

Stanisław Plechawski*

Biuro Projektowo-Budowlane Planex, Zamość

Porównanie metod skalowania krzywych korelacji na przykładzie żelbetowego stropu płytowo-żebrowego

Comparison of methods of scaling correlation curves on the example of the reinforced concrete of a pillar-slab ceiling

ABSTRACT

The paper attempts to compare the methods of scaling correlation curve according to PN EN 13791: 2008 (Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components - [1]) and according PN-74/B-06262 [2] and of Building Research Institute Instruction no. 210/77 with using of Schmidt's hammers for non-destructive control of concrete quality in the structure [3]. Comparisons were made on a real example of expert opinion on determining the compressive strength of concrete in the reinforced concrete ceiling using an indirect method using the correlation dependence determined by examines of cores of wellbores of concrete downloaded from the construction.

Keywords: non-destructive testing of concrete; Schmidt's hammer, curve scaling

STRESZCZENIE

W artykule podjęto próbę porównania metod skalowania krzywej korelacji wg PN EN 13791: 2008 (Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych - [1]) oraz wg PN-74/B-06262 [2] i Instrukcji ITB nr 210/77 stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji [3]. Porównania dokonano na konkretnym przykładzie ekspertyzy dotyczącej ustalenia wytrzymałości betonu na ściskanie w stropie żelbetowym za pomocą metody pośredniej z wykorzystaniem wyznaczonej zależności korelacyjnej określonej poprzez badania odwiertów rdzeniowych pobranych z konstrukcji.

Słowa kluczowe: badania nieniszczące betonu; młotek Schmidta, skalowania krzywej

1. Wstęp

Określenie wytrzymałości betonu jako materiału konstrukcyjnego w istniejących elementach budowlanych jak dotychczas jest zagadnieniem dość trudnym i nie w pełni rozwiązany. Zagadnienie to jest ważne przy opracowywaniu ekspertyz i projektowaniu przebudowy lub modernizacji obiektów budowlanych oraz przy ocenie ich stanu technicznego. Rozpoznanie cech mechanicznych betonu jako konstrukcyjnego materiału kompozytowego jest ważnym i złożonym problemem przy określeniu jego rzeczywistej nośności i trwałości.

Obecnie w ocenie nośności elementów betonowych stosuje się badania nieniszczące, niszczące oraz częściowo niszczące, które pozwalają ocenić właściwości zarówno całej konstrukcji, jak i jej elementów.

Do metod nieniszczących można zaliczyć badania obciążeniem próbnym [4], metody sklerometryczne, ([5], [6]) ultradźwiękowe [7], akustyczne, radiologiczne [8] i inne ([7], [10]).

Metody niszczące polegają m.in. na pobraniu próbek w postaci odwiertów o odpowiedniej średnicy [11]. Odwierty te mogą być wykonywane w kierunku pionowym lub poziomym. Walce należy wycinać w miejscach reprezentatywnych dla konstrukcji.

Metody częściowo niszczące (mało niszczące, semi-niszczące) polegają na określaniu parametrów betonu

na podstawie próby wrywania lub odrywania zakotwionego lub przyklejonego elementu z przypowierzchniowych warstw konstrukcji, z których najbardziej znane są metody: pull-out [8] : wrywanie kotew osadzonych w betonie; lock-out: wrywanie kotew osadzonych przed betonowaniem; pull-off: odrywanie przyklejonych krążków stalowych; break-off: wyłamywanie kawałków betonu lub naroży; metody penetracyjne.

W artykule dokonano porównania wyników uzyskanych z badania wytrzymałości betonu metodą sklerometryczną (nieniszcząca) oraz ich korelacji na podstawie badania próbek - odwiertów pobranych z konstrukcji (metodą niszcząca).

2. Opis konstrukcji obiektu

Przedmiotowy obiekt to budynek mieszkalny wielorodzinny w kształcie litery C z garażem podziemnym wielostanowiskowym wewnątrz dziedzińca, utworzonego przez skrzydła mieszkalne (Rys. 1). Część garażowa wykonana jest w konstrukcji żelbetowej szkieletowej monolitycznej. Strefa mieszkalna została zrealizowana w technologii murowej z bloczków betonowych klasy B20 na zaprawie cementowej klasy M10, wzmocniona trzpieniami żelbetowymi.

Przedmiotem ekspertyzy [15] był żelbetowy strop płytowo-żebrowy nad podziemnym garażem wielostanowiskowym.

Rzeczony budynek znajdował się w trakcie realizacji. Betonowanie elementów konstrukcyjnych, które zostały poddane badaniom, wykonano dnia 08.07.2014. Badania

*Autor korespondencyjny. E-mail: planex@pro.onet.pl

sklerometryczne betonu wykonano 14.08.2014. a próbki-odwierty pobrano 21.08.2014 (w okresie letnim) zatem beton powinien był osiągnąć już swoją pełną, 28-dniową wytrzymałość.

Obszar stropu, na którym wykonano badania niszczące oraz sklerometryczne posiada wymiary 27,6 m x 24,0 m. Rozstaw podciągów wynosi od 3,30 m do 3,60 m. Wysokość piwnic od posadzki do spodu podciągów wynosi ok. 2,70 m oraz ok. 3,00 m do spodu płyty stropowej.

Konstrukcja stropu to płyta żelbetowa grub. ok. 20 cm oparta na podciągach o wymiarach 40*50 cm biegnących w jednym kierunku oraz na ścianach piwnic wykonanych z bloczków betonowych. Podciągi oparto na słupach żelbetowych okrągłych o średnicy 40 cm, których rozstaw wynosi: wzdłuż podciągów 5,40 m, a w kierunku prostopadłym 3,50 m.

Zbrojenie płyty stropowej prętami #12 w rozstawie co 20 cm i 25 cm.

Projekt budynku przewidywał strop z betonu klasy C20/25 zbrojony stalą klasy A-IIIIN.

Konieczność opracowania ekspertyzy wynika z zaobserwowanego przez Wykonawcę robót na części stropu zbyt długiego czasu wiązania betonu oraz braku oczekiwanego przyrostu jego wytrzymałości. Na podstawie wstępnej oceny wizualnej i udarowej stwierdzono, że powierzchnia stropu w niektórych miejscach wskazuje na niższą klasę betonu niż zakładana.



Rys. 1. Widok ogólny budynku.
Fig. 1. General view of the building.



Rys. 2. Fragment płyty stropowej o niskiej wytrzymałości.
Fig. 2. The fragment of the ceiling slab of a low strength.

W związku z tym podstawową kwestią (oprócz innych zagadnień, które nie są tematem niniejszego referatu) było określenie wytrzymałości betonu na ściskanie.

3. Zakres badań

Na podstawie informacji wykonawcy robót o realizacji stropu od początku do końca w systemie ciągłym, bez przerw technologicznych, przyjęto, że całość stropu garażu należy do tej samej populacji. Zgodnie z p-ktem 7.2 PN-EN 13791 [1] należy wykonać jak największą, praktycznie możliwą, liczbę odwiertów. Wykonano dziewięć odwiertów w stropie.

Zgodnie z zaleceniami normy [11], pobrano odwierty (Rys. 3) o średnicy 100 mm z uwagi na grubość płyty stropowej 200 mm. Próbkę takie są reprezentatywne, ponieważ ich wysokość jest dwukrotnie większa od średnicy. We wskazanych miejscach stropu, przed pobraniem odwiertów, wykonano po 15 pomiarów liczb odbicia młotkiem Schmidta typu N. Ponadto dodatkowo zrealizowano na powierzchni stropu pomiary liczb odbicia w 19 innych miejscach płyty stropowej, łącznie 26 miejsc i ok. 390 pomiarów liczb odbicia.



Rys. 3. Odwiert rdzeniowy walcowy, w głębi: pobieranie następnej próbki.
Fig. 3. The core cylindrical, at the back: taking sample of the next specimen.

Do oceny klasy betonu na podstawie liczb odbicia sklerometru wykorzystano zależności korelacyjne zawarte w normie [1] oraz Instrukcji [3], a także uwzględniono wymagania normy PN-74/B-06262 [2].

Badania wytrzymałości na ściskanie próbek-odwiertów wykonano w atestowanym laboratorium. Wyniki te zostały dodatkowo opracowane - uwzględniono odpowiednie współczynniki przeliczeniowe wytrzymałości wynikające z różnic średnic odwiertów i próbek normowych oraz stosunku wysokości do średnicy próbek.

4. Wyniki badań

Wytrzymałość betonu w konstrukcji określono za pomocą badań niszczących i nieniszczących.

Na podstawie wyników badań ściskania próbek betonu

i towarzyszących im wcześniejszych, w miejscach pobrania próbek, badań sklerometrycznych młotkiem Schmidta, wyskalowano krzywe bazowe, które posłużyły do opracowania skorygowanych krzywych korelacji. Te z kolei stanowiły podstawę do określenia wytrzymałości betonu badanego młotkiem Schmidta w pozostałych częściach stropu, co pozwoliło określić rzeczywistą wytrzymałość betonu płyty stropowej (Tab. 1).

Tab. 1. Wytrzymałości betonu na ściskanie.
Tab. 1. Compressive strengths of concrete.

Próbka nr	Wytrzymałości na ściskanie próbek (odwiertów) z maszyny wytrzymałościowej $f_{ci} = f_{is,cyl} = f_{is,cube}$ [MPa]	Wytrzymałości na ściskanie obliczone z równania skorygowanej krzywej korelacji PN-EN 13791 $f_{is,L}$ [MPa]	Wytrzymałości na ściskanie obliczone z równania skorygowanej krzywej korelacji ITB $f_{is,L}$ [MPa]
1-O	19,9	23,6	19,0
3-O	21,1	19,8	15,3
4-O	16,5	16,3	12,2
7-O	10,2	37,3	36,5
15-O	26,2	35,5	33,9
16-O	32,8	32,2	29,3
24-O	21,9	23,5	18,9
25-O	20,2	23,6	19,0
26-O	19,8	16,7	12,6
Średnia	20,9	25,4	21,9

W przypadku przyjęcia za podstawę obliczeń normy PN-EN-13791: 2008 [1] otrzymano wartość charakterystyczną wytrzymałości betonu w konstrukcji, którą określono dla danego miejsca pomiarowego zgodnie z [1] wg przypadku B (przy ilości 3 ÷ 14 odwiertów), jako mniejszą z dwóch wartości (Tab. 1, kol. 3):

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k \quad (1)$$

lub

$$f_{ck,is} = f_{is,lowest} + k \quad (2)$$

gdzie:

$f_{ck,is}$ - wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie próbek walcowych (Tab. 1, kol. 2);

$f_{m(n),is}$ - średnia arytmetyczna wytrzymałości na ściskanie próbek;

$f_{is,lowest}$ - najmniejsza wartość wytrzymałości na ściskanie próbek;

k - zmienna związana z małą liczbą badań próbek-odwiertów, wg Tablicy 2 ww PN-EN dla 9-ciu odwiertów: $k = 6$.

W normie [1] zapisano, że mogą być przyjmowane inne wiarygodne podstawowe krzywe regresji. Należy podkreślić, że w Polsce od wielu lat w badaniach sklerometrycznych stosowana jest krzywa regresji ITB [17], której równanie (po konwersji wytrzymałości oznaczanych na dawnych normowych walcach o średnicy 160 mm na próbki sześciennie o boku 150 mm) ma postać [13]:

$$f_c = 0,0409L^2 - 0,915L + 7,4 \text{ [MPa]} \quad (3)$$

W przypadku istniejących konstrukcji często nie ma

możliwości doboru zależności empirycznych za pomocą analizy statystycznej. W takich sytuacjach do oceny wytrzymałości betonu przyjmuje się skorygowaną postać hipotetyczną, wyznaczoną uprzednio w metodzie nieniszczącej, charakteryzującej się podobnymi parametrami. Korygowanie przyjętej zależności empirycznej przeprowadza się przez analizę kilku próbek (3 ÷ 9 szt.) lub odwiertów z konstrukcji według zależności (4) na podstawie [5]:

$$R_o = c_k \cdot R_h \quad (4)$$

gdzie:

R_o - poszukiwana krzywa regresji;

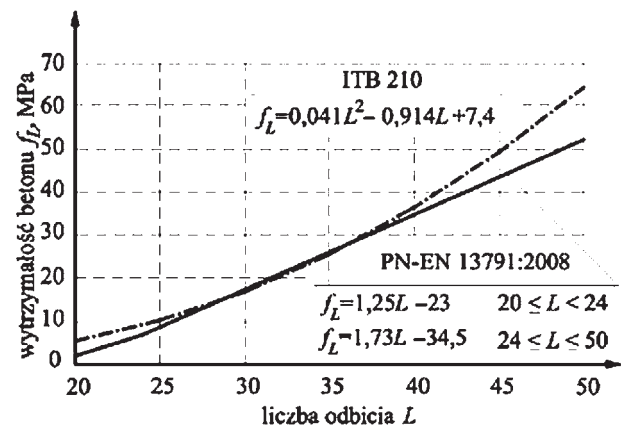
R_h - założona hipotetyczna krzywa regresji;

c_k - współczynnik korekcyjny równy stosunkowi średniej wytrzymałości na ściskanie próbek odwiertów do średniej wytrzymałości na ściskanie wynikającej ze średniej liczby odbicia.

Wyniki skalowania wytrzymałości wg instrukcji ITB [3] zamieszczono w Tab. 1 (ostatnia kolumna).

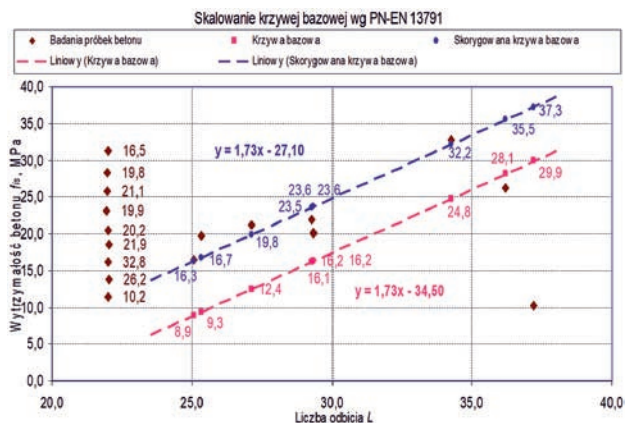
5. Analiza wyników badań

Z literatury przedmiotu [18] wynika, że krzywa skalowania proponowana w PN-EN 13791:2008 w przypadku badań sklerometrycznych jest, w pewnym przedziale, bardzo zbliżona do zastosowanej w Instrukcji ITB nr 210. Przebieg krzywej zalecanej w przepisach polskich lepiej odwzorowuje rzeczywiste zależności, ponieważ w badaniach obserwuje się jej większy wzrost przy wyższej wytrzymałości betonu (Rys. 4). Stąd też w przypadku badania betonów wyższych klas, np. od C50/60 i powyżej, należy stosować odpowiednie współczynniki korekcyjne ([9], [13]) do zależności hipotetycznych podanych w instrukcjach ITB.

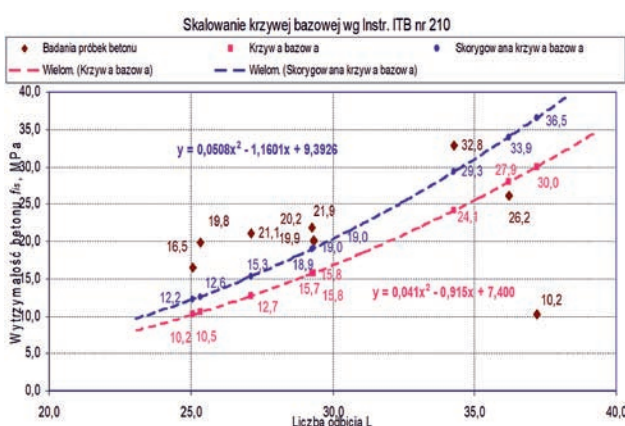


Rys. 4. Porównanie krzywych korelacji fR-R.
Fig. 4. Comparison of correlation curves fR-R.

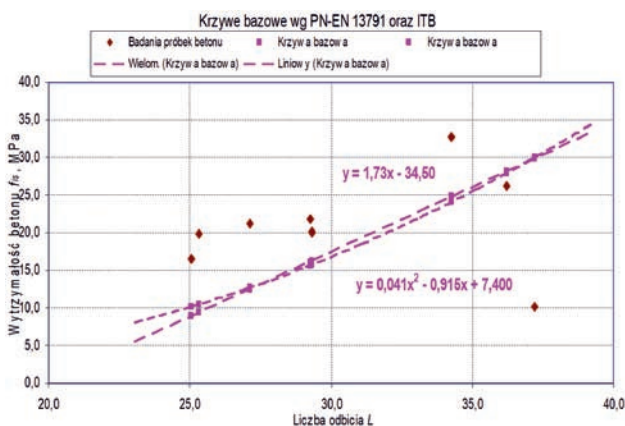
Na Rys. 5 i 6 pokazano wykresy skalowania krzywej bazowej wg PN-EN 13791 [1] oraz wg Instrukcji ITB nr 210 [3]. Jak wynika z porównania obydwu wykresów, nałożonych na siebie, podstawowe krzywe bazowe, zgodnie z tym, co przytoczono powyżej, niewiele się różnią (Rys. 7). Krzywe bazowe „przeplatają się”, a różnice w wartościach bezwzględnych wynoszą od ok. 1,3 MPa do ok. 0,7 MPa (od ok. 12% do ok. 3%) pomiędzy krzywą bazową wg [1] a krzywą bazową wg [3].



Rys. 5. Skalowanie krzywej bazowej wg PN-EN 13791 [1].
Fig. 5. Scaling the base curve according to PN-EN 13791 [1].



Rys. 6. Skalowanie krzywej bazowej wg Instrukcji ITB 210 [3].
Fig. 6. Scaling the base curve according to the BRI Instruction 210 [3].



Rys. 7. Krzywe bazowe wg [1] i wg [3].
Fig. 7. The base curves according to [1] and [3].

W przypadku skorygowanych krzywych bazowych różnica wynosi od 0,8 MPa do 4,6 MPa co stanowi od ok. 2% do ok. 33% (próbka nr 4-O). Należy zwrócić uwagę na fakt, iż wytrzymałości betonu skorelowane wg [1] są tu generalnie wyższe od wytrzymałości skorelowanych wg [3] i w większości też wyższe od zbadanych na próbkach-odwiertach (Tab. 1). Wyjątek stanowi próbka nr 10, której wytrzymałość skorygowana, zarówno wg PN-EN 13791 jak i Instrukcji ITB nr 210, jest wyraźnie wyższa niż wynikająca

z badania niszczącego. Próbka ta pobrana była z miejsca, gdzie zaobserwowano zbyt długi czas wiązania betonu oraz brak przyrostu jego wytrzymałości.

Ponieważ wartości wytrzymałości betonu na ściskanie obliczone przy wykorzystaniu w badaniach sklerometrycznych podstawowych krzywych, zarówno normowej wg [1], jak i krzywej ITB [3], są bardzo zbliżone, to krzywe te mogą być traktowane jako jednakowo uprawnione do stosowania [18].

6. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę analizę wyników badań zawartych w niniejszym artykule, należy stwierdzić, że przy większych liczbach odbicia (Rys. 3: dla $L=50$ i powyżej) rozbieżności pomiędzy wytrzymałością obliczoną na podstawie normy [1] oraz Instrukcji ITB [3] są większe.

Porównując średnie wartości wytrzymałości z Tab. 1 (ostatni wiersz) można zauważyć, że średnia wytrzymałość (21,9 MPa) obliczona z krzywej ITB [3] jest bardziej zbliżona do średniej wytrzymałości na ściskanie próbek pobranych z konstrukcji (20,9 MPa), niż średnia (25,4 MPa) z krzywej wg PN-EN 13791 [1]. Spostrzeżenie to potwierdza zarówno własna działalność ekspercka autora referatu [19], jak i analiza przykładów zawartych w literaturze [5], [16].

Na podstawie niniejszej pracy (Tab. 1) można stwierdzić, że metoda oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach wg PN-EN 13791 [1] w tym wypadku zawyża średnią wytrzymałość odwiertów o ok. 21,5%, natomiast wg ITB tylko ok. 4,8%. Biorąc pod uwagę inne opracowania własne, występuje zaniżenie średniej wytrzymałości korelowanej na podstawie normy [1], które wynosi ok. 13% i ok. 22%. Zaniżenie wytrzymałości wg normy [1] potwierdzają również dane literaturowe, np. [16]; w prezentowanym tam przykładzie zaniżenie średniej wytrzymałości w odniesieniu do badanych próbek wynosi również ok. 22%.

Wydaje się, że na tej podstawie można postawić tezę, iż metoda oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach wg PN-EN 13791 [1] niezbyt dobrze odzwierciedla skorygowaną wytrzymałość w stosunku do wyników badań odwiertów pobranych z konstrukcji.

Z kolei ocena wytrzymałości betonu metodą ITB [3] jest wysoce zbieżna z wynikami badań próbek odwiertów na ściskanie, a jak stwierdzono w [20]: „Najbardziej wiarygodnym źródłem informacji o jakości betonu w konstrukcji są próbki rdzeniowe”. Zdanie to potwierdza zasadność stosowania tej metody oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji.

Częstym problemem w realizacji ekspertyz jest ilość pobieranych próbek-odwiertów. Pomijając kwestie kosztów, właściciele budynków bardzo niechętnie godzą się na, kolekwalnie mówiąc, „dziurawienie” ich obiektów, zresztą sama nazwa „badania niszczące” też niezbyt dobrze się kojarzy. Z punktu widzenia obiektywizmu badań należy zgodzić się z konkluzją zapisaną w [21], że „w celu uniknięcia kłopotliwych sytuacji decyzyjnych oraz zapewnienia wiarygodności analizy normowej, należałoby dążyć do zwiększenia liczby próbek do min. 15 szt. Jednak w przypadku wielu inwestycji mogłoby okazać się to dla zleceniodawcy nie do zaakceptowania. Pożądane byłoby wprowadzenie normowych metod oceny wytrzymałości betonu - jednocześnie wiarygodnych

i bezpiecznych - także i dla niewielkiej ilości badanych próbek”

Nie wydaje się to jednak możliwe w świetle projektu nowej normy prEN 13791:2018 [22] (będącej aktualnie w trakcie publicznej debaty), w której zachowano, a właściwie to nawet zwiększono ilości próbek.

Aktualna norma [1] dopuszcza mniejsze ilości odwiertów, np. pkt 7.2: „Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, dla danego miejsca pomiarowego, powinna być oparta na badaniu co najmniej 3 odwiertów.” Potwierdza to, a nawet łągodzi pkt. 8.1.1 te same normy: „W przypadku, gdy metoda pośrednia jest oparta albo skalowana tylko na jednym lub dwóch wynikach badań odwiertów, interpretacja wyników powinna się opierać na postanowieniach przyjętych w miejscu stosowania.”

Odnośnie wymienionej w wstępie ekspertyzy: przyczyną złej jakości betonu, wg producenta, było zanieczyszczenie cementowozów popiołami, które podobno w nich przewożono przed transportem cementu do węzła betoniarskiego. Zalecono rozbiórkę, poprzez wycięcie piłami do betonu, części stropu o niskiej wytrzymałości (z uwagi na brak jej przyrostu przez następny miesiąc) i wykonanie od nowa betonem o właściwych parametrach. Zalecone prace zostały wykonane i budynek jest aktualnie eksploatowany bezproblemowo.

7. Literatura/References

- [1] PN EN 13791: 2008, Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych.
- [2] PN-74/B-06262: 1974, Metoda sklerometryczna badania wytrzymałości betonu na ściskanie za pomocą młotka Schmidta typu N.
- [3] Instrukcja ITB nr 210/77 stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji.
- [4] Lewicki B.: Obciążenia próbne konstrukcji istniejących budynków. ITB. Warszawa 1997
- [5] Runkiewicz L.: Ocena wytrzymałości betonu w konstrukcji za pomocą sklerometrów Schmidta. Prace Naukowe ITB, rok: XXXVIII. Warszawa, 1983.
- [6] Runkiewicz L.: Wpływ wybranych czynników na wyniki badań sklerometrycznych betonu. Prace Naukowe ITB, rok: XLVI. Warszawa, 1991.
- [7] Runkiewicz, L. Piotrowski, T. Załęgowski, K. Garbacz, A. : Zastosowanie metody ultradźwiękowej do oceny właściwości mechanicznych betonów osłonowych. Przegląd Spawalnictwa. R. 87, nr 12. 2015.
- [8] Runkiewicz L., Lewiński P.: Diagnostyka, wzmacnianie i monitorowanie żelbetowych i sprężonych zbiorników na materiały sypkie i ciecze. Przegląd Budowlany 10/2014.
- [9] Runkiewicz L.: Tendencje rozwojowe badań nieniszczących w budownictwie. Prace Naukowe ITB.
- [10] Runkiewicz L.: Diagnostyka i wzmacnianie konstrukcji żelbetowych, Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1999.
- [11] PN-EN 12504-1 : 2001, Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Odwierty rdzeniowe. Wycinanie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie.
- [12] Runkiewicz L.: Ocena jakości materiałów w obiektach zażytkowych. Materiały V Konferencji naukowo-Technicznej REW.-INŻ., Kraków 1998
- [13] Runkiewicz L.: Application of Non-Destructive Testing Methods to Assess Properties of Construction Materials in Building Diagnostics. The Silesian University of Technology. Architecture Civil Engineering Environment. No. 2/2009.
- [14] Runkiewicz L., Brunarski L.: Instrukcja stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji nr 148. ITB, Warszawa, 1973
- [15] Plechawski S.: Ekspertyza techniczna wytrzymałości stropu, 2014
- [16] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Metodologia, badania polowe, badania laboratoryjne betonu i stali. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010
- [17] Brunarski L., Runkiewicz L.: Podstawy i przykłady stosowania metod nieniszczących w badaniach konstrukcji z betonu. Wyd. ITB, Warszawa 1983,
- [18] Brunarski L.: Oszacowywanie wytrzymałości betonu in situ – komentarz do PN-EN 13791:2008, Dni Betonu - 2010.
- [19] Runkiewicz L., Plechawski St.: Ocena stanu technicznego sprężonych dźwigarów dachowych w eksploatowanych obiektach budowlanych. Przegląd Budowlany nr 11/2008.
- [20] Starosolski W., Drobiec Ł., Jasiński R., Jaśniok T., Jaśniok M., Piekarczyk A.: Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. XI Konferencja Naukowo-Techniczna: Problemy Rzeczoznawstwa Budowlanego. Warszawa-Miedzeszyn, 14-16.04.2010 r.
- [21] Runkiewicz L., Szafran J.: Badania i ocena wytrzymałości betonu w żelbetowej konstrukcji monolitycznej. 41. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących. Toruń, 2012.
- [22] Draft prEN 13791:2018, Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components. BSI Group Headquarters. Latest date for receipt of comments: 03 July 2018.