



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 szczegółowo 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](http:// klient.itb.pl)

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 ufnosci 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 ścisaniu 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 rozstrzygnięciu 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*.