

# MONITORING PRZYCZÓŁKA Z GRUNTU ZBROJONEGO POSADOWIONEGO W SKOMPLIKOWANYCH WARUNKACH GRUNTOWYCH

Jacek KAWALEC\*

Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 5/214, 44-100 Gliwice

**Streszczenie:** Praca dotyczy problematyki zachowania się zbrojenia geosyntetycznego w konstrukcjach ziemnych na przykładzie zrealizowanego autostradowego przyczółka mostowego. Opisano przypadek przyczółka posadowionego w skomplikowanych warunkach gruntowych, jako niestandardowego rozwiązania konstrukcyjnego. Dyskusja nad rozwiązaniem technicznym skutkowałą wykonaniem sytemu monitoringu odkształcenia zbrojenia w obiekcie. Wyniki prowadzonego monitoringu pozwolą na lepsze poznanie mechanizmu pracy zbrojenia w rzeczywistych konstrukcjach.

*Słowa kluczowe:* grunt zbrojony, przyczółek mostowy, odkształcenie geosyntetyku, monitoring, funkcja zbrojeniowa.

## 1. Wprowadzenie

Wykorzystanie geosyntetyków przy projektowaniu konstrukcji oporowych z gruntu zbrojonego jest jedną z bardziej zaawansowanych aplikacji wśród wszystkich zastosowań geosyntetycznych w inżynierii. Zbrojenia skarp i ścian oporowych są jednymi z niewielu zastosowań, w których realnie wykorzystuje się funkcję zbrojeniową geosyntetyku, a więc takim gdzie podstawowym parametrem przydatności geosyntetyku jest wytrzymałość materiału na rozciąganie. Drugim istotnym kryterium jest analiza odkształcalności materiału w funkcji czasu. Większość typowych aplikacji, w których stosuje się geosyntetyki wiąże się z wykorzystaniem ich funkcji filtracyjnych, separacyjnych lub stabilizacyjnych, dla których to funkcji wytrzymałość na rozciąganie jest parametrem nieistotnym. W przypadku konstrukcji oporowych funkcja zbrojeniowa jest jednak dominująca. Przy funkcji zbrojeniowej rolą geosyntetyku jest nadanie warstwie gruntu będącej z nim w interakcji wytrzymałości na rozciąganie. Interakcja z gruntem może odbywać się poprzez przenikanie ziaren lub mobilizację sił tarcia i zależy od indywidualnych właściwości geosyntetyku. Na przykład, w przypadku geotekstyliów interakcja możliwa jest wyłącznie poprzez mobilizację sił tarcia na powierzchni styku, a jej wartość rośnie wraz ze wzrostem odkształcenia w gruncie. W przypadku geosyntetyków azurowych zachodzi przenikanie ziaren, które ogranicza mobilizację siły tarcia. Metody projektowe gruntu zbrojonego dotychczas stosowane

w praktyce inżynierskiej uwzględniają jedynie wytrzymałość na rozciąganie, określaną w warunkach laboratoryjnych dla samego geosyntetyku, bez jego współpracy z gruntem. Metody te niestety nie różnicują geosyntetyków, na przykład nie odróżniają georusztów od geotkanin. W praktyce, w szczególności dla geosyntetyków azurowych, wartości deformacji i związana z nią wartość mobilizowanej wytrzymałości jest zdecydowanie mniejsza, co powinno znaleźć odzwierciedlenie w modyfikacji metod projektowych.

Celem niniejszego artykułu jest omówienie konstrukcji autostradowego przyczółka mostowego z gruntu zbrojonego. Na przyczółku, w wyniku krytycznych opinii co do poprawności rozwiązania, zamontowano system pomiaru odkształceń zbrojenia. W pracy omówiono wstępne wyniki tych pomiarów.

## 2. Opis warunków geotechnicznych w miejscu inwestycji

Omawiany przyczółek mostowy jest jednym z 18-tu obiektów mostowych zrealizowanych na odcinku węzeł Pyrzowice – węzeł Piekary w ciągu autostrady A1 (Projekt Wykonawczy, 2008). Odcinek ten przebiega przez Śląsk, czyli w praktyce przez obszary zdegradowane geotechnicznie, na których często dodatkowo występują oddziaływania górnicze. Tak też dzieje się w przypadku omawianego obiektu. Lokalizacja przyczółka jest terenem starego wyrobiska, na którym w ostatnim

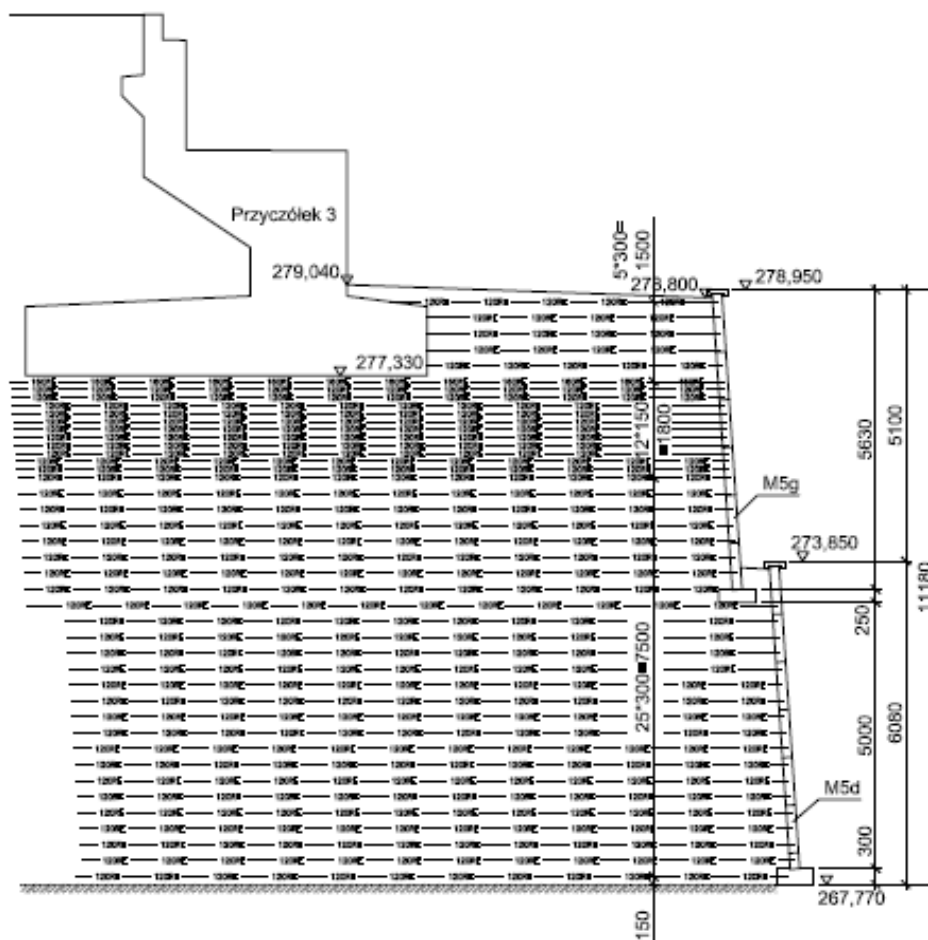
\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: jacek.kawalec@polsl.pl, jacek.kawalec@vp.pl

kilkudziesięcioleciu deponowane były grunty antropogeniczne o miąższości przekraczającej 3,0 m. Grunty antropogeniczne rozpoznane w rejonie projektowanego obiektu charakteryzowały się silnym zróżnicowaniem zarówno pod względem rodzaju, jak i stanu. Głębsze partie podłoża zbudowane są z utworów triasowych wykształconych w postaci piaskowca, wapienia i dolomitu z przewarstwieniami spoiistymi. Dużą komplikacją był fakt przebiegu uskoku geologicznego w sąsiedztwie lokalizacji obiektu. Obszar inwestycji jest zagrożony występowaniem deformacji nieciągłych wynikających z historycznej płytkiej eksploatacji rud metali oraz oddziaływaniami eksploatacji górniczej. Pod względem górnictwem teren zaliczono do II-giej kategorii górnictwem. Prognozowane obniżenia terenu wynoszą 250 mm, a spodziewane maksymalne wstrząsy o przyspieszeniach dochodzących do 200 mm/s.

Skomplikowane warunki geotechniczne spowodowały zaliczenie obiektu do 3-ciej kategorii geotechnicznej, co wymusiło opracowanie odpowiednich dokumentacji: geologiczno-inżynierskiej oraz geotechnicznej.

### 3. Opis rozwiązań projektowych przyjętych do posadowienia i realizacji obiektu

W projekcie wzmocnienia podłoża z gruntów antropogenicznych założono zastosowanie technologii *jet-grouting*. Na tak wzmocnionym podłożu zdecydowano się na posadowienie przęseł obiektu opartych na monolitycznych przyczółkach przekazujących obciążenie na blok gruntu zbrojonego. Jako zbrojenie zastosowano monolityczne jednokierunkowe georuszty z polietylenu wysokiej gęstości (PEHD). W rozwiązaniu założono wykonanie ścian przyczółków, których wysokość dochodziła do 11 m, jako dwóch ścian oporowych posadowionych jedna na drugiej, tworząc układ złożony z dwóch stopni (rys. 1). Jako oblicowanie zdecydowano się wykorzystać monolityczne heksagonalne panele żelbetowe, w których w trakcie prefabrykacji montowano początkowe odcinki zbrojenia tzw. startery. Liczba starterów w każdym z paneli wynosiła od 2-ch do 5-ciu. Właściwe zbrojenie było dołączane do startera elementem połączeniowym i układane na odpowiednim poziomie po uprzednim doprowadzeniu zasyпки gruntowej do odpowiedniej rzędnej i potwierdzeniu uzyskanych wymagań w zakresie zagęszczenia. Poziomy zbrojenia wynikały z rozwiązania analitycznego przeprowadzonego dla bloku gruntu zbrojonego. Widok elementów zbrojenia dołączanych do starterów zabetonowanych w panelach przedstawia rysunku 2.



Rys. 1. Przekrój przez przyczółek



Rys. 2. Widok zbrojenia głównego łączonego ze starterami zabetonowanymi w panelach

Wiadukt autostradowy WA-427 w km 487+539 w Piekarach Śląskich przebiega nad ulicą Oświęcimską. Obiekt zaprojektowano jako jednoprzęsłowy wolnopodparty o rozpiętości 58 m oparty na rzucie prostokątnym (Kaczmarek i in., 2011). Ustrój nośny zaprojektowano jako zespolony stalowo-betonowy, o części stalowej w postaci kratownicy przestrzennej z rur. Sąsiednie jezdnie są przesunięte względem siebie w planie co jest efektem dużego kąta pod jakim ulica Oświęcimska przecina Autostradę A-1. Usytuowanie pionowe i poziome obiektu dostosowane jest do geometrii autostrady. Promień łuku poziomego wynosi  $R = 1300$  m, a łuk pionowy wypukły zaprojektowano o promieniu  $R = 4000$  m. W rejonie wiaduktu nasyp autostradowy osiąga wysokość 17 m.

#### 4. Rozbieżności w ocenie rozwiązania zgłaszane Wykonawcy przed realizacją przyczółka

Przed przystąpieniem do realizacji przyczółka projekt został poddany dodatkowej weryfikacji mającej na celu potwierdzenie poprawności zaproponowanego rozwiązania. Prace weryfikacyjne prowadzone były przez kilka zespołów działających zarówno na zlecenie inwestora, jak również na zlecenie przedsiębiorstwa handlowego zajmującego się sprzedażą geotekstyliów, które nie były przewidziane do wykorzystania podczas realizacji przyczółka. Rozwiązanie projektowe dla obiektu WA-427 zaproponowane przez kilkuosobowy zespół autorski oparte zostało na nowoczesnej, jak

w dotychczasowej praktyce inżynierskiej w Polsce technologii, więc wzbudziło zainteresowanie zarówno środowiska mostowego, geotechnicznego jak również przedsiębiorstw handlowych oferujących dostawy geotekstyliów. W efekcie powstało kilka opinii i koreferatów o projekcie, których wnioski i sugestie różniły się między sobą. W dalszej części artykułu będą przywołane wnioski z 3-ch opinii jakie oficjalnie przekazano Wykonawcy i Projektantowi.

W opinii (1) wykonanej na zapytanie przedsiębiorstwa handlowego stwierdzono, iż projekt odbiega od polskich i europejskich zasad konstrukcji przyczółków z gruntu zbrojonego z dwóch powodów, po pierwsze niekorzystnego zdaniem autora opinii usytuowania przyczółków względem lica, a po drugie z powodu zastosowania oblicowania z paneli żelbetowych z zabetonowanymi starterami. Autor opinii wyraził pogląd, iż prostopadły względem lica kierunek ułożenia zbrojenia geosyntetycznego, będący jednym z podstawowych założeń teorii gruntu zbrojonego geosyntetykami (Vidal, 1969; Sawicki, 2000), jest niewłaściwy i sugerował możliwość błędnego schematu statycznego przyjętego przez Projektanta. W celu uzupełnienia należy dodać, iż autor opinii (1) nie analizował rozwiązań statycznych obiektu, gdyż jego zleceniodawca nie dysponował takimi danymi. Opinia (1) skupiła się w dużym stopniu na polemice ze słusznością wykorzystywania georusztów z PEHD w konstrukcjach oporowych, sugerując wyższość innych polimerów. W opinii zalecano dodatkowo objęcie obiektu systemem monitoringu.

W opinii (2) opracowanej na zlecenie tego samego przedsiębiorstwa handlowego wyrażono pogląd, iż zastosowane rozwiązanie konstrukcyjne nie spełnia warunków jednolitego masywu w miejscu występowania szkód górniczych. Zaproponowano odstępianie od przyjętego rozwiązania obliczania ścian w postaci paneli żelbetowych z zabetonowanymi starterami i zastąpienie ich zupełnie niezwiązaną z blokiem gruntu zbrojonego, ułożoną pionowo jeden na drugim warstwą bloczków betonowych. W tej opinii również zwrócono uwagę na problem monitoringu. W opinii tej powołano się na obliczenia statyczne wykonane przez Zleceniodawcę. Przedsiębiorstwo handlowe przedstawiło wyciąg z obliczeń przeprowadzonych dla jednego przekroju przyczółka, niestety bez podania przyjętych parametrów i modelu obliczeniowego. Według obliczeń, zaprojektowany przyczółek, miał ulec bardzo dużym odkształceniom pod wpływem obciążenia przęsłem obiektu. Przedstawione wydruki wykazały maksymalne odkształcenia w górnej ścianie sięgające 52 cm w poziomie i 38 cm w pionie, a w ścianie dolnej odpowiednio 56 cm w poziomie i 15 cm w pionie. Osiedzenia skrajnych boków monolitycznego przyczółka posadowionego na bloku gruntu zbrojonego według tych wydruków wynosiły odpowiednio 28 i 10 cm, skutkując teoretyczną nierównomiernością osiedzenia rzędu 18 cm i znacznym przechyleniem przyczółka. Dołączono wydruki obliczeń potencjalnych powierzchni poślizgu wykazujących obliczeniową niestateczność całej konstrukcji bloku z gruntu zbrojonego, nawet bez uwzględniania jakichkolwiek wpływów górniczych czy deformacji podłoża gruntowego pod obiektem.

Przedsiębiorstwo handlowe przedstawiło projekt wykonawczy zamienny w którym georuszty zostały zastąpione geotkaninami, a obliczanie z paneli betonowych z zabetonowanymi starterami zastąpiono ułożonymi pionowo jeden na drugim bloczkami betonowymi. Połączenie bloku z gruntu zbrojonego z licem z bloczków miało odbywać się poprzez włożenie kawałka geosiatki pomiędzy bloczki (co 3-ci bloczek) zakotwionego pomiędzy pasmami wywiniętej na obliczaniu geotkaniny. Taki sposób wykonania obliczania, zakładającego trzymanie się lica z bloczków dzięki mobilizacji sił tarcia pomiędzy geosiatką a co trzecim bloczkiem autorzy projektu zamiennego określili nazwą obliczania biernego. Projekt zamienny nie obejmował analizy statycznej przyczółka, a jedynie koncentrował się na wyznaczaniu długoterminowej obliczeniowej wytrzymałości geotkaniny na rozciąganie.

W opinii (3) wykonanej przez Konsultanta działającego na rzecz Wykonawcy i Projektanta obiektu stwierdzono, iż wykonano analizę całego przyczółka. Nie potwierdzono występowania błędów w projekcie i nie zawarto żadnych wniosków odnoszących się do zagrożenia związanego z realizacją obiektu. Jednak zawarto w niej także propozycję wykonania prac umożliwiających pomiar odkształceń zbrojenia geosyntetycznego i przemieszczeń ściany.

Wszystkie uwagi krytyczne były dokładnie analizowane przez zespół autorski prowadzący stały

nadzór autorski nad projektem. Analiza układu statycznego konstrukcji oporowych prowadzona była przy wykorzystaniu oprogramowania Plaxis oraz niezależnie przy wykorzystaniu specjalistycznego programu TensarWall. Wszystkie uwagi krytyczne były dokładnie analizowane przez zespół autorski prowadzący stały nadzór autorski nad projektem. Projekt zamienny nie uzyskał akceptacji nadzoru. Zdecydowano jednak o konieczności zamontowania systemu monitoringu odkształcenia zbrojenia geosyntetycznego.

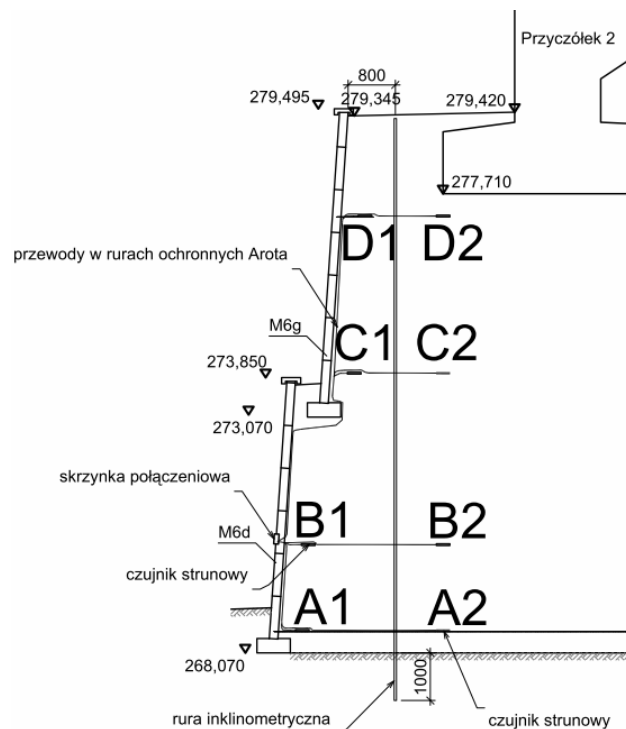
## 5. System monitoringu przyczółka z gruntu zbrojonego

Zastosowano dwa systemy pomiarowe, to jest:

- system pomiaru przemieszczeń poziomych,
- system pomiaru wydłużeń georusztów stanowiących zbrojenie.

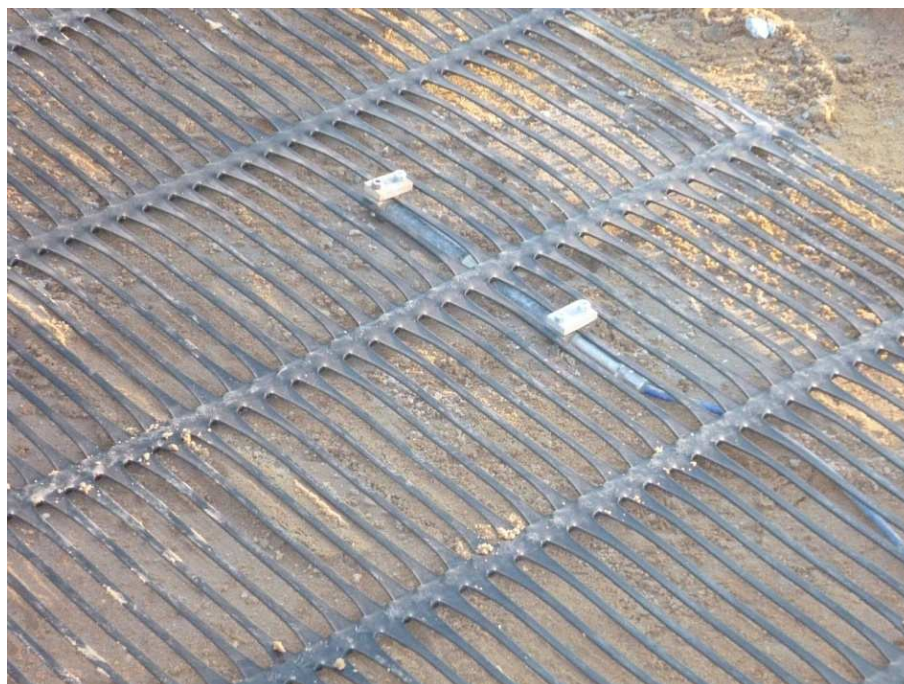
Pierwszy z systemów monitoringu składa się z dwóch niezależnych rur inklinometrycznych zamontowanych w odległości 80 cm od lica ściany. Jego zadaniem jest umożliwienie obserwacji odkształceń lica.

Drugi system składa się z 8 czujników strunowych zamocowanych mechanicznie do georusztu w kierunku prostopadłym do lica przyczółku (na kierunku głównym zbrojenia geosyntetycznego). Czujniki służą do odczytu temperatury w gruncie oraz wydłużenia się bazy pomiarowej będącej równocześnie wydłużeniem zbrojenia. Po uwzględnieniu kalibracji początkowej każdego z czujników danymi wyjściowymi są wydłużenia względne georusztu. Pomiaru prowadzone są w 4-ch poziomach w przekroju przyczółka (rys. 3 i 4).



Rys. 3. Układ czujników pomiarowych



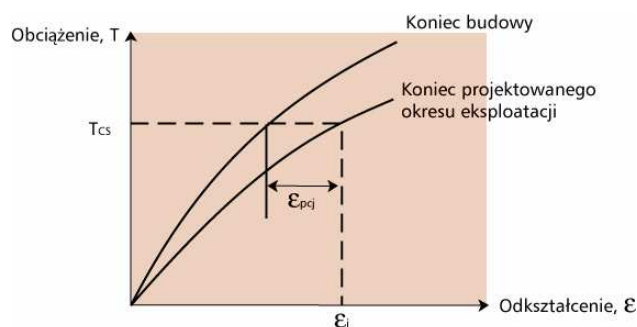


Rys. 4. Widok czujnika zamontowanego na georuszcie.

## 6. Wyniki monitoringu

Montaż wszystkich elementów systemu monitoringu prowadzony był sukcesywnie wraz z postępem prac przy realizacji ścian oporowych przyczółka. Pierwsze czujniki zamontowano w kwietniu 2011, a całość prac montażowych zakończona po upływie 6-ciu tygodni (Bartoszek, 2011). Od tego czasu prowadzony jest pomiar wydłużeń zbrojenia, jednak docelowym pomiarem objęte są zmiany wydłużeń od momentu przyłożenia całego obciążenia przęsłem i konstrukcją nawierzchni na wiadukcie.

Procedura BS 8006 (British Standard 8006-1:2010 *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*) o dopuszczalnych odkształceniach zbrojenia w konstrukcjach z gruntu zbrojonego, na której oparto rozwiązanie przyczółka, jest w przypadku przyczółków mostowych bardzo konserwatywna i nie dopuszcza się w niej aby odkształcenie od zakończenia budowy do końca okresu eksploatacji (rys. 5) przekroczyło 0,5% ( $\epsilon_{pej} \leq 0,5\%$  dla przyczółków mostowych i 1% dla ścian) (Kawalec i Gryczmański, 2009). Odkształcenia w zbrojeniu wiaduktu WA-427 od momentu rozpoczęcia pomiarów, to jest zabudowaniu georusztu kruszywem, w najbardziej wyciężonym punkcie pomiarowym po upływie kilkunastu miesięcy nie zbliżyły się do wartości granicznych. Szczegółowe wyniki pomiarów są poddawane bieżącej analizie przez autora pracy i na jej podstawie podejmowana jest decyzja o terminie przeprowadzenia kolejnej serii odczytów. Ponieważ jednak koszty całego systemu monitoringu oraz koszty poszczególnych odczytów pokrywane są z prywatnych środków w chwili obecnej nie przewiduje się publikacji szczegółowych wyników pomiarów.



Rys. 5. Krzywe izochroniczne obciążenie – osiadanie w georuszcie

## 7. Podsumowanie

Przyczółek WA-427 wykonano zgodnie z pierwotnym projektem w technologii gruntu zbrojonego jednokierunkowymi georusztami z PEHD pracującymi w funkcji zbrojeniowej. Obawy o nadmierne odkształcenie w wyniku obciążenia bloku z gruntu zbrojonego okazały się nieuzasadnione. System monitoringu zbrojenia nie wykazuje odkształceń w georusztach w zakresie większym niż dopuszczalne. Wyniki obserwacji w dłuższym czasie powinny pozwolić jednoznacznie potwierdzić skuteczność i przydatność technologii zbrojenia gruntu georusztami, powszechnie stosowanych na świecie, również w warunkach obiektów realizowanych na terytorium Polski. Niestandardowe rozwiązania konstrukcyjne zastosowane na obiekcie WA427 dodatkowo realizowanym w skomplikowanych warunkach geotechnicznych mogą, dzięki wynikom monitoringu, być z czasem uznane za rozwiązania zupełnie typowe. Aktualne pomiary nie wskazują aby powyższa teza mogła być podważona, co pozwala patrzeć

z optymizmem na rozwój technologii zbrojenia gruntu georusztami z PEHD w niedalekiej przyszłości.

### Literatura

- Bartoszek Z. (2011). Sprawozdanie z montażu system pomiaru przemieszczeń poziomych gruntu muru oporowego oraz wydłużeń georusztów zbrojących przyczółek wiaduktu autostradowego WA-427 w ciągu autostrady A1, km 487 + 539,09. *Geostat*, Jarosław.
- Kaczmarek T., Jaremków A., Lubieniecka I., Łusiak D., Raczkowski R., Strońska A., Sygit M., Wójcik T. (2011). Wybrane obiekty mostowe autostrady A1 odcinka Pyrzowice – Piekary. Projekt i realizacja. W: *materiały Seminarium VII Wrocławskie Dni Mostowe*, 475-482.
- Kawalec J., Gryczmański M. (2009). Zastosowania georusztów w materacach oraz w konstrukcjach oporowych. W: *Materiałach XXIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji*, Wisła, 83-113.
- Projekt Wykonawczy (2008). Projekt wykonawczy Autostrady A-1 Pyrzowice (bez węzła) – Piekary Śląskie km 475+909 do 490+427. *Complex-Projekt Sp. z o.o.*, Katowice.

- Sawicki A. (2000). Mechanics of reinforced soil. *Balkema*, Rotterdam.
- Tensar International (2003). Guidelines for the Design of Reinforced Soil Walls, Bridge Abutments, Slopes and Embankments. Issue 2. *Tensar International*.
- Vidal H. (1969). La terre armée. *Materiaux*, No. 38, 1101-1156.

### MONITORING OF REINFORCED SOIL BRIDGE ABUTMENT FOUNDED OVER GROUND WITH COMPLICATED SOIL CONDITION

**Abstract:** Paper discusses behavior of geosynthetic reinforcement in earth reinforced structures based on constructed motorway bridge abutment. An example of abutment founded over ground with complicated soil condition is given as a project which non conventional design. Discussion on technical solution effects in monitoring system of deformations of reinforcing geogrids executed during construction works on the structure. Results taken from monitoring will help to better understand details of reinforcing mechanism within real structure.