

Badanie wpływu uszkodzeń powstałych w badaniu wytrzymałości na zginanie na wytrzymałość na ściskanie materiałów budowlanych

Investigation of the effect of flexural strength test damage on compressive strength of construction materials

Alkan Hafçı^{1,*}

¹Construction Materials Laboratory, Turkish Standard Institution, Ankara, Turkey

ORCID: 0000-0003-3442-7574

*Corresponding author: A. Hafçı, e-mail: ahafci@tse.org.tr

Streszczenie

Beton, czyli główny materiał sektora budowlanego, był przedmiotem wielu badań naukowych przez dziesięciolecia. W wyniku tych badań uzyskano nowe informacje naukowe na temat słabych punktów materiałów cementowych, szczególnie betonu, ich zachowania pod obciążeniem itp. W świetle tych informacji zaleca się, aby niektóre metody badawcze określone w normach międzynarodowych zostały zrewidowane. W niniejszym badaniu zbadano wpływ uszkodzeń spowodowanych przez badanie wytrzymałości na zginanie przeprowadzane na próbkach przygotowanych z beleczek z zaprawy o wymiarach 160 mm x 40 mm x 40 mm w ramach norm EN 13813, EN 13888, EN 13279-1, EN 197-1, TS 13566 i TS 13687, na wyniki badania wytrzymałości na ściskanie przeprowadzonego na złamanych próbkach. W końcowej analizie zaproponowano pewne sugestie dotyczące ulepszenia metody badawczej.

Słowa kluczowe: wytrzymałość na zginanie, wytrzymałość na ściskanie, beleczki zapraw, mikropęknięcia

Summary

Concrete, the principal material of the construction sector, has been the subject of many scientific researches for decades. As a result of these investigations, new scientific information has been obtained on the weak points of cement-based products, especially concrete, their behaviour under load, etc. In light of this information, it is recommended that some test methods specified in international standards be revised. In this study, the effect of damage caused by flexural strength test performed on samples prepared with mortar prisms, of dimensions 160 mm x 40 mm x 40 mm within the scope of EN 13813, EN 13888, EN 13279-1, EN 197-1, TS 13566 and TS 13687 standards, on the results of compressive strength test performed on the broken samples was investigated. In the final analysis, some improvement suggestions have been made in the test methods in question.

Keywords: flexural strength, compressive strength, mortar prisms, micro-cracks

1. Wprowadzenie

Normalizacja polega na ustaleniu minimalnej jakości produktu lub usługi zgodnie z ustalonymi zasadami i kryteriami. Dzięki normalizacji zapobiega się produkcji poniżej tego limitu, chroniąc życie i majątek konsumenta oraz tworząc niezawodne środowisko rynkowe (19).

Wraz z rozwojem technologii i globalizacją, produkty i usługi oferowane na rynku mogą być teraz poszukiwane nawet w najdalszych zakątkach świata, poza miejscami, w których są produkowane.

1. Introduction

Standardisation is to establish the minimum value of the quality of a product or service according to established rules and criteria. Thanks to standardisation, production below this limit is prevented, protecting the life and property of the consumer and creating a reliable market environment (19).

With the development of technology and globalisation, the products and services offered to the market can now be in demand even in the farthest corners of the world, beyond the places where they are

Z tego powodu bardzo ważne jest, aby produkty i usługi były wysokiej jakości, niezawodne i ekonomiczne, a te, które spełniają te kryteria, są poszukiwane. Jedynym sposobem na zapewnienie i monitorowanie jakości i niezawodności produktów i usług jest zgodność z normami akceptowanymi na arenie międzynarodowej. Ta sytuacja spowodowała, że badania nad normalizacją zyskały dużą wagę.

Zgodność z normą to sytuacja, w której produkt lub usługa spełnia kryteria określone w danej normie, w wyniku pomiarów i/lub testów. Te pomiary i testy są przeprowadzane zgodnie z metodami określonymi w normach (14).

Wytrzymałość na zginanie jest kluczowa dla zachowania się betonu podczas ugięcia i pęknięć (1,10). Zachowanie betonu pod naprężeniem rozciągającym jest krytyczną wartością dla ważnych konstrukcji, takich jak mosty o dużej rozpiętości, tamy, reaktory jądrowe itp. (13). Rzeczywiście, badania wykazały, że najważniejszą rolę w pękaniu i łamaniu betonu odgrywa naprężenie rozciągające, które występuje w betonie pod obciążeniem. Beton nie jest w stanie oprzeć się siłom rozciągającym i ulega pęknięciu pod obciążeniem ze względu na swoją bardzo kruchą naturę. Te pęknięcia propagują, łączą się i powodują awarię. Ponadto porowata mikrostruktura betonu odgrywa ważną rolę w wytrzymałości betonu, elastyczności, skurczu i trwałości. Obciążenia zewnętrzne powodują mikropęknięcia, które zwiększają ogólną porowatość. Podczas gdy ta okoliczność powoduje negatywne skutki dla właściwości mechanicznych betonu na poziomie makro, powoduje również degenerację i mikrouszkodzenia w mikrostrukturze betonu (12,21). Badania wykazały, że istnieje podobne napięcie i mechanizm między zaprawą a kruszywem w betonie, czy to pod naprężeniem ściskającym, czy rozciągającym (8).

Inne badanie dotyczące zmęczenia betonu pod cyklicznym obciążeniem wykazało silną korelację między badaniami zmęczenia na zginanie i ściskanie (9). Ponadto zauważono, że właściwości ściskania i zmęczenia ściskającego są bardzo podobne (2,11). Ten sam mechanizm jest stosowany w badaniach obciążenia jednoosiowego i dwuosiowego (15,20).

Jednym normowych kryteriów dla cementu, tynków, materiałów do spoinowania, wylewek i niektórych zapraw, które mieszczą się w zakresie norm EN 13813, EN 13888, EN 13279-1, TS 13566 [krajowa norma przygotowana przez Turecki Instytut Normalizacyjny TSE: określa wymagane właściwości fizyczne dla cementowych klejów do płyt izolacyjnych, obejmuje pobieranie próbek, inspekcję i testowanie w celu określenia właściwości oraz sposobu wprowadzania na rynek], TS 13687 [krajowa norma przygotowana przez Turecki Instytut Normalizacyjny TSE: obejmuje wymagane właściwości fizyczne dla cementowych tynków stosowanych na płytach izolacyjnych; pobieranie próbek, inspekcję i metody testowania w celu określenia tych właściwości oraz wprowadzanie na rynek] i normy EN 197-1, jest wartość wytrzymałości na ściskanie. Wartość ta jest oznaczana jako wynik badania wytrzymałości na zginanie przeprowadzonego na próbkach w postaci beleczek o wymiarach 40 mm x 40 mm x 160 mm, zgodnie z metodami

produced. For this reason, it is of great importance that products and services are of high quality, reliable and economical, and those that meet these criteria are in demand. The only way to ensure and monitor the quality and reliability of products and services is compliance with internationally accepted standards. This situation has caused standardisation studies to gain great importance.

Compliance with the standard is the situation where a product or service meets the criteria specified in the standard to which it belongs, as a result of measurements and/or tests. These measurements and tests are carried out according to the methods specified in the standards (14).

The flexural strength is crucial for the deflection and cracking behaviour of concrete (1,10). The behaviour of concrete in tensile stress is a critical value for important structures such as long-span bridges, dams, nuclear reactors etc. (13). In fact, the studies have shown that the most important role in cracking and breaking of concrete is the tensile stress that occurs in the concrete under load. Concrete cannot withstand tensile forces and causes cracks under load due to its very brittle nature. These cracks grow, merge, and cause failure. Moreover, the porous microstructure of concrete plays an important role in concrete strength, elasticity, shrinkage, and durability. External loads cause microcracks that increase the overall porosity. Although this occasion causes negative effects on the mechanical properties of the concrete at the macro level, it causes degenerations and micro-damages in the internal microstructure of the concrete (12,21). Studies have shown that there is a similar tension and mechanism between the mortar and aggregate in the concrete, whether under compressive or tensile stress (8).

Another study on concrete fatigue under cyclic loading have determined a strong correlation between flexural and compression fatigue tests (9). Furthermore, it has been observed that the compression and compressive fatigue properties are very similar (2,11). The same mechanism is applicable in uniaxial and biaxial loading tests (15,20).

One of the standard criteria for cement, plaster, joint filling material, screed, and some mortars, which are within the scope of EN 13813, EN 13888, EN 13279-1, TS 13566 [a national standard prepared by Turkish Standard Institute TSE and specifies the physical properties required for cement-based adhesives for thermal insulation boards and it covers sampling, inspection and testing for the determination of properties and the way it is placed on the market], TS 13687 [a national standard prepared by Turkish Standard Institute TSE and covers the physical properties required for cement-based plasters applied on thermal insulation board; sampling, inspection and test methods for the determination of this properties and placing on the market] and EN 197-1 standards, is the compressive strength value. This value is reached as a result of the bending strength test applied to 40 mm x 40 mm x 160 mm rectangular prism samples, in line with the methods specified in the standards, and as a result of the compressive strength test performed on the sample parts that are broken and damaged by being exposed to load. The compressive strength test is the only

określonymi w normach, oraz w wyniku badania wytrzymałości na ściskanie przeprowadzonego na częściach próbek, które zostały złamane i uszkodzone przez narażenie na obciążenie. Badanie wytrzymałości na ściskanie jest jedynym testem wykonywanym na uszkodzonej próbce spośród badań wykonywanych na materiałach budowlanych. Norma EN 196-1 opisuje aparaturę do stosowania w badaniach zginania: "Jeśli ma być mierzona tylko wytrzymałość na ściskanie, próbki należy podzielić na dwie części różnymi metodami, bez narażania każdej części na szkodliwe naprężenia." Jednakże, jeśli mają być badane zarówno wartości wytrzymałości na zginanie, jak i na ściskanie, używa się próbek narażonych na szkodliwe naprężenia.

Ze względu na to, że większość wspomnianych materiałów nie jest używana jako materiały systemów nośnych, ich wytrzymałość na zginanie i ściskanie nie była brana pod uwagę i nie przeprowadzano na nich wcześniej badań. Jednakże te kryteria są bardzo ważne, ponieważ określają, czy produkt spełnia wymagania. Ta sytuacja określa eksport produktu, jego sprzedaż na rynku krajowym, oraz jego los. Producent produktu, który nie spełnia wymagań, nie będzie mógł otrzymać zwrotu za inwestycje, które poczynił, aby wyprodukować produkt.

2. Materiały

W pracy dokonano badań porównawczych na wielu rodzajach produktów w ramach pięciu różnych regulacji normowych. Zaprawa cementowa zgodna z EN 197-1 została poddana badaniu porównawczemu w celach kontrolnych, ponieważ nie zawiera żadnych dodatków poza cementem i piaskiem.

Pierwszym z badanych materiałów był podkład cementowy zgodny z normą EN 13813, używany do wyrównywania lub celów specjalnych, zawierający kalcyt, piasek kwarcowy i kruszywa o różnym uziarnieniu.

Materiały zwane zaprawami do spoinowania w normie EN 13888 to cementowe materiały wiążące zawierające dodatki nieorganiczne i organiczne oraz kruszywa.

Kolejny materiał to zaprawa z cementu, o wysokiej przyczepności, zawierająca włókna, używana do przyklejania płyt izolacyjnych do wnętrza i na zewnątrz budynku [TS 13566]. Kolejny to zaprawa cementowa, zawierająca włókna, stosowana na płytach izolacyjnych [TS 13687], zaprojektowana do ochrony płyt izolacyjnych przed mechanicznymi i atmosferycznymi wpływami, które mogą pochodzić z zewnątrz lub wewnątrz.

Jedynym materiałem, bez cementu badanym w niniejszej pracy jest spoiwo gipsowe zgodne z normą EN 13279-1. Wymagania dotyczące wytrzymałości na zginanie i ściskanie czterech rodzajów spoiwa gipsowego: B4/20, B4/50, B5, C6 powszechnie używanych w Turcji są dostępne w powiązanej normie. W tych gipsach mogą być używane dodatki chemiczne i mineralne, takie jak wypełniacze, włókna, pigmenty, wapno budowlane, środki opóźniające wiązanie, napowietrzacze, materiały hydroizolacyjne i plastyfikatory. Jako

test performed on a damaged sample when examining the tests performed on building materials. The EN 196-1 standard describes the apparatus to be used for bending tests: "If only compressive strength is to be measured, the samples should be divided into two using different methods, without each part being subjected to harmful stresses". However, if both bending and compressive strength values are taken, samples exposed to harmful stresses are used.

Since most of the materials mentioned are not used as carrier system materials, their bending and compressive strengths have not been taken into consideration and no research has been done on them before. However, these criteria are of great importance, as they determine whether the product complies with the standard. This situation determines the export of a product, its sale in the domestic market, or rather its fate. The manufacturer of a product that does not comply with the standards will not be able to receive returns for the investments he made to produce the product.

2. Materials

In this experimental study, comparative experiments were applied to many types of products within the scope of five different standards. The cement-based material that meets the EN 197-1 standard was put in the comparative test for control purposes, since it does not contain any additives other than cement and sand in the sample prepared for the test.

The first of the materials tested is cement-based screed material, covered by the EN 13813 standard, used for levelling or special purposes and containing calcite, silica sand, and aggregates of various fineness.

The materials called grouting in the EN 13888 standard are cement-based binding materials containing inorganic and organic additives and aggregates.

Next material is cement-based, high-adhesion, fibre-containing mortar used to adhere thermal insulation boards to the interior and exterior of the building [TS 13566]. The other is a cement-based, fibre-containing mortar type applied on the thermal insulation board [TS 13687] designed to protect the thermal insulation board against mechanical and atmospheric effects that may come from outside or inside.

The only non-cement-based material investigated in this study is gypsum types within the scope of EN 13279-1. The requirements for flexural and compressive strength values of four types of gypsum: B4/20, B4/50, B5, C6 commonly used in Turkey are available in the related standard. Chemical and mineral additives, such as fillers, fibres, pigments, building limes, setting retarders, air entrainers, water stops, and plasticisers, can be used in these gypsums, according to the manufacturer's request. As aggregate, synthetic, natural, or recycled materials can be used as long as they do not pose a problem for use in buildings.

kruszywo mogą być używane materiały syntetyczne, naturalne lub z recyklingu, o ile ich użytkowanie nie jest problemem w danym budynku.

3. Metody

Zgodnie z metodą testową odpowiednich norm, próbki o wymiarach 40 mm x 40 mm x 160 mm poddawane są obciążeniu do momentu rozdzielenia się na dwie części w trójpunktowym teście zginania. Badania przeprowadzono na losowo wybranych próbkach z rynku na typach produktów objętych normami EN 13813, EN 13888, EN 13279-1, TS 13566 i TS 13687, dla których badanie wytrzymałości na ściskanie wykonano po zbadaniu wytrzymałości na zginanie. Dla każdego produktu przygotowano łącznie sześć beleczek składających się z dwóch form, z których trzy badano pod kątem wytrzymałości na zginanie, jak określono w metodzie, a następnie przeprowadzono test wytrzymałości na ściskanie (rysunek 1a-b). Pozostałe trzy beleczki były bezpośrednio badane pod kątem wytrzymałości na ściskanie bez przeprowadzania testu wytrzymałości na zginanie (rysunek 1c-d), a wyniki były oceniane dla każdego produktu osobno.

W celu zminimalizowania niejednorodności materiału, która może wystąpić w badaniu i która jest największym problemem w tym badaniu, każda grupa sześciu beleczek była mieszana i przygotowywana z jednej porcji mieszanki. Jako materiał kontrolny, badano zachowanie zaprawy składającej się tylko z piasku i cementu CEM I 42.5 zgodnie z EN 197-1 bez żadnych dodatków.

Przygotowano po 6 beleczek z 36 różnych produktów, więc łącznie przetestowano w tym badaniu 216 beleczek.

Zgodnie z normą EN 13813, przeprowadzono porównawcze badania na 7 różnych typach produktów cementowych i 1 podkładzie podłogowym z siarczanu wapnia [CA], a wyniki uzyskane dla każdego typu produktu podano w oddzielnych tablicach. Podkłady podłogowe oznaczono jako „SM”. Wyniki znajdują się pod nagłówkiem „Wyniki badania próbek podkładów podłogowych” w tablicy 1.

Zgodnie z normą EN 13888, zbadano łącznie 10 różnych grup produktów, z czego 4 po cyklach zamrażania-odmrażania. Do ma-

3. Methods

According to the test method of the relevant standards, the sample of dimension 40 mm x 40 mm x 160 mm was subjected to a load until it splits into two pieces with a three-point flexural test. The tests were carried out on randomly selected samples from the market on the types of products covered by the EN 13813, EN 13888, EN 13279-1, TS 13566 and TS 13687 standards and for which the compressive strength test was performed after flexural loading. A total of six prisms consisting of two moulds were prepared for each product, three of which were tested for flexural strength as specified in the method, followed by a compressive strength test [Figs. 1a-b]. The other three prisms were tested directly for compressive strength without performing the flexural strength test [Figs. 1c-d], and the results for each product among themselves.

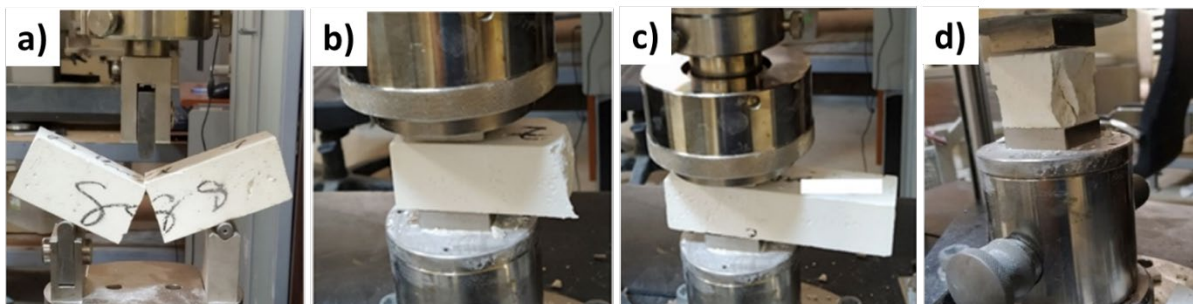
To minimise the heterogeneity of the products, which can be encountered in the experiments and which is the biggest problem of the products in this study, each six prism groups prepared were mixed and prepared at once. As a control process, the behaviour of a material consisting of only sand and cement without additives was tested with CEM I 42.5 cement complying EN 197-1.

Six prisms were prepared from 36 different products, so total of 216 mortar prisms were tested in this study.

According to EN 13813, comparative tests were applied to 7 different types of cementitious materials and 1 type of calcium sulphate screed material products and the results obtained for each type of product are given in separate tables. Screed materials are coded as “SM”. The results are under the heading “Experiment results of screed group” in Table 1

According to EN 13888, a total of 10 different product groups were tested, 4 of which were after the freeze-thaw cycle. “GR” coding is used for grouting materials. The results obtained are given in Table 2 “Experiment Results of the Grouting Group”.

According to EN 13279-1, a total of 11 sample groups consisting of 4 different types were tested. More tests have been carried out in this product group, as gypsum is a very low-strength product. Gypsums are coded as “GP”. The results are given in Table 3, “Experiment Results of Gypsum Group”.



Rys. 1. (a) Próbką zaczynu po badaniu wytrzymałości na zginanie, (b) Badanie wytrzymałości na ściskanie wykonane po obciążeniu zginającym (c) Bezpośrednie badanie wytrzymałości na ściskanie w stanie początkowym (d) Drugie badanie wytrzymałości na ściskanie na drugim końcu próbki

Fig. 1. (a) A grouting sample after flexural loading, (b) Compressive strength test performed after flexural loading (c) Direct compressive stress in the initial state (d) Second compressive strength test at the other end of the sample

teriałów do spoinowania użyto oznaczenia „GR”. Uzyskane wyniki podano w tablicy 2 „Wyniki badań materiałów do spoinowania”.

Zgodnie z normą EN 13279-1, przetestowano łącznie 11 grup próbek z 4 różnych typów. Przeprowadzono więcej testów w tej grupie produktów, ponieważ gipsy są produktami o bardzo niskiej wytrzymałości. Gipsy zostały oznaczone jako „GP”. Wyniki podano w tablicy 3, „Wyniki badań spoiw gipsowych”.

Zgodnie z normą TS 13687, przetestowano 3 grupy produktów. Ze względu na to, że dodatek włókien w tego typu produktach jest duży, uważa się, że prawdopodobieństwo rozprzestrzenienia się uszkodzeń, które mogą wystąpić w próbce w wyniku badań, jest bardzo niskie. Próbki te oznaczono jako „BP”. Wyniki pokazano w tablicy 4, „Wyniki badań materiałów do tynkowania płyt termoizolacyjnych”.

Produkty objęte normą TS 13566 to ogólnie produkty włókniste, podobnie jak produkty objęte normą TS 13687. Przetestowano 3 grupy próbek. Próbki oznaczono jako „BA”. Uzyskane wyniki są zestawione w tablicy 5 pod nagłówkiem „Wyniki badań klejów do płyt termoizolacyjnych”

Zaprawę cementową zgodną z EN 197-1 składającą się z cementu, kruszywa i wody przebadano w celach kontrolnych. Próbki te oznaczono jako „CM”. Wyniki pokazano w tablicy 6, „Wyniki badania zaprawy cementowej”.

4. Wyniki i omówienie

Wyniki doświadczalne pokazane na rys. 2 dostarczają ważnych informacji o spójności wyników testu wytrzymałości na ściskanie wykonanego na uszkodzonej próbce po teście zginania używanym jako metoda przez 6 różnych norm. Dzięki wykonanej pracy można również sprawdzić, jak bardzo uszkodzenie próbki może wpłynąć na wyniki i możliwość uzyskania błędnego wyniku.

Wyniki pokazują również, że badania wytrzymałości na ściskanie wykonane na uszkodzonej próbce mają większe odchylenia standardowe niż te wykonane na nieuszkodzonych próbkach. Ta różnica między odchyleniami standardowymi jest istotna dla 34 z 36 różnych grup próbek, jak wyraźnie widać na rys. 3. Jest to wskazanie, że sposób badania wytrzymałości na zginanie ma wpływ na próbkę.

Różnice między wynikami badania wytrzymałości na ściskanie dla próbek wcześniej badanych na wytrzymałość na zginanie jest duża. W przypadku próbek niepoddanych uprzedniemu badaniu wytrzymałości na zginanie, wyniki badania wytrzymałości na ściskanie są bardziej zbieżne. Jest to bardzo ważne dla wiarygodności wyników. Podczas gdy beton jest sam w sobie produktem heterogenicznym i istnieje wiele czynników, które mogą wpłynąć na wartości wytrzymałości, to za sprawą wcześniejszego badania

According to TS 13687, 3 groups of products were tested. Since the dosage of fibres in this type of products is high, the probability of the damage that may occur as a result of the tests spreading within the sample is very low. The samples are coded as “BP”. The results are given in Table 4 “Experiment Results of the Thermal Insulation Board Plaster Group”.

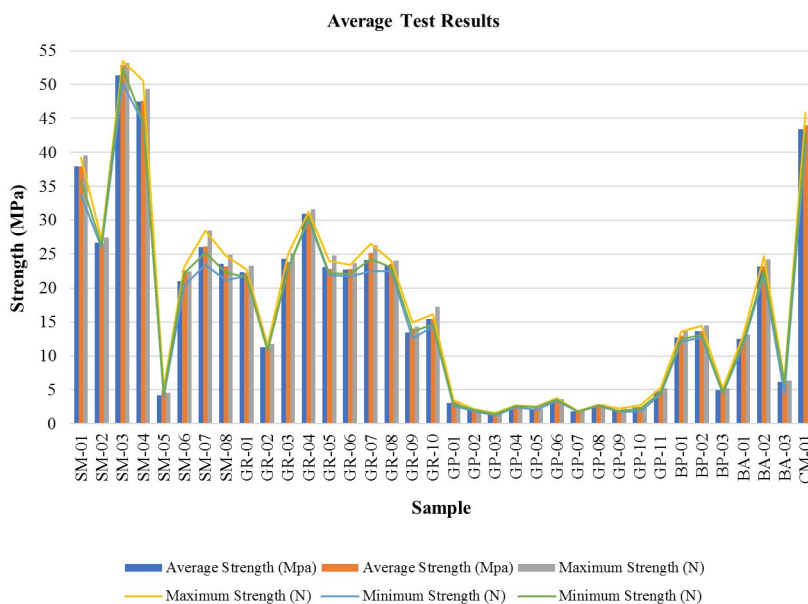
Products covered by the TS 13566 standard are generally fibrous products, just as products covered by the TS 13687 standard. 3 groups of samples were tested. “BA” code was used as the code in the samples. The results obtained are presented in Table 5 under the heading “Experiment Results of the Thermal Insulation Board Adhesive Group”.

As it does not contain any chemical additives within the scope of EN 197-1 and consists only of cement, aggregate, and water, 1 group of sample sets prepared for control purposes was tested. Samples for this test are coded “CM”. The results can be seen in Table 6 “Experiment Result of Cement Group”

4. Results and discussion

The experimental results shown in Fig. 2 obtained in this study provide important information on the consistency of the results of the compressive strength test performed on the damaged specimen after the bending test used as a method by 6 different standards and how much damage to the specimen can affect the results and cause failure.

The results also show that compressive strength tests performed with the damaged sample have a higher standard deviation than those with the undamaged sample. This difference between standard deviations is valid for 34 out of 36 different sample groups, as clearly seen in Figure 3. This is an indication that the flexural strength test has an effect on the sample.

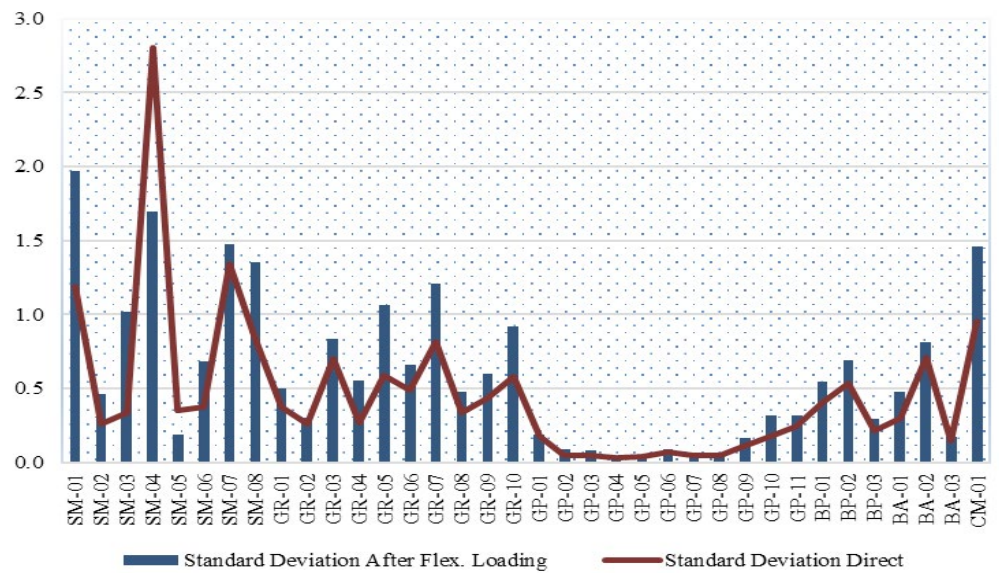


Rys. 2. Średnie wyniki badań wytrzymałości

Fig. 2. Average results of the tests

wytrzymałości na zginanie, pojawiają się dodatkowo różnice między wynikami, które mogą negatywnie wpłynąć na wyniki testów, które będą decydować o przyszłości produktu.

Spośród wspomnianych 34 grup próbek, dwie grupy próbek to SM-04 i SM-05 [rys. 3]. Zrozumiano, że odwrotnie od opisanej powyżej prawidłowości, odchylenie standardowe jest większe dla próbek, które uprzednio nie były badane na wytrzymałość na zginanie. Analizując szczegółowo wyniki w tabelicy 1, zauważono, że wyniki bezpośredniego testu wytrzymałości na ściskanie są w przypadku każdej beleczki wyższe dla pierwszego pomiaru z danej beleczki. Uważa się, że jest to spowodowane uszkodzeniem od testu



Rys. 3. Odchylenie standardowe wyników badań

Fig. 3 Standard deviation for the samples

Tablica 1 / Table 1

WYNIKI BADANIA PRÓBEK PODKLADÓW PODŁOGOWYCH

EXPERIMENT RESULTS OF SCREED GROUP

| Oznaczenie materiału Test code | Typ / Type | Wytrzymałość na zginanie Flexural strength | | Wytrzymałość na ściskanie / Compressive Strength | | Wytrzymałość na ściskanie – pomiar bezpośredni / Direct Comp. Strength | |
|-----------------------------------|------------|---|--------|--|---------|--|---------|
| | | MPa | N | MPa | N | MPa | N |
| SM-01 | CT | 9.10 | 3873.9 | 37.70 | 60318.0 | 38.65 | 61842.9 |
| | | | | 33.70 | 53947.7 | 38.80 | 62059.0 |
| | | 9.65 | 4108.9 | 39.10 | 62521.7 | 37.05 | 59271.5 |
| | | | | 38.85 | 62143.0 | 39.20 | 62714.0 |
| | | 9.65 | 4112.2 | 38.80 | 62103.6 | 35.80 | 57241.3 |
| | 39.50 | | | 63255.0 | 38.45 | 61490.2 | |
| Średnia / Average | 9.5 | 4031.7 | 37.6 | 60714.8 | 37.9 | 60769.8 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.26 | 111.6 | 2.02 | 3152.7 | 1.28 | 1906.5 | |
| SM-02 | CT | 8.80 | 3762.9 | 27.45 | 43909.8 | 26.80 | 42850.3 |
| | | | | 26.35 | 42123.1 | 27.10 | 43348.2 |
| | | 9.05 | 3857.4 | 26.70 | 42734.8 | 26.35 | 42151.2 |
| | | | | 26.00 | 41581.8 | 26.55 | 42469.4 |
| | | 9.00 | 3840.5 | 26.55 | 42446.5 | 26.35 | 42172.0 |
| | 26.90 | | | 43066.0 | 26.50 | 42397.4 | |
| Średnia / Average | 0.9 | 3820.3 | 26.6 | 42643.7 | 26.6 | 42564.8 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.11 | 41.1 | 0.46 | 733.4 | 0.29 | 419.9 | |
| SM-03 | CT | 10.10 | 4309.4 | 53.20 | 85124.6 | 52.60 | 84123.8 |
| | | | | 52.10 | 83369.1 | 52.90 | 84647.9 |
| | | 10.50 | 4485.2 | 50.20 | 80330.8 | 53.50 | 85627.1 |
| | | | | 50.70 | 81142.9 | 53.00 | 84821.6 |
| | | 10.25 | 4376.3 | 51.50 | 82364.9 | 52.50 | 83986.7 |
| | 50.70 | | | 81064.8 | 52.80 | 84449.3 | |
| Średnia / Average | 10.3 | 4390.3 | 51.5 | 82232.9 | 52.9 | 84609.4 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.16 | 72.4 | 1.06 | 1624.9 | 0.35 | 537.2 | |

| | | | | | | | |
|--------------------------|------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| SM-04 | CT | 11.15 | 4752.6 | 49.40 | 79012.8 | 50.40 | 80641.5 |
| | | | | 47.10 | 75327.0 | 45.25 | 72418.3 |
| | | 11.70 | 4983.2 | 49.10 | 78536.1 | 50.15 | 80218.6 |
| | | | | 44.35 | 70981.6 | 44.45 | 71146.2 |
| | | 11.40 | 4865.4 | 46.85 | 74966.2 | 50.50 | 80847.9 |
| | | | | 48.35 | 77364.7 | 44.60 | 71342.6 |
| Średnia / Average | 11.4 | 4867.1 | 47.4 | 76031.4 | 48.2 | 76102.5 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.22 | 94.1 | 1.82 | 2710.2 | 2.71 | 4488.1 | |
| SM-05 | CT | 1.80 | 769.5 | 4.25 | 6774.5 | 5.25 | 8415.8 |
| | | | | 4.00 | 6396.4 | 4.40 | 7086.1 |
| | | 1.70 | 731.9 | 4.55 | 7266.4 | 5.20 | 8347.6 |
| | | | | 4.10 | 6581.6 | 4.50 | 7231.4 |
| | | 1.80 | 754.9 | 4.15 | 6649.5 | 5.00 | 8009.8 |
| | | | | 4.00 | 6388.1 | 4.50 | 7149.8 |
| Średnia / Average | 1.8 | 752.1 | 4.2 | 6676.1 | 4.9 | 7706.8 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.05 | 15.5 | 0.19 | 296.9 | 0.35 | 566.7 | |
| SM-06 | CT | 5.50 | 2352.0 | 21.20 | 33883.4 | 23.20 | 37106.2 |
| | | | | 21.05 | 33653.2 | 22.25 | 35592.2 |
| | | 4.80 | 2057.2 | 20.50 | 32839.1 | 22.60 | 36127.4 |
| | | | | 22.45 | 35933.2 | 22.20 | 35497.5 |
| | | 5.20 | 2216.4 | 20.35 | 32597.8 | 23.00 | 36826.4 |
| | | | | 20.80 | 33288.3 | 22.50 | 35984.9 |
| Średnia / Average | 5.2 | 2208.5 | 21.1 | 33699.2 | 22.7 | 36189.1 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.29 | 120.5 | 0.74 | 1091.5 | 0.40 | 595.4 | |
| SM-07 | CT | 7.00 | 2974.7 | 28.45 | 45534.4 | 25.35 | 40521.4 |
| | | | | 25.70 | 41122.9 | 25.55 | 40844.0 |
| | | 7.40 | 3152.3 | 26.45 | 42322.5 | 28.40 | 45456.2 |
| | | | | 23.45 | 37537.3 | 28.25 | 45239.1 |
| | | 6.90 | 2933.1 | 25.40 | 40646.9 | 25.25 | 40379.0 |
| | | | | 26.00 | 41628.9 | 26.15 | 41824.4 |
| Średnia / Average | 7.1 | 3020.0 | 25.9 | 41465.5 | 26.6 | 42377.4 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.22 | 95.1 | 1.62 | 2364.2 | 1.45 | 2151.1 | |
| SM-08 | CA | 6.15 | 2623.3 | 24.95 | 39904.8 | 22.60 | 36123.7 |
| | | | | 24.00 | 38413.2 | 22.85 | 36594.8 |
| | | 6.00 | 2556.8 | 24.20 | 38726.8 | 24.75 | 39575.2 |
| | | | | 24.65 | 39442.0 | 23.00 | 36813.9 |
| | | 6.95 | 2968.1 | 22.30 | 35687.7 | 23.90 | 38210.3 |
| | | | | 21.20 | 33885.7 | 22.30 | 35697.0 |
| Średnia / Average | 6.4 | 2716.1 | 24.0 | 37676.7 | 23.4 | 37169.2 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.42 | 180.3 | 0.92 | 2162.3 | 0.80 | 1328.5 | |

wytrzymałości na ściskanie wykonanego na jednym końcu beleczki, obniżając wyniki wytrzymałości na ściskanie drugiego końca. Taka różnica między pierwszym a drugim wynikiem zwiększa również wartości odchylenia standardowego. Najmniejsza wartość uzyskana z bezpośrednich testów wytrzymałości w grupie próbek SM-05 jest prawie taka sama jak największa wartość uzyskana z testu wytrzymałości na ściskanie po teście zginania. Pokazuje to, że monolityczna próbka w kształcie beleczki może być uszkodzona w trakcie badania wytrzymałości na ściskanie, czy to w kontekście testu wytrzymałości na zginanie w odległości 3 cm od siebie, czy też testu wytrzymałości na ściskanie, który wykonuje się w innym regionie ściskania, około 6 cm od siebie.

The differences between the results of the compressive strength test for samples previously tested for bending strength are large. In the case of samples that have not previously been tested for flexural strength, the results of the compressive strength test are more consistent. This is very important for the reliability of the results. Although concrete is a heterogeneous product in itself and there are many factors that can affect strength values, due to the prior testing of flexural strength, additional differences arise between the results that can negatively impact the test results that will determine the future product.

The two sample groups of the above-mentioned 34 sample groups are SM-04 and SM-05 samples [Fig. 3].

Tablica 2 / Table 2

WYNIKI BADANIA MATERIAŁÓW DO SPOINOWANIA

EXPERIMENT RESULTS OF THE GROUTING GROUP

| Oznaczenie materiału Test code | Typ / Type | Wytrzymałość na zginanie Flexural strength | | Wytrzymałość na ściskanie Compressive Strength | | Wytrzymałość na ściskanie – pomiar bezpośredni / Direct Comp. Strength | |
|--|-------------------|---|--------|---|---------|--|---------|
| | | MPa | N | MPa | N | MPa | N |
| GR-01 After the freeze/thaw cycles | CG1 | 2.60 | 1114.5 | 22.55 | 36106.7 | 22.50 | 35962.1 |
| | | | | 21.95 | 35135.0 | 22.80 | 36465.1 |
| | | 3.40 | 1443.1 | 21.85 | 34994.5 | 22.45 | 35920.2 |
| | | | | 22.55 | 36052.8 | 22.35 | 35795.9 |
| | | 3.65 | 1565.7 | 21.90 | 35013.4 | 21.65 | 34661.4 |
| | 23.25 | | | 37212.8 | 21.90 | 35074.1 | |
| | Średnia / Average | 3.2 | 1374.4 | 22.2 | 35752.5 | 22.4 | 35646.5 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.45 | 190.5 | 0.32 | 801.1 | 0.38 | 600.7 | |
| GR-02 After the freeze/thaw cycles | CG1 | 3.25 | 1393.6 | 11.10 | 17768.5 | 11.05 | 17709.8 |
| | | | | 11.10 | 17768.5 | 11.50 | 18391.8 |
| | | 2.75 | 1163.1 | 11.15 | 17845.3 | 10.70 | 17155.3 |
| | | | | 11.80 | 18853.8 | 11.05 | 17708.7 |
| | | 2.90 | 1233.1 | 10.85 | 17390.0 | 11.20 | 17890.7 |
| | 11.50 | | | 18372.7 | 11.45 | 18325.3 | |
| | Średnia / Average | 3.0 | 1263.3 | 11.2 | 17999.8 | 11.1 | 17863.6 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.21 | 96.5 | 0.32 | 478.0 | 0.26 | 416.8 | |
| GR-03 After the freeze/thaw cycles | CG2WA | 4.60 | 1969.4 | 25.20 | 40331.0 | 22.90 | 36644.3 |
| | | | | 22.95 | 36690.8 | 25.05 | 40040.7 |
| | | 5.45 | 2325.5 | 23.45 | 37514.6 | 24.05 | 38509.5 |
| | | | | 24.70 | 39545.2 | 24.25 | 38835.2 |
| | | 4.50 | 1923.1 | 25.05 | 40116.6 | 23.20 | 37109.5 |
| | 24.45 | | | 39096.8 | 23.90 | 38206.5 | |
| | Średnia / Average | 4.9 | 2072.7 | 24.30 | 38882.5 | 23.9 | 38224.3 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.43 | 179.8 | 0.9 | 1340.5 | 0.77 | 1117.5 | |
| GR-04 | CG1 | 7.55 | 3222.6 | 31.30 | 50117.9 | 30.70 | 49137.8 |
| | | | | 30.40 | 48614.8 | 31.30 | 50042.7 |
| | | 8.37 | 3572.4 | 31.60 | 50535.6 | 30.65 | 49052.1 |
| | | | | 30.15 | 48201.5 | 30.75 | 49195.7 |
| | | 9.23 | 3939.2 | 30.95 | 49499.2 | 30.40 | 48644.2 |
| | 31.50 | | | 50417.1 | 30.65 | 49065.2 | |
| | Średnia / Average | 8.4 | 3578.1 | 30.9 | 49564.4 | 30.8 | 49189.6 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.69 | 292.6 | 0.54 | 888.8 | 0.3 | 420.8 | |
| GR-05 | CG1 | 4.30 | 1826.7 | 22.20 | 35528.6 | 22.55 | 36119.1 |
| | | | | 24.80 | 39654.1 | 22.50 | 36006.4 |
| | | 4.40 | 1885.2 | 23.55 | 37669.3 | 22.15 | 35471.6 |
| | | | | 22.25 | 35586.3 | 23.15 | 37046.2 |
| | | 4.20 | 1797.2 | 24.05 | 38493.3 | 23.95 | 38351.6 |
| | 21.95 | | | 35125.7 | 22.60 | 36197.6 | |
| | Średnia / Average | 4.30 | 1836.4 | 23.4 | 37009.6 | 22.9 | 36532.1 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.08 | 36.6 | 1.02 | 1702.8 | 0.63 | 936.2 | |
| GR-06 | CG1 | 4.20 | 1796.8 | 22.35 | 35769.1 | 22.10 | 35353.5 |
| | | | | 23.35 | 37350.8 | 23.10 | 36999.8 |
| | | 4.60 | 1952.9 | 22.50 | 36021.3 | 22.20 | 35484.9 |
| | | | | 23.00 | 36799.5 | 23.15 | 37010.4 |
| | | 4.15 | 1766.5 | 21.70 | 34697.9 | 22.85 | 36534.8 |
| | 23.65 | | | 37866.4 | 23.40 | 37422.4 | |
| | Średnia / Average | 4.3 | 1838.7 | 22.6 | 36417.5 | 22.7 | 36467.6 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.2 | 81.7 | 0.57 | 1052.8 | 0.45 | 785.4 | |

| | | | | | | | |
|--|-------|------|--------|-------|---------|-------|---------|
| GR-07 | CG1 | 6.40 | 2733.7 | 24.15 | 38642.0 | 26.55 | 42499.1 |
| | | | | 23.15 | 37043.8 | 24.35 | 38927.9 |
| | | 6.50 | 2779.6 | 22.45 | 35917.3 | 25.45 | 40688.4 |
| | | | | 26.30 | 42085.1 | 24.25 | 38785.1 |
| | | 5.20 | 2214.5 | 24.00 | 38409.9 | 25.75 | 41169.9 |
| | | | | 24.65 | 39459.3 | 24.80 | 39685.7 |
| Średnia / Average | | 6.0 | 2575.9 | 24.0 | 38592.9 | 25.3 | 40292.7 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | | 0.59 | 256.3 | 1.30 | 1938.2 | 0.87 | 1310.1 |
| GR-08 | CG2WA | 7.25 | 3101.1 | 23.50 | 37622.7 | 24.00 | 38410.5 |
| | | | | 23.45 | 37507.8 | 23.25 | 37212.3 |
| | | 8.50 | 3637.3 | 23.45 | 37509.2 | 23.55 | 37646.2 |
| | | | | 23.05 | 36919.5 | 23.85 | 38161.1 |
| | | 8.20 | 3498.9 | 24.00 | 38427.0 | 23.00 | 36832.9 |
| | | | | 22.45 | 35933.0 | 23.60 | 37722.3 |
| Średnia / Average | | 8.00 | 3412.4 | 23.5 | 37319.9 | 23.5 | 37664.2 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | | 0.53 | 227.3 | 0.3 | 760.7 | 0.37 | 532.7 |
| GR-09 After the freeze/thaw cycles | CG2WA | 3.20 | 1363.2 | 13.60 | 21787.1 | 13.80 | 22069.2 |
| | | | | 14.30 | 22893.6 | 13.95 | 22304.5 |
| | | 2.90 | 1247.2 | 13.75 | 22007.5 | 13.90 | 22229.2 |
| | | | | 12.55 | 20100.3 | 14.30 | 22883.9 |
| | | 3.35 | 1436.1 | 12.85 | 20523.1 | 13.55 | 21709.6 |
| | | | | 13.80 | 22115.1 | 14.90 | 23852.1 |
| Średnia / Average | | 3.2 | 1348.8 | 13.4 | 21571.1 | 13.9 | 22508.1 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | | 0.19 | 77.8 | 0.63 | 961.2 | 0.24 | 694.9 |
| GR-10 | CG2WA | 5.40 | 2301.1 | 14.85 | 23771.8 | 16.20 | 25887.2 |
| | | | | 14.40 | 23040.9 | 15.50 | 24796.9 |
| | | 4.05 | 1731.7 | 15.55 | 24876.3 | 14.65 | 23479.0 |
| | | | | 14.75 | 23587.9 | 16.20 | 25896.4 |
| | | 5.35 | 2278.4 | 17.20 | 27516.4 | 14.90 | 23818.0 |
| | | | | 15.70 | 25152.2 | 15.50 | 24827.0 |
| Średnia / Average | | 4.9 | 2103.7 | 15.4 | 24657.6 | 15.5 | 24784.1 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | | 0.62 | 263.2 | 0.99 | 1472.4 | 0.64 | 921.3 |

Jak widać w wynikach grup próbek SM-04 i GR-07 w tablicach 1 i 2, chociaż nie wpływa to negatywnie na odchylenie standardowe, wyniki są takie same. Ze względu na to, że badanie wytrzymałości na ściskanie zostało wykonane na nieuszkodzonych próbkach, pierwsza wartość z pojedynczej beleczki jest większa niż druga.

Gipsy, które mają bardzo niską wytrzymałość ze względu na swoją mikrostrukturę, są bardziej dotknięte przez czynniki zewnętrzne. Jak widać w tablicy 3, najmniejsza wartość uzyskana z nieuszkodzonej próbki jest większa niż maksymalna wartość uszkodzonej próbki w grupach próbek GP-04, GP-05 i GP-06, co wskazuje, jak duży wpływ może mieć uszkodzenie próbki w czasie badania wytrzymałości na zginanie. Porównując maksymalne wartości uszkodzonych i nieuszkodzonych próbek badawczych, maksymalna wartość nieuszkodzonej próbki w grupie próbek SM-05 w tablicy 1 jest o 0,7 MPa [około 15%] wyższa od maksymalnej wartości próbki uszkodzonej. Dla próbki nieuszkodzonej w grupie próbek GP-05 pokazanych w tablicy 3 największa wartość jest o 0,3 MPa [około 12%] większa niż największa wartość próbki uszkodzonej.

It was understood that, contrary to the regularity described above, the standard deviation is larger for samples that have not previously been tested for flexural strength. Analysing the results in Table 1 in detail, it was noticed that the results of the direct compressive strength test for each bar were higher for the first measurement of a given bar. When examining Table 1 in detail, it is observed that the results of the direct compressive strength test are higher for each prism, the first result being higher than the second. It is thought that this is caused by the damage caused by the compressive strength test performed on one end of the prism, which lowers the compressive strength results of the other end. This difference between the first and second result also increases the standard deviation values. The smallest value obtained from the direct strength tests in the SM-05 sample group is almost the same as the largest value obtained from the compressive strength test after the flexural test. This shows that a monolithic prism specimen can be affected by damage in the compressive strength test, whether in the flexural strength test at a distance of 3 cm from itself, or in the compressive strength test that occurs in the other compression region, which is approximately 6 cm away from itself.

Tablica 3 / Table 3

WYNIKI BADAŃ SPOIW GIPSOWYCH

EXPERIMENT RESULTS OF GYPSUM GROUP

| Oznaczenie materiału Test code | Typ / Type | Wytrzymałość na zginanie Flexural strength | | Wytrzymałość na ściskanie / Compressive Strength | | Wytrzymałość na ściskanie – pomiar bezpośredni / Direct Comp. Strength | |
|-----------------------------------|------------|---|-------|--|--------|--|--------|
| | | MPa | N | MPa | N | MPa | N |
| GP-01 | B5 | 1.50 | 647.0 | 3.25 | 5177.1 | 3.25 | 5215.3 |
| | | | | 3.15 | 5034.7 | 2.95 | 4724.7 |
| | | 1.35 | 567.2 | 3.10 | 4953.0 | 3.00 | 4789.7 |
| | | | | 2.65 | 4277.9 | 3.25 | 5178.0 |
| | 1.40 | 591.3 | 3.05 | 4911.0 | 3.45 | 5510.6 | |
| | | | 2.90 | 4641.7 | 3.35 | 5364.8 | |
| Średnia / Average | 1.4 | 601.8 | 3.0 | 4832.6 | 3.2 | 5130.5 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.06 | 33.4 | 0.21 | 295.6 | 0.18 | 285.7 | |
| GP-02 | B4/50 | 0.90 | 383.4 | 1.90 | 3005.5 | 2.10 | 3367.6 |
| | | | | 2.05 | 3289.3 | 2.05 | 3253.0 |
| | | 1.10 | 460.2 | 2.15 | 3426.3 | 2.10 | 3387.0 |
| | | | | 2.15 | 3408.8 | 2.15 | 3463.3 |
| | 1.10 | 479.3 | 2.05 | 3310.5 | 2.05 | 3278.5 | |
| | | | 2.05 | 3273.4 | 2.05 | 3303.4 | |
| Średnia / Average | 1.0 | 441.0 | 2.1 | 3285.6 | 2.1 | 3342.1 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.09 | 41.4 | 0.09 | 138.0 | 0.04 | 71.7 | |
| GP-03 | B4/50 | 0.75 | 316.6 | 1.25 | 1996.8 | 1.50 | 2388.2 |
| | | | | 1.40 | 2251.9 | 1.50 | 2415.0 |
| | | 0.80 | 351.8 | 1.40 | 2255.6 | 1.45 | 2331.1 |
| | | | | 1.45 | 2351.8 | 1.55 | 2508.6 |
| | 0.85 | 363.9 | 1.45 | 2282.0 | 1.45 | 2307.9 | |
| | | | 1.30 | 2026.0 | 1.45 | 2334.7 | |
| Średnia / Average | 0.8 | 344.1 | 1.4 | 2194.0 | 1.5 | 2380.9 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.04 | 20.1 | 0.07 | 133.5 | 0.04 | 67.7 | |
| GP-04 | B4/20 | 1.30 | 558.9 | 2.45 | 3934.3 | 2.65 | 4271.3 |
| | | | | 2.50 | 3992.2 | 2.75 | 4380.6 |
| | | 1.30 | 560.7 | 2.55 | 4106.1 | 2.65 | 4265.8 |
| | | | | 2.45 | 3945.3 | 2.70 | 4325.1 |
| | 1.25 | 534.8 | 2.45 | 3899.1 | 2.70 | 4287.4 | |
| | | | 2.45 | 3927.5 | 2.65 | 4229.3 | |
| Średnia / Average | 1.3 | 551.5 | 2.5 | 3967.4 | 2.7 | 4293.3 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.02 | 11.8 | 0.04 | 67.9 | 0.04 | 48.3 | |
| GP-05 | B4/20 | 1.25 | 530.9 | 2.20 | 3516.8 | 2.55 | 4101.4 |
| | | | | 2.15 | 3415.3 | 2.50 | 4008.7 |
| | | 1.25 | 528.7 | 2.20 | 3546.8 | 2.45 | 3911.1 |
| | | | | 2.20 | 3497.5 | 2.50 | 4012.8 |
| | 1.30 | 567.9 | 2.05 | 3288.7 | 2.55 | 4085.5 | |
| | | | 2.15 | 3445.3 | 2.50 | 3978.0 | |
| Średnia / Average | 1.3 | 542.5 | 2.2 | 3451.7 | 2.5 | 4016.3 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.03 | 18.0 | 0.06 | 85.0 | 0.04 | 64.1 | |
| GP-06 | B4/50 | 1.40 | 595.7 | 3.60 | 5777.8 | 3.80 | 6072.4 |
| | | | | 3.60 | 5745.7 | 3.70 | 5881.6 |
| | | 1.50 | 645.7 | 3.45 | 5514.6 | 3.70 | 5896.4 |
| | | | | 3.55 | 5719.5 | 3.60 | 5765.3 |
| | 1.35 | 574.1 | 3.55 | 5648.3 | 3.75 | 6029.2 | |
| | | | 3.35 | 5390.7 | 3.65 | 5807.5 | |
| Średnia / Average | 1.4 | 605.2 | 3.6 | 5632.8 | 3.7 | 5908.7 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.06 | 30.0 | 0.05 | 137.9 | 0.07 | 110.3 | |

| | | | | | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| GP-07 | B4/20 | 1.00 | 424.3 | 1.75 | 2806.6 | 1.80 | 2900.7 |
| | | | | 1.90 | 3042.1 | 1.80 | 2878.5 |
| | | 0.95 | 398.3 | 1.80 | 2892.9 | 1.90 | 3022.4 |
| | | | | 1.75 | 2817.8 | 1.80 | 2870.3 |
| | | 0.90 | 385.0 | 1.90 | 3023.7 | 1.80 | 2850.6 |
| | | | | 1.85 | 2933.4 | 1.90 | 3050.5 |
| Średnia / Average | 1.0 | 402.5 | 1.8 | 2919.4 | 1.8 | 2928.8 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.04 | 16.3 | 0.07 | 91.2 | 0.0 | 77.9 | |
| GP-08 | C6 | 1.40 | 601.2 | 2.75 | 4367.4 | 2.75 | 4397.2 |
| | | | | 2.75 | 4386.3 | 2.80 | 4492.0 |
| | | 1.40 | 600.8 | 2.70 | 4322.9 | 2.75 | 4420.5 |
| | | | | 2.80 | 4516.4 | 2.70 | 4312.6 |
| | | 1.30 | 556.4 | 2.65 | 4217.5 | 2.75 | 4385.7 |
| | | | | 2.65 | 4236.1 | 2.85 | 4550.9 |
| Średnia / Average | 1.4 | 586.1 | 2.7 | 4341.1 | 2.8 | 4426.5 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.05 | 21.0 | 0.05 | 100.1 | 0.03 | 76.7 | |
| GP-09 | C6 | 1.35 | 567.4 | 1.90 | 3015.3 | 2.20 | 3480.7 |
| | | | | 2.15 | 3448.1 | 1.90 | 3017.0 |
| | | 1.35 | 583.9 | 1.80 | 2903.9 | 2.00 | 3190.7 |
| | | | | 2.25 | 3560.5 | 2.05 | 3263.4 |
| | | 1.30 | 560.8 | 1.95 | 3127.5 | 2.20 | 3533.3 |
| | | | | 1.80 | 2863.4 | 1.95 | 3113.6 |
| Średnia / Average | 1.3 | 570.7 | 2.0 | 3153.1 | 2.1 | 3266.5 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.02 | 9.7 | 0.17 | 264.2 | 0.12 | 186.4 | |
| GP-10 | C6 | 1.55 | 670.5 | 2.65 | 4201.3 | 2.70 | 4294.0 |
| | | | | 2.65 | 4274.5 | 2.55 | 4093.3 |
| | | 1.55 | 661.0 | 2.40 | 3866.8 | 2.60 | 4124.2 |
| | | | | 2.60 | 4194.8 | 2.35 | 3741.6 |
| | | 1.50 | 635.9 | 2.45 | 3902.2 | 2.75 | 4401.2 |
| | | | | 1.75 | 2778.2 | 2.25 | 3626.9 |
| Średnia / Average | 1.5 | 655.8 | 2.6 | 3869.6 | 2.6 | 4046.9 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.02 | 14.6 | 0.10 | 511.9 | 0.14 | 278.2 | |
| GP-11 | C6 | 1.90 | 801.4 | 5.25 | 8412.2 | 4.85 | 7758.6 |
| | | | | 4.90 | 7815.8 | 5.00 | 7982.0 |
| | | 1.95 | 831.0 | 4.60 | 7367.3 | 5.30 | 8509.6 |
| | | | | 4.35 | 6920.9 | 4.60 | 7324.2 |
| | | 1.85 | 793.9 | 5.10 | 8146.0 | 4.80 | 7672.2 |
| | | | | 4.60 | 7349.7 | 4.65 | 7452.4 |
| Średnia / Average | 1.9 | 808.8 | 4.8 | 7668.7 | 4.9 | 7783.2 | |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.04 | 16.0 | 0.33 | 508.9 | 0.23 | 387.3 | |

Jeśli porównuje się najmniejsze wyniki między wartościami widocznymi na rysunku 2, można zanotować ogromne różnice między wytrzymałościami na ściskanie próbek uszkodzonych i nieuszkodzonych w niektórych grupach próbek. Widoczne jest, że nieuszkodzone próbki dają o 6% wyższe wyniki w grupie próbek SM-01, 4% w grupie próbek SM-03, 10% w grupie próbek SM-06 i 8% w grupie próbek GR-07. Wspomniana różnica 20% w grupie próbek GP-05 wzrasta do 35% w grupie produktów GP-10. W grupach próbek GP-02 i GP-10, podczas gdy najmniejsza wartość próbek uszkodzonych jest niższa niż 2 MPa w przypadku wytrzymałości na ściskanie, co jest standardowym kryterium dla gipsów, najmniejsza wartość wytrzymałości na ściskanie próbek

As can be seen in the results of SM-04 and GR-07 sample groups in Table 1 and Table 2, although it does not affect the standard deviation negatively, the results are the same. As the compressive strength test is applied to the undamaged samples, the first value from a single prism is greater than the second.

Gypsum, which has very low strength due to its microstructure, are more affected by external factors. As seen in Table 3, the smallest value taken from the undamaged sample is greater than the maximum value of the damaged sample in the GP-04, GP-05, and GP-06 sample groups, indicating how much of an impact the damage from the flexural strength test can have. As the maximum

Tablica 4 / Table 4

WYNIKI BADAŃ MATERIAŁÓW DO TYNKOWANIA PŁYT TERMOIZOLACYJNYCH

EXPERIMENT RESULTS OF THE THERMAL INSULATION BOARD PLASTER GROUP

| Oznaczenie materiału Test code | Typ / Type | Wytrzymałość na zginanie Flexural strength | | Wytrzymałość na ściskanie Compressive Strength | | Wytrzymałość na ściskanie – pomiar bezpośredni / Direct Comp. Strength | |
|-----------------------------------|-------------------|---|--------|---|---------|--|---------|
| | | MPa | N | MPa | N | MPa | N |
| BP-01 | - | 4.75 | 2025.0 | 12.35 | 19790.4 | 13.25 | 21224.3 |
| | | | | 12.30 | 19663.2 | 12.45 | 19880.2 |
| | | 4.60 | 1955.4 | 13.10 | 20936.7 | 13.10 | 20986.5 |
| | | | | 13.70 | 21901.6 | 12.50 | 19986.8 |
| | | 4.65 | 1984.4 | 12.80 | 20463.7 | 13.55 | 21687.2 |
| | | | | 12.10 | 19367.5 | 12.85 | 20568.4 |
| | Średnia / Average | 4.7 | 1988.3 | 12.9 | 20353.9 | 13.0 | 20722.2 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.07 | 28.5 | 0.52 | 867.4 | 0.43 | 648.9 | |
| BP-02 | - | 5.65 | 2408.8 | 14.10 | 22583.0 | 13.50 | 21600.1 |
| | | | | 14.50 | 23183.4 | 13.40 | 21426.0 |
| | | 5.30 | 2263.4 | 13.80 | 22093.2 | 14.45 | 23157.6 |
| | | | | 12.70 | 20356.9 | 14.35 | 22974.3 |
| | | 5.85 | 2498.8 | 12.70 | 20356.9 | 13.30 | 21284.9 |
| | | | | 14.10 | 22546.6 | 13.10 | 20949.9 |
| | Średnia / Average | 5.60 | 2390.3 | 13.6 | 21853.3 | 13.8 | 21898.8 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.23 | 97.0 | 0.74 | 1104.4 | 0.49 | 849.6 | |
| BP-03 | - | 2.45 | 1045.8 | 5.15 | 8278.9 | 5.00 | 7989.2 |
| | | | | 4.45 | 7114.7 | 5.00 | 8036.6 |
| | | 2.50 | 1071.2 | 4.90 | 7862.9 | 4.70 | 7485.7 |
| | | | | 5.05 | 8110.0 | 4.85 | 7726.2 |
| | | 2.55 | 1097.5 | 5.25 | 8436.2 | 5.20 | 8329.7 |
| | | | | 4.65 | 7439.8 | 4.60 | 7321.4 |
| | Średnia / Average | 2.5 | 1071.5 | 5.0 | 7873.8 | 5.0 | 7814.8 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.04 | 21.1 | 0.28 | 465.6 | 0.17 | 342.6 | |

nieuszkodzonych jest wyższa niż ta wartość. Ma to kluczowe znaczenie dla tego, czy produkt spełnia wymagania normy.

Średnia wytrzymałość na ściskanie nieuszkodzonych próbek z grupy SM-06 jest około 8% wyższa niż średnia próbek uszkodzonych, a w grupie GP-05 jest o około 16% wyższa.

Krytyczna sytuacja pojawia się w grupie próbek GP-09. Średnia wytrzymałość na ściskanie nieuszkodzonych próbek jest wyższa niż minimalna wartość 2 MPa w przypadku wytrzymałości na ściskanie, co jest standardowym kryterium, podczas gdy średnia próbek uszkodzonych jest niższa niż ta wartość. Jeśli stosuje się standardową metodę, dana próbka nie spełnia normy, ale gdy badania wytrzymałości na zginanie i ściskanie są przeprowadzane na oddzielnych beleczkach, widać, że jest to produkt akceptowalny przez normę.

5. Wnioski

Badanie wytrzymałości na ściskanie na nieuszkodzonych próbkach zamiast na próbkach wcześniej złamanych jest ważne, aby uzyskać bardziej wiarygodne i dokładniejsze wyniki. Rzeczywiście,

values of the damaged and undamaged test data are compared, the maximum undamaged value in the SM-05 sample group is 0.7 MPa [approximately 15%] from the damaged maximum value. In the GP-05 sample group the largest value is 0.3 MPa [approximately 12%] higher than the largest damaged value.

If the smallest results are compared between the values seen in Figure 2, huge differences can be found between the compressive strengths of the undamaged and damaged samples in some sample groups. Undamaged samples are seen to give higher results by 6% in the SM-01 sample group, 4% in the SM-03 sample group, 10% in SM-06 sample group and 8% in the GR-07 sample group. An important point stands out in the gypsum results. The 20% difference mentioned in the GP-05 sample group jumps up to 35% in the GP-10 product group. In the GP-02 and GP-10 sample groups, while the smallest value of the damaged samples is lower than the compressive strength value, the standard criterion for gypsums, the smallest compressive strength value of the undamaged samples is higher than this value. This plays a critical role in whether the product complies with the standard.

The average compressive strength of the undamaged sample of the SM-06 sample group is approximately 8% higher than the

Tablica 5 / Table 5

WYNIKI BADAŃ KLEJÓW DO PŁYT TERMOIZOLACYJNYCH

EXPERIMENT RESULTS OF THERMAL INSULATION BOARD ADHESIVE GROUP

| Oznaczenie materiału Test code | Typ / Type | Wytrzymałość na zginanie Flexural strength | | Wytrzymałość na ściskanie Compressive Strength | | Wytrzymałość na ściskanie – pomiar bezpośredni / Direct Comp. Strength | |
|-----------------------------------|-------------------|---|---------|---|----------|--|----------|
| | | MPa | N | MPa | N | | MPa |
| BA-01 | | 4.55 | 1932.7 | 13.15 | 21060.0 | 12.55 | 20078.7 |
| | | | | 12.25 | 19624.6 | 12.90 | 20673.4 |
| | | 4.30 | 1827.8 | 12.90 | 20615.8 | 12.70 | 20347.5 |
| | | | | 11.75 | 18782.9 | 13.10 | 20967.0 |
| | | 4.30 | 1846.7 | 12.20 | 19482.6 | 12.85 | 20554.1 |
| | | | | 12.65 | 20216.4 | 12.20 | 19476.9 |
| | Średnia / Average | 4.4 | 1869.07 | 12.5 | 19963.72 | 12.8 | 20349.60 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.12 | 45.65 | 0.51 | 756.27 | 0.19 | 476.59 | |
| BA-02 | | 7.30 | 3105.0 | 23.70 | 37895.7 | 22.95 | 36690.0 |
| | | | | 23.55 | 37676.7 | 22.85 | 36562.6 |
| | | 7.50 | 3208.2 | 24.30 | 38848.5 | 23.15 | 37032.2 |
| | | | | 22.40 | 35846.5 | 24.70 | 39532.7 |
| | | 6.85 | 2925.3 | 23.40 | 37467.7 | 23.15 | 37013.0 |
| | | | | 21.85 | 34992.0 | 22.45 | 35959.1 |
| | Średnia / Average | 7.2 | 3079.50 | 23.5 | 37121.18 | 23.4 | 37131.60 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.27 | 116.89 | 0.62 | 1301.95 | 0.68 | 1131.57 | |
| BA-03 | | 3.35 | 1424.1 | 6.35 | 10131.7 | 6.45 | 10325.4 |
| | | | | 6.40 | 10249.1 | 6.00 | 9586.3 |
| | | 2.75 | 1172.3 | 6.25 | 10002.2 | 6.40 | 10206.1 |
| | | | | 5.90 | 9422.9 | 6.25 | 9998.7 |
| | | 2.80 | 1197.1 | 6.20 | 9928.9 | 6.25 | 10024.5 |
| | | | | 6.05 | 9696.6 | 6.20 | 9869.7 |
| | Średnia / Average | 3.0 | 1264.50 | 6.2 | 9905.23 | 6.3 | 10001.78 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.27 | 113.31 | 0.17 | 275.58 | 0.16 | 237.02 | |

Tablica 6 / Table 6

WYNIKI BADANIA ZAPRAWY CEMENTOWEJ

EXPERIMENT RESULT OF CEMENT GROUP

| Oznaczenie materiału Test code | Typ / Type | Wytrzymałość na zginanie Flexural strength | | Wytrzymałość na ściskanie Compressive Strength | | Wytrzymałość na ściskanie – pomiar bezpośredni / Direct Comp. Strength | |
|-----------------------------------|-------------------|---|---------|---|----------|--|----------|
| | | MPa | N | MPa | N | | MPa |
| CM-01 | CEM I 42,5 | 7.45 | 3187.3 | 44.95 | 71910.4 | 43.70 | 69881.7 |
| | | | | 43.25 | 69219.6 | 43.40 | 69450.8 |
| | | 6.90 | 2955.7 | 43.80 | 70028.0 | 43.60 | 69766.5 |
| | | | | 42.15 | 67454.0 | 45.85 | 73386.2 |
| | | 7.70 | 3275.5 | 41.25 | 65969.4 | 44.30 | 70921.0 |
| | | | | 45.40 | 72645.3 | 42.90 | 68620.0 |
| | Średnia / Average | 7.4 | 3139.50 | 43.1 | 69537.78 | 44.2 | 70337.70 |
| Odch. Stand. / Std. Dev. | 0.33 | 134.86 | 1.29 | 2334.63 | 0.89 | 1522.33 | |

inne metody badawcze zalecane w normach są określone jako przeprowadzane na nowo przygotowanych i nieuszkodzonych próbkach. Ogólnie rzecz biorąc, wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań doświadczalnych można wyjaśnić następująco.

– Metoda ważna dla jednej grupy produktów może nie być od-

average of the damaged samples, and that of the GP-05 sample group is approximately 16% higher.

A critical case appears in the GP-09 sample group. The average compressive strength of the undamaged samples is higher than

powiednia dla innej grupy produktów, nawet jeśli jest podobna. Produkty z grupy tynków i klejów do płyt izolacyjnych w ramach norm TS 13566 i TS 13687 nie są zbyt dotknięte uszkodzeniami z metody standardowej, a nie zaobserwowano znaczących różnic poza różnicami w odchyleniu standardowym. Powodem tego przypadku może być to, że uszkodzenia nie rozprzestrzeniają się w próbce i pozostają regionalne dzięki częstemu stosowaniu włókien w składzie takich produktów.

- Zauważono, że normowa metoda może powodować poważne wahania w wynikach badań przeprowadzanych z materiałami o niskiej wytrzymałości, takimi jak gips, i wysokiej wytrzymałości, kruchymi, takimi jak podkłady podłogowe. Te duże wahania w niektórych przypadkach mogą nawet spowodować, że produkt będzie lub nie będzie zgodny ze standardem.
- Biorąc pod uwagę wyniki naszych badań, metody, w których badanie wytrzymałości na ściskanie jest wykonywane po badaniu wytrzymałości na zginanie, powinny zostać zaktualizowane. Pomiar wytrzymałości na zginanie i ściskanie na oddzielnych próbkach da dokładniejsze wyniki. W świetle wyników uzyskanych z bardzo kruchych próbek, takich jak grupa podkładów podłogowych, zamiast przygotowywania próbek do badania wytrzymałości na ściskanie w postaci beleczek o wymiarach 40 mm x 40 mm x 160 mm w jednym kawałku, rekomendujemy przygotowanie 6 sztuk próbek o wymiarach 40 mm x 40 mm x 80 mm umieszczając 1 mm przegrodę lub metalową płytę rozdzielającą zgodnie z normą EN 12808-5 punkt 8, co izoluje strefę ściskania od wszelkich możliwych wpływów.
- Dzięki łącznie 216 testom przeprowadzonym z 36 różnymi produktami, zauważono, że uszkodzenia próbek różnią się w zależności od produktu. Może to być spowodowane zmiennymi, takimi jak różne kruszywa, różne surowce, różne rodzaje i stężenia dodatków chemicznych od różnych producentów produktów.
- Oczywistym wnioskiem jest to, że nieuszkodzone próbki mają niższe odchylenie standardowe w testach. Występują próbki niewątpliwie dotknięte uszkodzeniami spowodowanymi normową metodą badania. Szczególnie bardzo kruche próbki podkładów podłogowych i bardzo niskiej wytrzymałości próbki gipsów to grupy najbardziej dotknięte uszkodzeniami. Zaleca się, aby dogłębnie zbadać różne próbki i metody testowe narażone na takie efekty [np. wytrzymałość na ściskanie rdzenia].

Literatura/ References

1. M. Ahmed, J. Mallick, A.M. Hasan, A Study of Factors Affecting the Flexural Tensile Strength of Concrete. J. King Saud Univ. Eng. Sci. **28** 147-156 (2016).
2. T. Akakin, Effects of Cyclic Compressive Loading and Self-Healing on The Mechanical and Permeability Properties of Concrete. Ph. D. Thesis, Bogazici University (2008).
3. EN 13279-1, Gypsum binders and gypsum plasters - Part 1: Definitions and requirements. European Standards, 2008.

the minimum compressive strength of 2 MPa, the standard criterion, while that of the damaged samples is lower this value. If the standard method is followed, the sample in question does not comply with the standard, but when the flexural and compressive strength tests are performed on separate prisms, it is seen that it is an acceptable product for the standard.

5. Conclusions

Performing an experiment with an undamaged sample rather than a previously loaded sample is important to obtain more reliable and accurate results. In fact, other test methods recommended in the standards are stated to be carried out on newly prepared and undamaged samples. In general, the results obtained from this experimental study can be explained as follows.

- A method valid for one product group may not be suitable for another product group, even if it is similar. Thermal insulation board plaster and adhesive products within the scope of TS 13566 and TS 13687 standards are not affected much by the damage from the standard method, and no significant difference is observed except the standard deviation differences. The reason for this case may be that the damage does not spread in the sample and remains regional owing to the frequent use of fibre in such products.
- It has been observed that the standard method can cause serious fluctuations in the results of tests performed with low-strength materials such as gypsum and high-strength, brittle ones such as screed. These high fluctuations in some cases may even cause the product to comply or not even comply with the standard.
- Taking into account the results, the methods in which the compressive strength test is performed after the flexural strength test should be updated. Measuring flexural strength and compressive strength in separate samples will give more accurate results. In light of the results obtained from very brittle samples such as the screed group in particular, instead of the prism samples prepared for compressive strength being 40mmx40mmx160mm in size in one piece, preparing 6 pieces of 40x40x80mm samples by placing a 1 mm thick partition or metal separator plate in accordance with EN 12808-5 matter 8 would isolate the compressive stress zone from all possible effects.
- Due to a total of 216 tests performed with 36 different products, it has been seen that the damages of the samples differ from product to product. This may be due to variables such as different aggregates, different raw materials, different types and rates of chemical additives by different manufacturers of the products.
- The obvious inference is that the undamaged samples have a lower standard deviation in the tests. There are samples that are undoubtedly affected by the damage by the standard method. Especially very brittle screed samples and very low-strength gypsum samples are the groups most affected by the

4. EN 13813, Screed material and floor screeds – Screed material – Properties and requirements. European Standards, 2002.
5. EN 13888, Grout for tiles - Requirements, evaluation of conformity, classification and designation, European Standards, 2022.
6. EN 196-1, Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength. European Standards, 2016
7. EN 197-1, Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements. European Standards, 2011.
8. European Union. (2000). Fatigue of Normal Weight Concrete and Lightweight Concrete. (BE96-3942/R34). Holland: Brite EuRAM III.
9. Ü. Gököz, The Effect of Pre-Fatigue on the Properties Reinforced Concretes with Plain and Fine Wires. Unpublished PhD Thesis. Istanbul Technical University (1978).
10. Y.B. Guo, et al., Dynamic Properties of Mortar in High-strength Concrete. *Int. J. Imp. Eng.* **165**, 104216 (2022).
11. N. Nomura et al., Correlation of Fracture Process Zone and Tension Softening Behaviour in Concrete. *Cem. Concr. Res.* **21**, 545-550 (1991).
12. V. Picandet, A. Khelidj, G. Bastian, Effect of Axial Compressive Damage on Gas Permeability of Ordinary and High-Performance Concrete. *Cem. Concr. Res.* **31**, 1525-1532 (2001).
13. S.P. Shah, M.A. Taşdemir, Role of Fracture Mechanics in Concrete Technology. *Adv. Concr. Techn.* **2**, 161-202 (1994).
14. Standard Quality and Technical Consultancy Services. <http://www.standartkalite.com/>, Retrieved on 11.10.2023
15. M.A. Taşdemir, F.D. Lydon, B.I.G. Barr, The Tensile Strain Capacity of Concrete. *Mag. Concr. Res.* **48**, 211-218 (1996).
16. TS 13566, Cement based adhesive – For thermal insulation board. Turkish Standards Institution, Ankara, 2013.
17. TS 13687, Cement based plaster – For thermal insulation board. Turkish Standards Institution, Ankara, 2016.
18. M. Tumpu et al, Compressive Strength Characteristic of Concrete Using Mountain Sand. *Earth Env. Sci.* **1134**(1):012046 (2023).
19. Turgutlu Junior Technical College, Quality Assurance and Standards Lecture Notes, Manisa, 2022.
20. J.G. van Mier, R. Vonk, Fracture of Concrete Under Multi Axial Stress: Recent Developments. *Mater. Struct. Res. Test.* (24). 61-65 (1991).
21. B. Zhang, Relationship Between Pore Structure and Mechanical Properties of Ordinary Concrete Under Bending Fatigue. *Cem. Concr. Res.* **28**, 699-711 (1998).

damage. It is recommended that it would be useful to investigate different samples and test methods [e.g. core compressive strength] exposed to such effects in depth.