

MAŁE BUDOWLE WODNE Z GABIONÓW – CHARAKTERYSTYKA I BADANIA WSTĘPNE

Ewa JĘDRYKA, Agnieszka KAMIŃSKA

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Inżynierii Wodno-Melioracyjnej

Słowa kluczowe: budowle hydrotechniczne, budowle piętrzące, gabiony, hydraulika budowli, kamienie

Streszczenie

W artykule przedstawiono informacje dotyczące elementów gabionowych stosowanych w budownictwie hydrotechnicznym. Scharakteryzowano kilka wykonanych w ostatnich latach budowli piętrzących skonstruowanych z użyciem gabionów. Na tym tle przedstawiono zagadnienia z zakresu budownictwa wodnego, które powinny być rozwiązane w pierwszej kolejności. Pokróćce scharakteryzowano zakres planowanych badań terenowych oraz obiekty badawcze. Przedstawiono wstępne wyniki prac terenowych wykonanych w okresie budowy obiektów i bezpośrednio po ich oddaniu do eksploatacji.

WSTĘP

Uważa się, że budowle hydrotechniczne z elementów siatkowo-kamiennych nazywanych gabionami w wielu przypadkach odpowiadają warunkom proekologicznej zabudowy cieków.

Do najczęściej stosowanych w budownictwie wodnym elementów gabionowych należą: kosze – prostopadłościany długości 1,5–4 m, wysokości 1,0–0,5 m i szerokości 1,0 m; materace – prostopadłościany długości 3–6 m, grubości 0,2–0,3 m i szerokości 1–2 m; kiszki (walce) – długości 2–3 m i średnicy 0,65–0,95 m [Materiały ..., 2003].

Gabiony w Polsce zwykle są wykonywane z siatki miękkiej, wyżarzanej, podwójnie galwanizowanej, o oczkach sześciokątnych, wykonywanej z drutu o śred-

nicy $\varnothing = 2-3$ mm, który w miarę potrzeb może być dodatkowo chroniony warstwą PCW o grubości 0,4–0,6 mm [Siatka ..., 2003]. Wyroby z siatki są dostarczane w postaci elementów płaskich i dopiero na budowie są formowane przez łączenie poszczególnych części drutem oraz wzmacnianie krawędzi ścian stalowymi prętami o średnicy 15 mm.

Do wypełnienia elementów siatkowych powinien być używany kamień pochodzący ze skał ciężkich o minimalnej gęstości $1\ 700\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, odporny na działania mechaniczne i chemiczne. Ze względu na możliwość uszkodzenia siatki najbardziej odpowiednim materiałem są zaokrąglone kamienie (np. kamień rzeczny), jednak bardzo często jest również stosowany kamień łamany [DĄBKOWSKI, 2001]. Wypełnienie skrzyń kamieniem łamanym powoduje szybsze zużycie się siatki na skutek przetarcia drutu i zniszczenia warstw ochronnych przez ostre krawędzie.

Gabiony są stosowane chętnie ponieważ [NAJDER, 2001]:

- łatwo wkomponowują się w teren;
- są przepuszczalne dla wody i nie wywołują dużych lokalnych gradientów hydraulicznych na granicy gruntu;
- tworzą konstrukcje elastyczne,
- ze względu na swoją ażurowość są odporne na uderzenia fal (fale nie są odbijane lecz w znacznym stopniu pochłaniane);
- materiał stosowany do wyrobu siatek jest odporny na korozyjne działanie soli, promieniowania ultrafioletowego oraz ognia;
- konstrukcje z nich wykonywane można przekształcić oraz zdemontować (zależnie od użytej siatki);
- miejscowe uszkodzenia siatki można naprawić;
- nie tworzą barier i przeszkód na styku środowiska lądowego i wodnego, umożliwiają swobodną migrację zwierząt oraz tworzą kryjówki dla wielu gatunków skorupiaków i ryb;
- ich porowata struktura sprzyja zatrzymywaniu się piasku, namulów, szczątków organicznych i innych składników rumowiska rzecznoego, sprawiając, że w zamulonych przestrzeniach między kamieniami rozwijają się korzenie i kłącza roślin szuwarowych, krzewów i zbiorowisk trawiastych.

Utrudnienia, które napotykamy wykonując budowle 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);
- organizacja robót budowlanych (ręczne układanie kamieni, montaż przykryw siatkowych na elementach po ich wypełnieniu kamieniami, łączenie elementów między sobą);
- modyfikacja sprzętu zwykle używanego na budowie (montaż chwytaków do przenoszenia elementów wypełnionych kamieniami);

- łatwość niszczenia elementów przez ludność (rozplatanie siatki i wybieranie kamieni).

GABIONY W POLSKIM BUDOWNICTWIE WODNYM

Gabiony są doskonałym materiałem do ubezpieczania skarp i dna cieków na odcinkach charakteryzujących się dużymi prędkościami przepływu lub falowaniem. Z elementów gabionowych są wykonywane zarówno całe budowle hydrotechniczne, np. progi, stopnie, bystrotoki czy zapory, jak również ich elementy, takie jak ubezpieczenie dna na wypadzie, ubezpieczenie korony przewał.

W ostatnich latach w Polsce wykonano kilka budowli gabionowych. Przykładem jednej z nich jest bystrotok wykonany w 1993 r. w korycie Skrwy (fot. 1). Jest to budowla o spadzie 0,65 m, nachyleniu pochylni 30%, wykonana z materacy gabionowych o wymiarach 2x1x0,25 m, ułożonych na podsypce żwirowej i włókninie [Przerzut ..., 1992].



Fot. 1. Bystrotok z elementów siatkowo-kamiennych w korycie Skrwy (faza budowy)

Phot. 1. Water structure including nets and stone elements in the Skrwa river bed (building phase)

Nieco inną konstrukcją gabionową jest zapora z budowlą spustową wykonana w 2003 r. na zbiorniku małej retencji na rzece Szum (fot. 2). Długość zapory wynosi 92 m, wysokość – 3,3 m, światło przelewu upustu – 5 m, długość przewał – 17 m. W dolnej części zapory znajduje się rurowy spust o średnicy $\varnothing = 1$ m. Budowlę wykonano z elementów siatkowo-kamiennych o wymiarach 2x1x1, 2x1x0,5, 2x1x0,3 m, wypełnionych kamieniem rzeczny. Zastosowano tu siatkę o wymiarach oczek 80x100 mm z drutu grubo ocynkowanego o średnicy $\varnothing = 2,7$ mm [Zbiornik ..., 2001].



Fot. 2. Zapora z gabionów z budowlą spustową na rzece Szum [Zbiornik ..., 2001]

Phot. 2. Dam made of gabion structures on the Szum river [Zbiornik ..., 2001]

Przykładem niewielkich gabionowych budowli piętrzących są stopnie wykonane w 2003 r. na cieku odprowadzającym wodę ze źródeł w pobliżu miejscowości Połczyn Zdrój (fot. 3). Mają wysokość 0,6 m i szerokości przelewu 1,5 m. Przelew wykonano z koszy o wymiarach 2x1x1 m, a dno i skarpy ubezpieczono materacami o wymiarach 2x1x0,3 m. Zastosowano elementy siatkowo-kamiennie o wymiarach oczek 60x80 mm, z ocynkowanego drutu o średnicy $\varnothing = 2$ mm.



Fot. 3. Stopnie gabionowe na odpływie ze źródeł w okolicach Połczyna Zdroju (projekt Bipromel [Stopnie ..., 2001])

Phot. 3. Gabion barrages at the outflow from springs near Połczyn Zdrój (Bipromel project [Stopnie ..., 2001])

Z elementów gabionowych są często wykonywane tylko fragmenty budowli wodnych. Przykładem takiej właśnie budowli jest wykonany w 2002 r. na rzece Osa próg faszynowo-kamienny, którego zadaniem jest stabilizacja położenia zwierciadła wody w jeziorze Płowęż. Jest to budowla o wysokości 0,44 m i świetle przelewu 5,5 m. Z gabionów został tu wykonany przelew oraz próg niecki wypadowej. Do ich budowy użyto elementów siatkowo-kamiennych o wymiarach 3x2x2, 3x2x0,5, 3x2x0,25 i 2x1x0,5 m, wykonanych z drutu ocynkowanego o średnicy $\varnothing = 2,2$ mm. Pozostałe elementy budowli, niecka oraz umocnienie koryta rzeki powyżej i poniżej budowli, wykonano w postaci narzutu kamiennego w płotkach [Piętrzenie ..., 2001]

W 2003 r. ukończono budowę dwu stopni gabionowych o wysokościach 1,34 i 1,09 m na rzekach Wilga i Radomka. Dokładny opis budowli przedstawiono w dalszej części artykułu dotyczącej wstępnych wyników badań na tych obiektach.

CEL, ZAKRES I METODY BADAŃ

Dotychczas w Polsce nie prowadzono terenowych badań budowli piętrzących wykonanych z gabionów (wymiary, stateczność konstrukcji). Badania – głównie modelowe (laboratoryjne) – prowadzono za granicą i jak podaje DĄBKOWSKI [2001] dotyczyły one:

- dopuszczalnych obciążeń elementów gabionowych,
- giętkości materacy siatkowo-kamiennych,
- współczynników szorstkości powierzchni pokrytej gabionami,
- ochrony gruntu pod gabionami,
- stateczności umocnień gabionowych.

Ciągle więc istnieje niedosyt informacji w zakresie hydraulicznych parametrów przepływu przez budowle z gabionów. Wstępne rozpoznanie polskich publikacji dotyczących budowli i ubezpieczeń z elementów siatkowo-kamiennych, przegląd projektów zrealizowanych w Polsce oraz ocena stanu technicznego budowli w terenie, umożliwiło wyodrębnienie dwóch zagadnień wymagających dokładnego rozpoznania.

Pierwsze z nich dotyczy zdolności przepustowej przelewów wykonanych z elementów siatkowo-kamiennych oraz wpływu czasu na zmiany przepustowości. Przepływ przez budowle wykonane z gabionów składa się z przepływu powierzchniowego odbywającego się nad korpusem przelewu (na pewnej długości może to być czasem żelbetowy oczep ścianki szczelnej) i wglębnego – przez gabiony. Z czasem, na skutek zamulenia i zarośnięcia roślinami przestrzeni między kamieniami, proporcje między przepływem powierzchniowym i wglębnym prawdopodobnie ulegają zmianie. Należy się więc spodziewać, że zmianie ulega również współczynnik wydatku przelewu. Drugie zagadnienie to zagrożenie dla konstrukcji gabionowych ze strony zjawisk lodowych.

W celu wyjaśnienia tych zagadnień zaplanowano badania dwu stopni wykonanych z elementów gabionowych, zlokalizowanych w zlewniach rzek Wilga i Radomka. Badania rozpoczęto w 2003 r. W pierwszym etapie, który obejmował okres realizacji budowy i okres bezpośrednio po ich oddaniu do eksploatacji (maj–październik 2003 r.), wykonano pomiary:

- charakterystyk granulometrycznych materiału wypełniającego gabiony,
- geometrycznych parametrów budowli,
- geotechnicznych charakterystyk podłoża,
- geometrycznych i hydraulicznych parametrów koryta powyżej i poniżej budowli,
- hydraulicznych parametrów przepływu na przelewie budowli.

W drugim etapie, po oddaniu budowli do użytku, przewiduje się wykonanie kilku serii pomiarów (różne wielkości przepływu) w celu ustalenia hydraulicznych parametrów przepływu na przelewie i w korycie rzeki oraz uchwycenia ewentualnych zmian zachodzących w konstrukcji na skutek: odkształcenia budowli, wymycia kamieni o wymiarach mniejszych niż oczka siatki, zniszczeń spowodowanych zjawiskami lodowymi.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTÓW BADAWCZYCH

Stopień na rzece Wilga w km 39+700 (fot. 4, tab. 1) wybudowano w celu zmniejszenia podłużnego spadku dna rzeki (do około 0,5‰) i powstrzymania erozji, która wystąpiła po likwidacji zlokalizowanego w tym miejscu piętrzenia młyńskiego.

Jak podano w projekcie [Stopień ..., 2002] powierzchnia zlewni w przekroju stopnia (km 39+700) wynosi 234,2 km².

Stopień ma przelew o przekroju prostokątnym. Składa się on z betonowego oczepu ścianki szczelnej o szerokości 0,5 m i części wykonanej z gabionów (uło-



Fot. 4. Stopnie z gabionów wykonane w korycie Wilgi i Radomki (projekt Bipromel)

Phot. 4. Gabion barrages made in the Wilga and Radomka river beds (Bipromel project)

Tabela 1. Podstawowe charakterystyki badanych stopni**Table 1.** Characteristics of the studied barrages

Wyszczególnienie Specification	Obiekt Object	
	Wilga	Radomka
Klasa budowli Building class	IV	IV
Przepływ: Flow:		
– miarodajny reliable $p = 3\%$, $m^3 \cdot s^{-1}$	36,8	52,9 (brzegowy littoral)
– kontrolny control $p = 1\%$, $m^3 \cdot s^{-1}$	45,2	–
Światło budowli, m	10,4 + 2 x 6,2 ^{a)}	8 + 2 x 4 ^{a)}
Building light, m	10,2 + 2 x 6,2 ^{b)}	7,75 + 2 x 4 ^{b)}
Wysokość stopnia, m	1,5 ^{a)} 1,34 ^{b)}	0,95 ^{a)} 1,09 ^{b)}
Elevation of the barrage, m		
Długość niecki wypadowej, m	10 ^{a)} 10 ^{b)}	10 ^{a)} 0 ^{b)}
Basin length, m		
Głębokość niecki wypadowej, m	0,5 ^{a)} 0,47 ^{b)}	0,5 ^{a)} 0 ^{b)}
Basin depth, m		

Objaśnienia: ^{a)} projektowany wymiar budowli, ^{b)} istniejący wymiar budowli.

Explanations: ^{a)} projected building dimensions, ^{b)} actual building dimensions.

zonych od strony wody dolnej) o szerokości 2 m. Poniżej przelewu znajduje się niecka wypadowa. Zarówno niecka jak i jej ściany boczne oraz umocnienie koryta wykonano z gabionów. Dno i skarpy koryta poniżej niecki na długości 15 m oraz koryta powyżej przelewu na długości 6 m umocniono materacami gabionowymi. Elementy gabionowe wypełniono kamieniem łamanym i ułożono na geowłókninie (tab. 2).

Budowlę zabezpieczono przed skutkami filtracji ścianką szczelną wykonaną z grodziec stalowych G-62 o długości 6 i 4 m. Koryto rzeki na badanym odcinku jest wyżłobione w glinach zwałowych, a jego dno w chwili obecnej tworzy warstwa piasku średnio- i drobnoziarnistego naniesionego przez płynącą wodę.

Stopień na Radomce w km 37 + 965 (fot. 4, tab. 1) wybudowano w celu zabezpieczenia przed utratą stateczności zlokalizowanego powyżej jazu oraz zmniejszenia spadku dna (do około 0,3‰) na odcinku stopień–jaz [Modernizacja ..., 2002]. Stopień ma przelew prostokątny o przekroju dwudzielnym. Składa się on z betonowego oczepu szerokości 0,6 m i części wykonanej z gabionów szerokości 1 m (od strony wody dolnej). Budowla nie ma niecki wypadowej. Koryto rzeki na długości 25 m poniżej przelewu i na długości 6 m powyżej przelewu umocniono materacami gabionowymi. Elementy gabionowe wypełniono kamieniem łamanym i ułożono na geowłókninie (tab. 2). Geowłókninę pod elementami gabionowymi na rzece Radomce ułożono niestarannie, co może mieć wpływ na stateczność wykonanej budowli. Zabezpieczenie budowli przed filtracją stanowi, podobnie jak na Wildze, ścianka szczelna wykonana z grodziec stalowych G-62 długości 7, 6, 4 m.

Tabela 2. Parametry techniczne włóknin zastosowanych na obiektach badawczych**Table 2.** Technical parameters of needled cloth (applications on object)

Właściwości Properties	Obiekt Object	
	Wilga	Radomka
Masa powierzchniowa Surface mass, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	250	500
Grubość przy nacisku 2 kPa Thickness at a pressure 2 kPa, mm	2,5	4,5
Wytrzymałość na rozciąganie Tensile strength		
– wzdłuż pasma along, $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$	≥ 8	≥ 12
– wszerz pasma across, $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$	≥ 15	≥ 18
Opór na przebicie Puncture resistance, kN	$\geq 1,8$	$\geq 2,5$
Charakterystyczny wymiar porów Q_{90} , μm	63	120
Characteristic pore diameter Q_{90} , μm		
Wodoprzepuszczalność przy obciążeniu 2 kPa, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0,00095	0,005
Water-permeability at a pressure of 2 kPa, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$		

Powierzchnię doliny Radomki pokrywa warstwa madowych glin i humusowych piasków. Na lewym brzegu warstwa madowa zalega do głębokości 1,3 m. Prawy brzeg jest zbudowany z piasków drobnoziarnistych z domieszką humusu. Z badań uziarnienia materiału dennego wynika, że w dnie rzeki występują piaski średnio- i gruboziarniste.

Zadaniem zastosowanych na obu obiektach w sąsiedztwie oczepu betonowego elementów gabionowych jest stworzenie dogodnych warunków występowania przepływów turbulentnych, które przyczynią się do natleniania mas wody.

WSTĘPNE WYNIKI POMIARÓW

CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁU KAMIENNEGO

Uziarnienie. Do wypełniania elementów gabionowych na obu obiektach użyto kamienia łamanego pochodzącego z tego samego kamieniołomu. Był to kwarcyt o ciężarze objętościowym $2,70 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. W celu scharakteryzowania materiału kamiennego zmierzono i zważono użyte kamienie. Pomiary wykonano w czterech powtórzeniach (napelniono cztery materace o wymiarach $2 \times 1 \times 0,3 \text{ m}$), liczba kamieni objętych pomiarami wynosiła od 324 do 386 szt. Każdy kamień był ważony, a następnie mierzony w trzech płaszczyznach, tak aby uchwycić jego najmniejszą – D_1 , pośrednią – D_2 i maksymalną – D_3 oś (tab. 3).

Na podstawie pomiarów obliczono średnice: zastępczą D_z – dla każdego kamienia i zastępczą D_z^* – dla wszystkich kamieni w gabionie oraz miarodajną d_m .

Przyjęto, że średnica zastępcza D_z jest równa średnicy kuli o objętości równej objętości kamienia [BAJKOWSKI, 2001]:

Tabela 3. Zestawienie wymiarów kamieni**Table 3.** Stone dimensions

Obiekt Object	Wymiary kamieni, cm Stones dimension, cm		
	minimalny D_1 minimal D_1	pośredni D_2 intermediate D_2	maksymalny D_3 maximum D_3
Gabion 1 (Wilga)	2–14	4–14	9–21
Gabion 2 (Wilga)	3–14	5–18	8,5–28
Gabion 3 (Wilga)	1,5–15	4–15	7–28
Gabion 4 (Radomka)	2–16	4–19	6–30

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

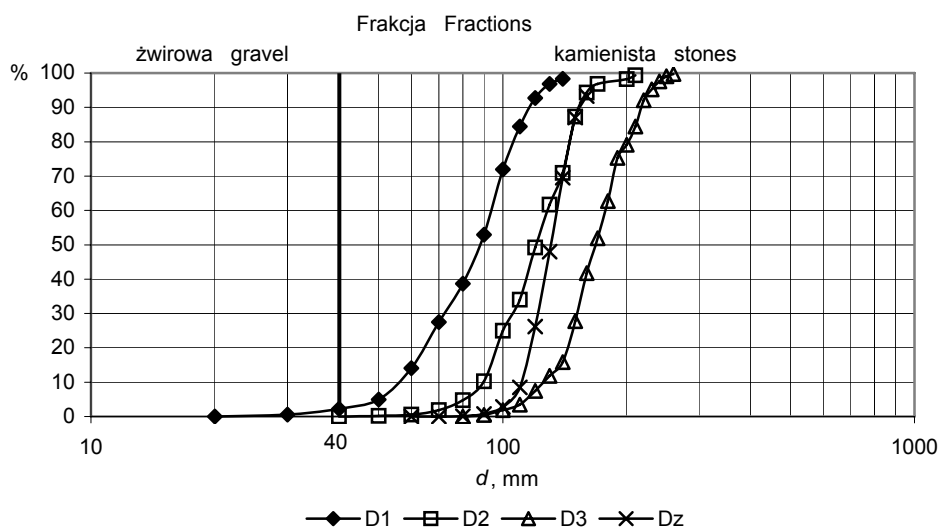
gdzie:

M – masa kamienia, kg;

ρ – ciężar objętościowy skały, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Znając liczbę kamieni n w każdej próbie (gabionie) oraz ich sumaryczną masę M^* obliczono średnicę zastępczą D_z^* dla kamieni w gabionie.

Wyznaczono krzywe uziarnienia kamieni w każdej próbie, oddzielnie dla wymiarów D_1 , D_2 , D_3 , D_z , (rys. 1), a następnie określono średnice charakterystyczne



Rys. 1. Przykład charakterystyki kamieni w gabionie – krzywe dla wymiarów kamieni: D_1 – minimalnych, D_2 – pośrednich, D_3 – maksymalnych, D_z – średnic zastępczych

Fig. 1. The characteristics of stones in a gabion – curve for stone dimensions: D_1 – minimum, D_2 – intermediate, D_3 – maximum, D_z – equivalent diameter

i średnice miarodajne oraz średnice zastępcze ustalone dla sumy kamieni w gabionie D_z^* (tab. 4).

Tabela 4. Charakterystyka kamieni w badanych gabionach

Table 4. Characteristics of stones in studied gabions

Nr gabionu Gabion number	Wymiar Dimension	d_{10}	d_{50}	d_{60}	d_{90}	$u = d_{60}/d_{10}$	d_m	D_z^*
1	D_1	56	89	94	125	1,70		
	D_2	90	130	140	160	1,55		
	D_3	130	175	180	220	1,38		
	D_z	120	140	145	165	1,21	136	127
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		
	D_z	125	145	150	175	1,20	146	134
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		
	D_z	120	140	150	160	1,25	138	127
4	D_1	52	85	90	135	1,73		
	D_2	80	130	145	175	1,81		
	D_3	110	170	180	225	1,64		
	D_z	110	130	160	190	1,45	148	129

Objaśnienia: d_{10} , d_{50} , d_{60} , d_{90} – średnice charakterystyczne kamieni, których zawartość wagowa wynosi odpowiednio 10, 50, 60 i 90%, u – współczynnik niejednorodności uziarnienia, d_m – średnica miarodajna, D_z^* – średnica zastępcza dla wszystkich kamieni w gabionie, D_1 , D_2 , D_3 i D_z – jak pod rys. 1.

Explanations: d_{10} , d_{50} , d_{60} , d_{90} – characteristic diameters of stones whose weight is 10, 50, 60 i 90% of the weight of sample, respectively, u – heterogeneity coefficient, d_m – effective diameter, D_z^* – equivalent diameter for all stones in gabions, D_1 , D_2 , D_3 i D_z – as in fig. 1.

Średnicę miarodajną d_m dla kamieni w każdym gabionie określano korzystając z zależności:

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

gdzie:

p_i – zawartość kamieni dla i -tego zakresu krzywej uziarnienia o średniej średnicy d_i ($\sum p_i = 100$), %;

d_i – średnia średnica kamieni dla i -tego zakresu krzywej uziarnienia.

Oprócz tego w celu pełniejszego scharakteryzowania użytych kamieni obliczono współczynnik niejednorodności.

$$u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (3)$$

Porowatość. Biorąc pod uwagę, że w konstrukcji badanych stopni gabiony wykorzystano między innymi do budowy przelewu, należy przypuszczać, że przepływ w pewnej części będzie się odbywał przez gabiony (ścianka szczelna znajduje się od strony wody górnej). W celu scharakteryzowania ośrodka porowatego jakim niewątpliwie są elementy gabionowe stosuje się pojęcie porowatości p i wskaźnika porowatości e [BAJKOWSKI, 2001]. Porowatość p definiowana w wymiarze objętościowym (używany jest również wymiar liniowy i powierzchniowy) jest to stosunek objętości wolnych przestrzeni V_p do całkowitej objętości próby 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). Między wielkościami p i e zachodzą związki:

$$e = \frac{p}{1-p} \quad \text{i} \quad p = \frac{e}{1+e} \quad (4) \text{ i } (5)$$

Do charakteryzowania i porównywania gabionów jest również używany stopień wypełnienia a , nazywany też współczynnikiem zwartości, definiowany jako stosunek objętości kamieni wypełniających V_s do objętości gabionu V [DĄBKOWSKI, 2001]. Wartości porowatości p , wskaźnika porowatości e oraz współczynnika zwartości a dla gabionów objętych pomiarami zamieszczono w tabeli 5.

Tabela 5. Parametry charakteryzujące porowatość gabionów

Table 5. Parameters characterising porosity of gabions

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

Objaśnienia: V – objętość gabionu, V_s – objętość kamieni wypełniających, p – porowatość, e – wskaźnik porowatości, a – współczynnik zawartości gabionu.

Gęstość kamienia łamanego w gabionach $\rho = 2\,700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Explanations: V – gabion's volume, V_s – volume of stones in a gabion, p – porosity, e – porosity index, a – coefficient of gabion's fulfilment.

Density of stones in gabions $\rho = 2\,700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Jak podaje BAJKOWSKI [2001], teoretyczna porowatość ośrodka p utworzonego z kulistych cząstek modelowych zmienia się od 0,259 do 0,476, zależnie od ich wzajemnego układu. Według DĄBKOWSKIEGO [2001] porowatość gabionów zmienia się od 0,3 do 0,45.

PARAMETRY PRZEPLYWU NAD PRZELEWEM

Na badanych obiektach w czerwcu i wrześniu 2003 r. wykonano pomiary prędkości przepływu oraz położenia zwierciadła wody nad przelewem budowli i w korycie w bezpośrednim sąsiedztwie. Na Wildze pomiar wykonano w warunkach przepływu 0,44 i 0,31 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a na Radomce – 0,27 i 0,46 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Są to przepływy mieszczące się między przepływem średnim niskim a zwyczajnym.

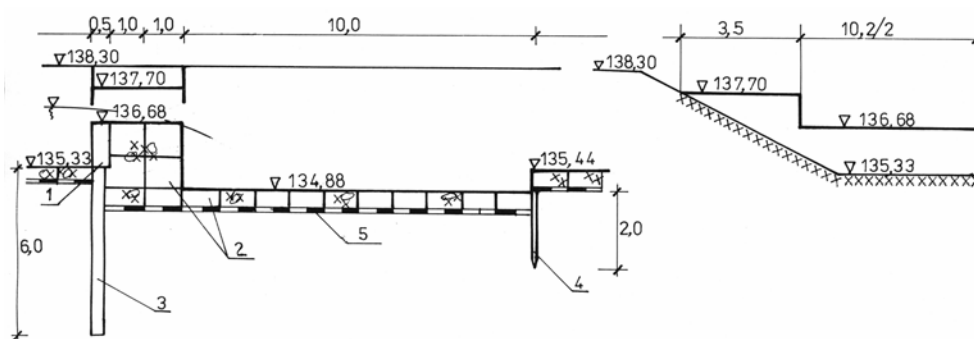
Na podstawie pomiarów określono jednostkowy przepływ nad przelewem q i prędkość średnią v , które wynoszą odpowiednio:

- dla Wilgi $q = 0,030$ i $0,043 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ oraz $v = 0,56$ i $0,60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,
- dla Radomki $q = 0,035$ i $0,059 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ oraz $v = 0,64$ i $0,73 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Ustalono, że w takich warunkach przepływ po powierzchni przelewu odbywa się tylko na szerokości oczepu i na niewielkim odcinku części wykonanej z gabionów. Następnie cała woda wsiąka lub płynie po powierzchni gabionu kilkoma cienkimi strumykami.

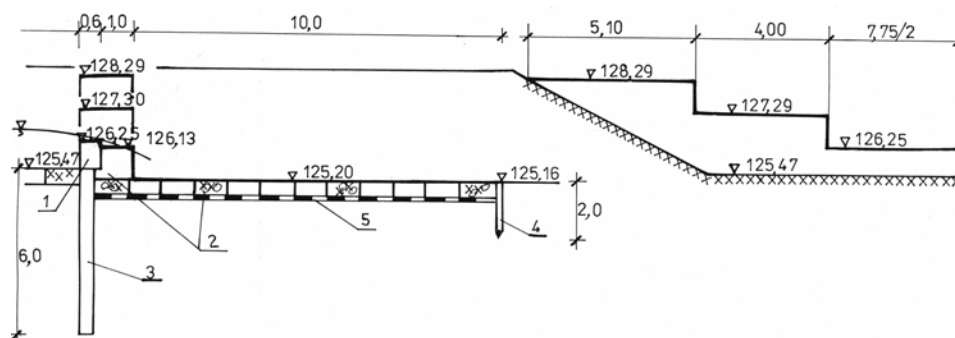
Wykorzystując wyniki pomiarów terenowych (rys. 2 i 3) obliczono współczynniki wydatku obu przelewów.

Po sprawdzeniu zależności między zmierzoną wielkością wzniesienia zwierciadła wody górnej nad koroną przelewu a szerokością korony (oczepu) oraz ustaleniu poziomu wody dolnej, do obliczeń wykorzystano wzór na przepływ przez niezatapiony przelew o szerokiej koronie [BATYJEWSKI i in., 1981]:



Rys. 2. Stopień na Wildze: 1 – oczep betonowy, 2 – kosze i materace siatkowo-kamienne, 3 – ścianka szczelna, 4 – palisada, 5 – geowłóknina

Fig. 2. Barrage in the Wilga river: 1 – concrete girt, 2 – gabion baskets and mattresses, 3 – sheet pile wall, 4 – palisade, 5 – geosynthetics



Rys. 3. Stopień na Radomce: 1 – oczep betonowy, 2 – kosze i materace siatkowo-kamienne, 3 – ścianka szczelna, 4 – palisada, 5 – geowłóknina

Fig. 3. Barrage in the Radomka river: 1 – concrete girt, 2 – gabion baskets and mattresses, 3 – sheet pile wall, 4 – palisade, 5 – geosynthetics

$$Q = \varepsilon mb \sqrt{2g} H_o^{3/2} \quad (6)$$

gdzie:

- Q – natężenie przepływu (zdolność przepustowa przelewu), $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
- b – światło przelewu, m;
- m – współczynnik wydatku przelewu;
- H_o – wzniesienie zwierciadła wody górnej nad koroną przelewu z uwzględnieniem prędkości dopływającej wody, m;
- ε – współczynnik dławienia bocznego.

Pomiar wzniesienia zwierciadła wody ponad koronę przelewu H_o wykonano w kilku punktach (na całej szerokości przekroju pomiarowego), a do obliczeń współczynnika wydatku m przyjęto wielkości maksymalną i minimalną. Wartości tego współczynnika według obliczeń dla Wilgi zmieniają się w granicach 0,319–0,409, a dla Radomki – 0,335–0,519 (tab. 6).

Tabela 6. Zestawienie współczynników wydatku przelewu określonych na podstawie pomiarów terenowych

Table 6. Coefficients of the overflow discharge estimated in the field measurements

Rzeka River	Data pomiaru Measurement data	Q $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	H_o m	m
1	2	3	4	5
Wilga	30.06.2003	0,442	0,07	0,375
			0,08	0,319
	25.09.2003	0,314	0,05	0,409
			0,06	0,331

cd. tab. 6

1	2	3	4	5
Radomka	8.08.2003	0,269	0,04	0,519
			0,06	0,341
	26.09.2003	0,460	0,08	0,383
			0,09	0,335

Objaśnienia: Q – natężenie przepływu, H_o – wzniesienie zwierciadła wody górnej nad koronę przelewu, m – współczynnik wydatku przelewu.

Explanations: Q – water flow, H_o – headwater level on the overflow crest, m – coefficient of spill yield.

PODSUMOWANIE

Elementy gabionowe bez wątplenia przeżywają swój renesans szczególnie tam, gdzie kamień jest materiałem łatwo dostępnym i gdzie konieczne jest zastosowanie specjalnej, bliskiej naturze zabudowy koryt cieków.

Analiza projektów budowli wykonanych z gabionów, przegląd istniejących budowli oraz obserwacje prac związanych z budową w terenie stopni, dla których przeprowadzono pomiary opisane w niniejszym artykule, nasunęły autorkom następujące uwagi krytyczne:

- do wypełnienia elementów siatkowych często są używane kamienie o wymiarach mniejszych niż oczka siatki;
- układanie geowłókniny pod elementami gabionowymi nie zawsze jest wykonywane w sposób staranny, co może pociągać za sobą podmywanie skrzyń gabionowych, a co za tym idzie odkształcanie się budowli;
- wypełnienie skrzyń siatkowych kamieniem łamanym może przyczynić się do szybszego zużycia siatki na skutek przetarcia się drutu i zniszczenia warstw ochronnych na ostrych krawędziach;
- projektując konstrukcje budowli piętrzących stosuje się przeważnie tradycyjne rozwiązania, to znaczy wbijanie ścian szczelnych, zapominając o możliwości wykorzystania folii i geomat, co znacznie ułatwiłoby organizację prac i prawdopodobnie zmniejszyło koszty.

Właściwe zaprojektowanie budowli z elementów gabionowych wymaga znajomości parametrów charakteryzujących materiał wypełniający te elementy oraz hydraulicznych parametrów przepływu. Na podstawie pomiarów oraz wykonanych obliczeń ustalono, że:

- materiał kamienny można charakteryzować według tych samych zasad co grunty naturalne, natomiast wielkość jest określana przez pomiar poszczególnych pojedynczych kamieni;
- dla gabionów wypełnionych (ręcznie) kamieniem łamanym o średnicy zastępczej D_z^* od 127 do 134 mm i współczynnika nierównomierności uziarnienia

- od 1,20 do 1,81, porowatość ośrodka p wynosi od 0,30 do 0,32, a wskaźnik porowatości e – od 0,422 do 0,471;
- współczynnik wydatku m niezatopionego przelewu o szerokiej koronie wynosi od 0,32 do 0,52. Wstępnie ustalono, że większe wartości współczynnika wydatku przelewu m występują, gdy przepływ powierzchniowy odbywa się tylko nad oczepem, a następnie od razu wsiąka w gabiony.

LITERATURA

- BAJKOWSKI S., 2001. Współczynnik filtracji turbulენტnej jazów przepuszczalnych. W: Gabiony w kształtowaniu i ochronie środowiska naturalnego. Międzynarod. Konf. Nauk. Warszawa, 22 maja 2001 r. Warszawa: SGGW s. 39–56.
- BATYJEWSKI W., DĄBKOWSKI L., KUBRAK J., LIPKA W., ŻBIKOWSKI A., 1981. Wytyczne wymiarowania przelewów i ich kanałów odprowadzających w budowłach melioracyjnych. Warszawa: SGGW maszyn. ss. 123.
- DĄBKOWSKI Sz. L., 2001. Korzyści i warunki stosowania gabionów w budownictwie wodnym. Wiad. Melior. nr. 3 s. 113–119.
- Materiały przyjazne dla środowiska. Folder reklamowy, 2003. Maaccafferrri.
- Modernizacja rzeki Radomki w km 37+630–38+230. Projekt budowlany, 2002. Warszawa: BSiPGWR „Bipromel” ss. 25.
- NAJDER T., 2001. Zastosowanie gabionów do ochrony brzegu morskiego. W: Gabiony w kształtowaniu i ochronie środowiska naturalnego, Międzynarod. Konf. Nauk. Warszawa, 22 maja 2001 r. Warszawa: SGGW s. 79–106.
- Piętrzenie jeziora Płowęż w ciągu rzeki Osy. Projekt budowlany, 2001. Warszawa: BSiPGWR „Bipromel” ss. 28.
- Przerzut wód średnich i wysokich rzeki Skrwy do Jeziora Lucieńskiego: Stopień siatkowo-kamienny na rz. Skrwa w km 12+800. Regulacja odcinka rz. Skrwa lewa w km 12+018 – 14+020: 1992, Gostynin: PEKUM S.A s. 35.
- Siatka heksagonalna i zestaw wyrobów do wykonania koszy, materacy i walców siatkowych Nector, 2003. APROBATA TECHNICZNA. Nr AT/2003-04-1455 ss. 14.
- Stopień na rzece Wildze km 39+700 w miejscowości Lętów, gm. Borowie, pow. Garwolin. Projekt budowlany, 2002. Warszawa: BSiPGWR „Bipromel” ss. 11.
- Stopnie gabionowe na odpływie ze źródeł w okolicach Połczyna Zdroju. Projekt budowlany, 2001. Warszawa: BSiPGWR „Bipromel” ss. 20.
- Zbiornik wodny małej retencji na rzece Szum w Aleksandrowie gm. Aleksandrów, pow. Biłgoraj, woj. Lubelskie. Projekt wykonawczy, 2001. Warszawa: BSiPGWR „Bipromel” ss. 34.

Ewa JEDRYKA, Agnieszka KAMIŃSKA

**SMALL WATER STRUCTURES MADE OF GABIONS
– CHARACTERISTICS AND PRELIMINARY TESTS**

Key words: damming structures, gabions, hydraulic engineering structures, hydraulics of structures, stones

S u m m a r y

The article presents information about gabion elements applied in hydraulic engineering. Characteristics of damming structures made of gabions during the last years is given. Problems of water-engineering which seem to be worth solving in first sequence are described. The paper presents a range of field studies and site surveys. Preliminary results of field studies made during construction works and shortly afterwards are given.

Recenzenci:

prof. dr hab. Szczepan L. Dąbkowski

prof. dr hab. Waldemar Mioduszeowski

Praca wpłynęła do Redakcji 06.01.2004 r.

