

BADANIA WYBRANYCH PARAMETRÓW GABIONÓW (OBIEKTY WILGA I RADOMKA)

Ewa Jędryka, Agnieszka Kamińska

Streszczenie. W artykule przedstawiono krótką charakterystykę elementów gabionowych. Zwrócono uwagę na różnice między przepływem wody na budowli gabionowej i wykonanej z materiałów nieprzepuszczalnych. Przedstawiono wyniki prac terenowych, mające na celu określenie charakterystyk uziarnienia i porowatości materiału kamiennego wypełniającego gabiony. Zaprezentowano wyniki obliczeń wybranych parametrów przepływu – współczynnik filtracji turbulენტnej i współczynnik szorstkości.

Słowa kluczowe: budowle hydrotechniczne, siatki, parametry kamieni, parametry przepływu

WSTĘP

W budownictwie wodnym gabiony stosowane są chętnie dlatego, że:

- łatwo wkomponowują się w istniejący teren, nawet o skomplikowanej rzeźbie,
- są to konstrukcje, które dzięki swojej przepuszczalności nie zaburzają istniejącego reżimu wodnego,
- tworzą konstrukcje elastyczne, odporne na osiadanie i rozmycia,
- ze względu na swoją ażurowość są odporne na uderzenia fal (fale nie są odbijane, lecz w znacznym stopniu pochłaniane),
- materiał stosowany do siatek jest odporny na korozyjne działanie soli, promieniowanie ultrafioletowe oraz na działanie ognia,
- konstrukcje z nich wykonywane dają się łatwo przemodelować oraz zdemontować, jeżeli zajdzie taka potrzeba,
- przy miejscowym uszkodzeniu siatki można ją łatwo naprawić,
- nie tworzą barier i przeszkód na styku środowiska lądowego i wodnego,
- ich porowata struktura sprzyja zatrzymywaniu się piasku, namulów, szczątków organicznych i innych składników rumowiska rzecznoego, sprawiając, że łatwo zarastają roślinnością, stając się estetycznym elementem krajobrazu.

Utrudnienia, na jakie napotyka się przy wykonywaniu budowli z elementów gabionowych, to:

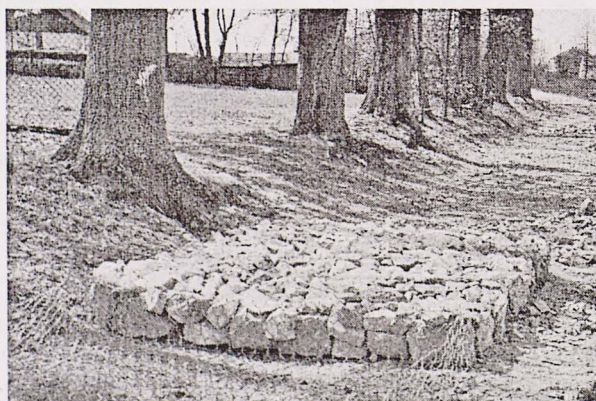
- konieczność uzyskania kamieni o odpowiedniej odporności mechanicznej i chemicznej,
- konieczność uzyskania kamieni o odpowiedniej granulacji (kamienie o wymiarach większych od wymiarów oczek siatki gabionowej),
- inna organizacja robót budowlanych (ręczne układanie kamieni, montaż przykryw siatkowych na elementach po ich wypełnieniu kamieniami, łączenie elementów pomiędzy sobą),
- modyfikacja sprzętu (montaż chwytaków do przenoszenia elementów wypełnionych kamieniami),
- łatwość niszczenia elementów przez ludność (rozplatanie siatki i wybieranie kamieni).

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów mających na celu ustalenie charakterystyk materiału kamiennego użytego do wypełnienia gabionów, z których następnie wykonano stopnie na rzekach Wilga i Radomka. Ustalenie tych charakterystyk stanowiło pierwszy etap prac prowadzonych w Zakładzie Inżynierii Wodno Melioracyjnej IMUZ w zakresie hydraulicznych warunków przepływu na budowlach gabionowych.

WYNIKI BADAŃ

Charakterystyka materiału kamiennego

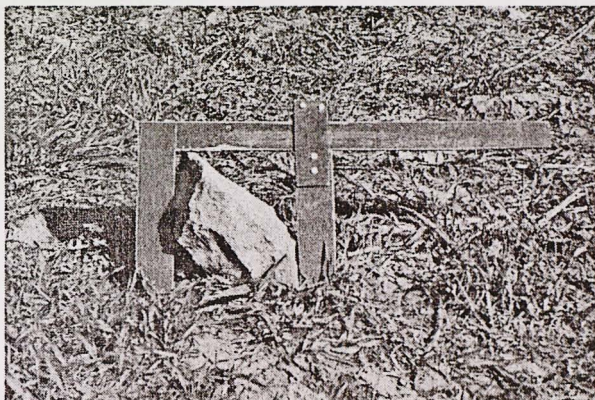
Uziarnienie. Do wypełniania elementów siatkowych na obydwu obiektach zastosowano kamień łamany pochodzący z tych samych kamieniołomów, był to kwarcyt o ciężarze objętościowym $2700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ i ciężarze nasypowym $1900\text{--}2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Napełniono cztery materace o wymiarach $2 \times 1 \times 0,3 \text{ m}$, liczebność prób (liczba kamieni) objętych pomiarami wahała się od 324 do 386 (rys. 1).



Rys. 1. Skrzynie gabionowe (obiekt Wilga)

Fig. 1. Gabions box (Wilga object)

Każdy kamień był ważony, a następnie mierzony w trzech płaszczyznach tak, aby uchwycić jego wymiar minimalny (D_1), średni (D_2) i maksymalny (D_3) – rysunki 2, 3. Zakres zmienności wymiarów w każdej próbie (gabionie) przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 2. Przyrząd do określania wymiarów kamieni (suwmiarka)

Fig. 2. Slide capiler



Rys. 3. Wążenie kamieni

Fig. 3. Stones weighing

Tabela 1. Zestawienie wymiarów kamieni [cm]

Table. 1. Composition of stones dimension [centimetre]

Wymiary kamieni [cm] Stones dimension	Gabion 1	Gabion 2	Gabion 3	Gabion 4
Wymiar minimalny Minimal dimension	2–14	3–14	1,5–15	2–16
Wymiar maksymalny Maximum dimension	9–21	8,5–28	7–28	6–30
Wymiar średni Average dimension	4–17	5–18	4–15	4–19

Na podstawie pomiarów wykonano obliczenia średnic: zastępczej (D_z) – dla każdego kamienia, (D_z^*) – dla całego gabionu oraz miarodajnej (d_m). Przyjęto, że średnica zastępcza (D_z) jest równa średnicy kuli o objętości równej objętości cząstki (kamienia). W związku z tym średnicę zastępczą (D_z) każdego kamienia określono, korzystając z zależności:

$$D_z = \sqrt[3]{\frac{6M}{\pi \cdot \gamma}} \quad (1)$$

gdzie: M – ciężar kamienia [kg],
 γ – ciężar objętościowy skały [$\text{kg}\cdot\text{m}^3$].

znając jego masę (M) i ciężar objętościowy skały (γ). Oprócz tego, znając liczbę kamieni (n) w każdej próbie (gabionie) oraz ich sumaryczną masę (M^*), obliczono średnicę zastępczą (D_z^*) dla całego gabionu.

Wyniki obliczeń posłużyły do opracowania krzywych uziarnienia kamieni w każdej próbie, wykonanych oddzielnie dla wymiarów D_1 , D_2 , D_3 , D_z (rys. 4), a następnie do określenia średnic charakterystycznych i średnicy miarodajnej. Średnicę miarodajną próby (dla każdego gabionu) określano, korzystając z zależności:

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot d_i}{100} \quad (2)$$

gdzie: d_i – średnia średnica ziaren dla i -tego zakresu krzywej uziarnienia,
 p_i – zawartość procentowa ziaren dla i -tego zakresu krzywej uziarnienia o średniej średnicy d_i w stosunku do całej próbki ($\sum p_i = 100$).

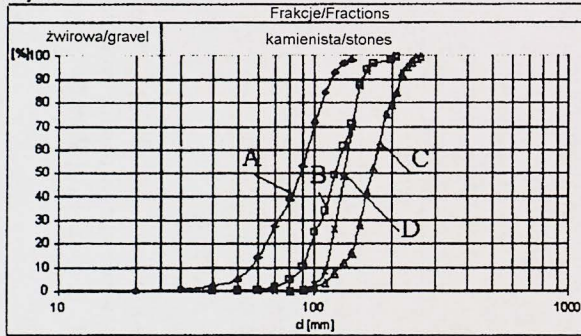
W tabeli 2 zestawiono określone na podstawie tych krzywych średnice charakterystyczne d_{10} , d_{50} , d_{60} , d_{90} i średnice miarodajne (tylko dla wymiaru średnicy zastępczej D_z) oraz średnice zastępcze ustalone dla całego gabionu (D_z^*). Oprócz tego dla pełniejszego scharakteryzowania użytych kamieni zamieszczono współczynnik niejednorodności cząstek, obliczony jako stosunek d_{60} i d_{10} .

Porowatość ośrodka (w którym odbywa się przepływ) charakteryzowana jest najczęściej przez parametr porowatości (p) i wskaźnik porowatości (e). Porowatość (p), definiowana w wymiarze objętościowym (spotyka się też wymiar liniowy i powierzchniowy [Bajkowski, 2001]), jest to stosunek objętości wolnych przestrzeni – porów (V_p) do całkowitej objętości ośrodka (V , objętość elementu gabionowego). Wskaźnikiem porowatości (e) określa się stosunek objętości porów (V_p) do objętości cząstek fazy stałej (V_s , objętość kamieni w gabionie). Pomiedzy wielkościami p i e zachodzi związek:

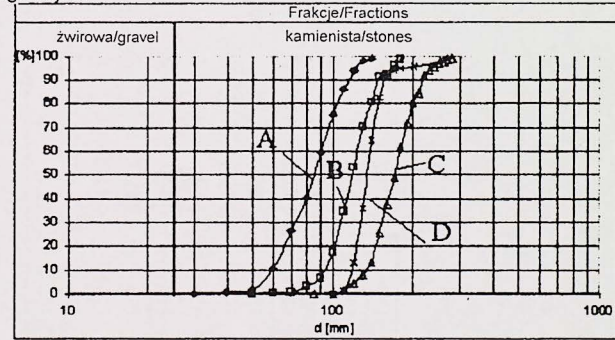
$$e = \frac{p}{1-p} \quad (3)$$

$$p = \frac{e}{1+e} \quad (4)$$

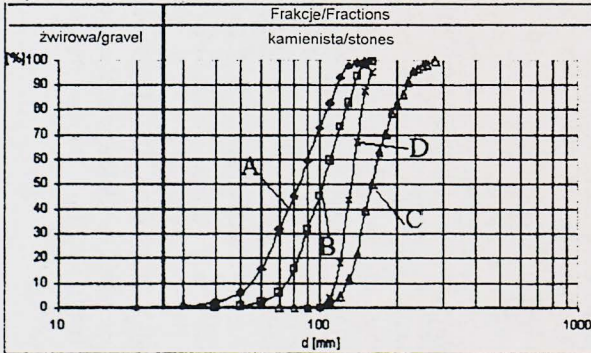
Obiekt Wilga – GABION 1
Wilga object



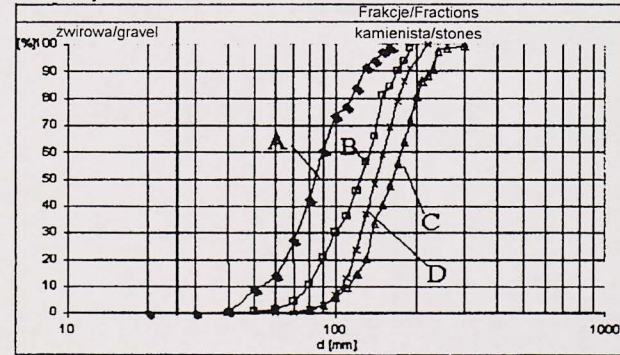
Obiekt Wilga – GABION 2
Wilga object



Obiekt Wilga – GABION 3
Wilga object



Obiekt Radomka – GABION 4
Radomka object



Rys. 4. Charakterystyki kamieni w gabionach – krzywe ustalone dla wymiarów kamieni: A – minimalnych (D_1), B – średnich (D_2), C – maksymalnych (D_3), D – średnic zastępczych (D_r)

Fig. 4. The characteristics of stone in gabion – curve for stone dimensions: A – minimum (D_1), B – average (D_2), C – maximum (D_3), D – replacing diameter

Tabela 2. Charakterystyka kamieni w badanych gabionach

Table 2. Characteristics of stone in gabions

Nr gabionu Gabion number	Wymiar Dimen- sion	Średnica charakterystyczna [mm] Characteristics diameter						
		d_{10}	d_{50}	d_{60}	d_{90}	$u=d_{60}/d_{10}$	d_m	D_z^*
1	D_1	56	89	94	125	1,7		
	D_2	90	130	140	160	1,55		
	D_3	130	175	180	220	1,38		127
	D_z	120	140	145	165	1,21	136	
2	D_1	60	85	90	120	1,50		
	D_2	94	125	130	160	1,38		
	D_3	145	175	180	225	1,24		134
	D_z	125	145	150	175	1,20	146	
3	D_1	55	83	90	120	1,64		
	D_2	75	105	110	145	1,46		
	D_3	130	160	165	220	1,27		127
	D_z	120	140	150	160	1,25	138	
4	D_1	52	85	90	135	1,73		
	D_2	80	130	145	175	1,80		
	D_3	110	170	180	225	1,63		129
	D_z	110	130	160	190	1,45	148	

Przy charakteryzowaniu i porównywaniu gabionów używany jest również [Dąbkowski, 2001] stopień wypełnienia (a) nazywany też współczynnikiem zwartości. Wielkości liczbowe porowatości (p), wskaźnika porowatości (e) oraz zwartości dla gabionów objętych pomiarami zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3. Parametry charakteryzujące porowatość^a

Table 3. Parameters characteristic of gabions porosity

Nr gabionu Gabion number	V [m ³]	V_s [m ³]	P [-]	e [-]	a [-]
1	0,6	0,415	0,308	0,446	0,692
2	0,6	0,411	0,315	0,460	0,685
3	0,6	0,422	0,297	0,422	0,703
4	0,6	0,408	0,320	0,471	0,680

^aDo wypełnienia gabionów użyto kamienia łamanego o gęstości $\rho = 2700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Jak podaje Bajkowski [2001], teoretyczna porowatość ośrodka (p) utworzonego z kulistych cząstek modelowych zależy od ich wzajemnego układu zmienia się od 0,259 do 0,476. Według Dąbkowskiego [2001], porowatość gabionów zmienia się w przedziale 0,3–0,45.

Przepływ filtracyjny przez budowle

Współczynnik filtracji turbulენტnej. Jak wynika z obserwacji w terenie, przepływ wody przez budowle wykonane z elementów gabionowych i z materiałów nieprzepuszczalnych (np. betonowych) znacznie się między sobą różni. Przy przepływie wody przez budowle piętrzące wykonane z gabionów mamy do czynienia jakby z dwoma rodzajami przepływu. Pierwszy z nich „powierzchniowy” odbywa się nad korpusem przelewu, a drugi „wglębny” poprzez gabiony. Jest to szczególnie widoczne na budowlach nowych (bezpośrednio po ich wykonaniu) w przypadku niewielkich przepływów. Na budowlach wykonanych z materiałów nieprzepuszczalnych obserwuje się jedynie przepływ powierzchniowy.

Obliczenia hydrauliczne budowli gabionowych wymagają więc z jednej strony znajomości zagadnień związanych z przepływem nad przelewem o znacznej szorstkości powierzchni przelewowej, a z drugiej – z przepływem filtracyjnym przez ośrodek gruboziarnisty. Poznanie warunków przepływu filtracyjnego w ośrodku porowatym, jakim bez wątpienia są gabiony, wymaga znajomości charakterystyk tego ośrodka.

Jak widać z wyników obliczeń, dużą część objętości gabionu stanowią wolne przestrzenie. Przestrzenie te tworzą sieć kanalików umożliwiających ruch wody nazywany przepływem filtracyjnym. Ruch wody w ośrodku porowatym może następować pod wpływem działania sił: bezwładności, tarcia i lepkości. W przypadku przepływu przez korpus budowli piętrzącej (np. stopień) wykonanej z gabionów, a więc przez ośrodek porowaty o dużej średnicy cząstek, spotykamy się ze zjawiskiem turbulენტnego przepływu filtracyjnego, a więc ruchu, w którym dominującą siłą jest siła bezwładności.

Wielkość oporów przepływu w ośrodku o dużej porowatości charakteryzowana jest za pomocą współczynnika filtracji turbulენტnej. W literaturze [Bajkowski, 2001] spotyka się wiele wzorów, za pomocą których można ustalić wielkość tego współczynnika dla ośrodków porowatych. W tabeli 4 przedstawiono wartości liczbowe tego współczynnika obliczone dla badanych gabionów. W obliczeniach wykorzystano wzory podane w literaturze przez:

– Isbashera i Khaldrea [1970]

$$k_T = p \left(20 - \frac{a}{D_Z} \right) \sqrt{D_Z} \quad (5)$$

gdzie a – współczynnik kształtu materiału użytego do budowy korpusu budowli (dla kamienia owalnego $a = 14$, dla kamienia łamanego $a = 5$),

– Martinsa [1990]

$$k_T = \frac{p \cdot K}{U} \sqrt{2g \cdot e} \sqrt{D_Z} \quad (6)$$

gdzie: U – współczynnik niejednorodności cząstek [–],

K – bezwymiarowy współczynnik zależny od kształtu cząstek (dla otoczków $K = 0,75$, dla kamienia łamanego $K = 0,56$).

Tabela 4. Wskaźnik filtracji turbulენტnej [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

Table 4. Coefficient of turbulent filtration

Nr gabionu Gabion number	D_z^* [m]	P [-]	U [-]	k_T wg wzoru (5) dla $a = 5$ k_T by formula (5) for $a = 5$	k_T wg wzoru (6) dla $K = 0,56$ k_T by formula (6) for $K = 5$
1	0,127	0,308	1,21	0,215	0,140
2	0,134	0,315	1,20	0,226	0,162
3	0,127	0,297	1,25	0,208	0,136
4	0,129	0,320	1,45	0,225	0,135

Opory przepływu powierzchni pokrytych gabionami. Charakterystyki hydrauliczne potrzebne przy wymiarowania koryt ubezpieczonych gabionami to: współczynnik Manninga (n) i współczynnik Stricklera (K_S), których wzajemny związek zapisywany jest w postaci $K_S = 1 \cdot n^{-1}$. Stosowane w hydraulice wzory uzależniają wartości liczbowe tych współczynników od średnic charakterystycznych kamieni w gabionach. W tabeli 5 przedstawiono wyniki obliczeń wartości współczynnika n określone wzorami:

$$\frac{1}{n} = K_S = \frac{21}{D_{50}} \quad (7)$$

$$\frac{1}{n} = K_S = \frac{26}{D_{90}} \quad (8)$$

$$n = 0,038 D_{50}^{1/6} \quad (9)$$

$$n = 0,036 D_{90}^{1/6} \quad (10)$$

gdzie: D_{50} i D_{90} – średnice charakterystyczne kamieni w gabionach, których zawartość wagowa wynosi wraz z mniejszymi odpowiednio 50 i 90% (uwaga: D_{50} i D_{90} w stopach).

Tabela 5. Współczynniki szorstkości (n) powierzchni pokrytej gabionami [$\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$]Table 5. Coefficient of roughness (n) by surfaces of gabions

Nr gabionu Gabion number	D_{50} [feet]	D_{90} [feet]	Współczynnik n wg wzoru Coefficient n by formula			
			(7)	(8)	(9)	(10)
1	0,452	0,545	0,033	0,031	0,060	0,048
2	0,468	0,564	0,034	0,033	0,050	0,049
3	0,452	0,516	0,033	0,030	0,050	0,049
4	0,419	0,613	0,030	0,036	0,049	0,050

Uwaga: wartości współczynników n zostały przeliczone na jednostki SI.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Elementy gabionowe bez wątplenia przeżywają w ostatnich latach swój renesans szczególnie tam, gdzie kamień jest materiałem łatwo dostępnym i gdy występuje konieczność zastosowania specjalnej bliskiej naturze zabudowy koryt cieków.

Poznanie hydraulicznych warunków przepływu wody na budowlach wykonanych z elementów gabionowych, cechujących się dużą przepuszczalnością i tworzących powierzchnie o znacznej szorstkości, wymaga znajomości parametrów charakteryzujących materiał wypełniający te elementy. Przeprowadzone pomiary, a na ich podstawie wykonane obliczenia, pozwoliły na ustalenie, że:

1. Dla gabionów wypełnionych (ręcznie) kamieniem łamanym o średnicy zastępczej D_z^* , zmieniającej się w granicach od 127 do 134 mm, i współczynnika nierównomierności uziarnienia od 1,20 do 1,40, porowatość ośrodka (p) waha się od 0,30 do 0,32, a wskaźnik porowatości (e) od 0,422 do 0,471.
2. Wartość współczynnika filtracji turbulენტnej obliczona z zależności podanej przez Isbasha i Khaldrea oraz Martinsa waha się odpowiednio od 0,208 do 0,226 $m \cdot s^{-1}$ i od 0,135 do 0,162 $m \cdot s^{-1}$;
3. Wartości współczynnika szorstkości powierzchni pokrytej gabionami w zależności od zastosowanych formuł obliczeniowych wahają się od 0,030 do 0,050 $m^{-1/3} \cdot s$.

PIŚMIENNICTWO

- Bajkowski S., 2001. Współczynnik filtracji turbulენტnej jazów przepuszczalnych. Mat. konf. „Gabiony w kształtowaniu i ochronie środowiska”. Wyd. Inż. Środ. SGGW, Warszawa.
- Dąbkowski L.Sz., 2001. Korzyści i warunki stosowania gabionów w budownictwie wodnym. Wiad. Mel. i Łąkarskie, 3, 113–120.
- Isbasher K., Khaldre K.H., 1970. Handbook for assessment of hydraulic performance of environmental channels. Rapport SR 490, Wallingford December.
- Martins R., 1990. Turbulent Seepage Flow Through Rockfill Structures. Water Power and Dam Constructions, March, 41–45.

RESEARCH ON SELECTION PARAMETERS OF GABIONS (WILGA, RADOMKA OBJECTS)

Abstract. The article presents information about characteristics of stones in gabions. It presents different between flow water in gabions building and constructed of impermeable materials. The analysis of the elementary calculation site surveys and characteristics grain-size distribution, and porosity stones in gabion. Information about elementary calculation flow parameters – coefficient of turbulent filtration and coefficient roughness.

Key words: hydraulic structures, nets, flow parameters, stones parameters

E. Jędryka, A. Kamińska, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Inżynierii Wodno Melioracyjnej, al. Hrabzka 4, 05-090 Raszyn, e-mail: e.jedryka@imuz.edu.pl