



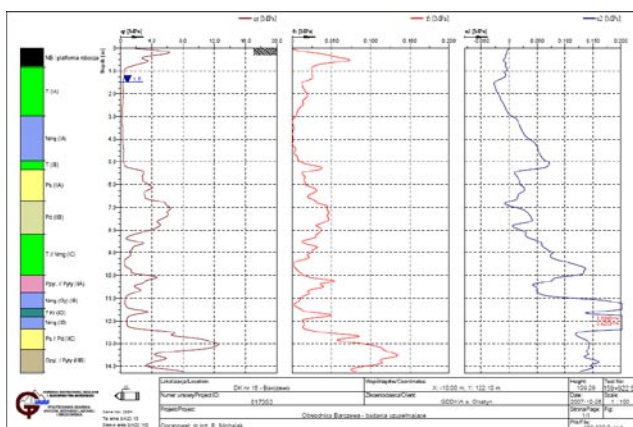
dr inż. Ryszard Imiolek

# Łączenie technologii w geotechnice

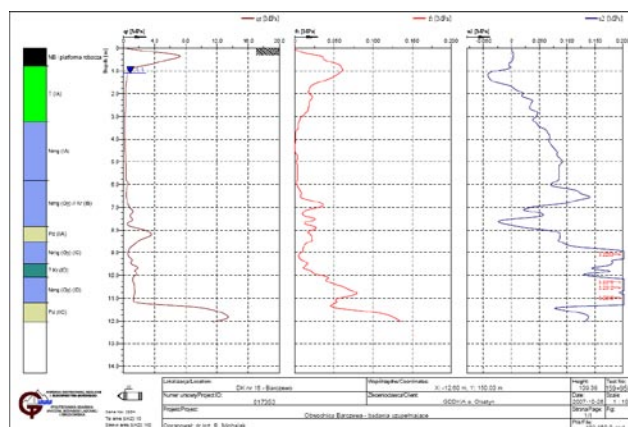
Mariaż technologii okazał się ratunkiem dla inwestycji, która niespodziewanie napotkała problemy. W trakcie budowy krajowej szesnastki natknięto się na torfowiska i namuły, które mogły doprowadzić do poważnych przestojów i znacznego powiększenia budżetu budowy. Z odsieczą nadeszły nowe, notabene wynalezione w Polsce, technologie geotechniczne: mało znane mikrowybuchy i zmodyfikowana forma dynamicznej wymiany gruntu. Zamiast miesięcy zwłoki i olbrzymich kosztów w 30 dni udało się zrealizować wzmocnienie, przyspieszyć konsolidację gruntu i osiągnąć do 1,20 m osiadań oraz kontynuować roboty budowlane tuż po zakończeniu prac geotechnicznych.

## Summary

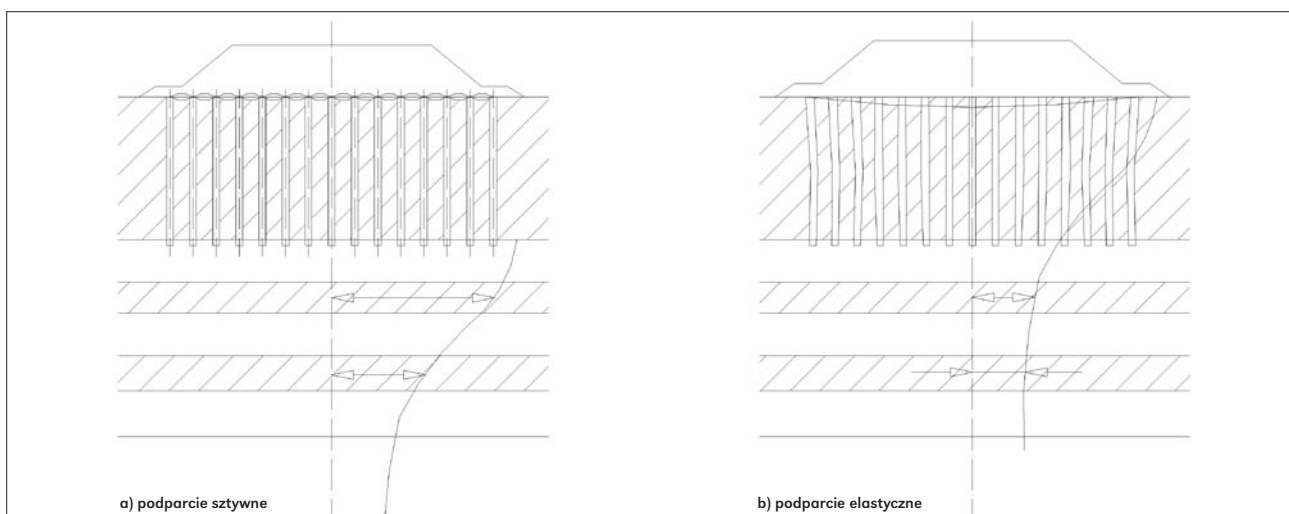
The author presents a very interesting type of technology which allows for the building of roads on unstable grounds – using detonations called microblasting. The publication highlights the fact that Polish geological technology has won global praise as a result of this invention. Microblasting are a novel method of hardening weaker ground. The method is based on the introduction of a series of detonations. It has been developed and improved by Polish scientists. At present, Poland is the only country which has adapted this technology to road and highway construction and it has passed all necessary tests. The article gives detailed examples of the adoption of this system, based on the satisfactory results of the construction of the Barczewo ring road fragment.



Rys. 1. Sondowania przedwykonawcze i profil podłoża dla 159 + 922 km



Rys. 2. Sondowania przedwykonawcze i profil podłoża dla 159 + 950 km



Rys. 3. Koncepcje posadowienia nasypów drogowych

Czasami zdarzają się budowy, które stwarzają poważne problemy zarówno wykonawcy, jak i inwestorowi. Są one szczególnie uciążliwe, gdy w podłożu spotyka się różne „niespodzianki”, na przykład soczewki gruntów nienośnych o dużej miąższości (od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów) nieujęte w dokumentacji przetargowej. To może się zdarzyć, gdy soczewki słabych gruntów znajdują się między miejscami badań geotechnicznych wykonanych przed przetargiem i będących podstawą do wykonania projektu budowlanego. Jeśli w takich przypadkach poziom wody gruntowej jest bardzo wysoki, wymiana gruntu do takiej miąższości jest właściwie niemożliwa. Z kolei zastosowanie pali cementowo-gruntowych w tak trudnych warunkach gruntowych jest co najmniej dyskusyjne. Charakteryzuje je przecież mała wytrzymałość na ścislenie, co przy dużych miąższościach może powodować wybożenia, a kwaśne środowisko gruntów organicznych działa destrukcyjnie na pale z tak małą zawartością cementu.

Standardowo, jeśli cykl realizacji inwestycji pozwala na kilkuletnie przeciążenie podłoża i jego powolną konsolidację, projektuje się różnego typu pale piaskowe w bezszwowych „rękawach” z geosyntetyków albo geodreny. Alternatywnie można też zastosować pale betonowe (żelbetowe), które są rozwiązaniem skutecznym, lecz bardzo droгим. Co jednak zrobić, jeśli budżet jest ograniczony lub nie przewiduje się wieloletnich oczekiwań na konsolidację gruntu?

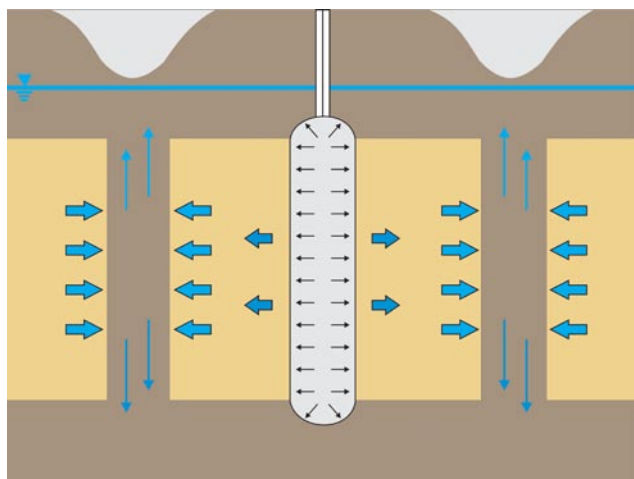
### Obwodnica Barczewa

Taka sytuacja miała miejsce na budowie obwodnicy Barczewa na wspomnianej już drodze krajowej nr 16. Na odcinku km 159 + 825 - 160 + 050 w podłożu gruntowym występowały grunty organiczne nieprzydatne do celów budowlanych. Torfy, namuły, gytie oraz lokalnie kreda jeziorna zalegały do głębokości kilkunastu metrów (rys. 1 i rys. 2) [2].

Pierwotnie proponowano wzmocnić podłoże za pomocą pali betonowych, co nierozwrotnie łączy się z wykonaniem bardzo mocnego materaca geotechnicznego. Konstrukcja pali i tak mocnego materaca wygenerowałyby olbrzymie koszty.

Rozwiązanie takie jest nazywane w geotechnice podparciem sztywnym (rys. 3a). Nie powoduje ono przyspieszenia konsolidacji podłoża gruntowego („wycisnięcia” wody z gruntu), zarówno w warstwie słabych gruntów, jak i w warstwach poniżej strefy wzmocnianej. Ponadto zanik naprężeń poniżej poziomu posadowienia pali w przypadku takiego posadowienia jest zdecydowanie wolniejszy, co powoduje większe osiadania warstw gruntu leżących poniżej strefy wzmocnianej.

Skuteczniejszym sposobem posadowienia nasypu drogowego jest podparcie elastyczne (rys. 3b). Pozwala ono na przenoszenie obciążeń od nasypu drogowego i obciążeń użytkowych przez całe wzmocnione podłoże gruntowe. Poprzez przyspieszenie procesu konsolidacji w strefie wzmocnionej osiąga się stan równowagi między



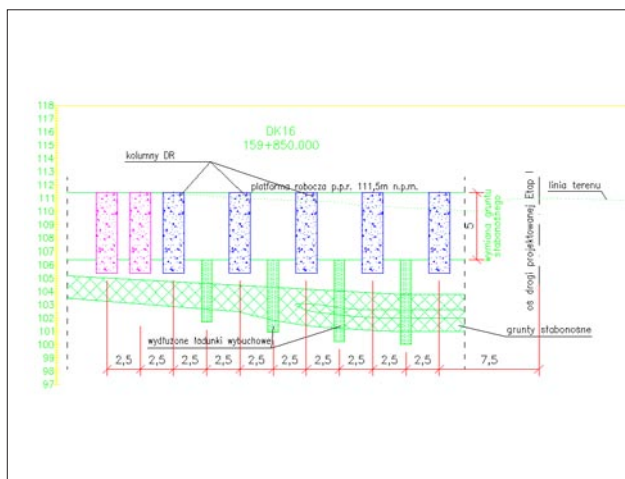
Rys. 4

Rys. 4. Schemat wzmocnienia podłoża za pomocą technologii mikrowybuchów

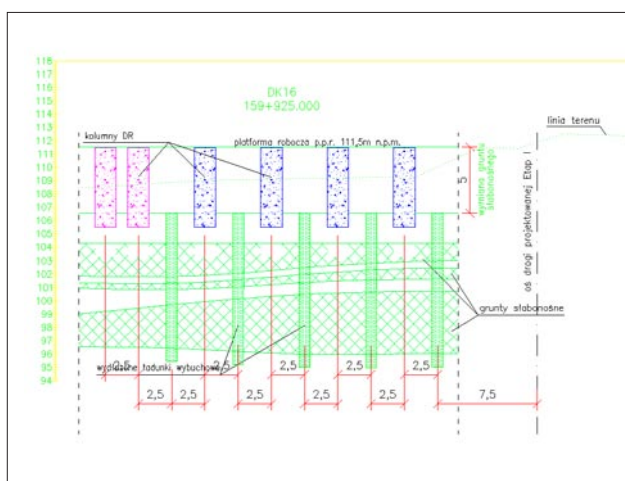
Rys. 5, 6. Przekroje dla 159 + 850 i 159 + 925 km z pokazaniem sposobu wzmocnienia

Rys. 7. Badanie zagęszczenia podłoża przed wzmocnieniem

Rys. 8. Badanie zagęszczenia podłoża po wzmocnieniu



Rys. 5



Rys. 6

► dzy obciążeniem od nasypu a nośnością całego wzmocnionego podłoża. Zanik naprężeń w podłożu gruntowym jest znacznie szybszy, co w konsekwencji ogranicza osiadania, które mogą wystąpić w trakcie eksploatacji nasypu [1].

W Barczewie przyjęto koncepcję podparcia elastycznego, które zresztą okazało się wielokrotnie tańsze od rozwiązania opartego na posadowieniu nasypu na palach betonowych.

Na tej budowie połączono dwie technologie i przeprowadzono następujące czynności [2]:

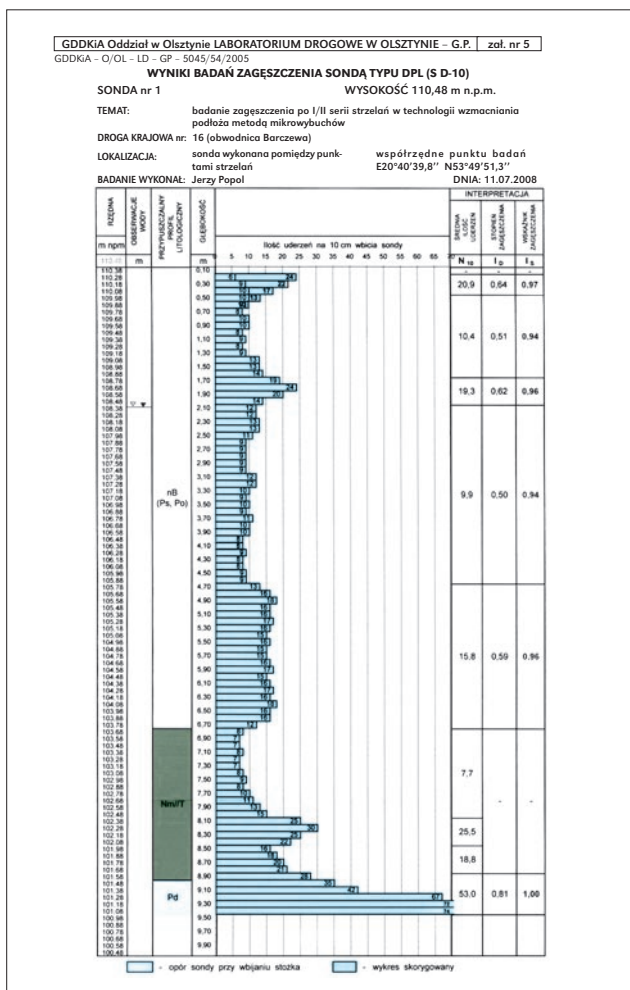
- przypowierzchniowa wymiana gruntów organicznych na grunt piaszczysty do głębokości 4-5 m ppt (bez wykonywania odwodnień i zagęszczania wymienionego gruntu warstwami),
- zagęszczenie (lub konsolidacja) w technologii mikrowybuchów warstw gruntów poniżej strefy wymiany gruntów,
- dogęszczenie przypowierzchniowej strefy podłoża metodą dynamicznej wymiany gruntu.

## Technologia mikrowybuchów

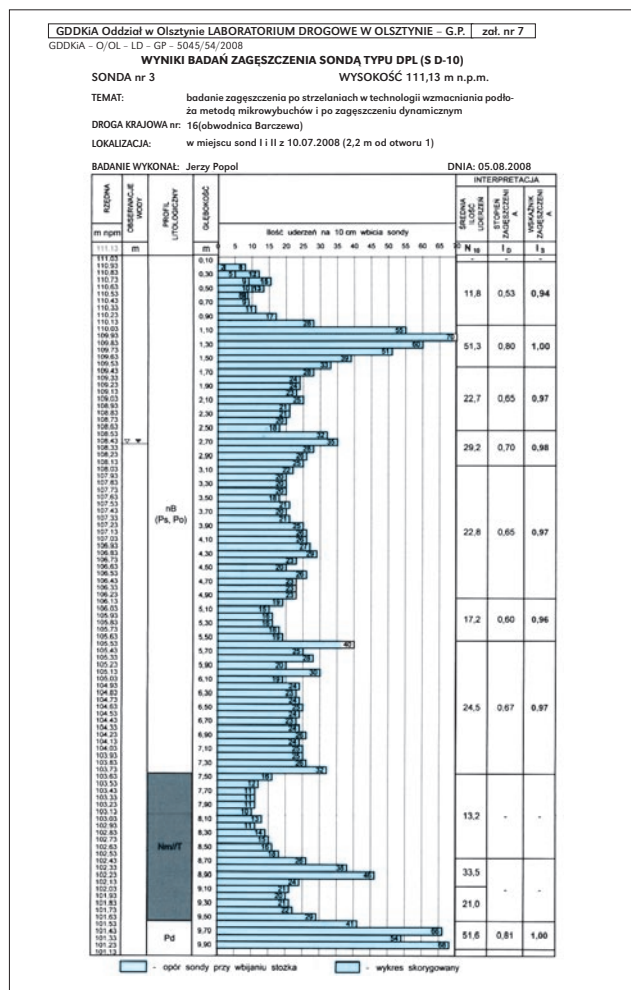
Jednoczesne zastosowanie tych dwóch technologii miało na celu przyspieszenie konsolidacji podłoża. Zastosowanie tylko mikrowybuchów pozwala bezpiecznie posadowić nasyp drogowy. W tym wypadku, podobnie jak wcześniej przy budowie autostrad A2 czy A4, użycie mikrowybuchów miało na celu wytworzenie w słabym podłożu kolumn piaskowych z materiału ułożonego podczas wy-

miany powierzchniowej. Eksplozja ładunku zamontowanego w wierconym uprzednio otworze powoduje powstanie w słabym gruncie cylindrycznej kawerny o średnicy 0,6-2,0 m. Następnie kawerna samoczynnie zapełnia się gruntem piaszczystym zalegającym nad gruntem słabym, tworząc dren o dużej średnicy (rys. 4). Właściwie dobrana kolejność detonowania ładunków powoduje dodatkowo znaczne przyspieszenie konsolidacji warstw słabych oraz zagęszczenie gruntów piaszczystych. Energia powstała po eksplozji nie tylko daje możliwość utworzenia drenów. Dodatkowym efektem jest olbrzymie przeciążenie nawodnionego podłoża gruntowego, wyciskające wodę z porów gruntu. Każdy kolejny mikrowybuch powoduje wyciskanie wody do wcześniej utworzonych drenów. Dla zobrazowania sił działających na podłożu można porównać energię powstałą podczas eksplozji przeciętnego ładunku wybuchowego do energii będącej efektem zrzucenia masy 100 ton z wysokości 100 m.

Jednak w warunkach gruntowych napotkanych w Barczewie konsolidacja podłoża przy użyciu samych mikrowybuchów trwałaby ok. 3 miesiące, więc przekroczono by termin zakończenia inwestycji. W związku z powyższym dodatkowo zastosowano technologię dynamicznej wymiany. Technologia polegała na wykonywaniu kolumn DR z materiału piaszczystego zmieszanego z gruntem grubookruchowym (tutaj destruktem betonowym). Zrzucały z wysokości kilkunastu metrów ubijak o masie 8-12 ton



Rys. 7



Rys. 8

miął kształt (zaproponowany po raz pierwszy przez prof. M. Gryczmańskiego) pozwalający na formowanie kolumn o dużej średnicy (1,6-2,2 m). Taka forma ubijaka gwarantuje nie tylko utworzenie kolumn, ale jednocześnie rozpięta materiał na boki, co pozwala znacznie zwiększyć nośność podłoża między kolumnami. Na tej budowie zadaniem dynamicznej wymiany było przyspieszenie konsolidacji. Można uznać, że ta technologia pełniła niejako rolę nasypu przeciążającego wymuszającego szybkie osiadania podłoża, które wyniosły 0,6-1,2 m. Całość prac zrealizowano w miesiącu (lipiec 2008 r.). Przykładowe przekroje podłoża z pokazaniem sposobu wzmocnienia gruntu przedstawiono na rys. 5 i 6.

Prace były monitorowane przez Laboratorium Drogowe GDDKiA w Olsztynie. Przeprowadzono sondowania przed- i powykonalne za pomocą sond DPL i DPM. Po wykonaniu prac stwierdzono wzrost stopnia zagęszczenia na całym profilu sondy od głębokości 0,8 m do 7,4 m do wartości średniej ważonej  $I_D = 0,67$ , co odpowiada w przybliżeniu wskaźnikowi zagęszczenia  $I_S = 0,97$  (rys. 7 i 8). Stwierdzono również (już bezpośrednio po zakończeniu prac) zauważalne zwiększenie nośności namulów po zabiegach wzmacniających [3].

Połączenie dwóch tanich i efektywnych technologii geotechnicznych: mikrowybuchów i dynamicznej wymiany pozwoliło skutecznie, bezpiecznie i szybko posadzić nasyp drogowy. W ten sposób ocalono inwestorskie budżety i terminy wykonaw-

cze. Młode małżeństwo technologii, gdyż tego typu rozwiązanie zostało zastosowane po raz drugi w historii, najwyraźniej rokuje długi i owocny związek. Co ważniejsze, należy podkreślić, że cała koncepcja była efektem polskiej myśli technologicznej, która zmierzyła się z wyjątkowo trudnym problemem konstrukcyjnym sprawiającym kłopoty nie tylko na polskich drogach, ale na całym świecie. Zastosowanie tych dwóch technologii może być uznane za panaceum dla podłoża, w którym występują warstwy gruntów nienośnych o bardzo dużej miąższości. □

**Piśmiennictwo**

1. Cichy W., Cudny M., Dembicki E., Imiołek R.: *Wzmocnienie podłoża gruntowego pod nasypami na trasie dojazdowej do mostu im. Jana Pawła II w Gdańsku*. XIII Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, Szczryk 2003.
2. Sikora Z., Michalak R.: *Ekspertyza naukowo-techniczna dotycząca rozpoznania geotechnicznych warunków podłoża gruntowego na terenie budowanej obwodnicy Barczewa w ciągu drogi krajowej nr 16*. Politechnika Gdańska WILiŚ 2007.
3. Pepoł J., Konstantynowicz A.: *Badanie głębokości wymiany gruntów organicznych i zagęszczenia nasypu na obwodnicy Barczewa, na odcinku wzmacnianym mikrowybuchami i konsolidacją dynamiczną km 159 + 825 - 160 + 050*. Opracowanie Laboratorium Drogowego GDDKiA, Olsztyn 2008.