

prof. dr hab. inż. Anna Halicka
Politechnika Lubelska

Ocena wytrzymałości betonu w istniejącej konstrukcji przy małej liczbie odwiertów rdzeniowych według nowelizacji norm PN-EN 1990-2 i PN-EN 1992-1

Assessment of concrete strength in existing structure basing on low number of cores in accordance with PN-EN 1992-1 standard

Streszczenie

W artykule przedstawiono zasady oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji na podstawie badania odwiertów rdzeniowych. Bazując na aktualnych normach wskazano na zależność wytrzymałości charakterystycznej betonu od liczby zbadanych próbek, także gdy ich liczba jest mała, co zobrazowano przykładem liczbowym. Przystawiono także, jak znaczna rozrzut wyników badań próbek wpływa na częściowy współczynnik materiałowy w obliczeniach bezpieczeństwa istniejących konstrukcji.

Abstract

In the paper the rules of assessment of concrete strength in existing structure basing on concrete core testing are presented. On the basis of actual European standards the dependence of characteristic strength value and number of tested specimens is shown, even if number of cores is low. The calculative example is presented. Also the influence of large number of cores on the partial material factor in assessment of existing structure safety is presented.

1. Wprowadzenie

Ocena wytrzymałości betonu w konstrukcjach istniejących realizowana jest zgodnie z PN-EN 13791 *Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i*

prefabrykowanych wyrobach betonowych [1] na podstawie badania odwiertów rdzeniowych pobranych z konstrukcji i badanych zgodnie z PN-EN 12504 *Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Próbk rdzeniowe – pobieranie, ocena i badanie* [2]. Normy zostały znowelizowane w roku 2019. Stały się przedmiotem prezentacji i analiz [3,4] oraz ożywionej dyskusji w czasie konferencji *Dni betonu* w roku 2023.

Analizując normę [1] zauważyć trzeba przede wszystkim, że rozróżniono w niej sposób oceny wytrzymałości betonu ze względu na cel: ocenę ukierunkowaną na uzyskanie danych dla określenia bezpieczeństwa konstrukcji i ocenę ukierunkowaną na stwierdzenie, czy wbudowany został beton o parametrach wytrzymałościowych, które zostały wyspecyfikowane w zamówieniu.

W niniejszym artykule zaprezentowano jedynie dane w odniesieniu do oceny ukierunkowanej na określenie bezpieczeństwa konstrukcji. Te dane odniesiono do zaleceń już znowelizowanych lub będących w trakcie nowelizacji norm z serii Eurokod: EN 1990-2 Eurocode – *Basis of structural and geotechnical design. Part 2: Assessment of existing structures* [5] (nowa norma przyjęta przez CEN w roku 2024), FprEN 1990-1:2022 Eurocode – *Basis of structural and geotechnical design design. Part 1: New structures* [6] (norma w trakcie nowelizacji) oraz PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: *Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, mostów i konstrukcji inżynierskich* [7] (znowelizowana norma wprowadzona przez PKN do katalogu norm aktualnych w roku 2024).

2. Podstawowe zasady ustalania wytrzymałości betonu na podstawie badania odwiertów rdzeniowych - zasady podstawowe normy PN-EN 13791

W normie PN-EN 13791 [1] zalecono, aby ocena wytrzymałości betonu odbywała się na podstawie badania rdzeni:

- o stosunku wysokości do średnicy 2:1 lub 1:1
 - przy stosunku wymiarów 2:1 dopuszcza się 5% odchylenia od tego stosunku, a przy stosunku wymiarów 1:1 – 10%,
 - przeliczenie wyników uzyskanych przy stosunku wymiarów 1:1 na wyniki dla stosunku 2:1 realizowane jest przez współczynnik CLF = 0,82; nie podano współczynników przeliczeniowych dla innych stosunków wymiarów,
- o średnicy nie mniejszej niż 75 mm
 - jedynie przy małym rozstawie prętów zbrojeniowych można używać rdzeni o średnicy co najmniej 50 mm, przy czym stosunek średnicy rdzenia do średnicy ziaren kruszywa powinien być nie mniejszy niż 3, średnica ziaren kruszywa nie większa niż 16 mm, a wartość uznana za reprezentatywną dla danego punktu pomiarowego powinna być uzyskana z co najmniej 3 rdzeni;
 - orientacyjnie podano, że rdzenie o średnicy 100 mm i stosunku wysokości do średnicy 2:1 mają wytrzymałość na ściskanie o około 7% większą niż rdzenie o średnicy 50 mm przy takim samym stosunku (ale nie ma dowodu na podobną zależność przy stosunku 1:1),
- w liczbie nie mniejszej niż 8, a w przypadku próbek o średnicy 50 mm - 12.

Wartość charakterystyczną wytrzymałości betonu w konstrukcji, odpowiadającą próbkom o stosunku wysokości do średnicy 2:1, ustala się w

założeniu rozkładu normalnego przy co najmniej 8 zbadanych próbkach na postawie wyrażeń:

$$f_{ck, is} = f_{c, mean} - k_n s, \quad (1)$$

lub

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

gdzie n jest liczbą zbadanych próbek; $s = \sqrt{\frac{(f_{c,i} - f_{c, mean})^2}{n-1}}$ - odchyleniem standardowym; k_n – wartością ustalaną na podstawie tablicy 1 w zależności od liczby próbek; $f_{c, mean}$ średnim, a $f_{c, lowest}$ - najmniejszym wynikiem badania rdzeni; M zależy od $f_{c, lowest}$ ($f_{c, lowest} < 12$ MPa $\rightarrow M = 1$ MPa, 12 MPa $\leq f_{c, lowest} < 16$ MPa $\rightarrow M = 2$ MPa, 16 MPa $\leq f_{c, lowest} < 20$ MPa $\rightarrow M = 3$ MPa, $f_{c, lowest} > 20$ MPa $\rightarrow M = 4$ MPa).

Tablica 1 Wartości k_n w zależności od liczby próbek wg PN-EN 13791

n	8	10	12	16	20	30	∞
k_n	2,00	1,92	1,87	1,81	1,76	1,73	1,64

Podstawą klasyfikacji betonu jest próbka normowa o średnicy 150 mm i wysokości 300 mm. Otwartą kwestią pozostaje ustalenie miarodajnej wytrzymałości, jeśli badane są rdzenie o średnicy różnej od 150 mm, co najczęściej ma miejsce. W PN-EN 13791 [1] nie ma jednak w tym zakresie rekomendacji (jest jedynie podana wyżej informacja dotycząca rdzeni o średnicy < 75 mm). Można zatem mniemać, że kwestię średnicy uznaje się za nieistotną i nie ma konieczności przeliczeń.

Najważniejsze wzbudzające kontrowersje postanowienia normy [1] to podanie procedury określania jedynie wytrzymałości charakterystycznej betonu, bez odniesienia do jego klasy oraz podanie wyrażeń pozwalających na określenie tej wytrzymałości jedynie przy liczbie pobranych odwiertów nie mniejszej niż 8 [3, 4].

Interpretacja braku klasy betonu jest następująca. W obliczeniach bezpieczeństwa konstrukcji należy używać właśnie określonej badaniami wytrzymałości charakterystycznej, a nie ogólnie klasy betonu. Oczywiście stosowanie jako parametru obliczeniowego klasy betonu jest kuszące ze względu na możliwości wielu programów obliczeniowych, w których klasę betonu wprowadza się jako daną podstawową. Jednak pamiętać trzeba, że wytrzymałość charakterystyczna „w ramach” klasy może być zróżnicowana, (np. w przypadku klasy C30/37 - 30,0 MPa $\leq f_{ck} < 35$ MPa) i obliczona przy użyciu tych wartości nośność konstrukcji może być różna (przy wytrzymałości 36,5 MPa nośność konstrukcji jest zdecydowanie większa niż przy wytrzymałości 30,5 MPa). A więc przy użyciu jako parametru klasy betonu, nośność może być niedoszacowana, co w efekcie prowadzić może do niepotrzebnych i kosztownych wzmocnień.

Druga z wątpliwości - wymaganie minimalnej liczby ośmiu próbek, pojawia się w związku z tym, że obowiązkiem badającego konstrukcję jest *po pierwsze nie szkodzić*. W sytuacji, gdy pobieranie dużej liczby próbek może zagrozić bezpieczeństwu konstrukcji, liczba próbek musi być ograniczona. W świetle postanowień PN-EN 13791 [1] wydaje się, że ocena wytrzymałości przy liczbie próbek mniejszej niż osiem jest niemożliwa. Ale postanowienia te oznaczają jedynie

tylę, że wyrażenia normy [1] i ich parametry mogą być używane wtedy, gdy pobrano co najmniej 8 rdzeni. Jeśli pobrana została mniejsza liczba rdzeni należy sięgnąć do norm z serii Eurokod.

2. Ocena wytrzymałości materiałów według EN 1990-1 i EN 1990-2

W EN 1990-2 [5] poświęconej ocenie bezpieczeństwa konstrukcji istniejących zalecono, aby w obliczeniach stosować charakterystyczne wytrzymałości materiałów określone na podstawie badań próbek pobranych z konstrukcji, a w tym celu należy posługiwać się metodą analizy statystycznej zawartą w aneksie D do EN 1990-1 [6]. Zalecenia te zostały też zaimplementowane do normy projektowania konstrukcji z betonu PN-EN 1992-1 [7] w aneksie I, zatytułowanym *Ocena konstrukcji istniejących*. Zgodnie z powyższymi wytycznymi charakterystyczne wytrzymałości materiałów w ocenie bezpieczeństwa konstrukcji należy przyjmować na podstawie:

- opracowanych statystycznie badań próbek pobranych z konstrukcji,
- badań próbek pobranych z konstrukcji w kombinacji z analizą statystyczną badań reprezentatywnej liczby próbek pobranych z podobnej konstrukcji.

Próbki należy pobierać z części konstrukcji reprezentatywnych dla przeprowadzanej oceny w sposób bezpieczny dla konstrukcji, a powstałe ubytki należy uzupełnić.

W aneksie D normy [6] podano zasady ustalania obliczeniowej i charakterystycznej wartości badanego parametru materiału, pod warunkiem, że zapewniono podobieństwo badań z normowymi metodami ustalania tego parametru (np. podobieństwo badań odwiertów rdzeniowych betonu do badania próbek normowych). Ustalając wartość charakterystyczną parametru należy wziąć po uwagę rozrzut wyników, niepewność związaną z liczbą próbek i wiedzę z zakresu statystyki. Tylko wtedy, gdy liczba próbek jest wystarczająco duża, klasyczna statystyka jest możliwa do zastosowania, natomiast najczęściej mamy do czynienia z małą liczbą próbek. W tej sytuacji należy przeprowadzić interpretację wyników zgodnie z procedurami Bayesian'a podanymi w normie ISO 12491 [8].

W EN 1990-1 [6] adaptowano tę metodę do ustalania wartości zmiennej będącej parametrem materiałowym w założeniu, że zmienna ma rozkład normalny (taki przyjmuje się w ocenie betonu) lub logarytmiczny (w ocenie stali zbrojeniowej, i opisie zmiennych wartości geometrycznych), nie ma wiedzy o wartości średniej zbadanej wcześniej na podobnej konstrukcji, natomiast wariantowo – znany lub nie znany jest wskaźnik zmienności V_X zbadany na podobnych konstrukcjach. To, czy sytuacje są podobne norma pozostawia do oceny eksperckiej.

W przypadku rozkładu normalnego, wartość obliczeniową zmiennej X_d ustalać należy na podstawie jej wartości charakterystycznej $X_k(n)$ ze wzoru:

$$X_d = \eta_d \frac{X_k(n)}{\gamma_M} = \frac{\eta_d}{\gamma_M} m_X \{1 - k_n V_X\} \quad (3)$$

gdzie m_X jest zbadaną wartością średnią, k_n zależy od liczby próbek n , a η_d jest współczynnikiem konwersji zależnym od typu testu i rodzaju materiału wprowadzanym, jeśli właściwości materiału w konstrukcji i w próbce różnią się oraz gdy materiał jest wrażliwy na efekty długotrwałe, γ_M jest częściowym materiałowym współczynnikiem bezpieczeństwa (patrz p. 4).

Jeśli wskaźnik zmienności V_x jest wcześniej nieznan, a wykonane zostaną co najmniej trzy pomiary, można obliczyć go na podstawie odchylenia standardowego s_x :

$$V_x = \frac{s_x}{m_x}; \quad s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum (X_i - m_x)^2. \quad (4)$$

Wartości k_n w zależności od liczby próbek w dwóch przypadkach – gdy wskaźnik zmienności jest znany z wcześniejszych podobnych badań i gdy nie jest znany, zestawiono w tabelicy 2. Gdy wskaźnik zmienności nie był wcześniej znany nie można szacować wartości charakterystycznej parametru, jeśli zbadane są tylko dwie lub jedna próbka.

Tabela 2 Wartości k_n odpowiadające 5% kwantylowi badanego parametru materiałowego wg EN 1990-1 [6] i PN-EN 1992-1

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	>30
wcześniej znane V_x	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
wcześniej nieznan V_x	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

W normie [6] rekomendowano, aby w praktyce używać przypadku, gdy wskaźnik zmienności jest znany z wcześniejszych podobnych badań (należy przyjąć największą jego możliwą wartość). Jeśli jest nieznan, należy go obliczyć, a we wzorze (1) przyjąć $V_x \geq 0,10$. W opinii autorki, wskaźnik można oszacować na podstawie rozrzutu wyników badań sklerometrycznych, które wykonywane są w większej liczbie punktów i skorzystać z pierwszego wiersza tabelicy 2.

3. Zalecenia dla ustalania wytrzymałości betonu w konstrukcji istniejącej w normie projektowania konstrukcji z betonu PN-EN 1992-1

Do normy projektowania konstrukcji z betonu wyrażenia (3) i (4) oraz tabela 2 zostały adaptowane bez zmian i znajdują się w załączniku I.

W tabelicy 3 pokazano wyniki obliczeń wytrzymałości charakterystycznej według PN-EN 13791 [1], EN 1990-1 [6] i PN-EN 1992-1 [7] przy różnej liczbie zbadanych próbek. Dla przykładu przyjęto, że średnia wytrzymałość $m_x = 35,5$ MPa, a odchylenie standardowe $s_x = 3,91$ MPa (a więc wskaźnik zmienności $V_x = 11\%$). Z tabelicy 3 wynika, że przy obliczeniu wytrzymałości charakterystycznej z uwzględnieniem uzyskanego w tych badaniach wskaźnika zmienności, dla liczby próbek równej co najmniej 8 metody PN-EN 13791 [1] i EN 1990-1 [6] dają ten sam wynik (kolumna 3 i 7 tabelicy). Ocenę na podstawie mniejszej liczby próbek (ale co najmniej trzech) umożliwia jedynie EN 1990-1 [6]. W tej sytuacji im mniejsza liczba próbek tym mniejsza wytrzymałość charakterystyczna (kolumna 7) - przy trzech próbkach wytrzymałość charakterystyczna jest aż o niemal 1/3 mniejsza niż wytrzymałość średnia. Jeśli wskaźnik zmienności został określony na podstawie innej próby z tej samej partii betonu (np. badania innych fragmentów tej samej konstrukcji,

o których wiadomo, że betonowane były w tym samym czasie z tej samej partii betonu) lub na podstawie badań sklerometrycznych, to przy tej samej wartości wskaźnika zmienności uzyskuje się znacznie większe wartości, niż przy współczynniku nieznanym. Można nawet oszacować wartość charakterystyczną wytrzymałości, jeśli zostały zbadane dwie lub nawet jedna próbka.

Tablica 3. Wytrzymałości charakterystyczne betonu obliczone wg PN-EN 13791, EN 1990-1 i PN-EN 1992-1 w założeniu $m_x = 35,5$ MPa i $V_x = 11\%$ (wcześniej znanego lub określonego na podstawie badań)

Liczba zbadanych próbek	Według PN-EN 13791 [1]		Według EN 1990-1 [6] i PN-EN 1992-1 [7]			
	k_n	f_{ck} [MPa]	wcześniej znane V_x		wcześniej nieznanne V_x	
	k_n	f_{ck} [MPa]	k_n	f_{ck} [MPa]	k_n	f_{ck} [MPa]
1	2	3	4	5	6	7
1			2,31	26,47		
2			2,01	27,64		
3			1,89	28,11	3,37	22,32
4			1,83	28,34	2,68	25,02
5			1,80	28,46	2,33	26,39
6			1,77	28,58	2,18	26,98
8	2,00	27,68	1,74	28,70	2,00	27,68
10	1,92	27,99	1,72	28,77	1,92	27,99
12	1,87	28,19				
16	1,81	28,42				
20	1,76	28,62	1,68	28,93	1,76	28,62
30	1,73	28,74	1,67	28,97	1,73	28,74
>30	1,64	29,09	1,64	29,09	1,64	29,09

Wytrzymałość charakterystyczną betonu na ściskanie obliczoną zgodnie ze wzorami (3) i (4) można skorygować ze względu na strefę, z której pobrano rdzenie:

$$f_{ck} = \frac{f_{ck, is}}{k_{\mu fc}} \quad (5)$$

Wartości $k_{\mu fc}$ określone są tu następująco:

$k_{\mu fc} = 0,95$, jeśli rdzenie pobierane są tylko z dolnych części elementów (strefa niższa niż 70% wysokości betonowanego elementu), niekoniecznie reprezentatywnych dla całego weryfikowanego obszaru,

$k_{\mu fc} = 0,90$, jeśli rdzenie pobierane są z różnych stref w ocenianym elemencie, ale niekoniecznie reprezentatywnych dla całego weryfikowanego obszaru,

$k_{\mu fc} = 0,85$, jeśli rdzenie pobrane są dokładnie z obszaru poddanego weryfikacji.

Dodatkowo przy sprawdzaniu stanów granicznych należy uwzględnić efekt długotrwałego obciążenia, przemnażając f_{ck} przez współczynnik:

- $k_{tc} = 0,85$, jeśli 100% obciążenia stanowią obciążenia stałe lub zmienne działające dłużej niż 1 godzinę,
- $k_{tc} = 1,0$, jeśli obciążenia zmienne działające krócej niż 1 godzinę stanowią co najmniej 20% całkowitego obciążenia,
- wartości pośrednie należy interpolować.

4. Częściowe współczynniki bezpieczeństwa dla wytrzymałości betonu w ocenach bezpieczeństwa konstrukcji

Jeśli w ramach oceny bezpieczeństwa konstrukcji wytrzymałość betonu została zbadana zgodnie z zasadami przedstawionymi w p. 2÷4 współczynnik materiałowy $\gamma_M = 1,5$ należy skorygować w zależności od współczynnika zmienności wyników. W załączniku I normy PN-EN 1992-1 [7] zapisano, że korekta nie jest potrzebna, jeśli współczynnik zmienności w badaniach $V_{fc, is}$ jest nie większy niż wartość graniczna $V_{fc, is, lim}$, która zależy od liczby zbadanych próbek (tablica 4).

Tablica 4 Wartość graniczna $V_{fc, is, lim}$ oraz k_n i $k_{d, n}$ używane w procesie korekty współczynnika materiałowego betonu wg PN-EN 1992-1

n	4	5	8	10	12	16	20	30	∞
$V_{fc, is, lim}$			0,13	0,15	0,17	0,20	0,21	0,23	0,29
k_n	2,63	2,33	2,00	1,92	1,87	1,81	1,76	1,73	1,64
$k_{d, n}$	11,40	7,85	5,07	4,51	4,19	3,85	3,64	3,44	3,04

Według aneksu A normy PN-EN 1992-1 [7] współczynnik materiałowy betonu należy skorygować zgodnie z następującymi wyrażeniami (wyrażenie ważne, jeśli współczynnik zmienności jest nie większy niż 0,20):

$$\gamma_c = \frac{e^{\alpha_R \cdot \beta_{tgt} \cdot V_{RC}}}{\mu_{RC}}, \quad (6)$$

$$V_{RC} = \sqrt{V_{fc, is, corr}^2 + V_{Ac}^2 + V_{\theta c}^2}, \quad (7)$$

$$\mu_{RC} = \mu_{fc, is} \cdot \mu_{Ac} \cdot \mu_{\theta c}. \quad (8)$$

We wzorach (6÷8) występują wskaźniki zmienności V i wartości bias μ :

- ze względu na pole przekroju betonu $V_{Ac} = 0,040$ i $\mu_{Ac} = 1,00$,
- ze względu na niepewność modelu $V_{\theta c} = 0,070$ i $\mu_{\theta c} = 1,02$,
- ze względu na uzyskany w badaniach odwiertów rdzeniowych wskaźnik zmienności $V_{fc, is}$

$$V_{fc, is, corr} = \frac{k_{d, n}}{\alpha_R \cdot \beta_{tgt}} V_{fc, is}, \quad \mu_{fc, is} = e^{k_n \cdot V_{fc, is}}. \quad (9)$$

W sytuacji trwałej i przejściowej, zgodnie z podejściem EN 1990-1 [6] docelowy wskaźnik niezawodności dla przewidywanego okresu użytkowania 50 lat $\beta_{tgt} = 3,8$, a współczynnik wrażliwości $\alpha_R = 0,8$. Wartości k_n i $k_{d, n}$ należy przyjmować z tablicy 4 w zależności od liczby zbadanych odwiertów rdzeniowych.

W tablicy 5 dokonano przykładowej korekty współczynnika materiałowego γ_{RC} zgodnie ze wzorem (6) dla sytuacji stałej i przejściowej w założeniu, że wskaźnik zmienności zbadanych odwiertów rdzeniowych wynosi 20% (co jest większe niż $V_{fc, is, lim}$ dla 16 i mniej próbek). Korekta normowej wartości współczynnika $\gamma_{RC} = 1,5$

jest tym większa im mniejsza jest liczba zbadanych próbek. Przy ośmiu próbkach współczynnik ten należy w obliczeniach zwiększyć do 1,87, a przy szesnastu do 1,53.

Tablica 5. Skorygowane współczynniki materiałowe γ_{RC} betonu przy ocenie konstrukcji w sytuacjach trwałych i przejściowych wg PN-EN 1992-1, w założeniu $V_{fc, is}=20\%$ uzyskanego w badaniach odwiertów rdzeniowych

Liczba próbek	$V_{fc, is}$	$\mu_{fc, is}$	$V_{fc, is, corr}$	μ_{RC}	γ_{RC}
8	0,20	1,49	0,33	1,52	1,87
10	0,20	1,47	0,30	1,50	1,70
12	0,20	1,45	0,28	1,48	1,61
16	0,20	1,44	0,25	1,46	1,53

6. Podsumowanie

Wytrzymałość betonu używana w ocenach bezpieczeństwa konstrukcji istniejących może być oceniana na podstawie małej liczby odwiertów, ale do jej oszacowania stosować należy reguły podane w normach serii Eurokod.

W normie EC2-1-1 zalecono korekty wytrzymałości charakterystycznych otrzymanych na podstawie odwiertów rdzeniowych ze względu na strefę pobierania próbek oraz charakter obciążenia konstrukcji (stałe/zmienne) a także, przy dużej wartości wskaźnika zmienności wyników, zwiększenie materiałowych współczynników bezpieczeństwa.

Literatura

- [1] PN-EN 13791: 2019 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych
- [2] PN-EN 12504: 2019 Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Próbk rdzeniowe – pobieranie, ocena i badanie
- [3] Moczko A.: Nowa norma europejska PN-EN 13791: 2019. Blaski i cienie oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach budowlanych na podstawie badania odwiertów rdzeniowych, materiały konferencyjne Dni Betonu 2023,
- [4] Moczko A.: Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach budowlanych na podstawie badania odwiertów rdzeniowych w świetle nowej normy europejskiej PN-EN 13791: 2019, Przegląd budowlany, nr 9-10/2023, s. 199-203
- [5] EN 1990-2:2024 Eurocode – Basis of structural and geotechnical design design. Part 2: assessment of existing structures
- [6] FprEN 1990-1:2022 Eurocode – Basis of structural and geotechnical design design. Part 1: new structures
- [7] PN-EN 1992-1-1:2024 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, mostów i konstrukcji inżynierskich
- [8] ISO 12491: 1997 Statistical methods for quality control of building materials and components