

Z uwagi na klimat Polski, szczególnym zagrożeniem dla konstrukcji betonowych jest niszczące działanie mrozu. W okresach obniżonych temperatur cykliczne zamrażanie i odmrażanie wody, wywołane częstym przejściem temperatury przez 0°C w cyklu dobowym, prowadzi do zniszczenia niewłaściwie zaprojektowanego i wykonanego betonu. Klasa ekspozycji XF w normie PN-EN 206 „Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność” charakteryzuje oddziaływanie środowiska z uwagi na zamrażanie/rozmarzanie – tabela 1.

Tabela 1. Klasy ekspozycji XF wg PN-EN 206

Oznaczenie klasy	Opis środowiska
XF1	Umiarkowane nasycenie wodą
XF2	Umiarkowane nasycenie wodą ze środkami odladzającymi
XF3	Silne nasycenie wodą bez środków odladzających
XF4	Silne nasycenie wodą ze środkami odladzającymi

Zgodnie z zapisem normy PN-EN 206 beton został zaprojektowany jako mrozoodporny, jeżeli w danej klasie ekspozycji spełni warunki co do składu i właściwości, podanych w tabeli 2.

Tabela 2. Wymagania dla klas ekspozycji XF wg PN-EN 206

Właściwość	Klasy ekspozycji wg PN-EN 206			
	XF1	XF2	XF3	XF4
Maksymalne w/c	0,55	0,55	0,5	0,45
Min. ilość cementu [kg/m <sup>3</sup> ]	300	300	320	340
Min. klasa betonu	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37
Min. napowietrzenie [%]	-	4,0	4,0	4,0

Uwaga: w klasach ekspozycji XF należy stosować kruszywo mrozoodporne

Norma PN-EN 206 nie definiuje metodyki badań mrozoodporności i kryteriów jej oceny. W celu określenia odporności betonu na działanie cyklicznego zmarzania/rozmarzania konieczne jest skorzystanie z zapisów krajowych norm i specyfikacji technicznych np. PN-B-06265 „Krajowe uzupełnienie PN-EN 206:2014 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność” (w przygotowaniu). Norma PN-B-06265 podaje metodykę badania mrozoodporności oraz kryteria oceny na podstawie których definiuje klasy i kategorie mrozoodporności.

## PODZIAŁ METOD BADANIA MROZODPORNOŚCI BETONU

Tworząc podział metod badania mrozoodporności należy uwzględnić dwa kryteria:

- charakter metody badawczej – bezpośredni lub pośredni
- rodzaj mrozoodporności betonu – wewnętrzna lub zewnętrzna

**Charakter bezpośredni** polega na poddaniu próbki obciążeniu o charakterze zbliżonym do oddziaływań atmosferycznych w okresach obniżonych temperatur. Badaniu może podlegać cała próbka lub określona powierzchnia próbki.

**Charakter pośredni** polega na ocenie wybranej właściwości betonu, której zależność z mrozoodpornością betonu została potwierdzona.

**Mrozoodporność wewnętrzna betonu** definiowana jest na podstawie ewentualnych mikro- i makropęknięć betonu, spowodowanych powstaniem naprężeń, które lokalnie przekraczają wytrzymałość na rozciąganie. Oceniana jest na podstawie spadku wytrzymałości lub dynamicznego modułu sprężystości.

**Mrozoodporność powierzchniowa betonu** oceniana jest na podstawie ubytku masy złączzonego materiału z powierzchni badanej próbki.

## METODY BADANIA MROZODPORNOŚCI

### Badanie odporności betonu na działanie mrozu wg PN-B-06265 tzw. „metoda zwykła”

Badanie polega na weryfikacji zaprojektowanego stopnia mrozoodporności (F) betonu. Stopień mrozoodporności betonu odpowiada wskaźnikowi N, który jest równy liczbie przewidywanych lat użytkowania konstrukcji – tabela 3. Metoda ta pozwala na uwzględnienie zarówno stopnia wewnętrznego zniszczenia betonu, charakteryzowanego przez wytrzymałość próbki, jak również destrukcję zewnętrzną, określaną wizualnie i poprzez ubytek masy próbki. Stopień mrozoodporności betonu jest osiągnięty, jeżeli po wymaganej w jego symbolu liczbie cykli zamrażania/odmrażania próbek betonowych, spełnione zostaną następujące warunki:

- próbki nie wykazują pęknięć,
- łączna masa ubytków betonu w postaci zniszczonych narożników i krawędzi, odprysków, itp. nie przekracza 5% masy próbek przed rozpoczęciem cykli zamrażania/odmrażania,
- obniżenie wytrzymałości na ściskanie w stosunku do wytrzymałości próbek niezamrażanych nie jest większe niż 20%.

Tabela 3. Stopnie mrozoodporności betonu

Wskaźnik N	Stopień mrozoodporności
do 25	F25
26 ÷ 50	F50
51 ÷ 75	F75
76 ÷ 100	F100
101 ÷ 150	F150
151 ÷ 200	F200
ponad 200	F300

Opis metody badania mrozoodporności betonu na działanie mrozu zgodnie z PN-B-06265 przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Procedura badania mrozoodporności wg PN-B-06265 tzw. „metoda zwykła”

Badanie odporności betonu na działanie mrozu wg PN-88/B-06265 - Metoda zwykła	
Zasada metody	Cykle zamrażania-odmrażania polegają na kolejnym zamrażaniu całej próbki w powietrzu i odmrażaniu jej w wodzie, a okres trwania pełnego cyklu wynosi co najmniej 6 godzin.
Rodzaj, liczba i sposób przechowywania próbek	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Próbki o kształcie sześciennym lub walcowe, jak do badania wytrzymałości na ściskanie lub próbki o kształcie regularnym wycięte z konstrukcji lub wyrobu (minimalny wymiar boku/średnicy próbki wynosi 100 mm)</li> <li>• Ilość próbek pochodzących z jednej partii betonu – 12 szt.</li> <li>• Warunki przechowywania: temp. <math>18 \pm 2^\circ\text{C}</math>, wilgotność względna powietrza <math>&gt; 90\%</math>.</li> </ul>
Wykonanie badania	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Badanie należy rozpocząć od wcześniejszego nasycenia wszystkich próbek wodą. Czas nasycania nie powinien być krótszy niż 7 dni.</li> <li>2. Sześć próbek pozostaje w wodzie w temp. <math>18 \pm 2^\circ\text{C}</math> przez cały czas badania.</li> <li>3. Drugi zestaw próbek (6 szt.) należy, po otarciu z wody, zważyć z dokładnością do 0,2%. Zamrażanie odbywa się w powietrzu w temperaturze <math>-18 \pm 2^\circ\text{C}</math> i trwa co najmniej 4 h. Odmrażanie próbek w wodzie o temp. <math>+18 \pm 2^\circ\text{C}</math> – czas <math>2 \div 4</math> h.</li> <li>4. Po ostatnim cyklu zamrażania-odmrażania dokonuje się ważenia próbek oraz badania wytrzymałości na ściskanie.</li> </ol>

Tabela 4. c.d.

Obliczenie wyników	Średni ubytek masy próbek po badaniu- $\Delta G$ :
	$\Delta G = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100\%$
	$G_1$ – średnia masa próbek przed ich pierwszym zamrażaniem w stanie nasyconym wodą [kg]
	$G_2$ – średnia masa próbek po ich ostatnim odmrażaniu w stanie nasycenia wodą [kg]
	Średni spadek wytrzymałości próbek po badaniu - $\Delta R$ :
$\Delta R = \frac{R_1 - R_2}{R_1} \times 100\%$	
$R_1$ – śr. wytrzymałość na ściskanie próbek porównawczych-niezamrażanych nasyconych wodą [MPa]	
$R_2$ – śr. wytrzymałość na ściskanie próbek badanych, po ostatnim odmrażaniu nasyconych wodą [MPa]	

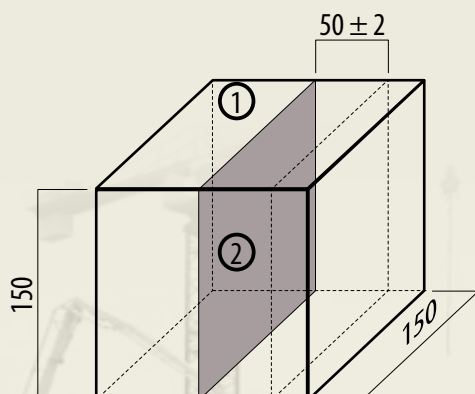
Komorę z próbkami w trakcie badania mrozoodporności betonu metodą zwykłą PN-B-06265 przedstawiono na rys.1



Rys.1. Komora z próbkami podczas badania mrozoodporności zwykłej PN-B-06265

#### **Badanie odporności betonu na cykliczne zamrażanie-odmrażanie wg PN-B-06265 tzw. „metoda powierzchniowa” i PKN-CEN/TS 12390-9:2007 tzw. „Slab test”**

Badanie polega na poddaniu powierzchni próbki, pokrytej 3 mm warstwą dejonizowanej wody lub 3% roztworu NaCl, 56 cyklom zamrażania/rozmarzania. Powierzchnia badana uzyskana jest z przecięcia próbki sześcienniej o boku 150 mm (rys. 2). Odporność betonu jest oceniana na podstawie łącznej masy materiału złuszczonego po 56 cyklu. Opis metody badania mrozoodporności powierzchniowej betonu w obecności soli odladzających, zgodnie z PN-B-06265 i PKN-CEN/TS 12390-9:2007 "Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling", przedstawiono w tabeli 5.

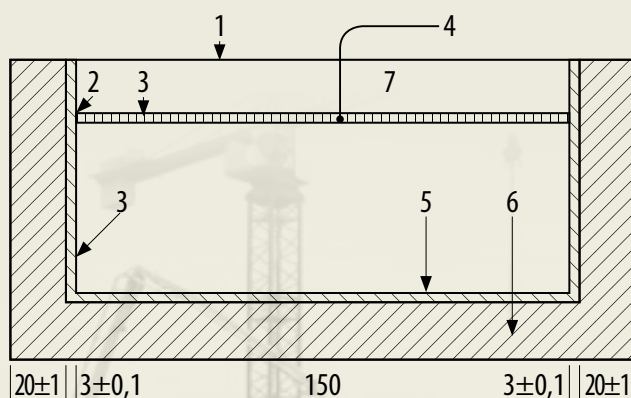


1. Górna powierzchnia formowana
2. Powierzchnia badana

Rys. 2. Położenie badanej próbki oraz badanej powierzchni próbki

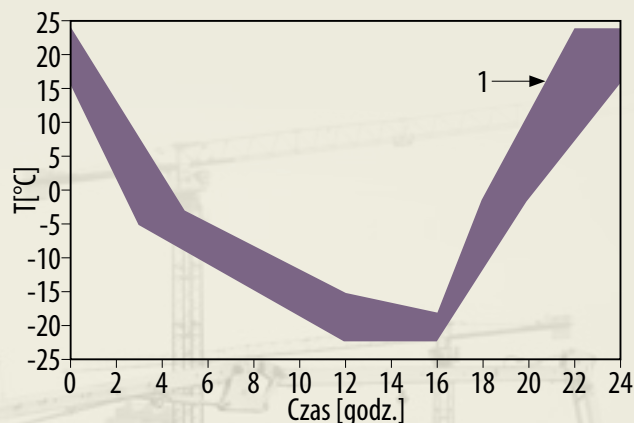
Tabela 5. Procedura badania mrozoodporności wg PN-88/B-06250 i PKN-CEN/TS 12390-9:2007

Badanie odporności betonu na cykliczne zamrażanie-odmrażanie w obecności soli odładzających wg PN-88/B-06250 i PKN-CEN/TS 12390-9:2007	
Zasada metody	Poddanie powierzchni próbki uzyskanej z przecięcia prostopadle do kierunku formowania, zamrażaniu i rozmrażaniu w obecności warstwy o grubości 3 mm dejonizowanej wody lub 3% roztworu chlorku sodu (NaCl).
Rodzaj, liczba i sposób przechowywania próbek	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wymiar próbki: 150×150×150 mm</li> <li>• Liczba próbek: 4 szt.</li> <li>• Warunki przechowywania:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- w formie przez pierwsze 24 ± 2 h,</li> <li>- 7 dni w wodzie o temp. 20 ± 2°C,</li> <li>- od 7 do 21 dni w komorze klimatycznej .</li> </ul> </li> <li>• Po 21 dniach wycina się z każdej kostki próbkę o grubości 50 ± 2 mm</li> <li>• Po 25 dniach ± 1 dzień - próbka, z wyjątkiem powierzchni ciętej, jest izolowana materiałem wodoszczelnym (rys.3)</li> <li>• Próbki, z wyjątkiem powierzchni ciętej, izoluje się termicznie styropianem o grubości 20 ± 1 mm. Zamiennie można stosować innym materiał lub inną grubość, ale o równoważnej izolacji cieplnej.</li> </ul>
Wykonanie badania	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Badanie rozpoczyna się, gdy wiek próbki osiągnie 28 dni. Próbki są nasącane wodą dejonizowaną o temp. 20 ± 2°C, przez czas 72 ± 2 h. Warstwa wody dejonizowanej powinna mieć grubość około 3 mm.</li> <li>2. Cykle zamrażania/odmrażania rozpoczynają się, gdy próbki mają 31 dni. Wodę dejonizowaną na powierzchni próbki zamienia się na warstwę roztworu zamrażalniczego o średniej grubości 3 mm.</li> <li>3. Cykl zamrażania/odmrażania przebiega zgodnie z wykresem przedstawionym na rys. 4.</li> <li>4. Po (7±1), (14±1), (28±1), (42±1) i 56 cyklach dokonuje się pomiaru masy materiału złuszczonego z badanej powierzchni.</li> </ol>
Obliczenie wyników	<p>Skumulowana ilość złuszczonego materiału na jednostkę powierzchni po n cyklach w kg/m<sup>2</sup> - S<sub>n</sub>:</p> $S_n = \frac{m_{s,n}}{A} \times 10^3$ <p>m<sub>s,n</sub> – łączna masa wysuszonego złuszczonego materiału po n cyklach zamrażania i rozmrażania,  A – pole powierzchni poddanej badaniu, wyliczone z pomiaru długości przed wykonaniem uszczelnienia, po zaokrągleniu do 100 mm<sup>2</sup></p>



1. folia polietylenowa
2. uszczelnienie
3. izolacja gumowa
4. czujnik temperatury
5. próbka
6. izolacja termiczna
7. 3% roztwór NaCl

Rys. 3. Przygotowanie próbki do badań



1. zakres temperatury na środku powierzchni badanej próbki

Rys. 4. Czas i temperatura zamrażanego roztworu w trakcie cyklu mierzona na środku powierzchni badanej próbki

Kryteria oceny odporności betonu na cykliczne zamrażanie – odmrażanie w obecności soli odładzających wg PN-EN 13877-2 "Nawierzchnie betonowe - Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych" podano w tabeli 6.

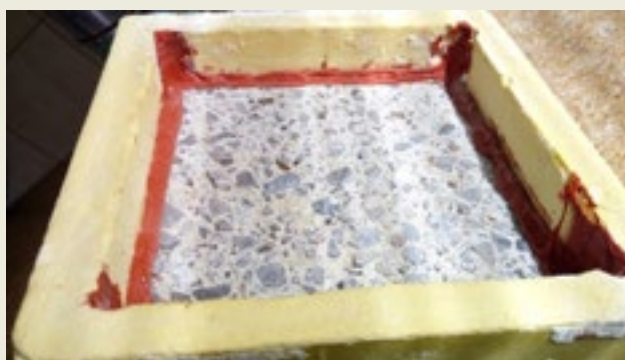
Tabela 6. Kryteria odporności próbek betonu na cykliczne zamrażanie-odmrażanie w obecności soli odładzających wg PN-EN 13877-2

Kategoria	Ubytek masy po 28 cyklach ( $m_{28}$ )	Ubytek masy po 56 cyklach ( $m_{56}$ )	Stopień ubytku $m_{56}/m_{28}$
FT0	brak wymagań	brak wymagań	brak wymagań
FT1	wartość średnia $\leq 1,0 \text{ kg/m}^2$ , przy czym żaden pojedynczy wynik $> 1,5 \text{ kg/m}^2$	brak wymagań	brak wymagań
FT2	średnia $\leq 0,5 \text{ kg/m}^2$	wartość średnia $\leq 1,0 \text{ kg/m}^2$ , przy czym żaden pojedynczy wynik $> 1,5 \text{ kg/m}^2$	$\leq 2$

Na rys. 5 przedstawiono próbki stwardniałego betonu podczas badania mrozodporności powierzchniowej, z kolei na rys. 6. próbkę betonu po zakończonym badaniu.



Rys. 5. Próbkę betonu podczas badania mrozodporności powierzchniowej



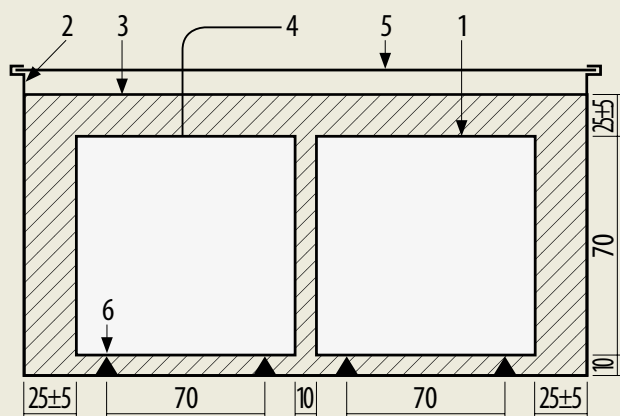
Rys. 6. Próbkę betonu po badaniu mrozodporności powierzchniowej

### Badanie mrozoodporności wg CEN/TS 12390-9:2007 metoda „Cube test”

Badanie polega na poddaniu próbek sześciennych betonu o boku 100 mm zanurzonych w dejonizowanej wodzie lub 3% roztworze NaCl 56 cyklom zamrażania-odmrażania. Procedurę badania wg CEN/TS 12390-9:2007 „Cube test” przedstawiono w tabeli 7.

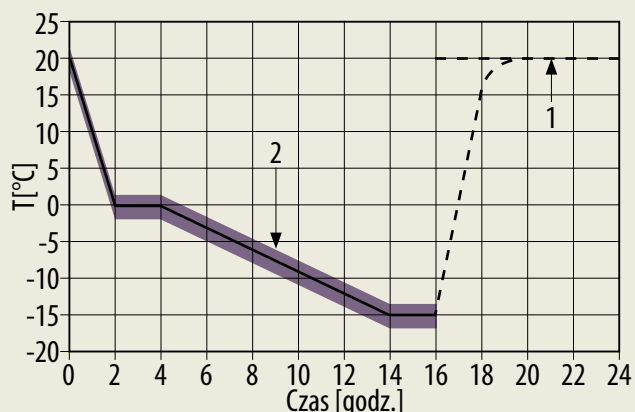
Tabela 7. Procedura badania mrozoodporności wg PKN-CEN/TS 12390-9:2007 „Cube test”

Badanie odporności betonu na cykliczne zamrażanie-odmrażanie wg CEN/TS 12390-9:2007 „Cube test”	
Zasada metody	Poddanie zamrażaniu i rozmrażaniu próbek zanurzonych w dejonizowanej wodzie lub 3% roztworze chlorku sodu (NaCl).
Rodzaj, liczba i sposób przechowywania próbek	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wymiar próbki: 100×100×100 mm</li> <li>Liczba próbek: 4 szt.</li> <li>Warunki przechowywania próbek:               <ul style="list-style-type: none"> <li>w formie przez pierwsze 24 ± 2 h</li> <li>do osiągnięcia wieku 7 dni w wodzie o temp. 20 ± 2°C</li> <li>następnie 20 dni w komorze klimatycznej w temp. 20 ± 2°C i parowaniu 45±15 g/(m<sup>2</sup>·h)</li> </ul> </li> </ul>
Wykonanie badania	<ol style="list-style-type: none"> <li>Badanie rozpoczyna się, gdy próbki osiągną wiek 27 dni.</li> <li>Po 27 dniach dokonuje się ważenia próbek, a następnie umieszcza w pojemnikach do badania mrozoodporności i zalewa się dejonizowaną wodą lub 3% roztworem chlorku sodu (NaCl) – rys. 7.</li> <li>Po 28 dniach dokonuje się kolejnego ważenia w celu określenia ilości zaabsorbowanego medium zamrażającego, następnie pojemniki z próbkami umieszcza się w zamrażarce i rozpoczyna się cykle zmrężania/rozmrażania.</li> <li>Cykl zamrażania/odmrażania przebiega zgodnie z wykresem przedstawionym na rys. 8.</li> <li>Po (7±1), (14±1), (28±1), (42±1) i 56 cyklach dokonuje się pomiaru masy materiału złuszczonego z badanych próbek.</li> </ol>
Obliczenie wyników	Skumulowana ilość złuszczonego materiału na jednostkę powierzchni po n cyklach, w % P: $P = \frac{m_{s,n}}{m_0} \times 100\%$ <p> <math>m_{s,n}</math> – łączna masa wysuszonego złuszczonego materiału po n cyklach zamrażania i rozmrażania,  <math>m_0</math> – masa 2 dwóch próbek w stanie powietrzno-suchym z jednego pojemnika w wieku 27 dni.         </p>



- Przesuwna pokrywka
- Kontener z próbkami
- Medium zamrażające
- Czujnik temperatury
- Próbka
- Izolacja termiczna

Rys. 7. Kontener z próbkami do badania

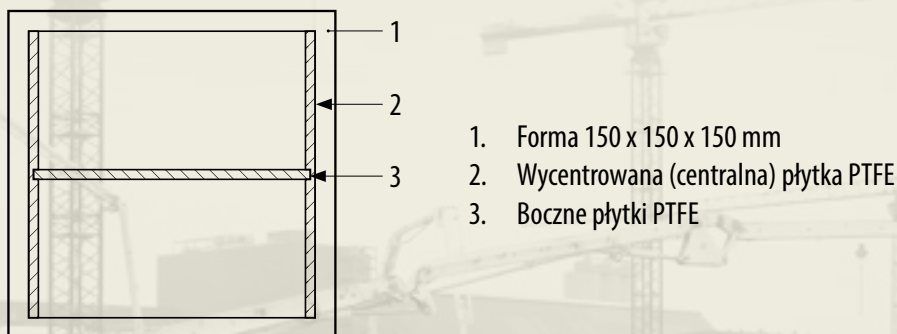


- Temperatura w kąpieli wodnej
- Temperatura w środku badanej próbki

Rys. 8. Wykres zmiany temperatury w czasie w środku badanej próbki

## Badanie mrozoodporności wg CEN/TS 12390-9:2007 metoda „CF/CDF”

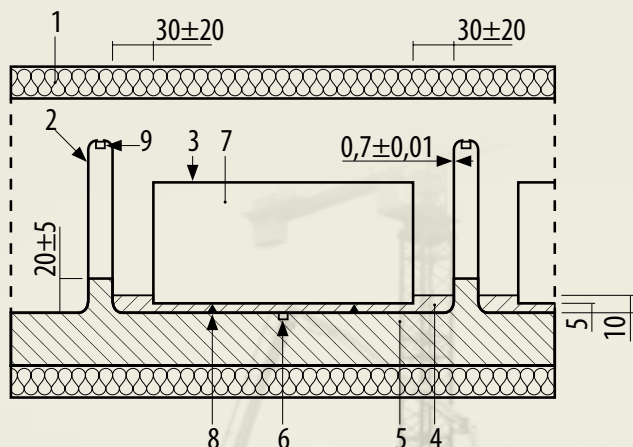
Badanie polega na poddaniu powierzchni próbki zanurzonej w dejonizowanej wodzie 56 cyklom zamrażania-rozmrażania (metoda CF) lub 3% roztworze chlorku sodu (NaCl) 28 cyklom zamrażania-rozmrażania (metoda CDF). Powierzchnia próbki uzyskana jest przez rozdzielenie formy sześcienniej o boku 150 mm przez centralnie umieszczoną w formie płytę PTFE (rys. 9). Mrozoodporność jest oceniana w oparciu o pomiar ubytku masy próbek po 28 cyklach zamrażania-rozmrażania z użyciem 3% roztworu NaCl (CDF-test) lub po 56 cyklach zamrażania-rozmrażania z użyciem dejonizowanej wody (CF-test).



Rys. 9. Układ płytek PTFE w formie

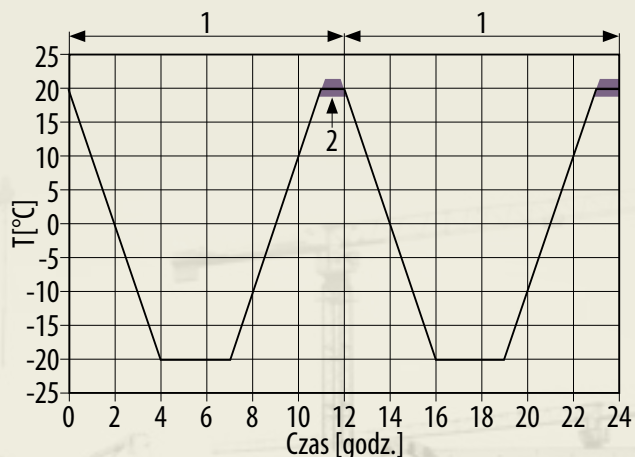
Tabela 8. Procedura badania mrozoodporności wg PKN-CEN/TS 12390-9:2007 metoda „CF/CDF”

Badanie odporności betonu na cykliczne zamrażanie-odmrażanie wg PKN-CEN/TS 12390-9:2007 metoda „CF/CDF”	
Zasada metody	Poddanie powierzchni próbki uzyskanej przez rozdzielenie formy sześcienniej o boku 150 mm przez centralnie umieszczoną w formie płytę PTFE, zamrażaniu i rozmrażaniu w obecności warstwy o grubości 3 mm dejonizowanej wody (metoda CF) lub 3% roztworu chlorku sodu (NaCl) (metoda CDF).
Rodzaj, liczba i sposób przechowywania próbek	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wymiar próbki:około 140×150×70 mm</li> <li>Liczba próbek: 5 szt.</li> <li>Warunki przechowywania próbek:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>w formie przez pierwsze 24 ± 2 h,</li> <li>następnie do osiągnięcia wieku 7 dni w wodzie o temp. 20 ± 2°C,</li> <li>następnie 21 dni w komorze klimatycznej w temp. 20 ± 2°C i parowaniu 45±15 g/(m<sup>2</sup>·h).</li> </ul> </li> <li>Pomiędzy 21 a 26 dniem po zaformowaniu boczne powierzchnie wszystkich próbek należy pokryć folią aluminiową przyklejoną gumą kauczukową butylową lub powinny być uszczelnione (zabezpieczone) nierozpuszczalnikową żywicą epoksydową</li> </ul>
Wykonanie badania	<ol style="list-style-type: none"> <li>Badanie rozpoczyna się, gdy wiek próbki osiągnie 28 dni.</li> <li>Po 28 dniach rozpoczyna się nasączenie próbek (rys. 10) dejonizowaną wodą lub 3% roztworem chlorku sodu. Nasączenie trwa 7 dni.</li> <li>Po 35 dniach próbki umieszcza się w komorze klimatycznej i rozpoczyna się cykle zamrażania/rozmrażania. Cykl zamrażania/odmrażania przebiega zgodnie z wykresem przedstawionym na rys.11.</li> <li>Po (4±1), (6±1), (14±1), i 28 cyklach zamrażania/rozmrażania dla CDF testu lub po (14±1), (28±1), (42±1), i 56 cyklach zamrażania/rozmrażania dla CF testu dokonuje się pomiaru masy materiału złuszczonego z badanej powierzchni.</li> </ol>
Obliczenie wyników	Skumulowana ilość złuszczonego materiału na jednostkę powierzchni po n cyklach w kg/m <sup>2</sup> - S <sub>n</sub> : $S_n = \frac{m_{s,n}}{A} \times 10^3$ m <sub>s,n</sub> – łączna masa wysuszonego złuszczonego materiału po n cyklach zamrażania i rozmrażania, A – pole powierzchni poddanej badaniu, wyliczone z pomiaru długości przed wykonaniem uszczelnienia, po zaokrągleniu do 100 mm <sup>2</sup>



1. Pokrywka komory
2. Kontener z próbkami
3. Boczne uszczelnienie
4. Mieszanina zamrażająca
5. Ciecz chłodząca
6. Punkt odniesienia pod środkiem kontenera w komorze
7. Próbka
8. Odstęp 5 mm
9. Wyposażenie do wyrodkowania kontenerów w komorze

Rys. 10. Kontener z próbkami do badania



1. Cykl zamrażania/rozmrażania
2. Temperatura mierzona w punkcie odniesienia (referencyjnym)

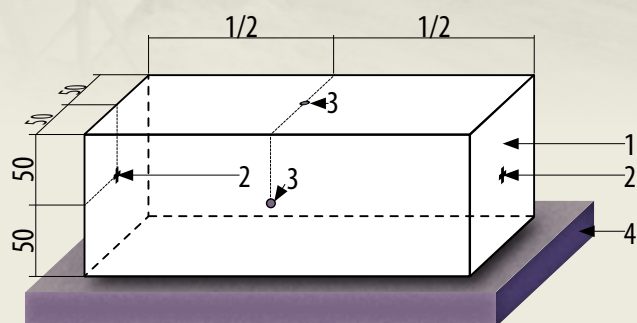
Rys. 11. Wykres zmiany temperatury w czasie w środku badanej próbki

### Badanie mrozoodporności wg CEN/TR 15177 metoda „Beam Test”

Próbki betonu o wymiarach  $400 \times 100 \times 100$  mm poddawane są 56 cyklom zamrażania-odmrażania w obecności wody oraz odczytowi dynamicznego modułu sprężystości. Dynamiczny moduł sprężystości może być określany na podstawie pomiaru (rys. 12 i 13):

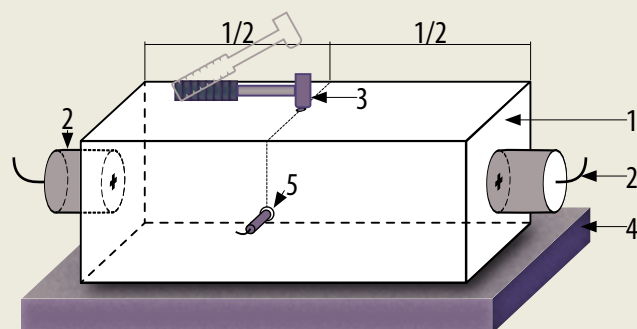
- FF – częstotliwości podstawowej poprzecznej,
- UPTT – czasu przepływu impulsu ultradźwiękowego.

Opis procedury badawczej przedstawiono w tabeli 9.



Rys. 12. Lokalizacja punktów pomiarowych

1. Próbka
2. Miejsce pomiaru dla UPTT
3. Miejsce pomiaru dla FF
4. Podkładka próbki



Rys. 13. Schemat badania

1. Próbka
2. Czujnik impulsów ultradźwiękowych
3. Młotek pomiarowy
4. Podkładka próbki
5. Akcelerometr

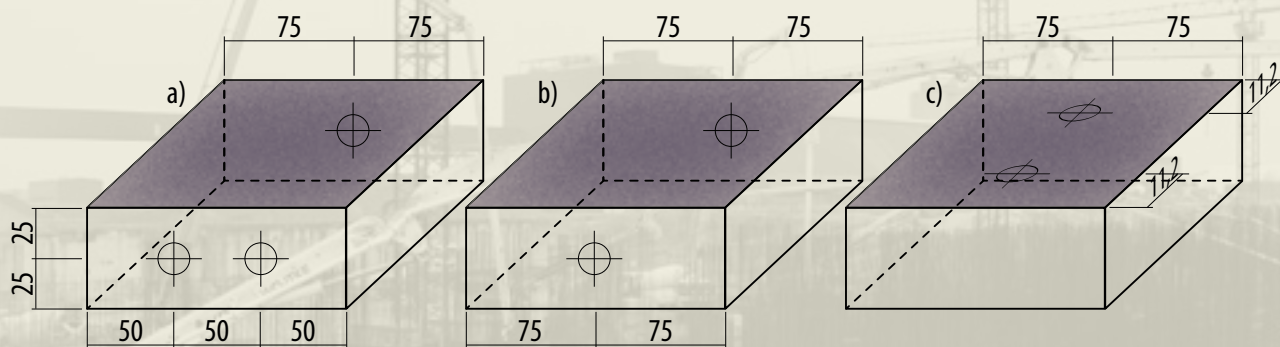


Tabela 9. Procedura badania mrozoodporności wg CEN/TR 15177 „Beam test”

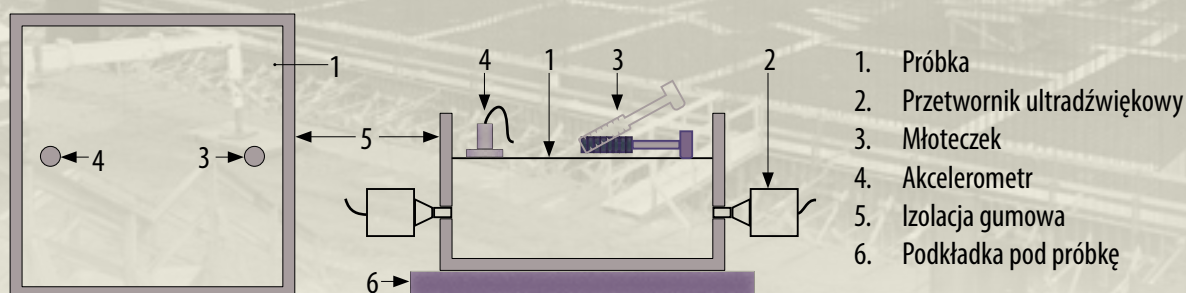
Metoda „Beam test” wg CEN/TR 15177	
Zasada metody	Określany jest względny dynamiczny moduł sprężystości próbki betonowej po 7, 14, 28, 42 i 56 cyklach zamrażania i odmrażania w wodzie destylowanej.
Rodzaj, liczba i sposób przechowywania próbek	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wymiar próbki: 400×100×100 mm</li> <li>Liczba próbek: ≥ 3 szt.</li> <li>Warunki przechowywania: <ul style="list-style-type: none"> <li>rozformowanie po 1 dniu</li> <li>6 dni w plastikowych torbach bez dodatku wody w temp. 20 ± 2°C</li> <li>21 dni w wodzie, temp. 20 ± 2°C</li> </ul> </li> <li>Przed umieszczeniem próbek w plastikowych torbach oraz w wodzie należy dokonać ważenia próbek z dokładnością do 1 g.</li> </ul>
Wykonanie badania	<ol style="list-style-type: none"> <li>Badanie rozpoczyna się 28 dni od zaformowania próbek.</li> <li>Próbki umieszczane są w komorze badawczej. Na 1 cykl przypada zamrażanie w temperaturze -20 ± 2°C i odmrażanie w wodzie 13 ± 8°C. Długość 1 cyklu wynosi 12 godzin.</li> <li>Co 7 dni próbki są obracane o 180°C. Próbki układane są także w pozycji pionowej. Odległość między próbkami lub ścianą komory &gt; 60 mm.</li> <li>Po 7, 14, 28, 42 i 56 cyklach dokonywany jest odczyt dynamicznego modułu sprężystości (pomiar UPTT lub FF). Próbki podlegają także ocenie wizualnej.</li> </ol>
Obliczenie wyników	<p>Pomiar FF:</p> $RDM_{FF,n} = \left( \frac{f_n}{f_0} \right)^2 \times 100\%$ <p>RDM<sub>FF</sub> – względny dynamiczny moduł sprężystości według FF, po n cyklach,  f<sub>n</sub> – częstotliwość podstawowa mierzona po n cyklach [Hz],  f<sub>0</sub> – początkowa częstotliwość podstawowa [Hz].</p> <p>Pomiar UPTT:</p> $RDM_{UPTT,n} = \left( \frac{t_{s,0}}{t_{s,n}} \right)^2 \times 100\%$ <p>RDM<sub>UPTT</sub> – względny dynamiczny moduł sprężystości według UPTT, po n cyklach,  t<sub>s,0</sub> – początkowy czas przejścia impulsu ultradźwiękowego przez próbkę [μs],  t<sub>s,n</sub> – czas przejścia impulsu ultradźwiękowego przez próbkę po n cyklach [μs].</p>

### Badanie mrozoodporności wg CEN/TR 15177 metoda „Slab test”

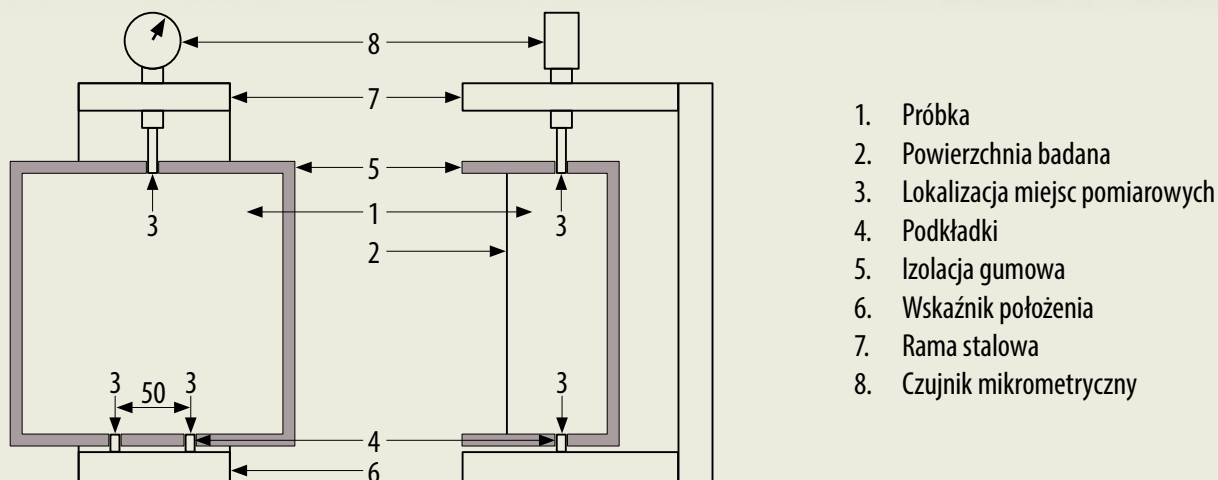
Próbki betonu o wymiarach  $150 \times 150 \times 50$  mm pokrywa się 3 mm warstwą dejonizowanej wody lub 3% roztworem chlorku sodu (NaCl) i poddaje się 56 cyklom zamrażania-odmrażania. Mrozoodporność jest określana na podstawie zmian długości próbki lub dynamicznego modułu sprężystości wyznaczonego na podstawie pomiaru częstotliwości podstawowej poprzecznej (metoda FF) lub czasu przepływu impulsu ultradźwiękowego (metoda UPTT). Procedura przygotowania i pielęgnacji próbek zarówno przed, jak i w trakcie badania jest zbliżona do metody „slab test” wg PKN-CEN/TS 12390-9:2007 (tab. 5). Po upływie  $25 \pm 1$  dni na próbkach należy oznaczyć miejsce badań zgodnie z wybranym sposobem badania mrozoodporności (rys. 14). Po cyklach  $(7 \pm 1)$ ,  $(14 \pm 1)$ ,  $(28 \pm 1)$ ,  $(42 \pm 1)$  i po  $(56 \pm 1)$  dokonuje się pomiaru zgodnie z wybraną metodyką, wg schematów przedstawionych na rys. 15 i 16. Wyniki oblicza się dla metody FF i UPTT wg wzorów podanych w tabeli 9, a dla pomiaru długości próbek wg wzoru z tabeli 10.



Rys.14. Lokalizacja punktów pomiarowych w zależności od stosowanego sposobu pomiaru: a) zmiany długości; b) czas przepływu impulsu ultradźwiękowego; c) częstotliwość podstawowa poprzeczna



Rys. 15. Schemat pomiarowy przy pomiarze częstotliwości podstawowej poprzecznej lub czasu przepływu impulsu ultradźwiękowego



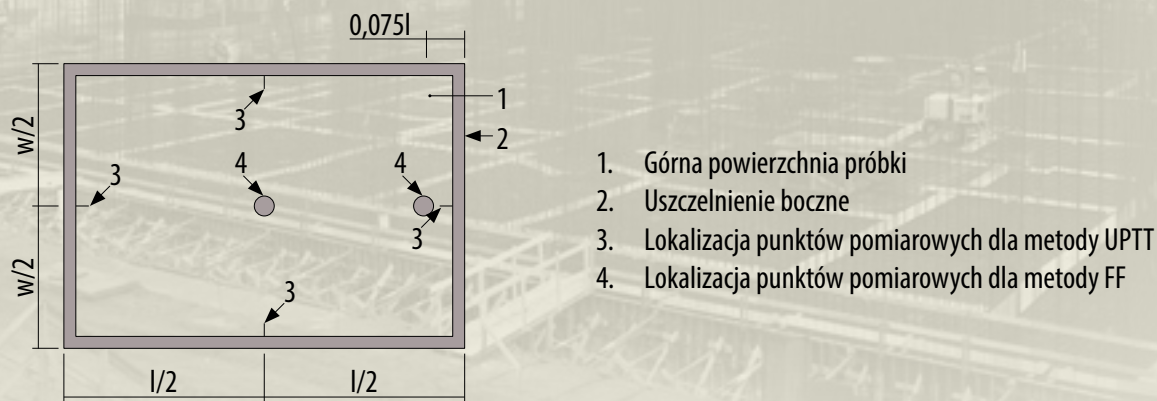
Rys. 16. Schemat pomiarowy przy pomiarze zmian długości próbek

Tabela 10. Badanie mrozoodporności wg CEN/TR 15177 metoda „slab test”

Metoda Slab test wg CEN/TR 15177 (wariant dla pomiaru zmian długości próbki)	
Obliczenie wyników	$\varepsilon_{L,n} = \frac{l_n - l_0}{L_0} \times 100\%$ <p> <math>\varepsilon_{L,n}</math> – zmiana długości próbki po n cyklach zamrażania-rozmrażania w %;  <math>l_n</math> – długość próbki po n cyklach zamrażania-rozmrażania w mm;  <math>l_0</math> – początkowy odczyt długości w mm;  <math>L_0</math> – początkowa długość próbki <math>L_0 = 150 + l_0</math> w mm. </p>

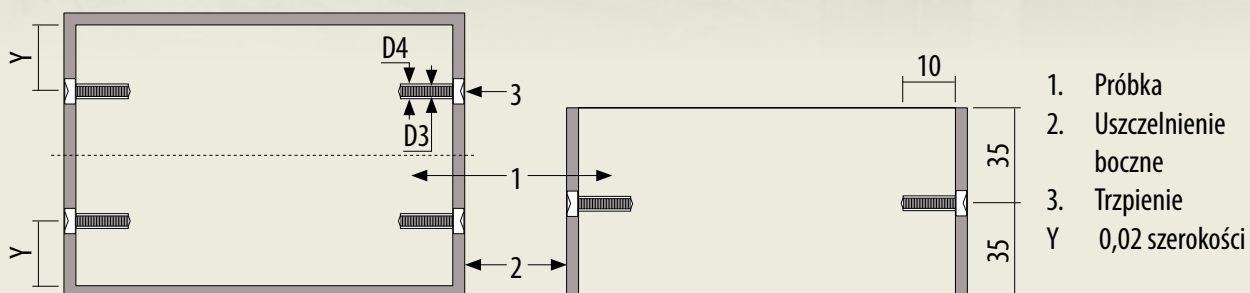
**Badanie mrozoodporności wg CEN/TR 15177 metoda „CIF-TEST”**

Badanie polega na poddaniu powierzchni próbki pokrytej 3 mm warstwą dejonizowanej wody lub 3% roztworu chlorku sodu (NaCl), 56 cykłem zamrażania-rozmrażania. Powierzchnia próbki uzyskana jest przez rozdzielenie formy sześcienniej o boku 150 mm przez centralnie umieszczoną w formie płytę PTFE (rys. 9). Mrozoodporność jest oceniana w oparciu o pomiar zmian długości próbki lub dynamicznego modułu sprężystości wyznaczonego na podstawie pomiaru częstotliwości podstawowej poprzecznej (FF) lub czasu przepływu impulsu ultradźwiękowego (UPTT) po 56 cyklach zamrażania-rozmrażania. Lokalizację punktów pomiarowych dla pomiaru UPTT i FF pokazano na rysunku 17, a rozmieszczenie trzpieni pomiarowych dla pomiaru zmian długości przedstawiono na rys. 18.



1. Górna powierzchnia próbki
2. Uszczelnienie boczne
3. Lokalizacja punktów pomiarowych dla metody UPTT
4. Lokalizacja punktów pomiarowych dla metody FF

Rys. 17. Lokalizacja punktów pomiarowych dla „CIF-test” metody FF i UPTT



1. Próbką
2. Uszczelnienie boczne
3. Trzpienie
- Y 0,02 szerokości

Rys. 18. Lokalizacja punktów pomiarowych dla „CIF-test” przy określaniu wymiarów próbki

Tabela 11. Badanie mrozoodporności wewnętrznej

Metoda "CIF test" wg CEN/TR 15177	
Obliczenie wyników	Pomiar FF:
	$RDM_{FF,n} = \left( \frac{f_n}{f_0} \right)^2 \times 100\%$
	$RDM_{FF}$ – względny dynamiczny moduł sprężystości według FF, po n cyklach, $f_n$ – częstotliwość podstawowa mierzona po n cyklach [Hz], $f_0$ – początkowa częstotliwość podstawowa [Hz].
	Pomiar UPTT:
	$RDM_{UPTT,n} = \left( \frac{l_{t,n}}{l_{t,0}} + \frac{t_{t,0} \times l_{t,0} - t_{cm,0} \times l_{t,0} + t_{cm,0} \times l_S}{t_{t,n} \times l_{t,n} - t_{cm,0} \times l_{t,n} + t_{cm,n} \times l_S} \right)^2 \times 100\%$
	$RDM_{UPTT}$ – względny dynamiczny moduł sprężystości według UPTT po n cyklach [%], $t_t$ – całkowity czas przejścia impulsu ultradźwiękowego przez próbkę i medium sprzęgające [μs], $t_{cm}$ – czas przejścia impulsu ultradźwiękowego przez medium sprzęgające bez badanej próbki [μs]. $l_t$ – całkowita odległość pomiędzy przetwornikami [mm] $l_S$ – długość próbki przed uszczelnieniem powierzchni bocznych [mm] indeks n – oznacza ilość cykli zamrażania/rozmarzania indeks 0 – początkowy pomiar po nasączeniu próbki
	Zmiana długości:
	$\mathcal{E}_L = \frac{l_{C,0} - l_{C,n} + l_n - l_0}{L_0} \times 100\%$
	$\mathcal{E}_L$ – zmiana długości próbki po n cyklach zamrażania-rozmarzania [%] $l_{C,n}$ – długość wzorca po n cyklach zamrażania-rozmarzania [mm] $l_{C,0}$ – długość wzorca przed pierwszym cyklem zamrażania/rozmarzania [mm] $l_0$ – początkowa długość próbki przed pierwszym cyklem zamrażania/rozmarzania [mm] $l_n$ – początkowa długość próbki po n cyklach zamrażania/rozmarzania [mm] $L_0$ – początkowa długość próbki przed uszczelnieniem powierzchni bocznych [mm]

## TERMIN ROZPOCZĘCIA BADAŃ MROZODPORNOŚCI

Termin rozpoczęcia badania mrozoodporności betonu należy dobierać w zależności od rodzaju zastosowanego cementu (tabela 12).

Tabela 12. Czas rozpoczęcia badań mrozoodporności w zależności od zastosowanego cementu

Rodzaj cementu	Czas równoważny [dni]
CEM I (R), CEM II/A-S (R)	28 dni
CEM I (N), CEM II/A-S (N), CEM II/B-S (N,R)	56 dni
CEM III/A	90 dni