



INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ

Instrukcje, Wytyczne, Poradniki 435/2008

**Wyznaczanie niepewności wyników
badań wytrzymałościowych
Poradnik**

Lesław Brunarski

Warszawa 2008

PORADNIK

Recenzenci

dr hab. Inż. KRYSZYNA NAGRODZKA-GODYCKA

mgr inż. STEFAN WÓJTOWICZ

mgr inż. PIOTR PTAK

Publikacja ma charakter poradnika, w którym podano podstawy teoretyczne, zasady i przykłady obliczania i wyrażania niepewności wyników badań wytrzymałościowych betonu oraz podobnie niejednorodnych materiałów budowlanych. Przedstawiono w nim szczególnie metodę szacowania niepewności średnich wyników badań wykonywanych na próbkach w warunkach laboratoryjnych oraz *in situ* metodami nieniszczącymi. Metoda ta, zgodna z ogólnymi zaleceniami podstawowych dokumentów odniesienia (wytyczne GUM [1], EA [2] oraz ILAC [3]), dostosowana jest do specyfiki badań materiałów budowlanych oraz uwzględnia doświadczenia z dotychczas stosowanej metody estymacji statystycznej wyników badań [4]. Pozwala ona na obiektywną ocenę niepewności całkowitej (rozszerzonej) wyników badań, na podstawie odchylenia standardowego średniej oraz racjonalnego w badaniach wytrzymałościowych materiałów budowlanych poziomu ufności. Jako uzasadnione do wyznaczania niepewności średnich wyników badań tych materiałów rekomendowane są zróżnicowane poziomy ufności 0,75 lub 0,95, odpowiednio do różnych poziomów ufności wymaganych w normowych kryteriach zgodności wytrzymałości materiałów budowlanych.

Druk z oryginałów dostarczonych przez autora

Projekt okładki

EWA KOSSAKOWSKA

© Copyright by Instytut Techniki Budowlanej
Warszawa 2008

ISBN 978-83-249-1405-0

ISBN 978-83-249-8172-4 (PDF)



Instytut Techniki Budowlanej

Dział Upowszechniania Wiedzy

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

www.itb.pl

Sklep internetowy klient.itb.pl

Kup książkę

Spis treści

<i>Oznaczenia</i>	5
1. Wprowadzenie.....	9
2. Podstawowe terminy i definicje	
2.1. Wynik pomiaru a wynik badania.....	11
2.2. Badania ilościowe i jakościowe.....	11
2.3. Niepewność wyników badań	12
3. Ogólny algorytm oszacowania niepewności wyników badań	
3.1. Złożona wielkość wyjściowa – wynik badań i wielkości wejściowe.....	13
3.2. Złożona niepewność standardowa wyników badań	13
3.3. Metoda A wyznaczania niepewności standardowych wielkości wejściowych	14
3.4. Metoda B wyznaczania niepewności standardowych wielkości wejściowych	15
3.5. Niepewność rozszerzona (całkowita) wyników badań	16
3.6. Wypadkowa liczba stopni swobody złożonej niepewności standardowej	17
3.7. Poziom ufności niepewności rozszerzonej wyników badań.....	18
3.8. Współczynnik rozszerzenia	19
4. Wzorcowe procedury wyznaczania niepewności rozszerzonej średnich wyników badań wytrzymałościowych	
4.1. Wzorcowa procedura w bezpośrednich badaniach wytrzymałości materiałów budowlanych na próbkach.....	20
4.2. Wzorcowa procedura w pośrednich badaniach wytrzymałości betonu <i>in situ</i> metodami nieniszczącymi.....	22
5. Przykłady liczbowe wyrażania niepewności średnich wyników badań	
5.1. Badanie wytrzymałości betonu na ściskanie na próbkach wykonanych w formach.....	26
5.2. Badanie wytrzymałości betonu na ściskanie na próbkach-odwiertach z konstrukcji.....	30
5.3. Badanie modułu sprężystości betonu przy ściskaniu osiowym na próbkach wykonanych w formach.....	32
5.4. Badanie wytrzymałości kamienia budowlanego na ściskanie na próbkach wyciętych z bloków.....	36
5.5. Badanie wytrzymałości drewna litego na ściskanie na próbkach	39
5.6. Badanie wytrzymałości elementów murowych silikatowych.....	42
5.7. Badanie pośrednie wytrzymałości betonu nieniszczącą metodą ultradźwiękową <i>in situ</i>	45
5.8. Badanie pośrednie wytrzymałości betonu nieniszczącą metodą sklerometryczną <i>in situ</i>	48
6. Podsumowanie.....	51
Bibliografia.....	53

1. WPROWADZENIE

Wynik badania właściwości każdej wielkości, a więc i wynik badania cechy (właściwości) wytrzymałościowej materiału budowlanego, jest zawsze tylko estymatorem (oszacowaniem) wartości wielkości oznaczanej. Potrzebny jest więc ujednolicony sposób obliczania i wyrażania niepewności rozszerzonej tego wyniku. Ogólny taki sposób podany jest w podstawowych dokumentach odniesienia: *GUM* [1] ustalającym zasady wyrażania niepewności pomiaru oraz w *Wytycznych EA dotyczących wyrażania niepewności w badaniach ilościowych* [2].

Niepewność rozszerzoną zdefiniowano w *GUM* [1] jako: *wielkość określającą przedział wokół wyniku pomiaru, od którego to przedziału oczekuje się, że – przy założonym poziomie ufności - obejmie on część rozkładu wartości, które w uzasadniony sposób można przypisać wielkości mierzonej.*

PN-EN ISO/IEC 17025:2005 *Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących* [7] stanowi, że *laboratoria badawcze powinny mieć i stosować procedury szacowania niepewności pomiaru.* Odsyłając w kwestiach szczegółowych tych procedur do *GUM* [1], w normie [7] podano, że racjonalniejsze w pewnych okolicznościach mogą się okazać techniki *oceny niepewności wyników, oparte na naukowym rozumieniu teoretycznych podstaw metody i praktycznym doświadczeniu.* Podobnie *Wytyczne EA* [2] zalecają, aby laboratoria – odpowiednio do rozwoju wiedzy - wybierały najbardziej odpowiednie podejście do swoich dziedzin i wyznaczały niepewność pomiaru w taki sposób, na ile to jest właściwe do zamierzonego użycia.

Potrzeba takiego właśnie podejścia występuje w przypadku oznaczania średnich wartości wytrzymałościowych cech materiałów budowlanych. Na przykład według sposobu opisanego w *GUM* [1], niepewność rozszerzona określonej średniej wytrzymałości betonu oblicza się jako iloczyn odchylenia standardowego z próby wytrzymałości i współczynnika rozszerzenia przyjmowanego przy poziomach ufności 0,95 lub 0,99. Otrzymana wartość, zdecydowanie za wysoka, nie jest do zaakceptowania przez obie zainteresowane strony (klient – laboratorium badawcze). Z drugiej strony *informacja dotycząca niepewności wyników jest w wielu przypadkach niezbędna w sprawozdaniach z badań* (pkt 5.10.3.1 normy [7]).

Sposób wyznaczania realnych wartości niepewności rozszerzonej średnich wyników badań wytrzymałościowych materiałów budowlanych jest przedmiotem niniejszego poradnika. Sposób ten, zgodny jest z ogólnymi zaleceniami *GUM* [1], dostosowany jest do specyfiki badań tych materiałów, uwzględniając przy tym doświadczenia z dotychczas stosowanej metody analizy statystycznej wyników badań według *Instrukcji ITB Badania cech mechanicznych betonu na próbkach wykonanych w formach* [21]. Realne wartości rozszerzonej niepewności oblicza się poprzez wykorzystanie odchylenia standardowego średniej wartości z serii

wyników badań do obliczania złożonej niepewności standardowej (por. podręcznik akademicki J. Arendarskiego [24]) oraz w wyniku przyjęcia odpowiedniego w badaniach materiałów budowlanych poziomu ufności i wykorzystaniu rozkładu t-Studenta z efektywną liczbą stopni swobody do obliczania współczynnika rozszerzenia. Jako odpowiednie i w pełni uzasadnione są poziomy ufności 0,75 lub 0,95, analogiczne jak w aktualnych kryteriach zgodności wytrzymałości materiałów budowlanych z wymaganiami [26].

Poradnik adresowany jest do specjalistów – praktyków, zajmujących się technologią i badaniami materiałów budowlanych w laboratorium na próbkach oraz *in situ* metodami nieniszczącymi. Z tego względu zawiera on nie tylko omówienie podstawowych terminów i definicji oraz ogólnych zasad wyznaczania niepewności wyników badań, ale również szczegółowy algorytm i przykłady obliczeń.

Przedstawione w poradniku procedury wyznaczania rozszerzonej niepewności średnich wyników badań właściwości wytrzymałościowych materiałów budowlanych mogą być wykorzystywane do wyznaczania niepewności wyników badań innych cech materiałowych. W przypadku materiałów, w odniesieniu do których nie jest określony poziom ufności normowych kryteriów zgodności wytrzymałości ze specyfikacjami niepewność, rozszerzona może być obliczana przy znacznie niższym poziomie ufności $p = 0,75$. Należą do nich m.in. beton, drewno i kamień budowlany. Tylko w normowych kryteriach zgodności wytrzymałości elementów murowych [10] wymagany jest poziom ufności $p = 0,95$, stąd taki też poziom należy przyjmować przy oszacowywaniu niepewności wyników badań elementów ceramicznych, silikatowych, z betonu komórkowego itp. Możliwość przyjęcia *akceptowalnego poziomu ufności mniejszego od 0,95* przewidują *Wytyczne ILAC* [3].

Laboratorium badawcze, które zamierzałoby przyjąć przedstawiony w poradniku algorytm za podstawę własnej procedury wyrażania niepewności wyniku swoich badań powinno przeprowadzić jej walidację, zgodnie z wymaganiami normy [7].

Poradnik niniejszy, podobnie jak dokumenty odniesienia [1] i [2], nie porusza kwestii wykorzystywania lub pomijania wyznaczonej niepewności średniego wyniku badań przy ocenie i przedstawianiu zgodności wyrobu budowlanego ze specyfikacją (wymaganiem normowym). Wymienione wyżej *Wytyczne ILAC* [3] dopuszczają, że normy dotyczące materiałów budowlanych *mogą stanowić, że niepewność może być pominięta przy rozstrzyganiu o zgodności ze specyfikacją*. Taka też zasada przyjęta jest w aktualnych normach PN-EN zawierających kryteria zgodności wytrzymałości betonu [8], [19] i niektórych materiałów budowlanych [9], [12]. Wyjątkiem są kryteria dotyczące elementów murowych [10], w których – wprawdzie nie *explicite* – niepewność wyniku badań jest podstawą oceny.

2. PODSTAWOWE TERMINY I DEFINICJE

2.1. Wynik pomiaru a wynik badania

Terminy i definicje dotyczące wyznaczania niepewności wyników badań podane są w kilku dokumentach normalizacyjnych, nie zawsze między sobą zgodnych. Poza podstawowymi dokumentami wejściowymi [1], [2], [3] znajdują się również w *PN-ISO* [4], [5], [6], [7].

Na wstępie wyjaśnienia wymagają różnice dwóch pojęć: wynik pomiaru i wynik badania. Najprościej mówiąc **wynik pomiaru** odnosi się do pojęcia „wielkość mierzona” (wielkość mierzalna, określona, stanowiąca przedmiot pomiaru, cecha zjawiska ciała, którą można wyróżnić jakościowo i wyznaczyć ilościowo), **wynik badania** zaś odnosi się do pojęcia „właściwość” (cecha, która pomaga odróżniać obiekty w danej populacji).

Z kolei same terminy pomiar i badanie zdefiniowane są następująco:

- **pomiar** – zbiór operacji mających na celu wyznaczenie wartości mierzonej wielkości,
- **badanie** – działanie techniczne, które polega na określeniu jednej lub wielu właściwości danego wyrobu, zgodnie z ustaloną procedurą.

Rozróżnianie powyższych pojęć jest istotne wobec przyjętej w laboratoriach badawczych zasady, że dokument *GUM* [1] dotyczący niepewności pomiarów może być stosowany do wyników badań. *Wytyczne EA* [2] akceptując tę zasadę, podkreślają jednak, że *sama natura niektórych procedur badawczych może powodować trudności w bezpośrednim wykorzystaniu GUM* [1].

2.2. Badania ilościowe i jakościowe

Bardziej prawidłowo należałoby mówić o badaniach właściwości ilościowych (mierzalnych, liczbowych) albo o badaniach właściwości jakościowych (atrybutowych).

Badania ilościowe pozwalają na zgromadzenie wyników liczbowych, które można poddać obróbce statystycznej, najczęściej w celu określenia wyznaczenia średniego wyniku badań, a jeśli jest to wymagane również niepewności tego wyniku. W badaniach tego typu, tylko pod dodatkowymi warunkami, możliwe jest uogólnienie wyników na całą badaną populację.

Badania jakościowe dotyczą cech, które nie mogą być liczbowo opisane, a wyniki odpowiadają na pytanie czy wymagany atrybut jest przez obiekt spełniony lub nie. *Wytyczne EA* [2] nie przewidują aktualnie określania niepewności w badaniach jakościowych, informując, że *strategia dotycząca postępowania z wynikami badań jakościowych powinna zostać opracowana przez społeczność naukową*.