ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLASKIEJ 2004
Seria: BUDOWNICTWO z. 102 Nr kol. 1644

Paweł KRAUSE*
Politechnika Śląska

TEMPERATURY TWARDNIENIA BETONU W OSŁONACH TERMOIZOLACYJNYCH W WARUNKACH ZIMOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki wybranych badań eksperymentalnych, mających na celu określenie pól temperatury w próbkach betonowych twardniejących w niskich temperaturach otoczenia. Wykazano, że zastosowanie osłon termoizolacyjnych zapewnia uzyskanie właściwych warunków twardnienia betonu w ujemnych temperaturach otoczenia.

HARDENING TEMPERATURES OF CONCRETE UNDER THERMOINSULATION COVER DURING WINTER ENVIRONMENT

Summary. Results of experimental research on kinetics of heat hydratation of concrete are analysed and presented in the paper. The samples of cement concrete were cured in winter conditions. The kinetic characteristics were defined on the bases of measurements of temperatures in specified places like: concrete-cover zone and between cover and external environment.

1. Wprowadzenie

Prowadzenie robót betonowych w niskich temperaturach otoczenia wymaga przyjęcia odmiennych technologii, a także innego doboru składu mieszanki betonowej w porównaniu z letnimi warunkami twardnienia betonu. Ujemne temperatury otoczenia sprawiają, iż istotnym czynnikiem wpływającym na egzotermię tworzyw cementowych są warunki wymiany ciepła pomiędzy twardniejącym elementem betonowym a środowiskiem zewnętrznym. Podjęty temat dotyczy próby ograniczenia wpływu ujemnych temperatur na twardniejący beton poprzez zastosowanie osłon termoizolacyjnych. Rozwiązanie przedstawionego problemu wymagało przeprowadzenia analizy wpływu czynników materiałowo-technologicznych na twardnienie betonu w warunkach zimowych.

*Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Janusz Szwabowski

W pracach [5,6] wykazano, że najistotniejszy wpływ na zjawiska cieplne towarzyszące hydratacji spoiw cementowych mają: temperatura otoczenia, opór termiczny osłony, geometria elementu oraz kaloryczność cementu. Niniejsza praca przedstawia wyniki badań wpływu tych czynników w ujęciu eksperymentalnym. Rozważania teoretyczne przedstawianego zagadnienia napotykają na szereg trudności, związanych przede wszystkim z określeniem zmiennych w czasie wielkości fizycznych betonu (λ,c_w). Ze względu na możliwość sterowania parametrami środowiska zewnętrznego założono przeprowadzenie badań w skali laboratoryjnej. Przedstawione wyniki stanowią fragment szerszych badań wpływu czynników materiałowo-technologicznych na warunki twardnienia betonu, uwzględniające m.in. temperaturę początkową betonu, rodzaj i ilość cementu oraz stosunek w/c.

2. Zakres i metodyka badań

Celem badań jest określenie pola temperatury twardniejącego betonu w zależności od temperatury otoczenia, oporu cieplnego osłony oraz geometrii próbki. Punktem wyjścia do ustalenia programu badań były dane literaturowe, dotyczące rozpatrywanej tematyki [1,2,3,8] oraz przeprowadzone wstępne badania własne dojrzewającego betonu w osłonach termoizolacyjnych poprzedzające badania zasadnicze. Zakres badań programowych obejmuje pomiary temperatur w charakterystycznych punktach przekroju elementu: (temperatury jądra elementu betonowego, temperatury brzegowe na powierzchni wewnętrznej osłony termoizolacyjnej oraz temperatur na powierzchni zewnętrznej osłony, jak również temperatury środowiska zewnętrznego). Badaniom zostały poddane elementy betonowe o małej masywności (tab. 2).

Tabela 1

Skład mieszanki betonowej na 1000 dm^3

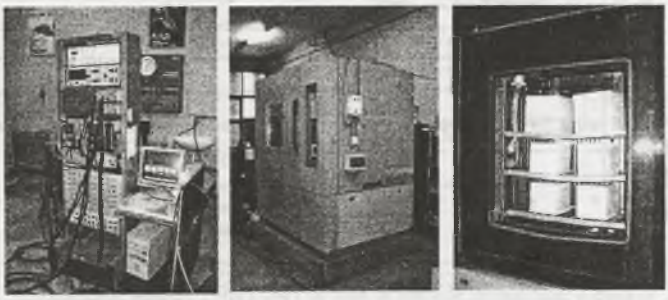
Cement CEM I 42,5	**Woda**	**Kruszywo**		
		Żwir otoczakowy 4 ÷ 8 mm	Żwir otoczakowy 8 ÷ 16 mm	Piasek płukany 0 ÷ 2 mm
450 kg	196 dm^3	612 kg	612 kg	524 kg

Tabela 2

Zestawienie badanych elementów betonowych

KSZTAŁT	WYMIAR [mm]	POLE POW. [m²]	OBJĘTOŚĆ [m³]	MODUŁ POWIERZCHNIOWY [1/m]
	150x150x150	0,135	0,0034	40,0
	300x300x300	0,540	0,0270	20,0
	75x450x750	0,855	0,0253	33,8
	75x450x750 150x150x150	0,945	0,0287	32,9

Podstawę do określenia warunków temperaturowych dla badań laboratoryjnych stanowiło ustalenie zakresu niskich temperatur, przy których można w sposób bezpieczny wykonywać roboty betonowe. W badaniach kierowano się praktyczną możliwością zastosowania odpowiednich osłon termoizolacyjnych, jak również uwzględniono występujące warunki klimatyczne. Wobec powyższego w badaniach przyjęto temperaturę -15^0C jako minimalną temperaturę otoczenia i zastosowano pięć typów osłon termoizolacyjnych, wykonanych na bazie polistyrenu ekspandowanego o grubościach od 20 do 100 mm oraz oporach cieplnych odpowiednio 0,50-2,50 m^2K/W. Badania pól temperatury realizowano przy zastosowaniu średniogabarytowych komór mrozu. Regulację temperatury prowadzono za pomocą programatora. Komora współpracowała z automatycznym stanowiskiem pomiarowym ASP-1, przesyłając wyniki do komputera PC (rys. 1). Pomiary temperatur wykonywane były za pomocą czujników temperatur typu Pt 100. Próbki betonowe w osłonach termicznych umieszczono na ruszcie metalowym w celu równomiernego ich ochładzania poprzez opływające zimne powietrze.

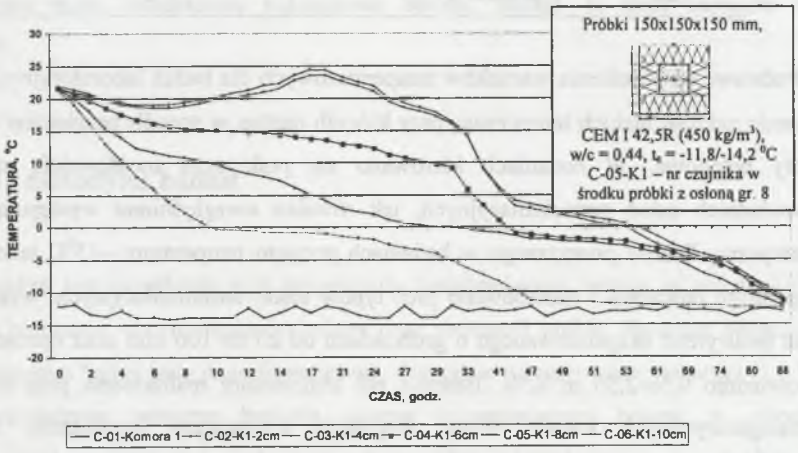


Rys. 1. Widok ASP1, komory mrozu oraz próbek w osłonach termoizolacyjnych
Fig. 1. View of the ASP1 frost chamber and concrete samples under thermoinsulation covers

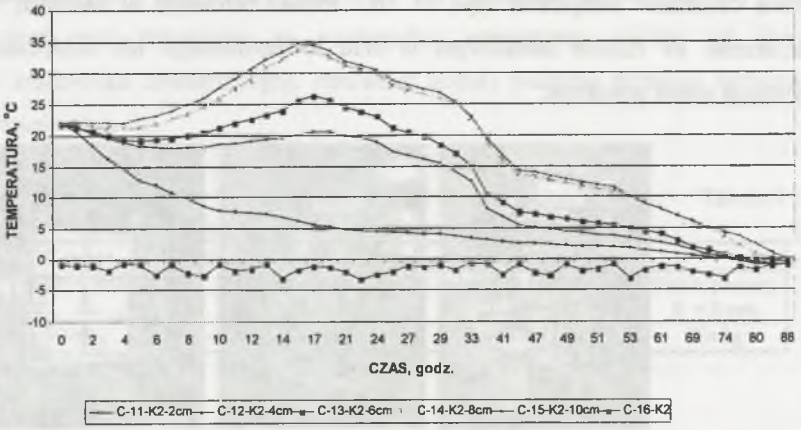
3. Wyniki badań i ich analiza

3.1. Wpływ oporu cieplnego osłony

Wyniki badań wskazują, iż szybkość zmian wydzielania ciepła dojrzewającego betonu w osłonach termoizolacyjnych istotnie zależy od oporu cieplnego osłony, wielkości i geometrii badanego elementu oraz temperatury początkowej mieszanki. W przypadku zwiększania oporu cieplnego deskowania obserwujemy wzrost temperatury twardnienia wybranych próbek przy równoczesnym opóźnieniu wyrównywania temperatury betonu z otoczeniem (rys. 2-3). Na wykresach przedstawiono pomiary temperatur twardnienia w środku badanych próbek.



Rys. 2. Wpływ oporu cieplnego osłony na temperatury twardnienia betonu – komora nr 1
Fig. 2. Influence of the cover's thermal resistance on temperatures of the concrete in Chamber no 1



Rys. 3. Wpływ oporu cieplnego osłony na temperatury twardnienia betonu – komora nr 2
Fig. 3. Influence of the cover's thermal resistance on temperatures of the concrete in Chamber no 2

Tabela 3

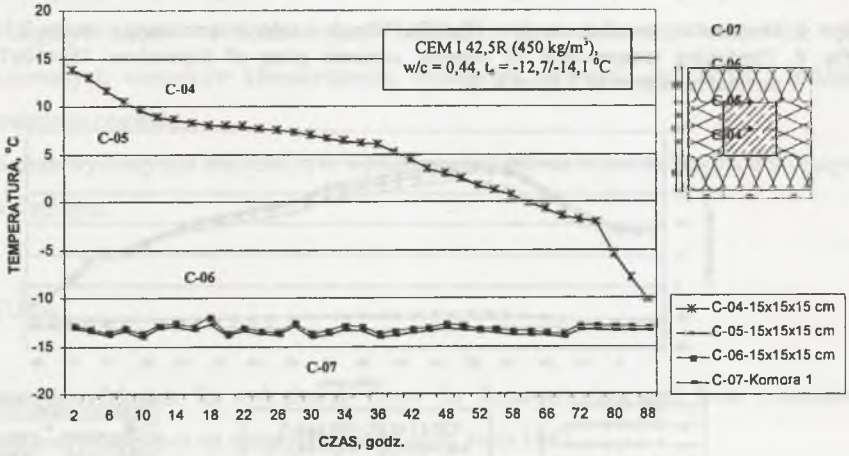
Zestawienie oporów cieplnych zastosowanych osłon betonu

	Nr czujnika									
	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15
	Opór cieplny osłony termoizolacyjnej [m²K/W]									
	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50

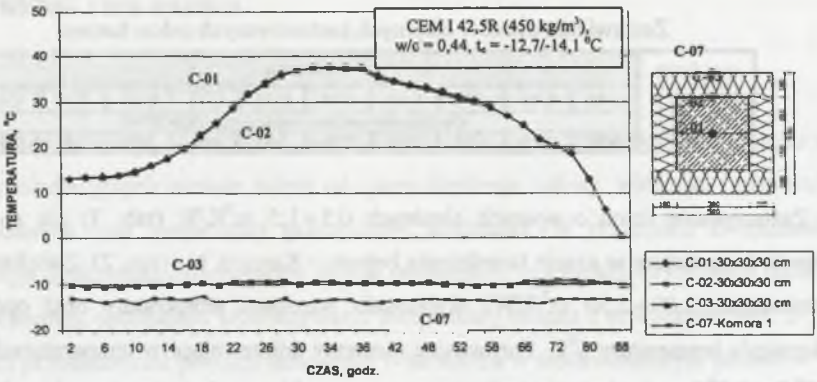
Zastosowanie osłon o oporach cieplnych 0,5÷1,5 m^2K/W (tab. 3) nie spowodowało wzrostu temperatury w czasie twardnienia betonu – Komora 1 – (rys. 2). Zwiększenie oporu termicznego (2,00÷2,50 m^2K/W) skutkowało wzrostem temperatury oraz opóźniło czas osiągnięcia temperatury 0^0C. Porównując elementy dojrzewające w temperaturach otoczenia $-0,7^0C \div -3,3^0C$ stwierdzono wyraźne różnice w uzyskiwanych temperaturach maksymalnych. Czasy osiągnięcia temperatury 0^0C różniły się maksymalnie o 63 h (rys. 3).

3.2. Wpływ geometrii próbki

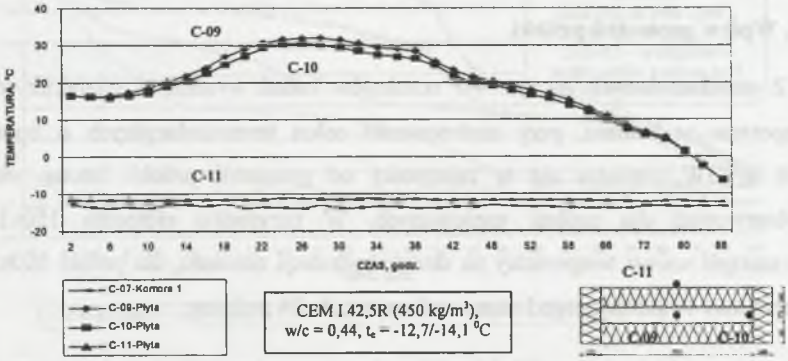
Z przedstawionych na rys. 4-7 rezultatów badań wynika, iż charakter rozkładów pól temperatur w betonie, przy zastosowaniu osłon termoizolacyjnych o oporze cieplnym 2,50 m^2K/W, zmienia się w zależności od geometrii próbki. Istotne różnice można zaobserwować dla próbek sześciennych. W przypadku elementu 150x150x150 mm nie nastąpił wzrost temperatury na skutek hydratacji cementu, dla próbki 300x300x300 mm temperatura twardniejącego betonu rosła przez ok. 34 godziny.



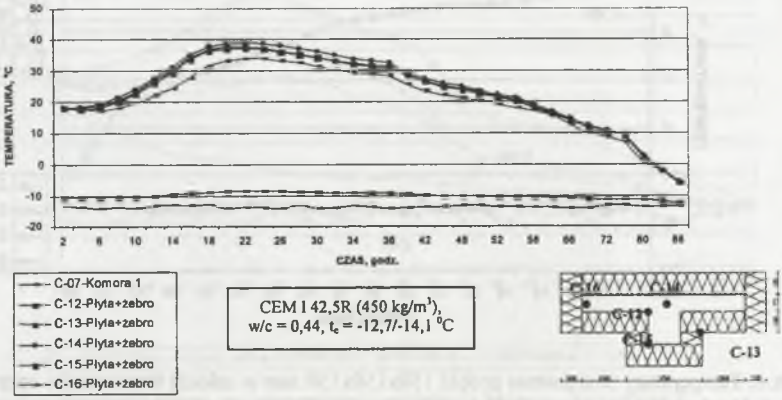
Rys.4. Temperatury twardnienia próbki 150x150x150 mm w osłonie termicznej o oporze 2,50 m^2K/W
Fig.4. Hardening temperatures of covered concrete of dimensions 150x150x150mm and with thermal resistance (t.r.) of 2,50 m^2K/W



Rys. 5. Temperatury twardnienia próbki 300x300x300 mm w osłonie termicznej o oporze 2,50 m^2K/W
Fig. 5. Hardening temperatures of covered concrete sample of dimensions 300x300x300mm and thermal resistance of 2,50 m^2K/W



Rys. 6. Temperatury twardnienia płyty 75x450x750 mm w osłonie termicznej o oporze 2,50 m^2K/W
Fig. 6. Hardening temperatures of covered concrete plate of dimensions 75x450x750mm and thermal resistance of 2,50 m^2K/W



Rys. 7. Temperatury twardnienia płyty z żebrem w osłonie termicznej o oporze 2,50 m^2K/W
Fig. 7. Hardening temperatures of ribbed concrete plate under cover with t.r. of 2,50 m^2K/W

Tabela 4
Maksymalne różnice temperatur w próbkach betonowych

KSZTAŁT	WYMIAR [mm]	Δt_{max} [K]
	150x150x150	0,1
	300x300x300	0,5
	75x450x750	2,1
	75x450x750 150x150x150	6,1

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz ich analiz stwierdzono, że:

- zastosowanie osłon termoizolacyjnych może być skuteczną metodą ochrony betonu przed działaniem mrozu i umożliwia zapewnienie właściwych warunków dojrzewania betonu,
- różnice temperatur pomiędzy jądrem a brzegiem betonu w badanych próbkach sześciennych są nieznaczne i nie przekraczają 0,5 K. W przypadku elementów płytowych różnice temperatur wynoszą 2,1 ÷ 6,1 K w zależności od geometrii badanych próbek,
- opór cieplny osłony termoizolacyjnej powinien być dobierany stosownie do prognozowanych warunków klimatycznych, wymiarów elementu oraz ilości i rodzaju zastosowanego cementu,
- im mniejsze wymiary ma element, tym wymagana jest osłona termoizolacyjna o wyższym oporze cieplnym.

LITERATURA

1. Jonasson M.: Models for calculating times for form-stripping and frost protection, International conference on concrete of early ages, Paris 1982.
2. Kiernożycki W.: Betonowe konstrukcje masywne. Polski Cement, Kraków 2003.
3. Kirchner G.: Vorschlag zum Ermitteln von Temperaturverläufen infolge Hydratationswärme. Beton-und Stahlbetonbau 89, Heft 7, 1994.

4. Klemczak B, Krause P.: Betonowanie przy niskiej temperaturze otoczenia – badania i symulacje MES. Maszynopis, Gliwice 2004.
5. Krause P.: Egzotermia mieszanki betonowej w osłonie termoizolacyjnej. III Konferencja Doktorantów Wydziałów Budownictwa, Wisła 21-22. 11. 2002.
6. Krause P.: Charakterystyki termiczne twardniejącego betonu. IV Konferencja Doktorantów Wydziałów Budownictwa, Wisła 20-21. 11. 2003.
7. Krause P.: Rozkłady temperatur w twardniejącym betonie. Politechnika Śląska, Praca BW–424/RB-4/03.
8. Neville A.M.: Właściwości betonu, Wyd. 4, Polski Cement, Kraków 2000.

Recenzent: Dr. hab. inż. Włodzimierz Kiernożycki, prof. Pol. Szczecińskiej