

dr inż. Jacek Katzer*

Odpadowy miął ceramiczny jako zamiennik kruszywa drobnego w fibrokompozytach cementowych

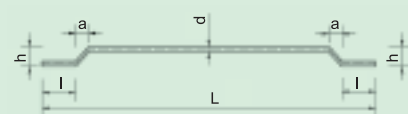
Waste ceramic fume as a replacement of a fine aggregate in a fibre reinforced cement composites

Światowa produkcja betonu oraz innych kompozytów cementowych na każdego mieszkańca naszego globu [12] osiągnęła w ostatnich latach wielkość 1 m³, co wiąże się z przemysłową konsumpcją 1500 ÷ 1700 kg kruszywa rocznie. Taka skala pozyskiwania tradycyjnych kruszyw ma znamiona gospodarki rabunkowej i jest całkowicie niezrównoważona w sferze ochrony środowiska [13]. Na świecie coraz częściej dostrzega się ten problem i prowadzi badania oraz próby na skalę przemysłową stosowania różnego rodzaju materiałów zastępczych i odpadowych jako kruszyw do betonów i zapraw. Odpadem najczęściej stosowanym do produkcji różnych typów betonów i kompozytów cementowych [11] jest gruz betonowy. W Europie duże znaczenie ma również gruz ceramiczny, który coraz częściej postrzegany jest jako pełnowartościowe kruszywo do betonów zwykłych i specjalnych. Prace badawcze i próby przemysłowe związane zarówno z gruzem betonowym, jak i gruzem ceramicznym skupione są na zastępowaniu w mieszance betonowej kruszyw grubych. Pomijam problemem w tych pracach są kruszywa drobne, które w przypadku wielu nowoczesnych kompozytów cementowych stanowią większość lub całość stosowanego kruszywa [5, 6]. Dobrym przykładem takich kompozytów są betony modyfikowane włóknami stalowymi. Z przedstawionych powodów podjęto program badawczy, w którym naturalny piasek polodowcowy zastępowano miałem ceramicznym przy wykonywaniu fibrokompozytów o różnej zawartości włókien stalowych.

Zastosowane materiały

Pierwszym etapem programu badawczego było dobranie odpowiednich materiałów do wykonania fibrokompozytów. Zde-

cydowano się na zastosowanie włókien stalowych zakończonych haczykami. Włókna takie są najczęściej stosowane do wykonywania fibrokompozytów [8], których cechy są szeroko opisane w literaturze [6, 9]. Pozwala to na porównanie i ocenę ich cech mechanicznych, w tym również analizę numeryczną [1, 2]. Umowny schemat geometrii włókien zakończonych haczykami przedstawiono na rysunku 1.



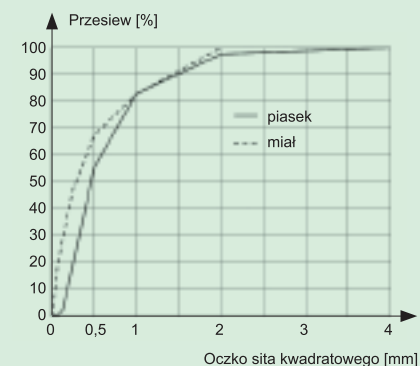
Rys. 1. Umowny schemat cech geometrycznych włókien (wg tabeli 1)

Do programu badawczego wybrano dwa typy włókien stalowych o odmiennej charakterystyce geometrycznej, którym nadano nazwy kodowe: Włókno A i Włókno B. Włókno A produkowane jest w sposób tradycyjny i sprzedawane luzem. Dozowanie włókien tego typu wymaga pewnej ostrożności i pieczołowitości, aby uniknąć ich zbijania się w większe konglomeraty oraz wzajemnego płątania się. Włókno B, to włókno klejone w pasma klejem rozpuszczalnym w wodzie. W trakcie mieszania składników kompozytu w betoniarce klej ulega rozpuszczeniu, a włókna są rozprowadzane w całej objętości mieszanki. Podstawowe cechy obu typów włókien zestawiono w tabeli 1. Szczegółową analizę cech geometrycznych i mechanicznych omawianych włókien przeprowadzono w publikacji [8].

Tradycyjne kruszywo drobne stanowił naturalny piasek polodowcowy, który został szczegółowo opisany w wielu publikacjach [6, 7]. Jako zamiennik kruszywa drobnego zastosowano czysty miął ceramiczny powstający przy mieleniu ściennych wyrobów ceramicznych na kruszywo grube, które zostały uszkodzone w trakcie produkcji lub odrzucone przy kontroli jakości w zakładzie produkcyjnym. Na rysunku 2 zestawiono krzywe przesiewu zastosowanego piasku

Tabela 1. Charakterystyka zastosowanych włókien stalowych (patrz rys. 1.)

Cecha	Włókno A	Włókno B
Długość L [mm]	50,0 ± 2,0	60,0 ± 3,0
Średnica d [mm]	0,8 ± 0,05	0,75 ± 0,05
Smukłość L/d	62,5	80,0
Wysokość odchylenia haczyka h [mm]	3,0 ± 1,0	≥ 1,5
Długość odchylenia haczyka a [mm]	2,0 ± 0,5	2,0 ÷ 3,5
Długość końcówki l [mm]	5,0 ± 2,0	2,0 ÷ 4,0
Wytrzymałość stali f [MPa]	800 ÷ 1250	1225



Rys. 2. Krzywe przesiewu zastosowanego piasku i miału ceramicznego

polodowcowego oraz miału ceramicznego. Jako spoiwo zastosowano cement portlandzki pozaklasowy wykonany na bazie CEM I 42,5R oraz popiołu lotnego. Cechy cementu zostały sprawdzone na beleczkach wykonanych z zaprawy normowej zgodnie z PN-EN 196-1:2006. Cement charakteryzował się średnią wytrzymałością na ściskanie: 13,2 MPa po 7 dniach dojrzewania i 25,0 MPa po 28 dniach dojrzewania. Woda zarobowa była zgodna z PN-EN 1008:2004.

Program i wyniki badań

Jako punkt wyjścia projektowania matrycy cementowej przyjęto skład zaprawy normowej. Na podstawie doświadczeń zdobytych podczas wcześniejszych badań betonu na bazie odpadowego kruszywa cera-

* Politechnika Koszalińska, Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji, Zakład Budownictwa i Materiałów Budowlanych

micznego zastosowano miał ceramiczny wstępnie nasycony wodą do stałej masy. Zabieg ten zapewniał stałe i przewidywalne cechy reologiczne świeżej mieszanki, co miało kluczowe znaczenie dla poprawnego wykonania betonowań [3, 14, 15] i późniejszej trwałości stwardniałych kompozytów cementowych [4]. Wstępne nasycenie miału ceramicznego wodą pozwoliło również na wykorzystanie efektu wewnętrznego dojrzewania (internal curing) kompozytu. Podczas badań wstępnych zastępowano część piasku miałem ceramicznym (od 0% do 100% co 10%) i badano zarówno konsystencję takich kompozytów cementowych, jak i ich cechy mechaniczne po 28 dniach dojrzewania. Największą wytrzymałością na ściskanie i rozciąganie przy zginaniu charakteryzował się kompozyt o składzie objętościowym kruszywa: 80% piasek naturalny + 20% miał ceramiczny. Kompozyt ten został przyjęty jako matryca do wszystkich badanych fibrokompozytów. Skład omawianej matrycy podano w tabeli 2.

Program badań obejmował określenie:

- wytrzymałości na ściskanie (f_{cube}) na próbkach sześciennych o wymiarach 150·150·150 mm zgodnie z normą PN-EN 12390-3:2001;
- wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu (f_{ctm}) na próbkach sześciennych 150·150·150 mm zgodnie z PN-EN 12390-6:2001;
- wytrzymałości na ścinanie (τ_m) na próbkach równoległościennych o wymiarach 150·150·275 mm zgodnie z JCI-SF6 *Method of test for shear strength of fibre reinforced concrete*;
- modułu sprężystości (E) na próbkach walcowych o wymiarach $\phi = 150$ mm, $h = 300$ mm;
- wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu (f_p) na próbkach równoległościennych o wymiarach 150·150·550 mm zgodnie z PN-EN 14651:2007 rozszerzone o wykorzystanie dwóch zestawów czujników (mocowane przegubowo i mocowane sztywno) do pomiaru szerokości rozwarcia nacięcia, dwa czujniki mierzące wielkość siły na podporach oraz czujnik mierzący wartość ugięcia belki od spodu. Dane wszystkich siedmiu czujników zbierane były przez System Archiwizacji Danych SAD-256.

Wszystkie próbki przed badaniami zostały poddane nieniszczącej kontroli jako-

Tabela 2. Skład matrycy [g] zastosowanej do wykonania fibrokompozytów (w ramach składniki dozowane)

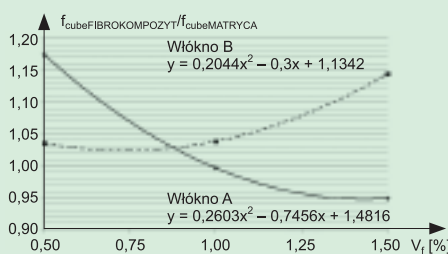
Cement	Woda podstawowa	Woda dodatkowa	Woda całkowita	Piasek suchy	Miał suchy	Miał wilgotny
450	225	36,6	291,6	1079,0	146,6	183,2

ści metodą ultradźwiękową (pomiar prędkości fali V_{upvt}) [9, 10]. Dla każdego zarobu wykonano 12 próbek sześciennych 150·150·150 mm, 3 próbki równoległościennie 150·150·275 mm, 3 próbki walcowe $\phi = 150$ mm, $h = 300$ mm oraz 3 próbki równoległościennie 150·150·550 mm. Włókna stalowe dozowano w ilościach: 0,5%, 1,0% oraz 1,5% objętościowo. Łącznie przebadano siedem kompozytów: matrycę; trzy fibrokompozyty modyfikowane Włóknem A i trzy fibrokompozyty modyfikowane Włóknem B. Podstawą analizy wszystkich otrzymanych wyników badań były cechy matrycy, które zestawiono w tabeli 3.

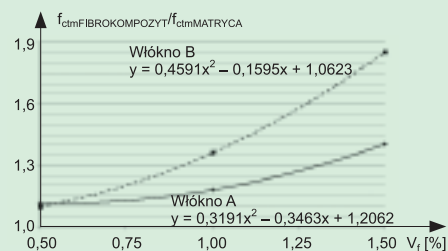
Tabela 3. Cechy mechaniczne matrycy cementowej

f_{cube}	f_{ctm}	t_m	f_f	E	V_{upvt}
[MPa]				[GPa]	[m/s]
27,2	2,57	3,65	2,42	18,3	3834,8

Wyniki badania wytrzymałości omawianych fibrokompozytów przedstawiono na rysunkach 3, 4 i 5 w proporcji do parametrów matrycy cementowej, na rysunku 6 wyniki badania modułu sprężystości, a na rysunku 7 wyniki wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu otrzymane metodą LOP. Wytrzymałość przedstawiona na rysunku 7 została wyznaczona dla obciążenia F_1 odpowiadającego granicy proporcjonalności LOP. Oprócz tego wyznaczono rezydualne wytrzymałości

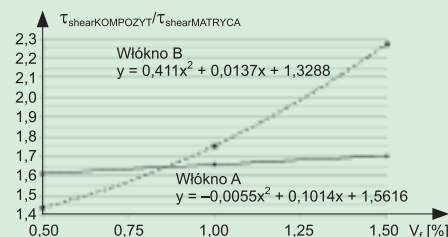


Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie kompozytów w zależności od zawartości włókien stalowych

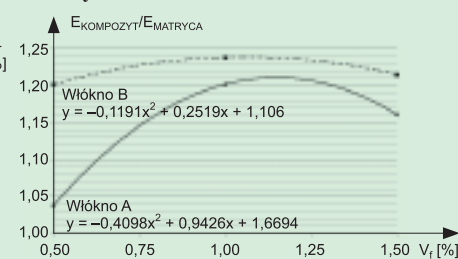


Rys. 4. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu kompozytów w zależności od zawartości włókien stalowych

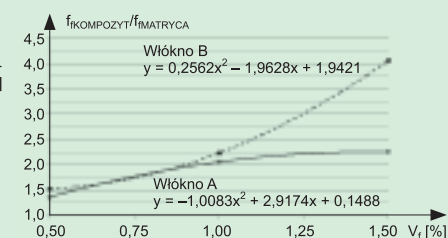
na rozciąganie przy zginaniu f_{R1} , f_{R2} , f_{R3} i f_{R4} dla obciążeń F_1 , F_2 , F_3 i F_4 , które kolejno odpowiadają rozwarciu rysy belki $CMOD_1 = 0,5$ mm, $CMOD_2 = 1,5$ mm, $CMOD_3 = 2,5$ oraz $CMOD_4 = 3,5$ mm. Żadna rezydualna wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu nie została wyznaczona dla matrycy cementowej z uwagi na fakt, że próbki ulegały zniszczeniu po osiągnięciu szerokości rozwarcia rysy $CMOD < 0,05$ mm. Z tego powodu nie było możliwe przedstawienie tych wyników w sposób analogiczny do pozostałych parametrów analizowanych w omawianym programie badawczym. Rezydualne wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu f_R wszystkich badanych fibrokompozytów zestawiono w tabeli 4. Ostatnim badanym parametrem była prędkość fali ultradźwiękowej V_{upvt} , której wartość przedstawiono na rysunku 8. Badanie ultradźwiękowe miało charakter kontroli jakości i jednorodności wykonywanych fibrokompozytów. Wykorzystanie prędkości fali ultradźwiękowej do kontroli jakości jest bardzo skuteczne, co szczegółowo opisano w publikacji [9]. Oprócz tego (przy jednoczesnej znajomości gęstości badanych kompozytów)



Rys. 5. Wytrzymałość na ścinanie kompozytów w zależności od zawartości włókien stalowych



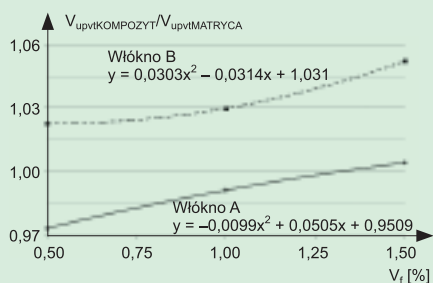
Rys. 6. Moduł sprężystości kompozytów w zależności od zawartości włókien stalowych



Rys. 7. Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu kompozytów w zależności od zawartości włókien stalowych

Tabela 4. Rezydualne wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu (LOP) badanych fibrokompozytów

V_f [%]	Rezydualne wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu fibrokompozytów [MPa]							
	f_{R1}		f_{R2}		f_{R3}		f_{R4}	
	Włókno A	Włókno B	Włókno A	Włókno B	Włókno A	Włókno B	Włókno A	Włókno B
0,5	2,62	2,54	2,96	3,09	3,16	3,36	3,25	3,55
1,0	4,03	4,16	4,64	4,85	4,77	5,22	4,99	5,68
1,5	5,4	8,10	5,79	9,37	5,79	9,47	6,18	9,60



Rys. 8. Prędkość fali ultradźwiękowej

możliwe jest wyznaczenie dynamicznego modułu sprężystości oraz określenie zależności $V_{upvt} - f_{cube}$ pozwalającej na nieniszcząca ocenę wytrzymałości kompozytów.

Analiza wyników badań

Zastosowana matryca drobnoziarnista (80% piasek naturalny + 20% miął ceramiczny) charakteryzowała się wytrzymałością na ściskanie 27,2 MPa, a matryca bez dodatku miału ceramicznego (zaprawa normowa) wytrzymałością na ściskanie 25,0 MPa. Zjawisko to jest o tyle ciekawe, że miął ceramiczny, którym zastępowano piasek naturalny, charakteryzuje się o wiele mniejszą wytrzymałością na ściskanie (rzędu 12 MPa). Efekt zwiększenia wytrzymałości na ściskanie jest pochodną zjawiska dojrzewania wewnętrznego polegającego na rozciągnięciu w czasie uwalnianiu wody przez porowaty miął ceramiczny i powodującego pełne i bardzo efektywne związanie całego zastosowanego cementu. Wytrzymałość na ściskanie jest główną cechą, na podstawie której ocenia się i klasyfikuje betony zwykłe. Dodatek włókien stalowych ma na tę cechę stosunkowo niewielki wpływ i w zależności od rodzaju dozowanych włókien oraz charakterystyki samej matrycy nie zawsze wpływa na podwyższenie tej wytrzymałości. W przypadku badanych fibrokompozytów mamy właśnie do czynienia z takimi dwoma sytuacjami. Niewielki dodatek Włókna A (0,5%) wpływa na wyraźne podwyższenie wytrzymałości fibrokompozytu w stosunku do matrycy (o 17%), aby przy dalszym dozowaniu spadać do wartości o 5% mniejszej od wytrzymałości matrycy. Najmniejszy (0,5%) dodatek Włókna B pozwala na niewielkie (o 3%) zwiększenie wytrzymałości fibro-

kompozytu w stosunku do matrycy, ale przy zwiększaniu dodatku zwiększa się również wytrzymałość, aż do osiągnięcia wartości o ponad 14% większej niż wytrzymałość matrycy. Wyniki wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu, wytrzymałości na ścinanie i wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu pozwalają uchwycić główne zalety fibrokompozytów. Oba rodzaje włókien wpływają na zwiększenie wymienionych wytrzymałości i wzrost ten utrzymuje się w miarę dozowania coraz większej ilości włókien. We wszystkich trzech przypadkach dodatek Włókna B pozwala na osiągnięcie znacznie większej wytrzymałości niż dodatek Włókna A dla maksymalnego ($V_f = 1,5\%$) badanego dodatku włókien. Natomiast w przypadku minimalnego dodatku włókien ($V_f = 0,5\%$) wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu oraz wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu obu fibrokompozytów są praktycznie identyczne, a w przypadku wytrzymałości na ścinanie Włókno A pozwala osiągnąć lepsze rezultaty niż Włókno B. Fibrokompozyty modyfikowane Włóknem B osiągają też większą wartość modułu sprężystości, z tym że największa różnica wartości modułu występuje w przypadku najmniejszego analizowanego dodatku włókien stalowych ($V_f = 0,5\%$).

Wnioski

Cechy mechaniczne fibrokompozytów na bazie kruszywa drobnego z dodatkiem odpadowego miału ceramicznego są zbliżone do cech mechanicznych fibrokompozytów na bazie naturalnych kruszyw drobnych. Wstępne nasycenie wodą miału ceramicznego jest warunkiem koniecznym do poprawnego wykonania mieszanki fibrokompozytowej oraz pozwala na wykorzystanie zjawiska dojrzewania wewnętrznego i uzyskanie wytrzymałości porównywalnych z fibrokompozytami na bazie kruszyw naturalnych pomimo dużej różnicy wytrzymałości obu kruszyw.

Dozowanie włókien stalowych w ilości do 1,5% objętościowo do matrycy z dodatkiem odpadowego miału ceramicznego zapewnia urabialność mieszanki w przypadku stosowania zwykłych metod mieszania,

dozowania i zagęszczania mieszanki. Dodatek Włókna B pozwala uzyskać lepsze cechy mechaniczne fibrokompozytu niż dodatek Włókna A w przypadku dozowania włókien $V_f \geq 0,75\%$, a przy $V_f < 0,75\%$ lepsze cechy mechaniczne fibrokompozytu uzyskuje się z zastosowaniem Włókna A.

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/01/B/ST8/06579.

Streszczenie

Program badawczy omówiony w artykule był skupiony na zastosowaniu odpadowego miału ceramicznego jako zamiennika naturalnego piasku. Ze względu na coraz większe trudności w pozyskiwaniu kruszyw naturalnych do produkcji betonu konieczne jest stosowanie materiałów zastępczych, takich jak gruz ceramiczny lub betonowy. W programie badawczym zastosowano z sukcesem odpadowy miął ceramiczny jako częściowy zamiennik naturalnego piasku polodowcowego w kompozytach cementowych modyfikowanych włóknami stalowymi. Do modyfikowania matrycy cementowej wykorzystano dwa rodzaje włókien stalowych zakończonych haczykami, które dozowano w ilości 0,5%, 1,0% i 1,5% objętościowo. Zbadano takie cechy mechaniczne jak: wytrzymałość na ściskanie; wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu; wytrzymałość na ścinanie; moduł sprężystości; wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu; cztery rezydualne wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu oraz prędkość fali ultradźwiękowej.

Słowa kluczowe: kruszywo odpadowe, fibrokompozyt, włókna stalowe, cement.

Abstract

The research programme presented in the paper focuses on harnessing waste ceramic fume as a replacement of natural sand. Due to growing lack of available natural aggregates for concrete production there is an urgent need for using substitute materials such as aggregate based on ceramic or concrete debris. In the research programme ceramic fume was successfully used as a partial replacement of natural postglacial sand in a cement composite modified by steel fibre. There were used two types of hooked fibre. The matrix was modified by three different volumes of fibre (0.5%, 1.0% and 1.5% by volume). Mechanical properties such as: compressive strength, tensile splitting strength, shear strength, modulus of elasticity, flexural strength, four residual tensile strengths and ultrasonic pulse velocity were tested.

Literatura

- [1] Cichocki K., Ruchwa M.: Robustness oriented analysis of structures under extreme loads, Proceedings of 19th International Conference on Computer Methods in Mechanics – CMM-2011, 9 – 12 May 2011, Warsaw, Poland, 155 – 156.
- [2] Cichocki K., Ruchwa M.: Propagation of damage in structures under blast load, Proceedings of 57th Annual Conference on Scientific Problems of Civil Engineering, Poland, 18-22 September 2011, Krynica-Rzeszów, Poland, 98 – 99.
- [3] Gołaszewski J., Kostrzanowska A.: Właściwości reologiczne a stopień samoodpowietrzenia mieszanki samozagęszczalnej betonu wysokowartościowego, *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, Vol. 2, no. 3, 2011, 275 – 279.
- [4] Januszewski M.: Long-term durability and microstructural comparison of three reinforced concrete military structures, Proceedings of Concrete in Aggressive Aqueous Environments – Performance – Testing and Modelling, International RILEM TC 211-PAE Final Conference, Toulouse, France, 3-5 June, 2009, 485 – 492.
- [5] Jasiczak J., Wdowska A., Rudnicki T.: Betony ultrawysokowartościowe własności technologiczne zastosowania, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków, Poland, 2008.
- [6] Katzer J.: Impact Resistance of Sustainable SFRCC Road Pavement, *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 2012, vol. 7, no. 3, 198 – 203.
- [7] Katzer J.: Median diameter as a grading characteristic for fine aggregate cement composite designing, *Construction and Building Materials*, Vol. 35, 2012, 884 – 887.
- [8] Katzer J., Domski J.: Quality and mechanical properties of engineered steel fibres used as reinforcement for concrete, *Construction and Building Materials*, Vol. 34, 2012, 243 – 248.
- [9] Katzer J., Kobaka J.: Combined Non-Destructive testing Approach to waste Fine Aggregate Cement Composites, *Science and Engineering of Composite Materials*, Vol. 16, No. 4, 2009, 277 – 284.
- [10] Kaszyński J.: Ultradźwiękowe badania betonu z uwzględnieniem strefy zbrojenia i zarysowania, *Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej* nr 575, Szczecin, Poland, 2003.
- [11] Łapko A., Grygo R.: Long Term Deformations of Recycled Aggregate Concrete (RAC) Beams Made of Recycled Concrete, *Modern Buildings Materials Structures and Techniques*, Proceedings of The 10th International Conference, 19-21 May 2010, Vilnius, Lithuania, 709 – 712.
- [12] Malhorta V. M., Mehta P. K.: High-Performance High-Volume Fly Ash Concrete, *Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc.*, Ottawa, Canada, 2005.
- [13] Piecuch I., Piecuch T.: Environmental Education and Its Social Effects, *Annual Set – The Environment Protection*, vol. 15, part 1, 2013, 192 – 212.
- [14] Ponikiewski T., Cygan G.: Właściwości mieszanki i betonów samozagęszczalnych modyfikowanych włóknami stalowymi, *Materiały Budowlane*, 10/2011, 46 – 48.
- [15] Ponikiewski T., Cygan G.: Wybrane właściwości samozagęszczających się fibrobetonów z włóknami stalowymi, *Cement – Wapno – Beton*, 4/2011.

dr inż. Monika Matuszkiewicz*

Analiza parametryczna wpływu osiadania fundamentu trzonu masztu na stan sił i przemieszczeń konstrukcji masztu

Parametric analysis of the influence of the mast shaft foundation settlement on the forces and displacements of the mast structure

Maszty z odciągami, jako konstrukcje wstępnie sprężone wskutek odpowiedniego napięcia odciągów, są bardzo wrażliwe na przemieszczenia podpór, które mogą istotnie wpływać na zmniejszenie sił napinających odciągi, a tym samym powodować niekorzystne zmiany stanu wstępnego sprężenia całej konstrukcji masztu. Szczególnie niekorzystna może być sytuacja, w której różne jest osiadanie centralnego fundamentu masztu i fundamentów odciągów. Może tak się zdarzyć, gdy projektowane są masywne, skrzyniowe fundamenty pod odciągi, których sam ciężar niweluje siły wyrwyjące od zakotwionych lin. W takich przypadkach, zgodnie z zaleceniami PN-EN 1993-3-1. Eurokod 3: *Projektowanie konstrukcji*

stalowych. Część 3-1: *Wieże, maszty i kominy. Wieże i maszty*, oddziaływania spowodowane osiadaniami fundamentów powinny być uwzględnione w projektowaniu masztów. Istotne znaczenie ma rodzaj gruntu, na którym będzie posadowiona konstrukcja. W gruntach niespoistych proces osiadania pod ciężarem własnym konstrukcji przebiega praktycznie w czasie budowy i z jej zakończeniem osiąga wartość końcową. Wyregulowanie zatem przyjętych na etapie projektowania sił wstępnego napięcia odciągów następuje już po tym procesie. Inaczej jest w gruntach spoistych. Osiadanie fundamentów może przebiegać bardzo wolno, a pełną konsolidację gruntu osiąga się nawet po kilkunastu latach. Możliwa jest więc sytuacja, że założone na etapie projektowania siły wstępnego napięcia odciągów masztu po pewnym czasie od zakończenia budowy będą nieaktualne. Spadek sił

w odciągach jest jednoznaczny ze zmniejszeniem sztywności podpór sprężystych trzonu masztu, a co za tym idzie z większymi odkształceniami konstrukcji poddanej obciążeniom środowiskowym. W normie PN-EN 1993-3-1 nie ma podanych granicznych wartości przemieszczeń trzonu masztu, zależą one od konkretnego przeznaczenia konstrukcji i takie wytyczne powinien określić inwestor. W wypadku jednak gdy maszt ma być wyposażony w aparaturę wrażliwą na przemieszczenia, należy mieć na uwadze możliwe zmniejszenie sztywności konstrukcji posadowionej na gruntach, w których nie zakończył się proces konsolidacji.

Opis analizowanej konstrukcji masztu

Obliczenia przeprowadzono na przykładzie kratowego masztu wysokości 200 m z odciągami (rysunek 1).

* Politechnika Koszalińska, Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji, Katedra Konstrukcji Metalowych