

Zygmunt BARTOSZEK

Katedra Geotechniki
Politechnika Śląska

WZMOCNIENIE SŁABEGO PODŁOŻA UKŁADEM PODUSZKA - GEOMATERAC. WYNIKI BADAŃ W SKALI NATURALNEJ

Streszczenie. W artykule przedstawione zostały wyniki badań podłoża antropogenicznego, wzmocnionego układem poduszka – geomaterac, przeprowadzonych w skali naturalnej. Wykazano pozytywny wpływ takiego rozwiązania na nośność podłoża, poprawę jego parametrów wytrzymałościowych i ograniczenie osiadań fundamentu. Badania te były podstawą do zaprojektowania fundamentów pod budynki mieszkalne i przemysłowe.

REINFORCEMENT OF SOFT SOIL BY MEANS OF A GRAVEL PILLOW – GEOMATTRESS SYSTEM. RESULTS OF NATURAL SCALE EXPERIMENTS

Summary. The paper presents results of natural scale field tests carried out on anthropogenic subsoil reinforced with a gravel pillow - geomattress system. Positive influence of such a solution on bearing capacity was proved in terms of improvement of strength parameters and reduction of foundation settlement. The tests constituted the base for design of residential and industrial buildings

1. Wstęp

Wznoszenie obiektów inżynierskich na słabym podłożu gruntowym zawsze wymagało stosowania nietypowych sposobów posadowienia. Najprostsze rozwiązanie, czyli wymiana gruntu, jest rozwiązaniem kosztownym. Posadowienie pośrednie – zazwyczaj kojarzące się inżynierom z tego typu warunkami gruntowymi – jest najczęściej sposobem najdroższym. Konieczność ograniczania kosztów skłania inwestorów do częstszego wykorzystywania nietypowych metod i materiałów. Jednym z takich rozwiązań jest poprawa parametrów podłoża gruntowego poprzez zabudowanie materiałów geosyntetycznych. Metoda ta,

powszechnie stosowana w budownictwie komunikacyjnym pod drogi i nasypy kolejowe (między innymi [3, 6]), stosunkowo rzadko jest spotykana w budownictwie kubaturowym.

Wśród wielu materiałów geosyntetycznych dostępnych na rynku geosiatki i georuszty są szczególnie predysponowane do wzmocnienia słabego podłoża gruntowego [2, 5, 6]. Zabudowywane w warstwie spągowej wymienianego pod fundamentem gruntu, oblekając w sposób ciągły różnoziarnisty, dobrze zagęszczalny grunt grubookruchowy, tworzą geomaterac. Laboratoryjne i numeryczne badania przeprowadzone przez autora potwierdziły słuszność tezy, że tak wzmocnione podłoże gruntowe ma większą sztywność i nośność niż podłoże niemodyfikowane [1, 7]. Naturalnym następstwem powyższego faktu była chęć weryfikacji tego rozwiązania w terenie w skali jak najbliższej rzeczywistości. Nadarzyła się ku temu sposobność, gdy do Katedry Geotechniki Politechniki Śląskiej w Gliwicach zwróciły się w rocznym odstępie czasu dwie firmy budowlane, zainteresowane wznoszeniem budynków na pokopalnianych, niekontrolowanych nasypach. Obserwacje poczynione podczas próbnych obciążeń gruntu na tych budowach i zauważone tam zjawiska są przedmiotem niniejszego referatu.

2. Posadowienie budynków mieszkalnych w Chorzowie

Współpraca z Przedsiębiorstwem Budowlanym „DOMBUD” SA z Katowic w kwestii rozwiązania posadowienia budynków mieszkalnych na terenie Chorzowa umożliwiła przeprowadzenie pierwszych doświadczeń terenowych. Koncepcja obejmowała wzmocnienie gruntu pod pięcioma budynkami wielorodzinnymi oraz ośmioma domami bliźniaczymi.

Podłoże na przedmiotowej działce jest typową formą antropogeniczną, powstałą przed około 20 laty poprzez zasypanie naturalnego obniżenia terenowego warstwą nasypów [4]. Teren ten, ogólnie płaski (+281,17÷+278,75 m n.p.m.), z lekkim jednak spadkiem w kierunku południowym był w całości porośnięty krótką trawą. Działka gwałtownie opadała (do 10 metrów) od strony zachodniej, południowej i północno-wschodniej.

2.1. Warunki gruntowo-wodne

Podłoże w miejscu inwestycji budują utwory czwartorzędowe, na które składają się współczesne grunty nasypowe o miąższości od 6,5 do ponad 10 m i podścielające je osady akumulacji rzecznej, reprezentowane przez gliny pylaste i gliny, a głębiej piaszczyste gliny

morenowe. Podłoże starsze budują utwory karbońskie. W podłożu do rozpoznanej wierceniami głębokości nie stwierdzono obecności wody gruntowej.

Autorzy dokumentacji geotechnicznej [4], na której opierano się przy projektowaniu posadowienia, stwierdzili, że z uwagi na zalegające w podłożu nasypy, a ściślej ich niejednorodność w zakresie uziarnienia, składu mineralnego, stanu fizycznego, miąższości, oraz skłonność do „lasowania” i długi okres konsolidacji podłoże to nie nadaje się do bezpośredniego posadowienia projektowanych obiektów.

2.2. Przebieg i wyniki próbnych obciążeń podłoża gruntowego

Program obciążeń przewidywał przeprowadzenie dwóch badań, z których jedno obejmowało próbne obciążenie podłoża „rodzimego”, a drugie podłoża wzmocnionego poduszką żwirową i geomateracem, umieszczonym w dolnej części poduszki. Zdecydowano, że stanowisko do badań zostanie zlokalizowane w obrębie budynku wielorodzinnego, na linii jego ławy środkowej.

Przebieg badań był w ogólności następujący:

- a) w etapie pierwszym na wyrównanym podłożu rodzimym lub na poduszce piaskowej układano cztery płyty drogowe, każda o szerokości $B=1,5$ m, jedna na drugiej (1,5 m x 3,0 m), przy czym po ułożeniu płyty drugiej ułożono na niej cztery płaskowniki. Na nich to bowiem oparto łatę i dokonywano pomiarów osiadań stosu płyt,
- b) w kolejnych etapach układane były płyty w pakietach po $6 \div 9$ sztuk, tym jednak razem w poprzek płyt dolnych (3 m x 3 m),
- c) po ułożeniu wszystkich płyt część z nich także etapami, ale w odwrotnej kolejności zdjęto, po czym powtórnie ułożono (odciążenie i powtórne obciążenie).

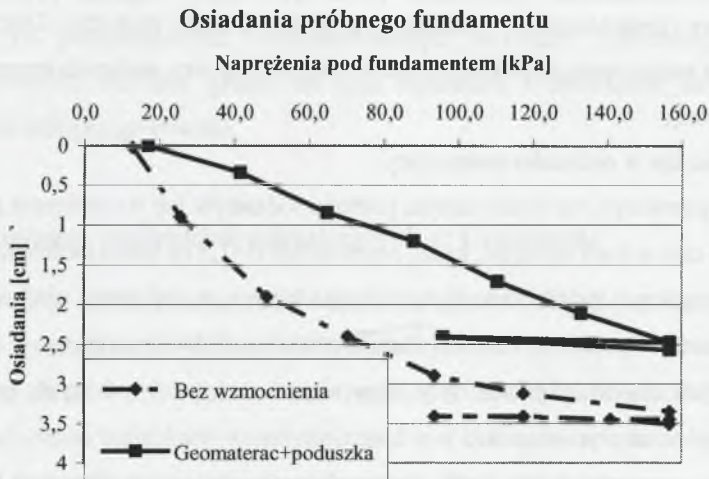
Kolejny etap obciążeń realizowano po zakończeniu poprzedniego, tj. wtedy, kiedy średni przyrost osiadań w ciągu 15 minut nie przekraczał 0,2 mm (za odczyt początkowy przyjęto moment ułożenia ostatniej z czterech płyt).

Stanowisko do badań podłoża rodzimego i wzmocnionego usytuowano obok siebie, na linii przyszłego fundamentu budynku wielorodzinnego. Sam geomaterac wykonano poprzez ułożenie na rozciągniętej warstwie geosiatki 30 cm warstwy pospółki i jej zagęszczeniu sprzętem mechanicznym. Siatkę następnie zawinięto na zakład 1,0 m - całość mocując szpilkami do geomateraca. Poduszkę o wysokości 40 cm ułożono z tego samego żwiru w dwóch warstwach, każdą z nich zagęszczając starannie tym samym sprzętem w podobny

zresztą sposób jak warstwę pierwszą. Przy dwóch ścianach wykopu naturalnego i odpowiednio wykonanych ścianek oporowych z pozostałych dwóch stron zapewnione zostały warunki pracy poduszki zbrojonej zbliżone do rzeczywistych. Przy wyborze szerokości obciążenia ($B=1,5$ m) oraz jego wielkości (łącznie nieco ponad 150 kPa), a także głębokości wykopu i geometrii poduszki ($H_p=0,5B$; $B_p=2B$) oraz geomateraca ($H_g=0,3$ m) kierowano się obciążeniami z konstrukcji i przypuszczalną nośnością podłoża oraz fachową literaturą [2, 8].

Osiadania mierzono za pomocą dwóch niwelatorów w czterech narożnych punktach obciążenia (ławy) co 15 minut, w nawiązaniu do kontrolnego punktu wysokościowego.

Wyniki próbnych obciążeń w postaci zależności obciążenie-osiadanie przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Wyniki próbnych obciążeń podłoża niewzmocnionego i wzmocnionego
Fig. 1. Field tests results for reinforced and unreinforced subsoil

3. Posadowienie magazynu w Piekarach Śląskich

3.1. Informacja o terenie i samej inwestycji

Teren działki jest pochodzenia antropogenicznego, powstały przed minimum 5 laty przez zasypanie w sposób niekontrolowany naturalnego obniżenia terenu odpadami przemysłowymi.

Według dostarczonej dokumentacji projektowany obiekt to hala o wymiarach 42,3 x 44,8 m w konstrukcji stalowej prefabrykowanej. W sporządzonym projekcie przewidziano

posadowienie słupów na monolitycznych stopach żelbetowych i zróżnicowanych wymiarach na poziomie $D_{\min}=2,0$ m p.p.t.

3.2. Warunki gruntowo-wodne

W wykonanej na potrzeby projektu budowlanego dokumentacji [10] wykorzystano rezultaty pięciu odwiertów o głębokości 5 do 6 m.

Podłoże rozpoznanego terenu budują utwory czwartorzędowe, na które składają się współczesne grunty nasypowe o miąższości ponad 5,0 m. Nie nawiercono przy tym spągu gruntów nasypowych. Nasypy budują: nieprzepalone łupki kopalniane, żużel, gruz ceglany, glina, piaski oraz pyły dymnicowe. Stan zagęszczenia nasypów określono jako luźny i średnio zagęszczony, z przewagą tego ostatniego.

W ramach wstępnych badań terenowych wykonano wykop o głębokości ponad 4 m, który potwierdził wnioski cytowanej powyżej dokumentacji. Zauważono przy tym dobre „upakowanie” materiału nasypowego (brak kawern, pustek) i przewarstwienia warstwą pyłów dymnicowych. Pomimo młodego wieku nasyp nosi znamiona starannie formowanego. W podłożu do rozpoznanej wierceniami głębokości nie stwierdzono obecności wody gruntowej.

W podłożu wydzielono w zasadzie jedną warstwę geotechniczną o uśrednionym stopniu zagęszczenia na poziomie $I_D=0,3\div 0,4$.

Podsumowując wyniki przeprowadzonych badań, ich autorzy [10] stwierdzają, że z uwagi na zalegające w podłożu nasypy, a ściślej ich niejednorodność w zakresie uziarnienia, składu mineralnego, stanu fizycznego i miąższości, podłoże to w obecnym stanie nie nadaje się do bezpośredniego posadowienia projektowanego obiektu.

3.3. Przebieg i wyniki próbnych obciążeń podłoża gruntowego

Przeprowadzenie próbnych obciążeń było konsekwencją przyjętej, przy współdziałaniu autora badań, koncepcji bezpośredniego posadowienia projektowanej inwestycji na ulepszonym podłożu nasypowym. Zdecydowano się na przeprowadzenie trzech badań, z których jedno obejmowało próbne obciążenie podłoża „rodzimego”, a pozostałe dwa podłoża wzmocnionego poduszką i geomateracem oraz poduszką i dwiema poziomo ułożonymi, w dolnej jej części, geokratami. Postanowiono, że stanowisko do badań zostanie zlokalizowane w obrębie obiektu, w bezpośrednim sąsiedztwie jednego z przyszłych fundamentów.

Przebieg badań był w ogólności następujący:

- w etapie pierwszym, na wyrównanym podłożu rodzimym lub na geopoduszce, układano blok betonowy o wymiarach 1,5x2,0 m i wys. 0,55 m, na którym ułożone były dwa drewniane krawędziaki z naniesionymi punktami pomiarowymi, dociśnięte blokiem fundamentowym 1,5x2,0x0,55 m. Po ułożeniu tego bloku rozpoczynano pomiar osiadań,
- w kolejnych etapach układane były bloki w pakietach po 1 lub 2 sztuki, przy zapewnionym przewiązaniu spoin pionowych.

Kolejny etap obciążeń realizowano po zakończeniu poprzedniego, tj. wtedy, kiedy średni przyrost osiadań w ciągu 15 minut nie przekraczał 0,2 mm (za odczyt początkowy przyjęto moment ułożenia ostatniego bloku z pakietu).

Stanowiska do badań podłoża rodzimego i wzmocnionego usytuowano obok siebie. Sam geomaterac z geosiatki wykonano poprzez ułożenie na rozciągniętej warstwie geosiatki 30 cm warstwy kruszywa żużlowego i jego zagęszczenie sprzętem mechanicznym. Siatkę następnie zawinięto, na zakład 0,5 m, starannie ją naciągając. Poduszkę o wysokości 35 cm ułożono z tego samego materiału w dwóch warstwach, każdą z nich zagęszczając w identyczny sposób jak warstwę pierwszą. Przy wyborze szerokości obciążenia ($B=1,5$ m) oraz jego wielkości (łącznie nieco ponad 150 kPa), a także głębokości wykopu i geometrii poduszki ($H_p=0,5B$; $B_p=2B$) oraz geomateraca ($H_g=0,3m$) kierowano się obciążeniami z konstrukcji, fachową literaturą i przypuszczalną nośnością podłoża oraz własnymi doświadczeniami w tym względzie [1, 2, 5, 7, 8, 9].

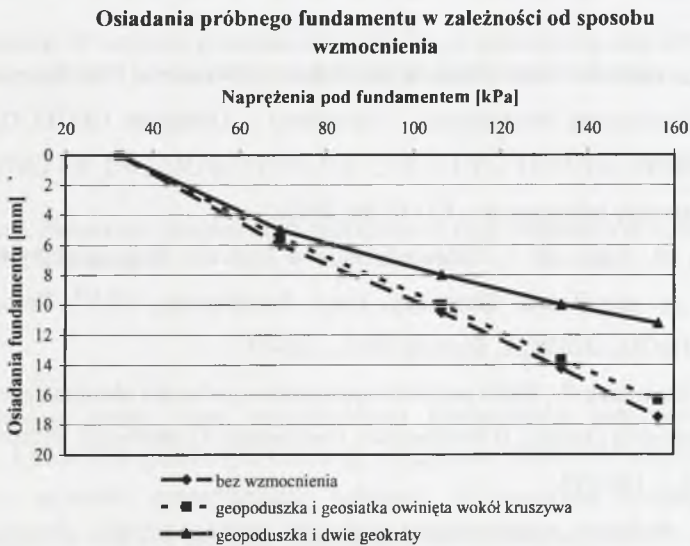
Osiadania mierzono za pomocą niwelatora w czterech narożnych punktach obciążenia, co 15 minut, w nawiązaniu do kontrolnego punktu wysokościowego.

Wyniki próbnych obciążeń w postaci zależności obciążenie – osiadanie przedstawiono na rys. 2.

Należy zauważyć, że w przypadku podłoża niewzmocnionego, w zakresie zrealizowanego obciążenia (33 – 157 kPa), uzyskano osiadanie $s=17,6$ mm i moduł odkształcenia $E_0=9,04$ MPa, a wzmocnionego dwiema geokratami odpowiednio $s=11,5$ mm i $E_0=13,83$ MPa. Oznacza to redukcję osiadań o 35% i wzrost modułu o 53% w stosunku do podłoża niewzmocnionego.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone próbne obciążenia miały na celu weryfikację koncepcji posadowienia obiektów kubaturowych na słabym podłożu wzmocnionym poduszką i geomateracem. Ponadto, miały zweryfikować wyniki wcześniejszych badań laboratoryjnych autora. Warto podkreślić, że zostały one zrealizowane w rzeczywistych warunkach terenowych, przy zastosowaniu docelowych fundamentów oraz dla faktycznych obciążeń eksploatacyjnych.



Rys. 2. Wyniki próbnych obciążeń podłoża niewzmocnionego i wzmocnionego
 Fig. 2. Field tests results for reinforced and unreinforced subsoil

Uzyskane zależności „obciążenie–osiadanie” potwierdziły słuszność tezy, że zastosowanie w strefie spągowej poduszki dodatkowego geomateraca w sposób istotny wpływa na zmniejszenie osiadań fundamentu, a co za tym idzie wzmacnia podłoże. Wyniki te są zbliżone z uzyskanymi w modelowych badaniach laboratoryjnych [1].

Dodajmy jeszcze, że zrealizowane inwestycje należą do nielicznych przykładów posadowienia tego typu obiektów w takich warunkach i przy tak wzmocnionym podłożu.

Literatura

1. Bartoszek Z.: Wpływ wzmocnienia słabego podłoża poduszką zbrojoną geomateracem na zwiększenie jego nośności. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Budownictwo z. 102, Gliwice 2004, s. 67-74.
2. Brząkała W., Nguyen H. S.: O poduszkach, poszewkach i materacach. XII KKMGiF, Szczecin-Międzyzdroje 2000, cz. 1a, s. 65-77.
3. Dembicki E., Alenowicz J. M.: Influence of geotextile on bearing capacity of two - layer subsoil. Materiały konferencji przeprowadzonej w Indyjskim Instytucie Technologii, Bombaj, Indie, 8 – 9 grudnia 1988. A.A. BALKEMA/ROTTERDAM 1989, s. A.61 – A.66.
4. Dokumentacja geotechniczna, Chorzów ul. Żołnierzy Września, Osiedle mieszkaniowe. Autor: Przedsiębiorstwo Produkcyjno – Handlowo – Usługowe GEOBUD, Katowice, październik 2004 r.
5. Elikopol – materiały informacyjne, CD-ROM, 2003.
6. 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.
7. 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.
8. Sękowski J.: Podstawy wymiarowania poduszek wzmacniających. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Budownictwo z. 94, Gliwice 2002.
9. Sztorc W.: Hala magazynowa profili aluminiowych z częścią biurową. Projekt budowlany. Kraków, wrzesień 2004.
10. ZRIG „GEO-GAM”: Dokumentacja badań geotechnicznych. Tychy, październik 2004.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Lech Wysokiński