

dr hab. inż. Jacek Domski, prof. PK^{1*)}

ORCID: 0000-0002-5112-1035

mgr inż. Irena Domska²⁾

ORCID: 0000-0002-8508-5749

Wpływ wymiarów próbki na wartość naprężenia ściskającego przy 10% odkształceniu styropianu EPS

Influence of sample dimensions on the value of compressive stress at 10% deformation of EPS polystyrene

DOI: 10.15199/33.2022.12.30

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę wyników badań naprężenia ściskającego przy 10% odkształceniu, uzyskanych w przypadku próbek z płyt styropianowych typu EPS_i (tj. do zastosowań, w których przenoszone są obciążenia ściskające). Sprawdzono wpływ wymiarów próbek, zgodnych z wymaganiami różnych norm, na wartość naprężenia ściskającego przy 10% odkształceniu. Ustalono, że w przypadku analizowanych wyników badań, wielkość próbki styropianowej w istotny sposób nie wpływa na naprężenie ściskające.

Słowa kluczowe: styropian; EPS; naprężenie ściskające przy 10% odkształceniu; wymiary próbek do badań.

Abstract. The article presents an analysis of the test results of compressive stress at 10% deformation, obtained for EPS_i (for load bearing applications) polystyrene boards samples. The influence of the dimensions of the samples, compliant with the requirements of various standards, on the value of the compressive stress at 10% strain was examined. It was concluded in the scope of the analyzed test results, that the size of the polystyrene sample did not significantly affect the compressive stress.

Keywords: expanded polystyrene; EPS; compressive stress at 10% strain; dimensions of test specimens.

Styropian ekspandowany EPS to najbardziej popularny materiał termoizolacyjny, w postaci sztywnego tworzywa komórkowego. Badanie naprężenia ściskającego przy 10% odkształceniu jest podstawowe w przypadku materiałów termoizolacyjnych. Z literatury światowej wynika, że przeprowadzane jest na próbkach o różnych wymiarach (szerokość x długość x grubość), np. 25 x 25 x 12,5 mm [1], 42 x 42 x 100 mm [2], 50 x 50 x 50 mm [3], 70 x 70 x 140 mm [4], 100 x 100 x 200 mm [5], 350 x 350 x 50 mm [2]. Na ich podstawie określana jest m.in. zależność pomiędzy naprężeniem a odkształceniem, a także tworzone są modele materiałowe. W [6, 7] zawarto wyniki uproszczonych analiz wpływu wielkości próbek na wartość naprężenia ściskającego przy 10% odkształceniu. Analizy te dotyczyły m.in. próbek sześciennych o boku 100, 150 i 200 mm oraz różnej gęstości styropianu. Wykazały one wpływ wielkości próbek na wartość naprężenia ściskającego przy 10% odkształceniu. Są to jednak badania cząstkowe, zrealizowane na niewielkiej liczbie próbek. W związku z tym postanowiono przeprowadzić analizę wpływu wielkości próbki na dużej liczbie elementów próbnych.

Zgodnie ze zharmonizowaną normą EN 13163:2012 +A1:2015 [8] wyroby styropianowe dzieli się na cztery typy związane z zamierzonym zastosowaniem do izolacji cieplnej budynków:

- typ EPS S – do zastosowania, gdy nie są przenoszone obciążenia ściskające;
- typ EPS SD – do zastosowania, gdy nie są przenoszone obciążenia ściskające i dodatkowo wyrób ma właściwości akustyczne;
- typ EPS T – do zastosowania w przypadku podłóg pływających;
- typ EPS_i – do zastosowania, gdy przenoszone są obciążenia i gdzie „i” oznacza naprężenie ściskające przy 10% odkształceniu, określane symbolem CS (10).

Przedmiotem artykułu jest analiza wyników badań styropianu typu EPS_i, w przypadku którego wymagane jest deklaratoryjne przez producentów naprężenie ściskające przy 10% odkształceniu. Właściwość ta jest wykorzystywana podczas projektowania termoizolacji elementów budynku, np. podłóg czy fundamentów. Producenci styropianu wykonują badanie naprężenia ściskającego na potrzeby tzw. zakładowej kontroli produkcji, najczęściej we własnych laboratoriach przykładowych. W celu oznakowania wyrobu znakiem CE, w ramach określenia typu wyrobu, producenci zlecają wykonanie tego badania notyfikowanym laboratoriom badawczym. Laboratoria te wykonują również badania naprężenia ściskającego przy 10% odkształceniu, CS (10), w ramach kontroli wyrobów prowadzonych przez jednostki nadzoru budowlanego.

Badanie naprężenia ściskającego realizowane jest na podstawie normy badawczej EN 826:2013 [9]. Zarówno ta norma, jak i norma produktowa EN 13163 [10 ÷ 13] określają wymiary próbek do badań, przy czym w normie produktowej

¹⁾ Politechnika Koszalińska, Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji

²⁾ Fabryka Styropianu ARBET Sp.J.

^{*}) Adres do korespondencji: jacek.domski@tu.koszalin.pl

wymagania te zostały zmienione w 2012 r. [10]. Z uwagi na rozbieżności w wymaganej wielkości próbek postanowiono określić wpływ ich wymiarów na uzyskiwaną wartość CS(10).

Metoda badań

Zgodnie ze specyfikacją techniczną dotyczącą płyt styropianowych, tj. normą EN 13163, jednym z wymagań dotyczących określonego zastosowania (w tym przypadku przenoszącego obciążenia ściskające) jest badanie naprężenia ściskającego przy 10% odkształceniu σ_{10} wyrażane w [kPa]. Należy je określać zgodnie z normą EN 826 [9]. Żaden z wyników badań, CS(10), nie powinien być mniejszy niż wartość deklarowana, np. w przypadku deklarowanego CS(10)80, żaden wynik badania nie może być mniejszy niż 80 kPa. Norma EN 13163 wskazuje również metody i warunki badań oraz wymiary próbek. Od 2004 r. (tj. od momentu wprowadzenia europejskiej normy, dotyczącej fabrycznej produkcji styropianu, do zbioru Polskich Norm) do 2012 r. norma 13163 wskazywała do badań naprężenia ściskającego próbki o wymiarach 50 x 50 x 50 mm, bez względu na grubość oryginalnego wyrobu [4, 5]. W celu uzyskania jednego wyniku badania należało wykonać 3 pomiary, przy czym z płyt o grubości nominalnej większej niż 50 mm wycinano do badań laboratoryjnych próbki sześciennie o boku 50 mm. W przypadku cięcia płyt o grubości mniejszej niż 50 mm, w celu spełnienia wymagań zakładowej kontroli produkcji, zabezpieczano wycinek bloku styropianowego o grubości min. 50 mm. Od czasu wprowadzenia normy EN 13163:2012 [10] nastąpiły zmiany wymagań dotyczące wymiarów próbek. W przypadku płyt o grubości nominalnej mniejszej niż 50 mm obecnie należy badać pięć sztuk próbek o wymiarach 50 x 50 x d (d jest grubością próbki), natomiast gdy płyty styropianowe są grubości większej lub równej 50 mm, próbka do badań powinna mieć wymiary l x b x d (gdzie l i b są długością i szerokością próbki). Norma badawcza EN 826 (zarówno wycofana norma EN 826:1996 [14], jak i obecna EN 826:2013 [9], a także projekt normy ISO/DIS 29469:2021 [15]) wymaga, aby próbki do badań miały grubość oryginalnego wyrobu, a szerokość nie mniejszą od ich grubości. Probki powinny mieć kwadratowe powierzchnie o wymiarach: 50 x 50 lub 100 x 100, lub 150 x 150, lub 200 x 200, lub 300 x 300 mm. Wybór ich wymiarów określa właściwa norma wyrobu. Wymagania zgodnie z EN 13163 i EN 826/ISO 29469 zestawiono w tabeli.

Z porównania wymagań dotyczących wymiarów próbek zawartych w obu normach wynika, że do momentu wprowadzenia wersji normy EN 13163 z 2012 r. [10], badania naprężenia ściskającego były przeprowadzane inaczej, niż przewidziano w normie badawczej EN 826 [9]. Główne odstępstwo od normy badawczej polegało na badaniu próbek o innej grubości niż nominalna grubość płyt styropianowych.

W artykule wykorzystano wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzonych w laboratoriach zakładowych Fabryki Styropianu „ARBET” Sp. J., w ramach zakładowej kontroli produkcji. Analizie poddano ok. 9000 wyników pomiarów naprężenia ściskającego, wykonanego na dwóch maszynach wytrzymałościowych: 50ST – TINIVUS OLSEN oraz

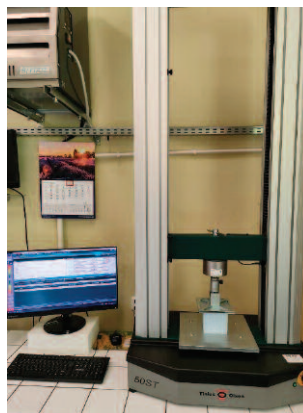
TS-30 – LAB-TRADE (fotografie 1 i 2). Badania przeprowadzono w stałych warunkach cieplno-wilgotnościowych, tj. w temperaturze $23 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności $50 \pm 5\%$ RH. Wyniki badań obejmowały naprężenie ściskające uzyskane na próbkach sześciennych o boku 50, 100, 150 i 200 mm. Gęstość próbek wynosiła 12,3 – 39,6 kg/m³.

Wymiary próbek do badań CS(10) zgodnie z EN 13163, EN 826 i ISO/DIS 29469

Dimensions of samples for CS(10) tests according to EN 13163 and EN 826 and ISO/DIS 29469

Norma produktowa	Wymiary próbek do badań [mm x mm x mm]	EN 826:2013 [9], ISO/DIS 29469:2021 [15] – wymiary próbek [mm x mm]	
EN 13163:2001 [11]	50 x 50 x 50	50 x 50	x oryginalna grubość wyrobu
EN 13163:2008 [12]		100 x 100	
EN 13163:2012 [10]		150 x 150	
EN 13163:2012+A1:2015 [8]	200 x 200		
EN 13163:2012+A2:2016 [13]	250 x 250		
	50 x 50 x d ^d l ^e x b ^e x d ^e	250 x 250	
		300 x 300	

^d wielkość próbki ogólnej o grubości d < 50 mm; ^e wielkość próbki ogólnej stosowanej dla płyt ≥ 50 mm; szerokość próbek nie powinna być mniejsza od ich grubości



Fot. 1. Maszyna wytrzymałościowa 50ST – TINIVUS OLSEN
Photo 1. 50ST – TINIVUS OLSEN testing machine



Fot. 2. Maszyna wytrzymałościowa TS-30 – LAB-TRADE
Photo 2. TS-30 – LAB-TRADE testing machine

Wyniki badań i ich analiza

Przed przystąpieniem do analizy wyników badań przeprowadzono ich ocenę statystyczną. W pierwszej kolejności sprawdzono, czy otrzymane wyniki naprężenia ściskającego przy 10% odkształceniu w przypadku poszczególnych serii (grubości nominalnej) należą do tej samej populacji wyników. Ocena ta dotyczyła wartości, które są zbyt duże lub zbyt małe w danej grupie wyników. Takie, odbiegające od innych, wartości mogą wystąpić w wyniku pojawienia się grubego błędu systematycznego lub też mogą należeć do innej populacji pomiarów. W obu przypadkach wartości takie należy odrzucić. Może wystąpić także przypadek, że pomiary należą do tej samej populacji, a różnią się tylko skutkiem fluktuacji, tj. lokalnym odchyleniem wartości danej wielkości od jej wartości średniej. Wychodząc z założenia, że prawdopodobieństwo występowania wartości różniących się od średniej o więcej niż trzy odchylenia standardowe jest

bardzo małe, często przyjmuje się regułę odrzucania wartości różniących się od średniej z próby o więcej niż trzy empiryczne odchylenia standardowe. Zastosowana w artykule metoda Dixon wykorzystuje owe zalecenia [16]. Na jej podstawie odrzucono kilka skrajnych wyników w poszczególnych seriach. W dalszej kolejności sprawdzono, czy liczba wyników (przebadanych próbek) w przypadku poszczególnych serii jest wystarczająca. Określenie reprezentatywności prób polegało na przyjęciu tolerancji ϑ wartości średniej, przy założonym poziomie istotności α (wartości t_α jak dla rozkładu t-Studenta) oraz znanym wskaźniku zmienności v i sprawdzeniu zależności:

$$\frac{t_\alpha}{\sqrt{n}} \leq \frac{\vartheta}{v} \quad (1)$$

gdzie:

t_α – parametr t-Studenta;

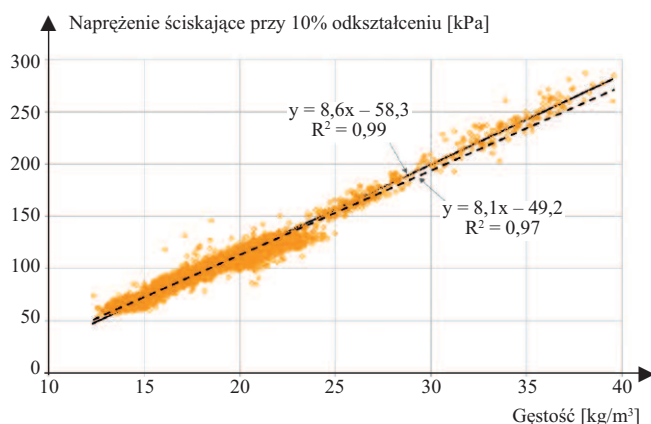
n – liczba wyników;

ϑ – tolerancja;

v – wskaźnik zmienności.

Na podstawie przeprowadzonej oceny statystycznej wyników badań w przypadku poszczególnych nominalnych grubości próbek można uznać, że wszystkie serie są reprezentatywne.

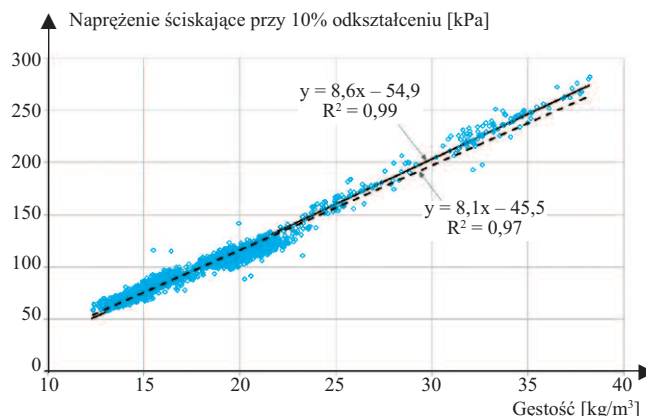
Na rysunku 1 przedstawiono zależność pomiędzy naprężeniem ściskającym przy 10% odkształceniu i gęstością próbek sześciennych o nominalnym wymiarze 50 mm. Na podstawie uzyskanych pojedynczych pomiarów, metodą najmniejszych kwadratów, przeprowadzono analizę regresji liniowej (linia przerywana) opisującej zależność dla wszystkich pomiarów. Zwiększona częstość wyników w przypadku próbek o gęstości najbardziej popularnej wśród produkowanych wyrobów EPS spowodowała, że w pewnych obszarach prosta ta nie pokrywa się z wynikami pomiarów. W związku z tym ograniczono liczbę wyników w przypadku poszczególnych gęstości i ponownie dopasowano funkcję liniową (linia ciągła) do uzyskanych rezultatów. Prosta ta rzetelniej odzwierciedla uzyskane wyniki badań. Podobną analizę przeprowadzono w przypadku próbek o nominalnej grubości 100, 150 oraz 200 mm i przedsta-



Rys. 1. Zależność pomiędzy gęstością a naprężeniem ściskającym przy 10% odkształceniu kostek o boku 50 mm

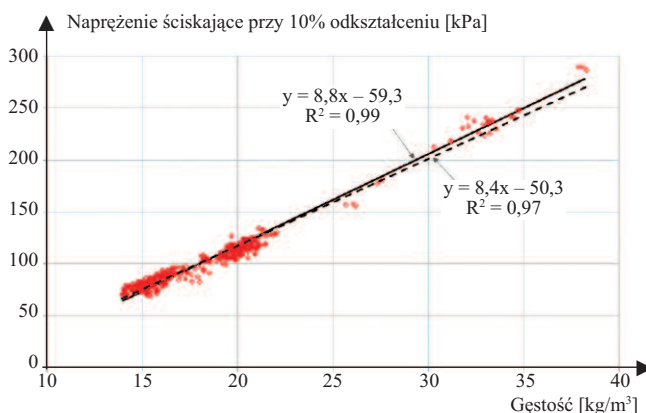
Fig. 1. Relationships between density and compressive stress at 10% strain for cubes with a side of 50 mm

wiono ją na rysunkach 2 – 4. W przypadku wszystkich wykresów współczynnik determinacji (jakości dopasowania funkcji) jest zbliżony do jedności, co oznacza, że wyznaczone funkcje (dla ciągłej linii regresji) wiernie odzwierciedlają uzyskane wyniki badań. Analizując funkcje przedstawione na



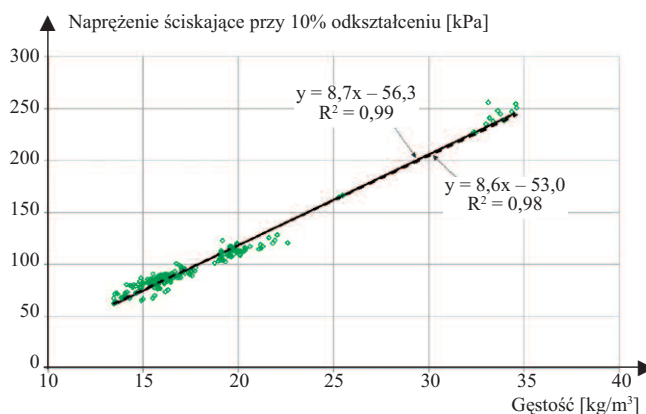
Rys. 2. Zależność pomiędzy gęstością a naprężeniem ściskającym przy 10% odkształceniu kostek o boku 100 mm

Fig. 2. Relationships between density and compressive stress at 10% strain for cubes with a side of 100 mm



Rys. 3. Zależność pomiędzy gęstością a naprężeniem ściskającym przy 10% odkształceniu kostek o boku 150 mm

Fig. 3. Relationships between density and compressive stress at 10% strain for cubes with a side of 150 mm

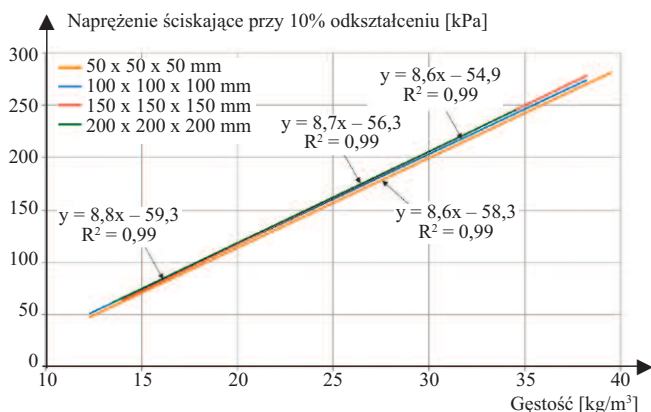


Rys. 4. Zależność pomiędzy gęstością a naprężeniem ściskającym przy 10% odkształceniu kostek o boku 200 mm

Fig. 4. Relationships between density and compressive stress at 10% strain for cubes with a side of 200 mm

rysunkach 1 – 4 (w przypadku ciągłej linii regresji), można zauważyć, że współczynniki kierunkowe prostych są bardzo zbliżone (w przypadku grubości 50 i 100 mm – 8,6; 150 mm – 8,8 i 200 mm – 8,7), co oznacza, że proste te są praktycznie równoległe (kąąt nachylenia do osi poziomej wynosi 83,4 – 83,5°).

Na rysunku 5 przedstawiono funkcje uzyskane w przypadku poszczególnych rozmiarów próbek. Najniżej usytuowana jest prosta odnosząca się do kostek o boku 50 mm, zaś pozostałe funkcje są zbliżone w obszarze najmniejszej gęstości próbek styropianowych.



Rys. 5. Porównanie zależności pomiędzy gęstością a naprężeniem ściskającym przy 10% odkształceniu w przypadku różnych wielkości próbek

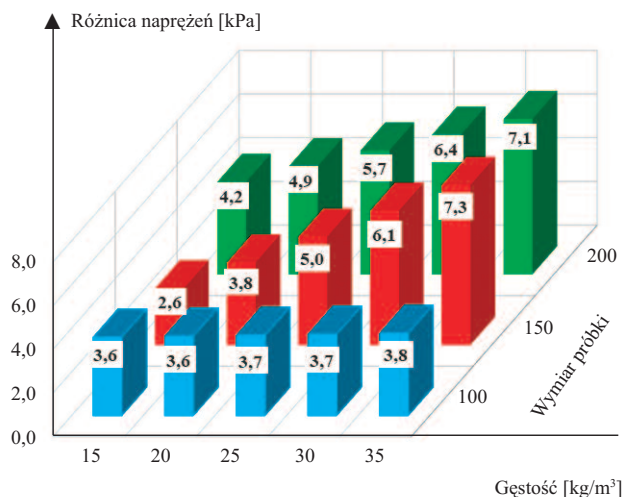
Fig. 5. Comparison of the relationship between density and compressive stress at 10% strain for the different sample sizes

Wnioski

Z przeprowadzonej analizy wynika, że badania prowadzone na próbkach sześciennych o boku 50 mm dają najmniejsze wartości naprężenia ściskającego przy 10% odkształceniu (co uzyskano również w badaniach opisanych w [6, 7]). Oznacza to, że z punktu widzenia bezpieczeństwa, dotyczące spełniania przez wyrób deklarowanych właściwości, przeprowadzenie tego badania na kostkach o boku 50 mm jest najkorzystniejsze. Wpływ wymiarów próbki na wartość naprężenia ściskającego jest uzależniony również od wartości gęstości styropianu. Na rysunku 6 przedstawiono zwiększenie (w stosunku do kostek o boku 50 mm) wartości naprężenia w zależności od wielkości próbki, w przypadku wybranych gęstości. Różnice wyznaczone na podstawie linii regresji wynoszą 2,6 – 7,3 [kPa].

W przypadku małej gęstości styropianu różnice naprężeń wyniosły 2,6 – 4,2 kPa, co stanowi 3,5 – 5,6%. Maksymalna różnica, o wartości 7,3 kPa, uzyskana w przypadku gęstości 35 kg/m³ stanowi tylko 2,9%.

W odniesieniu do przeprowadzonych badań (wyniki pomiarów udostępnione przez firmę Arbet) można stwierdzić, że wpływ zmiany wielkości próbki na naprężenie ściskające jest niewielki. Zatem zmiana wymagań dotycząca wymiarów próbek do badań, wprowadzona normą europejską EN 13163:2012 [10] i dostosowująca metodykę pomiaru do normy badawczej EN 826 [9], nie powoduje konieczności innej klasyfikacji wyrobów, niż na podstawie badań na próbkach sześciennych o boku 50 mm.



Rys. 6. Zwiększenie wartości naprężenia ściskającego przy 10% odkształceniu w stosunku do próbek sześciennych o boku 50 mm
Fig. 6. Increase in the value of compressive stress at 10% strain in relation to cubic samples with a side of 50 mm

Fotografie: FS ARBET

Literatura

- [1] Yu Q, Zhao Y, Dong A, Li Y. Mechanical properties of EPS filled syntactic foams prepared by VARTM. *J. Comp. Part B*. 2018; <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.07.053>.
- [2] Entfellner M, Hamdi P, Wang X, Wannenmacher H, Amann F. Investigating High-Strength Expanded Polystyrene (HS-EPS) as yielding support elements for tunnelling in squeezing ground conditions. *J. Tunn. and Under. Space Techn.* 2021; <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104186>.
- [3] Vaitkus S, Granev V, Gnip I, Vėjelis S, Kairyte A. Stress Relaxation in Expanded Polystyrene (EPS) Under Uniaxial Loading Conditions. *J. Proce. Engine.* 2013; <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.153>.
- [4] Leo ChJ, Kumruzzaman M, Wong H, Yin JH. Behavior of EPS geofoam in true triaxial compression tests. *J. Geot. and Geom.* 2008; <https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2007.10.005>.
- [5] Tang N, Lei D, Huang D, Xiao R. Mechanical performance of polystyrene foam (EPS): Experimental and numerical analysis. *J. Poly. Test.* 2019; <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.12.001>.
- [6] Beju YZ, Mandal JN. Expanded polystyrene (EPS) geofoam: preliminary characteristic evaluation. *J. Proce. Engine.* 2017; <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.038>.
- [7] Hazarika H. Stress-strain modeling of EPS geofoam for large-strain applications. *J. Geot. and Geom.* 2006; <https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2005.11.003>.
- [8] EN 13163:2012+A1:2015 Thermal insulation products for buildings – Factory made expanded polystyrene (EPS) products – Specification.
- [9] EN 826:2013 Thermal insulating products for building applications – Determination of compression behaviour.
- [10] EN 13163:2012 Thermal insulation products for buildings – Factory made expanded polystyrene (EPS) products – Specification.
- [11] EN 13163:2001 Thermal insulation products for buildings – Factory made expanded polystyrene (EPS) products – Specification.
- [12] EN 13163:2008 Thermal insulation products for buildings – Factory made expanded polystyrene (EPS) products – Specification.
- [13] EN 13163:2012+A2:2016 Thermal insulation products for buildings – Factory made expanded polystyrene (EPS) products – Specification.
- [14] EN 826:1986 Thermal insulating products for building applications – Determination of compression behaviour.
- [15] ISO/DIS 29469:2021 Thermal insulating products for building applications – Determination of compression behaviour.
- [16] Strzałkowski A, Śliżyński A. Matematyczne metody opracowywania wyników pomiarów. PWN, Warszawa 1978.

Przyjęto do druku: 07.11.2022 r.