab. 1. Parametry techniczne wzmocnienia podłoża gruntowego metodą DDC

Rozstaw kolumn DR	5 x 5 m
Całkowita liczba kolumn DR	473 szt.
Masa ubijaka	10 t
Energia udaru ubijaka	1470 kJ

Tab. 2. Parametry techniczne wzmocnienia podłoża gruntowego metodą DR

Fizykochemicznymi parametrami określającymi detonację są: ciśnienie, energia wybuchu i szybkość reakcji. Sam wybuch różni się od spalania tylko prędkością procesu chemicznego.

Proces fizyczny związany z wybuchem decyduje o efektywności metody zagęszczania gruntu. W pierwszych milisekundach detonacji dochodzi do wytworzenia znacznie wyższych niż w stanie wyjściowym ciśnienia oraz temperatury produktów wybuchu (gwałtownego spalania). Kilkanaście milisekund później następuje przejście w ośrodku gruntowo-wodnym fali detonacyjnej z prędkością ok. 3000 m/s. Ze względu na wydłużony kształt ładunku fala z największym impetem rozchodzi się poziomo, ponieważ wybuch niekulistych obłoków generuje asymetryczne i ukierunkowane pole ciśnienia (7).

Cisnienie fali detonacyjnej oddziałującej na ośrodek gruntowo-wodny wynosi około 1400 MPa. Fala detonacyjna powoduje również rozprężenie gazów wybuchowych, w wytworzonej kawernie gazy ulegają gwałtownemu schłodzeniu. Obniżenie temperatury wewnątrz kawerny, zgodnie z zasadami termodynamiki, powoduje obniżenie ciśnienia. W centrum wybuchu wytwarza się podciśnienie w stosunku do ciśnienia atmosferycznego.

Ponieważ woda w porach gruntu ma znacznie większą bezwładność od powietrza atmosferycznego, wewnątrz kawerny ustala się uprzywilejowany gradient wektora wyrównywania ciśnień, skierowany pionowo w dół. Z platformy roboczej na powierzchni terenu zasysany jest grunt mineralny, zanim woda z gruntem zdoła

zamknąć kawernę. W ten sposób w porach gruntu słabonośnego generowane jest ciśnienie konsolidacyjne, a przestrzeń w miejscu wybuchu wypełniana jest gruntem z platformy roboczej na powierzchni terenu (kolumny konsolidacyjne).

Badania teoretyczno-analityczne oraz metody symulacji komputerowej zjawisk wysokoenergetycznego oddziaływania na ośrodek gruntowy są przedmiotem analiz w Katedrze Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego Politechniki Gdańskiej.

## Zastosowanie metod DR i DDC w praktyce

Na obszarze występowania niekorzystnych warunków geotechnicznych, wymienionych powyżej, zastosowano połączone metody dynamicznej wymiany i mikrowybuchów.

Poniżej strefy częściowej wymiany gruntu, tj. 5 m poniżej poziomu terenu, zaprojektowano konsolidację gruntów organicznych metodą mikrowybuchów. Parametry techniczne zestawiono w tab. 1 (5).

Najdłuższe ładunki miały długość 10 mb. Jeden taki ładunek wygenerował energię rzędu 12600 kJ. Jest to energia równoważna zrzuconiu masy 10 t z wysokości ponad 120 m.

Po głębokiej konsolidacji gruntów słabonośnych, warstwę powierzchniową do głębokości około 5 m zagęszczono i wzmocniono kolumnami w technologii dynamicznej wymiany. Zaprojektowano kolumny DR zgodnie z zestawieniem parametrów przedstawionych w tab. 2.



foto z archiwum firmy Polbud-Pomorze

Fot. 2. Kolumna uformowana z kruszywa w gruncie słabonośnym

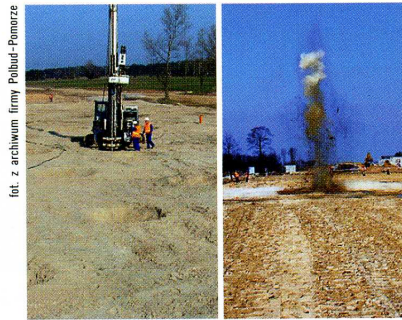
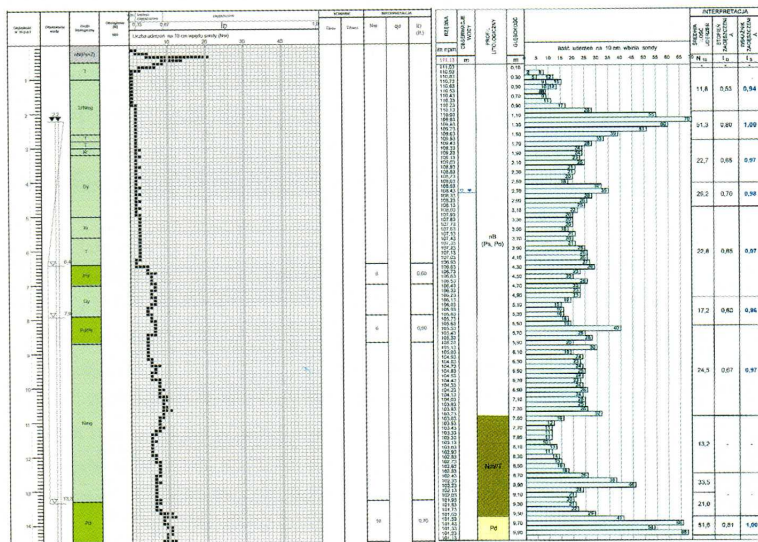
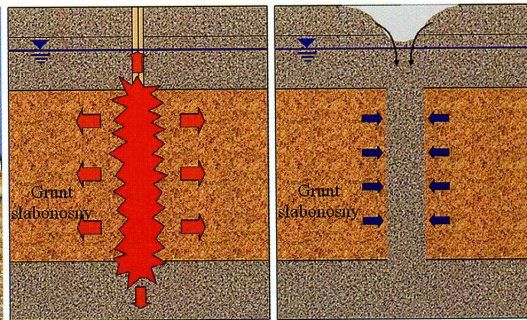
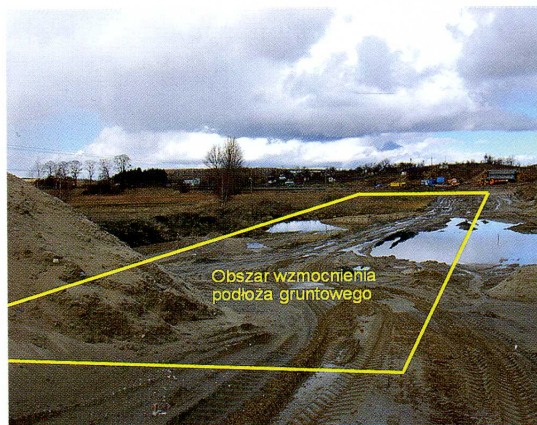


foto z archiwum firmy Polbud-Pomorze

Fot. 3. Metoda mikrowybuchów



Rys. 2. Sondowanie dynamiczne przed wzmocnieniem gruntu i po nim (3)



Fot. 4. Obszar wzmocnienia podłoża gruntowego na trasie DK 16

foto: M. Wyroślak

➤ Bezpośrednio po wykonaniu wzmocnienia podłoża gruntowego przystąpiono do formowania nasypu drogowego. Jest to kolejna zaleta połączenia technologii DR i DDC.

### Skuteczność metody

Skuteczność metody została potwierdzona przez Laboratorium Drogowe GDDKiA w Olsztynie. Na podstawie przeprowadzonego monitoringu stanu gruntów przed i po wzmocnieniu wykazano wyraźną poprawę parametrów gruntowych.

Uzyskano średni ważony stopień zagęszczenia na poziomie  $I_D = 0,67$  na całym profilu sondy dynamicznej od głębokości 0,8 m do 7,4 m. Zdecydowanie zwiększyła się również nośność namulów, już bezpośrednio po wykonaniu mikrowybuchów, chociaż proces konsolidacji jeszcze się nie zakończył.

Dotychczasowe obserwacje drogi podczas wielomiesięcznej eksploatacji pokazują brak deformacji nawierzchni (pasy drogowe bez oznak deformacji).

Połączenie technologii mikrowybuchów i dynamicznej wymiany okazało się stosunkowo tanim i efektywnym rozwiązaniem trudnego problemu geotechnicznego, w którym wystąpiła warstwa gruntów organicznych o znacznej miąższości. □

### Piśmiennictwo

1. Wyroślak M., Sikora Z.: *Wzmacnianie gruntów słabonosnych techniką łączenia efektywnych technologii*. 56. Konferencja Naukowo-Techniczna, Krynica 2010.

2. Wyroślak M., Sikora Z.: *Zastosowanie metod dynamicznych wzmacniania podłoża gruntowego pod nasyp drogowy - przypadek DK-16 Olsztyn - Barczewo*. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awary budowlane”. Szczecin - Międzyzdroje 2009.
3. Gryczmański M.: *Dynamiczne metody wzmacniania podłoża gruntowego*. XVI Ogólnopolska Konferencja „Warsztat pracy projektanta konstrukcji”, Ustroń 2001.
4. *Badanie głębokości wymiany gruntów organicznych i zagęszczenia nasypu na obwodnicy Barczewo, na odcinku wzmacnianym mikrowybuchami i konsolidacją dynamiczną km 159 + 825 do km 160 + 050*. Laboratorium Drogowe w Olsztynie, Gospodarstwo Pomocnicze GDDKiA, Olsztyn 2008.
5. *Opinia geotechniczna odnośnie warunków gruntowo-wodnych obszaru przeznaczonego pod budowę nasypu budowlanego drogi krajowej nr 16 (od km 159 + 825 do km 160 + 050) w rejonie miejscowości Barczewo*. Zakład Geologiczny „Geol”, Olsztyn 2007.
6. *Specyfikacja techniczna materiału wybuchowego Amonit 65H*. ZTS Erg-Bieruń.
7. Kuczaj A.: *Praca dyplomowa w specjalności komputerowe metody w fizyce wybuchu*. WAT, 1999.
8. Imiołek R.: *Łączenie technologii w geotechnice*. „Magazyn Autostrady”, nr 10/2008.

*Autorzy pragną podziękować za użyczone materiały pomocnicze firmie Polbud-Pomorze Sp. z o.o., a w szczególności dr. inż. R. Imiołkowi, firmującemu zastosowanie technologii mikrowybuchów w kraju i za granicą. Dyskusje tematyczne z prof. E. Dembickim były inspiracją do napisania tego artykułu, za co wyrazamy swoją wdzięczność.*