

Materiały budowlane	N O R M A B R A N Ż O W A	BN-79/6731-17
	CEMENT	zamiast:
	Metody badań.	BN-63/6730-02 BN-70/6731-13
Materiały Wiążące	Oznaczanie ciepła uwodnienia	Gr.kat.VII 19

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot normy. Przedmiotem normy jest oznaczanie ciepła uwodnienia cementu metodą kalorymetrii różnicowej i metodą pomiaru ciepła rozpuszczania.

1.2. Zakres stosowania normy

- a/ Metodę kalorymetrii różnicowej należy stosować do oznaczania ciepła uwodnienia cementu, przede wszystkim w początkowym okresie jego twardnienia tj. w okresie do 7 dni.
- b/ Metodę pomiaru ciepła rozpuszczania należy stosować do oznaczania ciepła uwodnienia cementu w późniejszym okresie jego twardnienia tj. w okresie powyżej 7 dni.

2. METODY BADAŃ

2.1. Metoda kalorymetrii różnicowej

2.1.1. Zasada oznaczania polega na mierzeniu, w sposób ciągły, siły termoelektrycznej /STE/ powstającej w wyniku wzrostu temperatury w zaprawie cementowej, twardniejącej w kalorymetrze.

Ciepło uwodnienia oblicza się jako sumę ilości ciepła nagromadzonego w kalorymetrze i ilości ciepła wymienionego z osłoną izotermiczną kalorymetru, po określonym czasie.

2.1.2. Ogólne warunki wykonywania oznaczania. Temperatura w pomieszczeniu podczas wykonywania oznaczeń, powinna wynosić $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Okna pomieszczenia powinny być zaopatrzone w zasłony dla uniknięcia nagrzewania promieniami słonecznymi. Pomieszczenie należy zabezpieczyć przed przewiewem. Ważenie próbek powinno być wykonywane na wadze technicznej z dokładności do $\pm 0,5$ g.

Wszystkie przyrządy pomocnicze przeznaczone do wykonywania oznaczania /parownica porcelanowa, łopatka metalowa, naczynie pomiarowe z korkiem gumowym/ powinny znajdować się w pomieszczeniu, w którym wykonuje się pomiary, na co najmniej 24 h przed przystąpieniem do oznaczania.

Zgłoszona przez Instytut Przemysłu Wiążących Materiałów Budowlanych

Ustanowiona przez Naczelnego dyrektora Zjednoczenia Przemysłu Cementowego, Wapienniczego i Gipsowego dnia 22 listopada 1979 r., jako norma obowiązująca od 1 kwietnia 1980 r. /Dz.Norm.Miar i Jakości nr.....,poz./

2.1.3. Przyrządy

a/ Kalorymetr różnicowy typu KRM, stanowi połączenie dwóch jednakowych układów kalorymetrycznych, przy czym jeden jest układem pomiarowym, drugi układem odniesienia. W układzie odniesienia znajduje się próbka bierna w postaci uwodnionej zaprawy cementowej.

Naczynie pomiarowe, w którym umieszcza się badaną zaprawę, wykonane jest z blachy stalowej i ma kształt cylindra o wymiarach $\varnothing 68 + 0,4$ mm, $h = 155$ mm. Zewnętrzne ścianki naczynia powinny być gładkie. Wewnętrzną powierzchnię naczynia pomiarowego należy dokładnie pokryć cienką warstwą parafiny.

b/ Samoczynny kompensator rejestrujący. Klasa przyrządu 0,1/0,5, zakres od 0 do 12 mV, szerokość taśmy 250 mm, prędkość przesuwania taśmy 2 cm/h, przy czym:

- 1 cm na taśmie w skali STE odpowiada współczynnikowi wyrażającemu stosunek zakresu rejestratora do szerokości taśmy - 0,48.
- 1 cm na taśmie w skali czasu t odpowiada - 30 min.
- 1 cm² w skali t i STE wynosi 14,4 mV.min.

c/ Planimetr do mierzenia powierzchni figur płaskich.

2.1.4. Przygotowanie próbki cementu. Ze średniej próbki laboratoryjnej pobranej wg PN-76/B-06000 należy odważyć 1 kg cementu, przesiać przez sito o wymiarze boku oczka kwadratowego 1,0 mm, rozcierając ewentualne grudki cementu w palcach. Grudki cementu których nie można rozetrzeć oraz stwierdzone zanieczyszczenia należy odrzucić.

2.1.5. Wykonanie oznaczania. Przygotowany do oznaczania termostat kalorymetru należy włączyć na co najmniej 48 h przed rozpoczęciem pomiaru. Odważyć 167 g cementu przygotowanego wg 2.1.4., 751 g piasku o uziarnieniu $1,4 + 0,7$ mm, całość dokładnie wymieszać i wsypać do woreczka z folii. Do kolby płaskodennej o pojemności 100 cm³ odmierzyć pipetą 100 cm³ wody destylowanej. Woreczek z mieszaniną cementu z piaskiem i kolbę z wodą umieścić w naczyniu do wstępnego termostatowania na 48 h przed badaniem. Odważyć 1 g waty opatrunkowej.

Po 48 h mieszaninę cementu z piaskiem przesypać z woreczka do parownicy porcelanowej o średnicy 300 mm, wlać wodę z kolby i całość mieszać łopatką metalową przez 2 min. W momencie wiania wody do mieszaniny piasku z cementem należy włączyć rejestrator. Następnie zaprawę przenieść do uprzednio przygotowanego i zważonego naczynia pomiarowego. Pozostałe w parownicy resztki zaprawy należy dokładnie usunąć odważoną watą i całość umieścić w naczyniu pomiarowym. Dla odpowietrzenia zaprawy naczynie z zawartością wstrząsnąć przez kilkakrotne uderzenie dnem o stałą podstawę, a następnie zamknąć szczelnie korkiem i całość umieścić w kalorymetrze.

Po 72 h pomiaru /lub po określonym oddzielnie okresie/, wyłączyć rejestrator i termostat. Otrzymany zapis siły termoelektrycznej /STE/ uzyskany na taśmie samoczynnego kompensatora rejestrującego, przeznaczony jest do obliczenia ciepła uwodnienia badanej próbki cementu. Aby obliczyć ciepło uwodnienia cementu należy zmierzyć planimetrem powierzchnię /S_t/ w cm², ograniczoną krzywą wartości STE i osią odciętych, po żądanym okresie t.

2.1.6. Obliczanie wyników. Ciepło uwodnienia cementu /X/, w J/g, po żądanym okresie /t/ należy obliczyć według wzoru

$$x_t = \frac{[k_p + k_z + k_n + k_k] \cdot Q_x + 14,4 \cdot \alpha \cdot S_t}{167}$$

w którym:

- k_p - pojemność cieplna pustego kalorymetru podana w metryce przyrządu, J/mV,
- k_z - pojemność cieplna zaprawy, J/°C,
- k_n - pojemność cieplna naczynia pomiarowego, J/°C,
- k_k - pojemność cieplna korka, J/°C,
- g - współczynnik wyrażający stosunek różnicy temperatur, do siły termoelektrycznej różnicowo połączonego termostosu, °C/mV,
- Q_x - wartość siły termoelektrycznej /STE/ w momencie zakończenia badania, mV
- α - współczynnik strat ciepłych, podany w metryce przyrządu, J/mV.min,
- S_t - powierzchnia wg 2.1.5., cm²,
- 14,4 - współczynnik wg 2.1.3.b/, mV.min,
- 167 - naważka cementu wg 2.1.5., g.

2.1.7. Wynik. Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną wyników dwóch oznaczeń. Dopuszczalna różnica między wynikami nie powinna przekraczać 6 J/g.

2.2. Metoda pomiaru ciepła rozpuszczania.

2.2.1. Zasada oznaczania polega na określeniu ciepła rozpuszczania cementu, w mieszaninie kwasów azotowego i fluorowodorowego, przez i po uwodnieniu. Ciepło uwodnienia należy obliczyć jako różnicę ciepła rozpuszczania cementu nieuwodnionego i ciepła rozpuszczania cementu uwodnionego, po określonym okresie twardnienia.

2.2.2. Ogólne warunki wykonywania oznaczenia. Temperatura w pomieszczeniu, podczas wykonywania oznaczeń, powinna być stała. Okna powinny być zaopatrzone w zasłony dla uniknięcia nagrzewania promieniami słonecznymi. Pomieszczenie powinno być wyposażone w urządzenie wentylacyjne. Prace z kwasem fluorowodorowym należy wykonywać w rękawiczkach gumowych. Ważenie próbek powinno być wykonywane na wadze analitycznej z dokładnością do $\pm 0,0002$ g.

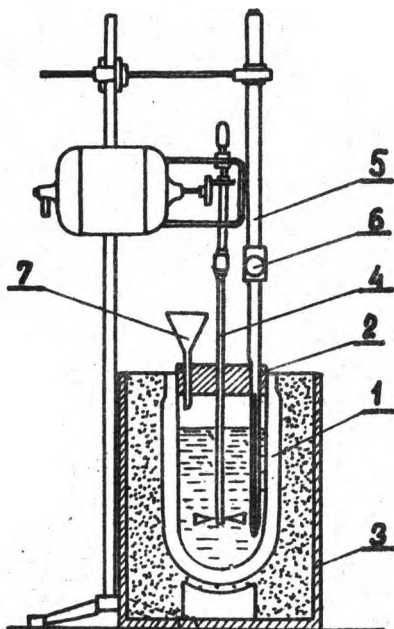
2.2.3. Przyrządy

a/ Kalorymetr wg rysunku. Izolacja cieplna kalorymetru musi spełniać następujące wymagania: Do naczynia Dewara wlać 400 cm³ wody o temperaturze około 5°C wyższej od temperatury pomieszczenia. Naczynie zakryć przykrywą i uruchomić mieszadło. Spadek temperatury wody w naczyniu po 30 min. mieszania, nie powinien przekraczać 0,002°C/min, dla jednego stopnia różnicy między temperaturą kalorymetru i otoczenia.

Naczynie Dewara powinno mieć dobrze dopasowaną wkładkę z tworzywa sztucznego. Zamiast wkładki można ściany naczynia powlekać warstwą ochronną odpowiedniego materiału.

Termometr powinien być tak umieszczony w korku, aby zapewniał jednakowe zanurzenie w mieszaninie kwasów, przy każdym pomiarze. Górny poziom rtęci w naczynku termometru, powinien się znajdować 4 cm poniżej poziomu cieczy. Punkt zerowy termometru Beckmana, powinien być ustawiony o 2,5 - 3,0° poniżej temperatury pracowni.

b/ Termostat zapewniający temperaturę $21 \pm 1^\circ\text{C}$



1 - Naczynie Dewara o pojemności 750 cm^3 ; 2 - przykrywa z korka z trzema otworami; 3 - naczynie izolacyjne wyłożone warstwą korka i wełną drzewną lub innym materiałem izolacyjnym; 4 - mieszadło z tworzywa sztucznego o średnicy skrzydła 40 mm, napędzane silnikiem synchronicznym o $400 \pm 50 \text{ obr./min}$ i mocy około 2 W; 5 - termometr Beckmana z zakresem $5 \div 6^\circ$; 6 - lupa, 7 - lejek z tworzywa sztucznego z korkiem do zatykania w czasie pomiaru.

2.2.4. Odczynniki

a/ Tlenek cynku cz.d.a.,

b/ Kwas azotowy cz.d.a, roztwór 2 N.

c/ Kwas fluorowodorowy cz.d.a., roztwór około 38%.

2.2.5. Przygotowanie próbki cementu wg 2.1.4.

2.2.6. Oznaczanie pojemności cieplnej kalorymetru

2.2.6.1. Przygotowanie tlenku cynku. Około 50 g tlenku cynku prażyć w ciągu 1 h w warunkach utleniających, w temperaturze 950°C . Po oziębieniu przesiał przez sito 0,2 mm. Do pomiarów brać z tej ilości $7,0 \pm 0,1 \text{ g}$, ponownie ogrzewać przez 5 minut w temperaturze 950°C i następnie oziębiać do temperatury pokojowej, w eksykatorze nad nadchloranem magnezu. Przed rozpuczeniem naważkę zważyć powtórnie z dokładnością do 0,0001 g.

2.2.6.2. Przygotowanie mieszaniny kwasów. Do odważonego uprzednio naczynia Dewara odmierzyć 388 cm^3 2N kwasu azotowego i 10 cm^3 kwasu fluorowodorowego. Kwas fluorowodorowy należy odmierzyć cylindrem z tworzywa sztucznego. Naczynie z mieszaniną kwasów zważyć i dopełnić do 425 g kwasem azotowym.

2.2.6.3. Wykonanie oznaczania. Wyprażony i zważony tlenek cynku rozpuścić w mieszaninie kwasów. Zmiany temperatury mierzyć w okresie wstępnym, okresie rozpuszczania i okresie końcowym. Wszystkie odczyty temperatury przeprowadzać w odstępach czasu co 1 min, z dokładnością do $0,001^{\circ}$.

Przed rozpoczęciem pomiaru uruchomić mieszadło kalorymetru na co najmniej 10 min, dla wyrównania temperatury układu. Zanotować temperaturę t_0 .

Mieszanie kontynuować przez dalszych 10 minut. Końcowa temperatura stanowi t_{10} .

Bezpośrednio po odczytaniu t_{10} należy wsypać przez lejek do naczynia Dewara tlenek cynku. Wsypanie powinno być wykonane równomiernie i powoli, przez 1 do 2 minut, a resztki pozostałe na lejku dokładnie zmiecione do roztworu małym pędzelkiem. Następnie należy zanotować temperaturę po 30 i 40 minutach jako t_{30} i t_{40} .

Na zakończenie zanotować temperaturę roztworu w kalorymetrze t oraz temperaturę otoczenia T w $^{\circ}\text{C}$.

2.2.6.4. Obliczanie wyników. Pojemność cieplną kalorymetru C należy obliczyć w $\text{J}/^{\circ}\text{C}$ wg wzoru

$$C = \frac{m [1075,6 + 0,4/30 - t/ + 0,50/T - t/]}{T_1}$$

w którym:

m - masa tlenku cynku, g,

1075,6 - ciepło rozpuszczania 1 g tlenku cynku w 30°C , J/g ,

0,4 - współczynnik zmiany ciepła rozpuszczania tlenku cynku na 1° różnicy temperatury,

t - temperatura roztworu w kalorymetrze po zakończeniu pomiaru, $^{\circ}\text{C}$,

T - temperatura otoczenia w czasie przeprowadzania pomiaru, $^{\circ}\text{C}$,

0,05 - ciepło właściwe tlenku cynku, J/g ,

T_1 - skorygowany wzrost temperatury w okresie rozpuszczania, $^{\circ}\text{C}$, obliczony wg wzoru

$$T_1 = /t_{30} - t_{10}/ - 2/t_{30} - t_{40}/$$

w którym:

t_{10} - końcowa temperatura okresu wstępnego, $^{\circ}\text{C}$,

t_{30} - końcowa temperatura okresu rozpuszczania, $^{\circ}\text{C}$,

t_{40} - końcowa temperatura okresu końcowego, $^{\circ}\text{C}$.

2.2.6.5. Wynik. Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną wyników dwóch oznaczeń. Dopuszczalna różnica między wynikami nie powinna przekraczać 10 J/g .

Pojemność cieplną należy oznaczać każdorazowo po wymianie jakiegokolwiek części kalorymetru.

2.2.7. Oznaczanie ciepła rozpuszczania cementu uwodnionego

2.2.7.1. Przygotowanie próbek cementu uwodnionego. Z próbki wg 2.2.5. odważyć 180 g cementu i przygotować zaczyn z 72 cm^3 wody w ciągu 4 minut. Temperatura cementu, wody i otoczenia w czasie przygotowywania próbek powinna wynosić $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Przygotowanym za-

zaczynem napełnić trzy próbówki szklane lub plastikowe i zamknąć je szczelnie nie pozostawiając wolnej przestrzeni nad zaczynem. Tak przygotowane próbki przechowywać do czasu badania w termostacie, w temperaturze $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$.

2.2.7.2. Wykonanie oznaczenia. Próbkę z uwodnionym cementem wyjąć z próbówki i rozdrobnić tak aby całość przeszła przez sito o boku oczka 1 mm, wymieszać i natychmiast przystąpić do wykonywania oznaczenia. Z rozdrobnionej próbki odważyć 4 g i oznaczyć ciepło rozpuszczania wg 2.2.6.3. Równocześnie, z tej samej próbki odważyć 1 g cementu uwodnionego i oznaczyć stratę po prażeniu wg PN-78/B-04301 p.2.3.

2.2.7.3. Obliczanie wyników. Ciepło rozpuszczania cementu uwodnionego X_1 należy obliczyć w J/g wg wzoru

$$X_1 = \frac{C \cdot T_2}{m_1} - 1,7/T - t/$$

w którym:

- m_1 - masa odważonego cementu, przeliczona na substancję wyprażoną, g,
- C - pojemność cieplna kalorymetru, obliczona wg 2.2.6.4., J/g,
- T_2 - skorygowany wzrost temperatury w okresie rozpuszczania, obliczony wg 2.2.6.4., $^{\circ}\text{C}$,
- T - temperatura otoczenia w czasie wykonywania pomiaru, $^{\circ}\text{C}$,
- t - temperatura roztworu w kalorymetrze po zakończeniu pomiaru, $^{\circ}\text{C}$,
- 1,7 - ciepło właściwe cementu uwodnionego, J/g.

2.2.7.4. Wynik. Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną wyników dwóch oznaczeń. Dopuszczalna różnica między wynikami nie powinna przekraczać 10 J/g.

2.2.8. Oznaczenie ciepła rozpuszczania cementu nieuwodnionego

2.2.8.1. Wykonanie oznaczenia. Z próbki wg 2.2.5. odważyć 3 g cementu i oznaczyć ciepło rozpuszczania wg 2.2.6.3. Równocześnie z tej samej próbki oznaczyć stratę po prażeniu wg PN-78/B-04301 p.2.3.

2.2.8.2. Obliczanie wyników. Ciepło rozpuszczania cementu nieuwodnionego X_2 należy obliczyć w J/g wg wzoru

$$X_2 = \frac{C - T_3}{m_2} - 0,8/T - t/$$

w którym:

- m_2 - masa odważonego cementu przeliczona na substancję wyprażoną, g,
- C - pojemność cieplna kalorymetru, obliczona wg 2.2.6.4., J/g,
- T_3 - skorygowany wzrost temperatury w okresie rozpuszczania, obliczony wg 2.2.6.4., $^{\circ}\text{C}$,
- T - temperatura otoczenia w czasie wykonywania pomiaru, $^{\circ}\text{C}$,

t - temperatura roztworu w kalorymetrze po zakończeniu pomiaru, °C
0,8 - ciepło właściwe cementu nieuwodnionego, J/g.

2.2.8.3. Wynik. Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną wyników dwóch oznaczeń. Dopuszczalna różnica między wynikami nie powinna przekraczać 10 J/g.

2.2.9. Obliczanie ciepła uwodnienia. Ciepło uwodnienia cementu X_3 należy obliczyć w J/g wg wzoru

$$X_3 = X_2 - X_1$$

w którym:

X_2 - ciepło rozpuszczania cementu nieuwodnionego wg 2.2.8.2., J/g,

X_1 - ciepło rozpuszczania cementu uwodnionego wg 2.2.7.3., J/g.

K O N I E C

Informacje dodatkowe

INFORMACJE DODATKOWE

1. Instytucja opracowująca normę - Instytut Przemysłu Wiążących Materiałów Budowlanych.

2. Istotne zmiany w stosunku do BN-63/6730-02 i BN-70/6731-13

a/ wprowadzono jednostki SI;

b/ uproszczono sposób obliczania ciepła uwodnienia cementu oznaczonego metodą rozpuszczenia.

3. Normy związane

PN-76/B-06000 Cement. Pobieranie próbek

PN-78/B-04301 Cement. Metody badań. Analiza chemiczna

4. Normy zagraniczne

Niemcy DIN 1164 Blatt 8 Portland-, Eisenportland-, Hochofen und Trassezement. Bestimmung der Hydratationswärme mit dem Lösungskalorimeter

USA ASTM C 188 Heat of hydration cement

Anglia BS 4248 Specification for Supersulphated cement

5. Autor projektu normy - inż. Stanisław Błach - Instytut Przemysłu Wiążących Materiałów Budowlanych.

1. PRZYKŁAD OBLICZANIA WYNIKÓWOTRZYMANÝCH METODĄ KALORYMETRII RÓŻNICOWEJ1.1. Dane wg metryki kalorymetru:

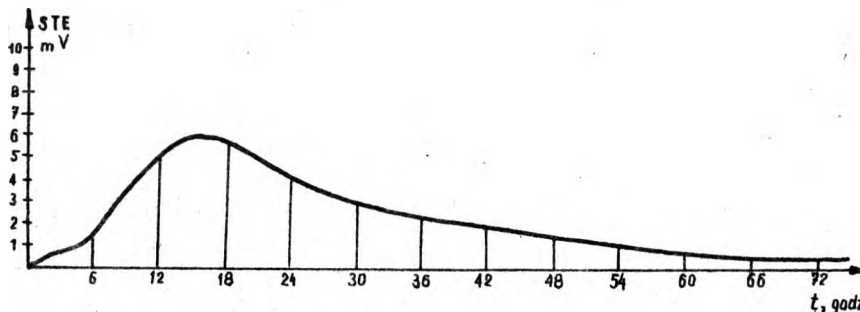
Pojemność kalorymetru pustego	- k_p - 774,5 J/mV
Współczynnik strat ciepłych	- $\alpha^x/$ - 4,288 + 0,0118 J/mV.min.
Współczynnik wyrażający stosunek różnicy temperatur /°C/ do siły termoelektrycznej /STE/ różnicowo połączonego termostatu /mV/	- g - 1,18°C/mV

$x/$ W metryce przyrządu podana jest wartość współczynnika α z poprawką na przyrost temperatury. W przypadku niewielkiej różnicy temperatur, rzędu kilku stopni, przy zalecanej w normie dokładności oznaczania, należy przyjąć wartość współczynnika α bez poprawki.

1.2. Dane wynikające z obliczeń:

Pojemność cieplna zaprawy, obliczona jako suma iloczynów masy i ciepła właściwego składników wchodzących w skład zaprawy	- k_z - 1145,8 J/°C
Pojemność cieplna naczynia, obliczona jako iloczyn masy - 163,0 g i ciepła właściwego żelaza - 0,454 J/g	- k_n - 74,0 J/°C
Pojemność cieplna korka, obliczona jako iloczyn masy - 54,1 g i ciepła właściwego gumy - 1,47 J/g	- k_k - 79,5 J/°C

1.3. Poglądowy wykres siły termoelektrycznej /STE/ w funkcji czasu /t/ dla przedstawionego przykładu badania



Wartość siły termoelektrycznej /STE/ po 72 h badania

$$Q_{72} - 0,90 \text{ mV}$$

Dla ułatwienia planimetrowania powierzchni zawartej między krzywą siły STE a osią czasu, wyznaczono sześciogodzinne przedziały czasowe. Otrzymane w ten sposób powierzchnie splanimetrowano oddzielnie i zsumowano.

Powierzchnia po 72 h badania

$$S_{72} - 648,8 \text{ cm}^2$$

1.4. Obliczanie wyników:

$$x_{72} = \frac{[k_p + /k_z + k_n + k_k/ \cdot g]}{167} \cdot Q_{72} + 14,4 \cdot \alpha \cdot s_{72}$$

$$x_{72} = \frac{[774,5 + /1145,8 + 74,0 + 79,5/ \cdot 1,18]}{167} \cdot 0,90 + 14,4 \cdot 4,288 \cdot 648,8 =$$

$$= 252,3 \text{ J/g}$$

2. PRZYKŁAD OBLICZANIA WYNIKÓW
OTRZYMANÝCH METODĄ POMIARU CIEPŁA ROZPUSZCZANIA

2.1. Pojemność cieplna kalorymetru /C/

min	°C	O b l i c z e n i e	
0	t ₀ = 0,272	masa ZnO	m = 7,0025 g
		temperatura otoczenia	T = 22,3°C
10	t ₁₀ = 0,320	temperatura roztworu po zakończeniu pomiaru	t = 24,3°C
		T ₁ = /4,605 - 0,320/ + 2/4,605 - 4,580/ = 4,285 + 0,050 = = 4,335°C	
30	t ₃₀ = 4,605	C = $\frac{7,0025}{4,335} [/1075,6 + 0,4/30 - 24,3/ + 0,50/22,3 - 24,3/] =$ + 1,6153/1075,6 + 2,28 - 1/ = 1,653 · 1076,88 = 1739 J/g	
40	t ₄₀ = 4,580		

2.2. Ciepło rozpuszczania cementu uwodnionego po 7 dniach twardnienia /X₁/

min	°C	O b l i c z e n i e	
0	t ₀ = 0,058	masa cementu	= 4,1750 g
		strata po prażeniu	= 28,2%
		m ₁ = 2,9976	
		T = 19,6°C	
10	t ₁₀ = 0,068	t = 23,4°C	
		T ₂ = /3,802 - 0,068/ + 2/3,802 - 3,785/ = 3,734 + 0,034 = = 3,768	
30	t ₃₀ = 3,802	X ₁ = $\frac{1739 \cdot 3,768}{2,9976} - 1,7/19,6 - 23,4/ = 2185,93 + 6,46 =$ = 2192,39 J/g	
40	t ₄₀ = 3,785		

2.3. Ciepło rozpuszczania cementu niewodnionego /X₂/

min	°C	O b l i c z e n i e	
0	t ₀ = 0,323	masa cementu	= 3,0206 g
		strata po prażeniu	= 1,25%
		m ₂	= 2,9828
		T	= 19,4°C
		t	= 24,0°C
10	t ₁₀ = 0,343		
		T ₃ = /4,391 - 0,343/ + 2/4,391 - 4,370/ = 4,048 + 0,042 =	
		= 4,090°C	
30	t ₃₀ = 4,391	X ₂ = $\frac{1739 \cdot 4,090}{2,9828} - 0,8/19,4 - 24,0/ = 2384,50 + 3,68 =$	
		= 2388 J/g	
40	t ₄₀ = 4,370		

2.4. Ciepło uwodnienia cementu po 7 dniach twardnienia /X₃/

$$X_3 = X_2 - X_1 = 2388 - 2192 = 196 \text{ J/g}$$