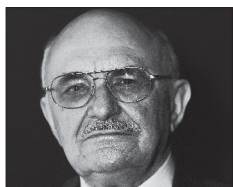


Nowe zasady stosowania badań nieniszczących do oceny wytrzymałości i jednorodności betonów. Cz. 1.



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



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



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

W artykule opisano nowe zasady oceny wytrzymałości betonu na podstawie badań metodami nieniszczącymi. Zasady te, określone w normie PN-EN 13791, są odmienne od dotychczas stosowanych według PN-B.

W budownictwie często występują sytuacje, gdy konieczne jest wykonanie ocen bezpieczeństwa obiektów budowlanych, co m.in. wymaga znajomości wytrzymałości materiałów, z których są one wykonane. Badania wytrzymałości materiałów w konstrukcjach budowlanych wykonywane są za pomocą metod niszczących lub specjalistycznych metod nieniszczących i seminieniszczących. Niekiedy do ocen bezpieczeństwa elementów konstrukcji stosowane są również metody obciążeń próbnych.

W przypadku konstrukcji żelbetonowych ocenom z reguły podlegają betony, których właściwości zależą od wielu czynników, takich jak materiały składowe, technologie wykonania, transportu, układania w formach lub na budowie, pielęgnacji itp. Sytuacje wymagające znajomości właściwości betonów związane są z ocenami:

- jakości betonów przeznaczonych do wbudowania lub betonów wbudowanych, gdy występują wątpliwości dotyczące spełnienia określonych właściwości (np. projektowych);
- diagnostyki konstrukcji na potrzeby przebudowy, rozbudowy, wzmocnienia obiektów istniejących, w tym obiektów zabytkowych.

Wśród badań nieniszczących najczęściej stosowane są metody radiologiczne, ultradźwiękowe i sklerometryczne. Natomiast badania seminieniszczące konstrukcji żelbetonowych najczęściej wykonuje się przez wrywanie kotew osadzonych w stwardniałych betonach (metoda *pull-out*) lub umieszczonych w konstrukcjach przed ich zabetonowaniem (metoda *lock-out*), odrywanie stalowych krążków przyklejonych do powierzchni betonów (metoda *pull-off*) lub ścinanie naroży elementów betonowych, a także wyłamywanie walcowych bloków betonowych powstałych po nawierceniu betonów wiertnicami (metoda *break-out*). Badania niszczące mające na celu określenie wytrzymałości betonu na ściskanie wykonuje się na próbkach wyciętych z konstrukcji, najczęściej o kształcie walców [1, 2].

Podstawowe zasady oceny wytrzymałości betonów na ściskanie zarówno w konstrukcjach, jak i prefabrykowanych wyrobach budowlanych zawarte są w normie PN-EN 13791 [3, 4], która zastąpiła m.in. normę PN-B-06262:1974 [6], wycofaną ze zbioru norm aktualnych PKN w 2004 r. Norma PN-EN 13791:2008 [3] była pierwszym dokumentem ujmującym kompleksowo zagadnienia oceny betonów w konstrukcjach. W normie tej:

- określono metody oraz procedury oceny wytrzymałości na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych,
- przedstawiono zasady oraz wytyczne do określania zależności pomiędzy wynikami badań uzyskiwanymi za pomocą metod pośrednich a wytrzymałościami betonów w konstrukcjach oznaczonych na odwiertach rdzeniowych,
- przedstawiono wytyczne dotyczące sposobu oceny wytrzymałości betonów na ściskanie w konstrukcjach lub prefabrykowanych wyrobach betonowych metodami pośrednimi lub kombinacją różnych metod badawczych.

Po ponad dziesięcioletnim okresie stosowania norma ta została gruntownie znowelizowana i zastąpiona wersją PN-EN 13791:2019-12 [4].

Dotychczasowe zasady stosowania metod nieniszczących w Polsce do oceny wytrzymałości i jednorodności betonów w konstrukcjach

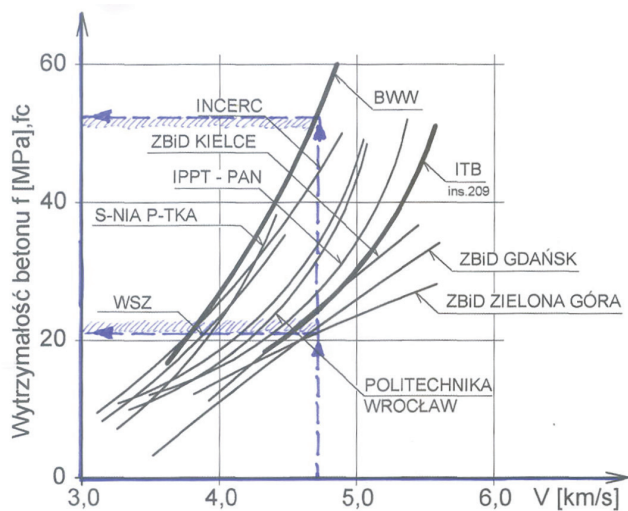
Już w latach 60. ubiegłego wieku były w Polsce prowadzone szerokie prace badawcze i wdrożeniowe nad stosowaniem nieniszczących metod do oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach. W wyniku tych prac opracowano szereg instrukcji, wytycznych i norm do praktycznego stosowania. Najszerzej stosowano nieniszczące metody sklerometryczne i ultradźwiękowe, które zostały znormalizowane [5, 6] i dla których opracowano także odpowiednie wytyczne stosowania, np. [14].

Rozwój technologii betonów wymagał opracowywania zależności korelacyjnych dla różnych rodzajów betonów. Przykładem tego są zależności pokazane na rys. 1 i 2.

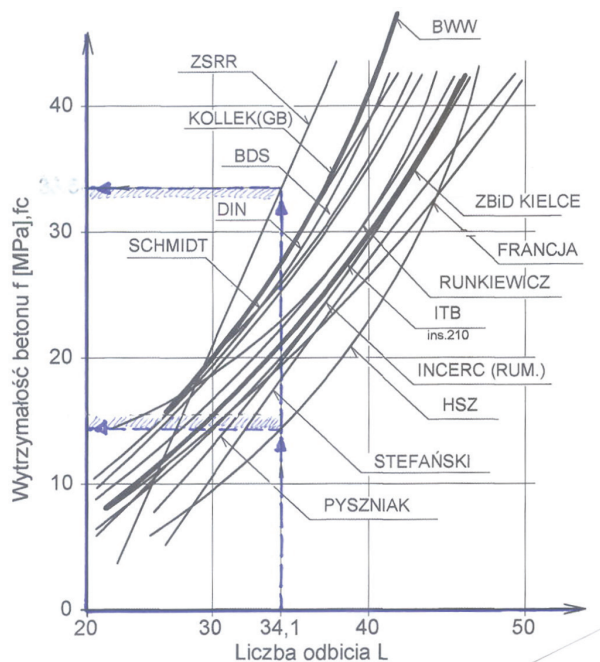
W wyniku zrealizowanych szerokich badań i analiz oraz przy współpracy międzynarodowej opracowano podstawowe zasady prowadzenia badań konstrukcji (elementów) oraz warunki określania miarodajnych zależności korelacyjnych, np. dla metody sklerometrycznej za pomocą młotka Schmidta pomiędzy wytrzymałością betonu f_c a liczbą odbicia L oraz dla metody ultradźwiękowej pomiędzy wytrzymałością betonu f_c a prędkością rozprzestrzeniania się fali ultradźwiękowej V .

Według norm PN-B [4, 5] określono dwie zasady wyznaczania tych zależności:

Runkiewicz L, Runkiewicz M, Sieczkowski J. Nowe zasady stosowania badań niszczących do oceny wytrzymałości i jednorodności betonów.



Rys. 1. Przykłady charakterystycznych zależności $f_c - V$ dla metody ultradźwiękowej, gdzie: V – oznaczenie prędkości fali ultradźwiękowych, stosowane do 2008 r.



Rys. 2. Przykładowe zależności empiryczne $f_c - L$ dla sklerometrów Schmidta typu N, gdzie: L – oznaczenie liczb odbicia dla sklerometru, stosowane do 2008 r. (obecnie R)

- metodę dokładną na podstawie analiz korelacyjnych minimum 30 odwiertów (próbek rdzeniowych), podając warunki dla tego typu korelacji;
- metodę przybliżoną na podstawie analiz porównawczych minimum 6 odwiertów i typowych zależności korelacyjnych dla określonych rodzajów betonów.

Obie te metody przez wiele lat były stosowane, a także udoskonalane.

W metodzie pierwszej w wyniku analiz korelacyjnych określano równania zależności korelacyjnych oraz ścisłości tych korelacji. Najlepsze ścisłości korelacji otrzymywano dla zależności parabolicznych. Warunkiem przyjęcia wyznaczonej korelacji była wymagana jej ścisłość, dla której wartość współczynnika korelacji powinna wynosić nie mniej niż 0,75.

Przy metodzie drugiej na podstawie badań min. 6 odwiertów określano względny współczynnik rozrzutu wyników badań odwiertów, któ-

ry powinien być mniejszy od 0,12, oraz parametr korygujący przybliżoną (hipotetyczną) zależność korelacyjną. Dla metody sklerometrycznej do podstawowej zależności hipotetycznej współczynnik ten wynosił od 0,9 do 1,3.

W wyniku przeprowadzanych badań i analiz otrzymywano:

- średnie wytrzymałości betonu w elementach,
- minimalne wytrzymałości betonu w elementach,
- współczynniki zmienności wytrzymałości betonu w elementach,
- współczynniki jednorodności wytrzymałości betonu w elementach.

Powyższe wielkości stanowiły podstawę do oceny klas betonów oraz ewentualnie ich jednorodności, a także porównań z wymaganiami projektowymi w ówczesnych latach stosowania.

Terminologia związana z miejscem pomiarowym

Wskaźniki wytrzymałości betonów dotychczas wyznaczano dla określonych obszarów, którymi mogą być elementy, fragmenty konstrukcji (np. belka, słup, przęsło stropu) lub jednoznacznie określone obszary konstrukcji betonowane podczas jednego cyklu roboczego.

Miejsca, w których wykonywano pomiary, powinny być rozmieszczone równomiernie w całym obszarze tak, aby otrzymane wyniki badań pozwalały, w sposób reprezentatywny, oceniać badane betony. Obecnie zalecenia w tym zakresie podaje norma PN-EN 12504-2 [11].

W polskiej wersji językowej normy PN-EN 13791:2008 przyjęto odmienne nazewnictwo, wprowadzając zamiast dotychczas stosowanego miejsca pomiarowego – punkt pomiarowy, a zamiast elementu lub zespołu elementów – miejsce pomiarowe, zdefiniowane następująco:

- punkt pomiarowy (ang. *test location*) – ograniczony obszar wybrany do pomiarów, w którym oznacza się pojedynczy wynik pomiaru, wykorzystywany następnie do oszacowania wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji;
- miejsce pomiarowe (ang. *test region*) – jeden lub kilka elementów konstrukcyjnych albo prefabrykowanych wyrobów betonowych, co do których wiadome jest lub przypuszcza się, że należą do tej samej populacji; miejsce pomiarowe zawiera szereg punktów pomiarowych.

Nowa terminologia spowodowała dodatkowe utrudnienia przy badaniach konstrukcji szkieletowo- płytowych i prefabrykowanych. Jest zrozumiała jedynie przy ocenie betonu masywnych konstrukcji monolitycznych o dużych objętościach w budowywanego betonu, wykonywanych w sposób ciągły. To niepotrzebne „zawirowanie” w terminologii można będzie usunąć przy wprowadzaniu polskiej wersji językowej znowelizowanej ostatnio normy PN-EN 13791:2019-12 [4].

W dalszej części artykułu stosowana będzie terminologia dotychczasowa według PN-B.

Zakres normy PN-EN 13791:2019-12

Nowa wersja normy PN-EN 13791 [4] skupia się przede wszystkim na określeniu charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie, do zastosowania razem z PN-EN 990 [7] i PN-EN 1992-1 [8], a także została dostosowana do wymagań PN-EN 206 [9]. Oznacza to, że norma ta w zasadzie nie odnosi się do przypadku oceny betonów w konstrukcjach istniejących, a ustala jako ogólny cel ocenę wytrzymałości betonów na ściskanie:

- w miejscach pomiarów lub w poszczególnych elementach konstrukcji;
- betonu dostarczonego na budowę, gdy występują wątpliwości dotyczące wartości wytrzymałości na ściskanie uzyskane za pomocą badań standardowych lub wątpliwości dotyczące jakości wykonania konstrukcji.

Ocenę wytrzymałości betonów na ściskanie w określonych miejscach konstrukcji przeprowadza się, dokonując kolejno:

- wyboru metody oceny;
- wyboru obszaru (elementu) pomiarowego i miejsc pomiarowych;
- sprawdzenia, czy uzyskane dane odnoszą się do jednej klasy betonu na ściskanie;

Runkiewicz L, Runkiewicz M, Sieczkowski J. Nowe zasady stosowania badań składowych do oceny wytrzymałości i jednorodności betonów.

- sprawdzenia, czy dane pomiarowe w obszarze lub elemencie pomiarowym zawierają dane odstające;
- oszacowania charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie.

Natomiast ocenę wytrzymałości dostarczonych betonów na ściskanie w przypadku wątpliwości co do ich jakości dokonuje się, gdy nie spełniają one warunków zgodności wytrzymałości na ściskanie z wymaganiem projektowym lub błędów wykonawczych podczas wzniesienia konstrukcji.

Ocena wytrzymałości betonów w konstrukcji

Po wyznaczeniu celu badania przystępuje się do wyboru metody oceny w odniesieniu do przyjętego obszaru lub elementu pomiarowego.

Wybór metody oceny

Metodę oceny przyjmuje się dla określonego obszaru lub elementu pomiarowego, obejmującego jeden rodzaj betonu, co ustala się na podstawie dostępnej dokumentacji oraz wiedzy inżynierskiej. Obszary pomiarowe mogą obejmować jeden element konstrukcyjny, kilka podobnych elementów lub określoną objętość betonu – gdy badana jest zgodność jego klasy wytrzymałości na ściskanie.

Miejsca pomiarowe powinny być lokalizowane w obszarach lub elementach pomiarowych za wyjątkiem:

- stref, gdzie beton jest zarysowany, spękany, rakowaty, skorodowany itp.;
- przekrojów mocno obciążonych lub przekrojów krytycznych;
- stref w pobliżu prętów zbrojeniowych, cięgien sprężających i kanałów.

Następnie określa się liczbę miejsc pomiarowych, a w nich liczbę pomiarów. Aby określić liczbę niezbędnych pomiarów, można wykonać poniższe zalecenia.

- Badania wytrzymałości na ściskanie odwiertów (próbek) rdzeniowych (wg PN-EN 12504-1 [10]) – do oszacowania charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w elemencie minimalna liczba ważnych wyników odwiertów rdzeniowych o średnicy ≥ 75 mm wynosi 8, przy czym zaleca się wykonywanie odwiertów w 10 punktach pomiarowych, aby możliwe było uwzględnienie wartości odstających. W przypadku małego elementu dopuszczalna liczba wyników wynosi 3.

Minimalna liczba ważnych wyników odwiertów o średnicy ≥ 75 mm użytych w kombinacji z badaniami pośrednimi wynosi 3, zalecając wykonywanie odwiertów w 4 punktach pomiarowych, aby można było uwzględnić wartość odstającą.

- Liczba odbicia (wg PN-EN 12504-2 [11]) – jest to mediana z minimum dziewięciu prawidłowych odczytów liczby odbicia w miejscu pomiarowym. Równomiernie rozmieszczone punkty badania sklerometrem wskazują różnice w twardości powierzchni betonu w konstrukcji i umożliwiają identyfikację tych części elementu, w których należy pobrać odwierty lub podjąć dalsze badania.

- Metoda ultradźwiękowa (UPV) (wg PN-EN 12504-4 [12]) – jej wynikiem badania może być pojedynczy pomiar prędkości fali ultradźwiękowej w przekroju betonowym lub średnia prędkość w przypadku, gdy w miejscu pomiarowym dokonuje się więcej niż jednego pomiaru. Równomiernie rozmieszczone badania ultradźwiękowe wskażą zmiany gęstości betonu w konstrukcji i umożliwią zidentyfikowanie części elementu, w których należy pobrać odwierty lub podjąć dalsze badania.

Jako wynik badań ultradźwiękowych oraz badań sklerometrem otrzymuje się właściwości pomiarowe metody (czas przejścia impulsu w przypadku UPV i twardość powierzchni betonu w przypadku sklerometru), które mają określone zależności (korelacje) z wytrzymałością betonu na ściskanie. Zależności między prędkością fali lub liczbą odbicia a wytrzymałością na ściskanie konkretnego betonu powinny być ustalone zgodnie z [4]. Zależność między liczbą odbicia a wytrzyma-

łością betonu jest inna gdy beton jest skarbonatyzowany, ale w takich przypadkach metoda sklerometryczna może być wykorzystywana do określania lokalizacji odwiertów.

Po wykonaniu badań wyniki należy poddawać analizie w celu stwierdzenia, czy:

- dotyczą betonu jednej klasy wytrzymałości – jeżeli nie, należy ponownie ustalać obszary lub elementy pomiarowe i wyznaczać miejsca pomiarowe dla dwóch lub więcej odmiennych betonów;
- zawierają statystyczne wartości odstające – jeżeli tak, wyniki te należy odrzucać i ponownie przeprowadzać analizy.

Ustalanie, czy obszary (elementy) pomiarowe obejmują betony jednej klasy wytrzymałości

Niekiedy uzyskane wyniki badań mogą budzić podejrzenia, że nie obejmują one betonów o jednej klasie wytrzymałości na ściskanie. Sytuacje takie mogą występować nawet wtedy, gdy lokalizacje elementów lub miejsc pomiarowych konstrukcji monolitycznej zostały wybrane po wnikliwej analizie dokumentacji i przebiegu procesu budowlanego. Mogą być one spowodowane błędami wykonawczymi, niewłaściwą dostawą betonu, zróżnicowanym sposobem pielęgnacji betonu, niewłaściwą ochroną betonu przed wpływem czynników atmosferycznych itp.

W przypadku gdy z badań wynika, że obejmują one dwie klasy betonu, można:

- podzielić wyniki na dwa obszary (elementy) pomiarowe, zapewniając minimalną liczbę wyników dla każdego obszaru (elementu) pomiarowego;
- podzielić wyniki na dwa zestawy danych i sprawdzić, np. testem t-Studenta, czy wartości średnie są różne; jeżeli różnica jest większa niż trzy klasy wytrzymałości betonu, wyniki należy podzielić na dwa elementy pomiarowe, natomiast gdy różnica jest nie większa niż jedną klasę – zestaw danych można traktować jako pochodzący z jednego betonu.

Ustalanie, czy obszary (elementy) pomiarowe zawierają statystyczne wartości odstające

W przypadku gdy w zestawie wyników badań ($f_{c, is}$) występuje jeden lub więcej wyników wyróżniających się niską ($f_{c, is \text{ lowest}}$) lub wysoką ($f_{c, is \text{ highest}}$) wartością, to takie wyniki należy sprawdzić, czy są wartościami statystycznie odstającymi. W tym celu można stosować dowolną metodę statystyczną, ale w przypadku gdy wyniki mają charakter rozkładu normalnego, należy posługiwać się testem Grubbsa. Wynik uznaje się za odstający, gdy wartości obliczone według wzoru 1 lub 2 przekraczają wartość krytyczną G_p

$$\frac{f_{c, is \text{ highest}} - f_{c, m(n) is}}{s} > G_p \quad (1)$$

$$\frac{f_{c, m(n) is} - f_{c, is \text{ lowest}}}{s} > G_p \quad (2)$$

gdzie:

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

Wybrane wartości krytyczne G_p dla poziomu istotności 1% podawano za normą [4] w tablicy 1. (w normie podano wartości G_p dla liczby wyników od 4 do 250).

W przypadku wyników odstających po obu stronach zbioru jako pierwszy analizuje się wynik bardziej odbiegający od wartości średniej. Dla obszaru (elementu) pomiarowego badanie można przeprowadzać dwukrotnie. Przed powtórzeniem badania pierwszą wartość odstającą należy wykluczyć z obliczeń średniej wartości i odchylenia standardowego.

W przypadku gdy więcej niż dwa wyniki są odstające, może to oznaczać, że obszar (element) pomiarowy zawiera co najmniej dwa rodza-

Runkiewicz L, Runkiewicz M, Sieczkowski J. Nowe zasady stosowania badań i ocenianiszczących do oceny wytrzymałości i jednorodności betonów.

je betonu i należy to sprawdzić. Pomimo, że niektóre inne analizy statystyczne mogą dopuszczać więcej niż dwa wyniki odstające, to i tak należy rozważyć, czy obszar (element) pomiarowy nie zawiera więcej niż jedną klasę wytrzymałości betonu na ściskanie.

Oszacowania wytrzymałości betonu na ściskanie wyłącznie z wykorzystaniem próbek rdzeniowych (odwiertów rdzeniowych)

Charakterystyczną wytrzymałość betonu na ściskanie ($f_{c, is, ck}$) przyjmuje się jako wartość mniejszą obliczoną wg poniższych wzorów:

$$f_{c, is, ck} = f_{c, m(n)is} - k_n s \quad (3)$$

$$f_{c, is, ck} = f_{c, is, lowest} + M \quad (4)$$

gdzie

k_n – współczynnik z tablicy 2.

M – zapas wytrzymałości z tablicy 3.

We wzorze 3 współczynnik s oznacza „zwykłe” odchylenie standardowe lub wartość zapewniającą 8-procentowy współczynnik zmienności.

Norma podaje również sposób szacowania wytrzymałości betonu dla małego obszaru (elementu) pomiarowego, obejmującego nie więcej niż 3 elementy i o całkowitej objętości nie większej niż około 10 m³.

Oszacowania wytrzymałości betonu na ściskanie na podstawie pośrednich metod pomiarowych i próbek rdzeniowych

Przy łącznym stosowaniu metod pośrednich i próbek rdzeniowych wskazane są wcześniejsze wzorcowania metod pośrednich.

Do wzorcowania metody niezbędne jest uzyskanie 10 par wyników (metoda pośrednia – próbka rdzeniowa), aby po ewentualnym odrzuceniu wyników odstających pozostało co najmniej 8 par wyników. Wyniki badania pośredniego powinny być wykorzystane do ustalania miejsc, w których będą pobrane próbki rdzeniowe, których wyniki przelicza się na wytrzymałość na ściskanie i umieszcza na wykresie w relacji z wynikami badania metodą pośrednią. Następnie ustala się zależność, najlepiej pasującą regresję, z reguły liniową lub drugiego stopnia, dla tych punktów.

Stosując ustalone równania regresji, wszystkie wyniki pomiarów metodą pośrednią należy przeliczać na ich równoważne wartości wytrzymałości ($f_{c, is, reg}$), nawet dla miejsc pomiarowych, dla których uzyskano wyniki próbek rdzeniowych.

W przypadku regresji liniowych nie należy ekstrapolować równania regresji o więcej niż 4 MPa z każdego końca potwierdzonych zależności.

Średnią wytrzymałość na ściskanie betonu w konstrukcji oblicza się ze wzoru:

$$f_{c, m(n)is} = \Sigma(f_{c, is, reg}) / m \quad (5)$$

a odchylenie standardowe wyników w miejscu pomiarowym podlegającym ocenie określa się ze wzoru:

$$s_s = \sqrt{s_c^2 + s_e^2} \quad (6)$$

gdzie s_c i s_e obliczane są ze wzorów (7) i (8):

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{c, is, reg} - f_{c, m(n)is})^2}{m-1}} \quad (7)$$

Tablica 2. Współczynnik k_n

n	8	10	12	14	16	18	20	25	30	50	100	120 i więcej
k_n	1,86	1,81	1,78	1,76	1,75	1,73	1,72	1,71	1,70	1,68	1,66	1,64

Tablica 1. Wartości krytyczne G_p

Liczba wyników	G_p
9	2,387
10	2,482
11	2,564
12	2,636
13	2,699
14	2,755
15	2,806
16	2,852
17	2,894
18	2,932
19	2,968
20	3,001
25	3,135
30	3,236
35	3,316
40	3,381
50	3,482

Tablica 3. Wartości zapasu M

Wartość $f_{c, is, lowest}$ MPa	Zapasy M MPa
≥ 20	4
$\geq 16 < 20$	3
$\geq 12 < 16$	2
< 12	1

$$s_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{c, is} - f_{c, is, reg})^2}{n-2}} \quad \text{lecz nie mniej niż 2 MPa} \quad (8)$$

Wzory (8) i (9) są prawidłowe tylko dla korelacji dwuparametrowych, np. w postaci ($y = a + b \cdot x$) lub ($y = a + b \cdot \ln x$). W innym przypadku mianownik ($n - 2$) należy zastępować przez ($n - p$), gdzie p jest liczbą parametrów we wzorze.

Efektywną liczbę stopnia swobody związaną z ocenianym odchyleniem standardowym wyników s_s oblicza się wg wzoru:

$$n_{eff} = \frac{[s_c^2 + s_e^2]^2}{\frac{s_c^4}{n-2} + \frac{s_e^4}{m-1}} \quad (9)$$

gdzie

n – liczba par wyników użytych do ustalania krzywej regresji

m – liczba szacowanych wartości wytrzymałości.

Do oszacowania charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji stosuje się wzory (3) i (4), w których współczynnik k_n z tabeli 2. odczytuje się nie dla „ n ”, a dla ($n_{eff} + 1$) z zaokrągleniem do najbliższej liczby całkowitej. Wartości $f_{c, is, lowest}$ we wzorze (4) są najniższymi oszacowanymi lub najniższymi zmierzonymi wartościami wytrzymałości próbek rdzeniowych.

Oszacowania wytrzymałości betonów na ściskanie w określonych miejscach konstrukcji

Szacując wytrzymałość betonów na ściskanie w określonych miejscach konstrukcji, należy pamiętać, że przyjęcie średniej zależności „metoda pośrednia/odwiert” nie jest bezpieczne, gdyż z 50% prawdo-

podobieństwem rzeczywista wartość wytrzymałości może być niższa od określonych według tych zależności. Prawidłowo jako wartość wytrzymałości powinny być przyjmowane wartości dolnych krzywych granicznych wyznaczających 5% poziomu istotności. Dla korelacji liniowych będą to zależności:

$$f_{c, is, est} = f_{c, is, reg} - t_{(0,05, n-2)} s_c \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{i, cor} - \bar{x})^2}} \quad (10)$$

gdzie:

0,05 w $t_{(0,05, n-2)}$ jest wartością alfa dla pojedynczego pomiaru z (n-2) stopniami swobody.

W przypadku gdy dla rozpatrywanych obszarów (elementów) pomiarowych dostępne są wyniki badania próbek rdzeniowych o średnicy równej co najmniej 75 mm, to wartości te powinny być przyjęte zamiast wartości oszacowanych z badań pośrednich.

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

Ten sposób oszacowania wytrzymałości betonów na ściskanie może być stosowany w przypadku obszarów (elementów) pomiarowych obejmujących nie więcej niż 30 m³ betonu, gdy nie ma zastrzeżeń dotyczących wytrzymałości na ściskanie dostarczonego betonu. Wytrzymałości na ściskanie betonów w konstrukcji ($f_{c, is}$) szacuje się metodą pośrednią (ultradźwiękową lub sklerometryczną) bez wzorcowania. Obszary (elementy) pomiarowe bada się wybranymi metodami pośrednimi w celu określenia zmienności i wybrania miejsc o najniższej wytrzymałości. Z miejsc tych pobierane są co najmniej trzy próbki rdzeniowe o średnicy ≥ 75 mm. Jako wartości $f_{c, is}$ przyjmuje się średnie z co najmniej trzech próbek rdzeniowych pod warunkiem, że rozrzuty wyników nie przekraczają 15% wartości średnich.

Literatura

- [1] Praca zbiorowa pod red. L. Runkiewicza: Diagnostyka obiektów budowlanych. PWN, Warszawa 2020.
- [2] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Diagnostyka konstrukcji żelbetonowych, tom 1., Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [3] PN-EN 13791:2008 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach budowlanych.
- [4] PN-EN 13791:2019-12 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach budowlanych.

- [5] PN-B-06261:1974 Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda ultradźwiękowa badania wytrzymałości betonu na ściskanie.
- [6] PN-B-06262:1974 Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda sklerometryczna badania wytrzymałości betonu na ściskanie za pomocą młotka Schmidta typu N.
- [7] PN-EN 1990 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.
- [8] PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [9] PN-EN 206+A1:2016-12 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [10] PN-EN 12504-1:2019-08 Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Próbk rdzeniowe. Pobieranie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie.
- [11] PN-EN 12504-2:2013-03 Badania betonu w konstrukcjach. Część 2: Badanie nieniszczące. Oznaczanie liczby odbicia.
- [12] PN-EN 12504-4:2005 Badania betonu w konstrukcjach. Część 4: Badanie nieniszczące. Oznaczanie prędkości fali ultradźwiękowej.
- [13] Jasiński R., Określenie wytrzymałości betonu w konstrukcji. XXIX Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji. Szczecin 2014.
- [14] Runkiewicz L., Brunarski L., Instrukcja stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji. ITB, Warszawa 1977.
- [15] Brunarski L., Dohojda M., Diagnostyka wytrzymałości betonu w konstrukcji. ITB, Warszawa 2015.

DOI: 10.5604/01.3001.0014.5921

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Runkiewicz Leonard, Runkiewicz Maciej, Sieczkowski Jan, 2021, Nowe zasady stosowania badań nieniszczących do oceny wytrzymałości i jednorodności betonów. Cz. 1., „Builder” 01 (282), DOI: 10.5604/01.3001.0014.5921

Streszczenie: W artykule opisano nowe zasady oceny wytrzymałości betonu na podstawie badań metodami nieniszczącymi. Zasady te, określone w normie PN-EN 13791, są odmienne od dotychczas stosowanych według PN-B. Niemniej jednak możliwe jest dalsze stosowanie krzywych korelacji wykorzystywanych w dotychczasowej praktyce budowlanej. Za tym przemawiają małe różnice w wartościach wytrzymałości betonu określanych według PN-EN i PN-B.

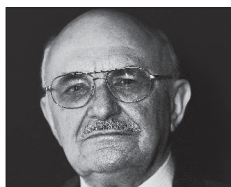
Słowa kluczowe: badania nieniszczące, wytrzymałość betonu, jednorodność betonu, młotek Schmidta

Abstract: New rules for the application of non-destructive tests to assess the strength and concrete uniformity. The article describes new rules for assessing the strength of concrete based on non-destructive testing. These rules, specified 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. This is supported by small differences in the values of concrete strength, determined according to PN-EN and PN-B.

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

WWW.BUILDERSCIENCE.PL

Nowe zasady stosowania badań nieniszczących do oceny wytrzymałości i jednorodności betonów Cz. 2.



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

Oceny dostarczonych betonów w przypadkach kwestionowania ich jakości

Przed rozpoczęciem badań betonów w konstrukcjach konieczne jest ustalenie celu badań, co pozwala na wybranie właściwych metod badań i metod oceny oraz ustalenia obszarów (elementów) i miejsc pomiarowych.

Początkową czynnością jest określanie problemów, tj. ustalenie kwestii, czy nieosiągnięcie przez betony deklarowanych wytrzymałości na ściskanie w konstrukcjach wynika z jakości betonów dostarczonych na budowę czy z innych przyczyn, np. błędów przy wbudowywaniu betonów, ich zagęszczaniu, pielęgnacji czy ochronie w trakcie dojrzewania.

W przypadkach wątpliwości związanych z jakością dostarczonych betonów na budowę, producenci powinni dostarczać zainteresowanym stronom informacje umożliwiające określanie zagrożeń dla konstrukcji, w tym oszacowane charakterystyczne wytrzymałości na ściskanie dostarczonych betonów bezpośrednio przed betonowaniami konstrukcji.

Do oceny klas wytrzymałości na ściskanie wbudowanych betonów można stosować:

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

Badania przesiewowe

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

Zależności korelacyjne mogą mieć:

- postacie ogólne – ogólne zależności pomiędzy liczbami odbicia lub prędkościami fal ultradźwiękowych a klasami wytrzymałości na ściskanie,
- charakter ścisłych zależności wyznaczonych przez kalibrację metod.

W artykule opisano nowe zasady oceny wytrzymałości betonu na podstawie badań metodami nieniszczącymi. Zasady te, określone w normie PN-EN 13791, są odmienne od dotychczas stosowanych według PN-B.

Przykłady ogólnych zależności dla betonów zwykłych, gdy nie stosowano deskowań o kontrolowanych przepuszczalnościach ani utwardzaczych powierzchni oraz gdy głębokości napowietrzenia nie przekraczają 5 mm, podano w tablicy 4. (tablica B1 z [4]) dla badań sklerometrem typu N.

Pośrednie metody pomiarowe wraz z badaniami próbek rdzeniowych

Betony objęte badaniami powinny być podzielone na obszary (elementy) pomiarowe nieprzekraczające objętości betonu 180 m³, a te z kolei na porcje po około 30 m³, które stanowią podstawę do wyznaczenia

Tablica 4. Zależność pomiędzy liczbami odbicia i klasami wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 206 dla betonu zwykłego

Najniższa liczba odbicia ze wszystkich miejsc pomiarowych w obrębie obszaru (elementu) pomiarowego	Mediana liczb odbicia dla obszaru (elementu) pomiarowego	Klasa wytrzymałości na ściskanie wg EN 206 ^a
≥26	≥30	C8/10
≥30	≥33	C12/15
≥32	≥35	C16/20
≥35	≥38	C20/25
≥37	≥40	C25/30
≥40	≥43	C30/37
≥44	≥47	C35/45
≥46	≥49	C40/50
≥48	≥51	C45/55
≥50	≥53	C50/60
≥53	≥57	C55/67
≥57	≥60	C60/75
≥62	≥65	C70/85
≥66	≥69	C80/95

^a dla poziomu ufności 10 procentyl

Runkiewicz L, Runkiewicz M, Sieczkowski J. Nowe zasady stosowania badań nieniszczących do oceny wytrzymałości i jednorodności betonów.

Tablica 5. Minimalna liczba miejsc pomiarowych dla badań pośrednich w obszarze (elemencie) pomiarowym

Liczba porcji betonu o objętości około 30 m ³ w obszarze (elemencie) pomiarowym ^a	Minimalna liczba miejsc pomiarowych metodą pośrednią
1 ^b	9
2 – 4	12
5 – 6	20

^a Jeśli objętość obejmuje duży obszar, należy zwiększyć liczbę badań metodą pośrednią, aby zapewnić reprezentatywność zmienności w obrębie elementu pomiarowego.
^b Pod warunkiem, że jest to pojedyncza objętość.

czenia punktów pomiarowych. Następnie ustalane są minimalne liczby punktów pomiarowych dla obszarów (elementów) pomiarowych według tablicy 5.

W wybranych miejscach przeprowadza się badania metodą pośrednią. Służą one także do wyznaczenia miejsc pomiarowych, w których przeprowadzone będą badania próbek rdzeniowych – tablica 6.

Jeśli oba kryteria podane w tablicy 6. są spełnione, można uznać, że istnieje zgodność wytrzymałości na ściskanie w badanym obszarze (elemencie) pomiarowym.

Badania próbek rdzeniowych

W metodach, gdzie za podstawę przyjęto wyłącznie wyniki badań próbek rdzeniowych badane betony – obszary (elementy) pomiarowe – dzielone są na mniejsze porcje o objętości około 30 m³. Z każdej porcji pobierane są próbki rdzeniowe o minimalnej liczbie określonej w tablicy 7. Jeśli oba kryteria w niej podane są spełnione, można uznać, że istnieje zgodność wytrzymałości na ściskanie w badanym obszarze (elemencie) pomiarowym.

Podsumowanie i wnioski

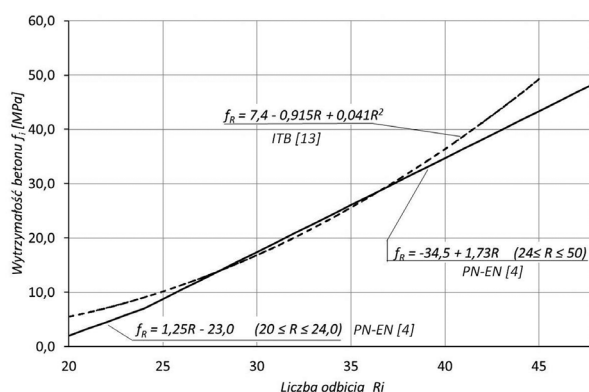
Wznoszenie oraz modernizację zarówno budynków, jak i budowli inżynierskich o konstrukcjach żelbetonowych wymagają znajomości właściwości wbudowanych betonów, szczególnie wytrzymałości na ściskanie oraz ich jednorodności. W tym celu wykonywane są dokładne oceny betonów za pomocą próbek odwiercanych z konstrukcji (próbek rdzeniowych) oraz metod nieniszczących [13-15].

Metody badań w Unii Europejskiej wymagają jednolitych zasad ich stosowania.

Tablica 7. Kryteria oceny na podstawie wyników badań próbek rdzeniowych

Liczba porcji betonu o objętości ok. 30 m ³ w obrębie obszaru (elementu) pomiarowego	Minimalna liczba miejsc pomiarowych w każdej objętości ^a	Wartość średnia z wyników badań próbek rdzeniowych w obszarze (elemencie) pomiarowym	Najniższy wynik badania ^{b,c}
1 ^d	3	–	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} - M)$
2 – 4	2	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} + t)$	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} - M)$
5 – 6	2	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} + 2)$	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} - M)$

^a W celu określenia minimalnej liczby odwiertów dla uzyskania wyniku badania w każdym miejscu pomiarowym należy skorzystać z punktu 6 normy [4].
^b Wytrzymałość odwiertu może być wyrażona jako $f_{c, 1:1 core}$ lub $f_{c, 2:1 core}$ w zależności od wybranej wartości $f_{ck, spec}$.
^c $M = 4$ MPa – dla klasy wytrzymałości na ściskanie C20/25 lub wyższej. Dla klasy C16/20, C12/15 i C8/10 wartość zapasu M powinna być zmniejszana odpowiednio do 3, 2 i 1.
^d Zakładając, że jest traktowana jako pojedyncza objętość
Oznaczenia – jak w tablicy 6.



Rys. 3. Krzywe podstawowe (bazowe): normowa oraz ITB [15]

W Polsce od wielu już lat z powodzeniem i na szeroką skalę są stosowane metody badań nieniszczących. Do metod tych zaliczane są metody ultradźwiękowe, sklerometryczne, radiologiczne, elektryczne itp. Wymienione metody stosowane są zarówno przy ocenach obiektów nowo realizowanych, jak i obiektów modernizowanych, zagrożonych oraz historycznych.

Tablica 6. Punkty pobrania próbek rdzeniowych i kryteria oceny

Liczba porcji betonu o objętości ok. 30 m ³ w obrębie obszaru (elementu) pomiarowego	Minimalna liczba miejsc pomiarowych do odwiertów ^a	Średnia wartość z wyników badań próbek rdzeniowych w punktach najbliższych mediany liczby odbicia lub średniej wartości prędkości fali ultradźwiękowej w obszarze (elemencie) pomiarowym ^b	Najniższy wynik badania ^{c,d}
1 ^d	Jeden rdzeń dla każdej z dwóch najmniejszych wartości badania metodą pośrednią w obszarze (elemencie) pomiarowym	–	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} - M)$
2 – 4	Jedna próbka rdzeniowa dla najmniejszej wartości badania metodą pośrednią oraz jedna próbka rdzeniowa w każdym z dwóch miejsc pomiarowych najbliższych mediany liczby odbicia lub średniej wartości prędkości fali ultradźwiękowej w obszarze (elemencie) pomiarowym	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} + t)$	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} - M)$
5 – 6		$\geq 0,85 (f_{ck, spec} + 2)$	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} - M)$

^a w celu określenia minimalnej liczby odwiertów dla uzyskania wyniku badania w każdym miejscu pomiarowym należy skorzystać z punktu 6. normy [4].

^b Wytrzymałość odwiertu powinna być wyrażona jako $f_{c, 1:1 core}$ lub $f_{c, 2:1 core}$ w zależności od wyrażanej wartości $f_{ck, spec}$.

^c $M = 4$ MPa – dla klasy wytrzymałości na ściskanie C20/25 lub wyższej. Dla klasy C16/20, C12/15 i C8/10 wartość zapasu M powinna być zmniejszana odpowiednio do 3, 2 i 1.

^d Zakładając, że jest traktowana jako pojedyncza objętość.

Oznaczenia:

$f_{ck, spec}$ – wytrzymałość betonu na ściskanie określona dla wyspecyfikowanej klasy betonu (na próbkach walcowych lub kostkowych)

$f_{c, 1:1 core}$ lub $f_{c, 2:1 core}$ – wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji określona na próbkach rdzeniowych o stosunku wysokości do średnicy 1:1

lub 2:1 odwiertu może być wyrażona jako w zależności od wybranej wartości

Ujednolicanie w ramach Unii Europejskiej metod badań oraz zasad ich stosowania objęło również ocenę betonów w obiektach budowlanych (normy PN-EN 13791 [4] i PN-EN 12504 [10-12]).

Jednakże norma [4] dopuszcza korzystanie z innych równań korelacji niż podane w niej równania liniowe. W związku z tym 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, co pokazano na rysunku 3.

Literatura

- [1] Praca zbiorowa pod redakcją L. Runkiewicza: Diagnostyka obiektów budowlanych. PWN, Warszawa 2020.
- [2] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Diagnostyka konstrukcji żelbetonowych, tom 1., Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [3] PN-EN 13791:2008 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach budowlanych.
- [4] PN-EN 13791:2019-12 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach budowlanych.
- [5] PN-B-06261:1974 Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda ultradźwiękowa badania wytrzymałości betonu na ściskanie.
- [6] PN-B-06262:1974 Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda sklerometryczna badania wytrzymałości betonu na ściskanie za pomocą młotka Schmidta typu N.
- [7] PN-EN 1990 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.
- [8] PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [9] PN-EN 206+A1:2016-12 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [10] PN-EN 12504-1:2019-08 Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Próbkę rdzeniowe. Pobieranie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie.
- [11] PN-EN 12504-2:2013-03 Badania betonu w konstrukcjach. Część 2: Badanie nieniszczące. Oznaczanie liczby odbicia.
- [12] PN-EN 12504-4:2005 Badania betonu w konstrukcjach. Część 4: Badanie nieniszczące. Oznaczanie prędkości fali ultradźwiękowej.
- [13] Runkiewicz L., Brunarski L., Instrukcja stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji. ITB, Warszawa 1977.
- [14] Jasiński R., Określenie wytrzymałości betonu w konstrukcji. XXIX Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczecin 2014.
- [15] Brunarski L., Dohojda M., Diagnostyka wytrzymałości betonu w konstrukcji. ITB, Warszawa 2015.

DOI: 10.5604/01.3001.0014.6350

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Runkiewicz Leonard, Runkiewicz Maciej, Sieczkowski Jan, 2021, Nowe zasady stosowania badań nieniszczących do oceny wytrzymałości i jednorodności betonów. Cz. 2., „Builder” 02 (283), DOI: 10.5604/01.3001.0014.6350

Streszczenie: W artykule opisano nowe zasady oceny wytrzymałości betonu na podstawie badań metodami nieniszczącymi. Zasady te, określone w normie PN-EN 13791, są odmienne od dotychczas stosowanych według PN-B. Niemniej jednak możliwe jest dalsze stosowanie krzywych korelacji wykorzystywanych w dotychczasowej praktyce budowlanej. Za tym przemawiają małe różnice w wartościach wytrzymałości betonu określanych według PN-EN i PN-B.

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

Abstract: New rules for the application of non-destructive tests to assess the strength and concrete uniformity. The article describes new rules for assessing the strength of concrete based on non-destructive testing. These rules, specified 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. This is supported by small differences in the values of concrete strength, determined according to PN-EN and PN-B.

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

REKLAMA



**CZYTAJ
BUILDER
NA TABLECIE,
SMARTFONIE
I KOMPETERZE
ZA DARMO!**

1 NA TABLETACH I SMARTFONACH
■ Pobierz bezpłatną aplikację Builder Polska z App Store lub Google Play

2 NA KOMPETERACH
■ Wejdź przez przeglądarkę na stronę e.buildercorp.pl i zarejestruj się

PEŁEN DOSTĘP BEZ OGRANICZEŃ
Czytaj magazyn Builder i inne publikacje z Biblioteki Buildera

**BUILDER CYFROWY
FOR FREE!**

