ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2004
Seria: BUDOWNICTWO z. 102 Nr kol. 1644

Zygmunt BARTOSZEK*
Politechnika Śląska

WPŁYW WZMOCNIENIA SŁABEGO PODŁOŻA PODUSZKĄ ZBROJONĄ GEOMATERACEM NA ZMNIEJSZENIE JEGO OSIADAŃ

Streszczenie. W artykule przedstawione zostały wyniki wstępnych badań laboratoryjnych wpływu geomateraca umieszczonego w poduszce wzmacniającej, na przebieg zależności „obciążenie-osiadanie" ławy fundamentowej obciążonej statycznie. Badania przeprowadzono w skrzyni o wymiarach 1 x 1 x 1 m. Obejmowały one podłoże słabe, podłoże wzmocnione poduszką i podłoże wzmocnione poduszką dozbrojoną geomateracem umieszczonym w jej spągu. Przedstawione wyniki badań pokazują, iż dodatkowe wzmacnianie podłoża pod fundamentami przez zastosowanie geomateraca jest celowe i prowadzi do uzyskania mniejszych osiadań budowli.

THE IMPACT OF THE WEAK SOIL STRENGTHENING WITH GRAVEL PILLOW REINFORCED WITH A GEOMATTRESS ON ITS SETTLEMENT

Summary. The article presents initial laboratory tests results directed to determine the influence of geomattress placed in strengthening pillow on the „load-settlement" relationship course for static loaded strip footing. The tests have been carried out in a 1 x 1 x 1 m box. Its subject were weak subsoil, subsoil strengthened with a pillow and the subsoil strengthened with a pillow reinforced with geomattress placed in its bottom. Presented results show us, that additional strengthening of the subsoil under the foundations with a geomattress is proper and leads to reduction in subsidence.

1. Wstęp

Coraz wyższe ceny terenów budowlanych, gęstsza zabudowa miejska oraz tendencja do zagospodarowywania terenów zdegradowanych skutkują szerszym zainteresowaniem projektantów problematyką wzmacniania podłoża gruntowego. Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat opracowanych zostało wiele sposobów poprawy właściwości fizykomechanicz-

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Jerzy Sękowski

nych gruntów słabych. Do najpopularniejszych można zaliczyć: zagęszczanie, prekonsolidację, zbrojenie i wymianę gruntu słabego na mocny w formie tzw. poduszki. Dzięki wykorzystaniu właściwości geosyntetyków zabudowywanych w warstwie poduszki (zwykle w jej części spągowej), można uzyskiwać dodatkowy wzrost nośności podłoża oraz redukcję osiadań fundamentu. Zjawisko to zostało już wielokrotnie praktycznie wykorzystane w budownictwie drogowym (np. [1]), jednak brak jest tego typu realizacji w budownictwie kubaturowym.

Istnieje możliwość wielorakiego wykorzystania geosyntetyku w podbudowie fundamentu, a w konsekwencji uzyskania różnych układów: słabe podłoże - poduszka - zbrojenie. W literaturze można spotkać np. opracowania sugerujące umieszczanie pojedynczych warstw zbrojących, układanych jedynie w dolnej części poduszki, lub też na całej jej wysokości [2,4,5].

Interesującym rozwiązaniem może być zastosowanie warstwy grubookruchowego kruszywa owiniętego geomateriałem (geomaterac), umieszczonego w spągowej części poduszki. Takie rozwiązanie było przedmiotem badań autora, a ich wyniki przedstawiono w niniejszym referacie.

2. Cel i metodyka badań

Celem badań modelowych była ocena skuteczności wzmocnienia słabego podłoża gruntowego układem: geomaterac-poduszka, wyrażonej zmniejszeniem osiadań fundamentu. Badania zostały wykonane w średniowymiarowej skrzyni badawczej z układem obciążającym i pomiarowym, w której formowano podłoże gruntowe obciążone modelem fundamentu.

Skrzynia o wymiarach 1,0 x 1,0 x 1,0 m o stalowym szkielecie miała ściany z płyt z pleksiglasu o grubości 20 mm, a dodatkowe usztywnienia ścian oraz spodu skrzyni praktycznie wyeliminowały możliwość ich odkształceń. Na dnie skrzyni ułożono 30 cm płukanego żwiru, w trzech warstwach (po 10 cm), zagęszczając każdą z nich ciężkim ubijakiem. Słaby grunt był modelowany równoziarnistym piaskiem drobnym o wskaźniku różnoziarnistości U=2,42, sypanym ręcznie ze stałej wysokości (h=10 cm). W efekcie był on w stanie luźnym (I_D=0,06). Pomiędzy warstwę żwiru a piasku ułożono przekładkę z geomembrany mającą na celu zapobieżenie przenikaniu ziaren piasku w żwir. Poduszka była formowana z równoziarnistego piasku grubego o U=1,49. Do wykonania geomateraca wykorzystano natomiast kruszywo łamane, bazaltowe o wskaźniku U=2,52 oraz geotkaninę Kortex GT 70/70. Fundament pasmowy modelowany był drewnianym podkładem kolejowym o przekroju poprzecz-

nym 14x23 cm (przy czym szerokość wynosiła 14 cm) i długości 1,0m. Parametry fizyczne gruntów użytych do badań zawiera tabela 1, zaś parametry wytrzymałościowe podawane przez producenta [6] geosyntetyku tabela 2.

Tabela 1

Podstawowe parametry gruntów wykorzystanych do badań

Rodzaj gruntu / modeluje	Kąt tarcia wewnętrznego φ [°]	Spójność c [kPa]	Stopień zagęszczenia I_D	Wskaźnik różnoziarnistości U
piasek drobny / podłoże słabe	33	0	0,06	2,42
piasek gruby / poduszkę	36	0	0,08	1,49
żwir bazaltowy / geomaterac	43	54	0,65	2,52

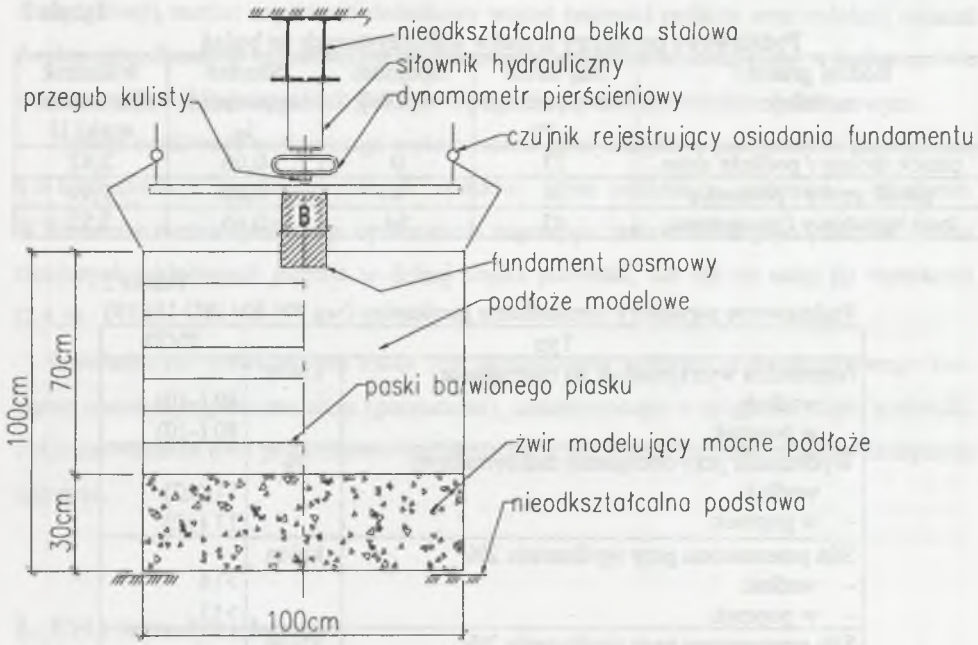
Tabela 2

Podstawowe parametry mechaniczne geotkaniny (wg PN-EN ISO 10319)

Typ		70/70
Nominalna wytrzymałość na rozciąganie	kN/m	
- wzdłuż		80 (-10)
- w poprzek		80 (-10)
Wydłużenie przy obciążeniu maksymalnym	%	
- wzdłuż		11 (±2)
- w poprzek		11 (±2)
Siła przenoszona przy wydłużeniu 2%:	kN/m	
- wzdłuż		>14
- w poprzek		>13
Siła przenoszona przy wydłużeniu 3%:	kN/m	
- wzdłuż		>21
- w poprzek		>19
Siła przenoszona przy wydłużeniu 3%:	kN/m	
- wzdłuż		>35
- w poprzek		>30

W skład układu obciążającego wchodził siłownik hydrauliczny sterowany ręcznie o udźwigu do 150 kN oraz dynamometr pierścieniowy o zakresie pomiarowym do 100 kN. Siłownik był podwieszony pod belką stalową wchodzącą w skład stropu dużych sił. Pomiędzy fundamentem, wykonanym z belki drewnianej, a dynamometrem pierścieniowym ułożono płytkę stalową grubości 20 mm i powierzchni około 300 cm^2, mającą na celu rozłożenie obciążenia na większą powierzchnię fundamentu. Zainstalowano również przegub kulisty zapewniający swobodę ruchu fundamentu. Układ do pomiaru osiadań fundamentu złożony był z kątowników przymocowanych do fundamentu na jego końcach oraz opierających się na nich czterech czujnikach elektronicznych o dokładności 0,01 mm. Dzięki niezależnej obserwacji osiadań czterech naroży fundamentu możliwe było dokładne zarejestrowanie jego osiadań i obrotów. Przemieszczenia gruntu pod fundamentem były utrwalane również fotogra-

ficznie, co było ułatwione przez usypanie przy czołowej szybie cienkich pasków z barwionego na ciemno piasku. Schemat stanowiska badawczego został przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska do badań modelowych
Fig. 1. Diagram of the equipment for model tests

Wykonano łącznie trzy badania modelowe (1, 2, 3). Podczas badań ściśle przestrzegano określonych reguł w odniesieniu do budowania poszczególnych modeli oraz sposobu obciążania i rejestracji wyników. Poszczególne modele obejmowały:

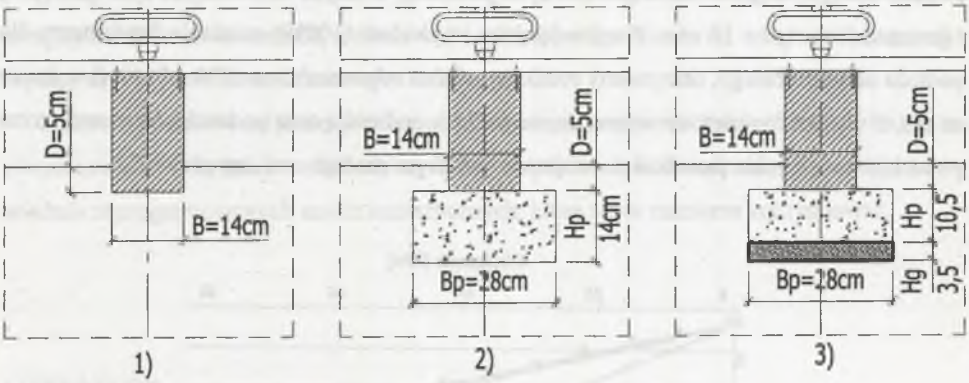
- podłoże słabe (Pd, I_D=0,06) - nr 1,
- podłoże słabe wzmocnione poduszką z piasku średniego (Ps, I_D=0,08) - nr 2,
- podłoże słabe wzmocnione poduszką i geomateracem utworzonym ze żwiru o I_D=0,65 i geotkaniny - nr 3.

Wymiary poduszki wzmacniającej przyjęto za [5] jako: Bp=2B; Hp=B (B=14 cm). Geomaterac o wysokości Hg=B/4 i szerokości 2B umieszczono w dolnej części poduszki wzmacniającej. Schematy przebadanych modeli zostały umieszczone na rys. 2.

Podczas formowania poduszki w badaniu 2 i 3 zwrócono szczególną uwagę, by nie dogęszczać dodatkowo gruntu słabego, położonego poniżej, co mogłoby spowodować znaczną różnicę uzyskiwanych wyników. Z tego względu zdecydowano się na jedynie bardzo słabe

zagęszczanie statyczne warstw poduszki, tj. do poziomu I_D=0,08. W badaniu trzecim materiał geomateraca został zagęszczony w dość znacznym stopniu (I_D=0,65), a to z tego względu, że przyjęta, identyczna jak dla poduszki, metoda zagęszczenia została zastosowana na znacznie cieńszej warstwie gruntu. Słaby grunt zalegający pod geomateracem nie został dogęszczony, o czym świadczy zanotowany w dokumentacji fotograficznej brak osiadań warstw niższych.

Formowanie geomateraca rozpoczęto od ułożenia pasa geotkaniny na tyle szerokiej, by możliwe było wykonanie całkowitego obwinięcia żwiru bazaltowego wraz z niezbędnym zakładem, na której została następnie rozścielona jego warstwa. Po zagęszczeniu żwiru naciągnięto geotkaninę, a potem zagwoździowano ją za pomocą sześciu odcinków drutu stalowego średnicy 1 mm uformowanego w kształcie litery U, o długości 5 do 6 cm każdy. Zastosowana tkanina nie ma jednak trwale połączonych ze sobą nici osnowy i możliwe są swobodne przesunięcia ich względem siebie, tak więc wpływ gwoździowania na wzrost nośności układu jest wątpliwy.



Rys. 2. Schematy modeli podłoża: 1 – bez wzmocnienia, 2 – na poduszce, 3 – na poduszce i geomateracu

Fig. 2. Diagram of subsoil models: 1 – without strengthening, 2 – on a pillow, 3 – on a pillow and a geomattress

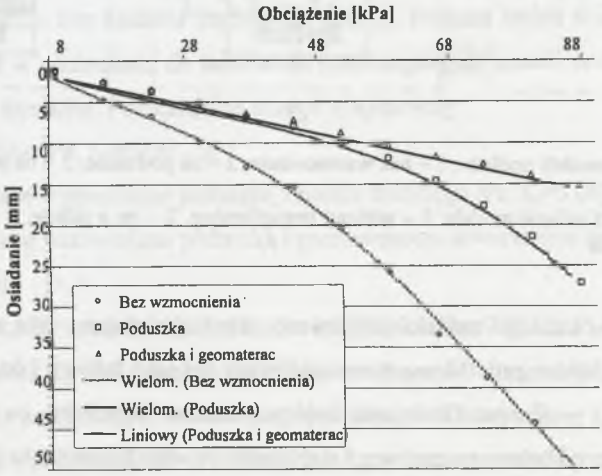
Po wykonaniu każdego modelu instalowano układ obciążający oraz układ rejestrujący przemieszczenia fundamentu. Moment ten traktowany był jako zerowy i do niego odnoszono późniejsze wyniki pomiarów. Obciążenie było przykładane stopniowo, co 1 kN, przy czym kolejny stopień przykładano po umownej stabilizacji osiadań fundamentu (pod danym stopniem obciążenia). Następowało to przy braku ich przyrostu (przy dokładności pomiaru równej

0,01 mm) w ciągu 30 sekund. Badania były realizowane do momentu utraty stateczności układu: podłoże – fundament.

3. Ocena wyników

Najbardziej spektakularnym efektem wzmocnienia podłoża, zaobserwowanym w przeprowadzonych badaniach, jest redukcja osiadań fundamentu ławowego. O wielkości tej redukcji decyduje sposób wzmocnienia oraz wielkość obciążenia. Ilustruje to rys.3, na którym przedstawiono, dla kolejnych modeli, krzywe „obciążenie-osiadanie" w zakresie obciążeń jednostkowych od 0 do 88 kPa. Dla tej wartości obciążenia jednostkowego układ: fundament - podłoże słabe utracił stateczność.

Porównując otrzymane wyniki, można stwierdzić, że dla obciążenia q = 88 kPa osiadanie fundamentu posadowionego na podłożu niewzmocnionym wynosiły 52 mm, dla fundamentu posadowionego na podłożu wzmocnionym poduszką 27 mm, a wzmocnionym poduszką i geomateracem tylko 15 mm. Przyjmując jako wyjściowe (100%) osiadania fundamentu dla podłoża niewzmocniego, otrzymamy redukcję osiadań odpowiednio o 48% i 71%. Z wykresu na rys. 3 wynika również, że wzmocnienie podłoża poduszką oraz poduszką i geomateracem powoduje zwiększenie przedziału obciążenia, w którym pracuje ono „sprężyście".



Rys. 3. Wpływ wzmocnienia słabego podłoża na osiadania fundamentu
Fig. 3. Settlement of foundation versus loading

4. Podsumowanie. Wnioski końcowe

Do podjęcia tematyki będącej przedmiotem referatu skłoniły autora pozytywne doświadczenia nad wykorzystaniem geomateracy w budownictwie drogowym.

Już pierwsze rezultaty uzyskane na drodze analizy numerycznej w programie Z-Soil [3] wskazały na trafność tezy, że zastosowanie układu: geomaterac-poduszka spowoduje wyraźne zmniejszenie osiadań fundamentu. To spostrzeżenie zachęciło autora do przygotowania stanowiska do badań modelowych i przeprowadzenia badań o charakterze wstępnym.

Przedstawione wyniki badań pokazują, iż dodatkowe wzmacnianie podłoża pod fundamentami przez zastosowanie geomateraca jest celowe i prowadzi do uzyskania istotnie mniejszych osiadań budowli. Wytłumaczeniem tego zjawiska może być włączanie do współpracy szerszych partii gruntu pod fundamentem, co z kolei prowadzi do redystrybucji naprężeń i w efekcie uzyskania znacznie mniejszych osiadań podłoża. Autor pragnie tu zwrócić uwagę na rozbieżność wyników osiadań uzyskanych w badaniach doświadczalnych i obliczeniach numerycznych. Podejmowane są już w geotechnice próby wyjaśnienia tego zjawiska poprzez uwzględnienie w obliczeniach nieliniowości małych odkształceń, co w tym też przypadku wydaje się być problemem kluczowym.

Zaprezentowana w artykule problematyka wymaga przeprowadzenia dalszych badań zarówno modelowych, jak i w skali rzeczywistej na poletkach doświadczalnych, a także odpowiednio zaprogramowanych analiz numerycznych, które autor zamierza kontynuować.

LITERATURA

1. Gryczmański M., Sękowski J.: Doświadczenia w budowie dróg na słabych podłożach gruntowych na przykładzie Drogowej Trasy Średnicowej. XLVI Techniczne Dni Drogowe, SITKOM, GDDKiA, Szczyrk 2003, s. 67-77.
2. Brząkała W., Nguyen H. S.: O poduszkach, poszewkach i materacach. XII KKMGiF, Szczecin-Międzyzdroje 2000, cz. 1a, s. 65-77.
3. Sękowski J., Bartoszek Z.: Słabe podłoże wzmocnione poduszką zbrojoną geomateracem. Analiza numeryczna modelu. II Problemowa Konferencja Geotechniki, Białowieża, 17-18 czerwca 2004, s. 265-272.

4. Sękowski J.: Badania modelowe nośności podłoża budowli wzmocnionego geosiatką. III Konferencja Naukowa nt." Badania doświadczalne konstrukcji budowlanych i inżynierskich". Szklarska Poręba 1989,ss.171-176 (Prace Naukowe IB Politechniki Wrocławskiej, s. Konferencje, 18, z.55.
5. Sękowski J.: Podstawy wymiarowania poduszek wzmacniających. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z. Budownictwo 94, Gliwice 2002.
6. Elikopol – materiały informacyjne, CD-ROM, 2003.

Recenzent: Dr hab. inż. Eugeniusz Zawisza