



Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa
Rada Programowa Czasopism i Wydawnictw PZITB

DYPLOM

w konkursie autorskim artykułów wyróżniających się
ujęciem tematyki i przydatnością praktyczną, opublikowanych
na łamach miesięcznika „Inżynieria i Budownictwo” w roku 2022

Rada Programowa Czasopism i Wydawnictw PZITB

przyznała

II NAGRODĘ

a artykuł pt. „Akredytowane badania laboratoryjne w rzeczoznawstwie budowlanym
– ryzyko w ocenach stanu technicznego obiektów budowlanych” (nr 11-12/2022).

Laureatami zostali

dr inż. ROBERT GERYŁO

dr inż. EWA SZEWCZAK

dr inż. KRZYSZTOF KUCZYŃSKI

SERDECZNIE GRATULUJEMY

W imieniu Kolegium Redakcyjnego

Barbara Goszczyńska

Prof. dr hab. inż. Barbara Goszczyńska
Redaktor naczelna

W imieniu Rady Programowej

Anna Halicka

Prof. dr hab. inż. Anna Halicka
Przewodnicząca Rady

Warszawa, czerwiec 2023 r.

Dr inż. ROBERT GERYŁO (ORCID: 0000-0001-5357-9798)
Dr inż. EWA SZEWCZAK (ORCID: 0000-0001-5139-313X)
Dr inż. KRZYSZTOF KUCZYŃSKI (ORCID: 0000-0001-9243-2529)
Instytut Techniki Budowlanej

Akredytowane badania laboratoryjne w rzeczoznawstwie budowlanym – ryzyko w ocenach stanu technicznego obiektów budowlanych

Pracę rzeczoznawcy budowlanego można przedstawić jako proces rozpoczynający się od pozyskiwania danych, następnie ich analizę, sformułowanie wniosków i ocen, kończącą się na decyzji eksperta lub grupy ekspertów (rys. 1). Jako cel procesu można wskazać poznanie prawdy o stanie technicznym obiektu budowlanego. Ogromna liczba danych wejściowych, z których wszystkie są obarczone znaną lub nieznaną niepewnością [1], oraz przybliżenia rzeczywistości jej modelami [2] każe wybierać, zgodnie z przesłaniem L. Czarnieckiego [3] *między dokładnością a uproszczeniem* po to, aby w możliwym, w danych okolicznościach stopniu, zbliżyć się do prawdy o stanie obiektu. Fundamentem prawidłowego przebiegu procesu na wszystkich jego etapach, począwszy od pozyskiwania danych, aż do osiągnięcia sformułowanego wyżej celu, są kompetencje rzeczoznawcy, czyli wiedza i doświadczenie. Na etapie pozyskiwania danych, w tym przy prowadzeniu wizji lokalnej, doborze reprezentatywnych próbek do badań lub reprezentatyw-

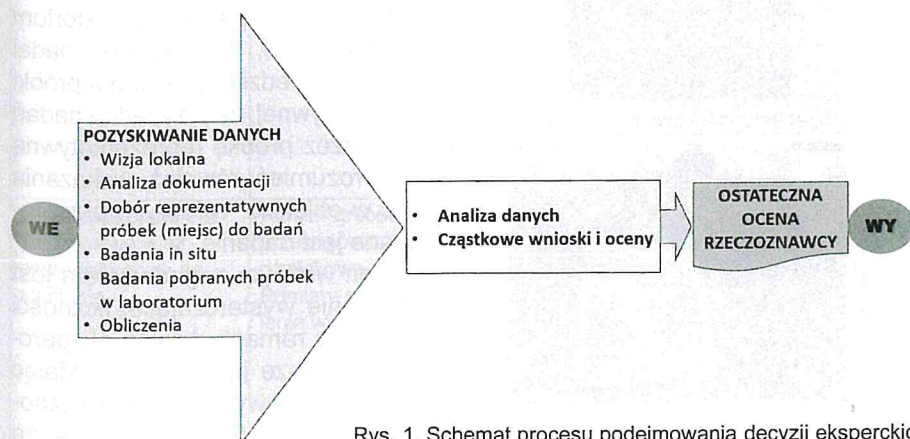
nych miejsc, w których zostaną przeprowadzone badania *in situ*, to ekspert decyduje, które dane będą miały wysoki poziom istotności, a które, ze względu na konieczne uproszczenia, można pominąć lub przybliżyć za pomocą innych danych. Znaczenie kompetencji i ich wpływ na ryzyko w odniesieniu do ocen stanu technicznego obiektów budowlanych poruszane były wielokrotnie, w tym na przykład w monografii [4].

W pozyskiwaniu danych istotną rolę pełnią badania, w ramach których poza kompetencjami osób je wykonujących, o wiarygodności wyników decydują również inne aspekty, na przykład wyposażenie badawcze. Ze względu na decydujące znaczenie danych wejściowych w procesie eksperckim, oczywiste wydaje się, że drogi pozyskiwania tych danych powinny odpowiadać pewnym ujednoliconym standardom, które stosuje się również w odniesieniu do badań laboratoryjnych w ekspertyzach dotyczących awarii, oceny potencjalnych zagrożeń, zaleceń wzmocnień, czy remontów obiektów budowlanych.

Wykorzystanie badań laboratoryjnych w ekspertyzach obiektów budowlanych

Według definicji podanej w „Encyklopedii zarządzania” [5], *Laboratorium to jednostka organizacyjna niezależna lub wydzielona w strukturach danej organizacji, której zadaniem jest prowadzenie badań i pomiarów na zlecenie innych jednostek organizacyjnych z wykorzystaniem specjalistycznych narzędzi i instrumentów przez wykwalifikowaną kadrę*. Badania laboratoryjne obejmują zarówno badania w siedzibie laboratorium na próbkach pobranych z obiektu, jak i badania realizowane *in situ* oraz badania z wykorzystaniem metod obliczeniowych.

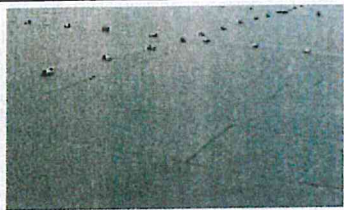
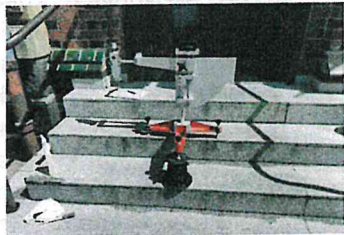
Przy pozyskiwaniu danych wejściowych *in situ* laboratorium może wykonywać całe spektrum działań, począwszy od prostych pomiarów za pomocą suwmiarki, szczelinomierza czy dalmierzy laserowych do bardziej złożonych oznaczeń, np. parametrów akustycznych, wytrzymałościowych lub stanu obiektu, np. termowizji lub skanowania 3D obiektu. Badania w siedzibie laboratorium wykonywane na próbkach pobranych z obiektu obejmują zarówno badania metodami znormalizowanymi, jak i opracowanymi lub dostosowanymi na potrzeby udzielenia odpowiedzi na pytania eksperta. Bardzo pomocnymi narzędziami w pracy eksperckiej są zaawansowane metody obliczeniowe, np. typu MES, do modelowania np. zachowania się konstrukcji, podłoża, pól temperatury w przegrodach lub rozprzestrzeniania dymu w warunkach pożaru. W tablicy 1 pokazano przykłady wykorzystania badań laboratoryjnych w pracach eksperckich ITB.



Rys. 1. Schemat procesu podejmowania decyzji eksperckich

Tablica 1

Przykłady ekspertyz, w których wykorzystano badania, w tym zarówno badania w laboratorium, jak i badania *in situ*

Przedmiot ekspertyzy	Wykorzystane badania laboratoryjne	Ilustracja*
Wpływ obciążeń użytkowych na specyfikę powstawania uszkodzeń papy na dachu budynku	Badania właściwości mechanicznych, giętkości papy. Określenie temperatury mięknienia masy powłokowej. Symulacja zachowania się papy pokrytej mułem w środowisku wodnym w podwyższonej temperaturze. Ocena przekroju papy – pod powiększeniem	 Oceniane pokrycie dachu
Ocena zanieczyszczenia powietrza w budynku	Określenie stężenia lotnych związków organicznych (VOC). Oznaczenia stężenia lotnych aldehydów, w tym formaldehydu	 Aparatura do badania VOC
Ocena stanu instalacji wody lodowej w budynku wielorodzinnym	Badania składu chemicznego. Pomiary parametrów geometrycznych. Pomiary grubości powłoki. Przyczepność powłoki. Pomiar PH wody z instalacji. Pomiary powłoki malarskiej w podczerwieni metodą spektrofotometryczną FTIR. Pomiary rentgenowskie powłoki malarskiej metodą spektroskopii fluorescencyjnej XRF	 Korozja rur stalowych
Ocena właściwości antypoślizgowej schodów do budynku użyteczności publicznej	Badania oporu poślizgu	 Badanie oporu poślizgu
Zabezpieczenie antykorozyjne okładzin płyt warstwowych elewacji budynku	Badania grubości powłoki antykorozyjnej metodą indukcji magnetycznej	 Spęcherzenie powłoki lakierowej
Spękania posadzki betonowej	Badanie przyczepności do betonu warstwy utwardzonej powierzchniowo. Badanie wytrzymałości warstwy utwardzonej betonu metodą sklerometryczną. Badanie ścieralności metodą Bohmeo	 Badanie przyczepności

Akredytacja laboratorium przez upoważnioną jednostkę (w Polsce przez Polskie Centrum Akredytacji) oznacza potwierdzenie kompetencji do realizacji określonych zadań, tj. badań i pobierania próbek. Ocena dotyczy następujących, głównych aspektów zapewnienia:

- właściwych kompetencji personelu, w tym wyszkolenia i doświadczenia;
- odpowiedniego wyposażenia badawczego, spełniającego wymagania metody badawczej oraz wyworcowanego i systematycznie sprawdzanego;
- powtarzalności procesu badawczego metod i procedur;
- sprecyzowanych zasad rejestrowania i raportowania wyników badań;
- procedur uzyskiwania wiarygodnych wyników;
- procedur określania niepewności wyników.

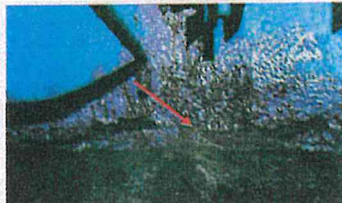
Akredytacji mogą podlegać każdego rodzaju badania, nie tylko badania prowadzone *stricto* w laboratorium, ale także badania *in situ*, jak również badania prowadzone metodami obliczeniowymi. Wszystkie badania akredytowane obowiązują te same zasady i wymagania.

Badania w ramach działań eksperckich dotyczących obiektów budowlanych wiążą się z pewnymi utrudnieniami, jeśli chodzi o zakres odpowiedzialności laboratorium akredytowanego, mianowicie w przypadku braku akredytacji na pobieranie próbek wynik badania w ramach akredytacji może odnosić się wyłącznie do badanej próbki i laboratorium nie ma prawa do przedstawiania w ramach akredytacji ocen dotyczących obiektu.

Bez względu na to, czy ekspert wykorzystuje badania laboratorium akredytowanego, czy też nie, nadal jest on odpowiedzialny za dobór próbki reprezentatywnej. W przypadku badań *in situ*, przez próbkę reprezentatywną należy rozumieć również wskazania miejsc w obiekcie, w których przeprowadzane jest badanie.

Innym ważnym zagadnieniem jest zapewnienie wystarczającej liczności próby, co w ramach działań eksperckich nie zawsze jest możliwe. Mając świadomość niewystarczającej liczności próby, należy brać pod uwagę, że

cd. tablicy 1

Przedmiot ekspertyzy	Wykorzystane badania laboratoryjne	Ilustracja*
Stan zabezpieczenia ogniochronnego konstrukcji stalowej budynku	Pomiar grubości i przyczepności	 Pomiar przyczepności warstwy zabezpieczającej
Identyfikacja wyrobów z azbestem w ścianach budynku oraz sprawdzenie poziomu zanieczyszczenia pyłem azbestu powietrza w obiekcie	Identyfikacja azbestu i jego rodzaju	 Umieszczenie azbestu w budynku
Ocena przyczyn wystąpienia kondensacji pary wodnej wokół okien pokoi hotelowych	Pomiar strumienia objętości powietrza nawiewnego i wywiewnego	 Fragment wentylacji nawiewno-wywiewnej – miejsce pomiaru
Ustalenie bezpieczeństwa użytkowania dźwigarów dachowych kablobetonowych w budynku przemysłowym	Badanie wytrzymałości betonu – młotek Schmidta. Pomiar strzałki ugięcia – dalmierz laserowy	 Fragment ocenianego dźwigara
Ocena stanu technicznego metalowych słupów multimedialnych	Badanie wytrzymałości na rozciąganie i granicy plastyczności blachy	 Badanie w maszynie wytrzymałościowej
Określenie stanu bezpieczeństwa wież oświetleniowych na stadionie	Pomiar grubości stalowych przekrojów metodą ultradźwiękową. Pomiary geodezyjne wychylenia wież	 Stan powierzchni wieży od wewnątrz

zwiększa to ryzyko przy podejmowaniu decyzji na podstawie badań.

Wyniki badań laboratoryjnych zawsze wykazują przypadkowy rozrzut, który może być niedostrzegalny, gdy dokładność stosowanego wyposażenia jest zbyt mała. Rozrzut ten, jak również dokładność stosowanego wyposażenia badawczego, stanowią główne składowe niepewności wyników badań.

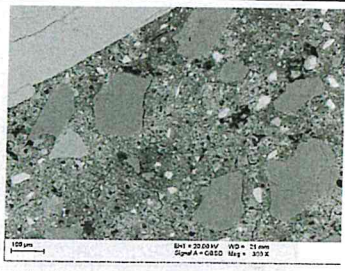
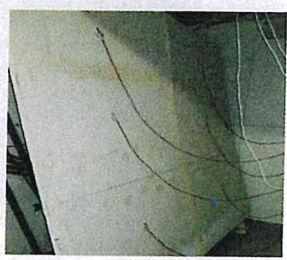
Niepewność jest nieodłączną własnością wyniku badania i decyduje o przydatności wyniku do podejmowania decyzji. Laboratorium akredytowane jest zobowiązane do szacowania i podawania niepewności wraz z wynikami. Badania pozornie proste często są związane z dużymi niepewnościami. Jako przykład można podać badania przyczepności metodami *pull-off*, stosowane zarówno w ocenach wyrobów budowlanych, jak i w ramach ekspertyz obiektów. W niektórych przypadkach niepewności wyników tego rodzaju badań są na tyle duże, że dyskwalifikują ich przydatność do oceny zgodności z kryteriami, co pokazano np. w publikacjach [6] lub [7]. Wiedza na temat takiej niepewności wydaje się kluczowa w procesie decyzji eksperckich.

Badania metodami obliczeniowymi pozornie wydają się pozbawione niedogodności, które dotyczą badań przeprowadzanych fizycznie. Jednak wyniki badań obliczeniowych również wiążą się ze zmiennymi, które wpływają na niepewność. Ocena wiarygodności wyników obliczeń numerycznych, jest przedsięwzięciem bardzo złożonym, a przez „wiarygodność” należy rozumieć stopień zaufania do uzyskanych rezultatów, który w odniesieniu do obliczeń mieści się w dwóch kategoriach zdefiniowanych przez Babuskę i Odena [8, tłum E.S.] w następujący sposób:

Weryfikacja – proces ustalania, czy model obliczeniowy uzyskany przez dyskretyzację matematycznego modelu zdarzenia fizycznego oraz kod implementujący model obliczeniowy obrazuje matematyczny model zdarzenia z wystarczającą dokładnością.

Validacja – proces ustalania, czy model matematyczny zdarzenia fizycznego reprezentuje rzeczywiste zdarzenie fizyczne z wystarczającą dokładnością.

cd. tablicy 1

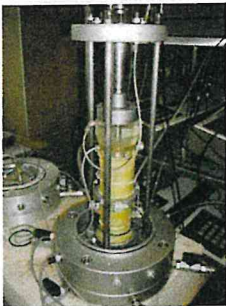
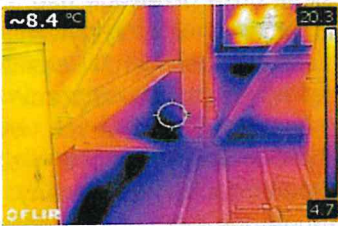
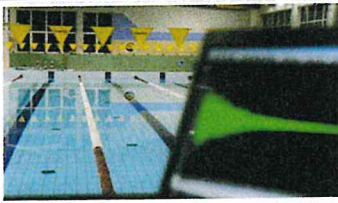
Przedmiot ekspertyzy	Wykorzystane badania laboratoryjne	Ilustracja*
Ustalenie przyczyn delaminacji posadzki betonowej zlokalizowanej w budynku logistyczno-usługowym	Badania składu i struktury: ocena makroskopowa, mikroskopia optyczna, mikroskopia skaningowa. Badania składu fazowego metodą analizy termicznej, zawartość części nierozpuszczalnych, wytrzymałość na ściskanie próbek rdzeniowych wraz z oceną klasy wytrzymałości na ściskanie betonu, zawartość zbrojenia rozproszonego	 Zdjęcie z mikroskopu skaningowego fragmentu posadzki
Ocena wykonania elementów elewacji wentylowanej	Badanie płaskości elewacji	 Sprawdzanie poprawności wykonania elewacji
Ocena przyczyn powstania uszkodzeń na okładzinach elewacji wentylowanej	Badanie odporności na działanie zmiennej temperatury: a) odporności na cykle grzania-deszczowania, b) odporności na cykle grzania-chłodzenia	 Badany fragment elewacji – oddziaływania termiczne
Ocena bezpieczeństwa użytkowania balustrad z wypełnieniem szybami laminowanymi	Badanie odporności na uderzenie ciałem miękkim, ciężkim. Badanie odporności na obciążenie siłą poziomą	 Badanie odporności balustrady na obciążenie siłą poziomą
Określenie szczelności szachtów oddymiających na podstawie badań in situ w galerii handlowej	Pomiar ciśnienia w szachcie. Pomiar strumienia objętościowego powietrza wyrzucanego przez wentylator	 Dym wprowadzany do szachtu w celu wstępnej oceny szczelności
Ocena bezpieczeństwa użytkowania zadaszenia rampy zjazdowej z uwagi na nierozprzestrzenianie ognia	Badania oddziaływania ognia zewnętrznego	 Widok okładziny rampy po badaniu

Weryfikacja służy do oszacowania błędów wynikających z zastosowania procedur numerycznych do rozwiązania równań. Weryfikacja powinna być częścią procesu tworzenia oprogramowania. Walidacja modelu służy ustaleniu stopnia, w jakim daje on wyniki odpowiednie do wcześniej zaplanowanego zastosowania. Opiera się ona przede wszystkim na porównaniu danych eksperymentalnych i obliczeniowych i określeniu różnicy między nimi. Istotną rolę odgrywa także wprowadzanie możliwych w ramach modelu zmienności danych wejściowych i badanie wpływu na dane wyjściowe (wynik). W ocenie wiarygodności metod numerycznych stosuje się z konieczności założenia upraszczające, np. zaproponowane w pracach [8÷12], a z uwagi na zmienność danych wejściowych w złożonych układach, często konieczne jest podejście etapowe.

Weryfikacja i walidacja modelu najczęściej jest prowadzona przez twórcę oprogramowania. Jednak w odniesieniu do laboratoriów akredytowanych posługujących się metodami obliczeniowymi stawiane są dodatkowe wymagania. Jeśli sama metoda obliczeniowa, dotycząca aspektów obliczeń odnoszących się do konkretnych obiektów jest opracowana przez laboratorium akredytowane, ma ono obowiązek przeprowadzić walidację w zakresie własnej działalności.

Zgodnie z wymaganiami akredytacyjnymi warunkiem *sine qua non* wdrożenia metody obliczeniowej jest porównanie jej wyników z wynikami uzyskanymi w ramach eksperymentu fizycznego przeprowadzonego analogiczną metodą. Z doświadczeń ITB wynika, że zwykle, w przypadku badań mechanicznych obiektów, różnica pomiędzy wynikami badania fizycznego i badania metodą obliczeniową stanowi około 10–15% wyniku.

Równie istotną kwestią jest sama zmienność wyników metody numerycznej. Choć pozornie temat zmienności wyników obliczenia wydaje się bezprzedmiotowy, to jednak doświadczenie łatwo wykazać, że jeśli badania metodą numeryczną przeprowadzą dwie kompetentne osoby, mogą otrzymać dwa istotnie różniące się wyniki. Może to być skutkiem braku zapewnienia jednakowego podejścia do danych

Przedmiot ekspertyzy	Wykorzystane badania laboratoryjne	Ilustracja*
Weryfikacja założeń projektowych dotyczących kompleksowego zagospodarowania i modernizacji Tarasów Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie w kontekście geotechnicznych warunków posadowienia	Geotechniczne badania podłoża w terenie: – wiercenia rurowane z poborem prób 1. klasy jakości; – sondowania dynamiczne DP; – sondowania statyczne CPTU	 Wiercenia rurowane z poborem prób 1. klasy jakości
Ustalenie geotechnicznych warunków posadowienia dwukomorowego zbiornika wody pitnej w kontekście możliwości dalszego użytkowania	Geotechniczne badania gruntów: analiza makroskopowa rodzaju i stanu gruntu, wilgotności, składu granulometrycznego. Oznaczenie granic Attenberga. Badanie edometryczne przy przyroście obciążenia – ciśnienie pęcznienia, badanie w aparacie trójosiowego ściskania gruntów nasyconych wodą (CID). Oznaczenie charakterystyki sztywności (Bender Elements Test)	 Badanie w aparacie trójosiowego ściskania
Określenie szczelności pomieszczenia	Badanie szczelności (Blower Door)	 Aparatura Blower Door podczas badania
Badanie mostków termicznych oraz izolacji termicznej budynku przemysłowego	Badania termowizyjne	 Mostki termiczne w przegrodzie
Ocena izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych w budynku użyteczności publicznej	Badania izolacyjności akustycznej. Poziom uderzeniowy znormalizowany	 Pomiary akustyczne w hali z basenem
Określenie odporności ogniowej elementów konstrukcji stalowej zabezpieczonej systemem ogniochronnym	Badanie odporności ogniowej	 Element zabezpieczonej konstrukcji stalowej po badaniu odporności ogniowej

* Fotografie z zasobów Instytutu Techniki Budowlanej.

wejściowych i warunków brzegowych, w tym np. wyboru odpowiednich warunków obciążenia, doboru siatki elementów skończonych. Najprostszym i często stosowanym sposobem oszacowania możliwej zmienności wyników, wchodzącej w skład niepewności metody numerycznej, jest zmiana danych wejściowych i założeń w zakresie dopuszczonym przez metodykę i analiza wpływu tych zmian na dane wyjściowe (wynik). Przykładowo, określona w ten sposób przez laboratorium ITB niepewność badań metodą obliczeniową pola naprężeń i pola przemieszczeń w odniesieniu do zbiorników na ścieki wynosi około $\pm 10\%$.

Informacja o niepewności metody obliczeniowej może mieć spory wpływ na proces decyzyjny eksperta. Mając wiedzę na temat niepewności, ekspert może określić ryzyko swojej decyzji odnoszącej się do oceny stanu technicznego obiektu budowlanego.

Miarodajność danych wejściowych a ryzyko w ocenach stanu technicznego obiektów budowlanych

Miarodajność danych zależy w pierwszej kolejności od ich niepewności. Spektrum definicji odnoszących się do pojęcia „niepewność” jest bardzo duże, począwszy od ogólnej, którą posłużył się Hawking: *niepewność to sytuacja, w której ten sam stan początkowy może wywołać różne skutki (różne stany końcowe)* [13], czy też ogólnej definicji proponowanej przez Walkera i in. [1], zgodnie z którą niepewność jest rozumiana jako każde odchylenie od nieosiągalnego ideału pełnego determinizmu.

Wykorzystywane w każdym procesie decyzyjnym, a więc także w procesie eksperckim, dane wejściowe są zawsze obarczone niepewnościami, które propagują przez poszczególne etapy działania eksperta i ostatecznie decydują o ryzyku związanym z podejmowaną decyzją. Decyzje odnoszące się do oceny stanu technicznego obiektów budowlanych mogą mieć daleko idące konsekwencje związane z bezpieczeństwem, dlatego wiedza na temat niepewności danych wejściowych powinna być możliwie najpełniejsza. Na rysunku 2 pokazano niepewności przypisane do poszcze-

gólnych danych wejściowych (rys. 2a), które składają się na całkowitą niepewność wyniku na wyjściu procesu (rys. 2b). Poglądowo przedstawiono również wpływ niepewności wyjściowej na ryzyko podjętej decyzji, wyrażone jako prawdopodobieństwo błędu (p_1) i prawdopodobieństwo właściwej decyzji pozytywnej (p_2). Niepewność wyniku procesu jest skumulowaną niepewnością pochodzącą ze wszystkich działań w procesie.

W.E. Walker i in. [1] wyodrębnił następujące poziomy niepewności odnoszące się zarówno do danych wejściowych, jak i wyjściowych:

a) Poziom statystyczny – gdy charakter odchyleń może być uważany za statystyczny. Najoczywistszym przykładem jest niepewność pomiarowa. Tego rodzaju niepewność jest możliwa do oszacowania.

b) Poziom scenariuszy – niepewność na tym poziomie wykracza ponad niepewność statystyczną, ponieważ jest związana z wykorzystywaniem założeń, które w większości przypadków mogą być nieweryfikowalne.

c) Rozpoznana niewiedza – to poziom niepewności, w ramach której nie są znane ani zależności funkcjonalne, ani właściwości statystyczne, a naukowe podstawy rozwoju scenariuszy są niewystarczające.

W procesie eksperckim uzyskanie wiedzy o niepewności danych może być czasami praktycznie niemożliwe. W tym przypadku nadal fundamentalne są kompetencje eksperta i jego ocena ryzyka decyzji. Poziom scena-

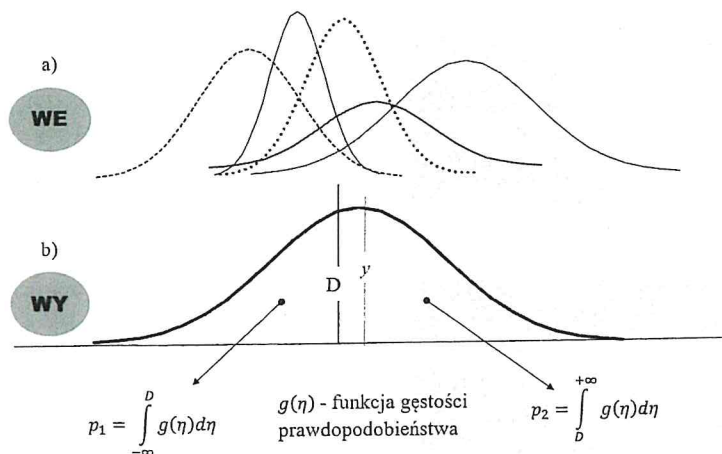
riuszy może się wiązać z samą metodyką (przebiegiem) procesu eksperckiego. Jeśli mówimy o badaniach, niepewność metody badawczej jest zwykle na poziomie scenariuszy. Pomiar, gdy są spełnione konkretne warunki w odniesieniu do laboratorium, można uznać za obszar, w którym mamy do czynienia z niepewnością na poziomie statystycznym. Warunki te obejmują przede wszystkim kompetentny personel, sprawne wyposażenie i właściwie dobraną metodę badawczą.

Zgodnie z nomenklaturą wprowadzoną przez normę ISO 5725-1 [14] wynik badania ma dwa istotne atrybuty: poprawność i precyzję. Poprawność wyników to stopień zgodności wyników z przyjętą wartością odniesienia. Precyzja stanowi stopień zgodności między niezależnymi wynikami badań uzyskanymi w określonych warunkach. Jeśli są to warunki powtarzalności (to samo laboratorium, operatorzy, sprzęt badawczy itd.), miarą precyzji będzie wariancja powtarzalności. Jeśli badania realizowane są w różnych laboratoriach, mowa jest o wariancji odtwarzalności.

Dzięki spełnieniu wymagań stawianych laboratorium akredytowanym, wyniki prowadzonych przez nie badań zyskują dużą przewagę nad pozostałymi, które są wykorzystywane w procesach eksperckich. Podstawą tej przewagi są czynniki znacznie ograniczające ryzyko błędnych wyników, w tym: personel o potwierdzonych kompetencjach, wzorcowany sprzęt, ujednolicone procedury i konieczność

działań wewnątrzlaboratoryjnych, takich jak badania na wzorcach lub certyfikowanych materiałach odniesienia, powtarzania badań w ramach laboratorium oraz udziału w badaniach porównawczych z innymi akredytowanymi laboratoriami. Dodatkowo jednak laboratorium akredytowane zyskuje z miarodajnych źródeł wiedzę na temat możliwej zmienności wyników badania. Akredytacja laboratorium oznacza zatem nie tylko potwierdzone kompetencje do prawidłowego wykonywania badania, co zwiększa poczucie bezpieczeństwa przy podejmowaniu decyzji. Zapewnia ona także miarodajną wiedzę na temat niepewności wyników, co pozwala na ocenę ryzyka podejmowania decyzji przez eksperta.

Propagacja niepewności z poziomu danych wejściowych na poziom danych wyjściowych w procesie eksperckim w większości przypadków nie jest możliwa do precyzyjnego ustalenia, ze względu na to, że zwykle nie jest możliwe opisanie tego procesu w postaci równania modelowego. Przeprowadzony został eksperyment pozwalający ustalić, w jakim stopniu niepewność tylko jednej z danych wejściowych wpływa na ocenę konstrukcji. E. Szewczak i A. Piekarczyk [15] zadali pytanie, w jaki sposób naturalna zmienność wyników badań właściwości mechanicznych przy rozciąganiu materiału, z którego wykonano element konstrukcyjny, wpłynie na ocenę nośności i stateczności konstrukcji cienkościennych. Do obliczeń wykorzystano przykład profilowanych blach stalowych w kształcie łuku kołowego, stosowanych jako przekrycia dachowe obiektów budowlanych. Proces oceny nośności i stateczności konstrukcji opierał się na obliczeniach numerycznych, w ramach których, poza niepewnością danych materiałowych, można wyróżnić także inne niepewności, związane np. z pomiarami geometrycznymi obiektu, przyjętym modelem mającym na celu odwzorowanie warunków fizycznych pracy konstrukcji, wyborem odpowiednich warunków obciążenia, doбором siatki elementów skończonych. W analizowanym przypadku wszystkie składowe, poza wytrzymałością materiału przyjęto jako stałe. W odniesieniu do wytrzymałości zastosowano natomiast dwie skrajne wartości naprężenia. Wartości



Rys. 2. Poglądowy rysunek obrazujący ryzyko przy podejmowaniu decyzji eksperckich: a) niepewności danych wejściowych, b) wyjściowa niepewność wpływająca na ryzyko odnoszące się do podejmowanej decyzji. Pozytywna decyzja eksperta opiera się umownie na kryterium $y > D$; p_1 – prawdopodobieństwo, że podjęta decyzja pozytywna jest błędna, p_2 – prawdopodobieństwo, że decyzja pozytywna jest właściwa, $g(\eta)$ – funkcja gęstości prawdopodobieństwa

te zostały uzyskane na podstawie analizy niepewności, przeprowadzonej dla trzydziestu wyników naprężeń uzyskanych w badaniach laboratoryjnych. Na podstawie wyników RA (model A, uzyskana wartość minimalna naprężenia) i RB (model B, uzyskana wartość maksymalna naprężenia) wykonano obliczenia nośności i stateczności przykładowego elementu konstrukcyjnego. Pokazano, że naturalna zmienność wyników badań laboratoryjnych (w tym przypadku wytrzymałości na rozciąganie) może mieć bardzo znaczący wpływ na ostateczną ocenę konstrukcji. Przy granicznych wartościach naprężenia RA i RB różnica między uzyskanymi wynikami obciążenia i ugięcia konstrukcji przy utracie stateczności wynosiła 20% w odniesieniu do obciążenia i 18% w odniesieniu do ugięcia. Przy tym samym poziomie obciążenia, w chwili, gdy model A tracił stateczność wskutek wyczerpania nośności, model B wykazywał rezerwę nośności. Biorąc pod uwagę fakt, że tylko jedna dana wejściowa była zmieniana, a w procesie oceny zmienność wykazują także inne dane wejściowe, eksperyment pokazał, że kwestie niepewności nie są pomijalne.

Niepewność badań jako informacja dla eksperta – studium przypadku

W różnych procesach eksperckich stopień i rodzaj wykorzystywanych badań laboratoryjnych jest różny. Sposób wykorzystania wyników także może być różny, począwszy od uśredniania wyników badań wykonanych w różnych miejscach, skończywszy na ocenie zgodności z kryteriami wyników maksymalnych, minimalnych lub wręcz pojedynczych. Zatem jeśli mowa o ryzyku związanym z niepewnością wyników badań, można je rozpatrywać jedynie na przykładach. Przykłady takie przedstawiono poniżej, należy jednak wziąć pod uwagę, że przedstawione poziomy ryzyka zostały oszacowane na podstawie uproszczonych założeń i nie należy ich traktować inaczej jak tylko jako przedstawienie problemu. Ryzyko jest wyrażone jako prawdopodobieństwo błędnej decyzji, co również jest uproszczeniem w stosunku do zwykle stosowanych metod, w których istotność ryzyka określa się jako iloczyn

prawdopodobieństwa oraz miary wpływu na cel procesu.

• Stan zabezpieczenia ogniochronnego konstrukcji stalowej.

Ocena stanu zabezpieczenia ogniochronnego była przeprowadzona na podstawie oględzin, analizy dokumentacji oraz badań grubości i przyczepności powłok ogniochronnych zabezpieczających konstrukcję. W przypadku kilku belek stwierdzono przyczepność powłok na poziomie bliskim wartości kryterialnej. Kryterium dla zaprawy ogniochronnej to przyczepność do podłoża stalowego nie mniejsza niż 0,05 MPa. W przypadku jednej z belek stwierdzono przyczepność 0,06 MPa. Przyjmując proste zasady akceptacji i odrzucenia, otrzymamy wartość przyczepności zgodną z wymaganiami. Oszacowana przez laboratorium niepewność rozszerzona przy prawdopodobieństwie rozszerzenia ok. 95% wynosi ok. 0,02 MPa. Niepewność została oszacowana na podstawie danych z wzorcowań wyposażenia pomiarowego oraz powtarzalności historycznych wyników badań wykonanych na materiale jednorodnym. Zatem nie uwzględniono zmienności wyników uzyskanych w ramach ekspertyzy, jednak kryterium 0,05 MPa dotyczyło minimalnej wartości przyczepności, wybranej ze wszystkich wyników.

Ocenę ryzyka decyzji podjętej na podstawie wyniku badania przyczepności można przeprowadzić, zakładając, że rozkład zmiennej losowej przyczepności jest w przybliżeniu normalny. Założenie to przyjmuje się na podstawie centralnego twierdzenia granicznego w sytuacji, gdy oszacowana niepewność ma wiele zbliżonych do siebie wartości składowych [16].

W przypadku takiego założenia, prawdopodobieństwo odpowiednio błędnej i prawidłowej decyzji można zapisać jako:

$$p_1 = \int_{-\infty}^D g(\eta) d\eta,$$

$$p_2 = \int_D^{+\infty} g(\eta) d\eta,$$

gdzie:

$D = 0,05$ MPa – dolna wartość graniczna,

p_1 – prawdopodobieństwo, że decyzja o zgodności przyczepności powłoki do podłoża jest błędna,

p_2 – prawdopodobieństwo, że decyzja o zgodności przyczepności powłoki do podłoża jest właściwa,

$g(\eta)$ – funkcja gęstości prawdopodobieństwa.

Korzystając z odpowiednich obliczeń i tablic, dla rozkładu normalnego oszacowano wartości $p_1 = 0,16$ i $p_2 = 0,84$. Wartości te wskazują, że prawdopodobieństwo błędnej decyzji podjętej na podstawie wyżej opisanego badania może wynosić 16%. Informacja taka wydaje się istotna dla eksperta, który na jej podstawie może uznać za konieczne dodatkowe badania innych parametrów powłoki czy też dodatkowe oględziny, aby zmniejszyć ryzyko błędnej decyzji.

• Ocena poziomu hałasu w budynku.

Ocena poziomu hałasu oparta jest przede wszystkim na pomiarach oraz interpretacji ich wyników przez eksperta. Oszacowana przez laboratorium akredytowane ITB niepewność rozszerzona pomiaru poziomu hałasu $U(L) = 1,2$ dB przy prawdopodobieństwie rozszerzenia wynoszącym ok. 95%.

Uwzględniając wymagania dotyczące dopuszczalnego maksymalnego poziomu dźwięku na poziomie 40 dB, można stwierdzić, że ryzyko związane z błędną oceną pomiarów na poziomie mniejszym niż 38,8 dB lub większym niż 41,2 dB jest niewielkie (< 2,5%).

Z drugiej jednak strony o miarodajności wyniku nie decyduje, w tym przypadku, wyłącznie niepewność pomiaru. Wielkość mierzona jest zmienna w czasie i w przestrzeni, wobec tego istotny jest wybór umiejscowienia punktów pomiarowych w pomieszczeniach i liczba wykonanych pomiarów w danym punkcie. Laboratorium akredytowane jest zobowiązane do posługiwania się dobrze opisanymi metodami badawczymi, które zapewniają odpowiednią powtarzalność i odtwarzalność wyników. Najczęściej wybierane są metody znormalizowane. Wyniki uzyskane metodami znormalizowanymi mogą być porównane z wynikami innych laboratoriów akredytowanych, co zapewnia ich wiarygodność. Jednak w pracach eksper-

kich dotyczących poziomu hałasu stosowane mogą być różne metody.

Wpływ zastosowanej metody badania poziomu hałasu na wyniki był analizowany przez E. Nowicką i E. Szewczak [17]. W ramach realizowanych badań uwzględniono trzy normowe metody badawcze (wg ISO-10052 [18], PN-B-02156 [19] i ISO-16032 [20]), a w eksperymencie uczestniczyło dwanaście laboratoriów.

Różnice pomiędzy wynikami uzyskanymi różnymi metodami nie były statystycznie istotne (między 37,1 a 38,1 dB), jednak wyniki różniły się znacząco precyzją.

Obliczone odchylenie standardowe odtwarzalności, obrazujące precyzję metody i będące składową niepewności metody, było równe:

- 4,0% wartości mierzonej (metoda wg ISO-10052),
- 5,6% wartości mierzonej (metoda wg PN-B-02156),
- 9,0% wartości mierzonej (metoda wg ISO-16032).

Decyzje eksperta oparte na każdej z tych metod charakteryzują się innym ryzykiem podjęcia niewłaściwej decyzji. Ponieważ wyniki mniejsze niż 40 dB zostaną uznane przez eksperta za zgodne z wymaganiami, zatem ryzyko dotyczyć będzie faktu, że potwierdzenie zgodności z wymaganiami jest błędne i hałas przekracza dopuszczalną wartość. Wartości prawdopodobieństwa błędnej decyzji pokazano w tablicy 2, zakładając, że każdą z metod otrzymano wynik 38 dB lub 39 dB. Jak wynika z danych w tabeli, ryzyko oszacowane na podstawie niepewności, w której zawarto składową związaną z odtwarzalnością metody, jest znacznie większe niż pierwotnie przyjęte na podstawie samej niepewności pomiaru.

Dane dotyczące odtwarzalności są dostępne w nielicznych normach dotyczących badań. Mają je jednak często

laboratoria akredytowane uczestniczące w badaniach międzylaboratoryjnych. Jeśli takie badania są niedostępne, laboratoria akredytowane wykonują często w ramach wymaganych działań, zapewniających wiarygodność wyników, wewnętrzne badania odtwarzalności wewnątrzlaboratoryjnej, co również zapewnia częściową wiedzę na temat precyzji metody i związanej z nią niepewności.

Wnioski

Przeprowadzanie ekspertyz budowlanych wiąże się z ryzykiem, iż poszczególne dane wejściowe wykorzystywane w procesie mogą nie zbliżać eksperta w wystarczającym stopniu do prawdy o obiekcie. Kluczowe jest, aby ekspert znał ryzyko podejmowanych decyzji i ocen, które wynikają z niepewności danych wejściowych. Większość działań eksperckich opiera się na wynikach szeroko rozumianych badań laboratoryjnych. Bardzo istotne jest, aby wyniki badań były wiarygodne i wspierały właściwe decyzje i opinie eksperta. Pojedyncze decyzje odnoszące się do poszczególnych danych wejściowych, w tym wyników badań laboratoryjnych, składają się na ostateczne ryzyko w ocenach stanu technicznego obiektów budowlanych. Jak pokazano w artykule, stosowanie standardów akredytacji laboratorium jest istotne dla jakości wyników badań i możliwości zmniejszenia ryzyka eksperta. Oprócz potwierdzonych kompetencji personelu, odpowiedniego nadzoru nad wyposażeniem, powtarzalnych procedur i porównywania wyników laboratorium z wynikami innych laboratoriów akredytowanych, równie istotne jest to, że laboratorium akredytowane zapewnia również wiedzę o niepewności wyników badań, a zatem również o potencjalnym ryzyku decyzji i ocen podejmowanych na ich podstawie.

Tablica 2

Różne wartości ryzyka (wyrażonego jako prawdopodobieństwo błędnej decyzji) uzyskane dla różnych metod badania poziomu hałasu

Metoda	Niepewność wyników badania z uwzględnieniem odtwarzalności metody, dB	Ryzyko błędnej decyzji, %	
		Dla wartości wyniku 38 dB	Dla wartości wyniku 39 dB
ISO-10052	3,3	11	27
PN-B-02156	5,1	21	35
ISO-16032	6,0	25	37

- [1] Walker W.E., Harremoës P., Rotmans J., van der Sluijs J.P., van Asselt M.B.A., Janssen P., Krayer von Krauss M.P.: 2003. *Defining Uncertainty: A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support*. Integrated Assessment 4 (1): 5–17. <https://doi.org/10.1076/1414.1.5.16466>.
- [2] Czarnecki L., Sokołowska J.J.: Material model and revealing the truth. Bull Pol Ac.: Tech. 63 (1): 7–14. DOI: 10.1515/bpasts-2015-0001.
- [3] Czarnecki L.: Lepiej mieć w przybliżeniu rację niż się precyzyjnie mylić; podstawy naukowe działalności budowlanej. Konferencja „Warsztat pracy rzeczoznawcy budowlanego”. Kielce-Cedzyna 2016.
- [4] Praca zbiorowa pod red. Runkiewicz L.: Diagnostyka obiektów budowlanych. Część 2 – Badania i oceny elementów i obiektów budowlanych. Wydanie: 2021, Wydawnictwo Naukowe PWN (17-20).
- [5] Encyklopedia zarządzania https://mfiles.pl/pl/index.php/Laboratorium?google_vignette, dost. 06.04.2022.
- [6] Szewczak E., Winkler-Skalna A., Czarnecki L.: Sustainable Test Methods for Construction Materials and Elements. Materials 2020, 13, 606; <https://doi.org/10.3390/ma13030606>.
- [7] Stancu C., Michalak J.: Interlaboratory Comparison as a Source of Information for the Product Evaluation Process. Case Study of Ceramic Tiles Adhesives, Materials 2022, 15(1), 253; <https://doi.org/10.3390/ma15010253>.
- [8] Babuska I., Tinsley J. Oden: Verification and validation in computational engineering and science: basic concepts, Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 193 (2004) 4057–66. www.elsevier.com/locate/cma.
- [9] Oreskes N., Shrader-Frechette K., Belitz K.: Verification, Validation, and Confirmation of Numerical Models in the Earth Sciences, Science (80-.). 263 (1994) 641–646. <http://www.jstor.org/stable/2883078>.
- [10] Roache P.J.: Verification and validation in computational science and engineering, Hermosa Publishers, 1998. <http://cds.cern.ch/record/580994>.
- [11] Oberkampf W.L., Trucano T.G., Hirsch C.: Verification, validation, and predictive capability in computational engineering and physics, Appl. Mech. Rev. 57 (2004) 345. doi:10.1115/1.1767847.
- [12] Roy C.J.: Review of code and solution verification procedures for computational simulation, J. Comput. Phys. 205 (2005) 131–156. doi:10.1016/j.jcp.2004.10.036.
- [13] Hawking S.W., Mlodinow L., Tłum.: Włodarczyk J., 2011. Wielki projekt. Wydawnictwo Albatros, Andrzej Kuryłowicz.
- [14] ISO 5725-1:1994 Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results – Part 1: General Principles and Definitions.
- [15] Szewczak E., Piekarczyk A.: Performance evaluation of the construction products as a research challenge. Small error – Big difference in assessment? Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, 64(4), 675–686. <https://doi.org/10.1515/bpasts-2016-0077>.
- [16] JCGM 100:2008 (2008), Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM.
- [17] Nowicka E., Szewczak E.: Indoor Sound Pressure Level From Service Equipment in Buildings: Influence of Testing Methods on Measurement Results. Archives of Acoustics, 46(3), 547–559. <https://doi.org/10.24425/AAO.2021.138147>.
- [18] ISO-10052 (2004), Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound – Survey method.
- [19] PN-B-02156 (1987), Akustyka budowlana – Metody pomiaru poziomu dźwięku A w budynkach.
- [20] ISO-16032 (2004), Acoustics – Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings – Engineering method.