Nasiąkliwość jako cecha wpływająca na zmianę barwy granitów poddanych działaniu czynników atmosferycznych

Marek Rembiś[1]

Water absorption as a feature affecting the change of colour of granites exposed to atmospheric factors. Prz. Geol., 71: 543–554; doi: 10.7306/2023.44

A b s t r a c t. The paper presents the results of tests on granite from the Strzegom-Sobótka Massif (Lower Silesia, Poland) and Delicia White *granite from the state of Espirito Santo (southeastern Brazil), which were used as paving slabs. Strzegom granite revealed low water absorption – below 0.4% and anisotropy of the capillary absorption coefficient from about 1.1 to about 2.3 g/m^2/s. In slabs with a higher value of this coefficient (above 2 g/m^2/s), the solutions resulting from the decomposition of some grains (hematite and siderite) from the subgrade aggregate were moved through a system of capillary micro-fissures. As a result, rusty stains appeared on the surface of many slabs, significantly reducing their decorative value. All samples of Brazilian granite were characterized by water absorption with an average value of 0.44% and low anisotropy of the capillary water absorption coefficient in the range of approximately 1.6–1.7 g/m^2/s. The surfaces of the slabs had previously been subjected to thermal treatment. As a result, a near-surface zones with several-millimetre thick microcraks appeared in some of them. In such cases, the value of the capillary absorption coefficient increased to approximately 1.8 g/m^2/s. Rainwater containing atmospheric gas and dust particles penetrated the pore space of the rock and reacted with highly weathered biotite and iron oxides and hydroxides. The decomposition products of these minerals dispersed in water moved through a system of capillary cracks towards the surface of drying stone, creating rusty spots. Research has shown that a low water absorption value of less than 0.5% is not a sufficient condition to ensure the stone's resistance to the destructive effects of environmental conditions. To assess the suitability of granite for use as an outdoor surface slab, it is also necessary to test its water capillary absorption coefficient. It is acceptable to use granite with a high anisotropy of the capillary absorption coefficient, provided that the method of cutting and laying the slabs ensures the transport of moisture in the direction corresponding to the lowest value of this coefficient.*

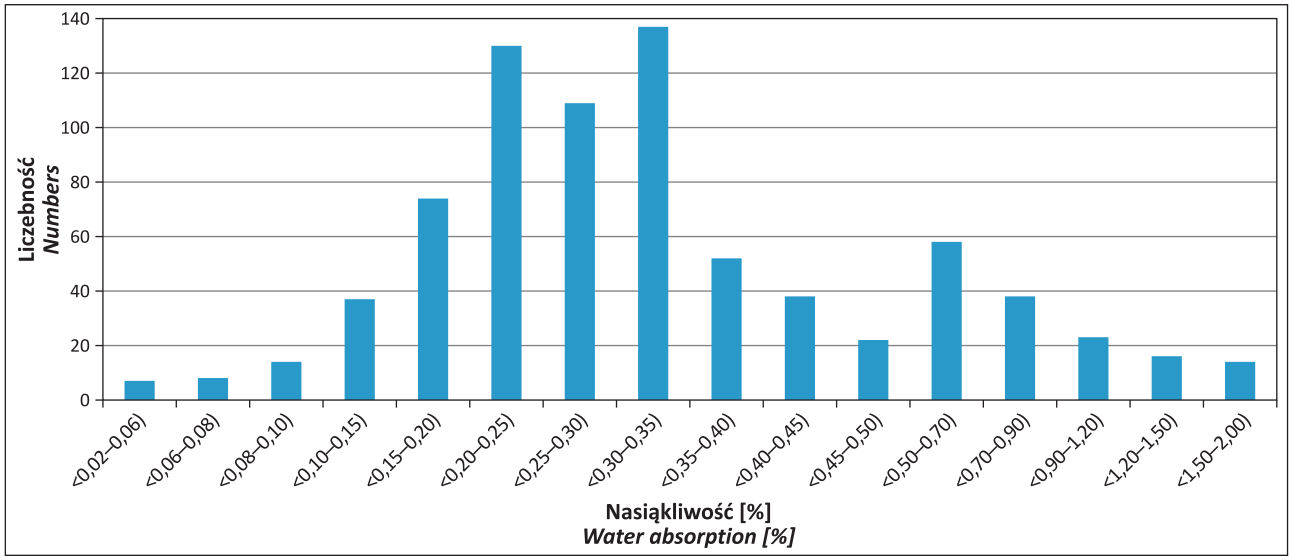
Keywords: *building stone, granite, discolouration of the stone surface, water absorption coefficient by capillarity*

Do grupy skał określanych jako granity zalicza się niejednokrotnie, zwłaszcza w ujęciu komercyjnym, oprócz właściwych granitów, także inne skały o nieco odmiennym składzie chemicznym i mineralnym (modalnym), takie jak m.in. granodioryty, tonality, monzodioryty, monzonity i syenity. Cechują się one szeregiem fizyczno-mechanicznych właściwości, które umożliwiają szerokie i powszechne ich zastosowanie w budownictwie, jako materiału określanego mianem kamienia naturalnego do wytwarzania różnego rodzaju wyrobów, np. elementów murowych, płyt okładzinowych, modułowych, posadzkowych oraz płyt i kostek stosowanych w nawierzchniach drogowych, a także obiektów małej architektury i funeralnych. W zależności od przeznaczenia i miejsca zastosowania elementów kamiennych, a tym samym rodzaju i sposobu oddziaływujących na nie czynników o charakterze mechanicznym i chemicznym, ocenie jakościowej podlegają różnorodne ich właściwości określone normami PN-EN. Do najczęściej badanych, a następnie deklarowanych należą: wytrzymałość na ściskanie i zginanie oceniane w różnych warunkach, odporność na ścieranie i na starzenie wywołane różnymi czynnikami, odporność na obciążenie wywołujące zniszczenie płyt przy kołku montażowym, odporność na znaczne zmiany temperatury oraz nasiąkliwość i mrozoodporność. Spośród wymienionych właściwości jedną z najprostszych do oceny jest nasiąkliwość (np. Kamieński i in., 1968; Peszat, 1973, 1980; Basista, Krynicki, 1981; Karwacki, 1980, 1990; Bromowicz, 2002, 2005; Badera, Kozyra 2004; Pawlik, 2013; Stańczak, 2015; Figarska-Warchoł, Stańczak, 2016; Guzik, 2016; Rembiś, 2016; Hydzik-Wiśniewska i in., 2017). W najbardziej ogólnym ujęciu jest to parametr określający ilość wody, jaką może pobrać skała w określonych warunkach badania. Analiza parametrów 777 losowo wybranych granitów pochodzących z różnych regionów świata, zestawionych w katalogach kamienia naturalnego (ICONS, 2000; Borner, Hill, 2003) wykazała, że charakteryzują się one zróżnicowaną wartością nasiąkliwości (ryc. 1).

Poziom nasiąkliwości wynika z cech strukturalnych i teksturalnych skały decydujących o ilości przestrzeni międzyziarnowych oraz pustek wewnątrzziarnowych, spękań i szczelin wspólnie tworzących połączony system kapilar umożliwiających transport wody w skale. Istotne znaczenie ma stopień zwietrzenia skały, który decyduje o różnych wartościach jej nasiąkliwości, w zależności od rodzaju i zakresu przeobrażenia jej składników. Wyniki badań (np. Karwacki, 1980; Arel, Tugrul, 2001; Pawlik, 2013; Mohamad i in., 2016; Rembiś, 2016) wykazują, że jest ona jednym z najlepszych wskaźników stopnia zwietrzenia granitoidów, stanowiąc podstawę do charakterystyki zmienności cech jakościowych surowca w profilach złóż granitowych poddanych różnym procesom pomagmowym.

Powszechnie wykazywana jest zależność między wielkością nasiąkliwości a wartością właściwości mechanicznych granitów, ich mrozoodpornością oraz odpornością na działanie czynników środowiskowych o charakterze biologicznym lub chemicznym (Figarska-Warchoł, Stańczak,

[1] AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; rembis@agh.edu.pl; ORCID ID: 0000-0003-2879-3949.



Ryc. 1. Nasiąkliwość wybranych granitów z różnych regionów świata (źródło danych: ICONS, 2000; Borner, Hill, 2003)
Fig. 1. Water absorption of selected granites from different regions of the world (data source: ICONS, 2000; Borner, Hill, 2003)

2003; Badera, Kozyra, 2004; Bromowicz, 2005; Panova i in., 2014; Łowińska-Kluge i in., 2016). Mniejszą wagę przywiązuje się do ustalenia związku między nasiąkliwością a zmianami cech wizualnych, np. barwy, zachodzącymi w kamieniu w trakcie jego użytkowania. Mogą one powstawać zarówno w wyniku absorpcji przez skałę, w tym także przez granit, różnorodnych roztworów wodnych, jak i wskutek przekształcenia chemicznego składników mineralnych skały przez te roztwory. Zmiany te, mimo iż w wielu przypadkach nie wpływają na pogorszenie parametrów mechanicznych elementów kamiennych, mogą jednak znacznie obniżyć ich walory dekoracyjne i jednocześnie pogorszyć wizualną ocenę całego obiektu budowlanego, w którym są zastosowane.

Zdolność kamienia do absorpcji cieczy może być określana na podstawie wyników badań nienormowych stosowanych niekiedy w praktyce inżynierskiej albo badań eksperymentalnych, o metodyce dostosowanej do realizacji postawionego celu inżynierskiego lub badawczego. Należą do nich np. badania wskaźnika przepływu lub przepuszczalności opisujące możliwość migracji cieczy w skale, badania wielkości nasiąkliwości powierzchniowej z użyciem rurki Carstena-Rönrchena lub ocena wysokości wzniosu kapilarnego w elementach budowlanych. W odróżnieniu od nich metody normowe są bardziej uniwersalne, a jednocześnie standaryzują proces badawczy, umożliwiając wzajemne porównywanie jakości kamienia i wybór takiego, który spełnia założenia projektowe. Obecnie są to normy: PN-EN 13755:2008 (Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym) oraz PN-EN 1925:2001 (Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie współczynnika nasiąkliwości kapilarnej). Oznaczenie nasiąkliwości jest wymagane w przypadku większości rodzajów wyrobów kamiennych, co wyrażają np. normy dotyczące płyt do nawierzchni drogowych (PN-EN 1341:2013-05), krawężników (PN-EN 1343:2013-05), płyt okładzinowych (PN-EN 1469:2015-04), płyt modułowych (PN-EN 12057:2015-04) oraz posadzkowych i schodowych (PN-EN 12058:2015-04). Oznaczanie współczynnika nasiąkliwości kapilarnej jest wymagane tylko w przypadku niektórych z tych zastosowań i to jedynie w sytuacji, gdy kamień wykazuje porowatość otwartą 1%.

Zgodnie ze stanem prawnym obowiązującym w Unii Europejskiej nie istnieją normy określające wartości progowe parametrów technicznych kamienia, uzasadniające jego stosowanie w określonych realizacjach budowlanych. Zostały one zastąpione wartościami deklarowanymi przez producenta lub importera, które są uwzględniane w obliczeniach przez projektanta na etapie wykonywania projektu budowlanego. Zgodnie z generalną zasadą wyrażoną w art. 4 ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych (Ustawa, 2004) kamień powinien posiadać taki poziom właściwości użytkowych, aby prawidłowo zaprojektowany i wykonany przy jego użyciu obiekt budowlany spełniał wymagania podstawowe. W praktyce inżynierskiej dotyczącej projektowania i wykonawstwa kamiennych obiektów budowlanych zasadę tę niejednokrotnie realizuje się w oparciu o doświadczenie zawodowe projektanta, bądź przez porównanie do innych podobnych realizacji, w których kamień zachowuje się bezproblemowo, lub poprzez uwzględnianie w specyfikacjach technicznych wymagań zawartych w normach krajowych mających obecnie status norm wycofanych. Do takich norm należą m.in.: PN-B-11202, PN-B-11203, PN-B-11205 i PN-B-11211 wskazujące, że kamień przeznaczony do stosowania jako płyty okładzinowe, posadzkowe oraz stopnie i elementy łupane powinien mieć nasiąkliwość nie większą niż 0,5% (określoną wg PN-B-04101:1985).

Wyniki wieloletnich, własnych badań kamienia zastosowanego w różnych obiektach budowlanych wykazują, że wybór kamienia powinien być poprzedzony oceną zarówno wartości jego nasiąkliwości, jak też jego możliwości w zakresie transportu wody, rozpatrywanych w odniesieniu do indywidualnych warunków wynikających ze składu mineralnego kamienia, miejsca jego zastosowania, a nawet sposobu jego obróbki i montażu. Wykazanie konieczności uwzględnienia powyższych składowych na etapie projektowania inwestycji było celem niniejszej pracy.

PRZEDMIOT BADAŃ

Przedmiotem badań były dwa granity: pochodzący z masywu strzegomskiego oraz brazylijski o komercyjnej nazwie *Delicia White* ze stanu Espírito Santo, które zostały

Ryc. 2. Fragment nawierzchni dziedzińca wykonanej z płyt granitu strzegomskiego. Widoczne są rdzawe plamy na powierzchni płyt
Fig. 2. Part of the courtyard paving made of Strzegom granite slabs with visible rusty stains in the surface
Ryc. 3. Płyty granitu strzegomskiego z rdzawymi przebarwieniami na powierzchni
Fig. 3. Slabs of Strzegom granite with rusty discolourations on the surface

zastosowane w dwóch różnych inwestycjach budowlanych jako płyty nawierzchni komunikacyjnych dla ruchu pieszego. W obu obiektach, jeszcze przed ich oddaniem do użytkowania, ujawniły się zmiany barwne kamienia nieakceptowalne zarówno przez wykonawcę, jak i inwestora. W związku z tym zaistniała konieczność zidentyfikowania przyczyn ich powstania, a w dalszej kolejności opracowania sposobu ich usunięcia.

Granit strzegomski został zastosowany w nawierzchni dziedzińca jednej z polskich uczelni, w formie prostokątnych płyt o grubości 6 cm. Zewnętrznej (górnej) powierzchni płyt nadano fakturę tzw. płomieniowaną poprzez jej termiczną obróbkę. Uzyskano dzięki temu równe, ale szorstkie i lekko zmatowiałe powierzchnie. Na powierzchni płyt makroskopowo nie stwierdzano pęknięć, szczelin lub odprysków obniżających ich jakość. Płyty zostały osadzone na odpowiednio zagęszczonej podbudowie, składającej się z różnoziarnistego kruszywa żwirowego. Po kilkunastu tygodniach od ich ułożenia na płytach stwierdzono obecność nieregularnie rozmieszczonych, rdzawych plam o zróżnicowanych rozmiarach i kształtach. Część z nich została szybko zidentyfikowana jako powierzchniowe zabrudzenia spowodowane korozją metalowych elementów budowlanych używanych w trakcie budowy. Miejsca te zostały wyczyszczone odpowiednimi preparatami przeznaczonymi do granitu. Pomimo tego na większości płyt nadal występowały bardzo liczne plamy, których nie udało się usunąć (ryc. 2, 3). Po podniesieniu takich elementów okazało się, że przebarwienia obejmują całą ich grubość, przy czym wielkość (średnica) plam i intensywność ich zabarwienia maleje ku górze. Według deklaracji producenta nasiąkliwość granitu wynosiła 0,32%.

Granit brazylijski *Delicia White* zastosowano jako nawierzchnię komunikacyjnego ciągu pieszego na jednym z nowopowstałych osiedli mieszkaniowych. Wykonano z niego prostokątne płyty oraz kostkę o grubości 6 cm, a także krawężniki, które utworzyły wspólną kompozycję opracowanego projektu architektonicznego. Elementom kamiennym nadano fakturę płomieniowaną. Zostały one osadzone na warstwie zaprawy specjalnie przeznaczonej do tego rodzaju materiałów kamiennych i zaspoinowane. Ze względu na długość chodnika (ponad 100 m) oraz morfologię terenu zastosowano różne wartości spadku podłużnego nawierzchni wynoszące 1% lub 2–3%. Przed zakończeniem prac wykończeniowych i porządkowych na powierzchni kamienia ujawniły się liczne rdzawe smugi i plamy o znacznych rozmiarach. Zlokalizowane były we fragmentach nawierzchni o 1% spadku, w różnych częściach płyt (ryc. 4–6). W miejscach wykazujących większe nachylenie występowały rzadziej. Czyszczenie powierzchni kamienia specjalistycznymi preparatami okazało się bezskuteczne. Po zdemontowaniu płyt zawierających przebarwienia okazało się, że występują one na górnej powierzchni kamienia oraz w części przypowierzchniowej. Według deklaracji producenta nasiąkliwość granitu wynosiła 0,44%.

METODYKA BADAŃ

Z obu omówionych nawierzchni pobrano po kilka płyt granitów zawierających przebarwienia, które poddano badaniom laboratoryjnym.

Badania mikroskopowe miały na celu dokonanie charakterystyki petrograficznej badanych skał oraz określenie rodzaju i przyczyn powstania barwnych zmian w kamieniu. Badania te wykonano za pomocą mikroskopu stereoskopowego Eakins, wyposażonego w wysokorozdzielczą kamerę cyfrową, oraz mikroskopu petrograficznego, polaryzacyjnego do światła przechodzącego JENAPOL (Carl Zeiss Jena), wyposażonego w komputerowy analizator obrazu NIS-Elements BR 3.2 (Nikon Corporation, Tokyo). Preparaty do badań (po 6 sztuk z każdego granitu) wycięto w miejscach występowania zmian barwnych oraz w miejscach niezmienionych, w płaszczyźnie prostopadłej do górnej (zewnętrznej) powierzchni badanych elementów kamiennych. Badaniami objęto całą grubość płyty.

Nasiąkliwość granitów oznaczono wg metodyki wskazanej w normie PN-EN 13755:2008. Wysuszone próbki sześcienne o wymiarach 50 mm × 50 mm × 50 mm zostały

Ryc. 4. Fragment nawierzchni chodnika wykonanej z płyt granitu *Delicia White*
Fig. 4. Part of the sidewalk surface made of *Delicia White* granite slabs
Ryc. 5. Płyty granitu *Delicia White* z ze zmianami barwnymi na powierzchni
Fig. 5. *Delicia White* granite slabs with discolourations on the surface
Ryc. 6. Rdzawe przebarwienia na powierzchni płyty granitu *Delicia White*
Fig. 6. Rusty discolouration on the surface of the *Delicia White* granite slab

zważone, a następnie stopniowo zalewane wodą. Po 48 godzinach zostały wyjęte i zważone. Badanie powtarzano aż do uzyskania stałej masy próbek. Oznaczenie wykonano, zanurzając próbki prostopadle oraz równolegle do górnej powierzchni płyty. Wynik nasiąkliwości (A_b) dla każdej próbki obliczono z równania [1], natomiast wynik końcowy uśredniono. Badanie wykonano dla 7 próbek z każdej serii.

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} \cdot 100 \quad [\%] \qquad [1]$$

gdzie:
m_s – masa nasyconej próbki,
m_d – masa suchej próbki.

Oznaczenie współczynnika nasiąkliwości kapilarnej wykonano zgodnie z metodyką określoną w normie PN-EN 1925:2001. Wysuszone próbki granitów o takim samym kształcie jak poprzednio i w takiej samej liczebności reprezentującej każdą badaną serię zanurzono w wodzie na głębokość 3 mm. Po czasie wynoszącym kolejno: 30, 60, 180, 480, 1440, 2880 i 4320 minut próbki wyjmowano i ważono, a następnie ponownie wkładano, utrzymując stały poziom wody w trakcie badania. Oznaczenie wykonano, zanurzając próbki prostopadle oraz równolegle do górnej powierzchni płyty. Dla granitu brazylijskiego dodatkowo zanurzano próbki zarówno dolną, jak i górną powierzchnią. Wynik badania przedstawiono jako wartość współczynnika nasiąkliwości kapilarnej wg wzoru [2]:

$$C = \frac{m_i - m_d}{A} \cdot \frac{1}{\sqrt{t_i}} \quad [\mathrm{g/m^2/s}] \qquad [2]$$

gdzie:
m_d – masa próbki wysuszonej,
m_i – kolejne masy próbki w trakcie badania,
A – powierzchnia próbki zanurzona w wodzie,
t_i – czas, który upłynął od początku badania do momentu, gdy wykonano kolejny pomiar masy próbki.

Dodatkowo wykonano eksperymentalne, nienormowe badanie mające na celu ocenę możliwości przesycenia płyty granitowej o grubości 6 cm barwnym roztworem wodnym. Wykonano je w następujący sposób. Fragment płyty, która wykazywała obecność przebarwień na górnej powierzchni, umieszczono na podkładkach dystansowych i zanurzono na głębokość 3 mm w wodzie zabarwionej na czarno barwnikiem mineralnym. Utrzymując stały poziom cieczy w trakcie całego badania, obserwowano zmianę zabarwienia kamienia wywołaną podciąganiem kapilarnym roztworu i wypełnianiem przez niego porów i szczelin kamienia. Badanie prowadzono przez 6 dni, to jest do momentu stwierdzenia pojawienia się czarnych plam na powierzchni kamienia, świadczących o kapilarnym przemieszczeniu się roztworu na powierzchnię i tym samym o nasyceniu kamiennej płyty na całej grubości 6 cm.

W trakcie badań granitu powstała konieczność zbadania kruszywa żwirowego zastosowanego w podbudowie nawierzchni dziedzińca. Badania wykonano zgodnie z metodyką zawartą w normie PN-EN 932-3:2022-12.

WYNIKI BADAŃ

Granit strzegomski

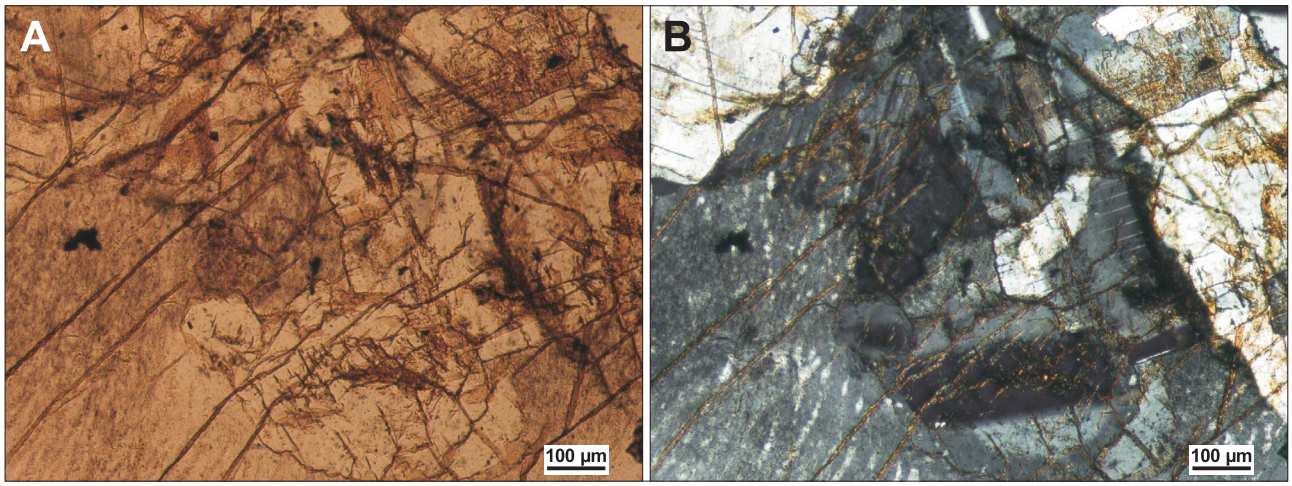
Granit posiada barwę jasnoszarą. Jego tekstura jest nierównokrystaliczna. Składniki o wielkości 0,5–17,0 mm ułożone są względem siebie bezładnie. Struktura granitu jest zwięzła, masywna. W składzie mineralnym zidentyfikowano: skalenie alkaliczne, plagioklazy, kwarc, biotyt oraz podrzędnie amfibole, tlenki żelaza, tytanit, cyrkon, apatyt, epidot i allanit (tab. 1).

Skalenie alkaliczne to ortoklaz lub formy pertytowe o subhedralnym pokroju. Na powierzchni pojedynczych ziaren ortoklazu jest zauważalny początek kaolinityzacji. W pertytach brak jest objawów przeobrażenia. Plagioklazy są zarówno polisyntetyczne (subhedralne, rzadziej euhedralne), jak i zonalne (euhedralne). Są one przeobrażone w różnym stopniu – od niezmienionych do niemal całkowicie skaolinityzowanych, szczególnie w jądrach form o budowie zonalnej. Zaznacza się również ich serycytyzacja, która w niektórych miejscach jest bardzo intensywna, obejmując całe ziarna. Wiele ziaren skaleni zawiera sieć spękań, rozwiniętą zgodnie z płaszczyznami ich podzielności, obejmującą niekiedy znaczne ich powierzchnie. Kwarc jest anhedralny o różnym stanie zachowania. Obserwuje się strefy, gdzie dominują osobniki o gładkich powierzchniach, a także miejsca o ziarnach silnie spękanych. Układ tych spękań jest nieregularny i chaotyczny. Blaszki biotytu (subhedralne) występują w pakietach, które są częściowo utlenione lub nieznacznie schlorytyzowane, względnie rozwarstwione. Posiadają liczne wrostki euhedralnych apatytów i cyrkonów, wokół których obecne są charakterystyczne obwódki pleochroiczne. Czasem biotytowi towarzyszą euhedralne kryształy słupkowego allanitu o budowie zonalnej. W niewielkich ilościach występuje hornblenda o zarysie euhedralnym, zastępowana miejscami przez biotyt. Na jej powierzchni obecne są szczeliny o układzie odpowiadającym ułożeniu płaszczyzn łupliwości. Skład modalny omawianej skały odniesiony do diagramu klasyfikacyjnego skał plutonicznych o M < 90% (Le Maitre, 1989) pozwolił zakwalifikować ją jako monzogranit.

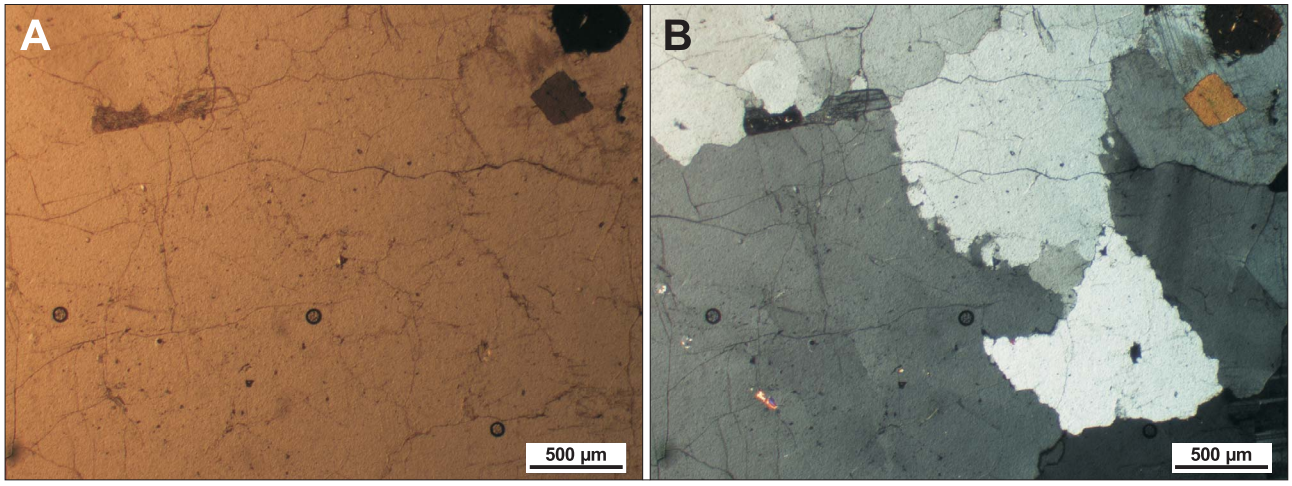
Tab. 1. Skład mineralny granitu strzegomskiego zastosowanego w nawierzchni dziedzińca
Table 1. Mineral composition of Strzegom granite used in the courtyard paving

Składnik *Component*	**Udział składnika** *Percentage of component* [% obj.]	
	od–do *from–to*	średnia *mean*
Kwarc *Quartz*	27,2–28,5	27,9
Plagioklazy *Plagioclase*	27,7–31,2	29,1
Skalenie alkaliczne *Alkali feldspar*	30,1–32,4	31,2
Biotyt *Biotite*	9,2–10,1	9,6
Hornblenda *Hornblende*	0,9–1,4	1,1
Tlenki i wodorotlenki żelaza *Iron oxides and hydroxides*	0,1–0,3	0,2
Allanit *Allanite*	0,2–0,8	0,5
Inne *Others*	0,2–0,5	0,4

W badanym granicie stwierdzono liczne spękania i szczeliny wewnątrzziarnowe i międzyziarnowe. W wielu miejscach zaobserwowano ich wzajemnie przecinanie się lub łączenie, co wpłynęło na utworzenie wspólnego ciągłego systemu, który umożliwił transport roztworów zawierających tlenki i wodorotlenki żelaza. Składniki te zostały stwierdzone jako wypełnienie szczelin (ryc. 7) wyłącznie w próbkach reprezentujących miejsca o makroskopowo widocznych rdzawych plamach. Intensywność koncentracji związków żelaza była zdecydowanie większa w dolnych częściach płyt, stopniowo malejąc ku górze, gdzie wypełniały już tylko część szczelin. W płytach nie zawierających przebarwień szczeliny pozostały niewypełnione (ryc. 8). Niezależnie stwierdzono występowanie pojedynczych (w udziale 0,1–0,3% obj.), rozproszonych w skale ziaren tlenków żelaza o wielkości 0,2–0,3 mm, które nie miały znamion rozpuszczania lub przeobrażania. Tego



Ryc. 7. Obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym granitu strzegomskiego. **A** – jeden polaryzator; **B** – polaryzatory skrzyżowane. Fragment płyty z przebarwieniami. Widoczne są liczne szczeliny występujące w ziarnach skaleni, wypełnione związkami żelaza
Fig. 7. Transmitted light microscopic image of the Strzegom granite. **A** – polarized light; **B** – crossed polarizers. Part of a slab with discolouration. Numerous micro-fissures filled with iron compounds in the feldspar grains



Ryc. 8. Obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym granitu strzegomskiego. **A** – jeden polaryzator; **B** – polaryzatory skrzyżowane. Fragment płyty bez przebarwień. Widoczne są spękane ziarna kwarcu. W szczelinach brak jest związków żelaza
Fig. 8. Transmitted light microscopic image of the Strzegom granite. **A** – polarized light; **B** – crossed polarizers. Part of the slab without discolouration. Fractured quartz grains are visible. There are no iron compounds in the fissures

typu ziarna zaobserwowano także w płytach nie zawierających rdzawych plam.

Przedstawione nierównomierne rozmieszczenie związków żelaza w szczelinach i spękaniach granitu, potwierdzające makroskopowe obserwacje kamienia, wskazało, że źródło zmian barwnych znajdowało się poza kamieniem, a dokładnie poniżej płyt nawierzchni, prawdopodobnie w podsypce żwirowej. Wykonane obserwacje i badania kruszywa wykazały, że składa się ono z ziaren kwarcu, skaleni oraz okruchów granitu, piaskowców, wapieni, rogowców, bazaltoidów, opoki i gezy, a także ziaren hematytu i syderytu. Te dwa ostatnie składniki, występujące w łącznym udziale 4,3%, tworzyły kuliste, bardzo miękkie i kruche agregaty, rozsypujące się w dłoni na drobny pył, który w kontakcie z wodą ulegał rozpuszczeniu tworząc barwny, rdzawo-brunatny roztwór. Stwierdzono, że w wielu miejscach, gdzie ziarna te występowały na powierzchni warstwy kruszywa, stykając się z dolną powierzchnią płyty, tworzyły się na niej rdzawe plamy przemieszczające się następnie ku górze. Jednakże obecne były także płyty, które stykały się od dołu z ziarnami hematytu i syderytu, a nieznaczne przebarwienia tworzyły się wyłącznie w ich dolnej części. Uznano, że źródłem plam widocznych na płytach granitowych są wymienione składniki kruszywa, ulegające rozkładowi pod wpływem wody opadowej wnikającej w przestrzeń między płytami nawierzchni. Rozpuszczone związki tlenków i wodorotlenków przemieszczały się ku górze kamienia, gdzie po odparowaniu wody ulegały krystalizacji w formie rdzawych plam.

W celu określenia, czy przemieszczanie barwnych roztworów w obrębie kamienia związane było z jego nadmierną nasiąkliwością, odbiegającą od wartości deklarowanej przez producenta i zaakceptowanej przez projektanta, wykonano badania wartości tego parametru. W płytach zawierających zmiany barwne w całym ich przekroju wykazano wartość nasiąkliwości wynoszącą średnio 0,34%, gdy woda była podciągana kapilarnie w kierunku prostopadłym do górnej powierzchni płyty. W próbkach, w których transport wody dokonywał się w kierunku równoległym do górnej powierzchni płyty, wartość ta wyniosła średnio 0,33%. Taką samą wartość oznaczono w płytach, w których zmiany barwne ujawniły się tylko w dolnej części płyty (tab. 2). Wszystkie te wartości są wzajemnie zbliżone i tylko nieznacznie wyższe od wielkości zadeklarowanej przez producenta wynoszącej 0,32%. Według zapisu normy PN-B-11202 taki poziom nasiąkliwości powinien zapewniać bezproblemowe użytkowanie płyt w nawierzchni zewnętrznej.

Na próbkach granitu wykonano następnie oznaczenie współczynnika nasiąkliwości. Podobne wartości – średnio 2,301 i 2,289 g/m^2/s – uzyskano odpowiednio dla płyt z przebarwieniami obecnymi w całym ich przekroju, gdy podciąganie kapilarne zachodziło w kierunku prostopadłym do górnej powierzchni płyty, oraz dla płyt ze zmia-

Tab. 2. Nasiąkliwość przy ciśnieniu atmosferycznym (wg PN-EN 13755:2008) granitu strzegomskiego zastosowanego w nawierzchni dziedzińca
Table 2. Water absorption at atmospheric pressure (acc. to PN-EN 13755:2008) of Strzegom granite used in the courtyard paving

Miary statystyczne *Statistical measures*	**Nasiąkliwość [%]** *Water absorption at atmospheric pressure [%]*			
	Płyty ze zmianami barwnymi w całym ich przekroju *Slabs with discolourations throughout their cross-section*		**Płyty ze zmianami barwnymi w ich dolnej części** *Slabs with discolourations in their lower part*	
	⊥	‖	⊥	‖
Od–do *From–to*	0,29–0,38	0,27–0,37	0,28–0,36	0,28–0,37
Średnia x *Mean x*	0,34	0,33	0,33	0,33
Odchylenie standardowe s *Standard deviation s*	0,03	0,03	0,03	0,03
Współczynnik zmienności v *Coefficient of variation v*	0,09	0,09	0,09	0,09

Objaśnienia: ⊥– podciąganie kapilarne w kierunku prostopadłym do górnej powierzchni płyty; ‖– podciąganie kapilarne w kierunku równoległym do górnej powierzchni płyty.
Explanations: ⊥– capillary rising in the direction perpendicular to the upper surface of the slab; ‖ – capillary rising in the direction parallel to the upper surface of the slab.

Tab. 3. Współczynnik nasiąkliwości kapilarnej (wg PN-EN 1925:2001) granitu strzegomskiego zastosowanego w nawierzchni dziedzińca
Table 3. Capillary water absorption coefficient (acc. to PN-EN 1925:2001) of Strzegom granite used in the courtyard paving

Miary statystyczne *Statistical measures*	**Współczynnik nasiąkliwości kapilarnej [g/m²/s]** *Capillary absorption coefficient [g/m²/s]*			
	Płyty ze zmianami barwnymi w całym ich przekroju *Slabs with discolourations throughout their cross-section*		**Płyty ze zmianami barwnymi w ich dolnej części** *Slabs with discolourations in their lower part*	
	⊥	‖	⊥	‖
Od–do *From–to*	2,245–2,400	1,100–1,188	1,104–1,193	2,239–2,397
Średnia x *Mean x*	2,301	1,144	1,148	2,289
Odchylenie standardowe s *Standard deviation s*	0,058	0,039	0,034	0,051
Współczynnik zmienności v *Coefficient of variation v*	0,025	0,034	0,030	0,022

Objaśnienia patrz tab. 2. / *For explanations, see Table 2.*

nami barwnymi obserwowanymi tylko w ich dolnej części, przy podciąganiu kapilarnym zachodzącym w kierunku równoległym do górnej powierzchni płyty (tab. 3). Dwukrotnie niższe wartości (1,144 i 1,148 g/m2/s) wykazano w płytach ze zmianami barwnymi w całym ich przekroju, ale w sytuacji, gdy woda była podciągana kapilarnie w kierunku równoległym do górnej powierzchni płyty, a także w płytach zabarwionych tylko w dolnej części, w których woda wznosiła się kapilarnie w kierunku prostopadłym do górnej powierzchni płyty (tab. 3).

W celu weryfikacji możliwości zaistnienia zjawiska kapilarnego przemieszczenia roztworu przez płytę granitu o grubości 6 cm wykonano omówiony wcześniej eksperyment. Wykazał on, że barwny roztwór nasycał stopniowo przestrzeń porową granitu, wypełniając i zabarwiając szczeliny i spękania. Front krystalizacji ulegał stopniowemu przemieszczaniu ku górze płyty. Po okresie 6 dni nastąpiło całkowite przeniknięcie roztworu systemem kapilar ku powierzchni, która uległa zabarwieniu na kolor ciemnoszary (ryc. 9).

Granit brazylijski *Delicia White*

Granit ma biało-szarą barwę. Jest nierównokrystaliczny o strukturze zwięzłej, masywnej. Złożony jest głównie z plagioklazów, kwarcu i skaleni potasowych o wielkości 0,3–12,0 mm, ponadto z występujących w mniejszej ilości biotytu, granatów i tlenków żelaza, a także podrzędnie kalcytu (tab. 4). Składniki te są ułożone względem siebie bezładnie, ale zazwyczaj dość równomiernie. Skalenie alkaliczne to głównie ortoklaz, rzadziej formy pertytowe, wykształcone subhedralnie z wrostkami plagioklazów i kwarcu. Są one częściowo zwietrzałe w wyniku kaolinityzacji i serycytyzacji. Plagioklazy są polisyntetycznie zbliźniaczone o pokroju subhedralnym, rzadziej euhedralnym. Są one przeobrażone w różnym stopniu. Obecne są ziarna niezmienione, ale także silnie skalcyfikowane lub zserycytyzowane. Kwarc występuje w odmianie monokrystalicznej lub polikrystalicznej, w anhedralnych ziarnach, o różnym natężeniu spękań widocznych na ich powierzchni. Biotyt ma formę subhedralnych blaszek. Tworzy pakiety i skupienia o wielkości dochodzącej do 1 mm. Niemal wszystkie z nich są silnie przeobrażone w wyniku chlorytyzacji, rozpadając się na włókniste skupienia brunatnego, żelazistego chlorytu. W niektórych skupieniach wytrąciła się wtórna krzemionka.

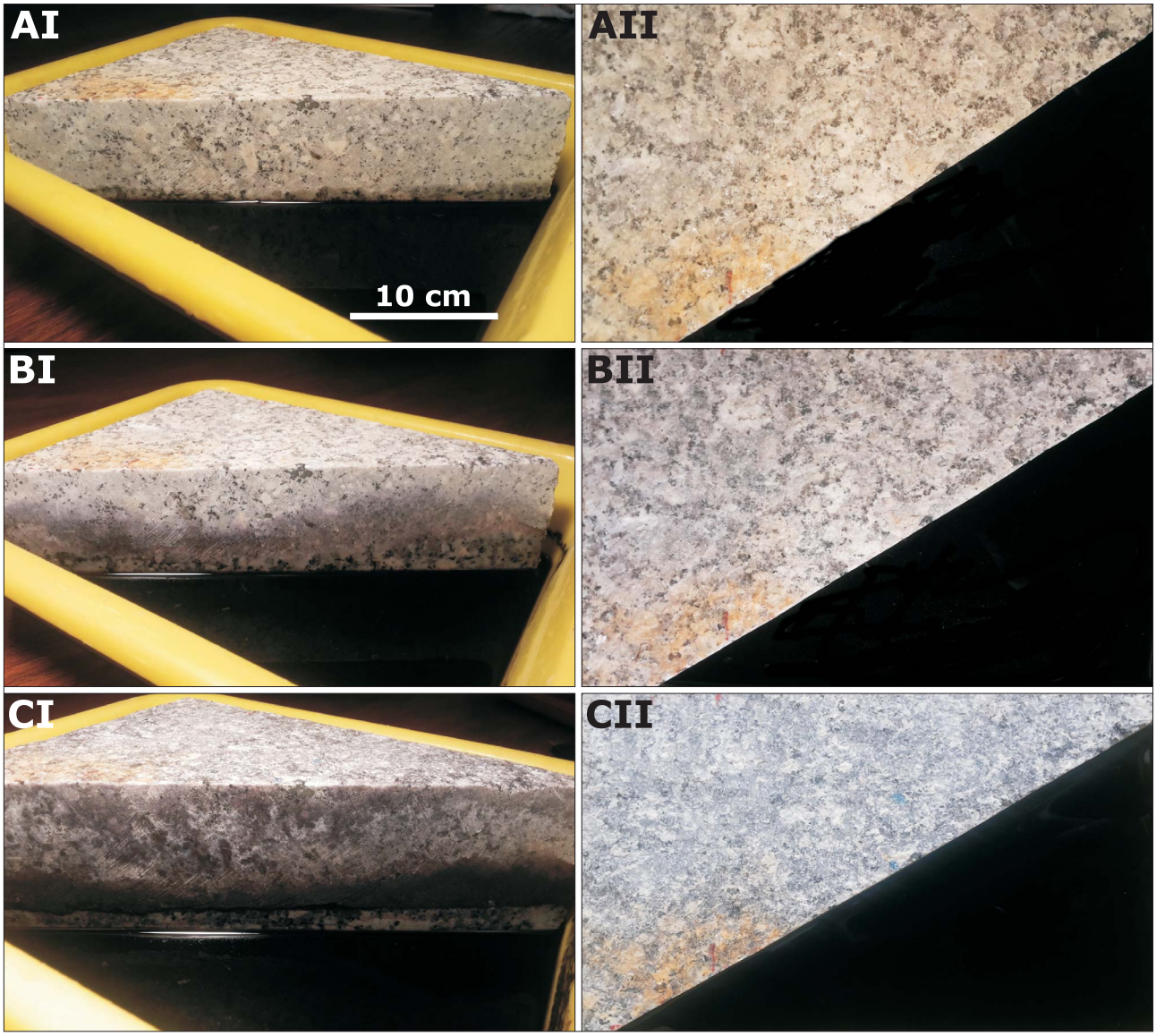
Granaty, reprezentowane przez almandyn, są rozproszone w masie skalnej nierównomiernie, czasem występując w kilkuziarnowych skupieniach, są hipautomorficzne i zazwyczaj spękane. Minerały rudne to głównie tlenki i wodorotlenki żelaza, są dość liczne, tworząc niewielkie skupienia o wielkości poniżej 1 mm, występujące między ziarnami lub w formie drobnych żyłek. Towarzyszy im kalcyt wykształcony w formie kryształów sparytu, który dodatkowo obecny jest w ziarnach plagioklazów.

Skład modalny omawianej skały odniesiony do diagramu klasyfikacyjnego skał plutonicznych o M < 90% (Le Maitre, 1989) kwalifikuje ją jako monzogranit.

Obserwacje wykazały, że barwne zmiany widoczne makroskopowo na powierzchni płyt granitu powstały wokół miejsc występowania pakietów biotytu oraz skupień tlenków i wodorotlenków żelaza (ryc. 10–12). Liczne szczeliny obecne w ziarnach kwarcu, skaleni i granatów występujących w pobliżu tych minerałów uległy wypełnieniu przez rdzawo zabarwioną substancję. Strefa tych zmian objęła tylko górny fragment niektórych płyt do głębokości 3,5 mm od ich zewnętrznej powierzchni. W tej części płyt stwierdzono jednocześnie znacznie bardziej rozwinięty system wzajemnie połączonych szczelin. Wśród nich szczególnie wyraźne są szczeliny o przebiegu ukośnym lub pionowym w stosunku do górnej powierzchni płyty, powstałe w obrębie ziaren skaleni (ryc. 13). W głębszych częściach płyt spękania są mniej liczne i niewypełnione rdzawą substancją.

Badania nasiąkliwości wykazały, że próbki granitu zarówno z płyt posiadających powierzchniowe przebarwienia, jak i z płyt bez takich przebarwień, bez względu na sposób ich ułożenia w wodzie, mają taką samą wartość tego parametru wynoszącą średnio 0,44% (tab. 5). Jest ona zgodna z wartością deklarowaną przez producenta.

Znacznie większą zmienność wykazał badany granit w przypadku współczynnika nasiąkliwości kapilarnej. Ze względu na stwierdzone mikroskopowo strefowe zróżnicowanie ilości spękań w płytach granitu wykonano dodatkowe badania tej właściwości, zanurzając w wodzie zarówno dolną, jak i górną powierzchnię płyt. Najniższe wartości współczynnika uzyskano dla płyt bez powierzchniowych zmian barwnych, przy podciąganiu kapilarnym zachodzącym w kierunku prostopadłym do górnej powierzchni płyty. Wyniosły one średnio 1,600 g/m²/s, gdy płyty zanurzono w wodzie dolną powierzchnią, i 1,609 g/m²/s, gdy zanurzona była ich powierzchnia górna (tab. 6). Podobną wartość wynoszącą średnio 1,603 g/m²/s uzyskano dla płyt ze zmianami barwnymi na powierzchni, zanurzonych w wodzie ich dolną powierzchnią. W przypadku odwrotnego ułożenia tych płyt, czyli zanurzenia w wodzie ich górnej powierzchni, wartość współczynnika nasiąkliwości była największa, wynosząc średnio 1,840 g/m²/s (tab. 6). Pośrednie wartości



↑

Ryc. 9. Płyta granitu strzegomskiego podczas nasycania w barwnym roztworze. **A** – początek eksperymentu; **B** – czwarty dzień obserwacji; **C** – szósty dzień obserwacji; **I** – widok przekroju płyty; **II** – widok górnej powierzchni płyty
Fig. 9. A Strzegom granite slab during saturation with a coloured solution. **A** – beginning of the experiment; **B** – fourth day of observation; **C** – sixth day of observation; **I** – cross-section view of the slab; **II** – view of the upper surface of the slab

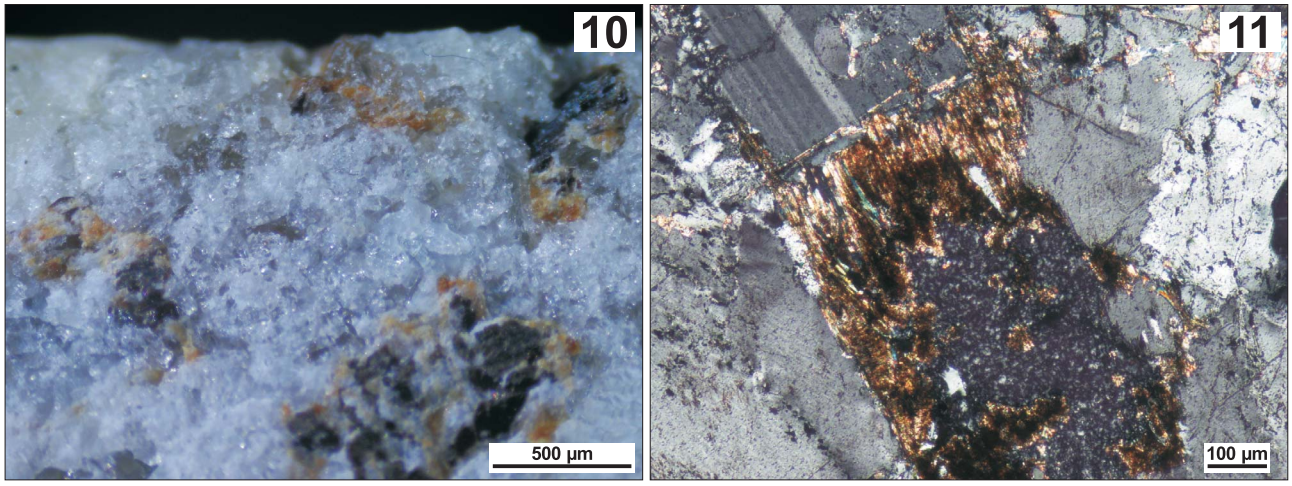
omawianego parametru (1,711 i 1,716 g/m^2/s) oznaczono w płytach, w których woda była podciągana kapilarne w kierunku równoległym do ich górnej powierzchni (tab. 6).

PODSUMOWANIE

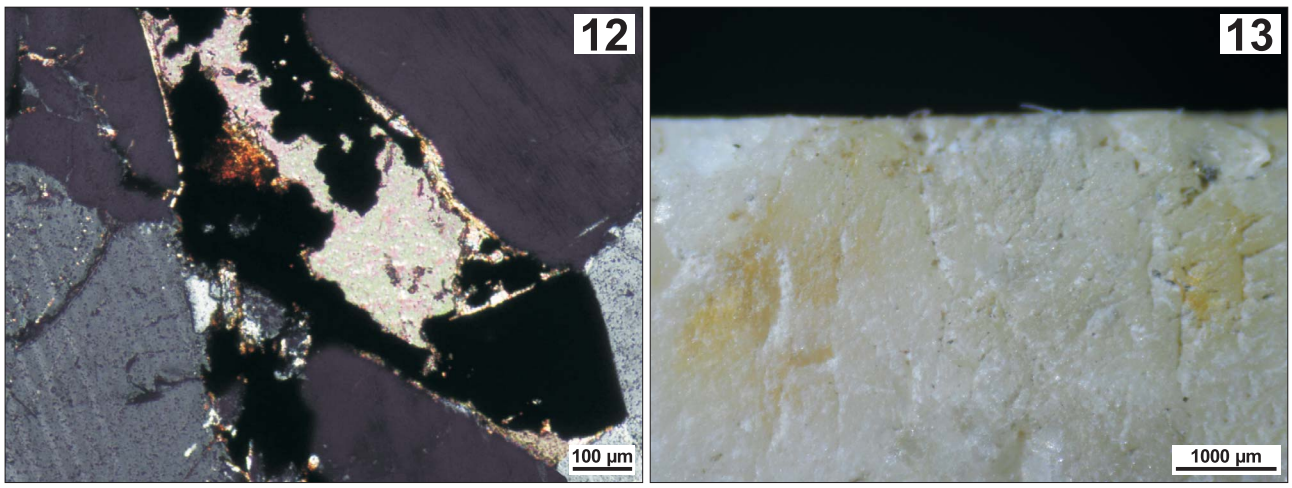
Wykonane badania wykazały, że granit strzegomski zastosowany w nawierzchni dziedzińca charakteryzuje się anizotropią wartości współczynnika nasiąkliwości kapilarnej, przy stałej wartości nasiąkliwości. Podobną zależność wykazano wcześniej np. dla monzogranitów i leukogranitów pochodzących z centralnej Hiszpanii (Fort i in., 2011).

Tab. 4. Skład mineralny granitu *Delicia White* zastosowanego w nawierzchni chodnika
Table 4. Mineral composition of *Delicia White* granite used in the pavement surface

Składnik ***Component***	**Udział składnika** ***Percentage of component*** **[% obj.]**	
	od–do *from–to*	średnia *mean*
Kwarc *Quartz*	27,5–29,1	28,8
Plagioklazy *Plagioclase*	31,1–32,9	32,6
Skalenie alkaliczne *Alkali feldspar*	24,5–26,1	25,8
Biotyt *Biotite*	5,8–7,0	6,4
Hornblenda *Hornblende*	2,0–2,6	2,3
Tlenki i wodorotlenki żelaza *Iron oxides and hydroxides*	1,9–2,5	2,4
Allanit *Allanite*	1,3–1,9	1,7



Ryc. 10. Przekrój płyty granitu *Delicia White* w mikroskopie stereoskopowym. Widoczne są rdzawe przebarwienia wokół skupień przeobrażonego biotytu i tlenków żelaza
Fig. 10. Cross-section of the *Delicia White* granite slab in a stereoscopic microscope. There are rusty discolourations around the clusters of iron oxides and altered biotite
Ryc. 11. Obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym granitu *Delicia White*. Polaryzatory skrzyżowane. Fragment płyty z przebarwieniami. Widoczny jest pakiet silnie przeobrażonego biotytu. Szczeliny występujące wokół niego wypełnione są związkami żelaza
Fig. 11. Transmitted light microscopic image of *Delicia White* granite. Crossed polarizers. Fragment of a slab with discolouration. A cluster of highly altered biotite flakes is visible. The fissures around it are filled with iron compounds



Ryc. 12. Obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym granitu *Delicia White*. Polaryzatory skrzyżowane. Fragment płyty z przebarwieniami. Widoczne są skupienia tlenków i wodorotlenków żelaza oraz kalcyt w przestrzeni między ziarnami kwarcu i skaleni
Fig. 12. Transmitted light microscopic image of *Delicia White* granite. Crossed polarizers. Fragment of a slab with discolouration. In the space between quartz and feldspar grains, clusters of iron oxides and hydroxides, as well as calcite crystals, are visible
Ryc. 13. Widok przekroju płyty granitu *Delicia White* w mikroskopie stereoskopowym. Widoczne są szczeliny o przebiegu ukośnym lub pionowym w stosunku do górnej powierzchni płyty
Fig. 13. Cross-section of the *Delicia White* granite slab in a stereoscopic microscope. Micro-fissures perpendicular or diagonal to the upper surface of the slab are visible

Zależność ta wynika najprawdopodobniej ze sposobu wycięcia płyt z bloków skalnych, który zadecydował o ich różnej orientacji względem systemu spękań występującego w masywie skalnym, z którego zostały pozyskane. Ukierunkowanie spękań jest zwykle związane z warunkami tworzenia się masywu, a jego skutkiem jest anizotropia różnych właściwości fizycznych i mechanicznych granitów (por. Eres-Rodrigues, 1966; Douglas, Voight, 1969; Fort i in., 2011; Stan-Kłeczek, 2012; Glapa, Sroga, 2013).

W płytach granitu strzegomskiego o różnej zdolności do transportu cieczy, wyrażonej anizotropią wartości współczynnika nasiąkliwości kapilarnej, doszło do nierównomiernego przemieszczania się ku górze barwnych roztworów związków żelaza. W płytach, w których oznaczono wartość współczynnika na poziomie 1,144 g/m^2/s, zmiany barwne powstały tylko na ich dolnej powierzchni. W płytach o wartości tego współczynnika wynoszącej średnio 2,301 g/m^2/s doszło do kapilarnego podciągania tych roztworów od podłoża do ich górnej powierzchni, a następnie do krystalizacji związków żelaza w formie rdzawych plam. Badania petrograficzne wykazały, że źródłem powstania tych roztworów były ziarna hematytu i syderytu występujące w warstwie podbudowy nawierzchni. W trakcie jej zagęszczania ziarna te, charakteryzujące się znaczną kruchością, uległy rozdrobnieniu, a następnie częściowemu rozkładowi pod wpływem wilgoci podciąganej z podłoża podbudowy oraz wody opadowej wnikającej między płytami granitu. Powstały roztwór zabarwił inne

Tab. 5. Nasiąkliwość przy ciśnieniu atmosferycznym (wg PN-EN 13755:2008) granitu *Delicia White* zastosowanego w nawierzchni chodnika
Table 5. Water absorption at atmospheric pressure (acc. to PN-EN 13755:2008) of *Delicia White* granite used in the pavement surface

Miary statystyczne ***Statistical measures***	**Nasiąkliwość przy ciśnieniu atmosferycznym [%]** ***Water absorption at atmospheric pressure [%]***			
	Płyty ze zmianami barwnymi w całym ich przekroju ***Slabs with discolourations throughout their cross-section***		**Płyty ze zmianami barwnymi w ich dolnej części** ***Slabs with discolourations in their lower part***	
	⊥	‖	⊥	‖
Od–do *From–to*	0,40–0,49	0,41–0,47	0,41–0,48	0,39–0,50
Średnia x *Mean x*	0,44	0,44	0,44	0,44
Odchylenie standardowe s *Standard deviation s*	0,03	0,03	0,03	0,03
Współczynnik zmienności v *Coefficient of variation v*	0,07	0,07	0,07	0,07

Objaśnienia patrz tab. 2. / *For explanations, see Table 2.*

temperatury oraz długością cykli parowania zachodzącego w okresach bezopadowych.

Według Forta i in. (2011) do zastosowań budowlanych należy wybierać kamień naturalny o możliwie najmniejszej anizotropii właściwości absorpcyjnych, gdyż decyduje to o jego większej odporności na działanie wody i większej trwałości w obiekcie budowlanym. Wyniki niniejszych badań pokazują, że w przypadku omawianej nawierzchni dziedzińca nie ma przeciwwskazań do zastosowania granitu o tak wyraźnej anizotropii współczynnika nasiąkliwości kapilarnej, pod warunkiem, że sposób wycięcia i ułożenia płyt będzie zapewniał transport roztworów zgodny z kierunkiem odpowiadającym najniższej wartości tego współczynnika. Niezależnie od omówionej właściwości kamienia, należy także zwracać uwagę na sposób jego montażu. W przypadku omawianej nawierzchni błędem było wykonanie podbudowy z kruszywa zawierającego mało odporne chemicznie i mechanicznie ziarna, których produkty rozpadu

Tab. 6. Współczynnik nasiąkliwości kapilarnej (wg PN-EN 1925:2001) granitu *Delicia White* zastosowanego w nawierzchni chodnika
Table 6. Capillary water absorption coefficient (according to PN-EN 1925:2001) of *Delicia White* granite used in the pavement surface

Miary statystyczne ***Statistical measures***	**Współczynnik nasiąkliwości kapilarnej [g/m^2/s]** ***Capillary absorption coefficient [g/m^2/s]***					
	Płyty ze zmianami barwnymi na powierzchni ***Slabs with discolourations on the surface***			**Płyty bez zmian barwnych na powierzchni** ***Slabs without discolourations on the surface***		
	⊥		‖	⊥		‖
	D	G		D	G	
Od–do *From–to*	1,547–1,632	1,294–2,211	1,666–1,794	1,533–1,664	1,558–1,647	1,651–1,732
Średnia x *Mean x*	1,603	1,840	1,716	1,600	1,609	1,711
Odchylenie standardowe s *Standard deviation s*	0,029	0,324	0,060	0,408	0,028	0,054
Współczynnik zmienności v *Coefficient of variation v*	0,018	0,176	0,034	0,255	0,017	0,031

Objaśnienia: ⊥ – podciąganie kapilarne w kierunku prostopadłym do górnej powierzchni płyty; ‖ – podciąganie kapilarne w kierunku równoległym do górnej powierzchni płyty; D – płyta zanurzona w wodzie dolną powierzchnią; G – płyta zanurzona w wodzie górną powierzchnią.
Explanations: ⊥ – capillary rising in the direction perpendicular to the upper surface of the slab; ‖ – capillary rising in the direction parallel to the upper surface of the slab; D – slab immersed in water with its lower surface; G – slab immersed in water with its upper surface.

ziarna podbudowy oraz położone na niej płyty granitowe, wypełniając występujące w nich mikroszczeliny. Możliwość zaistnienia takiego zjawiska potwierdziły badania eksperymentalne, w wyniku których płyta granitu o grubości 6 cm uległa nasyceniu barwnym roztworem w ciągu 6 dni. W warunkach rzeczywistych czas niezbędny do zajścia tego procesu jest zwykle znacznie dłuższy niż realizuje się to w warunkach laboratoryjnych i może wynosić od kilku tygodni do kilkunastu miesięcy. Związane jest to głównie z ilością i częstością cykli opadów atmosferycznych, zawilgoceniem gruntu pod nawierzchnią, zmiennością przedostały się w formie roztworu do wnętrza elementów kamiennych. Zastosowanie innego rodzaju kruszywa zapewniłoby bezpieczniejsze warunki użytkowania nawierzchni, zapobiegając uruchomieniu procesów jej destrukcji.

Granit brazylijski *Delicia White* zastosowany w nawierzchni chodnika wykazuje stałą wartość nasiąkliwości bez względu na sposób wycięcia płyt i obecność lub brak powierzchniowych przebarwień. Ponadto, w odróżnieniu od omawianego granitu strzegomskiego charakteryzuje się małą anizotropią wartości współczynnika nasiąkliwości kapilarnej. W próbkach nasycanych wodą prostopadle do

górnej powierzchni płyty, wartości tego parametru wynoszą 1,600 i 1,603 g/m^2/s, natomiast nasycanych równolegle: 1,711 i 1,716 g/m^2/s. Wyraźnie wyższą wartość współczynnika (1,840 g/m^2/s) stwierdzono w płytach z rdzawymi przebarwieniami, które podczas badania zostały zanurzone w wodzie swoją górną powierzchnią. Ta podwyższona wartość wynika z obecności w przypowierzchniowej części niektórych płyt licznych spękań między- i wewnątrzziarnowych, wykazanych obserwacjami mikroskopowymi. Większość z tych spękań jest ułożona prostopadle lub skośnie do powierzchni płyty. Powstały one najprawdopodobniej podczas obróbki termicznej płyt, tzw. płomieniowania. Obecność tego rodzaju spękań wykazali wcześniej Rembiś i Dubiniewicz (2018) w różnych granitach poddanych płomieniowaniu. Powstawały one na górnych powierzchniach ziaren skaleni, poddanych bezpośredniemu prażeniu, na skutek wzrostu ich objętości. Wykazywały skośne ułożenie w stosunku do powierzchni płyty i charakterystyczne, rozgałęziające się kształty lub miały charakter rozciągających spękań przegubowych o pionowym ułożeniu. W płytach, w których nie doszło do powstania powierzchniowych przebarwień, takich spękań nie stwierdzono, a wartość współczynnika nasiąkliwości kapilarnej jest wyraźnie niższa i wynosi 1,609 g/m^2/s. Powyższe wyniki obserwacji i pomiarów wskazują, że główny wpływ na zróżnicowanie wielkości absorpcji wody przez płyty wykonane z granitu *Delicia White* ma sposób obróbki ich powierzchni. Płyty, w których płomieniowanie doprowadziło do powstania kilkumilimetrowej przypowierzchniowej strefy spękań, wykazały większą zdolność do wchłaniania w istniejące szczeliny wodnych roztworów zawierających gazowe i pyłowe cząstki atmosferyczne. Roztwory te w wyniku kontaktu z silnie zwietrzałym biotytem oraz tlenkami i wodorotlenkami żelaza wzbogaciły się w produkty rozkładu tych minerałów. Po odparowaniu wody nastąpiło wytrącenie się nowych faz mineralnych o rdzawym zabarwieniu nie tylko na powierzchni kamienia, ale także w licznych, przypowierzchniowych szczelinach. Czynnikiem intensyfikującym przebieg powyższych procesów było niemal poziome (spadek wynoszący 1%) ułożenie płyt nawierzchni. W płytach, w których obróbka termiczna nie spowodowała powstania wspomnianej strefy spękań, wnikanie roztworów do wnętrza skały było ograniczone. W efekcie nie doszło do zauważalnego rozkładu minerałów i powstania przebarwień w obrębie kamienia.

WNIOSKI

1. Niska wartość nasiąkliwości wynosząca poniżej 0,5%, która wg norm krajowych kwalifikowała kamień budowlany jako przydatny do zastosowania w zewnętrznych płytach okładzinowych i posadzkowych, nie jest warunkiem wystarczającym, gwarantującym odporność kamienia na niszczące oddziaływanie warunków środowiskowych. Dla oceny przydatności granitu do wykonania płyt nawierzchni zewnętrznych niezbędne jest wykonanie zarówno badań ich nasiąkliwości, jak i współczynnika nasiąkliwości kapilarnej.

2. W przypadku granitów wykazujących anizotropię właściwości absorpcyjnych istotne znaczenie dla trwałości wykonanej z nich nawierzchni ma sposób wycięcia i ułożenia płyt zapewniający jak najmniejsze podciąganie wilgoci z podłoża. Ich montaż powinien być wykonany z zastosowaniem materiałów odpornych na niszczące działanie środowiska i nie zawierających składników działających niszcząco na kamień.

3. Procesy obróbki termicznej mogą mieć znaczny wpływ na zwiększenie absorpcji wody przez kamień. Z tego względu płyty przed ich wbudowaniem w nawierzchnię powinny być poddawane kontroli jakości i odpowiedniej selekcji.

Autor składa podziękowanie Recenzentom oraz Redakcji Przeglądu Geologicznego za poświęcony czas oraz cenne uwagi dotyczące treści artykułu i jego formy. Praca była finansowana przez AGH Akademię Górniczo-Hutniczą (nr umowy 16.16.140.315).

LITERATURA

AREL E., TUGRUL A. 2001 – Weathering and its relation to geomechanical properties of Cavusbasi granitic rocks in northwestern Turkey. Bul. Eng. Geol. Environ., 60: 123–133.

BADERA J., KOZYRA J. 2004 – Zmienność fizyczno-mechanicznych parametrów jakości głównych typów kamienia blocznego. Górn. Odkryw., 46 (3/4): 31–35.

BASISTA S., KRYNICKI T. 1981 – Własności petrofizyczne niektórych skał monokliny przedsudeckiej. Prz. Geol., 29 (4): 185–190.

BORNER K., HILL D. 2003 – Natural Stones Worldwide. Abraxas Verlag, Hasede.

BROMOWICZ J. 2005 – Waloryzacja polskich złóż kamieni budowlanych i drogowych na tle przepisów Unii Europejskiej. Uczel. Wydaw. Nauk.-Dydakt. AGH, 5: 1–113.

BROMOWICZ J. 2002 – Petrograficzne i sedymentacyjne uwarunkowania zmienności właściwości fizyczno-mechanicznych kopaliny w złożach piaskowców magurskich. Pr. Nauk. Inst. Górn. PWr. Konferencje, 97 (33): 9–25.

DOUGLAS P.M., VOIGHT B. 1969 – Anisotropy of granites: A reflection of microscopic fabric. Geotechnique, 19 (3): 376–398.

ERES-RODRIGUES F. 1966 – Anisotropy of granites. Modulus of elasticity and ultimate strength ellipsoïds, joint systems, slopes attitudes, and their correlations. Proceedings 1st Congress I.S.R.M., Lisbon, 1: 721–731.

FIGARSKA-WARCHOŁ B., STAŃCZAK G. 2016 – Wpływ petrograficznego zróżnicowania piaskowców krośnieńskich na ich właściwości fizyczno-mechaniczne w złożach Górka-Mucharz i Skawce (Beskid Mały). Zesz. Nauk. IGSMiE PAN, 96: 37–56.

FIGARSKA-WARCHOŁ B., STAŃCZAK G. 2003 – Przestrzenna zmienność właściwości fizyczno-mechanicznych w złożach serpentynitu Nasławice oraz granitu i gnejsu Strzelin (Dolny Śląsk). Pr. Nauk. Inst. Górn. PWr., Konferencje, 104 (37): 17–35.

FORT R., VARAS M. J., ALVAREZ DE BUERGO M., MARTIN-FREIRE D. 2011 – Determination of anisotropy to enhance the durability of natural stone. J. Geophysic. Eng., 8: 132–144.

GLAPA W., SROGA C. 2013 – Rozwój wykorzystania granitoidów masywu Strzegom-Sobótka w latach 2003–2012 w budownictwie i drogownictwie. Zesz. Nauk. IGSMiE PAN, 85: 89–103.

GUZIK K. 2016 – Piaskowce formacji ostrowieckiej północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich – zmienność litologii i parametrów fizyczno-mechanicznych a możliwości surowcowego wykorzystania. Zesz. Nauk. IGSMiE PAN, 92: 89–105.

HYDZIK-WIŚNIEWSKA J., SMOK M., WILK A., HYCNAR E. 2017 – Possibility of using Indian rock material in climatic conditions of Poland. Inżyn. Mineral., 2: 101–110

ICONS 2000 – Interactive Catalogue of Natural Stones. Variograma, Lisbona.

KAMIEŃSKI M., PESZAT C., RUTKOWSKI J., SKOCZYLAS-CISZEWSKA K. 1968 – O wykształceniu i własnościach technicznych piaskowców godulskich. Zesz. Nauk. AGH, Geologia, 12: 3–80.

KARWACKI A. 1990 – Litologia i petrogeneza marmurów kłodzkich. Zesz. Nauk. AGH, Geologia, 47: 1–163.

KARWACKI A. 1980 – Petrograficzne podstawy zróżnicowania własności technicznych granitoidów masywu Strzegom–Sobótka. Zesz. Nauk. AGH, Geologia, 6 (1): 79–105.

LE MAITRE R.W. (red) 1989 – A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Wyd. Blackwell, 1–193.

ŁOWIŃSKA-KLUGE A., HORBIK D., ZGOŁA-GRZES?KOWIAK A., STANISZ E., GÓRSKI Z. 2016 – A comprehensive study on the risk of biocorrosion of building materials. Corros. Eng. Sci. Technolog., 52 (1): 1–9.

MOHAMAD E.T., LATIFI N., AREFNIA A., ISA M.F. 2016 – Effects of moisture content on the strength of tropically weathered granite from Malaysia. Bul. Eng. Geol. Environ., doi: 10.1007/s10064-015-0749-2
PANOVA E.G., VLASOV D.Y., LUODES H. 2014 – Evaluation of the durability of granite in architectural monuments. Geological Survey of Finland. Report of Investigation, 214: 1–94.
PAWLIK T. 2013 – Wpływ cech petrograficznych na wybrane parametry fizyczno-mechaniczne kruszyw granitoidowych z Dolnego Śląska wykorzystywanych w budownictwie drogowym. Drogownictwo, 7–8: 230–235.
PESZAT C. 1973 – Własności techniczne piaskowców Gór Świętokrzyskich. Zesz. Nauk. AGH, Geologia, 18: 1–59.
PESZAT C. 1980 – Własności fizyczno-mechaniczne skał węglanowych dewonu Gór Świętokrzyskich. Biul. Inst. Geol., 324: 283–319.
PN-B-04101:1985 Materiały kamienne. Oznaczanie nasiąkliwości wodą. Polski Komitet Normalizacyjny.
PN-B-11202:1996 Materiały kamienne. Elementy kamienne. Płyty posadzkowe zewnętrzne i wewnętrzne. Polski Komitet Normalizacyjny.
PN-B-11203:1997 Materiały kamienne. Elementy kamienne. Płyty do okładzin pionowych zewnętrznych i wewnętrznych. Polski Komitet Normalizacyjny.
PN-B-11205:1996 Materiały kamienne. Elementy kamienne. Stopnie monolityczne i okładzina stopni. Polski Komitet Normalizacyjny.
PN-B-11211:1997 Materiały kamienne. Elementy kamienne łupane do licowania ścian. Polski Komitet Normalizacyjny.
PN-EN 12057:2015-04 Wyroby z kamienia naturalnego. Płyty modułowe. Wymagania. Polski Komitet Normalizacyjny.
PN-EN 12058:2015-04 Wyroby z kamienia naturalnego. Płyty posadzkowe i schodowe. Wymagania. Polski Komitet Normalizacyjny.
PN-EN 1341:2013-05 Płyty z kamienia naturalnego do zewnętrznych nawierzchni drogowych. Wymagania i metody badań. Polski Komitet Normalizacyjny.
PN-EN 1343:2013-05 Krawężniki z kamienia naturalnego do zewnętrznych nawierzchni drogowych. Wymagania i metody badań. Polski Komitet Normalizacyjny.
PN-EN 13755:2008 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym. Polski Komitet Normalizacyjny.
PN-EN 1469:2015-04 Wyroby z kamienia naturalnego. Płyty okładzinowe. Wymagania. Polski Komitet Normalizacyjny.
PN-EN 1925:2001 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie współczynnika nasiąkliwości kapilarnej. Polski Komitet Normalizacyjny.
PN-EN 932-3:2022-12 Badania podstawowych właściwości kruszyw. Część 3: Procedura i terminologia uproszczonego opisu petrograficznego. Polski Komitet Normalizacyjny.
REMBIŚ M. 2016 – Wpływ procesów pomagmowych i hipergenicznych na jakość kopaliny występującej w złożu granitów „Gniewków". Górn. Odkryw., 57 (3): 44–53.
REMBIŚ M., DUBINIEWICZ A. 2018 – Zmiany mikrostrukturalne w płytach skał magmowych poddanych termicznej obróbce metodą płomieniowania. Prz. Geol., 66 (7): 450–456.
STAŃCZAK G. 2015 – Dolnośląski łupek z Jenkowa i możliwości jego zastosowania. Górn. Odkryw., 56 (2): 146–153.
STAN-KŁECZEK I. 2010 – Wpływ spękań na anizotropię prędkości fal sejsmicznych w wybranych masywach skalnych. Wydaw. UŚ, Katowice, 1–116.
USTAWA z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych. Dz.U. z 2004 r. nr 92 poz. 881 z późn. zm.

Praca wpłynęła do redakcji 30.10.2023 r.
Akceptowano do druku 5.12.2023 r.