

Leonard Runkiewicz
Jan Sieczkowski

Ocena wytrzymałości betonu w konstrukcjach na podstawie badań sklerometrycznych

Poradnik

Concrete strength evaluation in structures
based on sclerometric methods

Guidance



Instytut Techniki Budowlanej

Warszawa 2022

KOMITET REDAKCYJNY SERII

Redaktor naczelny

Zastępca redaktora naczelnego

Sekretarz

Członkowie

prof. dr hab. inż. LEONARD RUNKIEWICZ

dr hab. inż. JADWIGA FANGRAT, prof. ITB

mgr DANUTA SZCZEPAŃSKA

dr inż. JAN BOBROWICZ

dr inż. BARBARA FRANCKE

mgr inż. JAN SIECZKOWSKI

Recenzenci

prof. dr hab. inż. JERZY HOŁA

dr hab. inż. RADOŚLAW JASIŃSKI, prof. Politechniki Śląskiej

Redaktor prowadzący serii

mgr inż. JAN SIECZKOWSKI

Opracowanie redakcyjne

mgr DANUTA SZCZEPAŃSKA

Projekt okładki

EWA KOSSAKOWSKA

© Copyright by Instytut Techniki Budowlanej

Warszawa 2022

Publikacja z serii „Instrukcje, Wytoczne, Poradniki” nr 503/2022

ISBN 978-83-249-8260-8; 978-83-249-8263-9 (PDF)

Wydawca i Autorzy dołożyli wszelkich starań, aby publikowane informacje pochodziły z rzetelnych źródeł. Wydawca nie ponosi odpowiedzialności, ani też nie zaciąga zobowiązań w wyniku wykorzystania przez użytkowników treści niniejszej publikacji. W szczególności nie ponosi odpowiedzialności w stosunku do czytelników i/lub strony trzeciej za jakiegokolwiek poniesione straty, wydatki i szkody bezpośrednie i pośrednie, łącznie z utratą zysku i innych korzyści majątkowych, które mogły powstać lub być związane bezpośrednio lub pośrednio z treściami opublikowanymi, w tym ewentualnymi błędami lub pominięciami zawartymi w publikowanych materiałach.



Instytut Techniki Budowlanej

Dział Wydawnictw Naukowych

02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21, tel.: 22 843 35 19

tel.: 22 56 64 208, e-mail: wydawnictwa@itb.pl, www.itb.pl

[Kup książkę](#)

Spis treści

<i>Streszczenie</i>	5
<i>Summary</i>	6
1. Wstęp	7
1.1. Wprowadzenie	7
1.2. Przedmiot i zakres stosowania poradnika	8
1.3. Wykaz ważniejszych oznaczeń	9
1.4. Podstawy metod badań nieniszczących	10
1.5. Parametry zbioru wyników badań betonu	12
2. Przyrządy pomiarowe	13
2.1. Rodzaje sklerometrów Schmidta	13
2.2. Opis sklerometrów Schmidta	14
2.3. Sprawdzanie prawidłowości działania sklerometrów Schmidta	16
2.4. Konserwacja sklerometrów Schmidta	17
3. Wykonywanie pomiarów sklerometrami Schmidta	18
3.1. Sklerometry Schmidta typu N, L i M	18
3.2. Sklerometr Schmidta typu P	19
3.3. Przykłady obliczania poprawki ΔR na podstawie badań oraz wartości tabelarycznych	20
4. Zasady przeprowadzania badań betonu w konstrukcji	21
4.1. Liczba badanych miejsc	21
4.2. Wybór miejsc do badań	21
4.3. Przygotowanie miejsc do przeprowadzania pomiarów	22
4.4. Liczba odczytów w każdym badanym miejscu	22
5. Opracowywanie wyników pomiarów	23
5.1. Zasady obliczania mediany i charakterystyk rozproszenia wyników liczb odbicia	23
5.2. Porównanie obliczeń wskaźników liczb odbicia z zastosowaniem median i wartości średnich	24
6. Ocena jakości badanego betonu	29
6.1. Zasady ogólne	29
6.2. Dokładne wyznaczanie (skalowanie) zależności empirycznych (wariant 1)	32
6.3. Przybliżony dobór zależności empirycznych – krzywych regresji (wariant 2)	35
6.4. Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie	38

6.5. Określanie wskaźników charakteryzujących jakość betonu na podstawie badań sklerometrycznych.....	39
6.6. Ocena betonu przy jednoczesnym stosowaniu dwóch metod pomiarowych.....	47
6.7. Przykłady wyznaczania związków empirycznych (korelacji).....	49
7. Ocena charakterystycznych wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji.....	56
8. Sprawozdanie z oceny wytrzymałości betonu.....	58
9. Przepisy BHP.....	59
10. Dokumentacja badania	59
Bibliografia	59
Załącznik: Przykładowe tablice do wyznaczania wskaźników wytrzymałości betonu na ściskanie (badania młotkiem Schmidta typu N)	62

OCENA WYTRZYMAŁOŚCI BETONU W KONSTRUKCJACH NA PODSTAWIE BADAŃ SKLEROMETRYCZNYCH. PORADNIK

Streszczenie

Wartości wytrzymałości betonu w konstrukcji niezbędne są na każdym etapie jej życia, poczynając od budowy aż do rozbiórki. Szczególnie istotne jest to w diagnostyce konstrukcji, najczęściej związanej z oceną stanu technicznego, wymaganą przy remontach i modernizacjach oraz zmianach sposobów użytkowania, a także w sytuacjach awaryjnych. Każda awaria czy katastrofa konstrukcji pociąga za sobą skutki mające nie tylko aspekt materialny, ale również społeczny.

Oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji powinny być dokonywane w sposób mało inwazyjny, na co pozwalają metody nieniszczące, stosowane w praktyce krajowej od lat 60. ubiegłego wieku.

W poradniku przedstawiono aktualne zasady oceny wytrzymałości betonu za pomocą nieniszczących metod sklerometrycznych według aktualnych norm stowarzyszonych z Eurokodami. Nawiązano w nim również do instrukcji ITB nr 210 z 1977 r., do dziś stosowanej w praktyce.

W kolejnych rozdziałach poradnika opisano:

- przedmiot i zakres stosowania wraz z wykazem oznaczeń,
- urządzenia służące do badań sklerometrycznych wraz z procedurą kalibracji stosowanych instrumentów,
- szczegółowe zasady realizacji badań nieniszczących,
- zasady wykonywania badań betonu w konstrukcji, w tym liczbę i wybór badanych miejsc, przygotowanie miejsc do przeprowadzania pomiarów oraz liczby odczytów,
- zasady opracowywania wyników badań,
- oceny jakości badanego betonu, w tym zasady ogólne, wyznaczanie (skalowanie) związków empirycznych i przybliżony ich dobór (krzywych regresji), a także ocenę wytrzymałości betonu na ściskanie, przykłady określania związków empirycznych (krzywych regresji) i oceny jakości betonu,
- wyznaczanie charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji,
- układ sprawozdania z badań,
- przepisy BHP i dokumentację badania.

Do poradnika dołączono również załącznik zawierający przykładowe tablice do wyznaczania wskaźników wytrzymałości betonu na ściskanie w przypadku badań młotkiem Schmidta typu N.

CONCRETE STRENGTH EVALUATION IN STRUCTURES BASED ON SCLEROMETRIC METHODS. GUIDANCE

Summary

Concrete strength values for a structure are required throughout its entire life – starting from construction and ending up with demolition. This is particularly important when it comes to structure diagnostics, which is most frequently associated with the assessment of technical condition required during overhauls, renovations and changes in use as well as in emergencies. Any failure or disaster associated with a structure has consequences of not only material, but also social dimension.

Concrete strength in a structure should be evaluated in a minimally invasive way, which is possible through non-destructive tests applied in national practice since the 1960s.

The guide presents the current rules of evaluation of concrete strength using a non-destructive sclerometric method according to the current standards associated with the Eurocodes. It also makes reference to ITB Instruction No. 210 of 1977 applied in practice to this day.

The next chapters in the guide describe:

- the object and scope of application including a list of designations,
- devices used for sclerometric tests including a calibration procedure for instruments to be used,
- detailed procedures for performing non-destructive tests,
- rules of testing concrete in a structure, which include the number and selection of tested places, preparing places for measurements and the number of readings,
- rules of preparing test results,
- evaluation of quality of the tested concrete, which includes general rules, determination (scaling) of empirical relationships and approximate selection of regression curves as well as evaluation of compressive strength of concrete, examples of determination of regression curves and evaluation of concrete quality,
- determination of characteristic compressive strength of concrete in a structure,
- structure of the test report,
- OHS regulations and test documentation.

The guide also includes an appendix with examples of tables for determining concrete compressive strength indices when tested with a type N Schmidt hammer.

1. WSTĘP

1.1. Wprowadzenie

Jednym z podstawowych parametrów, niezbędnym do sprawdzania zgodności wykonania konstrukcji żelbetowych z rozwiązaniami projektowymi, stosowanym w diagnostyce konstrukcji, związanej ze zmianą sposobu użytkowania, przebudową lub rozbudową, jest wytrzymałość betonu na ściskanie i jego jednorodność.

Poradnik opracowano na podstawie norm PN-EN 13791:2008 [31] i PN-EN 13791:2019-12 [32].

Ocena wytrzymałości betonu w konstrukcjach jest przedmiotem normy PN-EN 13791 [31, 32], podstawą tej oceny są natomiast badania wykonywane według norm serii PN-EN 12504 [27–30]. Mogą to być badania wytrzymałości betonu na ściskanie przeprowadzane w sposób bezpośredni na próbkach walcowych (rdzeniowych) pobranych z konstrukcji (odwiertach) [27] lub w sposób pośredni, z wykorzystaniem badań nieniszczących, m.in. sklerometrycznych [28] i ultradźwiękowych [30], a także lokalnie małoniszczących, np. oznaczanie siły wyrwywającej [29]. Więcej informacji na temat diagnostyki konstrukcji znajduje się w literaturze, np. [1–8, 10–18, 20, 21] oraz referatach wygłaszanych na corocznej Konferencji Badań Nieniszczących

W normie [28] określono ocenę wytrzymałości betonu za pomocą sklerometru (sprężynowego, stalowego młotka uderowego) typu N, zaprojektowanego przez Schmidta (opisany w pkt. 2.2 poradnika), metodą oznaczania liczby odbicia bijaka stalowego od powierzchni stwardniałego betonu. W niniejszym poradniku podano zasady stosowania sklerometrów typu N oraz sklerometrów typów L, M i P.

Sklerometry należą do grupy przyrządów określających powierzchniową twardość betonu na podstawie pomiaru odskoku od powierzchni betonu bijaka stalowego, tj. ciężaru uderzającego z określoną siłą. Uderzenie jest wywoływane układem sprężynowym sklerometru.

W normie [28] (rozdz. „Zakres normy”) podano m.in., że:

- wyznaczona liczba odbicia może być wykorzystywana do oceny jednorodności betonu w konstrukcji oraz do wyznaczania obszarów i fragmentów konstrukcji, w których beton ma niską jakość lub jego jakość uległa pogorszeniu,
- opisana metoda badania nie jest traktowana jako alternatywna dla oznaczania wytrzymałości betonu na ściskanie [26], ale z zastosowaniem właściwych zależności umożliwia oszacowanie wytrzymałości betonu w elementach i konstrukcjach,

- sklerometr może być również stosowany do badań porównawczych, zalecanych w stosunku do betonu o znanej wytrzymałości lub w stosunku do betonu o znanym składzie mieszanki, odpowiadającej określonej klasie wytrzymałości.

W ocenie wytrzymałości betonu nie można więc posługiwać się krzywą podstawową podaną, np. w PN-EN 13791 [31, 32], bez odpowiedniego wzorcowania (skalowania, kalibracji) na próbkach walcowych (rdzeniowych) pobranych z konstrukcji.

Na podstawie pomiarów sklerometrycznych można uzyskać informacje wyłącznie o jakości powierzchniowej warstwy betonu, tj. w zależności od rodzaju betonu i sklerometru o grubości od 3 do 10 cm [1–8, 11–18, 20, 21]. Wobec powyższego ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach, badana za pomocą sklerometru typu N, jest miarodajna, jeśli grubość elementu nie przekracza:

- 20 cm przy dostępie jednostronnym,
- 40 cm przy dostępie dwustronnym,
- 60 cm przy badaniu co najmniej z trzech stron.

Badania sklerometryczne przeprowadzane zgodnie z [31, 32] wykorzystywane są m.in. do:

- oszacowania wytrzymałości betonu na ściskanie w istniejących elementach i konstrukcjach, co jest przedmiotem niniejszego poradnika,

- oceny klasy wytrzymałości na ściskanie dostarczonego betonu w przypadkach wątpliwości dotyczących wartości wytrzymałości na ściskanie betonu, uzyskanych na podstawie badań standardowych próbek formowanych lub odwiercanych, a także wątpliwości dotyczących jakości wykonania konstrukcji (wytrzymałość betonu w konstrukcji różni się od wytrzymałości betonu ocenianej na próbkach do badań; różnice te powinny być wzięte pod uwagę w ocenie – z reguły stosowany jest współczynnik 0,85 do wytrzymałości oznaczanej na próbkach).

Niniejszy poradnik dotyczy tylko stosowania sklerometrów (młotków sprężynowych i wahadłowych) Schmidta do nieniszczącej oceny jakości betonu w konstrukcjach. Został on opracowany na podstawie wymienionych powyżej Polskich Norm, wieloletnich doświadczeń krajowych, a także z uwzględnieniem zaleceń instrukcji [19]. Poradnik może stanowić podstawę do opracowywania zaleceń stosowania metod sklerometrycznych do oceny betonów specjalnych, projektowanych indywidualnie.

Poradnik jest ukierunkowany, jak instrukcja [19], na ocenę betonu zgodnie z normami projektowania (Eurokodami, w tym PN-EN 1992 [25]).

1.2. Przedmiot i zakres stosowania poradnika

Przedmiotem poradnika są warunki stosowania sklerometrów (młotków sprężynowych i wahadłowych) Schmidta do nieniszczącej oceny jakości betonu w konstrukcjach.

Zakres poradnika obejmuje stosowanie sklerometrów Schmidta do nieniszczącej oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji.

Poradnik nie obejmuje oceny wytrzymałości na ściskanie dostarczanego betonu w przypadku wątpliwości, tj. gdy wyniki badań z kontroli produkcji wykazują zgodność, a wyniki z badań – brak potwierdzenia zgodności z:

- badaniami na odwiertach,
- badaniami pośrednimi wraz z badaniami na próbkach walcowych (rdzeniowych),
- badaniami przesiewowymi,

a także gdy producenci poinformowali o niezgodności w ocenie wytrzymałości.

Oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach metodami nieniszczącymi (pośrednimi) stanowią alternatywę dla badania próbek walcowych (rdzeniowych) pobranych z konstrukcji. Może również stanowić uzupełnienie danych otrzymywanych z badania ograniczonej liczby próbek walcowych (rdzeniowych). Metody te mogą być stosowane tylko po przeprowadzeniu wzorcowania (kalibracji) na próbkach walcowych (rdzeniowych) pobranych z konstrukcji.

Poradnik przeznaczony jest dla odpowiednio przeszkolonych inżynierów i techników, zatrudnionych w wykonawstwie, laboratoriach kontrolnych, nadzorze budowlanym oraz w rzeczoznawstwie budowlanym.

1.3. Wykaz ważniejszych oznaczeń

Duże litery łacińskie

- R – liczba odbicia (ang. *Rebound number*), dotychczas oznaczana jako L ,
- R_i – mediana wartości liczb odbicia w miejscu (punkcie) pomiarowym,
- R_k – odczyt kontrolny liczby odbicia na wzorcowym kowadłku kalibracyjnym,
- R_m – mediana z median wartości liczb odbicia w n miejscach (punktach) pomiarowych,
- R_{nom} – wartość nominalna (początkowa) liczby odbicia na wzorcowym kowadłku kalibracyjnym,
- R_α – liczba odbicia przy pozycji młotka nachylonej pod kątem α do poziomu, przy badaniu pionowych lub ukośnych powierzchni betonowych.

Małe litery łacińskie

- a, b, c – parametry równania zależności korelacyjnej (funkcji regresji),
- f_c – wytrzymałość betonu określana na podstawie badań przeprowadzonych na próbkach walcowych o wymiarach 150×300 mm lub próbkach sześciennych (kostkowych) o boku 150 mm,
- $f_{ck, is}$ – charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji, określona na podstawie badań próbek walcowych (rdzeniowych) pobranych z konstrukcji,

- $f_{is,lowest}$ – najmniejsza wartość wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, wyznaczona bezpośrednio na podstawie badań próbek walcowych (rdzeniowych) pobranych z konstrukcji, oznaczana w uproszczeniu jako $f_{is,min}$,
- $f_{is,lowest,R}$ – najmniejsza wartość wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, wyznaczona pośrednio na podstawie badań sklerometrycznych, oznaczana w uproszczeniu jako $f_{is,min,R}$,
- $f_{i,R}$ – wytrzymałość w miejscu pomiarowym wyznaczona pośrednio na podstawie badań sklerometrycznych,
- $f_{m(n),is,R}$ – średnia wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji, wyznaczona pośrednio na podstawie badań sklerometrycznych, oznaczana w uproszczeniu jako f_m ,
- f_R – podstawowa krzywa regresji,
- n – liczba miejsc pomiarowych,
- p – poziom ufności oszacowania wyników,
- s_f – odchylenie standardowe oznaczonej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji,
- s_R – odchylenie standardowe oznaczonej liczby odbicia R_i w n miejscach pomiarowych.

Litery greckie

- γ – poziom ufności oszacowania wyników badania (pomiaru),
- Δf – przesunięcie podstawowej zależności empirycznej (krzywej regresji) przy skalowaniu przybliżonym,
- δf_i – wartości różnic odchyłeń wytrzymałości betonu określonych na kontrolnych próbkach walcowych (rdzeniowych) pobranych z konstrukcji od obliczonych z równania podstawowej (bazowej) zależności korelacyjnej (empirycznej),
- $\delta f_{m(n)}$ – wartości średnie z różnic odchyłeń δf_i wytrzymałości betonu,
- ΔR – poprawka odczytu przy pozycji młotka sprężynowego nachylonej pod kątem α do poziomu,
- v_n – współczynnik zmienności wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji,
- v_R – współczynnik zmienności liczby odbicia w miejscach (punktach) pomiarowych na konstrukcji.

1.4. Podstawy metod badań nieniszczących

Badania nieniszczące stosowane są do oceny właściwości mechanicznych materiałów na podstawie pomiaru lokalnych twardości powierzchniowych. Twardość materiału, rozumianą jako lokalną odporność na odkształcenia wywołowaną siłami

skupionymi, wyznacza się w zależności od sposobu wywołania nacisku oraz przyjętej miary odporności.

Do badań wytrzymałości betonu najczęściej stosowane są dynamiczne sposoby wywoływania siły (udaru) przy zastosowaniu różnych kształtów ciał wywołujących nacisk na powierzchnię, tzw. wgłębników. W zależności od sposobu działania wgłębnika rozróżnia się metody docisku (pod obciążeniem statycznym) i odskoku (pod obciążeniem dynamicznym). W metodach docisku najczęściej stosowany jest przyrząd zwany młotkiem Poldiego, natomiast w metodach odskoku – sklerometry. Główną zaletą sklerometrów jest łatwość pomiarów oraz możliwość ich wykonywania przez jedną osobę.

Podstawową zależnością metod docisku (prawo wgniatania kuli obciążeniem statycznym) jest ogólna zależność wymiarów odcisku wgłębnika od wartości nacisku, wyrażona równaniem:

$$P_s = a d^n \quad (1)$$

gdzie:

P_s – siła statycznie działająca na wgłębnik,

D – średnica odcisku wgłębnika,

a, n – wartości stałe, wyznaczane doświadczalnie.

Twardość materiału w próbie statycznej (H_{stat}) wyznacza się ze wzoru:

$$H_{\text{stat}} = \left(\frac{P_s}{\pi} \right) d^{-2} = k_1 d^{-2} \quad (2)$$

Oznacza to, że w statycznej próbie, przy stałej sile P_s , twardość jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu średnicy odcisku.

Natomiast przy dynamicznej próbie badania twardości nie jest znana siła wciśkająca i dlatego twardość określa się jako tzw. pracę właściwą odkształcenia ze wzoru:

$$H_{\text{dyn}} = \frac{A}{V} \quad (3)$$

gdzie:

A – praca stracona przy wgniataniu kulki,

V – objętość otrzymanego odcisku w betonie.

Przy założeniu, że głębokości odcisków są małe w porównaniu ze średnicami kuli po przekształceniach, można otrzymać zależność:

$$H_{\text{dyn}} = k_2 d^{-4} \quad (4)$$

Ponieważ współczynnik k_2 jest stały dla danego materiału (betonu), przy założeniu, że głębokość odcisku jest dużo mniejsza od średnicy kuli, twardość dynamiczna jest odwrotnie proporcjonalna do średnicy odcisku w potęgze czwartej, statyczna zaś – do kwadratu średnicy odcisku.

Wyznaczanie twardości przez pomiar odskoku

Dynamiczną twardość betonu można również określać jako wielkość proporcjonalną do wysokości, na jaką odskakuje bijak uderzający ze znaną energią w kulkę lub we wgłębnik z zakończeniem kulistym, przyłożony do powierzchni. Energię uderzenia dobiera się w ten sposób, aby na badanej powierzchni pozostał nieznaczny ślad.

Najbardziej rozpowszechnionymi twardościomierzami dynamicznymi działającymi na zasadzie odskoku są sklerometry (młotki sprężynowe) Schmidta. W sklerometrach tych uderzenia wywoływane są ze stałą energią za pomocą sprężyny. Po uderzeniu w trzpień (wgłębnik z zakończeniem kulistym) masa uderzeniowa (bijak) cofa się o pewien odcinek, który jest określony za pomocą wskaźnika na skali przyrządu. Odczyt na tej skali zwany jest liczbą odbicia i oznaczany literą R (przedtem przez około 60 lat literą L). We współczesnych młotkach Schmidta (*Silver Schmidt*) zamiast liczby odbicia R otrzymuje się energię bijaka Q .

Teoretyczne podstawy określania dynamicznej twardości sklerometrem Schmidta podał J. Kollek [8], który, mierząc średnice d odcisków na betonie, otrzymał następującą zależność liczby odbicia R od średnicy d odcisków:

$$R = k_3 d^{-4} \quad (5)$$

Z przyrównania wzorów (4) i (5) otrzymuje się:

$$H_{dyn} = \left(\frac{k_2}{k_3} \right) R \quad (6)$$

Wobec powyższego, przy stałych parametrach przyrządów nie wyznacza się współczynników k_2 i k_3 lecz ustala się bezpośrednie korelacje (zależności) wytrzymałości betonu i liczby odbicia. Do statystycznej oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w elemencie lub fragmencie konstrukcji, wykonanym z jednej partii betonu, wymagana jest odpowiednia liczba badanych miejsc oraz statystyczna analiza wyników pomiarów.

1.5. Parametry zbioru wyników badań betonu

Do oszacowania wytrzymałości betonu w konstrukcji na podstawie badań sklerometrycznych, po wcześniejszym ustaleniu empirycznych zależności wytrzymałości betonu na ściskanie od liczby odbicia (rozdz. 6.1), przeprowadzonych w n miejscach pomiarowych, niezbędne są następujące wielkości:

- $f_{m(n),is,R}$ – wartość średniej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, wyznaczona pośrednio na podstawie badań sklerometrycznych,
- $f_{is,lowest}$ – (oznaczana jako f_{min}) wytrzymałość minimalna (najmniejsza z wyznaczonych wartości wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji),
- s_R – odchylenie standardowe wyznaczonej liczby odbicia R_i w n miejscach (punktach) pomiarowych.

Wartość średnia wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji odnosi się do fragmentu konstrukcji, jednego lub kilku elementów konstrukcji albo wyrobów prefabrykowanych, wykonanych z betonu zaliczanego do jednej populacji. Określenie tej średniej wytrzymałości betonu wymaga przeprowadzenia badań w odpowiedniej liczbie miejsc pomiarowych, zdefiniowanych jako ograniczony obszar, w którym wyznacza się pojedynczy wynik badania. Z uwagi na ograniczoną liczbę badań wyniki oszacowania obarczone są niepewnością, co prowadzi do określania na ogół niższych wyznaczanych wartości.

Do określania charakterystycznej wytrzymałości betonu w konstrukcji $f_{ck,is}$ na podstawie badań sklerometrycznych przyjmuje się – zgodnie z [31] – wartość odchylenia standardowego s_R nie mniejszą niż 3 MPa.

2. PRZYRZĄDY POMIAROWE

2.1. Rodzaje sklerometrów Schmidta

Stosowane są cztery **podstawowe typy sklerometrów** (młotków sprężynowych) Schmidta (produkcji szwajcarskiej):

N – średni (normalny), o energii uderzenia 2,25 Nm, przeznaczony do badania betonu zwykłego w elementach prefabrykowanych i konstrukcjach,

L – lekki, o energii uderzenia 0,75 Nm, przeznaczony do badania betonu lekkiego, zapraw itp.,

M – ciężki (masywny), o energii uderzenia 30 Nm, do badania betonu w nawierzchniach dróg i lotnisk, w konstrukcjach mostów, w fundamentach oraz w innych konstrukcjach masywnych,

P – wahadłowy, o energii uderzenia 0,88 Nm, do badania betonu i materiałów o małej twardości i wytrzymałości, takich jak autoklawizowany beton komórkowy, tynki itp.

Ponadto występują specjalne odmiany podstawowych typów sklerometrów (młotków sprężynowych), m.in.:

NA – normalny, specjalnie zabezpieczony osłonami szczelnymi przed pyłem, stosowany w warunkach dużego zapylenia,

NR – normalny, wyposażony w specjalne urządzenie zapisujące,

NW – normalny, przeznaczony do sprawdzania jakości betonu pod wodą na głębokości do 20 m, stosowany do badania betonu w konstrukcjach hydrotechnicznych,

LB – lekki, z kulistym trzpieniem do kontroli jakości wyrobów ceramicznych,