



# Mury oporowe z gruntu zbrojonego

## z przekładkami z keramzytu

**dr inż. Grzegorz Horodecki**  
Politechnika Gdańska  
**mgr inż. Anita Biłanicz**  
**mgr inż. Karolina Smentoch**  
Optem

**W** czerwcu 2019 r. nastąpiło otwarcie nowo budowanego wiaduktu na ulicy Drwęckiej w Ostrórze, który zastąpił jeden z trzech przejazdów kolejowo-drogowych znajdujących się w centrum miasta. Przebieg linii kolejowej przez środek miasta powoduje trudności w sprawnym poruszaniu się, m.in. poprzez utrudnienia dla kierowców, pieszych i rowerzystów, ponieważ ruch w mieście w znacznym stopniu jest uzależniony od przejazdów pociągów. Jednopoziomowe skrzyżowania na przejazdach kolejowych są niebezpieczne również dla ruchu kolejowego. Budowa bezkolizyjnej przeprawy nad torami kolejowymi pozwala na zmniejszenie korków i usprawnienie ruchu oraz na poprawę bezpieczeństwa dla pieszych i rowerzystów.

Ze względu na budowę nowej przeprawy nad torami w środku miasta konstrukcja wjazdu i zjazdu na wiadukt musiała być miejscowo ograniczona do minimalnej szerokości, w konsekwencji dojazdy do wiaduktu zostały zaprojektowane jako mury oporowe z gruntu zbrojonego. Jednak od tradycyjnych murów oporowych różniły się one tym, że jako materiał zasypowy częściowo zastosowano keramzyt [1]. W taki sposób powstała pierwsza taka konstrukcja w Polsce, która łączy w sobie technologię gruntu zbrojonego oraz nasypu drogowego z wypełnieniem kruszywem lekkim – keramzytem.

### Zastosowanie keramzytu w nasypie

Keramzyt jest materiałem, który wytwarza się w procesie wypalania ze szczególnego rodzaju glin o właściwościach pęczniących. W efekcie powstaje materiał o kształcie okrągłych lub owalnych ziaren o zróżnicowanych frakcjach, które wewnątrz mają porowatą strukturę, zaś

### **I SUMMARY**

#### **Reinforced soil retaining walls under access roads to a viaduct over railway within Drwęcka street in Ostróda**

In June 2019, a new viaduct in Drwęcka street in Ostróda began its service. The structure replaced one of the three railway crossings located in the centre of the town. The completion of this collision-free crossing over the railway enabled safe and fast connection between the north and south part of Ostróda.

**Keywords:** reinforced soil, lightweight expanded clay aggregate (LECA), Ostróda, retaining walls, geosynthetics

na zewnątrz są pokryte twardą osłoną ceramiczną. Z uwagi na bardzo dobre parametry izolacji cieplnej początkowo stosowano go głównie jako materiał izolacyjny oraz do produkcji materiałów budowlanych z keramzytobetonu.

Od dłuższego czasu keramzyt jest stosowany również przy budowie nasypów drogowych [2-5]. Keramzyt stosowany w geotechnice o uziarnieniu 8/10-20 mm charakteryzuje się niewielkim ciężarem nasypowym (w porównaniu do piasku jest on kilkukrotnie lżejszy), przy czym ma również dużą wytrzymałość mechaniczną. Należy wziąć pod uwagę również jego dobrą przepuszczalność wody i wysoki kąt tarcia wewnętrznego wynoszący nawet od 45° do 47°.

Ze względu na występowanie w podłożu wrażliwych gruntów mineralnych o dużym nasyceniu porów wodą





Fot. 2. Układanie warstwy keramzytu (fot. Geo-ekspert)



Fot. 3. Etap wznoszenia lica w systemie biernym optemBLOK

i niewystarczających parametrach mechanicznych konstrukcja wiaduktu drogowego posadowiona została na palach przemieszczeniowych. Takie podłoże występowało również pod najazdami w sąsiedztwie wiaduktu, a w dalszym odcinku w podłożu zalegały grunty organiczne. Należało zaprojektować odpowiednie do warunków posadowienia najazdów na wiadukt, ponieważ budowa nowej konstrukcji z gruntu na takim podłożu, bez dodatkowego wzmocnienia samego podłoża bądź odciążenia nasypu, mogłaby doprowadzić do znacznych i nierównomiernych osiadań, a w konsekwencji do deformacji oraz odkształceń budowanej konstrukcji drogowej. W celu uniknięcia konieczności wykonywania wzmocnienia wgłębnego w gruntach wrażliwych pod najazdem na wiadukt bądź wymiany gruntów organicznych na znaczną głębokość w zabudowie miejskiej i bliskim sąsiedztwie gęstej infrastruktury podziemnej zastosowano materac odciążający pod całą konstrukcją i nasyp z warstwami z kruszywa lekkiego. Zaprojektowane odciążenie z lekkiego keramzytu geotechnicznego owiniętego w geotkaninę było przekładane warstwami z piasku.

### Konstrukcje z gruntu zbrojonego

W systemie murów oporowych z gruntu zbrojonego optemBLOK geosyntezy pełnią funkcję zbrojenia przenoszącego naprężenia rozciągające się od obciążenia ciężarem własnym i użytkowym. Grunt zbrojony stanowi zasypka, którą „przekłada się warstwowo” geosyntezykami. Poprzez współpracę z gruntem zasypowym geosyntezyki zapewniają stateczność wewnętrzną konstrukcji, zapobiegając obsuwaniu się gruntu. Geosyntezyki są mocowane do drobnowymiarowych bloczków prefabrykowanych pełniących funkcję oblicowania. Oprócz oblicowania ważnymi funkcjami bloczków są zabezpieczenie obiektu przed powierzchniową erozją, ochrona przed wpływem warunków atmosferycznych oraz nadanie konstrukcji estetycznego wyglądu.

Pośród licznych zalet ścian oporowych z bloczków drobnowymiarowych można wyróżnić ograniczenie czasu wykonywania konstrukcji. System opiera się na prostym schemacie montażu, w którym występuje spora powtarzalność, co wpływa na wysoką wydajność i szybkość pracy. W związku z powyższym budowa muru w systemie optemBLOK nie wymaga wysoko wykwalifikowanego

personelu (przy zachowaniu wymaganej wysokiej jakości prac), a fakt, że mur jest układany ręcznie, eliminuje potrzebę stosowania podczas montażu ciężkiego sprzętu.

### Konstrukcja murów oporowych – system bierny

Rozpoznanie geotechniczne terenu, na którym został zaprojektowany wiadukt oraz cała infrastruktura towarzysząca, wykazało, że w podłożu znajdują się grunty nasypowe, organiczne oraz wrażliwe grunty spoiste, w dużej części plastyczne. Grunty organiczne charakteryzują się dużą ścisłością i mogą powodować znaczne oraz długotrwałe osiadania posadowionej na nich konstrukcji, a nawet skutkować utratą jej stateczności. Szczegółowa analiza dokumentacji geotechnicznych i geologicznych, wyników badań edometrycznych oraz przeprowadzonych badań uzupełniających wykazała znaczną wrażliwość gruntów spoistych budujących na pozostałym obszarze podłoża i korzystniejsze parametry tych gruntów w stanie nienaruszonym. Z tego względu przyjęto rozwiązanie nieingerujące w głębsze podłoże. Ze względu na wysoką skrajnie wiaduktu nad linią kolejową należało wykonać mury z gruntu zbrojonego na wysokość sięgającą niemal 8 metrów. Dla takich wysokości masywu gruntowego, w przypadku zaprojektowania tradycyjnego nasypu budowlanego, ciężar konstrukcji byłby na tyle duży, że wywołane nim osiadania byłyby nieakceptowalne. Z uwagi na przewidywane osiadania podłoża w trakcie budowy nasypu przyjęto konstrukcję z gruntu zbrojonego z licem biernym z wykorzystaniem technologii optemBLOK posadowioną na materacach odciążających i usztywniających. W pierwszej kolejności przygotowano odpowiednio podłoże gruntowe, wykonując materac odciążający z keramzytu w geotkaninie poliestrowej, następnie materac kruszowy zgodnie z rozwiązaniem projektowym. Następnie budowany był nasyp z gruntu zbrojonego geosyntezykami wraz z przekładkami z keramzytu zawiniętego w geotkaninę, zaś po zrealizowaniu osiadań wstępnych i osiadań powstałych na skutek konsolidacji podłoża gruntowego przewidziano budowę lica z bloczków betonowych. Rozwiązanie posadowienia z zastosowaniem keramzytu pod nasypem oraz w nasypie zostało zaprojektowane przez G. Horodeckiego [1], natomiast projektanci z firmy Optem dostosowali do niego system optemBLOK [6],

**W czerwcu 2019 r. nastąpiło otwarcie nowo budowanego wiaduktu na ulicy Drwęckiej w Ostródzie, który zastąpił jeden z trzech przejazdów kolejowo-drogowych znajdujących się w centrum miasta. Zakończenie budowy bezkolizyjnego przejazdu nad torami kolejowymi pozwoliło na bezpieczne i szybkie połączenie północnej i południowej części Ostródy.**





Fot. 4. Gotowa konstrukcja z gruntu zbrojonego

#### Piśmiennictwo

1. Horodecki G., Cudny M., Zych A., Pilarska M.: *Projekt wykonawczo-technologiczny. Posadowienie nasypów drogowych ulicy Drwęckiej w technologii kruszywa lekkiego km 0+120-0+356*. Geo-ekspert Sp. z o.o. Gdańsk, wrzesień 2018.
2. Rzeźniczak J.: *Wzmacnianie słabych podłoży. Skuteczność wzmacniania słabych podłoży metodą udarową oraz przez statyczne przeciążenie i odciążenie*. „Geoinżynieria, Drogi, Mosty i Tunele”, nr 1/2007.
3. Horodecki G.: *Grunty słabonośne – odciążenie zamiast wzmocnienia*. „Magazyn Autostrady”, nr 4/2015.
4. Horodecki G.: *Keramzyt jako alternatywa wzmocnienia podłoża pod nasyp drogowy*. „Magazyn Autostrady”, nr 5/2013.
5. Horodecki G.: *Droga S7 Kazimierzowo – Koszwały – geotechniczne aspekty inwestycji*. „Magazyn Autostrady”, nr 1/2019.
6. *Projekt technologiczny murów oporowych dla zadania „Budowa wiaduktu nad linią kolejową nr 353 Poznań – Skandawa wraz z przebudową układu komunikacyjnego drogowo – kolejowego”*.
7. PN-EN 1997-1 Eurokod 7: *Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne*.

tworząc wspólnie pierwszą w Polsce konstrukcję z gruntu zbrojonego opierającą się na współpracy georusztów zbrojących z nasypem z wypełnieniem z keramzytu. Generalnym wykonawcą rozwiązania była firma Budimex S.A., a inwestorem był Zarząd Powiatu w Ostródzie. Miąższość warstwy keramzytu w nasypie z gruntu zbrojonego dostosowano do modułu pomiędzy geosiatkami przyjętego w systemie optemBLOK oraz oddzielano od gruntu zasypowego geotkaniną, tworząc zamknięte materace keramzytowe. Należało zwrócić uwagę na to, aby nie zanieczyścić keramzytu gruntem zasypowym, ponieważ zwiększyłyby to jego ciężar objętościowy i zmniejszyłyby skuteczność odciążenia podłoża słabonośnego. Bardzo ważnym czynnikiem mającym wpływ na efektywność rozwiązania było również każdorazowe naciągnięcie geotkaniny zamykającej keramzyt. W zależności od wysokości nasypu oraz warunków geotechnicznych podłoża zaprojektowano od jednego do kilku takich materacy w przekroju. W przypadku zaprojektowania kilku materacy keramzytowych były one oddzielone od siebie warstwą mineralnego materiału zasypowego. Prace związane z odciążeniem prowadzono w trybie projektowania aktywnego [7] z monitoringiem osiadań, modyfikując rozwiązanie w trakcie realizacji. Zastosowanie technologii gruntu zbrojonego w systemie biernym umożliwiło niezależną pracę lica oraz konstrukcji z gruntu, co jest ważne przy realizacji murów oporowych na odkształcalnym podłożu. Dodatkową zaletą zastosowanego systemu biernego jest możliwość wymiany oblicowania w sytuacji uszkodzenia lica bez konieczności rozbiórki całego nasypu z gruntu zbrojonego, co zmniejsza koszty ewentualnych napraw. Na zbrojenie geosyntetyczne murów składają się wkładki zbrojące blok gruntu oraz zbrojenie kotwiące, do których na późniejszym etapie mocowane są prefabrykowane bloczki. Przestrzeń między licem gruntu zbrojonego a wewnętrzną częścią oblicowania wypełniona została kruszywem o jednofrakcyjnym uziarnieniu w celu zapewnienia odpowiedniego drenażu. Wykonanie konstrukcji ściany oporowej

w systemie biernym umożliwiła zagęszczenie materiału zasypowego za pomocą ciężkiego sprzętu, co pozwala na uzyskanie wysokiego wskaźnika zagęszczenia gruntu oraz skraca czas wznoszenia nasypu. Wykorzystany w nasypie keramzyt pozwolił zmniejszyć parcie boczne wywołane obciążeniem pionowym nasypu. Dzięki temu na zaprojektowane geosyntetyki działałyby znacznie mniejsze siły rozciągające, co w rezultacie umożliwiło zaprojektowanie siatek krótszych, o niższych wytrzymałościach niż zazwyczaj w przypadku tradycyjnego zdjęcia parcia. Dodatkowo przy przyczółkach obiektu również zastosowano typowy grunt zbrojony (bez dodatkowego odciążenia keramzytem w celu wyrównania osiadania) w celu ich odciążenia. Georuszty zbrojące były układane w płaszczyźnie prostopadłej do ściany przyczółka i w niedużej odległości od niej wywijane na zaprojektowaną wysokość. Miejsca wywiniecia georusztów zostały zabezpieczone geowłókniną, która pełniła tutaj funkcję separacyjną i oddzielała grunt zasypowy od keramzytu, którym wypełniono pustkę pomiędzy konstrukcją odciążającą a ścianą przyczółka.

#### Podsumowanie

Budowa nowego bezkolizyjnego przejazdu kolejowo-drogowego w ciągu ulicy Drwęckiej w Ostródzie pozwoliła na zwiększenie poziomu bezpieczeństwa w ruchu kolejowym oraz na poprawę komunikacji w mieście i w regionie. Ze względu na występowanie gruntów słabonośnych w podłożu wykonano najazdy na wiadukt z warstwami odciążającymi z keramzytu, co było alternatywą dla palowania, wymiany gruntu czy wzmocnień iniekcyjnych. Budowa najazdu w technologii ścian oporowych optemBLOK zbrojonych geosyntetykami, gdzie zasypką były piasek oraz warstwy keramzytu geotechnicznego, pozwoliła na wykonanie lżejszej konstrukcji niż przy zastosowaniu wyłącznie tradycyjnej i jednorodnej zasypki oraz przyczyniła się do zmniejszenia osiadań budowanego najazdu. □