



Możliwość wykorzystania indyjskich materiałów skalnych w warunkach klimatycznych Polski

Joanna HYDZIK-WIŚNIEWSKA¹⁾, Małgorzata SMOK, Anna WILK, Elżbieta HYCNAR

¹⁾ dr inż.; AGH Akademia Górniczo-Hutnicza Wydział Górnictwa i Geoinżynierii; email: hydzyk@agh.edu.pl

¹⁾ mgr inż.; AGH Akademia Górniczo-Hutnicza Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

¹⁾ mgr inż.; AGH Akademia Górniczo-Hutnicza Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

¹⁾ dr inż.; AGH Akademia Górniczo-Hutnicza Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

DOI: 10.29227/IM-2017-02-11

Abstrakt

W ostatnich latach obserwuje się zwiększającą się popularność zagranicznych surowców skalnych. Wśród państw mających coraz większy wpływ na import kamienia mają kraje azjatyckie - głównie Chiny i Indie. Niewątpliwą zaletą importu kamieni zagranicznych jest poszerzenie gamy barw i efektów, jakie może przy ich wykorzystaniu stworzyć projektant w danym obiekcie budowlanym. Zastosowanie elementów wykonanych z kamienia w obiektach budowlanych wymaga gruntownej wiedzy z zakresu ich właściwości, sposobów wydobywania oraz możliwości uzyskania pożądanego kształtu i faktury. Bardzo ważnym aspektem jest również właściwe określenie czynników niszczących, które będą oddziaływać na wyrób wykonany z materiału skalnego. W pracy przedstawiono ocenę właściwości pochodzących z rejonu Indii materiałów skalnych, głównie łupków, pod kątem możliwości zastosowania ich w warunkach klimatu umiarkowanego. Wszystkie łupki mimo, że charakteryzowały się podobną teksturą oraz składem mineralnym, to ich właściwości fizyko-mechaniczne oraz odporność na działanie czynników klimatycznych była różna. Świadczy to o tym, iż nie wszystkie nadają się do tego samego sposobu wbudowania w obiekt budowlany.

Słowa kluczowe: łupek indyjski, właściwości kamieni budowlanych, odporność na warunki klimatyczne

Wprowadzenie

Różnorodność dostępnych barw oraz struktur kamienia daje nieograniczone możliwości zastosowania go w architekturze, budownictwie tradycyjnym czy przy renowacji zabytków. Wybór spośród około 3000 odmian znajdujących się we współczesnych katalogach niesie ze sobą ogromny potencjał. Planowanie użycia kamienia naturalnego wymaga od projektanta wiedzy na temat właściwości kamienia oraz metod jego obróbki. Dobór odpowiedniego materiału powinien być przede wszystkim uwarunkowany funkcją, jaką ma pełnić dany element w obiekcie.

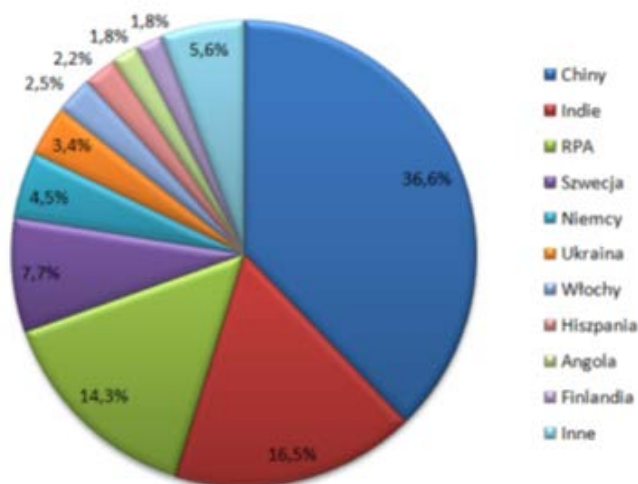
W ostatnich latach obserwuje się wzrost importu zagranicznych materiałów skalnych nie tylko z terenów Europy, ale i również z krajów azjatyckich: głównie Chin oraz Indii. W miarę zwiększania się ilości importowanych kamieni coraz większe znaczenie mają odpowiednio wykonane badania, które są podstawą do miarodajnej oceny jakości kamieni wykorzystywanych w celach budowlanych. Wprowadzenie w ostatnich latach norm europejskich uwydatnia znaczenie oceny właściwości materiałów kamiennych w zależności od zastosowania ich w określonych warunkach klimatycznych.

Problemy związane z importem

Na przestrzeni ostatnich lat państwa, z których importowano materiał kamienny na teren Polski zna-

cząco się nie zmieniły. Kraje europejskie na czele z Włochami od zawsze były głównym importerem surowca kamiennego, jednak coraz większą rolę na rynku kamieniarskim odgrywają państwa azjatyckie takie jak Chiny czy Indie. W 2014 roku około 60% eksportowanego do Polski materiału w postaci wyrobów gotowych i płyt pochodziło z Chin, a około 20% z Indii. Zaraz za nimi, ale z dużo mniejszą wartością procentową (około 4%) udziału plasowały się Niemcy oraz Włochy. Z Indii sprowadza się również około 15% wszystkich importowanych bloków surowych, co daje trzecie miejsce zaraz po RPA (32,7%) oraz Szwecji (17,7%) [4]. Przewaga krajów azjatyckich wynika ze zdecydowanie niższych kosztów produkcji. Ogólne udziały państw eksportujących kamień w postaci bloków surowych, płyt oraz wyrobów kamiennych w roku 2014 przedstawiono na rysunku 1.

Zastosowanie kamienia sprowadzanego z zagranicy może stwarzać szereg trudności, zarówno dla projektantów, jak i inwestorów. Przeszkody te pojawiają się przy wyborze danego rodzaju materiału oraz ocenie możliwości zastosowania w określonych warunkach środowiskowych. Na rynku kamieniarskim trzema głównymi grupami klasyfikacji materiałów kamiennych są granity, marmury oraz piaskowce [9]. Podział ten jest nieprecyzyjny i często wprowadza w błąd w kontekście cech danej skały. Wprowadzenie klasyfikacji petrograficznej zamiast wspomnianej klasyfikacji



Rys. 1. Udział poszczególnych państw w imporcie kamienia naturalnego do Polski, dane za rok 2014 [4]

Fig. 1. Participation of individual countries in the import of natural stone to Poland, data for 2014 [4]

budowlanej jest dość trudne. Podział oraz nomenklatura geologiczna jest bardzo złożona i mało przystępna dla środowisk związanych z produkcją kamienia, a tym bardziej dla ich klientów. Używany w kamieniarstwie uproszczony podział połączony z pobieżną wiedzą projektanta może być przyczyną nieporozumień i generować problemy w określeniu rodzaju użytego kamienia oraz jego właściwości.

Innym problemem, związanym szczególnie z kamieniem importowanym, to często egzotycznie brzmiące nazwy, które mówią niewiele o jego genezie czy właściwościach. Nierzadko wiedza wykonawcy czy projektanta ogranicza się jedynie do nazwy danej skały, a nie do podstawowych informacji geologicznych. Sytuacja komplikuje się też ze względu na fakt, iż dana odmiana kamienia zazwyczaj posiada wiele różniących się od siebie nazw handlowych, nawiązujących zaledwie do jej barwy i walorów estetycznych, ewentualnie miejsca wydobycia. Jeden z najpopularniejszych importowanych z Włoch wapieni Daino Reale ma ich ponad trzydzieści, np.: Breccia Olympo, Breccia Sarda, Daino Tirrento, Daino Venato, Diana Reale, Diana Scorpio, Napoleon Perlato Diano, Perlato Imperiale, Tigrato Olimpo, Orosei Perlato, Diano Perlato, Perlato Olimpo, Perlato Tireno, Skorpion i wiele innych [5]. Istnieje wiele atlasów, katalogów i wyszukiwarek kamienia, jednak niewiele z nich posiada informacje dotyczące ich właściwości kluczowych ze względu na zastosowanie w budownictwie.

Istotną kwestią jest określenie, czy dany materiał nie ulegnie zniszczeniu w klimacie, gdzie nie był on wcześniej stosowany. Często producent czy importer danego wyrobu kamiennego dopuszcza się nadużyć w kwestii deklarowanych przez niego własności materiału lub posiada niewystarczającą wiedzę w tym zakresie. Znaczne braki w opisie właściwości danego

surowca kamiennego można również zaobserwować w dostępnych na rynku katalogach materiałów kamiennych. Niejednokrotnie trudno jest znaleźć w nich informacje na temat parametrów wytrzymałościowych w stanie innym niż powietrzno-suchy. Taka wiedza nie pozwala jednoznacznie stwierdzić, czy taki materiał kamienny może być zastosowany w obiektach narażonych na zmienne warunki atmosferyczne. Ponadto nie podawane są również metody badania i opracowania danego wyniku badania [21, 22]. Innym problemem są próbki wyglądu oferowanego materiału kamiennego. Wg zaleceń norm podstawowych wskazujących kryteria do zastosowania materiału w danym obszarze [11, 12, 13] próbka odniesienia powinna składać się z odpowiedniej ilości kawałków kamienia naturalnego o wielkości wystarczającej do określenia ogólnego wyglądu końcowego wyrobu. Minimalny wymiar każdego fragmentu powinien wynosić 0,01 m². Próbką odniesienia powinna przedstawiać pełną zmienność wyglądu obejmująca kolorystykę, strukturę, przerosty, kawerny oraz wykończenie powierzchni. Klient powinien być poinformowany o możliwych zmianach w barwie czy występowaniu np. kawern, by móc uniknąć późniejszych nieporozumień. W związku z tym systematyzacja oraz unifikacja systemów gromadzenia informacji na temat różnych odmian kamienia i przypisanych im właściwości jest bardzo istotna.

Klimatyczne czynniki zniszczeń elementów kamiennych

Polska znajduje się w klimacie umiarkowanym ciepłym przejściowym, czyli pozostaje pod wpływem klimatu zarówno morskiego, ze względu na bliskie usytuowanie Oceanu Atlantyckiego, jak i klimatu kontynentalnego (lądowego) od wschodu. Jest to strefa ścierania się wpływów klimatu morskiego oraz lądowego.

wego, a umowna granica tych oddziaływań przebiega przez niemal sam środek kraju od północy do południa. Do Polski napływa około sześciu różnych mas powietrza, w tym także masy powietrza arktycznego, powodującego spadek temperatury, a także zwrotnikowego, które zawsze powodują upalną pogodę i gwałtowny wzrost temperatury. Jednym z najważniejszych składników klimatu jest temperatura powietrza, kształtowana w Polsce głównie poprzez wpływ różnych mas powietrza, odległość od zbiornika wodnego jakim jest Morze Bałtyckie oraz wysokość nad poziomem morza na danym terenie. Krajowa średnia roczna temperatura w ostatnich latach waha się pomiędzy około 5°C a 9°C, natomiast skrajne wartości w ostatnich latach wynosiły 37,9°C (Wrocław, 8 sierpnia 2015) oraz -37,1°C (Hala Izerska, 24 stycznia 2004) [3]. Dane te pokazują, iż zakres zmienności temperatur w kraju jest dość szeroki, a zjawisko to podkreśla wyróżnienie w Polsce aż sześciu termicznych pór roku: przedwiośnie, wiosna, lato, jesień, przedzimy, zima. Dni z występowaniem przejścia temperatury przez 0°C w kraju mają miejsce w okresie od września do czerwca, gdzie średnio w ciągu roku to około 54 dni [2].

Elementy kamienne narażone są na szereg procesów powodujących różnorakie ich zniszczenie, które można w podstawowym ujęciu podzielić na wewnętrzne i zewnętrzne. Pierwsza grupa czynników wynika z charakterystycznych cech danej skały, takich jak struktura, tekstura czy skład mineralny, natomiast druga związana jest z różnymi negatywnymi oddziaływaniami, na które narażona jest dana część obiektu wykonana z kamienia. Dodatkowo ze względu na genezę przyczyny zniszczeń kamienia można podzielić na fizyczne, chemiczne, biologiczne oraz mechaniczne [1, 6]. Przyczyną zniszczenia często bywa cały zespół czynników o różnej intensywności działania. Jeśli określone środowisko, w którym znajduje się dany kamień nie jest zanieczyszczone, można takie warunki uznać za naturalne, a proces niszczenia jako starzenie się kamienia [1]. Największą destrukcję elementów kamiennych stosowanych na zewnątrz powodują zwykle czynniki klimatyczne, takie jak woda opadowa, woda kapilarna, zmiany temperatury i w mniejszym stopniu również działanie wiatru, opady gradu i śniegu. Intensywność tych procesów ulega znacznemu zintensyfikowaniu, gdy w atmosferze pojawiają się agresywne substancje chemiczne, np. chlorki, siarczki, związki azotu czy węgla lub mikroorganizmy [1, 6, 7, 10].

Niszczące działanie wody zależy od stopnia wypełnienia porów, kształtu i wymiarów porów, nasiąkliwości oraz częstotliwości cykli nasycania oraz suszenia. Szkodliwość tego czynnika polega głównie na stopniowym spęcznianiu, rozpuszczaniu czy wypłukiwaniu lepiszcza spomiędzy ziaren tworzących dany kamień. Częste i długie jej działanie może spowodować

duże zniszczenia nawet jeśli dany minerał skałotwórczy jest trudno rozpuszczalny w wodzie. Bardzo mały wpływ tego czynnika na zwięzłość odnotowuje się dla skał magmowych, a także dla piaskowców o spoiwie krzemionkowym. Natomiast wapień oraz piaskowce o lepiszczu wapnistym są dosyć wrażliwe na rozpuszczanie składników tworzących daną skałę, szczególnie węglan wapnia w obecności dwutlenku węgla. Duży spadek parametrów wytrzymałościowych w obecności wilgoci można również zaobserwować w przypadku wapieni i piaskowców zawierające minerały ilaste, które wykazują podatność na pęcznienie [1]. W skałach o teksturze łupkowej pory rozmieszczone są zwykle pomiędzy laminatami czy płytkami. Obecność wody w tych przestrzeniach obniża zarówno wartości parametrów wytrzymałościowych jak i potęguje zmienność tych parametrów w zależności od kierunku obciążenia [9]. W wyniku naprzemiennego nasycania wodą oraz wysychania znacząco zmniejsza się spoiwość tych skał. Minerały ilaste oraz inne, które są powiązane nietrwale w skale są często wymywane, a ich powierzchnia stopniowo zmienia się w chropowatą oraz nieregularną. Ponadto niektóre związki mogą ulec rozpuszczeniu i migracji na zewnątrz powodując zacieki i zabarwienia, np. rdzawe plamy ze związków żelaza. Materiały kamienne posiadające ziarna połączone stosunkowo niewielkimi siłami oraz charakteryzujące się wysoką nasiąkliwością mogą pod wpływem wody stracić swoje właściwości mechaniczne. Spowodowane jest to wystąpieniem większych sił adhezji pomiędzy wodą błonkową a ziarnami skały niż pomiędzy samymi ziarnami mineralnymi. Opady deszczu, śniegu czy nawet mgły powodują także transport szkodliwych substancji, takich jak sole na powierzchnię elementów kamiennych i możliwość ich wnikięcia głębiej w strukturę. Pod wpływem wody może rozwijać się również korozja elektrochemiczna w elementach kamiennych połączonych z metalowymi [1]. Procesy te mogą powodować zarówno obniżenie parametrów mechanicznych jak i nieestetyczne osady czy rdzawe plamy. Woda jest również nieodzownym elementem korozji biologicznej obiektów budowlanych. Inną postacią wody, która może stwarzać warunki niekorzystne dla omawianych materiałów może być śnieg. Często zalega on w dłuższych okresach zimowych gromadząc w sobie różne szkodliwe substancje pochodzące z zanieczyszczonej atmosfery lub chemicznego odśnieżania powierzchni.

Przyczyną poważnych zniszczeń kamieni są również gwałtowne zmiany temperatury zarówno w obecności wilgoci jak i w środowisku bezwodnym. Woda może przenikać w głąb struktury i w temperaturze 0°C zmieniać swoją postać wraz ze wzrostem objętości o około 9%. Lód w takich warunkach ma własności plastyczne i jego działanie nie jest mocno destrukcyjne

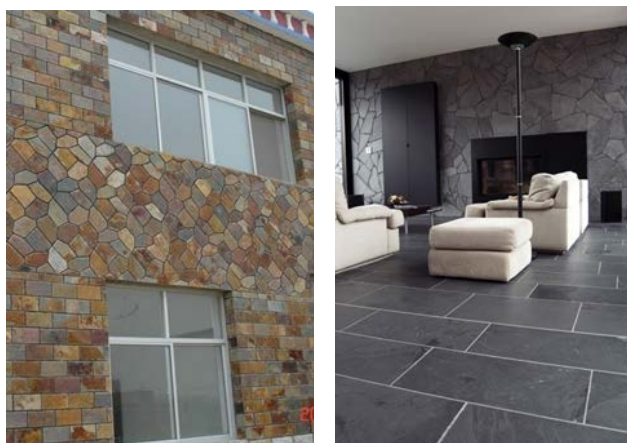


Fig. 2. Slate applications as a cladding material: a) Multicolor slate façade, b) Jack Black slate flooring [23]

Fig. 2. Slate applications as a cladding material: a) Multicolor slate façade, b) Jack Black slate flooring [23]

Tab. 1. Popularne nazwy oraz pochodzenie badanych próbek materiałów kamiennych

Tab. 1. Popular names and origin of the samples of stone materials tested

Nazwy handlowe	Miejsce wydobycia
<i>Datunda Slate (Copper/Yellow Multi, Mica Copper, Forest Fire)</i>	Datunda, Radżastan, Indie
<i>Tikad Slate (Gold Green, Silver Shine, Golden, Green Mica, Silver Mica, Gold Mica)</i>	Tikad, Radżastan, Indie
<i>Jack Black (Black/Multi, Jakrana Black)</i>	Jakrana, Radżastan, Indie
<i>Silver Grey (Quartzite Grey, Silver Swirl)</i>	Badnore, Bhilwara, Radżastan, Indie
<i>Markapur Slates (Indian Autumn/Multi Pink/California Gold/Black, Vijaya Gold)</i>	Markapur, Andhra Pradesh, Indie

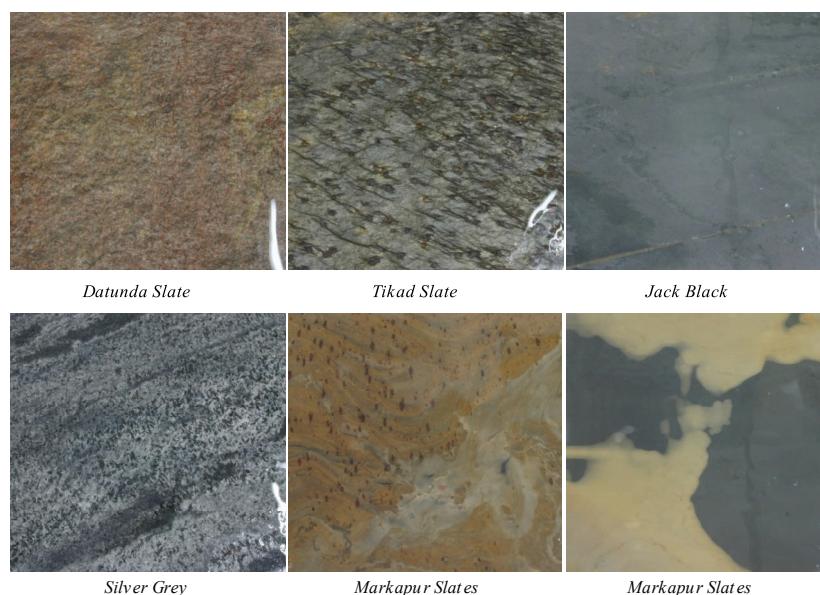
dla materiału kamiennego. Jednak wraz z obniżeniem się temperatury nacisk, jaki wywołuje zamrożona woda na ścianki porów wzrasta. W temperaturze 0°C ciśnienie to wynosi około 0,6 MPa, podczas gdy dla -22°C wynosi ono nawet do 211,5 MPa [1]. Ze względu na występowanie tych zjawisk bardzo ważną właściwością danego materiału jest jego mrozoodporność, czyli odporność na niszczące działanie zamarzającej cieczy. Ogólnie można stwierdzić, iż mrozoodporne są kamienie posiadające niską nasiąkliwość lub wysoką, jednak pod warunkiem występowania połączonych ze sobą porów o dużych rozmiarach. Właściwości te są pożądane ze względu na częściowe wypełnienie przez wodę pustek o dużych rozmiarach oraz uniknięcie powstania dużego ciśnienia, a połączenie ich umożliwia ruch zamarzającej cieczy. Materiały kamienne posiadające włoskowate pęknięcia lub charakteryzujące się wyraźnym uwarstwieniem, jak np. łupki, są szczególnie narażone na nacisk wywołany przez lód, który nieraz wypełnia szczeliny całkowicie i przez to powoduje destrukcję skały w niskich temperaturach. Nasilenie negatywnych zjawisk odnotowuje się w przypadku zwiększenia się częstotliwości przechodzenia temperatury przez 0°C, czyli większej liczby zachodzącej zmiany postaci wody w lód. W przypadku gdy zmieniające się wartości temperatur mają miejsce w środo-

wisku pozbawionym wilgoci dezintegracja materiału kamiennego może być wywołana niejednorodnością struktury oraz różnymi wartościami współczynnika rozszerzalności cieplnej α i współczynnika przewodzenia ciepła λ [1,6]. Wartość współczynnika α może być inna dla danego rodzaju minerału jak i również zmieniać się w zależności od kierunku w stosunku do osi wytworzonych przez nie kryształów. Przykładem takiego zachowania może być marmur, którego główny składnik - kalcyt posiada pięciokrotnie większy współczynnik rozszerzalności w kierunku równoległym w stosunku do prostopadłego. Te różnice wywołują dodatkowe naprężenia w elementach, a co za tym idzie ich zmianę wymiarów czy też miejscowe uszkodzenia.

Ocena jakości materiałów kamiennych pochodzących z Indii

Właściwości mineralogiczno-petrograficzne

Jednym z popularnych rodzajów skał dekoracyjnych stał się w ostatnich czasach łupek indyjski o wyjątkowo różnorodnej paletce barw i tekstur, co czyni go kamieniem niezwykle efektownym. Łupkiem nazywa się grupę kamieni naturalnych o charakterystycznej teksturze warstwowej. Najczęściej określenie to dotyczy skał osadowych oraz skał metamorficznych o wyraźnym uwarstwieniu oraz zdolności do mechanicznego roz-



Rys. 3. Cechy wizualne próbek badanego kamienia indyjskiego
 Fig. 3. Visual features of samples of tested Indian stones

Tab. 2. Ogólne cechy mineralno strukturalne materiałów kamiennych
 Tab. 2. General characteristics of the mineral structural stone materials

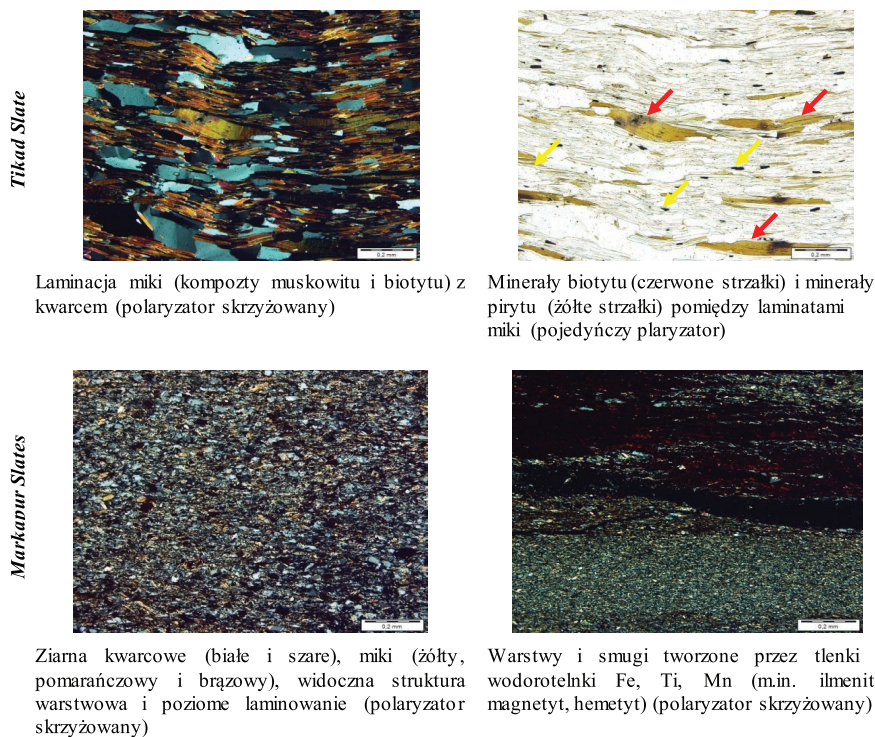
Nazwa kamienia	<i>Datunda Slate</i>	<i>Tikad Slate</i>	<i>Jack Slates</i>	<i>Silver Grey</i>	<i>Markapur Slates</i>
Klasyfikacja	łupek metamorficzny	łupek metamorficzny	Łupek kwarcytowy	łupek metamorficzny	łupek
Minerały główne	kwarc, muskoit, biotyt	kwarc, muskoit, biotyt	Kwarc, muskowit, skaień, minerały ilaste	Muskowit, kwarc, biotyt	Kwarc, miki
Minerały podrzędne	chloryt, piryt, granat	Chloryt, piryt	piryt	piryt	Magnetyt, hematyt, ilmenit, chloryt
Cechy tekstualne	znaczna laminacja, sporadyczne pory	Pozioma laminacja (foliacja), sporadyczne pory	Zaznaczona pozioma laminacja, lekko porowaty	Bardzo wyraźna pozioma laminacja (foliacja), brak porowatości	Bardzo laminowana, zaznaczona orientacja ziaren kwarcu, brak widocznej porowatości

warstwiania się na cienkie równoległe płytki (łupkowość). Cechą charakterystyczną kamienia indyjskiego jest to, że w swojej gamie kolorystycznej oraz strukturze jest bardzo nieregularny. Każdy element kamienny jest niepowtarzalny i wyjątkowy lecz w całości daje interesujący, ale spójny efekt końcowy. Najbardziej dekoracyjny wygląd lica płyty kamiennej daje rozszczępienie na dość cienkie równoległe tafle. Płyty wykończeniowe oferowane są w różnych kształtach i wymiarach oraz fakturach powierzchni od łupanej, poprzez szlifowaną i polerowaną a także ryflowaną, itp. Przykładowo na rysunku 2 przedstawiono elewację budynku mieszkalnego z łupka o nieregularnym kształcie i powierzchni łupanej o nazwie Mulicolor oraz wykończenie powierzchni podłogi płytami szlifowanymi Jack Black.

Ocenie jakości zostały poddane materiały kamienne pochodzących z pięciu kamieniołomów z dwóch rejonów Indii: z północno-zachodniego stanu Radżastan oraz stanu leżącego w południowo-wschodniej części kraju Andhra Pradesh (Tabela 1, Rys. 3).

Skały z rejonu Radżastan pochodziły ze złożów rozpoznanych geologicznie jako łupki kwarcytowe, natomiast Markapur z Andhra Pradesh był łupkiem. Przedstawione materiały skalne poddano szczegółowym badaniom mineralogiczno-petrograficznym, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 12407:2010 [14]. Szczegółowa klasyfikacja oraz skład mineralny zawarto w tabeli 2.

Wszystkie badane materiały należą do grupy łupków, czyli charakteryzują się wyraźną laminacyj-



Rys. 4. Przykładowe struktury mineralogiczne łupka Tikad Slate oraz Markapur Slates

Fig. 4. Examples of mineralogical structures of Tikad Slate and Markapur Slates

Tab. 3. Średnie wartości gęstości objętościowej, porowatości otwartej oraz nasiąkliwości

Tab. 3. Average values of volume density, open porosity and absorptivity

Nazwa	Średnia gęstość objętościowa ρ [$\frac{kg}{m^3}$]	Odchylenie standardowe s	Średnia porowatość otwarta p [%]	Odchylenie standardowe s	Średnia nasiąkliwość A [%]	Odchylenie standardowe s
<i>Datunda Slate</i>	2667,5	5,82	2,53	0,1	0,95	0,04
<i>Tikad Slate</i>	2757,4	8,1	1,82	0,2	0,66	0,06
<i>Jack Slates</i>	2744,5	10,4	1,60	0,3	0,56	0,10
<i>Silver Grey</i>	2809,0	22,2	0,19	0,1	0,07	0,03
<i>Markapur Slates</i>	2507,8	17,5	6,54	0,2	2,6	0,08

Tab. 4. Średnie wartości wytrzymałości na ściskanie

Tab. 4. Average values of compression strength

Nazwa	Stan powietrzno-suchy		Stan nasycenia		Po badaniu mrozoodporności	
	R_{cs} [MPa]	s [MPa]	R_{cn} [MPa]	s [MPa]	R_{cm} [MPa]	s [MPa]
<i>Datunda Slate</i>	81,1	77,5	40,0	6,1	29,7	8,4
<i>Tikad Slate</i>	105,8	5,8	58,8	11,1	63,4	4,6
<i>Jack Slates</i>	123,4	28,1	114,0	22,6	103,8	9,0
<i>Silver Grey</i>	127,8	39,1	131,1	23,0	123,6	8,3
<i>Markapur Slates</i>	65,9	12,4	50,4	1,6	37,4	11,9

jnym ułożeniem poszczególnych minerałów, co bardzo dokładnie widać na przykładowych fotografiach wykonanych zarówno w polaryzatorze skrzyżowanym jak i pojedynczym (Rys. 4). Ponadto wszystkie badane łupki charakteryzowały się sporadyczną lub nawet brakiem porowatości. Datunda Slate, Tikad Slate oraz Silver Grey zostały rozpoznane jako łupki metamorficzne, Jack Slates jest łupkiem kwarcytowym, natomiast Markapur Slates jest łupkiem. Oprócz minerałów kwarcu i miki we wszystkich badanych materiałach zidentyfikowano minerały pirytu (siarczki żelaza), które po utlenieniu mogą zabarwiać skałę na rdzawy kolor.

Właściwości fizyko-mechaniczne

Materiał kamienny został przebadany pod kątem możliwości zastosowania go jako materiał na płyty elewacyjne (wg PN-EN 1469:2015-04 [13]) oraz płyty posadzkowe i schodowe (wg PN-EN 12058:2015-04 [12]). W tym celu oznaczono przede wszystkim właściwości związane ze strukturą oraz właściwości mechaniczne, a następnie zbadano wpływ czynników destrukcyjnych na te parametry. W pierwszej kolejności wykonano badania gęstości objętościowej i porowatości otwartej wg PN-EN 1936:2010 [15] oraz oceniono nasiąkliwość materiałów skalnych zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 13755:2008 [16]. Wyniki tych badań zawarto w tabeli 3.

Najwyższą gęstością objętościową odznaczał się łupek metamorficzny Silver Grey, dla którego zanotowano również najniższe wartości porowatości otwartej, na poziomie 0,19% co skutkuje bardzo niską nasiąkliwością wynoszącą zaledwie 0,07%. Te wartości pokrywają się w pełni z obserwacjami pod mikroskopem, gdzie praktycznie nie odnotowano przestrzeni pomiędzy minerałami. Najwyższą wartość porowatości wykazał łupek Markapur Slates – aż 6,5% oraz średnią nasiąkliwość na poziomie 2,6%. Z grupy badanych materiałów kamiennych charakteryzuje się również najniższą gęstością objętościową wynoszącą około 2500 kg/m³.

W grupie parametrów mechanicznych należało wskazać takie właściwości jak wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie oraz odporność na ścieranie na tarczy Boehmego. Aby ocenić wpływ niszczącego działania wody oraz ujemnych temperatur na badany materiał, wszystkie te badania wykonano w trzech stanach, tj. w powietrzno-suchym, nasycenia wodą oraz po 56 cyklach zamrażania próbek nasyconych wodą do temperatury około -20°C i rozmrażania w temperaturze około 20°C. Badania właściwości mechanicznych wykonano zgodnie z wytycznymi norm: wytrzymałość na ściskanie PN-EN 1926:2010 [17], wytrzymałość na zginanie PN-EN12372:2010 [19] oraz odporność na ścieranie na tarczy Boehmego zgod-

nie z PN-EN 14157:2004 [20]. Wyniki wytrzymałości na ściskanie zamieszczono w tabeli 4. Wytrzymałość na zginanie w tabeli 5 oraz w tabeli 6 odporność na ścieranie.

Wartości wytrzymałości na ściskanie (Tabela 4) w stanie powietrzno-suchym dla wszystkich badanych materiałów charakteryzowały się dość wysokim poziomem. Porównując wartości wytrzymałości na ściskanie w trzech stanach widoczny jest znaczny spadek wartości tego parametru po nasyceniu wodą. Największą zmianę zarejestrowano dla łupków metamorficznych o podobnej teksturze i składzie mineralnym (Datunda Slate oraz Tikad Slate). Zmiana Rc wynosi blisko 50%. O około 20% zanotowano spadek wartości wytrzymałości na ściskanie dla łupka Markapur Slates, który i tak charakteryzował się najniższą wartością tego parametru w stanie powietrzno-suchym. Materiał ten odznaczał się ponadto bardzo wyraźną laminacją. W przypadku łupka kwarcytowego Jack Slates oraz metamorficznego Silver Grey wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno suchym wyniosła ponad 120 MPa a zmiany Rc pod wpływem obecności wody w porach skały nie były znaczące. Badanie wytrzymałości na ściskanie po 56 cyklach zamrażania wykazały destrukcyjne działanie tylko w próbkach materiału kamiennego Datunda Slate oraz Markapur Slates, gdzie różnica pomiędzy wytrzymałością w stanie po nasyceniu i po badaniu mrozoodporności wyniosła około 25%. Normy PN-EN 12057:2015-04 [12], PN-EN 12058:2015-04 [13] oraz PN-EN 1469:2015-04 [14] kwalifikują materiał jako mrozoodporny, jeżeli spadek wytrzymałości po badaniu odporności na zamrażanie w stosunku do wytrzymałości w stanie nasycenia wodą jest mniejszy niż 20%.

Wytrzymałość na zginanie jest podstawowym parametrem mechanicznym dla materiałów kamiennych przeznaczonych do produkcji płyt zarówno posadzkowych i schodowych jak i do okładzin elewacyjnych. Wszystkie badane skały charakteryzowały się bardzo wysokim poziomem tego parametru w stanie powietrzno suchym, natomiast po nasyceniu wodą odnotowano znaczne spadki jego wartości dochodzące od prawie 40% dla Tikad Slate oraz Jack Slates. Ponad 20% spadek odnotowano dla łupków o nazwie Datunda Slate oraz Markapur Slates. Poddanie materiału skalnego 56 cyklom zamrażania i rozmrażania spowodowało znaczne obniżenie wytrzymałości tylko dla Markapur Slates, wynoszące około 45%.

Różnica pomiędzy zmianami objętości w wyniku starcia próbek w stanie powietrzno-suchym a po nasyceniu ich wodą dla łupka kwarcytowego Datunda Slate wyniosła aż około 50 000 mm³ co stanowi zmieszenie wysokości próbki o około 15 mm, dla łupków Tikad Slate oraz Jack Slates już poniżej 25 000 mm³ czyli około 5 mm wysokości. Jednak najmniejszą wartością

Tab. 5. Średnie wartości wytrzymałości na zginanie

Tab. 5. Average values of flexural strength

Nazwa	Stan powietrzno-suchy		Stan nasycenia		Po badaniu mrozoodporności	
	$R_{f,s}$ [MPa]	s [MPa]	$R_{f,n}$ [MPa]	s [MPa]	$R_{f,m}$ [MPa]	s [MPa]
<i>Datunda Slate</i>	17,0	5,2	12,2	4,0	13,6	4,0
<i>Tikad Slate</i>	29,7	5,2	18,1	4,2	14,9	2,5
<i>Jack Slates</i>	37,6	11,0	23,9	6,2	22,9	13,8
<i>Silver Grey</i>	47,5	3,4	39,2	5,9	36,0	8,7
<i>Markapur Slates</i>	14,4	3,5	10,7	1,9	5,9	4,3

Tab. 6. Średnie wartości ścieralności na tarczy Boehmego

Tab. 6. The average values of the abrasion on the Boehme's shield

Nazwa	Stan powietrzno-suchy		Stan nasycenia	
	ΔV_s [mm ³]	s [mm ³]	ΔV_n [MPa]	s [mm ³]
<i>Datunda Slate</i>	43625	16120	93456	11793
<i>Tikad Slate</i>	37268	4176	60063	2198
<i>Jack Slates.</i>	52882	1558	76283	4679
<i>Silver Grey</i>	21121	4909	30691	5760
<i>Markapur Slates</i>	50040	8489	-	-

zmiany wysokości oraz objętości w obydwu badanych stanach odznaczał się łupek Silver Grey, który dodatkowo wykazał niską wrażliwością na obecność wody w kształtowaniu się wyników badanej ścieralności. Próbkę kamienia o nazwie Markapur Slates nie zostały przebadane w stanie nasycenia, ponieważ ulegały rozwarstwieniu podczas ścierania. Wysoka wartość ścieralności na tarczy Boehmego jest wynikiem znacznej laminacji badanych materiałów kamiennych oraz niskiej spójności pomiędzy poszczególnymi warstewkami laminatu. Podczas badania na tarczy dało się zauważyć odpajanie fragmentów skały w postaci cienkich płytek. Z uwagi na bardzo niską odporność na ścieralność po nasyceniu wodą zrezygnowano z badań po zamrażaniu materiału.

Najważniejszym parametrem z punktu widzenia oceny zachowania się materiału kamiennego wystawionego na działanie czynników klimatycznych jest badanie mrozoodporności. Badanie to wg normy PN-EN 12371:2010 [18] polegało na określeniu ubytku procentowego masy oraz stwierdzeniu zmian, jakie zaszły na próbkach, opisem tych zmian i podaniem liczby cykli, po których one wystąpiły. Po 56 cyklach zamrażania i rozmrażania na żadnej z płytek

kamieni Datunda Slate, Tikad Slate oraz Silver Grey nie wystąpiły żadne dodatkowe rysy, spękania czy odprysnięcia a zmiany masy były znikome. Natomiast w materiale kamiennym Jack Slates i Markapur Slates (Rys. 5a) niektóre próbki uległy rozwarstwieniu oraz dla Markapur Slates odnotowano średni ubytek masy na poziomie 1,3%. Powyższe obserwacje potwierdzają również zmiany w parametrach mechanicznych, gdzie najbardziej narażony na zniszczenie jest również łupek o nazwie Markapur Slates. Ponadto podczas obciążaniu belek w trakcie badania wytrzymałości na zginanie w stanie po badaniu mrozoodporności wiele próbek ulegało rozwarstwianiu i pękaniu w sposób bardzo nieregularny (Rys. 5c). Również pod wpływem działania wody oraz cyklicznego zmrężania i rozmrażania w niektórych próbkach pojawiły się rdzawe ślady (Rys. 5b), co świadczy o utlenieniu się związków żelaza występujących w składzie mineralnym skał.

Podsumowanie

W przypadku oceny kamieni z perspektywy niszczących czynników klimatycznych należy rozważyć obecność wody oraz cykliczne działanie niskich i wysokich temperatur. Ze względu na pogarszanie się właściwości



Rys. 5. Próbkę po badaniu mrozoodporności; a) odspojenia po płaszczyźnie laminacji łupka Markapur Slates, b) rdzawe wykwity oraz spękania na próbkach łupka Jacka Slates, c) rozwarstwienia i niesymetryczne pęknięcia belek po badaniu wytrzymałości na zginanie Markapur Slates

Fig. 5. Samples after the frost resistance test; a) sanding on Markapur Slates, b) rusting and cracking on slate samples by Jack Slates, c) delamination and asymmetrical cracks after testing flexural strength for Markapur Slates

materiałów kamiennych w stanie nasycenia wodą oraz ich wysoką nasiąkliwość można uznać łupki Jack Slates oraz Markapur Slates jako niezalecane w warunkach klimatycznych Polski. Należy podkreślić, iż powyższe zalecenia dotyczą wbudowania materiału kamiennego w miejsca, które są najbardziej narażone na niszczące działanie czynników atmosferycznych, czyli przykładowo jako elementy okładziny elewacji zewnętrznej czy powierzchni tarasów, chodników lub schodów. Na podstawie norm europejskich można stwierdzić, iż zastosowanie łupka metamorficznego Silver Grey jest najbardziej odpowiedni dla polskiego klimatu ze wszystkich badanych. W przypadku pozostałych kamieni można rozważyć zastosowanie ich w warunkach mniejszego zagrożenia zarówno od strony tylko wody jak i cyklicznego oddziaływania mrozu.

Na przykładzie łupków o podobnej teksturze oraz składzie mineralnym, widać, że bardzo duże zróżnicowane ich właściwości, i że nie wszystkie nadają się do tego samego sposobu wbudowania w obiekt budowlany.

Z tych właśnie powodów tak ważne jest pozyskiwanie wiedzy na temat ich własności, zarówno w stanie powietrzno-suchym, jak w stanie nasycenia wodą czy warunkach gwałtownych wahań temperatury. Również w przypadku zastosowania kamienia w tak zmiennym klimacie jak polski takie informacje są niezastąpione w procesie dokonywania wyboru odpowiedniego rodzaju materiału kamiennego. Najbardziej znaczącym i niszczącym w działaniu wydaje się proces cyklicznego zamrażania i rozmrażania, gdzie tylko na niewielką część badanego kamienia z Indii nie miał on wpływu. Sprowadzanie kamienia z innych krajów daje większe możliwości, jeśli chodzi o zwiększenie gamy dostępnych barw i tekstur, jednak trzeba pamiętać o dokładnym rozeznaniu i kontroli importowanego surowca. Należy również mieć na uwadze, iż kamień jest materiałem naturalnym, tworzącym się wskutek wielu złożonych procesów geologicznych. Trzeba zatem zawsze przygotować się na pewną dozę jego nieprzewidywalności oraz określić zakres zmienności własności.

Literatura

1. Domaśłowski W. (red.): Zabytki kamienne i metalowe, ich niszczenie i konserwacja profilaktyczna. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń, 2011
2. Limanówka D.: Zmiany klimatu - rozkład czasowo-przestrzenny sezonów w Polsce wyznaczonych na podstawie wskaźników klimatycznych. Materiały z XX Konferencji „Utrzymanie dróg” 1-3 czerwca, Kołobrzeg, 2015
3. Migoń P. (red.): Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku i ich skutki. Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego 14, Wrocław 2010
4. Paż S.: Dobry rok 2014. Nowy Kamieniarz, 7(85) 2015, 24-25
5. Rajchel J.: Martwice wapienne w architekturze Krakowa. Geologia, t. 35, 2009
6. Sieniawska-Kuras A., Potocki P.: Renowacja elementów architektury. Wyd. 1, Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”, Krosno, 2012

7. Sieniawska-Kuras A.: Kamień we współczesnym budownictwie. Wyd 1, Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”, Krosno; 2014
8. Xiao-Ping Z., Louis Ngai Yuen W., Si-Jing W., Geng-You H.: Engineering properties of quartz mica schist. *Engineering Geology* 121, 2011, 135–149
9. Zagroźdżon P.: Kamień w architekturze a „architektura” kamienia. *Nowy Kamieniarz* nr 7 (43) 2009
10. Zych-Głuszyńska K., Wykorzystanie kamienia naturalnego w budownictwie i nowe metody jego obróbki. Materiały z konferencji „Kamień naturalny w sercu Europy” 22-24 listopada 2013
11. PN-EN 12057:2015-04 - Wyroby z kamienia naturalnego. Płyty modułowe. Wymagania
12. PN-EN 12058:2015-04 - Wyroby z kamienia naturalnego. Płyty posadzkowe i schodowe. Wymagania
13. PN-EN 1469:2015-04 - Wyroby z kamienia naturalnego. Płyty okładzinowe. Wymagania
14. PN-EN 12407:2010 - Metody badań kamienia naturalnego -- Badania petrograficzne
15. PN-EN 1936:2010 - Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie gęstości i gęstości objętościowej oraz całkowitej i otwartej porowatości
16. PN-EN 13755:2008 - Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym
17. PN-EN 1926:2007 - Metody badań kamienia naturalnego -- Oznaczanie jednoosiowej wytrzymałości na ściskanie
18. PN-EN 12371:2010 - Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie mrozoodporności
19. PN-EN 12372:2010 - Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie wytrzymałości na zginanie pod działaniem siły skupionej
20. PN-EN 14157:2005 - Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie odporności na ścieranie
21. <http://naturalstone-online.com>, dostęp 02.09.2017 r.
22. <http://stonecontact.com>, dostęp 30.08.2017 r
23. <http://www.kamienienaturalne.com>, dostęp 12.10.2017 r.

Possibility of using Indian rock material in climatic conditions of Poland

There are increasing popularity foreign of rock materials in recent years. Asian countries, mainly China and India, they have an increasing influence on the import of stone. An advantage of importing foreign stones is the extension of the range of colors and visual effects.

The use of stone components in building construction requires a thorough knowledge of their properties, methods of exploitation and the ability to obtain the desired shape and texture. An important aspect is also the identification of destructive factors that will affect the product made of rock material. This paper presents an assessment of the properties of rock material in the Indian region, mainly slates, in terms of their ability to be used in climatic conditions of Poland. All slates have similar textures and mineral composition, but physical and mechanical properties and resistance to climatic factors were different. This shows that not all stones are suitable for the same application in construction.

Keywords: Indian slate, properties of building stones, resistance to climatic conditions