

# Projektowanie platform roboczych z zastosowaniem geosyntetyków

Dr inż. Angelika Duszyńska, mgr inż. Katarzyna Białek  
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Niniejszy artykuł, dotyczący projektowania platform roboczych, jest kontynuacją artykułu pt. „Wykonawstwo platform roboczych pod ciężki sprzęt budowlany” opublikowanego w numerze 6/2010 Inżynierii Morskiej i Geotechniki [2].

Coraz mniejsza dostępność terenów pod budowę o dobrych parametrach wytrzymałościowych zmusza do korzystania z terenów z gruntami o gorszych właściwościach. Grunty słabe wzmacniane są w różny sposób przy użyciu odpowiedniego, z reguły ciężkiego sprzętu. Aby maszyny mogły dotrzeć na miejsce budowy i zachować stateczność podczas pracy, należy obszar prowadzenia robót odpowiednio przygotować, konstruując platformę roboczą. Zazwyczaj jest to konstrukcja tymczasowa, więc w większości przypadków traktuje się ją „po macoszemu”, skupiając się tylko na projekcie zasadniczym, tj. konstrukcji i ewentualnie docelowym wzmocnieniu podłoża gruntowego pod konstrukcją.

Jak wspomniano w [2], na polskim rynku budowlanym na ogół nie przywiązuje się większej wagi do konstrukcji tego rodzaju. W wielu przypadkach platformy robocze buduje się bez szczegółowego projektu i oszacowania sposobu, w jaki naciski od działających na nich urządzeń wpłyną na ich nośność. W skrajnych przypadkach bywa to przyczyną awarii lub też przeciwnie znacznego przeszacowania grubości materiału platformy roboczej. Stąd potrzeba wprowadzenia do praktyki projektowej solidnie ułożonego kompendium wiedzy o platformach, na podstawie którego można by w prosty sposób zaprojektować bezpieczną platformę roboczą.

## MECHANIZM PRACY PLATFORMY ROBOCZEJ

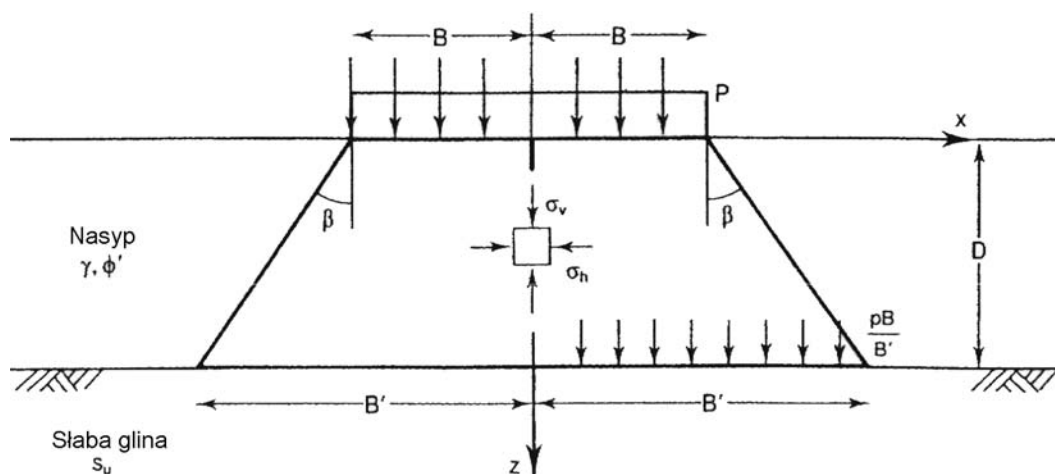
Ideę współpracy platformy roboczej jako struktury złożonej z podłoża gruntowego, materiału nasypowego platformy oraz wzmocnienia geosyntetycznego (stosowanego w niektórych przypadkach celem poprawy nośności) szczegółowo opisano w [1, 3].

Dwuwymiarowe obciążenie platformy roboczej oraz parametry stosowane do jego zdefiniowania przedstawiono na rys. 1. Nacisk na powierzchni gruntu o wartości  $p$ , przyłożony na szerokości  $2B$ , rozchodzi się na boki pod kątem  $\beta$  w warstwie niespoistego nasypu o grubości  $D$ . Zalegające pod platformą słabe podłoże charakteryzuje wartość wytrzymałości na ścinanie „bez odpływu”  $s_{ud}$ . W następstwie rozchodzenia się naprężeń, glina obciążona jest na szerokości. Granulowany materiał, z którego zbudowana jest platforma, ma ciężar objętościowy  $\gamma$  i obliczeniową wartość efektywnego kąta tarcia wewnętrznego  $\phi'_d$ .

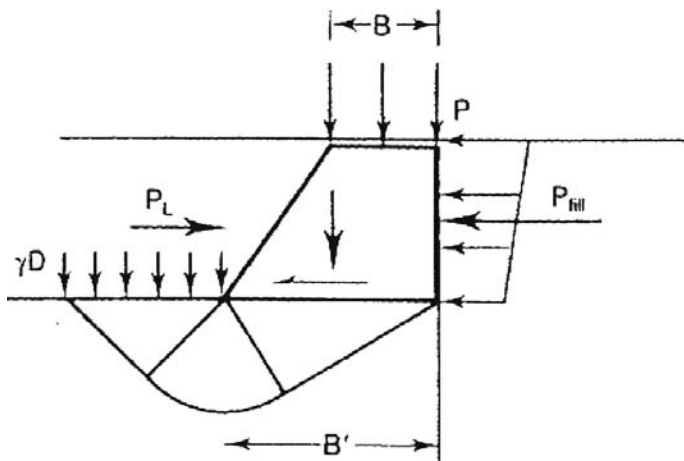
Obciążenie przyłożone na powierzchni terenu (platformy) powoduje wzrost pionowych i poziomych naprężeń w nasypie, który pod wpływem obciążeń przemieszcza się na boki. Minimalne poziome naprężenie  $\sigma_h = K_{ad} \cdot \sigma_v$ , zależy od współczynnika parcia czynnego gruntu  $K_{ad} = \frac{1 - \sin \phi'_d}{1 + \sin \phi'_d}$ .

W nasypie wywołana zostaje siła pozioma  $P_{Fill}$ , która tylko częściowo jest równoważona przez odpór  $P_L$  w przyległym (nieobciążonym) gruncie (rys. 2). Z powodu występowania niewielkich naprężeń, wywołanych ciężarem własnym w nieobciążonym nasypie, dostępny jest tylko ograniczony odpór. Różnica z przeciwdziałających sobie sił poziomych przekazywana jest na zalegające poniżej słabe podłoże jako zewnętrzna siła ścinająca (rys. 2). Konsekwencją występowania zewnętrznej siły ścinającej jest zmniejszenie nośności aż o 50%.

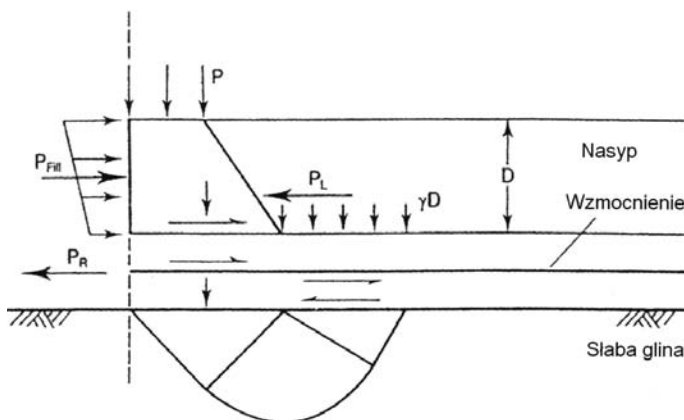
Jeżeli wzmocnienie geosyntetyczne umieszczone między platformą a podłożem jest w stanie w całości przenieść zewnętrzne naprężenie ścinające, możliwe jest zachowanie pełnej nośności gliny (rys. 3). Jest to podstawowy mechanizm wzmocnienia. Drugi, dodatkowy mechanizm wzmocnienia pochodzi od wewnętrznych naprężeń ścinających, które mogą być wykorzystane przez wzmocnienie na powierzchni gliny poza obciążonym obszarem  $B'$ . W najlepszym przypadku całe naprężenie ścinające w tym miejscu  $\tau = s_{ud}$  polepsza nośność gliny o dodatkowe 11%. Jednak na podstawie analiz ustalono, że rozsądnie



Rys. 1. Przypadek dwuwymiarowego obciążenia platformy roboczej [3]



Rys. 2. Kombinacja obciążeń w przypadku podłoża niewzmocnionego [3]



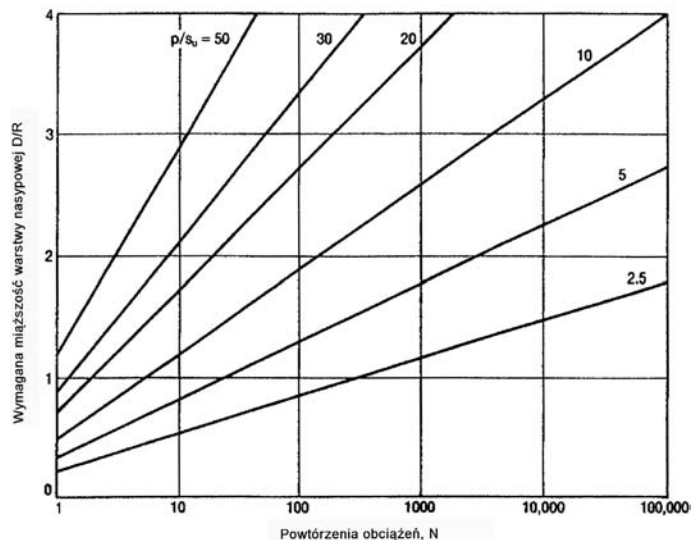
Rys. 3. Działanie zbrojenia przejmujące zewnętrzne naprężenie ścinające [3]

jest pominać to źródło wzmocnienia w przypadku standardowego projektowania. Na styku gliny z geotekstylami działa tylko niewielki nacisk  $\gamma D$ , ograniczający naprężenie ścinające, które może być zmobilizowane. Ponadto gdy w analizie zakłada się dobre połączenie w płaszczyźnie ścięcia, potrzebna jest dużo większa sztywność wzmocnienia, jeżeli powyższy mechanizm wzmocnienia ma być zmobilizowany w zakresie dopuszczalnych przemieszczeń [3].

## PODSTAWY PROJEKTOWANIA PLATFORM ROBOCZYCH

Wymiarując platformy robocze, można bazować na klasycznych metodach projektowania dróg tymczasowych (bez nawierzchni utwardzonej). Podstawowe metody opisywane w literaturze [1, 3] to podejścia Hammitta (1970), Giroud i Noiraya (1981) i Houslby'ego (1989).

Empiryczna zależność zaproponowana przez Hammitta dla niewzmocnionych dróg tymczasowych (bez nawierzchni) oparta została na wcześniejszym podejściu Ahlvina (1959), które wiąże wymaganą grubość kruszywa  $D$  z naciskiem  $p$ , przykładanym na kołową powierzchnię o promieniu  $R$ . Według Ahlvina i Hammitta nośność zależy od kwadratu grubości  $\frac{p}{s_u} \propto \left(\frac{D}{R}\right)^2$ . Hammitt dodatkowo wprowadził współczynnik zmęczenia powiązany



Rys. 4. Zależności dla niewzmocnionych geosyntetykami nieutwardzonych dróg zaproponowana przez Hammitta [3]

z liczbą powtórzeń obciążenia  $N$ . Na podstawie wykonanych obliczeń Hammitt przedstawił swoje zalecenia w formie wykresów projektowych (rys. 4).

Giroud i Noiray zaproponowali użycie dwóch osobnych współczynników nośności dla niewzmocnionych i wzmocnionych dróg tymczasowych  $N_c^u = \pi$  i  $N_c^r = 2 + \pi$ . W analizie przyjęto, że zewnętrzne siły ścinające w słabym podłożu (zależne przede wszystkim od parametrów nasypu i geometria układu) są głównym mechanizmem, który powoduje zmiany nośności. Stosowanie stałej wartości  $N_c^u = \pi$  jest uproszczeniem, jako że zmobilizowany współczynnik nośności w niewzmocnionej drodze tymczasowej może w sposób znaczny przewyższać tę wartość lub być od niej mniejszy, w zależności od parametrów gruntu i geometrii układu. Giroud i Noiray przyjęli, że aby warstwa kruszywa w drodze bez nawierzchni przeniosła obciążenie ruchem, obliczeniowa grubość warstwy kruszywa wzmocnionej geosyntetykiem powinna być taka sama jak wymagana grubość warstwy kruszywa, w podejściu Hammitta w przypadku bez wzmocnienia. Zmniejszyli tym samym oszczędność kruszywa, wynikającą z mniejszej grubości możliwej do uzyskania, uwzględniając zbrojenie w statycznej analizie pierwotnych warunków obciążeń.

W metodzie projektowej zaprezentowanej przez Houslby'ego, obciążenie od kół przyjmuje się jako obciążenie od fundamentu pasmowego. Zakładając płaski stan naprężenia i koncepcję prostego kąta rozkładu obciążenia, zaproponowano nową metodę obliczeń dróg tymczasowych wzmocnionych geosyntetykiem, którą można wykorzystać również przy projektowaniu platform roboczych. W zmodyfikowanej metodzie Houslby'ego – zamiast koncepcji kąta rozkładu obciążenia – wykorzystano równanie Boussinesqu'a dla naprężeń pionowych od obciążeń pasmowych w płaskim stanie odkształcenia.

Houslby nie skupił się głównie na pracy produktu geotekstynnego jako membrany, jak miało to miejsce w metodach starszych jak np. Barenberg (1980), Giroud i Noiray (1981), Raumann (1982), i Sowers (1982). Houslby zaproponował koncepcję zakładającą, że kiedy na warstwę kruszywa zadawane jest pionowe obciążenie, wraz z naprężeniami pionowymi muszą

wystąpić również wysokie naprężenia poziome, które utrzymane są w równowadze poprzez naprężenia ścinające w warstwie wierzchniej podłoża. W przypadku dróg tymczasowych wspomniane naprężenia ścinające w sposób decydujący wpływają na nośność. Wynikającemu z tego wyparcia gruntu w poziomie częściowo przeciwstawia się poziome naprężenie w nasypie poza obciążonym obszarem, ale wpływa to również na powstanie zewnętrznych naprężeń ścinających w podłożu. Obecność tych zewnętrznych naprężeń ścinających redukuje współczynnik nośności dla podłoża do tak małego jak porównywalnie połowa wartości dla niewielkiego obciążenia pionowego. Jeżeli platforma została ułożona na geosyntetyku, naprężenia ścinające przejmowane są przez wzmocnienie geosyntetyczne, które pracuje przede wszystkim na rozciąganie, a tylko niewielkie siły przekazywane są na zalegające poniżej słabe podłoże gruntowe.

Często powoływane w literaturze rozwiązanie opisane przez Jewella [3] bazuje na metodzie Hously'ego. Obie metody wprowadzają założenie o wymuszeniu, pod wpływem obciążeń, dużych naprężeń poziomych w gruncie, które są przenoszone przez siły tnące. Zastosowano taki sam wykres rozkładu naprężeń i podobnie uwzględniono w obliczeniach kąt rozkładu obciążeń  $\beta$  do obliczeń naprężeń pionowych w warstwie nasypu. W ten sam sposób liczy się siłę poziomą występującą w warstwie kruszywa oraz przeciwdziałającą jej siłę od odporu nieobciążonego, sąsiadującego nasypu oraz siły tnące na styku ze słabym podłożem. Również działanie geosyntetyku w analizie Hously'ego i Jewella jest identycznie interpretowane – geosyntetyk nie służy jedynie jako membrana, ale również jednocześnie przenosi siły tnące (rozciągające).

## ZALECENIA OGÓLNE DOTYCZĄCE PROJEKTOWANIA WEDŁUG PORADNIKA BRE 470

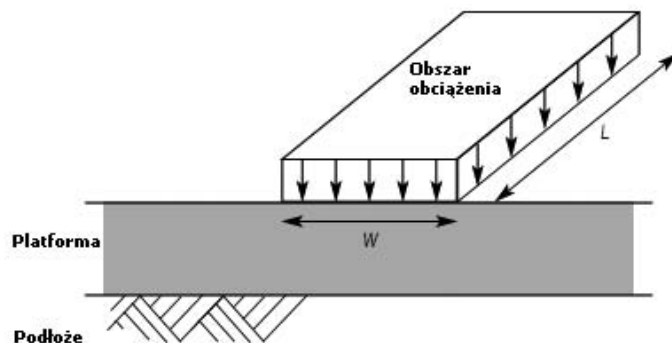
Sposób obliczeń opisany w poradniku BRE 470 [4] oparty jest na analizie opracowanej przez Meyerhofa z zespołem (1974, 1979, 1980, 1981) dla stopy fundamentowej przebijającej „mocny” materiał platformy, ułożony na słabym podłożu gruntowym.

Analiza oparta na mechanizmie ścięcia przy przebicciu stanowi znaczne uproszczenie rzeczywistej sytuacji w terenie i ma charakter półempiryczny. Wyniki obliczeń projektowych zostały skalibrowane z innymi metodami projektowania dla obciążeń pasmowych, jak również z doświadczeniami członków FPS (*Federation of Piling Specialists*) w projektowaniu i realizacji platform roboczych pod palownicę.

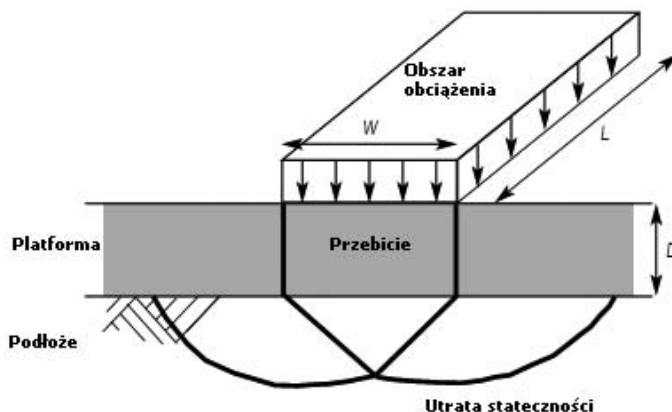
Należy zwrócić uwagę, że jeśli podłoże jest bardzo słabe, uwarstwione, pochyle lub jeśli ze standardowych obliczeń wynika nadmiernie gruba platforma, to odpowiedniejsze może być podjęcie się bardziej zaawansowanych obliczeń niż te, które opisano w [4].

### Nośność podłoża

Gdy obciążenie jest przyłożone do powierzchni, nośność  $R$  podłoża gruntu spoiстого o wytrzymałości na ścinanie „bez odpływu”  $c_u$  wynosi:



Rys. 5. Schemat obliczeniowy platformy na słabym podłożu gruntowym, obciążonej gąsienicą maszyny budowlanej



Rys. 6. Mechanizm ścięcia w podłożu przy przebicciu platformy

$$R = c_u N_c s_c \quad (1)$$

gdzie:

$N_c$  – współczynnik nośności,

$s_c$  – współczynnik kształtu.

Nośność podłoża  $R$  dla gruntu niespoistego, kiedy obciążenie przyłożone jest do powierzchni wynosi:

$$R = 0,5 \gamma'_s W N_{\gamma_s} s_{\gamma} \quad (2)$$

gdzie:

$\gamma'_s$  – ciężar efektywny gruntu podłoża,

$W$  – szerokość gąsienicy maszyny,

$s_{\gamma}$  – współczynnik kształtu,

$N_{\gamma_s}$  – współczynnik nośności.

**Nośność układu platforma-podłoże.** Nośność systemu platforma-podłoże  $R$  rozpatrywana jest zgodnie z dość konserwatywnym podejściem jako suma ścinania wymaganego do przebiccia przez pionową płaszczyznę w ziarnistym materiale platformy oraz nośności podłoża (rys. 6).

Korzystając z uproszczonej analizy opracowanej przez Meyerhofa dla stopy fundamentowej przebijającej warstwę zagęszczonego piasku przykrywającą słabą glinę, uzyskano następujące równanie nośności platformy na podłożu spoiстым:

$$R = c_u N_c s_c + \left( \frac{\gamma_p D^2}{W} \right) K_p \tan \delta s_p \quad (3)$$

Analogicznie można sformułować równanie nośności platformy na podłożu niespoistym:

$$R = 0,5 \gamma'_s W N_{\gamma_s} s_{\gamma} + \left( \frac{\gamma_p D^2}{W} \right) K_p \tan \delta s_p \quad (4)$$

gdzie:

- $D$  – grubość platformy,
- $W$  – szerokość gąsienicy maszyny,
- $N_c$  – współczynnik nośności dla podłoża spoiстого,
- $N_{ys}$  – współczynnik nośności dla podłoża niespoistego,
- $K_p \tan \delta$  – współczynnik oporu na ścinanie przy przebicciu,
- $\gamma_p$  – ciężar objętościowy materiału platformy,
- $\gamma_s$  – efektywny ciężar objętościowy gruntu w podłożu,
- $s_e, s_y$  i  $s_p$  – współczynniki kształtu, które są funkcjami  $W$  i  $L$  (efektywnych wymiarów gąsienicy maszyny).

## Konstrukcyjne wzmocnienie geosyntetyczne

Konstrukcyjne wzmocnienie geosyntetyczne jest to warstwa zbrojąca, w której geosyntetyk przenosi siły rozciągające. Ważne jest, aby umieć odróżnić to od sytuacji, w której geosyntetyk występuje w platformie roboczej z innych względów. Jeśli geosyntetyk zbrojący wbudowany jest w podstawie platformy roboczej w celu przeniesienia naprężeń rozciągających, wymagana grubość platformy może zostać zmniejszona.

Wytrzymałość projektowa na rozciąganie zbrojenia  $T_d$  obliczona jest na podstawie wartości wytrzymałości krótkoterminowej zbrojenia  $T_{ult}$  podzielonej przez współczynnik zmniejszający o wartości minimum 2:

$$T_d = \frac{T_{ult}}{2} \quad (5)$$

Gdy zbrojenie nie jest sztywne, należy zastosować wyższy współczynnik lub wytrzymałość dla 5% odkształcenia.

W projektowaniu należy oszacować nośność, jaką zapewni wzmocnienie geosyntetyczne. Proponuje się wykorzystanie prostego sposobu, opartego na mechanizmie ścięcia przy przebicciu, w którym nośność dodatkowa (związana z obecnością zbrojenia) wynosi  $\frac{2T_d}{W}$ .

## Warunki obciążenia

Obliczenia przyłożonego obciążenia od ciężkiego sprzętu powinny opierać się na podejściu określonym w EN 791:1996 Platformy wiertnicze – bezpieczeństwo i EN 996:1996. Urządzenia wykorzystywane do palowania – Wymagania związane z bezpieczeństwem, tzn. przy użyciu mas i środków ciężkości poszczególnych elementów maszyny oraz krytycznego ustawienia żerdzi lub dźwigu w odniesieniu do orientacji gąsienic. Prowadzi to do trójkątnego lub trapezowego rozkładu obciążeń na długości gąsienicy, będącej w kontakcie z gruntem. Do projektowania przekształca się trójkątne lub trapezowe obciążenie na równoważne mu obciążenie prostokątne, stosując zasady Meyerhoffa (1953).

Niezbędne informacje o charakterystycznych wartościach obciążenia powinien dostarczyć wykonawca. W procesie projektowania rozważane są dwa przypadki obciążenia.

**Obciążenie – przypadek 1.** Operator wiertnicy lub żurawia nie ma wpływu na uniknięcie bezpośrednio grożącej awarii platformy. Działania, w których tego rodzaju obciążenia, mogą występować obejmują:

- postój,
- poruszanie,

- obsługę (tryb pracy żurawia, np. podnoszenie pali prefabrykowanych do prowadnicy, przemieszczanie orurowania i koszy zbrojeniowych).

**Obciążenie – przypadek 2.** Operator wiertnicy lub żurawia może kontrolować bezpieczeństwo obciążenia na przykład przez zwolnienie obciążenia liny lub przez zmniejszenie używanej mocy, w celu zapobieżenia bezpośrednio grożącej awarii platformy. Zasadniczo przypadek 2 dotyczy najgorszej kombinacji obciążenia i orientacji żerdzi. Działania, w których tego rodzaju obciążenia maszyn mogą występować, obejmują:

- instalację orurowania,
- odwierty,
- wyciąganie świdra,
- wyciąganie rur obsadowych,
- przenoszenie żerdzi lub obracanie utwierdzonym masztem, który ma zamontowane obciążenie (np. pal utrzymywany w prowadnicy) blisko powierzchni platformy.

Wartości charakterystyczne dla obciążenia w przypadku 1  $q_{1k}$  i w przypadku 2  $q_{2k}$  powinny być określone zgodnie z normą EN 996:1996. Dla każdego z tych dwóch warunków obciążeń należy sprawdzić kilka sytuacji obciążeń, w wyniku czego otrzymamy różne obciążenia przykładowe na różnych efektywnych długościach gąsienic. W projekcie należy wykonać obliczenia dla najbardziej niekorzystnej sytuacji dla każdego z dwóch warunków obciążeń. Jeżeli w obu sytuacjach wartości obciążeń są podobne, efektywna długość gąsienic może zdecydować, która sytuacja jest bardziej niekorzystna.

## Etapy projektowania

Standardowe obliczenia projektowe obejmują następujące etapy:

- charakterystykę warunków gruntowych;
- analizę warunków obciążenia;
- sprawdzenie nośności podłoża;
- sprawdzenie nośności materiału platformy;
- określenie wymaganej grubości platformy;
- zastosowanie wzmocnienia geosyntetycznego;
- końcową ocenę wyników.

## Ograniczenia możliwości zastosowania standardowych obliczeń według BRE 470

1. Mechanizm ścięcia przy przebicciu można zastosować tylko tam, gdzie platforma robocza jest znacznie wytrzymałsza od podłoża pod nią.
2. Mechanizm ścięcia przy przebicciu jest nieprzydatny tam, gdzie podłoże nie ma praktycznie żadnej wytrzymałości. Dla podłoża spoiстого standardowe obliczenia projektowe nie są odpowiednie, jeśli mamy do czynienia z bardzo słabą gliną o  $c_u < 20$  kPa.
3. Przy dużych grubościach platformy jest raczej mało prawdopodobne, aby ścięcie przy przebicciu było główną przyczyną awarii. Standardowa metoda obliczeń projektowych bazująca na mechanizmie ścięcia przy przebicciu nie jest odpowiednia, gdy  $(D / W) > 1,5$ .

4. W praktyce określa się minimalną grubość platformy, poniżej której nie ma ona znaczącego wpływu na nośność. Jest to 300 mm lub 0,5  $W$  (tylko dla lekkich maszyn).
5. Standardowe obliczenia projektowe można stosować tylko dla płaskich terenów, o nachyleniu nie większym niż 1:10.

## OBLICZENIA GRUBOŚCI PLATFORM ROBOCZYCH WEDŁUG [4]

### Warunki gruntowe

Należy wyznaczyć wartości charakterystyczne następujących parametrów gruntowych:

- 1)  $c_u$  – wytrzymałość na ścinanie bez odpływu,
- 2)  $\phi'_s$  – kąt tarcia wewnętrznego podłoża niespoistego,
- 3)  $\phi'_p$  – kąt tarcia wewnętrznego materiału platformy,
- 4)  $\gamma_p$  – ciężar objętościowy materiału platformy,
- 5)  $\gamma'_s$  – efektywny ciężar objętościowy gruntu podłoża.

Szczególnie ważne jest to, aby przyjęte do projektowania platformy roboczej wartości charakterystyczne parametrów gruntów spoistych były ostrożnym oszacowaniem ich rzeczywistej wytrzymałości, ponieważ wartość wytrzymałości na ścinanie w dużym stopniu zależy od wilgotności, a w przypadku warstw przypowierzchniowych od warunków klimatycznych.

### Obciążenia

W celu zdefiniowania obciążeń należy wyznaczyć charakterystyczne wartości poniższych parametrów:

- $q_1$  – przypadek 1 obciążenia,
- $q_2$  – przypadek 2 obciążenia,
- $W$  – szerokość gąsienicy maszyny,
- $L_1$  – efektywna długość gąsienicy maszyny w przypadku 1 obciążenia,
- $L_2$  – efektywna długość gąsienicy maszyny w przypadku 2 obciążenia.

Następnie należy wyznaczyć wartości projektowe (obliczeniowe) przez zastosowanie odpowiedniego częściowego współczynnika bezpieczeństwa (wartości podano w załączniku A do BRE 470) do odpowiedniej wartości charakterystycznej.

$$q_{1d} = \gamma_q q_{1k}$$

$$q_{2d} = \gamma_q q_{2k}$$

Zaleca się, aby wartości współczynników dla wymiarów gąsienicy były równe jedności:

$$W_d = W_k$$

$$L_{1d} = L_{1k}$$

$$L_{2d} = L_{2k}$$

### Sprawdzenie wytrzymałości podłoża

Projektową (obliczeniową) wartość nośności podłoża  $R_d$  bez platformy roboczej można obliczyć korzystając z wzorów (1) i (2), uwzględniając w nich wartości obliczeniowe parametrów.

Należy określić obciążenia obliczeniowe dla dwóch przypadków obciążeń:

$$1) \text{ dla przypadku 1 obciążenia: } q_{1d} = 2,0 q_{1k}$$

$$2) \text{ dla przypadku 2 obciążenia: } q_{2d} = 1,5 q_{2k}$$

Gdy zarówno  $q_{1d}$ , jak i  $q_{2d}$  są  $< R_d$ , platforma robocza nie jest wymagana, aby utrzymać maszynę. W przeciwnym przypadku wymagane jest zastosowanie platformy roboczej.

### Sprawdzenie wytrzymałości materiału platformy

Należy upewnić się, że przyjęty do projektowania materiał platformy zapewni jej wymaganą nośność, pod warunkiem że zastosuje się odpowiednią grubość platformy.

Porównując obciążenie platformy (dla obu przypadków obciążenia) z jej maksymalną projektową nośnością, należy stosować odpowiednie częściowe współczynniki bezpieczeństwa zarówno dla obciążeń, jak i parametrów wytrzymałościowych oraz współczynniki nośności dla materiału platformy.

Materiał platformy powinien być znacznie mocniejszy niż podłoże gruntowe.

### Wyznaczenie wymaganej grubości platformy

Stwierdziwszy, że samo podłoże gruntowe nie jest w stanie przenieść obciążeń od maszyny oraz że wybrany materiał platformy przy dostatecznej miąższości zapewni odpowiednie wsparcie dla maszyny, należy obliczyć wymaganą grubość platformy dla dwóch przypadków obciążenia.

#### Grunty spoiste:

Dla przypadku 1 obciążenia:

$$D_1 = \left\{ \frac{W_d (q_{1d} - c_{ud} N_c S_{c1})}{\gamma_p K_p \tan \delta s_{p1}} \right\}^{0,5} \quad (6)$$

gdzie  $q_{1d} = 1,6 q_{1k}$

Dla przypadku 2 obciążenia:

$$D_2 = \left\{ \frac{W_d (q_{2d} - c_{ud} N_c S_{c2})}{\gamma_p K_p \tan \delta s_{p2}} \right\}^{0,5} \quad (7)$$

gdzie  $q_{2d} = 1,2 q_{2k}$

#### Grunty niespoiste:

Dla przypadku 1 obciążenia:

$$D_1 = \left\{ \frac{W_d (q_{1d} - 0,5 \gamma'_s W_d N_{\gamma s} s_{\gamma 1})}{\gamma_p K_p \tan \delta s_{p1}} \right\}^{0,5} \quad (8)$$

gdzie  $q_{1d} = 1,6 q_{1k}$

Dla przypadku 2 obciążenia:

$$D_2 = \left\{ \frac{W_d (q_{2d} - 0,5 \gamma'_s W_d N_{\gamma s} s_{\gamma 2})}{\gamma_p K_p \tan \delta s_{p2}} \right\}^{0,5} \quad (9)$$

gdzie  $q_{2d} = 1,2 q_{2k}$

pozostałe oznaczenia jak we wzorach (3) i (4), ale z uwzględnieniem wartości obliczeniowych.

Ostatecznie do celów projektowych należy użyć większej wartości z  $D_1$  i  $D_2$ . Gdy wartości wymaganej grubości platformy znacznie różnią się od siebie, należy sprawdzić ponownie obliczenia i zasadność przyjętych założeń. Minimalna grubość platformy nie powinna być mniejsza niż  $0,5 W$  (dla urządzeń lekkich) lub 300 mm, pomimo że z obliczeń może wynikać mniejsza wartość lub nawet 0.

Gdy z obliczeń wynika, że wymagana jest platforma o znacznej grubości (np.  $D > 0,8$  m), należy rozważyć zastosowanie wytrzymalszego materiału platformy lub wzmocnienia geosyntetykiem. Może on znacznie zmniejszyć wymaganą grubość materiału platformy.

### Zastosowanie wzmocnienia geosyntetycznego

Stosując w konstrukcji platformy roboczej wzmocnienie geosyntetyczne, w obliczeniach wymaganej grubości platformy należy uwzględnić dodatkową nośność wynikającą z zastosowania zbrojenia geosyntetycznego, stąd całkowita nośność wynosi:

grunty spoiste:

$$R_d = c_{ud} N_c s_c + \left( \frac{D^2}{W} \right) \gamma_p K_p \tan \delta s_p + \frac{2T_d}{W_d} \quad (10)$$

grunty niespoiste:

$$R_d = 0,5 \gamma'_s W_d N_{\gamma s} s_{\gamma} + \left( \frac{D^2}{W} \right) \gamma_p K_p \tan \delta s_p + \frac{2T_d}{W_d} \quad (11)$$

Wymaganą grubość platformy wyznacza się następująco:

#### Grunty spoiste:

Dla przypadku 1 obciążenia:

$$D_1 = \left\{ \frac{W_d \left[ q_{1d} - c_{ud} N_c s_{c1} - \left( \frac{2T_d}{W_d} \right) \right]}{\gamma_p K_p \tan \delta s_{p1}} \right\}^{0,5} \quad (12)$$

gdzie  $q_{1d} = 1,6 q_{1k}$

Dla przypadku 2 obciążenia:

$$D_2 = \left\{ \frac{W_d \left[ q_{2d} - c_{ud} N_c s_{c2} - \left( \frac{2T_d}{W_d} \right) \right]}{\gamma_p K_p \tan \delta s_{p2}} \right\}^{0,5} \quad (13)$$

gdzie  $q_{2d} = 1,2 q_{2k}$

#### Grunty niespoiste:

Dla przypadku 1 obciążenia:

$$D_1 = \left\{ \frac{W_d \left[ q_{1d} - 0,5 \gamma'_s W_d N_{\gamma s} s_{\gamma 1} \right] - \left( \frac{2T_d}{W_d} \right)}{\gamma_p K_p \tan \delta s_{p1}} \right\}^{0,5} \quad (14)$$

gdzie  $q_{1d} = 1,6 q_{1k}$

Dla przypadku 2 obciążenia:

$$D_2 = \left\{ \frac{W_d \left[ q_{2d} - 0,5 \gamma'_s W_d N_{\gamma s} s_{\gamma 2} \right] - \left( \frac{2T_d}{W_d} \right)}{\gamma_p K_p \tan \delta s_{p2}} \right\}^{0,5} \quad (15)$$

gdzie  $q_{2d} = 1,2 q_{2k}$

Do celów projektowych należy zastosować większą wartość z  $D_1$  i  $D_2$ , jednak nie mniej niż 300 mm. W projekcie należy również zagwarantować, że geosyntetyk nie ulegnie awarii na skutek wyciągnięcia.

Obliczenia oparte na mechanizmie ścicia przy przebicciu są ważne tylko wtedy, gdy grubość materiału ziarnistego powyżej warstwy wzmocnienia geosyntetycznego nie jest większa niż  $W$  (szerokość gąsienicy maszyny). Zazwyczaj umieszcza się jedną warstwę geosyntetyku w podstawie platformy. Dodatkowe warstwy zbrojenia mogą być wymagane w przypadku bardzo słabych platform.

Ostatecznie, zaniedbując wzmocnienie geosyntetyczne, projektowa grubość platformy powinna spełniać następujące warunki:

zarówno  $q_{1d}$ , jak i  $q_{2d}$  powinno być  $< R_d$

gdzie:

$$q_{1d} = 1,25 q_{1k}$$

$$q_{2d} = 1,05 q_{2k}$$

$$R_d = c_{ud} N_c s_c + \left( \frac{D^2}{W} \right) \gamma_p K_p \tan \delta s_p$$

Jeżeli warunki te nie są spełnione, grubość platformy powinna być zwiększona aż do ich spełnienia.

### Końcowa ocena wyników

Metoda projektowa zaproponowana w poradniku BRE 470 oparta została na wielu upraszczających założeniach i nie reprezentuje w pełni faktycznego zachowania gruntu. Należy również pamiętać, że istnieje prawdopodobieństwo znacznej różnorodności parametrów gruntowych, szczególnie blisko powierzchni terenu. Ważne jest zatem, aby wyniki obliczeń zostały zweryfikowane przez kompetentną osobę, a obliczona wymagana grubość platformy została porównana z obserwacjami zachowania się platform roboczych w podobnych warunkach terenowych.

Jeżeli minimalna grubość platformy roboczej obliczona metodą projektową opisaną w poradniku BRE 470 znacząco odbiega od grubości istniejących, sprawdzonych platform, należy ponownie przeanalizować wartości danych wejściowych.

### PODSUMOWANIE

Stworzenie przejrzystego poradnika BRE 470 [4], który umożliwi projektowanie platform roboczych na podstawie prostych obliczeń inżynierskich, na pewno znacząco wpływa na roz-

propagowanie projektowania platform w Europie. Niestety, poradnik ten jest stosunkowo mało rozpowszechniony w Polsce.

Metoda projektowania zaproponowana w poradniku BRE 470 z założenia ma ułatwiać wymiarowanie grubości statecznych platform roboczych. Po jej szczegółowej analizie można stwierdzić, że metoda ta stanowi dobrą podstawą do prostych obliczeń inżynierskich. Stosując współczynniki odczytywane z nomogramów zawartych w poradniku, można określić miąższości platform roboczych pod najcięższy sprzęt wykorzystywany na placu budowy. Jak zastrzegają autorzy poradnika, nie zwalnia to jednak z odpowiedzialności projektanta, który powinien wnikliwie przeanalizować wyniki obliczeń i na podstawie własnego doświadczenia osądzić ich prawidłowość.

Z drugiej strony doświadczenia użytkowników poradnika prezentowane w prasie branżowej wskazują na jego znaczną zachowawczość i w związku z tym uzyskiwanie nieekonomicznych rozwiązań.

Należy również pamiętać o ogólnym ryzyku, jakie niesie za sobą stosowanie danego sprzętu budowlanego (głównie wiertnic) i potrzebie projektowania platformy pod wybrany rodzaj maszyny. Konieczne jest, aby projekt platformy wykonywała osoba kompetentna, jako że jest to problem geotechniczny i wymagane jest podejście eksperckie. W proces projektowania platformy roboczej powinien być zaangażowany nie tylko pro-

jektant platformy, ale również projektant robót trwałych, główny wykonawca i podwykonawcy.

Problem projektowania platform roboczych w dalszym ciągu wymaga prowadzenia poszukiwań w celu wskazania prostej metody umożliwiającej wyznaczenie takiej grubości platformy, która nie tylko byłaby bezpieczna, ale i nie generowała dodatkowych niepotrzebnych kosztów. Niezbędne są dalsze analizy proponowanych metod obliczeń, jak również podjęcie szerokich badań terenowych i laboratoryjnych platform roboczych, czego autorki niniejszego artykułu podjęły się, rozpoczynając prace od badań modelowych i analiz numerycznych zjawiska.

## LITERATURA

1. Białek K.: Projektowanie platform roboczych z zastosowaniem geosyntetyków. Maszynopis. Praca dyplomowa. WILiŚ Politechnika Gdańska, 2010.
2. Duszyńska A., Białek K.: Wykonawstwo platform roboczych pod ciężki sprzęt budowlany. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 6/2010.
3. Jewell R. A.: Soil reinforcement with geotextiles. CIRIA Special Publication 123, 1996. (Chapter 12, Working platforms and unpaved roads).
4. Skinner H.: Working platforms for tracked plant: good practice guide to the design, installation, maintenance and repair of ground-supported working platforms. BRE 470, BREPress, 2004.