

Tadeusz CHRZAN

**DOBÓR TYPU GEOWŁÓKNINY DLA
SKARPY NACHYLONEJ Z GRUNTU ZBROJONEGO**

**THE SELECTION TYPE OF GEOFIBRES FOR SLOPE WALL
WITH REINFORCEMENT GROUND**

Politechnika Zielonogórska; Zakład Odnowy Środowiska
Technical University in Zielona Góra; Department of Environment Restoration

Streszczenie

W referacie przeanalizowano koszty wzmocnienia geowłókniną skarpy nachylonej o wysokości 6,0m. obciążonej obciążeniem ciągłym. Z analizy wynika że niezależnie od typu i ceny geowłókniny najniższe koszty wykonania skarpy wzmocnionej geowłókniną zapewnia taki jej typ, który ma najwyższą wytrzymałość

Summary

In this paper cost reinforcement slope wall of 6 m height and loaded continuous load has been analyzed. With analysis result is that minimum cost of building reinforcement slope wall will be for geofibres with maximum tensile strength.

1. WSTĘP

Grunt zbrojony jest to materiał konstrukcyjny utworzony poprzez warstwy gruntu przedzielone regularnymi warstwami innego materiału, zwanego zbrojeniem, które przenosi siły rozciągające. Zbrojeniem mogą być metalowe taśmy (klasyczny grunt zbrojony) lub maty z tworzyw sztucznych (geowłókniny, geotkaniny, geosiatki, georuszty). Konstrukcja utworzona z warstwy gruntu nasypanego na jedną warstwę zbrojenia nie jest konstrukcją z gruntu zbrojonego i nie może być obliczana według podanych wzorów.

Budowa nasypu z gruntu zbrojonego na słabonośnym podłożu jest od 30 do 60% tańsza od budowy muru oporowego, który utrzymuje ten nasyp w równowadze. Czoło ściany nasypu z gruntu zbrojonego jest osłonięte ścianką osłonową, którą mogą stanowić: płyty żelbetowe, metalowe panele lub zawinięta geowłóknina.

Ścianka osłonowa zabezpiecza grunt przed wysypywaniem się. Na ściankę osłonową działa parcie gruntu zbrojonego, które jest równoważone wytrzymałością zbrojenia na rozciąganie. Utrata stateczności konstrukcji nasypu następuje po osiągnięciu stanu granicznego.

Dla ścian oporowych z gruntu zbrojonego mogą wystąpić następujące rodzaje stanu granicznego:

- stan graniczny nośności, który obejmuje: wypieranie podłoża, poślizg po podłożu, stateczność konstrukcji skarpy zbrojonej, możliwość zerwania zbrojenia, stateczność ściany oporowej wraz ze zboczem jako całości;
- stan graniczny użytkowania obejmujący osiadanie ściany oporowej.

Podane metody obliczeniowe są oparte na opisie gruntu zbrojonego jako kompozytu. Kompozyt jest to materiał utworzony co najmniej z dwóch składników, którego łączne właściwości zależą od właściwości poszczególnych składników i ich objętościowego udziału oraz sposobu ułożenia.

Przedstawiono typową konstrukcję z gruntu zbrojonego i zasady jej projektowania [Chrzan, 2000; Sawicki, 1996, 1993] oraz podano dobrane przez autora współczynniki bezpieczeństwa uwzględniając ich wielkość podaną w polskich normach i przepisach francuskich [4].

Jak pisze prof. A. Sawicki, „technologia zbrojenia gruntu nie jest w Polsce rozpowszechniona, brakuje podręczników oraz przykładów realizacji, które mogłyby zainspirować projektantów i inwestorów”.

Opracowany przykład ma służyć projektantom do wykonywania obliczeń inżynierskich zbrojonych konstrukcji ziemnych. Przedstawione metody obliczeń są oparte na metodach statyki budowli. Czytelnie zdefiniowano założenia oraz schemat statyczny działania sił, a rozwiązanie oparto na analizie pracy konstrukcji przy uwzględnieniu ogólnych zasad mechaniki.

Przedstawione metody nie są doskonałe, ponieważ grunt zbrojony stosowany jest w kraju od niedawna, a zatem zebrane doświadczenie jest niewielkie w stosunku do projektowania nasypów z innych materiałów. Dlatego w obliczeniach stanu granicznego nośności należy stosować współczynniki bezpieczeństwa zwiększające wartości obciążeń o 1,5 i zmniejszające wytrzymałość gruntu o 0,70.

2. MODEL GRUNTU WZMOCNIONEGO (ZBROJONEGO)

Do opisu gruntu wzmocnionego przyjmuje się model anizotropowego ciała sztywno-plastycznego podanego w teorii plastyczności. Ośrodek ciągły pod wpływem obciążeń zewnętrznych nie odkształca się aż do momentu wyczerpania swej nośności, po czym zaczyna się proces plastycznego płynięcia. Kryterium wyczerpania się nośności jest opisane warunkiem plastyczności. Taki model stosuje się też do opisu wytrzymałości tworzyw sztucznych. Pomimo że rzeczywiste ośrodki gruntowe spełniają założenia modelu gorzej niż metale, to ważne zagadnienia praktyczne, jak nośność graniczna podłoża i skarp zostały rozwiązane na bazie tego modelu.

Sztywno-plastyczny model gruntu wzmocnionego został skonstruowany na podstawie klasycznego modelu Coulomba–Mohra i stanowi jego uogólnienie dla

materiału dwuskładnikowego (kompozytu), [Chrzan, 2000; Sawicki, 1996, 1993]. Dla tego modelu przyjęto następujące założenia:

1. Kompozyt (grunt wzmocniony) składa się tylko z dwóch składników: gruntu i wzmocnienia. Wzmocnieniem może być dowolny materiał o dużej wytrzymałości na rozciąganie.
2. Grunt i wzmocnienie są materiałami sztywno-plastycznymi. Grunt opisywany jest warunkami plastyczności Coulomba–Mohra i prawem płynięcia, a wzmocnienie charakteryzuje się standardowo określoną według PN wytrzymałością na rozciąganie.
3. Grunt i wzmocnienie nie są ze sobą wymieszane i można określić objętość gruntu i wzmocnienia w jednostce objętości gruntu wzmocnionego.
4. Między gruntem a wzmocnieniem nie występuje poślizg.
5. Wytrzymałość wzmocnienia na ściskanie jest mała w stosunku do wytrzymałości gruntu i w obliczeniach pomija się ją, przyjmując równą zero.
6. Wzmocnienie powoduje pojawienie się uprzywilejowanego kierunku, zgodnego z kierunkiem ułożenia wzmocnienia.

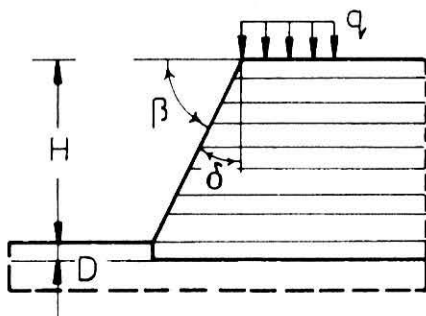
Opisu stanu naprężenia w gruncie wzmocnionym dokonano na podstawie teorii kompozytów z zastosowaniem trzech tensorów naprężenia. Powyższe warunki spowodowały, że w obliczeniach należy stosować twierdzenie o dolnej i górnej ocenie wielkości obciążenia granicznego. Dolna ocena obciążenia granicznego dotyczy obciążenia, które nie przekracza warunku plastyczności i jest mniejsze lub co najwyżej równe obciążeniu powodującemu ruch plastycznego płynięcia. Górna ocena obciążenia granicznego dotyczy rzeczywistego obciążenia działającego na ciało, które nie może być większe od obciążenia wynikającego z dowolnego kinematycznego mechanizmu odkształcenia ciała.

Stosowanie twierdzenia o nośności granicznej umożliwia w praktyce określenie granic przedziału, w którym mieści się rzeczywista, otrzymana z obliczeń wartość. Aby móc stosować w praktyce wzmocnienie gruntu trzeba znać zależności określające nośność i graniczną wysokość skarpy z gruntu zbrojonego.

3. OSZACOWANIE NOŚNOŚCI NACHYLONEJ SKARPY Z GRUNTU ZBROJONEGO

Dla przyjętej wysokości H i obciążenia skarpy obciążeniem ciągłym jak na schemacie (Rys. 1) statycznym od samego jej brzegu (tj. od krawędzi nachylonej) otrzymuje się zależność podaną w (1).

Jest to obciążenie nie większe niż obciążenie powodujące utratę nośności podłoża (dolna granica nośności), gdzie: $R_o = a R$, $R = 0,66 R_t$, R_t – wytrzymałość tablicowa na rozciąganie wzmocnienia [kN/m], $a = 1/\Delta H$, ΔH – rozstaw warstw geowłókniny w skarpie [1/m], ϕ – kąt tarcia wewnętrzznego, $n = 1,5$ – współczynnik bezpieczeństwa dla dobrze zbadanego gruntu.



dla dolnego oszacowania nośności skarpki:

$$q_d = \frac{R_o}{n} \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) - \gamma H n \quad (1)$$

dla górnego oszacowania nośności skarpki drugi ujemny jej człon należy pomnożyć przez 0,5

H – wysokość skarpki, $\beta = 70-89^\circ$, D – głębokość skarpki poniżej poziomu terenu.

Rys. 1 Schemat obciążeń konstrukcji z gruntu zbrojonego

4. ANALIZA WPŁYWU PARAMETRÓW GRUNTU ZBROJONEGO NA NOŚNOŚĆ PIONOWEJ SKARPKI OBCIĄŻONEJ OBCIĄŻENIEM CIĄGŁYM

Analizę wykonano dla geowłóknin „Novity” typu Geon o wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż pasma (wartość mniejsza). Kąt tarcia wewnętrzny $\phi = 30^\circ$, ciężar objętościowy gruntu $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, współczynnik bezpieczeństwa $n = 1,5$. Skarpa obciążona obciążeniem ciągłym o nacisku $q = 30,0 \text{ kN/m}^2$, wysokość skarpki $H = 6,0 \text{ m}$.

A) wariant 1

Zbrojeniem będzie geowłóknina Geon 750 o wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż pasma (wartość mniejsza) $R_t = 27,2 \text{ kN/m}$, $R = 27,2 \cdot 0,66 = 17,95 \text{ kN/m}$. Cena $6,80 \text{ zł/m}$.

$$R_o = Ra \text{ dla geowłókniny } a = \frac{1}{\Delta H} [\text{m}^{-1}] \quad (2)$$

$$R_o = R \frac{1}{\Delta H}, \quad (3)$$

skąd

$$\Delta H = \frac{R}{R_o} \left[\frac{\text{kN} \cdot \text{m}^2}{\text{m} \cdot \text{kN}} \right], \quad (4)$$

Dla pionowej skarpki o wysokości $H = 6,0 \text{ m}$

$$R = 0,66 \cdot 27,2 = 17,95 \text{ kN/m}$$

$$R_o = \frac{qn + \gamma Hn^2}{\text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)} = \frac{30 \cdot 1,5 + 18 \cdot 6 \cdot 2,25}{\text{tg}^2 60^\circ} = \frac{45 + 243}{3} = 96,0, [\text{kN/m}^2]$$

$$\Delta H = \frac{R}{R_o} = \frac{17,95}{96,0} = 0,19, [\text{m}]$$

Rozstaw geowłókniny Geon 750 wyniesie 19 cm. Większy rozstaw nie zapewnia żądanej nośności skarpy pionowej. Ilość warstw geowłókniny $i = H/\Delta H$, $i = 600: 19 = 31,6 = 32$ warstwy. Koszt długości jednego metra dla wszystkich warstw wynosi $K = i \cdot c$, $K = 32 \cdot 6,80 = 217,60 \text{ zł/m}$.

B) wariant 2

Zbrojeniem będzie geowłóknina Geon 1100 o wytrzymałości na rozciąganie $R_t = 25,0 \text{ kN/m}$. Cena $9,20 \text{ zł/m}$

$$R = 0,66 \cdot 25,0 = 16,5 \text{ kN/m.}$$

$$R_o = 96,0 \text{ kN/m}^2$$

Skąd,

$$\Delta H = 0,17 \text{ m}$$

Rozstaw geowłókniny Geon 1100 wyniesie 17 cm. Większy rozstaw nie zapewnia żądanej nośności skarpy pionowej. Ilość warstw geowłókniny $i = 600: 17 = 41,2 = 41$ warstw.

Koszt długości jednego metra dla wszystkich warstw wynosi $41 \cdot 9,20 = 377,2 \text{ zł/m}$.

C) Wariant 3

Zbrojeniem będzie geowłóknina Geon 600 o wytrzymałości na rozciąganie $R_t = 17,0 \text{ kN/m}$. Cena $5,30 \text{ zł/m}^2$.

$$R = 0,66 \cdot 17,0 = 11,22 \text{ kN/m.},$$

$$R_o = 96,0 \text{ kN/m}^2$$

Skąd,

$$\Delta H = 0,116 = 0,12 \text{ m}$$

Rozstaw geowłókniny Geon 600 wyniesie 12 cm. Większy rozstaw nie zapewnia żądanej nośności skarpy pionowej. Ilość warstw geowłókniny $i = 600: 12 = 50$ warstw.

Koszt długości jednego metra dla wszystkich warstw wynosi $50 \cdot 5,3 = 265,00 \text{ zł/m}$.

D) Wariant 4

Zbrojeniem będzie geowłóknina Geon 250 o wytrzymałości na rozciąganie $R_t = 8,80 \text{ kN/m}$ Cena $3,00 \text{ zł/m}^2$

$$R = 0,66 \cdot 8,8 = 5,8 \text{ kN/m,}$$

$$R_o = 96,0 \text{ kN/m}^2$$

Skąd ,
 $\Delta H = 0,06 \text{ m}$

Rozstaw geowłókniny Geon 250 wyniesie 6 cm. Większy rozstaw nie zapewnia żądanej nośności skarpy. Ilość warstw geowłókniny $i = 600 : 6 = 100$ warstw.

Koszt długości jednego metra dla wszystkich warstw wynosi $100 * 3,00 = 300,00$ zł/m.

Nośność skarpy pionowej zależy od zbrojenia gruntu i jej wysokości. Z obliczeń wynika, że z różnych geowłóknin można wybudować skarpe o wysokości 6 m i nośności 30 kN/m^2 . Parametry techniczne geowłóknin i koszty wykonania 1 metra skarpy zestawiono w tabeli poniżej.

TABELA 1

Parametry techniczne geowłóknin i koszty wykonania 1 metra skarpy

Geon Typ	Grubość [mm]	Wytrzymałość [kN/m.]	Koszt 1m skarpy [zł/m]	Stosunek kosztów w % (najniższy 100 %)
750	6,0	27,2	218	100
1100	8,5	25,0	377	172
600	4,5	17,0	265	122
250	2,9	8,8	300	137

Z analizy kosztów produkcji wynika ,że im grubszy Geon tym większy koszt jego wykonania. Zwiększanie grubości Geonu powyżej 6,0 mm nie wpływa na zwiększenie jego wytrzymałości.

Wniosek;

Najniższe koszty wykonania skarpy wzmocnionej geowłókniną zapewnia taki jej typ ,który ma najwyższą wytrzymałość.

4. LITERATURA

- [1] CHRZAN T.: *Autostrady i materiały do ich budowy*. Wrocław (2000)
- [2] SAWICKI A.: *Geosyntetyki w inżynierii lądowej i wodnej*. Inż. i budownictwo nr 11 (1996)
- [3] SAWICKI A. Leśniewska D. *Grunt zbrojony* . Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa (1993)
- [4] *Geotekstylii- poradnik stosowania*. Stowarzyszenie Producentów Geotekstyliów Bielsko-Biała (1998)