

Problem prowadzenia robót monolitycznych (betonowania) w warunkach obniżonej temperatury pojawia się wraz z nadejściem okresu jesienno-zimowego. Za warunki obniżonej temperatury zgodnie z wytycznymi zawartymi w instrukcji ITB nr 282/2011, uznaje się czas, gdy średnia temperatura dobowa jest niższa niż 10°C. Najwięcej problemów przysparza jednak okres ujemnych temperatur. Betonowania nie powinno się prowadzić, gdy temperatura otoczenia spadnie poniżej -15°C. Wielu inwestorów i wykonawców nie jest świadomych ryzyka, jakie niesie za sobą nieodpowiednie przygotowanie do prowadzenia robót monolitycznych w warunkach zimowych.

Najbardziej narażony na negatywne oddziaływanie ujemnych temperatur jest młody beton.

GŁÓWNYMI ZAGROŻENIAMI W OKRESIE OBNIŻONYCH TEMPERATUR SĄ:

- ▶ **SPOWOLNIENIE PROCESÓW WIĄZANIA I TWARDNIENIA BETONU – NISKA TEMPERATURA SPOWALNIA PRZEBIEG PROCESU HYDRATAcji CEMENTU, WYDŁUŻENIU ULEGA CZAS WIĄZANIA CEMENTU, PRZEZ CO OPÓŹNIA SIĘ PROCES NARASTANIA WYTRZYMAŁOŚCI BETONU W KONSTRUKCJI. W BARDZO NISKICH TEMPERATURACH MOŻE NASTĄPIĆ CAŁKOWITE ZATRZYMANIE PROCESU HYDRATAcji,**
- ▶ **USZKODZENIE POWSTAŁEJ MIKROSTRUKTURY BETONU PRZEZ ZAMARZAJĄCĄ WODĘ – ZWIĘKSZAJĄCA SWOJĄ OBJĘTOŚĆ ZAMARZAJĄCA WODA ROZRYWA SŁABE WIĄZANIA POWSTAJĄCE W POCZĄTKOWYM OKRESIE PROCESU HYDRATAcji, POWODUJĄC ZNISZCZENIE STRUKTURY MŁODEGO BETONU, PRZEZ CO STWARDNIAŁY BETON CHARAKTERYZUJE SIĘ OBNIŻONĄ WYTRZYMAŁOŚCIĄ I TRWAŁOŚCIĄ.**

Aby zapewnić skuteczną ochronę przed niską temperaturą konieczne jest wcześniejsze przygotowanie odpowiedniej receptury mieszanki betonowej (rodzaj i ilość cementu, odpowiedni dobór domieszek chemicznych oraz dodatków, wielkość współczynnika w/c). Należy ponadto odpowiednio zaplanować harmonogram realizacji (przebieg robót budowlanych), z uwzględnieniem wytycznych dla sposobu układania mieszanki betonowej oraz pielęgnacji betonu po wbudowaniu.

Wg normy PN-EN 206:2014 "Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność" temperatura mieszanki betonowej podczas zabudowy nie powinna być niższa niż 5°C (rys. 1). Zachowanie temperatury mieszanki na poziomie powyżej 5°C pozwala uniknąć ryzyka zamarznięcia wody w mieszance. Niemniej ważne jest uzyskanie przez młody beton minimalnej wytrzymałości na ściskanie, zanim ulegnie on pierwszemu zamarznięciu. Naprężenia powstające wskutek zwiększania objętości przez zamarzającą wodę mają charakter naprężeń rozciągających. Gdy ich wartość przekroczy granicę wytrzymałości matrycy cementowej, dochodzi do rozerwania powstałych wiązań.



Rys. 1. Minimalna temperatura mieszanki betonowej

Odporność betonu na tego typu oddziaływania można podzielić na dwie grupy:

1. odporność pełną – beton narażony na bezpośrednie działanie czynników zewnętrznych (opady deszczu, śnieg, ujemna temperatura) powinien przed pierwszym zamarznięciem osiągnąć wytrzymałość co najmniej 5 MPa dla betonów z cementów CEM I, minimum 8 MPa dla betonów z cementami CEM II, CEM IV i CEM V oraz minimum 10 MPa dla betonów z cementów hutniczych CEM III,
2. odporność warunkową – beton nienarażony na bezpośrednie działanie czynników zewnętrznych (beton osłonięty lub pod daszeniem) powinien przed pierwszym zamarznięciem osiągnąć wytrzymałość co najmniej 5 MPa, bez względu na rodzaj zastosowanego cementu.

Spełnienie przedstawionych wytycznych wymaga odpowiedniego przygotowania mieszanki betonowej, producenci betonu dążą do tego, aby węzły betoniarskie wyposażone były w instalacje do podgrzewania kruszywa i/lub wody. Podgrzewanie wody zarobowej jest łatwiejsze i trwa krócej, a często może być zabiegiem wystarczającym dla uzyskania odpowiedniej temperatury mieszanki betonowej. Do wyznaczenia temperatury mieszanki betonowej można użyć wzoru:

$$t_b = \frac{c \cdot (z \cdot t_z + f \cdot t_f + g \cdot t_g) + c_w \cdot w \cdot t_w}{c \cdot (z + f + g) + c_w \cdot w}$$

gdzie: t_b – temperatura mieszanki betonowej;

t_z – temperatura cementu;

t_f – temperatura popiołu;

t_g – temperatura kruszywa;

t_w – temperatura wody;

z – ilość cementu [kg/m^3];

f – ilość popiołu [kg/m^3];

g – ilość kruszywa [kg/m^3];

w – ilość wody [kg/m^3];

c_w – ciepło właściwe wody $\left[4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right]$

c – ciepło właściwe cementu, popiołu i kruszywa $\left[0,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right]$

Można również orientacyjnie wyznaczyć temperaturę mieszanki na podstawie tabeli 1, w zależności od temperatury składników.

Tabela 1. Temperatura mieszanki betonowej w zależności od temperatury kruszywa i wody

| Temperatura kruszywa [°C] | Temperatura wody [°C] | | | | | | | | |
|---------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| | Osiągnięta temperatura mieszanki betonowej [°C] | | | | | | | | |
| 5 | 5 | 6 | 9 | 11 | 14 | 16 | 19 | 22 | 24 |
| 10 | 8 | 9 | 12 | 15 | 17 | 20 | 22 | 25 | 27 |
| 15 | 11 | 13 | 15 | 18 | 21 | 23 | 26 | 28 | 31 |
| 20 | 15 | 16 | 19 | 21 | 24 | 26 | 29 | 31 | 34 |
| 30 | 21 | 23 | 25 | 28 | 30 | 33 | 35 | 38 | 40 |

Kruszywo w betonie zajmuje ok. 70% – 80% objętości, więc jego temperatura w największym stopniu przekłada się na temperaturę mieszanki betonowej. Najprostszym sposobem zwiększenia temperatury kruszywa jest podgrzewanie go ciepłym powietrzem, które wprowadza się poprzez system rur ułożonych pod pryzmą kruszywa. Innym sposobem jest stosowanie nadmuchu pary wodnej. W okresie zimowym należy ponadto unikać zawilgocenia i przemarzania kruszywa.

Proces podgrzewania składników betonu musi przebiegać z uwzględnieniem wytycznych dotyczących maksymalnych temperatur poszczególnych składników:

- ▶ maksymalna temperatura wody $<60^\circ\text{C}$ lub dozowanej bezpośrednio na kruszywo $<80^\circ\text{C}$,
- ▶ maksymalna temperatura kruszywa $<50^\circ\text{C}$.

W okresie niskich temperatur zaleca się:

- stosowanie cementów wyższych klas wytrzymałościowych, np. 42,5 i 52,5,
- stosowanie cementów o wyższej zawartości klinkieru cementowego, np. CEM I i CEM II,
- zwiększenie udziału cementu (o 5-10%) w składzie mieszanki betonowej (więcej cementu - więcej ciepła z hydratacji).

W okresie obniżonych temperatur można stosować także odpowiednie domieszki chemiczne w składzie betonu. Są to głównie domieszki o działaniu obniżającym temperaturę zamarzania wody, przyspieszające wiązanie cementu i redukujące ilość wody (plastyfikatory i superplastyfikatory):

- domieszki obniżające temperaturę zamarzania wody w betonie – domieszki na bazie soli bezchlorkowych, umożliwiające obniżenie temperatury zamarzania wody w betonie o kilka stopni, woda w betonie bez domieszki zamarza w temperaturze od -1°C do -3°C ,
- domieszki przyspieszające wiązanie – zwiększają początkową szybkość reakcji zachodzących między składnikami cementu a wodą w zaczynie cementowym, ich stosowanie ma na celu uzyskanie w krótkim okresie czasu minimalnej wytrzymałości betonu, zapewniającej odporność na pierwsze zamarznięcie,
- domieszki redukujące ilość wody zarobowej – stosując plastyfikatory lub superplastyfikatory można uzyskać kilka efektów w postaci:
 - zmniejszenia ilości wody, która może zamarznąć,
 - zwiększenia stężenia soli w wodzie obniżających temperaturę jej zamarzania,
 - zwiększenia wytrzymałości betonu, a tym samym odporności na destrukcyjne działanie zamarzającej wody.

Stosowanie kombinacji domieszek (przyspieszających, redukujących ilość wody) pozwala na optymalne dostosowanie właściwości mieszanki betonowej i betonu do warunków otoczenia w trakcie wykonywania prac budowlanych. Bardzo ważne jest odpowiednie przygotowanie procesu betonowania, grunt, podbudowa, deskowanie, podobnie jak zbrojenie, nie mogą być pokryte warstwą śniegu lub lodu (rys. 2). Zamarznięta na powierzchni deskowania lub zbrojenia woda, wpływa na lokalne zmiany współczynnika w/c, a tym samym pogarsza właściwości betonu. Grunt lub deskowanie powinno mieć temperaturę, która nie spowoduje zamarzania młodego betonu przed osiągnięciem przez niego wytrzymałości, zapewniającej odporność na zamarzanie. Podczas układania betonu zaleca się ponadto jego ochronę przed opadami atmosferycznymi.



Rys. 2. Błędy zabudowy mieszanki betonowej – oblodzone zbrojenie

Pielęgnacja betonu jest jednym z najważniejszych etapów prowadzenia robót monolitycznych. Prawidłowe kształtowanie warunków dojrzewania betonu zapewnia osiągnięcie założonych właściwości betonu. Pielęgnację należy rozpocząć niezwłocznie po ułożeniu i zagęszczeniu mieszanki betonowej. Odpowiednia pielęgnacja betonu zależy od szeregu czynników, takich jak: temperatura otoczenia, opady atmosferyczne, wiatr, masywność betonu, receptura betonu, itp. W warunkach obniżonych temperatur należy przede wszystkim zapewnić ochronę betonu przed utratą ciepła.

W tym celu stosuje się następujące metody:

- metoda zachowania ciepła – wykorzystuje ciepło zakumulowane w kruszywie i wodzie oraz ciepło wydzielone podczas reakcji hydratacji cementu, dodatkowo należy stosować osłony i izolacje (rys. 3a) w celu wyeliminowania strat ciepła,
- metoda podgrzewania betonu – podgrzewanie ciepłym powietrzem (rys. 3b), parą niskoprężną lub za pomocą instalacji elektrycznej (rys. 3c), metodę stosuje się w celu przyspieszenia procesów wiązania i twardnienia betonu, aby móc prowadzić dalsze prace budowlane lub gdy konieczny jest wcześniejszy demontaż deskowań, stosowanie tej metody może wiązać się z ryzykiem przegrzania betonu lub jego przesuszenia, co w efekcie prowadzi do powstania wysokiego gradientu temperatur, a w konsekwencji do spękania betonu,
- metoda cieplaków – stosowanie osłon, które całkowicie izolują beton, ograniczając straty ciepła, a także chronią przed czynnikami zewnętrznymi (rys. 3d), pozwalają na stworzenie dowolnych warunków dojrzewania betonu, metoda ta jest najskuteczniejsza, ale również kosztowna.

W każdej z tych metod należy zwracać szczególną uwagę na kontrolę stanu wilgotności betonu.



Rys. 3. Metody pielęgnacji betonu w obniżonych temperaturach

Przed podjęciem decyzji o rozpoczęciu prac budowlanych w warunkach obniżonych temperatur należy wziąć pod uwagę szereg czynników. Oprócz kryteriów technologicznych – sposobie wbudowania i pielęgnacji betonu - należy pamiętać również o kadrze technicznej. Uświadomienie pracowników o zagrożeniach pojawiających się podczas betonowania w obniżonych temperaturach pomaga sprawnie przeprowadzić prace budowlane bez konieczności ich przerywania. W okresie obniżonych temperatur zachodzi potrzeba zaostrzenia kontroli jakości robót. Kontrola powinna obejmować przede wszystkim te fazy wykonywania robót, które decydują o bezpieczeństwie konstrukcji na etapie wznoszenia oraz o zachowaniu wymagań określonych w projekcie, normach lub warunkach technicznych wykonania i odbioru robót. Wykonawca robót powinien mieć świadomość, że wykonywanie monolitycznych elementów konstrukcyjnych w warunkach obniżonych temperatur jest czasochłonne, kosztowne i trudne technologicznie.

