

Automatyczny system monitoringu deformacji i osiadań korpusu autostrady A1

Jarosław Ajdukiewicz

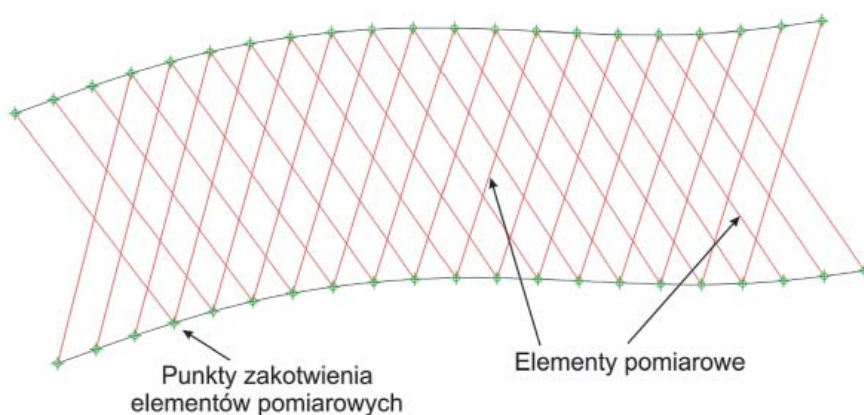
Budowana obecnie autostrada A1 przechodzi na swym śląskim odcinku przez jeden z najtrudniejszych w Polsce terenów ze względu na istniejącą złożoność warunków geotechnicznych oraz obecność aktualnej i historycznej eksploatacji górniczej. W związku z tym, w konstrukcji autostrady w dwóch kolejnych sekcjach – na odcinkach Pyrzowice – Piekary Śląskie oraz Piekary Śląskie – Maciejów, zostały zaprojektowane i wykonane technologie zabezpieczenia przed szkodami górniczymi, m.in. poprzez zastosowanie wysokowytrzymałych zbrojeń geosyntetycznych. W celu możliwie szybkiej detekcji aktywności górniczej, mogącej oddziaływać na infrastrukturę drogową, jak i również ciągłej kontroli systemów zabezpieczających autostradę przed szkodami górniczymi, zaproponowany został system elektronicznego monitoringu ciągłego, obejmujący cztery najbardziej zagrożone odcinki autostrady i obszar ponad 100.000 m².

Artykuł jest zmodyfikowaną wersją referatu z konferencji „XI Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych”, maj 2011.

Artykuł recenzowany zgodnie z wytycznymi MNiSW data zgłoszenia do redakcji: 26.03.2012 data akceptacji do druku: 20.06.2012



Jarosław Ajdukiewicz
Prezes Zarządu
Przedsiębiorstwo
Realizacyjne
INORA Sp. z o.o.
inora@inora.pl



1. Siatka elementów pomiarowych obejmująca monitorowany obszar

Autostrada A1 w granicach Śląska przebiega przez jeden z trudniejszych terenów pod względem warunków geotechnicznych oraz nakładających się dodatkowo efektów istniejącej i historycznej aktywności górniczej. Dwa najbardziej skomplikowane pod tym względem odcinki to sekcje „Pyrzowice – Piekary Śląskie” km 475-909.00 – 490+427.00” oraz „Piekary Śląskie – Maciejów” km 490+427.00 – 510+530.00 Na obydwu odcinkach o łącznej długości 34,6 km prace budowlane rozpoczęły się w połowie 2009 roku i w zamierzeniu mają trwać 23 miesiące. W trakcie poprzedzających budowę prac projektowych, konsorcjum firm wykonujących dokumentację budowlaną i wykonawczą obydwu odcinków („COMPLEX PROJEKT Sp. z o.o.” oraz „TRANSPROJEKT KRAKÓW Sp. z o.o.”), wytypowało cztery sekcje najbardziej narażone na działanie szkód górniczych. Z uwagi na potencjalne niebezpieczeństwa mogące ujawnić się już w trakcie eksploatacji, pomimo zastosowanego w tych miejscach szeregu nowoczesnych rozwiązań chroniących autostradę przed szkodami górniczymi, zostało zalecane zastosowanie systemu monitoringu, działającego w czasie możliwie zbliżonym do rzeczywistego i funkcjonującego na zasadzie „systemu wczesnego ostrzegania”. System ten ma dostarczać zarządcy drogi na bieżąco informacje o stanie konstrukcji

autostrady tak, aby w razie zbliżania się lub wystąpienia sytuacji niebezpiecznej, można było podjąć odpowiednie kroki, chroniące użytkowników drogi przed skutkami szkód górniczych. W wyniku ekspertyz górniczych zostały wytypowane następujące odcinki autostrady A1:

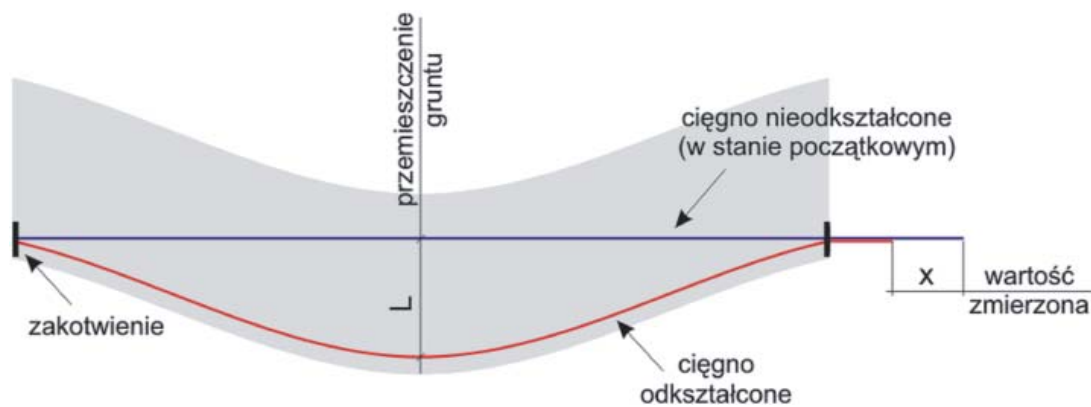
- odcinek 1 – obszar Węzła Piekary;
- odcinek 2 – od km 487+260 do km 487+680;
- odcinek 3 – od km 483+260 do km 483+420;
- odcinek 4 – od km 495+780 do km 496+100.

Założenia projektowe

Projekt wykonawczy budowy obydwu odcinków autostrady obejmował specyfikację funkcjonalną zintegrowanego systemu monitoringu przemieszczeń pionowych gruntu oraz odkształceń poziomych geosiatki zbrojącej w tzw. konstrukcji nr 4. Przed wykonawcami robót budowlanych posta-

wiony został wymóg szczegółowego zaprojektowania oraz instalacji systemu monitoringu automatycznego spełniającego następujące założenia:

- obszar objęty dozorem: ok. 100 tys. m²;
- trwałość elementów pomiarowych: min. 30 lat;
- pełna odporność elementów pomiarowych na warunki środowiskowe;
- częstotliwość odczytu: pomiar co 5 minut;
- zakres temperatur: -20 do + 80 st. C;
- zapewnienie bezpieczeństwa gromadzonych danych;
- niezależny pomiar przemieszczeń pionowych gruntu (wykrywanie miejsca wystąpienia deformacji) i odkształceń geosiatki;
- możliwość wielokrotnego wykrywania deformacji w tej samej lokalizacji (do momentu uszkodzenia geosiatki lub zerwania elementów pomiarowych);
- autodiagnostyka systemu pomiarowego.

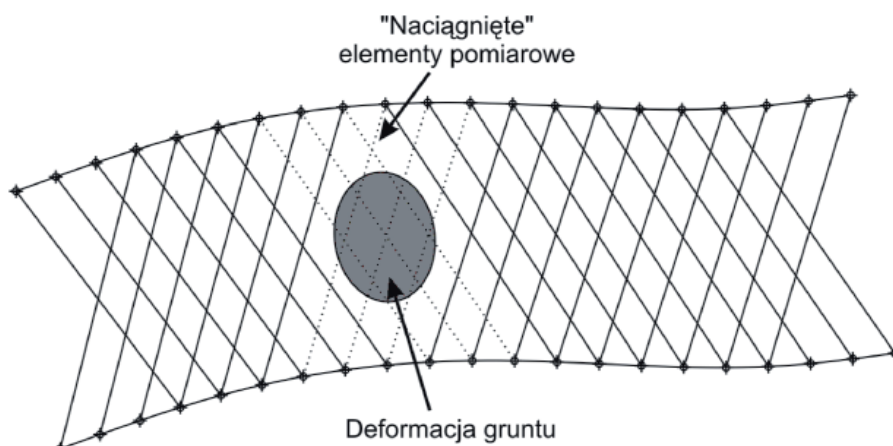


2. Zasada wykrywania przemieszczeń pionowych gruntu

Przyjęte rozwiązanie

Opracowany i wykonany system monitoringu składa się fizycznie z dwóch oddzielnych systemów pomiarowych, zbierających oddzielnie dane, które to dane następnie są przetwarzane równolegle w procesie ich analizy i w końcowej fazie mogą być o siebie nawzajem uzupełniane, celem prezentacji pełnej informacji o istniejącej sytuacji gruntowej. Dwa podsystemy to system monitorowania przemieszczeń pionowych (wykrywania miejsc wystąpienia deformacji) oraz system monitorowania odkształceń geosiatki zbrojącej.

Pierwszy system jest umiejscowiony w najniższym dostępnym miejscu konstrukcji nasypu, bezpośrednio na terenie rodzimym. Jego zadaniem jest permanentne monitorowanie przemieszczeń pionowych gruntu i wykrywanie miejsc powstawania uskoków i/lub deformacji nieciągłych. Zadaniem drugiego systemu, położonego ponad pierwszym, jest ciągłe monitorowanie pracy zbrojenia geosyntetycznego w tzw. konstrukcji nr 4, poprzez pomiar wydłużenia geosiatki tworzącej to zbrojenie. Obydwa systemy pomiarowe działając wspólnie, mają za zadanie umożliwienie jednoznacznej zlokalizowania wystąpienia deformacji, określenia jej wielkości oraz pomiar skali odkształcenia zbrojenia geosyntetycznego w miejscu wystąpienia tej deformacji. Głównym celem jest oczywiście umożliwienie stałego nadzoru nad autostradą i monitorowanie systemów zabezpieczeń tak, aby w porę wykryć zbliżające się ewentualne niebezpieczeństwo, przekazując taki sygnał służbom zarządzającym drogą i umożliwiając im powzięcie określonych działań zaradczych. W tym celu wszystkie zbierane dane są gromadzone przez system pomiarowy w architekturze rozproszonej – tj. monitorowany obszar podzielony jest na możliwie małe podobszary, z których każdy cechuje się swoistą autonomią pomiarów i dzięki temu, w przypadku ewentualnego uszkodzenia części systemu, pozostałe obszary pracują nieprzerwanie. Pozyskiwane



3. Wykrywanie miejsca deformacji terenu przez ciężna pomiarowe na monitorowanym obszarze

każdorazowo w zadanym interwale czasowym dane są przesyłane niezwłocznie do wydzielonych ośrodków centralnych, w których umieszczone są centrale danych. Całość zbieranych informacji jest następnie poddawana obróbce w celu przedstawienia w czasie rzeczywistym operatorom systemu bieżącej sytuacji geotechnicznej oraz analizowana pod kątem wykrycia sytuacji potencjalnie niebezpiecznych, m.in. poprzez porównanie otrzymanych wskazań ze zdefiniowanymi wzorcami alarmowymi.

Operacja porównywania pozwala na wykrycie przez system pomiarowy m.in. następujących zdarzeń:

1. Przekroczenie zadanego progu dla pomiaru przemieszczeń pionowych.
2. Przekroczenie zadanego progu dla pomiaru odkształceń geosiatki.
3. Przekroczenie szybkości przyrostu przemieszczeń pionowych w zadanym czasie (nagły wzrost wartości przemieszczenia).
4. Przekroczenie szybkości przyrostu odkształceń geosiatki w zadanym czasie (nagły wzrost wartości odkształcenia).

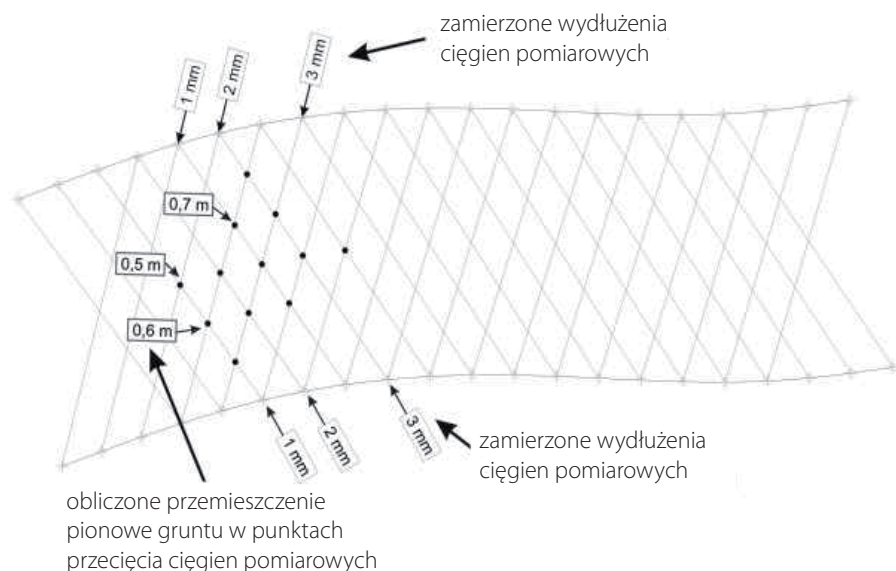
System pomiarowy poprzez gromadzenie odczytanych danych umożliwia również bezpośredni dostęp do wszystkich mierzonych wartości i stanów alarmów w ich postaci nieobrobionej, surowej (ang. raw data). Dzięki temu możliwa jest dowolna analiza

otrzymanych wyników pomiarów. Możliwe jest przesłanie informacji pomiarowych, alarmowych lub sygnałów diagnostycznych do zewnętrznych systemów kontrolnych. Możliwa jest również współpraca systemu pomiarowego z praktycznie dowolnym zewnętrznym systemem zarządzania, systemami BRD czy systemami wizualizacji, jak np. ze znakami zmiennej treści. Pozwala to na automatyczne wyświetlanie informacji dla kierowców znajdujących się w obszarze zagrożenia.

Z powodów bezpieczeństwa dane pomiarowe przechowywane są w kilku niezależnych bazach danych w różnych lokalizacjach geograficznych, wskazanych przez zamawiającego.

Technologia pomiarów: monitoring przemieszczeń pionowych gruntu – wykrywanie miejsca deformacji

Pomiar przemieszczeń gruntu (wykrywanie miejsca deformacji i jej wielkości) realizowany jest w nowatorski, opatentowany sposób, poprzez analizę wydłużenia specjalnych ciężni pomiarowych rozmieszczonych pod monitorowaną konstrukcją autostrady i odpowiednio zakotwionych po obydwu stronach. Ciężna pomiarowe układane są krzyżowo, w rozstawie dobranym



4. Wyznaczanie przemieszczeń pionowych gruntu

tak, aby osiągnąć wymaganą rozdzielczość (rys. 1). Każde cięgno posiada swój unikalny numer, zgodny z przygotowanym projektem instalacji systemu i geodezyjnie potwierdzony w czasie instalacji. Zestaw takich cięgien umożliwia realizację badania przemieszczeń gruntu w praktycznie dowolnej rozdzielczości. Samo cięgno składa się ze stalowej linki pomiarowej umieszczonej w panczerze ze zbrojonej otuliny, w której oraz wraz z którą, może swobodnie się przemieszczać. Na końcach cięgien umieszczone są czujniki strunowe Geokon, mierzące wydłużenie linek pomiarowych. Podstawą pomiaru jest kontrola wydłużenia cięgna, na podstawie której możliwe jest określenie lokalizacji deformacji, jak i jej skali (rys. 2 i 3).

Każda deformacja terenu powoduje rejestrację sygnału przez co najmniej 2 elementy pomiarowe. Pozwala to na precyzyjną lokalizację miejsca deformacji (rys. 3), jako że zmiana długości elementów pomiarowych jest proporcjonalna do wielkości deformacji gruntu na obszarze, przez które przechodzi dane cięgno. Dzięki algorytmowi analizującemu wspólnie wydłużenie wszystkich cięgien

krzyżujących się w danym rejonie, możliwe jest określenie miejsca i wielkości deformacji.

Niesłychanie ważną i nowatorską, w porównaniu do dotychczasowych doświadczeń w zakresie tego rodzaju systemów monitoringu, było uzyskanie możliwości przeprowadzania wielokrotnego pomiaru. Elementy pomiarowe w momencie wystąpienia deformacji ulegają wydłużeniu, jednak nie ulegają zerwaniu i pozwalają na wielokrotny pomiar deformacji w tym samym miejscu. Ponadto, ponowne wystąpienie deformacji w tym samym miejscu powoduje kolejną zmianę wydłużeń cięgien i ponownie zostaje odnotowane i zarejestrowane przez system pomiarowy.

System pomiarowy, wykorzystując informację o wydłużeniu każdego z cięgien pomiarowych, umożliwia wyznaczenie przemieszczeń pionowych gruntu w miejscach przecięcia cięgien. Algorytm wyznaczający przemieszczenia pionowe gruntu opiera się na następujących założeniach:

1. Wyznaczenie przemieszczeń pionowych gruntu jest możliwe w punktach przecięcia cięgien.

2. Do wyznaczenia wartości przemieszczeń pionowych gruntu niezbędna jest znajomość kształtu krzywej jaką przyjęło odkształcone cięgno.

3. Zgodność przemieszczeń pionowych w węzłach, punktach krzyżowania cięgien, umożliwia określenie przybliżonego kształtu krzywej na podstawie informacji ze wszystkich krzyżujących się linek.

4. Znając kształt krzywej możliwe jest wyznaczenie wartości przemieszczenia pionowego gruntu.

Tak przygotowane dane są następnie prezentowane w dowolny sposób, np. jako wykresy przemieszczeń pionowych punktów wg dowolnych przekrojów w funkcji czasu lub położenia punktów przecięcia cięgien pomiarowych, wykresy przemieszczeń pionowych pojedynczych punktów w funkcji czasu, czy też mapy kolorów przedstawiającej przemieszczenia pionowe na powierzchni monitorowanego obszaru (rys. 4).

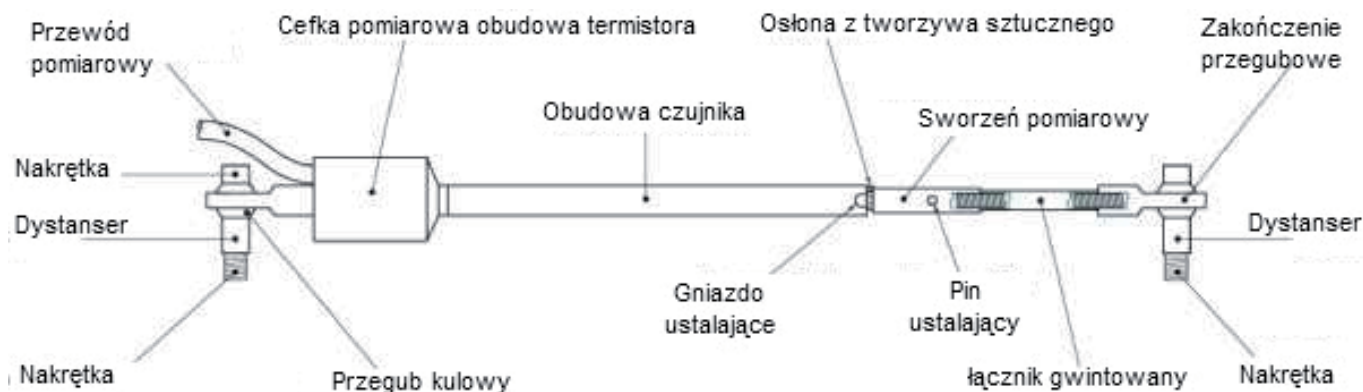
W procesie instalacji początkowe wydłużenie cięgien i samych czujników pomiarowych nie jest istotne. Po podłączeniu elementów pomiarowych do przetworników wykonywany jest pomiar zerowy i od tego momentu system rozpoczyna ciągłe monitorowanie przemieszczeń pionowych gruntu na zadanym obszarze.

Rozdzielczość i zakres pomiarowy systemu pomiaru przemieszczeń pionowych jest zależny od zakresu i rozdzielczości przetwornika oraz od długości i rozstawu cięgien pomiarowych.

Zastosowano, zgodnie z projektem, przetwornik pomiarowy w postaci strunowego czujnika przemieszczeń typu Geokon 4450 o następujących parametrach:

- zakres pomiarowy przetwornika: 200 mm;
- rozdzielczość przetwornika: 0,05 mm.

Przetwornik taki umożliwia wykrycie wydłużenia cięgna długości 10 metrów o 0,0005% (daje to wartość 0,001% dla 5 metrów) dla najkrótszego instalowanego cięgna (o długości 10 metrów) oraz wykrycie wydłużenie cięgna na długości 90 metrów



5. Budowa czujnika do pomiaru odkształceń poziomych geosiatki

o 0,00006% (daje to wartość 0,001% dla 5 metrów) dla najdłuższego instalowanego ciężna (o długości 90 metrów).

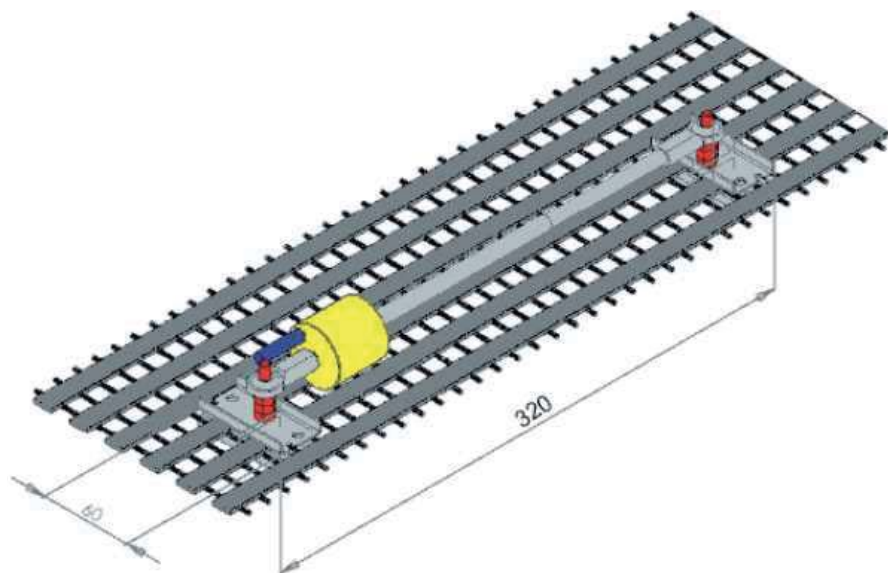
Warto zaznaczyć, że rozdzielczość systemu pomiarowego jest zatem 1000 razy większa od wymaganej przez specyfikację, gdzie postawiony został warunek umożliwienia wykrycia wydłużenia ciężna pomiarowego (zerwania drutu) o wartości 1% na długości 5 metrów.

W przełożeniu wydłużenia ciężna na przemieszczenie pionowe gruntu L (rys. 2), w procesie przetwarzania algorytmem transponującym otrzymane dane z czujników, podane powyżej czujniki strunowe umożliwiają następujące zakresy pomiarowe i rozdzielczości systemu na kierunku pionowym:

1. Najkrótsze ciężno w systemie – długość ok. 10 metrów;
 - a) zakres ciągłego pomiaru na kierunku pionowym – 1,0 m;
 - b) rozdzielczość pomiaru na kierunku pionowym – 0,02 m;
2. Najdłuższe ciężno w systemie – długość ok. 90 metrów;
 - a) zakres ciągłego pomiaru na kierunku pionowym – 3,0 m;
 - b) rozdzielczość pomiaru na kierunku pionowym – 0,05 m.

Są to najmniej korzystne przypadki dla systemu pomiarowego, gdy obniżenie terenu występuje na całej długości ciężna pomiarowego. Dla uskoków nieciągłych oraz małych powierzchni osiadania gruntu, rozdzielczość systemu pomiaru osiadań jest dużo większa – rzędu rozdzielczości czujnika.

Po wykorzystaniu zakresu pomiaru ciągłego (pełnego zakresu przetwornika) możliwe jest dalsze odkształcanie ciężna, bez uszkodzenia przetwornika. Do wykorzystania pozostaje jeszcze zabezpieczony kilkumetrowy zapas zakresu pomiarowego wynikający z krotności zakresu podstawowego przetwornika. Po ponownym wyzerowaniu przetwornika można kontynuować pomiar.



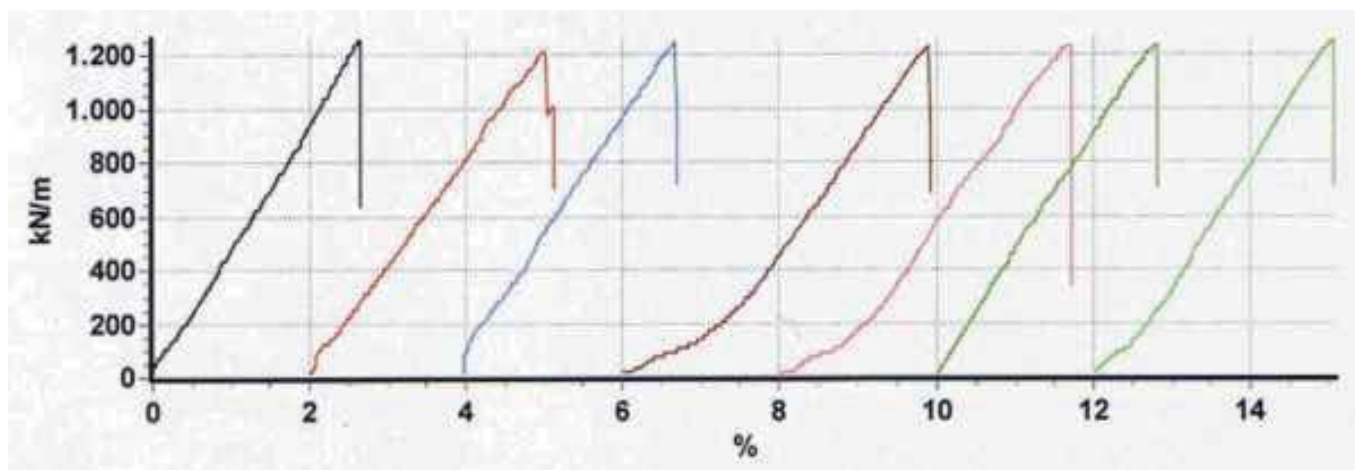
6. Położenie czujnika na geosiatce

Technologia pomiarów: Monitoring przemieszczeń poziomych – monitoring odkształceń geosiatki zbrojącej

Jednym z elementów ochrony konstrukcji przed działaniem szkód górniczych jest matrac geosyntetyczny, zaprojektowany w podstawie nasypu. Matrac ten jest tworzony ze specjalistycznej geiatki o wytrzymałości długoterminowej 404 kN/m (krótkoterminowo 1200 kN/m), o dopuszczalnym wydłużeniu 2% i szczegółowo określonych przez projektanta warunków dopuszczalnych wydłużeń wynikających z wyliczeń I-go i II-go stanu granicznego. Zwłaszcza II-gi SG (Stan Graniczny Użytkowalności) zakłada rygorystyczne wymogi odnośnie pracy geiatki w sytuacji wystąpienia uskoju, zapadliska czy deformacji o określonych, granicznych wartościach. Obliczenia wykonane przez projektanta doprowadziły do określenia maksymalnego czasu $\Delta t = 3$ miesiące w sytuacji najbardziej krytycznej, w którym to czasie geosyntetyk

musi chronić całą zagrożoną konstrukcję autostrady. W tej sytuacji niezbędne było wprowadzenie systemu monitorującego pracę geosyntetyku, umożliwiającego wykrycie momentu t_0 pojawienia się siły w geosyntetyku równej lub większej od założonej siły maksymalnej. Następnie, rolą systemu monitoringu jest ciągłe badanie stanu zbrojenia geosyntetycznego i zgłoszenie niezwłocznie alarmu w przypadku zbliżenia się do zadanych wartości granicznych wydłużenia geiatki.

W związku z koniecznością bezpośredniego monitorowania wydłużenia i sił przenoszonych przez geosyntetyk, niezbędne było połączenie czujnika pomiarowego i geiatki. Po przeanalizowaniu struktury geiatki Fortrac T 1200 AM (aramid), spełniającej specyfikację i zatwierdzonej przez inżyniera nadzoru oraz zakupionej przez wykonawców, został opracowany system montażu czujników pomiarowych do wybranych grup włókien siatki. Podstawowym elementem pomiarowym są strunowe czuj-



7. Wykresy wydłużenia geiatki Fortrac 1200 AM



8a. Badania wytrzymałościowe obudowy czujników



8b. Fotografia czujnika w obudowie podczas zasypywania kruszywa w czasie testowania rozwiązań technicznych systemu w ramach poletka doświadczalnego

niki odkształceń typu Geokon 4420 (rys. 5) instalowane na geosiatce. Uchwyt czujnika obejmuje dwa sąsiednie pasma nośne siatki. Odkształcenie mierzone jest na długości około 0,3 m (rys. 6). Czujniki są montowane do siatki w sposób trwały za pomocą uchwytów nieobniżających wytrzymałość geosiatki, a jednocześnie w sposób chroniący przed „ślizganiem się” czujnika po geosiatce. Sam sposób montażu czujników dobrany został w toku kilkumiesięcznych eksperymentów. Badania przeprowadzone w laboratorium producenta geosiatki potwierdziły, że system instalacji czujników na geosyntetyku nie osłabia siatki i dane w terenie na zrywanie, odczytywane bezpośrednio z czujników, jak i z maszyny wytrzymałościowej, dają spójne wyniki (rys. 7).

Opracowany sposób mocowania czujnika minimalizuje wpływ lokalnych odkształceń geosiatki spowodowanych np. przez oddziaływanie pojedynczych ziaren kruszywa. Umożliwia to prawidłową ocenę pracy projektowanego wzmocnienia i eliminuje powstawanie przypadkowych alarmów.

W celu ochrony systemu pomiarowego przed zniszczeniem w trakcie prowadzenia prac budowlanych, wszystkie czujniki umieszczone są w specjalnie do tego celu zaprojektowanych obudowach. W wyniku szeregu testów opracowana została obudowa chroniąca sensory przy bezpośrednim obciążeniu siłą do 11 ton nacisku, a w przypadku obudowy umieszczonej w kruszywie – do 17 ton nacisku (rys. 8). Zapewnia to ochronę elementów pomiarowych w trakcie normalnej pracy systemu, jak i w czasie prowadzonych prac budowlanych. Same czujniki są w pełni odporne na warunki środowiskowe i nie wymagają żadnej dodatkowej ochrony. Dodatkowo, elementy pomiarowe wyposażone są także w czujniki temperatury pozwalające na odpowiednią korektę temperaturą wskazań czujnika.

Zakres pomiarowy czujników Geokon jest tak dobrany, aby zapewnić pomiar odkształceń geosiatki aż do jej potencjalnego zerwania oraz uwzględnia dodatkowe odkształcenia powstające podczas instalacji czujników na swobodnej siatce i następują-

cym po tym naciąganiu wstępnym. Zakres pomiarowy czujnika wynosi 25 mm, to jest 6% wartości bazy pomiarowej. Rozdzielczość przetwornika wynosi 0,00625 mm. Każdy z instalowanych czujników posiada swój unikalny numer identyfikacyjny pozwalający jednoznacznie określić jego pozycję, a co się z tym wiąże – jednoznacznie wskazać miejsce wystąpienia potencjalnej deformacji.

Organizacja sekcji pomiarowych

Wszystkie czujniki w ramach wydzielonych sekcji i podsekcji podłączone są do lokalnych centrów danych umieszczonych w studzienkach pomiarowych, zbierających i przekazujących do centrów nadzorujących wpływające informacje. Połączenie czujników w ramach sekcji wykonane jest specjalnymi przewodami, wysoce odpornymi na przebicie i przecięcie, zapewniającymi poprawną pracę systemu przy ich odkształceniu do 10%. Przewody układane są bezpośrednio na geosiatce, o dużo mniejszym odkształceniu maksymalnym. Przewody zabezpieczone są dodatkowo poprzez tworzone w czasie instalacji zapasy kompensacyjne, a także chronione przed uszkodzeniem mechanicznym za pomocą geowłókniny Fibertex typ F-40, okrywającej przewody wzdłuż brytów, twardych peszli osłaniających przewody biegnące w poprzek brytów oraz za pomocą rur osłonowych prowadzących przewody do studzienek pomiarowych.

W studzienkach umieszczone są elementy elektroniczne systemu. Studzienki rozmieszczone są wzdłuż monitorowanego terenu w rozstawie wynikającym z podziału sekcji na podsekcje. Na każdy monitorowany obszar przypada również jedna jednostka zbierająca dane wraz z komputerem przemysłowym, umieszczonym w wydzielonym, wandaloodpornym miejscu. Dane z poszczególnych obszarów monitorowania przesyłane są wydzieloną komunikacją światłowodową do komputerów centralnych, umieszczonych w miejscach określonych przez zamawiającego (rys. 9).

Obydwa systemy pomiarowe wykonują odczyty w tym samym czasie. Tylko jednoczesny odczyt pomiarów pozwala na analizę wpływu przemieszczeń pionowych gruntu na odkształcenia poziome geosiatki oraz propagację odkształceń.

Zestawienie elementów pomiarowych dla poszczególnych części systemu:

- Odcinek 1 – Węzeł Piekary
- pomiar odkształceń geosiatki – 6530 czujników Geokon 4420
- pomiar temperatury – 6530 czujników zintegrowanych z czujnikiem Geokon 4420
- pomiar przemieszczeń pionowych – 1818 kompletów Geokon 4450 (element pomiarowy + czujnik + czujnik temperatury)

- studzienki pomiarowe – 163 szt.
- lokalna szafa pomiarowa – 1 szt.

Odcinek 2 – od km 487+260 do km 487+680

- pomiar odkształceń geosiatki – 3975 czujników Geokon 4420

- pomiar temperatury – 3975 czujników zintegrowanych z czujnikiem Geokon 4420
- pomiar przemieszczeń pionowych – 348 kompletów Geokon 4450 (element pomiarowy + czujnik + czujnik temperatury)
- studzienki pomiarowe – 48 szt.
- lokalna szafa pomiarowa – 1 szt.

Odcinek 3 – od km 483+260 do km 483+420

- pomiar odkształceń geosiatki – 833 czujniki Geokon 4420
- pomiar temperatury – 833 czujniki zintegrowane z czujnikiem Geokon 4420
- pomiar przemieszczeń pionowych – 122 komplety Geokon 4450 (element pomiarowy + czujnik + czujnik temperatury)
- studzienki pomiarowe – 18 szt.
- lokalna szafa pomiarowa – 1 szt.

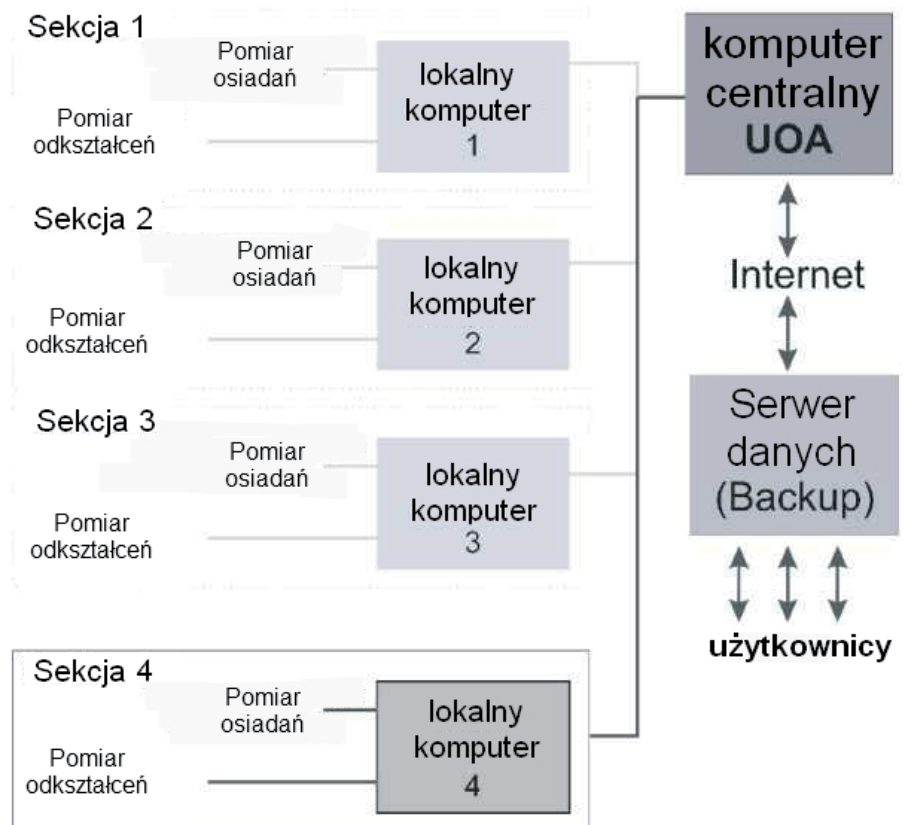
Odcinek 4 – od km 495+780 do km 496+100

- pomiar odkształceń geosiatki – 1792 czujniki Geokon 4420
- pomiar temperatury – 1792 czujniki zintegrowane z czujnikiem Geokon 4420
- pomiar przemieszczeń pionowych – 248 kompletów Geokon 4450 (element pomiarowy + czujnik + czujnik temperatury)
- studzienki pomiarowe – 36 szt.
- lokalna szafa pomiarowa – 1 szt.

Wnioski

1. Opracowany i wdrażany system charakteryzuje się wieloma nowatorskimi i niespotykanymi dotąd rozwiązaniami.
2. Jako pierwszy tego typu system umożliwia wielokrotne, powtarzalne przeprowadzanie pomiarów ruchu gruntu.
3. Objęty monitoringiem został znaczny obszar o łącznej powierzchni ponad 100.000 m².
4. Wszystkie czujniki, od momentu włączenia nieprzerwanie przez co najmniej 30 lat, zbierają komplet danych, umożliwiając precyzyjną analizę zjawisk zachodzących w konstrukcji nasypu autostradowego i dostarczając ogromnej ilości danych możliwych do wykorzystania w kolejnych pracach i badaniach.

Podsumowując, wdrożony system monitoringu jest z pewnością jednym z największych i bardziej nowatorskich w skali doświadczeń międzynarodowych. Już dziś można z całą pewnością powiedzieć, że zakres dostępnych danych pozwoli na dokładniejsze poznanie i weryfikację zagadnień z zakresu geotechniki i ochrony powierzchni przed wpływem szkód górniczych oraz na pogłębienie stanu polskiej i światowej nauki w zakresie wykorzystania gruntu zbrojone-



9. Schemat organizacyjny struktury sprzętowej systemów monitoringu

go geosyntetykami w rejonach narażonych na szkody górnicze. W wymiarze społecznym - z całą pewnością wdrożony system monitoringu okaże się pomocny w procesie poprawy bezpieczeństwa i skuteczności zarządzania autostradą przechodzącą przez tereny trudne pod względem warunków gruntowych. ◀

Współpraca autorska

dr. Łukasz Bednarski, NeoStrain Sp. z o.o.,
dr. Rafał Sierko, NeoStrain Sp. z o.o.,
dr. Janusz Sobolewski, Huesker Synthetic GmbH.

Materiały źródłowe

- [1] DiBiagio E.: Norwegian Geotechnical Institute (NGI). A Case study of Vibrating-Wire Sensors That Have Vibrated Continuously For 27 Years.
- [2] F.Glötzl F. & Haberland J.: Fach-Symposium Messen in der Geotechnik 2002. Flächendeckendes Überwachungssystem unter einer Erde-Verbund-Konstruktion zur Lokalisierung von Erdfällen.
- [3] Briancon L. & Nancey A. & Villard P.: Studia Geotechnica et Mechanica, Vol. XXVII, No. 1-2. 2005. Development of geodetect: A new warning system for the survey of reinforced earth constructions.
- [4] Kreuzer M.: Materiały firmy HBM. Strain Measurement with fiber Bragg Grating Sensors.
- [5] Geodetect. Materiały informacyjne firmy - Fibre Optic Sensing & Sensing Systems – FOS&S.