

# Konstrukcja autostrady A1 na obszarze szkód górniczych

Artykuł opisuje projekt, realizację oraz założenia monitoringu monolitycznej platformy żelbetowej, stanowiącej element konstrukcji zabezpieczającej przed wpływami deformacji geologiczno-górniczymi.

Trasa autostrady A1 na odcinku Piekary Śląskie - Pyrzowice przebiega przez obszary objęte czynną eksploatacją górniczą. Tereny te znajdują się dodatkowo w obszarze tzw. stref uskokowych, stwarzających największe zagrożenie dla obiektów i korpusu autostrady z powodu dużego prawdopodobieństwa wystąpienia deformacji nieciągłych. Za najbardziej niekorzystny pod tym względem uznano uskok radzionkowski, zlokalizowany na terenie węzła Piekary Śląskie. Prowadzenie aktualnej eksploatacji górniczej w tym rejonie stwarza warunki sprzyjające jego uaktywnieniu. Natomiast możliwość powstania deformacji nieciągłych ma niewątpliwą związek z wielopoziomową płytką eksploatacją rud cynku i ołowiu (1).

W wyniku szczegółowego rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich w pasie zajęтым przez autostradę, przeprowadzonego przez pracowników Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Głównego Instytutu Górniczego oraz Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi PAN, stwierdzono, że w podłożu bezpośrednio zalegającym pod planowaną trasą autostrady występują zarówno pierwotne chodniki, komory, szyby i szybiki o nieudokumentowanym sposobie likwidacji (być może niezasypane lub niewłaściwie zlikwidowane), jak i wtórne pustki powstałe w wyniku zawalenia pustek pierwotnych oraz rozwoju form krasowych. Niewielka głębokość zalegania tych utworów, w granicach od kilku metrów do ok. 50-70 m, stwarza realne zagrożenie wystąpienia deformacji nieciągłych w bezpośrednim podłożu korpusu autostrady i obiektów inżynierskich w trudnej do określenia przyszłości. W trakcie prowadzenia badań udokumentowano już liczne ślady zapadlisk pochodzenia górniczego (1).

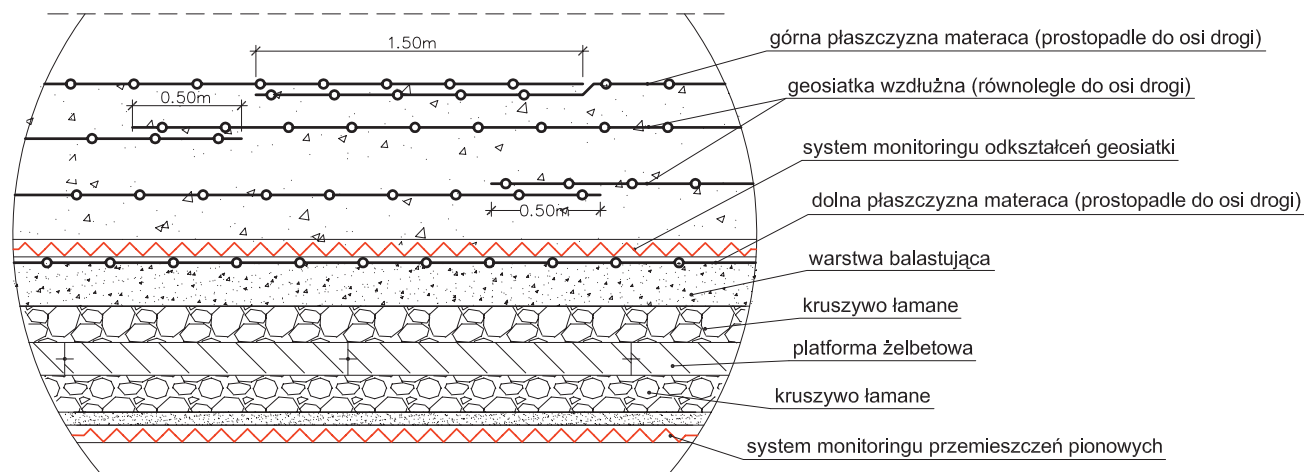
## Konstrukcja korpusu drogowego

Wymagania techniczne stawiane współczesnym autostradom są bardzo restrykcyjne. Stosowane dotychczas zabezpieczenia konstrukcji dróg nie były w stanie zapewnić spełnienia tych parametrów. Istniały słuszne obawy, że pojawiające się po oddaniu do użytkowania deformacje terenu, a szczególnie ich nieciągłe formy, będą powodowały destrukcję korpusu drogowego oraz towarzyszących mu urządzeń. W pierwszym etapie zaprojektowano i wykonano wzmocnienie podłoża gruntowego poprzez przeprowadzenie działań o charakterze odprężającym górotwór (rejonu uskoku pochodzenia geologiczno-górniczego) oraz wypełniającym pustki i rozluźnione obszary podłoża (1). W drugim etapie wykonano analizę statyczno-wytrzymałościową konstrukcji korpusu drogowego, która miała za zadanie zminimalizować niekorzystny wpływ mogących zachodzić w przyszłości tzw. szkód górniczych oraz anomalii geologicznych. W geotechnice drogowej analiza oddziaływań pogór-

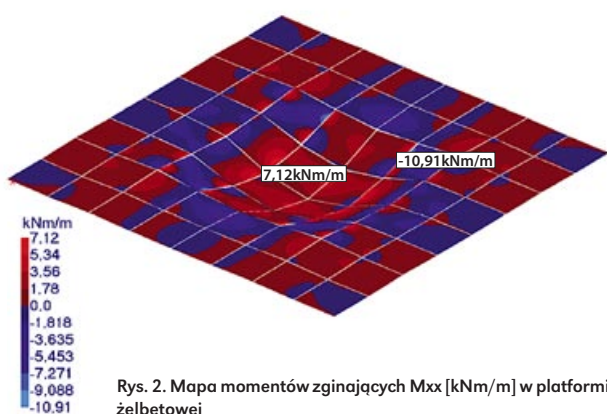
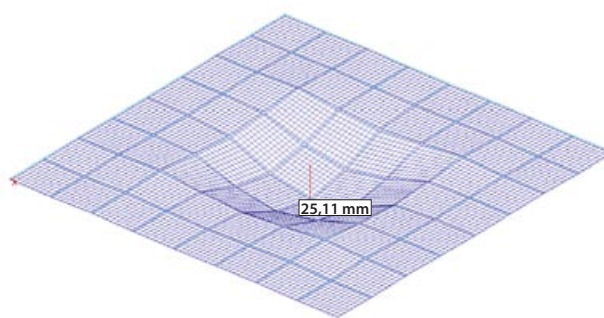
## Summary

The section of A1 motorway from Piekary Slaskie to Pyrzowice runs through areas of an active mining operation. These areas are also situated in the faulting areas posing greatest threat to highway facilities and pavement of the motorway due to high likelihood of discontinuous deformation. The most unfavorable in this respect is radzionkowski fault, located in the "Piekary Slaskie" junction. Current mining operations in the region creates favorable conditions for its activation. However the possibility of discontinuous deformation is undoubtedly related to the multi-level, shallow exploitation of lead and zinc ores (1).

nicznych polega najczęściej (w uproszczeniu) na uwzględnieniu poziomych odkształceń rozluźniających  $\epsilon$  terenu. Powstawanie tego typu deformacji w istotny sposób wpływa na trwałą redukcję nośności podłoża gruntowego i w konsekwencji prowadzi do przekraczania nośności granicznej gruntu na skutek redystrybucji poziomych składowych tensora naprężenia (2, 3). Takie zachowanie się podłoża gruntowego skutkuje dodatkowym zagłębieniem się nasypów korpusów drogowych, co w efekcie powoduje powstawanie tzw. efektów progowych zmian niwelety drogi. Na efekty oddziaływań pochodzenia antropologicznego nakładają się deformacje związane z anomaliami geologicznymi w postaci uskoku. Obydwa oddziaływania powodują, że korpus autostrady, a w ostateczności jej nawierzchnia, mogą ulec uszkodzeniom objawiającym się w postaci różnego typu wieloparametrowych deformacji o charakterze ciągłym i nieciągłym. Konstrukcja korpusu autostrady powinna zatem zapewnić taki sposób jej odpowiedzi na pojawiające się w czasie oddziaływania, by w jak największym stopniu zminimalizować ich niekorzystne skutki. Współcześnie obiekty drogowe przebiegające przez obszary, na których występują szkody górnicze oraz anomalie geologiczne, najczęściej projektuje się w postaci różnego rodzaju gruntów zbrojonych geosyntetykami. Istota wzmocnienia podstawy nasypów i przypowierzchniowych warstw korpusu drogowego polega na ograniczeniu stopnia redukcji poziomych naprężeń w warunkach odkształceń rozluźniających poprzez ograniczenie swobody poziomych przemieszczeń ziaren materiałów konstrukcyjnych oraz cząstek gruntu zlokalizowanych powyżej geosyntetyku (4).



Rys. 1. Przekrój poprzeczny konstrukcji korpusu drogowego

Rys. 2. Mapa momentów zginających  $M_{xx}$  [kNm/m] w platformie żelbetowej

Rys. 3. Obraz przemieszczeń zdeformowanej platformy żelbetowej

Na rys. 1 pokazano schematycznie przekrój poprzeczny przez konstrukcję zbrojącą dolnej części korpusu drogowego. Szczególną rolę w tej konstrukcji, obok głównego zbrojenia geosyntetycznego, odgrywa platforma żelbetowa.

## Platforma żelbetowa

Zadaniem platformy żelbetowej jest „wygładzenie” deformacji nieciągłych powstających pod korpusem drogowym. Platforma jest zespołem połączonych przegubowo żelbetowych płyt monolitycznych o grubości 0,15 m i stosunkowo małych wymiarach w planie (1,45 x 1,45 m).

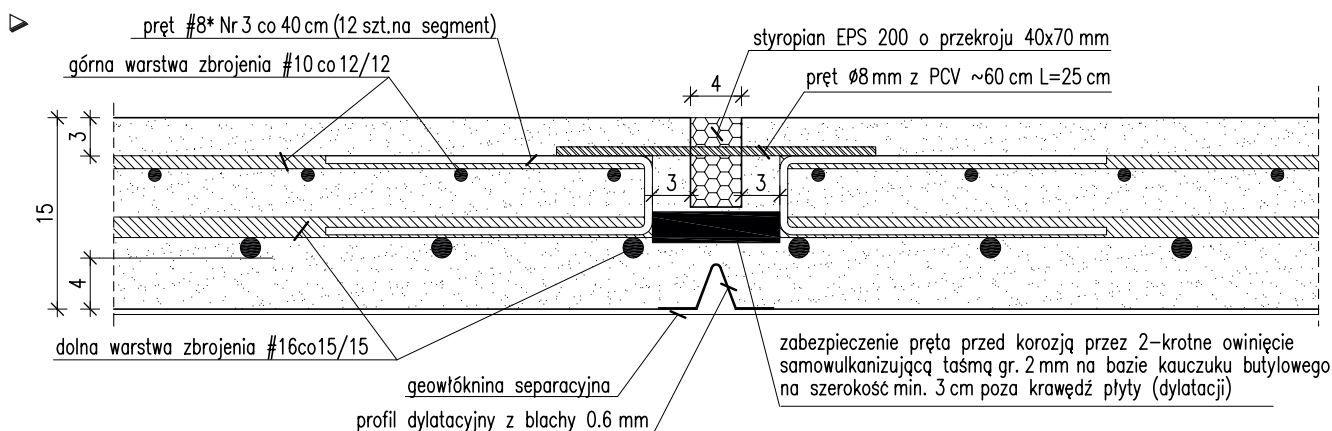
Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe platformy prowadzono, uwzględniając różne schematy obciążeń w fazach pracy przejściowej i docelowej (trwałej). Analizowano zatem obciążenie segmentu płyty podczas budowy obiektem pojedynczym kołem pojazdu o nacisku na oś 100 kN. Oddziaływanie koła modelowano w postaci obciążenia równomiernie rozłożonego na polu o kształcie prostokąta odpowiadającego powierzchni styku koła z podłożem. Obciążenia lokalizowano w narożniku płyty, w środku długości jednej z krawędzi oraz w środku pola płyty. Uwzględniono także oddziaływanie walca drogowego o masie 120 kN wraz z warstwą zagęszczonego kruszywa, przy czym walec ustawiano na płycie w taki sposób, że jego przednia oś, przejmująca ok.  $\frac{3}{4}$  ciężaru walca, była zlokalizowana w środku rozpiętości jednej płyty, w środku długości krawędzi płyty oraz w jej narożniku. W sytuacji trwałej oddziaływanie było generowane powstaniem pod płytą zapadli-

ska o średnicy ok. 6 m. Przyjęto, że obciążeniem dla platformy żelbetowej będą wyłącznie warstwy nasypu ułożone pod właściwą konstrukcją zbudowaną z materacy geosyntetycznych. Płytę modelowano na podłożu, stosując nieliniowy model gruntu.

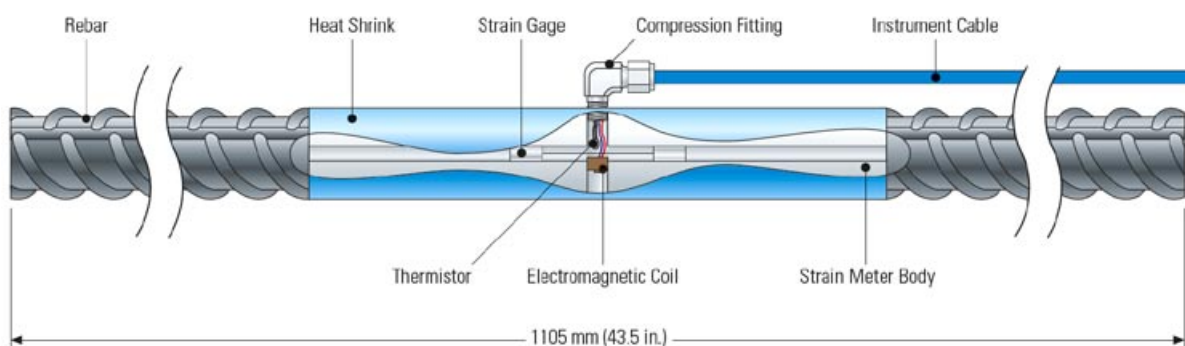
Na rys. 2 pokazano wynik powstania zapadliska w postaci mapy momentów  $M_{xx}$  [kNm/m] w płycie, a na rys. 3 – obraz przemieszczeń zdeformowanej płyty. Szczególnie na drugim rysunku widoczny jest pozytywny wpływ segmentowej budowy platformy żelbetowej. Płaszczyzna platformy, na skutek powstania oddziaływania, deformuje się przede wszystkim wzdłuż linii przegubów.

Analizę płyty przeprowadzono również przy obciążeniu jej membranową siłą rozciągającą wynikającą z pracy całego przekroju poprzecznego korpusu drogowego.

Niewielka grubość płyty, podział platformy na przegubowo połączone segmenty oraz wprowadzenie odpowiednich szerokości dylatacji ma zapewnić bezpieczną jej pracę przy stosunkowo dużych deformacjach. Platforma ma przede wszystkim pracować w stanie membranowym, udział momentów zginających w nośności konstrukcji będzie nieduży. Z tego powodu główne zbrojenie w postaci prętów o średnicy 16 mm zlokalizowano w pobliżu połowy grubości płyty. Zbrojenie to stanowi ciągłą warstwę w całej platformie. Jego zadaniem jest przejście rozciągających sił membranowych, momentów zginających oraz zabezpieczenie dolnej powierzchni płyty przed zarysowaniami powstającymi na skutek występowania niestacjonarnych pól temperatury i wilgotności, powodowanych procesem wiązania mieszanki betonowej. Zapew-



Rys. 4. Przekrój poprzeczny przez platformę monolityczną w obrębie szczeliny dylatacyjnej



Rys. 5. Schematyczny rysunek czujnika w postaci pręta zbrojeniowego realizującego pomiar jego odkształceń (sił)

► nienie nośności płyty z punktu widzenia momentów zginających rozciągających jej górną powierzchnię oraz zabezpieczenie płyty przed zarysowaniem zapewnia zbrojenie w postaci prętów o średnicy 10 mm, rozstawionych co 120 mm w obydwu ortogonalnych kierunkach. Zbrojenie to ułożono w górnej części przekroju poprzecznego poszczególnych segmentów platformy (zbrojenie to nie stanowi warstwy ciągłej).

Na rys. 4 pokazano, wykonany prostopadle do osi drogi, przekrój poprzeczny przez płytę żelbetonową w miejscu dylatacji. Szczególną uwagę zwrócono na zabezpieczenie antykorozyjne prętów zbrojeniowych prowadzonych przez szczelinę dylatacyjną.

## Realizacja konstrukcji

Wykonanie platformy żelbetonowej było istotnym zagadnieniem z punktu widzenia przede wszystkim organizacji pracy. Sumaryczne pole powierzchni płyty żelbetonowej wynosiło ponad 112 tys. m<sup>2</sup>, zatem do właściwego opracowania etapowania robót należało podejść bardzo szczegółowo. Płytę wykonano z betonu C35/45 o nasiąkliwości poniżej 5% zbrojonego prętami zbrojeniowymi ze stali A-IIIIN wg PN-B-03264:2002. Wszystkie pręty zbrojeniowe łączono na długości poprzez spajanie spoiną pachwinową. Beton układano na geowłókninie separacyjnej, której zadaniem było zminimalizowanie oddawania wody przez mieszankę betonową do podłoża gruntowego. Zabezpieczenie prętów zbrojeniowych przed korozją w obrębie dylatacji zapewniono przez dwukrotne ich owinięcie samowulkanizującą taśmą na bazie kauczuku butylowego. Szerokość

taśmy dobrano tak, by po obydwu stronach dylatacji znajdowała się ona min. 30 mm w betonie. Dylatację od strony podłoża gruntowego zapewniono przez wykształcenie specjalnego profilu z blachy, natomiast w górnej części zastosowano wkładkę ze styropianu mocowaną do prętów zbrojeniowych poprzez specjalny profil z tworzywa sztucznego. Układanie mieszanki betonowej prowadzono, wykorzystując do jej zagęszczania wibratory wgłębne i powierzchniowe. Pielęgnacja młodego betonu była prowadzona przy zastosowaniu przede wszystkim środków chemicznych zmniejszających parowanie wody z powierzchni płyty.

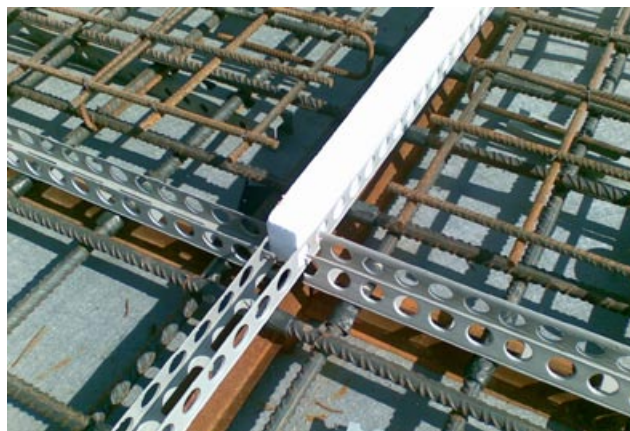
Na fot. 1 pokazano widok płyty po zakończeniu układania zbrojenia. Fot. 2 obrazuje szczegół krzyżujących się dylatacji przy różnym stopniu zaawansowania prac zbrojarskich w poszczególnych segmentach płyty.

## Założenia do monitoringu konstrukcji platformy żelbetonowej

Rozwiązanie w postaci monolitycznej platformy żelbetonowej, składającej się z przegubowo połączonych ze sobą płyt, zostało zastosowane jako element konstrukcji korpusu drogowego zlokalizowanego w obszarze oddziaływania szkód górniczych i anomalii geologicznych po raz pierwszy w Polsce. Biorąc pod uwagę brak doświadczeń w analizie sposobu pracy tego typu konstrukcji w konkretnych warunkach geotechnicznych, podjęto rozważania nad możliwością elektronicznego pomiaru odpowiedzi platformy na przykładane doń oddziaływania. Ostatecznie, ze względu na decydującą



Fot. 1. Widok platformy żelbetowej po zakończeniu układania zbrojenia



Fot. 2. Szczegół skrzyżowania dylatacji pomiędzy segmentami platformy

rolę zbrojenia w nośności konstrukcji platformy, zdecydowano się na zastosowanie czujników realizujących pomiar odkształceń prętów zbrojeniowych. Uwzględniając trwałość czujników, długoterminową stabilność pomiarów w czasie oraz odporność na uszkodzenia podczas układania mieszanki betonowej, przyjęto czujniki w postaci odcinków prętów zbrojeniowych o zadanej średnicy, fabrycznie wyposażonych w czujniki strunowe. Pomiarami objęto po trzy płyty zlokalizowane w pięciu wybranych kilometrach drogi. W każdym przekroju monitoringowi podlegały trzy segmenty platformy – dwa blisko krawędzi drogi (trzecia płyta od krawędzi) oraz jeden w sąsiedztwie osi drogi. W każdej opomiarowanej płycie zainstalowano dwa czujniki – jeden z nich ułożono prostopadle do osi drogi, a drugi – równoległe. Czujniki połączono z prętami zbrojeniowymi poprzez ich doczołowe spawanie.

Technologia strunowa obecnie przeżywa swój renesans w Polsce. Bardzo prosta zasada pracy czujników, brak elementów mechanicznych oraz wykonanie ze stali nierdzewnej powodują, że czujniki te są dedykowane do pomiarów długoterminowych. Ze względu na częstotliwościowy sygnał pomiarowy czujniki strunowe mogą być wyposażane w przewody o długościach rzędu kilku kilometrów. Wymienione właściwości czujników strunowych powodują, że większość realizowanych obecnie w Polsce systemów monitorowania konstrukcji jest projektowana z wykorzystaniem techniki strunowej (5-9).

Na rys. 5 pokazano widok czujnika – pręta zbrojeniowego wyposażonego w napiętą strunę ze stali nierdzewnej, cewkę elektromagnetyczną oraz czujnik temperatury. Fot. 3 obrazuje zainstalowane już czujniki pomiarowe w jednym z segmentów płyty.

## Podsumowanie

Poprowadzenie autostrady A1 przez tereny o bardzo trudnej budowie geologicznej oraz silnie eksploatowane górniczo wymusiło na projektantach stosowanie nowatorskich rozwiązań obejmujących kształtowanie konstrukcji drogowych. Umieszczona w dolnej części korpusu monolityczna platforma jest bardzo ciekawym przykładem dostosowania elementu żelbetowego do stawianych przed nim wymagań związanych z koniecznością „wygładzania” deformacji powstających pod konstrukcją nasypu drogowego. Brak doświadczeń krajowych, opisujących sposób pracy tego typu elementów w konkretnych warunkach geotechnicznych budowanej autostrady skłonił autorów koncepcji platformy do wprowadzenia czujników pomiarowych pozwalających w sposób ciągły



Fot. 3. Widok zainstalowanych czujników pomiarowych

obserwować zachowanie się głównego zbrojenia płyty. Czujniki te będą współpracować z systemem monitoringu konstrukcji autostrady (4), co pozwoli prowadzić obserwację wyętkowania zbrojenia płyty również po oddaniu całego obiektu do użytkowania. □

## Piśmiennictwo

1. Miłkowski A., Pilecki Z., Kłosek K., Tondera M.: *Autostrada A1 za projektowana na „dziurawym” podłożu - cz. 1.* „Magazyn Autostrady”, nr 3/2010.
2. Kłosek K.: *Trwałość konstrukcyjna autostrad na terenach górniczych.* „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne”, nr 9-10/2007.
3. Kłosek K., Szeja K.: *Efektywne wzmocnienia autostrad na terenach górniczych.* „Magazyn Autostrady”, nr 4/2008.
4. Miłkowski A., Pilecki Z., Kłosek K., Tondera M.: *Autostrada A1 za projektowana na „dziurawym” podłożu - cz. 2.* „Magazyn Autostrady”, nr 5/2010.
5. Sieńko R.: *Monitorowanie konstrukcji budowlanych a wzrost ich bezpieczeństwa.* „Przegląd Budowlany”, nr 4/2007.
6. Sieńko R.: *Systemy monitorowania obiektów mostowych.* „Materiały Budowlane”, nr 4/2008.
7. Biliszczuk J., Barcik W., Sieńko R.: *System monitorowania mostu w Puławach.* „Mosty”, nr 4/2009.
8. Flaga A., Bednarski Ł., Sieńko R., Stoliński M., Cwiek P.: *Monitoring of the roof structure of the municipal stadium in Poznań.* 6<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Effects on Buildings and People EEBP VI, Tomaszowice k. Krakowa, 11-13 października 2010 r.
9. Barcik W., Sieńko R., Biliszczuk J.: *System monitorowania Mostu Rędziańskiego we Wrocławiu.* Wrocławskie Dni Mostowe, Wrocław, 24-25 listopada 2011 r.