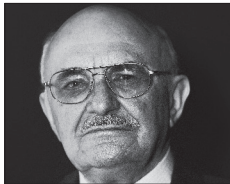


Badania nieniszczące betonów w szkieletowych obiektach energetycznych w świetle normy PN-EN 13971



prof. dr hab. inż.
LEONARD RUNKIEWICZ
Instytut Techniki Budowlanej
Politechnika Warszawska
ORCID: 0000-0002-2844-4725



mgr inż.
JAN SIECZKOWSKI
Instytut Techniki Budowlanej
ORCID: 0000-0002-3191-8602



mgr inż.
MACIEJ RUNKIEWICZ
Kajima Poland Sp. z o. o
ORCID: 0000-0002-3860-1843

W artykule opisano proponowane nowe zasady oceny wytrzymałości betonów na podstawie badań metodami nieniszczącymi. Zasady te, określone w normie PN-EN 13971, są odmienne od dotychczas stosowanych wg PN-B.

Wprowadzenie

W obiektach energetycznych, analogicznie jak w innych konstrukcjach żelbetonowych, często występują sytuacje wymagające znajomości wytrzymałości betonu na ściskanie. Podstawowe zasady oceny tej wytrzymałości podane są w normie PN-EN 13791 [1, 2], która zastąpiła m.in. normę PN-B-06261 [3] i PN-B-06262 [4].

Normy [3] i [4] były opracowane na podstawie prowadzonych od początku lat 60. ubiegłego wieku w Polsce szerokich prac badawczych i wdrożeniowych nad stosowaniem nieniszczących metod do oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach. W wyniku tych prac oraz przy współpracy międzynarodowej opracowano podstawowe zasady badań konstrukcji (elementów), a także warunki określania miarodajnych zależności korelacyjnych, np. dla metody sklerometrycznej za pomocą sklerometru Schmidta, pomiędzy wytrzymałością betonu f_c a liczbą odbicia L (R). Rozwój technologii betonów wymagał opracowywania szeregu zależności korelacyjnych dla różnych rodzajów betonów. Przykłady takich zależności pokazane na rys. 1. [5].

Zakres normy PN-EN 13971

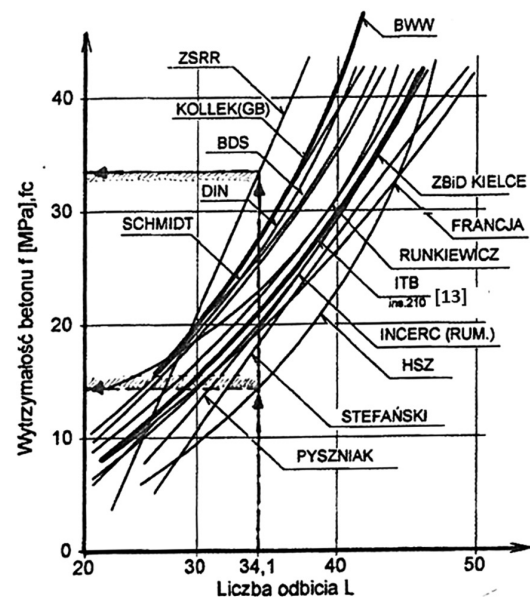
W normie tej określono:

- metody i procedury oceny wytrzymałości na ściskanie w konstrukcjach oraz prefabrykowanych wyrobach betonowych, w tym w obiektach energetycznych;
- zasady i wytyczne do określania zależności pomiędzy wynikami badań uzyskiwanymi za pomocą metod pośrednich, a wytrzymałościami betonów w konstrukcjach, oznaczonymi na próbkach walcowych (odwiertach rdzeniowych);
- wytyczne dotyczące sposobu oceny wytrzymałości betonów na ściskanie w konstrukcjach lub prefabrykowanych wyrobach betonowych metodami pośrednimi lub kombinacją różnych metod badawczych;
- wytyczne do oceny zgodności klasy wytrzymałości betonu dostarczonego na budowę, w przypadku gdy standardowe metody badania wykazują wątpliwości lub gdy wątpliwości dotyczą jakości wykonania konstrukcji, m.in. energetycznej.

Norma nie zawiera zasad oceny innych cech betonu niż wytrzymałość na ściskanie.

Jako standardowe średnice odwiertów rdzeniowych w normie tej zaleca się 75 mm i 100 mm.

W wytrzymałości betonu na ściskanie zalecane jest określanie w punktach pomiarowych, a charakterystyczną wytrzymałość na ściskanie – w miejscach pomiarowych.



Rys. 1. Przykładowe zależności empiryczne $f_c - L$ dla sklerometrów (młotków) Schmidta typu N, przyjęte w Polsce i innych krajach [5]

gdzie: L - oznaczenie liczb odbicia dla sklerometru (obecnie R); Schmidt, Kollek - zależności szwajcarskie (producenta), BDS (angielskie), DIN (niemieckie), ZSRR, francuskie, INCERC (rumuńskie), HSZ (węgierskie), pozostałe badacze polskich jak BWW, ZBiD Kielce, Runkiewicz, ITB, Stefański, Pysznia.

Punkty pomiarowe i miejsca pomiarowe

Dotychczas, tj. gdy stosowano normy PN-B, wskaźniki wytrzymałości betonów wyznaczano dla określonych obszarów, którymi były elementy, fragmenty konstrukcji (np. belki, słupy, przęsła, stropy) lub jednoznacznie określone obszary konstrukcji, betonowane podczas jednego cyklu roboczego.

Wykonywane pomiary były realizowane w miejscach równomiernie rozłożonych na całych obszarach elementów tak, aby otrzymane wyniki badań pozwalały – w sposób reprezentatywny – oceniać badane betony. Obecnie zalecenia w tym zakresie podobnie określa norma PN-EN 12504-2 [6]. W konstrukcjach szkieletowych miejsca pomiarowe wyznacza się, uwzględniając dodatkowo prawdopodobne maksymalne wyężenia betonu. W belkach są to na ogół środki przęseł oraz miejsca przypodporowe, gdzie zazwyczaj występuje maksymalne ściskanie. Natomiast w słupach są to miejsca w pobliżu środków wysokości i w miejscach przypodporowych. Wskazane miejsca powinny być wolne od zbrojenia oraz górnych powierzchni wynikających z pozycji betonowania.

Ponadto w tłumaczeniu polskiej wersji językowej normy PN-EN 13791:2008 zaproponowano odmienne nazewnictwo. Zamiast dotychczas stosowanego w Eurokodach terminu miejsca pomiarowego wprowadzono punkt pomiarowy, a zamiast elementu lub zespołu elementów – miejsce pomiarowe, ważne przy betonowaniu ciągłym.

Wprowadzenie tej nowej terminologii może spowodować dodatkowe utrudnienia w badaniach i ocenach konstrukcji szkieletowo-płytowych oraz prefabrykowanych. To niepotrzebne „zawirowanie” w terminologii powinno być usunięte podczas opracowywania polskiej wersji językowej znowelizowanej ostatnio normy PN-EN 13791:2019 [2].

W dalszej części artykułu będzie stosowana terminologia przyjęta w Eurokodach, odpowiadająca dotychczas stosowanej według PN-B [3, 4].

Próbki do badań wytrzymałości betonu na ściskanie

Przy projektowaniu szkieletowych konstrukcji żelbetowych wg Eurokodu 2 [12] wytrzymałość betonu na ściskanie jest określana na próbkach walcowych o wysokości równej dwukrotnej ich średnicy. Dlatego też w badaniach nieniszczących, realizowanych według PN-EN 13791, wytrzymałości betonu odnoszone są również do próbek rdzeniowych o stosunku wysokości do średnicy równym 2:1.

Wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji i w próbkach do badań

Wytrzymałości betonu na ściskanie w szkieletowych konstrukcjach energetycznych są związane z wytrzymałościami na ściskanie próbek do badań, to znaczy z charakterystycznymi (5%) wytrzymałościami walców 2:1 (f_{ck}) lub charakterystycznymi (5%) wytrzymałościami kostkowymi ($f_{ck, cube}$) (pkt 3.1.2 (1) normy PN-EN 1992-1-1[12]).

Charakterystyczne (5%) wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji po 28 dniach ($f_{ck, is, 28}$) wynoszą 85% odpowiednich charakterystycznych (5%) wytrzymałości (f_{ck}) próbek do badań walców 2: 1 po 28 dniach, czyli:

$$f_{ck, is, 28} = 0,85 \times f_{ck} \quad (1)$$

Współczynnik 0,85 jest zalecaną wartością współczynnika konwersji η w załączniku A.2.3 (1) do normy PN-EN 1992-1-1 [12].

Wpływ wilgotności na próbki in situ

Norma PN-EN 13791 wymaga, aby odwierty (próbki) walcowe były badane w warunkach wilgotności podobnych do warunków występujących w konstrukcji, gdyż stan wilgotności odwiertów ma wpływ na mierzone wytrzymałości. Suche próbki będą miały wyższe wytrzymałości niż mokre odwierty, mimo że pozostałe parametry będą identyczne.

Zgodnie z normą PN-EN 13791:2007, A.2.1 [17] wytrzymałości beto-

nu badane na mokrych odwiertach są mniejsze od 8% do 12% w porównaniu z badaniami odwiertów w stanie suchym.

Wpływ dojrzałości betonów na ich wytrzymałości

Tempo przyrostu wytrzymałości zarówno przed, jak i po 28 dniach zależy od rodzaju cementu, rodzaju dodatków oraz domieszek, a także temperatury betonów. Wraz z upływem czasu wzrastają też wytrzymałości betonów, pod warunkiem, że będzie zapewniona wystarczająca ilość wody do hydratacji. W projektowaniu konstrukcji szkieletowych w energetyce zwykle stosuje się wytrzymałości charakterystyczne próbek laboratoryjnych betonów dojrzewających „na mokro” przez 28 dni w temperaturze 20°C.

Wpływ pielęgnacji betonów

Na wytrzymałości odwiertów mają wpływ zarówno pielęgnacje betonów w konstrukcji, jak i wiek betonów w momencie pobierania rdzeni.

W zależności od temperatury betonów po ich ułożeniu, pod warunkiem zapewnienia w betonach wystarczających ilości wody, aby nie utrudniać hydratacji, końcowe wytrzymałości betonów mogą być różne.

Wpływ wibracji

Proces wibrowania betonów powoduje przemieszczanie się wody i powietrza wewnątrz mas betonowych, a w konsekwencji różnice w ich wytrzymałości. Powszechnie znanym zjawiskiem jest zmniejszenie wytrzymałości u góry elementów betonowanych w pozycji pionowej.

Wpływ nadmiernego napowietrzenia

Zwiększenie pustek w betonach zmniejsza ich wytrzymałość. Występowanie około 1% pustek zmniejsza wytrzymałość od 5% do 8%. Ilości powietrza uwięzionego w konstrukcji zazwyczaj są większe niż w próbkach do badań, a w konsekwencji wytrzymałości *in situ* prawdopodobnie będą niższe.

Wpływ kierunku betonowania

Wytrzymałości rdzeni wierconych prostopadle do kierunku betonowania mogą, w zależności od stabilności świeżych betonów, być większe niż wytrzymałości rdzeni wierconych poziomo. Różnice w wytrzymałościach wynoszą zwykle od 0% do 8%. W normie PN-EN 13791:2019 nie uwzględniono kierunku wiercenia.

Wady rdzeni

Wady rdzeni mogą zaistnieć z różnych przyczyn. Do najczęściej występujących wad rdzeni należy zaliczyć rysy i mikrorysy, poziome zbrojenie oraz puste przestrzenie spowodowane lokalnymi segregacjami. Ważność ocen wytrzymałości takich rdzeni i ich zdolności do reprezentowania ogólnej wytrzymałości *in situ* należy oceniać oddzielnie.

Płaskość wykończonych powierzchni

Odchylenia od płaskości zmniejszają mierzone wytrzymałości. Tolerancje płaskości rdzeni powinny być takie same jak dla próbek standardowych, tj. jak określono w PN-EN 12390-1 [9].

Efekt wiercenia

Operacje wiercenia mogą powodować uszkodzenia w niedojrzałych lub słabych betonach i zwykle nie można zobaczyć efektów na powierzchni cięcia.

Wytrzymałości rdzeni mogą być niższe niż próbek walcowych, ponieważ powierzchnie rdzeni zawierają pocięte kawałki kruszywa, które mogą pozostać na powierzchniach jedynie dzięki adhezji matrycy.

Wynik badania

W normie PN-EN 13791:2019 termin „wynik badania” został zdefiniowany jako:



„Średnia arytmetyczna pomiarów lub w przypadku liczby odbicia mediana z pomiarów wykonanych w miejscu badania”.

Wyniki obliczeń liczb odbicia z zastosowaniem median i wartości średnich są do siebie zbliżone, a różnice wyników nie mają praktycznego znaczenia.

Wstępna ocena wyników pomiaru

W przypadku konstrukcji istniejących norma PN-EN 13791:2019 wprowadziła wymaganie sprawdzania, czy obszar badania zawiera jedną klasę wytrzymałości betonu na ściskanie oraz identyfikację wartości odstających. Jeżeli obszary badania zawierają dwie klasy wytrzymałości na ściskanie, to oba obszary powinny zawierać co najmniej minimalną liczbę miejsc (punktów) pomiarowych.

Oszacowanie wytrzymałości na ściskanie w celu oceny istniejącej szkieletowej konstrukcji energetycznej

W normie PN-EN 13791:2019 wytrzymałości betonu w konstrukcjach można oszacować na podstawie:

- wyłącznie wyników badań próbek rdzeniowych,
- pośrednich metod pomiarowych i wyników badań próbek rdzeniowych,
- pomiarów pośrednich w połączeniu z co najmniej trzema wynikami badań próbek rdzeniowych.

Oszacowania wytrzymałości betonów na ściskanie wyłącznie z wykorzystaniem próbek (odwiertów) walcowych

Charakterystyczne wytrzymałości betonu na ściskanie ($f_{c, is, ck}$) w szkieletowej konstrukcji energetycznej przyjmuje się jako wartości mniejsze, obliczone wg wzorów (2) i (3):

$$f_{c, is, ck} = f_{c, m(n)is} - k_{ns} \quad (2)$$

$$f_{c, is, ck} = f_{c, is, lowest} + M \quad (3)$$

gdzie:

$f_{c, m(n)is}$ – średnia wytrzymałość na ściskanie betonu w konstrukcji,

k_{ns} – współczynnik z normy PN-EN 13791:2019 [2], tablica 2,

s – odchylenie standardowe lub wartość zapewniająca 8-procentowy współczynnik zmienności,

M – zapas wytrzymałości z normy [2], tablica 3.

Oszacowania wytrzymałości betonów na ściskanie w szkieletowych konstrukcjach energetycznych na podstawie pośrednich metod pomiarowych i próbek odwiercanych (walcowych)

Przy łącznym stosowaniu metod pośrednich (nieniszczących) i próbek odwiercanych wskazane są wcześniejsze wzorcowania metod pośrednich.

Do określania wytrzymałości betonu na ściskanie metodami sklerometrycznymi niezbędne jest korzystanie z empirycznych zależności f-R wytrzymałości betonu na ściskanie f od liczb odbicia R.

W przypadku trudności w przeprowadzeniu skalowania metodą dokładną norma [2] dopuszcza wykonywanie przybliżonego skalowania zależności korelacyjnej. Skalowanie to polega na przyjęciu wcześniej wyznaczonej podstawowej krzywej regresji dla określonego betonu i ustaleniu, na podstawie wyników kontrolnego badania odwiertów walcowych oraz pomiarów liczb odbicia w wybranych miejscach pomiarowych, wielkości przesunięcia krzywej.

Stosowanie dobranych krzywych regresji (zależności empirycznej) bez badań sprawdzających może nastąpić tylko w wyjątkowych przypadkach, pod warunkiem należytego ich uzasadnienia dla danego betonu przez specjalistyczną placówkę naukowo-badawczą.

Oszacowania wytrzymałości betonów na ściskanie z wykorzystaniem metody pośredniej i badań co najmniej trzech próbek rdzeniowych

Obszary (elementy) pomiarowe bada się wybranymi metodami pośrednimi w celu określenia zmienności i wybrania miejsc o niższej wytrzymałości. Z miejsc tych pobierane są co najmniej trzy próbki rdzeniowe o średnicy równej co najmniej 75 mm. Jako wartości $f_{c, is}$ przyjmuje się średnie z co najmniej trzech próbek odwiercanych pod warunkiem, że rozrzuty wyników nie przekraczają 15% wartości średnich.

Ocena dostarczonych betonów dla konstrukcji w przypadku kwestionowania ich jakości

Przy ocenie dostarczonych betonów do wznoszenia szkieletowych konstrukcji energetycznych, w przypadku kwestionowania ich jakości, istotne jest ustalenie, czy nieosiągnięcie przez beton deklarowanej wytrzymałości na ściskanie w konstrukcji wynika z jakości dostarczonego betonu czy z innych przyczyn, np. błędów przy wbudowywaniu betonu, jego zagęszczaniu, pielęgnacji czy ochronie w trakcie dojrzewania.

W przypadku wątpliwości związanych z jakością dostarczonego betonu na budowę producenci powinni przekazać zainteresowanym stronom informacje umożliwiające określanie zagrożeń dla konstrukcji, w tym oszacowaną charakterystyczną wytrzymałość na ściskanie dostarczonych betonów bezpośrednio przed betonowaniem konstrukcji.

Do oceny klas wytrzymałości na ściskanie betonów wbudowanych w konstrukcje można stosować:

- badania przesiewowe,
- pośrednie metody pomiarowe wraz z badaniami próbek odwiercanych,
- badania próbek odwiercanych.

Badania przesiewowe

Badania te są stosowane do określania zmienności właściwości wbudowywanych betonów, do wskazania miejsc najsłabszych oraz do oszacowania, czy klasa betonu odpowiada założonej. Polegają one na zastosowaniu metod pośrednich o ustalonych zależnościach korelacyjnych pomiędzy wynikami badań tymi metodami a wytrzymałościami betonów w konstrukcjach.

Pośrednie metody pomiarowe wraz z badaniami próbek odwiercanych

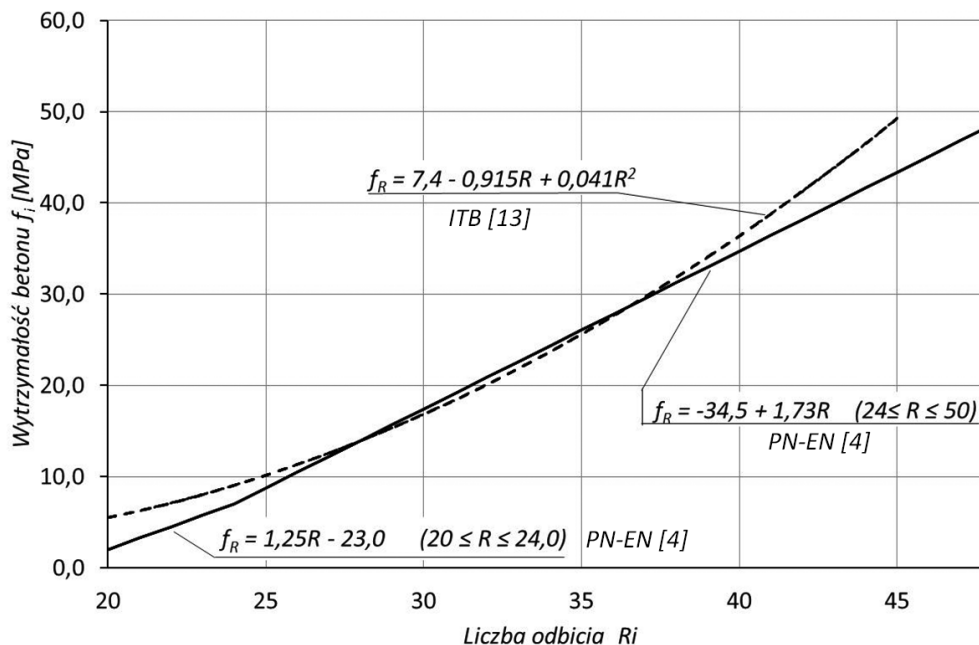
Beton w szkieletowych konstrukcjach energetycznych objęty badaniami powinien być podzielony na obszary (elementy) pomiarowe nieprzekraczające objętości betonu 180 m³, a te z kolei na porcje po około 30 m³, które stanowią podstawę do wyznaczenia punktów pomiarowych. Następnie ustalane są minimalne liczby punktów pomiarowych dla obszarów (elementów) pomiarowych (tab. 9. w normie [2]).

Badania próbek odwiercanych

W metodach, gdzie za podstawę przyjęto wyłącznie wyniki badań próbek odwiercanych, badane obszary (elementy) pomiarowe są dzielone na porcje o objętości około 30 m³. Z każdej porcji są pobierane próbki odwiercane o minimalnej liczbie określonej w tab. 6. w normie [2]. Jeśli oba kryteria podane w tej tablicy są spełnione, uznaje się, że istnieje zgodność wytrzymałości na ściskanie w badanych obszarach (elementach) pomiarowych z wytrzymałościami założonymi.

Podsumowanie i wnioski

W cyklu życia konstrukcji szkieletowych z betonu w energetyce występuje wiele sytuacji wymagających znajomości właściwości betonu, szczególnie wytrzymałości na ściskanie oraz ich jednorodności. W tym celu są wykonywane dokładne oceny betonów za pomocą próbek odwiercanych z konstrukcji (próbek rdzeniowych) oraz metod nieniszczących [7].



Rys. 2. Podstawowe krzywe regresji: norma oraz ITB [11]

Metody badań nieniszczących są w Polsce z powodzeniem stosowane na szeroką skalę od wielu już lat. Do metod tych zaliczane są m.in. metody ultradźwiękowe, sklerometryczne, radiologiczne, elektryczne itp.

Ujednolicanie w ramach Unii Europejskiej metod badań oraz zasad ich stosowania objęło również ocenę betonów w obiektach budowlanych (normy PN-EN 13791 [2] i PN-EN 12504 [8, 9]). Jednakże norma [2] dopuszcza korzystanie z innych równań korelacji niż podane w niej równania liniowe. W związku z tym po wieloletnich analizach stwierdza się, że do oceny szkieletowych konstrukcji energetycznych możliwe jest dalsze stosowanie krzywych korelacji wykorzystywanych w dotychczasowej praktyce budowlanej. Za tym przemawiają także małe różnice w wartościach wytrzymałości betonu, określanych według PN-EN i PN-B, które pokazano na rysunku 2. [2–4, 6–9, 12–16].

Zwraca się uwagę, że dopuszczone normą [2] przypadki szacowania wytrzymałości betonu w szkieletowych konstrukcjach energetycznych bez skalowania powinny być ograniczone do minimum, ponieważ ustalane wcześniej krzywe regresji mogą – z uwagi na dużą różnorodność dodatków i domieszek dodawanych do betonu – być nieodpowiednie w analizowanych sytuacjach, powodując błędy w ocenie w granicach do 50%.

Literatura

- [1] PN-EN 13791:2008 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach budowlanych.
- [2] PN-EN 13791:2019-12 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach budowlanych.
- [3] PN-B-06261:1974 Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda ultradźwiękowa badania wytrzymałości betonu na ściskanie.
- [4] PN-B-06262:1974 Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda sklerometryczna badania wytrzymałości betonu na ściskanie za pomocą młotka Schmidta typu N.
- [5] Runkiewicz L., Runkiewicz M., Sieczkowski J.: Nowe zasady stosowania badań nieniszczących do oceny wytrzymałości i jednorodności betonów.
- [6] PN-EN 12504-2:2013-03 Badania betonu w konstrukcjach. Część 2: Badanie nieniszczące. Określanie liczby odbicia.
- [7] Runkiewicz L., Brunarski L.: Instrukcja stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji. ITB, Warszawa 1977.
- [8] PN-EN 12504-1:2019-08 Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Próbkę rdzeniowe. Pobieranie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie.
- [9] PN-EN 12390-1 Badanie betonu. Część 1: Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek do badań i form.
- [10] Praca zbiorowa pod redakcją L. Runkiewicza: Diagnostyka obiektów budowlanych. PWN, Warszawa 2020.
- [11] Brunarski L., Dohojda M.: Diagnostyka wytrzymałości betonu w konstrukcji. ITB, Warszawa 2015.
- [12] PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [13] PN-EN 206+A1:2016-12 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność. Cz.1. Builder 01(282).DOI 10.5604/01.3001.0014.5921. Cz. 2. Builder 02 (283), DOI: 10.5604/01.3001.0014.6350.

[14] PN-EN 1990 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.

[15] Jasiński R.: Określenie wytrzymałości betonu w konstrukcji. XXIX Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji. Szczyrk 2014.

[16] Brunarski L., Runkiewicz L.: Instrukcja stosowania metody ultradźwiękowej do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji. ITB, Warszawa 1977.

[17] Drobiec L., Jasiński R., Piekarczyk A.: Diagnostyka konstrukcji żelbetowych, tom 1, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.

DOI: 10.5604/01.3001.0015.7720

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Runkiewicz Leonard, Runkiewicz Maciej, Sieczkowski Jan, 2022, Badania nieniszczące betonów w szkieletowych obiektach energetycznych w świetle normy PN-EN 13791, „Builder” 4 (297). DOI: 10.5604/01.3001.0015.7720

Streszczenie: W obiektach energetycznych, analogicznie jak w innych konstrukcjach żelbetowych, często występują sytuacje wymagające znajomości wytrzymałości betonu na ściskanie. Wytrzymałości te mogą być szacowane metodami bezpośrednimi lub pośrednimi, z wykorzystaniem metod nieniszczących.

W artykule opisano proponowane nowe zasady oceny wytrzymałości betonów na podstawie badań metodami nieniszczącymi. Zasady te, określone w normie PN-EN 13791, są odmienne od dotychczas stosowanych wg PN-B. Niemniej jednak możliwe jest dalsze stosowanie krzywych korelacji wykorzystywanych w dotychczasowej praktyce budowlanej.

Słowa kluczowe: badania nieniszczące, wytrzymałość betonu, jednorodność betonu, młotek Schmidta

Abstract: NON-DESTRUCTIVE TESTS OF CONCRETE IN ENERGY FRAME STRUCTURES BASED ON STANDARD PN-EN 13791. In energy structures, as in other reinforced concrete structures, there are often situations requiring the knowledge of the compressive strength of concrete. Strength can be estimated by direct or indirect methods, using non-destructive methods.

This article describes the proposed new rules for assessing the strength of concrete based on non-destructive testing. These rules, set out in the PN-EN 13791 standard, are different from those previously used according to PN-B. Nevertheless, it is possible to continue to apply the correlation curves used in the current construction practice.

Keywords: non-destructive testing, concrete strength, concrete uniformity, Schmidt's hammer