

dr inż. Joanna Grzybowska-Pietras^{1*)}

ORCID: 0000-0002-4253-3062

dr inż. Anna Juzwa¹⁾

ORCID: 0000-0002-9744-426X

mgr inż. Natalia Byrdy¹⁾

Analiza zazielenienia powierzchni skarp przy użyciu innowacyjnych biowłóknin jako jeden z aspektów zabezpieczenia przeciwerozyjnego

Analysis of the greening of the slope surface with the use of innovative bio-textiles as one of the aspects of the anti-erosion protection

DOI: 10.15199/33.2022.12.31

Streszczenie. W artykule przedstawiono badania zabezpieczeń przeciwerozyjnych skarp za pomocą: biowłókniny z recyklingu tekstyliów; geowłókniny jutowej i geowłókniny wełnianej. Wraz z upływem czasu eksploatacji stwierdzono postępujący spadek masy powierzchniowej oraz obniżenie parametrów wytrzymałościowych geotekstyliów. Rodzaj zastosowanych geotekstyliów wpłynął na rozwój roślinności skarpowej. Trawa najlepiej rosła na podłożu zabezpieczonym geowłókniną wełnianą, która najszybciej ulega biodegradacji.

Słowa kluczowe: erozja powierzchniowa; wełna owcza; biowłóknina; skarpy i zbocza; zabezpieczenie przeciwerozyjne.

Abstract. The paper presents research on slope anti-erosion protection with application of geotextiles as follow: geo nonwovens, obtained from textile's waste fibers, jute and sheep wool. The progressive decreases of the surface weight and strength parameters were found with the passing time. The type of applied geotextiles influenced to the slope vegetation growth. The grass grew the best on the slope protected by wool geo nonwoven that characterizes by the highest biodegradability.

Keywords: slope surface erosion; wool; bio geo nonwovens; slopes; anti-erosion protection.

Jednym z szeroko analizowanych problemów geotechnicznych jest zabezpieczenie przeciwerozyjne skarp i zboczy. Powstawaniu zjawisk erozyjnych sprzyjają wyraźne zmiany klimatu, tj. okresy długotrwałej suszy, która powoduje obumieranie roślinności, a następnie występowanie intensywnych opadów skutkujących zmyciem warstw przypowierzchniowych. W celu ograniczenia wpływu tych czynników stosuje się m.in. geotekstyli z surowców naturalnych [1 – 3]. Dobór odpowiedniego materiału utrzymującego stateczność przypowierzchniowych warstw skarpy powinien być poprzedzony analizą warunków geologicznych i lokalizacji obiektu. Istotnym aspektem jest zabezpieczenie powierzchniowe skarpy, które umożliwi rozwój roślinności. O wyborze biowłókniny decydują parametry sprzyjające zadarnieniu i retencji wody opadowej [4]. Podczas wykonywania robót ziemnych mogą wystąpić nieprawidłowości typu niewłaściwe zagęszczenie

warstw nasypu, brak odprowadzenia wody opadowej poza skarpe, niestaranne zamocowanie elementów przeciwerozyjnych, które zainicjują procesy lokalnej utraty stateczności. Problem nasila się wraz ze zwiększającym się nachyleniem i wysokością nasypu bądź zwiększającą się głębokością wykopu.

W przypadku niekorzystnej budowy geologicznej zbocza lub podłoża pod nasypem drobne uszkodzenia powierzchniowe pogłębiają procesy niszczenia do utraty stateczności całej konstrukcji włącznie [5]. Umocnienie przeciwerozyjne z zastosowaniem typowych metod darniowania lub tradycyjnego obsiewu może być niewystarczające [6, 7]. Wówczas niezbędne jest zastosowanie nie tylko zabezpieczenia powierzchniowego, ale i wglębnej zbrojenia skarpy, np. za pomocą geotkanin [2].

Zapobieganie zniszczeniom powierzchni skarpy i zboczy przyczynia się do rozwoju wielu nowoczesnych technologii. Wśród nich są geotekstyli o różnicowanych właściwościach fizyko mechanicznych i hydraulicznych [4]. Można je dobierać ze względu na wytrzymałość na rozciąganie i zrywanie, a materiały zawierające biowłókniny

pozwalają również na dobranie trwałości. Kryteria doboru materiału, mającego pełnić rolę zabezpieczenia przeciwerozyjnego, są niezwykle szerokie [8]. Jedną z propozycji rozwiązania problemu jest zastosowanie materiałów, które utrwala wysiewaną roślinność naskarpową i zapewnią jej zrównoważoną wilgotność. W tej roli bardzo dobrze sprawdzają się kompozyty z geotekstyliów zawierających włókna naturalne, które podczas procesu biodegradacji stanowią nawóz dla roślin [9]. Są to np. biowłókniny aplikowane na powierzchni skarpy i obsypywane cienką warstwą ziemi urodzajnej, często zawierające nasiona odpowiednio dobranych traw. Materiałem, który idealnie sprzyja rozwojowi roślinności, jest wełna owcza, uwalniająca podczas procesu biodegradacji azot, co wspiera rozwój roślinności [10].

W celu sprawdzenia przydatności geotekstyliów zawierających włókna naturalne do zabezpieczenia przeciwerozyjnego skarp przeprowadzono wstępne badania in situ na poletku doświadczalnym, na którym zastosowano innowacyjne materiały wytworzone z odpadowych surowców naturalnych, takich jak juta, wełna odpadowa po pro-

¹⁾ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Inżynierii Materiałów, Budownictwa i Środowiska

^{*} Adres do korespondencji: jpietras@ath.bielsko.pl

cesach garbarskich i porównano efekty zazielenienia z popularnie stosowaną biowłókniną RKL.

Materiały i stanowisko badawcze

W badaniach zastosowano:

- przesywaną biowłókninę składającą się z włókien syntetycznych oraz naturalnych, w której umieszczono nasiona siedmiu gatunków traw, co ma istotny wpływ na poprawę procesu zardarnienia terenu;

- geowłókninę z odpadowych włókien jutowych (odpady dywanowe), stanowiącą materiał eksperymentalny, otrzymaną z Instytutu Sieci Badawczej Łukasiewicza w Łodzi;

- geowłókninę igłowaną z krótkich włókien wełny pozyskanych w procesach garbarskich; taki surowiec odpadowy nie był dotychczas stosowany



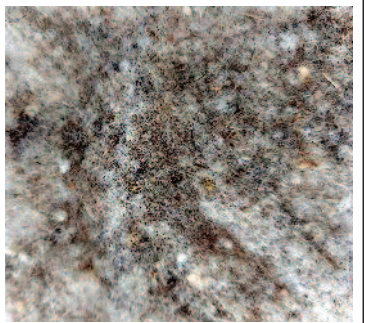
i stanowi innowacyjne rozwiązanie technologiczne.

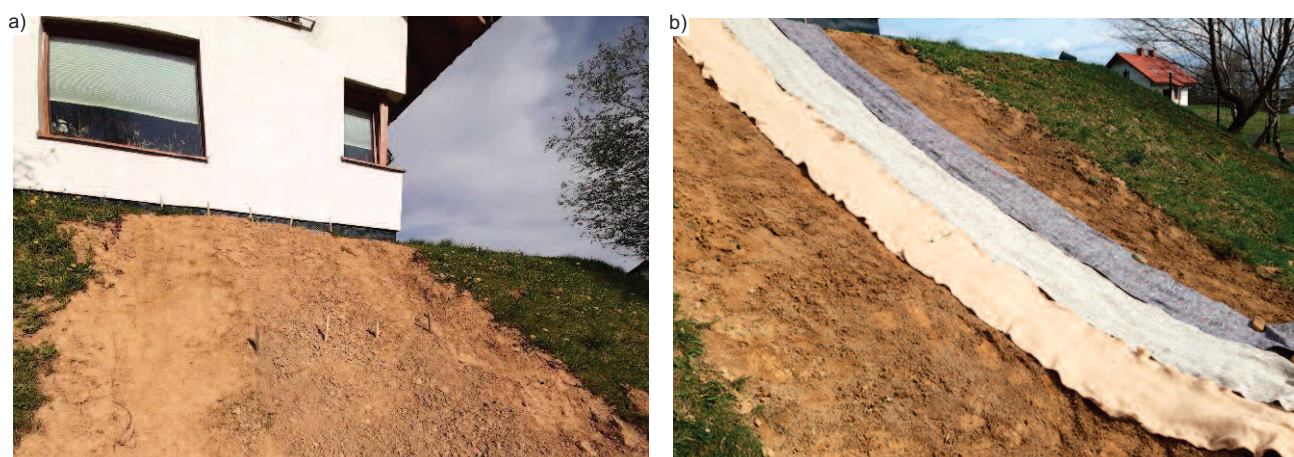
Charakterystykę materiałów zamieszczono w tabeli 1. Badania prowadzono na skarpi w miejscowości Łęka-wica o ekspozycji zachodniej i nachyleniu 1 : 1,3 stanowiącej część nasypu, na którym posadowiono jednorodzinny budynek mieszkalny (fotografia 1). Powierzchnię skarpy oczyszczono z kamieni i korzeni oraz wyrównano (fotografia 1a). Geowłókniny ułożono – zgodnie z pkt 2.3 PN-B-12074 [11]: prostopadle do górnej krawędzi skarpy, pasmami o szerokości 0,5 m i w odstępach 1 m, a następnie wykonano poziome fałdy zabezpieczające przed zsuwaniem się warstwy wierzchniej skarpy pokrywającej geowłókniny. U podstawy nasypu oraz na koronie wykonano rowki o głębokości 0,2 m, w których zakotwiono włókniny. Materiał badawczy przysypano war-

stwą gruntu (humusu) o miąższości 2 cm, a biowłókniny dodatkowo obsiano mieszkanką traw skarpowych o składzie: życica wielokwiatowa 25%; życica trwała 25%; wiechlina łąkowa 5%; kostrzewa czerwona 20%, kostrzewa trzcinowa 25% w ilości 50 g/m² (analogicznie jak w tabeli 3 wg normy PN-B-12074 [11]). Powierzchnię skarpy utrzymywano w stanie wilgotnym przez zwilżanie zraszaczem ogrodowym przez 30 dni [11].

Stan powierzchni skarpy oraz stopień zazielenienia oceniano wizualnie. Po pięciu miesiącach zauważono różnicowany wzrost trawy na poszczególnych poletkach oraz różne jej zagęszczenie i zabarwienie, w zależności od rodzaju zastosowanej geowłókniny. Zauważono, że trawa na pasie z geowłókniną wełnianą znacznie odbiega zagęszczeniem oraz wysokością od trawy porastającej pozostałe pasy (fotogra-

Tabela 1. Właściwości fizyczne geowłóknin
Table 1. Physical parameters of geo nonwovens

Nazwa wyrobu			
Rodzaj surowca	włókna syntetyczne (PET, PP) oraz naturalne (wełna, bawełna) z recyklingu	odpadowe włókna juty (recykling krajkę dywanowych)	odpadowa wełna owcza (po procesach garbarskich)
Technologia wytwarzania	przeszywanie (Maliwatt)	igłowanie mechaniczne	igłowanie mechaniczne



Fot. 1. Stanowisko badawcze przed ułożeniem (a) oraz po ułożeniu geowłóknin (b) (kwiecień 2021 r.)
Photo 1. Experimental plot before (a) and after application of geo nonwovens (b) (April 2021)

fia 2). Miała ona intensywny ciemnozielony kolor, co wskazuje na postępujący proces biodegradacji, w trakcie której nastąpiło uwalnianie z włókniny wulnianej związków azotu, stanowiącego naturalny nawóz. Roślinność skarpowa na włókninie jutowej była najmniej rozbudowana oraz znacznie niższa od traw z pozostałych dwóch geowłóknin. Część naziemna trawy wyrosniętej na biowłókninie RKL była bardziej rozbudowana i wyższa niż trawa z włókniny jutowej oraz niższa od trawy, która wyrosła na geowłókninie wulnianej.



Fot. 2. Stanowisko badawcze po pięciu miesiącach od aplikacji geowłóknin: 1 – grunt „0”; 2 – geowłóknina jutowa; 3 – geowłóknina wulniana; 4 – biowłóknina RKL (wrzesień 2021 r.)

Photo 2. Experimental plot 5 months after application of geo nonwovens: 1 – soil „0”; 2 – jute geo nonwoven; 3 – wool geo nonwoven; 4 – RKL geo nonwoven (September 2021)

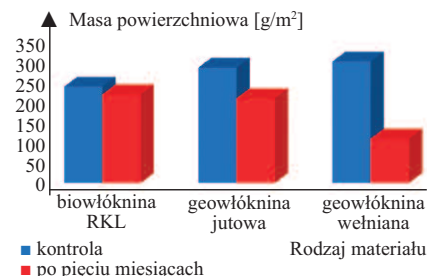
Badania i analiza wyników

Badania prowadzono w celu oceny wpływu rodzaju zastosowanej geowłókniny biodegradowalnej zainstalowanej w gruncie oraz czasu eksploatacji na wybrane właściwości fizyczne, mechaniczne i hydrauliczne geowłókniny. Na dziesięciu próbkach wykonano oznaczenia: masy powierzchniowej wg PN-EN ISO 9864:2007 i grubości przy określonym nacisku – PN-EN ISO 9863-1:2007. Na pięciu próbkach (wzdłuż i w poprzek) oznaczono wytrzymałość i wydłużenie zrywające zgodnie z PN-EN ISO 10319:2010, a na kolejnych pięciu odporność na przebicie statyczne wg PN-EN ISO 12236:2007

[12 – 15]. Uzyskane wyniki badań geowłóknin kontrolnych, pełniących funkcję biodegradowalnego zabezpieczenia przeciwozyjnego przedstawiono w tabeli 2.

W celu weryfikacji parametrów użytkowych zastosowanych włóknin przeprowadzono badania właściwości mechanicznych na próbkach pobranych podczas demontażu stanowiska badawczego po pięciu miesiącach eksperymentu (tabela 3). Otrzymane wyniki badań porównano z materiałem kontrolnym. Na rysunkach 1 – 3 zamieszczono wyniki badań wpływu czasu eksploatacji na właściwości fizyczne oraz mechaniczne biowłókniny przeszywanej RKL z nasionami traw, geowłókniny jutowej oraz innowacyjnej geowłókniny wykonanej z odpadowej wulny po procesach garbarskich.

Początkowa masa powierzchniowa biowłókniny RKL wynosiła 228,8 g/m² (rysunek 1), a po pięciu miesiącach od zamontowania analizowany parametr uległ zmniejszeniu o niecałe 8% w porównaniu z materiałem kontrolnym. Największy spadek masy powierzchniowej



Rys. 1. Wpływ czasu użytkowania na masę powierzchniową geowłóknin

Fig. 1. Influence of time into surface weight of geo nonwovens

odnotowano w przypadku innowacyjnej geowłókniny igłowanej z odpadowej wulny owczej po wyprawieniu skór. Po zakończeniu eksperymentu masa powierzchniowa zmniejszyła się o ponad 63% (105,4 g/m²). Rysunek 2 przedstawia wpływ czasu użytkowania na wytrzymałość na zrywanie analizowanych materiałów, która została wyznaczona w dwóch kierunkach (wzdłuż i w poprzek). Największą wytrzymałością wzdłużną charakteryzuje się kontrolna biowłóknina przeszywana RKL (3,6 kN/m), której wytrzymałość wzdłużna po pięciu miesiącach uległa

Tabela 2. Właściwości fizyczne i mechaniczne geowłóknin kontrolnych

Table 2. Physical and mechanical properties of applied geo nonwovens

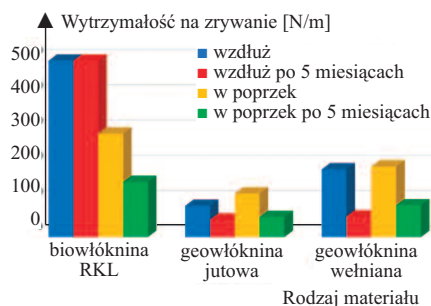
Rodzaj materiału		Masa powierzchniowa [g/m ²]	Grubość [mm] przy nacisku 2 kPa	Wytrzymałość wzdłuż/w poprzek [N/m]	Wydłużenie wzdłuż/w poprzek [%]	Przebicie statyczne (CBR test) [kN]
Biowłóknina RKL	\bar{x}	228,8	3,4	3618,3/293,3	21,1/27,5	0,41
	σ	18,1	0,2	181,9/58,4	1,3/2,4	0,02
	V[%]	7,9	6,1	5,0/19,9	6,0/8,8	5,93
Geowłóknina jutowa	\bar{x}	274,0	4,2	88,3/123,3	27,6/18,8	0,03
	σ	31,4	0,3	4,6/12,4	2,3/2,5	0,01
	V[%]	11,4	6,8	5,2/10,0	8,4/13,5	21,1
Geowłóknina wulniana	\bar{x}	288,5	2,9	191,7/200,0	43,5/34,8	0,03
	σ	47,4	0,3	34,9/21,3	7,6/1,3	0,01
	V[%]	16,4	11,7	18,2/10,6	17,5/3,6	15,97

Tabela 3. Właściwości fizyczne i mechaniczne geowłóknin po pięciu miesiącach eksploatacji na skarpie

Table 3. Physical and mechanical properties of geo nonwovens applied on the slope for 5 months period

Rodzaj materiału		Masa powierzchniowa [g/m ²]	Grubość [mm] przy nacisku 2 kPa	Wytrzymałość wzdłuż/w poprzek [N/m]	Wydłużenie wzdłuż/w poprzek [%]	Przebicie statyczne (CBR test) [kN]
Biowłóknina RKL	\bar{x}	210,6	2,6	2354,9/156,3	9,2/7,7	0,23
	σ	9,6	0,1	230,3/90,9	0,8/2,1	0,06
	V[%]	4,5	4,9	9,8/58,2	8,8/27,0	24,6
Geowłóknina jutowa	\bar{x}	201,4	2,5	49,2/56,9	3,5/3,9	0,0025
	σ	16,8	0,3	6,5/35,5	1,7/2,0	0,01
	V[%]	8,3	11,0	13,3/62,3	8,8/5,3	28,3
Geowłóknina wulniana	\bar{x}	105,4	1,3	58,2/90,0	4,3/3,7	–
	σ	12,2	0,1	22,3/13,3	3,7/0,6	–
	V[%]	11,6	9,6	38,4/14,8	84,4/14,8	–

gdzie: \bar{x} – wartość średnia; σ – odchylenie standardowe; V – współczynnik zmienności

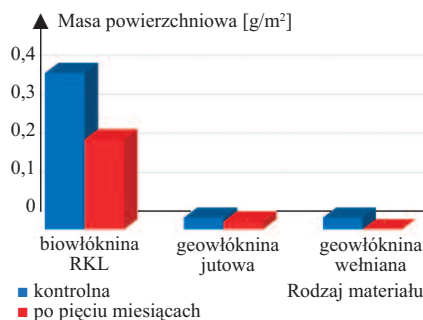


Rys. 2. Wpływ czasu użytkowania na wytrzymałość na zrywanie geowłóknin wyznaczona w dwóch kierunkach (wzdłuż i w poprzek)

Fig. 2. Influence of usage time on tear resistance of geo nonwovens determined in two directions (along and across)

zmniejszeniu o 35%. Wytrzymałość na zrywanie geowłókniny jutowej po zakończeniu badań była o 55,7% (wzdłuż) i o 46,1% (w poprzek) mniejsza od próbki kontrolnej. Największy spadek wytrzymałości o ponad 70% (wzdłuż) odnotowano w przypadku innowacyjnej geowłókniny wełnianej, która w czasie trwania eksperymentu uległa znacznej biodegradacji.

Wpływ czasu eksploatacji na odporność na statyczne przebicie trzpieniem (CBR) przedstawiono na rysunku 3. Największą odporność wykazała biowłóknina kontrolna RKL (0,41 kN). Po pięciu miesiącach od zainstalowania jej wytrzymałość zmniejszyła się o ok. 43% (0,23 kN). Natomiast najmniejszą odpornością na przebicie charakteryzuje się kontrolna geowłóknina jutowa – 0,030 kN. Po zakończeniu eksperymentu jej wytrzymałość zmniejszyła się o ok. 4%. Odporność na przebicie statyczne kontrolnej geowłókniny wełnianej była o ok. 10% większa od wytrzymałości geowłókniny



Rys. 3. Wpływ czasu użytkowania na odporność geowłóknin na statyczne przebicie trzpieniem (CBR)

Fig. 3. Influence of usage time on resistance of geo nonwovens to static puncture

jutowej. Ze względu na znaczny stopień biodegradacji geowłókniny wełnianej, po pięciu miesiącach od zainstalowania, nie udało się uzyskać próbki do przeprowadzenia badania (fotografia 2).



Fot. 2. Próbkę geowłókniny wełnianej umieszczonej na skarpie po pięciu miesiącach

Fot. 2. The appearance of a woolen geo nonwoven sample applied on a slope for after 5 months

Wnioski

Wnioski z badań geowłóknin biodegradalnych:

- instalacja innowacyjnej geowłókniny wełnianej zbudowanej z odpadowych włókien pogarbarskich na stanowisku badawczym wykazała, że materiał ten wpływa na intensywny rozwój roślinności skarpowej (fotografia 2);

- po pięciu miesiącach od zainstalowania wytrzymałość na rozciąganie wszystkich geowłóknin znacznie zmniejszyła się w porównaniu z wytrzymałością materiału kontrolnego. Największy spadek wytrzymałości odnotowano w przypadku geowłókniny wełnianej, a najmniejszy – biowłókniny RKL;

- zarejestrowano duży spadek wytrzymałości na przebicie statyczne oraz dynamiczne biowłókniny RKL. Włóknina jutowa, zarówno materiał kontrolny, jak i materiał po okresie pięciu miesięcy od zainstalowania, charakteryzowała się praktycznie jednakową, niewielką wytrzymałością na przebicie statyczne. Ze względu na niewystarczającą ilość materiału badawczego geowłókniny wełnianej pobranej ze

skarp, nie było możliwe przeprowadzenie badań.

Z uwagi na wstępny charakter badań wdrożeniowych innowacyjnej geowłókniny wytworzonej z odpadowej wełny owczej otrzymanej w procesach garbarskich, planowana jest seria badań polowych zabezpieczenia powierzchniowego skarp w skali wielkowymiarowej z uwzględnieniem rozwoju roślinności, retencji wody opadowej oraz ochrony przed ablacją.

Literatura

- [1] Patil B, Pusadkar SS. Natural fibers as geo-reinforcement-a review, *International Journal of Innovations in Engineering and Science*. 2019; 4 (8): 119 – 123.
- [2] Hao W, Chongkai Y, Chenghan L i in. Review of Application and Innovation of Geotextiles in Geotechnical Engineering, *Materials*. 2020; <https://doi.org/10.3390/ma13071774>.
- [3] Tanasa F, Nechifor M, Ignat ME, Teaca CA. Geotextiles – A Versatile Tool for Environmental Sensitive Applications in Geotechnical Engineering, *Tekstyli*. 2022; <https://doi.org/10.3390/textiles2020011>.
- [4] Duszyńska A. Zbrojenie geosyntetyczne podstawy nasypu, *Inżynieria Transportowa*. Monografia naukowa, Gdańsk 2016, ISBN 978-83-60261-47-7.
- [5] Głazewski M, Nowocień E, Piechowicz K. Roboty ziemne i rekultywacyjne w budownictwie komunikacyjnym, *Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ*, 2010.
- [6] Jurkiewicz-Pietrzak I. Antyerozyjne zabezpieczenie skarp, *edroga.pl*, 2008, 1-10.
- [7] <https://24kurier.pl/aktualnosci/wiadomosci/skarpa-odplynela-zielona-nowinka-wzdłuż-ul-szafera-po-ulewie>.
- [8] Grzybowska-Pietras J, Broda J, Przybyło S, Rom M, Laszczak R, Mitka A. Zastosowanie innowacyjnych geotekstyliów z surowców odpadowych do zabezpieczenia gruntu przed erozją, *Inżynieria Morska i Geotechnika*. 2015; 4: 615 – 620.
- [9] Gajewska B. Zapobieganie erozji skarp – praktyczne przykłady rozwiązań. 2010. *Seminarium IBDiM i PSG-IGS*, 119-154.
- [10] Grzybowska-Pietras J, Juzka A, Nguyen G. Wykorzystanie odpadowych włókien syntetycznych i wełny do zastosowań w inżynierii lądowej. *Przegląd Budowlany*. 2019; 10: 81 – 84.
- [11] PN-B 12074 Urządzenia wodno-melioracyjne. Umacnianie i zadarnianie powierzchni biowłókniną. Wymagania i badania przy odbiorze.
- [12] PN-EN ISO 9864. Geosyntetyki. Metoda badań do wyznaczania masy powierzchniowej geotekstyliów i wyrobów pokrewnych.
- [13] PN-EN ISO 9863-1 Geosyntetyki. Wyznaczenie grubości przy określonych naciskach. Część 1: Warstwy pojedyncze.
- [14] PN-EN ISO 10319 Geosyntetyki. Badanie wytrzymałości na rozciąganie metodą szerokich próbek.
- [15] PN-EN ISO 12236. Geotekstyli i wyroby pokrewne. Badanie statycznego przebicia (metoda CBR).

Przyjęto do druku: 05.10.2022 r.