



Ściana oporowa z gruntu zbrojonego geosyntetykami w technologii biernej

Wiesława Kosmala-Kot¹, Michał Pilch²

STRESZCZENIE:

W artykule przedstawiono technologię gruntu zbrojonego wykorzystywaną do budowy konstrukcji oporowych. Opisano dwa sposoby realizacji ścian zależne od charakteru współpracy zbrojenia z oblicowaniem. Pierwszy z nich stanowi ściana oporowa z licem biernym i drugi - z licem aktywnym. Omówiono je, uwzględniając ich zalety i wady. Ściana oporowa w technologii biernej została pokazana na przykładzie realizacji linii kolejowej E30 na odcinku Kraków Główny - Rudzice.

SŁOWA KLUCZOWE:

grunt zbrojony; ściana oporowa bierna; oblicowanie ściany oporowej

1. Wstęp

Konstrukcje z gruntu zbrojonego spotykane były już w starożytności. Grunty o niedostatecznej wytrzymałości wzmocniano, stosując bale drewniane bądź żerdzie. Obecnie zbrojenie gruntu zapoczątkował w 1966 roku we Francji Henri Vidal, wprowadzając poziome wkładki stalowe w konstrukcje oporowe. Obecnie termin „zbrojenie gruntu” obejmuje wiele technologii różniących się między sobą materiałem użytym do zbrojenia, jak geotkaniny, geowłókniny, geosiatki itp. Połączenie gruntu i zbrojenia można uznać za kompozyt, który cechuje się wytrzymałością na rozciąganie. Grunt zbrojony materiałami geosyntetycznymi znajduje zastosowanie między innymi do wznoszenia bezpiecznych konstrukcji oporowych. Do budowy ścian oporowych wykorzystuje się grunt budowlany i materiał geosyntetyczny pełniący rolę zbrojenia. W celu uzyskania efektu architektonicznego przysłania się taką konstrukcją oblicowaniem, które może być elementem składowym ściany, jak też może stanowić ścianę zasłaniającą konstrukcję oporową.

2. Systemy ścian oporowych z gruntu zbrojonego

Ściany oporowe z gruntu zbrojonego geosyntetykami są alternatywnym rozwiązaniem dla tradycyjnych ścian oporowych. Konstrukcje oporowe z gruntu zbrojonego geosyntetykami to konstrukcje, w których naprężenia rozciągające przejmowane są przez odpowiednio zaprojektowane, dobrane i rozmieszczone wkładki polimerowe [1, 2]. Do najważniejszych zalet konstrukcji oporowych z gruntu zbrojonego geosyntetykami oprócz dowolności kształtu lica ściany, prostoty i szybkości realizacji należy przede wszystkim niski koszt budowy [3]. Koszt wykonania ściany w technologii gruntu zbrojonego z reguły jest dwu- lub trzykrotnie mniejszy od ściany wykonanej z żelbetu, a cykl budowy znacząco ulega skróceniu. Istnieją dwa systemy ścian

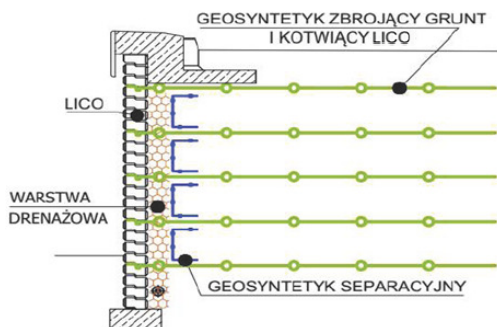
¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42-218 Częstochowa, e-mail: wkot@bud.pcz.pl, orcid id: 0000-0002-3451-8233

² P.R. INORA sp. z o.o., e-mail: tech@inora.pl

oporowych zbrojonych geosyntetykami: aktywny i bierny, zależne od charakteru współpracy zbrojenia z oblicowaniem.

2.1. System aktywny

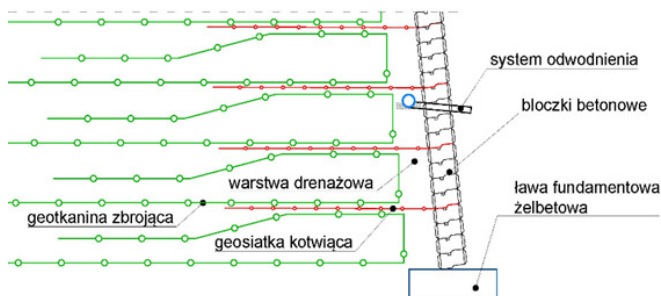
W systemie ścian z licem aktywnym geosyntetyk zbrojący grunt kotwiony jest w licu ściany (rys. 1). Konstruowanie tego typu ścian odbywa się warstwowo, równoległe z formowaniem bloku z gruntu zbrojonego układa się lico, które pełni funkcję szalunku dla kolejnych warstw materiału nasypowego. W związku z tym do zagęszczenia gruntu przy licu ściany można stosować tylko lekki sprzęt. Ze względu na mniejszą ilość materiałów zbrojących konstrukcje systemu aktywnego są tańsze od analogicznych konstrukcji w systemie biernym. Występują jednak dużo wyższe wymagania i mniejsze tolerancje dotyczące m.in. parametrów gruntu zasypowego i jakości wykonania.



Rys. 1. Sposób zbrojenia ściany oporowej z licem aktywnym

2.2. System bierny

W systemie ścian z licem biernym lico i blok z gruntu zbrojonego tworzą niezależną konstrukcję. Zbrojenie konstrukcyjne stanowią wkładki geosyntetyczne zawijane w licu bloku gruntu zbrojonego (rys. 2). Dodatkowo stosuje się elementy kotwiące w postaci krótkich wkładek geosyntetycznych zakotwionych w oblicowaniu łączących oblicowanie z blokiem gruntowym. Konstrukcja bloku z gruntu zbrojonego odsunięta jest najczęściej o 20÷30 centymetrów od elementów lica ściany oporowej. Przestrzeń pomiędzy blokiem a oblicowaniem wypełnia warstwa drenazowa.



Rys. 2. Sposób zbrojenia ściany oporowej biernej na przykładzie inwestycji, Kraków, linia kolejowa E30

Blok z gruntu zbrojonego tworzy niezależną od oblicowania konstrukcję nośną i przejmuje wszystkie oddziaływania. Na oblicowanie działa parcie od zasyпки (głównie warstwy drenazowej) i ssanie wiatru, dlatego stosuje się dodatkowe wkładki kotwiące, łączące lico z blokiem z gruntu zbrojonego. Stanowią one krótkie pasy geosyntetyków kotwione pomiędzy zawijanymi w licu bloku geosyntetykami i pomiędzy bloczkami betonowymi stanowiącymi oblicowanie.

Kotwienie w bloku realizowane jest za pomocą sił tarcia, zaś pomiędzy bloczkami również poprzez tarcie, lecz dodatkowo z zastosowaniem dedykowanego łącznika.

Niekwestionowaną zaletą tej technologii jest możliwość wykorzystania materiału nasypowego o niższych parametrach niż stosowanego przy budowie ścian w systemie aktywnym oraz zagęszczenia materiału zasypowego ciężkim sprzętem aż do samego lica ściany oporowej. Pozwala to na uzyskanie wysokiego wskaźnika zagęszczenia, który zmniejsza ryzyko ewentualnych deformacji lica. Dzięki rozdzieleniu oblicowania od gruntu w pierwszej kolejności można wznieść samostateczny blok z gruntu zbrojonego, a po odczekaniu osiadań i deformacji można przystąpić do wykonania lica (rys. 3-5). W systemie biernym lico stanowi element wykończeniowy, nadający ostateczną formę i kształt konstrukcji. Przy takim sposobie realizacji deformacje i osiadania bloku gruntu zbrojonego nie mają wpływu na estetykę lica. Bardzo dużą zaletą ścian biernych jest możliwość posadowienia ich na gruntach słabych. Lico ściany realizowanej inwestycji pokazanej na rysunkach 3-5 będzie wykonane z bloczków betonowych przedstawionych na rysunku 6. Dobierając odpowiedni materiał do wykonania lica, ścianę oporową można w estetyczny sposób wkomponować w istniejącą zabudowę.



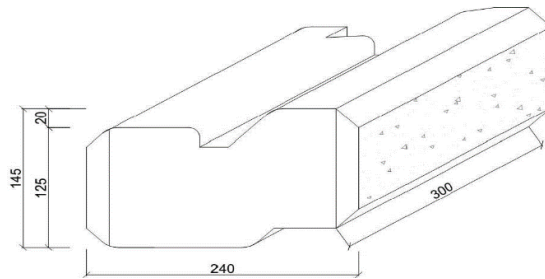
Rys. 3. Realizacja ściany oporowej z licem biernym, Kraków, linia kolejowa E30



Rys. 4. Realizacja ściany oporowej z licem biernym, Kraków, linia kolejowa E30



Rys. 5. Realizacja ściany oporowej z licem biernym, etap wykonania masywu zbrojonego, Kraków, linia kolejowa E30



Rys. 6. Bloczek betonowy licowy dla inwestycji, Kraków, linia kolejowa E30

3. Podstawowe zasady projektowania ścian oporowych w technologii gruntu zbrojonego według EC7

Konstrukcje oporowe z gruntu zbrojonego geosyntetykami w świetle zaleceń EC7 [4] wymiaruje się, bazując na metodzie stanów granicznych. Sprawdza się pierwszy stan graniczny nośności, przyjmując jako obliczeniowe wszystkie wartości dotyczące obciążeń oraz wartości wytrzymałości gruntu i zbrojenia. Sprawdza się również drugi stan graniczny użyteczności, w którym przyjmuje się wszystkie wartości jako charakterystyczne. Przy sprawdzaniu pierwszego stanu granicznego należy przewidzieć możliwość utraty stateczności zewnętrznej (wyparcie gruntu spod posadowienia, poślizg bloku gruntu zbrojonego w poziomie posadowienia, utratę stateczności ogólnej) oraz możliwość utraty stateczności wewnętrznej konstrukcji (poślizg po wszystkich statycznie dopuszczalnych schematach zniszczenia). W praktyce utrata stateczności wewnętrznej jest spowodowana utratą nośności zbrojenia geosyntetycznego wywołaną jego zerwaniem lub brakiem odpowiedniego jego zakotwienia.

Warunek obliczeniowy stateczności w tym przypadku ma postać:

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

lub

$$\frac{1}{f} = \frac{E_d}{R_d} \leq 1,00 \quad (2)$$

gdzie: E_d - siła lub moment od sumy wszystkich oddziaływań, R_d - opór graniczny konstrukcji wzdłuż linii poślizgu przeciwdziałający zsuwowi, $1/f$ - wskaźnik wykorzystania nośności konstrukcji, przy czym R_d jest sumą oporu granicznego wynikającego z wytrzymałości gruntu R_{dg} i zbrojenia R_{dz} .

Zakłada się, że przy ustalaniu oporu granicznego R_{dz} we wszystkich pasmach zbrojenia na linii poślizgu siły są równe mniejszej z sił wynikających z wytrzymałości zbrojenia na rozciąganie oraz na wyciąganie w stanie równowagi granicznej.

Obliczeniową wytrzymałość zbrojenia na rozciąganie dla pierwszego stanu granicznego można wyznaczyć ze wzoru:

$$F_k = \frac{F_{o,k}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma_F} \quad (3)$$

gdzie: $A_{1...4}$ - współczynniki materiałowe, uwzględniające wpływy: pełzania, uszkodzenia mechaniczne, utratę wytrzymałości na połączeniach, wpływ środowiska wodno-gruntowego, $F_{o,k}$ - wartość charakterystyczna wytrzymałości na rozciąganie, γ_F - współczynnik bezpieczeństwa materiałowego przyjmowany np. według Instrukcji ITB nr 429/2007 [1].

Przy sprawdzaniu drugiego stanu granicznego korzysta się z warunku:

$$|s| \leq |s|_{gr} \quad (4)$$

gdzie: $|s|$ - wartość osiadań lub różnic osiadań, $|s|_{gr}$ - graniczna wartość deformacji.

Sprawdzenie stanu granicznego użyteczności można przeprowadzić przez kontrolę odkształceń zbrojenia i wówczas przyjmuje postać:

$$\varepsilon \leq \varepsilon_{gr} \quad (5)$$

gdzie: ε - maksymalna wielkość odkształcenia zbrojenia z uwzględnieniem pełzania w projektowanym okresie użytkowania konstrukcji, ε_{gr} - dopuszczalna wielkość odkształcenia.

W zakresie drugiego stanu granicznego użyteczności dla potrzeb sprawdzenia dopuszczalnego wydłużenia zbrojenia geosyntetycznego wykorzystuje się izochrony - izolnie wydłużenia materiału geosyntetycznego w czasie. Z izochron można odczytać wartość stopnia wykorzystania wytrzymałości zbrojenia geosyntetycznego β dla danego czasu t oraz wydłużenia dopuszczalnego ε . W praktyce określa się maksymalny czas pracy zbrojenia $t = 120$ lat, a wartość odkształcenia dopuszczalnego odczytuje się z Instrukcji ITB nr 429/2007 [1]. Dla ścian oporowych ze sztywną konstrukcją osłonową, poza strefą oddziaływań innych obiektów, $\varepsilon_{gr} \leq 6\%$, dla nasypów i ścian oporowych stanowiących podparcie dróg publicznych $\varepsilon_{gr} \leq 5\%$, dla nasypów i ścian oporowych stanowiących podparcie torów $\varepsilon_{gr} \leq 2\%$.

Proces projektowania ścian oporowych w technologii gruntu zbrojonego geosyntetykami powinien również obejmować obliczenia dla zakotwienia zbrojenia w gruncie (sprawdzenie warunku zakotwienia). Przeprowadzając obliczenia stateczności, sprawdza się poszczególne możliwe schematy zniszczenia konstrukcji, które w praktyce definiowane są za pomocą linii lub krzywych poślizgu. Z chwilą gdy linia lub krzywa poślizgu przecina zbrojenie, zakłada się, że w zbrojeniu może być zmobilizowana siła rozciągająca. Maksymalną wartość siły, jaką może przenieść dana wkładka geosyntetyczna, ustala się, biorąc pod uwagę wytrzymałość na rozciąganie, nośność zakotwienia zbrojenia pozostającego na lewo od linii lub krzywej poślizgu, nośność zakotwienia zbrojenia pozostającego na prawo od linii lub krzywej poślizgu. Wartość minimalna z wyżej wymienionych trzech wartości jest miarodajna i wprowadzana do bilansu sił lub momentów w warunkach równowagi.

Nośność zakotwienia można wyznaczyć np. zgodnie z zaleceniami Instrukcji ITB nr 429/2007 [1] następująco:

- stan graniczny nośności (I. SGN):

$$T_d = 2 \cdot \sigma_{k,SR} \cdot L_B \cdot \frac{\mu_k}{\gamma_{\phi}} \quad (6)$$

- stan graniczny użyteczności (II. SGU):

$$T_k = 2 \cdot \sigma_{k,SR} \cdot L_B \cdot \mu_k \quad (7)$$

gdzie: $\sigma_{k,sr}$ - wartość charakterystyczna naprężenia normalnego do zbrojenia, L_B - długość kotwiąca wkładki, μ_k - wartość charakterystyczna współczynnika tarcia grunt-zbrojenie

$$\mu_k = a_{\phi'} \cdot \tan(\phi'_k) \quad (8)$$

gdzie: $a_{\phi'}$ - wskaźnik ząbienia się gruntu ze zbrojeniem dla wyciągania (pull-out), ϕ'_k - cząstkowy współczynnik bezpieczeństwa dla tarcia wewnętrznego gruntu.

W praktyce wskaźniki ząbienia się z typowymi rodzajami gruntów są podawane przez producentów i mieszczą się w granicach $0,65 \div 0,95$ w zależności od rodzaju materiału nasypowego oraz rodzaju geosyntezy.

Projektowanie zbrojenia geosyntezy ścian oporowych w oparciu o EC7 przebiega podobnie zarówno dla systemów biernych, jak i dla systemów aktywnych. Różnica polega na tym, że dla systemów z licem aktywnym należy przeprowadzić dodatkowe analizy dotyczące wytrzymałości połączeń i deformacji w licu. Wynika to z faktu, iż w systemie aktywnym lico współpracuje bezpośrednio ze zbrojeniem, natomiast w systemie biernym lico pracuje niezależnie (zgodnie z przedstawioną wcześniej charakterystyką lica aktywnego i lica biernego).

4. Podsumowanie

Skrócenie czasu realizacji konstrukcji z gruntu zbrojonego i oszczędności materiałowe to niewątpliwe atuty stosowania tej technologii. Wykonanie ścian oporowych w technologii biernej jest mniej kosztowne w porównaniu z konstrukcjami realizowanymi w technologii aktywnej oraz prostsze w porównaniu do tradycyjnie wykonywanych ścian. Można osiągnąć przyspieszenie terminu realizacji prac, wykorzystując dużo łatwiejszą technologię bierną. W przypadku uszkodzenia oblicowania spowodowanego np. działalnością górniczą czy wypadkami komunikacyjnymi istnieje możliwość jego remontu bądź naprawy. Zastosowanie dwóch elementów ściany oporowej niezależnych w realizacji od siebie pozwala na elastyczne planowanie robót i wykonanie ich oddzielnie. Ma to szczególne znaczenie przy realizacji ścian na gruntach o słabej nośności, gdzie wymagany jest czas na ustabilizowanie pracy konstrukcji. Po tym czasie można bez zbędnego ryzyka wykonać oblicowanie. Do budowy tego typu ścian można wykorzystać również materiał o słabszych parametrach geotechnicznych, a tym samym cenowych.

Literatura

- [1] Instytut Techniki Budowlanej; Projektowanie konstrukcji oporowych, stromych skarp i nasypów z gruntu zbrojonego geosyntezykami; Instrukcje, Wytyczne, Poradniki, 429/2007, Warszawa 2007.
- [2] EBGEO Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen; 2010 (praca zbiorowa).
- [3] Sobolewski J., Pilch M., Konstrukcje ścian oporowych z gruntu zbrojonego geosyntezykami z licem aktywnym i biernym, VI Ogólnopolska Konferencja Mostowców, Wisła, 23-24 maja 2012.
- [4] Eurocode 7; Geotechnical design. EUROPEAN STANDARD, 2004.

Retaining wall constructed of reinforced soil with geotextiles in passive technology

ABSTRACT:

This paper presents the reinforced soil technology used for building of retaining structures. Two types of retaining walls, divergent in terms of cooperation of reinforcement and cladding, have been described. Both types, passive and active walls have been discussed and their pros and cons have been listed. Passive wall examples (photographs) have been presented based on E30 railway line from Krakow Główny to Rudzice.

KEYWORDS:

reinforced soil; passive wall; cladding of the retaining wall