

dr hab. inż. Wiesława Głodkowska, prof. PK¹⁾
mgr inż. Joanna Laskowska-Bury^{1),*}

Fibrokompozyt na bazie piasków odpadowych jako materiał do wytwarzania posadzek przemysłowych

Fiber composite based waste sand as a material for the production of industrial floors

DOI: 10.15199/33.2015.02.09

Streszczenie. W artykule zaproponowano wykorzystanie zalegających na terenie Pomorza piasków, powstających jako odpad produkcyjny w procesie hydroklasyfikacji kruszyw. Jednym ze sposobów ich zagospodarowania jest użycie tego kruszywa do wytwarzania konstrukcyjnych kompozytów ze zbrojeniem rozproszonym. Przeprowadzone badania kompozytu o różnej zawartości włókien stalowych pozwoliły autorom dobrać taką ilość włókien, przy której fibrokompozyt wykazuje najlepsze właściwości i spełnia wymagania stawiane materiałom konstrukcyjnym. Zaprezentowane wyniki badań właściwości mechaniczno-fizycznych opracowanego kompozytu drobnokruszywowego wskazują, że proponowany materiał może znaleźć zastosowanie przy wykonywaniu posadzek przemysłowych. Stwarza to możliwość wykorzystania zalegających hałd piasku odpadowego, a tym samym częściowo rozwiązuje problem kosztownej rekultywacji terenów wyrobisk kopalnianych. Zastosowanie kruszywa odpadowego na większą skalę pozwoliłoby tym samym na ograniczenie dalszej degradacji środowiska.
Słowa kluczowe: ekologia, piaski odpadowe, fibrokompozyt, posadzki przemysłowe.

Abstract. In the paper presented the proposition use of waste sand defaulting on in Polish region Pomerania. These sands are by-product obtained during the process called hydroclassification of all-in-aggregate for concrete production. One of examples how to use of aggregate could be its application for the production of steel fiber reinforced mineral composites. The study of the composite of different steel fiber content has allowed the authors to choose a number of fibers, which fiber composite exhibits the best properties and meets the requirements of construction materials. Presented the results of physical-mechanical properties of the composite developed indicate that the proposed material may be used for the manufacture of industrial floors. This makes it possible to use the waste littering the sand heaps and thus partially solves the problem of costly reclamation area. The use of waste aggregates on a larger scale would therefore limit the further degradation of the environment.

Keywords: ecology, waste sands, fiber composite, industrial floors.

Posadzka przemysłowa, zwana również nawierzchnią przemysłową, zbudowana jest z trzech warstw: podkładu (warstwa nośna posadzki); podbudowy (warstwa wyrównawcza pod podkład oraz ewentualne ocieplenie) i podłoża (rysunek 1). Najpowszechniej stosowanym kompozytem, z którego wykonuje się warstwę nośną posadzki, jest beton. Celem poprawy jego właściwości i sprostania wymaganiom, jakie stawiane są materiałom na posadzki [1 – 2], mieszanki betonowe są modyfikowane dodatkiem mikrokrzemionki oraz włókien. Włókna zdecydowanie poprawiają ciągliwość kompozytu, jego wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie, udarność, odporność na zmęczenie oraz ścieral-

Rys. 1. Podstawowe warstwy posadzki przemysłowej [2]: a) na gruncie bez izolacji termicznej; b) na gruncie z izolacją termiczną: 1 – warstwa nawierzchniowa (posadzka właściwa); 2 – podkład (warstwa nośna); 3 – warstwa poślizgowa; 4 – izolacja termiczna; 5 – izolacja przeciwilgociowa; 6 – warstwa wyrównawcza; 7 – podbudowa; 8 – grunt rodzimy

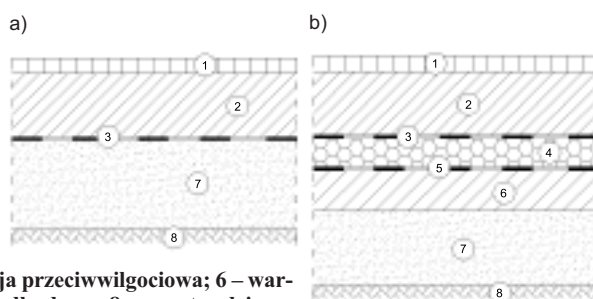


Fig. 1. Basic industrial floor layers [2]: a) floor on the ground without thermal insulation; b) floor on the ground with thermal insulation: 1 – topcoat (floor right); 2 – primer (carrier layer); 3 – layer slip; 4 – insulation; 5 – damp-proof; 6 – alignment layer; 7 – substructure; 8 – subsoil

ność, a także mrozoodporność [3 – 8]. Obecnie wiele inwestycji budowlanych to hale magazynowe, produkcyjne i usługowe, dlatego też kompozyty znajdują coraz szersze zastosowanie jako posadzki przemysłowe.

W artykule zaproponowano zastosowanie mineralnego drobnokruszywowego fibrokompozytu na bazie piasków odpadowych do wytwarzania podkładu posadzek przemysłowych. Zago-

spodarowanie piasków odpadowych ma duży aspekt ekologiczny. Przyjmuje się, że ok. 90% złóż kruszyw grubych znajduje się w regionie południowym Polski, 6% w środkowym i tylko 4% w regionie północnym. Powoduje to deficyt kruszyw gruboziarnistych w regionie północnej Polski. Zlokalizowanie większości złóż kruszyw grubych w południowej Polsce przy dużym zapotrzebowaniu na to kruszywo, a także wyso-

¹⁾ Politechnika Koszalińska, Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji, Katedra Konstrukcji Betonowych i Technologii Betonu
^{*)} Autor do korespondencji:
joanna.laskowska@wilsig.tu.koszalin.pl

kie koszty transportu z regionów południowych Polski, przyczyniły się do opracowania na Pomorzu technologii pozyskiwania kruszywa grubego przez jego wyplukiwanie ze złóż, którą nazywano hydroklasyfikacją. Ilość pozyskanego kruszywa grubego w wyniku hydroklasyfikacji stanowi wagowo do 30% w stosunku do kruszywa pozostawionego jako odpad zalegający na hałdach. Powstałe więc w wyniku hydroklasyfikacji tereny byłych wyrobisk powinny być poddane kosztownej rekultywacji. Alternatywą może być wykorzystanie zalegających w nich odpadów jako pełnowartościowego surowca budowlanego. Zagospodarowanie piasków drobnych na większą niż dotychczas skalę pozwoli na znaczne zmniejszenie hałd powstałych w procesie hydroklasyfikacji złóż kruszyw w regionie Pomorza oraz może przyczynić się do bardziej zrównoważonego wykorzystania surowców regionalnych.

Materiały użyte do badań

Do wykonania próbnich elementów użyto piasku po procesie hydroklasyfikacji z Kopalni Surowców Mineralnych w Podwilczu, gmina Białogard (1570 kg/m^3), cementu portlandzkiego CEM II/A-V 42,5R (420 kg/m^3), pyłu krzemionkowego (21 kg/m^3), superplastyfikatora Betocrete 406 ($16,8 \text{ kg/m}^3$) oraz wody z wodociągu miejskiego (160 kg/m^3). Zbrojenie rozproszone stanowiły włókna stalowe EKOMET o kształcie haczykowatym i smukłości $\lambda = l/d = 62,5$ ($l = 50 \text{ mm}$, $d = 0,8 \text{ mm}$).

Matrycę kompozytu zaprojektowano metodą analityczno-doświadczalną. Zmodyfikowanie jej składu, przez zastosowanie dodatku pyłów krzemionkowych oraz domieszki uplastyczniająco-upłynniającej, pozwoliło na uzyskanie stosunku $w/c = 0,38$. Jako zmienną składową kompozytu przyjęto zawartość włókien stalowych, które dozowano co 0,5% w stosunku do objętości kompozytu, do 2,5%. Włókna w mieszance kompozytu rozmieszczone były w sposób przypadkowy. Wyniki badań omówiono w pracy [9, 10], a ich analiza pozwoliła ustalić, że pod względem najkorzystniejszych właściwości oraz ekonomicznym maksymalna zawartość włókien stalowych w drobnokruszywowym kompozycie na bazie piasków odpadowych wynosi 1,2%. Przy tej ilości wytrzymałość na

ściskanie kompozytu zwiększa się ok. 37% w stosunku do kompozytu bez włókien. Dozowanie większej ilości włókien nie powoduje już znacznego wzrostu wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie. Ponadto zwiększenie zawartości włókien do 2% bardzo niekorzystnie wpływa na konsystencję i urabialność mieszanki. Jako optymalną ilość włókien stalowych przyjęto zatem wartość 1,2% i wykonano elementy próbne w celu oceny przydatności materiału na podkład posadzek przemysłowych.

Metody badań

Badania wytrzymałości na ściskanie, rozciąganie przy rozłupywaniu oraz gęstości wykonano na próbkach sześciennych o boku 150 mm. Wytrzymałość na ściskanie (f_c) określono wg PN-EN 12390-3, natomiast na rozciąganie przy rozłupywaniu (f_{ct}) wg metody przedstawionej w PN-EN 12390-6. Gęstość pozorną (ρ) oznaczono zgodnie z PN-EN 12390-7, statyczny moduł sprężystości (E_c) wg PN-EN 12390-13 na próbkach cylindrycznych o średnicy 150 mm i wysokości 300 mm, a odporność na ścieranie kompozytu (A) wg PN-EN 13892-3 na próbkach sześciennych o boku 71 mm. Badanie konsystencji mieszanki przeprowadzono metodą Ve-Be zgodnie z wytycznymi PN-EN 12350-3, natomiast przebieg skurczu (ε_{cs}) kompozytu w czasie oznaczono wg instrukcji ITB 194, na belkach o wymiarach $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}$.

Badanie wytrzymałości resztkowych (f_{Rt}) fibrokompozytu (odporność na pękanie przy zginaniu) wykonano wg PN-EN 14651 (fotografia). Belki swobodnie podparte obciążano siłą przyłożoną w połowie jej rozpiętości. Dokonywano pomiaru siły, ugięcia oraz szerokości rozwarcia rysy. Do rejestracji szerokości rozwarcia rysy i ugięcia użyto systemu akwizycji danych SAD-256, wykorzystując indukcyjne czujniki przemienne: dwa ze sztywnymi i dwa z przegubowymi końcówkami oraz czujnika do pomiaru ugięcia. Dokładność czujników wynosiła $\pm 1 \times 10^{-4} \text{ mm}$. Badanie wytrzymałości resztkowych polegało na ciągłym, statycznym obciążaniu belek. Przyrost obciążenia ustalano w zależności od szerokości rozwarcia rysy CMOD wg normy PN-EN 14651. W przypadku belek fibrokompozytowych koniec badania



Sposób podparcia, przyłożenia obciążenia i rozmieszczenie czujników pomiarowych w elementach próbnym

The method of support, the load application and arrangement of the sensors in test elements

następował w chwili osiągnięcia ugięcia 5 mm. Należy zaznaczyć, że graniczna wartość ugięcia belek została ustalona zgodnie z PN-EN 14651, tak aby można było osiągnąć wszystkie wartości CMOD, a następnie określić wytrzymałości resztkowe. Ważnym parametrem pozwalającym sklasyfikować dany fibrokompozyt jest kształt wykresu: „siła – CMOD” od momentu osiągnięcia cechy sprężystej do granicznego ugięcia. Definiowane są dwa kształty wykresu: pierwszy charakteryzuje się spadkiem siły niszczącej wraz ze wzrostem wartości CMOD po pojawieniu się pierwszej rysy (ang. *post crack softening – pcs*), drugi wzrostem siły wraz ze wzrostem CMOD (ang. *post crack hardening – pch*). Połówki belek po badaniu wytrzymałości resztkowej wykorzystano do określenia wytrzymałości na ścinanie (τ) wg normy JCI Standards for Test Methods of Fiber Reinforced Concrete. Badanie mrozoodporności fibrokompozytu przeprowadzono zgodnie z PN-88/06250. Metoda ta umożliwia określenie jednocześnie wewnętrznego zniszczenia materiału, charakteryzowanego przez wytrzymałość na ściskanie, jak i zewnętrznego, określonego wizualnie oraz ubytkiem masy. Badaniom cech fizyko mechanicznych fibrokompozytu towarzyszyły badania kruszywa oraz cementu. Badanie gęstości nasypowej oraz jamistości kruszywa przeprowadzono zgodnie z PN-EN 1097-3, a skład ziarnowy określono wg PN-EN 933-1. Badania cementu wykonano po 2, 14 i 28 dniach dojrzewania, wykorzystując próbki o normowych wymiarach $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$, zgodnie z PN-EN 196-1.

Badanie wytrzymałości na ściskanie i wytrzymałości resztkowych przeprowadzono na 30 próbkach, skurcz na 18, a pozostałe właściwości na 20 próbkach. Elementy próbne przewi-

dziane do badań doraźnych rozformowywano po 2 dniach i do czasu badania, przez okres 28 dni, przechowywano w temperaturze 20 ± 2 °C i wilgotności względnej powietrza 100%. Elementy próbne wykonano zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 12390-2.

Analiza wyników badań

W opracowaniu wyników badań wykorzystano rozkład t-Studenta i test zgodności Dixona. Stwierdzono, że użyte piaski odpadowe spełniają wymagania stawiane kruszywom mineralnym do betonu zwykłego (tabela 1).

Tabela 1. Podstawowe właściwości kruszywa odpadowego użytego w badaniach

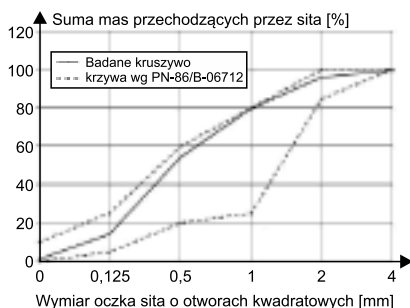
Table 1. Basic properties of aggregates used in tests

Właściwość	Wartości eksperymentalne	Wartości zalecane
Gęstość nasypowa w stanie luźnym [kg/m ³]	1634	
Gęstość nasypowa w stanie zagęszczonym [kg/m ³]	1802	≤ 1850
Gęstość ziarn [kg/m ³]	2632	1800+3000
Zawartość pyłów mineralnych [%]	1,3	≤ 3
Jamistość w stanie luźnym [%]	38	
Jamistość w stanie zagęszczonym [%]	32	20+28
Ziarno mediana [mm]	0,46	0,4+0,7
Wskaźnik uziarnienia wg Kuczyńskiego [-]	5,55	
Zawartość ciał obcych [%]	brak	0,5

Krzywa uziarnienia kruszywa zawiera się w przedziale krzywych dla piasku uszlachetnionego wg PN-86/B-06712 (rysunek 2). Zbliżenie krzywej do górnej granicy przedziału świadczy o wysokim punkcie piaskowym kruszywa.

Użyty cement portlandzki popiołowy CEM II/A-V 42,5R o wysokiej wczesnej wytrzymałości spełnia wymagania PN-EN 197-1. Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie cementu charakteryzowały się małym wskaźnikiem zmienności, co świadczy o dobrej jakości użytego materiału.

Wartości wskaźników zmienności badanych właściwości mechaniczno-fizycznych, zawierające się w przedziale 1 – 10% (tabela 2) wskazują na bardzo dobrą jakość zaprojektowanego drobnokruszywowego fibrokompozytu na bazie piasków odpadowych.



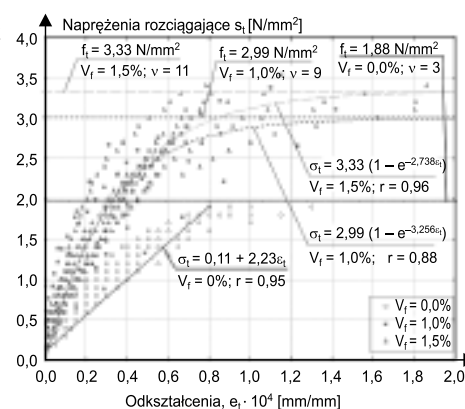
Rys. 2. Krzywa uziarnienia kruszywa odpadowego użytego w badaniach

Fig. 2. The waste aggregate grading curve used in the study

Przeprowadzone badania wykazały wzrost wytrzymałości na ściskanie drobnokruszywowego kompozytu o zawartości włókien 1,2% o ok. 45% oraz wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu o 120% w stosunku do kompozytu bez włókien [9]. Dodatek zbrojenia rozproszonego sprawia, że kompozyt nie ulega nagłemu zniszczeniu, jak ma to miejsce w przypadku betonu zwykłego. Stwierdzono ponadto, że dodatek włókien stalowych nieznacznie wpływa, co potwierdza literatura [11], na przyrost statycznego modułu sprężystości. Analiza odporności na działanie mrozu pozwoliła określić stopień mrozoodporności fibrokompozytu jako F50. Po 50 cyklach zamrażania próbki nie wykazywały pęknięć i uszkodzeń zewnętrznych, a średni ubytek masy próbek wyniósł 0,22%. Nie nastąpił również spadek wytrzymałości na ściskanie próbek poddanych zamrażaniu

w porównaniu z niezamrażanymi. Badania dowodzą, że przy zawartości włókien 1,2% fibrokompzyt wykazuje również większą odporność na ścieranie w porównaniu z betonem zwykłym. Użycie kruszywa średnicy do 2 mm wymagało jednak zastosowania dużej ilości cementu, co zwiększyło kruchość matrycy i skurcz (tabela 2).

W przypadku drobnokruszywowego kompozytu o zawartości włókien 0%, 1,0% i 1,5% wyznaczono również związki konstytutywne naprężenie-odkształcenie (σ - ϵ) w warunkach osiowego rozciągania. Zależność naprężenie-odkształcenie przedstawiona na rysunku 3 [8] wykazuje, że przy nie-



Rys. 3. Zależność naprężenie-odkształcenie przy osiowym rozciąganiu kompozytu drobnokruszywowego o różnej zawartości włókien [8]

Fig. 3. The stress-strain dependence of the axial stretching of the composite of different fibers [8]

Tabela 2. Właściwości drobnokruszywowego kompozytu o zawartości włókien stalowych 1,2%

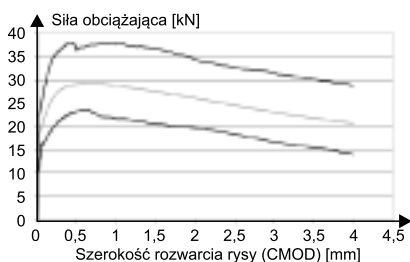
Table 2. Properties of fine aggregate composite with a 1,2% content of the steel fibers

Parametry analizy statystycznej	Badana cecha								
	ρ [g/cm ³]	f_c [MPa]	$f_{c,sub}$ [MPa]	f_{ct} [MPa]	E_c [GPa]	$f_{c,50cykl}$ [MPa]	τ [MPa]	A [cm ³ /50 cm ²]	ϵ_{cs}^{300dni} [%o]
Wartość średnia	2,4 (2,0+2,6)	62,9 (12+50)	67,5 (15+60)	7,3 (1,6+4,1)	36,7 (27+37)	65,9	12,9	9,0 (≤ 12,2)	0,79 (0,54)*
Wartość minimalna	2,29	56,2	63,7	5,9	32,7	56,1	10,9	7,1	0,63
Odchylenie standardowe	0,03	4,1	2,3	0,6	2,8	4,5	1,1	0,6	0,08
Wskaźnik zmienności [%]	1	6	3	8	8	7	8	7	10
Współczynnik jednorodności [-]	0,97	0,89	0,95	0,81	0,90	0,85	0,85	0,84	0,8
Przedział ufności	2,34+ 2,37	65,9+ 8,0	66,6+ 68,3	7,0+7,6	35,3+ 38,1	63,9+ 67,8	12,3+ 13,5	8,7+9,3	0,74+ 0,82
Konsystencja wg Ve-Be: 11+14 s									

W nawiasach podano właściwości betonu zwykłego wg: PN-EN 1992-1-1:2008 oraz PN-83/B06256
*- końcowa wartość skurczu dla betonu klasy C35/45

wielkim naprężeniu nie występuje różnica w przyroście odkształceń pomiędzy kompozytem zawierającym 1% i 1,5% włókien stalowych. Po przekroczeniu naprężeń granicznych wytrzymałości na rozciąganie matrycy, siły rozciągające przenoszone zostają stopniowo na włókna stalowe. Nachylenie krzywej naprężenie-odkształcenie jest tym bardziej „stromie”, im większa jest zawartość włókien. Włókna, przenosząc część naprężeń matrycy, zmniejszają wartości odkształceń liniowych kompozytu wywołanych siłami rozciągającymi. Fibrokompozyt z większą zawartością włókien wykazuje mniejsze odkształcenia liniowe dla tych samych naprężeń.

Zależność szerokości rozwarcia rysy od siły obciążającej belki przedstawiono na rysunku 4. W celu łatwiejszej interpretacji wyników badań pokazane zostały obwiednie wykresów (linie czarne) oraz średnia zależność siły od CMOD (linia szara). Kształt wykresu pokazany na rysunku 4 wskazuje, że belki o zawartości włókien 1,2% wykazują cechę *pcs*, tj. powolny spadek siły niszczącej wraz ze wzrostem wartości CMOD po pojawieniu się rysy. Zniszczenie elementów próbnych następuje na skutek wyciągnięcia włókien z matrycy betonowej, a nie ich zerwania. Pierwsze rysy nie powodują zniszczenia elementu.



Rys. 4. Zależność siły obciążającej od szerokości rozwarcia rysy

Fig. 4. The dependence of the loading force to width crack opening

Wyznaczone wartości granicy proporcjonalności oraz wytrzymałości resztkowych badanych belek przedstawiono w tabeli 3. Duża liczba próbek (30 szt.), na których określono wytrzymałości resztkowe, pozwoliła na wyznaczenie wartości charakterystycznych. Wielkości $f_{R,1}$, $f_{R,2}$, $f_{R,3}$ i $f_{R,4}$ zamieszczone w tabeli 3 oznaczają wartości naprężeń rozciągających w przekroju elementu dla danej szerokości

Tabela 3. Wartości charakterystyczne granicy proporcjonalności ($f_{ct,L}^f$) oraz wytrzymałości resztkowych ($f_{R,i}$) dla drobnokruszywowego kompozytu na bazie piasków odpadowych o zawartości włókien 1,2%

Table 3. The characteristic values of the proportional limit ($f_{ct,L}^f$) and residual strength ($f_{R,i}$) for sand-based composite waste fiber content of 1,2%

Cecha badana	Wartość [MPa]	Odchylenie standardowe s [MPa]	Współczynnik zmienności ν [%]	Klasyfikacja materiału wg fib Model Code [14]
$f_{ct,L,k}^f$	5,24	0,67	11	8b
$f_{R,1,k}$	7,30	1,20	13	
$f_{R,2,k}$	6,68	1,29	15	
$f_{R,3,k}$	5,82	1,25	15	
$f_{R,4,k}$	5,07	1,16	17	

rozwarcia rysy CMOD równej odpowiednio: 0,5, 1,5, 2,5, 3,5 mm.

Klasyfikacja 8b wg fib Model Code [12] definiuje badany materiał jako kompozyt o bardzo wysokiej wartości f_{R1} (zakres od 1 do 8). Litera „b” oznacza, że badany fibrokompozyt wykonany na bazie piasków odpadowych charakteryzuje się cechą *pcs*, którą wyznaczono z zależności f_{R3}/f_{R1} (wg [12] „a” i „b” – *cecha pcs*, „d” i „e” – *cecha psh*). Wartości wytrzymałości podane w tabeli 3 mogą posłużyć do projektowania elementów konstrukcyjnych, w tym posadzek przemysłowych, wykonanych z fibrokompozytu na bazie piasków odpadowych.

Podsumowanie

Wzorując się na przepisach dotyczących klasyfikacji posadzek przemysłowych [2, 13] stwierdzono, że drobnokruszywowy kompozyt o zawartości włókien stalowych 1,2%, wykonany na bazie piasków odpadowych, może być stosowany jako podkład posadzek przemysłowych przy obciążeniach skupionych 80 – 100 kN i obciążeniach ruchomych do 10 kN. W tym przypadku zalecana jest wytrzymałość na ściskanie betonu $\geq 55 \text{ kN/mm}^2$, wytrzymałość na rozciąganie min. 6 kN/mm^2 , ścieralność $\geq 7 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$, przy maksymalnej wartości $w/c = 0,38$. Grubość płyty podkładu powinna wynosić 26 cm. Ścieralność drobnokruszywowego fibrokompozytu na bazie piasków odpadowych przekracza wartość zalecaną, gdyż wynosi $9 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$, dlatego też

w przypadku tego typu podkładów należałoby zastosować utwardzenie powierzchniowe, np. preparatem proszkowym lub ciekłym. Ponadto posadzka taka jest odporna na ścieranie i mrozo-odporna. Potencjalne kierunki zastosowania to: nawierzchnie magazynowe w pomieszczeniach produkcyjnych (na zewnątrz i wewnątrz obiektu), rampy wyładownicze oraz niektóre posadzki w supermarketach.

Fot. – archiwum Autorów

Literatura

[1] Karwacki J.: Posadzki przemysłowe, zasady ich projektowania oraz unikania najczęściej występujących usterek. Podłoga nr 9/2002, s. 38-41.

[2] Tejchman J., Małasiewicz A.: Posadzki przemysłowe. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006, s. 183.

[3] Ding Y., Kusterle W., „Compressive stress-strain relationship of steel fibre-reinforced concrete at early age”, Cement and Concrete Research 30 (2000), 1573-1579.

[4] Yazıcı S., Inan G., Tabak V., „Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC”, Construction and Building Materials 21 (2007), 1250 – 1253.

[5] Zhi-Liang Wang et al., „Stress – strain relationship of steel fiber-reinforced concrete under dynamic compression”, Construction and Building Materials 22 (2008), 811 – 819.

[6] Brandt A., „Fibre reinforced cement-based composites (FRC) after 40 years of development in building and civil engineering”, Composite Structures, Vol. 86, Issue 1-3, November 2008, pp. 3 – 9.

[7] Glinicki M. A., „Badania właściwości fibrobetonu z makrowłóknami syntetycznymi, przeznaczonego na podłogi przemysłowe”, Cement-Wapno-Beton, 4 (2008).

[8] Kobaka J.: Model kompozytu mineralnego z włóknami rozproszonymi (rozprawa doktorska, promotor: Głodkowska W.), Koszalin 2014, s. 157.

[9] Głodkowska W., Kobaka J., „Modelling of properties and distribution of steel fibres within a fine aggregate concrete”, Construction and Building Materials, 44 (2013), 645–653.

[10] Głodkowska W., Laskowska-Bury J., Kobaka J., „Wpływ włókien stalowych na kształtowanie właściwości kompozytu drobnokruszywowego”, Materiały Budowlane, 9/2013, s. 28 – 30.

[11] Zych T.: Współczesny fibrobeton – możliwość kształtowania elementów konstrukcyjnych i form architektonicznych, Czasopismo Techniczne, 8-A/2010, z. 18, Kraków, 2010, s. 371-386.

[12] Model Code 2010. First complete draft. Bulletin 55. International Federation for Structural Concrete (fib). Lausanne, Switzerland.

[13] Lohmeyer G.: Betonböden im Industriebau. Schriftenreihe der Bauberatung Zement. Düsseldorf: Verlag Bau-Technik GmbH 1999.