

Stosowanie metod nieniszczących w budownictwie

Prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz, Instytut Techniki Budowlanej, Politechnika Warszawska

1. Wprowadzenie

Prawidłowe przeprowadzenie oceny bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych wymaga znajomości wytrzymałości materiałów, z których są one wykonane. W przypadku konstrukcji żelbetonowych materiałami takimi jest beton i stal. Niekiedy do oceny bezpieczeństwa elementów konstrukcji stosowana jest metoda obciążeń próbnych.

Wyznaczenia wytrzymałości i jednorodności materiałów można dokonać przy użyciu zarówno metod niszczących, jak i metod seminiszczących lub niszczących. Wśród badań niszczących najczęściej stosowana jest metoda radiologiczna, ultradźwiękowa i sklerometryczna. Natomiast badania seminiszczące konstrukcji żelbetonowych najczęściej polegają na wyrywaniu kotew osadzonych w stwardniałym betonie (metoda *pull-out*) lub umieszczonych w konstrukcji przed jej zabetonowaniem (metoda *lock-out*), odrywaniu stalowych krążków przyklejonych do powierzchni betonu (metoda *pull-off*) oraz ścinaniu naroży elementu betonowego lub wyłamywaniu walcowych bloków betonowych powstałych po nawierceniu betonu wiertnicą (metoda *break-out*). Badania niszczące mające na celu określenie wytrzymałości betonu na ścinanie wykonuje się na próbkach wyciętych z konstrukcji, najczęściej o kształcie walcowym [2].

Ocenę konstrukcji budowlanych z innych materiałów, takich jak stal, drewno, ceramika, tworzywa sztuczne dokonuje się za pomocą niszczących metod specjalistycznych.

2. Rozwój metod niszczących w budownictwie

Za początek badań niszczących (ang. *Non Destructive Testing* – NDT) uznaje się odkrycie i zastosowanie przez Wilhelma Conrada Roentgena promieniowania X w 1895 r. Kolejnym ważnym krokiem w rozwoju badań niszczących było użycie w 1893 r. ultradźwięków. Znaczny rozwój badań niszczących nastąpił jednak dopiero w czasie II wojny światowej, ponieważ konieczne było zapewnienie niezawodności środków bojowych [2].

Stosowanie metod niszczących w budownictwie rozpoczęło się w Polsce w połowie XX w. Pierwsze prace badawcze i diagnostyczne prowadzone były m.in. w Polskiej Akademii Nauk (PAN), Politechnice Warszawskiej, Instytucie Badań Jądrowych (IBJ), Instytucie Techniki Budowlanej, Politechnice Wrocławskiej oraz Instytucie Elektrotechniki (IE). Obszar

badan i wdrożeń poszerzał się stopniowo również na inne uczelnie techniczne oraz ośrodki naukowo-badawcze.

Początkowy okres rozwoju badań niszczących w budownictwie związany był z profesorami: W. Olszakiem, A. Sawczukiem, Z. Pawłowskim, J. Pyszniakiem, L. Brunarskim, J. Remiszewskim, L. Runkiewiczem i wieloma innymi, którzy prowadzili prace związane z:

- metodami badania materiałów budowlanych poprzez pomiary ich twardości (w szczególności zastosowanie młotka Poldiego),
- rezonansowymi metodami pomiarów dynamicznych stałych sprężystych,
- ultradźwiękowymi metodami kontroli jakości materiałów budowlanych,
- rentgenograficznymi metodami konstrukcji żelbetonowych i stalowych,
- elastooptycznymi metodami badań modelowych (w szczególności na modelach z gumy),
- badaniami konstrukcji przy użyciu tensometrów strunowych, elektrooporowych i magnetycznych (opracowanych w dawnej Czechosłowacji).

W początkowym okresie z zagranicy sprowadzane były specjalistyczne przyrządy pomiarowe, m.in. do badań twardości (Schmidta, Paldiego), oceny zbrojenia w konstrukcjach żelbetonowych (Covemet, Proceq-Szwajcaria). Natomiast w kraju konstruowano aparaturę specjalistyczną m.in. do badań ultradźwiękowych, rezonansowych, radiologicznych, elastooptycznych (PAN, ITB, IBJ, IE itp.). Aparatura i urządzenia te były wykorzystywane w badaniach naukowych mających na celu poszerzenie zakresu ich optymalnego stosowania, zwłaszcza w diagnostykach konstrukcji budowlanych wykonanych z różnych materiałów (stalowych, żelbetonowych, murowych, drewnianych, zespolonych lub z tworzyw sztucznych).

Polskie ośrodki naukowo-badawcze przedstawiały swoje wyniki badań na krajowych oraz zagranicznych konferencjach i kongresach badań niszczących.

Krajowe uczelnie wyższe oraz ośrodki naukowo-badawcze, np. Polska Akademia Nauk, Instytut Elektrotechniki, Instytut Techniki Budowlanej, organizowały różne formy podnoszenia kwalifikacji w zakresie badań niszczących, w formie konferencji, sympozjów, studiów podyplomowych. Kursy podyplomowe były znaczącym ogniwem w popularyzowaniu i wdrażaniu metod niszczących. Przykładowo kursy podyplomowe organizowane przez ITB obejmowały badania oraz diagnostyki konstrukcji budowlanych realizowane

metodami ultradźwiękowymi, sklerometrycznymi, radiologicznymi, rezonansowymi oraz elektrycznymi.

Znaczącą rolę w dynamicznym rozwoju metod nieniszczących w Polsce odegrał VII Międzynarodowy Kongres Badań Nieniszczących, który odbył się w 1973 r. w Warszawie (przewodniczący Z. Pawłowski), a także trzy Konferencje Badań Nieniszczących w Budownictwie w latach 1974, 1976 i 1978, w których uczestniczyli – co w tamtych czasach było rzadkością – goście zagraniczni. Organizatorami tych konferencji był Instytut Techniki Budowlanej oraz Politechnika Wrocławska.

Na konferencjach tych przedstawiono oraz opublikowano ponad 120 referatów z Polski i zagranicy, co uważano wtedy za duży sukces naukowy i organizacyjny. Referaty te dotyczyły m.in. następujących zagadnień:

- ogólnych zasad stosowania metod nieniszczących w budownictwie,
- wpływów czynników technicznych i technologicznych na wyniki badań ultradźwiękowych, sklerometrycznych, radiologicznych, emisji akustycznej itp.,
- wpływów czynników środowiskowych i korelacyjnych na dokładności badań nieniszczących,
- wpływów analiz matematycznych na oceny bezpieczeństwa konstrukcji metodami nieniszczącymi,
- stosowania metod nieniszczących dla oceny różnych rodzajów materiałów,
- ocen jakości elementów prefabrykowanych za pomocą metod nieniszczących,
- kompleksowego stosowania metod nieniszczących do oceny jakości konstrukcji budowlanych,
- stosowania metod radiologicznych i magnetycznych do oceny zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych,
- ocen wilgotności i korozji betonu w konstrukcjach,
- ocen połączeń elementów w konstrukcjach stalowych,
- ocen konstrukcji murowych, drewnianych, zespolonych oraz z tworzyw sztucznych,
- ocen jakości stropów, słupów, ścian, wież, zapór, wiaduktów, mostów oraz innych elementów i konstrukcji specjalistycznych,
- ocen budowli wieżowych, kominów i chłodni,
- ocen zbiorników i silosów,
- ocen zbrojenia i jego korozji metodami radiograficznymi, radiologicznymi, ultradźwiękowymi, prądów wirowych, oraz za pomocą specjalistycznej aparatury badawczej, jak np. źródeł promieniowania wysokoenergetycznego, izotopów, betatronów, aparatów rentgenowskich, magnetycznych itp.

W wyniku współpracy naukowej w ramach RWPG opracowano w Centrum Badań Nieniszczących, we współpracy z krajami zachodnimi, podstawy do stosowania metod nieniszczących w budownictwie.

W Polskim Komitecie Normalizacyjnym opracowano specjalistyczne normy m.in. ultradźwiękowe, sklerometryczne, radiologiczne itp. do zastosowania w budownictwie. Normy te

zostały wprowadzone do norm międzynarodowych, a później do norm Unii Europejskiej.

Prowadzone w kraju badania nad metodami nieniszczącymi, zwłaszcza na wyższych uczelniach oraz w ITB, pozwalały na coraz szersze stosowanie tych metod w budownictwie. Przyczyniły się one także do powstania szeregu prac doktorskich i habilitacyjnych, przykładowo na Politechnice Warszawskiej, Wrocławskiej, Krakowskiej, Śląskiej, AGH, Rzeszowskiej, Szczecińskiej, Poznańskiej, Białostockiej, Lubelskiej, a także w Instytucie Techniki Budowlanej. W ośrodkach tych powstawały „szkoły” badań nieniszczących, w których wyróżnić można szkoły profesorów: A. Garbacza, J. Hoły, J. Kaszyńskiego, R. Sztukiewicza, K. Flagi, K. Schabowicza, B. Stawiskiego, Ł. Drobca i innych.

W Instytucie Techniki Budowlanej zostały opracowane instrukcje stosowania oraz wytyczne oceny jakości, a także zalecenia Ministerstwa Budownictwa w sprawie podnoszenia kwalifikacji oraz zasad oceny bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych za pomocą metod nieniszczących. Wymienione prace pozwalały na poprawne stosowanie metod nieniszczących w budownictwie.

Metody nieniszczące weszły do programów nauczania studentów na wszystkich wydziałach budowlanych wyższych uczelni. Ponadto są one przedmiotem wielu budowlanych konferencji naukowo-technicznych, takich jak cykliczne konferencje: PAN i PZITB w Krynicy, Awarie budowlane w Międzyzdrojach, Warsztaty Projektanta Konstrukcji Budowlanych, Warsztaty Rzeczoznawcy Budowlanego, Kontra, Zbiorniki, Renowacje, Budownictwo w energetyce, Konstrukcje sprężone, Matbud i innych.

Za pomocą metod nieniszczących realizowano diagnostyki większości ważniejszych obiektów budowlanych w kraju, a ich wyniki stanowiły podstawy do oceny bezpieczeństwa oraz zakresu ewentualnego wzmocnienia odpowiedzialnych obiektów, w tym obiektów zabytkowych.

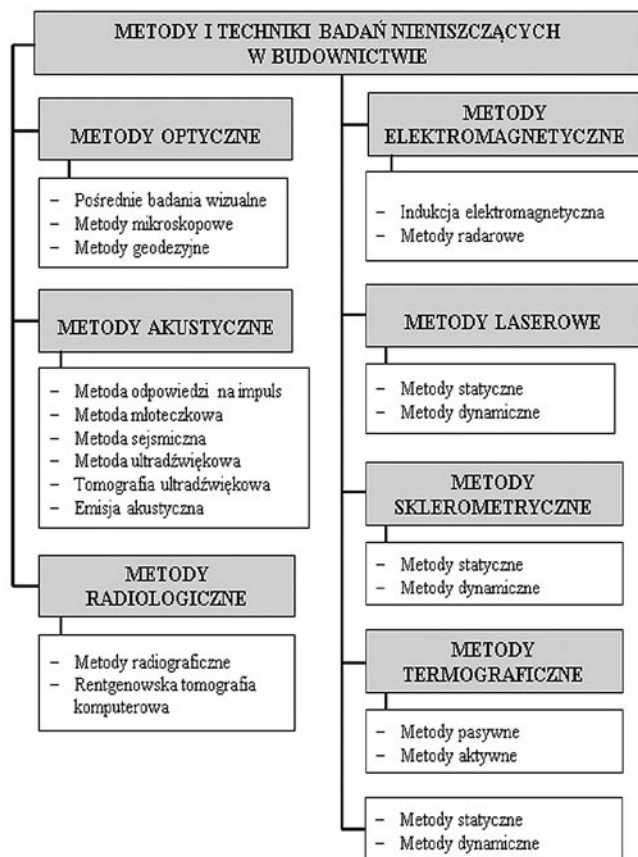
Szeroki i innowacyjny rozwój konstrukcji budowlanych wymaga dalszego rozwoju badań nieniszczących z wykorzystaniem specjalistycznej, nowoczesnej aparatury badawczej.

3. Krótki przegląd metod nieniszczących i seminieniszczących w budownictwie

3.1. Podział metod i technik badań nieniszczących

W diagnostyce konstrukcji budowlanych powszechnie stosowane są metody nieinwazyjne, nieniszczące i seminieniszczące, które nie powodują naruszenia struktur badanych konstrukcji. Ogólny podział tych metod przedstawiono na rysunku 1, a ich szczegółowy opis można znaleźć w literaturze technicznej, np. w [1, 2].

- **Metody optyczne** wykorzystują wiele technik pomiarowych stosujących aparaturę badawczą w postaci m.in. endoskopów, boroskopów, wideoskopów umożliwiających badanie powierzchni i miejsc niedostępnych dla oka, a także mikroskopy użyteczne w warunkach laboratoryjnych.



Rys. 1. Ogólna klasyfikacja nieniszczących metod i technik stosowanych w diagnostykach konstrukcji budowlanych

Ponadto do tej grupy metod zalicza się także skaning laserowy umożliwiający zdalne wyznaczenie położenia zbioru punktów w przestrzeni trójwymiarowej, co daje możliwość rekonstrukcji trójwymiarowego obrazu (ukształtowania) całych obiektów budowlanych lub ich fragmentów, w tym widocznej dla lasera konstrukcji [1]. Metody te mogą być stosowane m.in. do zdalnych pomiarów zmiany ugięć wybranych elementów konstrukcji. Stosowane są one w monitoringach obiektów budowlanych.

Do najbardziej rozpowszechnionych metod nieniszczących w budownictwie można zaliczyć także poniższe metody.

- **Metody akustyczne** – metody ultradźwiękowe, odpowiedzi na impuls, młoteczkowa, tomografii ultradźwiękowej i emisji akustycznej.

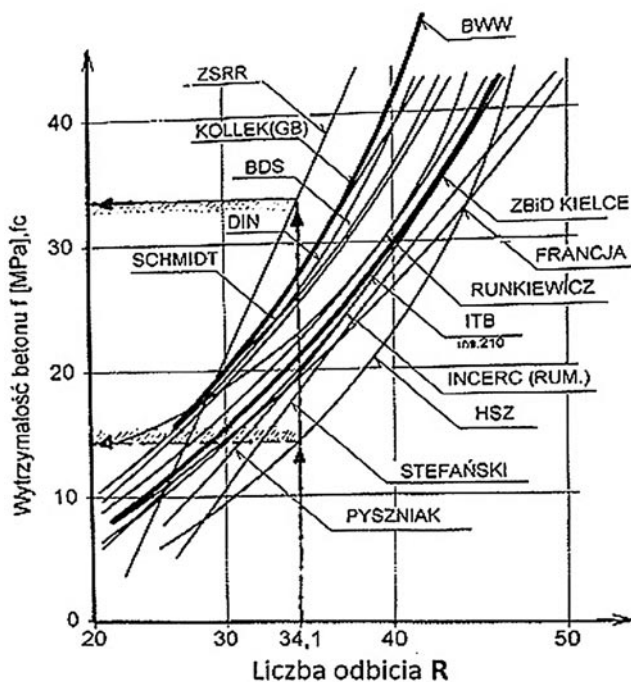
Metody ultradźwiękowe są stosowane m.in. do oceny, w sposób pośredni, wytrzymałości i jednorodności betonu i stali w konstrukcji [3–11], a także do wykrywania nieciągłości strukturalnej w postaci pęknięć oraz do lokalizowania pustek powietrznych w badanych materiałach. Wytrzymałość betonu jest określana tymi metodami na podstawie prędkości podłużnych fal ultradźwiękowych rozprzestrzeniających się w badanych betonach, skorelowanych z wytrzymałością na ściskanie uzyskaną na podstawie badań wytrzymałościowych próbek pobranych z konstrukcji.

Metody odpowiedzi na impuls (impulse response) są stosowane m.in. do wykrywania pustek powietrznych pod płytami żelbetowymi ułożonymi na gruncie, delaminacji na stykach warstw, miejsc wadliwych i obszarów o dużej niejednorodności struktury betonu w masywnych elementach betonowych (tzw. *honeycombing*).

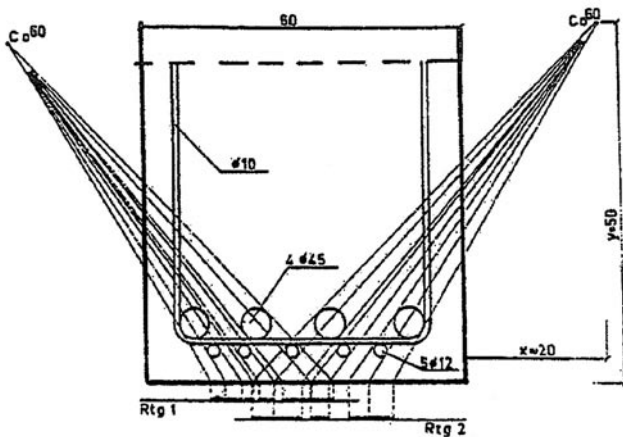
Metody emisji akustycznej wykorzystują zjawisko powstawania i rozprzestrzeniania się fal sprężystych wysokiej częstotliwości w strukturze materiału, powodowanych obciążeniem. Mogą to być obciążenia narastające statycznie, wielokrotnie zmienne, dynamiczne, ale też i obciążenia niemechaniczne [6]. W metodach tych znacznie wcześniej niż w innych sygnalizowany jest rozwój procesów destrukcyjnych, które mogą spowodować zniszczenie, dając w ten sposób czas potrzebny do odciążenia konstrukcji.

- **Metody elektromagnetyczne** wykorzystywane są do określenia lub wykrywania w dostępnych jednostronnie betonowych i żelbetowych elementach, zwłaszcza płytowych: grubości, rozwarstwień, rozległych wad, usytuowania prętów zbrojeniowych [7]. Aparatura może przemieszczać się po powierzchni badanego elementu. Zaletą tej metody jest możliwość szybkiego badania elementów dużych powierzchni szczególnie w zakresie lokalizowania zbrojenia, natomiast wadą – mała dokładność określenia średnicy i grubości otuliny zbrojenia w elementach żelbetowych.

- **Metody sklerometryczne** stosowane są do oceny, w sposób pośredni, wytrzymałości i jednorodności betonu w konstrukcji. Uzyskiwany z badań parametr w postaci tzw. liczby odbicia R skorelowany jest z wytrzymałością na ściskanie betonu poprzez dobór odpowiedniej zależności korelacyjnej lub hipotetycznej [2, 4, 5].



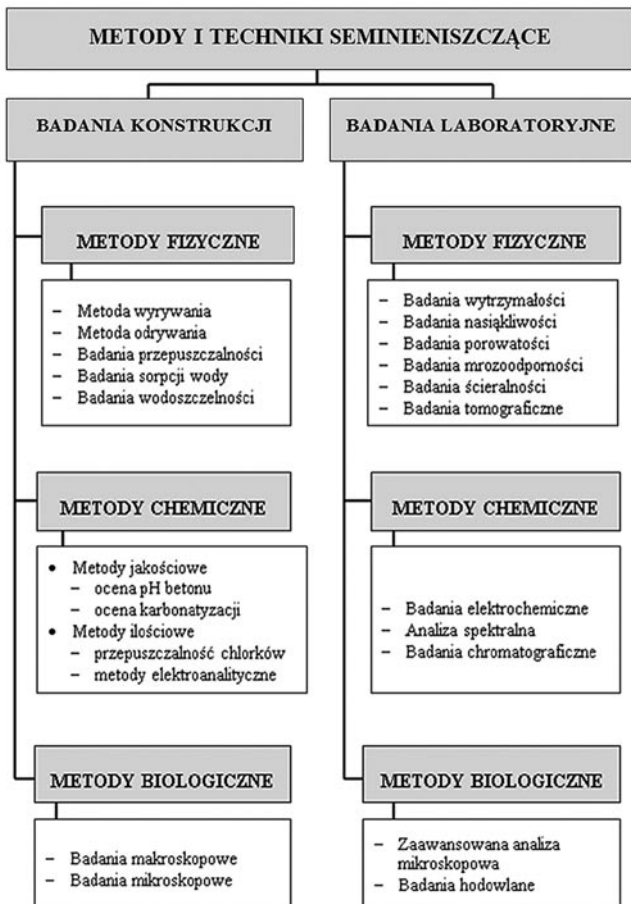
Rys. 2. Przykładowe zależności empiryczne $f_c - R$ dla sklerometrów Schmidta typu N (dla różnych betonów w różnych krajach)



Rys. 3. Ocena zbrojenia dolnego w belce żelbetowej (w środku przęsła) za pomocą metody radiograficznej: Co 60 – położenia źródeł, Rtg 1,2 – radiogramy

Przykładowe zależności badawcze dla metod sklerometrycznych do oceny wytrzymałości betonu podano na rysunku 2. Uzasadniają one potrzebę uproszczonego skalowania metody dla każdego rodzaju betonu.

• **Metody radiologiczne** służą m.in. do oceny rozkładu zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych. Przykład oceny zbrojenia w belce żelbetowej za pomocą metody radiograficznej



Rys. 4. Ogólna klasyfikacja metod i technik seminieniszczących stosowanych w diagnozowaniu konstrukcji budowlanych [1,2,4]

pokazano na rysunku 3 [4]. Metody te są opisane w wielu publikacjach i są znormalizowane.

• **Metody i techniki seminieniszczące**, podobnie jak metody nieniszczące, cechują się dużą przydatnością w ocenie trwałości, bezpieczeństwa i niezawodności konstrukcji żelbetowych. Ich stosowanie nie powoduje istotnego naruszenia struktury badanej konstrukcji. Rysunek 4 jest propozycją ogólnej klasyfikacji podstawowych metod i technik seminieniszczących przydatnych w diagnostyce konstrukcji budowlanych. Wyróżnia się metody fizyczne, chemiczne i biologiczne, z podziałem na przydatne w badaniach polowych (terenowych) oraz stosowane w laboratoryjnych badaniach próbek, w tym na przykład próbek rdzeniowych odwierconych z konstrukcji. Szczegółowe opisy metod i technik seminieniszczących dostępne są m.in. w pracach [1, 4, 10].

Obciążenia próbne konstrukcji wykorzystywane są do oceny aktualnego stanu granicznego nośności lub użyteczności elementu konstrukcyjnego, gdy z różnych przyczyn nie można tego dokonać na drodze badawczej lub obliczeniowo [8].

4. Podsumowanie

W budownictwie do oceny konstrukcji eksploatowanych stosowane są coraz szerzej metody nieniszczące. Od wielu lat następuje ich stały rozwój oraz doskonalenie oceny cech wytrzymałościowych i innych decydujących o stanach granicznych nośności i użyteczności obiektów budowlanych. Dalszy ich rozwój oraz normalizacje w ramach Unii Europejskiej służy do podnoszenia jakości produkcji oraz oceny obiektów budowlanych z wymaganą technicznie dokładnością.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bień J., Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2010
- [2] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Diagnostyka konstrukcji żelbetowych, tom 1, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2010
- [3] PN-EN 12504-4:2005. Badania betonu. Część 4. Oznaczanie prędkości fali ultradźwiękowej
- [4] Runkewicz L., Ocena wytrzymałości betonu w konstrukcji na podstawie badań sklerometrycznych. Poradnik, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2017
- [5] PN-EN 12504-2:2013-03. Badania betonu w konstrukcjach. Część 2. Badania nieniszczące. Oznaczenie liczby odbicia
- [6] PN-EN 12504-3:2006. Badania betonu w konstrukcjach. Część 3. Oznaczanie siły wyrywającej
- [7] PN-EN 13791:2008. Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych
- [8] Lewicki B., Obciążenia próbne konstrukcji istniejących budynków, Prace Naukowe Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa, 1997
- [9] Hoła J., Schabowicz K., Diagnostyka obiektów budowlanych, Materiały Budowlane 5/2015, str. 3–7
- [10] Zybura A., Jaśniok M., Jaśniok T., Diagnostyka konstrukcji żelbetowych, tom 2, Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2017
- [11] PN-EN 13791:2008. Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych