



PROGRAM REGIONALNY
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



POLITECHNIKA OPOLSKA
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA
Katedra Inżynierii Materiałów Budowlanych
Laboratorium Materiałów Budowlanych

Raport LMB 109/2012

**WDROŻENIE KALORYMETRII IZOTERMICZNEJ DO BADAŃ CIEPŁA
TWARDNIENIA CEMENTÓW Z CEMENTOWNI ODRA S.A.**

Wykonano na potrzeby projektu nr RPOP.01.03.01-16-019/10-00
pt. "Utworzenie nowoczesnych stanowisk badawczych materiałów budowlanych
w Laboratorium Materiałów Budowlanych Wydziału Budownictwa Politechniki
Opolskiej, spełniających wymogi laboratorium akredytowanego przy PCA"

Autor opracowania:

dr inż. Aneta Matuszek-Chmurowska

Zespół realizujący:

Prof. dr hab. Stefania Grzeszczyk

dr Elżbieta Janowska-Renkas

dr inż. Aneta Matuszek-Chmurowska

inż. Bronisław Krępa

OPOLE, grudzień 2012 r.

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Opolskiego na lata 2007-2013
„Inwestujemy w Twoją przyszłość”

SPIS TREŚCI

1. Podstawa opracowania	3
2. Materiały do badań	3
3. Metoda badań ciepła hydratacji cementów	4
4. Wyniki badań	4
5. Podsumowanie wyników badań	12

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania jest wdrożenie wyników badań ciepła hydratacji cementów z Cementowni ODRA S.A. w praktyce budowlanej.

Badania ciepła hydratacji wykonano przy użyciu mikrokalorymetru izotermicznego C-80 firmy SETARAM, zakupionego w ramach projektu nr RPOP.01.03.01-16-019/10-00 pt. ”Utworzenie nowoczesnych stanowisk badawczych materiałów budowlanych w Laboratorium Materiałów Budowlanych Wydziału Budownictwa Politechniki Opolskiej, spełniających wymogi laboratorium akredytowanego przy PCA”. Projekt współfinansowany był przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Opolskiego na lata 2007-2013 „Inwestujemy w Twoją przyszłość”.

Celem pracy było określenie szybkości i całkowitej ilości wydzielonego ciepła w czasie, dla cementów z Cementowni ODRA S.A.

2. Materiały do badań

Do badań ciepła hydratacji cementów stosowano 6 różnych rodzajów cementów stanowiących asortyment Cementowni ODRA S.A.:

1. CEM II/B-S 32,5R,
2. CEM II/B-S 42,5R,
3. MC 22,5 X,
4. CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R,
5. CEM III/A 32,5 N-LH/HSR/NA,
6. CEM I 42,5R.

3. Metoda badań ciepła hydratacji cementów

Ciepło hydratacji cementów określono metodą kalorymetrii izotermicznej. Pomiar ciepła hydratacji zaczynów przeprowadzono przy użyciu mikrokalorymetru izotermicznego typu C-80 firmy SETARAM.

Dla badanych zaczynów cementowych zachowano jednakową procedurę przygotowania próbki analitycznej do pomiaru oraz jednakowe warunki pomiaru (temperatura $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$). Z uzyskanych wyników badań wyznaczono szybkość wydzielania ciepła i całkowitą ilość wydzielonego ciepła po 41 i 72 godzinach. Pomiar ciepła hydratacji przeprowadzono przy zachowaniu $w/c = 0,4$.

4. Wyniki badań

Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunkach 1 ÷ 14.

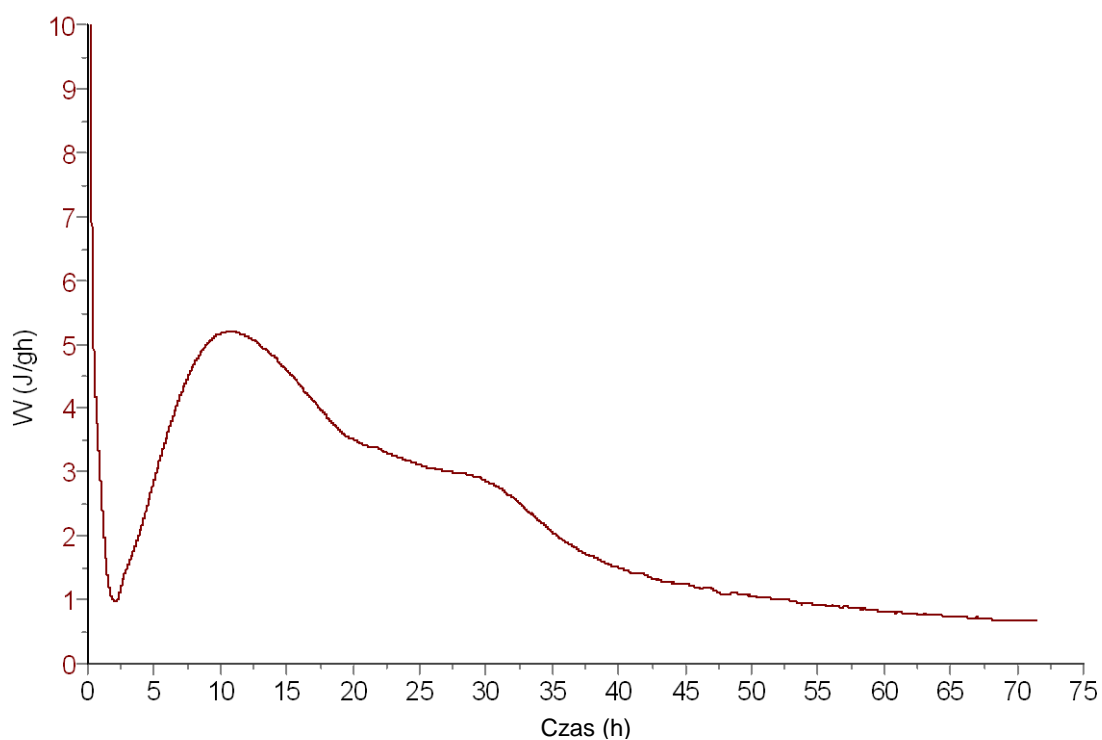
W tabeli 1 podano wartości całkowitego wydzielonego ciepła po czasie 41 i 72 godz., położenie maksimum efektu krzemianowego w czasie oraz jego intensywność.

Na rysunkach 1,3,5,7,9 i 11 przedstawiono krzywe szybkości wydzielania ciepła hydratacji cementów: CEM II/B-S 32,5R (rys. 1), CEM II/B-S 42,5R (rys. 3), MC 22,5 X (rys. 5), CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R (rys. 7), CEM III/A 32,5 N-LH/HSR/NA (rys. 9), CEM I 42,5R (rys. 11). Na rys. 13 przedstawiono wszystkie krzywe szybkości wydzielania ciepła hydratacji ww. cementów.

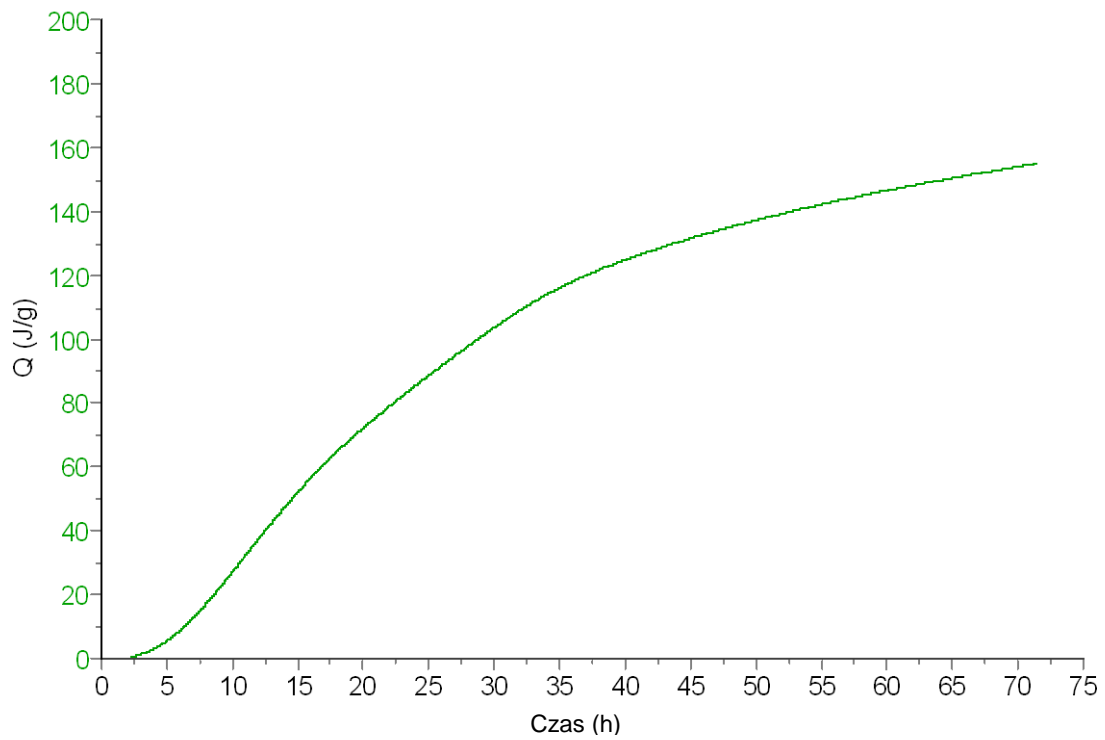
Natomiast na rysunkach 2,4,6,8,10 i 12 przedstawiono całkowitą ilość wydzielonego ciepła hydratacji cementów: CEM II/B-S 32,5R (rys.2), CEM II/B-S 42,5R (rys. 4), MC 22,5 X (rys. 6), CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R (rys. 8), CEM III/A 32,5 N-LH/HSR/NA (rys. 10), CEM I 42,5R (rys. 12). Na rys. 14 przedstawiono całkowite ilości wydzielonego ciepła hydratacji ww. cementów.

Tabela 1. Ciepło hydratacji cementów z Cementowni ODRA S.A.

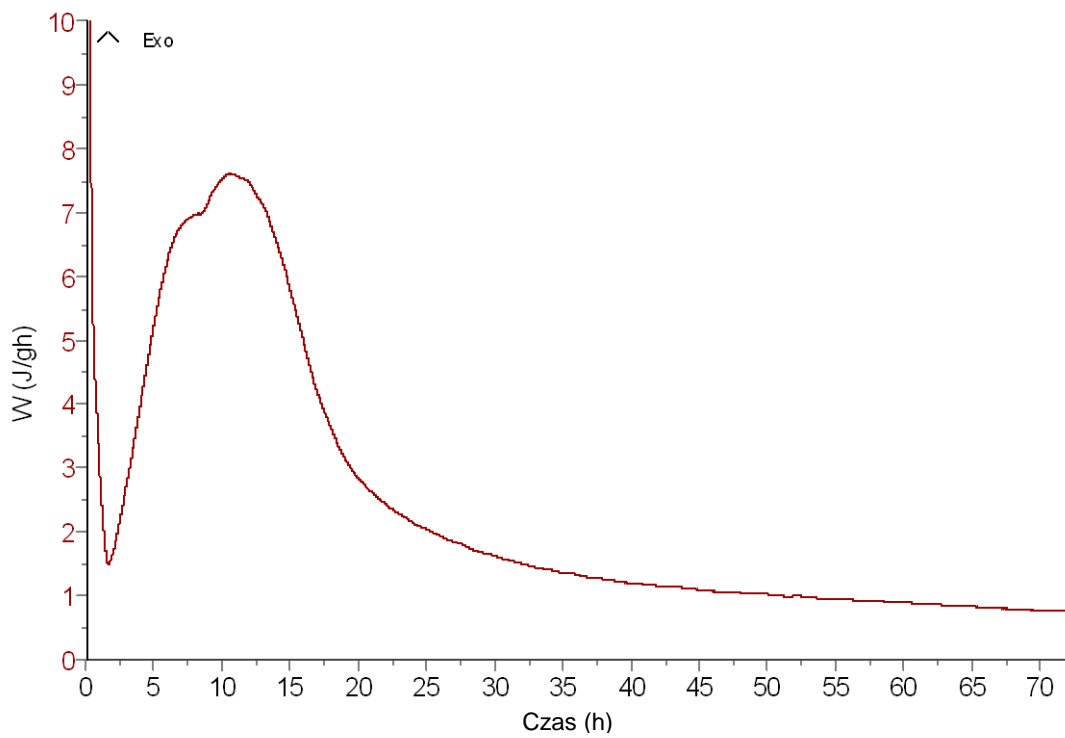
Rodzaj cementu	Całkowita ilość wydzielonego ciepła po 41 godz.	Całkowita ilość wydzielonego ciepła po 72 godz.	Położenie maksimum efektu krzemianowego w czasie	Intensywność efektu krzemianowego
	(J/g)	(J/g)	(h)	(J/g·h)
CEM II/B-S 32,5R	126,3	154,9	10,7	5,22
CEM II/B-S 42,5R	136,0	165,1	10,6	7,60
MC 22,5 X	107,7	134,9	12,2	5,00
CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R	125,4	152,6	10,4	5,51
CEM III/A 32,5 N-LH/HSR/NA	104,7	129,8	11,2	3,96
CEM I 42,5R	150,9	184,3	9,1	7,02



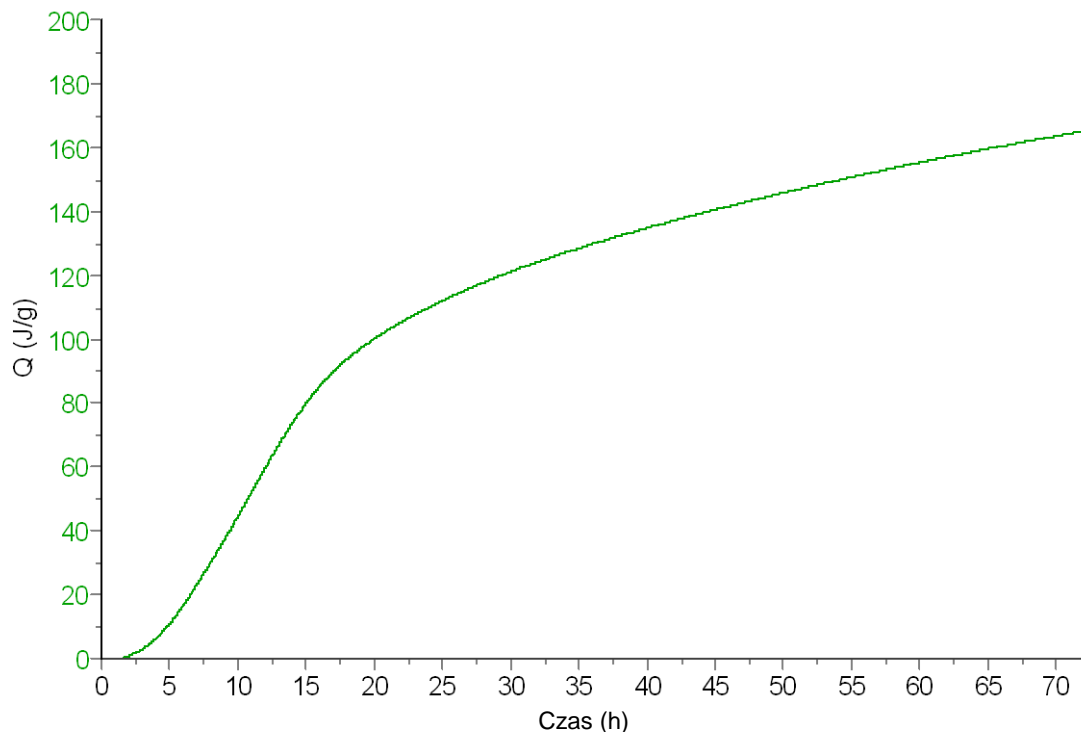
Rys. 1. Krzywa szybkości wydzielania ciepła hydratacji cementu CEM II/B-S 32,5R



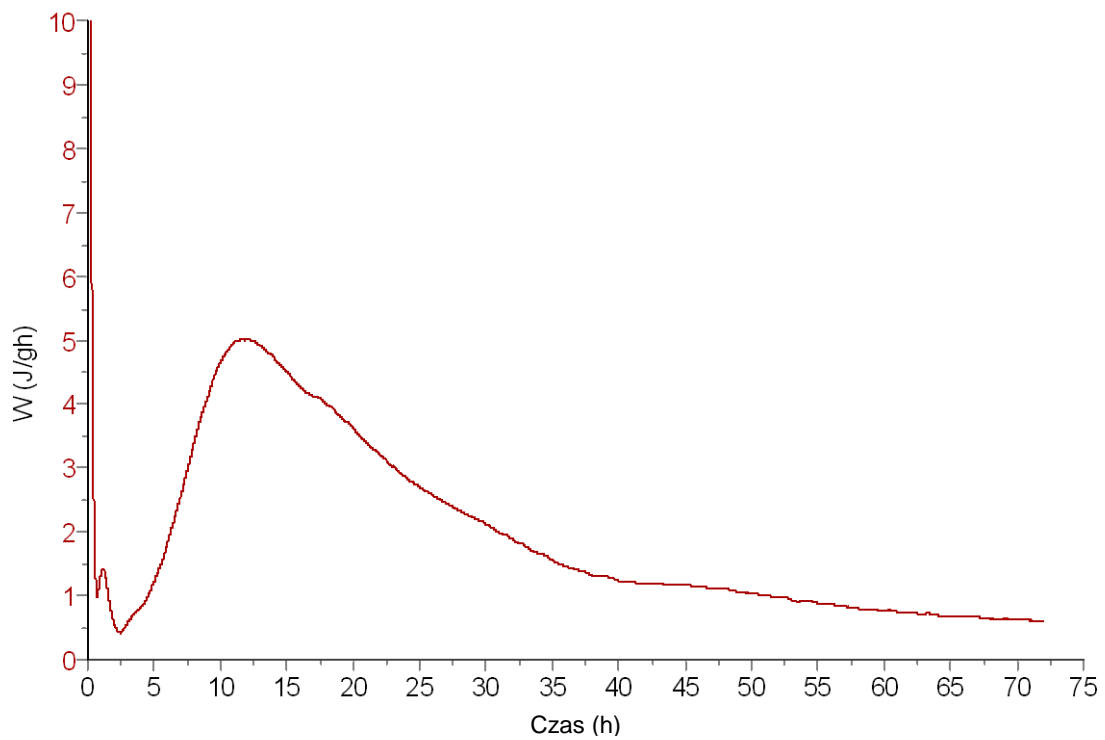
Rys. 2. Całkowita ilość wydzielonego ciepła hydratacji cementu CEM II/B-S 32,5R



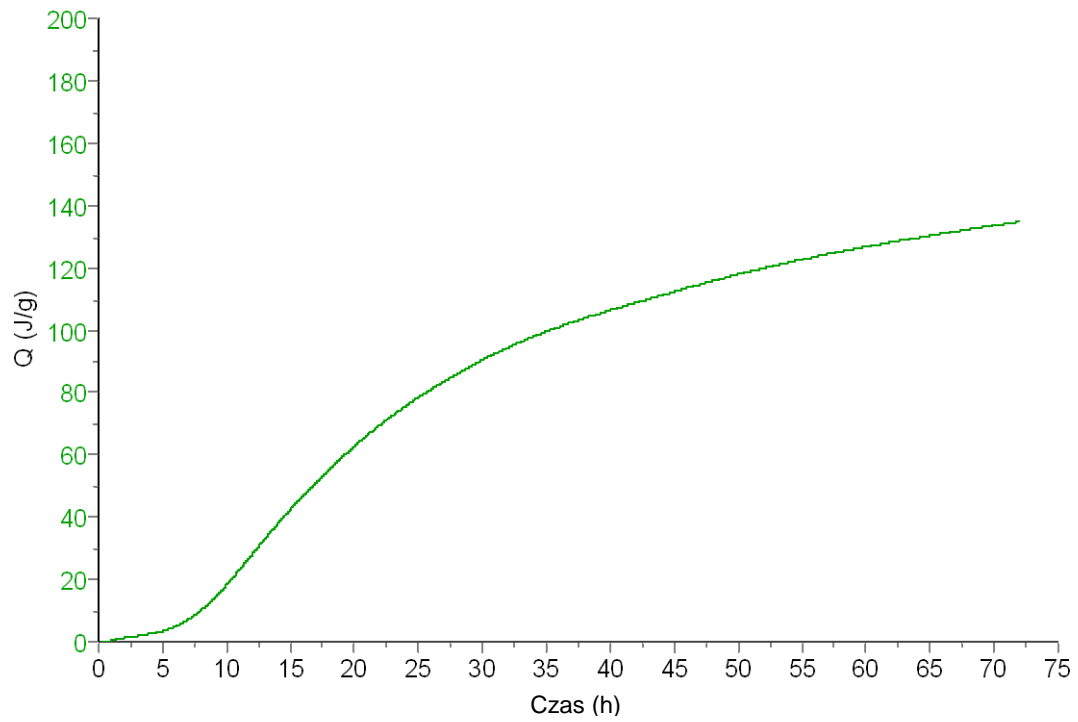
Rys. 3. Krzywa szybkości wydzielania ciepła hydratacji cementu CEM II/B-S 42,5R



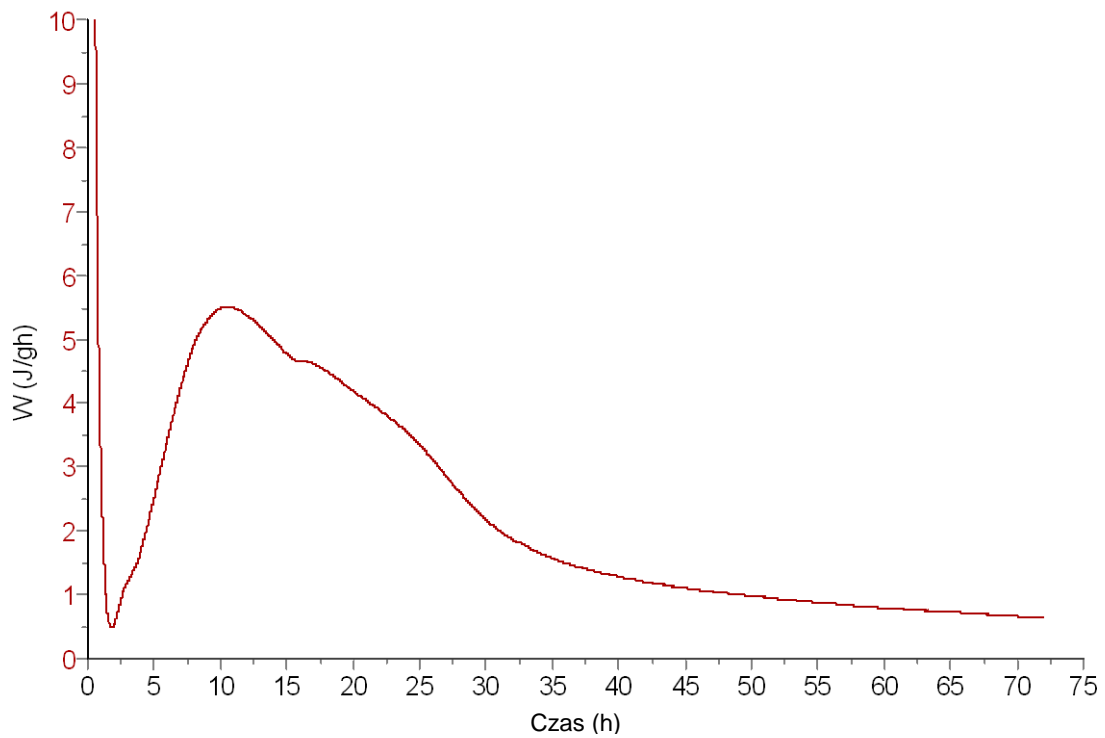
Rys. 4. Całkowita ilość wydzielonego ciepła hydratacji cementu CEM II/B-S 42,5R



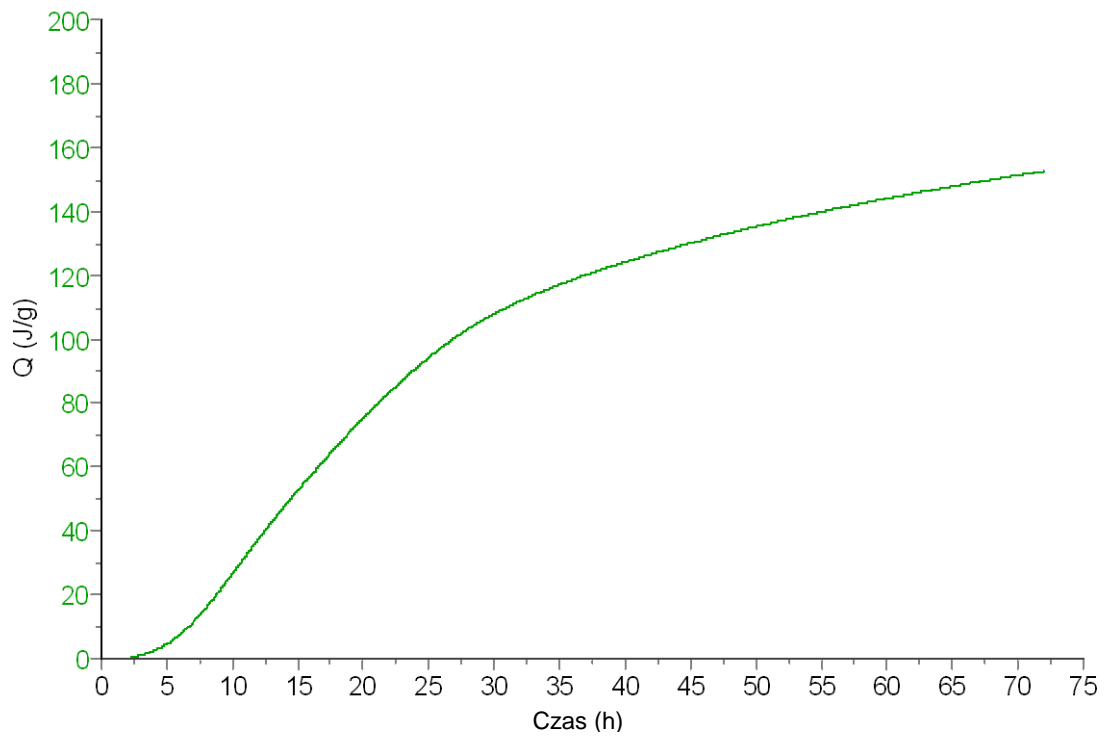
Rys. 5. Krzywa szybkości wydzielania ciepła hydratacji cementu MC 22,5 X



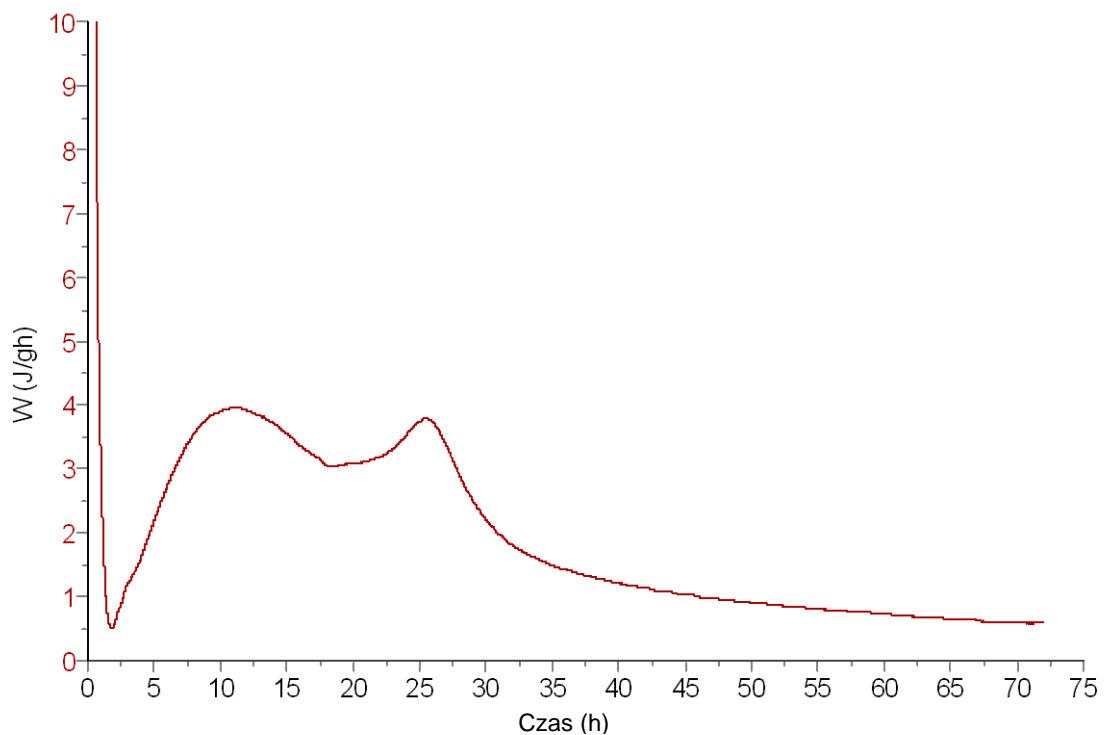
Rys. 6. Całkowita ilość wydzielonego ciepła hydratacji cementu MC 22,5 X



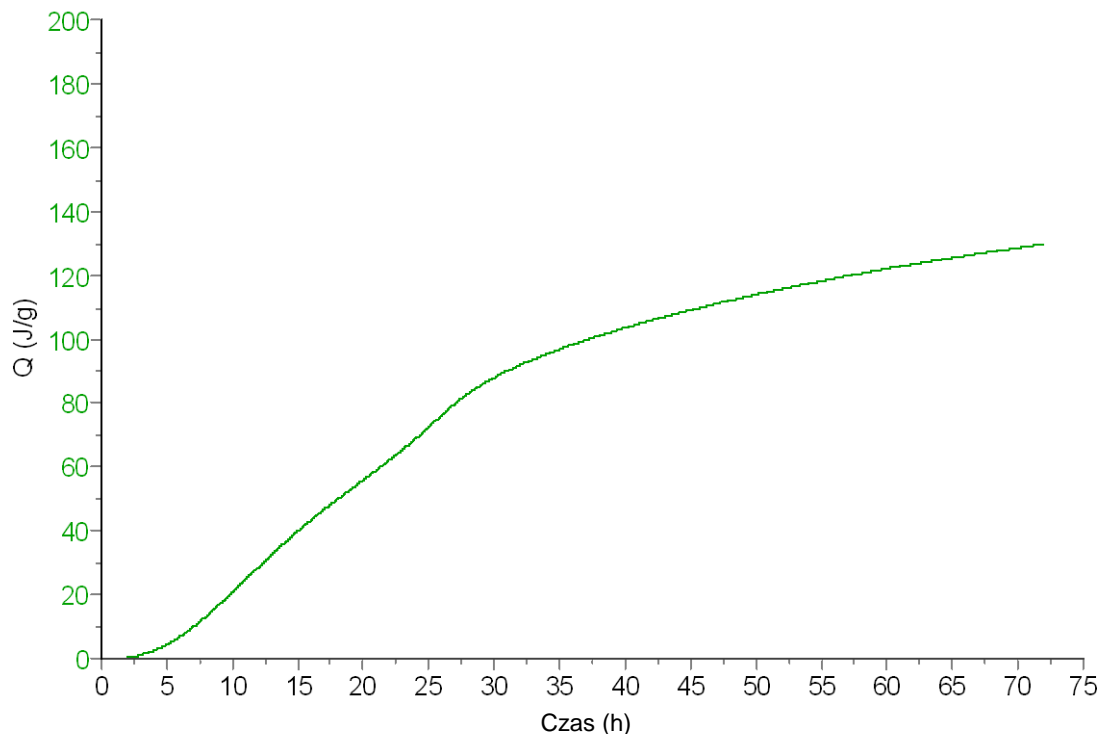
Rys. 7. Krzywa szybkości wydzielania ciepła hydratacji cementu CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R



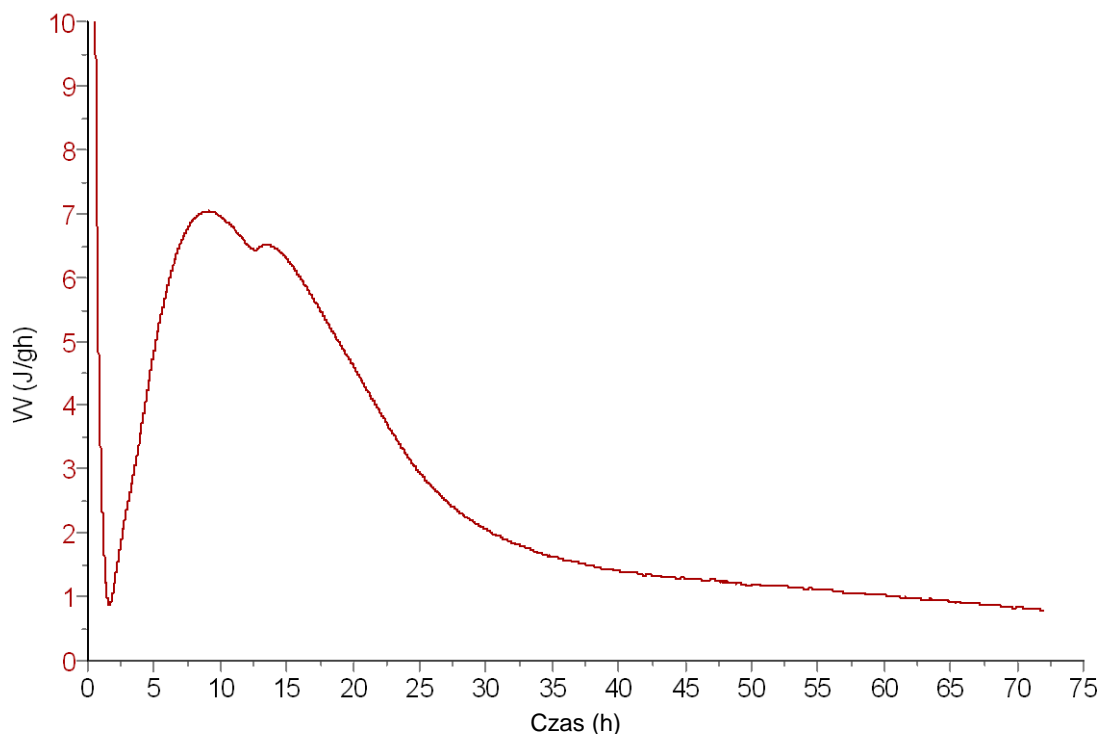
Rys. 8. Całkowita ilość wydzielonego ciepła hydratacji cementu CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R



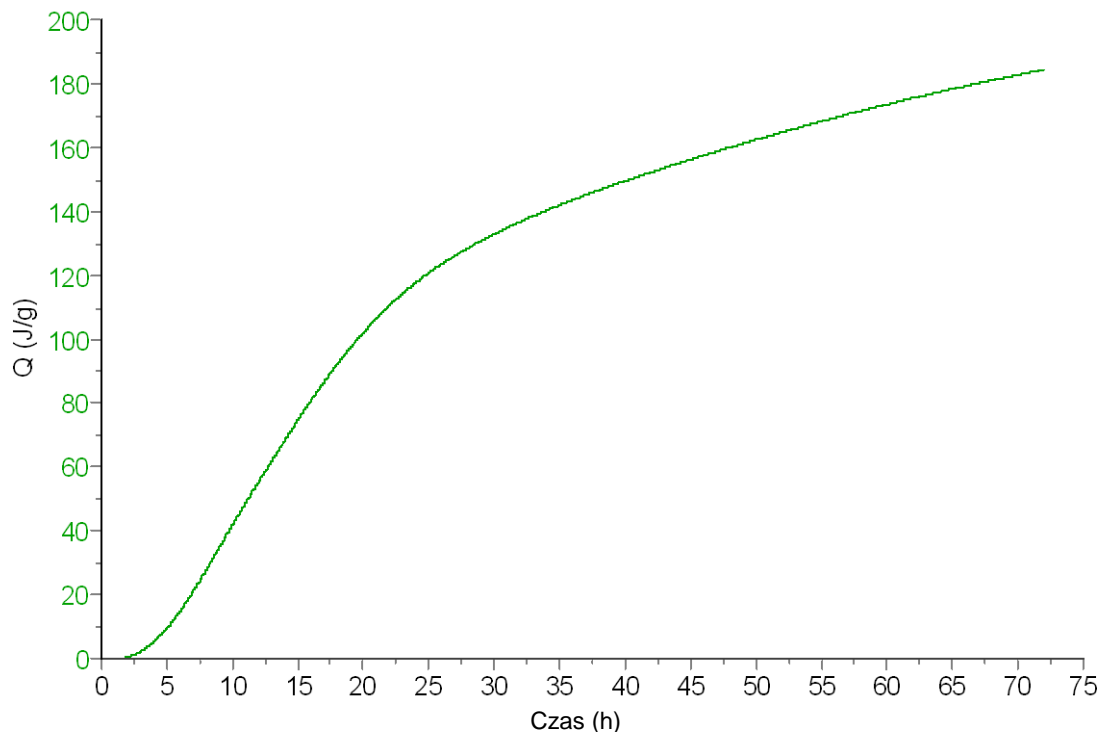
Rys. 9. Krzywa szybkości wydzielania ciepła hydratacji cementu CEM III/A 32,5 N-LH/HSR/NA



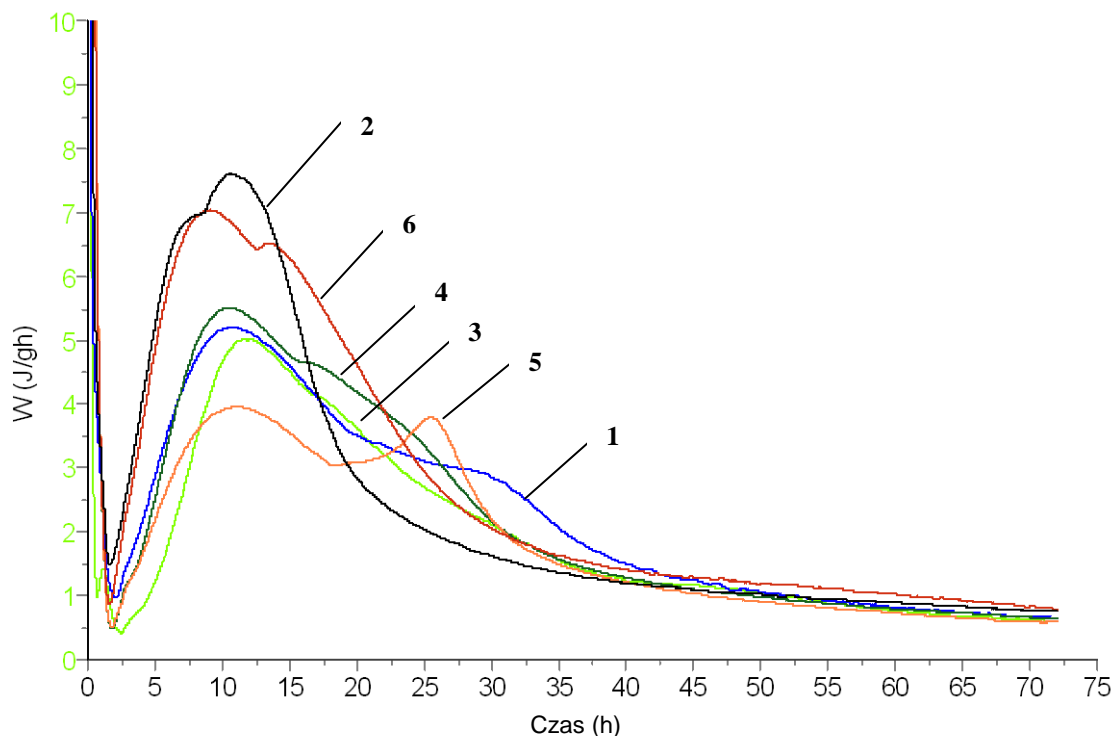
Rys. 10. Całkowita ilość wydzielonego ciepła hydratacji cementu CEM III/A 32,5 N-LH/HSR/NA



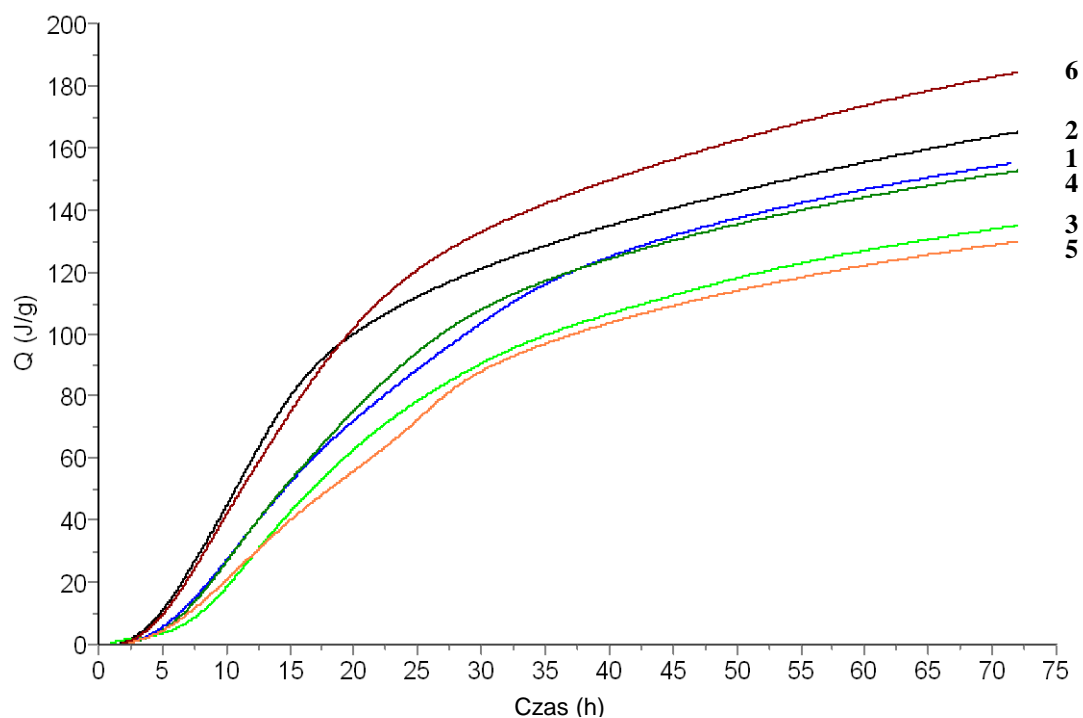
Rys. 11. Krzywa szybkości wydzielania ciepła hydratacji cementu CEM I 42,5R



Rys. 12. Całkowita ilość wydzielonego ciepła hydratacji cementu CEM I 42,5R



Rys.13. Krzywe szybkości wydzielania ciepła hydratacji cementów:
 1 - CEM II/B-S 32,5R, 2 - CEM II/B-S 42,5R, 3 - MC 22,5 X,
 4 - CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R, 5 - CEM III/A 32,5 N-LH/HSR/NA, 6 - CEM I 42,5R.



Rys. 14. Całkowita ilość wydzielonego ciepła hydratacji cementów:
 1 - CEM II/B-S 32,5R, 2 - CEM II/B-S 42,5R, 3 - MC 22,5 X,
 4 - CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R, 5 - CEM III/A 32,5 N-LH/HSR/NA, 6 - CEM I 42,5R.

5. Podsumowanie wyników badań

Analiza krzywych szybkości i całkowitych ilości wydzielonego ciepła po czasie 72 godz. zaczynów z cementów z Cementowni ODRA S.A. wykazała różnice w przebiegu reakcji hydratacji tych cementów.

Analiza szybkości wydzielonego ciepła wykazała, że położenie efektu krzemianowego najwcześniej obserwuje się w przypadku cementu portlandzkiego CEM I 42,5R (rys. 11), następnie dla cementów w kolejności: CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R, CEM II/B-S 42,5R, CEM II/B-S 32,5R, CEM III/A 32,5 N-LH/HSR/NA (rys. 7, 3, 1 i 9). Położenie efektu krzemianowego najpóźniej zaobserwowano w przypadku cementu murarskiego MC 22,5 X (rys. 5). Powyższe świadczy o największym przyspieszeniu hydratacji alitu w zaczynie z cementem CEM I 42,5R i największym opóźnieniu tej reakcji w zaczynie z cementu murarskiego MC 22,5 X, co bezpośrednio związane jest z wytrzymałością wczesną dla tych cementów.

Największą ilością wydzielonego ciepła po czasie 72 godz. charakteryzował się cement portlandzki CEM I 42,5R (rys. 12), następnie cement portlandzki żuźlowy CEM II/B-S 42,5R (rys. 4) i CEM II/B-S 32,5R (rys. 2), cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R (rys. 8), cement murarski MC 22,5 X (rys. 6). Najmniejszą ilością wydzielonego ciepła charakteryzował się cement hutniczy CEM III/A 32,5 N-LH/HSR/NA (rys. 10).

Analiza całkowitej ilości wydzielonego ciepła po czasie 41 godz. (tabela 1) zgodnie z normą PN-B-19707:2003 pozwala zaliczyć badane cementy do grupy cementów o niskim cieple hydratacji (LH). Wg tej normy ciepło hydratacji, wydzielone po 41 godz. twardnienia zaczynu nie może być większe niż 270 J/g. Szczególnie wskazane jest wykorzystanie do wykonywania masywnych elementów betonowych cementu CEM III/A 32,5 N-LH/HSR/NA o najmniejszym cieple hydratacji (całkowita ilość wydzielonego ciepła po 41 godz. twardnienia wynosiła 104,7 J/g).

Uzyskane wyniki badań mikrokalorymetrycznych zaczynów cementowych pozwoliły stwierdzić, że produkowane cementy w Cementowni ODRA S.A., ze względu na ilość wydzielonego ciepła twardnienia, można przedstawić w następującej kolejności:

**CEM I 42,5R > CEM II/B-S 42,5R > CEM II/B-S 32,5R >
CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R > MC 22,5 X > CEM III/A 32,5 N-LH/HSR/NA**