

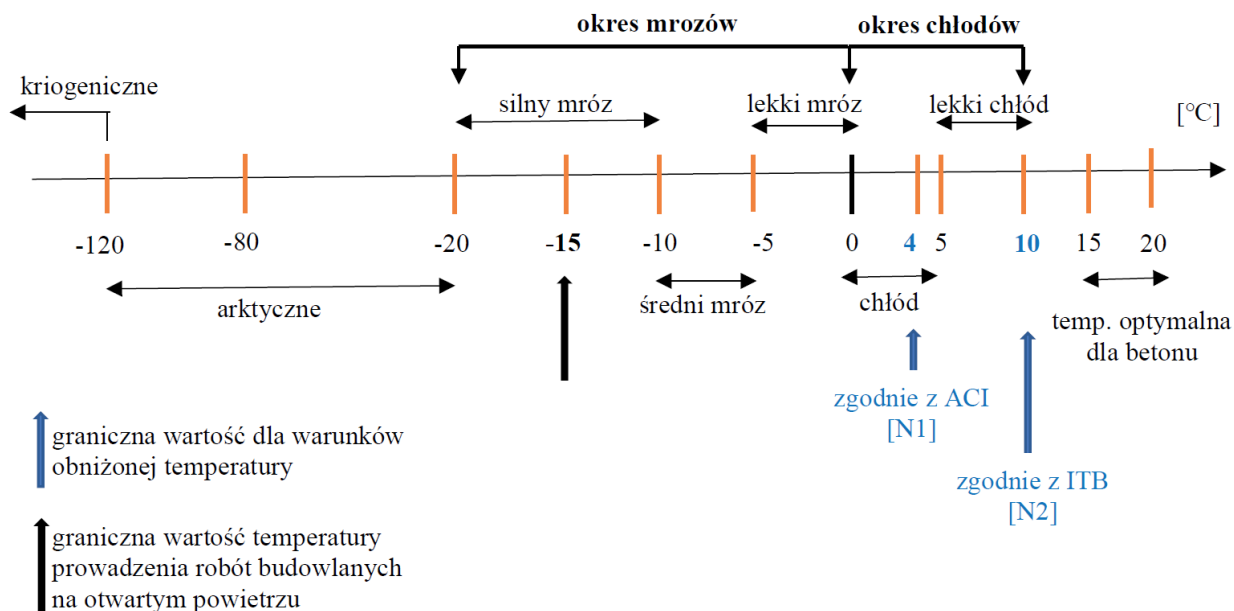
Ochrona i pielęgnacja betonu w warunkach obniżonej temperatury

Prowadzenie robót betonowych w okresie jesienno-zimowym, wymaga dostosowania każdego z etapów tych prac, do warunków obniżonej temperatury. W przypadku wykonywania elementów żelbetowych wymagane jest podjęcie odpowiednich zabiegów pielęgnacyjnych, zapewniających wystarczające warunki dojrzewania betonu.



Fot. K. Owczarska

Wykonanie elementów żelbetowych, w warunkach obniżonej temperatury, wymaga zastosowania specjalnych zabiegów, aby zapewnić prawidłowe dojrzewanie betonu. Wagę tego zagadnienia poruszono w [N1] precyzując, iż za proces pielęgnacji betonu odpowiedzialni są wszyscy członkowie procesu inwestycyjnego, tj. projektant, generalny wykonawca, inwestor, dostawca betonu i pozostałych materiałów specjalistycznych oraz laboratorium. Co ważne, zanim wystąpią niekorzystne warunki atmosferyczne, należy odpowiednio wcześniej ustalić szczegółowy program prac i zabiegów, mających na celu zapewnienie odpowiedniej pielęgnacji betonu [1], z ustaleniem osób odpowiedzialnych za dany obszar.



Rys. 1. Systematyzacja stosowanej terminologii, w odniesieniu do obniżonej temperatury (opracowanie autorki)

Klasyfikacja warunków obniżonej temperatury

Najkorzystniejsza temperatura wiązania betonu i rozwoju jego wytrzymałości na ściskanie, mieści się w przedziale 15–20°C. W niższych następuje spowolnienie wiązania betonu, co jest szczególnie zauważalne po przekroczeniu temperatury 10°C. Poniżej 0°C, proces hydratacji zostaje praktycznie zatrzymany. W związku z powyższym, zgodnie z [N2] okres, w którym średnia temperatura otoczenia jest niższa niż 10°, uznano za okres obniżonej temperatury.

W przypadku, gdy średnia temperatura dobową utrzymuje się przez 3 kolejne doby poniżej 10°C, należy stosować zasady prowadzenia prac w warunkach obniżonej temperatury. Natomiast, gdy średnia dobową temperatura powietrza wynosi 5°C, należy to traktować jako graniczną wartość, a beton chronić przed utratą ciepła. W publikacji [2] zamieszczono podział na okres chłódów, gdy temperatura otoczenia wynosi 0–10°C oraz mrozów, gdy spada poniżej 0°C. W pracy [3] przedstawiono bardziej szczegółowy podział. W literaturze spotkać można również określenie temperatura arktyczna (lub polarna) wynosząca około -80°C [4, 5]. Ponadto w publikacjach, szczególnie zagranicznych, pojawia się także pojęcie temperatury kriogenicznej (ang. cryogenic temperature) lub ekstremalnie niskiej [6, 7, 8]. Niestety, jest ono używane także, jako ogólne pojęcie odnoszące się do warunków obniżonej temperatury. Autorka zwraca uwagę na rozbieżność nazewnictwa, stosowanego w klasyfikacjach polskich [2, 3] oraz zagranicznych publikacjach. Na rys. 1 przedstawiono wykonaną przez autorkę systematyzację, stosowanego w literaturze nazewnictwa.

Wpływ obniżonej temperatury na dojrzewanie betonu

Faza dojrzewania betonu składa się z wiązania i twardnienia. Efektem działania obniżonej temperatury na dojrzewający beton jest [3]:

- opóźnienie początku wiązania,
- wydłużenie czasu wiązania,
- spowolnienie tempa procesu twardnienia.

Początkowy etap fazy dojrzewania nazwać można wczesnym dojrzewaniem. Wpływ obniżonej temperatury na ten etap został opisany w pracy [9]. Wyróżniono trzy niebezpieczne okresy wczesnego dojrzewania, różniące się mechanizmami i skutkami zaistnienia.

I. Czas przed rozpoczęciem wiązania

W betonie, który zamarzł przed początkiem wiązania, znajduje się zamarznięta woda zarobowa. Wynikiem tego jest niedobór wody, co powoduje opóźnienie lub zatrzymanie procesu hydratacji. Dzięki temu nie

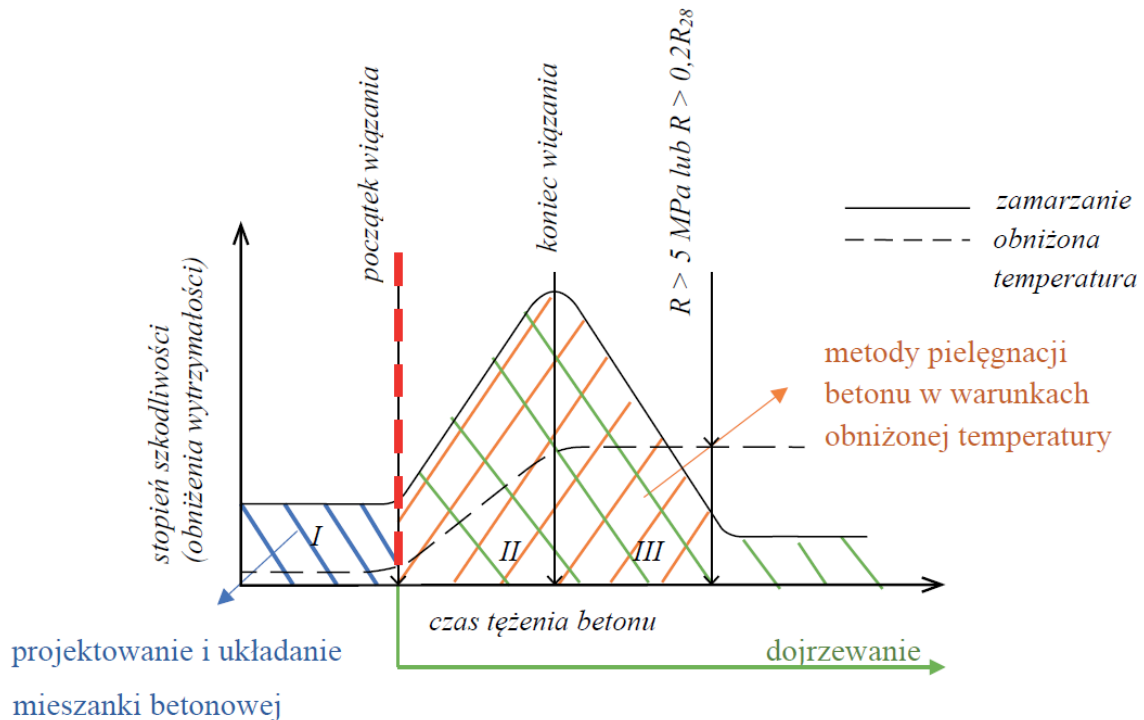
dochodzi do zniszczenia struktury betonu. Po odmarznięciu mieszanki betonowej należy ją bezwzględnie zawibrować, aby usunąć dodatkowe pory, powstałe w procesie zamarzania wody.

II. Okres pomiędzy początkiem i końcem wiązania

Jest to najbardziej niebezpieczny okres dla osiągnięcia wytrzymałości projektowej. Następuje zniszczenie świeżych produktów hydratacji cementu i im później nastąpi zamrażnięcie, tym będą one większe.

III. Okres od zakończenia wiązania do momentu uzyskania przez beton wytrzymałości bezpiecznej

Po zakończonym procesie wiązania betonu, zamrażnięciu może ulec woda, pozostała po procesie hydratacji. Jest to tym mniej szkodliwe dla betonu, im później nastąpiło zamrażnięcie. Twardnienie betonu zostaje zahamowane do czasu odmarznięcia. Zniszczeniu ulega jednak mikrostruktura betonu, co powoduje spadek jego wytrzymałości końcowej.



Rys. 2. Stopień szkodliwości wpływu obniżonej temperatury na beton, w wyróżnionych okresach wczesnego dojrzwania (opracowanie autorki na podstawie [11-13])

Oddziaływanie obniżonej temperatury na beton ma wpływ na jego właściwości techniczne, w tym mechaniczne. Wpływ ujemnych temperatur na młody beton jest w każdym przypadku szkodliwy, choć szkodliwość ta ma różny stopień [10]. Na rys. 2 zaznaczono stopień szkodliwości wpływu obniżonej temperatury, w odniesieniu do wyróżnionych, niebezpiecznych okresów wczesnego dojrzwania. W

pierwszym okresie (obszar zaznaczony na niebiesko) szczególne znaczenie ma odpowiednie zaprojektowanie i ułożenie mieszanki betonowej. Drugi i trzeci okres to wczesna faza dojrzwania betonu (obszar zaznaczony na pomarańczowo), kiedy należy skorzystać z metod jego pielęgnacji, w warunkach obniżonej temperatury.



Rys. 3. Etapy wykonywania monolitycznej konstrukcji żelbetowej (opracowanie autorki)

Wykonywanie konstrukcji monolitycznej na placu budowy jest ściśle związane z wymogami projektu budowlanego, wykonawczego i zazwyczaj składa się z kilku podstawowych etapów. Na rys. 3 zaznaczono czynności, przy wykonywaniu których, konieczne jest uwzględnienie wpływu obniżonej temperatury, podczas realizacji konstrukcji żelbetowej monolitycznej.

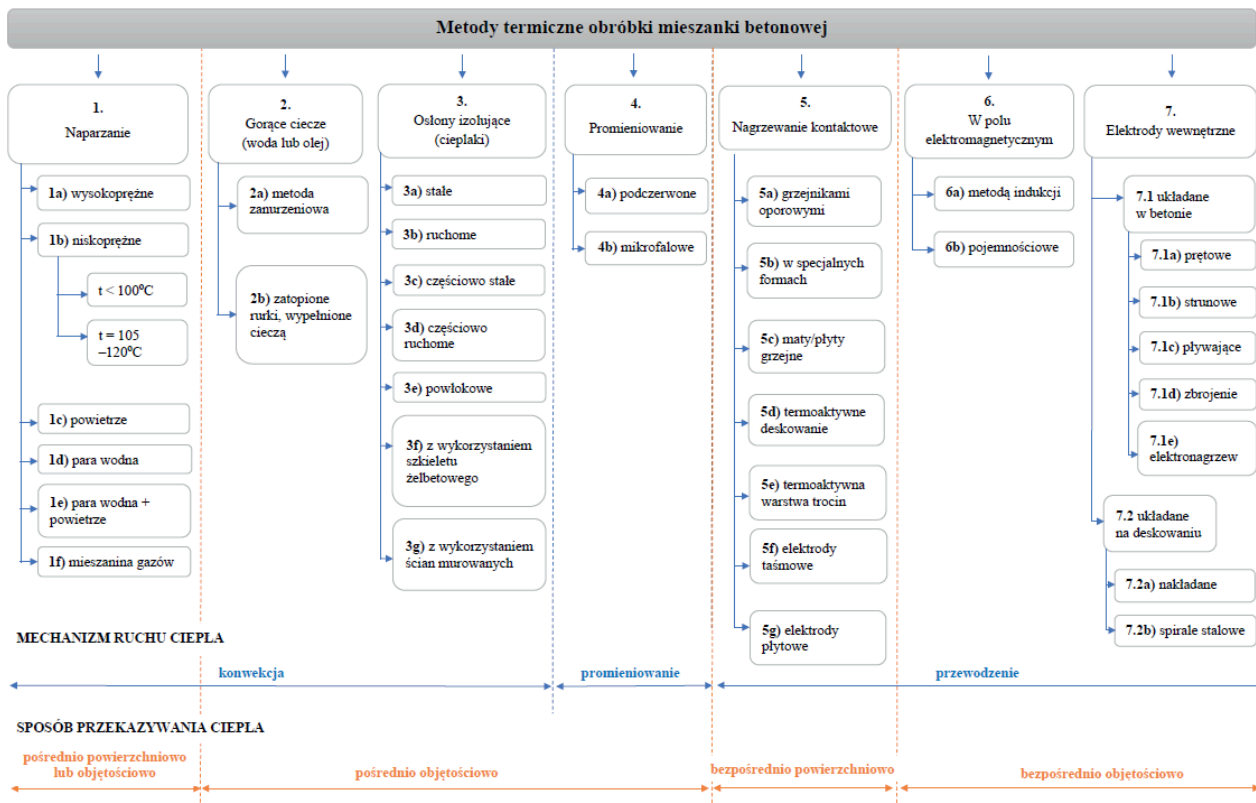
Jak wynika z rys. 3, uwzględnienie wpływu obniżonej temperatury jest konieczne na każdym etapie realizacji żelbetowej konstrukcji monolitycznej. W całym tym procesie, kluczowym zagadnieniem jest pielęgnacja świeżo ułożonej mieszanki betonowej. Odpowiednie zaplanowanie i realizacja tej ochrony, decyduje o kolejnych etapach robót, możliwości ich rozpoczęcia oraz może mieć wpływ na właściwości końcowe betonu w konstrukcji.

Metody pielęgnacji betonu w warunkach obniżonej temperatury

Wyróżnia się następujące metody, pozwalające na wykonywanie robót żelbetowych, w warunkach obniżonej temperatury:

- wymagające dostarczania ciepła z zewnątrz – w literaturze spotykane jest nazewnictwo „metody termiczne”,
- bez dostarczania ciepła z zewnątrz – analogicznie można nazwać tę grupę „metody nietermiczne” (propozycja autorki),
 - kombinacja powyższych metod.

Autorską klasyfikację metod termicznych, będącą efektem obszernej analizy literatury, przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Autorska klasyfikacja metod termicznych obróbki mieszanki betonowej (opracowanie autorki)

PODSUMOWANIE

Konkludując, ochrona betonu w warunkach obniżonej temperatury, zwłaszcza we wczesnej fazie dojrzewania, stanowi bezwzględną konieczność. W pracy [14] stwierdzono, że niezbędne jest pełne zrozumienie wpływu temperatury na materiały betonowe i właściwości konstrukcyjne, aby zagwarantować bezpieczeństwo konstrukcji inżynierskiej, w różnych środowiskach. Ponadto w [N1] wskazano jasno, iż planując wykonywanie robót żelbetowych w okresie obniżonej temperatury, należy szczegółowo przeanalizować koszty zabiegów pielęgnacyjnych oraz czas, o który może wydłużyć się planowane przedsięwzięcie. Warunki obniżonej temperatury mogą być czynnikiem ryzyka w szacowaniu czasu wykonania robót budowlanych [15]. Powinno to zostać szczegółowo opisane już na etapie planowania inwestycji, aby zabezpieczyć odpowiednie środki finansowe, materiałowe oraz kadrowe.

NORMY

- N1. ACI PRC-306-16 Guide to Cold Weather Concreting.
- N2. Instrukcja ITB nr 282/2020, Zespół autorski pod kierunkiem Romana Gajownika, Wykonywanie robót budowlanych w okresie obniżonej temperatury, Instytut Techniki Budowlanej.

LITERATURA

1. Woyciechowski P., Jackiewicz-Rek W., Pielęgnacja betonu, Materiały Budowlane, nr 12/2013, s. 29–30.
2. Wrochna S., Materiały budowlane i technologia betonów, część III: Technologia betonów i zapraw, Wojskowa Akademia Techniczna, 1984.
3. Jamroży Z., Beton i jego technologie, Warszawa, 2005.
4. Wirquin E., Broda M., Duthoit B., Determination of the apparent activation energy of one concrete by calorimetric and mechanical means: Influence of a superplasticizer, Cement and Concrete Research, 32(8), 1207-1213, 2002.
5. Yan J.-B., Xie W., Zhang L., Lin X.-C., Bond behaviour of concrete-filled steel tubes at the Arctic low temperatures, Construction and Building Materials, Volume 210, 2019, s. 118–131.
6. Jiang Z., He B., Zhu X., Ren Q., Zhang Y., State-of-the-art review on properties evolution and deterioration mechanism of concrete at cryogenic temperature, Construction and Building Materials, Volume 257, 2020.

7. Kogbara R.B., Iyengar S.R., Grasley Z.C., Masad E.A., Zollinger D.G., A review of concrete properties at cryogenic temperatures, *Construction and Building Materials*, Volume 47, 2013, s. 760-770.
8. Yan J.-B., Geng Y., Luo Y., Zhao B., Wang T., Double skin composite beams at Arctic low temperatures: Numerical and analytical studies, *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 193, 2022.
9. Bukowski B., *Technologia betonu. Budownictwo betonowe – tom I, część 1, Spoiwo, kruszywa, woda*, Arkady, Warszawa, 1963.
10. Mazur B., Kotwa A., Influence of Low Temperature on Concrete Properties, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 471 032026, 2019.
11. Pawelska-Mazur M., Warunki betonowania w obniżonych temperaturach, na przykładzie Pomorza, *Przegląd Budowlany*, nr 11/2011, s. 25-29.
12. Woyciechowski P., Chudan A., Metody i środki pielęgnacji betonu w formach i „in situ”, XVII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 20-23 lutego 2002.
13. Woyciechowski P., Jackiewicz-Rek W., Pielęgnacja betonu – metody i zasady, XXXIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, t. II, s. 141-200, Szczyrk, 2018.
14. Jin L., Zhang R., Du X., Liu J., Research progress on the influence of temperature on the mechanical performance of concrete structures, *Tumu Gongcheng Xuebao/China Civil Engineering Journal*, 54(3):1-18, 2021.
15. Kaczorek K., Kulejewski J., Ibadov N., Szacowanie czasu wykonania robót budowlanych z uwzględnieniem wzajemnego oddziaływania czynników ryzyka, *Materiały Budowlane*, nr 10/2018, s. 55-58.

mgr inż. Kamila Owczarska

Artykuł zamieszczony w "Przewodniku Projektanta" nr 4/2023



DOSTĘP DLA CZYTELNIKÓW

PO ZAMÓWIENIU
www.inzynierbudownictwa.pl/sklep

DOSTĘP DLA CZŁONKÓW PIIB

PO ZALOGOWANIU
www.portal.piib.org.pl