

Czy ocena cementowych zapraw klejących do ETICS na podstawie badań przyczepności jest zawsze rzetelna i racjonalna?

Is the assessment of cementitious adhesive for ETICS based on the adhesion strength tests always reliable and rational?

Marcin Kulesza¹, Jacek Michalak^{1*}

¹Research and Development Center, Atlas sp. z o.o., 2, Kilińskiego St., 91-421 Lodz, Poland

*Corresponding author: J. Michalak, e-mail: jmichalak@atlas.com.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki porównania międzylaboratoryjnego [Interlaboratory Comparison – ILC] oznaczenia przyczepności cementowej zaprawy klejącej będącej składnikiem ETICS [ang. External Thermal Insulation Composite System - złożony system izolacji ścian zewnętrznych budynku] do podłoża betonowego oraz materiału termoizolacyjnego – płyty EPS. W ILC, zorganizowanym przez polskie Stowarzyszenie na Rzecz Systemów Ociepleń, uczestniczyło siedemnaście laboratoriów należących do producentów ETICS lub dostawców surowców do produkcji ETICS. Wyznaczone wartości odchylenia standardowego powtarzalności s_r w zakresie od 9,73 % do 14,37 % i odchylenia standardowego odtwarzalności s_R w zakresie od 22,67 % do 44,36 % oznaczenia przyczepności cementowej zaprawy klejącej do podłoża betonowego oraz wartości odchylenia standardowego powtarzalności s_r w zakresie od 8,29 % do 17,50 % i odchylenia standardowego odtwarzalności s_R w zakresie od 17,82 % do 30,17 % oznaczenia przyczepności cementowej zaprawy klejącej do płyty EPS w różnych warunkach przechowywania próbek do badań wskazują, że badana metoda charakteryzuje się niską precyzją. Oznacza to, że ocena zgodności wyników badania uzyskanych tą metodą z kryteriami odbiorczymi w wypadku wykonywania pomiarów przez różne laboratoria może być rozbieżna, zaś ryzyko wystąpienia błędnych ocen jest duże.

Słowa kluczowe: wyroby budowlane, zaprawa klejąca, porównanie międzylaboratoryjne [ILC], przyczepność, niepewność pomiaru, ocena i weryfikacja stałości właściwości użytkowych [AVCP]

Summary

The article presents the results of an interlaboratory comparison [ILC] of determining the adhesion strength of the cementitious adhesive, which is a component of ETICS to the concrete substrate and the thermal insulation material - EPS board. Seventeen laboratories belonging to external thermal insulation composite system [ETICS] manufacturers or suppliers of raw materials for the production of ETICS participated in the ILC, organized by the Polish Association for ETICS. The determined values of the standard deviation of repeatability s_r in the range from 9.7 % to 14.4 % and the standard deviation of reproducibility s_R in the range from 22.7 % to 44.36 % of the determination of the adhesion strength of the cementitious adhesive to the concrete substrate and the value of the standard deviation of repeatability s_r in the range from 8.3 % to 17.5 % and the standard deviation of reproducibility s_R in the range from 17.8 % to 30.2 % of the determination of the adhesion strength of the cementitious adhesive to the EPS board in various storage conditions of the test samples indicate that the tested method is characterized by low precision. It means that the assessment of compliance with the test results obtained by this method with the acceptance criteria when different laboratories perform measurements may be divergent, and the risk of incorrect assessments is high.

Keywords: construction products, adhesive, interlaboratory comparison [ILC], adhesion strength, measurement uncertainty, assessment and verification of constancy of performance [AVCP]

1. Wprowadzenie

Pomiar jest jednym z najczęściej zachodzących procesów, związanych z działalnością człowieka, wykorzystującym oddziaływanie

1. Introduction

Measurement is one of the most common processes related to human activity, using the interaction of the measuring instrument

przyrządu pomiarowego z badanym obiektem zachodzącym w czasie i przestrzeni, zaś wynikiem pomiaru jest informacja o właściwościach obiektu. Wspólny Komitet ds. Przewodników w Metrologii [Joint Committee for Guides in Metrology – JCGM] składający się z ośmiu szanowanych międzynarodowych organizacji zajmujących się metrologią, tj. BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML definiuje pomiar jako „proces eksperymentalnego uzyskiwania jednej lub większej liczby wartości wielkości, które można w uzasadniony sposób przypisać do wielkości” (1). Rozważając pomiar z perspektywy zarządzania ryzykiem możemy zdefiniować pomiar jako „wyrażoną ilościowo redukcję niepewności opartą na jednej lub więcej obserwacjach” (2). Z pomiarem nierozdzielnie związana jest jego niepewność definiowana dotychczas przez JCGM jako „nieujemny parametr charakteryzujący rozrzut wartości wielkości przypisanych do wielkości mierzonej na podstawie wykorzystanych informacji” (1), która wraz ze zmieniającym się podejściem do metrologii oraz rolą pomiaru w życiu człowieka w grudniu 2023 roku określona została jako „wątliwość co do prawdziwej wartości wielkości mierzonej pozostała po dokonaniu pomiaru” (3). Niepewność pomiarowa jest przedmiotem wielu analiz, w tym także z wykorzystaniem statystyki Bayesowskiej, których celem jest lepsze zrozumienie jej roli w wyborze metody pomiarowej, podejmowaniu decyzji, zarządzaniu ryzykiem, określaniu tolerancji, oceny wyrobów, a także testowaniu hipotez i określaniu danych technicznych (4-6).

Według Hubbarda są trzy powody dla których zajmujemy się pomiarami. Po pierwsze powinniśmy się nimi zajmować ponieważ wpływają one na kluczowe decyzje. Po drugie poświęcamy uwagę pomiarom gdyż mają one swoją wartość rynkową, zaś uzyskane wyniki są lub mogą być sprzedawane innym w celach zarobkowych. Jako trzeci powód autor wymienia zaspokojenie ciekawości (2).

Rozpatrując wynik pomiaru z perspektywy podejmującego decyzję fundamentalne jest aby stosowana metoda pomiarowa była odpowiednia do określonego zastosowania (7, 8). Sytuacja w której wyrób oceniony jako zgodny z wymaganiami może być w rzeczywistości niezgodny, zaś wyrób odrzucony jako niezgodny może być faktycznie wyrobem zgodnym jest możliwa (9-12). Wariancja mierzonych wartości zawsze występuje, zaś wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia takiej sytuacji ma miejsce gdy rzeczywiste wartości właściwości wyrobu są zbliżone do granicznej wartości normowego kryterium oceny. Ważne jest jednak aby do minimum zredukować ryzyko wystąpienia błędnej oceny, w tym przeprowadzając analizę niepewności pomiarowej (13-16).

Dla każdego producenta wprowadzenie wyrobu związane jest z ryzykiem wystąpienia okoliczności o negatywnym wpływie prowadzącym do straty lub pozytywnym wpływie dającym zysk (17-20). Wśród okoliczności o negatywnym wpływie warto też wymienić szczególną sytuację, tj. negatywną ocenę wyrobu w badaniach zleczanych przez organy nadzoru rynku będącą ponowną oceną wyrobu, w wielu przypadkach po kilkumiesięcznym okresie przechowywania wyrobu w różnych warunkach (21-23). W przypadku badań wyrobów budowlanych zleczanych przez organy nadzoru

with the tested object taking place in time and space, and the result of the measurement is information about the object's properties. The Joint Committee for Guides in Metrology [JCGM], composed of eight respected international metrology organizations, BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML, defines measurement as “process of experimentally obtaining one or more quantity values that can reasonably be attributed to a quantity” (1). When considering measurement from a risk management perspective, we can define measurement as “a quantified reduction of uncertainty based on one or more observations” (2). Measurement is inextricably linked to its uncertainty, described so far by JCGM as “a non-negative parameter characterizing the dispersion of the quantity values being attributed to a measurand, based on the information used” (1), which, together with the changing approach to metrology and the role of measurement in human life in December 2023 was defined as “doubt about the true value of the measurand that remains after making a measurement” (3). Measurement uncertainty is the subject of many analyses, including those using Bayesian statistics, the aim of which is to understand better its role in selecting a measurement method, decision-making, risk management, determining tolerances, product evaluation, as well as testing hypotheses and determining technical data (4- 6).

According to Hubbard, there are three reasons why we deal with measurements. First, we should deal with them because they influence critical decisions. Secondly, we pay attention to measurements because they have a market value, and the results obtained can be sold to others for profit. The third reason the author mentions is to satisfy curiosity (2).

When considering the measurement result from the decision maker's perspective, it is fundamental that the measurement method used is appropriate for the specific application (7, 8). A situation in which a product assessed as compliant with the requirements may, in fact, be non-compliant, and a product rejected as non-compliant may actually be a compliant product is possible (9-12). Variance in the measured values always occurs, and a high probability of such a situation occurs when the actual values of the product properties are close to the limit value of the standard assessment criterion. However, it is essential to reduce the risk of incorrect assessment to a minimum, including by analyzing measurement uncertainty (13-16).

For each manufacturer, introducing a product is associated with the risk of circumstances with a negative impact leading to a loss or a positive effect leading to a profit (17-20). Among the circumstances with a negative impact, it is also worth mentioning a particular situation, i.e., a negative assessment of the product in tests commissioned by market surveillance authorities, which is a re-assessment of the product, in many cases after several months of storing the product in various conditions (21-23). In the case of tests of construction products commissioned by construction supervision authorities, there is a situation that requires additional attention due to the application of the simple acceptance rule when making decisions, which does not take into account measurement

budowlanego występuje sytuacja wymagająca dodatkowej uwagi z powodu stosowania podczas podejmowania decyzji zasady prostej akceptacji, w której nie uwzględnia się zmienności pomiarowej, tj. sytuacja w której granica akceptacji jest taka sama jak granica tolerancji (21). I dzieje się tak pomimo dodatkowego skomplikowania jakim jest wieloetapowy charakter procedur badawczych w przypadku oceny wielu wyrobów budowlanych (7, 13).

Każde laboratorium badawcze winno dołożyć starań, aby badania i pomiary były wykonywane rzetelnie, zgodnie z aktualnym stanem wiedzy. Obowiązkiem każdego laboratorium jest zapewnienie odbiorcy badania, iż stosowana metoda pomiarowa jest odpowiednia do określonego zastosowania (24-26). Istotnym instrumentem sterowania jakością w laboratorium oraz sposobem oceny jego kompetencji jest udział w badaniu biegłości [Proficiency Testing – PT] lub porównaniu międzylaboratoryjnym [Interlaboratory Comparison – ILC] (27, 28). Programy PT/ILC są realizowane, przede wszystkim, w związku z procesami akredytacji (29). Jednostki akredytujące wymagają od laboratoriów akredytowanych i wnioskujących o akredytację przedstawienia dowodów kompetencji. PT to ocena rezultatów działania uczestnika względem wcześniej ustalonego kryterium za pomocą ILC, zaś ILC, polega na zorganizowaniu, wykonaniu i ocenie pomiarów lub badań tego samego lub podobnych obiektów przez co najmniej dwa laboratoria zgodnie z uprzednio określonymi warunkami (30). W PT/ILC obok laboratoriów akredytowanych mogą także uczestniczyć laboratoria nieakredytowane. PT/ILC postrzegane są jako jedne z najskuteczniejszych narzędzi pomagających laboratorium wykazać ich kompetencje jednostce akredytującej lub innym stronom trzecim (26-28, 31-33). W wyniku udziału w PT/ILC laboratorium ma możliwość identyfikacji problemów, wdrożenia działań korygujących i zapobiegawczych, a także ma możliwość identyfikacji swojej pozycji pośród innych laboratoriów uczestniczących w PT/ILC (34-37). Wydaje się także, że udział w PT/ILC może być wykorzystany do przewidywania trendów w dłuższej perspektywie czasowej (37-38). Systematyczny udział w PT/ILC pozwala doskonalić działania laboratoriów (37). Ważne jest aby mieć świadomość, że wyniki uzyskiwane w PT/ILC nie są powszechnie znane – w praktyce są one jedynie znane jednostce akredytującej i laboratorium uczestniczącym w PT/ILC (38). Dzieje się tak pomimo tego, że utrzymanie zaufania do prawidłowego działania laboratorium ma znaczenie dla laboratorium gdyż związane jest z przychodami finansowymi z działalności pomiarowej (39). W przestrzeni publicznej nie ma świadomości, że wyniki PT/ILC mogą być źródłem informacji dla innych, w tym ustawodawcy, organów nadzoru rynku, organizacji normalizacyjnych, jak i samych producentów (21-23, 40, 41).

Mając za cel spełnienie standardów obiektywności nauka zbiorowym wysiłkiem dąży do poznania prawdy. Rozmiar działań nauki można określić ilościowo w różny sposób. Jednym ze sposobów jest identyfikacja liczby artykułów naukowych w bazach naukowych. I tak w lutym 2023 roku w bazie Scopus będącej największą bazą streszczeń i cytowań recenzowanej literatury naukowej zawierającej czasopisma naukowe, książki i materiały konferencyjne zaewidencjonowanych było ponad 90 milionów zapisów (42). Identyfikując w dniu 24 maja 2024 roku zagadnienia

variability, i.e., a situation in which the acceptance limit is the same as the tolerance limit (21). It happens despite the additional complexity of the multi-stage nature of research procedures when assessing many construction products (7, 13).

Each research laboratory should try to ensure that tests and measurements are performed reliably following the current state of knowledge. Each laboratory's responsibility is to assure the test recipient that the measurement method suits a specific application (24-26). An essential instrument for quality control in a laboratory and a way to assess its competence is participation in proficiency testing [PT] or interlaboratory comparison [ILC] (27, 28). PT/ILC programs are implemented primarily in connection with accreditation processes (29). Accreditation bodies require accredited laboratories and those applying for accreditation to provide evidence of competence. PT assesses the participant's performance against a pre-defined criterion using ILC. ILC is the organization, performance, and evaluation of measurements or tests of the same or similar objects by at least two laboratories per pre-defined conditions (30). In addition to accredited laboratories, non-accredited laboratories may also participate in PT/ILC. PT/ILC is seen as one of the most effective tools to help laboratories demonstrate their competence to an accreditation body or other third parties (26-28, 31-33). As a result of participation in PT/ILC, the laboratory has the opportunity to identify problems, implement corrective and preventive actions, and also has the opportunity to determine its position among other laboratories participating in PT/ILC (34-37). Participation in PT/ILC can also be used to predict longer-term trends (37-38). Systematic participation in PT/ILC helps improve laboratories' activities (37). It is essential to be aware that the results obtained in PT/ILC are not widely known - in practice, they are only known to the accreditation body and laboratories participating in PT/ILC (38). It is even though maintaining trust in the proper operation of the laboratory is essential for the laboratory because it is related to financial revenues from measurement activities (39). There is no awareness in the public space that PT/ILC results may be a source of information for others, including the legislator, market surveillance authorities, standardization organizations, and producers themselves (21-23, 40, 41).

Science makes a collective effort to discover the truth to meet the standards of objectivity. The dimension of science activities can be quantified in various ways. One way is to identify the number of scientific articles in scientific databases. Thus, in February 2023, in the Scopus database, the largest abstract and citation database of peer-reviewed literature, including scientific journals, books, and conference proceedings, more than 90 million records were included (42). On May 24, 2024, identifying issues related to the subject of this article, it was found that 5,728,712 publications are available in the Scopus database for searching among article titles, abstracts, and keywords for the word "measurement". The search for "interlaboratory" and "comparison" identified 4,505 articles, and for "proficiency" and "testing" 8,117 publications. If we additionally add the words "construction" and "products", only nine articles were identified for the combinations of the phrase "interlaboratory", "comparison", "construction", and "products", and the combination

związane z tematyką niniejszego artykułu stwierdzono, że w bazie Scopus dla wyszukiwania pośród tytułów artykułów [article titles], streszczeń [abstracts], i słów kluczowych [keywords] słowa „measurement” dostępnych jest 5.728.712 publikacji. Wyszukiwanie dla słów „interlaboratory” and „comparison” zidentyfikowało 4.505 artykułów, zaś dla słów „proficiency” and „testing” 8.117 publikacji. Jeżeli dodatkowo dodamy słowa „construction” i „products” to dla kombinacji słów „interlaboratory”, „comparison”, „construction”, i „products” zidentyfikowano jedynie 9 artykułów, zaś kombinacja słów „proficiency”, „testing”, „construction”, i „products” daje 11 publikacji. Wyniki powyżej opisanego badania jednoznacznie wskazują, że zagadnienia związane z pomiarami wyrobów budowlanych podczas ILC lub PT są rzadko tematem artykułów naukowych.

Wiedza naukowa winna wspierać decyzje polityczne aby były one racjonalne. Na etapie inicjowania każdego projektu czy nowej regulacji prawnej konieczne jest dokonanie oceny w celu określenia strategii działań oraz określenia rozwiązań alternatywnych (43). W idealnym procesie decyzyjnym identyfikuje się problem, bada rozwiązania i wybiera najlepsze. Naukowcy zajmujący się procesem decyzyjnym podkreślają jego złożoność. Jak stwierdzili w swoich badaniach Samset i Volden decyzje zapadają na styku tego co jest zawodowe/merytoryczne i polityczne (44). Przemysł w niewielkim stopniu uczestniczy w kształtowaniu prawa w zakresie oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych wyrobów budowlanych (38). Dobrą ilustracją stanu rzeczy w tym zakresie jest przyjęcie nowego unijnego modelu oceny środowiskowej wyrobów budowlanych pomimo negatywnej jego oceny przez przemysł (45). Pominięcie rekomendacji przemysłu przy równoczesnym braku transferu wiedzy z nauki do ustawodawców i administracji publicznej negatywnie wpływa na racjonalność procesu decyzyjnego i przyszłe powodzenie regulacji (46). Biorąc powyższe pod uwagę jednym z celów niniejszego artykułu jest dostarczenie nowej wiedzy, której ewentualne uwzględnienie przy podejmowaniu decyzji przez ustawodawcę może spowodować, że realizacja regulacji prawnych będzie bardziej realistyczna. Nie uwzględnianie przez polskie organy nadzoru budowlanego niepewności pomiarowej podczas oceny wyrobu jest jednym z powodów realizacji projektu przez organizację zrzeszającą producentów wyrobów budowlanych, którego wyniki są przedmiotem analizy opisanej w niniejszym artykule.

W niniejszym artykule przedstawiono i przeanalizowano wyniki ILC pomiaru przyczepności cementowej zaprawy klejącej będącej składnikiem złożonego systemu izolacji cieplnej [External Thermal Insulation Composite System – ETICS) do podłoża betonowego oraz podłoża z materiału termoizolacyjnego – płyty EPS. Oznaczenie pomiaru przyczepności wykonane zostało dla dwóch różnych grubości warstwy zaprawy klejącej w różnych warunkach pomiarowych. W ILC zorganizowanym przez Stowarzyszenia na Rzecz Systemów Ociepleń SSO w 2023 roku uczestniczyło siedemnaście laboratoriów następujących firm: Arsanit, Atlas, Baumit, Brenntag, Caparol, Dryvit, Greinplast, Henkel, Knauf, Kreisel, Majster-Pol, Piotrowice, PPG Deco, Termo Organika, Saint-Gobain, Selena, Symbase. Piętnaście laboratoriów uczestniczących w ILC to jednostki należące do producentów ETICS, zaś dwa to laboratoria,

of the words “proficiency”, “testing”, “construction”, and “products” gives 11 publications. The results of the above-described study indicate that issues related to measuring construction products during ILC or PT are rarely the subject of scientific articles.

Scientific knowledge should support political decisions to make them rational. At the stage of initiating each project or new legal regulation, it is necessary to assess the situation to determine the action strategy and identify alternative solutions (43). In an ideal decision-making process, a problem is identified, solutions are explored, and the best one is selected. Scientists who study the decision-making process emphasize its complexity. As Samset and Volden stated in their research, decisions are made at the intersection of professional/substantive and political issues (44). The industry participates to a small extent in shaping the law regarding the assessment and verification of the constancy of performance of construction products (38). A good illustration of the state of affairs in this respect is the adoption of a new EU model for the environmental assessment of construction products despite its negative evaluation by the industry (45). The omission of industry recommendations and the simultaneous lack of knowledge transfer from science to legislators and public administration negatively affects the rationality of the decision-making process and the future success of regulations (46). Taking the above into account, one of the goals of this article is to provide new knowledge, the possible inclusion of which, when making decisions by the legislator, may make legal regulations more realistic. The failure of Polish construction supervision authorities to take measurement uncertainty into account when assessing a product is one of the reasons for implementing the project by an organization associating manufacturers of construction products, the results of which are the subject of the analysis described in this article.

This article presents and analyzes the ILC results of measuring the adhesion of cementitious adhesive, a component of the External Thermal Insulation Composite System (ETICS), to a concrete substrate and a substrate made of thermal insulation material - EPS board. The adhesion measurement was determined for two different thicknesses of the adhesive layer under various measurement conditions. Seventeen laboratories of the following companies participated in the ILC organized by the Polish Association for ETICS in 2023: Arsanit, Atlas, Baumit, Brenntag, Caparol, Dryvit, Greinplast, Henkel, Knauf, Kreisel, Majster-Pol, Piotrowice, PPG Deco, Termo Organika, Saint-Gobain, Selena, Symbase. Fifteen laboratories participating in the ILC were units belonging to ETICS manufacturers, and two were laboratories that represented suppliers of raw materials for the production of ETICS. It is worth noting that the laboratories participating in the ILC perform daily measurements of the adhesion of cementitious adhesives that are a component of ETICS to both the concrete and EPS substrates. In this respect, their experience and knowledge of performing specific activities is incomparably more significant than that of laboratories that perform such measurements irregularly, e.g., from time to time on individual orders. Moreover, it is also worth noting that despite declarations from accreditation bodies about the importance of PT/ILC, they offer little. For example, on

które reprezentowały dostawców surowców do produkcji ETICS. Warto odnotować, że laboratoria uczestniczące w ILC wykonują na co dzień pomiary przyczepności cementowych zapraw klejących będących składnikiem ETICS tak do podłoża betonowego, jak i do podłoża EPS. W tym zakresie ich doświadczenie, a co z tym się wiąże także wiedza jak wykonywać pewne czynności jest nieporównywalnie większa niż laboratoriów wykonujących takie pomiary nieregularnie, np. co jakiś czas na indywidualne zlecenie. Ponadto warto też odnotować, że pomimo deklaracji ze strony jednostek akredytujących na temat wagi PT/ILC niewiele one w tym zakresie oferują. Przykładowo na stronie Polskiego Centrum Akredytacji w zakładce „badania biegłości/dostępność” opublikowane zostało w okresie 1 stycznia – 26 lipca 2024 roku sześć ogłoszeń o naborze do udziału w PT (47). Jeżeli weźmie się pod uwagę, że obecnie wykorzystuje się tysiące akredytowanych metod badawczych w kilku tysiącach laboratoriów w Polsce i odniesie się te liczby do wspomnianych sześciu informacji o naborach do udziału w PTs to określenie dysproporcja właściwie opisuje te relacje. Także z powodu deficytowej oferty PT/ILC wyniki ILC oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej będącej składnikiem ETICS do dwóch rodzajów podłoży, których analiza jest opisana w niniejszym artykule są warte odnotowania. Podsumowując warto też nadmienić, że udział laboratoriów w ILC zorganizowanym przez Stowarzyszenie na Rzecz Systemów Ociepleń wynikał z potrzeby każdego z uczestników będącej następstwem zaniechania kwestii zmienności pomiarów wynikającej z niepewności pomiarowej.

2. Materiały i metody

Wszystkie uczestniczące w ILC laboratoria wykonały oznaczenie przyczepności tej samej cementowej zaprawy klejącej będącej jednym ze składników ETICS. Przyczepność zaprawy klejącej oznaczono do podłoża betonowego oraz materiału termoizolacyjnego [płyty EPS]. Badana zaprawa klejąca została dostarczona przez jednego z uczestników ILC. To samo laboratorium dostarczyło wszystkim uczestnikom ILC płyty betonowe do badań produkcji firmy Mosaicos Solana S.A. [Hiszpania] oraz płyty EPS o kodzie EPS EN 13163 T1-L2-W2-Sb5-P5-CS(10)70-BS115-DS.(N)2-DS.(70,-)2-TR100 zgodnie z normą EN 13163:2012+A1:2015 (48). Płyty betonowe do badań firmy Mosaicos Solana S.A. są obecnie powszechnie stosowane w laboratoriach europejskich. Oznaczenie przyczepności zostało wykonane zgodnie z procedurą opisaną w Europejskim Dokumencie Oceny dla ETICS, tj. EAD 040083-00-0404 (49). Przed rozpoczęciem ILC ustalone zostały warunki przeprowadzenia badania, szczegółowa instrukcja postępowania uwzględniająca, m.in., zasady kondycjonowania materiałów do badań, sposób przygotowania zaprawy do badań, sposób naniesienia zaprawy na podłoża w warstwach o grubości 3 i 5 mm. Uczestnicy ILC otrzymali wzory karty badań, w której odnotowali uzyskane wyniki. Karty z wynikami badań zostały przekazane anonimowo do urny, z której zostały komisyjnie wyjęte. Każde z laboratoriów uczestniczących w ILC potrafi zidentyfikować wśród wszystkich wyników jedynie swoje wyniki.

the Polish Center for Accreditation website, in the “proficiency testing/availability” tab, six recruitment announcements for participation in PT were published between January 1 and July 26, 2024 (47). Considering that thousands of accredited research methods are currently used in several thousand laboratories in Poland and referring these numbers to the six pieces mentioned above of information about recruitment for participation in PTs, the term disproportion adequately describes these relationships. Also, due to the scarce PT/ILC offer, the ILC results for determining the adhesion of the adhesive being a component of ETICS to the two types of substrates, the analysis of which is described in this article, are worth noting. In conclusion, the participation of laboratories in the ILC organized by the Polish Association for ETICS resulted from each participant’s need, which resulted from the neglect of the issue of measurement variability resulting from measurement uncertainty.

2. Materials and methods

All laboratories participating in the ILC tested the adhesion strength of the same cementitious adhesive, one of the ETICS components. The adhesive’s adhesion strength to the concrete substrate and the thermal insulation material [EPS boards] was determined. One of the ILC participants provided the tested adhesive. The same laboratory provided all ILC participants with concrete slabs for testing produced by Mosaicos Solana S.A. [Spain] and EPS boards with the EPS code EN 13163 T1-L2-W2-Sb5-P5-CS(10)70-BS115-DS.(N)2-DS.(70,-)2-TR100 under the EN standard 13163:2012+A1:2015 (48). Concrete slabs for testing by Mosaicos Solana S.A. are now widely used in European laboratories. The adhesion strength was determined following the procedure described in the European Assessment Document for ETICS, i.e., EAD 040083-00-0404 (49). Before starting the ILC, the conditions for carrying out the test were established, along with detailed instructions taking into account, among others, the principles of conditioning the test materials, the method of preparing the adhesive for testing, and the method of applying the adhesive to the substrates in 3 and 5 mm thick layers. ILC participants received test templates from which they recorded their results. The templates with the test results were handed over anonymously to the ballot box from which the committee removed them. Each of the laboratories participating in the ILC can only identify its results among all the results.

The method described in the PN-ISO 5725-2:2002 standard (50) was used to determine the repeatability and reproducibility of the measurement method for determining the adhesion strength of the cementitious adhesive to a concrete substrate and thermal insulation material according to the EAD 040083-00-0404. The statistical model that is the basis for the interpretation and analysis of test results, which allows to determine the repeatability and reproducibility of the measurement method, assumes that the distribution of results is approximately normal.

Tablica 1 / Table 1

WARTOŚCI PRZYCZEPNOŚCI ZAPRAWY KLEJĄCEJ DO PODŁOŻA BETONOWEGO BEZ DODATKOWEGO KONDYCJONOWANIA DLA WARSTWY ZAPRAWY O GRUBOŚCI 3 mm ORAZ 5 mm WYRAŻONE W kPa ORAZ MODELE ZNISZCZENIA OZNACZONE PRZEZ LABORATORIA UCZESTNICZĄCE W ILC

ADHESION BOND STRENGTH VALUES OF THE ADHESIVE TO THE CONCRETE SLAB WITHOUT ADDITIONAL CONDITIONING FOR A 3 mm AND 5 mm THICK ADHESIVE LAYER EXPRESSED IN kPa AND FAILURE MODELS DETERMINED BY THE LABORATORIES PARTICIPATING IN THE ILC

laboratorium/ laboratory	przyczepność /adhesion bond strength, kPa									
	grubość/thickness – 3 mm					grubość/thickness – 5 mm				
	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5
LAB 1	1161	1274	1000	1266		1415	1399	1575	795	
LAB 2	1081	1100	1243	1026	1013	1314	1366	1371	1355	1430
LAB 3	565	641	503	604		611	469	676	557	
LAB 4	590	740	680	700	730	480	740	780	680	650
LAB 5	832	965	1001	952	1001	1166	1207	1138	1262	1217
LAB 6	968	717	968	892		704	746	610	678	
LAB 7	843	961	896	920		1066	1279	1256	1275	
LAB 8	1160	1270	1230	1290	1350	1730	1840	1730	1880	1950
LAB 9	604	601	601	518		512	595	583	485	
LAB 10	830	702	951	882		690	610	812	860	
LAB 11	784	1081	818	884		402	1064	590	889	
LAB 12	630	830	580	540	520	480	510	450	490	480
LAB 13	840	712	532	312	632	840	916	1000	1316	1332
LAB 14 A	1198	1216	1249			1347	1702	1505		
LAB 14 B	1180	1090	1186			1331	1501	1418		
LAB 14 C	1372	1166	1203			1407	1202	1226		
LAB 15 A	720	890	1000	1055	990	910	930	1140	930	1080
LAB 15 B	700	790	650	850	950	810	830	1140	730	800
LAB 16 A	1030	1040	1070	1060		1130	980	1160	1210	
LAB 16 B	1170	1120	1190	1100		1330	1170	1300	1460	
LAB 16 C	1310	1260	1190	1060		1370	1410	1130	1330	
LAB 16 D	770	940	960	910		1250	1180	1210	1280	
LAB 17 A	1280	1090	980	1430		1300	1440	1640	1610	
LAB 17 B	1200	980	1270	970		1460	1610	1210	1420	
LAB 17 C	1310	1380	1320	1200		760	1240	1360	1380	
LAB 17 D	1490	1270	1250	1420		1590	1730	1690	1370	
LAB 17 E	1560	1470	1500	1430		1520	1540	1440	1400	
LAB 17 F	1500	1330	1380	1230		1330	1450	1300	1220	
LAB 17 G	1090	1150	1180	1210		1210	1190	1180	1080	
LAB 17 H	1170	1250	1250	1130		1500	1390	1530	1430	
LAB 17 I	1380	1080	1280	990		1120	1080	1210	1320	
LAB 17 J	1350	1370	1190	1290		1380	1240	1480	1480	

	CRA – zniszczenie kohezyjne w zaprawie klejącej / cohesive failure in the adhesive
	AR – zniszczenie adhezyjne pomiędzy podłożem a zaprawą / adhesive failure between the substrate and the adhesive
	CRS – zniszczenie kohezyjne w podłożu betonowym / cohesive failure in the concrete substrate
	zniszczenie mieszane w zakresie od 70 % CRA/30 % BT do 90 % CRA/10 % BT / mixed mode of failure ranging from 70% CRA/30% BT to 90% CRA/10% BT

Kolorem czerwonym podane są wyniki serii, które zostały pominięte w następstwie obliczenia wartości statystyki testowej C / The series results that were omitted due to the calculation of the value of test statistic C are shown in red.

Do określenia powtarzalności i odtwarzalności metody pomiarowej oznaczenia przyczepności cementowej zaprawy klejącej do podłoża betonowego oraz materiału termoizolacyjnego zgodnie z EAD 040083-00-0404 wykorzystano metodę opisaną w normie PN-ISO 5725-2:2002 (50). Model statystyczny będący podstawą do interpretacji i analizy wyników badania pozwalający wyznaczyć powtarzalność i odtwarzalność metody pomiarowej zakłada, że rozkład wyników jest w przybliżeniu normalny.

3. Wyniki

Wyniki oznaczenia przyczepności warstwy cementowej zaprawy klejącej o grubości 3 mm i grubości 5 mm do podłoża betonowego bez dodatkowego kondycjonowania, tj. po przechowywaniu jedynie przez 28 dni w temperaturze $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ oraz wilgotności względnej $55\% \pm 5\%$ podane zostały w tablicy 1, po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 2 h suszenia w temperaturze $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ oraz wilgotności względnej $55\% \pm 5\%$ zestawione zostały w tablicy 2, zaś po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 7 dniach suszenia w $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ przy wilgotności względnej $55\% \pm 5\%$ w tablicy 3. Wyniki badań laboratoryjnych oznaczenia przyczepności warstwy cementowej zaprawy klejącej o grubości 3 mm oraz grubości 5 mm do materiału termoizolacyjnego [EPS] bez dodatkowego kondycjonowania zaprezentowane zostały w tablicy 4, po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 2 h suszenia w $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $55\% \pm 5\%$ RH pokazano w tablicy 5, zaś po zanurzeniu przez 2 dni w wodzie i następnie suszeniu przez 7 dni w $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ oraz wilgotności względnej $55\% \pm 5\%$ w tablicy 6.

Trzydzieści laboratoriów uczestniczących w ILC wykonało jedną serię oznaczenia przyczepności [laboratoria oznaczone symbolami od LAB 1 do LAB 13], w pozostałych czterech laboratoriach wykonano od dwóch do dziesięciu serii pomiarów [wykonało je od dwóch do dziesięciu operatorów] i laboratoria te oznaczone są symbolami od LAB 14 do LAB 17. Każde z powtórzeń serii pomiarów wykonane przez innego operatora oznaczone jest literą, co oznaczają symbole LAB 14A oraz LAB 14B. Biorąc pod uwagę, że w każdym laboratorium wykonano po jednej serii pomiaru, dodatkowo w jednym laboratorium raz powtórzono pomiar, w jednym laboratorium pomiar powtórzono dwukrotnie, w jednym laboratorium pomiar powtórzono trzykrotnie, zaś w jednym laboratorium dziewięciokrotnie powtórzono pomiar oznacza to, że w siedemnastu laboratoriach wykonano 32 serie pomiarowe [liczba n pomiarów wynosi 32].

Norma PN-ISO 5725-2:2002 zakłada, że pomiędzy laboratoriami uczestniczącymi w badaniach są tylko nieznaczne różnice wariancji wewnątrzlaboratoryjnej. W celu zweryfikowania, że powyższe założenie jest słuszne wyniki badania oceniane były za pomocą testu Cochra. Test Cochra stosuje się gdy wszystkie odchylenia standardowe obliczone były dla takiej samej liczby [n] wyników badania. W rzeczywistości liczba ta może być różna dla różnych odchyleń z powodu danych niekompletnych czy danych odrzuconych. Zgodnie z założeniami PN-ISO 5725-2:2002 jeżeli badania są dobrze zorganizowane to różnice liczby wyników przypadających na klasę mogą być zaniedbane.

3. Results

The results of determining the adhesion strength of the layer of the cementitious adhesive with a thickness of 3 mm and a thickness of 5 mm to the concrete substrate without additional conditioning, i.e., after storage for only 28 days at a temperature of $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and a relative humidity of $55\% \pm 5\%$, are given in Table 1, after two days of immersion in water and 2 hours of drying in conditions $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $55\% \pm 5\%$ RH are listed in Table 2 and after two days of immersion in water and seven days of drying in the conditions of $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $55\% \pm 5\%$ RH in Table 3. Results of laboratory tests determining the adhesion strength of the cementitious adhesive's layer with a thickness of 3 mm and a thickness of 5 mm for thermal insulation material [EPS] without additional conditioning are presented in Table 4, after two days of immersion in water and 2 hours of drying in conditions $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $55\% \pm 5\%$ RH are visible in Table 5, and after immersion in water for two days and then drying for seven days in conditions of $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $55\% \pm 5\%$ RH in Table 6.

Thirteen laboratories participating in the ILC performed one series of adhesion strength determinations [laboratories marked with symbols LAB 1 to LAB 13]. In the remaining four laboratories, two to ten series of measurements were performed (performed by two to ten operators), and these laboratories are marked with symbols LAB 14 to LAB 17. Each repetition of a series of measurements performed by a different operator is marked with a letter, represented by the symbols LAB 14A and LAB 14B. Taking into account that one series of measurements was performed in each laboratory, additionally, the measurement was repeated once in one laboratory, the measurement was repeated twice in one laboratory, the measurement was repeated three times in one laboratory, and the measurement was repeated nine times in one laboratory, this means that in seventeen laboratories 32 measurement series were performed [the number of n measurements is 32].

The PN-ISO 5725-2:2002 standard assumes only slight differences in intra-laboratory variance between the laboratories participating in the tests. The study results were assessed using the Cochran test to verify this assumption. The Cochran test is a versatile tool used when all standard deviations are calculated for the same number [n] of test results. It can handle variations in this number, which may differ for deviations due to incomplete or discarded data. According to the assumptions of PN-ISO 5725-2:2002, if the tests are well organized, differences in the number of results per class can be neglected.

Following the requirements of the PN-ISO 5725-2:2002 standard, having data p standard deviations s_i , calculated based on n repeated measurements, the Cochran C test statistic was calculated based on the following formula:

$$C = \frac{s_{max}^2}{\sum_{i=1}^p s_i^2}$$

Tablica 2 / Table 2

WARTOŚCI PRZYCZEPNOŚCI ZAPRAWY KLEJĄCEJ DO PODŁOŻA BETONOWEGO PO 2 DNIACH ZANURZENIA W WODZIE I 2 h SUSZENIA W TEMPERATURZE 23 °C ± 2 °C ORAZ WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ 55 % ± 5 % DLA WARSTWY ZAPRAWY O GRUBOŚCI 3 mm ORAZ 5 mm WYRAŻONE W kPa ORAZ MODELE ZNISZCZENIA OZNACZONE PRZEZ LABORATORIA UCZESTNICZĄCE W ILC

ADHESION BOND STRENGTH VALUES OF THE ADHESIVE TO THE CONCRETE SLAB AFTER 2 DAYS OF IMMERSION IN WATER AND 2 h OF DRYING AT 23 °C ± 2 °C AND 55 % ± 5 % RH FOR A 3 mm AND 5 mm THICK ADHESIVE LAYER EXPRESSED IN kPa AND FAILURE MODELS DETERMINED BY THE LABORATORIES PARTICIPATING IN THE ILC

laboratorium/ laboratory	przyczepność / adhesion bond strength, kPa									
	grubość / thickness – 3 mm					grubość / thickness – 5 mm				
	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5
LAB 1	640	496	604	484		292	600	580	132	
LAB 2	322	428	445	344	358	504	600	536	552	650
LAB 3	327	319	259	168		328	235	313	324	
LAB 4	260	300	320	280	370	300	390	250	340	420
LAB 5	683	648	580	582	602	582	613	627	620	605
LAB 6	492	460	588	513		312	280	400	332	
LAB 7	499	456	511	475		625	540	497	521	
LAB 8	510	590	460	110	500	450	480	440	590	590
LAB 9	443	424	293	257		244	304	271	191	
LAB 10	710	622	863	690		855	732	788	852	
LAB 11	207	70	267	251	87	190	199	408	279	222
LAB 12	300	230	240	230	230	310	210	290	270	220
LAB 13	120	144	168	112	128	260	184	208	168	168
LAB 14 A	703	697	750			650	707	710		
LAB 14 B	758	786	757			680	638	742		
LAB 14 C	732	775	730			707	691	719		
LAB 15 A	620	360	550	630	610	600	460	360	440	460
LAB 15 B	580	480	610	630	610	290	510	420	440	460
LAB 16 A	420	520	520	480		570	560	430	650	
LAB 16 B	630	650	540	560		700	690	750	830	
LAB 16 C	750	600	700	490		770	760	790	760	
LAB 16 D	490	510	500	430		490	490	530	530	
LAB 17 A	540	510	490	420		730	670	510	710	
LAB 17 B	310	390	300	340		380	360	350	290	
LAB 17 C	210	220				560	480			
LAB 17 D	520	540	470	340		500	590	650	400	
LAB 17 E	380	430	480	450		250	320	280	300	
LAB 17 F	390	400	330	310		290	290	270	210	
LAB 17 G	310	360	290	260		500	430	410	430	
LAB 17 H	420	690	200	220		620	210	470	480	
LAB 17 I	550	570				430	710	560		
LAB 17 J	220	380	340	450		550	500	420	520	

	CRA – zniszczenie kohezyjne w zaprawie klejącej / cohesive failure in the adhesive
	AR – zniszczenie adhezyjne pomiędzy podłożem a zaprawą / adhesive failure between the substrate and the adhesive
	CRS – zniszczenie kohezyjne w podłożu betonowym / cohesive failure in the concrete substrate
	zniszczenie mieszane w zakresie od 60 % CRA/40 % BT do 80 % CRA/20 % BT / mixed mode of failure ranging from 60% CRA/40% BT to 80% CRA/20% BT
	zniszczenie mieszane – w zakresie od 70 % CRA/30 % AR do 90 % CRA/10 % AR / mixed mode of failure ranging from 70% CRA/30% AR to 90% CRA/10% AR
	BT - zniszczenie adhezyjnych pomiędzy zaprawą klejącą a uchwytem do rozciągania / adhesive failure between the adhesive and pull head plate

Kolorem czerwonym podane są wyniki serii, które zostały pominięte w następstwie obliczenia wartości statystyki testowej C / The series results that were omitted due to the calculation of the value of test statistic C are shown in red.

Tablica 3 / Table 3

WARTOŚCI PRZYCZEPNOŚCI ZAPRAWY KLEJĄCEJ DO PODŁOŻA BETONOWEGO PO 2 DNIACH ZANURZENIA W WODZIE I 7 DNIACH SUSZENIA W TEMPERATURZE 23 °C ± 2 °C ORAZ WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ 55 % ± 5 % DLA WARSTWY ZAPRAWY O GRUBOŚCI 3 mm ORAZ 5 mm WYRAŻONE W kPa ORAZ MODELE ZNISZCZENIA OZNACZONE PRZEZ LABORATORIA UCZESTNICZĄCE W ILC.

ADHESION BOND STRENGTH VALUES OF THE ADHESIVE TO THE CONCRETE SLAB AFTER 2 DAYS OF IMMERSION IN WATER AND 7 DAYS OF DRYING AT 23 °C ± 2 °C AND 55 % ± 5 % RH FOR A 3 mm AND 5 mm THICK ADHESIVE LAYER EXPRESSED IN kPa AND FAILURE MODELS DETERMINED BY THE LABORATORIES PARTICIPATING IN THE ILC.

laboratorium laboratory	przyczepność / adhesion bond strength, kPa									
	grubość / thickness – 3 mm					grubość / thickness – 5 mm				
	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5
LAB 1	1880	1600	1720	1840		1400	1520	2388	1280	
LAB 2	1404	1331	1604	1439	1615	1410	1197	1371	1170	1432
LAB 3	988	782	990	987		991	1065	1053	1138	
LAB 4	1590	1300	1250	1370		650	790	1250		
LAB 5	741	1008	891	955	1076	1318	1292	1148	1240	
LAB 6	1360	1440	560	1240		1080	960	1364	816	
LAB 7	753	646	631	593		1564	1600	2036	1723	
LAB 8	1170	2500	1810	1830	2150	2080	2280	1950	1930	2160
LAB 9	1110	1229	1199	1116		1152	1155	1158	1204	
LAB 10	1621	1380	1700	1490		1790	1420	1331	1880	
LAB 11	478	938	827	845	861	979	918	989	835	526
LAB 12	1360	870	900	1190	890	1860	1400	1520	1480	1490
LAB 13	1500	1260	1115	148	1112	136	1296	1324	1464	1260
LAB 14 A	1404	1676	1365			1439	1426	1420		
LAB 14 B	1795	1860	1905			1655	1630	1402		
LAB 14 C	1592	1436	1374			1496	1326	1375		
LAB 15 A	1580	1880	1820	1610	1510	1740	1900	1710	1850	1820
LAB 15 B	2220	1980	1820	2000	2110	1810	1980	2110	1950	2010
LAB 16 A	1430	1550	1650	1540		1760	1370	1650	1570	
LAB 16 B	1620	1680	1760	1700		1800	1730	1820	1800	
LAB 16 C	1850	1820	1820	1620		1990	1650	1780	1350	
LAB 16 D	1720	1700	1700	1580		1660	1610	1630	1660	
LAB 17 A	1870	2200	1700	1230		1810	1880	2070	1790	
LAB 17 B	1790	1330	1790	1800		1650	1390	1370	1680	
LAB 17 C	1890	2030	1740	2030		1550	1480	1380	1570	
LAB 17 D	1790	1760	1230	1310		1800	1650	1780	1860	
LAB 17 E	1860	1980	1930	1830		1510	1470	1440	1550	
LAB 17 F	1930	1970	1990	1870		1490	1680	1990	1810	
LAB 17 G	1690	1760	2060	1720		1620	1560	1420	1570	
LAB 17 H	2010	1760	1840	1920		1970	1140	1330	1710	
LAB 17 I	1660	1270	1970	1810		1540	2050	1850	2030	
LAB 17 J	1550	1520	1240	1370		1070	1400	1360	1130	

	CRA – zniszczenie kohezyjne w zaprawie klejącej / cohesive failure in the adhesive
	AR – zniszczenie adhezyjne pomiędzy podłożem a zaprawą / adhesive failure between the substrate and the adhesive
	CRS – zniszczenie kohezyjne w podłożu betonowym / cohesive failure in the concrete substrate
	zniszczenie mieszane w zakresie od 50 % CRA/50 % BT do 90 % CRA/10 % BT / mixed mode of failure ranging from 50% CRA/50% BT to 90% CRA/10% BT
	BT - zniszczenie adhezyjnych pomiędzy zaprawą klejącą a uchwytem do rozciągania / adhesive failure between the adhesive and pull head plate
	nie określono wzorca zniszczenia / no mode of failure determined

Kolorem czerwonym podane są wyniki serii, które zostały pominięte w następstwie obliczenia wartości statystyki testowej C / The series results that were omitted due to the calculation of the value of test statistic C are shown in red.

Tablica 4 / Table 4

WARTOŚCI PRZYCZEPNOŚCI ZAPRAWY KLEJĄCEJ DO PŁYTY EPS BEZ DODATKOWEGO KONDYCYJONOWANIA DLA WARSTWY ZAPRAWY O GRUBOŚCI 3 mm ORAZ 5 mm WYRAŻONE W kPa ORAZ MODELE ZNISZCZENIA OZNACZONE PRZEZ LABORATORIA UCZESTNICZĄCE W ILC.

ADHESION BOND STRENGTH VALUES OF THE ADHESIVE TO THE EPS PLATE WITHOUT ADDITIONAL CONDITIONING FOR A 3 mm AND 5 mm THICK ADHESIVE LAYER EXPRESSED IN kPa AND FAILURE MODELS DETERMINED BY THE LABORATORIES PARTICIPATING IN THE ILC.

laboratorium laboratory	przyczepność / adhesion bond strength, kPa									
	grubość / thickness – 3 mm					grubość / thickness – 5 mm				
	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5
LAB 1	111	120	135	123		128	120	116	114	
LAB 2	118	106	125	100	110	112	110	118	107	116
LAB 3										
LAB 4	130	100	120	150	150	160	120	110	140	150
LAB 5	110	143	139	150	146	146	154	160	147	142
LAB 6	115	110	132	138	127	144	116	150	148	123
LAB 7	124	109	116	110		93	93	114	114	
LAB 8	150	170	160	160	170	180	170	160	160	160
LAB 9	106	114	103	123		145	143	155	148	
LAB 10	154	123	129	143	136	138	149	129	135	146
LAB 11	49	55	66	77	71	41	71	71	70	82
LAB 12	88	67	109	94	77	125	104	109	115	102
LAB 13	154	154	158	158	156	132	128	152	132	152
LAB 14 A	133	134	137	127	142	100	108	116	129	114
LAB 14 B	135	136	137	154	146	118	140	130	128	133
LAB 14 C	118	128	138	145	146	126	138	130	130	144
LAB 15 A	120	120	130	125	130	129	128	132	125	125
LAB 15 B	110	124	125	120	116	129	111	132	112	125
LAB 16 A	160	140	140	164	136	132	136	160	156	140
LAB 16 B	124	140	152	120	164	112	120	140	108	124
LAB 16 C	172	84	128	184	172	132	152	160	140	172
LAB 16 D	156	172	140	164	184	156	160	168	140	144
LAB 17 A	180	160	150	150		170	140	140	150	
LAB 17 B	120	118	111	109		117	136	121	116	
LAB 17 C	160	150	170	160		140	140	150	170	
LAB 17 D	170	160	150	130		150	160	160	140	
LAB 17 E	150	140	140	150		150	140	140	160	
LAB 17 F	150	150	160	160		160	130	150	140	
LAB 17 G	140	140	140	150		160	150	150	150	
LAB 17 H	160	130	160	130		150	130	150	150	
LAB 17 I	160	150	140	150		140	150	140	140	
LAB 17 J	160	150	130	140		170	160	150	150	

- CRS – zniszczenie kohezyjne w podłożu betonowym / cohesive failure in the concrete substrate
- zniszczenie mieszane – 90 % CRA/10 % AR / mixed mode of failure – 90% CRA/10% AR

Kolorem czerwonym podane są wyniki serii, które zostały pominięte w następstwie obliczenia wartości statystyki testowej C / The series results that were omitted due to the calculation of the value of test statistic C are shown in red.

Tablica 5 / Table 5

WARTOŚCI PRZYCZEPNOŚCI ZAPRAWY KLEJĄCEJ DO PŁYTY EPS PO 2 DNIACH ZANURZENIA W WODZIE I 2 h SUSZENIA W TEMPERATURZE 23°C ± 2°C ORAZ WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ 55% ± 5% DLA WARSTWY ZAPRAWY O GRUBOŚCI 3 mm ORAZ 5 mm WYRAŻONE W kPa ORAZ MODELE ZNISZCZENIA OZNACZONE PRZEZ LABORATORIA UCZESTNICZĄCE W ILC.

ADHESION BOND STRENGTH VALUES OF THE ADHESIVE TO THE EPS PLATE AFTER 2 DAYS OF IMMERSION IN WATER AND 2 h OF DRYING AT 23 °C ± 2 °C AND 55 % ± 5 % RH FOR A 3 mm AND 5 mm THICK ADHESIVE LAYER EXPRESSED IN kPa AND FAILURE MODELS DETERMINED BY THE LABORATORIES PARTICIPATING IN THE ILC.

laboratorium laboratory	przyczepność / adhesion bond strength, kPa									
	grubość / thickness – 3 mm					grubość / thickness – 5 mm				
	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5
LAB 1	80	80	96	104		58	56	52	40	
LAB 2	124	106	108	111	95	108	132	114	117	109
LAB 3	52	48	48	47	61	35	48	35	52	35
LAB 4	70	110	90	120	80	110	140	110	90	110
LAB 5	74	73	78	70	80	110	63	76	71	76
LAB 6	108	116	104	104	76	68	108	76	84	120
LAB 7	78	68	91	79		68	71	53	62	
LAB 8	150	120	130	50	40	130	120	110	70	100
LAB 9	64	43	50	59		99	72	60	60	
LAB 10	133	128	139	130		142	128	134	133	
LAB 11	43	51	74	60		57	52	59	48	
LAB 12	45	38	68	63	38	42	100	42	71	32
LAB 13	72	72	76	72	68	68	72	72	76	76
LAB 14 A	88	90	93	88	80	90	90	88	86	86
LAB 14 B	100	103	87	92	87	74	90	84	91	76
LAB 14 C	83	78	87	86	76	88	82	83	80	83
LAB 15 A	72	55	75	80	75	70	80	80	65	81
LAB 15 B	100	55	85	80	110	70	100	110	110	100
LAB 16 A	140	96	96	120	100	108	132	128	64	88
LAB 16 B	80	68	64	108	108	88	92	64	96	92
LAB 16 C	92	108	96	108	100	92	64	100	104	100
LAB 16 D	100	100	132	96	88	96	108	100	116	68
LAB 17 A	75	60	65	40		40	30	70	50	
LAB 17 B	93	82	87	67		88	72	77	69	
LAB 17 C	40	60	60	50		75	65	110		
LAB 17 D	92	65	53	76		95	98	96	92	
LAB 17 E	110	130	80	80		90	80	90	70	
LAB 17 F	100	100	100	70		60	50	60	70	
LAB 17 G	30	50	70	60		70	90	80	80	
LAB 17 H	99	82	61	79		61	93	90	97	
LAB 17 I	50	50	65			60	50			
LAB 17 J	90	54	66	75		70	85	66	79	

	AR – zniszczenie adhezyjne pomiędzy podłożem a zaprawą / adhesive failure between the substrate and the adhesive
	CRS – zniszczenie kohezyjne w podłożu betonowym / cohesive failure in the concrete substrate
	zniszczenie mieszane – w zakresie od 5 % CRA/95 % AR do 40 % CRA/60 % AR / mixed mode of failure ranging from 50% CRA/95% AR to 40% CRA/60% AR
	BT - zniszczenie adhezyjnych pomiędzy zaprawą klejącą a uchwytem do rozciągania / adhesive failure between the adhesive and pull head plate

Kolorem czerwonym podane są wyniki serii, które zostały pominięte w następstwie obliczenia wartości statystyki testowej C / The series results that were omitted due to the calculation of the value of test statistic C are shown in red.

Tablica 6 / Table 6

WARTOŚCI PRZYCZEPNOŚCI ZAPRAWY KLEJĄCEJ DO PŁYTY EPS PO 2 DNIACH ZANURZENIA W WODZIE I 7 DNIACH SUSZENIA W TEMPERATURZE 23°C ± 2°C ORAZ WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ 55% ± 5% DLA WARSTWY ZAPRAWY O GRUBOŚCI 3 mm ORAZ 5 mm WYRAŻONE W kPa ORAZ MODELE ZNISZCZENIA OZNACZONE PRZEZ LABORATORIA UCZESTNICZĄCE W ILC.

ADHESION BOND STRENGTH VALUES OF THE ADHESIVE TO THE EPS PLATE AFTER 2 DAYS OF IMMERSION IN WATER AND 7 DAYS OF DRYING AT 23 °C ± 2 °C AND 55 % ± 5 % RH FOR A 3 mm AND 5 mm THICK ADHESIVE LAYER EXPRESSED IN kPa AND FAILURE MODELS DETERMINED BY THE LABORATORIES PARTICIPATING IN THE ILC.

laboratorium laboratory	pryczepność / adhesion bond strength, kPa									
	grubość / thickness – 3 mm					grubość / thickness – 5 mm				
	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5
LAB 1	156	148	128	144		188	200	160	160	
LAB 2	99	120	108	118	104	108	126	106	123	131
LAB 3										
LAB 4	150	200	170	190	220	180	130	180	190	290
LAB 5	115	127	158	142	136	139	123	141	120	119
LAB 6	127	136	136	128	136	132	134	121	125	109
LAB 7	130	142	127	140		133	141	134	137	
LAB 8	170	140	170	160	160	170	150	150	170	170
LAB 9	138	121	108	120		140	151	160	154	
LAB 10	123	138	134	122		121	126	131	137	
LAB 11	62	75	82	84	82	92	86	92	93	95
LAB 12	80	64	97	118	116	82	63	89	124	104
LAB 13	144	148	152	160	152	120	160	144	144	128
LAB 14 A	144	150	132	141	144	133	137	123	127	120
LAB 14 B	154	162	149	135	150	141	130	137	134	134
LAB 14 C	154	152	155	128	146	134	129	121	134	128
LAB 15 A	110	110	130	120	110	110	110	115	120	115
LAB 15 B	120	100	130	110	125	120	110	115	130	125
LAB 16 A	160	128	164	136	148	140	128	128	144	152
LAB 16 B	112	120	148	152	140	144	144	136	132	144
LAB 16 C	180	160	124	144	148	148	132	144	148	160
LAB 16 D	168	160	168	152	148	148	152	152	144	176
LAB 17 A	150	150	140	160		150	170	150	120	
LAB 17 B	124	107	123	95		109	107	117	125	
LAB 17 C	140	130	140	140		120	140	130	120	
LAB 17 D	160	180	190	180		170	180	210	160	
LAB 17 E	160	160	150	150		150	160	160	140	
LAB 17 F	120	150	160	130		150	160	180	170	
LAB 17 G	160	150	160	150		140	160	160	150	
LAB 17 H	140	150	200	140		120	170	150	150	
LAB 17 I	150	150	140	140		120	110	110	110	
LAB 17 J	140	150	140	140		140	140	150	150	

	CRA – zniszczenie kohezyjne w zaprawie klejącej / cohesive failure in the adhesive
	AR – zniszczenie adhezyjne pomiędzy podłożem a zaprawą / adhesive failure between the substrate and the adhesive
	CRS – zniszczenie kohezyjne w podłożu betonowym / cohesive failure in the concrete substrate
	zniszczenie mieszane CRS/AR / mixed mode of failure CRS/AR

Kolorem czerwonym podane są wyniki serii, które zostały pominięte w następstwie obliczenia wartości statystyki testowej C / The series results that were omitted due to the calculation of the value of test statistic C are shown in red.

Zgodnie z wymaganiami normy PN-ISO 5725-2:2002 mając dane p odchyień standardowych s_i obliczonych na podstawie n powtórzonych pomiarów obliczono statystykę testową Cochran C na podstawie poniższego wzoru:

$$C = \frac{s_{max}^2}{\sum_{i=1}^p s_i^2}$$

w którym s_{max} jest największą wartością odchylenia standardowego w analizowanym zbiorze.

Zgodnie z wymaganiami normy PN-ISO 5725-2:2002 jeżeli wartość statystyki testowej C jest mniejsza lub równa wartości krytycznej odpowiadającej poziomowi istotności 5%, to badany wynik uznaje się za poprawny. W sytuacji gdy wartość statystyki testowej C jest większa niż wartość krytyczna odpowiadająca poziomowi istotności 5% i mniejsza lub równa wartości krytycznej odpowiadającej poziomowi istotności 1% badany wynik uznaje się za wartość niepewną i oznacza jedną gwiazdką. Jeżeli wartość statystyki testowej C jest większa niż wartość krytyczna odpowiadająca poziomowi istotności 1%, wtedy badany wynik uznaje się za wartość odstającą i oznacza się go dwiema gwiazdkami. W przypadku gdy największe odchylenie standardowe jest uznane za wartość odstającą, możliwe jest jego pominięcie równoznaczne z pominięciem jednej serii pomiarowej i przeprowadzenie testu Cochran dla pozostałych serii pomiarowych.

Zgodnie z wytycznymi zawartymi w PN-ISO 5725-2:2002 zakłada się, że jeżeli eksperyment jest dobrze zorganizowany, to różnice liczby wyników przypadających na klasę są ograniczone i mogą być zaniedbane, co oznacza, że test Cochran może być zastosowany przy przyjęciu jako n liczby wyników badania otrzymanych dla większości klas.

Sposób prowadzenia obliczeń opisanych powyżej został poniżej zilustrowany dla danych przedstawionych w tabelicy 1. I tak, wartość statystyki testowej C dla wszystkich 32 serii pomiarowych oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do podłoża betonowego dla warstwy zaprawy o grubości 3 mm bez dodatkowego kondycjonowania wyniosła 0,112. Wartość krytyczna testu Cochran dla poziomu istotności 5% oraz $p = 32$ i $n = 4$ wynosi 0,151 [spośród 32 serii pomiarów w 21 seriach wykonano po cztery pomiary tak więc można przyjąć, że $n = 4$]. Tym samym zgodnie z wymaganiami normy PN-ISO 5725-2:2002 uzyskany wynik uznaje się za poprawny.

W przypadku oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do podłoża betonowego dla warstwy zaprawy o grubości 5 mm wartość statystyki testowej C dla wszystkich danych uzyskanych w 32 seriach pomiarowych wyniosła 0,179. Wartość krytyczna testu Cochran dla $p = 32$ i $n = 4$ oraz poziomu istotności 5 % wynosi 0,151, zaś dla poziomu istotności 1 % wynosi 0,181. Tym samym wynik zgodnie z wymaganiami PN-ISO 5725-2:2002 należy sklasyfikować jako niepewny. Pominięcie wyników uzyskanych przez trzy laboratoria (LAB 1, LAB 11 oraz LAB 17C), których wyniki charakteryzowały się największymi wartościami odchylenia

where s_{max} is the most significant standard deviation value in the analyzed set.

Following the requirements of the PN-ISO 5725-2:2002 standard, if the value of the test statistic C is less than or equal to the critical value corresponding to the significance level of 5 %, the tested result is considered correct. When the value of the test statistic C is greater than the critical value corresponding to the 5 % significance level and less than or equal to the critical value corresponding to the 1 % significance level, the tested result is considered an uncertain value and is marked with one asterisk. If the value of the test statistic C is greater than the critical value corresponding to the 1 % significance level, then the test result is considered an outlier and is marked with two asterisks. Suppose the most significant standard deviation is regarded as an outlier. In that case, it is possible to omit it, equivalent to omitting one measurement series, and perform the Cochran test for the remaining measurement series.

According to the guidelines contained in PN-ISO 5725-2:2002, the Cochran test can be used when the experiment is well organized and differences in the number of results per class are limited and can be neglected. This is typically the case when assuming the number of test results obtained for most classes.

The calculation method described above is illustrated below for the data presented in Table 1. Thus, the value of the test statistic C for all 32 measurement series of adhesion strength determination of the adhesive to the concrete slab for a 3 mm thick adhesive layer without additional conditioning was 0.112. The critical value of the Cochran test for a significance level of 5 % and $p = 32$ and $n = 4$ is 0.151 [out of 32 series of measurements, 21 series had four measurements each, so it can be assumed that $n = 4$]. Therefore, the result obtained is considered correct under the requirements of the PN-ISO 5725-2:2002 standard.

In the case of determining the adhesion strength of the adhesive to the concrete substrate for a 5 mm thick adhesive layer, the value of the test statistic C for all data obtained in 32 measurement series was 0.179. The critical value of the Cochran test for $p = 32$ and $n = 4$ and a significance level of 5 % is 0.151, and for a significance level of 1 %, it is 0.181. Therefore, the result should be classified as uncertain following the requirements of PN-ISO 5725-2:2002. Omitting the results obtained by three laboratories [LAB 1, LAB 11, and LAB 17C], whose results were characterized by the highest values of standard deviation, and then conducting the Cochran test for the remaining 29 series of measurements leads to obtaining the value of the test statistic C of 0.142. Thus, the obtained result is classified under the requirements of PN-ISO 5725-2:2002 as correct [the critical value of the Cochran test for $p = 29$ and $n = 4$ and the significance level of 5 % is 0.164].

4. Discussion

Based on the results of the measurement series presented in Tables 1 to 6, the values of the general mean of adhesion, the standard deviation of repeatability s_r , and the standard deviation

Tablica 7 / Table 7

WARTOŚCI ŚREDNIEJ OGÓLNEJ PRZYCZEPNOŚCI, ODCHYLENIA STANDARDOWEGO POWTARZALNOŚCI s_r , ODCHYLENIA STANDARDOWEGO ODTWARZALNOŚCI s_R ORAZ LICZBA LABORATORIÓW, KTÓRYCH WYNIKI UWZGLĘDNIONO W OBLICZENIACH STATYSTYKI TESTOWEJ PRZEPROWADZONEGO ILC.

VALUES OF THE GENERAL MEAN OF ADHESION, THE STANDARD DEVIATION OF REPEATABILITY s_r , AND THE STANDARD DEVIATION OF REPRODUCIBILITY s_R , AND THE NUMBER OF LABORATORIES WHOSE RESULTS WERE INCLUDED IN THE CALCULATION OF THE TEST STATISTICS OF THE ILC.

Badana właściwość / tested feature	, kPa	s_r , %	s_R , %	Liczba laboratoriów ¹ Number of laboratories ¹ , -
Przyczepność do podłoża betonowego bez dodatkowego kondycjonowania – warstwa 3 mm / Adhesion strength to the concrete substrate without supplementary conditioning - 3 mm layer	1028	10.4	26.3	32
Przyczepność do podłoża betonowego bez dodatkowego kondycjonowania – warstwa 5 mm / Adhesion strength to the concrete substrate without supplementary conditioning - 5 mm layer	1158	9.7	31.6	29
Przyczepność do podłoża betonowego po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 2 h suszenia w 23°C ± 2°C oraz 55% ± 5% RH – warstwa 3 mm / Adhesion strength to the concrete substrate after immersion in water for 2 days and 2 h drying at 23 °C ± 2 °C and 55 % ± 5 % RH - 3 mm layer	453	14.4	39.5	28
Przyczepność do podłoża betonowego po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 2 h suszenia w 23°C ± 2°C oraz 55% ± 5% RH – warstwa 5 mm / Adhesion strength to the concrete substrate after immersion in water for 2 days and 2 h drying at 23 °C ± 2 °C and 55 % ± 5 % RH - 5 mm layer	454	13.2	44.4	29
Przyczepność do podłoża betonowego po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 7 dniach suszenia w 23°C ± 2°C oraz 55% ± 5% RH – warstwa 3 mm / Adhesion strength to the concrete substrate after immersion in water for 2 days and 7 days drying at 23 °C ± 2 °C and 55 % ± 5 % RH - s mm layer	1571	9.7	25.6	28
Przyczepność do podłoża betonowego po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 7 dniach suszenia w 23°C ± 2°C oraz 55% ± 5% RH – warstwa 5 mm / Adhesion strength to the concrete substrate after immersion in water for 2 days and 7 days drying at 23 °C ± 2 °C and 55 % ± 5 % RH - 5 mm layer	1528	10.0	22.7	29
Przyczepność do materiału termoizolacyjnego [EPS] bez dodatkowego kondycjonowania – warstwa 3 mm / Adhesion strength to the thermal insulation product [EPS] without supplementary conditioning - 3 mm layer	134	8.5	18.7	30
Przyczepność do materiału termoizolacyjnego [EPS] bez dodatkowego kondycjonowania – warstwa 5 mm / Adhesion strength to the thermal insulation product [EPS] without supplementary conditioning - 5 mm layer	132	8.3	21.8	31
Przyczepność do materiału termoizolacyjnego [EPS] po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 2 h suszenia w 23°C ± 2°C oraz 55% ± 5% RH – warstwa 3 mm / Adhesion strength to the thermal insulation product [EPS] after immersion in water for 2 days and 2 h drying at 23 °C ± 2 °C and 55 % ± 5 % RH - 3 mm layer	82	16.6	29.0	31
Przyczepność do materiału termoizolacyjnego [EPS] po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 2 h suszenia w 23°C ± 2°C oraz 55% ± 5% RH – warstwa 5 mm / Adhesion strength to the thermal insulation product [EPS] after immersion in water for 2 days and 2 h drying at 23 °C ± 2 °C and 55 % ± 5 % RH - 5 mm layer	82	17.5	30.2	32
Przyczepność do materiału termoizolacyjnego [EPS] po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 7 dniach suszenia w 23°C ± 2°C oraz 55% ± 5% RH – warstwa 3 mm / Adhesion strength to the thermal insulation product [EPS] after immersion in water for 2 days and 7 days drying at 23 °C ± 2 °C and 55 % ± 5 % RH - 3 mm layer	140	9.7	19.2	31
Przyczepność do materiału termoizolacyjnego [EPS] po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 7 dniach suszenia w 23°C ± 2°C oraz 55% ± 5% RH – warstwa 5 mm / Adhesion strength to the thermal insulation product [EPS] after immersion in water for 2 days and 7 days drying at 23 °C ± 2 °C and 55 % ± 5 % RH - 5 mm layer	137	8.6	17.8	30

¹ liczba laboratoriów, których wyniki uwzględniono w obliczeniach statystyki testowej C aby uzyskany wynik mógł być uznany za poprawny / number of laboratories whose results were included in the calculation of the test statistic C so that the result obtained could be considered correct

standardowego i następnie przeprowadzenie testu Cochra na dla pozostałych 29 serii pomiarów prowadzi do uzyskania wartości statystyki testowej C wynoszącej 0,142 i tym samym uzyskany wynik jest klasyfikowany zgodnie z wymaganiami PN-ISO 5725-2:2002 jako poprawny [wartość krytyczna testu Cochra na dla $p = 29$ i $n = 4$ oraz poziomu istotności 5 % wynosi 0,164].

4. Dyskusja

Na podstawie wyników serii pomiarowych przedstawionych w tablicach od 1 do 6 obliczono wartości średniej ogólnej przyczepności, odchylenia standardowego powtarzalności s , i odchylenia standardowego odtwarzalności s_R , zaś uzyskane wyniki zestawione zostały w tablicy 7. W artykule wartości odchylenia standardowego powtarzalności i odchylenia standardowego odtwarzalności wyrażane są w procentach - ich wartości uzyskano przez pomnożenie wartości odchylenia standardowego przez 100 i podzielenia tego iloczynu przez wartość średniej ogólnej. W ostatniej kolumnie tablicy 7 podano liczbę laboratoriów, których wyniki uwzględniono w obliczeniach statystyki testowej, tak aby wartość statystyki testowej C była mniejsza lub równa wartości krytycznej odpowiadającej poziomowi istotności 5 % a uzyskany wynik mógł być uznany za poprawny.

W przypadku oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do podłoża betonowego większość laboratoriów wskazała model zniszczenia CRA, tj. zniszczenie kohezyjne w zaprawie klejącej. W przypadku pojedynczych wyników wskazano model zniszczenia CRS, tj. zniszczenie kohezyjne w podłożu betonowym, zniszczenie AR, tj. zniszczenie adhezyjne pomiędzy podłożem a zaprawą klejącą oraz w kilku przypadkach zniszczenie mieszane. W przypadku oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do podłoża betonowego po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 2 h suszenia zaobserwowano także kilkanaście zniszczeń adhezyjnych pomiędzy zaprawą klejącą a uchwytem do rozciągania – model zniszczenia BT.

W przypadku oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do płyty EPS dominującym modelem zniszczenia w przypadku oznaczenia bez dodatkowego kondycjonowania oraz po kondycjonowaniu 2 dni w wodzie i po 7 dniach suszenia był model CRS, tj. zniszczenia kohezyjne w podłożu z materiału termoizolacyjnego. W tym miejscu warto nadmienić, że płyta EPS jest materiałem znacznie słabszym niż płyta betonowa do badań i zniszczenie kohezyjne w podłożu z materiału termoizolacyjnego wynika z właściwości materiału, tj. kodu TR 100 oznaczającego minimum 100 kPa wytrzymałości na rozciąganie prostopadle do powierzchni pionowych.

Po kondycjonowaniu próbki 2 dni w wodzie oraz po 2 h suszenia większość laboratoriów wskazało model zniszczenia AR, tj. zniszczenie adhezyjne pomiędzy zaprawą a płytą EPS.

W przypadku oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do podłoża betonowego zaobserwowano różnice wartości średniej ogólnej przyczepności w zależności od grubości warstwy zaprawy w przypadku gdy próbki nie były kondycjonowane oraz gdy

of reproducibility s_R were calculated, and the obtained results are summarized in Table 7. The values of the standard deviation of repeatability and the standard deviation of reproducibility are expressed in percentages in the article. They were obtained by multiplying the standard deviation value by 100 and dividing this product by the general mean value. The last column of Table 7 gives the number of laboratories whose results were included in the calculation of the test statistic so that the value of the test statistic C was less than or equal to the critical value corresponding to the 5 % significance level and the obtained result could be considered correct.

In the case of determining the adhesion strength of the adhesive to the concrete substrate, most laboratories indicated the CRA failure model, i.e., cohesive failure in the adhesive. In the case of single results, the CRS failure model was shown, i.e., cohesive failure in the concrete substrate, AR failure, i.e., adhesive failure between the substrate and the adhesive, and in several cases, mixed failure. In the case of determining the adhesion strength of the adhesive to the concrete substrate after two days of immersion in water and 2 hours of drying, several adhesion damages were also observed between the adhesive mortar and the tensile handle - BT destruction model.

In the case of determining the adhesion strength of the adhesive to the EPS board, the dominant failure model in the case of determination without additional conditioning and after conditioning for two days in water and after seven days of drying was the CRS model, i.e., cohesive damage in the substrate made of thermal insulating material. It is worth mentioning here that the EPS board is a much weaker material than the concrete slab, and cohesive failure in the substrate made of thermal insulating material results from the properties of the material, i.e., the TR 100 code, meaning a minimum of 100 kPa of tensile strength perpendicular to the vertical surfaces.

After conditioning the sample for two days in water and after 2 hours of drying, most laboratories indicated the AR failure model, i.e., adhesive failure between the adhesive and the EPS board.

In the case of determining the adhesion strength of the adhesive to the concrete substrate, differences in the average value of the overall adhesion m^{\wedge} were observed depending on the thickness of the adhesive layer when the samples were not conditioned and when the samples were immersed in water for two days and then dried for seven days. Significant differences of 11.2 % were recorded in the case of determining the adhesion strength of the adhesive to the concrete substrate without additional conditioning. The higher value of the general mean adhesion for a 5 mm thick adhesive layer than for a 3 mm thick one results from the possibility of water deficit in a thinner layer compared to a thicker layer. As is known, in systems containing Portland cement, the reaction of the clinker components with water leads to the binding and hardening of the mortar. Water is needed for an extended period of time for the mortar to bind. In thin-layer systems, i.e., systems in which the surface-to-volume ratio is higher than in the case of thick-layer

próbki były przez 2 dni zanurzone w wodzie i następnie przez 7 dni suszone. Istotne różnice wynoszące 11,2% odnotowano w przypadku oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do podłoża betonowego bez dodatkowego kondycjonowania. Wyższa wartość średniej ogólnej przyczepności dla 5 mm grubości warstwy zaprawy niż dla grubości wynoszącej 3 mm wynika z możliwości wystąpienia deficytu wody w cieńszej warstwie w porównaniu do warstwy o większej grubości. Jak wiadomo w układach zawierających w swoim składzie cement portlandzki reakcja składników klinkieru z wodą prowadzi do wiązania i twardnienia zaprawy. Woda potrzebna jest przez wydłużony czas aby zaszły procesy wiązania zaprawy. W układach cienkowarstwowych, tj. układach, w których stosunek powierzchni do objętości jest większy niż w przypadku układów grubowarstwowych, zwykle występuje deficyt wody, która to odparowuje powierzchniowo lub w wyniku działania sił kapilarnych wyciągana jest przez podłoże (51). W zaprawach klejących do płytek ceramicznych wpływa to, między innymi, na trwałość poprzez obniżenie przyczepności do podłoża (52). Dla próbek kondycjonowanych 2 dni w wodzie i następnie przez 7 dni suszonych różnica wartości średniej ogólnej przyczepności pomiędzy próbką z warstwą zaprawy o grubości 5 mm i 3 mm jest znacznie niższa i wynosi jedynie 2,7%. W tym wypadku wyższą wartość średniej ogólnej przyczepności zaobserwowano dla warstwy o grubości 3 mm. Najwyższą wartość średniej ogólnej przyczepności uzyskano dla próbek przechowywanych 2 dni w wodzie i następnie przez 7 dni suszonych. Wartość średniej ogólnej przyczepności próbek po kondycjonowaniu przez 2 dni w wodzie i 7 dniach suszenia jest wyższa o 34,5% dla grubości zaprawy 3 mm oraz 24,2% dla grubości zaprawy 5 mm w porównaniu dla próbek bez dodatkowego kondycjonowania, co jest dodatkowym dowodem na niedostateczną ilość wody w układzie w przypadku próbek nie zanurzonych w wodzie. Znacznie niższe wartości średniej ogólnej przyczepności dla próbek przechowywanych przez 2 dni w wodzie i następnie suszonych 2 h wynika z faktu, że suszenie przez 2 h w warunkach $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ oraz $55\% \pm 5\%$ RH nie usuwa wody z próbki.

Następstwem dominującego modelu zniszczenia CRS w przypadku oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do płyty EPS jest brak wpływu grubości warstwy zaprawy klejącej na wartość średniej ogólnej przyczepności. Podobnie nie odnotowano wpływu grubości warstwy zaprawy klejącej na wartość średniej ogólnej przyczepności w przypadku przechowywania próbki zaprawa – płyta EPS przez 2 dni w wodzie i następnie 2 h suszenia – w tym wypadku najczęściej zaobserwowano model zniszczenia AR.

W przypadku próbek gdzie podłożem nie jest płyta betonowa a płyta EPS różnice pomiędzy wartościami średniej ogólnej przyczepności pomiędzy próbkami przechowywanymi 2 dni w wodzie i 7 dni suszonymi a próbkami bez dodatkowego kondycjonowania są mniejsze i wynoszą odpowiednio 4,3% oraz 3,6% dla warstwy zaprawy o grubości 3 i 5 mm. Mniejsze różnice w przypadku gdy podłożem jest płyta EPS a nie płyta betonowa wynikają z faktu, że woda nie jest wyciągana przez podłoże. Tak więc w tym przypadku mamy jedynie do czynienia z odparowywaniem powierzchniowym.

systems, there is usually a deficit of water, which evaporates on the surface or is drawn out through the substrate as a result of capillary forces (51). In ceramic tile adhesives, this affects, among other things, durability by reducing adhesion to the substrate (52). For samples conditioned for two days in water and then dried for seven days, the difference in the average value of the general mean of adhesion between the sample with a 5 mm and 3 mm thick mortar layer is much lower and amounts to only 2.7 %. In this case, a higher value of the general mean of adhesion was observed for a layer with a thickness of 3 mm. The highest value of the general mean of adhesion was obtained for samples stored in water for two days and then dried for seven days. The value of the general mean of adhesion of samples after conditioning for two days in water and seven days of drying is higher by 34.5 % for an adhesive thickness of 3 mm and 24.2 % for an adhesive thickness of 5 mm compared to samples without additional conditioning, which is further evidence of insufficient water in the system in the case of samples not immersed in water. Significantly lower values of the general mean average of adhesion for samples stored for two days in water and then dried for 2 h result from the fact that drying for two hours in conditions of $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ and $55 \pm 5\%$ RH does not remove water from samples.

The consequence of the dominant CRS failure pattern in the case of determining the adhesion strength of the adhesive to the EPS board is the lack of influence of the thickness of the adhesive layer on the value of the general mean of adhesion. Similarly, there was no effect of the thickness of the adhesive layer on the value of the general mean of adhesion in the case of storing the adhesive-EPS board sample for two days in water and then drying for 2 hours. In this case, the AR failure model was most often observed.

In the case of samples where the substrate is not a concrete slab but an EPS board, the differences between the values of the general mean of adhesion between samples stored for two days in water and seven days dried and samples without additional conditioning are minor and amount to 4.3 % and 3.6 %, respectively, for a mortar layer with a thickness of 3 and 5 mm. More minor differences when the substrate is an EPS board and not a concrete slab result from the fact that the substrate does not draw water out. So, in this case, we are only dealing with surface evaporation.

The comparison of the values of the standard deviation of repeatability s_r and the standard deviation of reproducibility s_R allows us to conclude that the determination of the adhesion strength of the adhesive to the substrate made of thermal insulation material - EPS board is characterized by lower variability than in the case when the substrate is a concrete slab. This observation applies to all sample conditioning conditions. It is due, among other things, to the fact that a concrete slab is an absorbent substrate, which significantly influences the results of measuring the adhesion of cementitious adhesives, which has been shown in recent years by Faatz and Ehmann in the case of measuring the adhesion strength of ceramic tile adhesives (53). The most significant variability was observed for samples stored for two days in water and then dried for two hours, which can be explained, among others, by the most

Porównanie wartości odchylenia standardowego powtarzalności s_r i odchylenia standardowego odtwarzalności s_R pozwala stwierdzić, że oznaczenie przyczepności zaprawy klejącej do podłoża z materiału termoizolacyjnego – płyty EPS charakteryzuje niższa zmienność niż w przypadku gdy podłożem jest płyta betonowa. Obserwacja ta dotyczy wszystkich warunków kondycjonowania próbek. Wynika to, m.in., z tego, że płyta betonowa jest podłożem nasiąkliwym w istotny sposób wpływającym na wyniki pomiaru przyczepności cementowej zaprawy klejącej, co w ostatnich latach pokazali Faatz i Ehmann w przypadku pomiaru przyczepności zapraw klejących do płytek ceramicznych (53). Największą zmienność zaobserwowano dla próbek przechowywanych przez 2 dni w wodzie i następnie suszonych przez 2 h, co wytłumaczyć można, m. in., największą niejednorodnością próbek zawierających wodę po krótkim 2 h suszeniu w warunkach $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ oraz $55\% \pm 5\% \text{RH}$.

W przypadku oznaczenia przyczepności na podłożu betonowym zaobserwowano większe różnice pomiędzy wartościami odchylenia standardowego powtarzalności s_r i odchylenia standardowego odtwarzalności s_R dla dwóch różnych grubości warstw zaprawy klejącej niż w przypadku podłoża z materiału termoizolacyjnego – płyty EPS. Ta obserwacja także wynika z innej natury podłoża.

Omawiając uzyskane wyniki odchylenia standardowego powtarzalności s_r i odchylenia standardowego odtwarzalności s_R oznaczenia przyczepności cementowej zaprawy klejącej do podłoża betonowego oraz płyty EPS należy zaznaczyć, że pierwszy raz wyznaczono te wartości. Znajomość wartości odchylenia standardowego powtarzalności s_r i odchylenia standardowego odtwarzalności s_R metody badania jest bardzo ważna w aspekcie oceny wyrobu budowlanego (7). Wprowadzenie normy lub innego dokumentu, który jest wykorzystywany w procesie oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych [Assessment and Verification of Constancy of Performance – AVCP] powinno być poprzedzone szczegółową analizą metody badania, w tym walidacją tej metody. Istotna jest świadomość niepewności wyników badania podczas oceny wyrobu (54). Ważne jest aby w wielu przypadkach podchodzić indywidualnie do poszczególnych wyrobów. Jest to dodatkowo ważne w przypadku wyrobów budowlanych z powodu częstego wykorzystywania metod niszczących do oceny próbki wyrobu, jak i często ograniczonej ilości próbek, co utrudnia ewentualne powtórzenie badań w procesie oceny, szczególnie w sytuacji gdy ponownej oceny dokonują organy nadzoru rynku. Z tego też względu od lat notuje się istotny rozwój wykorzystania metod nieniszczących do badania i oceny wyrobów budowlanych (55).

Oznaczenie przyczepności jest powszechnie wykonywane w inżynierii lądowej. Kwestie wiarygodności wyników oznaczenia przyczepności różnych materiałów uzyskanych z wykorzystaniem techniki pull-off były wielokrotnie tematem różnych projektów badawczych (21, 35, 38, 56-63).

Wyznaczone w niniejszym projekcie wartości odchylenia standardowego powtarzalności s_r w zakresie od 9,73% do 14,37% i odchylenia standardowego odtwarzalności s_R w zakresie od 22,67% do

remarkable heterogeneity of samples containing water after a short two hours drying at $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ and $55 \pm 5\% \text{RH}$.

When adhesion strength was determined on a concrete substrate, greater differences were observed between the values of the standard deviation of repeatability s_r and the standard deviation of reproducibility s_R for two different thicknesses of adhesive mortar layers than in the case of a substrate made of thermal insulation material – EPS board. This observation also results from the distinct nature of the substrate.

When discussing the obtained results of the standard deviation of repeatability s_r and the standard deviation of reproducibility s_R for determining the adhesion strength of the cementitious adhesive to a concrete substrate and EPS board, it should be noted that these values were determined for the first time. Knowledge of the value of the standard deviation of repeatability s_r and the standard deviation of reproducibility s_R of the test method is vital in assessing the construction product (7). The introduction of a standard or other document used in the assessment and verification of constancy of performance [AVCP] should be preceded by a detailed analysis of the test method, including validation of this method. It is essential to be aware of the uncertainty of test results when evaluating a product (54). In many cases, it is crucial to approach individual products individually. It is additionally essential in the case of construction products due to the frequent use of destructive methods to assess product samples, as well as the often limited number of samples, which makes it challenging to repeat the tests in the assessment process, especially when market surveillance authorities carry out the reassessment. For this reason, there has been a significant development in the use of non-destructive methods for testing and assessing construction products over the years (55).

Adhesion strength determination is commonly performed in civil engineering. The reliability of the results of determining the adhesion of various materials obtained using the pull-off technique has repeatedly been the subject of different research projects (21, 35, 38, 56-63).

The values of the standard deviation of repeatability s_r determined in this project range from 9.7 % to 14.4 %, and the standard deviation of reproducibility s_R in the range from 22.7 % to 44.4 %, determining the adhesion strength of the cementitious adhesive to the concrete substrate in various storage conditions test samples correlate well with the values of the standard deviation of repeatability s_r of the determination of the adhesion strength of the cementitious ceramic tile adhesives to a concrete substrate ranging from 9 % to 15 % (41) and the standard deviation of reproducibility s_R of the determination of the adhesion strength of cementitious ceramic tile adhesives to a concrete substrate ranging from 14 % to 21 % (41). It should be added that in the study described in this article and the study of cementitious ceramic tile adhesives (41), all participants used identical concrete slabs for testing. In the ILC determination of the adhesion strength of cementitious ceramic tile adhesive, during which various concrete slabs were used for testing, more significant variability was obtained, characterized

Tablica 8 / Table 8

ZESTAWIENIE LABORATORIÓW UCZESTNICZĄCYCH W ILC Z PRZYPORZĄDKOWANIEM SERII POMIAROWYCH BĘDĄCYCH PODSTAWĄ OBLICZEŃ POWTARZALNOŚCI I ODTWARZALNOŚCI METOD POMIAROWYCH

LIST OF LABORATORIES PARTICIPATING IN THE ILC WITH THE ASSIGNMENT OF MEASUREMENT SERIES THAT ARE THE BASIS FOR CALCULATING THE REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY OF THE MEASUREMENT METHOD

laboratorium / laboratory	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
LAB 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 14 A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 14 B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 14 C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 15 A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 15 B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 16 A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 16 B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 16 C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 16 D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 17 A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 17 B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 17 C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 17 D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 17 E	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 17 F	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 17 G	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 17 H	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 17 I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LAB 17 J	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

X – seria uwzględniona w obliczeniach / series included in the calculations

X – seria nieuwzględniona w obliczeniach / series not included in the calculations

1 – pomiar przyczepności do podłoża betonowego bez dodatkowego kondycjonowania – warstwa 3 mm / measurement of adhesion strength to the concrete substrate without additional conditioning - 3 mm layer

2 – pomiar przyczepności do podłoża betonowego bez dodatkowego kondycjonowania – warstwa 5 mm / measurement of adhesion strength to the concrete substrate without additional conditioning - 5 mm layer

3 – pomiar przyczepności do podłoża betonowego po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 2 godz. suszenia – warstwa 3 mm / measurement of adhesion strength to the concrete substrate after 2 days of immersion in water and 2 hours of drying – 3 mm layer

4 – pomiar przyczepności do podłoża betonowego po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 2 godz. suszenia – warstwa 5 mm / measurement of adhesion strength to the concrete substrate after 2 days of immersion in water and 2 hours of drying – 5 mm layer

5 – pomiar przyczepności do podłoża betonowego po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 7 dniach suszenia – warstwa 3 mm / measurement of adhesion strength to the concrete substrate after 2 days of immersion in water and 7 days of drying - 3 mm layer

6 – pomiar przyczepności do podłoża betonowego po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 7 dniach suszenia – warstwa 5 mm / measurement of adhesion strength to the concrete substrate after 2 days of immersion in water and 7 days of drying - 5 mm layer

7 – pomiar przyczepności do materiału termoizolacyjnego [EPS] bez dodatkowego kondycjonowania – warstwa 3 mm / measurement of adhesion strength to thermal insulation material [EPS] without additional conditioning - 3 mm layer

8 – pomiar przyczepności do materiału termoizolacyjnego [EPS] bez dodatkowego kondycjonowania – warstwa 5 mm / measurement of adhesion strength to thermal insulation material [EPS] without additional conditioning - 5 mm layer

9 – pomiar przyczepności do materiału termoizolacyjnego [EPS] po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 2 godz. suszenia – warstwa 3 mm / measurement of adhesion strength to thermal insulation material [EPS] after 2 days of immersion in water and 2 hours of drying – 3 mm layer

10 – pomiar przyczepności do materiału termoizolacyjnego [EPS] po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 2 godz. suszenia – warstwa 5 mm / measurement of adhesion strength to thermal insulation material [EPS] after 2 days of immersion in water and 2 hours of drying – 5 mm layer

11 – pomiar przyczepności do materiału termoizolacyjnego [EPS] po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 7 dniach suszenia – warstwa 3 mm / measurement of adhesion strength to thermal insulation material [EPS] after 2 days of immersion in water and 7 days of drying - 3 mm layer

12 – pomiar przyczepności do materiału termoizolacyjnego [EPS] po 2 dniach zanurzenia w wodzie i 7 dniach suszenia – warstwa 5 mm / measurement of adhesion strength to thermal insulation material [EPS] after 2 days of immersion in water and 7 days of drying - 5 mm layer

44,36% oznaczenia przyczepności cementowej zaprawy klejącej do podłoża betonowego w różnych warunkach przechowywania próbki do badań dobrze korelują z wartościami odchylenia standardowego powtarzalności s , oznaczenia przyczepności cementowych zapraw klejących do płytek ceramicznych do podłoża betonowego wynoszącymi od 9% do 15% (41) i odchylenia standardowego odtwarzalności s_R oznaczenia przyczepności cementowej zaprawy klejącej do płytek ceramicznych do podłoża betonowego wynoszącymi od 14% do 21% (41). Należy dodać, że tak w badaniu opisanym w niniejszym artykule, jak i w badaniu cementowych zapraw klejących do płytek ceramicznych (41) wszyscy uczestnicy badania wykorzystywali te same płyty betonowe do badań. W ILC oznaczenia przyczepności cementowych zapraw klejących do płytek ceramicznych, w trakcie którego wykorzystywano różne płyty betonowe do badań uzyskano większą zmienność, z wartościami odchylenia standardowego odtwarzalności s_R w zakresie od 22% aż do 60% (7).

W przypadku oznaczenia przyczepności cementowej zaprawy klejącej do materiału termoizolacyjnego będącego płytą EPS wyznaczono odchylenia standardowe powtarzalności s , w zakresie od 8,29% do 17,50% i odchylenia standardowe odtwarzalności s_R w zakresie od 17,82% do 30,17% w różnych warunkach przechowywania próbki do badań. Także w przypadku oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do płyty EPS uzyskane wyniki jednoznacznie dowodzą, że metodę badania charakteryzuje niska precyzja.

W celu zilustrowania jak poszczególne laboratoria zaprezentowały się w stosunku do innych w tablicy 8 podano, które serie pomiarowe z poszczególnych laboratoriów uczestniczących w ILC zostały uwzględnione w obliczeniach statystyki testowej, a które nie zostały uwzględnione.

Omawiając wyniki uzyskane w niniejszym projekcie konieczne jest podkreślenie dużej liczby uczestników ILC, co w istotny sposób wpływa na możliwość uzyskania rzetelnych wyników (64). To bardzo ważne gdyż często z powodu niewielkiej liczby laboratoriów uczestniczących w ILC oraz niewielkiej liczby wyników formułowane są pytania dotyczące jakości uzyskiwanych danych oraz możliwości ich racjonalnego wykorzystania do oceny wyrobu budowlanego (65). Uzyskane wyniki ILC przedstawione w niniejszym artykule są istotne także w aspekcie opracowania szczegółowych i spójnych wytycznych dotyczących badania i oceny wyrobów budowlanych (54). I w tym miejscu istotny jest komentarz dotyczący wyników uzyskiwanych w PT/ILC. Tak

by the values of the standard deviation of the reproducibility s_R ranging from 22% to 60 % (7).

In the case of determining the adhesion strength of the cementitious adhesive to the thermal insulation material - EPS board, the standard deviations of repeatability s , ranged from 8.3 % to 17.5 %, and the standard deviations of reproducibility s_R ranged from 17.8 % to 30.2 % in various measurements conditions. Also, in the case of determining the adhesion strength of the cementitious adhesive to the EPS board, the results prove that the test method is characterized by low precision.

Table 8 illustrates how individual laboratories performed about others. It shows which measurement series from individual laboratories participating in the ILC were included in the calculation of the test statistics and which were not.

When discussing the results obtained in this project, it is necessary to emphasize the large number of ILC participants, which significantly affects the possibility of obtaining reliable results (64). It is essential because, due to the small number of laboratories participating in the ILC and the small number of results, questions are often raised about the quality of the data obtained and the possibility of their rational use for assessing a construction product (65). The ILC results presented in this article are also crucial in developing detailed and consistent guidelines for testing and evaluating construction products (54). And here, a comment on the results obtained in PT/ILC is essential. Both in PT and ILC, participating laboratories focus on meeting the requirements set by accreditation bodies and, to a lesser extent, on proving that the quality of their services does not differ from that of other participants in these programs (35, 37, 40). The evaluation of the research method itself is secondary in PT/ILC programs (21, 38, 66).

Occasionally, conclusions are formulated in PT/ILC analyses regarding possible adjustments to research methods to reflect the practical realities of the operation of research laboratories (38, 67). As previously mentioned, most PTs/ILCs are performed in connection with accreditation requirements, which focus on assessing the results obtained using z-score analysis following the requirements of the EN ISO/IEC 17043 standard (30). However, achieving a result satisfactory by the laboratory, i.e., result $|z| \leq 2$, which does not trigger a warning signal following participation in PT/ILC, is also possible in the case of research methods characterized by significant values of the standard deviation of reproducibility (7, 21, 35, 37, 40).

w PT, jak i ILC uczestniczące w nich laboratoria koncentrują się na spełnieniu wymagań stawianych przez jednostki akredytacyjne i w mniejszym stopniu na udowodnieniu, że jakość ich usług nie odbiega od innych uczestników tych programów (35, 37, 40). Ocena samej metody badawczej jest wtórna w programach PT/ILC (21, 38, 66). Incydentalnie formułowane są w analizach PT/ILC wnioski dotyczące ewentualnej korekty metod badawczych tak aby odzwierciedlały one praktyczne realia działania laboratoriów badawczych (38, 67). Jak wcześniej już wspomniano większość PTs/ILCs wykonywanych jest w związku z wymogami akredytacyjnymi, które koncentrują się na ocenie uzyskanych wyników wykorzystując analizę z-score zgodnie z wymaganiami normy EN ISO/IEC 17043 (30). Jednak osiągnięcie wyniku satysfakcjonującego przez laboratorium tj. wyniku $|z| \leq 2$, który nie wywołuje sygnału ostrzegawczego w następstwie uczestnictwa w PT/ILC możliwe jest także w przypadku metod badawczych charakteryzujących się znacznymi wartościami odchylenia standardowego odtwarzalności (7, 21, 35, 37, 40).

Pomimo uwag sformuowanych powyżej walidacja metod badawczych jest jednak postrzegana jako problem w działalności laboratoriów. Mytych i Ligarski oceniając funkcjonowanie akredytowanego systemu zarządzania jakością w polskich laboratoriach badawczych przeprowadzili badania ankietowe. Spośród 1213 laboratoriów, do których w 2015 roku wysłano ankietę odpowiedzi udzieliło 328 jednostek i aż 16,67% z nich wskazało, że walidacja metod badawczych była problemem na etapie tworzenia systemu przed pierwszą akredytacją. Na etapie funkcjonowania systemu zarządzania jakością przeprowadzenie walidacji metod badawczych było problemem dla 6,28% respondentów (68).

5. Wnioski

Wyniki uzyskane podczas ILC oznaczenia przyczepności cementowej zaprawy klejącej do ETICS do podłoża betonowego i płyty EPS pozwalają sformułować następujące wnioski:

- w przypadku oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do podłoża betonowego większość laboratoriów wskazała model zniszczenia CRA, tj. zniszczenie kohezyjne w zaprawie klejącej;
- w przypadku oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do płyty EPS dominującym modelem zniszczenia w przypadku oznaczenia bez dodatkowego kondycjonowania oraz po kondycjonowaniu 2 dni w wodzie i po 7 dniach suszenia był model CRS, tj. zniszczenie kohezyjne w podłożu z materiału termoizolacyjnego;
- po kondycjonowaniu próbki zaprawy klejącej przyklejonej do płyty EPS przez 2 dni w wodzie oraz po 2 h suszenia większość laboratoriów wskazało model zniszczenia AR, tj. zniszczenie adhezyjne pomiędzy zaprawą a płytą EPS;
- w przypadku oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do podłoża betonowego zaobserwowano różnice wartości średniej ogólnej przyczepności w zależności od grubości warstwy zaprawy dla próbek bez dodatkowego kondycjonowania oraz

Despite the comments formulated above, the validation of research methods is perceived as a problem in the activities of laboratories. Mytych and Ligarski conducted a survey to assess the functioning of the accredited quality management system in Polish research laboratories. Of the 1,213 laboratories to which the survey was sent in 2015, 328 units responded. As many as 16.7 % indicated that the validation of research methods was a problem at the stage of creating the system before the first accreditation. At the stage of functioning of the quality management system, validating research methods was a problem for 6.3 % of respondents (68).

5. Conclusions

The results obtained during the ILC determination of the adhesion strength of the cementitious adhesive for ETICS to the concrete substrate and EPS board allow the following conclusions to be drawn:

- in the case of determining the adhesion strength of the adhesive to the concrete substrate, most laboratories indicated the CRA failure model, i.e., cohesive failure in the adhesive;
- in the case of determining the adhesion strength of the adhesive to the EPS board, the dominant failure model in the case of determination without additional conditioning and after conditioning for 2 days in water and after 7 days of drying was the CRS model, i.e., cohesive damage in the base of the thermal insulation material;
- after conditioning a sample of the adhesive-EPS board for two days in water and after 2 hours of drying, most laboratories indicated the AR failure model, i.e., adhesive failure between the adhesive and the EPS board;
- in the case of determining the adhesion strength of the adhesive to the concrete substrate, differences in the value of general mean of adhesion were observed depending on the thickness of the adhesive layer for samples without additional conditioning and samples immersed in water for two days and then dried for 7 hours;
- the most considerable differences in the general mean of adhesion depending on the thickness of the adhesive layer, amounting to 11.2 %, were recorded in the case of determining the adhesion strength of the adhesive to the concrete substrate without additional conditioning;
- lower values of the general mean of adhesion of the adhesive to the concrete substrate for a 3 mm layer thickness without additional conditioning result from the possibility of water deficit in a thinner layer compared to a thicker layer;
- the highest values of the general mean of adhesion were obtained for adhesive samples bonded to the concrete substrate after storing them in water for two days and then drying for seven days;
- in the case of determining the adhesion strength of the adhesive to the EPS board, there was no effect of the thickness of the adhesive layer on the value of the general mean, which is consistent with the fact that the dominant failure model

próbek zanurzonych 2 dni w wodzie i następnie suszonych przez 7 godzin;

- największe różnice średniej ogólnej przyczepności w zależności od grubości warstwy zaprawy wynoszące 11,2 % odnotowano w przypadku oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do podłoża betonowego bez dodatkowego kondycjonowania;
- niższe wartości średniej ogólnej przyczepności zaprawy do podłoża betonowego dla 3 mm grubości warstwy bez dodatkowego kondycjonowania wynikają z możliwości wystąpienia deficytu wody w cieńszej warstwie w porównaniu do warstwy o większej grubości;
- najwyższe wartości średniej ogólnej przyczepności uzyskano dla próbek zaprawy przyklejonej do podłoża betonowego po przechowywaniu ich 2 dni w wodzie i następnie suszeniu przez 7 dni;
- w przypadku oznaczenia przyczepności zaprawy do płyty EPS nie zanotowano wpływu grubości warstwy zaprawy na wartość średniej ogólnej, co jest spójne z tym, że zaobserwowanym dominującym modelem zniszczenia jest zniszczenie CRS, tj. zniszczenie kohezyjne w płycie EPS, wynikające z właściwości materiału termoizolacyjnego, tj. poziomu TR 100 wytrzymałości na rozciąganie prostopadłe do powierzchni pionowych;
- oznaczenie przyczepności zaprawy klejącej do podłoża z materiału termoizolacyjnego – płyty EPS charakteryzuje niższa zmienność niż w przypadku gdy podłożem jest płyta betonowa;
- największą zmienność zanotowano dla próbek przechowywanych przez 2 dni w wodzie i następnie suszonych 2 h, co wytłumaczyć można, m. in., największą niejednorodnością próbek zawierających wodę po krótkim 2 h czasie ich suszenia;
- w przypadku oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do podłoża betonowego zanotowano większe różnice pomiędzy wartościami odchylenia standardowego powtarzalności s_r i odchylenia standardowego odtwarzalności s_R dla dwóch różnych grubości warstw zaprawy klejącej niż w przypadku podłoża z materiału termoizolacyjnego – płyty EPS;
- wyznaczone wartości odchylenia standardowego powtarzalności s_r w zakresie od 9,73 % do 14,37 % i odchylenia standardowego odtwarzalności s_R w zakresie od 22,67 % do 44,36 % oznaczenia przyczepności cementowej zaprawy klejącej do podłoża betonowego w różnych warunkach przechowywania próbki do badań wskazują, że metoda ta ma małą dokładność i tym samym występuje wysokie prawdopodobieństwo błędnej oceny wyników, które powinno być rozważane zarówno przez producenta, laboratorium wykonujące pomiary oraz organy nadzoru rynku;
- wartości odchylenia standardowego powtarzalności s_r w zakresie od 8,29% do 17,50% i odchylenia standardowego odtwarzalności s_R w zakresie od 17,82% do 30,17% wyznaczone dla oznaczenia przyczepności zaprawy klejącej do płyty EPS w różnych warunkach przechowywania próbki do badań także dowodzą, że metodę charakteryzuje niska precyzja;
- uzyskane wyniki standardowego odchylenia powtarzalności i odtwarzalności pomiaru przyczepności cementowej zaprawy

observed is CRS destruction, i.e., cohesive failure in the EPS board, resulting from the properties of the thermal insulation material, i.e., TR 100 level of tensile strength perpendicular to the vertical surfaces;

- determination of the adhesion strength of the adhesive to the substrate made of thermal insulation material - EPS boards are characterized by lower variability than in the case when the substrate is a concrete slab;
- the most significant variability was observed for samples stored for two days in water and then dried for 2 hours, which can be explained, among others, by the most significant heterogeneity of samples containing water after a short drying time of 2 hours;
- in the case of determining the adhesion strength of the adhesive to the concrete substrate, more significant differences were observed between the values of the standard deviation of repeatability s_r and the standard deviation of reproducibility s_R for two different thicknesses of adhesive layers than in the case of a substrate made of thermal insulation material - EPS board;
- the determined values of the standard deviation of repeatability s_r in the range from 9.7 % to 14.4 % and the standard deviation of reproducibility s_R in the range from 22.7 % to 44.4 % of the determination of the adhesion strength of the cementitious adhesive to the concrete substrate in various storage conditions of the sample until studies indicate that this method is characterized by low accuracy and therefore there is a high probability of incorrect assessment of the results, which should be considered by both the manufacturer, the laboratory performing the measurements and the market surveillance authorities;
- values of the standard deviation of repeatability s_r in the range from 8.3 % to 17.5 % and the standard deviation of reproducibility s_R in the range from 17.8 % to 30.2 % determined for the adhesion strength of the adhesive to the EPS board in various storage conditions of the sample also shows that the method is characterized by low precision;
- the results of the standard deviation of repeatability and reproducibility of the measurement of adhesion strength of the cementitious adhesive for ETICS to the concrete substrate and EPS board indicate that the measurement uncertainty cannot be ignored by applying the simple acceptance rule.

Moreover, when discussing the results obtained in this project, it is also worth noting a general comment, i.e., the test is carried out on a sample of the product, in the case of tests commissioned by market surveillance authorities, the sample is taken from the market after various periods of storage in different conditions, and the results obtained for a sample, they refer to the entire batch of the product.

The obtained results of the standard deviation of repeatability s_r and the standard deviation of reproducibility s_R for determining the adhesion strength of the cementitious adhesive to a concrete substrate and EPS board, which is, importantly, a determination performed in a multi-stage testing process, were determined based on the results of 28-32 measurement series performed in seven-

klejącej do ETICS do podłoża betonowego i płyty EPS jednoznacznie wskazują, że nie można ignorować niepewności pomiaru stosując regułę prostej akceptacji.

Ponadto omawiając uzyskane w niniejszym projekcie wyniki warto też odnotować uwagę o charakterze ogólnym, tj.: badanie przeprowadza się na próbce wyrobu. W przypadku badań zleczanych przez organy nadzoru rynku próbka pobierana jest z rynku po różnym okresie jej przechowywania w różnych warunkach, zaś wyniki uzyskane dla próbki odnoszone są do całej partii wyrobu.

Uzyskane wyniki odchylenia standardowego powtarzalności s_p , i odchylenia standardowego odtwarzalności s_R oznaczenia przyczepności cementowej zaprawy klejącej do podłoża betonowego oraz płyty EPS, co istotne będącym oznaczeniem wykonywanym w wieloetapowym procesie badawczym, wyznaczono na podstawie wyników 28-32 serii pomiarowych wykonanych w siedemnastu laboratoriach. Tak znaczna ilość uczestników ILC zwiększa prawdopodobieństwo uzyskania wiarygodnych wyników.

Biorąc pod uwagę, że rzetelność to złożenie precyzyjności, dokładności i poprawności wykonywanych zadań, zaś w metodologii nauki to cecha oznaczająca powtarzalność pomiaru, a racjonalność to optymalny sposób dążenia do osiągnięcia założonego celu w świetle wyników uzyskanych w ILC oznaczenia przyczepności cementowej zaprawy klejącej stosowanej w ETICS do podłoża betonowego i płyty EPS wyniki uzyskane za pomocą tej metody badań nie zawsze pozwolą ocenić rzetelnie i racjonalnie badany wyrób.

References / Literatura

1. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM) 3rd edition, Sèvres, France. <https://doi.org/10.59161/JCGM200-2012> (2012).
2. D. W. Hubbard, How to measure anything: Finding the value of intangibles in business. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 3rd edition, ISBN 978-1-118-53927-9.
3. Joint Committee for Guides in Metrology, GUM Newsletter, News from JCGM-WG1 – December 2023. <https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/wg1/jcgm-wg1-gum/newsletters> (accessed 09.06.2024).
4. N. Kusnandar, H. Firdaus, I. Supono, B. Utomo, I. Kasiyanto, Q. Lailiyah, Bibliometric review of measurement uncertainty: Research classification and future tendencies. *Measurement* **232**, 114636 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114636>
5. H. Huang, Comparison of three approaches for computing measurement uncertainties. *Measurement* **163**, 107923 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107923>
6. F. Grégis, On the meaning of measurement uncertainty. *Measurement* **133**, 41-46 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.09.073>
7. E. Szewczak, Does standardisation ensure a reliable assessment of the performance of construction products? *Standards* **2**(3), 260-275 (2022). <https://doi.org/10.3390/standards2030019>
8. E. Szewczak, A. Winkler-Skalna, L. Czarnecki, Sustainable test methods for construction materials and elements. *Materials* **13**(3), 606 (2020). <https://doi.org/10.3390/ma13030606>

teen laboratories. Such a significant number of ILC participants increases the likelihood of obtaining reliable results.

Taking into account that reliability is a combination of precision, accuracy, and correctness of the tasks performed, and in scientific methodology, it is a feature meaning repeatability of measurement, and rationality is the optimal way to achieve the intended goal in the light of the results obtained in the ILC, determining the adhesion strength of the cementitious adhesive used in ETICS for concrete substrates and EPS boards, the results obtained using this test method will not always allow for a reliable and rational assessment of the tested product.

9. F. Pennechi, I. Kuselman, Probabilities of true and false decisions in conformity assessment of a finite sample of items. *Meas. Sci. Technol.* **35**(5), 056003 (2024). <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ad2439>
10. D. Božić, B. Runje, D. Lisjak, D. Kolar, Metrics related to confusion matrix as tools for conformity assessment decisions. *Appl. Sci.* **13**(14), 8187 (2023). <https://doi.org/10.3390/app13148187>
11. I. Kuselman, F. R. Pennechi, D. B. Hibbert, A. A. Semenova, A. A. Risks of false decisions on conformity of a sausage with a mass balance constraint. *J. Phys. Conf. Series* **2192**(1), 012021 (2022). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2192/1/012021>
12. H. Fu, Y. Cheng, Z. Wang, H. Li, X. Chen, J. Lyu, J. Misjudgement probability estimation of product inspection based on uncertainty. *J. Eng.* **23**, 9097-9100 (2019). <https://doi.org/10.1049/joe.2018.9193>
13. E. Szewczak, Ryzyko związane z niepewnością wyników badań i oceną zgodności wyrobów budowlanych. *Materiały Budowlane* **10**, 73-75 (2011).
14. W. Hinrichs, The impact of measurement uncertainty on the producer's and user's risks, on classification and conformity assessment: an example based on tests on some construction products. *Accred. Qual. Assur.* **15**, 289-296 (2010). <https://doi.org/10.1007/s00769-009-0619-3>
15. G. B. Rossi, F. Crenna, A probabilistic approach to measurement-based decisions. *Measurement* **39**, 101-119 (2006). <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2005.10.011>
16. N. Milinković, S. Jovičić, S. Ignjatović, Measurement uncertainty as a universal concept: can it be universally applicable in routine laboratory practice? *Crit. Rev. Clin. Lab. Sci.* **58**(2), 101-112 (2021). <https://doi.org/10.1080/10408363.2020.1784838>
17. K. Shirono, H. Tanaka, M. Koike, Economic optimization of acceptance interval in conformity assessment: 1. Process with no systematic effect. *Metrologia* **59**(4), 045005 (2022). <https://doi.org/10.1088/1681-7575/ac6fa1>
18. K. Shirono, H. Tanaka, M. Koike, Economic optimization of acceptance interval in conformity assessment: 2. Process with unknown systematic effect. *Metrologia* **59**(4), 045006 (2022). <https://doi.org/10.1088/1681-7575/ac6fa2>
19. T. Banyai, Economic aspects of decision making in production processes with uncertain component quality. *Eng. Econ.* **30**(1), 4-13 (2019). <https://doi.org/10.5755/j01.ee.30.1.19324>
20. W. Hinrichs, Product-specific adaption of conformity assessment criteria and their financial consequences. *Prod. Eng.* **5**(5), 549-556 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11740-011-0329-7>
21. J. Michalak, Standards and assessment of construction products: Case study of ceramic tile adhesives. *Standards* **2**(2), 184-193 (2022). <https://doi.org/10.3390/standards2020013>
22. M. Kulesza, M. Łukasik, B. Michałowski, J. Michalak, Risk related to the assessment and verification of the constancy of performance of construction products. Analysis of the results of the tests of cementitious adhesives for ceramic tiles commissioned by Polish construction supervision authorities in 2016-2020. *Cem. Wapno Beton* **25**(6), 444-456 (2020). <https://doi.org/10.32047/CWB.2020.25.6.2>
23. M. Łukasik, B. Michałowski, J. Michalak, Assessment of the constancy of performance of cementitious adhesives for ceramic tiles: Analysis of the test results commissioned by Polish market surveillance authorities. *Appl. Sci.* **10**(18), 6561 (2020). <https://doi.org/10.3390/app10186561>
24. European Committee for Standardization (CEN), EN ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Brussels, Belgium, (2017).
25. European Committee for Standardization (CEN), EN ISO 10012:2003 Measurement management systems - Requirements for measurement processes and measuring equipment. Brussels, Belgium, (2003).
26. F. de Medeiros Albano, C.S. ten Caten, Analysis of the relationships between proficiency testing, validation of methods and estimation of measurement uncertainty: a qualitative study with experts. *Accredit. Qual. Assur.* **21**, 161-166 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00769-016-1194-z>
27. F. de Medeiros Albano, C.S. ten Caten, Proficiency tests for laboratories: a systematic review. *Accredit. Qual. Assur.* **19**(4), 245-257 (2014). <https://doi.org/10.1007/s00769-014-1061-8>
28. W. G. Miller, The role of proficiency testing in achieving standardization and harmonization between laboratories. *Clin. Biochem.* **42**(4-5), 232-235 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2008.09.004>
29. European Committee for Standardization (CEN). EN ISO/IEC 17011:2017 Conformity assessment – Requirements for accreditation bodies accrediting conformity assessments bodies. Brussels, Belgium, (2017).
30. European Committee for Standardization (CEN). EN ISO/IEC 17043:2010 Conformity assessment – General requirements for proficiency testing. Brussels, Belgium, (2010).
31. H. Huang, A new method for estimating consensus values in interlaboratory comparisons. *Metrologia* **55**(1), 106 (2018). <https://doi.org/10.1088/1681-7575/aaa170>
32. M. Koch, B. Magnusson, Use of characteristic functions derived from proficiency testing data to evaluate measurement uncertainties. *Accredit. Qual. Assur.* **17**(4), 399-403 (2012). <https://doi.org/10.1007/s00769-012-0880-8>
33. I. Côté, P. Robouch, B. Robouch, D. Bisson, P. Gamache, A. LeBlanc, P. Dumas, M. Pedneault, Determination of the standard deviation for proficiency assessment from past participant's performances. *Accredit. Qual. Assur.* **17**(4), 389-393 (2012). <https://doi.org/10.1007/s00769-012-0906-2>
34. I. R. B. Olivares, G. B. de Souza, A. R. de Araujo Nogueira, V. H. P. Paccos, P. A. Grizotto, P. S. da Silva Gomes Lima, R. M. Bontempi, Trends in the development of proficiency testing for chemical analysis: focus on food and environmental matrices. *Accredit. Qual. Assur.* **27**(2), 55-83 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00769-021-01487-3>
35. C. Stancu, D. Dębski, J. Michalak, Construction products between testing laboratory and market surveillance: Case study of cementitious ceramic tile adhesives. *Materials* **15**(17), 6167 (2022). <https://doi.org/10.3390/ma15176167>
36. T-D. Jeong, E-J. Cho, K. Lee, W. Lee, Y-M. Yun, S. Chun, J. Song, W-K. Min, Recent trends in creatinine assays in Korea: Long-term accuracy-based proficiency testing survey data by the Korean association of external quality assessment service (2011–2019). *Ann. Lab. Med.* **41**(4), 372-379 (2021). <https://doi.org/10.3343/alm.2021.41.4.372>
37. C. Stancu, J. Michalak, Interlaboratory comparison as a source of information for the product evaluation process. Case Study of Ceramic Tiles Adhesives. *Materials* **15**(1), 253 (2021). <https://doi.org/10.3390/ma15010253>
38. J. Michalak, The risk of a different assessment of the performance of cementitious ceramic tile adhesives in the light of the results of interlaboratory comparisons - analysis of the relationship between the participants of the conformity assessment process of construction products. *Cem. Wapno Beton* **27**(6), 372-385 (2022). <https://doi.org/10.32047/CWB.2022.27.6.1>
39. H. L. Stang, N. L. Anderson, Use of proficiency testing as a tool to improve quality in microbiology laboratories. *Clin. Microb. News.* **35**(18), 145-152 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.clinmicnews.2013.08.007>
40. C. Stancu, D. Dębski, J. Michalak, Assessment of the possibility of using the measurement of open time to assess and verify the constancy of performance of cementitious ceramic tile adhesives. *Cem. Wapno Beton* **27**(4), 246-254 (2022). <https://doi.org/10.32047/CWB.2022.27.4.1>

41. J. Michalak, R. Ziomek, Assessment of cementitious ceramic tile adhesives in the light of repeatability and reproducibility of the tensile adhesion strength measurements. *Materials* **16**(12), 4245 (2023). <https://doi.org/10.3390/ma16124245>
42. <https://blog.scopus.com/posts/scopus-now-includes-90-million-content-records> (accessed 21.06.2024).
43. G. H. Volden, M. Welde, A. Engebø, B. S. Andersen, Do nothing, do minimum or do something? Why public project appraisals “always” recommend large projects, *IJMPB* **17**(3), 430-454 (2024). <https://doi.org/10.1108/IJMPB-11-2023-0251>
44. K. Samset, G. H. Volden, Front-end definition of projects: Ten paradoxes and some reflections regarding project management and project governance. *IJMPB* **34**(2), 297-313 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.01.014>
45. European Commission, Review of the Construction Products Regulation (CPR) – Survey on the Option Paper, April-August 2020 – results. Brussels, Belgium, (2020). <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/43103> (accessed 23.06.2024).
46. J. Michalak, Environmental Assessment of Construction Products–Challenges, Priorities, and Needs from Producers’ Perspective. A Review. *Cem. Wapno Beton* **29**(1), 16-39 (2024). <https://doi.org/10.32047/CWB.2024.29.1.2>
47. <https://www.pca.gov.pl/akredytacja/badania-bieglosci/dostepne-programy/> (accessed 26.07.2024).
48. European Committee for Standardization (CEN), EN 13163:2012+A1:2015 Thermal insulation products for buildings – Factory made expanded polystyrene (EPS) products - Specification. Brussels, Belgium, (2015).
49. European Organisation for Technical Approvals (EOTA), EAD 040083-00-0404 External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Renderings. Brussels, Belgium, (2019).
50. Polski Komitet Normalizacyjny (PKN), PN-ISO 5275-2:2002 Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych i wyników pomiarów - Część 2: Podstawowa metoda określania powtarzalności i odtwarzalności standardowej metody pomiarowej. Warsaw, Poland, (2002).
51. J. Schulze, F. Jodlbauer, K. Adler, Polymer modified mortars for the renovation and rehabilitation of concrete structures. Proceedings of the IXth International Congress on Polymers in Concrete, Bologna, Italy, 15–18 September 1998.
52. J. Michalak, Ceramic tile adhesives from the producer’s perspective: A literature review. *Ceramics* **4**(3), 378-390 (2021). <https://doi.org/10.3390/ceramics4030027>
53. M. Faatz, A. Ehmann, Influence of the concrete block on the tile adhesive strength measured according to EN 12004. *Standards* **3**(2), 169-176 (2023). <https://doi.org/10.3390/standards3020013>
54. E. Szewczak, A. Piekarczyk, Performance evaluation of the construction products as a research challenge. Small error–big difference in assessment? *Bull. Polish Acad. Sci. Techn. Sci.* **64**(4), 675-686 (2016). <https://doi.org/10.1515/bpasts-2016-0077>
55. K. Schabowicz, Non-destructive testing of materials in civil engineering. *Materials* **12**(19), 3237 (2019). <https://doi.org/10.3390/ma12193237>
56. J. Salustio, S. M. Torres, A. C. Melo, Â. J. C. Silva A. C. Azevedo, J. C. Tavares, M. S. Leal, J. M. Delgado. Mortar bond strength: a brief literature review, tests for analysis, new research needs and initial experiments. *Materials* **15**, 2332 (2022). <https://doi.org/10.3390/ma15062332>
57. J-H. Lee, B-S. Kim, K-H. Oh, B. Jiang, X. He, B-I. Kim, B-S. Oh, Adhesion strength change analysis based on the application surface area ratio of spot-bonded tiles on vertical walls of high humidity facilities. *Appl. Sci.* **11**(12), 5357 (2021). <https://doi.org/10.3390/app11125357>
58. J. Souza, A. Silva, J. de Brito, E. Bauer, Application of a graphical method to predict the service life of adhesive ceramic external wall claddings in the city of Brasília, Brazil. *J. Build. Eng.* **19**, 1-13 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.013>
59. P. Liška, B. Nečasová, J. Šlanhof. Influence of technological procedures on mechanical properties of bonded joint. *J. Adhes. Sci.* **6**(1), 1-20 (2018). <https://doi.org/10.1186/s40563-018-0114-3>
60. T. Lourenço, L. Matias, P. Faria, Anomalies detection in adhesive wall tiling systems by infrared thermography. *Constr. Build. Mater.* **148**, 419-428 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.052>
61. A. C. Lopes, I. Flores-Colen, L. Silva, Variability of the pull-off technique for adhesion strength evaluation on ceramic tile claddings. *J. Adhes.* **91**(10-11), 768-791 (2015). <https://doi.org/10.1080/00218464.2014.999366>
62. N. M. M. Ramos, M. L. Simões, J. M. P. Q. Delgado, V. P. de Freitas, Reliability of the pull-off test for in situ evaluation of adhesion strength. *Constr. Build. Mater.* **31**, 86-93 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.097>
63. Y. Bai, P. A. M. Basheer, D. J. Cleland, A. E. Long, State-of-the-art applications of the pull-off test in civil engineering. *Int. J. Struct. Eng.* **1**(1), 93-103 (2009). <https://doi.org/10.1504/IJStructE.2009.030028>
64. S. Stoudt, A. Pintar, A. Possolo, Uncertainty evaluations from small datasets. *Metrologia* **58**(1), 015014 (2021). <https://doi.org/10.1088/1681-7575/abd372>
65. E. Szewczak, A. Bondarzewski, Is the assessment of interlaboratory comparison results for a small number of tests and limited number of participants reliable and rational? *Accredit. Qual. Assur.* **21**, 91-100 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00769-016-1195-y>
66. C. Stancu, The importance of laboratories’ participation in the interlaboratory comparison. Case study: interlaboratory tests on adhesives for ceramic tiles. *Rev. Romana Mater.* **52**(1), 3-7 (2022).
67. C. Stancu, A. Vijan, Ensuring the validity of the results by participating in ILC schemes—Case study: The determination of the water-soluble chromium (VI) content of cement. *Standards* **2**(2), 202-208 (2022). <https://doi.org/10.3390/standards2020015>
68. J. Mytych, M. Ligarski, Ocena funkcjonowania akredytowanego systemu zarządzania jakością w laboratorium badawczym—wyniki badań ankietowych. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji* **2**(14), 258-269 (2016).