



jakość w budownictwie

INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ  
ZESPÓŁ LABORATORIÓW BADAWCZYCH

Strona 1 z 23

ZAKŁAD KONSTRUKCJI I ELEMENTÓW BUDOWLANYCH  
LABORATORIUM KONSTRUKCJI I ELEMENTÓW BUDOWLANYCH LK

## RAPORT Z BADAŃ NR LK00-01111/14/Z00NK

Klient: TRIMAL Polska Sp. z o.o.  
Adres klienta: ul. Konduktorska 42, 40-155 Katowice

### Informacje dotyczące obiektu badań

Obiekt badań: Pręty kompozytowe Armastek do zbrojenia betonu  
Data przyjęcia obiektu badań: 06.10.2014  
Nr protokołu przyjęcia obiektu: LK00-01111/14/Z00NK  
Procedura przyjęcia obiektu badań: Procedury Zarządzania ZLB nr 18

### Informacje dotyczące badań

Data rozpoczęcia badań: 28.01.2015  
Data zakończenia badań: 08.05.2015

### Wykonawcy badań:

dr inż. Przemysław Więch  
mgr inż. Jacek Głodkiewicz

LABORATORIUM KONSTRUKCJI I ELEMENTÓW BUDOWLANYCH LK

Warszawa | ul. Filtrowa 1 | tel. (0-22) 57-96-165; 825-80-28 | fax (0-22) 57-96-189 |

Instytut Techniki Budowlanej

00-611 Warszawa | ul. Filtrowa 1 | tel. 22 825 04 71 | fax 22 825 52 86 | Dyrektor tel. 22 825 28 85 | 22 825 13 03 | fax 22 825 77 30 |  
02-656 Warszawa | ul. Ksawerów 21 | tel. 22 843 14 71 | fax 22 843 29 31 | KRS: 0000158785 | Regon: 000063650 | NIP: 525 000 93 58 |  
PKO S.A. O/Warszawa | ul. Nowogrodzka 11 | 00-513 Warszawa | nr konta 77124059181111000049134568 | www.itb.pl | instytut@itb.pl

## 1. METODA PROCEDURA / BADANIA:

- a) Doraźna wytrzymałość na rozciąganie i moduł sprężystości wg opisu w p.3.1
- b) Doraźna wytrzymałość na zginanie wg opisu w p.3.2
- c) Doraźna wytrzymałość na ścinanie wg opisu w p.3.3
- d) Doraźna wytrzymałość na ściskanie równoległe do włókien wg opisu w p.3.4
- d) Pole przekroju i geometria użebrowania wg opisu w p.3.5
- e) Odporność na alkalia wg opisu w p.3.6
- f) Pełzanie wg opisu w p.3.7
- g) Przyczepność do betonu wg opisu w punkcie 3.8

## 2. ELEMENTY DO BADAŃ

Elementami do badań są pręty do zbrojenia betonu wykonane z kompozytu epoksydowo-szklanego (GFRP). Pręty zaopatrzone są na swojej powierzchni w oplot wykonany z nici z włókna szklanego impregnowanej żywicą epoksydową mający za zadanie zwiększenie przyczepności do betonu i pełniący tym samym rolę analogiczną jak użebrowanie w stalowych prętach zbrojeniowych.

Próbki przeznaczone do badania wytrzymałości na rozciąganie oraz przyczepności do betonu producent zaopatrzył w umieszczone na ich końcach okucia wykonane z odcinków stalowych rur, w które wklejono pręty przy użyciu żywicy epoksydowej. Okucia te miały na celu umożliwienie uchwycenia próbek w szczękach maszyny wytrzymałościowej.

Na próbkach przeznaczonych do badania pełzania oraz odporności na alkalia okucia zostały wykonane w ITB przy wykorzystaniu rur 26,9x3,2mm gatunku S355 oraz żywicy epoksydowej Epidian 62 i utwardzacza Z-1.

## 3. OPIS METODY BADAŃ

### 3.1 Doraźna wytrzymałość na rozciąganie i moduł sprężystości

Badanie należy przeprowadzać jak dla próbek metalowych wg PN-EN ISO 6892-1, stosując próbki o swobodnej długości pomiędzy uchwytami wynoszącej min. 25 średnic próbki. Zamocowanie próbki w maszynie wytrzymałościowej należy wykonać w sposób wykluczający zmiażdżenie próbki bądź jej wysunięcie z uchwytu. Jako moduł odkształcalności podłużnej należy przyjmować sieczny moduł  $E_{T,i}$  dla odkształceń wywołanych 0,2 i 0,5 siły niszczącej. Doraźną wytrzymałość na rozciąganie  $R_{T,i}$  stanowi największa siła  $F_{T,i}$  zarejestrowana w trakcie badania odniesiona do nominalnego pola powierzchni przekroju próbki.

### 3.2 Doraźna wytrzymałość na zginanie

Badania należy przeprowadzać w maszynie wytrzymałościowej kl.I, na próbce swobodnie podpartej obciążonej pojedynczą siłą w środku rozpiętości. Rozstaw podpór w badaniu powinien być równy 10 średnicom nominalnym próbki. Średnica trzpienia powinna być równa średnicy nominalnej badanej próbki. Jako wynik badania należy podawać maksymalną wartość naprężeń normalnych w próbce określaną ze wzoru

$$R_{B,i} = 8 \cdot F_m \cdot L / (\pi \cdot d_s^3) \quad (1)$$

gdzie

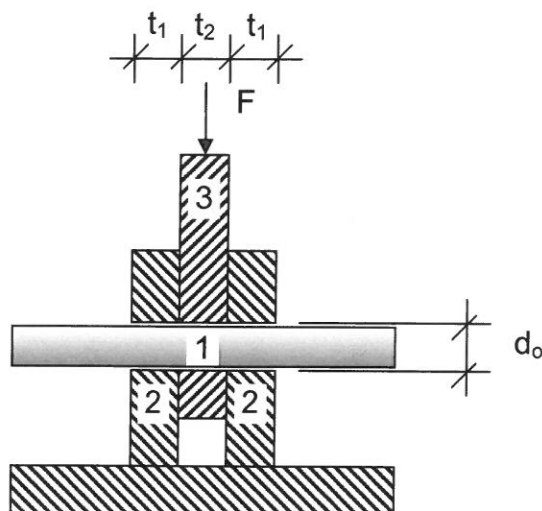
$F_m$  – maksymalna siła uzyskana w badaniu,

$L$  – rozstaw podpór

$d_s$  – nominalna średnica badanego pręta

### 3.3 Doraźna wytrzymałość na ścinanie

Badanie przeprowadzane jest zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1.



Rys.1 – Schemat badania wytrzymałości na ścinanie

Próbka „1” przechodzi przez otwory wykonane w blachach „2” podstawy oraz ruchomego ostrza „3”. Grubości  $t_1$  oraz  $t_2$  powinny być nie mniejsze od średnicy otworu w blaszce  $d_0$ . Średnica otworu  $d_0$  powinna zapewniać możliwie ścisłe pasowanie próbki.

Badania należy dokonywać w maszynie wytrzymałościowej klasy I. Obciążenie powinno być przykładane z prędkością  $5 \div 15 \text{ mm/min}$  aż do zniszczenia próbki.

Doraźną wytrzymałość na ścinanie  $R_{S,i}$  stanowi połowa maksymalnej siły otrzymanej w badaniu odniesiona do powierzchni nominalnej próbki.

### 3.4 Doraźna wytrzymałość na ściskanie równoległe do włókien

Badanie wytrzymałości na ściskanie należy przeprowadzać maszynie wytrzymałościowej kl.I, na próbkach o swobodnej długości pomiarowej wynoszącej 3 średnice nominalne badanego pręta. Podczas badania należy zapewnić mocowanie próbki w maszynie w sposób zabezpieczający jej końce przed rozszczepieniem. Doraźną wytrzymałość na ściskanie  $R_{C,i}$  stanowi największa siła zarejestrowana w trakcie badania odniesiona do nominalnego pola powierzchni przekroju próbki.

### 3.5 Pole przekroju i geometria uźebrowania

Określenie pola przekroju należy przeprowadzić wg metody przedstawionej dla żebrowanych prętów zbrojeniowych w normie PN-EN ISO 15630-1. Jako gęstość materiału należy do obliczeń przyjąć wartość  $2150 \text{ kg/m}^3$ .

Określenie geometrii uźebrowania obejmuje pomiar średnicy wewnętrznej pręta, średnicy zewnętrznej pręta wraz z opłotem oraz skoku opłotu. Pomiaru średnic zewnętrznej i wewnętrznej należy dokonywać w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach w min. 3 punktach pomiarowych dla każdej próbki. Pomiar skoku opłotu należy przeprowadzać na odcinku obejmującym przynajmniej jego 10-krotność. Do pomiaru należy stosować przyrządy zapewniające rozdzielczość pomiaru min.  $0,01 \text{ mm}$  oraz niepewność standardową pojedynczego pomiaru nie większą niż  $0,07 \text{ mm}$ .

### 3.6 Odporność na alkalia

Badanie odporności na alkalia obejmuje przetrzymanie próbek w roztworze  $8 \text{ g NaOH} + 22,4 \text{ g KOH}$  na  $1000 \text{ ml}$  wody w temperaturze  $60^\circ \text{C}$  w ciągu  $1000 \text{ h}$ . Po kondycjonowaniu określana jest wytrzymałość próbek na rozciąganie  $R_{T,a,1000}$  wg p.3.1 a następnie, w oparciu o średnią wytrzymałość na rozciąganie próbek przed kondycjonowaniem  $R_{T,i,av}$  określany współczynnik  $C_{a,1000}$  ze wzoru:

$$C_{a,1000} = (1 - R_{T,a,1000}/R_{T,i,av}) \cdot 100\% \quad (2)$$

Dopuszczalne jest zastosowanie krótszego czasu kondycjonowania, jednak wynoszącego nie mniej niż  $336 \text{ h}$  (14 dni). W takim przypadku należy dokonać ekstrapolacji uzyskanych wyników korzystając z zależności:

$$C_{a,1000} = (1 - 10^{3 \cdot \log(R_{T,a,t}/R_{T,i,av})/\log(t)}) \cdot 100\% \quad (3)$$

gdzie:

$t$  – czas kondycjonowania próbki w godzinach

$R_{T,t,a}$  – wytrzymałość próbki na rozciąganie po  $t$  godzinach

### 3.7 Pełzanie

Badanie należy przeprowadzać na urządzeniach i w warunkach spełniających wymagania jak dla badania relaksacji izotermicznej wg PN-EN-ISO 15630-3. Badanie należy przeprowadzić na min. 5 próbkach przy obciążeniu początkowym  $F_i$  równym  $C_c + 2\%$ ,  $C_c + 1\%$ ,  $C_c$ ,  $C_c - 1\%$ ,  $C_c - 2\%$  średniej wytrzymałości na rozciąganie  $F_{T,i,av}$  określonej zgodnie z p.3.1.  $C_c$  stanowi deklarowaną przez producenta wartość spadku nośności spowodowanego pełzaniem po upływie  $1000 \text{ h}$ . Obciążenie należy przyłożyć w sposób jak dla badania relaksacji izotermicznej wg PN-EN-ISO 15630-3. W trakcie badania należy utrzymywać stałą siłę z dokładnością min.  $\pm 0,5\%$  i dokonywać rejestracji odkształceń przynajmniej w następujących odcinkach czasu od zakończenia przykładania obciążenia:  $5 \text{ min}$ ;  $30 \text{ min}$ ;  $1 \text{ h}$ ;  $2 \text{ h}$ ;  $4 \text{ h}$ ;  $24 \text{ h}$ ;  $48 \text{ h}$ ;  $120 \text{ h}$ ;  $240 \text{ h}$  a po upływie  $240 \text{ h}$  nie rzadziej niż raz w tygodniu.

Stanowisko pomiarowe powinno być zaopatrzone w urządzenie umożliwiające określenie momentu zniszczenia próbki z dokładnością przynajmniej do  $1 \text{ min}$ .

Przeliczenia czasu do zniszczenia próbki  $t$  obciążonej siłą początkową  $F_i$  na spadek nośności po 1000h dokonuje się korzystając z zależności:

$$C_{c,1000} = (1 - 10^{3 \cdot \log(F_i / F_{T,i,av}) / \log(t)}) \cdot 100\% \quad (4)$$

### 3.8 Przyczepność do betonu

Badanie przyczepności do betonu należy przeprowadzać stosując metodę wg załącznika D normy PN-EN 10080. W trakcie badania należy określić wartości siły dla minimum trzech wartości poślizgu wynoszących 0,01mm; 0,1mm oraz 1,0mm oraz maksymalną siłę towarzyszącą utracie przyczepności. Wynikiem badania są średnia wartość naprężenia  $\tau_m$  dla wartości poślizgu 0,01mm; 0,1mm i 1,0mm oraz naprężenie utraty przyczepności  $\tau_r$ . Zamocowanie swobodnego końca pręta w maszynie wytrzymałościowej należy wykonać w sposób wykluczający jego zmiążdżenie bądź wysunięcie z uchwytu.

## 4. WYNIKI BADAŃ

### 4.1 Doraźna wytrzymałość na rozciąganie i moduł sprężystości

Tablica 1

| Lp                                                                             | Oznaczenie próbki | Średnica nominalna | Pole przekroju  | Doraźny moduł odkształcalności podłużnej | Doraźna wytrzymałość na rozciąganie | Uwagi |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|------------------------------------------|-------------------------------------|-------|
|                                                                                |                   |                    | $S_0$           | $E_{T,i}$                                | $R_{T,i}$                           |       |
|                                                                                |                   | mm                 | mm <sup>2</sup> | GPa                                      | MPa                                 |       |
| 1                                                                              | LK1111/14/8/1     | 8,0                | 50,3            | 52,6                                     | 1454                                |       |
| 2                                                                              | LK1111/14/8/2     | 8,0                | 50,3            | 51,3                                     | 1375                                |       |
| 3                                                                              | LK1111/14/8/3     | 8,0                | 50,3            | 51,6                                     | 1536                                |       |
| 4                                                                              | LK1111/14/8/4     | 8,0                | 50,3            | 51,9                                     | 1339                                |       |
| 5                                                                              | LK1111/14/8/5     | 8,0                | 50,3            | 50,7                                     | 1512                                |       |
| 6                                                                              | LK1111/14/8/6     | 8,0                | 50,3            | 51,2                                     | 1494                                |       |
| 7                                                                              | LK1111/14/8/7     | 8,0                | 50,3            | 54,5                                     | 1399                                |       |
| 8                                                                              | LK1111/14/8/8     | 8,0                | 50,3            | 54,8                                     | 1494                                |       |
| 9                                                                              | LK1111/14/8/9     | 8,0                | 50,3            | 52,7                                     | 1538                                |       |
| 10                                                                             | LK1111/14/8/10    | 8,0                | 50,3            | 52,7                                     | 1540                                |       |
| Wartości średnie                                                               |                   |                    |                 | 52,4                                     | 1468                                |       |
| Odchylenie standardowe                                                         |                   |                    |                 | 1,4                                      | 73                                  |       |
| Współczynnik zmienności $v$ %                                                  |                   |                    |                 | 2,6                                      | 5,0                                 |       |
| Niepewność rozszerzona pojedynczego pomiaru przy poziomie ufności ok.95% (K=2) |                   |                    |                 | $\pm 1,4$                                | $\pm 18$                            |       |

Tablica 2

| Lp                                                                             | Oznaczenie próbki | Średnica nominalna<br>mm | Pole przekroju  | Doraźny moduł odkształcalności podłużnej | Doraźna wytrzymałość na rozciąganie | Uwagi |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------|------------------------------------------|-------------------------------------|-------|
|                                                                                |                   |                          | $S_0$           | $E_{T,i}$                                | $R_{T,i}$                           |       |
|                                                                                |                   |                          | mm <sup>2</sup> | GPa                                      | MPa                                 |       |
| 1                                                                              | LK1111/14/12/1    | 12,0                     | 113             | 49,9                                     | 1300                                |       |
| 2                                                                              | LK1111/14/12/2    | 12,0                     | 113             | 48,9                                     | 1332                                |       |
| 3                                                                              | LK1111/14/12/3    | 12,0                     | 113             | 50,9                                     | 1144                                |       |
| 4                                                                              | LK1111/14/12/4    | 12,0                     | 113             | 49,1                                     | 1167                                |       |
| 5                                                                              | LK1111/14/12/5    | 12,0                     | 113             | 49,7                                     | 1110                                |       |
| 6                                                                              | LK1111/14/12/6    | 12,0                     | 113             | 53,4                                     | -                                   | 1)    |
| 7                                                                              | LK1111/14/12/7    | 12,0                     | 113             | 50,0                                     | 1126                                |       |
| 8                                                                              | LK1111/14/12/8    | 12,0                     | 113             | 49,9                                     | 1123                                |       |
| Wartości średnie                                                               |                   |                          |                 | 50,2                                     | 1186                                |       |
| Odchylenie standardowe                                                         |                   |                          |                 | 1,4                                      | 91                                  |       |
| Współczynnik zmienności $v$ %                                                  |                   |                          |                 | 2,9                                      | 7,7                                 |       |
| Niepewność rozszerzona pojedynczego pomiaru przy poziomie ufności ok.95% (K=2) |                   |                          |                 | $\pm 1,3$                                | $\pm 15$                            |       |
| 1) wysunięcie próbki z tulei                                                   |                   |                          |                 |                                          |                                     |       |

Tablica 3

| Lp                                                                             | Oznaczenie próbki | Średnica nominalna<br>mm | Pole przekroju  | Doraźny moduł odkształcalności podłużnej | Doraźna wytrzymałość na rozciąganie | Uwagi |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------|------------------------------------------|-------------------------------------|-------|
|                                                                                |                   |                          | $S_0$           | $E_{T,i}$                                | $R_{T,i}$                           |       |
|                                                                                |                   |                          | mm <sup>2</sup> | GPa                                      | MPa                                 |       |
| 1                                                                              | LK1111/14/18/1    | 18,0                     | 254             | 52,1                                     | -                                   |       |
| 2                                                                              | LK1111/14/18/2    | 18,0                     | 254             | 54,6                                     | -                                   |       |
| 3                                                                              | LK1111/14/18/3    | 18,0                     | 254             | 53,7                                     | -                                   |       |
| 4                                                                              | LK1111/14/18/4    | 18,0                     | 254             | 50,6                                     | -                                   |       |
| 5                                                                              | LK1111/14/18/5    | 18,0                     | 254             | 50,4                                     | -                                   |       |
| 6                                                                              | LK1111/14/18/6    | 18,0                     | 254             | 51,1                                     | -                                   |       |
| 7                                                                              | LK1111/14/18/7    | 18,0                     | 254             | 50,0                                     | -                                   |       |
| 8                                                                              | LK1111/14/18/8    | 18,0                     | 254             | 50,0                                     | -                                   |       |
| 9                                                                              | LK1111/14/18/9    | 18,0                     | 254             | 52,8                                     | -                                   |       |
| 10                                                                             | LK1111/14/8/10    | 18,0                     | 254             | 52,5                                     | -                                   |       |
| Wartości średnie                                                               |                   |                          |                 | 52,4                                     | -                                   |       |
| Odchylenie standardowe                                                         |                   |                          |                 | 1,4                                      | -                                   |       |
| Współczynnik zmienności $v$ %                                                  |                   |                          |                 | 2,6                                      | -                                   |       |
| Niepewność rozszerzona pojedynczego pomiaru przy poziomie ufności ok.95% (K=2) |                   |                          |                 | $\pm 1,4$                                | -                                   |       |

Dla prętów o średnicy 18mm nie udało się określić wytrzymałości na rozciąganie ze względu na niewystarczającą wytrzymałość wykonanych przez producenta zakończeń próbek.

#### 4.2 Doraźna wytrzymałość na zginanie

#### Tablica 4

[illegible]

### Tablica 5

[illegible]

Tablica 6

| Lp                                                                             | Oznaczenie próbki | Średnica nominalna | Pole przekroju  | Maksymalna siła | Doraźna wytrzymałość na zginanie | Uwagi |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-------|
|                                                                                |                   |                    | $S_0$           | $F_m$           | $R_{B,i}$                        |       |
|                                                                                |                   | mm                 | mm <sup>2</sup> | kN              | MPa                              |       |
| 1                                                                              | LK1111/14/18/31   | 18,0               | 254             | 8,050           | 738                              |       |
| 2                                                                              | LK1111/14/18/32   | 18,0               | 254             | 9,000           | 825                              |       |
| 3                                                                              | LK1111/14/18/33   | 18,0               | 254             | 9,140           | 838                              |       |
| 4                                                                              | LK1111/14/18/34   | 18,0               | 254             | 9,110           | 835                              |       |
| 5                                                                              | LK1111/14/18/35   | 18,0               | 254             | 8,230           | 755                              |       |
| 6                                                                              | LK1111/14/18/36   | 18,0               | 254             | 8,610           | 789                              |       |
| 7                                                                              | LK1111/14/18/37   | 18,0               | 254             | 8,260           | 757                              |       |
| 8                                                                              | LK1111/14/18/38   | 18,0               | 254             | 8,930           | 819                              |       |
| 9                                                                              | LK1111/14/18/39   | 18,0               | 254             | 8,420           | 772                              |       |
| 10                                                                             | LK1111/14/18/40   | 18,0               | 254             | 9,430           | 865                              |       |
| Wartości średnie                                                               |                   |                    |                 | 8,718           | 799                              |       |
| Odchylenie standardowe                                                         |                   |                    |                 | 0,466           | 43                               |       |
| Współczynnik zmienności $v$ %                                                  |                   |                    |                 | 5,3             | 5,3                              |       |
| Niepewność rozszerzona pojedynczego pomiaru przy poziomie ufności ok.95% (K=2) |                   |                    |                 | $\pm 0,109$     | $\pm 10$                         |       |
| Rozstaw podpór = 210mm, średnica trzpienia = 18mm                              |                   |                    |                 |                 |                                  |       |

#### 4.3 Doraźna wytrzymałość na ścinanie

Tablica 7

| Lp                                                                             | Oznaczenie próbki | Średnica nominalna | Pole przekroju  | Doraźna wytrzymałość na ścinanie | Uwagi |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|----------------------------------|-------|
|                                                                                |                   |                    | $S_0$           | $R_{S,i}$                        |       |
|                                                                                |                   | mm                 | mm <sup>2</sup> | MPa                              |       |
| 1                                                                              | LK1111/14/8/21    | 8,0                | 50,3            | 185,5                            |       |
| 2                                                                              | LK1111/14/8/22    | 8,0                | 50,3            | 223,8                            |       |
| 3                                                                              | LK1111/14/8/23    | 8,0                | 50,3            | 185,5                            |       |
| 4                                                                              | LK1111/14/8/24    | 8,0                | 50,3            | 203,9                            |       |
| 5                                                                              | LK1111/14/8/25    | 8,0                | 50,3            | 184,0                            |       |
| 6                                                                              | LK1111/14/8/26    | 8,0                | 50,3            | 191,5                            |       |
| 7                                                                              | LK1111/14/8/27    | 8,0                | 50,3            | 213,4                            |       |
| 8                                                                              | LK1111/14/8/28    | 8,0                | 50,3            | 198,9                            |       |
| 9                                                                              | LK1111/14/8/29    | 8,0                | 50,3            | 228,3                            |       |
| 10                                                                             | LK1111/14/8/30    | 8,0                | 50,3            | 196,5                            |       |
| Wartości średnie                                                               |                   |                    |                 | 201,1                            |       |
| Odchylenie standardowe                                                         |                   |                    |                 | 16,0                             |       |
| Współczynnik zmienności $v$ %                                                  |                   |                    |                 | 8,0                              |       |
| Niepewność rozszerzona pojedynczego pomiaru przy poziomie ufności ok.95% (K=2) |                   |                    |                 | $\pm 2,6$                        |       |

Tablica 8

| Lp                                                                             | Oznaczenie próbki | Średnica nominalna | Pole przekroju  | Doraźna wytrzymałość na ścinanie | Uwagi |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|----------------------------------|-------|
|                                                                                |                   |                    | $S_0$           | $R_{S,i}$                        |       |
|                                                                                |                   | mm                 | mm <sup>2</sup> | MPa                              |       |
| 1                                                                              | LK1111/14/12/21   | 12,0               | 113             | 155,8                            |       |
| 2                                                                              | LK1111/14/12/22   | 12,0               | 113             | 159,2                            |       |
| 3                                                                              | LK1111/14/12/23   | 12,0               | 113             | 153,0                            |       |
| 4                                                                              | LK1111/14/12/24   | 12,0               | 113             | 158,0                            |       |
| 5                                                                              | LK1111/14/12/25   | 12,0               | 113             | 170,0                            |       |
| 6                                                                              | LK1111/14/12/26   | 12,0               | 113             | 179,0                            |       |
| 7                                                                              | LK1111/14/12/27   | 12,0               | 113             | 168,0                            |       |
| 8                                                                              | LK1111/14/12/28   | 12,0               | 113             | 170,4                            |       |
| 9                                                                              | LK1111/14/12/29   | 12,0               | 113             | 165,1                            |       |
| 10                                                                             | LK1111/14/12/30   | 12,0               | 113             | 149,9                            |       |
| Wartości średnie                                                               |                   |                    |                 | 162,8                            |       |
| Odchylenie standardowe                                                         |                   |                    |                 | 9,2                              |       |
| Współczynnik zmienności $v$ %                                                  |                   |                    |                 | 5,6                              |       |
| Niepewność rozszerzona pojedynczego pomiaru przy poziomie ufności ok.95% (K=2) |                   |                    |                 | $\pm 2,1$                        |       |

Tablica 9

| Lp                                                                             | Oznaczenie próbki | Średnica nominalna | Pole przekroju  | Doraźna wytrzymałość na ścinanie | Uwagi |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|----------------------------------|-------|
|                                                                                |                   |                    | $S_0$           | $R_{S,i}$                        |       |
|                                                                                |                   | mm                 | mm <sup>2</sup> | MPa                              |       |
| 1                                                                              | LK1111/14/18/21   | 18,0               | 254             | 161,1                            |       |
| 2                                                                              | LK1111/14/18/22   | 18,0               | 254             | 163,1                            |       |
| 3                                                                              | LK1111/14/18/23   | 18,0               | 254             | 159,2                            |       |
| 4                                                                              | LK1111/14/18/24   | 18,0               | 254             | 166,2                            |       |
| 5                                                                              | LK1111/14/18/25   | 18,0               | 254             | 170,3                            |       |
| 6                                                                              | LK1111/14/18/26   | 18,0               | 254             | 176,2                            |       |
| 7                                                                              | LK1111/14/18/27   | 18,0               | 254             | 180,6                            |       |
| 8                                                                              | LK1111/14/18/28   | 18,0               | 254             | 174,7                            |       |
| 9                                                                              | LK1111/14/18/29   | 18,0               | 254             | 170,9                            |       |
| 10                                                                             | LK1111/14/18/30   | 18,0               | 254             | 164,7                            |       |
| Wartości średnie                                                               |                   |                    |                 | 168,7                            |       |
| Odchylenie standardowe                                                         |                   |                    |                 | 7,0                              |       |
| Współczynnik zmienności $v$ %                                                  |                   |                    |                 | 4,2                              |       |
| Niepewność rozszerzona pojedynczego pomiaru przy poziomie ufności ok.95% (K=2) |                   |                    |                 | $\pm 2,1$                        |       |

#### 4.4 Doraźna wytrzymałość na ściskanie równoległe do włókien

Tablica 10

| Lp                                                                             | Oznaczenie próbki | Średnica nominalna<br>mm | Pole przekroju  | Doraźna wytrzymałość na ściskanie | Uwagi |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------|
|                                                                                |                   |                          | $S_0$           | $R_{C,i}$                         |       |
|                                                                                |                   |                          | mm <sup>2</sup> | MPa                               |       |
| 1                                                                              | LK1111/14/8/11    | 8,0                      | 50,3            | 469,5                             |       |
| 2                                                                              | LK1111/14/8/12    | 8,0                      | 50,3            | 569,0                             |       |
| 3                                                                              | LK1111/14/8/13    | 8,0                      | 50,3            | 650,5                             |       |
| 4                                                                              | LK1111/14/8/14    | 8,0                      | 50,3            | 451,6                             |       |
| 5                                                                              | LK1111/14/8/15    | 8,0                      | 50,3            | 495,4                             |       |
| 6                                                                              | LK1111/14/8/16    | 8,0                      | 50,3            | 457,6                             |       |
| 7                                                                              | LK1111/14/8/17    | 8,0                      | 50,3            | 531,2                             |       |
| 8                                                                              | LK1111/14/8/18    | 8,0                      | 50,3            | 517,3                             |       |
| 9                                                                              | LK1111/14/8/19    | 8,0                      | 50,3            | 582,9                             |       |
| 10                                                                             | LK1111/14/8/20    | 8,0                      | 50,3            | 769,9                             |       |
| Wartości średnie                                                               |                   |                          |                 | 549,5                             |       |
| Odchylenie standardowe                                                         |                   |                          |                 | 99,5                              |       |
| Współczynnik zmienności $v$ %                                                  |                   |                          |                 | 18,1                              |       |
| Niepewność rozszerzona pojedynczego pomiaru przy poziomie ufności ok.95% (K=2) |                   |                          |                 | $\pm 8,9$                         |       |

Tablica 11

| Lp                                                                             | Oznaczenie próbki | Średnica nominalna<br>mm | Pole przekroju  | Doraźna wytrzymałość na ściskanie | Uwagi |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------|
|                                                                                |                   |                          | $S_0$           | $R_{C,i}$                         |       |
|                                                                                |                   |                          | mm <sup>2</sup> | MPa                               |       |
| 1                                                                              | LK1111/14/12/11   | 12,0                     | 113             | 415,6                             |       |
| 2                                                                              | LK1111/14/12/12   | 12,0                     | 113             | 523,4                             |       |
| 3                                                                              | LK1111/14/12/13   | 12,0                     | 113             | 527,9                             |       |
| 4                                                                              | LK1111/14/12/14   | 12,0                     | 113             | 534,1                             |       |
| 5                                                                              | LK1111/14/12/15   | 12,0                     | 113             | 604,8                             |       |
| 6                                                                              | LK1111/14/12/16   | 12,0                     | 113             | 588,0                             |       |
| 7                                                                              | LK1111/14/12/17   | 12,0                     | 113             | 513,7                             |       |
| 8                                                                              | LK1111/14/12/18   | 12,0                     | 113             | 591,5                             |       |
| 9                                                                              | LK1111/14/12/19   | 12,0                     | 113             | 539,4                             |       |
| 10                                                                             | LK1111/14/12/20   | 12,0                     | 113             | 609,2                             |       |
| Wartości średnie                                                               |                   |                          |                 | 544,8                             |       |
| Odchylenie standardowe                                                         |                   |                          |                 | 58,1                              |       |
| Współczynnik zmienności $v$ %                                                  |                   |                          |                 | 10,7                              |       |
| Niepewność rozszerzona pojedynczego pomiaru przy poziomie ufności ok.95% (K=2) |                   |                          |                 | $\pm 7,1$                         |       |

Tablica 12

| Lp                                                                                 | Oznaczenie próbki | Średnica nominalna | Pole przekroju  | Doraźna wytrzymałość na ściskanie | Uwagi |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------------|-------|
|                                                                                    |                   |                    | $S_0$           | $R_{C,i}$                         |       |
|                                                                                    |                   | mm                 | mm <sup>2</sup> | MPa                               |       |
| 1                                                                                  | LK1111/14/18/11   | 18,0               | 254             | 558,4                             |       |
| 2                                                                                  | LK1111/14/18/12   | 18,0               | 254             | 609,1                             |       |
| 3                                                                                  | LK1111/14/18/13   | 18,0               | 254             | 483,4                             |       |
| 4                                                                                  | LK1111/14/18/14   | 18,0               | 254             | 578,5                             |       |
| 5                                                                                  | LK1111/14/18/15   | 18,0               | 254             | 719,9                             |       |
| 6                                                                                  | LK1111/14/18/16   | 18,0               | 254             | 672,0                             |       |
| 7                                                                                  | LK1111/14/18/17   | 18,0               | 254             | 672,0                             |       |
| 8                                                                                  | LK1111/14/18/18   | 18,0               | 254             | 672,8                             |       |
| 9                                                                                  | LK1111/14/18/19   | 18,0               | 254             | 620,9                             |       |
| 10                                                                                 | LK1111/14/18/20   | 18,0               | 254             | 604,0                             |       |
| Wartości średnie                                                                   |                   |                    |                 | 619,1                             |       |
| Odchylenie standardowe                                                             |                   |                    |                 | 68,9                              |       |
| Współczynnik zmienności $v$ %                                                      |                   |                    |                 | 11,1                              |       |
| Niepewność rozszerzona pojedynczego pomiaru przy poziomie ufności ok.95% ( $K=2$ ) |                   |                    |                 | $\pm 8,4$                         |       |

## 4.5 Pole przekroju i geometria uźebrowania

Tablica 13

| Średn.<br>nom.                                               | Nr próbki      | Powierzchnia<br>przekroju<br>określona wagowo | Wymiary żeber  |                |                |                    | Średnia<br>odniesiona<br>powierzchnia<br>żebra |
|--------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|------------------------------------------------|
|                                                              |                |                                               | Średnica       |                | Skok oplotu    | Wysokość<br>oplotu |                                                |
|                                                              |                |                                               | wewnętrzna     | zewnętrzna     |                |                    |                                                |
| d <sub>s</sub>                                               |                | A                                             | d <sub>i</sub> | d <sub>e</sub> | c <sub>s</sub> | h <sub>s</sub>     | f <sub>p</sub>                                 |
| mm                                                           |                | mm <sup>2</sup>                               | mm             | mm             | mm             | mm                 | -                                              |
| 8,0                                                          | LK1111/14/8/41 | 51,816                                        | 7,84           | 9,70           | 6,686          | 0,825              | 0,123                                          |
|                                                              |                |                                               | 8,08           | 9,72           |                |                    |                                                |
|                                                              |                |                                               | 7,97           | 9,66           |                |                    |                                                |
|                                                              |                |                                               | 7,94           | 9,12           |                |                    |                                                |
|                                                              |                |                                               | 7,90           | 9,38           |                |                    |                                                |
|                                                              |                |                                               | 7,89           | 9,92           |                |                    |                                                |
| Wartości średnie                                             |                |                                               | 7,94           | 9,59           | 6,686          | 0,82               |                                                |
| s                                                            |                |                                               | 0,08           | 0,29           | -              | -                  |                                                |
| Niepewność rozszerzona przy<br>poziomie ufności ok.95% (K=2) |                | ± 0,060                                       | ± 0,13         | ± 0,26         | ± 0,012        | ± 0,15             | ± 0,022                                        |
| 8,0                                                          | LK1111/14/8/42 | 52,149                                        | 7,84           | 9,32           | 6,686          | 0,797              | 0,119                                          |
|                                                              |                |                                               | 8,08           | 9,48           |                |                    |                                                |
|                                                              |                |                                               | 7,97           | 9,54           |                |                    |                                                |
|                                                              |                |                                               | 7,94           | 9,62           |                |                    |                                                |
|                                                              |                |                                               | 7,90           | 9,48           |                |                    |                                                |
|                                                              |                |                                               | 7,89           | 9,72           |                |                    |                                                |
| Wartości średnie                                             |                |                                               | 7,94           | 9,53           | 6,686          | 0,80               |                                                |
| s                                                            |                |                                               | 0,08           | 0,14           | -              | -                  |                                                |
| Niepewność rozszerzona przy<br>poziomie ufności ok.95% (K=2) |                | ± 0,061                                       | ± 0,13         | ± 0,16         | ± 0,012        | ± 0,10             | ± 0,016                                        |
| 8,0                                                          | LK1111/14/8/43 | 52,046                                        | 7,84           | 9,36           | 6,686          | 0,783              | 0,117                                          |
|                                                              |                |                                               | 8,08           | 9,50           |                |                    |                                                |
|                                                              |                |                                               | 7,97           | 9,48           |                |                    |                                                |
|                                                              |                |                                               | 7,94           | 9,68           |                |                    |                                                |
|                                                              |                |                                               | 7,90           | 9,44           |                |                    |                                                |
|                                                              |                |                                               | 7,89           | 9,54           |                |                    |                                                |
| Wartości średnie                                             |                |                                               | 7,94           | 9,50           | 6,686          | 0,78               |                                                |
| s                                                            |                |                                               | 0,08           | 0,11           | -              | -                  |                                                |
| Niepewność rozszerzona przy<br>poziomie ufności ok.95% (K=2) |                | ± 0,077                                       | ± 0,13         | ± 0,15         | ± 0,012        | ± 0,10             | ± 0,015                                        |

Tablica 14

| Średn.<br>nom.                                               | Nr próbki       | Powierzchnia<br>przekroju<br>określona wagowo | Wymiary żeber  |                |                |                    | Średnia<br>odniesiona<br>powierzchnia<br>żebra |
|--------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|------------------------------------------------|
|                                                              |                 |                                               | Średnica       |                | Skok oplotu    | Wysokość<br>oplotu |                                                |
|                                                              |                 |                                               | wewnętrzna     | zewnętrzna     |                |                    |                                                |
| d <sub>s</sub>                                               |                 | A                                             | d <sub>i</sub> | d <sub>e</sub> | c <sub>s</sub> | h <sub>s</sub>     | f <sub>p</sub>                                 |
| mm                                                           |                 | mm <sup>2</sup>                               | mm             | mm             | mm             | mm                 | -                                              |
| 12,0                                                         | LK1111/14/12/41 | 106,23                                        | 11,81          | 13,48          | 8,453          | 0,867              | 0,103                                          |
|                                                              |                 |                                               | 11,86          | 13,54          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 11,63          | 13,64          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 11,94          | 13,44          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 11,44          | 13,22          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 11,63          | 13,38          |                |                    |                                                |
| Wartości średnie                                             |                 |                                               | 11,72          | 13,45          | 8,453          | 0,87               |                                                |
| s                                                            |                 |                                               | 0,18           | 0,14           | -              | -                  |                                                |
| Niepewność rozszerzona przy<br>poziomie ufności ok.95% (K=2) |                 | ± 0,12                                        | ± 0,19         | ± 0,16         | ± 0,012        | ± 0,13             | ± 0,015                                        |
| 12,0                                                         | LK1111/14/12/42 | 106,41                                        | 11,95          | 13,15          | 8,502          | 0,755              | 0,089                                          |
|                                                              |                 |                                               | 11,65          | 13,55          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 11,76          | 13,25          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 11,99          | 13,33          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 11,90          | 13,13          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 11,74          | 13,65          |                |                    |                                                |
| Wartości średnie                                             |                 |                                               | 11,83          | 13,34          | 8,502          | 0,76               |                                                |
| s                                                            |                 |                                               | 0,13           | 0,21           | -              | -                  |                                                |
| Niepewność rozszerzona przy<br>poziomie ufności ok.95% (K=2) |                 | ± 0,12                                        | ± 0,16         | ± 0,21         | ± 0,012        | ± 0,13             | ± 0,015                                        |
| 12,0                                                         | LK1111/14/12/43 | 104,39                                        | 11,82          | 13,73          | 8,507          | 0,765              | 0,090                                          |
|                                                              |                 |                                               | 11,62          | 13,21          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 11,70          | 13,13          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 11,91          | 13,43          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 11,70          | 13,61          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 11,66          | 12,51          |                |                    |                                                |
| Wartości średnie                                             |                 |                                               | 11,74          | 13,27          | 8,507          | 0,77               |                                                |
| s                                                            |                 |                                               | 0,11           | 0,44           | -              | -                  |                                                |
| Niepewność rozszerzona przy<br>poziomie ufności ok.95% (K=2) |                 | ± 0,12                                        | ± 0,15         | ± 0,37         | ± 0,012        | ± 0,20             | ± 0,024                                        |

Tablica 15

| Średn.<br>nom.                                               | Nr próbki       | Powierzchnia<br>przekroju<br>określona wagowo | Wymiary żeber  |                |                |                    | Średnia<br>odniesiona<br>powierzchnia<br>żebra |
|--------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|------------------------------------------------|
|                                                              |                 |                                               | Średnica       |                | Skok oplotu    | Wysokość<br>oplotu |                                                |
|                                                              |                 |                                               | wewnętrzna     | zewnątrzna     |                |                    |                                                |
| d <sub>s</sub>                                               |                 | A                                             | d <sub>i</sub> | d <sub>e</sub> | c <sub>s</sub> | h <sub>s</sub>     | f <sub>p</sub>                                 |
| mm                                                           |                 | mm <sup>2</sup>                               | mm             | mm             | mm             | mm                 | -                                              |
| 18,0                                                         | LK1111/14/18/41 | 242,12                                        | 17,48          | 20,27          | 10,490         | 1,083              | 0,103                                          |
|                                                              |                 |                                               | 17,60          | 19,75          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 17,66          | 19,63          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 17,80          | 19,45          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 17,81          | 19,13          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 17,34          | 20,49          |                |                    |                                                |
| Wartości średnie                                             |                 |                                               | 17,62          | 19,78          | 10,490         | 1,08               |                                                |
| s                                                            |                 |                                               | 0,18           | 0,51           | -              | -                  |                                                |
| Niepewność rozszerzona przy<br>poziomie ufności ok.95% (K=2) |                 | ± 0,37                                        | ± 0,19         | ± 0,43         | ± 0,012        | ± 0,24             | ± 0,022                                        |
| 18,0                                                         | LK1111/14/18/42 | 241,61                                        | 17,14          | 20,03          | 10,288         | 1,070              | 0,104                                          |
|                                                              |                 |                                               | 17,89          | 20,07          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 17,35          | 19,51          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 17,91          | 19,93          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 17,47          | 19,73          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 17,64          | 18,95          |                |                    |                                                |
| Wartości średnie                                             |                 |                                               | 17,57          | 19,71          | 10,288         | 1,07               |                                                |
| s                                                            |                 |                                               | 0,31           | 0,42           | -              | -                  |                                                |
| Niepewność rozszerzona przy<br>poziomie ufności ok.95% (K=2) |                 | ± 0,37                                        | ± 0,27         | ± 0,36         | ± 0,012        | ± 0,23             | ± 0,022                                        |
| 18,0                                                         | LK1111/14/18/43 | 241,14                                        | 17,15          | 18,67          | 10,798         | 0,955              | 0,088                                          |
|                                                              |                 |                                               | 17,86          | 20,39          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 17,15          | 18,75          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 17,94          | 19,99          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 17,37          | 19,39          |                |                    |                                                |
|                                                              |                 |                                               | 17,86          | 19,63          |                |                    |                                                |
| Wartości średnie                                             |                 |                                               | 17,56          | 19,47          | 10,798         | 0,96               |                                                |
| s                                                            |                 |                                               | 0,37           | 0,68           | -              | -                  |                                                |
| Niepewność rozszerzona przy<br>poziomie ufności ok.95% (K=2) |                 | ± 0,37                                        | ± 0,33         | ± 0,57         | ± 0,012        | ± 0,33             | ± 0,030                                        |

## 4.6 Odporność na alkalia

Tablica 16

| Lp                                                                             | Oznaczenie próbki | Średnica nominalna | Pole przekroju  | Strata wytrzymałości początkowej po 336h | Ekstrapolowana strata wytrzymałości początkowej po 1000h | Uwagi |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------|
|                                                                                |                   |                    | $S_0$           | $C_{a,336}$                              | $C_{a,1000}$                                             |       |
|                                                                                |                   | mm                 | mm <sup>2</sup> | %                                        | %                                                        |       |
| 1                                                                              | LK1111/14/8/11    | 8,0                | 50              | 18,8%                                    | 21,9%                                                    |       |
| 2                                                                              | LK1111/14/8/12    | 8,0                | 50              | 15,4%                                    | 18,1%                                                    |       |
| 3                                                                              | LK1111/14/8/13    | 8,0                | 50              | 17,9%                                    | 20,9%                                                    |       |
| 4                                                                              | LK1111/14/8/14    | 8,0                | 50              | 30,5%                                    | -                                                        | 1)    |
| 5                                                                              | LK1111/14/8/15    | 8,0                | 50              | 16,9%                                    | 19,8%                                                    |       |
| 6                                                                              | LK1111/14/8/16    | 8,0                | 50              | 40,8%                                    | -                                                        | 1)    |
| Wartości średnie                                                               |                   |                    |                 | 17,3%                                    | 21,0%                                                    |       |
| Niepewność rozszerzona pojedynczego pomiaru przy poziomie ufności ok.95% (K=2) |                   |                    |                 | ± 1,3%                                   | ± 2,1%                                                   |       |
| 1) wysunięcie próbki z tulei - wynik odrzucony                                 |                   |                    |                 |                                          |                                                          |       |

## 4.7 Pełzanie

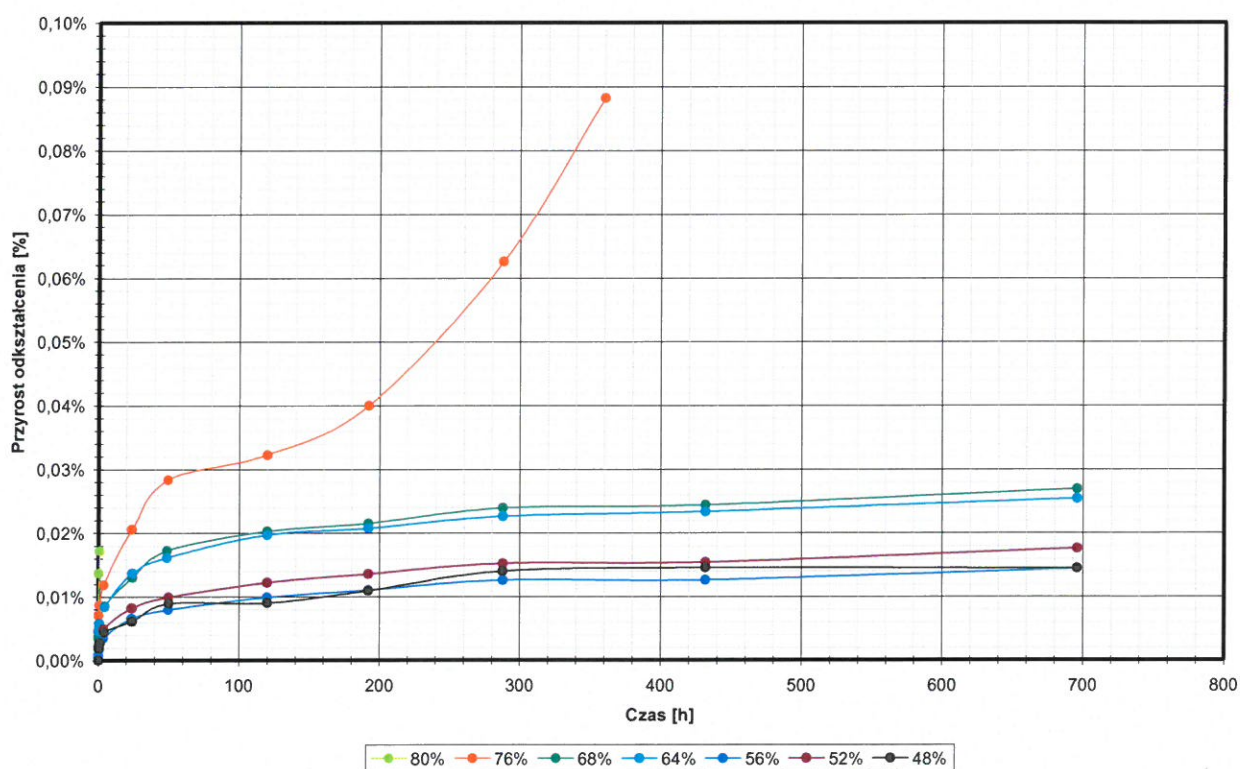
Tablica 17

| Nazwa próbki                                      |                      |                                                   |                      |                  |                      |                  |                      |
|---------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|
| LK1111/14/12/51                                   |                      | LK1111/14/12/52                                   |                      | LK1111/14/12/54  |                      | LK1111/14/12/55  |                      |
| Obciążenie                                        |                      |                                                   |                      |                  |                      |                  |                      |
| 80% $F_{T,i,av}$                                  |                      | 76% $F_{T,i,av}$                                  |                      | 68% $F_{T,i,av}$ |                      | 64% $F_{T,i,av}$ |                      |
| Czas badania                                      | Przyrost odkształceń | Czas badania                                      | Przyrost odkształceń | Czas badania     | Przyrost odkształceń | Czas badania     | Przyrost odkształceń |
| [h]                                               | [‰]                  | [h]                                               | [‰]                  | [h]              | [‰]                  | [h]              | [‰]                  |
| 0,083                                             | 0,000                | 0,083                                             | 0,000                | 0,083            | 0,000                | 0,83             | 0,000                |
| 0,5                                               | 0,137                | 0,5                                               | 0,071                | 0,5              | 0,035                | 0,5              | 0,046                |
| 1                                                 | 0,172                | 1,0                                               | 0,087                | 1,0              | 0,054                | 1,0              | 0,058                |
| Po upływie 2,5[h]<br>nastąpiło zerwanie<br>próbki |                      | 4,0                                               | 0,119                | 5,0              | 0,086                | 5,0              | 0,084                |
|                                                   |                      | 24,0                                              | 0,206                | 24,5             | 0,130                | 24,5             | 0,137                |
|                                                   |                      | 49,5                                              | 0,283                | 49,0             | 0,172                | 49,0             | 0,161                |
|                                                   |                      | 120                                               | 0,323                | 120              | 0,203                | 120              | 0,197                |
|                                                   |                      | 192                                               | 0,399                | 192              | 0,215                | 192              | 0,207                |
|                                                   |                      | 288                                               | 0,626                | 288              | 0,239                | 288              | 0,226                |
|                                                   |                      | 360                                               | 0,882                | 432              | 0,244                | 432              | 0,234                |
|                                                   |                      | Po upływie 428[h]<br>nastąpiło zerwanie<br>próbki |                      | 696              | 0,269                | 696              | 0,254                |

Tablica 18

Tablica 10

| Nazwa próbki    |                      |                 |                      |                 |                      |
|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| LK1111/14/12/57 |                      | LK1111/14/12/58 |                      | LK1111/14/12/59 |                      |
| Obciążenie      |                      |                 |                      |                 |                      |
| 56% $F_{T,av}$  |                      | 52% $F_{T,av}$  |                      | 48% $F_{T,av}$  |                      |
| Czas badania    | Przyrost odkształceń | Czas badania    | Przyrost odkształceń | Czas badania    | Przyrost odkształceń |
| [h]             | [‰]                  | [h]             | [‰]                  | [h]             | [‰]                  |
| 0,83            | 0,000                | 0,83            | 0,000                | 0,83            | 0,000                |
| 0,5             | 0,008                | 0,5             | 0,021                | 0,5             | 0,019                |
| 1,0             | 0,018                | 1,0             | 0,026                | 1,0             | 0,028                |
| 4,0             | 0,036                | 4,0             | 0,049                | 4,0             | 0,044                |
| 24,0            | 0,065                | 24,0            | 0,082                | 24,0            | 0,061                |
| 50,             | 0,080                | 50,             | 0,099                | 50,             | 0,089                |
| 120             | 0,099                | 120             | 0,122                | 120             | 0,090                |
| 192             | 0,110                | 192             | 0,135                | 192             | 0,109                |
| 288             | 0,126                | 288             | 0,152                | 288             | 0,140                |
| 432             | 0,126                | 432             | 0,154                | 432             | 0,145                |
| 696             | 0,144                | 696             | 0,176                | 696             | 0,144                |



Rys.1 – Przyrost odkształceń w czasie dla badanych próbek

#### 4.8 Przyczepność do betonu

Badanie przeprowadzono dla zakładanej wytrzymałości betonu 25MPa (klasa betonu C25/30). Stosunek rzeczywistej średniej wytrzymałości betonu na ściskanie do wartości zakładanej wyniósł 0,72.

Tablica 19

| Średnica nominalna<br>pręta | Siła przy poślizgu<br>0,01mm | Siła przy poślizgu<br>0,1mm | Siła przy poślizgu<br>1mm | Siła maksymalna | Średnie naprężenie<br>przy poślizgu<br>0,01; 0,1; 1mm | Naprężenie utraty<br>przyczepności |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------|
|                             | $F_{0,01}$                   | $F_{0,1}$                   | $F_1$                     | $F_m$           | $T_m$                                                 | $T_r$                              |
| mm                          | kN                           | kN                          | kN                        | kN              | MPa                                                   | MPa                                |
| 8                           | 1,19                         | 6,45                        | 10,10                     | 11,20           | 8,19                                                  | 15,5                               |
| 8                           | 0,96                         | 6,21                        | 8,36                      | 9,82            | 7,17                                                  | 13,6                               |
| 8                           | 0,86                         | 4,51                        | 10,34                     | 11,41           | 7,25                                                  | 15,8                               |
| 8                           | 1,21                         | 7,15                        | 8,49                      | 9,78            | 7,78                                                  | 13,5                               |
| 8                           | 1,55                         | 5,88                        | 9,65                      | 11,22           | 7,88                                                  | 15,5                               |
| 8                           | 1,70                         | 7,31                        | 10,24                     | 14,00           | 8,89                                                  | 19,4                               |
| 12                          | 2,60                         | 11,00                       | 19,50                     | 25,50           | 6,79                                                  | 15,7                               |
| 12                          | 3,38                         | 8,90                        | 22,05                     | 25,00           | 7,04                                                  | 15,4                               |
| 12                          | 4,75                         | 9,85                        | 23,40                     | 25,15           | 7,80                                                  | 15,5                               |
| 12                          | 4,50                         | 11,25                       | 23,00                     | 25,30           | 7,95                                                  | 15,6                               |
| 12                          | 3,65                         | 14,20                       | 22,10                     | 24,90           | 8,20                                                  | 15,3                               |
| 12                          | 2,85                         | 9,45                        | 23,05                     | 25,10           | 7,25                                                  | 15,4                               |

## 5. OCENA WYNIKÓW BADAŃ

### 5.1 Wymagania

Tablica 20

| L.p. | Właściwości                                                                                                                      | Wymagania                                                                                                             | Metody Badań |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1    | 2                                                                                                                                | 3                                                                                                                     | 4            |
| 1.   | Dopuszczalna odchyłka pola powierzchni określonego wagowo od wartości nominalnej <sup>1)</sup>                                   | $\pm 8\%$                                                                                                             | wg p.3.5     |
| 2.   | Średnica wewnętrzna $d_i$ [mm]                                                                                                   | $d_s - 1 \leq d_i \leq d_s$<br>( $d_s$ – nominalna średnica pręta w mm)                                               |              |
| 3.   | Średnica zewnętrzna $d_e$ [mm]                                                                                                   | $d_s \leq d_e \leq d_s + 1$<br>( $d_s$ – nominalna średnica pręta w mm)                                               |              |
| 4.   | Skok oplotu $c_s$ [mm]                                                                                                           | $0,4 \cdot d_s + 3 \leq c_s \leq 0,4 \cdot d_s + 4$<br>( $d_s$ – nominalna średnica pręta w mm)                       |              |
| 5.   | Minimalny współczynnik uźebrowania $f_p$ <sup>2)</sup> [-]                                                                       | 0,070                                                                                                                 |              |
| 6.   | Doraźna wytrzymałość na rozciąganie $R_{T,i}$ [MPa]                                                                              | $\geq 1100$                                                                                                           | wg p.3.1     |
| 7.   | Doraźny moduł sprężystości podłużnej $E_{T,i}$ [GPa]                                                                             | 50÷55                                                                                                                 |              |
| 8.   | Doraźna wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien $R_{C,i}$ [MPa]                                                                 | $\geq 350$                                                                                                            | wg p.3.4     |
| 9.   | Doraźna wytrzymałość na ścinanie $R_{S,i}$ [MPa]                                                                                 | $\geq 150$                                                                                                            | wg p.3.3     |
| 10.  | Spadek nośności wskutek działania środowiska zasadowego $C_{a,1000}$ [%]                                                         | $\leq 25\%$                                                                                                           | wg p.3.6     |
| 11.  | Spadek nośności wywołany pełzaniem po upływie 1000h $C_{c,1000}$ [%]                                                             | $\leq 25\%$                                                                                                           | wg p.3.7     |
| 12.  | Przyczepność do betonu C25/30<br>Średnia wartość naprężenia $\tau_m$ , [MPa]<br>Naprężenie utraty przyczepności $\tau_r$ , [MPa] | $0,098 \cdot (80 - 1,2 \cdot d_s)$<br>$0,098 \cdot (130 - 1,9 \cdot d_s)$<br>( $d_s$ – nominalna średnica pręta w mm) | wg p.3.8     |

1) Pole powierzchni pręta jest określone przyjmując gęstość materiału wynoszącą 2150kg/m<sup>3</sup>

2) Współczynnik określany z zależności  $(d_e - d_i) / (2 \cdot c_s)$

Właściwości wymienione w poz. 1÷9 tab.20 powinny wchodzić w zakres badań bieżących wyrobów, natomiast właściwości wymienione w poz. 10 oraz 11 – w zakres badań okresowych.

Jako kryterium oceny dla zapewnienia długookresowego poziomu jakości należy przyjmować kwantyl 5% dla doraźnej wytrzymałości na rozciąganie  $R_{T,i}$  oraz 10% dla pozostałych właściwości objętych zakresem badań bieżących.

### 5.2 Ocena wyników

Przyjęto metodę oceny wyników badań określoną w załączniku C normy PN-EN 1992-1-1. Jako absolutne minima i maksima przyjęto odpowiednio 0,97 oraz 1,03 charakterystycznej wartości rozpatrywanej cechy.

Wymaganą wartość średnią dla wytrzymałości na rozciąganie ustalono jako 1120MPa, tj. wartość charakterystyczną zwiększoną o 20MPa.

#### 5.2.1 Wytrzymałość na rozciąganie i moduł sprężystości

W tablicy 21 zestawiono wyniki badań z wymaganymi wartościami:

Tablica 21

| Średnica nominalna | Moduł odkształcalności podłużnej |              |               | Wytrzymałość na rozciąganie |              |
|--------------------|----------------------------------|--------------|---------------|-----------------------------|--------------|
|                    | minimalna                        | średnia      | maksymalna    | minimalna                   | średnia      |
| $d_s$              | $E_{T,i,min}$                    | $E_{T,i,av}$ | $E_{T,i,max}$ | $R_{T,i,min}$               | $R_{T,i,av}$ |
| mm                 | GPa                              | GPa          | GPa           | MPa                         | MPa          |
| 8                  | 50,7                             | 52,4         | 54,8          | 1339                        | 1468         |
| 12                 | 48,9                             | 50,2         | 53,4          | 1110                        | 1186         |
| 18                 | 50,0                             | 51,8         | 54,6          | -                           | -            |
| Wartości wymagane  |                                  |              |               |                             |              |
| -                  | $\geq 48,5$                      | 50+55        | $\leq 56,7$   | $\geq 1067$                 | $\geq 1120$  |

Otrzymane wyniki badań spełniają wymagania określone w tab.20.

### 5.2.2 Wytrzymałość na ścinanie

W tablicy 22 zestawiono wyniki badań z wymaganymi wartościami:

Tablica 22

| Średnica nominalna | Wytrzymałość na ścinanie |              |
|--------------------|--------------------------|--------------|
|                    | minimalna                | średnia      |
| $d_s$              | $R_{S,i,min}$            | $R_{S,i,av}$ |
| mm                 | MPa                      | MPa          |
| 8                  | 184                      | 201          |
| 12                 | 150                      | 163          |
| 18                 | 159                      | 169          |
| Wartości wymagane  |                          |              |
| -                  | $\geq 145$               | $\geq 150$   |

Przebadane próbki spełniły wymagania określone w tab.20.

### 5.2.3 Wytrzymałość na ściskanie równoległe do włókien

W tablicy 23 dokonano zestawienia wyników badań z wymaganymi wartościami:

Tablica 23

| Średnica nominalna | Wytrzymałość na ściskanie |              |
|--------------------|---------------------------|--------------|
|                    | minimalna                 | średnia      |
| $d_s$              | $R_{C,i,min}$             | $R_{C,i,av}$ |
| mm                 | MPa                       | MPa          |
| 8                  | 452                       | 549          |
| 12                 | 416                       | 545          |
| 18                 | 483                       | 619          |
| Wartości wymagane  |                           |              |
| -                  | $\geq 340$                | $\geq 350$   |

Przebadane próbki spełniły wymagania określone w tab.20.

#### 5.2.4 Pole przekroju i geometria uźebrowania

Wartości otrzymane z badań wraz z wymaganiami zamieszczone zostały w tablicy 24.

Tablica 24

| Średnica nominalna | Powierzchnia przekroju |                 |                 | Współczynnik uźebrowania |            |
|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|------------|
|                    | minimalna              | średnia         | maksymalna      | minimalny                | średni     |
| $d_s$              | $A_{min}$              | $A_{av}$        | $A_{max}$       | $f_{p,min}$              | $f_{p,av}$ |
| mm                 | mm <sup>2</sup>        | mm <sup>2</sup> | mm <sup>2</sup> | -                        | -          |
| 8                  | Wyniki badań           |                 |                 |                          |            |
|                    | 51,8                   | 52,0            | 52,1            | 0,117                    | 0,120      |
|                    | Wartości wymagane      |                 |                 |                          |            |
|                    | ≥44,9                  | 46,2÷54,3       | ≤55,9           | ≥0,068                   | ≥0,070     |
| 12                 | Wyniki badań           |                 |                 |                          |            |
|                    | 104,4                  | 105,7           | 106,4           | 0,089                    | 0,094      |
|                    | Wartości wymagane      |                 |                 |                          |            |
|                    | ≥100,9                 | 104,0÷122,1     | ≤125,8          | ≥0,068                   | ≥0,070     |
| 18                 | Wyniki badań           |                 |                 |                          |            |
|                    | 241,1                  | 241,6           | 242,1           | 0,088                    | 0,099      |
|                    | Wartości wymagane      |                 |                 |                          |            |
|                    | ≥227,1                 | 234,1÷274,8     | ≤283,1          | ≥0,068                   | ≥0,070     |

Otrzymane wyniki badań spełniają wymagania określone w tab.20.

#### 5.2.5 Odporność na alkalia

W tablicy 25 dokonano zestawienia wyników badań z wymaganymi wartościami:

Tablica 25

| Średnica nominalna | Ekstrapolowana strata wytrzymałości po 1000h |                  |
|--------------------|----------------------------------------------|------------------|
|                    | minimalna                                    | średnia          |
| $d_s$              | $C_{a,1000,min}$                             | $C_{a,1000,max}$ |
| mm                 | %                                            | %                |
| 8                  | 19,7%                                        | 21,0%            |
| Wartości wymagane  |                                              |                  |
| -                  | ≤25,8%                                       | ≤25,0%           |

Przebadane próbki spełniły wymagania określone w tab.20.

#### 5.2.6 Pełzanie

Spośród przebadanych 7 próbek jedna obciążona siłą początkową równą 80% doraźnej wytrzymałości na rozciąganie uległa zniszczeniu w początkowej fazie badania. Z pozostałych 6 próbek próbka obciążona siłą początkową równą 76% doraźnej

wytrzymałości na rozciąganie uległa zniszczeniu po upływie 428 godzin od rozpoczęcia badania. Odpowiada to wartości parametru  $C_{c,1000}$  wynoszącej 26,9%. Ze względu na przyjęcie zbyt niskich poziomów obciążenia kolejnych 5 próbek nie doprowadzono do ich zniszczenia w ciągu 696 godzin. Charakter uzyskanych do tego momentu krzywych odkształcenie – czas pozwala jednak wnioskować, że możliwe jest osiągnięcie przez nie średniej wartości parametru  $C_{c,1000}$  poniżej 25%. Z tego względu można wnioskować, że przebadane pręty posiadają wymagane właściwości określone w p.5.1

### 5.2.7 Przyczepność do betonu

Wymagane dla prętów o średnicy 8mm średnie naprężenie przy poślizgu 0,01mm; 0,1mm oraz 1mm wynosi wg p.5.1 6,90MPa, natomiast naprężenie utraty przyczepności 11,25MPa. Wszystkie przebadane pręty o średnicy 8mm spełniły te wymagania.

Wymagane dla prętów o średnicy 12mm średnie naprężenie przy poślizgu 0,01mm; 0,1mm oraz 1mm wynosi wg p.5.1 6,43MPa, natomiast naprężenie utraty przyczepności 10,51MPa. Wszystkie przebadane pręty o średnicy 12mm spełniły te wymagania.

## 6. ZAKRES I WARUNKI STOSOWANIA PRĘTÓW KOMPOZYTOWYCH „ARMASTEK”

### 6.1 Przeznaczenie i zakres stosowania wyrobu

Pręty kompozytowe ARMASTEK o średnicach 4÷18mm przeznaczone są do wykonywania elementów zbrojenia rozciąganego i ściskanego konstrukcji z betonu zbrojonego. Przedmiotowych prętów nie należy stosować do zbrojenia konstrukcji poddanych obciążeniom dynamicznym i wielokrotnie zmiennym. Nie jest dopuszczalne gięcie prętów ARMASTEK na placu budowy jak również łączenie ich w inny sposób niż na zakład zgodnie z zasadami określonymi w normie PN-EN 1992-1-1.

### 6.2 Warunki stosowania wyrobu

W obliczeniach konstrukcji żelbetowych wg PN-EN 1992-1-1 należy przyjmować założenia materiałowe dla zbrojenia jak wg. punktu 3.2.7 normy zmodyfikowane o brak gałęzi A i B przedstawionych na rys.3.8.

Częściowy współczynnik bezpieczeństwa  $\gamma_s$  należy przyjmować jako równy 1,25.

W miejsce charakterystycznej granicy plastyczności  $f_{yk}$  należy przyjmować wartość  $f_{tk}$  określoną dla zbrojenia rozciąganego wzorem:

$$f_{tk}=R_{T,i}/n_{env} \quad (5)$$

natomiast dla ściskanego zależnością:

$$f_{tk}=R_{C,i}/n_{env} \quad (6)$$

gdzie

$$n_{env}=1/0,75^{n+2} \quad (7)$$

Wartość parametru  $n$  występującego we wzorze (7) wynosi

$$n = n_{mo} + n_T + n_{SL} \quad (8)$$

gdzie

$n_{mo} = -1$  dla klasy ekspozycji XC1

$n_{mo} = 0$  dla klasy ekspozycji XC3, XD1, XD3, XS1, XS3

$n_{mo} = 1$  dla klasy ekspozycji XC2, XC4, XD2, XS2, XA1, XA2, XA3

$n_T = -0,5$  dla zastosowań przy temperaturach nie przekraczających  $15^{\circ}\text{C}$  w ujęciu średniorocznym – typowe zewnętrzne warunki temperaturowe na obszarze Polski

$n_T = 0$  dla zastosowań przy temperaturach nie przekraczających  $25^{\circ}\text{C}$  w ujęciu średniorocznym

$n_T = 0,5$  dla zastosowań przy temperaturach nie przekraczających  $35^{\circ}\text{C}$  w ujęciu średniorocznym

$n_{SL} = 1$  dla okresu użytkowania 1 rok

$n_{SL} = 2$  dla okresu użytkowania 10 lat

$n_{SL} = 2,7$  dla okresu użytkowania 50 lat

$n_{SL} = 3$  dla okresu użytkowania 100 lat

W obliczeniach uwzględniających wpływ obciążeń krótkotrwałych należy przyjmować wartość modułu  $E_s = E_{T,i}$ . W obliczeniach uwzględniających wpływ obciążeń długotrwałych należy uwzględnić dodatkowy przyrost odkształceń (wyrażony w jednostkach niemianowanych) wynoszący:

$$\Delta \varepsilon = 10^{a \cdot \log(t) + b} \quad (9)$$

Wartość parametrów  $a$  i  $b$  występujących we wzorze (9) wynosi

$$a = -0,14 \cdot \sigma_s / R_{T,i} + 0,39 \quad (10)$$

oraz

$$b = 2,14 \cdot \sigma_s / R_{T,i} - 5,72 \quad (11)$$

gdzie

$t$  - czas oddziaływania długotrwałego w godzinach,

$\sigma_s$  - naprężenia rozciągające wywołane długotrwałą częścią obciążeń charakterystycznych.

W przypadku, gdy naprężenia  $\sigma_s$  mają charakter ściskający we wzorach (10) oraz (11) należy w miejsce wartości  $R_{T,i}$  przyjąć wartość  $R_{C,i}$ .

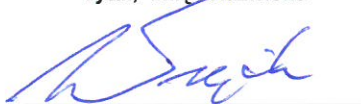
## 7. WNIOSKI KOŃCOWE

Pręty kompozytowe przebadane w ramach niniejszego opracowania spełniły warunki określone w p.5.1. Na tej podstawie można uznać, że pręty kompozytowe ARMATEK o średnicach 4-18mm mogą być stosowane do zbrojenia betonu na warunkach i w zakresie określonym w p.6 i jego podpunktach.

Niniejsze opracowanie nie obejmuje zagadnień związanych z bezpieczeństwem pożarowym.

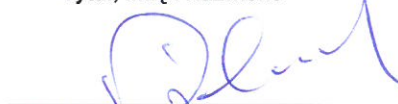
Odpowiedzialny za badanie

**dr inż. Przemysław Więch**  
Tytuł, Imię i Nazwisko

  
Podpis

Osoba autoryzująca raport

**dr inż. Artur Piekarczyk**  
Tytuł, Imię i Nazwisko

  
Podpis

11 MAJ 2015

Warszawa, dnia \_\_\_\_\_

*Laboratorium Badawcze oświadcza, że wyniki badania odnoszą się wyłącznie do badanego obiektu. Bez pisemnej zgody Laboratorium Badawczego Raport nie może być powielany inaczej, jak tylko w całości. Raport z badań nie zastępuje dokumentów wymaganych przy wprowadzaniu do obrotu i udostępnianiu wyrobów budowlanych.*