



# Instytut Techniki Budowlanej

00-611 Warszawa, ul. Filtrowa 1, tel. 825-04-71, fax 825-52-86

**00685/12/Z00NK**

**Opinia specjalistyczna  
dotycząca jednostkowego zastosowania  
przez AGP Metro Polska Sp. z o.o.  
prętów zbrojeniowych z włókna szklanego  
produkcji ATP srl**

WARSZAWA 2012 r.



**INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ**

00-611

Warszawa

ul. Filtrowa 1

Telefon: (0-22) 825-80-28

Fax: (0-22) 579-61-89

## Zakład Konstrukcji i Elementów Budowlanych

Tytuł pracy: Opinia specjalistyczna dotycząca jednostkowego zastosowania przez AGP Metro Polska Sp. z o.o. prętów zbrojeniowych z włókna szklanego produkcji ATP srl

Nr pracy usługowej: 00685/12/Z00NK

Zleceniodawca:

AGP METRO, Marszałkowska 105, 00-110 Warszawa

Wykonawca:

dr inż. Przemysław Więch

Weryfikacja:

dr hab. inż. Paweł Lewiński, prof. nadzw.

Kierownik Zakładu:

dr inż. Paweł Sulik

Pracę rozpoczęto: marzec 2012 r.

Pracę zakończono: marzec 2012 r.

Pracę wykonano w 4 egz.

Załączniki:

1. „Rebar-ROCKWORM Technical Data Sheet”, Dpto. de Ingenieria Mecanica, Area de Ingenieria e Infr. del Transporte, Centro Politecnico Superior, Universidad de Zaragoza
2. "Technical note about FRP rebar tensile strength laboratory test"

## Spis treści

1	Cel opracowania.....	2
2	Podstawa opracowania.....	2
3	Właściwości mechaniczne prętów ROCKWORM .....	2
3.1	Stan wiedzy .....	2
3.2	Doświadczalna weryfikacja właściwości wytrzymałościowych.....	4
4	Warunki zastosowania prętów .....	6
5	Wnioski .....	7

## Załączniki:

1. „Rebar-ROCKWORM Technical Data Sheet”, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Área de Ingeniería e Infr. del Transporte, Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza
2. “Technical note about FRP rebar tensile strength laboratory test”

## 1 Cel opracowania

Celem opracowania jest ocena możliwości zastosowania prętów zbrojeniowych z włókna szklanego produkcji ATP srl (zwanymi dalej prętami ROCKWORM) do zbrojenia tymczasowych elementów konstrukcji wentylatorni Metra w Warszawie V10, V11, V13 i V14, łącznika A13 pomiędzy I-szą i II-gą linią Metra oraz stacji:

- C09 Rondo Daszyńskiego
- C10 Rondo ONZ
- C11 Ulica Świętokrzyska
- C12 Nowy Świat
- C13 Powiśle
- C14 Stadion
- C15 Dworzec Wileński

Elementami, które przewidziano do zazbrojenia prętami ROCKWORM są:

- fragmenty ścian szczelinowych stacji, wentylatorni i łącznika przewidzianych do wyburzenia w trakcie przejazdu tarczy TBM,
- barykiety spełniające rolę tymczasowych słupów podtrzymujących strop stacji do momentu wykonania po przejeździe tarczy TBM słupów docelowych.

## 2 Podstawa opracowania

Podstawę formalną opracowania stanowi umowa U-AGP-C-000-GEN-CON-0247. Podstawę merytoryczną opracowania stanowią:

- [1] PN-EN 1992-1-1:2008 „Eurokod 2 - Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków”
- [2] PN-EN 10080:2007 „Stal do zbrojenia betonu - Spawalna stal zbrojeniowa - Postanowienia ogólne”
- [3] „Rebar-ROCKWORM Technical Data Sheet”, Dpto. de Ingenieria Mecanica, Area de Ingenieria e Infr. del Transporte, Centro Politecnico Superior, Universidad de Zaragoza (załącznik 1)
- [4] “Technical note about FRP rebar tensile strength laboratory test” (załącznik 2)
- [5] PN-EN ISO 6892-1:2010 „Metale - Próba rozciągania - Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej”

## 3 Właściwości mechaniczne prętów ROCKWORM

### 3.1 Stan wiedzy

W niniejszym opracowaniu wzięto pod uwagę jedynie wybrane właściwości prętów ROCKWORM, ze względu na zakładany charakter ich zastosowania. W związku z tym pominięto cechy takie jak:

- właściwości reologiczne,
- wpływ starzenia na właściwości prętów,
- właściwości zmęczeniowe,

- wpływ podwyższonych i obniżonych temperatur na właściwości prętów,
- odporność prętów na korozję,
- reaktywność chemiczną prętów z betonem w długim okresie czasu.

Jako kluczowe uznano podstawowe właściwości mechaniczne:

- charakter zależności naprężenie-odkształcenie,
- wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie,
- moduł sprężystości,
- przyczepność prętów do betonu.

Zależność naprężenie-odkształcenie pozostaje w pełni liniowa wraz z przyrostem obciążenia i zniszczenie pręta nie jest poprzedzone jego jakimkolwiek uplastycznieniem. Wytrzymałość na ściskanie prętów ROCKWORM należy uznać za pomijalną w aspekcie wymiarowania konstrukcji ze względu na wyraźnie kruchy charakter materiału.

Wytrzymałość na rozciąganie i moduł sprężystości kompozytowych prętów ROCKWORM stanowi wypadkową właściwości materiałów zastosowanych do ich produkcji. Wynoszą one, w oparciu o dokument [4]:

dla włókna szklanego:

- wytrzymałość na rozciąganie  $R_{m,f}=2400\text{MPa}$
- moduł sprężystości  $E_f=70\text{GPa}$

dla żywicy:

- wytrzymałość na rozciąganie  $R_{m,r}=30\text{MPa}$
- moduł sprężystości  $E_r=3\text{GPa}$

Ponieważ właściwości mechaniczne żywicy są o jeden-dwa rzędy wielkości mniejsze od odpowiadających im właściwościom włókna, dla gotowego wyrobu można w przybliżeniu wg [4] przyjąć:

$$\text{- wytrzymałość na rozciąganie } R_{m,c} = R_{m,f} \cdot X_f \quad (1)$$

$$\text{- moduł sprężystości } E_c = E_f \cdot X_f \quad (2)$$

gdzie  $X_f$  stanowi stosunek objętości włókien do gotowego wyrobu.

Norma [1] podaje wymagania dotyczące określanych zgodnie z normą [2] naprężeń przyczepności zbrojenia do betonu jako:

$$\text{- } \tau_m \geq 0,098 (80 - 1,2 \phi) \quad (3)$$

$$\text{- } \tau_r \geq 0,098 (130 - 1,9 \phi) \quad (4)$$

gdzie

- $\tau_m$  - średnia wartość naprężenia przyczepności dla wartości poślizgu 0,01mm, 0,1mm, 1mm wyrażona w MPa,
- $\tau_r$  - naprężenie utraty przyczepności wyrażone w MPa,
- $\phi$  - średnica nominalna pręta w mm.

Naprężenia przyczepności do betonu deklarowane w karcie [3] wynoszą dla prętów o średnicy 10mm odpowiednio:

Naprężenie utraty przyczepności  $\tau_r = 22\text{MPa}$

Naprężenie przy poślizgu 0,25mm  $\tau_{0,25} = 14,5\text{MPa}$

Naprężenie przy poślizgu 0,1mm  $\tau_{0,1} = 11,5\text{MPa}$

Naprężenie przy poślizgu 0,05mm  $\tau_{0,05} = 9,5\text{MPa}$

Ze względu na odmienne niż podane w normie [1] wartości poślizgu, dla których określone zostały naprężenia przyczepności, możliwe jest jedynie dolne oszacowanie wartości  $\tau_m$  przy założeniu, że  $\tau_{1,0} \geq \tau_{0,25}$  oraz  $\tau_{0,01} \geq 0,2 \cdot \tau_{0,05}$ . Wyznaczona w ten sposób wartość  $\tau_m$  wynosi 9,3MPa.

Zgodnie z normą [1] dla prętów o średnicy 10mm wymagane wartości wynoszą:

$\tau_m \geq 6,7\text{MPa}$

$\tau_r \geq 10,9\text{MPa}$

a zatem wartości podane w karcie [3] spełniają te wymagania.

Ponieważ powierzchnia prętów ROCKWORM posiada „uźebrowanie” takiej samej geometrii niezależnie od średnicy prętów można uznać, że powyższe wyniki mogą być ekstrapolowane na większe średnice.

### 3.2 Doświadczalna weryfikacja właściwości wytrzymałościowych

Dla potwierdzenia deklarowanych przez producenta właściwości wytrzymałościowych prętów ROCKWORM przeprowadzone zostały w Zakładzie Konstrukcji i Elementów Budowlanych ITB badania sprawdzające.

Badania sprawdzające obejmowały po 9 próbek prętów o średnicach 20, 24 oraz 32mm. Próby przeprowadzono w oparciu o normę [5] przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej ZDML 400 o zakresie obciążeń do 4000kN przy wykorzystaniu zakresu pomiarowego 1000kN. W trakcie badania dokonywano w sposób ciągły rejestracji odkształceń mierzonych za pomocą ekstensometru o bazie pomiarowej 500mm oraz siły.

Na fotografiach 1÷5 przedstawiono przykładowe postaci zniszczenia próbek.



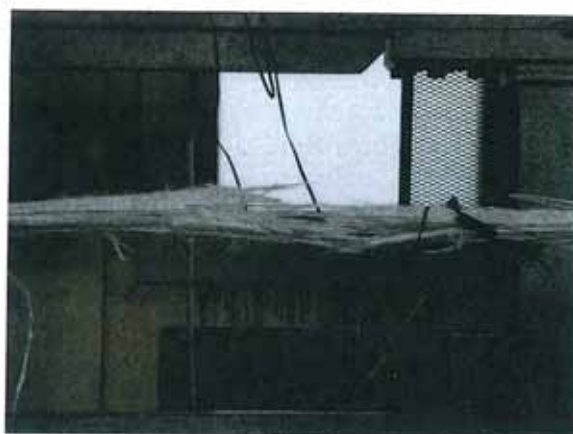
Fot.1



Fot.2



Fot.3



Fot.4



Fot.5

Wyniki badań zestawione zostały w tabelicy 1.

Tab.1 – Wyniki badań sprawdzających

L.p.	Pręty o średnicy					
	20mm		24mm		32mm	
	$R_{m,c}$ [MPa]	$E_c$ [GPa]	$R_{m,c}$ [MPa]	$E_c$ [GPa]	$R_{m,c}$ [MPa]	$E_c$ [GPa]
1	874	44,4	893	51,3	755	48,9
2	824	45,3	876	52,2	650	50,6
3	915	49,0	977	52,4	747	50,3
4	747	44,9	929	52,7	776	50,9
5	809	50,0	828	52,4	784	51,3
6	822	49,1	865	54,2	771	51,6
7	783	49,7	878	52,8	807	51,8
8	868	45,7	816	51,4	835	51,7
9	899	49,0	935	50,5	797	51,5
Wartość średnia $\bar{x}$	838	47,5	888	52,2	769	50,9
Odchylenie standardowe $s$ .	55	2,3	52	1,1	58	0,9
Wartość minimalna	747	44,4	816	50,5	650	48,9
Wartość maksymalna	915	50,0	977	54,2	835	51,8
Współczynnik rozszerzenia $k$	2,306	2,306	2,306	2,306	2,306	2,306
Dolna wartość char. $x-s \cdot k$	710	42,1	769	49,8	634	48,8
Górna wartość char. $x+s \cdot k$	965	52,8	1008	54,7	904	53,1

Sieczny moduł sprężystości został wyznaczony dla naprężeń wynoszących 0,2 oraz 0,5 wytrzymałości pręta na rozciąganie  $R_{m,c}$ . Do wyznaczenia wartości charakterystycznych wykorzystano współczynnik rozszerzenia  $k$  rozkładu T Studenta dla  $n=8$  stopni swobody i poziomu ufności 95%.

Deklarowana przez Zleceniodawcę zawartość włókien szklanych w gotowym wyrobie wynosi ok. 65%. Odpowiada to (wzory (1) i (2)), według założeń dokumentu [4] wytrzymałości na rozciąganie gotowego wyrobu  $R_{m,c} \approx 1650 \text{ MPa}$  i modułowi sprężystości  $E_c \approx 45,5 \text{ GPa}$ . O ile otrzymane z badań wartości  $E_c$  odpowiadają w przybliżeniu wynikom obliczeń, o tyle wartości  $R_{m,c}$  są od nich średnio dwukrotnie mniejsze. Należy zatem uznać że zależność (1) nie opisuje w dostateczny sposób wytrzymałości gotowego wyrobu.

Tym nie mniej otrzymane z badań charakterystyczne wartości wytrzymałości dla średnic 20, 24 oraz 32mm wynoszące odpowiednio 710, 769 oraz 634MPa odpowiadają deklarowanym przez producenta wartościom 610, 560 oraz 495MPa. Jako miarodajną wartość modułu sprężystości  $E_c$  na potrzeby wymiarowania wydaje się słuszne przyjęcie 48,5GPa, stanowiącej średnią maksymalnej i minimalnej charakterystycznej wartości otrzymanej  $E_c$  z badań i odbiegającej od nich nie więcej niż ok.15%.

#### 4 Warunki zastosowania prętów

Szkielety z prętów ROCKWORM mogą być zastosowane jako zbrojenie betonu w elementach konstrukcji o charakterze tymczasowym projektowanych zgodnie z normą [1]. Specyficzny i odmienny od stali zbrojeniowej charakter wyrobu wymaga jednak uwzględnienia w trakcie projektowania następujących warunków:

- Pręty ROCKWORM przeznaczone są jedynie do przenoszenia obciążeń rozciągających,
- Należy stosować częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiału  $\gamma_s=1,5$ ,
- Należy przyjąć do wymiarowania założenia materiałowe dla zbrojenia jak wg. punktu 3.2.7 normy [1] zmodyfikowane o brak gałęzi A i B przedstawionych na rys.3.8.

Do projektowania należy przyjmować wartości  $f_{yk}$  oraz  $E_s$  jak w tablicy 2.

Tab.2 – Wartości  $f_{yk}$  i  $E_s$

Średnica pręta	$f_{yk}$	$E_s$
mm	MPa	GPa
20	610	48,5
22	585	
24	560	
32	495	

Przy czym należy zwrócić uwagę, że w przypadku prętów ROCKWORM wartość  $f_{yk}$  jest tożsama z charakterystyczną wytrzymałością na rozciąganie.

Szkielety zbrojeniowe z prętów ROCKWORM mogą być kształtowane jedynie w zakładzie wytwarzającym pręty. Nie jest możliwe gięcie prętów w warunkach placu budowy.







## 5 Wnioski

Możliwe jest jednostkowe zastosowanie prętów ROCKWORM z włókna szklanego w celu wymienionym w p.1 niniejszego opracowania przy uwzględnieniu warunków określonych w p.4.

wykonał

  
dr inż. Przemysław Więch

weryfikacja

  
dr hab. inż. Paweł Lewiński, prof. nadzw.

Kierownik  
Zakładu Konstrukcji  
i Elementów Budowlanych  
  
dr inż. Paweł Sulik

## Załącznik 1



## REBAR-ROCKWORM

### TECHNICAL DATA SHEET

#### Material Notes:

ROCKWORM ® Rebar is a low density, corrosion resistant Glass Fibre reinforcing Vinyl ester pultruded bar. The main purpose of this material is to be included as reinforcement in concrete structures. It is formulated for very high strength and maximum resistance to alkali environments such as concrete; its low weight, high bonding and long capacity of storage make them appropriate for this application.

Form and Color: Pultruded bar with corrugated surface, White.

#### Performance

- High Tensile Strength
- Excellent corrosion resistance to aggressive environments
- Optimum surface to obtain very high bonding to concrete
- Excellent behaviour as concrete reinforcement
- High reduction in weight (one-eighth weight of steel)
- Electrically non conductive material
- Non magnetic material. No interference with electromagnetism
- Manufactured by pultrusion process
- Easy storage capacity due to the low weight and the corrosion resistance
- Dimensional Stability with temperature

PHISICAL PROPERTIES		
Colour	White	
Diameter	10 mm	
Density	2200 Kg/m <sup>3</sup>	
Components	Alkali Resistant Glass Fibre	
	85%W	ASTM D2584
	Vinyl ester	
	15%W	ASTM D2584

MECHANICAL PROPERTIES (For stresses the values stated correspond to Media-3xStandardDeviation to ensure them; for modulus it corresponds to the Media)		
	Value	Test Method
Ultimate Strength	1059 MPa	ACI 440.3R
Tensile Modulus	48.7 GPa	ACI 440.3R
Elongation at break	2.38 %	ACI 440.3R
Flexural Strength	580 MPa	ASTM D4476
Flexural Modulus	36.5 GPa	ASTM D4476
Poisson's Ratio	0.3	

BONDING TO CONCRETE (The values correspond to the media value)		
	Value	Test Method
Maximum bonding strength	22 MPa	Internal method following ISIS recommendation
Bonding strength (displacement 0.25mm)	14.5 MPa	Internal method following ISIS recommendation
Bonding strength (displacement 0.1mm)	11.5 MPa	Internal method following ISIS recommendation
Bonding strength (displacement 0.05mm)	9.5 MPa	Internal method following ISIS recommendation



**Applications:**

- Constructions under aggressive environments: saline atmosphere, seaside, mines...
- Concrete reinforcement to reduce weight
- Electricity towers
- Telecommunication towers
- Construction in airports or telecommunication facilities
- Constructions where magnetic resonances are carried out
- Decorative concrete elements, balustrades...
- Reinforcement and reparation of structures

## Załącznik 2



INDUSTRIAL & CIVIL WORKS DIVISION

## Technical note about FRP rebar tensile strength laboratory test

---

It is very complicate to define the tensile strength of frp rebars.

For a good understanding we have to start from some theoretical concepts.

FRP rebars are made in polyester resin (thermosetting) reinforced with unidirectional glass fibre ( E type) that is totally oriented in one direction (axis of bar).

The % of fibres in the section of bar is about 65% in volume (really close to maximum theoretical value).

From theoretical point of view, the mechanical properties of composite material in axial direction, can be calculated as an average value of characteristics of matrix and fibres.

So if is X the generical property of UD composite material that we want calculate and Xf, Xr, Vf, Vr are:

- Xf property of fibre
- Vr property of resin
- Vf volume content of fibre
- Vr volume content of resin

Theoretical value for X is:

$$X = V_f \cdot X_f + V_r \cdot X_r$$

In the case of FRP rebars:

- Glass fibers have the following properties:
  - Elastic Modulus 70 GPa
  - Tensile Strength 2400 MPa
- For resin
  - Elastic Modulus 3 GPa
  - Tensile Strength 30 MPa

So it is evident that, practically the tensile properties depend only from fibres (% and direction).

In fact we can affirm that not big difference can be observed in terms of tensile strength on pultruded rebar in the market. (at the and all producers use the same glass fibre type). Of course the differences (also big differences) can be observed in terms of improved adherence, chemical resistance etc.

So it is possible to affirm that a bar with 65% in volume of ud glass fibers has a theoretical tensile strength of more than 1000 MPa and that this value not depends from diameter of bar.



The problem is that is very difficult to make tensile test.

It is difficult mainly for two reasons:

- The material is very strong and very strongly anisotropic
- The stress/strain diagram of material is linear until the failure without plastic phase.

The problems related to anisotropic properties, during tensile test, can cause anomalous fracture in material (for example near the clamping device of equipment), and the absence of a plastic phase, do not promote the uniform distribution of strength inside the section that is necessary for example in the case of realignment of the stress or in the case of big diameter of bar.

The standard for testing, typically, are not completely enough to give the possibility of exporting test results by one laboratory to another without big differences.

To be more complicate, we have to observe that ACI 444, 3R (the standard to which normally we refer for this type of material) prescribe the use of a characteristic value for tensile strength. It means that for a statistic calculation we have to consider the standard deviation on results of test that may be very important (and it is so big for big diameter).

The value that we write in our technical data sheet, take in consideration all these aspects and put us in a prudent position in the case of a dispute with management of job site.

In conclusion, we can also confirm the values that you have in "specification", but would be important to know the approach of management ( we know also that some competitor declares without any problem 1000 MPa of tensile strength for all diameters).

ATP srl  
Technical department