

Kamień w konstrukcjach gabionowych

Marek Rembiś¹



Stone in gabion constructions. Prz. Geol., 73: 75–80; doi: 10.7306/2025.6

A b s t r a c t. This paper describes gabion structures and provides examples of their historical and contemporary applications. The factors that have a destructive effect on these structures are discussed. It is noted that the durability of a gabion depends not only on its internal and external stability, but also on the quality of the stones used in it, especially when it forms a retaining structure in a land or water environment. Therefore, requirements and test methods for armourstone, specified in the PN-EN 13383-1:2003 and PN-EN 13383-2:2019-07 standards, are presented. Using the example of a gabion wall made of Carpathian sandstone blocks, it has been shown that failure to meet the above requirements will result in the disintegration of the stone and the progressive destruction of the entire structure.

Keywords: gabions, sandstones, armourstone

Gabion to słowo pochodzące z języka włoskiego (*gab-bia* – klatka, kosz), które oznacza tworzone współcześnie konstrukcje oporowe, wykorzystujące nowoczesne technologie geoinżynieryjne. Konstrukcje gabionowe najczęściej składają się z zestawionych ze sobą prostopadłościennych koszy wykonanych z różnego rodzaju siatki stalowej, napełnionych kamieniami lub tłuczniem. Kosze te mogą być ułożone w różny sposób, zależny od przeznaczenia konstrukcji, jej wielkości i ukształtowania terenu. Najczęściej są ustawiane jako klasyczna ściana gabionowa, w której kosze siatkowe układa się pionowo lub prawie pionowo, a lico ściany może tworzyć jednolitą płaszczyznę lub formę tarasową. Niekiedy mur jest dodatkowo wzmacniany poprzez osadzenie w nim stalowych kształtowników (dwuteowników) typu HEB. W przekroju poprzecznym przypominają one dwie litery T połączone razem albo literę H.

Kamień, jakim są wypełniane kosze, jest zróżnicowany litologicznie. Są to bryły skał o różnej wielkości i formie, pochodzące zarówno ze złóż krajowych, jak też z importu. W niektórych regionach Polski jest to materiał lokalny, pozyskany z okolicznych złóż, doskonale wpisujący się w naturalne otoczenie. Sposób układania kamienia w koszach jest różny. Bywa on układany ręcznie, ze zwróceniem uwagi na dopasowanie brył pod względem wielkości i kształtu, zwłaszcza w zewnętrznej (licowej) części muru. Sprawia to, że powierzchnia muru gabionowego jest stosunkowo równa i jednorodna. Niekiedy bryły są układane tak luźno, że występują pomiędzy nimi dość duże, puste przestrzenie. W niektórych przypadkach kosze są wypełniane także mechanicznie poprzez wsypanie do nich materiału (łopatami, koparką lub ładowarką) bez dbałości o dopasowanie ułożenia poszczególnych brył lub wypełnienie pustek drobniejszym materiałem skalnym. Należy podkreślić, że luźne ułożenie kamienia w koszach gabionowych, oprócz nieakceptowanego przez niektórych odbiorców efektu wizualnego, może ułatwiać późniejsze przemieszczanie się tego materiału skalnego i skutkować deformacją murów gabionowych.

HISTORIA KONSTRUKCJI GABIONOWYCH

Konstrukcje określane obecnie jako gabiony były stosowane niemal od zarania ludzkości. W starożytnym Egipcie, ok. 5000 lat p.n.e., podobne elementy z trzciny i skał wykorzystywano do budowy tam oraz w celu zapobiegania erozji i wzmacniania brzegów Nilu (Nevečerel i in., 2016). W Chinach, ok. 1000 lat p.n.e., podobne konstrukcje stosowano do wzmocnienia brzegów Żółtej Rzeki (Bouafia, 2011). W Europie, począwszy od starożytnego Rzymu, poprzez średniowiecze, aż do XIX w., kosze plecione z drewna, wikliny i trzciny, wypełnione ziemią i kamieniami, stosowano do wzmacniania obwałowań, budowy murów, fortów i fortyfikacji. Przykłady takich rozwiązań są znane także z czasów wojny secesyjnej na obszarze Stanów Zjednoczonych Ameryki.

Za pierwsze współczesne gabiony, wykonane z siatki drucianej, są uważane konstrukcje wzniesione w 1894 r. we włoskiej miejscowości Casalecchio koło Bolonii, zastosowane do usuwania zniszczeń spowodowanych powodzią (Kuc, 2019). W Polsce podobne konstrukcje były znane w latach 30. XX w. pod nazwą *elementy siatkowo-kamienne* (Ćwirko, 2019). Po latach przerwy dopiero w roku 1991 powstały pierwsze prace koncepcyjne i projektowe dotyczące tych konstrukcji, a w 1993 r. gabiony zostały użyte do ochrony brzegu morskiego w Chałupach na Półwyspie Helskim (Najder, 1994; Surowiecki, 2001). Od tego czasu są one stosowane w naszym kraju na coraz szerszą skalę, powszechnie wpisując się w przestrzeń kształtowaną przez człowieka. Znajdują różne zastosowanie, czasem zaskakujące innowacyjnością lub pomysłowością rozwiązań.

CHARAKTERYSTYKA KONSTRUKCJI GABIONOWYCH

Podstawową zaletą gabionów jest łatwość ich montażu, demontażu i napraw miejscowych uszkodzeń oraz przepuszczalność dla wody, przez co nie wywołują dużych lokalnych gradientów hydraulicznych na granicy gruntu.

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

Są to konstrukcje elastyczne, mające zdolność do przeniesienia nierównomiernych osiadań podłoża (rzędu kilku centymetrów) bez widocznych oznak uszkodzeń lub spękań. Warto docenić ich niewątpliwą przydatność użytkową w konstrukcjach inżynierskich, a także, ze względu na piękno naturalnego kamienia, ich walory dekoracyjne. Obecnie gabiony znajdują powszechne zastosowanie jako:

- konstrukcje typu oporowego;
- tymczasowe podpory obiektów mostowych, w tym także przyczółków;
- obudowy wzmacniające skarpy nasypów i przekopów kolejowych oraz drogowych;
- budowle skarpowe w formie materacy, rozpraszające energię nabiegających fal (przeciwdziałanie fali powodziowej);
- bastiony wojskowe, np. *HESCO barrier*, wykorzystywane m.in. w Iraku lub Afganistanie do budowy czasowych umocnień i wewnętrznych osłon w bazach wojskowych (Betz, 2019);
- ogrodzenia i elementy architektury ogrodowej, cechujące się łatwością naturalnego wkomponowania w otoczenie.

Do głównych czynników oddziałujących na konstrukcje gabionowe (zwłaszcza zastosowane jako mury oporowe), a także na kamień stanowiący ich istotny element, należą: poziome siły wywołane obciążeniem zewnętrznym (parciem bocznym gruntu) oraz pionowe siły wynikające z ciężaru własnego muru. Istotne znaczenie ma także infiltracja wód opadowych bądź przenikających ze zbocza lub podłoża oraz cykliczne zmiany temperatury. Niebezpieczeństwo uszkodzenia takich konstrukcji oraz występujących w nich elementów kamiennych, w wyniku tych lub innych cyklicznie powtarzających się wewnętrznych naprężeń, zależy przede wszystkim od wielkości i rodzaju obciążenia, warunków klimatycznych oraz litologii i stopnia zwięźnienia skały zastosowanej jako budulec muru.

Dobór nieodpowiedniego kamienia lub też błędy projektowe oraz wykonawcze mogą skutkować naruszeniem stabilności konstrukcji gabionowej, jej deformacją, a nawet zniszczeniem. Problematykę tę przedstawiono w niniejszej pracy na przykładzie gabionowego muru oporowego, w którym jako wypełnienie koszy zastosowano piaskowiec karpacki.

KAMIEŃ W GABIONACH – WYMAGANIA

W przypadku pełnienia przez gabion funkcji konstrukcji oporowej, stanowiącej tzw. zewnętrzną stabilizację górotworu, powinien on być zaprojektowany i wykonany z uwzględnieniem zapewnienia stateczności wewnętrznej, stateczności zewnętrznej, infiltracji i oddziaływania wód zewnętrznych. Regulują to zapisy stosownych norm, m.in. PN-EN 1997-1 Eurokod 7. Projektowania geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.

Niezależnie od tych zapisów istotne znaczenie dla trwałości gabionu ma także jakość zastosowanego w nim kamienia. Zgodnie z zasadą wyrażoną w art. 4 ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych (Dz.U. Nr 92, poz. 881 z późn. zm.) należy uznać, że kamień stanowiący wypełnienie gabionów powinien mieć takie właściwości użytkowe, aby prawidłowo zaprojektowany i wykonany z niego obiekt spełniał podstawowe wymagania budowlane.

W aktualnym systemie prawnym istnieje norma PN-EN 10223-8:2014-03 poświęcona jakości drutu przeznaczanego do wyrobu gabionów, natomiast brakuje normy dotyczącej jakości kamienia stanowiącego ich wypełnienie. Ponieważ mur gabionowy jest jedną z odmian konstrukcji oporowych stosowanych w budownictwie lądowym i wodnym, więc w praktyce inżynierskiej niejednokrotnie do oceny jakości materiału kamiennego, stanowiącego wypełnienie koszy gabionowych, stosuje się wymagania zawarte w normach PN-EN 13383-1:2003 oraz PN-EN 13383-2:2019-07, dotyczących kamienia do robót hydrotechnicznych. W niektórych przypadkach są uwzględniane także zapisy norm PN-EN 771-6+A1:2015-10; PN-EN 772-1:2011; PN-EN 772-11:2011 i PN-EN 772-4:2001, odnoszących się do elementów murowych z kamienia naturalnego.

Według zapisu normy PN-EN 13383-1:2003 w budowli hydrotechnicznej na uszkodzenie najbardziej jest narażony kamień usytuowany w tych jej częściach, w których występują znaczne zmiany stanu nasycenia wodą. Natomiast kamień w częściach budowli stale zanurzonych w wodzie i na głębokości, na której nie występuje już zamrażanie i rozmrażanie, jest mniej narażony na zniszczenie. Najszybciej uszkodzeniu ulega kamień znajdujący się w górnej części budowli, na którą oddziałują wszystkie wymienione czynniki. Tak więc, odnosząc się do tablicy C.1. zawartej w tej normie, warunki ekspozycji kamienia znajdującego się w murze oporowym, tj. położenie w strefie zamarzania, częściowe lub całkowite cykliczne nasycenie wodą, klimat atlantycki i kontynentalny, należy określić jako surowe. Aby kamień mógł się trwale zachować w takich warunkach, winien wykazywać małą nasiąkliwość i dużą mrozoodporność. Zgodnie z zapisem normy PN-EN 13383-1:2003, jeśli nasiąkliwość kamienia jest mniejsza lub równa 0,5% (kategoria $WA_{0,5}$), wówczas się przyjmuje, że kamień jest mrozoodporny. Gdy warunek ten nie jest spełniony, należy zbadać mrozoodporność. Zgodnie z tablicą C.2 tej normy kamień uznaje się za mrozoodporny, gdy ubytek masy próbki po badaniu jest mniejszy niż 0,5% (kategoria FT_A). Ponadto zgodnie z tą normą podatność (względnie odporność) kamienia na niszczenie przez zamróz można stwierdzić na podstawie badań petrograficznych. Zauważone w trakcie takich badań oznaki zwięźnienia kamienia mogą świadczyć o tym, że jego odporność na destrukcję została osłabiona.

Ważną cechą, charakteryzującą jakość kamienia do robót hydrotechnicznych, jest jego odporność na zniszczenie, która jest oznaczana za pomocą badania wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe. Według zapisu normy PN-EN 13383-1:2003 kamień taki może odpowiadać dwóm kategoriom: CS_{80} i CS_{60} (tab.1), lub w przypadku jego gorszej jakości jest określana wartość deklarowana. Według zapisów tej normy jest wymagana także ocena zwartości bloku, rozumiana jako jego jednorodność, wyrażona brakiem spękań, żył, stylolitów, laminacji bądź płaszczyn foliacji, które mogą się przyczynić do jego pęknięcia w trakcie załadunku, transportu lub podczas użytkowania budowli. Cecha ta jest określana w sposób opisowy. Norma dopuszcza także ocenę zwartości bloków kamienia metodą próby pęknięcia. W badaniu tym zrzuca się kolejno 50 bloków kamienia z wysokości 3 m na znormalizowane podłoże skalne, a następnie na podstawie wielkości ubytku ich masy określa się wskaźnik pęknięcia. Inną możliwością

oceny jest pomiar prędkości fal akustycznych w badanej próbce w porównaniu do próbki odniesienia (wg francuskiej normy NF P 18-556: 1990). Norma PN-EN 13383-1:2003 wskazuje, że jeśli jest to wymagane, należy także wykonać badanie odporności na ścieranie (*mikro-Deval*). Pod tym względem kamień powinien odpowiadać jednej z trzech kategorii:

- ❑ $M_{DE}10$ (w przypadku zastosowania go w środowisku charakteryzującym się wyjątkowo dużym ścieraniem);
- ❑ $M_{DE}20$ (w środowisku charakteryzującym się dużym ścieraniem);
- ❑ $M_{DE}30$ (w środowisku charakteryzującym się umiarkowanym ścieraniem).

W przypadku wyższych wartości wskaźnika M_{DE} określa się wartość deklarowaną. Odnośnie wymagań fizycznych w normie tej zapisano, że w niektórych przypadkach należy wykonać badanie gęstości ziaren kamienia, która nie powinna być mniejsza niż $2,30 \text{ Mg/m}^3$.

CHARAKTERYSTYKA MURU GABIONOWEGO Z PIASKOWCA KARPACKIEGO

W 2016 r. na prywatnej posesji wykonano w formie muru gabionowego konstrukcję oporową zabezpieczającą skarpcę przed osunięciem. Mur ten osadzono na betonowym fundamencie, który w rzucie wyznacza linia łamana o łącznej długości 70 m, a jego kosze wypełniono nieregularnymi bryłami piaskowca karpackiego (ryc. 1). Wysokość muru w jego najwyższej części wynosi 3 m i składa się z 6 półek z koszami o wielkości wysunięcia 12–26 cm, wykonanymi

z podwójnie skręconej, sześciokątnej siatki drucianej. W części wewnętrznej muru (od strony zbocza) wykonano odwodnienie liniowe z odprowadzeniem wody do studzienki rewizyjnej.

Po dwóch latach użytkowania muru, w 2018 r., stwierdzono pęknięcie, wykruszanie, a nawet rozpad licznych brył występującego w nim kamienia. Ponadto zaobserwowano przemieszczanie się niektórych brył w obrębie koszy i deformację siatki stanowiącej ich konstrukcję. Chcąc poznać przyczyny powstałych zniszczeń, przeprowadzono analizę sposobu wykonania muru, a następnie poddano ocenie jakość zastosowanego kamienia. W tym celu wykonano jego makroskopowe obserwacje petrograficzne i określono właściwości fizyczne i mechaniczne, takie jak: nasiąkliwość, mrozoodporność oraz odporność na zniszczenie. Wyniki tych badań wykazały, że kosze wypełniono nieforemnymi bryłami zróżnicowanego litologicznie kamienia (o wielkości od 10 do 40 cm). Ułożono je ręcznie, ale w sposób bezładny i stosunkowo luźno, pozostawiając liczne puste przestrzenie między nimi. Nie stwierdzono przejawów występowania utraty nośności przez nieodpowiednio przygotowane podłoże gruntowe pod murem bądź nadmiernych i nierównomiernych osiadań wywołanych obciążeniem własnym muru. Nie zaobserwowano także oznak deformacji lub wychylenia muru, spowodowanych np. parciem bocznym od strony zasypowej (czyli od strony zbocza).

Na podstawie wyników makroskopowych badań petrograficznych wydzielono 12 odmian skał występujących w murze oporowym oraz określono stan ich zachowania



Ryc. 1. Fragment muru gabionowego wykonanego z brył piaskowca karpackiego, 2018 r. Fot. M. Rembiś
Fig. 1. Part of a gabion wall made of Carpathian sandstone blocks, 2018. Photo by M. Rembiś

w tym obiekcie po dotychczasowym dwuletnim okresie jego użytkowania. Są to:

- I – drobnoziarnisty piaskowiec o barwie szaroniebieskiej i teksturze bezładnej. Ma spoiwo krzemionkowo-wapniste. Skała jest bardzo zwięzła, o ostrych krawędziach, bez śladów wietrzenia;
- II – drobnoziarnisty piaskowiec o barwie żółtoszarej i teksturze bezładnej. Ma spoiwo krzemionkowo-wapniste. Skała jest nieznacznie zwięzła i wykazuje umiarkowaną zwięzłość. Krawędzie brył są lekko zaokrąglone;
- III – drobnoziarnisty piaskowiec o barwie szaroniebieskiej i teksturze bezładnej. Charakteryzuje się spoiwem krzemionkowo-ilastym. Skała jest zwięzła, bez śladów wietrzenia;
- IV – drobnoziarnisty piaskowiec o barwie szarozielonkawej i teksturze bezładnej. Barwa wskazuje na obecność w jej składzie dużej ilości glaukonitu. Skała ma spoiwo krzemionkowo-ilaste, umiarkowaną zwięzłość i jest lekko zwięzła. Jej krawędzie są nieznacznie starte;
- V – drobnoziarnisty piaskowiec o barwie szarozielonkawej i teksturze laminowanej równolegle lub faliście. Ma spoiwo wapnisto-krzemionkowe. Skała jest dość zwięzła, ale wykazuje tendencję do rozpadu wzdłuż płaszczyzn laminacji. Na niektórych jej powierzchniach są widoczne przejawy wietrzenia;
- VI – drobnoziarnisty piaskowiec o barwie żółtoszarordzawej i teksturze bezładnej. Charakteryzuje się spoiwem ilasto-krzemionkowym z domieszką żelazistego. Skała jest dość zwięzła, ale mikroporowata;
- VII – nierównoziarnisty piaskowiec o barwie szaroniebieskiej i teksturze laminowanej konwolucie. Zawiera klasty łupków i zwęgloną substancję organiczną. Ma spoiwo ilasto-krzemionkowe. Skała jest mało zwięzła. Dość łatwo rozpada się na nieregularne fragmenty;
- VIII – nierównoziarnisty piaskowiec o barwie jasnoszaroniebieskiej i teksturze laminowanej konwolucie. Zawiera klasty łupków i zwęgloną substancję organiczną. Ma spoiwo ilasto-krzemionkowe. Skała jest bardzo krucha, wręcz rozsypkiwa, silnie zwięzła;
- IX – drobnoziarnisty piaskowiec o barwie szaroniebieskiej i teksturze laminowanej równolegle lub faliście. Ma spoiwo ilaste z domieszką krzemionkowego i wapniste. Skała jest krucha. Pod wpływem uderzenia ulega rozpadowi wzdłuż płaszczyzn laminacji na cienkie tabliczki;
- X – nierównoziarnisty piaskowiec o barwie szaroniebieskiej i teksturze laminowanej faliście. Zawiera klasty łupków, cząstki zwęglonej substancji organicznej i znaczne ilości muskowitu. Spoiwo jest ilaste z domieszką wapnisto-krzemionkowego. Skała jest bardzo krucha i mało zwięzła, łatwo rozpada się na nieregularne fragmenty;
- XI – łupek mułowcowy o barwie szaroniebieskiej i strukturze bardzo drobnoziarnistej. Ma spoiwo ilasto-wapniste. Skała jest bardzo krucha, ma łupkową podzielność, przez co rozpada się na cienkie płytki;
- XII – mułowiec o barwie żółtoszarej i strukturze bardzo drobnoziarnistej. Ma spoiwo ilasto-wapniste. Jest bardzo kruchy i zwięzła. Z łatwością rozpada się na cienkie płytki.

Z różnych fragmentów muru pobrano łącznie 36 próbek reprezentujących poszczególne odmiany skał, określając zgodnie z normą PN-EN 13383-2:2019-07 ich nasiąkliwość, mrozoodporność i odporność na zniszczenie (tab. 1).

Stwierdzono, że jedynie drobnoziarnisty piaskowiec o barwie szaroniebieskiej i teksturze bezładnej oraz spoiwie krzemionkowo-wapnistym (odmiana I) ma nasiąkliwość odpowiadającą kategorii $WA_{0,5}$. Jest więc mrozoodporny, co potwierdził wynik badania tego parametru (ubytek masy o 0,1%). Mrozoodporne są również pozostałe piaskowce o spoiwie krzemionkowo-wapnistym (odmiana II) oraz krzemionkowo-ilastym (odmiany III i IV), które – mimo że mają nieco większą nasiąkliwość (w zakresie 0,81–1,96%) – to jednak należą do kategorii mrozoodporności FT_A i spełniają tym samym wymóg jakościowy normy PN-EN 13383-1:2003. Pozostałe odmiany skał (V–XII) ze względu na swój skład mineralny, głównie duży udział minerałów ilastych lub znaczny stopień zwięzła, nie spełniają normowego warunku nasiąkliwości i mrozoodporności. Szczególnie podatne na niszczące działanie zamarzającej wody są piaskowce zawierające minerały ilaste jako główny składnik spoiwa (odmiany IX i X) oraz łupek mułowcowy i mułowiec. Charakteryzują się one największą nasiąkliwością (powyżej 5%) spośród wszystkich badanych próbek skalnych i największym ubytkiem masy (powyżej 2%) po cyklach zamrażania i rozmrażania (tab. 1).

Pod względem odporności na zniszczenie tylko piaskowce o dominacji spoiwa krzemionkowego (odmiany I–IV) lub dużym udziale krzemionkowego i wapniste (odmiana V) wykazały przynależność do kategorii CS_{80} . Nieco gorszą jakością, wyrażoną kategorią CS_{60} , cechuje się niezwięzła piaskowiec o spoiwie ilasto-krzemionkowo-żelazistym (odmiana VI). Pozostałe skały, tj. piaskowce o dominacji spoiwa ilastego (odmiany VII–X) oraz łupek mułowcowy i mułowiec, charakteryzują się mniejszymi wartościami tego parametru, deklarowanymi w zakresie od CS_{18} do CS_{54} (tab. 1). Tym samym odporność na zniszczenie pozostaje w wyraźnym związku korelacyjnym z nasiąkliwością (współczynnik korelacji = $-0,78$) oraz ubytkiem masy po badaniu mrozoodporności (współczynnik korelacji = $-0,91$).

Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych stanowią potwierdzenie obserwacji terenowych. Wykazały one, że w badanym murze tylko drobnoziarniste piaskowce o teksturze bezładnej i spoiwie krzemionkowo-wapnistym oraz krzemionkowo-ilastym (odmiany I–IV) zachowały się w bardzo dobrym stanie. Ich bloki były zwięzłe, ostrokrawędziste, bez przejawów destrukcji (ryc. 2 na str. 123). Gorzej zachowały się drobnoziarniste i nierównoziarniste piaskowce o teksturze bezładnej lub laminowanej i różnicowanej barwie: szarozielonkawej, żółtoszarordzawej i szaroniebieskiej, należące do odmian V–VIII. Bryły tych skał w wielu miejscach dolnej i górnej części licowej muru oraz na poziomej powierzchni górnej uległy rozwarstwieniu lub rozpadowi na drobniejsze fragmenty (ryc. 3 i 4 na str. 123). W bardzo złym stanie zachowania, a dokładniej rzecz określając, w stanie rozpadu były bryły drobnoziarnistych i nierównoziarnistych piaskowców o teksturze laminowanej i przewodzie spoiwa ilastego (odmiany IX i X) oraz łupka mułowcowego i mułowca (odmiany XI i XII). Rozpadły się one na drobne i cienkie fragmenty o płytkowej podzielności, stopniowo ulegając wykruszeniu z przestrzeni muru (ryc. 5–7 na str. 123 i ryc. 8).

Rozpad i wykruszanie się z muru bloków i brył skalnych spowodowały powstanie pustek, w które stopniowo zaczęły się przesuwać inne fragmenty kamienia bądź też uległy one rotacji, względnie przechyleniu. Wszystko to wywołało zapadanie się fragmentów muru i deformację siatki gabionów, naruszając stabilność konstrukcji. Proces rozpadu skał zaobserwowano we wszystkich fragmentach muru, bez względu na położenie w stosunku do stron świata lub wysokość względem powierzchni terenu.

PODSUMOWANIE

Wyniki badań terenowych i laboratoryjnych wykazały, że przyczyną zniszczeń muru gabionowego była zła jakość znacznej części kamienia. Tylko związane odmiany piaskowca zastosowane do budowy tego muru (odmiany I–IV) spełniają wymogi normy PN-EN 13383-1:2003. Ubytek masy bloków tych skał po zakończeniu badania mrozoodporności był mniejszy lub równy 0,5%, a ich odporność na

Tab. 1. Właściwości fizyczno-mechaniczne kamienia pobranego z gabionów
Table 1. Physical and mechanical properties of stone taken from gabions

Odmiana skały <i>Rock variety</i>	Rodzaj spoiwa <i>Type of binder</i>	Stan zachowania <i>State of preservation</i>	Nasiąkliwość wagowa <i>Water absorption</i>		Mrozoodporność <i>Frost resistance</i>		Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie <i>Uniaxial compressive strength</i>	
			Wartość parametru [%] <i>Parameter value [%]</i>	Kategoria wg PN-EN 13383-1:2003 <i>Category according to PN-EN 13383-1:2003</i>	Wartość parametru [ubytek masy %] <i>Parameter value [weight loss %]</i>	Kategoria wg PN-EN 13383-1:2003 <i>Category according to PN-EN 13383-1:2003</i>	Wartość parametru [MPa] <i>Parameter value [MPa]</i>	Kategoria wg PN-EN 13383-1:2003 <i>Category according to PN-EN 13383-1:2003</i>
I piaskowiec <i>sandstone</i>	krzemionkowo-wapniste <i>silica-carbonate</i>	niezwietrzały <i>not weathered</i>	0,48	WA _{0,5}	0,1	FT _A	168	CS ₈₀
II piaskowiec <i>sandstone</i>	krzemionkowo-wapniste <i>silica-carbonate</i>	częściowo zwietrzały <i>partially weathered</i>	0,81	WA _{0,8}	0,1	FT _A	135	CS ₈₀
III piaskowiec <i>sandstone</i>	krzemionkowo-ilaste <i>silica-clay</i>	niezwietrzały <i>not weathered</i>	1,80	WA _{1,8}	0,4	FT _A	122	CS ₈₀
IV piaskowiec <i>sandstone</i>	krzemionkowo-ilaste <i>silica-clay</i>	częściowo zwietrzały <i>partially weathered</i>	1,96	WA _{2,0}	0,5	FT _A	96	CS ₈₀
V piaskowiec <i>sandstone</i>	wapnisto-krzemion. <i>carbonate-silica</i>	częściowo zwietrzały <i>partially weathered</i>	1,78	WA _{1,8}	0,7	FT _{0,7}	84	CS ₈₀
VI piaskowiec <i>sandstone</i>	ilasto-krzemion.-żelaziste <i>clay-silica-ferrous</i>	niezwietrzały <i>not weathered</i>	1,89	WA _{1,4}	0,8	FT _{0,8}	78	CS ₆₀
VII piaskowiec <i>sandstone</i>	ilasto-krzemion. <i>clay-silica</i>	częściowo zwietrzały <i>partially weathered</i>	2,17	WA _{2,2}	1,1	FT _{1,1}	54	CS ₅₄
VIII piaskowiec <i>sandstone</i>	ilasto-krzemionkowe <i>clay-silica</i>	silnie zwietrzały <i>strongly weathered</i>	2,55	WA _{2,5}	1,9	FT _{1,9}	26	CS ₂₆
IX piaskowiec <i>sandstone</i>	ilaste i krzemion.-wapniste <i>clay and silica-carbonate</i>	niezwietrzały <i>not weathered</i>	5,27	WA _{8,1}	2,3	FT _{3,1}	40	CS ₄₀
X piaskowiec <i>sandstone</i>	ilaste i wapnisto-krzemion. <i>clay and carbonate-silica</i>	częściowo zwietrzały <i>partially weathered</i>	8,11	WA _{5,3}	2,5	FT _{2,1}	33	CS ₃₃
XI łupek mułowcowy <i>mudstone shale</i>	ilasto-wapniste <i>clay-carbonate</i>	częściowo zwietrzały <i>partially weathered</i>	6,89	WA _{6,9}	2,8	FT _{2,3}	24	CS ₂₄
XII mułowiec <i>mudstone</i>	ilasto-wapniste <i>clay-carbonate</i>	zwietrzały <i>weathered</i>	9,19	WA _{9,2}	3,1	FT _{2,4}	18	CS ₁₈



Ryc. 8. Prawie całkowicie rozłożony okrusz mułowca po dwóch latach użytkowania muru. Fot. M. Rembiś

Fig. 8. An almost completely disintegrated fragment of mudstone shale, after two years of use of the wall. Photo by M. Rembiś

zniszczenie odpowiada kategorii CS_{80} . Mimo upływu czasu kamień ten nie uległ zniszczeniu, co więcej na jego powierzchni nie zaobserwowano żadnych objawów zmian. Należy przypuszczać, że w kolejnych latach nadal będzie solidnie podtrzymywać konstrukcję muru. Określenie rzeczywistego, ilościowego udziału brył tych odmian piaskowców w murze wymagałoby jego całkowitego demontażu. Zamiast tego udział ten oceniono na podstawie obserwacji dostępnych powierzchni ścian muru. W wyniku tych oględzin stwierdzono, że udział ilościowy zwięzłych odmian piaskowca wynosi 46%. Zakładając, że kamień układano w koszach w sposób przypadkowy, można przyjąć, że podobna ilość brył tego kamienia znajduje się wewnątrz muru. Pozostała część brył kamiennych, stanowiąca 54% wszystkich elementów kamiennych widocznych na powierzchni muru, znajduje się w różnych stadiach zaawansowania procesu rozpadu.

Stwierdzono, że destrukcji o największym nasileniu uległy piaskowce o teksturze laminowanej, łupek mułowcowy i mułowiec (odmiany IX–XII). Udział ilościowy tych skał w budowlach (określony tak samo jak zwięzłych odmian piaskowca) wynosi 16%. Skały tego rodzaju charakteryzują się bardzo dużą nasiąkliwością (5,27–9,19%), brakiem mrozoodporności, wyrażającym się dużym ubytkiem masy (2,3–3,1% po wykonaniu badania) oraz niewielką odpornością na zniszczenie (kategorie CS_{18} – CS_{40}).

Nieco niższy był stopień zaawansowania rozpadu piaskowców drobnoziarnistych i nierównoziarnistych, zwykle laminowanych, o znacznej domieszce minerałów ilastych w spoiwie (odmiany V–VIII). Wynikał on z nieznacznie mniejszej (ale nadal dużej) nasiąkliwości tych skał (1,78–2,55%), większej mrozoodporności ($FT_{0,7}$ – $FT_{1,9}$) oraz wartości CS w zakresie 26–80. Ilościowy udział brył tych skał w murze wynosi 38%. Uległy one częściowemu rozwarstwieniu i rozpadowi na mniejsze fragmenty. Proces ten ma najprawdopodobniej tendencję postępującą, co oznacza, że w kolejnych miesiącach użytkowania muru destrukcja kamienia zapewne będzie się zwiększała.

Kamienie należące do odmian V–XII, ze względu na opisane szybkie uleganie destrukcji, nie powinny być stosowane do budowy murów gabionowych, jak też innych budowli poddanych działaniu czynników atmosferycznych (vide np. normy: PN-EN 13383-1:2003 lub PN-EN 771-6+A1:2015-10; PN-EN 1469:2015-04).

WNIOSKI

Ściany oporowe typu gabionowego, zaliczane do tzw. zewnętrznej stabilizacji górotworu, odpowiadają innym obiektom hydrotechnicznym zarówno pod względem wielkości elementów kamiennych, jak też warunków ekspozycji, w jakich są one użytkowane. Co więcej, biorąc pod uwagę cykliczność działania czynników atmosferycznych, są one niekiedy ekspozowane w surowszych warunkach niż niektóre inne obiekty hydrotechniczne, np. stale znajdujące się pod wodą. Przyjęcie zatem w odniesieniu do kamienia przeznaczonego do wypełnienia koszy wymagań określonych dla kamienia do robót hydrotechnicznych zapewnia wieloletnie, bezproblemowe użytkowanie muru gabionowego w zmiennych warunkach atmosferycznych.

Autor składa podziękowania 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

- BETZ D. 2019 – Citadels and Marching Forts: How Non-Technological Drivers are Pointing Future Warfare Towards Techniques from the Past. *Scandinavian Journal of Military Studies*, 2 (1): 30–41.
- BOUAFIA A. 2011 – Conception et Calcul des Ouvrages Géotechniques. Editions Pages Bleues Internationales.
- ĆWIRKO M. 2019 – Gabionowe konstrukcje oporowe – Ściany masywne – Projektowanie. *Nowoczesne Hale*, 4: 51–52.
- KUC M. 2019 – Trwałość konstrukcji gabionowych. *GDMT Geoinżynieria, Drogi, Mosty, Tunele*, 2: 52–55.
- NAJDER T. 1994 – Wykorzystanie gabionów do ochrony brzegu morskiego – obiekty zrealizowane na Półwyspie Helskim w 1993 r. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 5: 239–243.
- NEVEČEREL H., PAVEŠIĆ K., MURGIĆ I., PAPA I., LANDEKIĆ M., LEPOGLAVEC K. 2016 – Possibilities of gabion application. *Nova Mehanizacija Šumarstva*, 37: 59–68.
- NF P 18-556: 1990. Granulats – Détermination de l'indice de continuité. Association Française de Normalisation.
- PN-EN 771-6+A1:2015-10 Wymagania dotyczące elementów murowych. Część 6: Elementy murowe z kamienia naturalnego. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-EN 772-1:2011 Metody badań elementów murowych. Część 1: Określenie wytrzymałości na ściskanie. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-EN 772-4:2001 Metody badań elementów murowych. Część 4: Określenie gęstości, gęstości objętościowej oraz porowatości całkowitej i otwartej elementów murowych z kamienia naturalnego. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-EN 772-11:2011 Metody badań elementów murowych. Część 11: Określenie absorpcji wody elementów murowych z betonu kruszywowego, kamienia sztucznego i kamienia naturalnego spowodowanej podciąganiem kapilarnym oraz początkowej absorpcji wody elementów murowych ceramicznych. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-EN 1469:2015-04 Wyroby z kamienia naturalnego. Płyty okładzinowe. Wymagania. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-EN 1997-1 Eurokod 7. Projektowania geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-EN 10223-8:2014-03 Drut stalowy i wyroby z drutu na ogrodzenia i siatki. Część 8: Kosze gabionowe z siatek zgrzewanych. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-EN 13383-1:2003 Kamień do robót hydrotechnicznych. Część 1: Wymagania. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-EN 13383-2:2019-07 Kamień do robót hydrotechnicznych. Część 2: Metody badań. Polski Komitet Normalizacyjny.
- SUROWIECKI A. 2001 – O projektowaniu konstrukcji gabionowych w budownictwie komunikacyjnym. *Drogownictwo, SITK*, 3: 81–86.
- USTAWA z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych. Dz.U. Nr 92, poz. 881 z późn. zm.

Praca wpłynęła do redakcji 12.11.2024 r.
Akceptowano do druku 16.12.2024 r.

Kamień w konstrukcjach gabionowych (patrz str. 75)

Stone in gabion constructions (see p. 75)



Ryc. 2. Dobrze zachowane bryły drobnoziarnistego piaskowca o teksturze bezładnej i spoiwie krzemionkowo-wapnistym. Pośrodku jest widoczna rozwarstwiająca się bryła piaskowca o teksturze laminowanej, 2018 r. Wszystkie fot. M. Rembiś

Fig. 2. Well-preserved lumps of fine-grained structureless sandstone with a silica-lime cement. In the central part, a lump of sandstone is visible, disintegrating along the lamination surfaces, 2018. All photos by M. Rembiś

Ryc. 3. Częściowo rozwarstwiona bryła piaskowca o teksturze laminowanej i spoiwie wapnisto-krzemionkowym, 2018 r.

Fig. 3. Partially disintegrated sandstone block with laminated texture and lime-silica cement, 2018

Ryc. 4. Częściowo rozwarstwiona bryła zwiędzłego piaskowca o teksturze laminowanej i spoiwie ilasto-krzemionkowym, 2018 r.

Fig. 4. Partially disintegrated lump of weathered sandstone with laminated texture and clay-silica cement, 2018

Ryc. 5. Bryła drobnoziarnistego piaskowca o teksturze laminowanej równoległej i spoiwie ilastym z domieszką krzemionkowego i wapnisteo, ulegająca rozpadowi wzdłuż płaszczyzn laminacji na cienkie tabliczki, 2018 r.

Fig. 5. A lump of fine-grained sandstone with a parallel-laminated texture and a clay binder with an admixture of siliceous and calcareous cements, disintegrating along the lamination surfaces into thin plates, 2018

Ryc. 6. Rozwarstwiający się okrusz łupka mułowcowego, 2018 r.

Fig. 6. Delaminating fragment of mudstone shale, 2018

Ryc. 7. Silnie zdezintegrowana bryła nierównoziarnistego piaskowca o teksturze laminowanej faliście. Bezpośrednio pod nią jest widoczny okrusz łupka mułowcowego znajdującego się w stanie niemal zupełnego rozpadu, 2018 r.

Fig. 7. A strongly disintegrated lump of poorly sorted sandstone with a laminated, wavy texture. Directly below it, an almost completely disintegrated fragment of mudstone shale is visible, 2018