

Cezary STERNICKI¹

PREFABRYKOWNE KABLE SPRĘŻAJĄCE. KLASYFIKACJA, CHARAKTERYSTYKA I ZASTOSOWANIE.

1. Wstęp

Idea kabli prefabrykowanych bazuje na przeniesieniu części prac, które tradycyjnie wykonywane są na budowie, do zakłady prefabrykacji. Założenie to ma zapewnić szybszy przebieg prac montażowych na budowie, uzyskanie wyższej jakości produktów oraz zaangażowanie mniejszej ilości czynnika ludzkiego na budowie.

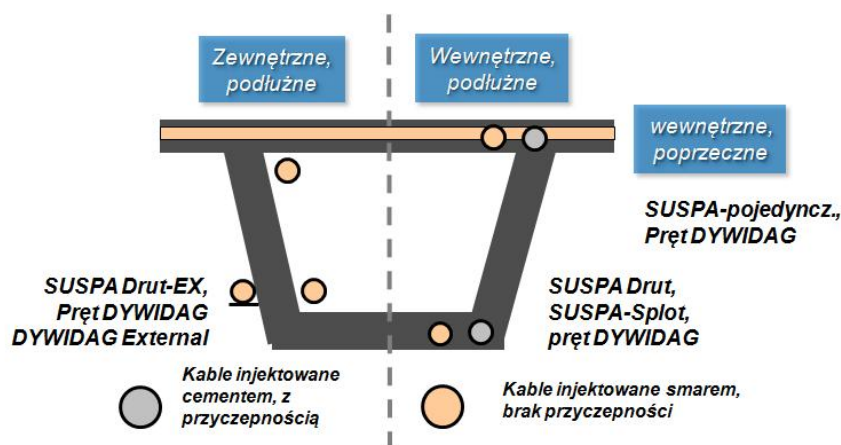
2. Podział systemów sprężania

Analizując systemy sprężania konstrukcji mostowych oferowane przed wiodące firmy na rynku, można przyjąć następujące kategorie:

- I. Ze względu na charakter pracy ciągną:
 - a. Systemy sprężania bez przyczepności
 - b. Systemy sprężania z przyczepnością
- II. Ze względu na rodzaj ciągną:
 - a. Prętowe
 - b. Splotowe
 - c. Drutowe
 - d. Z włókien węglowych
- III. Ze względu na sposób wykonania:
 - a. Systemu montowane na budowie (metoda konwencjonalna)
 - b. Systemy prefabrykowane

Wszystkie wymienione wyżej systemy mogą posiadać różne sposoby zabezpieczenia antykorozyjnego (np. wosk, smar, cement) oraz mieć różne położenie w przekroju konstrukcji (rys.1).

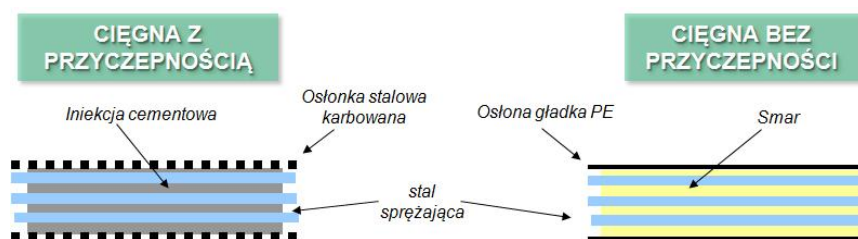
¹ Dyrektor Naczelny-Prokurent firmy DYWIDAG-Systems International sp. z o.o. (DSI)



Rys.1. Podział systemów sprężania ze względu na miejsce położenia.

Systemy sprężania bez przyczepności bazują na iniekcji środkiem plastycznym (np. smar lub wosk) i gładkich osłonkach PE. Rozwiązanie to umożliwia swobodne wydłużenia cięgna sprężanego, siła przekazywana jest poprzez zakotwienia na konstrukcję.

Systemy sprężania z przyczepnością, zazwyczaj stosowane wewnątrz przekroju betonowego, bazują na iniekcji cementowej zapewniającej sztywne połączenia cięgna sprężanego z otaczającą osłonką (np. stalową) i betonem konstrukcji. Siła w takim cięgnie przekazywana jest na konstrukcję po długości cięgna.



Rys.2. Podział systemów sprężania ze względu na charakter pracy.

3. Klasyfikacja systemów sprężania DSI

W tab. 1 przedstawiono systemy sprężania DSI dopuszczone do stosowania na terenie Polski na podstawie Aprobaty Europejskiej i Certyfikatu poświadczającego zgodność produktu z dokumentem odniesienia.

Nr aprobaty	Nazwa systemu	Opis	Przyczepność		Zastosowanie		Iniekcja	
			tak	nie	zew.	wew.	smar	cem.
ETA-06/0022	DYWIDAG – Splot	system kabli sprężających z przyczepnością od 3 do 37 splotów						
ETA-06/0025	SUSPA-Splot,	system kabli sprężających z przyczepnością od 2 do 22 splotów						
ETA-05/0123	DYWIDAG – pręty sprężające	Pręty sprężające o średnicach $\varnothing 26,5$ ÷ 40 (47)mm gwintowane i gładkie 32mm, 36mm; 950/1050 N/mm ²						
ETA-03/0036	SUSPA-kabel pojedynczy	System sprężania kablami pojedynczymi, 1 do 5 splotów						
ETA-07/0186	SUSPA-Drut Ex	System sprężania zewnętrznego przy użyciu od 30 do 66 stalowych drutów						
ETA-09/0068	DYWIDAG-External	System sprężania zewnętrznego od 3 do 37 splotów						

Tab.1. Klasyfikacja systemów sprężania DSI.

Na uwagę zasługuje kompleksowość systemów sprężania DSI, znajdujących zastosowanie w każdy sposób wykonywania sprężenia. Kombinacje wyżej wymienionych systemów są stosowane na rynku niemieckim na podstawie lokalnych aprobat krajowych. Modyfikacje tych systemów mają na celu lepsze wykorzystanie właściwości cięga sprężającego oraz podniesienie jego zalet statycznych. Przykład może stanowić zastosowanie systemu SUSPA-Drut Ex (Aprobata Niemiecka Z-13.2-109) jako kabla bez przyczepności umieszczonego w przekroju betonowym w celu uzyskania większego ramienia sił wewnętrznych, a tym samym lepszych właściwości statycznych. Kabel ten pozostaje nadal w pełni wymienny i pełni rolę kabla zewnętrznego: przejmując obciążenia użytkowe i uciążlając konstrukcję. Należy nadmienić, że zgodnie z polskim ustawodawstwem, każdy taki system może być wprowadzony do obrotu również na podstawie aprobaty w indywidualnym przypadku. W wyżej wymienionej klasyfikacji nie uwzględniono systemów wantowych, traktując je jako odmienną kategorię produktów.

4. Prefabrykowane kable sprężające

Prefabrykowane kable sprężające można ogólnie zdefiniować jako systemy sprężania przygotowane w zakładzie prefabrykacji producenta, gotowe do natychmiastowego wbudowania w konstrukcje. Produkty te są przygotowywane na bazie elementów składowych produkowanych przez właściciela systemu (elementy zakotwienia, rury osłonowe itp.) oraz stali sprężającej dostarczanej przez hutę. Definicji tej odpowiadają następujące systemy oferowane przez DSI:

- SUSPA-Splot, system kabli sprężających z przyczepnością od 2 do 22 splotów,
- SUSPA-Drut Ex, system sprężania zewnętrznego przy użyciu od 30 do 66 stalowych drutów





Wyżej wymienione systemy sprężania dostarczane są na budowę na bębnach lub w zwojach, wraz z zamontowanym zakotwieniem biernym (SUSPA-Splot) lub jest ono montowane na placu budowy (SUSPA Drut Ex).

Aprobata Europejska wprowadzające do obrotu ww. produkty na rynek Polski, obejmuje kompletny system wraz z elementami zakotwień, osłonkami oraz stałą sprężającą. W praktyce oznacza to, że w celu uzyskania aprobaty, badany jest kompletny system, ze wszystkimi jego składowymi a nie tylko poszczególne elementy.

4.1. Prefabrykowane kable sprężające z przyczepnością SUSPA-Splot

Prefabrykowane kable sprężające z przyczepnością są dopuszczone do stosowania na podstawie Aprobaty Europejskiej ETA-06/0025. Do podstawowych zalet tego systemu można zaliczyć:

- Kable są gotowe do użycia w momencie dostawy → brak konieczności wciskania splotów w osłonki,
- Budowa nie układa osłonek kabli sprężających → całość prac wykonywana jest w jednym kroku przez specjalistyczną firmę sprężającą,
- Szybszy przebieg prac montażowych na budowie zgodnie z zasadą „2 w 1”,
- Kable prefabrykowane wykonywane są na zakładzie prefabrykacji w warunkach produkcyjnych (rys.4) → zakładowa kontrola jakości,
- Mniejsza średnica osłonek kablowych (rys.3) → lepsze statyczne wykorzystanie przekroju oraz mniejsze zużycie cementu

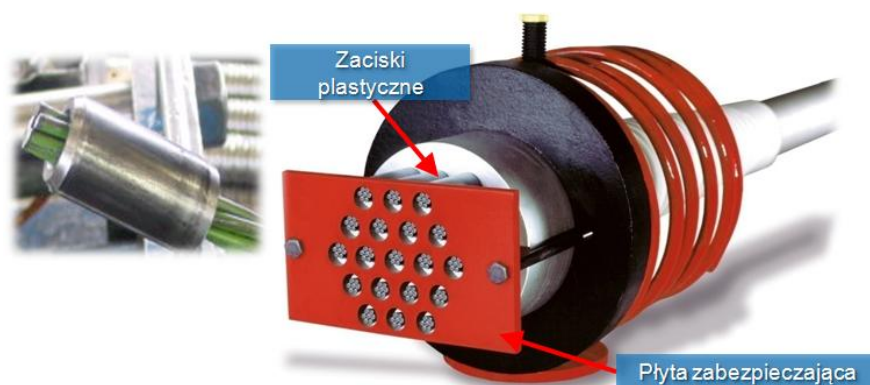
Typ	6-12	6-15	6-19	6-22
maks. siła sprężenia wstępnego $0,9 \cdot F_{p0,1k}$, kN	2,473	3,092	3,916	4,534
Ilość splotów	12	15	19	22
Widok tulei kotwy Rozmieszczenie splotów				
Tuleja kotwiąca	średnica N grubość P	170 75	190 85	200 95
Długość króćca kotwy	R	460	650	650
Rura osłonowa	typ I dl/da typ II dl/da	75/82 80/87	80/87 85/92	90/97 95/102
				100/107 110/117

Rys.3. Porównanie średnic osłonek wybranych kabli sprężających. Typ I – kable prefabrykowane, typ II – montaż na budowie.



Rys.4. Układanie prefabrykowanych kabli sprężających na obiekcie WA20 i WA22A' w ciągu Autostradowej Obwodnicy Wrocławia cz.II.

Istotną zaletą kabli prefabrykowanych, jest fabrycznie montowane zakotwienie bierne. Kotwienie splotów odbywa się za pomocą plastycznych zacisków (rys.5.), wykonywanych prasą hydrauliczną w zakładzie prefabrykacji lub w przypadku takiego zapotrzebowania również na budowie. Dzięki zastosowaniu takiej technologii, zakotwienie splotów nie ulega obluzowaniu podczas transportu oraz nie występuje poślizg na zakotwieniu szczęk.



Rys.5. Zastosowanie zacisków plastycznych zamiast szczęk kotwiących na przykładzie zakotwienia biernego EP 6-19

Przebieg realizacji zadania przy wykorzystaniu kabli prefabrykowanych można podzielić na następujące kroki:

1. Prefabrykacja w zakładzie producenta:
Wykonanie montażu splotów i zakotwień w zakładzie prefabrykacji zgodnie z dokumentacją techniczną.
2. Transport:
Dostawa prefabrykatów na plac budowy i rozładunek. Ciężna od 1 do 12 splotów dostarczane są na bębnach $\varnothing 150\text{cm}$, ciężna o ilości splotów powyżej 15, na bębnach $\varnothing 180\text{cm}$. Transport poziomy i pionowy zapewniony przez budowę powinien mieć udźwig ok. 2,5 t.
3. Realizacja:
 - Zbrojenie ustroju tak przygotowane aby można było rozwinąć kabel ze szpuli i ułożyć w miejscu przeznaczenia: belka – strzemiona górą otwarte, płyta – bez górnej siatki.
 - Rozwinięcie kabla za pomocą urządzenia do rozwijania (Rys.6.) wraz z zamocowaniem zakotwienia biernego w szalunku oraz montażem zakotwienia czynnego na kablu sprężającym.
 - Zamknięcie zbrojenia
 - Betonowanie płyty.
 - Wykonanie sprężenia, ew. przesunięcie rusztowań, wykonanie iniekcji.



Rys.6. Urządzenie do rozwijania kabli prefabrykowanych.

Zastosowanie kabli prefabrykowanych nawiniętych na bębny, niesie ze sobą szereg korzyści i ułatwień na etapie wykonawstwa. Kable te można w łatwy i wygodny sposób składować na placu budowy. W przypadku realizacji obiektów wykonywanych w technologii rusztowań przejezdnych lub nasuwania, z kablami uciągającymi przechodzącymi z jednego odcinka budowlanego w drugi, szczególnie w warunkach miejskich, zastosowanie kabli rozwijanych ze szpuli pozwala na sprawną realizację kolejnych odcinków budowlanych. Sytuację taką przedstawiono na Rys.7. Po sprężeniu taktu I, kable uciągające przechodzące do taktu II, zostały przełożone na ustrój tak aby można było sprawnie przesunąć rusztowania i zazbroić takt II.



Rys.7. Przygotowanie kabli do przesunięcia rusztowań na kolejnych odcinkach budowlanych. Autostradowa Obwodnica Wrocławia, obiekt WA20.

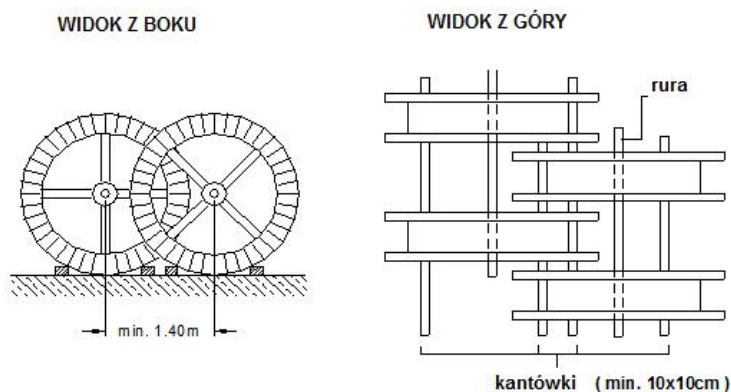
Stosowanie kabli prefabrykowanych poza eliminacją niedokładności wykonania na placu budowy, przyspieszają proces wykonywania ustroju. Obecnie kable te są stosowane na kilku budowach w Polsce. Poniżej tabelarycznie przedstawiono czasochłonność montażu tych kabli dla realizacji obiektu WA22A' w ciągu Autostradowej Obwodnicy Wrocławia oraz obiektu WD3 nad ul. Żmigrodzką w ciągu Śródmiejskiej obwodnicy Wrocławia.

Obiekt	WD22A'	WD3
Tonaż stali	32,5	16,5
Typ obiektu	Estakada na rusztowania przejazdnych	Most łukowy na rusztowaniach stacjonarnych
Dł. Taktu	48,1	74,0 m
Typ ciągien	SUSPA 6-19 (19L15,7) Przebieg krzywoliniowy	SUSPA 6-19 (19L15,7) Przebieg prostoliniowy
Ilość głowic	10	20
Ilość ciągien	30	20 (12 po 11m, 8 po 75m)
Czasochłonność	~ 26 godz.	~ 10 godz.

Tab.2. Porównanie czasochłonności wykonania.

Czasochłonność wykonania montażu należy tu rozumieć jako pełen przygotowanie konstrukcji do betonowania, tzn. w konwencjonalnym wykonaniu: prace przygotowawcze, ułożenie rurek osłonowych, wciąganie splotów, założenie zakotwień, odpowietrzeń, łączników.

Podczas składowania kabli prefabrykowanych należy uwzględnić zasady BHP. Ze względu na ich wysoko położony środek ciężkości, powinny one być zabezpieczone przed przewróceniem. Podstawowe zasady przedstawiono na Rys.8.



Rys.8. Zasady składowania bębnow z prefabrykowanymi kablami sprężającymi.

4.2. Prefabrykowane kable sprężające, zewnętrzne SUSPA Drut Ex

Prefabrykowane kable sprężające zewnętrzne SUSPA Drut Ex są dopuszczone do stosowania na podstawie Aprobaty Europejskiej ETA-07/0186. Do podstawowych zalet tego systemu można zaliczyć:

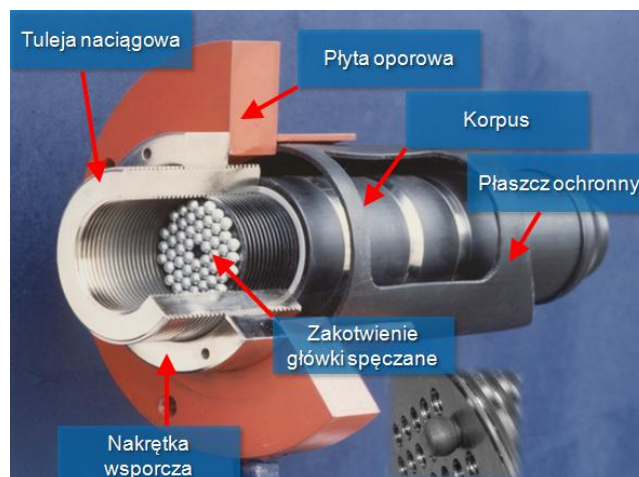
- Ochrona antykorozyjna w postaci smaru trwale plastycznego wykonanego w zakładzie prefabrykacji → brak iniekcji cementowej i związanej z nią utrudnień (oszczędność wody, cementu, mniejsza pracochłonność na budowie, brak zabrudzeń płyty i zakotwień),
- Smar trwale plastyczny jest niewrażliwy na niskie temperatury → możliwość prowadzenia prac w warunkach zimowych bez konieczności podejmowania dodatkowych środków zabezpieczających,

- Kable sprężające SUSPA Drut Ex przyjeżdżają na budowę gotowe do użycia (zainiekowane sploty w osłonkach) → szybszy przebieg prac montażowych,
- Istotnym elementem systemu są spęczane główki kotwiące poszczególne sploty gwarantujące stałość zakotwienia niezależnie od siły w kablu,
- Dewiatory z HDPE będące częścią systemu, gwarantują wygodny montaż na etapie wykonawstwa.
- Do naciągu kabli stosowane są lekkie pręty z włókien węglowych ułatwiające manewrowanie w skrzyni ustroju.

Budowa typowego zakotwienia prefabrykowanego kabla zewnętrznego, na przykładzie zakotwienia czynnego Ex-54, została przedstawiona na Rys. 9.

Zakotwienie składa się z gotowego króćca kabla zewnętrznego złożonego z drutów sprężających, zakotwionych w zakładzie prefabrykacji za pomocą główek spęczanych. Głowica kabla zakończona jest gwintem, który jest wkręcany w tuleję naciągową. Zewnętrzny pierścień zakotwienia, stanowi nakrętka wsporcza wraz z przyspawaną obwodowo płytą oporową. Sprężenie kabla odbywa się poprzez wkręcenie pręta o wysokiej wytrzymałości w tuleję naciągową, przyłożenie prasy sprężającej i naciągnięcie. Blokowanie zakotwienia odbywa się poprzez dokręcenie nakrętki wsporczej.

Na szczególną uwagę zasługuje główkowy sposób kotwienia poszczególnych cięgien, który został opracowany w roku 1949r. przez inżynierów Ros, Vogt, Brandestini i Birkenmaier a następnie dostosowany do zastosowań jako kabel zewnętrzny oraz wypróbowany na licznych budowach na świecie przez firmę DSI (wcześniej SUSPA oraz SUSPA-DSI), czego efektem było uzyskanie Aprobaty Europejskiej na ten produkt. Sposób kotwienia za pomocą główek spęczanych jest „Jedynym systemem kabli wielodrutowych jaki wytrzymał próbę czasu...” [1]. Dzięki plastycznej obróbce na zimno umożliwiającej zachowanie niewielkich rozmiarów główek, główki kotwiące cechują stosunkowo niewielkie rozmiary.



Rys.9. Zasady składowania bębnow z prefabrykowanymi kablami sprężającymi.

Istotnym elementem systemu są lekkie dewiatory, które są zbudowane z twardego polietylenu (HDPE). Zastosowanie tego rozwiązania ułatwia montaż kłopotliwych bloków na zagięciach tras kabli, w szczególności w ustrojach skrzynkowych. Na etapie

wykonawstwa przed ułożeniem zbrojenia montowana jest rura przeciskowa z HDPE, dostarczana przez naszą firmę. Następnie blok jest zbrojony i betonowany. W kolejnym etapie kabel sprężający jest przeciskany przez ustrój nośny a wykonanie zagięcia trasy kabla polega na włożeniu 2 połówek dewiatora (półskorupy) w rurę przeciskową. Dewiatory wyposażone są we wkładki neoprenowe tak aby nie ograniczać wydłużeń kabla sprężającego. Budowę dewiatora pokazano na Rys. 10.



Rys.10. Przykład zastosowania dewiatorów systemu SUSPA Drut Ex.

Istotą prefabrykowanych kabli zewnętrznych, podobnie jak systemu prefabrykowanego SUSPA-Splot, jest przeniesienie części prac montażowych z placu budowy do zakładu prefabrykacji. Istotą tej operacji jest stworzenie gotowego ciągu, całkowicie eliminującego operację iniektowania na budowie i stwarzającego gotowy produkt, który jest montowany w deskowaniu, tak jak pręty zbrojenia biernego. „Ciągna takie [...] mogą okazać się ekonomiczne w związku z uproszczeniem i przyspieszeniem robót budowlanych.” [1]. Dodatkową zaletą systemu jest podwyższenie parametrów technicznych wykonanego produktu jak i również zapewnienie większej kontroli jakości.

Wszystkie wymienione wyżej zalety, a w szczególności stosowanie główkowego systemu zakotwienia i specjalnej budowy gwintowanej głowicy naciągowej jak i również iniekcji w postaci smaru antykorozyjnego, umożliwiają pełną wymiennność kabla. Oznacza to, że w dowolnej chwili kabel ten może być doprężony lub naciąg może być odpuszczony w celu dokonania wymiany ciągach zostało przedstawione na rys.11. Zastosowanie tego typu rozwiązania jest obecnie obligatoryjnie stosowane w krajach Europy Zachodniej, w szczególności w Niemczech.



Rys.11. Operacja wymiany kabla sprężającego typu SUSPA-Drut Ex.

Kable systemu SUSPA Drut Ex doskonale nadają się również do zastosowania przy następujących konstrukcjach:

- Wzmacnianie istniejących obiektów,
- Odciągi montażowe, podwieszenia montażowe,
- Mosty typu extra-dosed.

5. Podsumowanie

Zaprezentowana paleta rozwiązań do sprężania konstrukcji, może być zastosowana w każdym rozwiązaniu konstrukcyjnym. Kable prefabrykowane stanowią szczególnie atrakcyjne rozwiązanie na etapie wykonawstwa, przyspieszając przebieg prac, minimalizują ryzyko błędów montażowych i zaangażowanie personelu na budowie oraz generują oszczędności dla firm wykonawczych, co sprawia, że system ten jest coraz częściej stosowany przez Generalnych Wykonawców. Dotyczy to szczególnie realizacji dużych inwestycji mostowych o powtarzalnych odcinkach budowlanych.

Piśmiennictwo

- [1] Ajdukiewicz A., Mames J.: *Konstrukcje z betonu sprężonego*. ~~DIBT (Niemiecki Instytut Techniki Budowlanej), członek EOTA, 12 stycznia 2006.~~
- [2] Aprobata Techniczna ETA- 06/0022. *DYWIDAG-System sprężania splotami z przyczepnością*. DIBT (Niemiecki Instytut Techniki Budowlanej), członek EOTA, 12 stycznia 2006.
- [3] Aprobata Techniczna ETA- 06/0025. *SUSPA-System sprężania splotami z przyczepnością*. OIB (Austriacki Instytut Techniki Budowlanej), członek EOTA, 12 czerwca 2006.
- [4] Aprobata Techniczna ETA- 06/0123. *DYWIDAG-System prętów sprężających*. OIB (Austriacki Instytut Techniki Budowlanej), członek EOTA, 19 września 2006.
- [5] Aprobata Techniczna ETA- 03/0036. *SUSPA/DSI-System sprężania kablami pojedynczymi bez przyczepności, 1 do 5 kabli*. OIB (Austriacki Instytut Techniki Budowlanej), członek EOTA, 1 czerwca 2004.
- [6] Aprobata Techniczna ETA- 07/0186. *SUSPA Drut Ex*. OIB (Austriacki Instytut Techniki Budowlanej), członek EOTA, 12 listopada 2007.
- [7] Aprobata Techniczna ETA- 09/0068. *DYWIDAG External*. SETRA (Instytut Badawczy Dróg i Autostrad), członek EOTA, 03 marca 2009.
- [8] ETAG 013: *Guideline for European Technical Approval of Post-tensioning Kits for Prestressing of Structures*, 2002.
- [9] CEN Workshop Agreement: *Requirements for the installation of post-tensioning kits for prestressing of structures and qualification of the specialist companies and their personnel*. October 2002.

DYWIDAG-Systems International Sp. z o.o.
Post-Tensioning Systems
ul. Przywidzka 4/68
80-174 Gdańsk, Polska
Phone +48 58 300 13 53
Fax +48 58 300 13 54
E-mail dsi-polska@dywidag-systems.com

DYWIDAG-Systems International Sp. z o.o.
Geotechnical Systems
ul. Bojowników o Wolność i
Demokrację 38/121
41-506 Chorzów, Polska
Phone +48 32 241 09 98
Fax +48 32 241 09 28
E-mail dsi-polska@dywidag-systems.com

Uwaga:

Celem niniejszej broszury jest realizowanie tylko i wyłącznie celów informacyjnych. Wszelkie dane techniczne i informacje zawarte w niniejszym dokumencie nie mogą zostać uznane jako bezwzględnie wiążące i podlegają prawu do wprowadzenia zmian bez konieczności wcześniejszego powiadomienia ze strony podmiotu odpowiedzialnego. Oświadczamy, iż nie ponosimy jakiegokolwiek odpowiedzialności za szkody lub straty powstałe na skutek zastosowania zawartych w niniejszej broszurze danych technicznych, ani też za jakiegokolwiek przypadki zastosowania produktów przedstawionych w niniejszym dokumencie niezgodnie z celem ich przeznaczenia. W przypadku konieczności zasięgnięcia dodatkowych informacji dotyczących niniejszych produktów służymy pomocą.

AUSTRIA
ARGENTINA
AUSTRALIA
BELGIUM
BOSNIA AND HERZEGOVINA
BRAZIL
CANADA
CHILE
COLOMBIA
COSTA RICA
CROATIA
CZECH REPUBLIC
DENMARK
EGYPT
ESTONIA
FINLAND
FRANCE
GERMANY
GREECE
GUATEMALA
HONDURAS
HONG KONG
INDONESIA
ITALY
JAPAN
KOREA
LEBANON
LUXEMBOURG
MALAYSIA
MEXICO
NETHERLANDS
NORWAY
OMAN
PANAMA
PARAGUAY
PERU
POLAND
PORTUGAL
QATAR
SAUDI ARABIA
SINGAPORE
SOUTH AFRICA
SPAIN
SWEDEN
SWITZERLAND
TAIWAN
THAILAND
TURKEY
UNITED ARAB EMIRATES
UNITED KINGDOM
URUGUAY
USA
VENEZUELA