

Adam BOLT, Angelika DUSZYŃSKA  
Politechnika Gdańska

## BADANIA OPORU GEOSYNTETYKÓW NA WYCIĄGANIE Z GRUNTU W WIELKOWYMIAROWYM STANOWISKU PULLOUT

**Streszczenie.** Opisano budowę wielkowieściowego aparatu do badań oporu geosyntetyków na wyciąganie skonstruowanego w Laboratorium Geotechniki Politechniki Gdańskiej. Omówiono badania wykonane dla różnych rodzajów geosyntetyków: georusztów, geokompozytu i materiału geotekstylnego. Stwierdzono, że na wartość oporu geosyntetyku na wyciąganie wpływa wiele czynników - głównie parametry gruntu i właściwości geomateriału.

## PULLOUT TESTING OF GEOSYNTHETICS EMBEDDED IN SOIL IN LARGE SCALE PULLOUT APPARATUS

**Summary.** The pullout test apparatus constructed in the Geotechnical Laboratory of Gdańsk University of Technology was described. The tests performed for different types of geotextiles and related products: geogrids, a geocomposite and a geotextile. It was found that the test results are influenced by a lot of factors, especially by soil and geosynthetic parameters.

### 1. Wprowadzenie

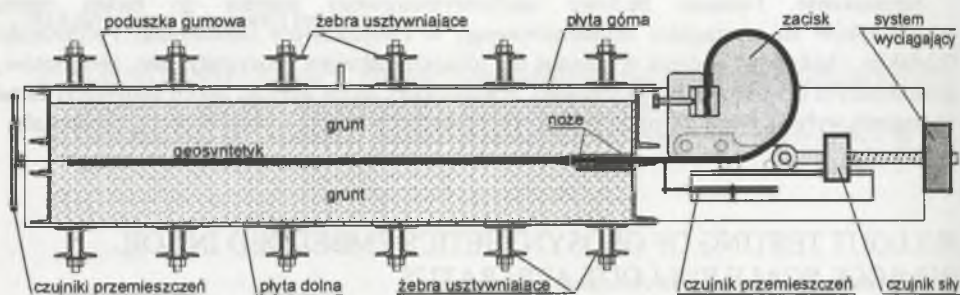
W ostatnich latach gwałtownie rośnie liczba konstrukcji wykonywanych z zastosowaniem różnego rodzaju geosyntetyków. Efekty techniczne i ekonomiczne stosowania geosyntetyków uzależnione są od wykorzystania parametrów fizycznych i mechanicznych samego materiału, jak również układu grunt - zbrojenie. Niestety, bardzo często inwestorzy i projektanci nie zdają sobie sprawy z tego, jak bardzo materiały te różnią się między sobą i jaki wpływ na pracę konstrukcji mają właściwie określone parametry materiału.

Bardzo ważnym zagadnieniem w przypadku konstrukcji zbrojonych jest właściwe określenie wartości siły niezbędnej do wyciągnięcia geosyntetyku z gruntu oraz

współczynnika przyczepności grunt – zbrojenie odkształcalne. W tym celu niezbędne jest wykonanie badań na wyciąganie geosyntetyku z gruntu o parametrach odpowiadających materiałowi na miejscu wbudowania.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań wyciągania, tzw. *pullout test*, wykonane dla różnych rodzajów geosyntetyków: georusztów, geokompozytu i materiału geotekstylnego.

## 2. Stanowisko badawcze



Rys. 1. Aparat do badań geosyntetyków na wyciąganie  
Fig. 1. Pullout apparatus

W przeprowadzonych badaniach geosyntetyków na wyciąganie z gruntu „pullout” stosowano aparat wielkowymiarowy [4], którego główne elementy stanowią (rys. 1):

- prostokątna stalowa skrzynia o wymiarach wewnętrznych: długość 160 cm, szerokość 60 cm i wysokość 36 cm, w której zastosowano metalowe osłony (noże);
- pneumatyczny system zadawania nacisku (maksymalnie 200 kPa), w postaci zbrojonej poduszki gumowej, do której w trakcie badania doprowadzano sprężone powietrze;
- system wyciągający, umożliwiający zadawanie siły wyciągającej z maksymalną prędkością przemieszczenia zacisku 10 mm/min, złożony z: silnika elektrycznego z falownikiem, systemu przekładni ślimakowych, czujnika siły oraz specjalnego urządzenia zaciskowego, umożliwiającego równomierny rozkład siły wyciągającej na całej szerokości próbki, poziome ułożenie próbki podczas obciążania oraz wykluczającego możliwość poślizgu między próbką i zaciskiem, a także możliwość zniszczenia geosyntetyku w zaciskach;

- system pomiaru przemieszczeń geosyntetyku wewnątrz skrzyni wykorzystujący elektroniczne przetworniki przemieszczeń typu LVDT;
- system zbierania danych umożliwiający ciągły komputerowy zapis siły wyciągającej, przemieszczeń poziomych wybranych punktów pomiarowych.

### 3. Program badań

Z kilkudziesięciu badań wykonanych dotąd w aparacie, do celów niniejszego artykułu wybrano badania przeprowadzone dla sześciu różnych materiałów geosyntetycznych (tablica 1), dwóch rodzajów gruntu (tablica 2) i dla jednej (porównawczej) wartości przykładanego nacisku - 50 kPa. Podstawowe parametry serii badań zestawiono w tablicy 3.

Tablica 1

Charakterystyka stosowanych geosyntetyków

Symbol	Rodzaj	Wytrzymałość na rozciąganie [kN/m]	Odkształcenie przy maks. obciążeniu [%]	Obciążenie przy odkształ. 2% [kN/m]	Obciążenie przy odkształ. 5% [kN/m]
A	dwukierunkowy polipropylenowy georuszt o sztywnych węzłach	40/40	8,4/9,8	14/14	28/28
B	dwukierunkowy georuszt polipropylenowy	30/30	?	12/12	24/24
C	jednokierunkowy georuszt poliestrowy	80/30	12,5/12,5	?	?
D	jednokierunkowy georuszt polipropylenowy	90/?	13	26	50
E	geokompozyt: włókna poliestrowe i geowłókna polipropylenowa	100/14	13/60	14	33
F	geotkanina poliestrowa	100/50	25	?	50

? - brak danych

Tablica 2

Charakterystyka stosowanych gruntów

Parametr	Rybaki 2	Krusz 1
Rodzaj gruntu	Piasek gruby	Niesort drogowy
Średnica miarodajna $d_{50}$ [mm]	1,19	10
Wskaźnik różnoziarnistości U [-]	2,19	38,1
Wilgotność w [%]	0,11	4,3

Najbardziej szczegółowe obserwacje mechanizmu wyciągania przeprowadzono w ramach serii 1, która obejmowała blisko 40 badań jednego rodzaju georusztu na próbkach o różnych wymiarach, w gruncie o dwóch stopniach zagęszczenia i przy zróżnicowanych wartościach przykładanego nacisku pionowego. Celem badań było m.in. określenie wpływu, jaki na opór na wyciąganie materiału geosyntetycznego mają: napężenie normalne, stopień zagęszczenia gruntu, wymiary próbki materiału geosyntetycznego i inne [4].

Tablica 3

Parametry wykonanych badań

Nr serii	Symbol wyrobu	Wymiary próbek [m]	Rodzaj gruntu	Ciężar objętościowy $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Przykładany nacisk [kPa]
1	A	1,5 x 0,4	Rybaki 2	16,38	50
2a	B	1,0 x 0,3	Rybaki 2	16,64	50
2b	C				
2c	D				
2d	E				
3	F	1,2 x 0,4	Krusz 1	23,15	50

Seria 2 obejmowała przeprowadzone w ramach Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego (CEN/TC 189) badania między laboratoryjne tzw. „Round Robin Pullout Tests”, w których uczestniczyły 4 laboratoria: z Portugalii, W. Brytanii, Włoch i Politechniki Gdańskiej [3]. Ich celem było określenie powtarzalności badań prowadzonych zgodnie z zaleceniami przygotowywanego projektu normy prEN 13738. Badania prowadzono na próbkach (pobranych zgodnie z kierunkiem produkcji) czterech różnych materiałów geosyntetycznych (B,C, D i E) wyciąganych z gruntu standardowego w danym laboratorium.

Najkrótsza, trzecia seria badań dotyczyła wyciągania georusztu F ze specjalnie przygotowanej mieszanki podwójnie łamanego kruszywa drogowego (tabl. 2) zagęszczonego przy wilgotności optymalnej do  $I_s > 0,98$ .

#### 4. Procedura badawcza

Po umieszczeniu w dolnej części skrzyni gruntu i zagęszczeniu do określonego stopnia zagęszczenia, na dokładnie wyrównanej powierzchni gruntu układano próbkę geomateriału, do której instalowano urządzenia do pomiaru przemieszczeń wewnątrz gruntu. Wolny koniec próbki wyprowadzono poprzez szczelinę między nożami ze skrzyni i mocowano w zaciskach

połączonych z systemem wyciągającym. Następnie wykonywano zasyp górnej części skrzyni, stosując ten sam sposób zasypu i zagęszczania, co dla dolnej warstwy gruntu. Na koniec instalowano system zadawania nacisku i zamykano aparat.

Po zadaniu nacisku obciążano próbkę wyciągając ją przy stałej prędkości przemieszczenia zacisków. W trakcie badania następował automatyczny zapis (w odstępach co 1 s) przemieszczeń wybranych punktów pomiarowych oraz siły wyciągającej. Badanie prowadzono do momentu wyciągnięcia próbki lub zerwania się materiału. Po wykonaniu badania i demontażu urządzenia dokonywano kontroli powierzchni kontaktowej grunt - georuszt, sprawdzano równomierność deformacji materiału oraz czy noże nie utrudniały wyciągania próbki lub nie wpłynęły na jej wcześniejsze zniszczenie.

## 5. Wyniki doświadczeń

Opór geosyntetyków na wyciąganie obliczano zgodnie z projektem normy prEN 13738 [5], według poniższych wzorów:

- dla geotekstyliów, geowłóknin itp:

$$P = \frac{F}{W_g} \quad (1)$$

- dla georusztów, geosiatek i innych wyrobów o podobnej strukturze:

$$P = \frac{F \cdot n_g}{N_g} \quad (2)$$

gdzie: P - opór na wyciąganie,

F - siła wyciągająca pomierzona w badaniu „pullout”,

$W_g$  - szerokość próbki,

$N_g$  - liczba żeber w badanej próbce georusztu w kierunku działania siły wyciągającej,

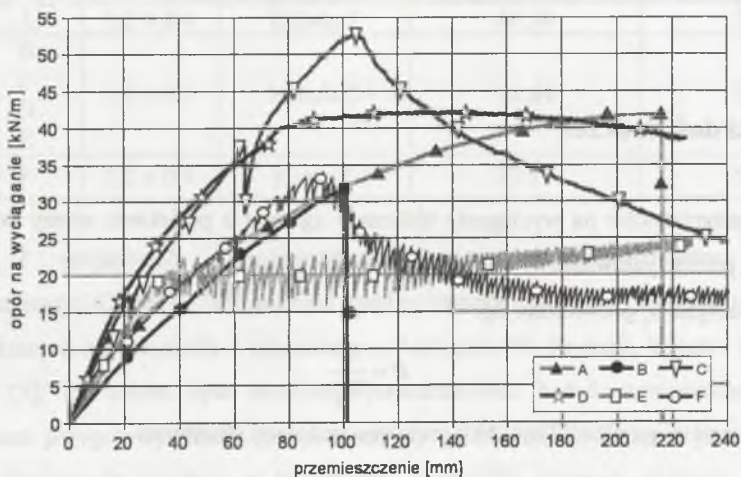
$n_g$  - liczba żeber na jednostkę szerokości georusztu w kierunku działania siły.

W tablicy 4 zestawiono wartości maksymalnego oporu na wyciąganie z ośrodka gruntowego  $P_{max}$ .

Tablica 4

## Zestawienie wyników

Nr serii	Symbol wyrobu	Maksymalny opór na wyciąganie $P_{\max}$ [kN/m]
1	A	41,91
2a	B	31,68
2b	C	52,53
2c	D	42,38
2d	E	24,73
3	F	34,07



Rys. 2. Wykres zależności opór na wyciąganie – przemieszczenie zacisków  
Fig. 2. Plot of pullout resistance versus clamp displacement

Na rysunku 2 przedstawiono wykres oporu na wyciąganie w funkcji przemieszczenia zacisków dla wszystkich próbek geosyntetyków. Wyraźnie widać różnice w zachowaniu się poszczególnych materiałów w trakcie wyciągania. Największy opór na wyciąganie stawił georuszt C, a największymi odkształceniami w początkowej fazie charakteryzowała się geotkanina F.

Przy nacisku 50 kPa w przypadku materiałów C, D i F nastąpiło wyciągnięcie materiałów, natomiast w przypadku georusztów A i B koniec badania następował w wyniku zerwania na skutek przekroczenia maksymalnej wytrzymałości materiału na rozciąganie. Świadczy to o dobrej przyczepności pomiędzy tymi materiałami a zastosowanym gruntem.

Szczególnie istotne znaczenie ma fakt, że w obu materiałach, w przypadku których nastąpiło zniszczenie, uzyskane maksymalne wartości oporu na wyciąganie (tabl. 4)

przewyższają wytrzymałości tych materiałów na rozciąganie określone zgodnie z normą PN-ISO 10319, czyli „w powietrzu”. Oznacza to, że w rzeczywistości, po wbudowaniu geosyntetyku w konstrukcję, materiał ten zachowuje się znacznie lepiej niż uwzględnia się w projektowaniu, przyjmując maksymalne obciążenie na poziomie wytrzymałości geosyntetyku w próbie na rozciąganie.

W trakcie badań wyciągania istotne jest monitorowanie nie tylko przemieszczeń przedniego końca geosyntetyku, tj. (przemieszczenia zacisku) w funkcji przykładowej siły, ale również przemieszczeń w punktach rozmieszczonych wzdłuż zakotwionej w gruncie części geomateriału.

Ważnym czynnikiem wpływającym na sposób współpracy elementu zbrojącego z ośrodkiem gruntowym jest odkształcalność georusztu, która wpływa na tarcie między zbrojeniem a gruntem. Wartość tarcia układu zależy zarówno od własności mechanicznych otaczającego gruntu, jak i od odkształcalności zbrojenia.

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono, że przemieszczenia geomateriału w gruncie zanikają wraz z długością zakotwienia. Zbrojenie odkształcalne charakteryzuje się progresywnym zniszczeniem podczas wyciągania. Trudności związane z wyborem odpowiednich parametrów gruntu do projektowania w takich warunkach często przewyżcza się stosując zachowawczo wartości stanu granicznego.

W przypadku konstrukcji z gruntu zbrojonego geosyntetykami niezwykle istotne jest porównanie w warunkach stanu naprężenie - odkształcenie zachowania się gruntu i geosyntetyku.

## 6. Wnioski końcowe

Badania geosyntetyków na wyciąganie, których celem jest określenie zachowania się materiałów geosyntetycznych w ośrodku gruntowym oraz parametrów współpracy układu, wymagają doświadczenia i ostrożności zarówno przy ich wykonywaniu, jak i interpretacji wyników badań, ponieważ wpływa na nie wiele czynników, m.in.: parametry początkowe i stan naprężenia w gruncie, właściwości materiału zbrojenia, a także warunki brzegowe określone parametrami stosowanego stanowiska badawczego oraz używana procedura badawcza.

Najbardziej efektywne wykorzystanie geosyntetyku w konstrukcji z gruntu zbrojonego umożliwić może w fazie projektowania „zasadniczego” właściwa ocena współczynnika

przyczepności. W tym celu niezbędne jest wykonanie badań na wyciąganie geosyntetyku z gruntu o parametrach odpowiadających materiałowi na miejscu wbudowania.

## LITERATURA

1. Bolt A. F., Duszyńska A.: Pull-Out Testing of Geogrid Reinforcements, Proceedings of Second European Geosynthetics Conference Eurogeo 2000, Bologna, Italy, 2000.
2. Bolt A. F., Duszyńska A.: Soil - geogrid interaction in pullout test at 2D - deformation conditions, Proceedings of Seventh International Conference on Geosynthetics, Nice, France, 2002.
3. Bolt A., Duszyńska A.: „ROUND ROBIN PULLOUT TESTS. Determination of geotextiles and geotextile-related products pullout resistance in soil”, Gdańsk 2001.
4. Duszyńska A., Bolt A. F.: Badania oporu geosyntetyków na wyciąganie z gruntu, Inżynieria Morska i Geotechnika 2001, z. 4.
5. prEN 13738: Geotextiles and geotextile-related products. Determination of pullout resistance in soil.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław PISARCZYK

## Abstract

This paper presents fundamental aspects of pullout testing equipment and procedure. The investigations aimed at analyses of the conditions determined by draft European Standard prEN 13738 “Geotextile and geotextile related products – Determination of pullout resistance in soil”. This work is a part of discussion in CEN/TC 189 WG 3. A large-scale apparatus, designed and constructed in the Geotechnical Laboratory of Gdańsk University of Technology, was described. The tests were performed for a few types of geotextiles and related products: three different geogrids, a geocomposite, a geotextile and for two kinds of soil: coarse sand and crushed grained sandy gravel. The specimen preparation, testing procedure and discussion of results were presented. Based on detailed analysis of the pullout tests results the influence of soil and geosynthetic parameters on the pullout resistance of geogrid is discussed with general remarks and conclusions. Laboratory tests performed in large-scale pullout box provided a lot of information about the mechanical behaviour of soil-geosynthetic system and the pullout resistance.