

# Beton masywny z wykorzystaniem cementu hutniczego CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA

## Wprowadzenie

Podstawowym zagrożeniem dla betonu konstrukcyjnego masywnego jest samonagrzew w wyniku ciepła hydratacji cementu. Dlatego szczególnie ważne, w przypadku betonowania masywnych konstrukcji, jest zapewnienie składu mieszanki betonowej o jak najniższym cieple hydratacji, gwarantującej możliwie niski przyrost temperatury betonu w procesie twardnienia.

Ograniczenie przyrostu temperatury twardnienia betonu w elemencie masywnym można uzyskać poprzez zastosowanie w składzie mieszanki betonowej [1-4]:

- cementów powszechnego użytku z wysoką zawartością dodatków mineralnych o niskim cieple hydratacji LH lub bardzo niskim cieple hydratacji VLH
- ograniczonej ilości cementu (zmniejszenie ilości cementu o 100 kg/m<sup>3</sup> w składzie betonu obniża jego temperaturę o około 12°C)
- popiołu lotnego krzemionkowego jako częściowego zamiennika cementu.

W prezentowanej pracy skupiono uwagę nad właściwościami cementu hutniczego CEM III/B 42,5L – LH/SR/NA i możliwością jego zastosowania w składzie betonu przeznaczanego do wykonania masywnych konstrukcji betonowych.

## Skład i właściwości cementu hutniczego CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA

Stosowany w badaniach cement hutniczy CEM III/B 42,5L – LH/SR/NA został wyprodukowany w skali przemysłowej przy zawartości granulowanego żużla wielkopieczowego w jego składzie powyżej 70%. Podstawowe właściwości tego rodzaju cementu przedstawiono, w celach porównawczych, na tle właściwości innych cementów hutniczych CEM III dostępnych na rynku.

Tabela 1 zawiera właściwości fizyczne cementów hutniczych CEM III. Dla praktyki budowlanej szcze-

gólne znaczenie ma początek wiązania. Czas wiązania cementów hutniczych CEM III z reguły pozwala na efektywne wykonanie wszystkich czynności technologicznych związanych z dowozem, poprawnym ułożeniem i zagęszczeniem mieszanki betonowej. Z tego względu cementy te są powszechnie stosowane w produkcji mieszanek betonowych o wymaganym długim czasie zachowania urabialności i konsystencji. Zazwyczaj wyższa powierzchnia właściwa związana jest z wyższą wodozadržnością cementu (tabela 1), którą można w prosty sposób zneutralizować w betonie poprzez odpowiedni dobór domieszek chemicznych uplastyczniających lub upłynniających. Cementy hutnicze CEM III charakteryzują się niskim ciepłem hydratacji (rys. 1) i zazwyczaj spełniają wymagania normy PN-EN 197-1[5] dla cementów o niskim cieple hydratacji LH. Stosowanie takich cementów, jak już wcześniej wspomniano, ogranicza ryzyko powstawania naprężeń i spękań termicznych w młodym betonie i zalecane jest przy wykonywaniu dużych masywów betonowych (np. fundamenty, przyczółki mostowe itp.).

Na rys. 2 pokazano kształtowanie się temperatury betonu w zależności od rodzaju zastosowanego cementu. Wyraźnie widać wpływ niskiego ciepła hydratacji cementu hutniczego CEM III A,B (rys. 1) na uzyskiwaną temperaturę betonu (rys. 2).

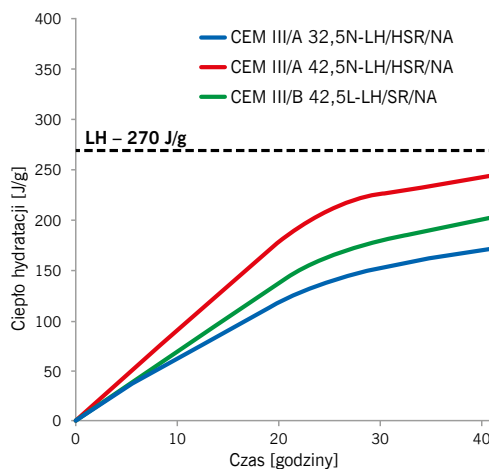
Wprowadzenie granulowanego żużla wielkopieczowego w znacznej ilości do składu cementu znacząco wpływa na dynamikę przyrostu wytrzymałości cementu hutniczego CEM III (rys. 3) [6].

Cementy hutnicze o dużej zawartości żużla na poziomie 60÷75% (cement hutniczy CEM III/B 42,5L i CEM III/A 32,5N) charakteryzują się wolnym przyrostem wytrzymałości wczesnej. Cement hutniczy CEM III/A 42,5N, o niższej zawartości żużla, charakteryzuje się wyższą wytrzymałością wczesną. Umożliwia to stosowanie tego rodzaju cementów do produkcji prefabrykatów (szybka rotacja form) i wykonywania konstrukcji monolitycznych o wysokiej wytrzymałości, osiąganey w krótkim okresie, np. betonowanie w deskowaniu ślizgowym. Istotną zaletą cementów hutniczych CEM III jest również duży przyrost wytrzymałości

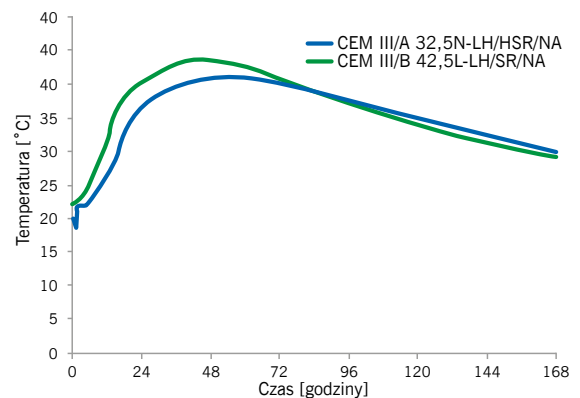
Tabela 1. Właściwości fizyczne cementów hutniczych CEM III/A

Rodzaj cementu	Woda dla konsystencji normowej [%]	Początek czasu wiązania [min]	Stołość objętości [mm]
CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA	31,0	245	0,9
CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA	32,5	220	0,9
CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA	32,4	200	1,0

Rys. 1. Ciepło hydratacji cementów hutniczych CEM III



Rys. 2. Przebieg temperatury twardnienia betonu w czasie (zawartość cementu 300 kg/m<sup>3</sup>, w/c=0,5)



w długich okresach twardnienia (90 dni). Rozwój wytrzymałości w tym okresie jest związany z tworzeniem się szczelnej struktury betonu, co w efekcie zapewnia wysoką trwałość obiektom budowlanym. Dlatego też cechy trwałościowe betonu (klasa wytrzymałości, mrozoodporność, ścieralność i inne) z udziałem cementów hutniczych CEM III należy określać po 90 dniach [7-9].

Ważnym czynnikiem wpływającym na poziom wytrzymałości, zwłaszcza wczesnej, jest stosunek woda/cement (w/c) w betonie (zaprawie), co obrazuje rys. 4.

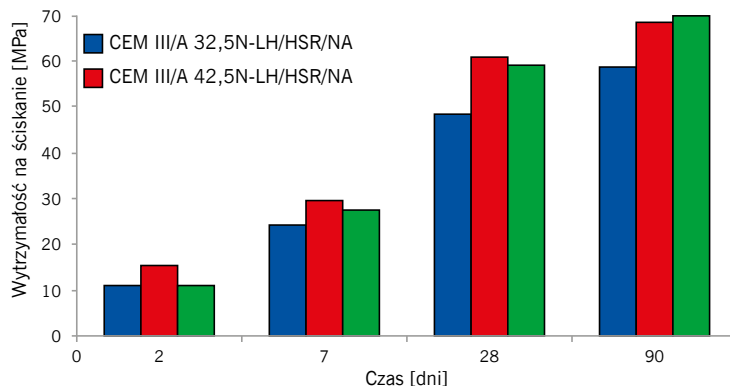
Efektywne obniżenie w/c poprzez stosowanie najnowszej generacji domieszek chemicznych upłynniających (superplastyfikatorów) prowadzi do uzyskania poziomu wytrzymałości wczesnej, który pozwala na stosowanie cementów hutniczych CEM III we wszystkich obszarach budownictwa. Przykładem niech będzie beton wykonany z cementu hutniczego CEM III/B 42,5L (ok. 70% żużla) o składzie podanym w tabeli 2 i właściwościach wytrzymałościowych zobrazowanych na rys. 5. Połączenie reaktywności granulowanego żużla wielkopiecowego z dodatkowym doszczelnieniem struktury betonu poprzez niski wskaźnik w/c skutkuje uzyskaniem kompozytu bardzo szczelnego i odpornego na działanie środowisk agresywnych chemicznie, w tym na karbonatyzację (tabela 5) [10].

### Cement hutniczy CEM III/B 42,5L składnikiem betonu masywnego

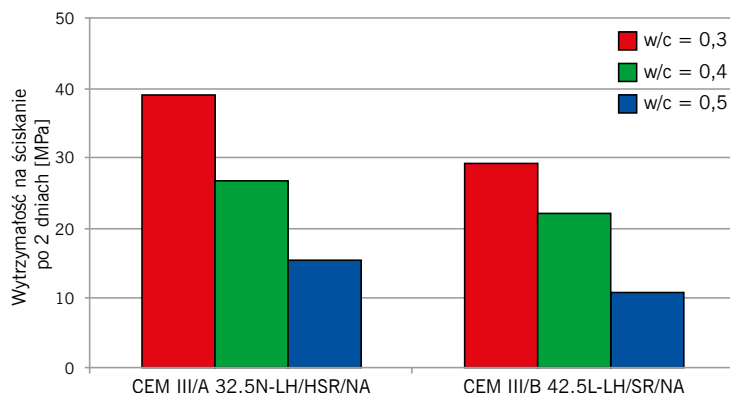
Jako przykład efektywnego wykorzystania właściwości cementu hutniczego CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA jest wykorzystanie go w składzie betonu masywnego w budowie nowych bloków na Elektrowni Opolu.

Czynniki wpływające na temperaturę twardnienia i ryzyko powstawania rys w betonowej konstrukcji masywnej są przedstawione w tabeli 6. Czynniki te dzielimy na materiałowe, które związane są z odpowiednim doбором składników betonu oraz wykonawcze, związane z procesem zabudowy mieszanki betonowej i pielęgnacji betonu.

Kluczowym zagadnieniem decydującym o jakości wykonanego elementu masywnego jest odpowiednie dobranie składników betonu, uwzględniające zarówno ciepło hydratacji, reologię mieszanki betonowej, właściwości stwardniałego betonu oraz temperatury otoczenia panujące w trakcie zabudo-



Rys. 3. Właściwości mechaniczne cementów hutniczych CEM III



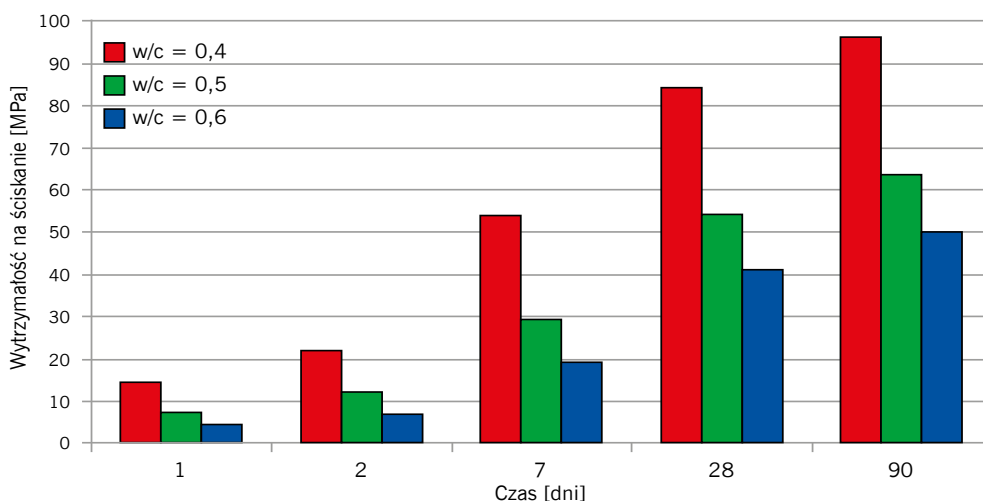
Rys. 4. Wpływ współczynnika w/c na wytrzymałość na ściskanie po 2 dniach cementów hutniczych (zaprawy normowe)

Tabela 2. Skład betonu

Składnik	Zawartość [kg/m <sup>3</sup> ]		
	340	340	300
Cement hutniczy CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA	340	340	300
Woda	136	170	180
Piasek 0-2 mm	590	560	660
Żwir 2-8 mm	295	280	375
Żwir 8-16 mm	490	470	375
Żwir 16-32 mm	590	560	470
Superplastyfikator [% m.c.]	1,5%	0,8%	--

Tabela 5. Głębokość karbonatyzacji betonu zwykłego i wysokowartościowego z cementem hutniczym [10]

Rodzaj betonu	Rodzaj cementu	Głębokość karbonatyzacji, cm, po upływie		
		180 dni	360 dni	720 dni
Zwykły	CEM III/A 42,5	4,0	4,5	5,5
	CEM III/B 32,5	5,0	7,0	8,5
Wysokowartościowy	CEM III/A 42,5	0,5	1,0	1,0
	CEM III/B 32,5	1,0	1,5	2,5



Rys. 5. Wytrzymałość na ściskanie betonów z cementem CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA

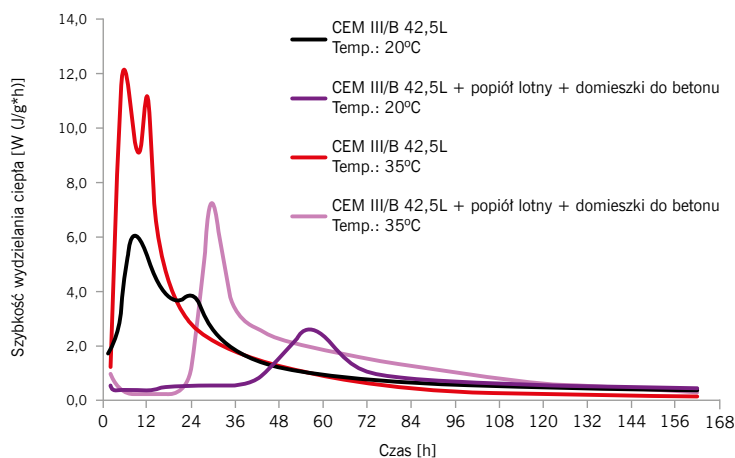
Tabela 6. Czynniki materiałowe i wykonawcze wpływające na temperaturę twardnienia betonu oraz na ryzyko zarysowania [11]

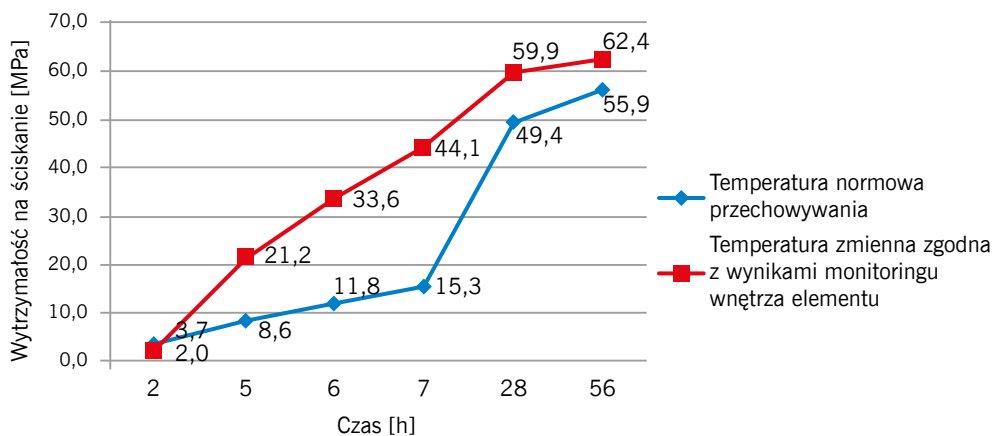
Czynniki materiałowe			
Czynnik	Wpływ		Komentarz
	Negatywny	Pozytywny	
Moduł sprężystości kruszywa	Wysoki	Niski	Zwiększenie odkształcalności betonu i stosunku $f_{ctm}/E_{cm}$
Rodzaj kruszywa	Wysoki współczynnik rozszerzalności cieplnej	Niski współczynnik rozszerzalności cieplnej	Kruszywa o niskim współczynniku rozszerzalności cieplnej, m.in.: marmur, kamień wapienny, granit, bazalt
Maksymalny rozmiar ziaren kruszywa	Mały	Duży	Duży maksymalny rozmiar kruszywa umożliwia zmniejszenie ilości zaczynu cementowego (cementu) w mieszance betonowej
Rodzaj cementu	CEM I	CEM II CEM III CEM IV CEM V	Zastosowanie cementów CEM II ÷ CEM V i/lub dodatków mineralnych w składzie betonu zmniejsza ilość wydzielanego ciepła i szybkość jego wydzielania w czasie
Stosowanie dodatków do betonu	brak	popiół lotny	
Domieszki chemiczne	Brak	Plastyfikatory Superplastyfikatory	Zmniejszenie zawartości cementu i/lub obniżenie współczynnika w/c
Temperatura mieszanki betonowej	Wysoka	Niska	Obniżenie poprzez schłodzenie kruszywa np. zimną wodą, lodem lub ciekłym azotem
Czynniki wykonawcze			
Czynnik	Wpływ		Komentarz
	Negatywny	Pozytywny	
Temperatura otoczenia	Wysoka	Niska	Prowadzenie betonowania w nocy lub w przypadku dużych elementów wykonanie ich w okresach o stosunkowo niskich temperaturach
Deskowanie dla elementów grubości < 500 mm	Poszycie z izolowanej sklejk	Poszycie stalowe, z tworzyw sztucznych zbrojonych włóknem szklanym	Umożliwia szybkie schłodzenie elementu
Deskowanie dla elementów grubości > 500 mm	Poszycie stalowe, z tworzyw sztucznych zbrojonych włóknem szklanym	Poszycie z izolowanej sklejk	Izolacja pozwala ograniczyć gradient temperatur oraz kontrolować szybkość odprowadzanie ciepła
Stosowanie izolacji	brak	Płyty styropianowe, folia, brezent etc.	Organicznie zewnętrznych wpływów termicznych
Kolejność betonowania	Betonowanie blokami (naprzemiennie)	Betonowanie sekcjami w kolejności	Nieistotne jeżeli połączenia mają pełną swobodę odkształceń lub gdy betonowanie odbywa się w sposób ciągły
Przerwy pomiędzy kolejnymi etapami betonowania	Długie	Krótkie	Ogranicza gradienty temperatur na styku sąsiednich warstw/bloków i zapewnia lepszą przyczepność pomiędzy warstwami
Rozkład zbrojenia	Pręty o dużej średnicy rozstawione daleko od siebie	Pręty o małej średnicy blisko rozstawione od siebie	Zwiększenie rozwinięcia powierzchni stali zbrojeniowej – poprawa szybkości odprowadzania ciepła z wnętrza betonu

wy oraz w pierwszym okresie dojrzewania. Przykładem zastosowania betonu masywnego w skrajnie wysokich, jak na warunki polskie, temperaturach jest zabudowa mieszanki betonowej w konstrukcji fundamentu kotłowni bloku nr 6 Elektrowni Opolo. Ze względów technicznych realizacja ta została przeprowadzona w okresie od 21 do 26 lipca 2015 r., w temperaturach sięgających 35°C. Warunki te budziły obawy związane zachowaniem odpowied-

niej reologii mieszanki betonowej podczas dostawy oraz maksymalną temperaturą wnętrza elementu uzyskaną podczas pierwszych dni dojrzewania. Jako rozwiązanie zaproponowano mieszankę betonową opartą na cemencie CEM III/B 42,5L –LH/SR/NA. Wybór tego cementu podyktowany był bardzo dobrą charakterystyką wydzielania ciepła w podwyższonych temperaturach (rys. 6), tak dla samego cementu, jak i spoiwa wraz z domieszkami chemicznymi, oraz bardzo niskim stosunkiem ciepła hydratacji cementu do wytrzymałości na ściskanie betonu po 28 dniach dojrzewania. Współczynnik ten, wynoszący dla przyjętego cementu ok. 3,4 J/g/MPa, umożliwił uzyskanie zakładanej klasy wytrzymałości na ściskanie betonu C30/37 już po 28 dniach dojrzewania (rys. 7), przy jednoczesnym zachowaniu niskich wartości ciepła hydratacji w początkowym okresie. Poprawność założeń poczynionych podczas projektowania składu receptury mieszanki betonowej oraz doboru sposobu pielęgnacji termicznej potwierdzona została wynikami monitoringu temperatury fundamentu płyty kotłowni nr 6 Elektrowni Opolo (rys. 8). Maksymalna temperatura wnętrza elementu nie przekroczyła 58°C, co w połączeniu z odpowiednio

Rys. 6. Szybkość wydzielania ciepła w temperaturach 20°C oraz 35°C dla cementu CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA oraz spoiwa z jego udziałem





Rys. 7. Przyrost wytrzymałości na ściskanie betonu masywnego opartego na cemencie CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA w zależności od warunków dojrzewania

przeprowadzoną zabudową oraz pielęgnacją umożliwiło uzyskanie elementu pozbawionego zarysowań mogących negatywnie wpłynąć zarówno na właściwości mechaniczne jak i na jego trwałość.

### Podsumowanie

Niskie ciepło hydratacji cementu hutniczego CEM III/B 42,5L LH/SR/NA czyni go przydatnym spoiwem w wykonawstwie betonowych konstrukcji masywnych - fundamenty, zapory, przyczółki mostów itp. Przykładem niech będzie jeden z fundamentów zrealizowanych przy budowie bloku energetycznego w Elektrowni Opole.

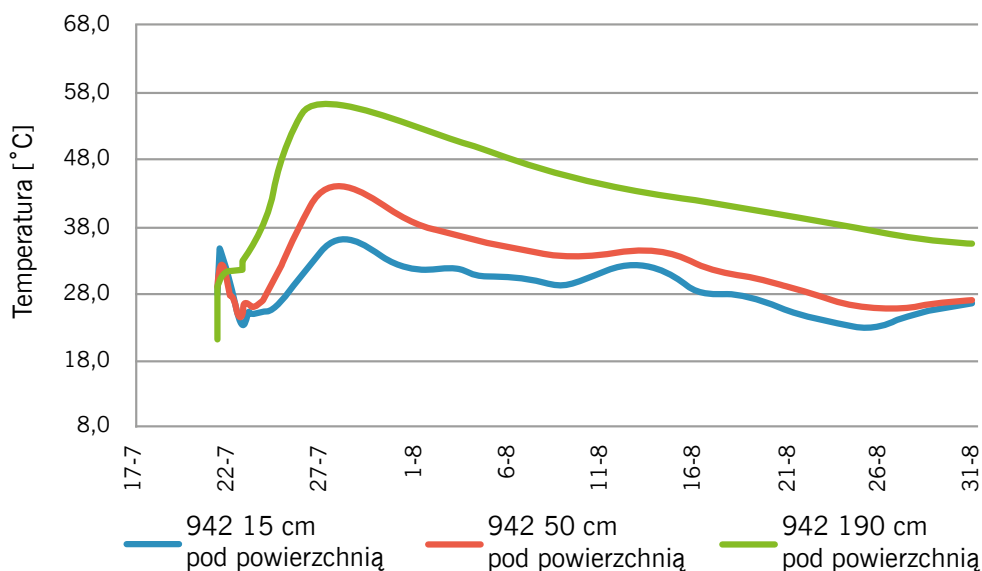
Beton z tego rodzaju cementu charakteryzuje się także wysoką odpornością na agresję chemiczną i może być również stosowany w budowie szamb, studzienek, zbiorników wodnych, infrastruktury dla rolnictwa. Stosowanie cementów o wysokiej zawartości granulowanego żużla wielkopiecowego, a takim cementem jest cement hutniczy CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA, zapewnia odpowiednią wytrzymałość i trwałość kompozytów cementowych, a także wpisuje się w strategię zrównoważonego rozwoju.

**Artur Golda**

**Centrum Technologiczne Sp. z o.o.**  
w Dąbrowie Górniczej  
**Maciej Batóg, Katarzyna Synowicz,**  
**Zbigniew Giergiczny**  
**Politechnika Śląska w Gliwicach,**  
**Góraźdże Cement SA**

### Literatura

- 1 Neville A.M., *Właściwości betonu*, V edycja, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2012
- 2 Kiernożycki W., *Betonowe konstrukcje masywne*, Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2003
- 3 *Cement, kruszywa, beton w ofercie Grupy Góraźdże, praca zbiorowa pod kierunkiem Giergiczny Z., Chorula 2015*
- 4 Giergiczny Z., *Popiół lotny w składzie cementu i betonu*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013
- 5 PN-EN 197-1:2012 Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku
- 6 Giergiczny Z., *Współczesne cementy żużlowe w budownictwie. XVI Konferencja „Reologia w technologii betonu”*, Bełchatów, 2015, s. 139-153
- 7 Bapat J.D., „Performance of cement concrete with mineral admixtures.”; *Advances in Cement Research*. 2001, Vol. 13, No 4, pp. 139-155
- 8 Geiseler J., Kollo H., Lang E.; „Influence of blast furnace cements on durability of concrete structure.”; *ACI Mat. J.*, 1995, vol.92, No 3, 252-257
- 9 Deja J., „Odporność korozyjna cementów o wysokiej zawartości granulowanego żużla wielkopiecowego”, *Materiały Sympozjum Naukowo-Technicznego*, Chorula 1998
- 10 Lang E., *High slag blastfurnace cement for high-performance concrete*. Global Slag Conference, 14-15 November, Dusseldorf 2005
- 11 Bamforth, P. B., “Early-Age Thermal Crack Control in Concrete”, CIRIA, London, 2007



Rys. 8. Przykładowy rozkład temperatury uzyskany w fundamencie kotłowni bloku nr 6 Elektrowni Opole