

PODUSZKA PIASKOWA WZMOCNIONA GEOSYNTETYKIEM

Katarzyna Zabielska-Adamska¹, Maciej Zalewski²

¹ Politechnika Białostocka, Białystok

² Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa

Streszczenie. W artykule omówiono wpływ zbrojenia poduszki piaskowej na nośność podłoża gruntowego i zwiększenie sztywności poduszki. Podano tok postępowania przy projektowaniu poduszki zbrojonej według zaleceń EBGeo. Obliczenia obejmują wybrane ławy dwukondygnacyjnego budynku administracyjno-socjalnego, posadowionego na gruncie organicznym o miąższości 3 m. Zaprojektowano poduszki piaskowe o różnych szerokościach określonych przez wartość kąta rozkładu naprężenia $\beta = 0^\circ, 30^\circ$ i 45° , zbrojone czterema warstwami geosiatki. Obliczenia poduszek przeprowadzono zgodnie z wytycznymi EBGeo. Zbrojenie poduszki piaskowej ma wpływ na nośność podłoża gruntowego na wypieranie, a wpływ zbrojenia jest największy w przypadku poduszki o szerokości równej szerokości fundamentu. Wzrost sztywności poduszki, obliczony według EBGeo, wynika głównie z jej obciążenia i wytrzymałości zbrojenia na rozciąganie.

Słowa kluczowe: płytki wymiana gruntu, podłoże organiczne, poduszka piaskowa, zbrojenie geosyntetykiem

WSTĘP

Zastosowanie geosyntetyków pod fundamenty posadowione na słabym podłożu jest metodą często stosowaną w połączeniu z częściową wymianą podłoża, tzw. poduszkami. Zbrojenie poduszek piaskowych powoduje wzrost ich nośności oraz zmniejszenie deformacji spowodowanych osiadaniem warstw słabonośnych przez rozłożenie działających obciążeń na słabe podłoże [Pisarczyk 2014]. Tego typu wzmocnienia znajdują zastosowanie głównie w budownictwie liniowym, jako zbrojone warstwy wzmacniające, a w mniejszym stopniu w budownictwie kubaturowym ze względu na brak wyspecjalizowanej lite-

Adres do korespondencji – Corresponding author: Katarzyna Zabielska-Adamska, Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Zakład Geotechniki, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok, e-mail: kadamska@pb.edu.pl

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2016

ratury oraz niepewność co do zachowania się obiektów budowlanych posadowionych na tak uformowanym podłożu [Bartoszek i Sękowski 2004].

Wyniki badań polowych podłoża wzmocnionego poduszką oraz poduszką zbrojoną dwiema warstwami geosiatki [Sękowski 2002] wskazały na około dwukrotne zmniejszenie osiadania warstwy zbrojonej w porównaniu z warstwą wzmacniającą bez zbrojenia, oznaczanego za pomocą płyty VSS. W badaniach laboratoryjnych fundamentu $B/L = 1/3,3$ posadowionego na materacu z geosyntetyku komórkowego wypełnionego piaskiem [Dash i in. 2001] uzyskano zmniejszenie osiadania fundamentu o 50% w stosunku do badanego bez wzmocnienia i około 8-krotnie większą nośność podłoża.

Ciekawe badania laboratoryjne fundamentu kołowego na geosyntetyku komórkowym wypełnionym piaskiem posadowionym na podłożu z plastycznej gliny z wewnętrzną pustką przeprowadzili Sireesh i in. [2009]. Badali oni wpływ materaca na sztywność podłoża; i tak przy mniejszych wysokościach geokraty konieczne okazało się podścielenie jej przez dodatkową warstwę geosiatki, co dało wielokrotne zwiększenie nośności podłoża.

Celem pracy jest określenie wpływu zbrojenia poduszki piaskowej, w zależności od jej szerokości, na nośność i sztywność podłoża gruntowego. Obliczenia zostały wykonane zgodnie z procedurą projektową EBGEO [2011].

METODA EBGEO WYMIAROWANIA PODUSZEK ZBROJONYCH

Projektowanie poduszki gruntowej wzmacnianej geosyntetykiem według EBGEO [2011] polega na kolejnym sprawdzeniu:

- nośności na wypieranie gruntu spod fundamentu w przypadku poduszki piaskowej (SGN – STR),
- nośności na wypieranie gruntu spod fundamentu w przypadku poduszki zbrojonej geosyntetykiem (SGN – STR),
- nośności na przesunięcie w przypadku poduszki zbrojonej (SGN – STR),
- osiadania i przechylenia (SGU),
- zniszczenia zbrojenia geosyntetycznego (SGN – STR),
- utraty stateczności ogólnej (SGN – GEO).

Zgodnie z zaleceniami EBGEO [2011] przyjmuje się co najmniej dwie warstwy zbrojenia geosyntetykiem poduszki wzmacniającej, gdzie zbrojenie i wymiary poduszki spełniają zależności:

- warstwy zbrojenia położone są w odstępach $\Delta h \leq 0,5B$ oraz $\Delta h \in (0,15 \text{ m}; 0,40 \text{ m})$,
- długość zbrojenia równoległa do szerokości fundamentu (l_B) spełnia warunek:

$$(B + 4\Delta h) < l_B \leq 2B,$$
- długość zbrojenia równoległa do długości fundamentu (l_L) spełnia warunki:

$$(L + 4\Delta h) < l_L \leq B + L, \text{ gdy } B/L > 0,2 \text{ oraz } l_L = L, \text{ gdy } B/L \leq 0,2,$$
- miąższość poduszki wzmacniającej: $t_p = (n_B + 0,5\Delta h)$, gdzie n_B jest liczbą warstw zbrojenia, a także: $\min t_p = 2,5\Delta h$ oraz $\max t_p = \frac{B}{2} \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi'_{2,k}}{2}\right)$.

Stan graniczny nośności na wypieranie polega na sprawdzeniu, czy przyjęte wymiary poduszki spełniają warunek nośności:

$$E_d \leq R_{n,d} \tag{1}$$

gdzie: E_d – wartość obliczeniowa efektu oddziaływań,

$R'_{n,d}$ – wartość obliczeniowa oporu granicznego gruntu

$$R_{n,d} = \frac{R_{n,k}}{\gamma_R} \tag{2}$$

gdzie $R'_{n,k}$ jest wartością charakterystyczną oporu granicznego.

Opór graniczny podłoża wzmocnionego poduszką (rys. 1) oblicza się ze wzoru:

$$R'_{n,k} = A' \cdot (\gamma_{2,k} \cdot B' \cdot N_b \cdot k_b + q' \cdot D \cdot N_d \cdot k_d + c'_{2,k} \cdot N_c \cdot k_c)$$

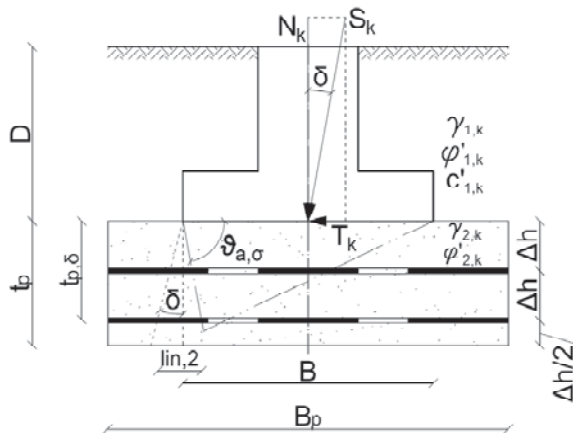
gdzie: $A'B'$ – wartości efektywne powierzchni i szerokości fundamentu,

D – głębokość posadowienia,

$\gamma_{2,k}$ – ciężar objętościowy poduszki wzmocniającej,

$\gamma_{1,k}$ – ciężar objętościowy gruntu powyżej poziomu posadowienia,

$c'_{2,k}$ – efektywna spójność gruntu poniżej poziomu posadowienia.



Rys. 1. Schemat obliczeniowy zbrojonej poduszki wzmocniającej według EBGE [2011]
 Fig. 1. Calculation scheme of reinforced foundation pad according to EBGE [2011]

Teoretyczną grubość poduszki, przy kącie nachylenia obciążenia $\delta \neq 0$, oblicza się ze wzoru:

$$t_{p,\delta} = \frac{\sin \theta_{a,\delta} \cdot \cos(\theta_{a,\delta} - \phi'_{2,k})}{\cos \phi'_{2,k}} \cdot B \tag{4}$$

gdzie $\theta_{a,\delta}$ jest kątem płaszczyzny poślizgu klina odłamu (rys. 1)

$$\theta_{a,\delta} = \arccot \left[\sqrt{(1 + \tan^2 \phi'_{2,k}) \cdot \frac{\tan \phi'_{2,k} - \tan \delta}{\tan \phi'_{2,k} + \tan \delta}} - \tan \phi'_{2,k} \right] \tag{5}$$

Wzór (3), z uwzględnieniem skorygowanych współczynników, przyjmuje postać (EBGEO 2011):

$$R'_{n,k} = A' \cdot (\gamma_{2,k} \cdot B' \cdot N_b \cdot k'_b + q' \cdot D \cdot N_d \cdot k'_d + c'_{2,k} \cdot N_c \cdot k'_c) \quad (6)$$

Wartości współczynników nośności N_d , N_c i N_b oraz współczynniki nachylenia wypadkowej obciążenia i_d , i_b i i_c , a także współczynniki korekcyjne k_d , k_c i k_b wraz z ich wartościami skorygowanymi k'_d , k'_c i k'_b według [EBGEO 2011] opisano w pracy Zabielskiej-Adamskiej i Zalewskiego [2016].

Aby określić opór graniczny podłoża wzmocnionego poduszką zbrojoną geosyntetykiem, należy zastosować dodatek zwiększający nośność poduszki zgodnie ze wzorem:

$$\Delta R_{n,k} = \frac{\cos \varphi'_{2,k} \cdot \cos \delta}{\cos(\vartheta_{a,\delta} - \delta)} \cdot \sum_{i=1}^n R_{i,k} \quad (7)$$

gdzie $R_{i,k}$ jest parametrem opisanym za pomocą charakterystycznej wytrzymałości zbrojenia na rozciąganie ($R_{B,k}$) lub charakterystycznej wytrzymałości na wyciąganie ($R_{A,i,k}$).

Dodatek zwiększający uwzględnia się ostatecznie we wzorze na opór graniczny podłoża zgodnie z zależnością:

$$R_{n,k} = R'_{n,k} + \Delta R_{n,k} \quad (8)$$

Wytrzymałość poszczególnych warstw zbrojenia na wyciąganie oblicza się ze wzoru:

$$R_{A,i,k} = 2 \cdot f_{sg,k} \cdot (N_k/B \cdot l_{in,i} + \sigma_{v,i} \cdot l_{u,b}) \quad (9)$$

gdzie: $f_{sg,k}$ – współczynnik tarcia pomiędzy fundamentem i poduszką piaskową

$$f_{sg,k} = \lambda \cdot \tan \varphi'_{2k} \quad (10)$$

N_k – charakterystyczna wartość siły pionowej działającej w podstawie fundamentu,
 $l_{in,i}$ – odległość pomiędzy klinem odłamu i krawędzią fundamentu, wyznaczana w i -tej warstwie, zgodnie z rysunkiem 1 (i – numer warstwy zbrojenia),

$$l_{in,i} = (\cot \vartheta_a + \tan \delta) \cdot \Delta h \cdot i \quad (11)$$

$\sigma_{v,i}$ – wartość naprężenia pionowego w poziomie i -tej warstwy zbrojenia

$$\sigma_{v,i} = \gamma_{2,k} \cdot \Delta h \cdot i + \gamma_{1,k} \cdot D \quad (12)$$

$l_{u,b}$ – szerokość warstwy zbrojenia poza obrysem fundamentu

$$l_{u,b} = 0,5 \cdot (l_B - B) \quad (13)$$

l_B – długość zbrojenia, a B – szerokość fundamentu.

Według EBGEO [2011] współczynnik współpracy ze względu na tarcie (λ) pomiędzy gruntem zasypki a materiałem geosyntetycznym przybiera wartości pomiędzy 0,5 i 1,0. Współczynnik λ można przyjmować w granicach [Gajewska i in. 2003]:

- dla geowłókniny i geotkaniny $\lambda = 0,6-0,8$,
- dla geosiatki (georusztów) $\lambda = 0,8-1,0$.

Wartość obliczeniowa wytrzymałości na rozciąganie [EBGEO 2011] jest dana wzorem:

$$R_{B,d} = \frac{F_{B,k}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot \gamma_B} \quad (14)$$

gdzie: A_1 – A_5 – kolejne współczynniki redukcyjne dobrane dla zbrojenia poduszki piaskowej:

$A_1 = 2,5$ – współczynnik redukcyjny ze względu na pełzanie,

$A_2 = 1,5$ – współczynnik uwzględniający zniszczenia podczas wbudowywania, transportu i zagęszczania,

$A_3 = A_4 = A_5 = 1,0$ – współczynniki uwzględniające odpowiednio: proces łączenia (tu brak połączeń), wpływ środowiska i oddziaływań dynamicznych,

γ_B – częściowy współczynnik bezpieczeństwa do oporu elementów podatnego zbrojenia – geosyntetyków, równy 1,4, 1,3 i 1,2 przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności w podejściu obliczeniowym odpowiednio: 1, 2 i 3 [DIN 2005].

Charakterystyczną wartością wytrzymałości długoterminowej geosyntetyku w warstwie i -tej oblicza się według wzoru:

$$R_{Bi,k} = R_{Bi,d} \cdot \gamma_B \quad (15)$$

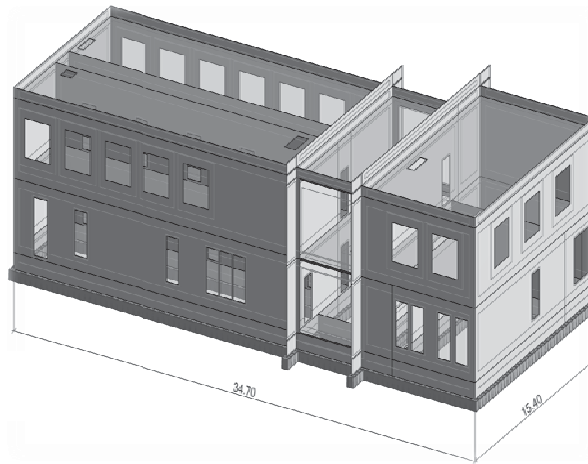
Inną, istotną rolę zbrojenia, oprócz zwiększenia nośności podłoża ze względu na wywieranie, jest zwiększenie modułu odkształcenia poduszki piaskowej. Sztywność poduszki, traktowanej jako jednorodna bryła, wzrasta po uwzględnieniu dodatku zwiększenia nośności poduszki spowodowanego zbrojeniem [EBGEO 2011] zgodnie ze wzorem:

$$E'_{s,k} = E_{s,k} \cdot \left(1 - \frac{N_k}{R'_{n,k} + \Delta R_{n,k}} \right) \cdot \frac{R_{n,k} + \Delta R_{n,k}}{R'_{n,k}} \quad (16)$$

MATERIAŁ I METODY

Wykonano projekt posadowienia dwóch wybranych ław fundamentowych na poduszkach piaskowych zbrojonych geosyntetykiem dla budynku administracyjno-socjalnego Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych (ZUOK) w Białymstoku [Sieradzki i in. 2013]. Jest to budynek dwukondygnacyjny w technologii murowanej, niepodpiwniczony. Obciążenia przekazywane przez budynek na poszczególne fundamenty określono za pomocą programu Autodesk Robot Structural Analysis 2014 [Zalewski 2015]. Na rysunku 2 pokazano schematyczny widok budynku z zaznaczeniem wybranych ław fundamentowych, a w tabeli 1 – zestawienie obciążeń dla wybranych fundamentów F5 i F8.

W podłożu [Antczak i in. 2012] od poziomu terenu stwierdzono grunt organiczny – torf (O_S) o miąższości 2,80 m. Poniżej, do głębokości 4,70 m, zalega piasek drobny (FSa) oraz pylasty (piasek z pyłem – siSa) o uśrednionym stopniu zagęszczenia $I_D = 0,50$, podścielony gliną piaszczystą (iłem z piaskiem – saCl) w stanie półzwarłym o stopniu plastyczności $I_L = 0,00$. Nawiercony, ustabilizowany poziom wody gruntowej stwierdzono na głębokości 3,03 m. Parametry geotechniczne gruntów występujących w podłożu



Rys. 2. Schematyczny widok budynku administracyjno-socjalnego z zaznaczeniem rozważanych łąw fundamentowych

Fig. 2. Schematic view of administration building with shown considered strip foundations

Tabela 1. Obciążenie fundamentów F5 i F8 na 1 mb

Table 1. Loading of the F5 and F8 foundations on 1 running metre

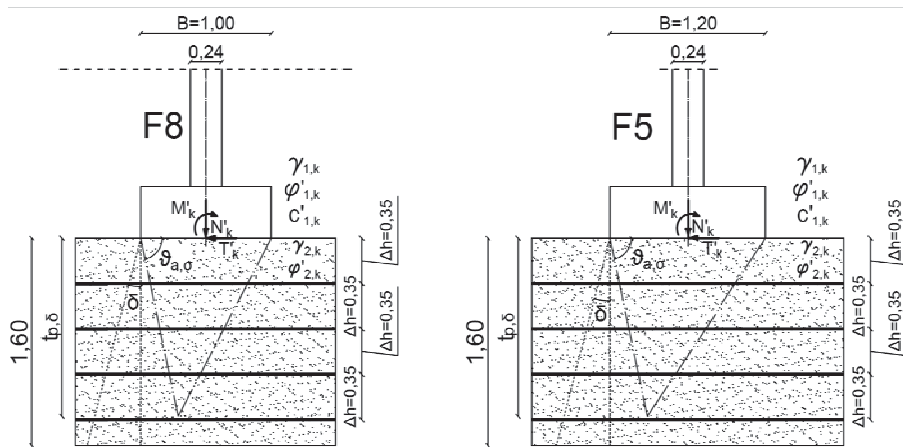
Obciążenie Loading	SGN ULS		SGU SLS	
	F5	F8	F5	F8
N [kN·m ⁻¹]	167,26	117,39	221,47	157,00
M [kNm·m ⁻¹]	-1,67	-2,2	-2,23	-3,01
T [kN·m ⁻¹]	-7,50	-14,92	-10,07	-19,82

przedstawiono w pracy Zabielskiej-Adamskiej i Zalewskiego [2016]. Parametry torfu do obliczeń posadowienia przyjęto za Rowe i Soderman [1985], jako: wartości efektywne kąta tarcia wewnętrznego gruntu i spójności – odpowiednio 27° i 1,8 kPa, edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej – 225 kPa, a współczynnik Poissona – 0,15.

Głębokość posadowienia przyjęto równą 1,20 m jako minimalną głębokość przemarzania dla Białegostoku. Szerokości łąw przyjęto jako: F5 – 1,20 m, F8 – 1,00 m. Wyznaczone analitycznie osiadania łąw posadowionych bezpośrednio na torfie wynoszą: w przypadku F5 – 74,3 cm, a F8 – 60,1 cm. Na podstawie obliczeń statycznych posadowienia bezpośredniego łąw F5 i F8 według Eurokodu 7 [PN-EN 1997-1:2008, PN-EN 1997-1:2008/Ap2:2010] stwierdzono konieczność pełnej wymiany torfu (miąższość 1,60 m od poziomu posadowienia) ze względu na niespełnienie SGU przy wymianie częściowej, bez względu na szerokość poduszki wzmacniającej [Zalewski 2015].

Obliczenia statyczne przeprowadzono analitycznie zgodnie z procedurą EBGE0 [2011] opisaną w poprzednim rozdziale. Zaprojektowano poduszki piaskowe z zagęszczonego ($I_D = 0,70$) piasku średniego (MSa), wzmocnione za pomocą poliesterowej tkanej geosiatki Fortrac® 110, zalecaniej do wzmacniania słabego podłoża [Almeida i Marques 2013].

Charakterystyczna wytrzymałość geosiatki na rozciąganie ($F_{B,k}$) wynosi $110 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$. Do zbrojenia poduszki piaskowej przyjęto 4 warstwy zbrojenia geosyntetycznego o rozstawie 35 cm, co pokazano na rysunku 3. Przyjęta grubość poduszki spełnia wymagania minimalnej miąższości poduszki ze względu na przyjęty rozstaw [EBGEO 2011]. Rozstaw maksymalny jest przekroczony ze względu na pełną wymianę gruntu – wyniki obliczeń zostaną podane w formie wykorzystania nośności gruntu. Długość poszczególnych warstw zbrojenia zależy od założonego kąta rozchodzenia się naprężenia (β). Rozpatrzono 3 warianty poduszek piaskowych o szerokościach zależnych od założonego kąta rozkładu naprężenia β , równego: 0° , 30° i 45° , aby można było porównać rezultaty obliczeń z wynikami zawartymi w artykule Zabielskiej-Adamskiej i Zalewskiego [2016].



Rys. 3. Zbrojone poduszki wzmacniające – klin odłamu w przypadku nachylenia wypadkowej obciążenia i projektowanej geometrii układu według EBGEO [2011]

Fig. 3. Reinforced foundation pads – failure wedges for inclined load and design geometry according to EBGEO [2011]

Po przyjęciu zbrojenia poduszek obliczono wzrost sztywności (modułu odkształcenia) poduszki piaskowej spowodowany zbrojeniem geosyntetycznym dla każdego z rozpatrywanych przypadków.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

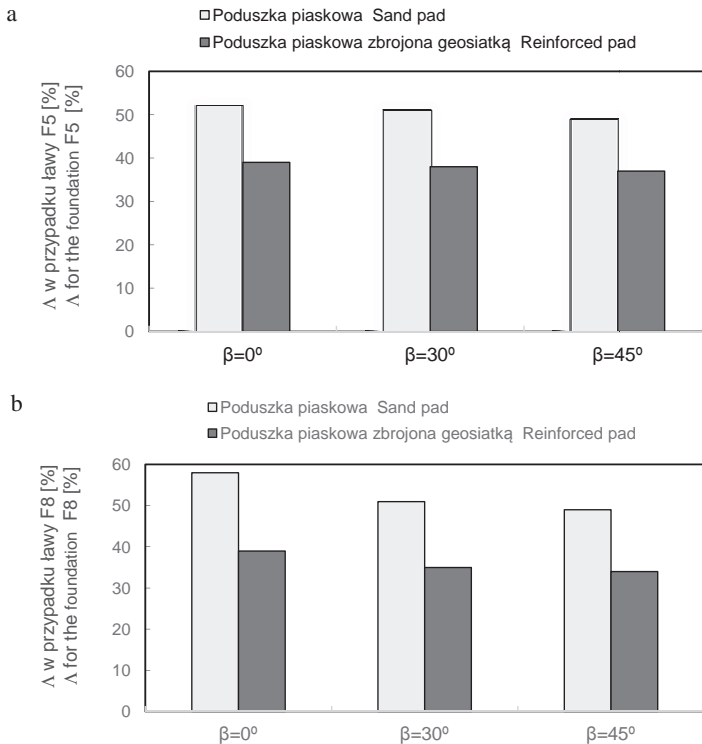
Analizie poddano nośność podłoża na wypieranie gruntu spod fundamentu przy zastosowaniu poduszki oraz poduszki zbrojonej geosyntetykiem. Obliczenia przeprowadzono w poziomie posadowienia fundamentu według wzoru:

$$A = \frac{E_d}{R_d} \cdot 100 \leq 100\% \quad (17)$$

gdzie: E_d – wartość obliczeniowa siły wypadkowej, działającej w poziomie posadowienia lub w spągu poduszki,

R_d – wartość obliczeniowa oporu granicznego przeciw oddziaływaniu, zależna od sytuacji obliczeniowej.

Pominięto wpływ zbrojenia na nośność podłoża gruntowego ze względu na poślizg w poziomie posadowienia i w spągu poduszki piaskowej, ponieważ wpływ zbrojenia jest znikomy. Wyniki obliczeń, jako procentowe wykorzystanie nośności zgodnie ze wzorem (17), przedstawiono na rysunku 4.

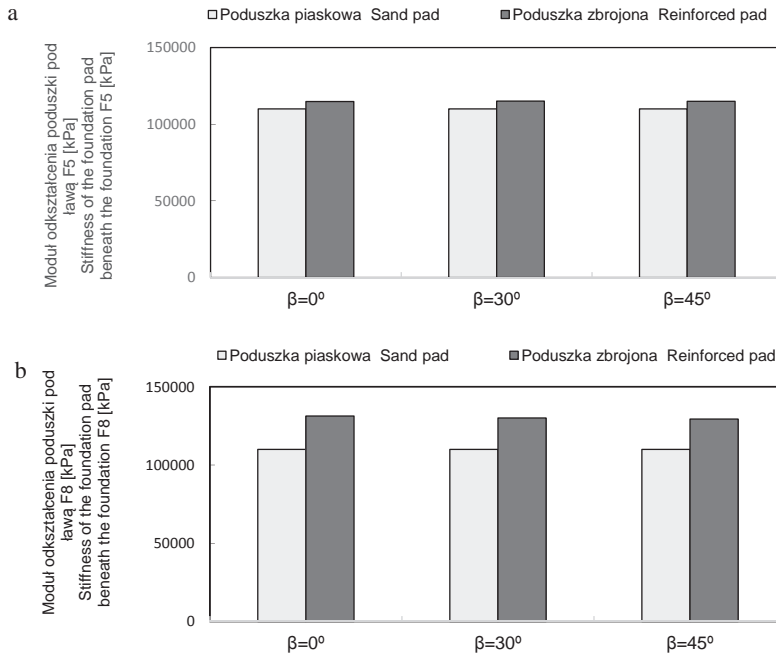


Rys. 4. Wpływ zbrojenia na nośność podłoża na wypieranie: a – łąwa F5, b – łąwa F8

Fig. 4. The impact of reinforcement on bearing resistance: a – foundation F5, b – foundation F8

Analizując wyniki obliczeń, można stwierdzić, że wpływ zbrojenia maleje nieznacznie wraz ze wzrostem szerokości poduszki. Większą efektywność zastosowania zbrojenia obserwuje się w przypadku łąwy skrajnej. W przypadku łąwy F5 wykorzystanie nośności na wypieranie gruntu spod fundamentu zmalało od 13 do 12% wraz ze zwiększeniem szerokości fundamentu, a dla łąwy skrajnej F8 – od 19 do 17%. Zastosowanie zbrojenia czterema warstwami geosiatki ma największy wpływ na nośność, gdy szerokość poduszki piaskowej i długość zbrojenia są równe szerokości fundamentu.

Na rysunku 5 przedstawiono porównanie sztywności materiału poduszki wzmacniającej przed i po zastosowaniu zbrojenia geosyntetykiem. Można stwierdzić, że głównym czynnikiem wpływającym na potencjalny wzrost modułu odkształcenia gruntu jest ob-



Rys. 5. Wpływ zbrojenia na sztywność poduszki wzmacniającej: a – łąwa F5, b – łąwa F8

Fig. 5. The influence of reinforcement on stiffness of the foundation pad: a – foundation F5, b – foundation F8

ciężenie przekazywane na poduszkę piaskową. Przy większym obciążeniu (łąwa F5) uzyskany wzrost wynosi około 5%. Natomiast w przypadku łąwy F8, gdzie obciążenia i wymiary łąwy są mniejsze, uzyskany wzrost wynosi 18%. Czynnikiem mającym bezpośredni wpływ na wzrost sztywności materiału poduszki jest wytrzymałość zbrojenia. Im większa charakterystyczna wytrzymałość zbrojenia na rozciąganie, tym większa sztywność poduszki piaskowej. Szerokość poduszki nieznacznie wpływa na wzrost sztywności określony według EBGeo [2011].

WNIOSKI

1. Zbrojenie poduszek piaskowych pod fundamentami pozwala na zwiększenie nośności podłoża lub zmniejszenie wymiarów poduszki przy zachowaniu jednakowej nośności. Obliczony wzrost nośności po zastosowaniu zbrojenia sięgał 19% w stosunku do poduszki bez zbrojenia.

2. Zbrojenie poduszek pod fundamentami jest najbardziej efektywne przy szerokości poduszki zbliżonej do szerokości fundamentu. Większy wpływ zbrojenia zaobserwowano w przypadku łąwy skrajnej.

3. Wzrost sztywności materiału poduszki po zastosowaniu zbrojenia zależy głównie od wytrzymałości geosyntetyku na rozciąganie oraz wartości naprężenia w gruncie w poziomie posadowienia fundamentu.

4. Przy projektowaniu zbrojonych poduszek wzmacniających nie należy kierować się założonym kątem rozkładu naprężenia, ale wytycznymi projektowymi, ponieważ zwiększenie szerokości ławy powoduje jedynie nieznaczny wzrost nośności podłoża gruntowego.

PIŚMIENNICTWO

- Almeida, M.S.S., Marques, M.E.S. (2013). Design and performance of embankments on very soft soils. CRC Press, Boca Raton.
- Antczak, T. i in. (2012). Dokumentacja badań podłoża gruntowego dla określenia warunków grunto-wodnych i geotechnicznych w podłożu projektowanego Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych w Białymstoku. Geoprojekt, Warszawa.
- Bartoszek, Z., Sękowski, J. (2004). Słabe podłoże wzmocnione poduszką zbrojoną geomateracem. Analiza numeryczna układu. Mat. II Problemowej Konferencji Geotechniki, Białystok – Białowieża.
- Dash, S.K., Krishnaswamy, N.R., Rajagopal, K. (2001). Bearing capacity of strip footings supported on geocell-reinforced sand. *Geotextiles & Geomembranes*, 19, 235–256.
- DIN 1054:2005-01. Subsoil. Verification of the safety earthworks and foundations.
- EBGEO (2011). Recommendations for design and analysis of earth structures using geosynthetic reinforcements. Ernst & Sohn Verlag, Berlin.
- Gajewska, B., Kłosiński, B., Rychlewski, P., Grzegorzewicz, K. (2003). Metody stosowania geosyntetyków do budowy i wzmocnienia nawierzchni i ziemnych budowli drogowych. Zastosowanie geosyntetyków w budowlach ziemnych. IBDiM, Warszawa.
- Pisarczyk, S. (2014). Geoinżynieria. Metody modyfikacji podłoża gruntowego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- PN-EN 1997-1:2008. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-1:2008/Ap2:2010. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- Rowe, R.K., Soderman, K.L. (1985). Geotextile Reinforcement of Embankments on Peat. *Geotextiles & Geomembranes*, 2, 277–298.
- Sękowski, J. (2002). Podstawy wymiarowania poduszek wzmacniających. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Sieradzki, J. i in. (2013). Projekt architektoniczno-budowlany Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych (ZUOK) w Białymstoku. Zleceniodawca: konsorcjum firm Budimex, Cespa, Képpel Seghers.
- Sireesh, S., Sitharam, T.G., Dash, S.K. (2009). Bearing capacity of circular footing on geocell-sand mattress overlying clay bed with void. *Geotextiles & Geomembranes*, 27, 89–98.
- Zabielska-Adamska, K., Zalewski, M. (2016). Wpływ szerokości poduszki piaskowej na nośność i osiadanie podłoża gruntowego. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 15 (2), 91–101.
- Zalewski, M. (2015). Płytką wymiana podłoża gruntowego. Praca magisterska. Politechnika Białostocka, Białystok.

FOUNDATION PAD REINFORCED BY GEOSYNTHETICS

Abstract. The influence of the foundation pad reinforcement on bearing capacity and stiffness increasing was described in the paper. The procedure of designing the reinforced foundation pad according to EBGEO was given. The calculations for chosen strip foundation of a two-storey administration building, constructed on organic ground with thickness of 3 m, were shown. Pads with different width, determined by the value of stress distribution angle

$\beta = 0^\circ, 30^\circ$ and 45° , reinforced by four layers of geogrid were designed based on EBGEO. Foundation pad reinforcement affects the subgrade bearing capacity, and the impact is the greatest in the case of pad with width equalled to strip foundation width. The stiffness pad increase, calculated according to EBGEO, is mainly due to pad loading and strength of the geosynthetics.

Key words: shallow soft soil replacement, organic subgrade, foundation pad, geosynthetic reinforcement

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 26.07.2016

Cytowanie: Zabielska-Adamska, K., Zalewski, M. (2016) Poduszka piaskowa wzmocniona geosyntetykiem. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 15 (3), 81–91.