

# Wpływ wysokiej temperatury na wytrzymałość na ściskanie i twardość powierzchniową betonu zwykłego i wysokowartościowego

Dr inż. Izabela Hager, dr inż. Tomasz Tracz

Artykuł przedstawia analizę wpływu temperatury na zmiany resztkowej wytrzymałości na ściskanie oraz wytrzymałości wyznaczonej na podstawie pomiarów twardości powierzchniowej. Badania prowadzono dla betonu zwykłego (BZ) i wysokowartościowego (BWW).

**Słowa kluczowe:** ocena uszkodzeń pożarowych betonu, twardość powierzchniowa, wysoka temperatura.

## Influence of high temperature on compressive strength and surface hardness of ordinary and high performance concretes

This paper presents the analysis of the effect of temperature on changes in residual compressive strength and the strength determined by measurements of surface hardness. The study was conducted for ordinary (BZ) and high performance concretes (BWW).

**Key words:** assessment of fire damaged concrete, surface hardness, high temperature.

### 1. Wprowadzenie

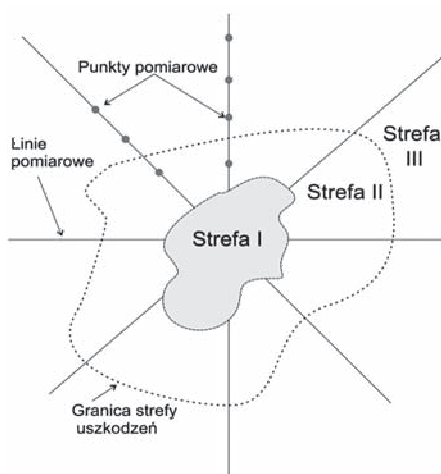
W celu określenia uszkodzeń betonu w konstrukcji spowodowanych działaniem temperatur pożarowych stosuje się liczne metody diagnostyczne [1]. Pomiar twardości powierzchniowej jest jedną z metod stosowanych in situ pozwalającą na określenie wytrzymałości na ściskanie betonu uszkodzonego oraz wyznaczenie zasięgu zaistniałych uszkodzeń. Metodyka wykonywania pomiarów twardości powierzchniowej w celu określenia zasięgu pożarowych uszkodzeń zakłada następujące etapy działań [1]:

- ustalenie wartości liczby odbicia w strefie betonu nienaruszonego ( $L_{ref}$ ),
- wykonanie pomiarów liczby odbicia ( $L_i$ ) w strefach uszkodzeń, według założonego schematu rozmieszczenia pomiarów, celem wyznaczenia mapy uszkodzeń.

Zaproponowany schemat przyjęty do oceny betonowych elementów sklepienia tunelu pod kanałem La Manche zakłada przyjęcie punktów pomiarowych w układzie promienistym i w równomiernych odległościach od strefy wyraźnych uszkodzeń (rys. 1). W cytowa-

nych badaniach w jednym miejscu pomiarowym wykonywano 9 odczytów i jako wynik pomiaru przyjmowano medianę uzyskanych wyników.

Ograniczenia tej techniki w diagnostyce pożarowych uszkodzeń betonu wynikają między innymi



z trudności ustalenia zależności pomiędzy wytrzymałością na ściskanie a liczbą odbicia stanowiącą wynik pomiaru sklerometrem. Ponadto, do uzyskania prawidłowych (miarodajnych) pomiarów twardości powierzchniowej, badanie powinno być wykonywane na płaskiej powierzchni, co w przypadku elementów silnie uszkodzonych działaniem pożaru z wyraźnymi oznakami spallingu wymaga przygotowania powierzchni przez jej szlifowanie.

W artykule przedstawiono wpływ działania temperatury z zakresu 200 do 800°C na przebieg zmian resztkowych wartości wytrzymałości na ściskanie oraz wytrzymałości określonych na podstawie pomiarów sklerometrycznych, dla dwóch betonów zróżnicowanych pod względem wskaźnika wodno-cementowego. Na podstawie wyników badań sklerometrycznych (sklerometr Schmidta typu N) obliczono wytrzymałości na ściskanie ( $f_{cm}^o$ ) stosując hipotetyczną krzywą regresji zawartą w Instrukcji ITB nr 210 [2], uwzględniając wyznaczony w badaniach własnych współczynnik korygujący ( $c_k$ ). Współczynnik ten określono na podstawie porównania wytrzymałości na ściskanie oznaczonej tymi dwoma metodami dla betonów nie poddanych wygrzewaniu.

## 2. Charakterystyka badanych betonów

Do wykonania betonu zwykłego i wysokowartościowego użyto tych samych składników. Różnicowanie właściwości osiągnięto poprzez zmiany ilościowe składów mieszanek betonowych. Betony wykonano z cementu CEM II/A-V 42,5R Ożarów oraz kruszywa otoczkowego „Dwudniaki”. Zawartość zaczynu oraz zaprawy w mieszanekach betonowych były stałe, natomiast zmienna ilość dozowania domieszek upłynniających zapewniała stałość konsystencji. Składy analizowanych betonów zamieszczono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Składy analizowanych betonów  
**Table 1.** Composition of analyzed concretes

Składnik	Beton	Jedn.	Zwykły BZ	Wysokowartościowy BWW
Cement CEM II/A-V 42,5R		kg/m <sup>3</sup>	322	478
Woda		dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	193	129
Stosunek w/c		–	0,60	0,27
Kruszywo „Dwudniaki” PP <sub>k</sub> = 35,6 %	piasek 0–2 mm	kg/m <sup>3</sup>		623
	żwir 2–8 mm	kg/m <sup>3</sup>		660
	żwir 8–16 mm	kg/m <sup>3</sup>		550
Zawartość:	zaczyn cementowy	dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>		≈ 300
	zaprawa	dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>		≈ 550

## 3. Opis oraz wyniki przeprowadzonych badań

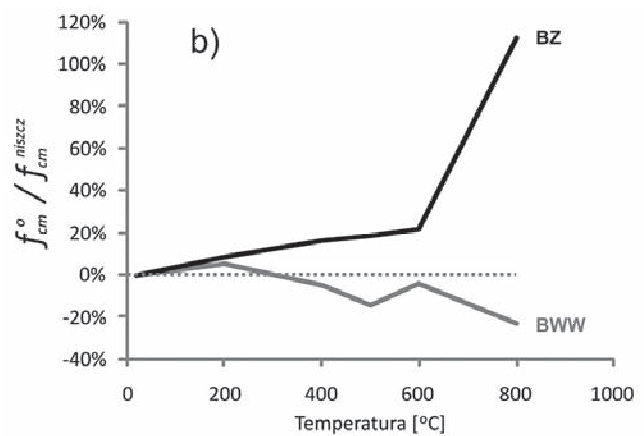
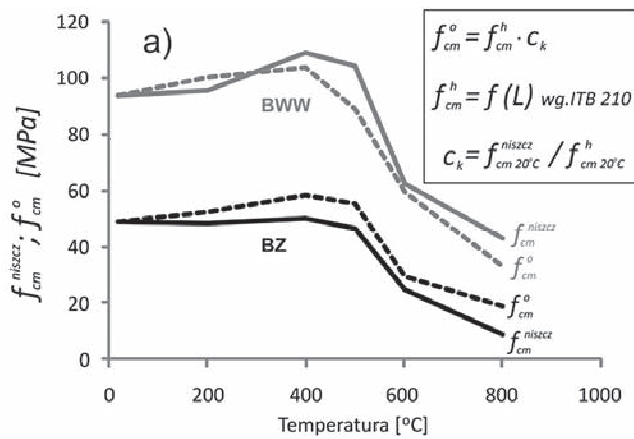
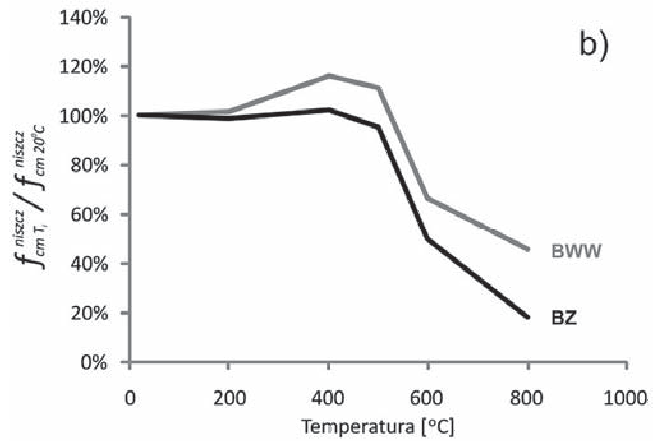
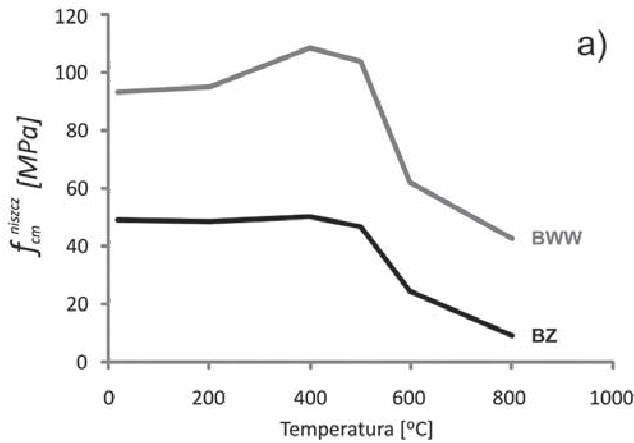
Badania twardości powierzchniowej oraz wytrzymałości na ściskanie prowadzono na próbkach kostkowych o boku 150 mm, które wygrzewano w piecu laboratoryjnym do temperatur z zakresu od 200 do 800°C. Badania rozpoczęto po 90 dniach dojrzewania betonu w warunkach normowych. Dwie przeciwległe powierzchnie każdej próbki, prostopadłe do kierunku formowania, przed wygrzewaniem szlifowano za pomocą frezu diamentowego. Takie przygotowanie powierzchni, jak już wcześniej wspomniano, jest niezbędne w przypadku oceny tej cechy w strefach wystąpienia rozległych złuszczeń zewnętrznej warstwy betonu.

Liczebność serii próbek wynosiła 3 sztuki dla każdej z analizowanych temperatur. Wygrzewanie betonów odbywało się ze stałą prędkością 0,5°C/min. Po osiągnięciu temperatury docelowej (200, 400, 500, 600 i 800°C), utrzymywano ją na stałym poziomie przez 5 godzin, w celu uzyskania równomiernego rozkładu temperatury w całej objętości próbki. Pomiary twardości powierzchniowej (liczby odbicia) prowadzono przed wygrzewaniem oraz po wystudzeniu próbek do temperatury 20°C. Pomiary liczby odbicia prowadzono na próbkach po ich uprzednim ustabilizowaniu w maszynie wytrzymałościowej, tak aby naprę-

żenie ściskające w próbce wynosiło około 2 MPa. Wykonywano po 24 pomiary liczby odbicia na każdej z badanych próbek. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w danym miejscu było zgodne z zaleceniami zawartymi w normie PN-EN 12504–2 [3]. Po zakończeniu badań sklerometrycznych próbki obciążano do zniszczenia oznaczając ich rzeczywistą wytrzymałość na ściskanie ( $f_{cm}^{niszcz}$ ).

Poniżej na rysunku 2 zaprezentowano przebieg zmian średnich wartości wytrzymałości na ściskanie określonych bezpośrednio, w funkcji temperatury wygrzewania w zakresie od 20 do 800°C. Wartości względne określają stosunek wytrzymałości na ściskanie próbek wygrzewanych do wytrzymałości próbek nie wygrzewanych ( $f_{cm Ti}^{niszcz} / f_{cm 20°C}^{niszcz}$ ).

W przeprowadzonych badaniach obserwowano wpływ temperatury na resztkową wytrzymałość betonów zwykłego i wysokowartościowego. Jak pokazały wyniki badań, ogrzewanie betonów do temperatur 200, 400°C nie spowodowało obniżenia wytrzymałości na ściskanie. W przypadku BWW, po wygrzewaniu w temperaturze 400°C zaobserwowano wzrost wytrzymałości wynoszący około 15%. Wzrost ten najprawdopodobniej jest wynikiem zjawiska tzw. wewnętrznej autoklawizacji, które może wystąpić w materiale o szczelnej, nieprzepuszczalnej strukturze, jaka charakteryzuje beton wysokowartościowy.



Po przekroczeniu temperatury 500°C wytrzymałość badanych betonów zaczyna wyraźnie spadać, głównie na skutek postępującej dehydratacji żeluz CSH i rozkładu wodorotlenku wapniowego. Redukcja wytrzymałości po ogrzaniu do temperatury 600°C wyniosła 50% dla BZ i 45% dla BWW. Ogrzewanie do temperatury 800°C powoduje dalszą redukcję wytrzymałości sięgającą 80% dla BZ i 55% dla BWW.

Na podstawie wyników badań sklerometrycznych obliczono wytrzymałości na ściskanie ( $f_{cm}^o$ ) [4] stosując hipotetyczną krzywą regresji [2] i uwzględniając wyznaczony w badaniach współczynnik korygujący ( $c_k$ ). Współczynnik ten określono na podstawie porów-

nia wytrzymałości na ściskanie betonów nie wygrzewanych oznaczonej metodą niszczącą i sklerometryczną. Z uwagi na zróżnicowanie wytrzymałości badanych betonów, współczynnik korygujący wyznaczono oddzielnie dla betonu zwykłego i wysokowartościowego. Na rysunku 3a przedstawiono obliczone wartości wytrzymałości na ściskanie na tle zmian resztkowych wartości wytrzymałości na ściskanie.

Rysunek 3b przedstawia procentową rozbieżność między wytrzymałością na ściskanie określoną w badaniach sklerometrycznych ( $f_{cm}^o$ ) i wytrzymałością określoną poprzez badania niszczące dla analizowanych betonów ( $f_{cm}^{niszcz}$ ). Przedstawione porównania wyni-

ków badań dowodzą, iż określenie stanu powierzchni betonów wygrzewanych w oparciu o badania sklerometryczne, może posłużyć do oszacowania jego wytrzymałości na ściskanie. W badaniach zaobserwowano wyraźny wpływ temperatury na twardość powierzchniową badanych betonów. Przebieg tych zmian ma podobny charakter jak obserwowane zmiany wytrzymałości określanej metodą niszczącą.

Metody nieniszczące, a więc takie, w których wytrzymałość na ściskanie określana jest pośrednio, na podstawie innej cechy betonu, są z natury obarczone pewną niedokładnością. Jeśli uznamy, iż dokładność oceny wytrzymałości uszkodzonego temperaturą beto-

nu na podstawie badań nieniszczących jest zadowalająca w zakresie  $\pm 20\%$ , to można przyjąć (rys. 3b), że wpływ temperatury określać można tą metodą w zadowalającym stopniu do temperatury  $600^{\circ}\text{C}$ . Niestety stan powierzchni betonu wygrzanego do temp.  $800^{\circ}\text{C}$  nie pozwala już na takie oszacowania, rozbieżność pomiędzy wynikami pomiaru wytrzymałości na ściskanie dla betonu zwykłego może przekraczać nawet  $100\%$  (rys. 3 b).

#### 4. Wnioski i perspektywy

Pomiar twardości powierzchniowej przy użyciu sklerometru Schmidta typu N może stanowić efektywną metodę oceny wpływu temperatury na beton w konstrukcji. Nieniszczący charakter prowadzonych pomiarów oraz łatwość ich wykonywania stanowią o popularności stosowania tej techniki do oceny stanu betonu.

Warunkiem prowadzenia prawidłowej oceny uszkodzeń betonu spowodowanych działaniem tempera-

tury metodą sklerometryczną jest określenie współczynnika korygującego dla betonu nieuszkodzonego działaniem temperatury w oparciu o przyjętą krzywą regresji. Stopień odwzorowania wytrzymałości na ściskanie na podstawie badań twardości powierzchniowej zależy od prawidłowości przyjętych założeń.

Według autorów niezwykle interesujące byłyby badania o szerszym zakresie prowadzące do wyznaczenia zależności pokazujących relacje między wytrzymałością na ściskanie a wartością liczby odbicia w funkcji temperatury. W niedalekiej przyszłości planowane są badania, w których określany będzie wpływ temperatury na wyznaczone metodami niszczącymi, częściowo niszczącymi oraz nieniszczącymi właściwości betonów różniących się składem pod względem jakościowym i ilościowym.

#### BIBLIOGRAFIA

[1] Présentation des techniques de diagnostic de l'état d'un béton soumis à un incendie, décembre 2005, n° 62, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France, p. 114

[2] Instrukcja ITB 210, Warszawa 1977

[3] PN-EN 12504-2:2002 Badania betonu w konstrukcjach – Część 2: Badanie nieniszczące – Oznaczanie liczby odbicia

[4] Nagrodzka-Godycka K., Badanie właściwości betonu i żelbetu w warunkach laboratoryjnych, Arkady, W-wa 1999

#### INFORMACJE O AUTORACH

**Dr inż. Izabela Hager**, absolwentka Politechniki Krakowskiej (1998), stopień doktora Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Francja (2004), zatrudniona w Politechnice Krakowskiej w Katedrze Technologii Materiałów Budowlanych i Ochrony Budowli na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego, zainteresowania naukowe: wpływ temperatury pożarowej na beton oraz inne materiały budowlane, e-mail: ihager@pk.edu.pl.

**Dr inż. Tomasz Tracz**, absolwent Politechniki Krakowskiej (1999), zatrudniony w Politechnice Krakowskiej w Katedrze Technologii Materiałów Budowlanych i Ochrony Budowli na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego, zainteresowania naukowe: zdolność transportowa betonu i innych materiałów dla mediów ciekłych i gazowych, e-mail: ttracz@pk.edu.pl

**Adres do korespondencji:** dr inż. Izabela Hager, Katedra Technologii Materiałów Budowlanych i Ochrony Budowli Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków.

# Określenie stopnia zaawansowania procesów korozyjnych zbrojenia kielichowej konstrukcji dworca w Katowicach

**Dr inż. Mariusz Jaśniok, dr inż. Tomasz Jaśniok, prof. dr hab. inż. Adam Zybura**

W związku z planowaną przebudową dworca kolejowego w Katowicach przeprowadzono ocenę stanu technicznego konstrukcji obejmującą między innymi badania zagrożenia korozją zbrojenia kielichowych słupów użytkowanych przez ponad 40 lat. Badania laboratoryjne wykonano na zewnętrznych częściach pobranych z obiektu betonowych rdzeni, które zawierały fragmenty prętów zbrojeniowych. Szybkość korozji zbrojenia przy nienaruszonym kontakcie z otuliną wyznaczono na podstawie pomiarów oporu polaryzacji liniowej i spektroskopii impedancyjnej.

**Słowa kluczowe:** konstrukcje żelbetowe, słupy kielichowe, badania korozji zbrojenia w betonie, pomiar oporu polaryzacji, elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna.