

doc. ing. Jiří Kolísko, Ph.D.¹⁾
 ing. Ivo Šimůnek, CSc.¹⁾
 ing. Martin Kroc²⁾
 ing. Isabela Bradáčová, CSc.^{3*)}

Eksperymentalna weryfikacja właściwości betonów lekkich narażonych na działanie wysokiej temperatury

Experimental determination of the properties of light concrete, exposed to high temperatures

DOI: 10.15199/33.2015.07.15

Streszczenie. Obudowy tuneli drogowych są nadal projektowane z zastosowaniem betonu zagęszczonego. W ramach projektu realizowanego w RCz prowadzone są badania mające na celu ocenę możliwości zastosowania betonu lekkiego dla tychże konstrukcji, pod warunkiem że będą spełniać wymagania odporności ogniowej. W artykule przedstawiono wyniki eksperymentalnej części projektu mającej na celu ocenę właściwości betonu lekkiego narażonego na działanie wysokiej temperatury.

Słowa kluczowe: obudowa tunelu, beton lekki, odporność na ogień.

Abstract. Lining of road and railway tunnels is still designed from normal concrete. In the frame of the project solved in the CR is realised research program, focused on the possibilities of the use of lightweight concrete for those structures, provided that they satisfy requirements as to fire resistance. The paper informs about partial experimental results of the project aimed at verifying properties of lightweight concrete after exposure to high temperatures.

Keywords: tunnel lining, lightweight concrete, fire resistance.

Kruszywo lekkie oraz betony lekkie produkowane na jego bazie są coraz powszechniej stosowane w budownictwie, również w konstrukcjach nośnych. W przypadku zastosowania w konstrukcjach zapewniających funkcjonalność obiektów narażonych na ryzyko pożaru, konieczna jest ocena odporności ogniowej elementów wykonanych z takich materiałów.

W ramach projektu TAČR TA02010488 pt. *Konstrukcje ognioodporne w budowlach tunelowych z zastosowaniem kruszywa lekkiego Liapor* przeprowadzono w Instytucie Kloknera Uniwersytetu Technicznego w Pradze badania, których celem jest uzyskanie danych służących do oceny odporności ogniowej betonu z kruszywem Liapor. W artykule przedstawiono wyniki pierwszego etapu badań. Wszystkie prace eksperymentalne wykonane zostały w laboratoriach Instytutu Kloknera, natomiast próbki dostarczyła firma Lias Vintřov, producent kruszywa lekkiego.

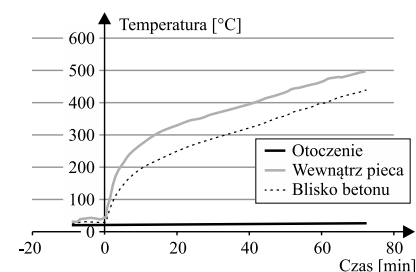
Aparatura pomiarowa i próbki do badań

Do badania materiałów wybrano procedurę zgodną z pkt 3.2. normy ČSN EN 1992-1-2 [1], zgodnie z którą opracowywane są modele materiałowe dla wzrostu temperatury w czasie w przedziale między 2 K/min do 50 K/min. Modele te odnoszą się do betonu zagęszczonego. Dotychczas podobnych charakterystyk dotyczących betonów lekkich nie znaleziono w przeanalizowanej literaturze. Do badań zastosowano elektryczny piec komorowy Rohde KE70 LS (fotografia), którego wymiary wewnętrzne 410 x 380 x 450 mm pozwalają na umieszczenie aż 4 sztuk znormalizowanych próbek sześciennych betonu o boku 150 mm. Parametry pieca: pobór mocy – 5,5 kW; temperatura maksymalna – 1280 °C.



Fot. 1. Piec do badań
 Photo 1. Test furnace

Aby określić możliwą szybkość wzrostu temperatury (gradient temperatury), przeprowadzono test z czterema próbkami sześciennymi betonu o wymiarach 150 x 150 x 150 mm. Piec pozwolił na osiągnięcie szybkości wzrostu temperatury ok. 15 °C/min, co odpowiada wymaganiom pkt 3.2. normy ČSN EN 1992-1-2. Rysunek przedstawia gradient temperatury uzyskany doświadczalnie.



Wzrost temperatury w czasie w piecu komorowym Rohde w przypadku użycia czterech sztuk próbek

Relationship between the temperature rise and time in the Rohde furnace with 4 concrete cubes

Badanie właściwości mechanicznych przeprowadzono w maszynie wytrzymałościowej Instron o zakresie pracy do 3000 kN. Pierwsze testy przeprowadzono na próbkach z betonu klasy C30/37 (betonu gęstego) oraz betonu klasy LC35/38 (betonu z kruszywem Liapor). Próbki wykonano z mieszanki bez zbrojenia włóknem rozproszonym oraz z mieszankami zbrojonych różną ilością

¹⁾ České vysoké učení technické v Praze, Kloknerův ústav

²⁾ Lias Vintřov, lehký stavební materiál k.s.

³⁾ Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství

^{*)} Autor do korespondencji:

e-mail: isabela.bradacova@vsb.cz

rozprosznego włókna PP o średnicy 20 μm i długości 12 mm, co odpowiada 0,9 kg/m³ w przypadku betonu gęstego oraz 0,9 kg/m³ i 1,8 kg/m³ w przypadku betonu lekkiego. Z każdej serii mieszanki wykonano po 24 szt. próbek sześciennych betonu o wymiarze podstawowym 150 mm.

Przebieg i wyniki badań

Próbki po sprawdzeniu wymiarów i wagi umieszczono w piecu i podgrzano do wymaganej temperatury 200, 400, 600, 800 i 1000 °C. Szybkość wzrostu temperatury wynosiła 15 °C/min. Po schłodzeniu próbki poddano badaniu wytrzymałości na ściskanie wg normy ČSN EN 12390 *Badania betonu utwardzonego – Część 3 pkt 5* [3]. Testy odniesienia wykonano w temperaturze otoczenia 20 °C. Tabela 1 zawiera wyniki badań wytrzymałości na ściskanie poszczególnych serii próbek, a tabela 2 wytrzymałość betonu na ściskanie w temperaturze $t = 20$ °C, jako procent wytrzymałości początkowej.

Ocena wyników badań

Ocenę wyników badań przeprowadzono, wykorzystując tabelę 3.3 oraz Załącznik C normy EN 1994-1-2 [2]. Tabela 3.3 przedstawia stosunek wytrzymałości sześciennego próbki betonu $f_{c, \theta}$, określonej w temperaturze 20 °C, do wytrzymałości betonu $f_{c, \theta}$, określonej w temperaturze betonu θ_c , dla betonu zwykłego (NC) oraz lekkiego (LC). Wykorzystano również zapis pkt 3 Załącznika C, który podaje, że wytrzymałość

resztkową betonu ograniczonego do najwyższej temperatury θ_{max} i ochłodzonego do temperatury 20 °C można uzyskać wg wzoru:

$$f_{c, \theta, 200^\circ\text{C}} = \varphi f_c$$

gdzie:

$$100^\circ\text{C} \leq \theta_{\text{max}} < 300^\circ\text{C}$$

$$\varphi = 0,95 - [0,185 (\theta_{\text{max}} - 100)/200]$$

a więc dla $\theta_{\text{max}} = 200^\circ\text{C}$ $\varphi = 0,86$, a dla

$$\theta_{\text{max}} \geq 300^\circ\text{C} \quad \varphi = 0,9 k_{c, \theta_{\text{max}}}$$

Porównanie redukcji wytrzymałości końcowej betonu wg ČSN EN 1994-1-2 z wynikami badań przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Porównanie wyników badań z normą ČSN EN 1994-1-2

Table 3. Comparison of experimental results with data from ČSN EN 1994-1-2

Charakterystyka próbek	Współczynnik obniżenia wytrzymałości betonu					
	T = 20 °C	T = 200 °C	T = 400 °C	T = 600 °C	T = 800 °C	T = 1000 °C
	wg normy ČSN EN 1994-1-2					
NC w danej temperaturze	1	0,95	0,75	0,45	0,15	0,04
LC w danej temperaturze	1	1	0,88	0,64	0,40	0,16
NC po ochłodzeniu	1	0,82	0,675	0,405	0,135	0,036
LC po ochłodzeniu	1	0,86	0,792	0,576	0,36	0,144
	wg badań					
C 30/37 bez włókna	1	0,637	0,903	0,558	0,259	0,105
C 30/37 z włóknem	1	0,824	0,957	0,552	0,214	0,125
LC 35/38 bez włókna	1	1,261	1,316	0,839	0,386	0,174
LC 35/38 z włóknem; m = 0,9 kg/m ³	1	1,049	0,861	0,569	0,322	0,166
LC 35/38 z włóknem; m = 1,8 kg/m ³	1	1,059	1,11	0,572	0,333	0,13

Podsumowanie

Na podstawie wyników badań dotyczących określenia wytrzymałości resztkowej betonu po narażeniu na działanie różnej temperatury stwierdzono dobrą zgodność między wynikami badań a danymi zawartymi w nor-

mie ČSN EN 1994-1-2, szczególnie w wysokiej temperaturze. W zasadzie można więc podczas projektowania konstrukcji kierować się danymi zawartymi w normie i to nawet w przypadku nowych materiałów. Należy zauważyć, że zarówno temperatura, jak i szybkość jej przyrastania odbiegają, w opisanych badaniach wstępnych, od zależności typowych dla rzeczywistych warunków tunelowych określonych na drodze badawczej przez ośrodki w Holandii (krzywa RWS) czy Niemczech (krzywe RABT/ZTW I

i RABT/ZTW II) i jedynie mogą stanowić pierwszą aproksymację do zastosowania materiałów w budownictwie tunelowym. Ich właściwości będzie trzeba jeszcze potwierdzić w badaniach w pełnej skali z wykorzystaniem zależności temperatura-czas przypisanej tunelom.

Literatura

[1] ČSN EN 1992-1-2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, Český normalizační institut, 11/2006.

[2] ČSN EN 1994-1-2 Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla-Navrhování konstrukcí na účinky požáru.

[3] ČSN EN 12390-3 – Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, 10/2009.

Program eksperymentalny oraz artykuł powstały dzięki wsparciu unijnego projektu TAČR TA02010488 o nazwie „Konstrukcje ognioodporne dla budowli tunelowych z zastosowaniem kruszywa lekkiego Liapor”.

Przyjęto do druku: 23.05.2015 r.

Tabela 1. Wytrzymałość betonu na ściskanie po ogrzaniu i ochłodzeniu

Table 1. Concrete compressive strength after heating and cooling – test results

Charakterystyka próbek	Średnie wartości wytrzymałości na ściskanie [MPa]					
	T = 20 °C	T = 200 °C	T = 400 °C	T = 600 °C	T = 800 °C	T = 1000 °C
C 30/37 bez włókna	67,70	43,10	61,15	37,80	17,5	7,09
C 30/37 z włóknem	65,32	53,79	62,48	36,05	14,0	8,18
LC 35/38 bez włókna	44,09	55,61	58,02	36,98	17,0	7,67
LC 35/38 z włóknem; m = 0,9 kg/m ³	50,15	52,63	43,19	28,54	16,2	8,30
LC 35/38 z włóknem; m = 1,8 kg/m ³	44,45	47,08	49,35	25,40	14,8	5,78

Tabela 2. Wytrzymałość betonu na ściskanie po ogrzaniu i ochłodzeniu w stosunku do wytrzymałości początkowej

Table 2. Concrete compressive strength after heating and cooling – the ratio to the initial strength

Charakterystyka próbek	Stosunek wytrzymałości na ściskanie [%]					
	T = 20 °C	T = 200 °C	T = 400 °C	T = 600 °C	T = 800 °C	T = 1000 °C
C 30/37 bez włókna	100,00%	63,66%	90,32%	55,83%	25,85%	10,48%
C 30/37 z włóknem	100,00%	82,35%	95,66%	55,19%	21,43%	12,53%
LC 35/38 bez włókna	100,00%	126,14%	131,61%	83,88%	38,56%	17,39%
LC 35/38 z włóknem; m = 0,9 kg/m ³	100,00%	104,94%	86,11%	56,91%	32,21%	16,55%
LC 35/38 z włóknem; m = 1,8 kg/m ³	100,00%	105,91%	111,01%	57,15%	33,30%	13,01%