

dr hab. inż. Łukasz Drobiec, prof. PŚ^{1*)}
dr inż. Paweł Piotrkowski²⁾

Przyczyny uszkodzeń i sposób naprawy posadzki ze styrobetonu

Causes of damage and the methods of repair the floor made on polystyrene concrete layer

DOI: 10.15199/33.2019.10.01

Streszczenie. W artykule opisano uszkodzenia, badania i sposób naprawy posadzki wykonanej na istniejącym stropie żelbetonowym o powierzchni ok. 1050 m² i podłożu ze styrobetonu. W posadzce stwierdzono znaczne uszkodzenia w postaci zarysowań, odspojień i nierówności. W celu określenia ich przyczyn wykonano badania in situ oraz badania laboratoryjne. Stwierdzono, że przyczyną powstania uszkodzeń są błędy wykonawcze. Wykonano próbną naprawę uszkodzeń (na polu 4,7 x 6,0 m), a następnie metodę naprawczą zastosowano na całej powierzchni posadzki.

Słowa kluczowe: styrobeton; posadzki; uszkodzenia i naprawy posadzek.

Abstract. The paper describes damages, tests and repair of the floor made on existing ceiling and expanded polystyrene concrete underlay. The floor was built on a reinforced concrete ceiling with an area of about 1050 m². Significant damage in the form of scratches, detachments and unevenness was found in the floor. In order to determine the causes of damage, in situ tests and laboratory tests were carried out. It was found that the damage was caused by numerous performance errors. A test repair of the damage (4,7 x 6,0 m) was carried out, and then the repair method was applied on the entire floor surface.

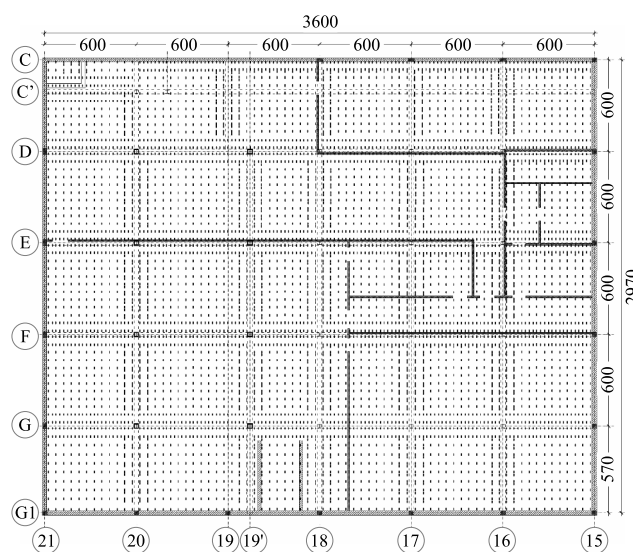
Keywords: polystyrene concrete; floors; floor damage and repairs.

Styrobeton stosuje się obecnie często jako podkład pod posadzki lub warstwy spadkowe dachów [1, 2, 3] oraz jako elementy zabezpieczenia przeciwogniowego [2, 3]. Podejmowane są również próby wykorzystania go do produkcji prefabrykatów ściennych [7]. Zalety tego materiału, to niewielki ciężar (nawet 12 razy mniejszy od betonu) i dobra izolacyjność termiczna, a wady – skurcz i znaczne pełzanie oraz pewne ograniczenia wykonawcze [5, 6]. Zastosowanie styrobetonu wpisuje się w globalną tendencję ochrony środowiska przez recykling zużytych elementów styropianowych [1, 7]. W artykule opisano uszkodzenia, badania i sposób naprawy posadzki z podkładem ze styrobetonu.

Opis posadzki

Posadzkę wykonano na istniejącym żelbetonowym płytowo-żebrowym stropie (pierwotnie konstrukcja dachu) o powierzchni ok. 1050 m², na którym wykonano nadbudowę w celu zaadaptowania jej na stołówkę. Wymagało to przebudowy istniejącego obiektu oraz wzmocnienia niektórych elementów konstrukcyjnych. Wzmocniono płytę żelbetonową przez wylanie nowej warstwy zbrojonego betonu grubości 5 cm na całej powierzchni stropu. Nowy beton został zespolony z istniejącą konstrukcją przez warstwę szepną oraz trzpienie zespajające. Ponadto wzmocniono podciągi zabudowane na siatce 6,0 x 6,0 m przez nadbetonowanie nowej warstwy zbrojonego betonu na wysokość 15 cm i szerokość 40 cm w śladzie istniejących elementów. Jako wykończenie posadzki w nadbudowanym obiekcie zastosowano warstwę styrobetonu grubości 9,5 cm z wierzchnią warstwą cementowej wylewki samopoziomującej grubości 15 mm. Przyjęto, że trzpienie zespajające zakotwione będą w warstwie styrobetonu lub w strefie nadbetonu (nad belkami) w rozstawie

co 50 cm, a w strefach belek podporowych (nadciągów) co 25 cm. Dylatacje posadzki przewidziano we wszystkich osiach słupów jako podwójny układ przerw dylatacyjnych – nacięcia miały przebiegać wzdłuż krawędzi nadciągów. Na rysunku 1 pokazano układ belek (naciągów) oraz lokalizację trzpieni zespajających istniejący strop, nadbeton i styrobeton (punkty na rysunku), a na rysunku 2 przekroje przez wzmocnioną płytę i podciąg.



Rys. 1. Układ belek i lokalizacja trzpieni zespajających istniejący strop, nadbeton i styrobeton

Fig. 1. Beam system and the location of reinforcement pins (connecting the existing ceiling, top layer and EPS concrete)

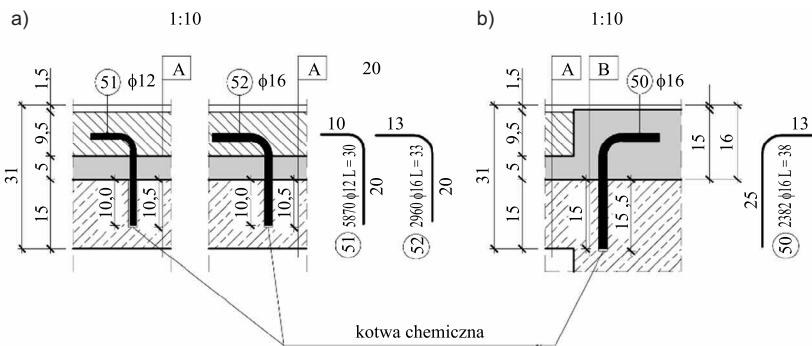
Uszkodzenia

Na powierzchni posadzki pojawiały się uszkodzenia w postaci licznych zarysowań i spękań, odspojień górnej warstwy i niejednorodnej struktury górnej warstwy. Rozwarście rys

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa

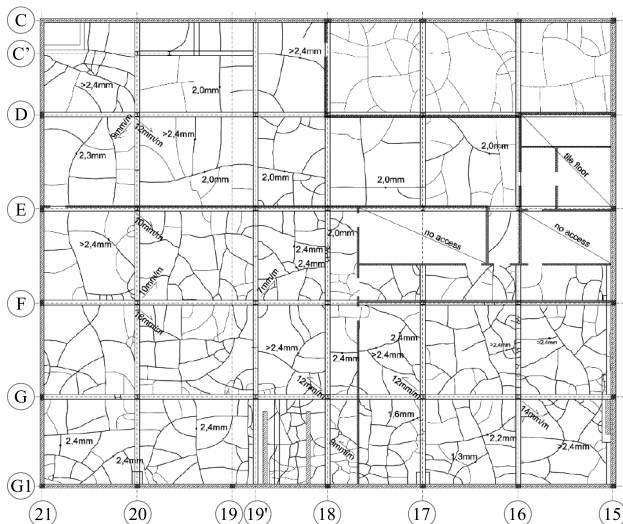
²⁾ Politechnika Gdańska; Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

^{*}) Adres do korespondencji: lukasz.drobiec@polsl.pl



Rys. 2. Przekrój przez płytę (a) oraz przez wzmocniony podciąg (b)
Fig. 2. Cross section of reinforced slab (a) and reinforced joist (b)

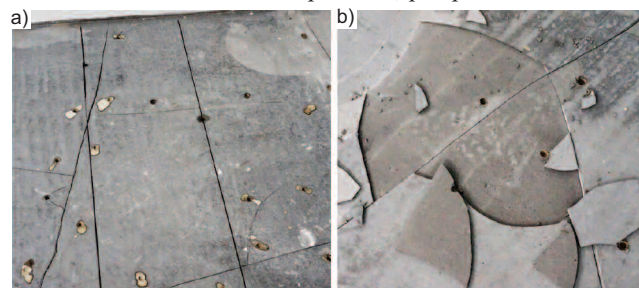
przekraczało często 3 mm. Zarysowania wystąpiły na powierzchni wylewki samopoziomującej na warstwie styrobetonu oraz na wylewce na wzmocnionych podciągach żelbetowych. W strefach między podciągami rysy występowały również w warstwie styrobetonu. Oględziny wykazały ponadto występowanie błędów wykonawczych, takich jak zmienna grubość wylewki samopoziomującej i styrobetonu, brak dokładności wykonania dylatacji nacinanych oraz układanie wylewki warstwami (lokalnie 3 warstwy). Posadzka cechowała się nierównością powierzchni – nachylenie narożników pół nacinanych wynosiło do 16 mm/m, a prześwit między dwumetrową łata a posadzką do 7 mm. Zaobserwowano, iż spełnienia posadzki przebiegają przez przerwy dylatacyjne w sposób jednorodny, co świadczy o zbyt późnym wykonaniu nacięć dylatacyjnych. Posadzkę próbowano naprawiać przez iniekcję, ale otwory iniekcyjne wiercono pionowo w pewnym odstępnie od zarysowań, a nie pod kątem, aby przechodziły przez rysy. Na rysunku 3 pokazano układ zarysowań na powierzchni posadzki oraz wielkość pomierzonych nachyleń i rozwarć zarysowań, a na fotografiach 1 i 2 wybrane uszkodzenia. Analizując zapisy w dzienniku budowy i temperaturę powietrza występującą w czasie układania styrobetonu i wylewki, stwierdzono, że była ona wyższa o prawie 10°C od wartości zalecanych przez producentów materiałów.



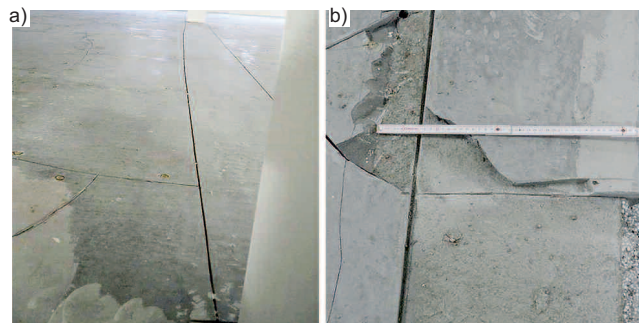
Rys. 3. Uszkodzenia posadzki. Podano wartości pomierzonych nachyleń posadzki i rozwarć rys
Fig. 3. Floor damage. The values of slopes and crack width are given

Badania

W kilku ocenach stanu technicznego sporządzonych na zlecenie wykonawcy robót podkreślano, że wykonanie samopoziomującej wylewki na podłożu ze styrobetonu jest niezgodne z kartą techniczną wylewki, w której wymaga się wysezonowanego podkładu cementowego lub betonowego. Podnoszono również, że niepotrzebnie w warstwie styrobetonu zastosowano trzpienie oraz że nie przyjęto warstwy poślizgowej między nadbetonem a styrobetonem. Aby wykazać możliwość wykonania wylewki na warstwie styrobetonu wraz z trzpieniami, przeprowadzono bada-



Fot. 1. Uszkodzenia posadzki: a) rysy przechodzące przez dylatację nacinaną; b) odspojenia wylewki samopoziomującej
Photo 1. Damage type: a) cracks protruding through expansion joint; b) self-leveling layer detachment



Fot. 2. Niedokładnie wykonane dylatacje nacinane: a) zaburzenia prostoliniowości; b) odkrywka nadciągu. Dylatacje są oddalone o 7 cm od krawędzi nadciągu
Photo 2. Imprecise expansion joints: a) uneven cuts; b) inverted beam exposure. Expansion joints are at the distance of 7 cm

nia porównawcze. Dodatkowo wykonano badania pull-off, badania wytrzymałości materiałów pobranych z uszkodzonej posadzki oraz dokładne badania płaskości jej powierzchni.

Badania porównawcze. W celu określenia ewentualnej interakcji między poszczególnymi warstwami posadzki wykonano cztery elementy próbne: trzy na płycie żelbetowej o wymiarach 95 x 295 cm, a jeden bezpośrednio na folii budowlanej. W próbce nr 1 w żelbetowej płycie osadzono trzpienie stalowe średnicy 12 mm, na płycie wykonano warstwę styrobetonu 30/50 grubości 10 cm, a na styrobetonie – 2 cm warstwę wylewki samopoziomującej. Model ten odwzorowuje warstwę rzeczywistej posadzki. W próbce nr 2 wykonano na żelbetowej płycie 10 cm warstwę styrobetonu 30/50, a na styrobetonie 2 cm warstwę wylewki samopoziomującej. Model ten wykonano w celu porównania z próbką nr 1 (obserwowano wpływ niewykonania stalowych trzpieni łączących styrobeton

z płytą żelbetową). W próbce nr 3 na folii budowlanej rozłożonej na stopie laboratorium ułożono styrobeton 30/50, a na nim warstwę wylewki samopoziomującej grubości 2 cm. Model wykonano w celu stwierdzenia ewentualnego wpływu warstwy poślizgowej znajdującej się pod warstwą styrobetonu. W próbce nr 4 wykonano 10 cm warstwę styrobetonu 30/50 na płycie żelbetowej w celu stwierdzenia ewentualnego skurczu na wylewce ze styrobetonu. Model pozostawiono niezabezpieczony i bez pielęgnacji, co w praktyce nie jest dopuszczalne.

Badania wizualne próbek nr 1 ÷ 4 prowadzono przez ok. 2 miesiące od momentu ich wykonania. Czas obserwacji próbek był 2,5 razy dłuższy od okresu, w którym pojawiły się zarysowania na rzeczywistej posadzce. Po 49 dniach obserwacji stwierdzono, że w modelach nr 1, 2 i 3 na powierzchni wylewki samopoziomującej nie wystąpiły żadne zarysowania, natomiast pojawiły się drobne rysy skurczowe na powierzchni warstwy styrobetonu w próbce 4. Rozwarcie rys wynosiło $0,1 \div 0,5$ mm (lokalnie). Rysy na górnej powierzchni styrobetonu pojawiły się po przeszło dwóch tygodniach od wykonania warstwy (warstwa ta nie była pielęgnowana). Badania porównawcze wykazały, że możliwe jest wykonanie wylewki samopoziomującej zgodnie z zaprojektowanym układem warstw, ale brak pielęgnacji styrobetonu prowadzi do powstania zarysowań skurczowych.

Badania pull-off prowadzono zarówno na uszkodzonej posadzce, jak i na próbkach nr 1 i 2. Miały one na celu określenie przyczepności między wylewką samopoziomującą a styrobetonem i prowadzono je zgodnie z wytycznymi z pracy [4]. Na uszkodzonej posadzce wykonano badanie w sześciu miejscach, a uzyskane wyniki podano w tabeli 1. Na próbkach nr 1 i 2 wykonano 12 badań, których wyniki zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 1. Wyniki badań pull-off uszkodzonej posadzki i próbek nr 1 i 2

Table 1. Results of the pull-off test for the damaged floor and samples no. 1 and 2

Próbka	Grubość wylewki [mm]	Naprężenie zrywające [N/mm ²]	
Uszkodzona posadzka	1	13 – 20	0,28
	2	13 – 15	0,12
	3	12 – 15	0,21
	4	35	0,34
	5	40	0,19
	6	40	0,26
Nr 1	1	21	0,26
	2	20	0,21
	3	21	0,26
	4	21	0,26
	5	20	0,23
	6	20	0,22
Nr 2	1	21	0,21
	2	22	0,26
	3	21	0,26
	4	20	0,23
	5	21	0,26
	6	21	0,23

Tabela 2. Gęstość i wytrzymałość na ściskanie walcowych próbek styrobetonu

Table 2. Density and compressive strength of polystyrene concrete rolling samples

Próbka	Wysokość [m]	Powierzchnia [m ²]	Objętość [m ³]	Masa [kg]	Gęstość [kg/m ³]	Wytrzymałość na ściskanie [N/mm ²]	
Uszkodzona posadzka	1	0,101	0,0069	0,000701	0,358	510,76	2,074
	2	0,101	0,0069	0,000701	0,319	455,12	1,924
	3	0,101	0,0069	0,000701	0,278	396,62	1,365
Nr 1	1	0,075	0,00694	0,00052	0,186	357,36	1,210
	2	0,071	0,00694	0,000493	0,209	424,17	1,246
	3	0,065	0,00694	0,000451	0,214	474,41	1,321
Nr 2	1	0,084	0,00694	0,000583	0,246	422,00	1,199
	2	0,083	0,00694	0,000576	0,235	407,98	1,215
	3	0,082	0,00694	0,000569	0,253	444,59	1,282
Nr 4	1	0,097	0,00694	0,000673	0,273	405,55	1,300
	2	0,095	0,00694	0,000659	0,286	433,81	1,317
	3	0,091	0,00694	0,000632	0,277	438,62	1,213

Badania pull-off na uszkodzonej posadzce wskazały, że przyczepność wynosi $0,12 \div 0,34$ N/mm². Pomiary te potwierdzają również zmienną grubość warstwy wylewki samopoziomującej Atlas SMS, która wynosi $12 \div 40$ mm (jedynie w próbce P1 grubość warstwy była zgodna z projektem).

W deklaracji właściwości użytkowych producent deklaruje przyczepność styrobetonu do betonu co najmniej 0,2 N/mm². W prezentowanych badaniach była ona lokalnie mniejsza. W przypadku próbek nr 1 i 2, w przeciwieństwie do badań prowadzonych na obiekcie, nie uzyskano naprężenia zrywającego mniejszego od deklarowanego 0,2 N/mm². Stwierdzono dużą jednorodność wyników badań. Odchylenie standardowe wyników badań próbek nr 1 i 2 wyniosło 0,02, a współczynnik zmienności 8,7%.

Badania laboratoryjne. Wykonano badanie: wytrzymałości na ściskanie styrobetonu; wytrzymałości na rozciąganie próbki walcowej (styrobeton + wylewka); wytrzymałości na zginanie i ściskanie wylewki oraz gęstości wylewki. Podobnie jak w wypadku badań pull-off testy prowadzono zarówno na próbkach pobranych z uszkodzonej posadzki, jak i na próbkach nr 1, 2 i 3. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie podano w tabeli 2, wytrzymałości na rozciąganie w tabeli 3, a wytrzymałości wylewki na zginanie w tabeli 4.

Stwierdzono, że materiały stosowane w badaniach porównawczych miały wytrzymałość na ściskanie i zginanie zgodną

Tabela 3. Wytrzymałość na rozciąganie próbek styrobetonu z wylewką

Table 3. Results of tensile strength tests of the EPSC + screed samples

Próbka	Średnica [m]	Powierzchnia [m ²]	Siła [kN]	Wytrzymałość na rozciąganie [N/mm ²]	
Uszkodzona posadzka	1	0,094	0,00694	1,20	0,17
	2	0,094	0,00694	1,12	0,16
	3	0,094	0,00694	0,16	0,02
Nr 1	1	0,094	0,00694	0,78	0,112
	2	0,094	0,00694	0,84	0,121
Nr 2	1	0,094	0,00694	0,80	0,115
	2	0,094	0,00694	0,81	0,117

Tabela 4. Wytrzymałość wylewki na zginanie
Table 4. Flexural strength test results of the screed samples

Próbka		Wysokość w środku [mm]	Szerokość [mm]	Rozstaw wsporników [mm]	Siła [N]	Wytrzymałość na zginanie [N/mm ²]
Uszkodzona podłoga	1	26	40	100	1507	8,36
	2	40	40	100	3300	7,73
	3	21	40	110	641	6,00
	4	25	40	110	1220	8,05
Nr 1	1	17	40	110	598	8,54
	2	17	40	110	497	7,09
	3	15	40	110	429	7,87
	4	15	40	110	409	7,50
Nr 2	1	16	40	110	532	8,57
	2	15	40	110	478	8,76
	3	18	40	110	595	7,58
	4	19	40	110	696	7,95
Nr 3	1	20	40	110	692	7,14
	2	19	40	110	632	7,22
	3	18	40	110	590	7,51
	4	19	40	110	617	7,05

z deklaracją właściwości użytkowych przygotowaną przez producenta. Podobnie zachowywały się materiały pobrane z uszkodzonej posadzki. Tylko jedna próbka cechowała się bardzo małą wytrzymałością na rozciąganie, a inna mniejszą od wymaganej wytrzymałością na zginanie.

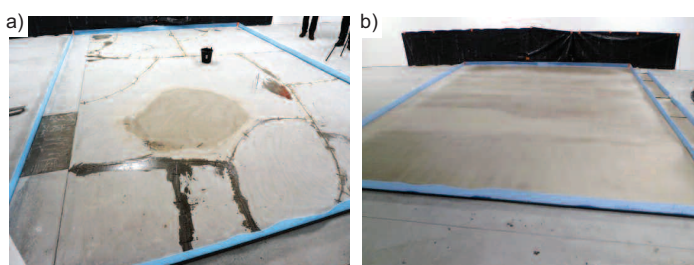
Badania płaskości posadzki. Oprócz badań za pomocą poziomicy i łaty o długości 2,0 m wykonano dodatkowo dokładny pomiar płaskości powierzchni, używając skanera laserowego. Punkty pomiarowe rozmieszczono na siatce o boku 50 cm. Ze względu na zabudowanie ściankami działowymi posadzkę podzielono na 5 obszarów. W obszarze 1 różnica między najniższym i najwyższym punktem wynosiła 19,86 mm, a w kolejnych obszarach odpowiednio 11,43; 10,78; 20,66 i 11,61 mm.

Przyczyny uszkodzeń

Rysy i spękania posadzek mogą pojawiać się w związku z nadmiernym wyężeniem konstrukcji i z powodu niewłaściwego połączenia materiałów, a w przypadku omawianej posadzki są niewątpliwie spowodowane błędami wykonawczymi. Do najważniejszych z nich należą: różna grubość wylewki samopoziomującej; zbyt późno oraz krzywo i niedokładnie wykonane nacięcia przeciwskurczowe; wykonywanie robót i dojrzewanie poszczególnych warstw posadzki w temperaturze wyższej niż przewidują wytyczne producentów materiałów użytych na te warstwy; znaczne różnice w poziomie górnej warstwy wylewki samopoziomującej; układanie wylewki warstwami oraz niedokładne wymieszanie składników wylewki. Tak duża liczba błędów wykonawczych musiała skutkować powstaniem uszkodzeń w postaci spękań, rozwarstwień, zwiększonych nachyleń oraz niejednorodnej powierzchni posadzki. Należy pamiętać, że każde wprowadzenie dodatkowych więzów w swobodnie odkształcający się układ musi wygenerować powstanie sił wewnętrznych. W przedmiotowej posadzce więzami tymi były nierówności powierzchni na styku warstw styrobetonu i wylewki oraz zmienna struktura obu materiałów.

Naprawa

Podjęto próbę naprawy uszkodzonej posadzki w polu o wymiarach 4,7 x 6,0 m przez zszycie rys cienkim miedzianym drutem nierdzewnym, prostopadle do ich przebiegu. Wcześniej wypełniono puste przestrzenie zaprawą na bazie cementu. Zbrojenie zszywające umieszczono w nacięciach co 20 ÷ 25 cm. Miejsca zszycia oraz spękania wypełniono żywicą iniekcijną (fotografia 3). Metoda ta pozwoliła na szczelne połączenie fragmentów posadzki wydzielonych przez spękania oraz otrzymanie gładkiej powierzchni pod planowaną wylewkę wierzchnią stanowiącą podkład pod wykładzinę. Metoda ta sprawdziła się, dlatego też zastosowano ją następnie do naprawy całej posadzki.



Fot. 3. Sposób naprawy: a) po zszyciu i iniekcji rys; b) po wykonaniu nadlewki

Photo 3. Repair method: a) after stitching and injection of the cracks; b) finished top layer

* * *

W artykule opisano uszkodzenia posadzki samopoziomującej wykonanej na warstwie styrobetonu. W celu określenia przyczyn uszkodzeń wykonano liczne badania polowe i laboratoryjne. Ustalono, że przyczyną uszkodzeń były błędy wykonawcze.

Literatura

- [1] Bolden J., T. Abu-Lebdeh, E. Fini. 2013. „Utilization of recycled and waste materials in various construction applications”. *American Journal of Environmental Science* 9 (1): 14 – 24. DOI: 10.3844/ajessp.2013.14.24.
- [2] Cadere C. A., M. Barbuta, B. Rosca, A. A. Serbanoiu, A. Burlacu, I. Oancea. 2018. „Engineering properties of concrete with polystyrene granules”. *Procedia Manufacturing* 22, 288 – 293.
- [3] Drobiec Łukasz, Paweł Piotrkowski. 2019. *Causes of damage and methods of repairing floor made on polystyrene concrete*. ICSF 2019. MATEC Web of Conferences 284, 045001. DOI: doi.org/10.1051/mateconf/201928404001.
- [4] Drobiec Łukasz, Radosław Jasiński, Artur Piekarczyk. 2010. *Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Metodologia, badania polowe, badania laboratoryjne betonu i stali*. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [5] Demirboga R., K. Abdulkadir. 2012. „Thermal conductivity and shrinkage properties of modified waste polystyrene aggregate concretes”. *Construction and Building Materials*, Volume 35: 730 – 734. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.105.
- [6] Tang W. C., H. Z. Cui, M. Wu. 2014. „Creep and creep recovery properties of polystyrene aggregate concrete”. *Construction and Building Materials* 51, 338 – 343.
- [7] Wesołowska Maria, P. Szczepaniak, Jarosław Gajewski. 2018. „NZEBS built of elements based on styrofoam re-granulate”. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 415: 012004. DOI: 10.1088/1757-899X/415/1/012004.

Przyjęto do druku: 11.09.2019 r.