

Wojciech KOZŁOWSKI, Andrzej SUROWIECKI

Politechnika Wrocławska

DOŚWIADCZALNE I NUMERYCZNE MODELOWANIE ODKSZTAŁCEŃ ELEMENTU GABIONOWEJ ŚCIANY OPOROWEJ NASYPU KOLEJOWEGO

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań doświadczalnych odkształceń poziomych i pionowych modelu elementu gabionowej ściany oporowej. Modele były obciążane pionowym naciskiem statycznym, centrycznie, poprzez poziomo zlokalizowaną na stropie modeli sztywną płytę kwadratową. Stwierdzono redukcję odkształceń poziomych w bryle ośrodka ziarnistego otoczonej powłoką siatkową w odniesieniu do odkształceń tej bryły bez siatkowej osłony. Podjęto próbę adaptacji numerycznego programu Robot MILLENIUM do modelowania pracy obciążonego gabionu (kosza siatkowego).

EMPIRICAL AND NUMERICAL MODELLING OF THE DEFORMATIONS OF GABION RETAINING WALL ELEMENT IN RAILWAY EMBANKMENT

Summary. The paper describes the results of laboratory tests on horizontal and vertical deformations of gabion retaining wall element model. The models were tested by means of static vertical load. The reduction of the horizontal deformations in the gabion-models was detected in reference to the deformations of the model without grid basket. General information on the numerical program Robot MILLENIUM was presented and an attempt made to adapt it for modeling the deformations of retaining wall single element.

1. Uwagi wstępne

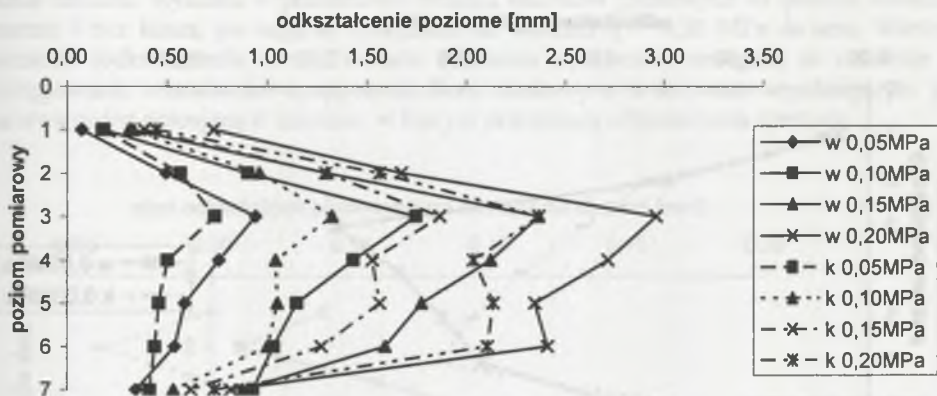
Gabionowa ściana oporowa składa się z koszy siatkowych wypełnionych kruszywem (najczęściej tłuczeń kamienny, otoczaki, kamień polny itp.) odpowiednio względem siebie rozmieszczonych (niekiedy ze sobą zespolonych) i stanowić może w niektórych przypadkach trwałą obudowę niestabilnej skarpy nasypu [1, 2, 8]. Kosze siatkowe (gabiony), które są szczególną odmianą kaszyc, charakteryzują się m. in. podatnością, przepuszczalnością, odpornością na mechaniczne zniszczenie, a więc zaletami o niewątpliwym znaczeniu dla budownictwa komunikacyjnego. Zabezpieczenie przed osuwiskami skarp nasypów komunikacyjnych i klifów morskich gabionami stało się popularne w Polsce na początku lat 90. ubiegłego wieku, między innymi wskutek wdrożenia innowacyjnej technologii opracowanej przez włoską firmę MACCAFERRI [3, 4, 5, 11]. Znaczną liczbę konstrukcji gabionowych zrealizowano po roku 1997 na Dolnym Śląsku, szczególnie w Kotlinie

Kłodzkiej [5, 11], w ramach odbudowy dróg gminnych uszkodzonych lub zniszczonych w okresie powodzi. Znane są także przypadki budowy gabionowych przyczółków mostów kolejowych i odbudowy skarp nasypów kolejowych [2, 9]. W referacie przedstawiono wyniki analizy pracy pojedynczego elementu gabionowej ściany oporowej w zakresie badań doświadczalnych oraz próbę modelowania numerycznego.

2. Laboratoryjne badania modelu gabionu – metoda i wyniki

Badania dotyczące pracy elementu gabionowego wykonano na stanowisku wielokrotnie przedstawianym w literaturze, np. [10]. Modele o wymiarach w planie $0,54 \times 0,54$ m i wysokości 0,42 m znajdowały się w stalowym prostopadłościennym pojemniku, którego ściany i dno są przystosowane do pomiarów nacisków poziomych i pionowych. Konstrukcja ścian odwzorowuje odpór stref ośrodka gruntowego otaczających model gabionu, natomiast dno jest modelowanym jednoparametrowym podłożem. Prostopadłościenne elementy gabionowe składały się z kosza wykonanego z oryginalnej siatki (druć stalowy typu C100G o średnicy 2,0 mm) o sześciobocznych oczkach 80×50 mm, wypełnionej grysem bazaltowym o wymiarach ziaren 8-16 mm. Ściany kosza od wewnątrz otoczono powłoką z folii PCV w celu zapobieżenia przemieszczaniu się ziaren kruszywa na zewnątrz. Modele obciążano pionowo statycznym naciskiem w sposób centryczny za pośrednictwem poziomo zlokalizowanej stalowej sztywnej płyty kwadratowej o wymiarze boku 0,315 m. Stosowano obciążenie równomiernie rozłożone w zakresie do 0,20 MPa. Przy obciążeniu tej wysokości stwierdzono w próbkach wzorcowych początek zjawiska nierównomiernego osiadania płyty obciążającej. Przedmiotem badań były odkształcenia poziome i naciski pionowe modeli przekazywane na podłoże. Wartości pionowych nacisków oszacowano na podstawie iloczynu wartości przemieszczeń pionowych rejestrowanych przez czujniki w dnie pojemnika i znanej stałej sprężystości czujników. Czujniki te zainstalowano w dwóch osiach głównych centralnych dna. Badania miały charakter porównawczy – wyniki pomiarów porównywano z wynikami otrzymanymi na próbkach wzorcowych, które stanowiła bryła ośrodka gruntowego nie otoczonego powłoką siatkową.

Na rysunku 1 pokazano odkształcenia poziome (oś pozioma) modelu gabionu i próbki gruntu bez kosza (wzorzec) na siedmiu poziomach pomiarowych pojemnika badawczego (oś pionowa) dla czterech stanów obciążenia: 0,05; 0,10; 0,15 i 0,20 MPa. Przyrosty odkształceń w obu przypadkach mają charakter proporcjonalny do obciążenia. Natomiast odkształcenia modelu z koszem są około 25 % mniejsze.



Rys. 1. Odkształcenia poziome modelu gabionu i wzorca na poziomach pomiarowych $l = 0,03; 2 = 0,09; 3 = 0,15; 4 = 0,21; 5 = 0,27; 6 = 0,33$ i $7 = 0,39$ m w poszczególnych stanach obciążenia $q = 0,05; 0,10; 0,15$ i $0,20$ MPa; w – wzorzec, k – kosz siatkowy z wypełnieniem (gabion)

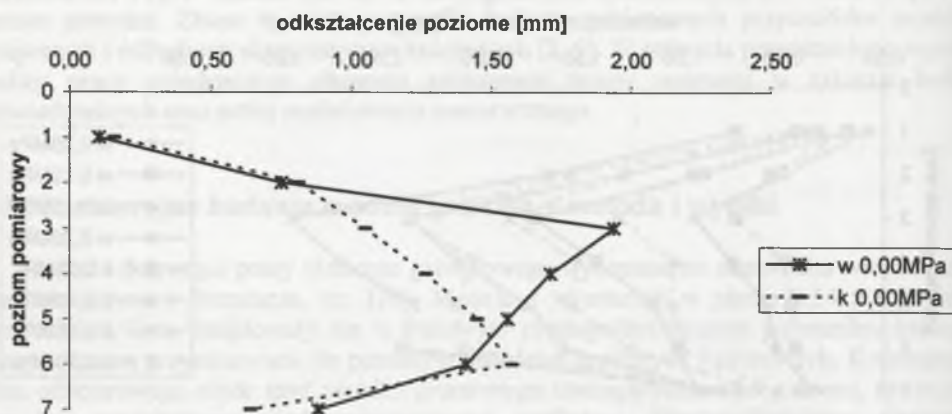
Fig. 1. Gabion and pattern model's horizontal strains on measuring – levels $l = 0,03; 2 = 0,09; 3 = 0,15; 4 = 0,21; 5 = 0,27; 6 = 0,33$ and $7 = 0,39$ m in each states of weight $q = 0,05; 0,10; 0,15$ and $0,20$ MPa; w – pattern, k – gabion

Rysunek 2 ilustruje stan odkształceń poziomych po całkowitym odjęciu obciążenia, czyli stan odkształceń trwałych. W przypadku modelu z koszem całkowita wartość odkształceń jest mniejsza o około 30 %, co świadczy o cechach sprężystych, które otrzymuje próbka ośrodka ziarnistego otoczona siatkową powłoką. Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań pionowych nacisków modeli na dno, wyrażonych przemieszczeniami pionowymi [mm] (oś pozioma), przy obciążeniu $q = 0,20$ MPa. Natomiast na osi pionowej pokazano numerację czujników zainstalowanych w jednej z głównych centralnych osi dna. Czujnik nr 5 jest zlokalizowany na przecięciu osi centralnych wzajemnie prostopadłych. Wartości nacisków są prawie identyczne dla obu modeli. Należy zauważyć, że na omawianym stanowisku w procesie badań odkształceń próbek ośrodka ziarnistego bez kosza, lecz ze wzmocnieniem pojedynczą wkładką lub zespołem wkładek równolegle rozmieszczonych, otrzymuje się redukcję odkształceń poziomych i jednocześnie przyrost nacisków pionowych na podłoże. Stwierdzenie to jest zgodne z równaniem równowagi naprężeń [10]:

$$q F_{pl} - \sigma_z s_r - f_s \sigma_x s_r - (4 F_s) = 0, \quad (1)$$

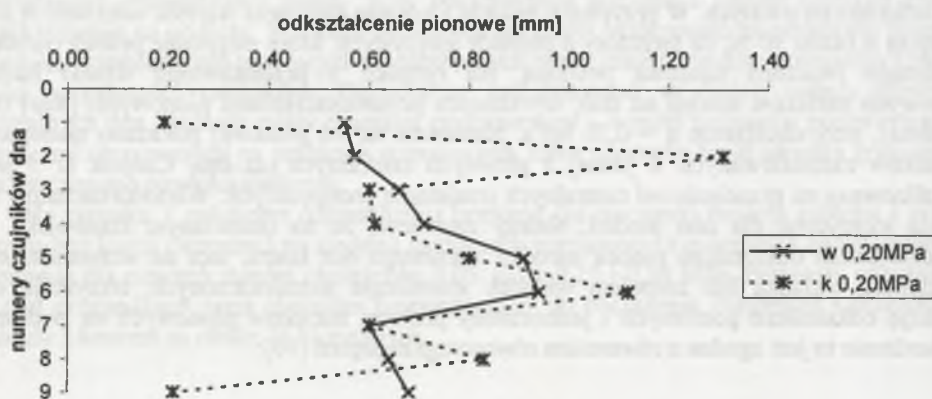
w którym: q [MPa] – jednostkowe obciążenie pionowe; F_{pl} – powierzchnia płyty obciążającej model; $\sigma_z s_r$ – średni pionowy nacisk próbki gruntu ze zbrojeniem na podłoże; F_d – powierzchnia dna pojemnika z modelem gabionu; $s_r = f_s \sigma_x s_r$ – średnia jednostkowa siła tarcia między modelem gabionu a wewnętrznymi powierzchniami ścian pojemnika; f_s – współczynnik tarcia.

Prędkość przyrostu nacisków pionowych jest jednak mniejsza od prędkości redukcji odkształceń poziomych, generowanej zbrojeniem (ściślej – efektywnością pracy zbrojenia).



Rys.2. Odształcenia poziome modelu gabionu i wzorca po odjęciu obciążenia od $q = 0,20$ MPa do $q = 0$; 1-7 – poziomy pomiarowe, w – wzorzec, k – gabion

Fig.2. Gabion and pattern model's horizontal strains after the weight deduction from $q = 0,20$ MPa to $q = 0$; 1-7 – measuring levels; w – pattern, k – gabion

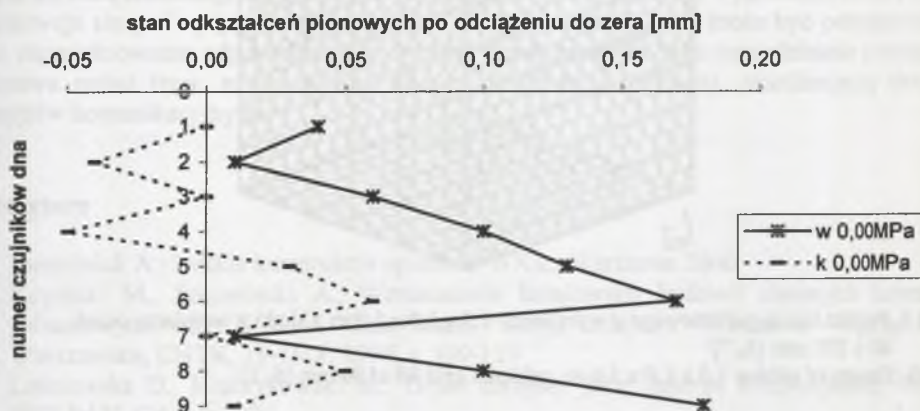


Rys.3. Odształcenie pionowe modeli (na kontakcie dno-podłoże) z koszem i bez kosza (wzorzec) przy obciążeniu $q = 0,20$ MPa; 1-9 – numeracja czujników przemieszczeń dna pojemnika; w – wzorzec, k – gabion

Fig.3. Horizontal strain of models (on contact bottom-basis) with the gabion and without the gabion (the pattern) at weight $q = 0,20$ MPa; 1-9 – numeration of container bottom strain sensors; w – pattern, k – gabion

Tego typu zjawisko można tłumaczyć kumulacją części energii kinetycznej w materiale. W przypadku kosza siatkowego ściśle otaczającego materiał ziarnisty przemieszczenia pionowe ziaren obciążonego gruntu są redukowane na zasadzie tarcia na kontakcie ziaren z pionowymi płaszczyznami (siatkami) i klinowania ziaren w oczkach siatek tworzących ściany modelu oraz w strefach dwóch poziomych siatek stanowiących przepony w stropie

i dnie modelu. Rysunek 4 przedstawia rozkład nacisków pionowych na podłoże modeli z koszem i bez kosza, po odjęciu obciążenia od wartości $q = 0,20$ MPa do zera. Wartości nacisków (odkształcenia trwałe) modelu z koszem są znacznie mniejsze, co wskazuje na występowanie właściwości sprężystych. Kosz siatkowy z kruszywem wypełniającym jest warstwą nośną pracującą w zakresie, w którym przeważają odkształcenia sprężyste.



Rys.4. Odształcenie pionowe modeli (na kontakcie dno-podłoże) z koszem i bez kosza (wzorec) po całkowitym odjęciu obciążenia do zera; 1–9 – numeracja czujników przemieszczeń dna pojemnika; w – wzorec, k – gabion

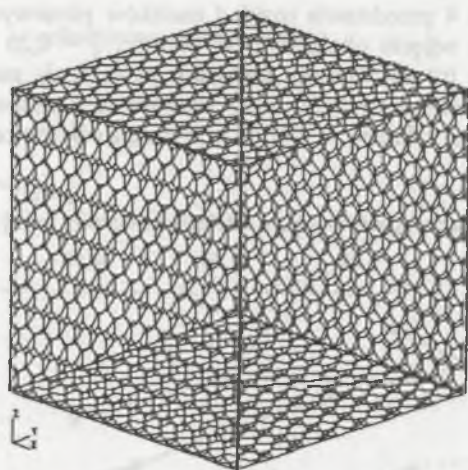
Fig.4. Vertical strain of models (on contact bottom-basis) with the gabion and without the gabion (the pattern) after weight deduction to zero; 1–9 – numeration of container bottom strain sensors; w – pattern, k – gabion

3. Numeryczne modelowanie odkształceń kosza siatkowego

Podjęto próbę projektowania elementów gabionowych przed i po odkształceniu, wykorzystując program Robot MILLENNIUM 15.0 [6, 7]. Program ten służy do projektowania, modelowania oraz wymiarowania różnych typów konstrukcji budowlanych i ich elementów składowych. Pierwotnie program został opracowany w celu projektowania konstrukcji żelbetowych i wymiarowania ich elementów. Do najbardziej istotnych cech programu należą:

- definiowanie konstrukcji w edytorze graficznym,
- możliwość wymiarowania fragmentu konstrukcji w trakcie projektowania kolejnego elementu (tzw. wielowątkowość),
- możliwość prowadzenia analizy statycznej i dynamicznej konstrukcji.

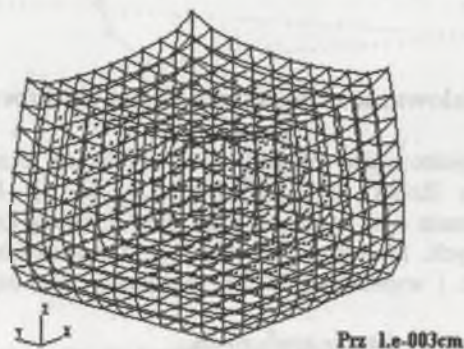
Na rysunku 5 przedstawiono projekt kosza gabionowego o wymiarach $1,0 \times 1,0 \times 1,0$ m z siatki o wymiarze oczek 80×100 mm, wykorzystując w programie model siatki z pakietu RAMA PŁASKA.



Rys.5. Projekt kosza gabionowego o wymiarach 1,0 x 1,0 x 1,0 m z siatki o wymiarze oczek 80 x 100 mm [6, 7]

Fig.5. Design of gabion 1,0 x 1,0 x 1,0 m, gabion's grid 80 x100 mm [6, 7]

Na rysunku 6 pokazano przykład modelowania odkształceń kosza gabionowego od obciążenia ciężarem własnym. Model kosza o wymiarach 1,0 x 1,0 x 1,0 m zaprojektowano w pakiecie KONSTRUKCJE OBJĘTOŚCIOWE-BRYŁY, sposobem uproszczonym, stosując siatkę czworokątną o oczkach 100 x 100 mm zamiast typowej dla gabionów siatki sześciokątnej. Wprowadzenie stosowanego w praktyce sześciokątnego kształtu oczek wymaga użycia komputera o dużej mocy obliczeniowej.



Rys.6. Model kosza siatkowego (gabionu) po odkształceniu spowodowanym ciężarem własnym [6, 7]

Fig.6. Model of gabion's strain caused by deadweight [6, 7]

4. Podsumowanie

Wyniki badań doświadczalnych dotyczących odkształceń poziomych i pionowych modelu gabionu wykazały pozytywne aspekty pracy tego typu elementów konstrukcyjnych poddanych działaniu pionowego obciążenia o charakterze statycznym. Kosz siatkowy wypełniony materiałem kamiennym (gabion), obciążony w warunkach badań laboratoryjnych

podanych w referacie, wykazuje mniejsze o około 30 % odkształcenia poziome w odniesieniu do wzorca, czyli próbki ośrodka ziarnistego bez powłoki siatkowej. W modelach gabionów powstrzymywane są również odkształcenia pionowe, mierzone w dolnej płaszczyźnie modelu gabionu na kontakcie z jednoparametrowym podłożem Winklera, będące miarą nacisków pionowych modelu na podłoże. Po odjęciu obciążenia do zera zanikają w dużej mierze odkształcenia trwale poziome i pionowe, co świadczy o cechach sprężystości, które otrzymuje bryła ośrodka ziarnistego sprężona powłoką siatkową. Kosz siatkowy wypełniony kruszywem zachowuje się pod wpływem obciążenia jak sprężysty „blok”, który może być potraktowany (po zaprojektowaniu odpowiednich wymiarów przestrzennych) jako samodzielnie pracująca warstwa nośna (tzw. materac) albo element konstrukcji oporowej, stabilizującej skarpy nasypów komunikacyjnych.

Literatura

1. Jarominiak A.: Lekkie konstrukcje oporowe. WKiŁ, Warszawa 2000
2. Kopiński M., Surowiecki A.: Wzmacnianie kolejowych budowli ziemnych kosztami gabionowymi. Mat. X Konf. Nauk.-Techn. „Drogi Kolejowe” Warszawa – Spała, Pol. Warszawska, CNTK, 13-15.X. 1999, s. 109-119
3. Leśniewska D., Kulczykowski M.: Grunt zbrojony jako materiał kompozytowy. Wyd. IBW PAN, Gdańsk 2001
4. Najder T.: Wykorzystanie gabionów do ochrony brzegu morskiego – obiekty zrealizowane na Półwyspie Helskim. Inżynieria Morska i Geotechnika, Nr 5, 1994, s. 239-261
5. Spanier G.: Warunki techniczne zabezpieczania budowli drogowych przed skutkami powodzi. Praca magisterska, Instytut Inżynierii Lądowej, Politechnika Wrocławska, maj 2002
6. RoboBAT: ROBOT MILLENIUM wersja 15.0 – Podręcznik użytkownika, Kraków 2002
7. RoboBAT: Seminarium konsultacyjne ROBOT MILLENIUM, Kraków 2001
8. Surowiecki A.: O projektowaniu konstrukcji gabionowych w budownictwie komunikacyjnym, Drogownictwo, Nr 3, Rok LVI, SITK, s. 81-86
9. Surowiecki A.: Podstawy projektowania zabezpieczeń podtorza przy użyciu gabionów [w:] Problemy modernizacji i naprawy podtorza kolejowego. Konf. Nauk.-Techn. Wrocław-Żmigród, Pol. Wrocł., SITK, 29-30.06.2000 r., s. 155-162
10. Surowiecki A.: Interaction between reinforced soil components. *Studia Geotechnica et Mechanica*. Vol. 20, Nr 1-2, 1998, p. 43-61
11. Wskazówki do projektowania konstrukcji gabionowych. Przedsiębiorstwo Inżynierii i Hydrotechniki TAN S.A., Wrocław 1999