

Andrzej Surowiecki

ODKSZTAŁCENIA POZIOME MODELU GABIONOWEJ ŚCIANY OPOROWEJ DRÓG WIEJSKICH

Streszczenie

Omówiono badania odkształceń poziomych laboratoryjnego modelu ściany oporowej nasypu drogowego, wykonanej z elementów gabionowych. Gabiony, czyli kosze siatkowe wypełnione materiałem ziarnistym rozmieszczone w prostopadłościennym wielkowymiarowym pojemniku obudowują od wewnątrz jedną ze ścian. Pozostała część pojemnika jest wypełniona piaskiem gruboziarnistym, odwzorowującym masyw gruntowy poza ścianą oporową. Skonstruowano trzy typy ścian gabionowych: ściana złożona z trzech gabionów (typ A); z czterech (typ B) i siedmiu (typ C) różniących się wymiarami. Poszczególne typy ścian wykonano w dwóch wariantach: gabiony luźno położone oraz zespolone z sobą metalowymi spinaczami. Poziomy napór modelu ściany gabionowej na pomiarową ścianę pojemnika badawczego wzbudzano, stosując obciążenie pionowym statycznym naciskiem. Specjalna konstrukcja ścian pojemnika umożliwiła dokonanie pomiarów przemieszczeń poziomych modelu, które przeliczano na jednostkowe poziome parcie. Wyniki badań przedstawiono w formie wykresów poziomego parcia modeli, mierzonego na siedmiu pomiarowych poziomach ściany, w zależności od konfiguracji ściany (liczby i wymiarów gabionów). Badania miały charakter porównawczy – wyniki porównywano z wynikami otrzymanymi dla modelu wzorcowego nasypu (bez obudowujących koszy siatkowych). Stwierdzono redukcję odkształceń poziomych modelu nasypu z elementami gabionowymi w odniesieniu do wzorca. Wartość zmniejszenia jest zależna od wymiarów, ukształtowania i rozmieszczenia koszy gabionowych.

Słowa kluczowe: drogi wiejskie, ściana oporowa gabionowa, odkształcenia, badania doświadczalne

SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Obiektem badań jest nasyp komunikacyjny ze skarpią obudowaną siatkowo-kamiennymi koszami (gabionami) w celu zabezpieczenia przed skutkami powodzi lub zapobieżenia osuwiskom spowodowanym przez obciążenia eksploatacyjne. Ściany oporowe gabionowe należą do lekkich konstrukcji oporowych, przyjaznych naturalnemu środowisku [Surowiecki, 2001]. Liczne zalety konstrukcji z kaszyc siatkowych, takie jak: elastyczność (podatność na deformacje bez zniszczenia), trwałość, wytrzymałość, wodoprzepuszczalność, ekologiczność, łatwość kształtowania konstrukcji z koszy, pozwalają na szerokie stosowanie tego systemu w celach tworzenia [Surowiecki 2001]:

- konstrukcji typu oporowego (przeciwdziałających osuwiskom), podtrzymujących niestabilne skarpy i urwiska,
- tymczasowych podpór obiektów mostowych, w tym także przyczółków;
- obudowy wzmacniającej skarpy nasypów i przekopów kolejowych oraz drogowych,
- budowli skarpowych w formie materacy, rozpraszających energię nabiegających fal (przeciwdziałanie fali powodziowej).

W Polsce dopiero od roku 1993 [Jarominiak 2000] rozpoczęto stosowanie na szerszą skalę gabionowego systemu ochrony i wzmacniania budowli ziemnych, natomiast pierwsze prace koncepcyjne i projektowe pochodzą z roku 1991. Aktualnie nie ma opracowanej metody projektowania (w zamkniętej formie) konstrukcji oporowych gabionowych, dotyczącej poszczególnych typów konstrukcji (ściany klasyczne; ściany typu Terramesh; typu Green Terramesh).

W referacie przedstawiono wyniki wstępnych badań poziomych odkształceń, które wykonano na laboratoryjnych modelach ściany oporowej gabionowej, obciążonej pionowym statycznym naciskiem. Omówiono założenia do analizy stateczności i wymiarowania konstrukcji oporowej na podstawie doświadczalnie oszacowanej wielkości klina odłamu.

OPIS ZADANIA BADAWCZEGO

Referat zawiera założenia i wyniki badań laboratoryjnych, stanowiące podstawę do realizacji projektu badawczego na temat podstaw modernizacji i napraw kolejowych budowli ziemnych. Przedmiotem badań i analizy jest ściana oporowa z elementów gabionowych,

poddana działaniu obciążenia użytkowego i jednostronnej lub obustronnej filtracji wody (w terenie zalewowym). W aspekcie poznawczym zadanie obejmuje elementy:

- rozpoznanie zjawisk, dotyczących poziomego parcia masywu gruntowego gabionowego na pionową ścianę oporową modelu, w funkcji przyjętych czynników zmiennych (wartość obciążenia, ilość i rodzaj zbrojenia, zagęszczenie i wilgotność gruntu) – określenie wpływu obudowy skarpy nasypu koszami gabionowymi na zmniejszenie parcia bocznego ośrodka gruntowego,

- określenie metodą laboratoryjną wielkości klina odłamu (w stanie granicznym czynnym parcia gruntu) i kształtu krzywej poślizgu w konstrukcji oporowej z elementów gabionowych i porównawczo bez gabionów – ustalenie wpływu zbrojenia na ograniczenie wielkości klina odłamu w zależności od czynników zmiennych, dotyczących ośrodka gruntowego i zbrojenia,

- wykazanie zmian cech mechanicznych masywu gruntowego wskutek zastosowania stabilizacji koszami gabionowymi, w zależności od konfiguracji elementów ściany oporowej,

- analiza wymiarowania konstrukcji oporowej na podstawie wielkości klina odłamu, ustalonej doświadczalnie (na podstawie wyników pomiarów poziomego parcia gruntu) – prowadzona dla zmiennych parametrów dotyczących koszy siatkowych (gabionów) i wypełnienia gruntowego.

Na podstawie wyników przedmiotowych badań, jako praktyczny efekt zadania, docelowo będzie opracowana metoda wymiarowania gabionowej ściany oporowej poddanej działaniu obciążenia eksploatacyjnego i parcia wody.

BADANIA LABORATORYJNE ODKSZTAŁCENÍ MODELU ŚCIANY GABIONOWEJ

Badania wykonano w celu oszacowania zakresu redukcji odkształceń poziomych masywu gruntowego obudowanego (wzmocnionego) koszami gabionowymi, w stosunku do masywu bez wzmocnienia. Materiałem gruntowym był rzeczny piasek gruboziarnisty o wartości kąta tarcia wewnętrznego $\varphi = 30,2^{\circ}$. Elementy obudowujące czołową ścianę (pionową) masywu wykonano z grysu bazaltowego o wymiarze ziaren 8–16 mm, otoczonego powłoką siatkową (siatka z tworzywa sztucznego o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie; wymiar oczek 12 x 12 mm).

Modele masywu ze ścianą oporową gabionową znajdowały się w pojemniku o wymiarach w planie 0,54 m x 0,54 m i wysokości 0,42 m z odpowiednim oprzyrządowaniem. Pojemnik stalowy, prostopadłościenny, wskutek swej specjalnej konstrukcji ścian i dna, umożliwia pomiary jednostkowego parcia poziomego (w płaszczyznach ścian) oraz nacisków pionowych na modelowane jednoparametrowe podłoże.

Obciążenie statyczne pionowe realizowano przez sztywną stalową płytę poziomo, centrycznie. Największa wartość obciążenia jednostkowego wynosiła $q = 0,19$ MPa i determinowała stan graniczny czynnego parcia modelowanego masywu gruntowego.

Modele badawcze różniły się wymiarami i liczbą gabionów obudowujących ścianę pomiarową. Parametrem zmiennym były wymiary gabionów w kierunku poziomym (tzw. głębokość) i pionowym (tzw. wysokość elementu gabionowego), natomiast drugi wymiar w kierunku poziomym (stanowiący szerokość pojemnika) pozostawał niezmienny i wynosi 0,52 m. Modele przedstawiają się następująco: typ A – układ trzech gabionów wypełniający powierzchnię ściany pomiarowej; B – układ czterech gabionów; C – układ siedmiu gabionów. Poszczególne typy ściany zawierają gabiony o wymiarach (wysokość x głębokość x długość):

– w typie A ściany: 0,12 x 0,10 x 0,52 m; 0,18 x 0,15 x 0,52 m; 0,12 x 0,20 x 0,52 m,

– w typie B ściany: 0,12 x 0,10 x 0,52 m; 0,12 x 0,15 x 0,52 m; 0,12 x 0,20 x 0,52 m; 0,06 x 0,25 x 0,52 m,

– w typie C ściany: 0,06 x 0,10 x 0,52 m; 0,06 x 0,15 x 0,52 m; 0,06 x 0,20 x 0,52 m.

Ponadto rozpatrywano dwa warianty obudowy ściany:

1 – gabiony bez wzajemnych połączeń (luźno zlokalizowane na poszczególnych piętrach-poziomach pomiarowych),

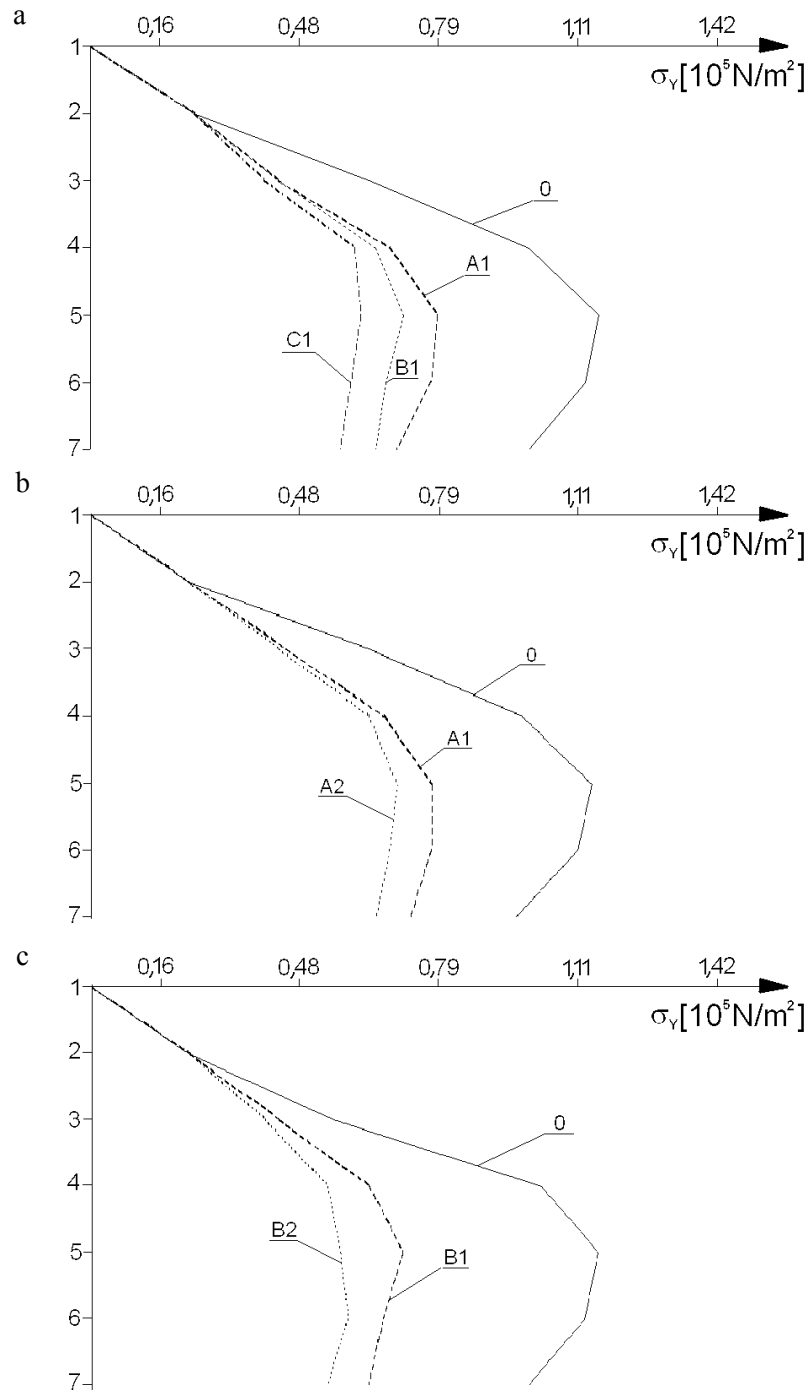
2 – gabiony połączone z sobą metalowymi spinaczami.

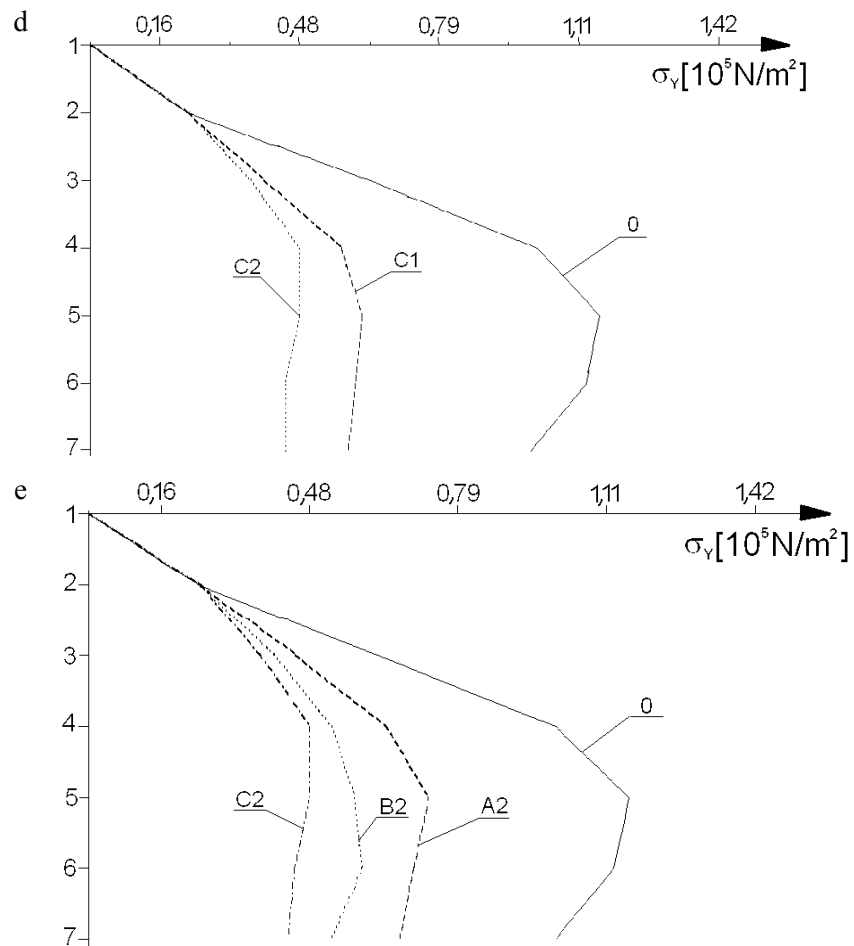
Wyniki badań jednostkowego parcia poziomego poszczególnych modeli pokazano na rysunkach:

– rysunek 1 a ilustruje rozkład jednostkowego poziomego parcia dla poszczególnych modeli masywu ze ścianą osłonową, wykonaną z gabionów (modele A1, B1, C1; czyli gabiony nie są ze sobą powiązane),

– rysunek 1 b: jednostkowe parcie boczne dla modelu A z gabionami luźno ułożonymi i powiązanymi;

– rysunek 1 c: jednostkowe parcie boczne dla modelu B z gabionami luźno ułożonymi i powiązanymi;





Rysunek 1. Wykresy jednostkowego parcia poziomego poszczególnych modeli gabionowej ściany oporowej: a – modele A1, B1, C1; b – model A z gabionami luźno ułożonymi i powiązanymi; c – model B z gabionami luźno ułożonymi i powiązanymi; d – model C z gabionami luźno ułożonymi i powiązanymi; e – modele A2, B2, C2

Figure 1. Unitary horizontal pressure for models of gabion-retaining wall: a – models A1, B1, C1; b – model A with gabions loose situated and banded together; c – model B with gabions loose situated and banded together; d – model C with gabions loose situated and banded together; e – models A2, B2 and C2

- rysunek 1 d: jednostkowe parcie boczne dla modelu C z gabionami luźno ułożonymi i powiązаныmi;
- rysunek 1 e: rozkład jednostkowego poziomego parcia dla poszczególnych modeli masywu ze ścianą osłonową, wykonaną z gabionów (modele A2, B2, C2; czyli gabiony są ze sobą powiązane).

Z wykresów widać, że wymiary koszy gabionowych i konfiguracja elementów ściany oporowej, jako złożonej całości ma dość znaczny wpływ na kształtowanie się wartości poziomego parcia masywu i formę krzywej wykresu parcia (wykresy dotyczą stanu granicznego czynnego). W przypadku powiązania ze sobą koszy gabionowych tworzących ścianę oporową (powiązanie polegało na połączeniu poszczególnych gabionów „spinaczami” z drutu) uzyskano zmniejszenie poziomego parcia (mierzonego odkształceniami poziomymi ściany pomiarowej pojemnika badawczego) od kilku do ponad 10 %.

Generalnie stwierdzono możliwość redukcji odkształceń poziomych masywu (oraz jednocześnie wzrost nośności) nawet do około 50 % w zależności od konstrukcji ściany gabionowej, to znaczy: wymiarów, ukształtowania i rozmieszczenia koszy gabionowych.

ZAŁOŻENIA DO ANALIZY STATECZNOŚCI

Analiza statyczna pracy ściany oporowej gabionowej wymaga [Simac 1997; Szcześniak 1998]:

- rozpoznania gruntów stabilizowanych skarp nasypów lub wykopów, rozpoznania podłoża,
- przyjęcia parametrów geotechnicznych materiałów wypełniających gabiony,
- przyjęcia parametrów wytrzymałościowych na kontakcie gabionów,
- doboru metody obliczeń i przyjęcia minimalnych wskaźników stateczności dla poszczególnych schematów zniszczenia.

A. Jarominiak w monografii [Jarominiak 2000] traktuje ściany gabionowe jak szczególną odmianę kaszyc i proponuje obliczać jak monolityczne ściany oporowe. Wobec tego wykonuje się wymiarowanie wewnętrzne czyli sprawdzenie naprężeń w prętach siatki i w krużywie oraz zewnętrzne a więc kontrolę stateczności masywu. Stateczność jest rozpatrywana lokalnie (na przykład wysunięcie się na zewnątrz lub obrót pojedynczych elementów ściany) oraz globalnie. Sprawdzenie stateczności zewnętrznej dotyczy warunków:

- wyporu ośrodka gruntowego spod konstrukcji (obciążenie podłoża Q_p od konstrukcji powinno być mniejsze niż dopuszczalne Q_{dop}),
- na przesunięcie poziome (siła pochodząca od parcia gruntu, przesuująca konstrukcję powinna być mniejsza od siły tarcia spód konstrukcji – podłoże w poziomie podstawy),
- na wywrócenie (moment utrzymujący pochodzący od ciężaru konstrukcji powinien być większy od momentu wywracającego generowanego przez parcie gruntu i obciążenie eksploatacyjne),
- zapobieżenia utraty stateczności wskutek usuwiska obejmującego całą konstrukcję oporową, masyw stabilizowany ścianą i podłoże.

Ponadto oblicza się różnice osiadań na przyjętej długości konstrukcji i sprawdza, czy są dopuszczalne ze względu na niebezpieczeństwo uszkodzenia elementów ściany (koszy gabionowych).

K. Szcześniak [1998] proponuje sprawdzać stateczność oporowych ścian gabionowych klasyczną metodą Bishopa, używając programu numerycznego „SLIDE” jako algorytmu tej metody. Program ten uwzględnia różne wpływy, np.: wody, spękań i wzmocnień. Wyniki obliczeń otrzymuje się w postaci wskaźników stateczności, stanowiących miarę stateczności lokalnej i globalnej skarpy. Przyjmowane są następujące schematy zniszczeń wewnętrznych i zewnętrznych oraz współczynniki bezpieczeństwa F [Simac i in 1997; Surowiecki 2001]:

- poślizg w płaszczyźnie podłoża; $F_{std} = 1,5$,
- obrót względem podstawy; $F_{ot} = 2,0$,
- wyparcie gruntu podłoża na zewnątrz (przekroczenie nośności podłoża); $F_{bc} = 2,5$,
- przekroczenie granicznych naprężeń stycznych; $\tau > \tau_{gr}$ $F_{tos} = 1,0$,
- przekroczenie naprężeń normalnych; $\sigma > \sigma_{gr}$; $F_{ton} = 1,0$,
- poślizg między gabionami; $F_{sc} = 1,5$,
- zerwanie połączeń; $F_{po} = 1,5$,
- zniszczenie poślizgowe (wyparcie pojedynczych gabionów); $F_{sc} = 1,5$,
- zniszczenie wierzchołkowe (obrót koszy znajdujących się w strefie górnej względem pozostałych); $F_{cs} = 1,5$.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wyniki badań doświadczalnych wykazały możliwość osiągnięcia redukcji poziomych deformacji w zakresie od 35 % do 49 % wskutek obudowania masywu ścianą oporową, wykonaną z elementów gabionowych. Potwierdzono w ten sposób celowość stosowania tego typu

wzmocnienia skarp, zaliczanego do lekkich konstrukcji oporowych. Wśród wniosków wyróżniają się następujące:

- zakres ograniczenia poziomego parcia masywu gruntowego obudowanego ścianą oporową wykonana koszy siatkowych jest zależny od rozmiarów koszy (przy niezmienniej wysokości ściany rozmiary koszy są determinantą liczby koszy), ukształtowania przestrzennego i rozmieszczenia oraz jakości połączeń między koszami;
- fakt mechanicznego zespolenia gabionów skutkuje dodatkową redukcją poziomego parcia co najmniej o 10 %;
- maksymalne ograniczenie poziomego parcia otrzymano w modelu typu C, charakteryzującego się największą liczbą gabionów, które mają najmniejsze wymiary (przy stałej wysokości modelu $h = 0,42$ m).

Rezultat dostrzeżony w modelu typu C proponuje się uzasadnić szczególnym przebiegiem krzywej poślizgu przez poszczególne gabiony, polegającym na przecinaniu nie tylko ziarnistego materiału wypełniającego (grys bazaltowy) lecz także przecięciu prawie wszystkich warstw siatek obudowujących, stanowiących dość gęsto rozmieszczone zbrojenie masywu gruntowego. Przypuszcza się również, że w tym przypadku krzywa poślizgu znajduje się najbliżej ściany pomiarowej pojemnika, co wskazuje na minimum wymiarów klina odłamu w stanie granicznym czynnego parcia masywu.

Istnieje potrzeba opracowania prostej w użyciu metody wymiarowania ścian gabionowych, ujmującej aspekty:

- warunków pracy konstrukcji (warianty obciążenia eksploatacyjnego, napór i filtracja wody);
- struktury konstrukcji (konfiguracja elementów, wymiary geometryczne elementów, jakość połączeń między elementami).

BIBLIOGRAFIA

- Jarominiak A. *Lekkie konstrukcje oporowe*. WKiŁ Warszawa 2000.
- Simac M. R., Bathurst R. J., Fennessey W. *Case study of a hybrid gabion basket geosynthetic reinforced soil wall*. Ground Improvement nr 1, 1997, s. 9–17.
- Surowiecki A. *Możliwości adaptacji systemu lekkich ścian oporowych w podtorzu*. Mat. I Konf. Nauk.-Techn. „Problemy modernizacji i naprawy podtorza kolejowego”, SITK, CNTK, Politechnika Wr., Wrocław-Żmigród 29–30.06, 2000, s. 147–154.
- Surowiecki A. *Podstawy projektowania zabezpieczeń podtorza przy użyciu gabionów*. Mat. I Konf. Nauk.-Techn. „Problemy modernizacji i naprawy podtorza kolejowego”, SITK, CNTK, Politechnika Wr., Wrocław-Żmigród 29–30.06, 2000, s. 155–162.
- Surowiecki A. O projektowaniu konstrukcji gabionowych w budownictwie komunikacyjnym. Drogownictwo Rok LVI, nr 3, 2001, s. 81–86.
- Szcześniak K. Geotechniczne zabezpieczenia przed skutkami powodzi. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Konferencje XXI, nr 339, 1998, Wrocław, s. 191–198.

Referat wykonano na podstawie realizowanego projektu badawczego Nr 5 T07E 060 24, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji, 00-529 Warszawa, ul. Wspólna 1/3.

Dr hab. inż. Andrzej Surowiecki, prof. PWR, AR
Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej,
Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław;
Instytut Budownictwa i Architektury Krajobrazu Akademii Rolniczej We Wrocławiu
pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław,
tel. 71-3203936,
email: SURAN@POCZTA.FM

Recenzent: *Prof. dr hab. Czesław Rycqbel*

Andrzej Surowiecki

HORIZONTAL DEFORMATIONS OF GABION-RETAINING WALL MODEL OF COUNTRY ROADS

SUMMARY

The researches of horizontal deformations of laboratory model of road embankment retaining wall constructed with gabion elements were described. The gabions, in other words grid – baskets filled with granular material, located in the rectangular container build from within one of the walls. Remaining part of container is filled with coarse – grained sand imitating the embankment beyond the retaining wall. Were performed three types of gabion walls: wall composed with three gabions (type A); with four (type B) and seven (type C). Individual types constructed in two variants: loose gabions and gabions jointed with steel clips. The horizontal pressure of retaining wall model at the measurement wall of container was aroused using the load with statical vertical pressure. Special construction of container walls enabled execution of horizontal displacement measurements of model, which counted at the unitary horizontal pressure. The test results were presented in form of diagrams of models horizontal pressure, measured at the seven wall levels according to the wall configuration. Were ascertained the horizontal deformation reduction of gabion embankment model with reference to the pattern. The value of reduction depends on dimensions, configuration and arrangement of gabion basket.

Key words: country roads, gabion-retaining wall, deformations, laboratory tests