

# Wzmocnienie podłoża poprzez zastosowanie warstwy z pianobetonu

W ostatnich latach wraz z poszerzaniem się współczesnej wiedzy inżynierskiej, jak również pojawianiem się nowych materiałów i technologii, następuje ciągły rozwój dziedziny geotechniki w zakresie wzmocniania słabego podłoża gruntowego.

Skuteczną drogą do poprawy niestabilnych warunków gruntowych w przypadku nawierzchni drogowych, powierzchni parkingowych itp. wydaje się zastosowanie następującego układu warstw: konstrukcja nośna poddana obciążeniom powtarzającym się i/lub stałym – odpowiednia warstwa pianobetonu pośrednicząca w przekazywaniu obciążeń – (słabe) podłożę gruntowe. Pianobeton jest klasyfikowany jako beton lekki, który powstał poprzez zamknięcie w zaczynie cementowym porów powietrza, utworzonych przy użyciu środka pianotwórczego. Chociaż sam pianobeton jest znany od około 100 lat, praktyczne jego zastosowanie ogranicza się głównie do jego użycia jako materiału niekonstrukcyjnego. W artykule przedstawiono zastosowanie pianobetonu jako wzmocnienie pod nawierzchnie drogowe.

Sukcesywnie rosnące zapotrzebowanie przede wszystkim na nowe inwestycje liniowe (drogi i związane z tym nasypy) oraz wielkopowierzchniowe obiekty, takie jak np.: hale magazynowe, powierzchnie parkingowe czy powierzchnie MOP-ów, wiąże się zazwyczaj z koniecznością zagospodarowywania terenów o trudnych warunkach geotechnicznych, często charakteryzowanych jako grunty słabonośne, w tym grunty zawierające warstwy (przewarstwienia) organiczne, grunty antropogeniczne czy grunty na terenach oddziaływań górniczych.

Zgodnie z [1, 2] podłożę konstrukcji drogowej jest wzmocniane w celu: zwiększenia nośności, zmniejszenia osiadań budowli, zapobieżenia utracie stateczności (poślizgom i osuwiskom), zabezpieczenia skarp wykopów, nasypów i ochrony pobliskich konstrukcji, zapobieżenia upłynnianiu podłoża, stabilizacji struktury podłoża, łagodzenia skutków deformacji górniczej. Na wybór odpowiedniej metody wzmocnienia podłoża [3] (wzmocnienia powierzchniowego [4], wymianę gruntów, wibroflotację, wibrowymianę, mieszanie wgłębne [5], kolumny iniekcyjne [6], zamrażanie, spękanie itp.) mają wpływ: budowa geologiczna podłoża (miąższość i głębokość występowania warstwy słabego gruntu), wielkość projektowanych obciążeń przekazywanych na podłożę gruntowe, rodzaj czynnika wpływającego na brak nośności, np.: nadmierne zawilgoce nie gruntu, możliwości technologiczne i koszty wykonania.

W literaturze przedmiotu można znaleźć kilkanaście metod wzmocniania podłoża. Na przykład zwiększenie nośności i zmniejszenie osiadań poprzez zastosowanie słupów wbijanych udarami jest skuteczne w przypadku słabych

## Strengthening the substrate by applying a layer of foamed concrete

In recent years, due to the development of general engineering knowledge and the availability of new materials and technologies, a continual development of geotechnics in the field of stabilization of weak soil can be noticed.

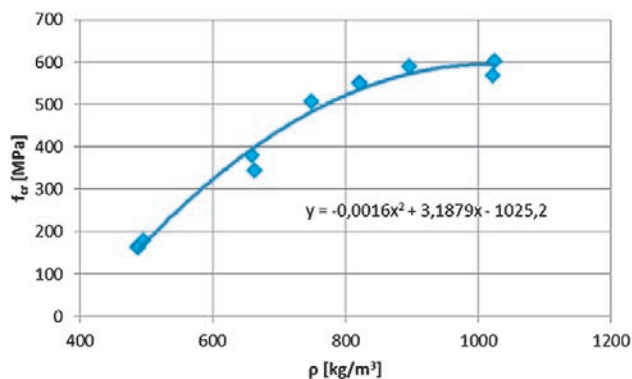
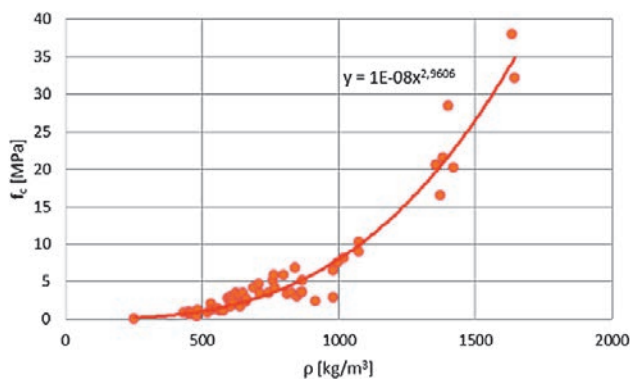
An effective way to improve unstable ground conditions for road pavements, car park pavements etc. seems to be the following layered system: load-bearing layer subjected to permanent or/and cyclic loading and a suitable layer of foam concrete transferring loads to weak subsoil. Foamed concrete is classified as a lightweight concrete. It is a cement mortar in which air voids are entrapped by a foaming agent. Although foamed concrete has been known for about 100 years, its practical application is mainly limited to its use as a non-structural material. The paper presents the use of foamed concrete as a reinforced layer in road pavements.

### Keywords:

foamed concrete, road pavement, reinforced soil, subbase

### Summary

gruntów spoistych i odpadów nawodnionych na głębokości 3,0-8,0 m, wyjątkowo 15 m. Natomiast w celu poprawy parametrów wytrzymałościowych gruntów, takich jak: luźne piaski, wilgotne słabe grunty spoiste, torfy, namuły czy lesy, ułożonych na głębokości 15,0 m, można wykonać pale zagęszczające [7]. Przy czym metoda ta jest nieskuteczna dla tych samych gruntów znajdujących się w górnych warstwach podłoża gruntowego na głębokości 1,0-2,0 m [8].



Rys. 1. Wpływ gęstości objętościowej na wytrzymałość na ściskanie (a) i rozciąganie (b) pianobetonu [20]

Przy wyborze metody wzmocnienia podłoża należy również uwzględnić zagospodarowanie terenu, ponieważ stosowanie niektórych metod, np. konsolidacji dynamicznej [9], może wpływać niekorzystnie na istniejące obiekty budowlane (powstanie uszkodzeń budynków wskutek przekazywania drgań z podłoża czy zmiana warunków hydrogeologicznych).

Dodatkowy problem może stanowić konieczność stosowania, w zależności od struktury litologicznej gruntu zalegającego na danym terenie, czynnika wpływającego na brak nośności gruntu czy wymiarów w rzucie budowanego obiektu, lokalnego wzmocnienia podłoża lub łączenia różnych metod wzmocnienia podłoża gruntowego. Powstałe w ten sposób zmiany sztywności podłoża gruntowego implikują powstawanie dodatkowych uszkodzeń wzdłuż linii styku oraz generują koszty naprawy tych uszkodzeń.

W ostatnich latach wraz z poszerzaniem się współczesnej wiedzy inżynierskiej, jak również pojawianiem się nowych technologii [10-12] następuje ciągły rozwój dziedziny geotechniki w zakresie wzmocnienia słabego podłoża. Wszystkie znane jednak dotychczas metody – stosowane osobno lub łącznie, lokalnie lub na dużej powierzchni – jak również konieczność ich wykonywania implikują wysokie koszty posadowień obiektów budowlanych oraz zużywają duże ilości kruszywa, które stanowi wyczerpujące się źródło złóż nieodnawialnych. W związku z powyższym wciąż zachodzi potrzeba poszukiwania nowych rozwiązań, szczególnie takich, które wykorzystują materiały alternatywne. Zatem skuteczną drogą do poprawy niestabilnych warunków gruntowych w przypadku nawierzchni wydaje się zastosowanie układu warstw: konstrukcja nośna poddana obciążeniom powtarzającym się i/lub stałym – odpowiednia warstwa pianobetonu pośrednicząca w przekazywaniu obciążeń – (słabe) podłoże gruntowe. Przesłanki do tego stanowią narastające zainteresowanie w ostatnich latach na świecie zastosowaniami pianobetonu w budownictwie [13-18], związanymi w dużej mierze z infrastrukturą transportu, a także wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych [19,20], analiz numerycznych [21-23] oraz badań terenowych [24].

## Charakterystyka pianobetonu

Pianobeton klasyfikuje się jako beton lekki o większej niż 20% objętości porów w zaczynie cementowym (betonie), wytworzonych przy zastosowaniu odpowiedniego środka pianotwórczego [25]. Zawartość środka pianotwórczego względem zawartości cementu, zgodnie z literaturą przedmiotu, mieści się najczęściej w zakresie od 2% do 10% w stosunku do zawartości cementu, natomiast wskaźnik wodno-cementowy (w/c) w zakresie od 0,38 do 0,57, w zależności od rodzaju stosowanego cementu. W celu uzyskania materiału o odpowiednich właściwościach stosuje się dodatek np. piasku drobnego – w celu podniesienia wytrzymałości, popiołu krzemionkowego – w celu minimalizacji skurczu – i jako ograniczenie zawartości cementu, co wpływa na obniżenie kosztów produkcji materiału.

Materiał ten charakteryzuje się specyficznymi cechami, takimi jak: dobra płynność, samozagęszczalność, samopoziomowanie, stabilność wymiarowa i przede wszystkim mała gęstość. Pianobeton produkuje się w gęstościach w zakresie od 400 do 1800 kg/m<sup>3</sup>. Jego skład może tak być projektowany, by materiał wykazywał odpowiednie właściwości mechaniczne i termoizolacyjne przy relatywnie małej gęstości [26-31]. Wpływ gęstości na parametry wytrzymałościowe przedstawiono na rys. 1. To właśnie możliwość uzyskania szerokiego zakresu gęstości, wbudowywania go w formie ciekłej oraz łatwy proces wytwarzania produkcji są głównymi walorami pianobetonu, pozwalającymi na jego zastosowanie w różnych specyficznych rozwiązaniach [17, 32, 33]. W drogownictwie szczególnie docenia się łatwość jego wbudowania i usunięcia, np. przy przebudowie.

## Zastosowanie pianobetonu w konstrukcjach nawierzchni drogowych

Zastosowania pianobetonu w kontakcie z gruntem to rozwiązanie stosunkowo nowe (najstarsze dostępne publikacje o charakterze inżynierskim pochodzą z końca lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku [16, 33]). Docenienie zalet pianobetonu związanych z jego cechami materiałowymi jako lekkiego materiału można dostrzec w wielu konstrukcjach nawierzchni, w tym między innymi w nawierzchniach



Fot. 1. Próba zastosowania pianobetonu w Trencinie, Słowacja [13]

sportowych, np. bieżni czy przy wykonywaniu konstrukcji na słabym gruncie (fot. 2).

Jednym z takich projektów jest rekonstrukcja nawierzchni drogi Cypress Avenue w stanie Oakland w USA po rozległych uszkodzeniach powstałych wskutek trzęsienia ziemi w 1989 r. [34]. Pianobeton został wykonany w celu zmniejszenia wpływu oddziaływania przekazywanego z podłoża i zmniejszenia



Fot. 2. Zastosowanie pianobetonu w konstrukcji bieżni [16]

w ten sposób szkód spowodowanych wstrząsem sejsmicznym w przyszłości. W tym celu wbudowane zostało 73 400 m<sup>3</sup> pianobetonu o gęstości 500 kg/m<sup>3</sup> i wytrzymałości 1,0 MPa. Podobna ilość pianobetonu o gęstości 500 kg/m<sup>3</sup> (50 000 m<sup>3</sup>) została wbudowana w dwie drogi dojazdowe kompleksu biurowego Canary Wharf w dzielnicy Londynu Docklands [34]. Celami tego były przeniesienie obciążenia oraz zapobieżenie osiadaniu nawierzchni.

Pianobeton został wykorzystany przy przebudowie czteropasmowej autostrady The Central Road w Schaumburg w stanie Illinois (USA) na odcinku o długości przekraczającej 3,0 km i na pełnej grubości konstrukcji nawierzchni. Wykonano lekkie wypełnienie z dwóch warstw pianobetonu o gęstości 400 kg/m<sup>3</sup> i grubości 0,9 m oraz o gęstości 500 kg/m<sup>3</sup> i grubości 0,43 m. Rozwiązanie takie zostało podyktowane występującymi warunkami grunto-

wymi, na wschodnim końcu droga przechodziła bowiem przez tereny bagienne, z położonymi na głębokości 3-5 m pod powierzchnią miękkoplastycznymi gruntami organicznymi, takimi jak torf.

Innym przykładem jest konstrukcja nawierzchni Northwest Highway (Route 14) (USA), gdzie wbudowane zostało ponad 13 000 m<sup>3</sup> pianobetonu o gęstości 410 i 590 kg/m<sup>3</sup>. Wbudowana została

warstwa pianobetonu o grubości do 1,2 m. Na wykonanej na słabym podłożu warstwie pianobetonu została ułożona gruba warstwa kruszywa o miąższości 0,3 m, na której następnie została wykonana nawierzchnia betonowa [23].

Pianobeton znalazł także zastosowanie podczas budowy dróg w Wielkiej Brytanii, gdzie po raz pierwszy został zastosowany w nawierzchni autostrady w 1970 r. Jednak dopiero po około 10 latach został uznany jako materiał budowlany, konkurencyjny wobec powszechnie stosowanych.

Pianobeton został użyty w konstrukcji nawierzchni w nowo wybudowanej strefie przemysłowej Hertfordshire (UK). Rozwiązanie to zostało przyjęte z uwagi na naturalne podłoże grunto- we, stanowiące torf, który w połączeniu z wysokim poziomem wód gruntowych powodował liczne powodzie w okolicy [23].

W Polsce pianobeton został użyty jako podbudowa pod nawierzchnię z kostki betonowej, np. przy budowie parkin-



Fot. 3. Zastosowanie pianobetonu przy przebudowie Central Road [33]; widok „dwustopniowego” projektu wypełnienia dróg, w którym na pierwszym planie jest zainstalowana stalowa blacha w osi drogi w celu podtrzymania ruchu pojazdów, podczas gdy wykopywanie, układanie pianobetonu i kolejnych warstw nawierzchni mogą odbywać się w pierwszym etapie [23]

gu salonu meblowego firmy Baxpol w Toruniu [35]. Innym rozwiązaniem z użyciem pianobetonu było posadowienie obiektów w obrębie stacji benzynowej Statoil w Gnieźnie na poduszce o średniej grubości 0,8 m z pianobetonu o gęstości 500-900 kg/m<sup>3</sup> [36]. Rozwiązanie takie zaproponowano z uwagi na występujące w podłożu do głębokości 12,0 m pokłady torfu i namulów oraz możliwość występowania w związku z tym znacznych osiadań. Prowadzone pomiary geodezyjne wykazały skuteczność rozwiązania (pomiarzone osiadanie obiektów wyniosło 0,8-1,5 mm) [37].

W sierpniu 2017 r. wykonano poligon badawczy na działce przeznaczonej pod zabudowę drogi wewnętrznej do posesji prywatnej przy ul. Polnej w Ornontowicach k. Mikołowa (województwo śląskie). Poligon doświadczalny został podzielony na pięć odcinków o różnym układzie warstw nawierzchni i wzmocnienia (zwanymi dalej poletkami), przy czym:

- trzy odcinki o długościach 10,0 m każdy stanowi nawierzchnia asfaltowa podatna typ A1 o układzie warstw, odpowiadającym kategorii ruchu KR2 (zgodnie z *Katalogiem typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych*. Praca zbiorowa pod red. J. Judyckiego, GDDKiA, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2012 r., zwana dalej KTKNPP-2012) i wzmocnieniu podłoża poprzez zastosowanie warstwy z pianobetonu (dwa odcinki) oraz tradycyjnego wzmocnienia z kruszywa, zgodnie z KTKNPP-2012 (jeden odcinek);
- dwa odcinki o długości 6,0 m każdy – nawierzchnia betonowa i odpowiednio wzmocnienie podłoża poprzez zastosowanie warstwy z pianobetonu (jeden odcinek) oraz tradycyjne wzmocnienie z kruszywa (jeden odcinek) – rys. 2; dwa z odcinków (po jednym dla każdej z typów nawierzchni) wykonane w tradycyjnym układzie wzmocnienia warstw stanowią alternatywę do proponowanego w ramach projektu rozwiązania, a na obecnym etapie – odniesienie, pozwalające na ocenę pracy konstrukcji nawierzchni oraz podłoża gruntowego w rzeczywistych warunkach klimatycznych i obciążeniowych (w badaniach *in situ*); dobór wzmocnienia został poprzedzony badaniami terenowymi podłoża gruntowego (płytą statyczną VSS, sondowaniami statycznymi oraz badaniami dylatometrycznymi).

W celu wzmocnienia podłoża wykonano warstwę z pianobetonu o gęstości ok. 1000 kg/m<sup>3</sup> o grubości 0,15 m.

Lp.	Wymiary	Typ wzmocnienia	Typ nawierzchni
1	10,0 x 5,0 m	pianobeton	podatna
2	10,0 x 5,0 m	kruszywo	podatna
3	10,0 x 5,0 m	pianobeton	podatna
4	6,0 x 5,0 m	pianobeton	sztywna
5	6,0 x 5,0 m	kruszywo	sztywna



Rys. 2. poligon doświadczalny z podziałem na odcinki na etapie w budowywania pianobetonu w warstwę podbudowy pomocniczej

## Podsumowanie

Obecnie obserwowany jest wzrost zainteresowania pianobetonem z uwagi na to, że jest to materiał lekki, o dobrych właściwościach izolacyjnych i wytrzymałościowych, który jest zabudowywany w postaci płynnej. Jest to widoczne szczególnie w literaturze zagranicznej [12, 14-17, 23-25, 30, 32-34]. Zastosowanie pianobetonu w kontakcie z podłożem wymaga określonych właściwości materiałowych, związanych z występującymi na danym terenie warunkami gruntowo-wodnymi. W związku z powyższym nawet nieliczne obiekty budowlane z zastosowaniem pianobetonu wykonane w innych warunkach klimatycznych nie stanowią podstawy do określenia trwałości pianobetonu w warunkach lokalnych czy europejskich. Stąd konieczne są krajowe doświadczenia w tym zakresie. Odpowiedzią na to są wyniki projektu badawczego „Wzmacnianie słabego podłoża poprzez zastosowanie warstwy z pianobetonu w kontakcie z podłożem gruntowym” (nr umowy: LIDER/022/537/L-4/NCBR/2013), finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu LIDER IV. □

Piśmiennictwo dostępne w redakcji.