

Kodeks praktyk **BAW**

Określanie adiabatycznego wzrostu temperatury betonu (MATB)

Wydanie z 2025 r.

Powiadomienie UE nr 2025/0251/DE

Uwaga:

Notyfikowano zgodnie z dyrektywą (UE) 2015/1535 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 9 września 2015 r. ustanawiającą procedurę udzielania informacji w dziedzinie przepisów technicznych oraz zasad dotyczących usług społeczeństwa informacyjnego (Dz.U. L 241 z 17.9.2015, s. 1)

Ulotki, zalecenia i wytyczne BAW

Wydawca

Federalny Instytut Inżynierii i Badań Żeglugi Wodnej (BAW) Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe

Telefon: +49 721 9726-0

E-mail: info@baw.de

www.baw.de



creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/

O ile nie wskazano inaczej, treść artykułów jest objęta licencją Creative Commons BY-ND 4.0 (Uznanie autorstwa – Bez utworów zależnych 4.0 Międzynarodowa). O ile nie wskazano inaczej, odnośne treści są chronione prawem autorskim i nie mogą być ponownie wykorzystywane.

Spis treści		Strona
1	Odniesienia do norm, literatury i innych przepisów technicznych	1
2	Zakres	1
3	Adiabatyiczny wzrost temperatury zgodnie z DIN EN 12390-15 (metoda referencyjna)	2
4	Określanie quasi-adiabatyicznego wzrostu temperatury na wielkoformatowym bloku betonowym w badaniu praktycznym	2
5	Obliczeniowe oszacowanie adiabatyicznego wzrostu temperatury betonu	3

Wykaz rysunków

Rys.1: Blok betonowy z rozmieszczeniem czujników temperatury	3
--	---

Wykaz załączników

A.1.	Uwagi do procedury	5
A.1.1.	Ogólne	5
A.1.2.	Adiabatyiczny wzrost temperatury zgodnie z art. 3	5
A.1.3.	Quasi-adiabatyiczny wzrost temperatury zgodnie z art. 4	5
A.1.4.	Obliczeniowe oszacowanie adiabatyicznego wzrostu temperatury zgodnie z art. 5	6

Uwaga wstępna

Adiabatyczny wzrost temperatury betonu jest właściwością betonu, która ma wpływ na wczesne wymuszanie i powstawanie samonaprężeń w elementach betonowych i może wpływać na ryzyko wtórnego powstawania etryngitu w elementach betonowych.

Adiabatyczny wzrost temperatury betonu jest parametrem wejściowym służącym do określania wymuszonego zbrojenia z powodu wczesnego wymuszenia zgodnie z BAW-MRZ.

BAW-MATB opisuje metody umożliwiające określenie lub oszacowanie adiabatyicznego wzrostu temperatury betonu.

Towary zgodnie z prawem wprowadzone do obrotu w innym państwie członkowskim Unii Europejskiej lub w Turcji, lub pochodzące z państwa EFTA będącego umawiającą się stroną Porozumienia o Europejskim Obszarze Gospodarczym i zgodnie z prawem wprowadzone do obrotu w takim państwie, uznaje się za zgodne z niniejszym środkiem. Zastosowanie środka podlega przepisom rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 764/2008 z dnia 9 lipca 2008 r. ustanawiającego procedury dotyczące stosowania niektórych krajowych przepisów technicznych do produktów wprowadzonych legalnie do obrotu w innym państwie członkowskim oraz uchylającego decyzję nr 3052/95/WE (Dz.U. L 218 z 13.8.2008, s. 21).

1 Odniesienia do norm, literatury i innych przepisów technicznych

BAW-MRZ	Federalny Instytut Inżynierii Hydraulicznej [wyd.] (2025) BAWMerkblatt Rissbreitenberenzung für Zwang in massive Wasserbauwerke (MRZ) [Ulotka BAW na temat ograniczenia szerokości pęknięć w przypadku ograniczeń w masywnych konstrukcjach hydraulicznych]. Karlsruhe: Federalny Instytut Inżynierii Hydraulicznej (Kodeks praktyk, zalecenia i wytyczne BAW).
DIN EN 196-8	DIN EN 196-8:2010-07 Metody badania cementu – Część 8: Ciepło hydratacji – Metoda rozpuszczania; wersja niemiecka EN 196-8:2010
DIN EN 196-9	DIN EN 196-9:2010-07 Metody badania cementu – Część 9: Ciepło hydratacji – Metoda semiadiabatyczna; wersja niemiecka EN 196-9:2010
DIN EN 196-11	DIN EN 196-11:2019-03 Metody badania cementu – Część 11: Ciepło hydratacji – Metoda kalorymetrii izotermicznej; wersja niemiecka EN 196-11:2018
DIN EN 12390-15	DIN EN 12390-15:2019-10 Badania betonu – Część 15: Adiabatyczna metoda oznaczania ciepła wydzielanego podczas procesu twardnienia betonu; wersja niemiecka EN 12390-15:2019.
ZTV-W LB 215	Federalne Ministerstwo Transportu [wyd.] (2025) ZTV-W LB 215: Dodatkowe warunki techniczne umowy – inżynieria hydrauliczna (ZTV-W), dotyczące betonowych i żelbetowych konstrukcji hydraulicznych (obszar działania 215).

2 Zakres

- (1) BAW-MATB opisuje dwie metody badawcze, a także metodę obliczeniową do określania lub szacowania adiabatycznego wzrostu temperatury betonu.
- (2) Informacje o metodach badawczych i metodach obliczeniowych są zawarte w załączniku 1.

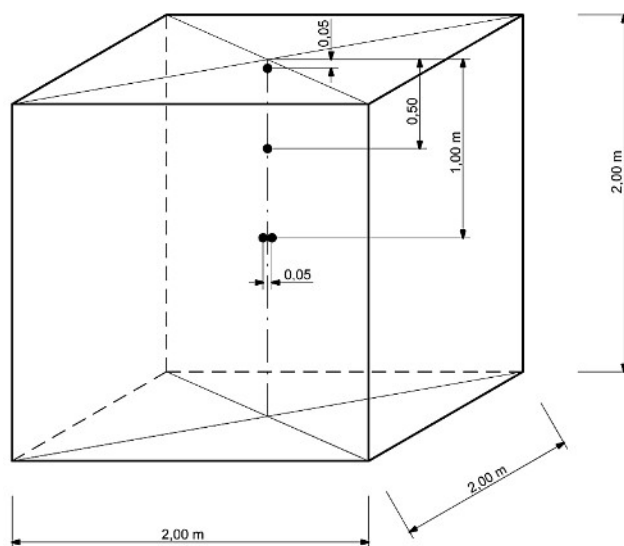
3 Adiabatyczny wzrost temperatury zgodnie z DIN EN 12390-15 (metoda referencyjna)

- (1) Adiabatyczny wzrost temperatury betonu określa się zgodnie z normą DIN EN 12390-15. Okres badania wynosi 7 dni.
- (2) Ciepło hydratacji partii cementu użytej w badaniu określa się zgodnie z normą DIN EN 196-8 lub DIN EN 196-11, a próbkę rezerwową przekazuje się instytucji zamawiającej.
- (3) Badania należy udokumentować w sprawozdaniu z badań zawierającym informacje zgodnie z normą DIN EN 12390-15, 8, lit. a)–t). W sprawozdaniu z badań muszą znaleźć się następujące informacje:
 - Temperatura świeżego betonu po produkcji w °C.
 - Stosunek C_{cal}/C_{con} i porównanie z wymaganiem Normana.
 - Ciepło hydratacji zgodnie z normą DIN EN 196-8 lub DIN EN 196-11 użytej partii cementu w J/g.
 - Data i protokół ostatniej kalibracji kalorymetru zgodnie z normą DIN 12390-15, załącznik A.
 - Wskazanie zakresów temperatur, w których ustalone wartości odchylenia od adiabaty (α) są wykorzystywane do określenia $T_c^*(t)$.
 - Temperatury $T_{con}(t)$, $T_{cal}(t)$, $T_c^*(t)$, $q(t)$ w formie tabelarycznej i graficznej.

4 Określanie quasi-adiabatycznego wzrostu temperatury na wielkoformatowym bloku betonowym w badaniu praktycznym

- (1) Należy wyprodukować jeden wielkoformatowy blok betonowy (2,0 m x 2,0 m x 2,0 m) na beton zgodnie ze specyfikacjami (rysunek 1). Należy przy tym wziąć pod uwagę następujące warunki graniczne:
 - Ciepło hydratacji partii cementu użytej do produkcji betonu określa się zgodnie z normą DIN EN 196-8 lub DIN EN 196-11, a próbkę rezerwową przekazuje się instytucji zamawiającej.
 - Blok musi być wyposażony w izolację cieplną ze wszystkich stron ($d \geq 360$ mm; grupa przewodności cieplnej 040 lub niższa; wystarczająca wytrzymałość na ściskanie).
 - Kotwienie przez izolację nie jest dozwolone.
 - Temperatura świeżego betonu podczas montażu może wynosić 15°C, temperatura otaczającego powietrza podczas wykonywania badania (czas pomiaru: 168 godzin) nie może spaść poniżej 5°C.

- W środku bloku należy umieścić dwa czujniki temperatury (odległość 5 cm). Dwa dodatkowe czujniki temperatury umieszcza się na wyobrażonej linii między środkiem bloku a środkiem powierzchni bocznej lub środkiem powierzchni górnej w odległości 5 cm i 50 cm od powierzchni (zob. rysunek Rys. 1).
- Jako czujniki temperatury stosuje się czujniki opornościowe o dopuszczalnym odchyleniu ± 1 K. Łańcuch pomiarowy (czujnik temperatury, rejestrator danych, zasilacz) musi mieć dokładność ± 1 K dla rejestracji zakresu temperatury.
- Profil temperatury w bloku betonowym oraz temperaturę otaczającego powietrza rejestruje się w sposób ciągły z częstotliwością 30 minut przez okres co najmniej 168 godzin (7 dni).
- Badania należy udokumentować w sprawozdaniu z badań, podając następujące informacje:
 - Ciepło hydratacji zgodnie z normą DIN EN 196-8 lub DIN EN 196-11 użytej partii cementu w J/g.
 - Typ, oznaczenie i dokładność pomiarowa czujników i łańcucha pomiarowego
 - Dokumentacja łańcucha pomiarowego (arkusze danych, konfiguracja rejestratora danych, przygotowanie danych)
 - Temperatura świeżego betonu T_{concrete} w momencie montażu w $^{\circ}\text{C}$
 - Zmierzona temperatura $T_{\text{concrete}}(t)$ w formie tabelarycznej i graficznej w $^{\circ}\text{C}$
 - $T_{\text{qadiab}}(t)$ w formie tabelarycznej i graficznej w K



• Temperaturfühler

Temperaturfühler

1,00 m

2,00 m

Czujnik temperatury

1,00 m

2,00 m

Rys. 1: Blok betonowy z rozmieszczeniem czujników temperatury

5 Obliczeniowe oszacowanie adiabatycznego wzrostu temperatury betonu

- (1) Matematyczne oszacowanie adiabatycznego wzrostu temperatury betonu przeprowadza się zgodnie ze wzorem (1).
- (2) Obliczenia dokonuje się na podstawie ciepła hydratacji cementu zawartego w betonie na podstawie bieżącej wartości testowej Q_{iso} .

$$\Delta T_{ad,7d,cal} = \frac{Q_{iso} \cdot z}{\frac{Q_{iso}}{Q_{adiab.}} \cdot (c_c \cdot z + c_{ad} \cdot f + c_a \cdot g + c_w \cdot w)} \quad (1)$$

$\Delta T_{ad,7d,cal}$	Obliczony adiabatyczny wzrost temperatury betonu w K
Q_{iso}	Ciepło hydratacji cementu zgodnie z normą DIN EN 196-8 (referencyjna) lub DIN EN 196-11 w J/g. Alternatywnie można zastosować ciepło hydratacji określone zgodnie z normą DIN EN 196-9. Wartość Q_{iso} wynosi wówczas 80 % wyniku zgodnie z normą DIN EN 196-9 po 168 godzinach pomiaru.
$Q_{adiab.}$	Ciepło hydratacji cementu w warunkach adiabatycznych w J/g
$Q_{iso}/Q_{adiab.}$	Stosunek izotermicznego ciepła hydratacji Q_{iso} w temperaturze 20°C do adiabatycznego ciepła hydratacji $Q_{adiab.}$ po 7 dniach: Nie określając rzeczywistego stosunku, można zastosować następujące wartości w przypadku użycia CEM III LH: 0,75 CEM II/A, CEM II/B, CEM III: 0,80 CEM I: 0,90
c_c, c_{ad}, c_a	Ciepło właściwe cementu, dodatków i kruszywa. O ile nie są dostępne odrębne informacje: 0,84 J/(g*K)
c_w	Ciepło właściwe wody zawartej w próbce. O ile nie są dostępne odrębne informacje: 3,76 J/(g*K) zgodnie z normą DIN EN 12390-15
z, f, g	Zawartość cementu, zawartość dodatków, zawartość kruszywa w kg/m ³
w	Zawartość wody w kg/m ³

- (3) Badania należy udokumentować w sprawozdaniu z badań, określając zastosowane parametry:

- Q_{iso} jako wartość testowa w J/g, wraz ze sprawozdaniem z badania
- Zakładany stosunek $Q_{iso}/Q_{adiab.}$
- Zawartość cementu, zawartość dodatków, zawartość wody, zawartość kruszywa w betonie w kg/m³
- c_c, c_{ad}, c_a, c_w

- $\Delta T_{ad,7d,cal}$ w K

A.1. Uwagi do procedury

A.1.1. Ogólne

- (1) Poniżej przedstawiono informacje na temat trzech metod, które należy uwzględnić przy ocenie wyników.
- (2) Ciepło hydratacji betonu zależy głównie od właściwości cementu i zawartości cementu.
- (3) Zasadniczo wahania właściwości cementu wynikające ze specyfiki produkcji mogą prowadzić do innego adiabatyicznego wzrostu temperatury przy takim samym składzie betonu, ale z inną partią cementu. Aby zaklasyfikować adiabatyiczny wzrost temperatury w betonie określony zgodnie z art. 3 i 4, konieczne jest zatem określenie ciepła hydratacji partii cementu użytej w doświadczeniu zgodnie z normą DIN EN 196-8 lub DIN EN 196-11.
- (4) W przypadku składu betonu spodziewane wahania adiabatyicznego wzrostu temperatury betonu można oszacować na podstawie wiedzy na temat wahań ciepła hydratacji cementu wynikających ze specyfiki produkcji.

A.1.2. Adiabatyiczny wzrost temperatury zgodnie z art. 3

- (1) Określenie adiabatyicznego wzrostu temperatury zgodnie z art. 3 jest referencyjną metodą określania adiabatyicznego wzrostu temperatury.
- (2) W badaniu laboratoryjnym w określonych warunkach ramowych, z uwzględnieniem strat ciepła w kalorymetrze do betonu, adiabatyiczny wzrost temperatury betonu jest określany z uwzględnieniem wszystkich właściwości badanego betonu wraz z zastosowanymi w nim partiami wsadowymi betonu.
- (3) Wykazano, że określony adiabatyiczny wzrost temperatury betonu można utrzymać przy badanym składzie betonu.

A.1.3. Quasi-adiabatyiczny wzrost temperatury zgodnie z art. 4

- (1) W badaniu na placu budowy, jeśli badanie zostanie przeprowadzone prawidłowo, quasi-adiabatyiczny wzrost temperatury betonu jest określany z uwzględnieniem wszystkich właściwości badanego betonu wraz z zastosowanymi w nim partiami wsadowymi betonu.
- (2) Quasi-adiabatyiczny wzrost temperatury określony w badaniu na placu budowy stanowi mniej dokładne oszacowanie adiabatyicznego wzrostu temperatury betonu, ponieważ nieuniknione straty ciepła nie są brane pod uwagę w zależności od zmieniających się warunków środowiskowych. Większe zakresy temperatury świeżego betonu, a także większe wahania składu betonu oczekiwane w betoniarni wynikające ze specyfiki produkcji w porównaniu z badaniem laboratoryjnym mogą również spowodować większe wahania wyników.
- (3) Oprócz określenia quasi-adiabatyicznego wzrostu temperatury betonu, podczas produkcji bloku można, w przeciwieństwie do badania laboratoryjnego, zbadać inne właściwości betonu, takie jak pompowalność i stabilność pęcherzyków powietrza w praktycznych warunkach konstrukcyjnych.

- (4) Wykazano, że określony adiabatyiczny wzrost temperatury betonu można utrzymać przy badanym składzie betonu. Wyniki są mniej bezpieczne niż w przypadku badania adiabatyicznego, o którym mowa w art. 3, ale są wystarczająco bezpieczne.

A.1.4. Obliczeniowe oszacowanie adiabatyicznego wzrostu temperatury zgodnie z art. 5

- (1) Wykorzystując podejście obliczeniowe, adiabatyiczny wzrost temperatury betonu szacuje się przy założeniu temperatury świeżego betonu wynoszącej 20°C, biorąc pod uwagę założenia dotyczące parametrów z odniesień literaturowych, a także ciepło hydratacji cementu określone za pomocą badań.
- (2) Określenie ciepła hydratacji cementu jest możliwe za pomocą trzech różnych znormalizowanych metod badawczych (normy DIN EN 196-8, DIN EN 196-9, DIN EN 196-11), których rzeczywistym celem jest określenie właściwości LH cementu. Wyniki badań tych trzech procedur podlegają pewnym wahaniom ze względu na procedurę. Wyniki dwóch prawidłowo przeprowadzonych badań wykonanych przez dwa laboratoria mogą różnić się w zależności od specyfikacji precyzji określonych w normach zgodnie z normą DIN EN 196-8 do 50 J/g, zgodnie z normą DIN EN 196-9 do 42 J/g oraz zgodnie z normą DIN EN 196-11 do 37 J/g.
- (3) Odchylenia, o których mowa w ust. 2, mogą powodować odchylenia o około 5 K od obliczonego adiabatyicznego wzrostu temperatury betonu na podstawie samego ciepła hydratacji cementu, przy innych niezmiennych parametrach.
- (4) Odchylenia o 0,05 rzeczywistego stosunku Q_{iso}/Q_{ad} od obliczonego stosunku mogą stanowić różnicę około 3 K w obliczonym adiabatyicznym wzroście temperatury betonu.
- (5) Przy wykorzystaniu podejścia obliczeniowego z niedokładnościami, o których mowa w ust. 3 i 4, należy starannie rozważyć prostą metodologię szacowania adiabatyicznego wzrostu temperatury i możliwych skutków dla danej struktury/elementu. W przypadku gdy temperatura betonu osiąga górną granicę dopuszczalnej maksymalnej temperatury składników, procedura opisana w art. 5 wiąże się z ryzykiem wynikającym z niebezpieczeństwa uszkodzeń spowodowanych wtórnym powstawaniem etryngitu. W przypadku elementów konstrukcyjnych typu podstawowego, pracujących przy górnej granicy dopuszczalnego adiabatyicznego wzrostu temperatury, metoda opisana w art. 5 wiąże się z ryzykiem wynikającym z niekorzystnego nakładania się naprężeń przyłożonych i resztkowych.