



Innowacyjne technologie w budownictwie, cz. 1

tekst: **KRZYSZTOF BERGER, JANUSZ TADLA**, Freyssinet Polska Sp. z o.o.

zdjęcia: **FREYSSINET POLSKA SP. Z O.O.**

Nowoczesne technologie przychodzą z pomocą inwestorom, projektantom oraz wykonawcom konstrukcji inżynierskich. Wybór poszczególnych rozwiązań zależy zwykle od czynników ekonomicznych i możliwości technicznych, dlatego do osiągnięcia sukcesu niezbędna jest współpraca pomiędzy inwestorem, wykonawcą i projektantem już od pierwszych etapów procesu budowlanego.

W artykule zaprezentowano nowoczesne technologie w budownictwie na przykładzie działalności firmy Freyssinet Polska Sp. z o.o. W tej części artykułu przedstawiono dostarczane przez firmę technologie, w drugiej części, która zostanie opublikowana w następnym numerze „Nowoczesnego Budownictwa Inżynierskiego”, będą pokazane przykłady zastosowań tych technologii w zrealizowanych obiektach.

1. Wstęp

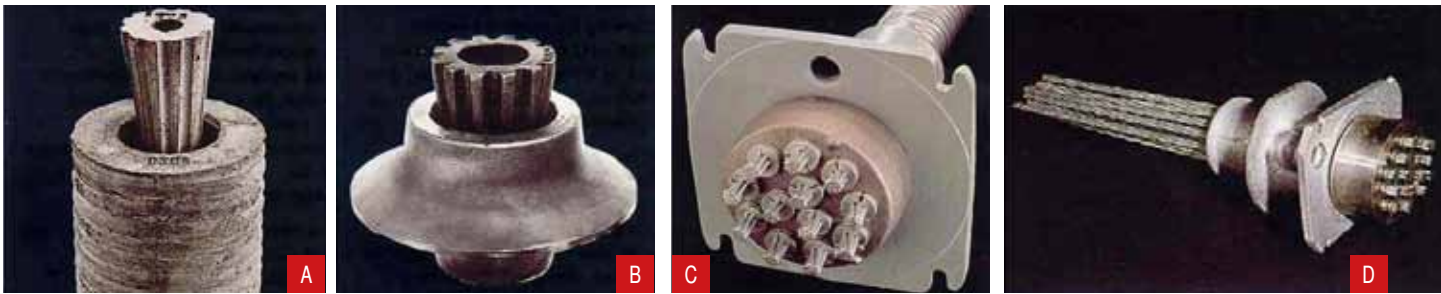
Freyssinet Polska Sp. z o.o. jest obecna na krajowym rynku od kwietnia 1999 r. Przedsiębiorstwo ma za sobą ponad 50-letnie doświadczenie najstarszej i największej firmy w branży budownictwa specjalistycznego – Freyssinet International, wykonującej specjalistyczne prace na budowach całego świata.

Firma Freyssinet została założona w 1943 r. przez wynalazcę betonu sprężonego, wybitnego francuskiego rzemieślnika i architekta, Eugène Freyssineta. Skupiła wokół siebie znanych francuskich inżynierów, do których dołączyli m.in. propagator konstrukcji z gruntu zbrojonego Henri Vidal i twórca technologii wzmocnienia podłoża gruntowego Louis Ménard. Takie zaplecze i wykorzystanie autorskich, nowatorskich rozwiązań tworzy siłę Freyssinet.

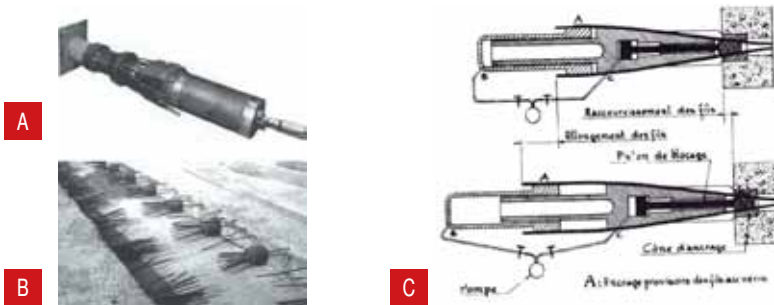
Początkowo Freyssinet Polska Sp. z o.o. tworzyły cztery osoby. Firma budowała swoją pozycję przez ciągły rozwój, wprowadzanie na rynek nowych technologii i rzetelność w pracy. Już od pierwszych lat istnienia w Polsce działalność firmy obejmowała takie obszary, jak sprężenie zewnętrzne i wewnętrzne, podwieszenie konstrukcji, łożyska i dylatacje, naprawy

konstrukcji oraz geotechnika. Do ważniejszych realizacji w pierwszych latach należą: sprężone i podwieszone wiadukty oraz kładki dla pieszych nad autostradą A4 na trasie Wrocław – Nogawczyce. Dalej była autostrada A2 z obwodnicą Poznania, obwodnice Krakowa, Legnicy, Bolesławca, budowa estakady Strzegomskiej we Wrocławiu, a także estakady na węzle Czerniakowska w Warszawie. Freyssinet Polska Sp. z o.o. wzmocniła za pomocą sprężenia zewnętrznego NSS wiele konstrukcji żelbetowych o przekroju kołowym: zbiorniki, silosy, kominy.

Działalność firmy to także wprowadzanie na rynek nowych, niestosowanych wcześniej technologii. Na przykład, grunt zbrojony z typowymi prefabrykatami w kształcie krzyża można dzisiaj zobaczyć w każdym dużym mieście i na każdej autostradzie. Radość z sukcesów jest



Ryc. 1. Rozwój zakotwień Freyssinet; a) 1939 r. – 20 t, b) 1959 r. – 330 t, c) 1965 r. – 1000 t, d) 1991 r. – 1500 t



Ryc. 2: a) siłownik do sprężania kabli wykonanych z drutów równoległych o sile 20 t, b) widok zakotwień po sprężeniu, c) schemat siłownika do sprężania z blokadą hydrauliczną i zakotwień kabli

pochodną włożonego wysiłku w pracę oraz zdobytego doświadczenia. Na każdym etapie istnienia firmy poziom sukcesów odzwierciedlał pozycję Freyssinet w branży budowlanej.

Kolejnym kamieniem milowym oraz największym wówczas kontraktem firmy było podwieszenie mostu przez Wisłę w Płocku w 2003 r.

W 2006 r. Freyssinet Polska Sp. z o.o. podpisała umowę na realizację nowej przeprawy przez Wartę w Koninie i zmianę przebiegu drogi krajowej nr 25. Podczas tego przedsięwzięcia firma świadczyła kompleksowe usługi, czyli projektowanie, nasuwanie, sprężanie konstrukcji, podwieszenie, a także dostawę i montaż łożysk i dylatacji. To co wydawało się niemożliwe, stawało się budowlaną codziennością. Z tygodnia na tydzień 130 m nasuwanej konstrukcji przeobraziło się w pierwszy w Polsce most w technologii extradosed. W trakcie realizacji firma współpracowała już w największymi wykonawcami z branży, dzieląc się wzajemnie zdobytą wiedzą, wspólnie rozwiązując drobne problemy, ciesząc się z osiągnięcia wspólnego celu, jakim było pomyślne i terminowe zakończenie budowy.

W kolejnych latach firma pozyskiwała znaczące kontrakty, jak m.in. autostradowa obwodnica Wrocławia (wliczając most podwieszony przez Odrę), estakada WA-456 w ciągu autostrady A1 w Gliwi-

cach, most MA-161 w ciągu autostrady A4 koło Rzeszowa, południowa obwodnica Gdańska. Poniżej zaprezentowano wybrane systemy i realizacje z zastosowaniem nowoczesnych technologii do realizacji konstrukcji budowlanych.

2. Technologie – systemy

2.1. Beton sprężony

2.1.1. Długa droga do sukcesu

Co to jest beton sprężony i jak pracuje? Gdyby beton sprężony mógł mówić, powiedziałby, że odpoczywa, kiedy pracuje, a praca to przyjemność. Po prostu w stanie nieobciążonym beton jest ściskany za pomocą kabli sprężających i dopiero pod obciążeniem naprężenia powracają w granice zera. Ten pomysł Eugène Freyssineta pozwolił na wyeliminowanie słabości betonu, jakim jest jego niedostateczna wytrzymałość na rozciąganie i uniknięcie zarysowania.

Na początku kariery Freyssinet interesował się sprawnym wykonaniem konstrukcji betonowych, a w szczególności mostów betonowych, jako taniej alternatywy dla mostów stalowych. Dużym problemem były rusztowania wspierające deskowania, zwłaszcza ich bezpieczne i ekonomiczne wykorzystanie. Po zabetonowaniu można było je usunąć po wystarczającym stwardnieniu betonu, co powodowało trudne w tamtych czasach do oszacowania ugięcie konstrukcji.

W 1909 r. Freyssinet zbudował pierwszy element z betonu sprężonego. Był to ściągi próbnego łuku betonowego. Łuk o rozpiętości 50 m i wyniosłości 2 m rozpięrał się o przyczółki połączone ze sobą ściągiem z betonu sprężonego. Betonowy ściągi miał przekrój 0,5 x 3 m i był sprężony siłą ok. 3000 t. Sprężenie uzyskano za pomocą drutów o średnicy 12 mm, ułożonych w prostokątnych kanałach kablowych, kotwionych za pomocą płaskich klinów stalowych. Element został sprężony siedmioma kablami umieszczonymi w kanałach o szerokości 120 mm. Kanały kablowe były wypełnione piaskiem i przykryte trzycentymetrową warstwą zaprawy. Przeprowadzone w 1994 r. badania wykazały, że naprężenia w betonie na skutek sprężenia są na poziomie 20 MPa, stal sprężająca kabli jest skorodowana w niewielkim stopniu.

Od tego czasu minęło sto lat. Beton sprężony przeszedł kolejne stadia rozwoju i okazał się powszechnie stosowanym rozwiązaniem konstrukcyjnym.

W 1928 r. Eugène Freyssinet opatentował proces sprężania elementów betonowych ciągniami przyczepnościowymi naciąganimi przed wylaniem betonu, mocowanych do deskowania, znanych obecnie jako strunobeton.

W 1939 r. Eugène Freyssinet opatentował proces sprężenia betonu po jego stwardnieniu za pomocą drutów równoległych, kotwionych z użyciem zakotwień stożkowych, wykonanych z betonu zbrojonego. Sprężanie było wykonywane siłownikami hydraulicznymi. To właśnie wtedy po raz pierwszy użyto w patencie sformułowania beton sprężony (fr. *béton précontraint*).

Od czasu patentów powstało wiele wspaniałych konstrukcji z betonu sprężonego. Coraz śmielsze projekty wymagają udoskonalania systemów sprężania.

W kolejnych latach zakotwienia betonowe zastąpiono stalowymi, a druty – splotami.

W latach 60. XX w. angielska firma CCL wprowadziła bloki i kliny kotwiące pojedyncze sploty. Ten rodzaj kotwienia jest stosowany obecnie we wszystkich powszechnie znanych systemach do sprężania betonu.

Wraz z rozwojem technologii betonu potrzebne są kable o dużo większej nośności. Obecnie powszechnie stosowane kable mogą mieć wytrzymałość charakterystyczną ponad 1500 t (ryc. 1).

Udoskonalane są metody zabezpieczania kabli przed korozją. Dysponujemy coraz lepszym sprzętem, pozwalającym na sprawniejsze wykonanie sprężenia. Ulepszane są materiały, jak stal i beton. Zwiększana jest wytrzymałość, a straty reologiczne są coraz mniejsze.

2.1.2. Rodzaje sprężenia

Sprężenie stosowane w konstrukcjach można podzielić na sprężenie przyczepnościowe i bezprzyczepnościowe.

W systemie cięgien z przyczepnością sprężane sploty biegają w kanałach, które trasowane są zgodnie z momentami występującymi w sprężanym elemencie. Po zabetonowaniu i sprężeniu cięgna są iniektowane zaprawą wysoko wytrzymałościową, niskoskurczową. Iniekt spełnia rolę ochronną dla wrażliwego na korozję cięgna, jak również uczestniczy w przekazywaniu sił sprężających na konstrukcję.

Sprężenie bezprzyczepnościowe polega na zabetonowaniu splotów siedmiodrutowych, wykonanych ze stali o wytrzymałości 1860 MPa i niskiej relaksacji. Sploty umieszczone są fabrycznie w osłonkach z tworzywa sztucznego i pokryte smarem. Osłonki i smar umożliwiają swobodny ruch splotów w betonie. Po stwardnieniu betonu kable naciągane są za pomocą pras hydraulicznych zgodnie z harmonogramem sprężania i w tym stanie trwale kotwione w blokach. Siły z cięgien są pośrednictwem bloków przenoszone są następnie na beton i sprężają go.

Ze względu na przebieg w lub poza betonem sprężenie można podzielić na wewnętrzne i zewnętrzne. Kable sprężenia wewnętrznego przebiegają w kanałach umieszczonych przed betonowaniem w deskowaniu, a po zabetonowaniu w betonie (nie są widoczne) współpracują na całej ich długości. Kable sprężenia zewnętrznego przebiegają poza obrysem betonu i współpracują z betonem jedynie w miejscu kotwienia oraz odgięć – dewiatorów.

2.2. System sprężenia zewnętrznego NSS

System Freyssinet NSS został opracowany we Francji w latach 80. XX w. W Polsce został wprowadzony w 1995 r. Wykazał swoje zalety w naprawach konstrukcji o przekroju kołowym, które po przekroczeniu stanów granicznych nośności na rozciągające siły równoleżnikowe uległy zarysowaniu. Technologia ta okazała się jedną z najbardziej efektywnych metod napraw zarówno pod względem technicznym, jak i ekonomicznym.

Podstawą systemu jest zastosowanie kabli-splotów bezprzyczepnościowych

kable sprężające mają czterostopniowe zabezpieczenie.

Taka konstrukcja jednocześnie chroni kabel przed uszkodzeniami mechanicznymi i zmniejsza docisk na płaszcz przez rozłożenie siły na większą powierzchnię. Konieczność zastosowania zewnętrznych rur osłonowych potwierdziły wieloletnie doświadczenia firmy Freyssinet. Odpowiednio skonstruowane połączenie pomiędzy zakotwieniem, zewnętrzną rurą osłonową i samym kablem zapewnia pełne zabezpieczenie antykorozyjne we wszystkich newralgicznych miejscach kabla.



Ryc. 3. Zakotwienie typu X

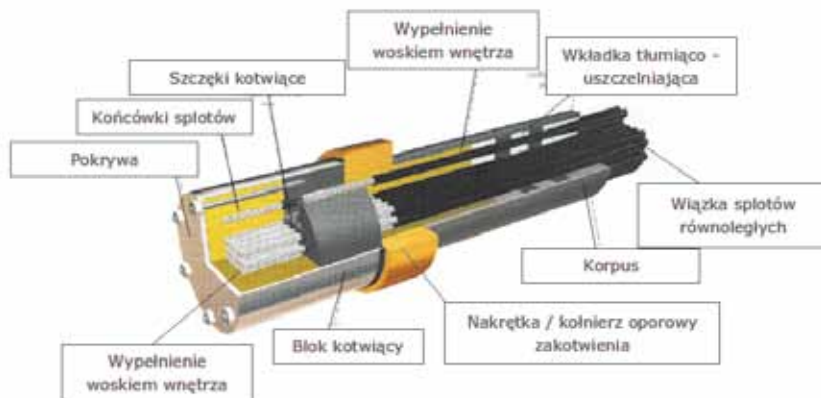
w wypełnionej zaczynem cementowym osłonie z twardego polietylenu oraz zakotwień typu X (ryc. 3).

Zakotwienie typu X jest następstwem wprowadzenia kabli bezprzyczepnościowych. Pozwala ono na wyeliminowanie kosztownych i trudnych do wykonania pilastrów. Wprowadzenie siły sprężającej odbywa się bezpośrednio do kabla na całym obwodzie bez wywoływania dodatkowych momentów zginających w powłoce.

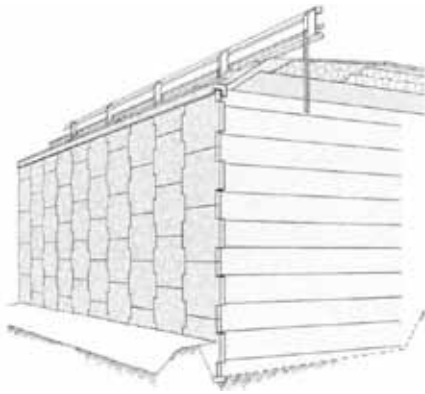
Istotną zaletą systemu sprężania zewnętrznego jest jego trwałość. Uzyskuje się ją przez wielokrotne zabezpieczenie antykorozyjne. W omawianym systemie

2.3. System podwieszenia HD

Bazując na doświadczeniach zdobytych przy doskonaleniu systemów sprężenia, Freyssinet opracowała system podwieszenia, którego podstawą były sploty równoległe. Pierwsze zastosowania datowane są na 1976 r., a w Polsce w latach 90. System podwieszenia Freyssinet HD oparty jest na całkowitej niezależności każdego ze splotów, co niesie ze sobą wiele korzyści, m.in. oddzielny montaż i naciąg każdego splotu, indywidualną ochronę przeciwnikorozyjną, możliwość wymiany pojedynczego splotu.



Ryc. 4. Zakotwienia czynne systemu podwieszenia HD2000 firmy Freyssinet



Ryc. 5. Grunt zbrojony Freyssiisol



W połączeniu z opatentowaną metodą montażu Isotension, umożliwiającą wyrównanie sił naciągu w splotach kabla podwieszenia, dzięki czemu naciąg wszystkich splotów jest identyczny, system HD dominuje w konstrukcjach podwieszonych na całym świecie. Po zastosowaniu systemu Isotension możliwe jest wyjątkowo szybkie i precyzyjne wykonanie podwieszenia. Technologia ta umożliwia ciągły monitoring sił w kablach podwieszenia, co pozwala na ścisłą kontrolę wprowadzanego naciągu.

Ostatnio zalety systemu HD compact pozwoliły na pobicie kolejnego rekordu, jakim jest Złoty most we Władystoku, o rozpiętości przęsła 1104 m.

2.4. Grunt zbrojony Freyssiisol

Technologia Freyssiisol, wprowadzona i rozpropagowana na polskim rynku ponad 12 lat temu przez Freyssinet Polska Sp. z o.o., znajduje dziś wielu zwolenników oraz naśladowców.

Nowoczesną formę konstrukcji z gruntu zbrojonego opatentował w 1963 r. francuski inżynier Henri Vidal. W 1968 r. wykonano pierwsze znaczące prace związane z nową technologią na trasie A53 we Francji. W 1976 r. zrealizowano 100 tys. m² konstrukcji z gruntu zbrojonego. Obecnie na świecie buduje się ponad 2 mln m² rocznie. W Polsce Freyssinet wykonało w 2011 r. 70 tys. m². Do szybkiego wzrostu popularności tego systemu przyczyniła się niezawodność, konkurencyjna cena, a także różnorodność obszarów jego zastosowania.

Model konstrukcji z gruntu zbrojonego opiera się na złożonej idei: stalowe lub poliestrowe pasy zbrojeniowe, umieszczone w regularnych odstępach znajdujących się wewnątrz nasypu, stanowią zbrojenie gruntu. Pasy są utrzymywane

dzięki siłom tarcia pomiędzy stalą a materiałem zasyпки (ryc. 5). Zbrojony w ten sposób nasyp staje się konstrukcją samonośną. Lekka okładzina z betonowych elementów prefabrykowanych lub siatek stalowych jest wystarczającym zabezpieczeniem całego bloku zbrojonego i nadaje mu estetyczny wygląd zewnętrzny.

Trwałość konstrukcji z gruntu zbrojonego Freyssiisol podlega systematycznej kontroli w naturalnych warunkach na ponad 100 obiektach znajdujących się na całym świecie. Zachowanie się pasów stalowych w ośrodku gruntowym jest badane laboratoryjnie od ponad 30 lat i w pełni finansowane przez firmę Freyssinet. Okres użytkowy konstrukcji z gruntu zbrojonego zgodnie z Polską Normą i Rozporządzeniem MTiGM w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie jest zakładany na minimum 100 lat.

2.5. Technologie budowy

2.5.1. Budowa mostów metodą nasuwania podłużnego

Technologia polega na wytwarzaniu pomostu w odcinkach w wytwórni. Po każdym betonowaniu segment jest sukcesywnie wysuwany z wytwórni, zostawiając miejsce na betonowanie kolejnego segmentu w gotowej formie.

Metoda nasuwania podłużnego daje możliwość szybkiej i efektywnej realizacji obiektów mostowych. Jest ona szczególnie ekonomiczna przy długich wieloprzęsłowych wiaduktach. Do najważniejszych zalet metody należy zaliczyć przede wszystkim brak potrzeby stosowania dużej liczby kosztownych szalunków i rusztowań oraz koncentrację placu budowy w jednym miejscu pomimo znacznej długości obiektu, ograniczając

radycznie rozmiary placu budowy wykorzystywanego do produkcji przęseł. Dodatkowo projektując wytwórnię jako osłoniętą i ogrzewaną, prace można prowadzić również w okresie zimowym. Utrzymywanie tygodniowego cyklu pracy sprzyja efektywnemu wykorzystaniu siły roboczej.

Freyssinet Polska Sp. z o.o. zrealizowała szereg obiektów budowanych metodą nasuwania podłużnego w zakresie opracowania szczegółów technologii oraz realizacji procesu nasuwania (siłowniki, łożyska ślizgowe, awanbeki, pręty mocujące itp.).

2.5.2. Budowa mostów metodą nawisową

Metoda betonowania nawisowego, zwana również metodą betonowania wspornikowego, umożliwia wykonywanie przęseł o dużych rozpiętościach. Technologia ta nie wymaga budowania pośrednich podpór montażowych czy też rusztowań pod konstrukcją nośną, dzięki czemu jest niezależna od charakteru pokonywanej przeszkody. Technologia polega na kolejnym dodawaniu segmentów przęsła w kierunku od segmentu głowicowego (startowego) do środka rozpiętości przęsła.

Kluczowym elementem w metodzie nawisowej jest wózek rusztowaniowy zwany trawlerem. Odgrywa on rolę rusztowania podtrzymującego deskowania oraz pełni funkcję platformy roboczej. Wózek projektowany jest tak, aby zapewniać łatwy przesuw, jego montaż i demontaż nie powinien być skomplikowany.

Firma Freyssinet dostarczyła oraz zapewniła obsługę wózków do betonowania nawisowego m.in. na budowę mostów przez Odrę w Kędzierzynie-Koźlu, przez Wisłę w Toruniu czy obecnie przez Wisłokę w Dębicy.

2.6. Technologia podnoszenia i przesuwania wielkogabarytowych elementów konstrukcji

Firma Freyssinet Polska Sp. z o.o. projektuje i realizuje różnego rodzaju prace w zakresie podnoszenia czy przesuwania ciężkich i wielkogabarytowych elementów konstrukcji. Do realizacji tych robót wykorzystywane są siłowniki hydrauliczne, liny trakcyjne czy indywidualnie zaprojektowane konstrukcje pomocnicze (wózki, żurawie itp.).



FREYSSINET
SUSTAINABLE TECHNOLOGY



WYKONAWCA SPECJALISTYCZNYCH PRAC BUDOWLANYCH W DZIEDZINACH:

NOWE KONSTRUKCJE

- ▶ sprężanie monolitycznych konstrukcji żelbetowych
- ▶ projektowanie i sprężanie stropów
- ▶ wykonanie sprężonych płyt na gruncie
- ▶ podwieszanie konstrukcji mostowych
- ▶ dostawa materiałów specjalistycznych, łożysk i urządzeń dylatacyjnych

NAPRAWY KONSTRUKCJI INŻYNIERSKICH

- ▶ sprężanie zewnętrzne – Niskotarciowy System Sprężania NSS
- ▶ pręty sprężające

GEOTECHNIKA

- ▶ grunt zbrojony
- ▶ konstrukcje TECHSPAN - łukowe obiekty inżynierskie

TECHNOLOGIE BUDOWY

- ▶ nasuwanie podłużne
- ▶ betonowanie metodą wspornikową
- ▶ montaż segmentów
- ▶ podnoszenie ciężkich elementów



FREYSSINET POLSKA Sp. z o.o. Tel.: 22 203 17 00; Fax: 22 203 17 22; e-mail: biuro@freyssinet.pl; www.freyssinet.pl

A1

PYRZOWICE – PIEKARY – MACIEJÓW

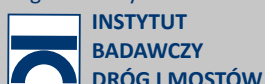
**INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW ORAZ POLITECHNIKA ŚLĄSKA
ZAPRASZAJĄ NA KONFERENCJĘ**

**INNOWACYJNE TECHNOLOGIE WYKONYWANIA I MONITOROWANIA
DROGOWYCH BUDOWLI ZIEMNYCH
NA PRZYKŁADZIE AUTOSTRADY A1
ODCINEK – PYRZOWICE – PIEKARY ŚLĄSKIE – MACIEJÓW**

Kielce, 21 maja 2013 r.



Organizatorzy:



Sekretariat Konferencji:

Dział Promocji IBDiM, ul. Instytutowa 1, 03-302 Warszawa
tel. (22) 814 26 09, 814 26 14, fax (22) 814 13 39,
e-mail: promotion@ibdim.edu.pl, www.ibdim.edu.pl