

BADANIA DOŚWIADCZALNE ELEMENTÓW I KONSTRUKCJI BETONOWYCH

PUBLIKACJA POD PATRONATEM SEKCJI KONSTRUKCJI
BETONOWYCH KOMITETU INŻYNIERII LĄDOWEJ I WODNEJ PAN

ZESZYT NR 21

**Strengthening
efficiency
of RC beams
strengthened
for flexure
with prestressed
CFRP laminates**

**Efektywność zastosowania wstępnie
naprężonych taśm CFRP do wzmacniania
belek żelbetowych na zginanie**

Renata Kotynia
Krzysztof Lasek

Badania naukowe zostały wykonane w ramach Projektu „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju” współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka

Department of Concrete
Structures, Lodz University of
Technology, Poland
Lodz 2018

Katedra Budownictwa Betonowego
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Politechniki Łódzkiej
Łódź 2018

Recenzent / Reviewer
Prof. dr hab. inż. Wojciech Radomski

Redaktor wydania / Editor
dr hab. inż. Tadeusz Urban, prof. PŁ

Tłumaczenie / Translation
dr hab. inż. Renata Kotynia, prof. PŁ

Skład tekstu / Preparing of text
mgr inż. Jacek Filipczak

©2018 Katedra Budownictwa Betonowego, Łódź, Polska
©2018 Department of Concrete Structures, Lodz University of Technology, Poland

ISBN 978-83-7283-901-5
ISSN 1230-6010

Katedra Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, Polska
tel. (48) (42) 6313870, fax (48) (42) 6313584
Autor do korespondencji: Renata Kotynia, e-mail: renata.kotynia@p.lodz.pl

STRESZCZENIE

Dotychczasowe badania żelbetonowych elementów wzmocnionych na zginanie przy użyciu zewnętrznych (Externally Bonded - EB) materiałów kompozytowych (Fiber Reinforced Polymer - FRP), przyklejonych do rozciąganej powierzchni betonu, wykazały ograniczoną efektywność tej techniki ze względu na nagłe odspojenie kompozytu od powierzchni betonu przed osiągnięciem jego granicznych odkształceń. Należy podkreślić, że wzmocnienie na zginanie przy zastosowaniu przyklejonych w sposób bierny materiałów FRP, zwiększa nośność elementu, ale jednocześnie ma niewielki wpływ na stan graniczny użytkowości (zarysowanie i ugięcia elementu). Sprężanie materiału kompozytowego FRP zostało zaproponowane w celu zwiększenia stopnia wykorzystania wytrzymałości materiału kompozytowego na rozciąganie i poprawy efektywności wzmocnienia w stanie granicznym użytkowości.

Program badań obejmował trzy serie belek żelbetonowych, zróżnicowanych pod względem stopnia stalowego zbrojenia (4#12 $\rho_s=0.49\%$ i 4#16 $\rho_s=0.87\%$), wytrzymałości betonu, poziomu wyężenia elementu w chwili wykonywania wzmocnienia oraz przyczepności taśmy CFRP do powierzchni betonu i zastosowanego zakotwienia.

Praktyczny aspekt programu badań koncentruje się na wpływie poziomu wstępnego obciążenia elementu, na efektywność wzmocnienia przy użyciu sprężonych taśm CFRP. W praktyce inżynierskiej bardzo często można spotkać elementy konstrukcyjne obciążone przed wzmocnieniem, w których doszło nawet do przekroczenia dopuszczalnych warunków stanu granicznego użytkowości (zarysowania lub ugięć). Wpływ wcześniejszego wyężenia zginanych elementów konstrukcyjnych wzmocnionych przy użyciu naprężonych kompozytów był dotąd bardzo rzadko analizowany w pracach badawczych.

Rozważono dwa poziomy wstępnego obciążenia elementów przed wzmocnieniem: wyłącznie pod ciężarem własnym oraz pod ciężarem własnym i obciążeniem zewnętrznym. Obciążenie ciężarem własnym stanowiło 25% i 14% nośności elementu niewzmocnionego, odpowiednio w elementach o niższym i wyższym stopniu zbrojenia stalowego. Wyższy poziom wstępnego wyężenia belek równy 76% nośności na zginanie elementu niewzmocnionego, został wybrany w celu zbadania takiego przypadku, w którym zbrojenie zwykle było bliskie uplastycznieniu.

Przeprowadzone badania doświadczalne dały obiecujące wyniki zarówno w odniesieniu do stanu granicznego nośności, jak i użytkowości. Stopień wzmocnienia zdefiniowany jako stosunek różnicy nośności elementu wzmocnionego i niewzmocnionego do nośności elementu niewzmocnionego, wahał się w zakresie od 0.64 do 1.20. W pracy omówiono wpływ wszystkich rozważanych parametrów, a więc stopnia zbrojenia zwykłego, przyczepności taśmy do betonu, poziomu wstępnego wyężenia elementu podczas wzmocnienia i poziomu wstępnego naprężenia kompozytu.

SUMMARY

The research carried out so far on reinforced concrete (RC) members strengthened in flexure with externally bonded (EB) fiber-reinforced polymers (FRPs) have indicated quite low strengthening efficiency caused by debonding of the FRP from the concrete surface before the tensile strength of the FRP material was achieved. It should be emphasized that although the load-bearing capacity of RC members strengthened with passive EB FRP laminates increases, it has a small effect on the serviceability limit state (i.e. cracking moment and deflections). Prestressing the EB FRP was proposed as a method of increasing the utilization of the FRP tensile strength and improving the strengthening efficiency in terms of serviceability limit state.

An experimental research program consisted of three series of RC beams with variations in: the longitudinal steel reinforcement ratio (4#12, $\rho_s=0.49\%$ and 4#16, $\rho_s=0.87\%$), concrete strength, preloading level before strengthening, and adhesion between the CFRP laminate and concrete as well as the anchorage used.

A practical and unique aspect of this research program focuses on the effect of preloading on the strengthening efficiency of RC beams strengthened with prestressed carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) laminates. In the engineering practice, one can often come across structural elements preloaded before strengthening, in which serviceability limit state was exceeded (cracking moment or deflections). The influence of preloading of existing RC structures strengthened with prestressed composites has been analyzed very rarely.

Two levels of the beams preloading were considered: the beam self-weight acting alone and the self-weight plus additional external load. The self-weight preloading level corresponded to 25 and 14% of the yield strength of a non-strengthened beam in Series I and III, respectively. The higher preloading level, equal to 76% of the yield strength of a non-strengthened beam was chosen to estimate the efficiency of strengthening the element in which reinforcement was approaching the elastic limit of the beam behaviour.

Experimental tests yielded promising results for the ultimate and serviceability limit states, i.e. ULS and SLS, of the strengthened beams. The strengthening ratio, defined as the ratio of the difference between the ultimate load of a strengthened and a non-strengthened beam to the ultimate load of the non-strengthened beam, reached values within the range of 0.64–1.19. The authors discuss the influence of all the parameters, i.e. ordinary reinforcement ratio, adhesion between the prestressed CFRP laminate and concrete, the level of preloading during strengthening and the level of pretensioning of a composite.

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	7
2. Program badań	10
2.1. Elementy badawcze	11
2.2. Zastosowane materiały	12
2.2.1. Beton	12
2.2.2. Zbrojenie stalowe	12
2.2.3. Taśmy z włóknami węglowymi	13
2.2.4. Zaprawa klejowa	14
2.3. Sposób wykonywania wzmocnienia	15
2.3.1. Przygotowanie powierzchni elementu	16
2.3.2. System kotwiąco-sprężający S&P	17
2.3.2.1. Montaż systemu sprężającego S&P	17
2.3.2.2. Montaż taśmy	18
2.3.2.3. Naprężenie taśmy	19
2.3.2.4. Demontaż systemu naprężającego S&P	20
2.3.3. Wzmocnienie bezprzyczepnościowe	20
2.3.4. Wzmocnienie z redukcją naciągu bez mechanicznego zakotwienia	21
2.4. Stanowisko badawcze i obciążenie	22
2.5. Pomiary	22
3. Analiza wyników badań	24
3.1. Sposób zniszczenia i siły niszczące	24
3.2. Obraz zarysowania	27
3.3. Odkształcenia taśmy CFRP	28
3.4. Odkształcenia betonu w strefie rozciąganej	34
3.5. Przemieszczenia pionowe	35
3.6. Model obliczeniowy	37
3.7. Efektywność wzmocnienia i stopień wykorzystania wytrzymałości taśmy CFRP na rozciąganie	39
4. Wnioski	42
Literatura	44
Poprzednio wydane zeszyty	45
Załącznik	47

CONTENTS

1. Introduction	7
2. Research program	10
2.1. Test members	11
2.2. Used materials	12
2.2.1. Concrete	12
2.2.2. Steel reinforcement	12
2.2.3. CFRP laminates	13
2.2.4. Adhesive mortar	14
2.3. Strengthening configurations	15
2.3.1. Surface preparation of RC member	16
2.3.2. The anchorage prestressing system	17
2.3.2.1. Installation of the S&P prestressing system	17
2.3.2.2. Installation of the strip	18
2.3.2.3. Pretensioning of the strip	19
2.3.2.4. Dismantling of the prestressing system	20
2.3.3. An unbonded strengthening	20
2.3.4. Strengthening with reduction of tension without mechanical anchorage	21
2.4. Test set-up and loading	22
2.5. Measurements	22
3. The analysis of test results	24
3.1. Failure modes and ultimate loads	24
3.2. Crack pattern	27
3.3. Strain of the CFRP laminate	28
3.4. Concrete strain in tensile zone	34
3.5. Vertical displacements	35
3.6. Analytical model	37
3.7. The efficiency of strengthening and the extent of the use tensile strength of a CFRP laminates	39
4. Conclusions	42
References	44
Previously published reports	45
Appendix	47

OZNACZENIA

Duże litery łacińskie

- A_f - pole przekroju kompozytu
 A_i - pole przekroju i-tej warstwy betonu
 A_s - pole przekroju pręta zbrojeniowego
 A_{s1} - pole przekroju zbrojenia rozciąganego
 A_{s2} - pole przekroju zbrojenia ściskanego
- E_c - moduł podłużnej sprężystości betonu
 E_f - moduł podłużnej sprężystości taśmy CFRP
 E_s - moduł podłużnej sprężystości stali
 F - obciążenie zewnętrzne
 F_p - obciążenie, przy którym wykonano wzmocnienie
 F_u - doświadczalna siła niszcząca element wzmocniony
 F_{u0} - obliczeniowa siła niszcząca element niewzmocniony
 F_{s1} - siła w zbrojeniu rozciągającym
 F_{s2} - siła w zbrojeniu ściskającym
 F_i - siła w i-tej warstwie przekroju betonowego
 M - moment zginający
 N - siła podłużna

Małe litery łacińskie

- a_1 - położenie zbrojenia rozciąganego względem rozciąganej krawędzi przekroju
 a_2 - położenie ściskanego zbrojenia względem ściskanej krawędzi przekroju
 b - szerokość przekroju betonowego
 d - wysokość użyteczna przekroju
 $f_{c,cube}$ - kostkowa wytrzymałość betonu na ściskanie
 $f_{ct,sp}$ - wytrzymałość betonu na rozciąganie (rozłupywanie)
 f_c - wytrzymałość walca betonu na ściskanie
 f_y - granica plastyczności stali zbrojeniowej
 f_t - naprężenia graniczne stali zbrojeniowej
 f_{fu} - naprężenia graniczne taśmy CFRP
 h - wysokość przekroju
 h' - odległość pomiędzy poziomem pomiaru odkształceń ściskających i rozciągających w betonie (mm)
 v - przemieszczenia pionowe
 v_5 - przemieszczenia pionowe środka belki
 y_i - rzędna i-tej warstwy przekroju betonu

Małe litery greckie

- ϵ_c - odkształcenia ściskające w betonie
 ϵ_{cr} - odkształcenia rysujące beton
 ϵ_{fu} - odkształcenia graniczne taśmy CFRP
 ϵ_{fp} - odkształcenia taśmy CFRP w trakcie naprężania
 $\epsilon_{f,test}$ - maksymalne odkształcenia taśmy CFRP zarejestrowane podczas badania (zniszczenia belki)
 $\epsilon_{f,test,i}$ - odkształcenia taśmy dla i-tych poziomów obciążenia
 $\epsilon_{f,tot}$ - całkowite odkształcenia taśmy CFRP; $\epsilon_{f,tot} = \epsilon_{fp} + \epsilon_{f,test}$
 ϵ_{fu} - odkształcenia graniczne taśmy CFRP
 ϵ_i - odkształcenia w i-tej warstwie przekroju
 ϵ_{su} - odkształcenia graniczne stali zbrojeniowej
 ϵ_t - średnie odkształcenia betonu w strefie rozciąganej
 $\epsilon_{t,av}$ - średnie odkształcenia betonu w środkowej części belki w poziomie zbrojenia rozciąganego
 κ - krzywizna
 η_F - stopień wzmocnienia $\eta_F = (F_u - F_{u0}) / F_{u0}$
 η_{ef} - stopień wykorzystania taśmy CFRP $\eta_{ef} = \epsilon_{f,tot} / \epsilon_{fu}$
 ρ_s - stopień zbrojenia stalowego
 σ_{fp} - wstępne naprężenia w taśmie CFRP

NOTATION

Roman upper case letters

- A_f - cross-section area of CFRP laminate
 A_i - cross-section area of ith concrete layer
 A_s - cross-section area of the steel reinforcing bars
 A_{s1} - cross-section area of tensile steel reinforcement
 A_{s2} - cross-section area of compressive steel reinforcement
- E_c - elastic modulus of concrete
 E_f - elastic modulus of CFRP laminate
 E_s - elastic modulus of steel reinforcement
 F - external load
 F_p - static preloading before and during strengthening
 F_u - ultimate load of a strengthened beam
 F_{u0} - ultimate load of a non-strengthened (reference) beam
 F_{s1} - force in tensile steel reinforcement
 F_{s2} - force in compressive steel reinforcement
 F_i - force in i-th concrete layer
 M - bending moment
 N - longitudinal force

Roman lower case letters

- a_1 - distance of the tensile steel reinforcement axis from the tensile edge
 a_2 - distance of the compressive steel reinforcement axis from the compressive edge
 b - width of cross-section
 d - effective depth of the steel reinforcement
 $f_{c,cube}$ - cube compressive strength of concrete
 $f_{ct,sp}$ - tensile splitting strength of concrete
 f_c - cylinder compressive strength of concrete
 f_y - yield strength of steel reinforcement
 f_t - ultimate tensile strength of steel reinforcement
 f_{fu} - ultimate tensile strength of CFRP laminate
 h - height of cross-section
 h' - distance between levels of compressive and tensile strains measurements (mm)
 v - vertical displacement
 v_5 - vertical displacement at the beam's midspan
 y_i - location of the i-th layer of concrete

Greek lower case letters

- ϵ_c - compressive concrete strain
 ϵ_{cr} - cracking strain of concrete
 ϵ_{fu} - ultimate tensile strain of CFRP laminate
 ϵ_{fp} - prestressing strain of CFRP laminate
 $\epsilon_{f,test}$ - maximum tensile strain of CFRP laminate registered in the test (at the failure of beam's)
 $\epsilon_{f,test,i}$ - strain of CFRP laminate in the i-th level of load
 $\epsilon_{f,tot}$ - total tensile strain of CFRP laminate; $\epsilon_{f,tot} = \epsilon_{fp} + \epsilon_{f,test}$
 ϵ_{fu} - ultimate tensile strain of CFRP laminate
 ϵ_i - strain in the i-th layer of concrete
 ϵ_{su} - ultimate tensile strain of steel reinforcement
 ϵ_t - average concrete strain in tension zone
 $\epsilon_{t,av}$ - average tensile concrete strain at the midspan of the beam at the depth of tensile steel reinforcement
 κ - curvature
 η_F - strengthening ratio $\eta_F = (F_u - F_{u0}) / F_{u0}$
 η_{ef} - CFRP strain efficiency $\eta_{ef} = \epsilon_{f,tot} / \epsilon_{fu}$
 ρ_s - steel reinforcement ratio
 σ_{fp} - prestressing stress level in the CFRP laminate

1. WPROWADZENIE

Badania dotyczą efektywności wzmocnienia żelbetonowych belek na zginanie przy użyciu naprężonych taśm z włóknami węglowymi (Carbon Fiber Reinforced Polymer – CFRP).

W ostatniej dekadzie kompozyty CFRP w postaci sztywnych laminatów i wiotkich mat, znalazły szerokie zastosowanie we wzmacnianiu konstrukcji żelbetonowych metodą przyklejania na zewnętrznej powierzchni betonu, przy użyciu epoksydowej zaprawy klejowej (angielska nazwa Externally Bonded – EB). Za stosowaniem tego materiału przemawiają jego liczne zalety, takie jak: bardzo wysoka wytrzymałość na rozciąganie w kierunku włókien, niewielki ciężar właściwy materiału, łatwość transportu i montażu kompozytów nawet w trudno dostępnych miejscach oraz wysoka odporność materiału na korozję i agresywne oddziaływanie środowiska.

Wiele badań doświadczalnych przeprowadzonych dotychczas na zginanych żelbetonowych elementach wzmocnionych biernymi (bez naprężania) kompozytami, wykazało dość niską efektywność tej techniki. Powodem tego jest sposób zniszczenia wzmocnionego elementu na skutek nagłego odspojenia kompozytu od powierzchni betonu, w bezpośrednim sąsiedztwie rys typowych dla zginania, położonych w strefie czystego zginania (*Kamińska i Kotynia 2000; Kotynia i Kamińska 2003*). Badania wykazały, że efektywność biernego wzmocnienia na zginanie zależy od wielu czynników, takich jak: rodzaj i wymiary przekroju zbrojenia kompozytowego, odległość jego końców od podpory, układ podłużnego i poprzecznego zbrojenia stalowego oraz rozkład momentów zginających i sił poprzecznych w elemencie (*Kotynia i Kamińska 2003*). Ponadto wzmocnienie konstrukcji przy użyciu biernych kompozytów zwiększa jej nośność, nie wpływa jednak znacząco na poprawę warunków użytkowalności (tzn. momentu rysującego i ugięcia od obciążeń użytkowych) zwłaszcza, jeżeli element przed wzmocnieniem był już obciążony. W celu zwiększenia efektywności wzmocnienia, w tym w stanie granicznym użytkowalności, oraz zwiększenia poziomu wykorzystania wytrzymałości kompozytu na rozciąganie, obecnie stosuje się wstępne jego naprężenie. Pozwoliło to zmniejszyć ugięcia wzmacnianych elementów, zmniejszyć rozwarście rys, ograniczyć naprężenia w stalowym zbrojeniu podłużnym, zmniejszyć odkształcenia betonu oraz znacząco zwiększyć jego sztywność i nośność. Zalety wzmocnień czynnych zostały potwierdzone w wielu badaniach doświadczalnych (*Deuring 1993, Trintafillou, Deskovic, Deuring 1992, Meier 1995, Teng, Chen, Smith, Lam 2002, El-Hacha, Wight, Green 2003, Wight, Green, Erki 2001*), w których określono minimalny poziom wstępnego naprężenia kompozytu jako 25% jego wytrzymałości na rozciąganie (*Trintafillou, Deskovic, Deuring, 1992, Meier, 1995*). W przypadku wstępnego naprężenia powyżej 70% wytrzymałości włókien na rozciąganie, obserwowano zniszczenie badanych elementów na skutek zerwania włókien. Natomiast przy poziomie naprężenia nie przekraczającym 70% wytrzymałości na rozciąganie, do zniszczenia dochodziło najczęściej przez odspojenie kompozytu od powierzchni betonu. (*Meier, 1995*).

1. INTRODUCTION

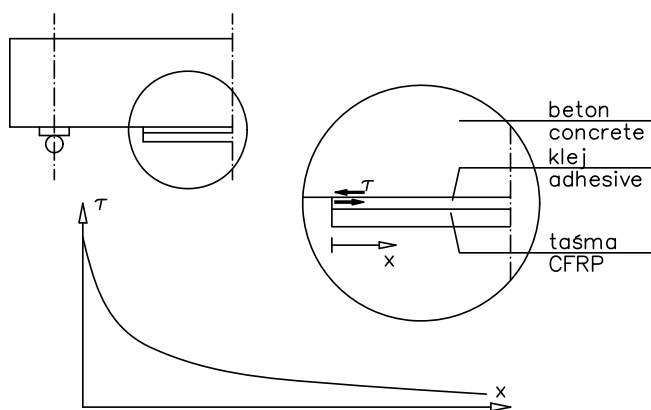
The research considers the efficiency of flexural strengthening of RC beams with the use of CFRP laminates.

During the last decade CFRP composites in the form of stiff laminates and flexible sheets have been widely used for flexural strengthening of RC structures with externally bonded (EB), i.e. bonded on the external concrete surface with the use of epoxy adhesive. What makes this material suitable is a large number of its advantages, such as: very high tensile strength in the direction of the fibres, low specific weight, easy supply and assembly, even in hard-to-reach places, as well as high resistance to corrosion and to aggressive influence of the environment.

A lot of experimental research conducted so far on bent RC elements, strengthened with passive (not-pretension) composites, have shown quite low efficiency of this technique. The reason for this is failure of a strengthened element resulting from a sudden debonding of the composite from the concrete surface in the vicinity of cracks typical for bending located in the pure bending zone (*Kamińska and Kotynia 2000; Kotynia and Kamińska 2003*). The research showed that the efficiency of passive flexural strengthening depends on a number of factors, such as: the kind and dimensions of the cross section of CFRP reinforcement, its cut off from the support, the distribution of longitudinal and transverse steel reinforcement, as well as the distribution of bending moments and transverse forces in an RC member (*Kotynia and Kamińska 2003*). Test results indicated that flexural strengthening with the use of passive composites increases the structural capacity but has no significant influence on the improvement of Serviceability Limit States (SLS), i.e. the cracking moment and the vertical deflection under the imposed loads, especially if the RC member has been pre-loaded before strengthening. In order to increase the strengthening efficiency in SLS and to increase utilization of the tensile strength of a composite, initial pretensioning of the composite has been proposed. It has made it possible to decrease deflections of the strengthened member, crack opening, to limit tension in longitudinal steel reinforcement, to decrease concrete strain and to increase the stiffness of the member and its load bearing capacity significantly. The advantages of active strengthening have been proved in a number of experiments (*Deuring 1993, Trintafillou, Deskovic, Deuring 1992, Meier 1995, Teng, Chen, Smith, Lam 2002, El-Hacha, Wight, Green 2003, Wight, Green, Erki 2001*), in which the minimum level of pretensioning of a composite was determined as 25 % of its tensile strength (*Trintafillou, Deskovic, Deuring, 1992, Meier, 1995*). If the pretensioning exceeds 70 % of the composite tensile strength, failure due to rupture of the CFRP fibers was observed. For pretensioning not exceeding 70 % of a composite tensile strength, failure was predominantly caused by debonding of the composite from the concrete surface (*Meier, 1995*).

Najbardziej efektywny poziom naprężenia kompozytu CFRP określono zatem jako 50÷60% jego wytrzymałości na rozciąganie, co zapewnia niemal jednocześnie uzyskanie odspojenia i zerwania włókien tego zbrojenia

Podstawowym problemem związanym ze wzmacnianiem konstrukcji przy użyciu naprężonych taśm z włókien węglowych jest występowanie bardzo dużych naprężeń stycznych na końcach taśmy. Siła rozciągająca taśmę nie może być bezpośrednio przekazana na podłoże betonowe, ponieważ odpowiadające jej naprężenia styczne znacząco przekraczają wytrzymałość betonu na rozciąganie, co w konsekwencji skutkuje odspojeniem kompozytu od powierzchni betonu (Rys. 1.1). Z tego powodu system wzmocnień naprężonymi taśmami wymaga zastosowania mechanicznego zakotwienia ich końców w betonie, przy użyciu stalowych systemów kotwiących szerzej omówionych w publikacji (Meier i Kotynia, 2006).



Rys. 1.1. Rozkład naprężeń stycznych na końcu taśmy i odspojenie wstępnie naprężonej taśmy nie zakotwionej na końcach (Meier i Kotynia, 2006)

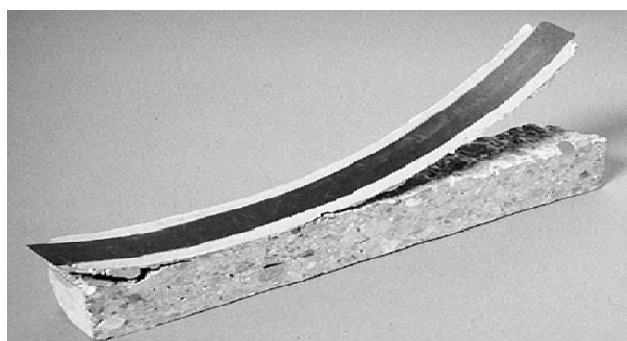
Fig. 1.1. The distribution of shear stresses at the strip's end and the debonding of the unanchored pretensioned strip (Meier and Kotynia, 2006)

Jedyny jak dotąd bezkrotkowy czynny system wzmacniania na zginanie, został opracowany przez prof. Ursę Meiera w laboratorium EMPA w Zurychu. Szczegółowy opis tej techniki wraz z wynikami badań przeprowadzonych we współpracy z laboratorium Katedry Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej (KBB) przedstawiono w publikacjach (Meier i Kotynia, 2006, Kotynia i inni 2011).

Wzmacnianie istniejących konstrukcji żelbetowych wymaga uwzględnienia poziomu obciążenia konstrukcji przed wzmocnieniem. Z analizy dotychczas opublikowanych wyników badań elementów żelbetowych wzmocnionych czynnie wynika, że nie uwzględniano w nich wpływu poziomu obciążenia elementu na efektywność wzmocnienia. Wobec powyższego, autorzy pracy przeprowadzili badania doświadczalne obejmujące elementy wzmocnione przy różnych stopniach ich obciążenia, wywołanego odpowiednio ciężarem własnym i obciążeniem zewnętrznym. Drugim istotnym analizowanym parametrem był wpływ przyczepności taśm CFRP na efektywność wzmocnienia.

The most effective level of CFRP pre-tensioning was ranged between 50 and 60 % of its tensile strength, which makes it possible to obtain almost simultaneous FRP debonding and rupture of fibers.

The basic problem connected with strengthening of structures with the use of CFRP laminates is the occurrence of very high shear stresses at the ends of a strip. Tensile force acting on the strip cannot be transferred directly onto a concrete because the corresponding shear stress exceeds the tensile strength of concrete, which leads to debonding of the composite from the concrete surface (Fig. 1.1). This is the reason why strengthening with pretensioned laminate requires using mechanical anchorage of the strip's ends in concrete by the steel anchorage systems described in another publication (Meier and Kotynia, 2006).



The only unanchored system for flexural strengthening has been developed by prof. Urs Meier in the EMPA laboratory in Zurich. A detailed description of this technique and the results of the tests conducted in cooperation with the Department of Concrete Structures of Lodz University of Technology have been presented in publications (Meier i Kotynia, 2006, Kotynia et al 2011).

Strengthening existing RC structures requires considering the preloading level of a structure before strengthening. The analysis of the published results of tests on RC elements strengthened with pretensioned laminates shows that most of research didn't consider the influence of the preloading level on the strengthening efficiency. Therefore, the authors carried out tests concerning RC members strengthened at various preloading levels, performed by both the dead load and the external load. Another investigated parameter was the influence of adhesion between CFRP laminate and concrete on the strengthening efficiency.

Przedstawione w opracowaniu badania doświadczalne stanowią część szerszego programu badawczego finansowanego z projektu POIG „**Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju**”.

The presented experimental tests are a part of a larger research program financed from the research project “Innovative Measures and Effective Methods of Improving Safety and Sustainability of Construction Works and Transport Infrastructure in Sustainable Development Strategy”, co-financed by the European Union from the European Regional Development Fund within Operational Program Innovative Economy.

2. PROGRAM BADAŃ

Celem badań realizowanych w laboratorium Katedry Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej, była analiza efektywności wzmocnienia żelbetowych belek na zginanie przy użyciu wstępnie naprężonych taśm CFRP.

Wzmocnianie istniejących elementów żelbetowych wymaga zawsze rozważenia istniejącego stanu konstrukcji poprzez oszacowanie poziomu obciążenia elementu przed wzmocnieniem. Z analizy dotychczas opublikowanych wyników badań elementów żelbetowych wzmocnionych czynnie wynika, że nie uwzględniano w nich wpływu poziomu obciążenia elementu na efektywność wzmocnienia. Z tego powodu przyjęto, że głównym parametrem zmiennym w relacjonowanych badaniach będzie poziom wstępnego obciążenia belek przed ich wzmocnieniem. Założono zatem, że belki będą pod trzema różnymi poziomami obciążenia. Pierwsza część elementów została wzmocniona pod ciężarem własnym, który stanowił 25% lub 14% nośności elementu niewzmocnionego (różnica wynikała z różnego stopnia zbrojenia stalowego elementów, zbrojonych odpowiednio prętami o średnicy 12mm i 16mm). Pozostałe belki wzmocniono pod obciążeniem wywołanym ciężarem własnym i obciążeniem zewnętrznym, co łącznie stanowiło 76% pierwotnej nośności tych elementów. Obciążenie utrzymywane było w sposób ciągły, zarówno podczas wykonywania wzmocnienia, jak i wiązania kleju.

Wpływ stopnia zbrojenia stalowego na efektywność wzmocnienia elementu uwzględniono w badaniach stosując podłużne zbrojenie w postaci prętów o średnicach 12mm i 16mm. Program badań obejmował trzy serie elementów (A, B i C), które łącznie składały się z siedmiu żelbetowych belek. Dwie pierwsze serie (A i B) zawierały łącznie pięć belek żelbetowych zbrojonych dołem czterema prętami o średnicy 12mm. Seria C składała się z dwóch belek zbrojonych dołem czterema prętami o średnicy 16mm.

Kolejnym rozpatrywanym parametrem był wpływ przyczepności na efektywność wzmocnienia pomiędzy wstępnie naprężonym materiałem kompozytowym a powierzchnią betonu. Większość belek została wzmocniona taśmą CFRP przyklejoną do ich powierzchni za pomocą kleju epoksydowego. Dwie belki wzmocniono bez użycia kleju pomiędzy taśmą a betonem. W tym przypadku laminat zachowywał się jak zewnętrzny ściąg, połączony z belką jedynie w miejscu zakotwienia.

W jednej z belek po wykonaniu wzmocnienia i związaniu kleju zostały usunięte płyty kotwiące, a wolne końce zostały przyklejone w sposób bierny. W ten sposób zrealizowano bezkotwowe wzmocnienie belki, co pozwoliło porównać wpływ obecności zakotwienia mechanicznego na efektywność wzmocnienia. Zestawienie wszystkich badanych elementów wraz z parametrami zmiennymi podano w Tabelicy 2.1.

W celu ułatwienia identyfikacji belek wprowadzono następujące oznaczenia:

- B12 - belki zbrojone podłużnie prętami o średnicach
- B16 - odpowiednio 12 i 16mm;
- a - taśma przyklejona na całej długości;
- sp - zakotwienie zrealizowane przy użyciu stalowych płyt;
- e - wstępne obciążenie belki przed wzmocnieniem.

2. RESEARCH PROGRAM

The aim of the research carried out in the laboratory of the Department of Concrete Structures at Lodz University of Technology was the analysis of the efficiency of tensile strengthening of reinforced concrete (RC) beams with pretensioned CFRP laminates.

Flexural strengthening of existing reinforced concrete members always requires considering the current exhaustion of the structure (namely preloading level) before strengthening. The analysis of the published results shows that the effect of the preloading level of RC members on the strengthening efficiency has not been taken into consideration. For this reason, it was assumed that the main investigated parameter in this research would be the level of the beam's preloading before strengthening. Thus it was assumed that the beams would be strengthened under 3 various preloading levels, provided constantly for the full strengthening process until the epoxy resin reached its full strength. Several beams were strengthened under their dead load only, which accounted for 25% or 14% of the steel yielding of a non-strengthened beam (the difference was caused by a different steel reinforcement ratio between members reinforced with bars of 12mm and 16 mm diameter). The rest beams were strengthened under simultaneous dead load and the external load, which, in total, accounted for 76% of the steel yielding load of a non-strengthened beam. Loading was kept constant, during both strengthening and bonding process.

The analysis of the influence of steel reinforcement on the efficiency of strengthening was the subject of the research in which longitudinal reinforcement with bars of two different diameters (12 and 16 mm) were used. The experimental program included three series of beams (A, B, and C), which altogether consisted of seven reinforced concrete beams. The first two series (A and B) included five RC beams reinforced in the tensile zone with four bars of 12mm diameter. Series C consisted of two beams reinforced in tension with four bars of 16 mm diameter.

The next investigated parameter was the influence of adhesion between the CFRP laminate and concrete surface on the strengthening efficiency. Most of the beams were strengthened with laminates bonded to the concrete with epoxy adhesive. Two beams were strengthened without any bonding between the laminate and concrete. In this case the laminate behaved like an external bow-string joined to the beam only at the anchorage points.

In one of the beams, after bonding of the pretensioned laminate to the concrete surface, the anchorage plates were removed and the free ends were bonded without any prestressing force in the strip. In this way the beam was strengthened without anchorage, which made it possible to compare the influence of anchorage on the strengthening effect. The summary of all the investigated members with variable parameters is shown in Table 2.1.

For identification of the beams, the following nomenclature was assumed:

- B12 - beams reinforced with longitudinal steel bars of
- B16 - 12 and 16 mm diameter, respectively;
- a - laminate bonded over the whole its length;
- sp - anchorage system with the use of steel slabs;
- e - pre-loading of the beam before its strengthening.

Tablica 2.1. Zestawienie belek i badanych parametrów
Table 2.1. Summary of beams and investigated parameters

Seria Series	Belka Beam	Zbrojenie rozciągane Tensile steel reinforcement	Sposób zakotwienia Anchorage technique	Typ wstępnego obciążenia Type of preloading	$2F_p$ (kN)	$2F_p / 2F_{u0}$ (-)
A	B12-asp	4#12	przyczepność + stalowa płyta kotwiąca adhesive + steel anchorage plate	ciężar własny dead load	6.3	0.25
	B12-sp	4#12	stalowa płyta kotwiąca steel anchorage plate	ciężar własny dead load	6.3	0.25
B	B12-asp-e	4#12	przyczepność + stalowa płyta kotwiąca adhesive + steel anchorage plate	ciężar własny + obciążenie zewnętrzne dead load + external load	20.0	0.76
	B12-sp-e	4#12	stalowa płyta kotwiąca steel anchorage plate	ciężar własny + obciążenie zewnętrzne dead load + external load	20.0	0.76
	B12-a	4#12	przyczepność adhesive	ciężar własny dead load	6.3	0.25
C	B16-asp	4#16	przyczepność + stalowa płyta kotwiąca adhesive + steel anchorage plate	ciężar własny dead load	6.3	0.14
	B16-asp-e	4#16	przyczepność + stalowa płyta kotwiąca adhesive + steel anchorage plate	ciężar własny + obciążenie zewnętrzne dead load + external load	33.8	0.76

$2F_p$ - wstępne obciążenie / preloading load

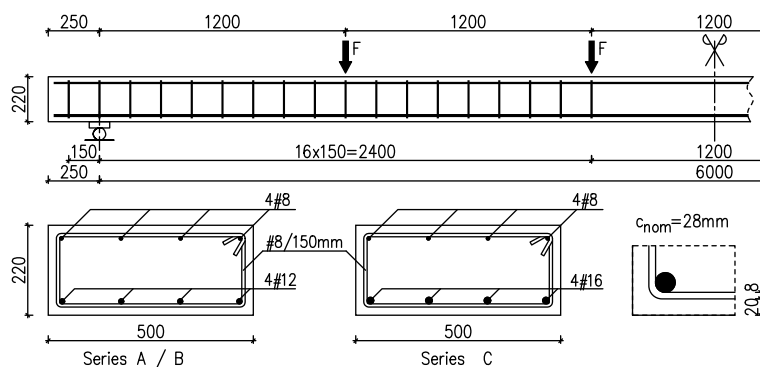
$2F_p / 2F_{u0}$ - stopień wyęźnienia elementu przed wzmocnieniem / preloading ratio before strengthening

2.1 Elementy badawcze

Badane elementy w całości zostały wykonane w laboratorium Katedry Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej. Pięć belek serii A i B zbrojono w strefie rozciąganej czterema prętami o nominalnej średnicy 12mm, podczas gdy dwie belki serii C zbrojono czterema prętami o średnicy 16mm. Zbrojenie górne we wszystkich belkach wykonane było z czterech prętów o średnicy 8mm. W strefie przypodporowej zastosowano zbrojenie poprzeczne w postaci strzemion zamkniętych, wykonanych z prętów o średnicy 8mm w rozstawie 150mm. Betonowa otulina zbrojenia podłużnego we wszystkich elementach wynosiła 28mm. Przekrój poprzeczny belek miał wymiary 500x220mm. Elementy badane były jako jednoprzęsłowe, wolnopodparte o rozpiętości 6000mm, obciążone czterema siłami skupionymi (Rys. 2.1.).

2.1 Test members

All the tested members were performed in the laboratory of the Department of Concrete Structures at Lodz University of Technology. Five beams from A and B series were reinforced in tension with four bars with the nominal diameter of 12 mm, whereas two beams from series C were reinforced with four bars of 16 mm diameter. In compression zone all the beams were reinforced with four bars of 8mm diameter. The shear reinforcement was constructed of steel stirrups of 8mm diameter at 150mm spacing. The concrete cover of longitudinal reinforcement in all series was 28mm. Simply supported beams with cross-section of 500x220mm were tested in four point loading as a single span of 6000 mm (Fig. 2.1.).



Rys. 2.1. Schemat statyczny i stalowe zbrojenie belek
Fig. 2.1. Static scheme and steel reinforcement of tested beams

2.2 Zastosowane materiały

2.2.1 Beton

Belki wykonano z betonu towarowego klasy C30/37. Parametry wytrzymałościowe betonu określono w dniu badania elementów w maszynie wytrzymałościowej. Średnia wytrzymałość betonu na ściskanie ($f_{c,cube}$) uzyskana na próbkach sześciennych o boku 150mm wyniosła od 33.8MPa do 35.3MPa dla Serii A, od 44.0MPa do 50.3MPa dla Serii B oraz od 52.4MPa do 60.3MPa dla Serii C. Wytrzymałość na rozciąganie poprzez rozłupywanie ($f_{ct,sp}$) wahała się od 2.65MPa do 3.13MPa dla Serii A, od 3.48MPa do 3.60MPa dla Serii B oraz od 3.65MPa do 5.30MPa dla Serii C. Średnia wytrzymałość betonu na ściskanie (f_c) uzyskana na próbkach walcowych o średnicy 150mm i wysokości 300mm wyniosła odpowiednio od 28.7MPa do 32.2MPa dla belek Serii A, od 40.9MPa do 45.3MPa dla Serii B oraz od 49.0MPa do 51.0MPa dla Serii C. Średnia wartość modułu sprężystości (E_c) uzyskana na próbkach walcowych wynosiła od 23.7GPa do 26.4GPa. Wyniki badań wytrzymałościowych betonu przedstawiono w Tablicy 2.2.

2.2 Used materials

2.2.1 Concrete

RC beams were casted with concrete of C30/37 class. The strength parameters of the concrete were estimated on the day of the members testing. The average compressive concrete strength ($f_{c,cube}$) defined in compression tests on cubes with the side of 150 mm ranged from 33.8MPa to 35.3MPa for Series A, from 44.0MPa to 50.3MPa for Series B, and from 52.4MPa to 60.3MPa for Series C. The tensile splitting strength of concrete ($f_{ct,sp}$) based on the concrete splitting test varied from 2.65MPa to 3.13MPa for Series A, from 3.48MPa to 3.60MPa for Series B, and from 3.65MPa to 5.30MPa for Series C. The average compressive concrete strength (f_c) obtained from tests on cylinder samples with the diameter of 150mm and the height of 300mm ranged from 28.7MPa to 32.2MPa for beams of Series A, from 40.9MPa to 45.3MPa for Series B, and from 49.0MPa to 51.0MPa for Series C. The average modulus of elasticity (E_c) ranged from 23.7GPa to 26.4GPa. The test results for concrete are presented in Table 2.2.

Tablica 2.2. Charakterystyka wytrzymałościowa betonu

Table 2.2. Strength properties of concrete

Nr/seria No/seria	Symbol elementu Symbol of element	Wiek betonu Age of concrete (dni)/(days)	$f_{c,cube}$ (MPa)		$f_{ct, sp}$ (MPa)		f_c (MPa)		$f_c/f_{c,cube}$ -	E_c (GPa)	
			Wyniki Results	Średnia Mean	Wyniki Results	Średnia Mean	Wyniki Results	Średnia Mean		Wyniki Results	Średnia Mean
1/A	B12_asp	266	35,9; 35,6; 34,5	35,3	2,65	2,65	31,2; 33,1	32,2	0,91	23,3; 24,1	23,7
2/A	B12_sp	311	35,1; 33,7; 32,5	33,8	3,10; 3,15;	3,13	28,4; 28,9	28,7	0,85	24,3; 25,1	24,7
3/B	B12_asp_e	77	45,7; 47,9; 46,6	46,7	3,20; 3,70; 3,60	3,48	41,0; 41,4; 40,4	40,9	0,88	24,8; 26,8; 24,6	25,4
4/B	B12_sp_e	55	41,1; 44,0; 47,0	44,0	3,45; 3,65; 3,40;	3,50	42,5; 41,0; 41,3	41,6	0,94	23,7; 25,2; 25,2	24,7
5/B	B12_a	198	51,3; 51,3; 48,4	50,3	3,65; 3,85; 3,30	3,60	-	-	-	22,7; 25,1; 25,1	24,3
6/C	B16_asp	61	52,8; 52,1; 52,2	52,4	3,70; 3,50; 3,75	3,65	46,3; 50,5; 48,8	49,0	0,94	24,8; 26,0; 25,3	25,4
7/C	B16_asp_e	71	60,3; 61,9; 60,3	60,3	5,25; 5,55; 5,10	5,30	51,6; 50,0; 50,2	51,0	0,94	25,8; 26,8; 26,6	26,4

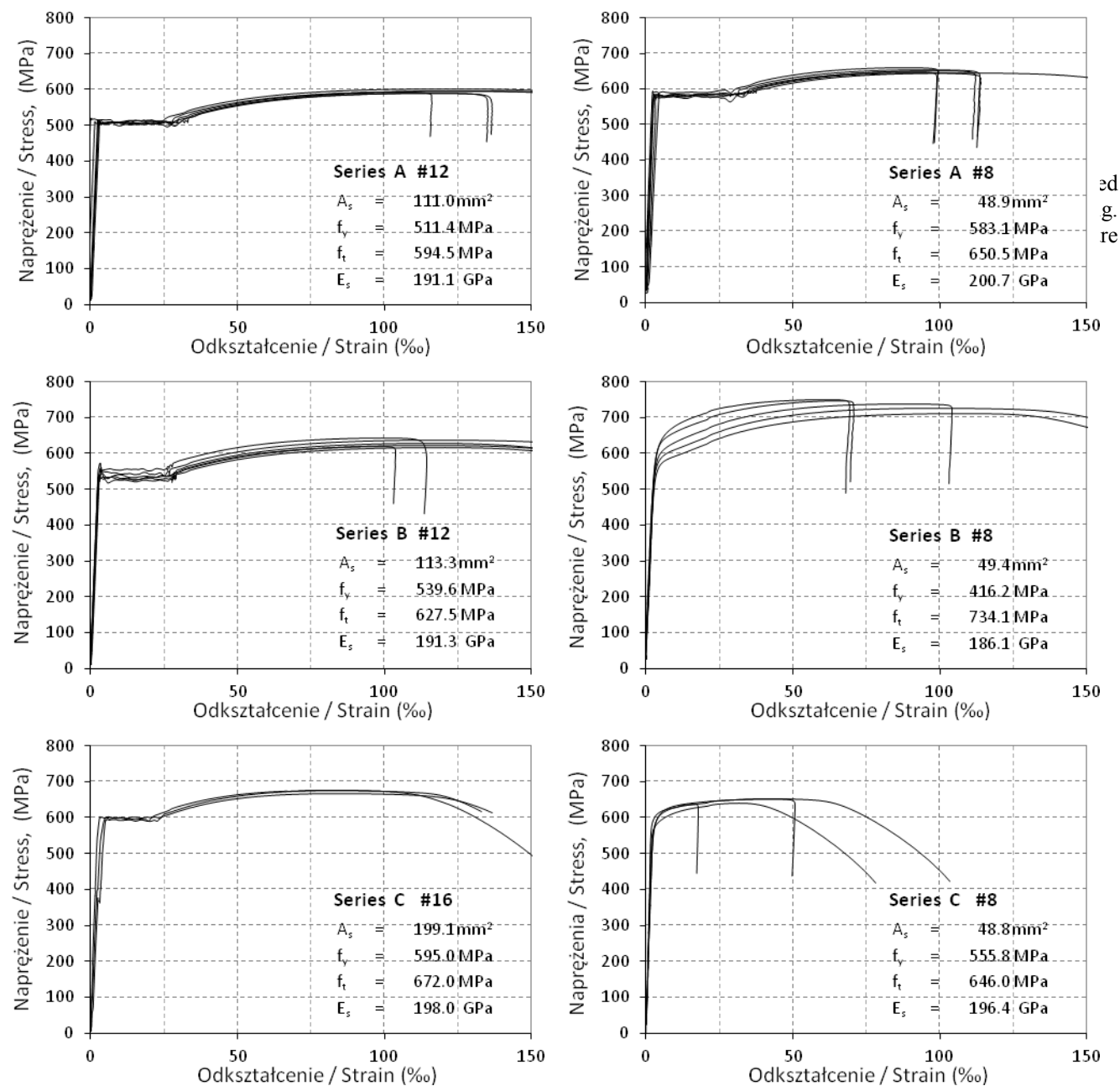
2.2.2 Zbrojenie stalowe

Z każdego pręta użytego do zbrojenia belek pobrano próbki w celu określenia cech wytrzymałościowych. Badania próbek stali przeprowadzono w maszynie wytrzymałościowej UFP400, sterowanej komputerowo, wyposażonej w rejestrator wydłużeń o bazie pomiarowej o długości zmiennej od 20 do 100mm. Określono odkształcenia (ϵ_u) przy maksymalnej sile, moduł sprężystości (E_s), wytrzymałość na rozciąganie (f_t) i granicę plastyczności (f_y).

2.2.2 Steel reinforcement

From each steel bar used for reinforcement, a sample was taken in order to determine its strength properties. Tensile tests on the steel samples were carried out in a computer-controlled UFP400 testing machine equipped with extensometer with the measuring base of the length changing from 20 to 100mm. The ultimate steel strain (ϵ_u) corresponding to the ultimate load, modulus of elasticity (E_s), tensile strength (f_t) and yielding strength (f_y) were

Zależność naprężenie - odkształcenie dla poszczególnych średnic zbrojenia przedstawiono na rysunku 2.2. Charakterystyki wytrzymałościowe prętów o średnicy 12mm dla Serii A i B były różne, dlatego pokazano je na odrębnych wykresach.



Rys. 2.2. Charakterystyka stali zbrojeniowej
Fig. 2.2. Strength characteristics of steel reinforcement

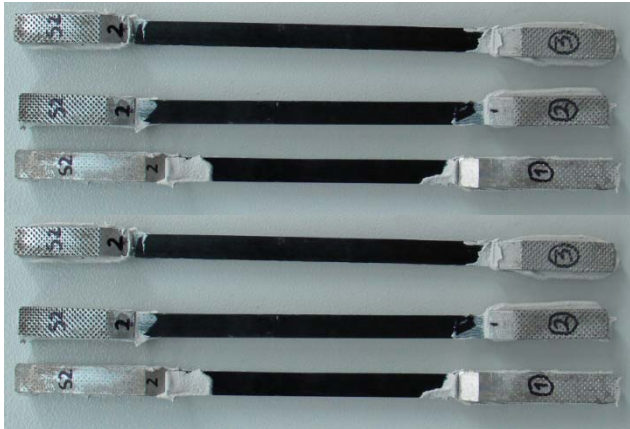
2.2.3 Taśmy z włóknami węglowymi

Wzmocnienie wszystkich belek wykonano przy użyciu taśm CFRP o szerokości 100mm i grubości 1.20mm. Z dostarczonych przez producenta taśm CFRP (firmę S&P) przygotowano próbki o wymiarach 12,7x1,2x350mm, z przyklejonymi do ich końców aluminium płaskownikami (Rys. 2.3.). Próbki poddano próbie osiowego rozciągania zgodnie z zaleceniami normy *ACI Committee*.

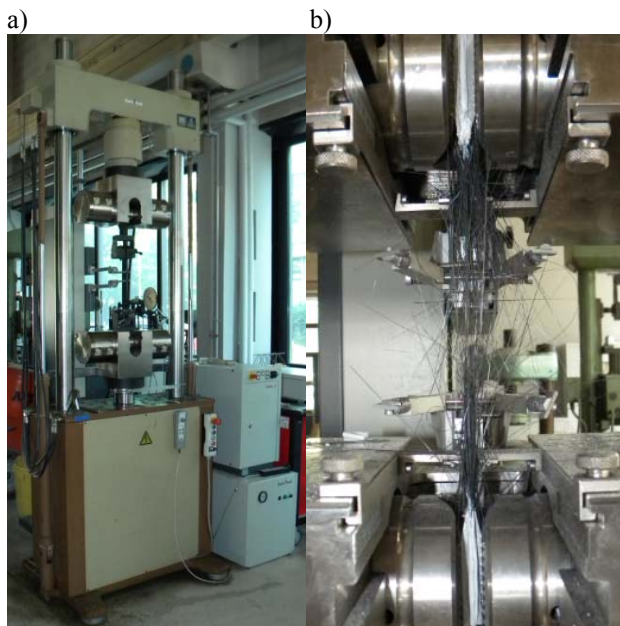
2.2.3 CFRP laminates

All the beams were reinforced with 100mm wide and 1.20mm thick CFRP laminates. From the strips delivered by the manufacturer (S&P company) 12.7x1.2x350mm samples with aluminium flat bars bonded to their ends were performed (Fig. 2.3.). The samples were tested in axial tension in accordance with the *ACI Committee* Standard.

Taśmy zbadano na rozciąganie w maszynie wytrzymałościowej UFP 400, wyposażonej w rejestrator wydłużeń, zapisujący odkształcenia w całym zakresie obciążeń aż do zniszczenia (Rys. 2.4.). Wykres przedstawiający zależność naprężenie - odkształcenie taśmy kompozytowej pokazano na rysunku 2.5. Na podstawie przeprowadzonych badań uzyskano średnią wytrzymałość na rozciąganie $f_{fu}=2857\text{MPa}$, moduł sprężystości $E_f=174.7\text{GPa}$ oraz odkształcenia graniczne przy zerwaniu $\varepsilon_{fu}=16.8\text{‰}$ (Tablica 2.3.).



Rys. 2.3. Próbkki taśmy CFRP przygotowane do badania
Fig. 2.3. Samples of CFRP laminate prepared for testing

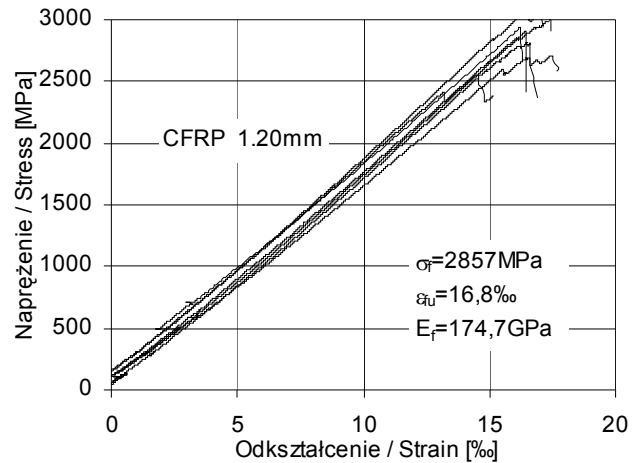


Rys. 2.4. a) maszyna wytrzymałościowa UFP400
b) obraz zniszczenia próbki taśmy CFRP
Fig. 2.4. a) the UFP400 testing machine
b) failure of a CFRP laminate sample

2.2.4 Zaprawa klejowa

Taśmy kompozytowe przyklejane były do powierzchni betonu przy użyciu dwuskładnikowej zaprawy klejowej S&P Resin 220, dostarczanej przez producenta w dwóch pojemnikach. Przygotowanie kleju polegało na wymieszaniu żywicy (A) i utwardzacza (B) w proporcjach wagowych A:B równych 3:1, aż do uzyskania jednolitej mieszaniny.

The tensile test was carried out in the UFP 400 testing machine equipped with extensometer in the whole range of loads up to CFRP failure (Fig. 2.4.). The graph illustrating the stress-strain characteristic for CFRP laminates is shown in Fig. 2.5. The tests made it possible to define the average CFRP tensile strength $f_{fu}=2857\text{MPa}$, the modulus of elasticity $E_f=174.7\text{GPa}$ and ultimate tensile strain $\varepsilon_{fu}=16.8\text{‰}$ (Table 2.3).



Rys. 2.5. Wykres naprężenie - odkształcenie taśmy CFRP
Fig. 2.5. The stress – strain characteristics for CFRP laminates

Tablica 2.3. Zestawienie wyników badań taśm CFRP na rozciąganie

Table 2.3. Summary of the experimental tensile characteristics of CFRP laminates

Nr No.	Przekrój Crosssection		E_f (GPa)		f_{fu} (MPa)		ε_{fu} (‰)	
	b_f mm	t_f mm	wyniki results	średnia mean	wyniki results	średnia mean	wyniki results	średnia mean
I.1	12.8	1.20	176.1	175.6	2904	2979	16.4	16.7
I.2	12.4	1.20	169.5		2936		16.3	
I.3	12.8	1.20	174.9		3003		17.4	
I.4	12.0	1.20	181.7		3074		16.7	
II.1	12.2	1.20	166.6	173.6	2708	2695	17.7	16.8
II.2	11.8	1.20	177.0		2818		16.9	
II.3	12.2	1.20	177.2		2558		15.9	

2.2.4 Adhesive mortar

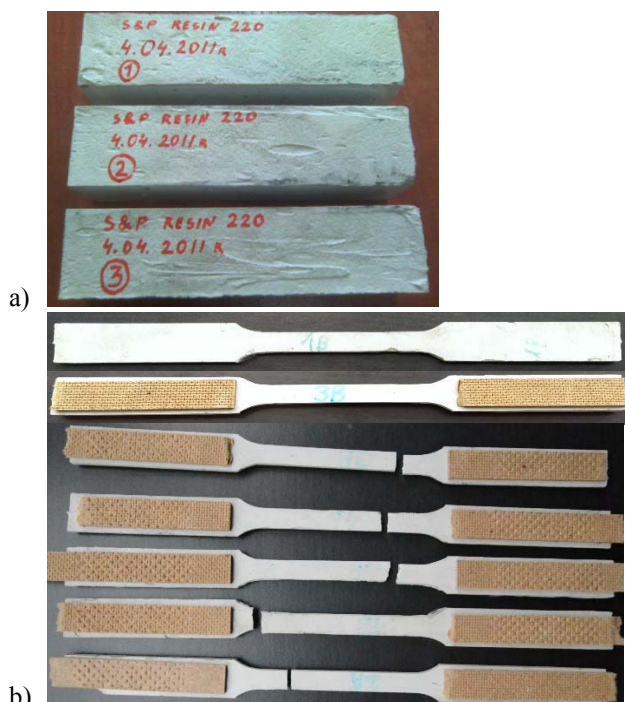
CFRP laminates were bonded to the concrete surface with the use of a two-component adhesive mortar S&P Resin 220, delivered by the manufacturer in two containers. Preparation of the adhesive meant mixing resin (A) with the hardener (B) in A:B weight proportions equal to 3:1, until a homogeneous mixture was obtained.

Wykonano trzy próbki zaprawy klejowej w postaci beleczek o wymiarach 40x40x160mm (wg. PN-EN 196-1) (Rys. 2.6.).

Dodatkowo przeprowadzono badania zaprawy klejowej na podstawie ISO 527-1,-2 wykonując próbki w kształcie „wiosełek” i płaskich beleczek o wymiarach zgodnych z rysunkiem 2.6.b.

Po uzyskaniu pełnej wytrzymałości próbki zostały zbadane w maszynie wytrzymałościowej FORM+TEST (PRUFSYSTEM typ 107/3000A) oraz UFP400. Uzyskane rezultaty zestawiono w tabeli 2.4 i 2.5.

Wszystkie belki badano najwcześniej po 4 dniach od ich wzmocnienia (Tab. 2.6).



Rys. 2.6. Próbki zaprawy klejowej S&P Resin 220
a) wg. PN-EN 196-1; b) wg. ISO 527-1,-2

Fig. 2.6. The samples of S&P Resin 220 adhesive mortar
a) acc. to PN-EN 196-1; b) acc. to ISO 527-1,-2

Tablica 2.4. Zestawienie wyników dla zaprawy klejowej S&P Resin 220 wg. PN-EN 196-1

Table 2.4. The test results of the S&P Resin 220 adhesive mortar in accordance to PN-EN 196-1

R _{c,a} (MPa)				R _{f,a} (MPa)			
wyniki results			średnia mean	wyniki results			średnia mean
60.5	57.3	57.9	58.0	23.4	22.7	23.4	23.2
59.4	54.8	58.1					
57.6	58.7	57.2	57.9	23.2	20.9	21.1	21.7
57.3	58.6	57.7					

2.3 Sposób wykonania wzmocnienia

Belki wzmocniono wstępnie naprężoną pojedynczą taśmą CFRP o przekroju 100x1.20mm (Rys. 2.8.). Projektowane wstępne odkształcenie taśmy kształtowało się na poziomie 5%, co odpowiadało 30% wytrzymałości taśmy CFRP na rozciąganie.

Three samples of the adhesive mortar in the form of 40 x 40 x 160 mm beams were made in accordance with PN-EN 196 -1 (Fig. 2.6.).

Apart from that, the test of adhesive mortar were carried out in accordance with ISO 527-1,-2 on the samples of two shapes: rowing scull and prisms (Figure 2.6.b).

After reaching the full strength the samples were tested with the FORM+TEST (PRUFSYSTEM type 107/3000A) and UFP 400 testing machines. The obtained results are collected in tables 2.4 i 2.5.

All the beams were tested at least 4 days after their strengthening (Tab. 2.6).



Rys. 2.7. Maszyna wytrzymałościowa FORM+TEST
Fig. 2.7. The FORM+TEST testing machine

Tablica 2.5. Zestawienie wyników dla zaprawy klejowej S&P Resin 220 wg. ISO 527-1,-2

Table 2.5. The test results of the S&P Resin 220 adhesive mortar in accordance to ISO 527-1,-2

f _{at} (MPa)						średnia mean
wyniki results						
20.4	20.1	16.0	16.1	15.5	13.8	16.0
17.6	13.3	15.9	17.1	15.3		

Tablica 2.6. Zestawienie wieku kleju w chwili badania
Table 2.6. The age of the adhesive during the beam tests

Nr/seria No./serie	Symbol elementu Symbol of element	Wiek kleju w chwili badania Age of epoxy during the test (dni) / (days)
1/A	B12_asp	33
2/A	B12_sp	21
3/B	B12_asp_e	14
4/B	B12_sp_e	5
5/B	B12_a	6
6/C	B16_asp	8
7/C	B16_asp_e	4

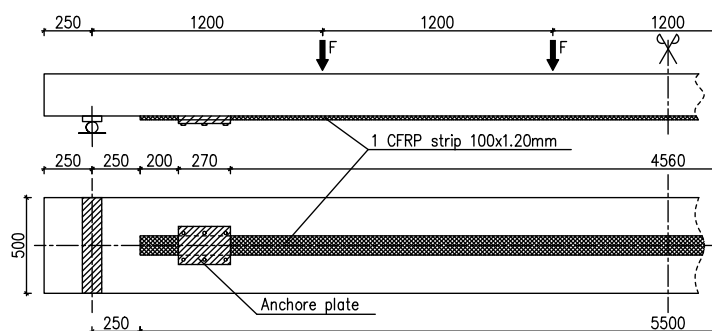
2.3 Strengthening configurations

The beams were strengthened with the pretensioned single CFRP laminate with the cross section of 100x1.20mm (Fig. 2.8.). The intended pretensioning strain of the strip was 5%, which corresponded to 30% of the strip's tensile strength.

Do wykonania wzmocnienia zastosowano system kotwiąco - sprężający firmy S&P (Rys. 2.9). W celu odzwierciedlenia warunków rzeczywistych, wszystkie prace związane ze wzmocnieniem wykonywano na stanowisku badawczym w pozycji sufitowej, w stanie wstępnego wyężenia, odpowiadającemu ciężarowi własnemu lub w stanie wyężenia wynikającego z ciężaru własnego i zewnętrznego obciążenia belki.

2.3.1 Przygotowanie powierzchni elementu

W celu uniknięcia przewiercenia zbrojenia podłużnego, występującego w belce w miejscu montażu śrub mocujących system kotwiąco-sprężający, rzeczywiste położenie prętów określono za pomocą Profometru 5 (Rys. 2.10).



Rys. 2.8. Schemat wzmocnienia belki naprężoną taśmą CFRP

Fig. 2.8. The diagram of the beam strengthening with pretensioned CFRP laminate

W pierwszym etapie wyznaczono planowaną oś montażu taśmy, a następnie za pomocą szablonu oznaczono miejsca położenia śrub do montażu systemu kotwiącego w taki sposób, aby nie uszkodzić zbrojenia podłużnego. Następnie nawiercono otwory. W celu usunięcia nierówności i warstwy mlecza cementowego, powierzchnia elementu w przewidywanym miejscu przyklejenia taśmy została wyrównana za pomocą szlifierki.

Następnie wykonano otwory pod kołki mocujące system kotwiąco - sprężający. Zastosowano dwa rodzaje śrub montażowych firmy HILTI: mechaniczne i wklejane. Próby naciągu taśmy przy użyciu kotew wklejanych nie powiodły się, gdyż doszło do zmiany ich położenia (poluzowania się śrub), co mogło niekorzystnie wpłynąć na nośność tego zamocowania.

The strengthening was made with the use of the prestressing system by the S&P company (Fig. 2.9). In order to reflect the real conditions all strengthening work with the CFRP prestressing was performed at the test stand under initial preloading corresponding to the dead load or in the preloading state resulting from the simultaneous dead load and the external load on the beam.

2.3.1 Surface preparation of RC member

In order to avoid cutting of the internal longitudinal reinforcement located in the beam, bolts fixing the prestressing system were installed in the real location of bars detected with the use of the profometer (Fig. 2.10).



Rys. 2.9. System kotwiąco – sprężający zamontowany na wzmocnianym elemencie

Fig. 2.9. The prestressing anchorage system fixed on the strengthened member



Rys. 2.10. Profometr do wykrywania zbrojenia stalowego

Fig. 2.10. The profometer for detecting of the steel reinforcement

During the first stage of strengthening process, the designed longitudinal axis of the installed CFRP strip was defined. Next, the location of bolts for the installation of the anchorage system was marked in order to protect the longitudinal reinforcement from unexpected cutting. Then holes were drilled. In order to remove irregularities and the layer of cement skin, the surface of the beams in the anticipated location of strip's bonding was smoothed with a grinding machine.

After that holes for bolts fixing the anchorage prestressing system were drilled, two kinds of mounting bolts by the HILTI company were used: mechanical and heavy-duty. The attempts to pretension the strip with epoxy bonded anchors were unsuccessful because the anchors changed their position (the bolts loosened), which could have negative influence on the fixing of laminates.

Ponadto użycie śrub wklejanych wydłużyło czas wykonywania wzmocnienia. Dlatego też do dalszych badań ze względu na szybkość montażu zastosowano kotwy mechaniczne. Ostatnim etapem przygotowania powierzchni było jej oczyszczenie sprężonym powietrzem. Wzmocnienie belek wykonano pod stałym obciążeniem (odpowiadającym ciężarowi własnemu elementu lub odpowiadającym jednoczesnemu obciążeniu ciężarem własnym i zewnętrznym obciążeniem siłami punktowymi).

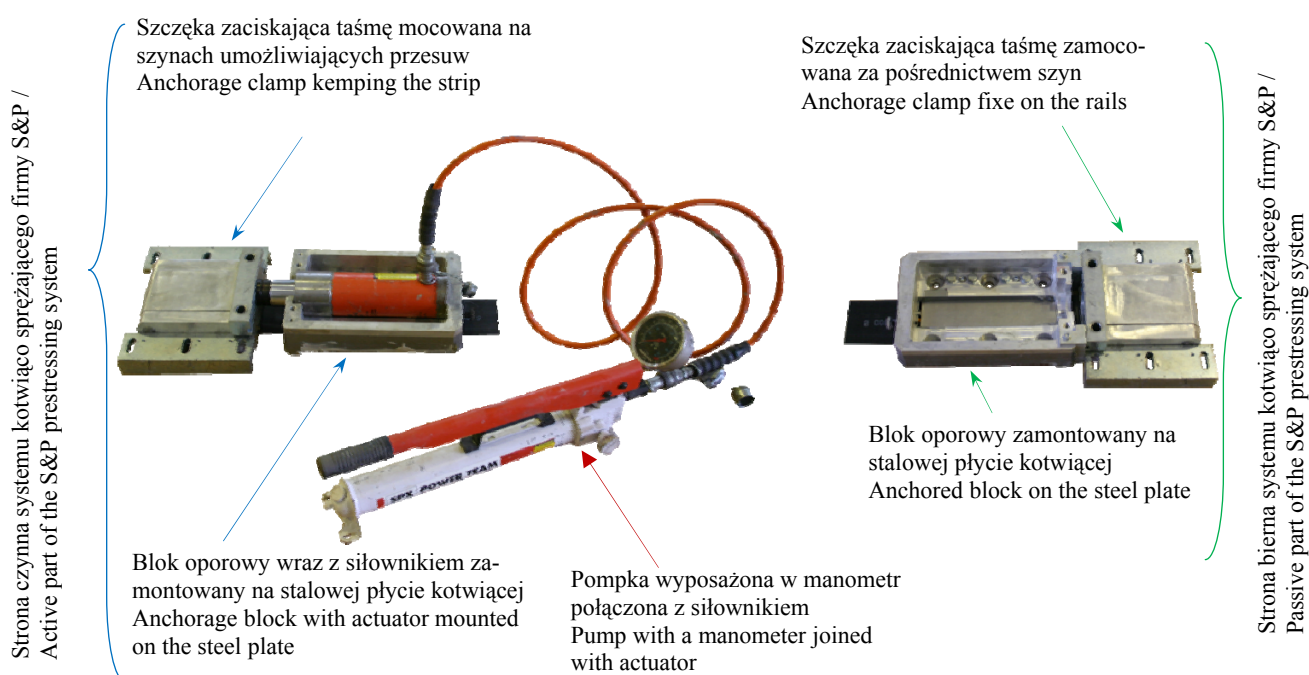
2.3.2 System kotwiąco-sprężający S&P

Zastosowany system składał się z płyt kotwiących zamocowanych do powierzchni betonu za pośrednictwem stalowych śrub kotwiących i kleju oraz przesuwnych szczęk zamocowanych na prowadniczkach umożliwiających wykonanie wstępnego naprężenia materiału kompozytowego (Rys. 2.11).

Moreover, the use of epoxy boned bolts increased the strengthening time. That is why in order to shorten the time of fixing, mechanical anchors were used for further elements. Finally the concrete surface was cleaned with compressed air. Strengthening of the beams was performed under the constant load (corresponding to the dead load of the element or to the simultaneous dead load and external load).

2.3.2 The anchorage prestressing system

The applied prestressing system consisted of anchorage plates fixed to the concrete surface with the mechanical steel anchor bolts and the adhesive, as well as the movable clamps fixed on the rails enabling prestressing of the CFRP laminates (Fig. 2.11).



Rys. 2.11. Schemat systemu kotwiąco - sprężającego firmy S&P
Fig. 2.11. Scheme of the anchorage prestressing system by the S&P company



Rys. 2.12. Widok powierzchni belki z zamocowanymi kołkami: strona bierna (z lewej) i strona czynna (z prawej)
Fig. 2.12. View of the beam's surface with the mechanical bolts: passive - fixed side of the system (on the left) and the active - movable side of the system (on the right)

2.3.2.1 Montaż systemu sprężającego S&P

System naprężający mocowany był na 6 śrubach kotwiących o średnicy 10mm na czynnej stronie zakotwienia i na 4 śrubach na stronie biernej. Blachy kotwiące mocowane były przy użyciu 6 śrub o średnicy 12mm po obu stronach zakotwienia.

2.3.2.1 Installation of the S&P prestressing system

The prestressing system was fixed by 6 anchor bolts with the diameter of 10mm on the active side of the anchorage and by 4 bolts on the tension-free side. The anchoring plates were fixed by 6 bolts with the diameter of 12mm on both sides of the anchorage.

Blachy kotwiące, jak i cały system wykonano z duraluminium, co zapewnia jego lekkość i odpowiednią trwałość (rys. 2.12). Taśmę docięto do odpowiedniej długości spełniającej warunki zakotwienia w szczękach systemu. Następnie po przeszlifowaniu i oczyszczeniu blach dociskowych zamontowano system szczęk na szynach kotwiących, zamocowanych do belek przy użyciu trzech (strona czynna) oraz dwóch (strona bierna) śrub kotwiących o średnicy 10mm (rys. 2.13).

The anchoring plates as well as the whole system were made from duraluminium, which guarantees its lightness and appropriate durability (Fig. 2.12). The strip was cut to the correct length complying with the anchoring conditions in the clamps of the system. Next, after grinding and cleaning of the anchoring plates, the clamps were fixed on the anchoring rails with the use of anchor bolts of 10mm diameter: three bolts on the active anchorage side and two bolts on the fixed anchorage side (Fig. 2.13).



Rys. 2.13. Szczęki zaciskające taśmę zamontowane na szynach: a) strona czynna, b) strona bierna
Fig. 2.13. Anchorage clamps mounted on the steel rails: a) the active side, b) the fixed side

2.3.2.2 Montaż taśmy

Po zamontowaniu szczęk kotwiących, przystąpiono do przyklejania taśmy. Przed nałożeniem kleju powierzchnia taśmy została oczyszczona za pomocą rozpuszczalnika. Klej nałożono na taśmę w postaci dwuspadzistego daszka. Końce taśmy na długości przewidzianej na zaciśnięcie szczęk naciągających pozostawiono wolne od zaprawy klejowej.

2.3.2.2 Installation of the strip

After fixing the anchorage clamps, bonding of the strip began. Before applying the adhesive, the surface of the strip was cleaned with the solvent. The adhesive was applied on the strip in the form of a gable roof. The ends of the strip on the length expected for gripping of anchorage clamps were left without adhesive mortar.



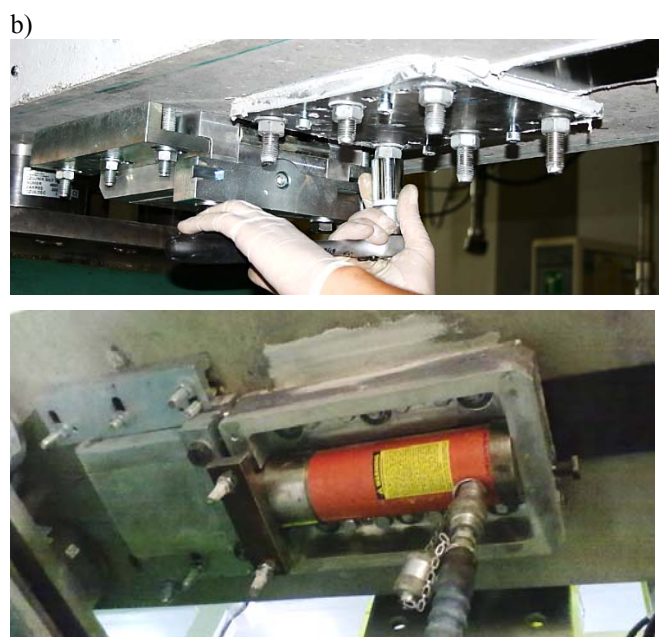
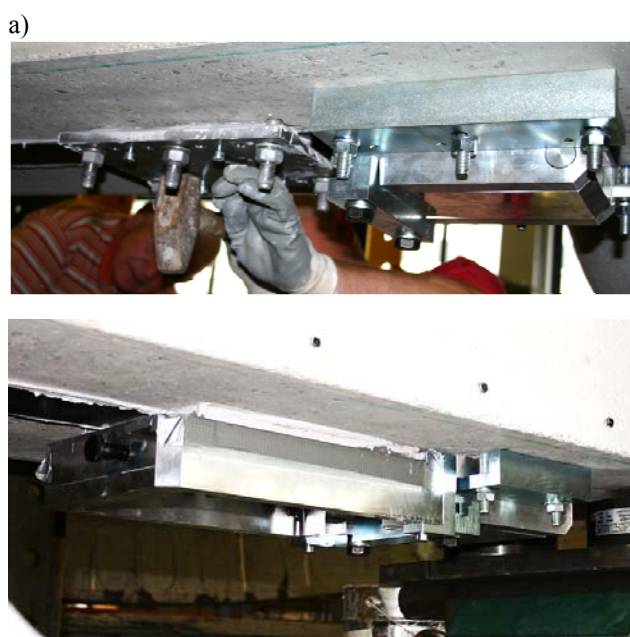
Rys. 2.14. Montaż taśmy w szczękach kotwiących
Fig. 2.14. Installation of the strip in the anchorage clamps

Montaż taśmy rozpoczęto od umieszczenia końca taśmy w szczękę zacisku po stronie czynnej, a następnie po stronie biernej. W dalszej kolejności taśmę przyklejono na całą długości, delikatnie dociskając ją do spodniej powierzchni belek (rys. 2.14).

W kolejnym etapie zamontowano blachy kotwiące, mocowane przy użyciu sześciu śrub kotwiących o średnicy 12mm (po obu stronach zakotwienia taśmy) (rys. 2.15a). Na powierzchni blachy kotwiącej naniesiono klej w celu połączenia jej z taśmą. Między blachę a powierzchnię belki wstawiono śruby dystansowe (wypuszczone z blachy kotwiącej), ograniczające docisk blachy do taśmy powstały w trakcie jej przykręcania. Do blach kotwiących zamontowano "ramki oporowe", przy użyciu sześciu śrub M12. Po stronie zakotwienia czynnego do "ramki" zamontowano siłownik służący do przesuwania szczęki z zaciśniętą taśmą, w celu wstępnego jej naprężenia (rys. 2.15b).

The installation of the strip began with placing the end of the strip in the jaw of the clamp on the active side and then on the fixed side. Then the strip was bonded on the whole length, being slightly pressed to the bottom surface of the beam (Fig. 2.14).

Next the anchoring plates were fixed with the use of six anchor bolts with the diameter of 12mm (on both sides of the anchorage of the strip) (Fig. 2.15a). On the surface of the anchoring plates an adhesive was applied in order to bond it with the strip. The spacing screw bolts pulled out of the anchorage plate were placed between the anchorage plate and the surface of the beam to limit the pressure of sheets on the strip which had occurred during its pretensioning. The anchorage steel box was mounted to the anchoring plates using six M12 bolts. On the active anchorage side the servomotor moving the clamp with the kept laminate was fixed to the box in order to pretension the laminate (Fig. 2.15b).



Rys. 2.15. Etapy montażu systemu kotwiąco-sprężającego S&P
Fig. 2.15. Process of the anchorage prestressing system installation

2.3.2.3 Naprężenie taśmy

W trakcie naciągania taśmy, na bieżąco kontrolowano jej naprężenie przy użyciu manometru wmontowanego w prasę siłownika. Drugi sposób kontroli naprężenia taśmy polegał na rejestracji odkształceń przy użyciu ekstensometru nasadowego, a trzeci na podstawie ciągłego pomiaru odkształceń taśmy węglowej za pomocą tensometrów elektrooporowych przyklejonych na taśmie.

Planowane odkształcenia wstępnie naprężonej taśmy wynosiły 5‰.

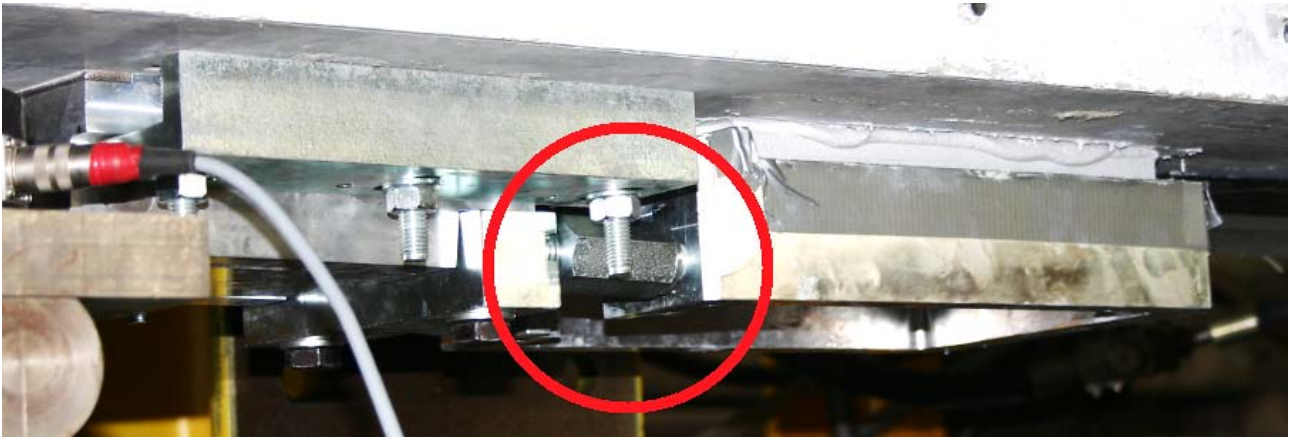
Z chwilą osiągnięcia oczekiwanych odkształceń, zakończono proces naciągania taśmy. Po stronie czynnej, pomiędzy szczękę zaciskającą taśmę a ramkę z siłownikiem zamocowaną na płycie kotwiącej, wprowadzono dwie stalowe rozpórki mające na celu utrzymać osiągnięte przemieszczenie szczęki względem blachy kotwiącej. Umożliwiło to demontaż siłownika jeszcze przed związaniem kleju (rys. 2.16).

2.3.2.3 Pretensioning of the strip

A process of the strip pretensioning was continuously monitored with the use of a manometer integrated into the press of an actuator. The second way of monitoring the pretensioning of the strip based on the strain measurements of the strip monitored with a hand extensometer, and the third one was continuous measurement of CFRP strain with the use of strain gauges bonded to the strip.

The intended strain of the pretensioned strip was equal to 5‰.

As soon as the strain reached the intended value, pretensioning of the strip was finished. On the active side, between the anchorage clamps and a frame with an actuator was mounted on the anchoring plate, two steel mechanical struts were applied in order to maintain the achieved horizontal displacement of the clamp in relation to the anchoring plate, that made possible to dismantle the actuator before bonding of the adhesive (Fig. 2.16).



Rys. 2.16. Widok rozpórki umożliwiającej demontaż siłownika

Fig. 2.16. View of the strut fixing the clamp during dismantling of the actuator

2.3.2.4 Demontaż systemu naprężającego S&P

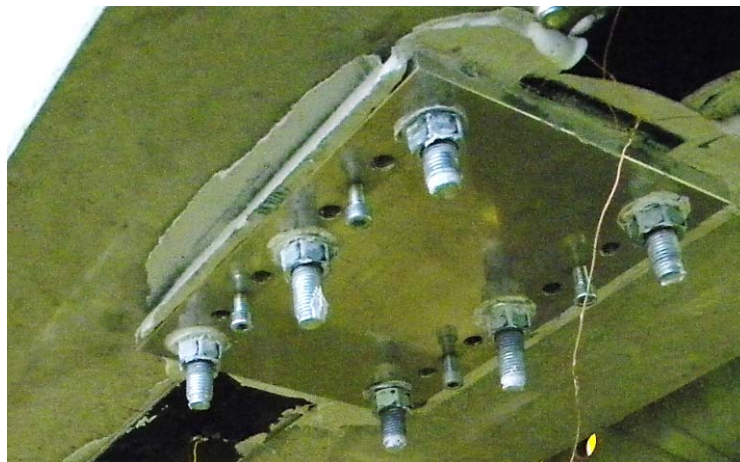
Po uzyskaniu przez klej żądanej wytrzymałości, system naprężający został zdemontowany (na ogół po 16 godzinach od przyklejenia taśmy). W pierwszej kolejności wyjęto śruby rozpierające, blokujące szczękę po stronie czynnej. Zdemonutowano ramki zamocowane do płyt kotwiących oraz szczęki zaciskowe razem z przewodnikami. Kontrolnie sprawdzono i dokrecono śruby mocujące blachy kotwiące.

Po zakończeniu demontażu systemu naprężającego, w miejscu zakotwienia pozostały blachy kotwiące z grupą sześciu śrub kotwiących (rys. 2.17).

2.3.2.4 Dismantling of the prestressing system

After the adhesive reached the required strength, the compression system was dismantled (usually 16 hours after bonding the strip). The first thing was to remove the mechanical bolts blocking the clamp on the active side. The steel anchorage plates and the anchorage clamps mounted to the bottom surface of the beam during the strengthening process with the rails were dismantled. It was followed by the control revision and tightening of the bolts fixing the anchoring plates.

After completing the dismantling of the compression system, anchoring plates with six anchor bolts were left at the point of anchorage (Fig. 2.17).



Rys. 2.17. Blacha kotwiąca pozostała docelowo w miejscu zakotwienia naprężonej taśmy

Fig. 2.17. The anchorage plate remained at the point of anchorage of the tensioned strip

2.3.3 Wzmocnienie bezprzyczepnościowe

W celu zbadania wpływu efektu przyczepności materiału kompozytowego do powierzchni betonu, dwie z siedmiu belek (B12_sp, B12_sp_e) wzmocniono bez użycia kleju na odcinku taśmy między zakotwieniami.

Zastosowano system kotwiąco-sprężający firmy S&P. Sposób wykonania wzmocnienia został zmieniony na etapie montażu taśmy. Klej został naniesiony wyłącznie na blachach kotwiących oraz taśmie, na odcinkach umiejscowionych bezpośrednio pod blachami (Rys.2.18).

Dalszy ciąg wykonywania wzmocnienia nie różnił się od klasycznego sposobu.

2.3.3 An unbonded strengthening

In order to investigate the influence of the adhesion effect of a composite to the concrete surface, two out of seven beams (B12_sp, B12_sp_e) were strengthened without the use of adhesive on the section of the strip between anchorages with the same prestressing system by the S&P company. The way of strengthening was changed during installation of the strip. The adhesive was applied only onto anchoring plates and the strip, on the sections located directly under the plates (Fig.2.18).

The rest of the strengthening was performed in a classical way.



Rys. 2.18. Klej znajduje się wyłącznie w miejscu zakotwienia taśmy
 Fig. 2.18. The adhesive is applied only at the point of anchoring of the strip

W przypadku tych belek siła naciągu taśmy przekazywana była na beton jedynie w miejscach zakotwień.

In case of these beams, the tensile force was transferred from the strip on concrete only at the points of anchoring.

2.3.4 Wzmocnienie z redukcją naciągu - bez mechanicznego zakotwienia

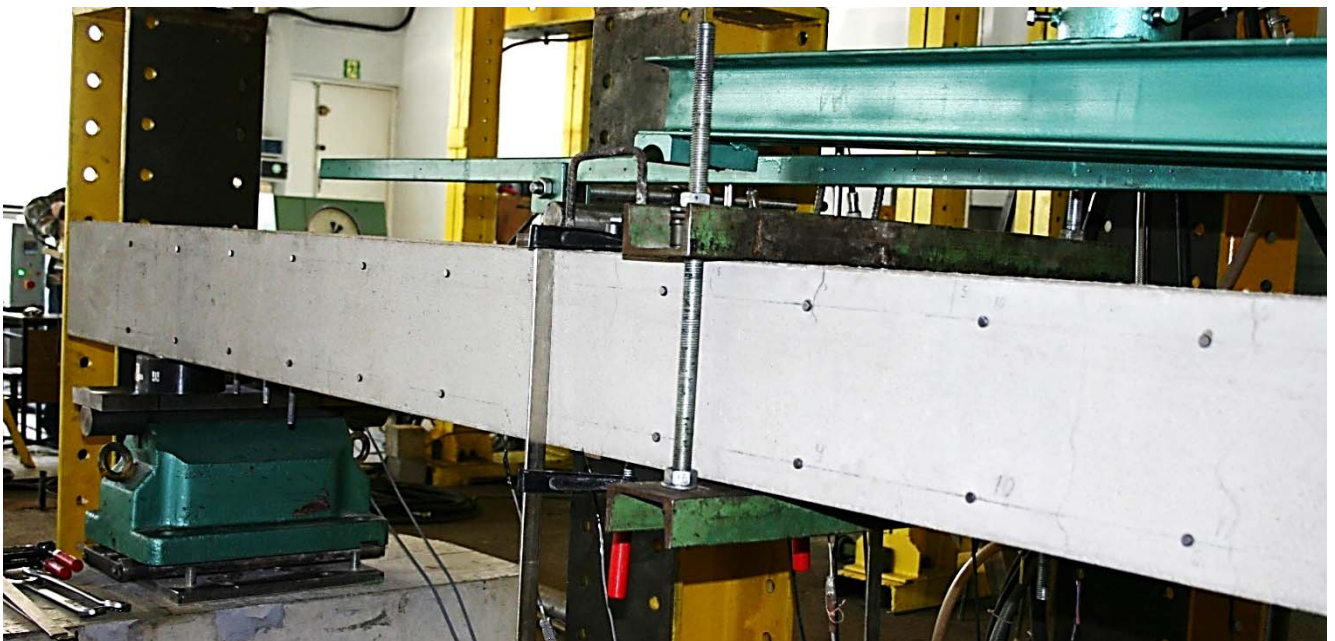
2.3.4 Strengthening with reduction of tension - without mechanical anchorage

Do wykonania naciągu taśmy w belce B12_a został użyty ten sam system sprężający. Taśmę wstępnie naprężono i przyklejono w części środkowej belki na długości 2600mm. Po upływie 72 godzin na końcach części przyklejonej taśmy zostały założone stalowe obejmy dociskające taśmę do powierzchni betonu (Rys. 2.19). Miało to zabezpieczyć taśmę przed jej nagłym lokalnym odspojeniem w miejscu wystąpienia maksymalnych naprężeń stycznych.

The strip pretensioning in the B12_a beam was made with the use of the same prestressing system. The strip was pretensioned and bonded in the mid span of the beam over the length of 2600mm. After 72 hours at the ends of the bonded strip steel buckles tensioning the strip to the concrete surface were fitted (Fig. 2.19). The purpose was to protect the strip from its sudden local debonding at a point where the maximum shear stresses would occur.

Następnie system sprężający wraz z płytami kotwiącymi został zdemontowany, a wolne fragmenty taśmy długości 1000mm zostały przyklejone do powierzchni betonu w sposób bierny. Po upływie kolejnych 72 godzin stalowe obejmy zostały zdemontowane i na żelbetowej belce pozostała jedynie taśma CFRP bez żadnych mechanicznych zakotwień.

Next, the clamping system with the anchor plates was dismantled, and the free, 1000 mm long, sections of the strip were passively bonded to the concrete surface. After next 72 hours the steel buckles were dismantled and the only thing left on the RC beam was the CFRP laminate without any mechanical anchorage.



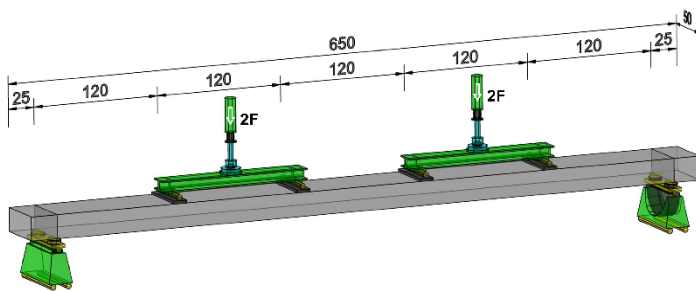
Rys. 2.19. Zewnętrzna obejma podtrzymująca przyklejony koniec taśmy, przy wzmocnieniu z zastosowaną redukcją
 Fig. 2.19. The external buckle supporting the bonded end of the strip, with strengthening with reduction

2.4 Stanowisko badawcze i obciążenie

Belki badano w specjalnie zbudowanym stanowisku badawczym składającym się ze stalowych ram. Żelbetowe swobodnie podparte belki oparto na stalowych podporach przegubowych, ustawionych na betonowych blokach podporowych (Rys. 2.20). Wszystkie belki obciążano czterema punktowymi siłami usytuowanymi w rozstawie 1200mm. Obciążenie realizowano w sposób ciągły za pośrednictwem dwóch siłowników hydraulicznych o zakresie 100kN. Siła z siłowników przekazywana była na belkę za pośrednictwem stalowych trawersów wspartych na dwóch stalowych płytach, które zapewniały równomierny rozkład obciążenia liniowego na szerokości elementu.

Wszystkie elementy obciążano aż do zniszczenia. W przypadku belek B12_asp i B12_sp, po uzyskaniu obciążenia odpowiadającego nośności elementu niewzmocnionego przeprowadzono sześciokrotne odciążenie i ponowne obciążenie, w celu określenia zakresu odkształceń plastycznych elementu.

Łączny czas badania niszczącego wynosił 5-6 godzin. W przypadku belek wzmacnianych pod obciążeniem zewnętrznym, konieczne było utrzymywanie obciążenia przez kilka dni w celu uzyskania przez zaprawę klejową żądanej wytrzymałości i dopiero wtedy przeprowadzenie badania niszczącego elementu.



Rys. 2.20. Schemat statyczny badanych belek, widok stanowiska badawczego
Fig. 2.20. Static scheme of the tested beams and the test setup view

2.5 Pomiary

Pionowe przemieszczenia belek rejestrowane były przy użyciu 9 przetworników przemieszczeń liniowych typu PSx50, symetrycznie rozmieszczonych względem środka belki (Rys. 2.21a). Odkształcenia betonu w poziomie zbrojenia rozciągającego i ściskanego mierzono przy użyciu przetworników przemieszczeń liniowych na bazach pomiarowych o długości 300mm. W poziomie zbrojenia dolnego odkształcenia rejestrowano na 13 bazach (typ czujnika PSx20), a w poziomie zbrojenia górnego na 5 bazach (typ czujnika PSx10) (Rys. 2.21b). Wszystkie czujniki podłączone były do uniwersalnego miernika współpracującego z komputerem typu IBM PC oraz własnym oprogramowaniem PC LAB.

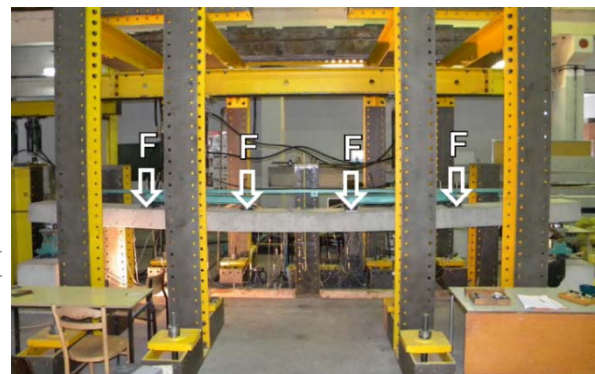
Odkształcenia betonu w poziomie zbrojenia stalowego mierzono sposobem ręcznym za pomocą ekstensometru nasadowego o bazie pomiarowej długości 8". Pomiar prowadzono na 29 bazach w poziomie zbrojenia dolnego i górnego (Rys. 2.21c).

2.4 Test set-up and loading

The beams were tested in a special test setup made of steel frames. RC beams were simply supported on the steel hinge supports placed on concrete supporting blocks (Fig. 2.20). All the beams were loaded by four point forces with spacing of 1200 mm. The loading was applied continuously via two hydraulic cylinders with the range of 100 kN. The force from the cylinders was transferred onto the beam via steel traverses based on two steel plates which provided even distribution of linear load across the full width of the flange.

All the elements were loaded until failure. In case of B12_asp and B12_sp beams, after the load reached the value of load bearing capacity of a non-strengthened element, six unloadings and then reloading were applied in order to determine the range of plastic strain of the element.

The total duration of the failure test was 5-6 hours. In case of beams strengthened under external load, it was necessary to maintain the load for a few days in order to obtain the required strength of the adhesive and only after that the test was performed.



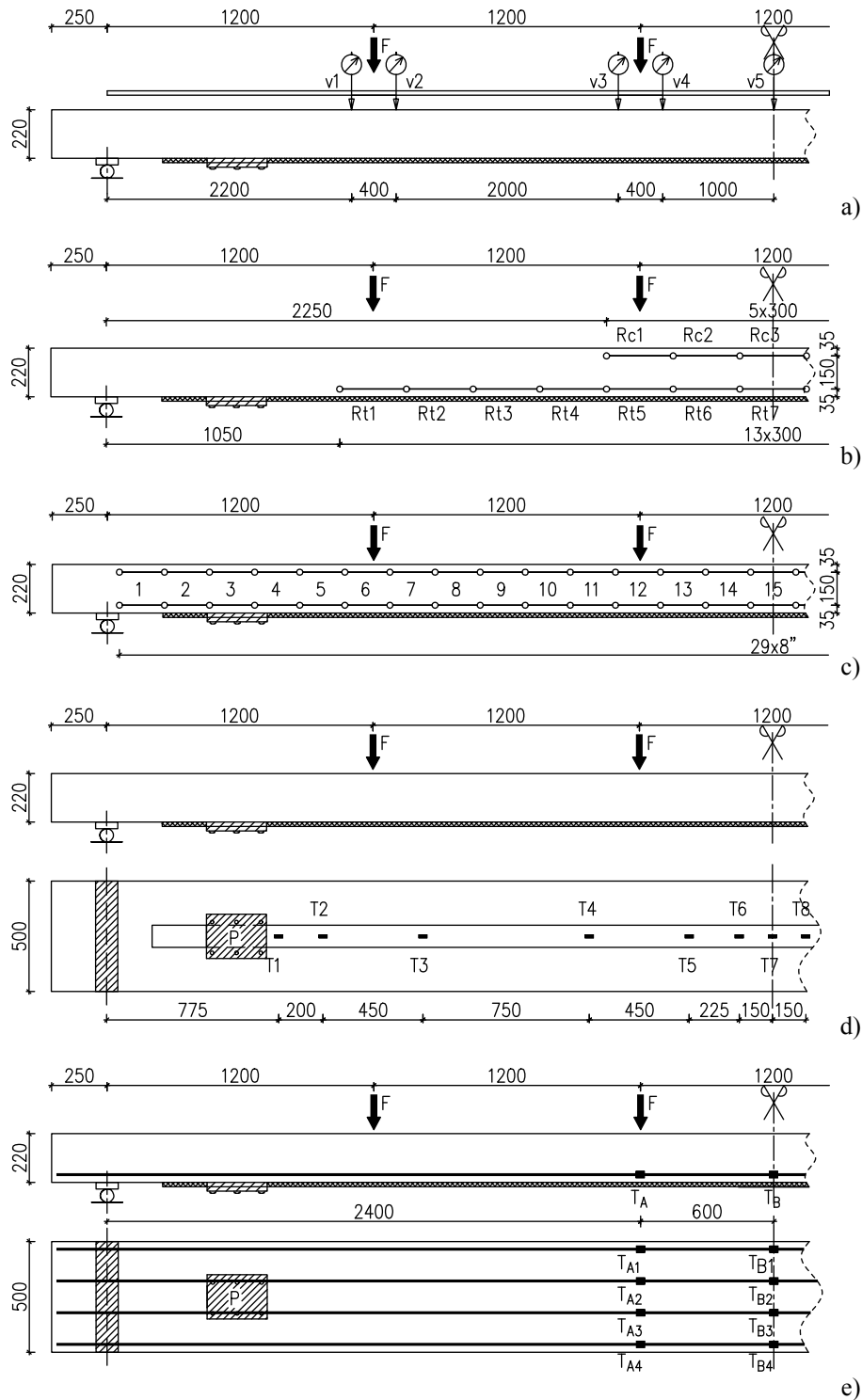
2.5 Measurements

The vertical displacements of the beams were recorded with the use of 9 Linear Variable Differential Transformers (LVDTs) of the Psx50 type, placed symmetrically in relation to the midspan (Fig. 2.21a). The concrete strain at the level of the tensile and compressive reinforcement were measured with the use of LVDTs on 300 mm-long measurement bases. At the level of the tensile reinforcement, strain was recorded by 13 bases (sensors PSx20), and at the level of the top reinforcement, strain was recorded on 5 bases (sensor PSx10) (Fig. 2.21b). All the sensors were connected to a universal meter cooperating with an IBM PC with its own PC LAB software.

The strain of concrete at the level of steel reinforcement was measured manually with the use of a hand extensometer with a 8"-long measuring base. The measurement was conducted on 29 bases at the level of tensile and compressive reinforcement (Fig. 2.21c).

Odształcenia taśmy CFRP mierząco za pomocą przyklejonych do jej powierzchni tensometrów elektrooporowych typu TF-5/350 w ilości od 12 do 22 sztuk, w zależności od elementu (Rys. 2.21d). Dodatkowo mierząco odształcenie prętów zbrojenia rozciąganego w środku rozpiętości belki przy użyciu tensometrów elektrooporowych typu TF-5/350, w ilości od 4 do 12 sztuk w jednym elemencie (Rys. 2.21e).

The strain of the CFRP laminate were measured with the use of 12 to 22 (depending on the element) TF-5/350 electrofusion gauges bonded to the surface of the strip (Fig. 2.21d). Moreover, the strain of the bars of tensile reinforcement in the mid-span of the beam was measured with the use of TF-5/350 electrofusion gauges, 4 to 12 ones in each element (Fig. 2.21e).



Rys. 2.21. Położenie czujników: a) do pomiaru pionowych przemieszczeń, b) odształceń betonu, c) baz do pomiarów odształceń betonu sposobem ręcznym, d) rozmieszczenie tensometrów na taśmie CFRP, e) rozmieszczenie tensometrów na rozciąganych prętach zbrojenia stalowego (wymiary podano w mm)

Fig. 2.21. The location of sensors: a) for measurement of vertical movements, b) for measurement of strain of concrete, c) bases for manual measurement of strain of concrete, d) the location of gauges on a CFRP laminate, e) the location of the gauges on tensile bars of steel reinforcement (the measurements are given in mm)

3 Analiza wyników badań

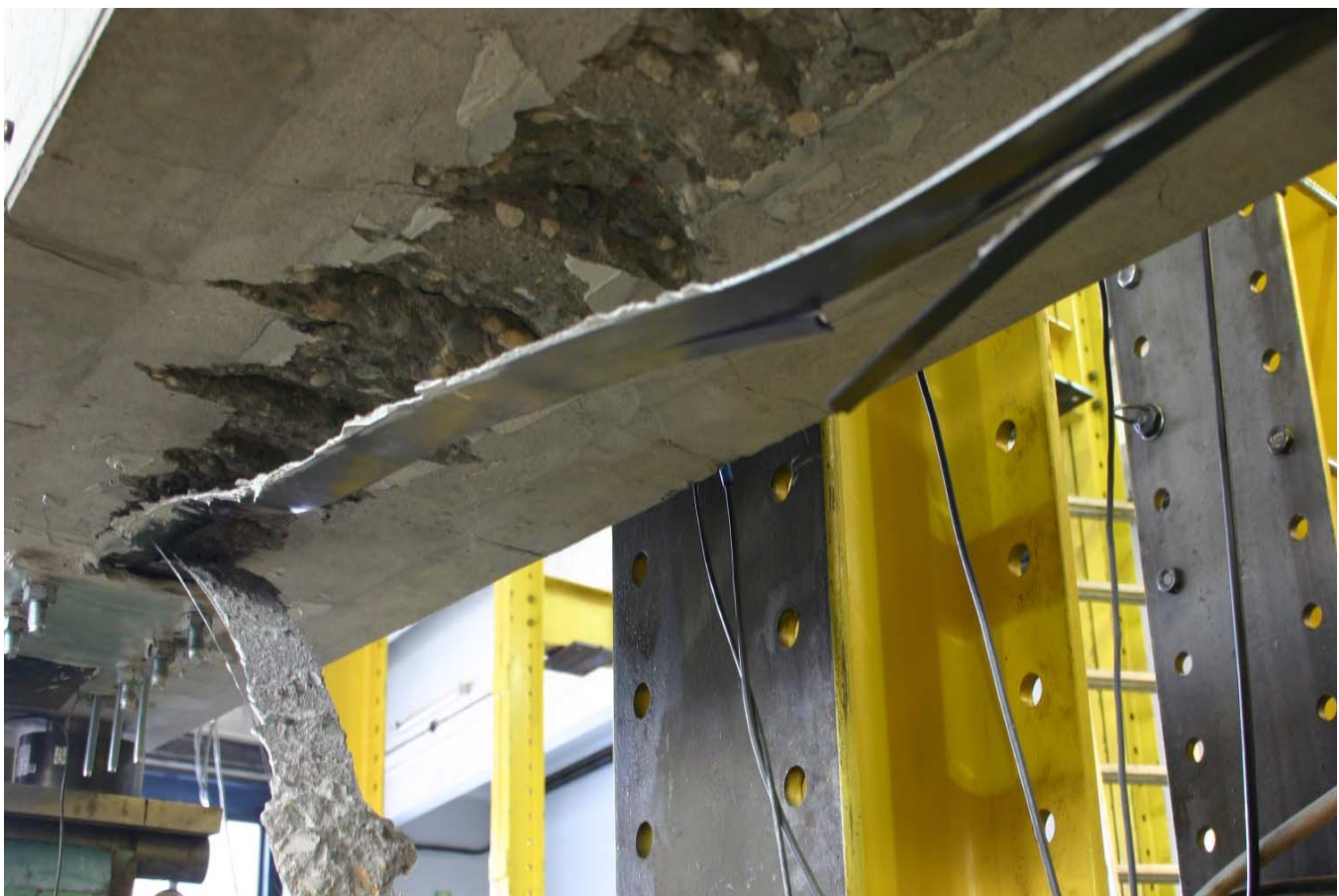
3.1 Sposób zniszczenia i siły niszczące

Najczęściej obserwowanym sposobem zniszczenia w badaniach było odspojenie kompozytu od powierzchni betonu, zainicjowane w miejscu rysy powstałej pod jedną z sił obciążających położonych bliżej środka rozpiętości belki. Odspojenie taśmy CFRP postępowało od środka w kierunku jednego z zakotwień. Taki sposób zarejestrowano w żelbetowych belkach wzmocnionych taśmami CFRP przyklejonymi na całej swojej długości (B12-asp, B12-asp-e, B16-asp, B16-asp-e) (Rys. 3.1). Drugorzędny efekt postępującego zniszczenia było wysunięcie taśmy spod stalowej płyty kotwiącej (Rys. 3.2). Po odspojeniu taśmy CFRP na spodniej powierzchni belki widoczne były charakterystyczne rysy kształtujące się w postaci tzw. „rybich ości” (patrz Rys. 3.1).

3 The analysis of test results

3.1 Failure modes and ultimate loads

The failure mode most often observed in tests was debonding of the CFRP laminate from the concrete surface, initiated at a crack flexural occurring under one of the loading forces located near beam's midspan. This debonding progressed from the middle towards one of the anchorages. This way was observed in RC beams strengthened with CFRP laminates bonded over their whole length (B12-asp, B12-asp-e, B16-asp, B16-asp-e) (Fig. 3.1). The secondary result of progressing failure was pulling of the strip from the anchorage plate (Fig. 3.2). After debonding of the CFRP laminate, characteristic cracks in the shape of "fish bones" was observed on the bottom surface of the beam (see Fig. 3.1).

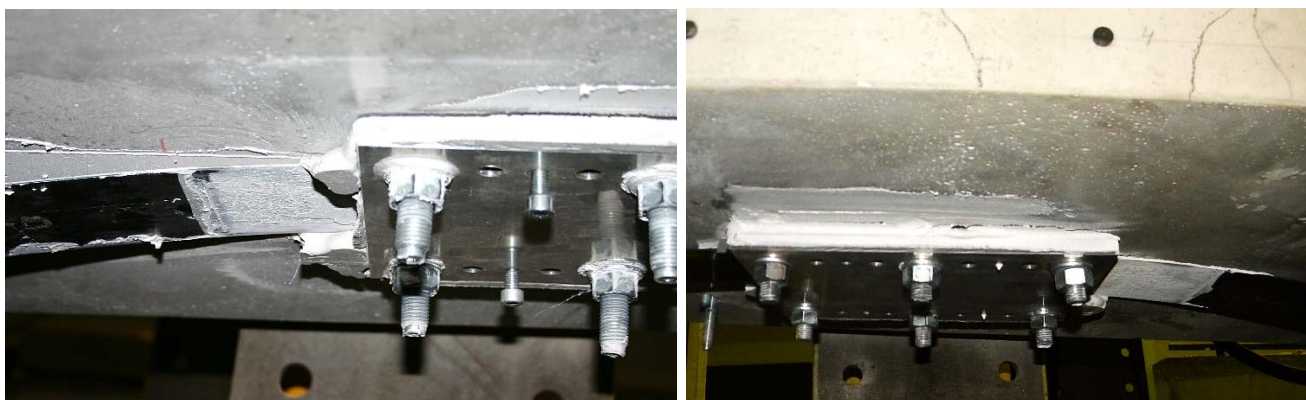


Rys. 3.1. Spód belki B16-asp-e po zniszczeniu z charakterystycznymi rysami kształtującymi się w postaci tzw. „rybich ości”

Fig. 3.1. The bottom surface of the B16-asp-e beam after failure with characteristic cracks in the shape of " fish bones"

Również w przypadku belki B12-a wzmocnionej taśmą przyklejoną na całej długości, z redukcją siły sprężającej na długości zakotwienia, doszło do odspojenia w środkowej części przęsła. Na miejsce rozpoczęcia odspojenia nie wzięła jednostopniowa redukcja siły sprężającej powodująca miejscowy skok naprężeń w betonie. Z uwagi na brak t kotwiących, odspojenie taśmy nastąpiło na całej jej długości.

Also in case of the B12-a beam strengthened with CFRP laminate bonded over its whole length, with the reduction of pre-stressing throughout the length of anchorage, there was debonding at the beam's midspan. This debonding was not influenced by single-step reduction of pre-stressing force leading to the local increase in the shear stress in concrete. Due to the lack of anchorage plates, the debonding of the strip occurred over its whole length.



Rys. 3.2. Widok wysuniętej taśmy CFRP z pod blachy kotwiącej w belkach B12-asp-e i B12-sp-e
 Fig. 3.2. The view of the CFRP laminate pulled from the anchorage plate in the B12-asp-e and B12-sp-e beams

Zniszczenie belki B12-sp-e (wzmocnionej bezprzy-
 czepnościowo taśmą kotwioną na końcach) przebiegało
 gwałtownie, na skutek wysunięcia końca taśmy z blach
 kotwiących.

Belka B12-sp zniszczyła się na skutek zmiżdżenia be-
 tonu w ściskanej strefie przekroju (Rys. 3.3). Nastąpiło
 ono niedługo przed spodziewanym wysunięciem taśmy z
 systemu kotwiącego.

The failure of the B12-sp-e beam (strengthened with-
 out any bonding by a strip anchored at the ends) was rapid
 due to pulling of the end of the strip from anchorage
 plates.

The beam B12-sp failed due to concrete crushing in
 the compressive zone of the section (Fig. 3.3). It occurred
 shortly before the expected pulling of the strip from the
 anchorage system.



Rys. 3.3. Zniszczenie na skutek zmiżdżenia betonu w belce B12-sp
 Fig. 3.3. Concrete crushing in the B12-sp beam

Uzyskane w badaniach wyniki przedstawiono w Tabli-
 cy 3.1. Określono: siłę niszczącą (F_u), wstępne odkształ-
 cenia taśmy CFRP po naciągnięciu (ϵ_{fp}), odpowiadające
 im naprężenia w taśmie naprężonej (σ_{fp}) oraz maksymalne
 odkształcenia laminatu uzyskane w badaniach ($\epsilon_{f, \text{test}}$).

Belki zbrojone czterema prętami o średnicy 12mm
 wzmocnione taśmą CFRP przyklejoną na całą swoją
 długości, uległy zniszczeniu przy sile $2F_u \approx 50\text{kN}$
 (B12-asp - 52.6kN; B12-a - 50.6kN i B12-asp-e - 49.0kN).
 Belki wzmocnione nieprzyklejoną taśmą zniszczyły się
 przy mniejszym obciążeniu wynoszącym odpowiednio
 46.8kN dla B12-sp i 45.6kN dla B12-sp-e.

The results obtained in the tests are presented in Table
 3.1. The following values were determined: the ultimate
 load of the strengthened beam (F_u), the prestressing strain
 of the CFRP laminate (ϵ_{fp}) after prestressing, the corre-
 sponding tensile stress the pretensioned CFRP laminate
 (σ_{fp}), and the maximum tensile strain of the CFRP lami-
 nate registered in the tests ($\epsilon_{f, \text{test}}$).

The beams reinforced with four bars with the diameter
 of 12mm strengthened with a CFRP laminate bonded over
 the whole length, underwent failure at the force $2F_u \approx 50\text{kN}$
 (B12-asp - 52.6kN; B12-a - 50.6kN and B12-asp-e -
 49.0kN). The beams strengthened with an unbonded strip
 failed at much lower load equal to 46.8kN for B12-sp and
 45.6kN for B12-sp-e than the beams strengthened with
 bonded laminates

Belki o zbrojeniu zwykłym o średnicy 16mm zniszczyły się przy obciążeniu 74.4kN (B16-asp) i 72.0kN (B16-asp-e). Elementy wzmocnione pod większym wyęzieniem, stanowiącym 76% nośności elementu niewzmocnionego, uległy zniszczeniu przy sile o wartości o 3-8% mniejszej aniżeli elementy wzmocnione wyłącznie pod ciężarem własnym.

The beams with the ordinary reinforcement made of 16mm failed at the lower load equal to 74.4kN (B16-asp) and 72.0kN (B16-asp-e). The members strengthened under higher preloading, equal to 76% of load bearing capacity of a non-strengthened element, failed at the load of 3-8% smaller than the elements strengthened only under dead load.

Tablica 3.1 Tabela zestawienia uzyskanych wyników dla badanych belek
Table 3.1 Tabular compilation of the test results for the tested beams

Symbol elementu Symbol of element	$2F_p$ (kN)	$2F_p / 2F_{u0}$ (-)	$2F_u$ (kN)	η_F (-)	ϵ_{fp} (‰)	σ_{fp} (MPa)	$\epsilon_{f, test}$ (‰)	η_{ef} (-)	Sposób zniszczenia Failure mode
B12-asp	6.3	0.25	53.0	1.20	5.20	900 0.32 f_{tu}	9.3	0.87	Odspojenie taśmy CFRP Wysunięcie końca taśmy CFRP z systemu kotwiącego Detachment of a CFRP laminate Sliding of strip's end from anchorage system
B12-sp	6.3	0.25	46.8	0.95	4.60	796 0.28 f_{tu}	6.9	0.68	Zmiażdżenie betonu Concrete crushing
B12-asp-e	20.0	0.76	49.0	0.88	4.75	822 0.29 f_{tu}	6.85	0.69	Odspojenie taśmy CFRP Wysunięcie końca taśmy CFRP z systemu kotwiącego Detachment of a CFRP laminate Sliding of strip's end from anchorage system
B12-sp-e	20.0	0.76	45.5	0.73	4.40	762 0.27 f_{tu}	5.0	0.56	Wysunięcie końca taśmy CFRP z systemu kotwiącego Sliding of CFRP laminate's end from anchorage system
B12-a	6.3	0.25	50.6	0.94	5.10	885 0.30 f_{tu}	6.4	0.68	Odspojenie taśmy CFRP Detachment of a CFRP laminate
B16-asp	6.3	0.14	74.4	0.69	4.80	831 0.29 f_{tu}	8.0	0.76	Odspojenie taśmy CFRP Wysunięcie końca taśmy CFRP z systemu kotwiącego Detachment of a CFRP laminate Sliding of strip's end from anchorage system
B16-asp-e	33.8	0.76	72.0	0.64	4.85	840 0.29 f_{tu}	7.15	0.71	Odspojenie taśmy CFRP Wysunięcie końca taśmy CFRP z systemu kotwiącego Detachment of a CFRP laminate Sliding of strip's end from anchorage system

Siła niszcząca niewzmocnioną belkę żelbetową wyliczona przy użyciu modelu nieliniowej analizy żelbetowych elementów:
The ultimate load for a non-strengthened RC beam calculated with the use of a non-linear model of RC structures:

$2F_{u0} = 24\text{kN}$ - dla belek Serii A / for beams of series A

$2F_{u0} = 26\text{kN}$ - dla belek Serii B / for beams of series B

$2F_{u0} = 44\text{kN}$ - dla belek Serii C / for beams of series C

η_F - stopień wzmocnienia / strengthening ratio, $\eta_F = (F_u - F_{u0}) / F_{u0}$

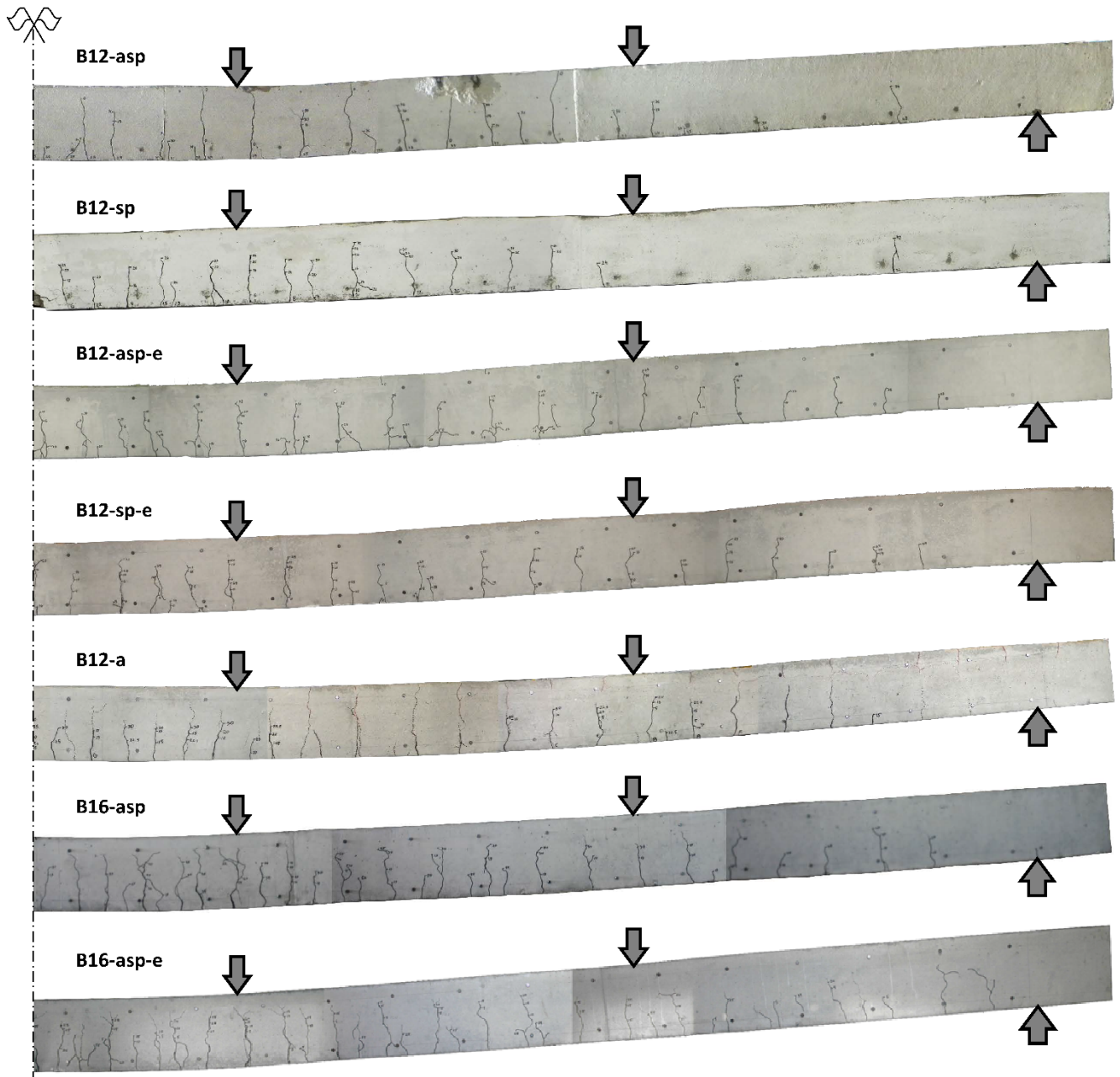
η_{ef} - stopień wykorzystania odkształceń materiału kompozytowego / strain efficiency, $\eta_{ef} = \epsilon_{f, tot} / \epsilon_{fu}$

3.2 Obraz zarysowania

Obraz zarysowania bocznej powierzchni belek po zniszczeniu przedstawiono na Rysunku 3.4. Układ rys we wszystkich elementach był podobny. W belce B12-asp-e wzmocnionej pod wyższym obciążeniem wstępnym, wynoszącym 76% siły niszczącej element niewzmocniony, zarysowanie strefy czystego zginania było bardzo intensywne i obejmowało również fragmenty stref przypodporowych. Wzmocnienie belki (B12-asp), wzmocnionej wyłącznie pod ciężarem własnym, spowodowało wcześniejsze włączenie się materiału kompozytowego do współpracy w przenoszeniu naprężeń rozciągających, co przyczyniło się do ograniczenia rozwoju zarysowania elementu. Podobna zależność wynika z porównania belek B12-sp z B12-sp-e oraz B16-asp z B16-asp-e.

3.2 Crack pattern

The crack pattern of the lateral surface of the beams after failure is presented in Fig. 3.4. The crack pattern in all the elements was similar. In the B12-asp-e beam strengthened under higher preloading level, equal to 76% of the ultimate load for a non-strengthened element, the concrete cracking in the pure bending zone was very intense and occurred also along the parts of support zones. The strengthening of the beam (B12-asp), strengthened solely under dead load, resulted in earlier contribution of the composite material in carrying of the tensile stresses, which caused reduction of further concrete crack development. A similar trend results from comparison of B12-sp and B12-sp-e as well as B16-asp and B16-asp-e beams.



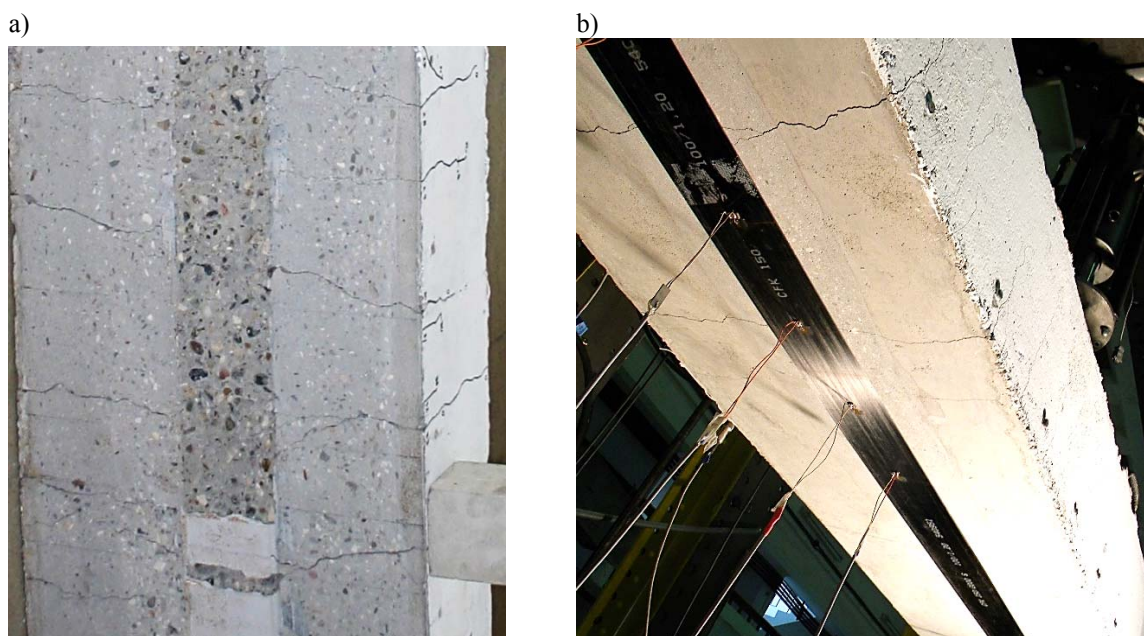
Rys. 3.4. Obraz zarysowania bocznej powierzchni belek
Fig. 3.4. The crack pattern of the lateral surface of the beams

Wraz ze wzrostem obciążenia szerokość rozwarcia rys rosła, aż do momentu całkowitego odspojenia taśmy, zainicjowanego w miejscu występowania rys w środku rozpiętości elementu (w pobliżu obciążenia skupionego).

Nie zaobserwowano różnic w obrazie zarysowania bocznych powierzchni belek wzmocnionych przyklejoną taśmą i wzmocnionych bezprzyczepnościowo (B12-asp z B12-sp oraz B12-asp-e z B12-sp-e). Różnice w obrazie zarysowania zauważono jedynie na spodniej stronie elementów w pobliżu taśmy CFRP. W belkach wzmocnionych przyklejoną taśmą występowało więcej drobnych rys łączących się w jedną na bocznej powierzchni elementu (kształt drzewa) (Rys. 3.5a). Dla elementów wzmocnionych bez przyczepności rysy były prostopadłe do osi podłużnej belki (Rys. 3.5b). W elementach wzmocnionych taśmą przyklejoną, po zniszczeniu na dolnej powierzchni elementu dochodziło do oderwania taśmy wraz z fragmentami betonowej otuliny. W ten sposób obraz zarysowania po zniszczeniu objawił się w postaci tzw. „rybich ości” (por. Rys. 3.1).

The increase in the load was accompanied by the increase in the widening of concrete cracks, until the total strip debonding, initiated in the midspan (near the point load) where the cracks appeared.

No differences in the crack patterns were observed on lateral surfaces of the beams strengthened with the bonded strip and the ones with unbonded strips (B12-asp with B12-sp and B12-asp-e with B12-sp-e). The differences in crack patterns were observed only on the bottom side of the elements near the CFRP laminate. In the beams strengthened with the bonded strip there were more small cracks combined into one crack appeared on a lateral surface of the member (in the “tree shape”) (Fig. 3.5a). For the elements strengthened without any bonding, the cracks were perpendicular to the longitudinal axis of the beam (Fig. 3.5b). In the beams strengthened with a bonded strip, after failure, the strip deboned with the surrounding pieces of the concrete cover from the bottom surface of the element. In this way, the crack pattern after failure took a form of so called "fish bones" (see Fig. 3.1).



Rys. 3.5. Obraz zarysowania spodniej strony belek: a) B12-asp, b) B12-sp
Fig. 3.5. The crack pattern of the bottom surface of the beams: a) B12-asp, b) B12-sp

3.3 Odształcenia taśmy CFRP

W żadnej belce odkształcenia taśmy CFRP nie osiągnęły wartości granicznej, odpowiadającej zerwaniu kompozytu. Obraz zerwania taśmy, który kilkakrotnie został zaobserwowany, był zjawiskiem wtórnym wywołanym gwałtownym szarpnięciem taśmy i jej wyrwaniem spod blachy kotwiącej.

Odształcenia taśm mierzone w trakcie badań obejmują wstępne naprężenie $\epsilon_{f,p}$ oraz przyrost tego odkształcenia wywołany obciążeniem zewnętrznym $\epsilon_{f,test}$. Dlatego uwzględniając ten fakt, na wszystkich wykresach odkształceń kompozytów pokazano poziomy wstępnych odkształceń wywołanych naciągiem taśmy $\epsilon_{f,p}$ i poziomy odkształceń odpowiadają wybranym siłom obciążającym $\epsilon_{f,test,i}$.

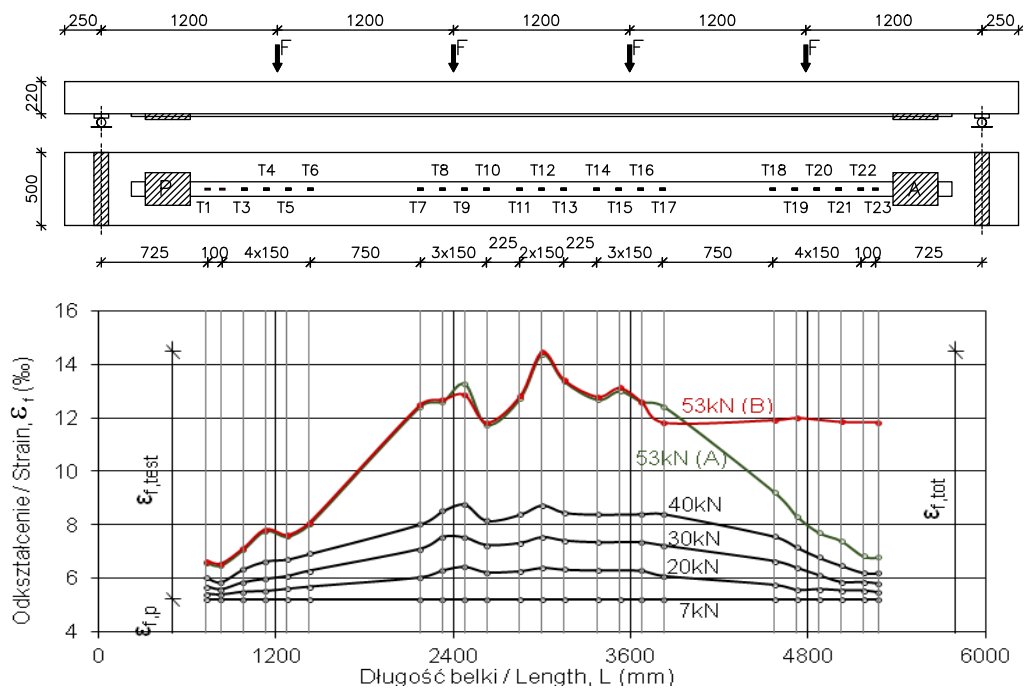
3.3 Strain of the CFRP laminate

In none of the beams, strain of the CFRP laminate reached the ultimate tensile strength corresponding with rupture of the composite. Fracture of the laminated observed in several beams was the secondary failure caused by a sudden pulling of the strip from the anchorage plate.

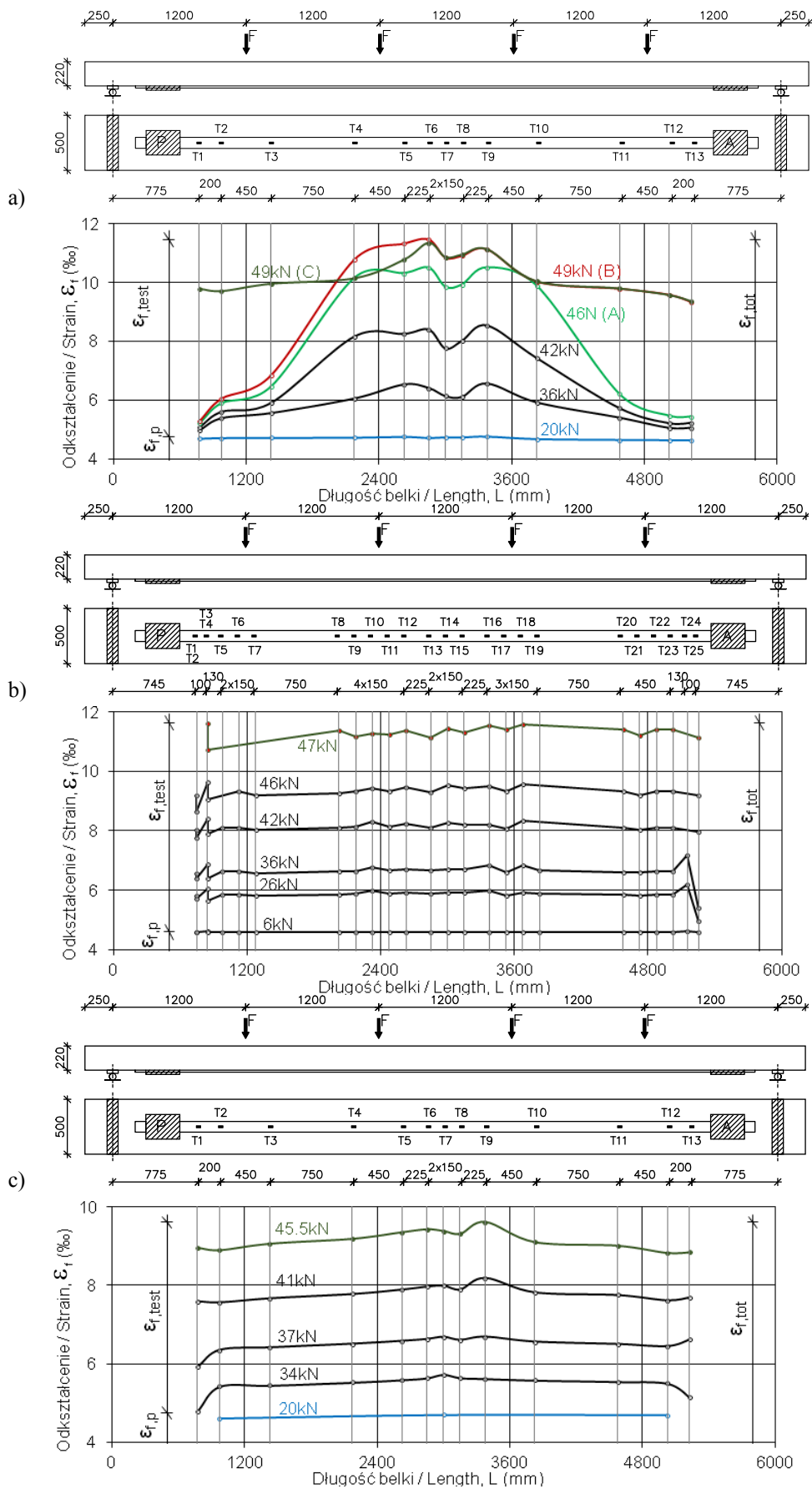
The total strain of the strips measured during the tests includes the prestressing strain $\epsilon_{f,p}$ and the gradient tensile strain caused by the external load $\epsilon_{f,test}$. Therefore, all the graphs show the level of initial strain resulting from prestressing strain of the laminate $\epsilon_{f,p}$ and the levels of strain correspond to the obtained loads $\epsilon_{f,test,i}$.

Belkę B12-asp wzmocniono przyklejoną taśmą wstępnie naprężoną do poziomu odkształceń 5.2‰. Wzmocnienie wykonano pod ciężarem własnym belki odpowiadającym obciążeniu czterema siłami punktowymi o wartości $2F_p = 6.3\text{kN}$, stanowiącym 25% nośności na zginanie elementu niewzmocnionego. Na początku odkształcenie taśmy było stałe na całej jej długości. Wraz z przyrostem obciążenia rejestrowano stopniowy przyrost odkształceń, największy w środkowej części przęsła. Odkształcenia elementu wskazują na symetryczny sposób pracy elementu aż do chwili rozpoczęcia procesu odspojenia taśmy przy sile 53kN (punkt A) i odkształceniu taśmy równym 9.0‰ (Rys. 3.6). W chwili odspojenia środkowej części taśmy zaobserwowano spadek siły obciążającej wywołany gwałtownym wzrostem pionowego przemieszczenia. Dalsze przykładanie obciążenia spowodowało postępujące odspojenie taśmy w kierunku aktywnej strony systemu kotwiącego. Maksymalne odkształcenie zarejestrowane w badaniu pod obciążeniem 53kN (punkt B) wyniosło 9.2‰, co po uwzględnieniu wstępnego odkształcenia wywołanego sprężeniem daje wartość $\epsilon_{f,\text{tot}} = \epsilon_{f,p} + \epsilon_{f,\text{test}} = 14.5‰$. Na rys. 3.6 wyraźnie widać, że odkształcenia taśmy w pobliżu jej końca w chwili wysunięcia się taśmy spod belki kotwiącej wyniosły $\epsilon_{f,\text{test}} = 6.7‰$, co odpowiada całkowitemu odkształceniu tego materiału równym $\epsilon_{f,\text{test}} = 11.8‰$.

The B12-asp beam was strengthened with a bonded CFRP laminate pretensioned to the level of strain of 5.2‰. The strengthening was performed under dead load of the beam corresponding to loading by four point forces with the value of $2F_p = 6.3\text{kN}$, accounting for 25% of bending strength of a non-strengthened element. Initially, the strain of the strip was constant over its whole length. The increase of load was accompanied by gradual growth of strain and it was of greatest value in the central part of the span. The strain pattern in the CFRP laminate indicates symmetrical tensile force in the composite until its debonding begun at the load of 53kN (point A), while the corresponding strain of the strip was equal to 9.0‰ (Fig. 3.6). At the moment of debonding of the central part of the strip, the decrease in the loading force caused by a sudden increase in the vertical displacement was observed. Further increase in the external load resulted in a progressive debonding of the strip towards the active side of the anchoring system. The maximum tensile strain of the strip registered in the test under the load of 53kN (point B) was equal to 9.2‰, which, after considering pretension reached a total value $\epsilon_{f,\text{tot}} = \epsilon_{f,p} + \epsilon_{f,\text{test}} = 14.5‰$. Fig.3.6 shows the strain of the strip near its end, at the moment of the strip pulling from the anchorage plate $\epsilon_{f,\text{test}} = 6.7‰$, which corresponds to the total strain of this material $\epsilon_{f,\text{test}} = 11.8‰$.

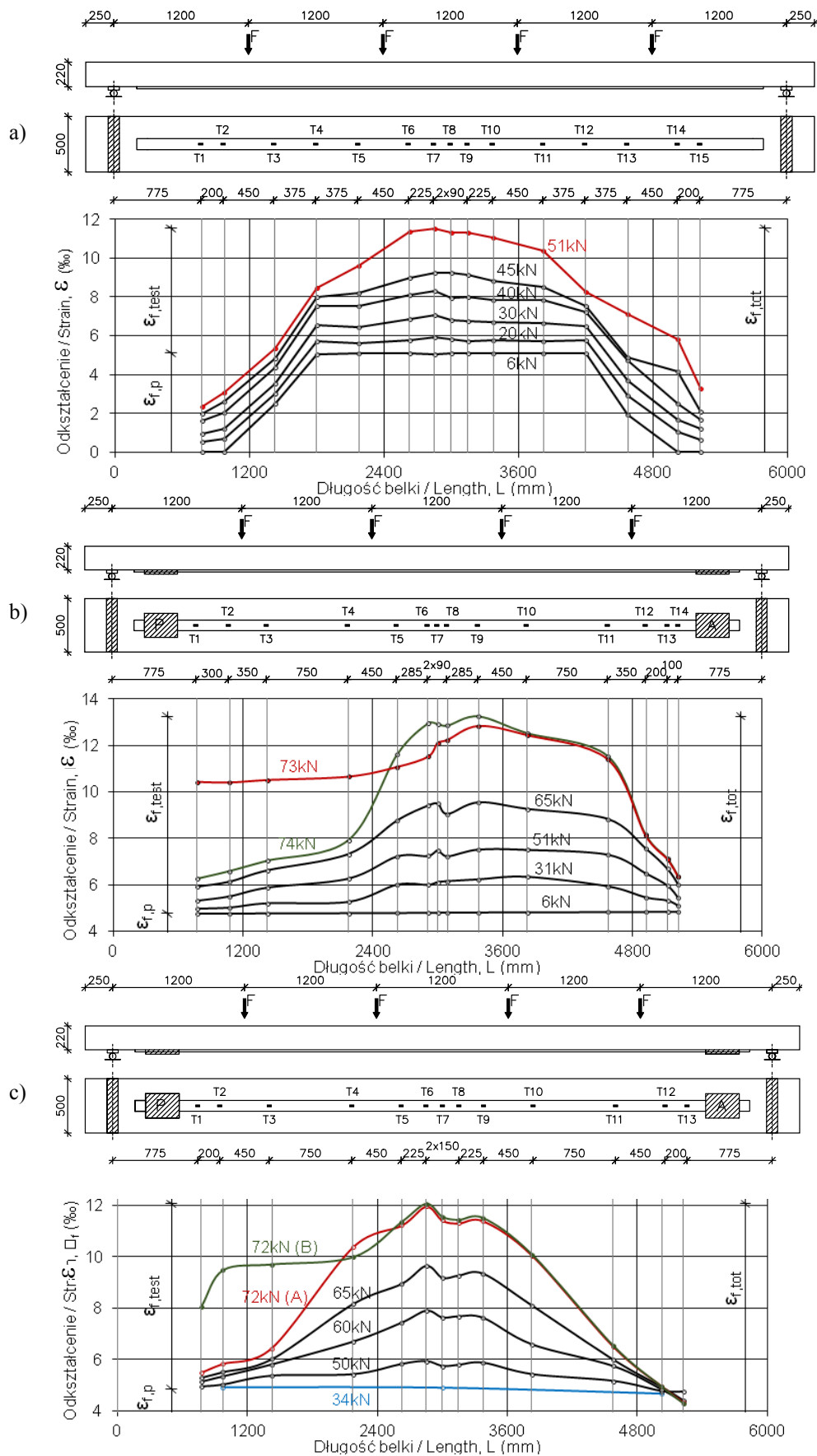


Rys. 3.6. Wykres odkształceń taśmy dla wybranych poziomów obciążenia w elemencie B12-asp
 Fig. 3.6. The graphs of strain of the strip within the length of the element B12-asp for the chosen levels of loads



Rys. 3.7. Wykresy odkształceń taśmy CFRP na długości elementu: a) B12-asp-e, b) B12-sp, c) B12-sp-e, dla wybranych poziomów obciążeń

Fig. 3.7. The graphs of strain of the strip within the length of the element: a) B12-asp-e, b) B12-sp, c) B12-sp-e, for the chosen levels of loads



Rys. 3.8. Wykresy odkształceń taśmy CFRP na długości elementu: a) B12-a, b) B16-asp, c) B16-asp-e, dla wybranych poziomów obciążeń

Fig. 3.8. The graphs of strain of the strip within the length of the element: a) B12-a, b) B16-asp, c) B16-asp-e, for the chosen levels of loads

Belkę B12-asp-e wzmocniono przyklejoną taśmą wstępnie naprężoną do poziomu odkształceń 4.75%. Wzmocnienie wykonano przy obciążeniu $2F_p=20\text{kN}$ stanowiącym łącznie z ciężarem własnym 76% nośności na zginanie elementu niewzmocnionego. Na początku odkształcenie taśmy było stałe na całej jej długości. Wraz z przyrostem obciążenia widoczny był stopniowy przyrost odkształceń w taśmie. Na wykresie widać, iż element pracował symetrycznie względem środka elementu. Za początek zniszczenia można uznać odspojenie taśmy w części środkowej elementu przy sile 46kN (punkt A). Nastąpiło ono przy przyroście odkształcenia w taśmie sięgającym 5.7%. W chwili odspojenia środkowej części taśmy nastąpił spadek siły wywołany gwałtownym wzrostem przemieszczenia pionowego. Przy dalszym przykładaniu obciążenia odspojenie postępowało w kierunku aktywnej strony systemu kotwiącego, osiągając przyrost odkształcenia na poziomie 6.6% ($\epsilon_{f,tot} = 11.4\%$) przy sile 49kN (punkt B). Po kolejnym spadku siły i dalszym obciążeniu, odspojenie taśmy sięgało całej długości odcinka pomiędzy zakotwieniami, doprowadzając przy ponownym osiągnięciu siły 49kN (punkt C) do wysunięcia taśmy spod blachy kotwiącej. Przyrost odkształcenia w taśmie w pobliżu szczęki kotwiącej w momencie jej wysunięcia wyniósł 5.1% ($\epsilon_{f,tot} = 9.8\%$).

Belkę B12-sp wzmocniono taśmą wstępnie naprężoną do poziomu odkształceń 4.6%, nieprzyklejoną na odcinku między blachami kotwiącymi. Wzmocnienie wykonano pod obciążeniem wywołanym ciężarem własnym elementu, co odpowiadało obciążeniu skupionemu $2F_p = 6.3\text{kN}$, stanowiącym 25% nośności na zginanie elementu niewzmocnionego. Na początku, jak i przez cały okres przykładania obciążenia, przyrost odkształcenia taśmy był stały na całej długości. Kompozyt działał jak zewnętrzny ściąg. Belka uległa zniszczeniu na skutek zmiażdżenia betonu w strefie ściskanej przy sile 47kN. Taśma zachowała swoje położenie i nie wysunęła się spod blach kotwiących, osiągając odkształcenie maksymalne 6.9% na całej swojej długości, co odpowiada całkowitemu odkształceniu taśmy z uwzględnieniem sprężenia $\epsilon_{f,tot}=11.5\%$.

W belce B12-sp-e wzmocnienie wykonano przy użyciu nieprzyklejonej taśmy naprężonej do poziomu odkształceń 4.4% i zakotwionej na końcach za pomocą blach kotwiących. Proces wzmacniania był prowadzony pod stałym obciążeniem od ciężaru własnego i sił zewnętrznych $2F_p=20.0\text{kN}$, stanowiącym łącznie 76% nośności na zginanie elementu niewzmocnionego. Zaobserwowano nieznacznie większy przyrost odkształceń kompozytu w środkowej części belki, spowodowany brakiem przyczepności między taśmą CFRP a powierzchnią belki (Rys 3.7c). Potwierdza to, że taśma nieprzyklejona na całej długości i zakotwiona wyłącznie na jej końcach zachowywała się jak zewnętrzny ściąg, a nie jak współpracujące z przekrojem zbrojenie zewnętrzne. Bezpośrednią przyczyną niszczenia było wysunięcie jednego końca taśmy spod blachy kotwiącej, które nastąpiło przy obciążeniu 45.5kN. Odkształcenie taśmy zarejestrowane w chwili zniszczenia wyniosło 5.0%, co łącznie z odkształceniem od sprężenia daje 9.4%.

The B12-asp-e beam was strengthened with a bonded pretensioned strip to the level of strain equal to 4.75%. The strengthening was performed at the load of $2F_p=20\text{kN}$, which, including the dead load, equal to 76% of the bending strength of a non-strengthened element. Initially, the strain of the strip was constant over its whole length. The increase of the load was accompanied by gradual growth of strain in the laminate. The graph shows that the element was working symmetrically with respect to the centre of the element. The beginning of failure due to debonding of the laminate in the central part of the element at the force of 46kN (point A). It accompanied the increase of the strain in the strip reaching 5.7%. At the moment of debonding of the central part of the strip, the force decreased due to rapid increase of the vertical displacement. With further load increase debonding of the strip followed towards the active part of the anchoring system, reaching the strain increase up to 6.6% ($\epsilon_{f,tot} = 11.4\%$) at the force of 49kN (point B). Further decrease of the load caused debonding of the whole length of the strip between anchorages, under the load 49kN (point C) that led to pulling the CFRP strip from the anchorage plate. The increase in the CFRP strain near the anchorage clamp at the moment of its pulling from the anchorage plate was equal to 5.1% ($\epsilon_{f,tot} = 9.8\%$).

The B12-sp beam was strengthened with the unbonded CFRP laminate pretensioned to 4.6%, performed under the dead load only, corresponding to the point load of $2F_p = 6.3\text{kN}$, accounting for 25% of the steel yielding of a non-strengthened element. Initially, as well as throughout loading, the strain increase in the strip was constant over its whole length. The composite behaved like an external bowstring kept at the anchored plates. The beam failed due to concrete crushing in the compressive zone at the force of 47kN. The strip maintained its position and did not pull from the anchorage plates, reaching the maximum tensile strain of 6.9% over its whole length, which corresponded to the total strain in the strip of $\epsilon_{f,tot}=11.5\%$.

The B12-sp-e beam was strengthened with an unbonded CFRP laminate pretensioned to the strain level of 4.4% and anchored at the ends with the use of anchoring plates. The strengthening was performed under constant dead load and external forces $2F_p=20.0\text{kN}$, accounting for 76% of the steel yielding of a non-strengthened element. A slightly higher increase of the strain of the composite was observed in the central part of the beam, as a result of adhesion between the CFRP laminate and the surface of the beam (Fig. 3.7c). It proves that a strip unbonded over the whole length and anchored only at its ends behaved like an external bowstring. The direct cause of the failure was pulling of one end of the strip from the anchorage plate, which occurred at the load equal to 45.5kN. The strain of the strip registered at the moment of failure was 5.0%, which, including the initial prestressing of the strip equal to 9.4%.

Belkę B12-a wzmocniono taśmą wstępnie naprężoną do poziomu odkształceń 5.1‰, przyklejoną na całej swojej długości, bez blach kotwiących, z jednostopniową redukcją siły naciągu do zera. Wzmocnienie wykonano pod ciężarem własnym belki odpowiadającym $2F_p=6.3\text{kN}$, a więc wyężeniu równym 25% nośności na zginanie elementu niewzmocnionego. Wykres odkształceń taśmy na długości elementu przy sile odpowiadającej ciężarowi własnemu, wykazuje jednolity rozkład odkształceń w taśmie, mimo zastosowaniu redukcji siły naciągu i przyklejeniu końców taśmy w sposób bierny. W trakcie przyrostu obciążenia odkształcenia taśmy przyrastały zgodnie z przewidywaniami (szybciej w części środkowej niż na jej końcach). Można zaobserwować lokalny skok odkształceń w taśmie w miejscu powstałego karbu (lokalnego uszkodzenia powierzchni betonu), do którego doszło podczas redukcji siły naciągającej taśmę. Nie miał on jednak w/w na początek odspojenia taśmy, jak i na rozwój zarysowania belki podczas zniszczenia. Zniszczenie rozpoczęło się od odspojenia w części środkowej, postępując w kierunku podpory. Przy maksymalnym obciążeniu $2F_u=45.5\text{kN}$ odnotowano maksymalny przyrost odkształceń w taśmie wynoszący 6.4‰, co odpowiadało $\epsilon_{f,tot}=11.5\%$.

Belka B16-asp została wzmocniona taśmą wstępnie naprężoną do poziomu odkształceń 4.8‰, przyklejoną na całej jej długości. Wzmocnienie wykonano pod obciążeniem wywołanym ciężarem własnym, odpowiadającym $2F_p=6.3\text{kN}$, stanowiącym 14% nośności na zginanie elementu niewzmocnionego. Na początku odkształcenie taśmy było stałe na całej jej długości. Wraz z przyrostem obciążenia zaobserwowano większy przyrost odkształceń w części środkowej, aniżeli w pobliżu podpór. Odkształcenia elementu wskazują na niesymetryczny sposób pracy elementu. Odspojenie taśmy rozpoczęło się przy obciążeniu równym 74kN (punkt A) w środkowej jej części przy przyroście odkształcenia sięgającym 8.0‰. W chwili odspojenia środkowej części taśmy nastąpił spadek siły obciążającej, a dalszy jej przyrost spowodował odspojenie taśmy w kierunku zakotwienia biernego i wysunięcie jej końca spod blachy kotwiącej. Nastąpiło to przy obciążeniu równym $2F_{test}=73\text{kN}$ (punkt B), czemu odpowiadało odkształcenie taśmy równe 5.6‰ ($\epsilon_{f,tot} = 10.4\%$).

tę B16-asp-e wzmocniono taśmą wstępnie naprężoną do poziomu odkształceń 4.85‰, przyklejoną na całej swojej długości. Wzmocnienie wykonano przy obciążeniu $2F_p=33.8\text{kN}$, stanowiącym 76% nośności na zginanie elementu niewzmocnionego. Na początku odkształcenie taśmy było stałe na całej jej długości. Odkształcenia elementu wskazują na symetryczny sposób pracy taśmy aż do odspojenia taśmy w części środkowej elementu, przy sile 72kN (punkt A). Nastąpiło to przy odkształceniu w części środkowej taśmy równym 7.1‰. W chwili odspojenia środkowej części taśmy nastąpił spadek siły wywołany gwałtownym wzrostem przemieszczenia pionowego. Przy dalszym przykładaniu obciążenia odspojenie postępowało w kierunku biernej strony systemu kotwiącego, a maksymalne odkształcenie taśmy osiągnęło wartość 7.15‰ ($\epsilon_{f,tot} = 12.0\%$) przy sile 72kN (punkt B), co ostatecznie doprowadziło do wysunięcia taśmy spod blachy kotwiącej.

The B12-a beam was strengthened with a CFRP laminate pretensioned to the level of 5.1‰, bonded over its full length, without any anchorage plates, with the single step reduction of the prestressing force to zero. The strengthening was performed under the dead load of the element, which corresponded to preloading of $2F_p = 6.3\text{kN}$, accounting for 25% of the steel yielding of the non-strengthened beam. The graph of the CFRP strain over the length of the element at the force corresponding to the dead load shows almost constant strain distribution, despite the reduction of the prestressing force and passive bonding of the ends of the strip. During the load increase, the strain of the strip was growing just like predicted, i.e. higher in the centre than at its ends. One can observe a local leap of strain in the strip at the point where a notch, i.e. local defect of the concrete surface appeared, which happened during the reduction of prestressing of the strip. However, it had no influence on the cracking pattern either at the beginning of the strip debonding or at the ultimate load. The failure began with from CFRP debonding in the central part and progressed towards the support. At the maximum load $2F_u=45.5\text{kN}$, the maximum increase in the CFRP strain equal to 6.4‰, which corresponded to the total CFRP strain $\epsilon_{f,tot}=11.5\%$.

The B16-asp beam was strengthened with the CFRP laminate pretensioned to the strain level of 4.8‰, bonded over its full length. The strengthening was performed under the dead load of the element, corresponding to $2F_p = 6.3\text{kN}$, accounting for 14% of the bending strength of a non-strengthened beam. At the beginning the strain of the strip was constant over its full length. The load increase made the increase in the CFRP strain, greater in the central part than at the support regions. The strain of the element shows its asymmetric work. The strip debonding began at the load equal to 74kN (point A) in its central part, with the increase of the strain reaching 8.0‰. At the debonding of the central part of the strip, the loading force decreased and its further increase caused further debonding of the strip towards the /passive anchorage and its pulling from under the anchoring plate. It happened at the load equal to $2F_{test}=73\text{kN}$ (point B), which corresponded to the strain of the strip equal to 5.6‰ ($\epsilon_{f,tot}=10.4\%$).

The B16-asp-e beam was strengthened with a CFRP laminate pretensioned to the level of strain of 4.85‰, bonded over its full length. The strengthening was performed under the load of $2F_p=33.8\text{kN}$, accounting for 76% of the steel yielding of the non-strengthened element. At the beginning the strain of the strip was constant over its full length. The strain indicates symmetrical way of the strip acting until its debonding in the central part of the element at the load of 72kN (point A), which happened in the central part of the strip with the CFRP strain equal to 7.1‰. At the moment of debonding of the central part of the strip, the force decreased due to the sudden increase in the vertical displacement. Further loading caused the strip debonding progressing towards the passive anchorage. The maximum strain of the strip reached the value of 7.15‰ ($\epsilon_{f,tot} = 12.0\%$) at the force of 72kN (point B), which finally led to the pulling of the strip from under the anchoring plate.

Przyrost odkształcenia w taśmie w pobliżu szczęki kotwiącej w chwili jej wysunięcia wyniósł 4.7% ($\epsilon_{f,tot} = 9.6\%$).

Odształcenie taśmy CFRP w elementach wzmocnionych taśmami przyklejonymi do powierzchni betonu były większe w chwili zniszczenia, niż w elementach wzmocnionych bez przyczepności pomiędzy laminatem a powierzchnią betonu. Średnio różnica wyniosła około 2%. Przyrost odkształceń taśm bez przyczepności, w trakcie badania ($\epsilon_{f,test}$) wyniósł 6.9‰ dla belki B12-sp oraz 5.0‰ dla belki B12-sp-e, podczas gdy dla odpowiadających belek z przyklejonym kompozytem wyniósł odpowiednio 9.3‰ dla belki B12-asp i 6.85‰ dla belki B12-asp-e. W przypadku belki B12-a wzmocnionej bezskotwowo, przyrost odkształceń wyniósł 6.4‰, co jest porównywalne z wartością dla elementów z mechanicznym zakotwieniem taśmy. W belkach zbrojonych prętami o średnicy 16mm przyrost odkształceń w taśmie osiągnął wartość 8.0‰ w belce B16-asp i 7.15‰ w belce B16-asp-e. W elementach wzmocnianych pod obciążeniem sięgającym 76% nośności elementu niewzmocnionego, przyrost odkształceń był średnio o 2‰ mniejszy w belkach typu B12 i o 1‰ mniejszy w belkach typu B16.

Do wysunięcia taśm z systemu kotwiącego dochodziło przy odkształceniach na końcach taśmy od 5.0‰ dla belki B12-sp-e do 7.0‰ dla belki B12-asp.

3.4 Odształcenia betonu w strefie rozciąganej

Na Rys. 3.9. porównano wykresy średnich odkształceń betonu w poziomie zbrojenia rozciąganego ($\epsilon_{t,av}$), obliczonych na podstawie trzech środkowych baz pomiarowych Rt6, Rt7 i Rt8, w funkcji obciążenia. Uwzględniono belki serii A i B wzmocnione taśmami przyklejonymi do powierzchni betonu (B12-asp, B12-asp-e i B12-a), jak i nieprzyklejonymi (B12-sp i B12-sp-e), oraz belki serii C (B16-asp i B16-asp-e). Takie zestawienie wykresów dla wszystkich zbadanych elementów uwidacznia wpływ wstępnego wyężenia elementu przy wykonywaniu wzmocnienia na zachowanie się elementów pod obciążeniem (porównanie t B12-asp z B12-asp-e; B12-sp z B12-sp-e; i B16-asp z B16-asp-e). Belki silniej wyężone przed wzmocnieniem wykazały większe odkształcenie betonu w strefie rozciąganej (przy tych samych poziomach obciążenia) niż belki wzmocnione pod ciężarem własnym. W elementach wzmocnionych pod obciążeniem zewnętrznym sięgającym 76% nośności elementu niewzmocnionego wyraźnie widoczny jest wzrost sztywności elementu (w rozumieniu mniejszego pochylenia wykresu) w stosunku do sztywności elementów wzmocnionych wyłącznie pod ciężarem własnym. Można uznać, że poziom wstępnego obciążenia nie wpłynął na końcowe średnie odkształcenia rozciągające betonu.

Różnice między wykresami dla poszczególnych belek można zaobserwować dopiero po uplastycznieniu zbrojenia zwykłego. Przyrost odkształceń betonu w funkcji obciążenia jest większy dla elementów wzmocnionych nieprzyklejoną taśmą, co potwierdza jednoznacznie ich większa odkształcalność w porównaniu z belkami wzmocnionymi taśmami przyklejonymi do ich spodniej powierzchni.

The strain increase in the strip near the anchorage clamp at the moment of its pulling out was equal to 4.7% ($\epsilon_{f,tot} = 9.6\%$).

The strain of the CFRP laminate in the elements strengthened with strips bonded to the concrete surface were greater at the moment of failure than in the elements strengthened without any bonding between the laminate and the concrete surface. The average difference was about 2%. The strain increase in the unbonded strips, during the test ($\epsilon_{f,test}$) was equal to 6.9‰ for the B12-sp beam and 5.0‰ for the B12-sp-e beam, whereas for the beams with bonded composite it was 9.3‰ for the B12-asp beam and 6.85‰ for the B12-asp-e beam. In case of the B12-a beam strengthened without any anchorage system, the increase in the CFRP strain was equal to 6.4‰, which is comparable to the value for the elements with mechanical anchorage of the strip. In the beams reinforced with bars with the diameter of 16mm the CFRP strain increase in the strip reached the value of 8.0‰ in the B16-asp beam and 7.15‰ in the B16-asp-e beam. In the elements strengthened under the load reaching 76% of the load bearing capacity of a non-strengthened element, the average increase in strain was by 2‰ smaller in B12 beams and by 1‰ smaller in B16 beams.

The pulling of the strips from the anchorage system took place with strain at the ends of the strip from 5.0‰ for the B12-sp-e beam to 7.0‰ for the B12-asp beam.

3.4 Concrete strain in tensile zone

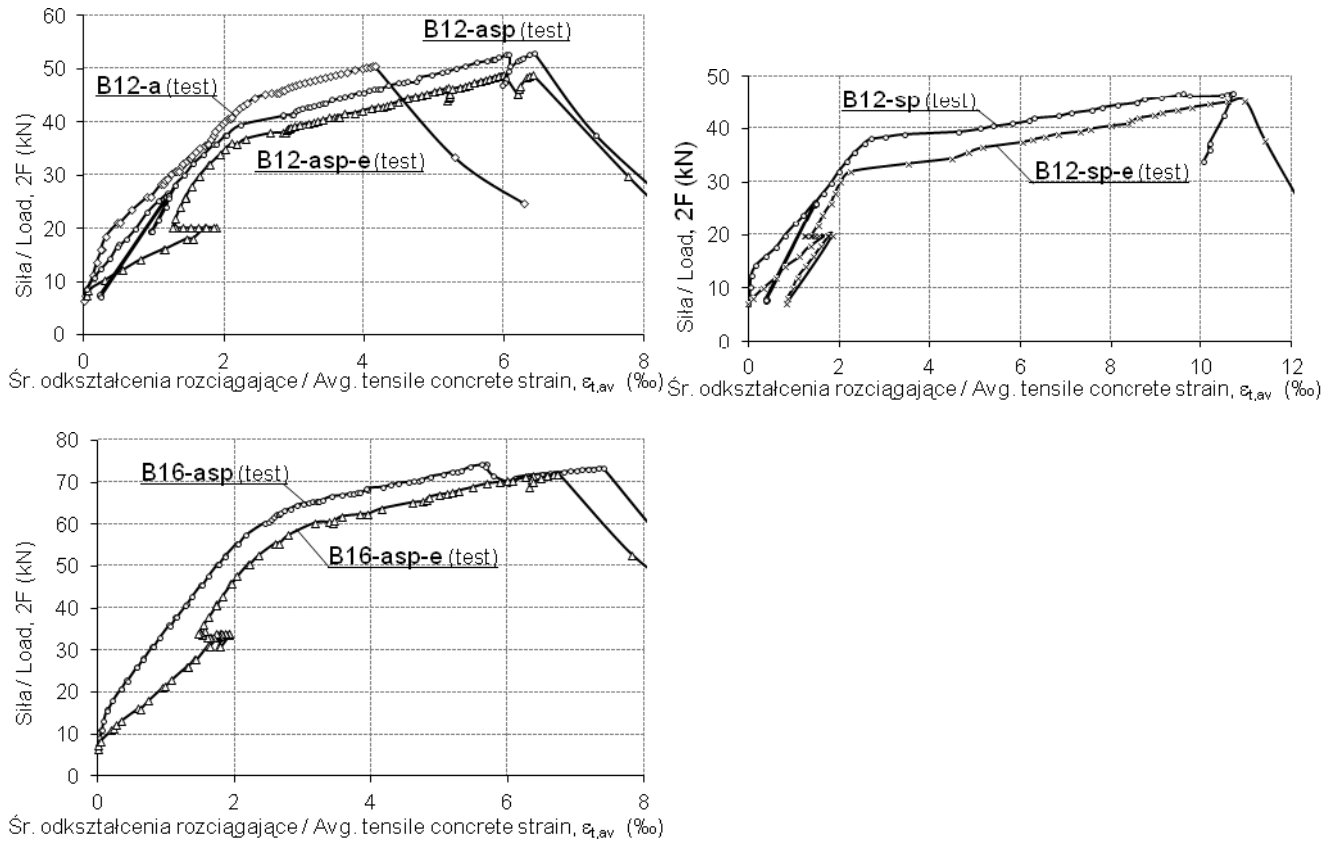
In fig. 3.9. there is a comparison of the average concrete strain at the level of the tensile reinforcement ($\epsilon_{t,av}$), calculated on the basis of three central measurement bases: Rt6, Rt7 and Rt8, in the function of load. What was taken into consideration were beams from A and B series, strengthened with strips bonded to the concrete surface (B12-asp, B12-asp-e and B12-a) as well as the unbonded ones (B12-sp and B12-sp-e), and the ones from C series (B16-asp and B16-asp-e). Such a combination of graphs for all the tested elements shows the influence of initial preloading of an element during strengthening on the behaviour of elements under load (the comparison of B12-asp with B12-asp-e; B12-sp with B12-sp-e; and B16-asp with B16-asp-e beams). The beams more highly preloaded before strengthening demonstrated greater concrete strain in tensile zone (at the same levels of loads) than the beams strengthened under dead load. In the elements strengthened under external load reaching 76% of the steel yielding of the non-strengthened element, one can clearly observe the increase in the stiffness of the element in relation to the stiffness of elements strengthened only under the dead load. One can indicate that the preloading level did not influence the maximum average tensile strain of concrete.

The differences between the graphs for particular beams can be observed only after yielding of ordinary reinforcement. The increase in concrete strain in the function of load is higher for the elements strengthened with an unbonded strip, which distinctly confirms their greater deformability in comparison with the beams strengthened with strips bonded to their bottom surface.

Warto również zauważyć, że do chwili uplastycznienia stalowego zbrojenia różnice między belkami wzmocnionymi z przyczepnością i bez przyczepności są pomijalnie małe. Warto zauważyć, że kilkukrotne odciążanie i ponowne obciążanie wzmocnionych już elementów (B12-asp i B12-sp) nie miało wwu na dalszy charakter pracy belki.

It is also worth mentioning that until yielding of steel reinforcement, the differences between beams strengthened with and without bonding are negligibly small.

It is worth mentioning that unloading and loading process of the strengthened elements several times (B12-asp and B12-sp) had no influence on their behaviour after strengthening.



Rys. 3.9. Wykresy średnich odkształceń betonu w poziomie zbrojenia rozciąganego w funkcji obciążenia
 Fig. 3.9. The graphs of average concrete strain at the level of the tensile reinforcement in the function of load

3.5 Przemieszczenia pionowe

3.5 Vertical displacements

Wykresy przemieszczeń pionowych belki na długości elementu dla kolejnych poziomów obciążenia, wskazują na symetryczny charakter pracy elementu względem środka przęsła.

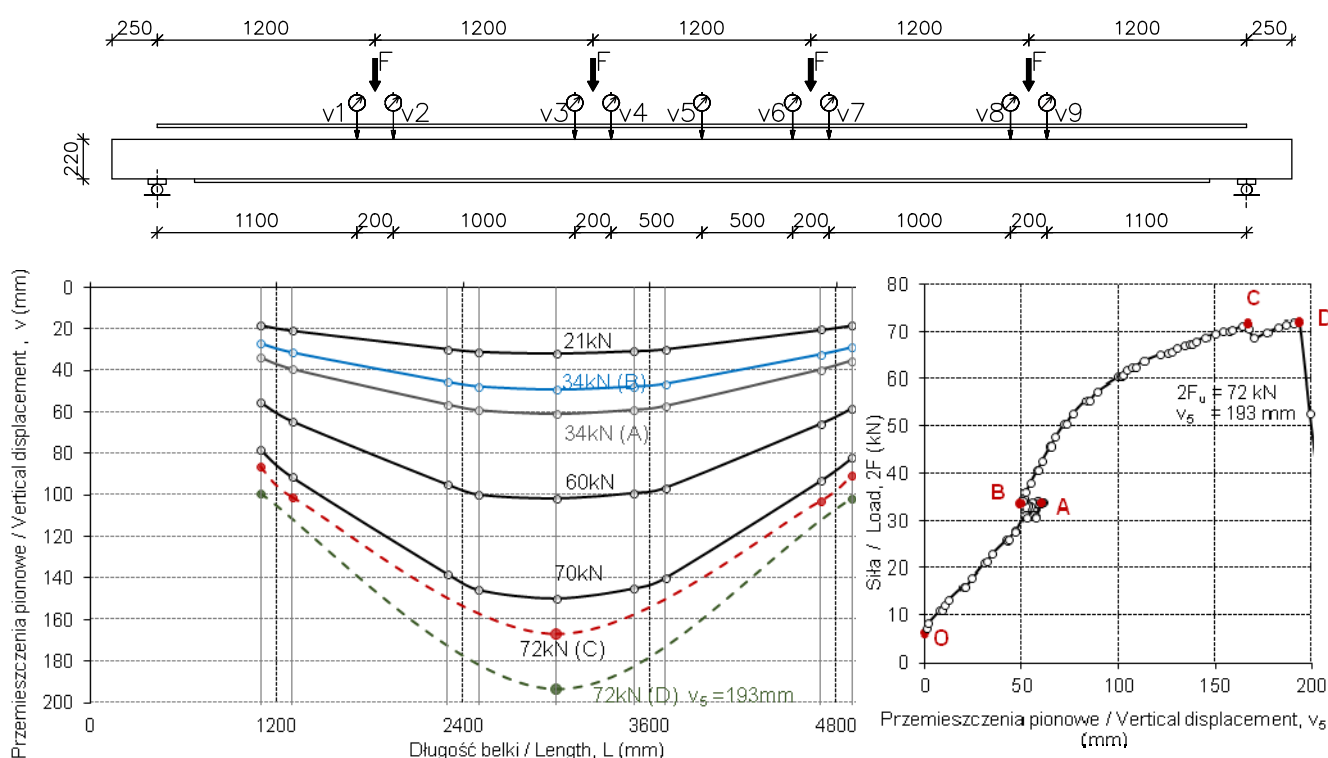
The graphs presenting vertical displacements of a beam on the length of an element for the subsequent levels of load indicate symmetrical deformation of the beams in relation to the midspan.

Na przykładzie elementu B16-asp-e (Rys. 3.10) widać, że belka ugięła się symetrycznie względem środka przęsła. Dwa wykresy ugięć oznaczone linią przerywaną opracowano na podstawie pięciu (V_1, V_2, V_5, V_8 i V_9) lub trzech (V_1, V_5 i V_9) pomiarów zarejestrowanych pod obciążeniem elementu równym $2F=72\text{kN}$. Pozostałe pomiary przemieszczeń (V_2, V_3, V_4, V_6, V_7 i V_8) nie zostały zarejestrowane, ponieważ przekroczony został zakres przetworników. Pomiar dla środka belki zarejestrowano przy użyciu dwóch czujników indukcyjnych o bazie pomiarowej 50mm i 100mm, a dodatkowo zastosowano pionową linijkę, co zapewniło możliwość odczytania przemieszczeń po przekroczeniu zakresu czujnika. Analizując wykres pionowych przemieszczeń środka belki w funkcji obciążenia, można z łatwością wyznaczyć charakterystyczne punkty oddające sposób zachowania się elementu w całym zakresie obciążeń.

One can observe, on the example of the B16-asp-e element (Fig. 3.10) that the beam deflections were symmetrical in relation to the midspan. Two graphs of deflections marked with the dotted line were drawn on the basis of five (V_1, V_2, V_5, V_8 and V_9) or three (V_1, V_5 and V_9) gauges registered under the load of the element $2F=72\text{kN}$. The other measurements of displacements (V_2, V_3, V_4, V_6, V_7 and V_8) were not registered because LVDT's range had been exceeded. The measurement for the beam's midspan was registered with the use of two induction sensors with measurement basis of 50mm and 100 mm, and additionally a vertical ruler was used, which made it possible to read the displacements after LVDT's range had been exceeded. Analyzing the midspan deflections in the function of load, one can easily determine characteristic points showing element's behaviour in the full range of loads.

W pierwszym etapie element niewzmocniony został obciążony do siły $0.76F_{u0}$ (pkt. A). Następnie pod niezmiennym obciążeniem zewnętrznym zostało wykonane wzmocnienie przy użyciu sprężonej taśmy CFRP, co spowodowało wyraźne cofnięcie wywołanych uprzednio przemieszczeń pionowych (pkt. B), a następnie ograniczyło prędkość przyrostu ugięć wraz z przyrostem obciążenia zewnętrznego. Kolejnym charakterystycznym etapem było odspojenie taśmy od powierzchni betonu w środku jej rozpiętości (pkt. C). Wywołało ono wzrost ugięć i chwilowy spadek siły obciążającej. W ostatnim etapie (pkt. D), po doprowadzeniu obciążenia do tego samego poziomu, doszło do wysunięcia taśmy z systemu kotwiącego, co doprowadziło do gwałtownego wzrostu ugięć przy jednoczesnym spadku siły obciążającej (zniszczenie elementu). Analogiczne odpowiedzi na obciążenie zaobserwowano w pozostałych tach.

In the first stage, the non-strengthened element was loaded up to $0.76F_{u0}$ (point A). Next, under constant external load, strengthening with the pretensioned CFRP laminate was performed, which resulted in reduction of the vertical displacements at the constant load (point B), and then it slowed down the increase in deflections with the increase of external load. Another characteristic stage visible on the graph corresponds to debonding of the strip from the concrete surface in the midspan (point C). It caused the increase in deflections and temporary drop of loading force. In the last stage (point D), once the load had been brought to the same level, the strip pulled out from the anchoring plates, which led to the sudden increase in deflections with simultaneous decrease in the loading force (at failure). Similar behaviour were confirmed the rest of the beams.

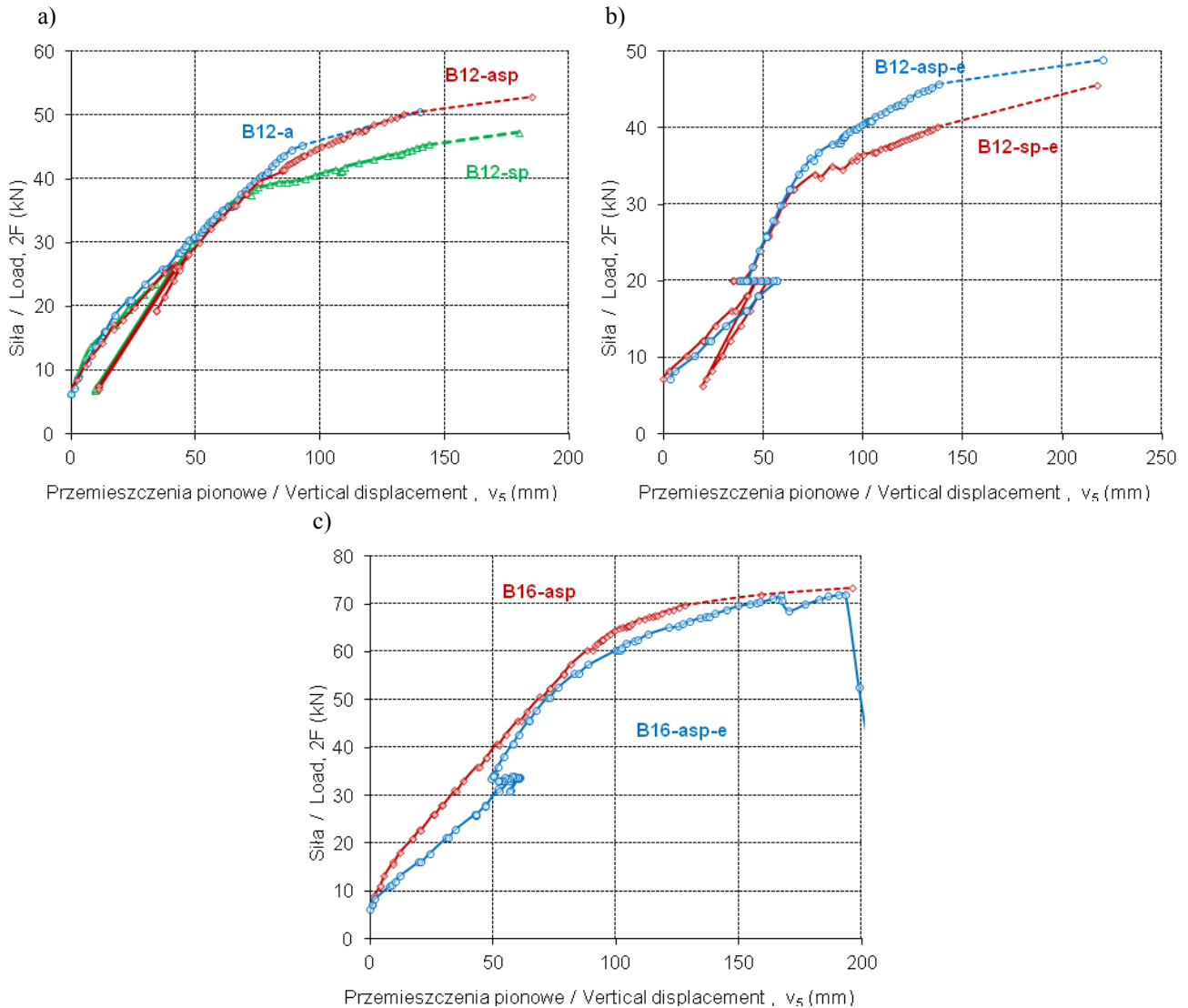


Wyraźny wpływ przyczepności pomiędzy taśmą CFRP a powierzchnią betonu na pionowe przemieszczenia środka belki obrazują wykresy na Rys. 3.11. a, b. Porównano na nich belki B12-asp z B12-sp oraz B12-asp-e z B12-sp-e. Po uplastycznieniu stalowego zbrojenia, przemieszczenia pionowe belek wzmocnionych bez przyczepności (B12-sp, B12-sp-e) przyrastają szybciej niż przemieszczenia odpowiadających belek wzmocnionych taśmą przyklejoną (B12-asp, B12-asp-e). Potwierdza to opinię o niższej sztywności belek wzmocnionych bezprzyczepnościowo, po uplastycznieniu stalowego zbrojenia, niż belek z taśmami przyklejonymi na całej długości.

A clear influence of the adhesion between CFRP laminate and concrete surface on vertical displacements of the beams are shown in graphs in Fig. 3.11. a, b. They present a comparison of B12-asp and B12-sp beams as well as of B12-asp-e and B12-sp-e beams. After the steel yielding, vertical displacements of the beams strengthened without any bonding (B12-sp, B12-sp-e) indicated higher increase in the midspan displacements than the beams strengthened with the bonded strip (B12-asp, B12-asp-e). It confirms the lower stiffness of the beams strengthened with unbonded laminate than the beams strengthened with the bonded laminate after the steel yielding.

Rysunek 3.11.c potwierdza niewielki wpływ wstępnego obciążenia (sięgającego nawet $0.76F_{u0}$) na ugięcie wzmocnionej belki. Zarówno belki wzmocnione wyłącznie pod obciążeniem wywołanym ciężarem własnym, jak i belki wzmocnione pod dodatkowym obciążeniem zewnętrznym (B16-asp-e i B16-asp), osiągnęły w chwili zniszczenia zbliżone wartości pionowych przemieszczeń (Rys. 3.11.c).

Figure 3.11.c confirms rather small effect of the preloading level (reaching even $0.76F_{u0}$) on the vertical displacement of a strengthened beam. Both the beams strengthened only under the dead load and the beams strengthened under the additional external load (B16-asp-e and B16-asp), reached similar values of vertical displacements at the moment of failure (Fig. 3.11.c).



Rys. 3.11. Porównanie wykresów przemieszczeń pionowych środka belki w funkcji obciążenia
Fig. 3.11. The comparison of graphs of vertical displacements of the midspan of a beam in the function of load

3.6 Model obliczeniowy

Do obliczeniowej analizy odkształceń i nośności zginanych elementów żelbetowych wzmocnionych wstępnie naprężonymi taśmami CFRP, zastosowano model nieliniowej analizy żelbetowych elementów prętowych według Kamińskiej i Czkwianianca (*Czkwianianc i Kamińska 1993*).

W wersji modelu dotyczącej tylko zginania (Rys. 3.12) uwzględnia się:

- naprężenia normalne w przekroju,
- zasadę zachowania płaskiego przekroju,
- pełną przyczepność między materiałami (również odkształceń)

3.6 Analytical model

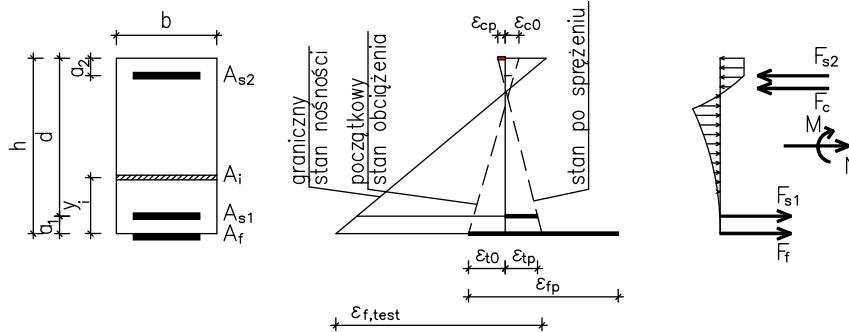
For the computational analysis of deformations in function of load reinforced concrete elements strengthened with the pretensioned CFRP laminates, a nonlinear model of RC members by Kamińska and Czkwianianc was used (*Czkwianianc and Kamińska 1993*).

The following assumptions are taken into account in the model referring to the pure bending (Fig. 3.12):

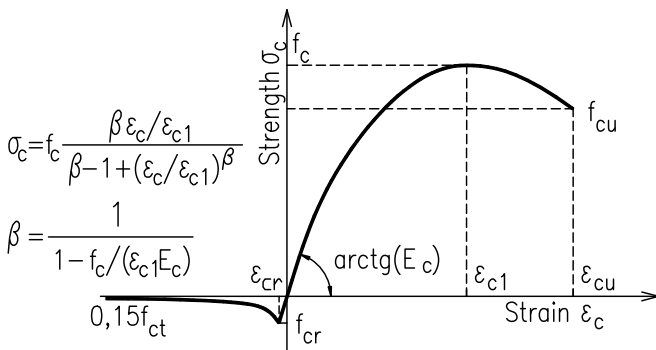
- plain section principle,
- normal stresses in the section,
- full adhesion between materials

- zasadę tension stiffening oraz założenie, że rysy prostopadłe do osi pręta są rozmyte na jego długości,
- doświadczalne zależności σ - ε dla stali zbrojeniowej i kompozytu,
- nieliniową zależność σ - ε dla betonu strefy ściskanej i rozciąganej (Rys. 3.13), zapisaną w postaci zależności naprężeń od odkształceń.

- tension stiffening principle and the assumption that cracks perpendicular to the axis of a bar are smeared on the pure bending distance,
- experimental strength characteristic σ - ε for steel reinforcement and the composite,
- non-linear strength characteristic σ - ε for the concrete in compression and tension (Fig. 3.13),



Rys. 3.12. Model obliczeniowy
Fig. 3.12. The analytical model



Rys. 3.13. Nieliniowa zależność odkształcenie - naprężenie dla betonu strefy ściskanej i rozciąganej
Fig. 3.13. Non-linear strain-stress characteristic for the concrete

$$E_c = E_{c0} [0.99 - 0.0158 \ln(t_m) - 0.0013 f_{c,cube}]$$

$$E_{c0} = 4.03 \times (2300 + 3.17 f_{c,cube}) f_{c,cube}^{1/3}$$

$$\varepsilon_{c1} = [0.0075 f_{c,cube} + 0.125 \ln(t_m) + 1.655] \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{cu} = [4.51 - 0.1244 f_{c,cube} + 0.000948 f_{c,cube}^2 t_m^{0.14} + 2.20] \times 10^{-3}$$

$$f_c = [0.83 - 0.01 \ln(t_m)] f_{c,cube}$$

$$f_{cu} = (0.005 f_{c,cube} + 0.38) f_{c,cube}$$

Obciążenie zewnętrzne określono z warunków równowagi sił i momentów w przekroju, dla kolejnych stanów jego odkształcenia, przyjmując:

$$\sum_{i=1}^n F_i = N \quad (3.1)$$

$$\sum_{i=1}^n F_i y_i = M \quad (3.2)$$

Za nośność elementu niewzmocnionego przyjmuje się siłę odpowiadającą takiemu stanowi odkształcenia, dla którego odkształcenie w jednym z materiałów osiągnie wartość graniczną ($\varepsilon_{cu}=3.5\%$ w betonie lub ε_{su} w stali).

Odspojenie taśmy CFRP zainicjowane typowym dla zginania zarysowaniem w obszarze czystego zginania jest uważane za najczęściej spotykany sposób zniszczenia elementów wzmocnionych techniką EBR. Nośność wzmocnionego elementu wyznaczano zatem dla stanu odkształcenia przekroju, w którym osiągnięte zostaną graniczne odkształcenia któregoś z materiałów (ε_{cu} w betonie, ε_{su} w stali lub $\varepsilon_{f,test}$ w taśmie odpowiadające odspojeniu lub zerwaniu).

External load was determined on the basis of the criteria for the forces and moments balance equilibrium in a section, for subsequent strain states with the following assumptions:

$$\sum_{i=1}^n F_i = N \quad (3.1)$$

$$\sum_{i=1}^n F_i y_i = M \quad (3.2)$$

What is accepted as the load bearing capacity of a non-strengthened element is the bending moment corresponding to such a strain state for which the strain in one of materials (concrete and steel) reaches the limit value ($\varepsilon_{cu}=3.5\%$ in concrete or ε_{su} in steel).

In the flexurally strengthened member debonding of the CFRP laminate initiated by flexural cracking in the pure bending distance, is considered to be the most common failure mode. Therefore, the load bearing capacity of a strengthened element was determined for the state of strain of the section in which strain limits of one of materials is reached (ε_{cu} in concrete, ε_{su} in steel or - $\varepsilon_{f,test}$ in a strip, corresponding to its debonding or rupture ε_{fu}).

Opisany model obliczeniowy stosowano wielokrotnie do obliczeniowej weryfikacji badań żelbetowych belek i belek niewzmocnionych i wzmocnionych taśmami CFRP (Kaminska i Kotynia 2000, Kotynia i Kaminska 2003), uzyskując bardzo dobrą zgodność wyników.

Powszechną praktyką jest rozważanie stanu wstępnego obciążenia elementów przed ich wzmocnieniem. Im większe jest wstępne obciążenie elementu przed wzmocnieniem, tym mniejszy jest przyrost obciążenia i możliwość wykorzystania nośności taśmy CFRP po jej aplikacji. Stan wywołany wstępnym obciążeniem w modelu analitycznym opisany jest poprzez odkształcenia betonu na górnej i dolnej krawędzi przekroju ε_{c0} i ε_{t0} , oraz odpowiadające odkształcenia stali. Sprężenie taśmy CFRP wprowadzono w modelu w postaci płaskiego stanu odkształcenia odpowiadającego odkształceniom (ε_{cp} i ε_{tp}) w betonie odpowiednio strefy ściskanej i rozciąganej oraz odkształcenie taśm $\varepsilon_{f,p}$.

Obiektywne porównanie wyników badań i wyników obliczeń umożliwiając wykresy krzywizny (κ), wyznaczonej na podstawie uśrednionych odkształceń betonu w strefie ściskanej i rozciąganej przekroju. Wykorzystano w tym celu wyniki pomiarów zarejestrowanych przez czujniki LVDT, zlokalizowane w strefie czystego zginania. Krzywiznę określono wg wzoru:

$$\kappa = \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_c}{h'} \quad \left(\frac{1}{\text{mm}} \right) \quad (3.3)$$

Porównanie eksperymentalnych i obliczeniowych wykresów krzywizny w funkcji obciążenia t wzmocnionych taśmą CFRP przyklejoną do powierzchni betonu, przedstawiono na rys. 3.14. Na wykresach obliczeniowych oznaczono odkształcenia taśmy $\varepsilon_{f,\text{test}}$ o wartościach 5.0 i 8,0%. Jest to zakres odkształceń taśmy, przy którym można spodziewać się odspojenia od powierzchni betonu.

Drobne różnice pomiędzy założonym modelem obliczeniowym, a rezultatami z badań mogą wynikać z niedokładności wykonania belek (położenie zbrojenia stalowego i niedokładności w samej geometrii elementów).

Wykresy dotyczące t B16-asp i B16-asp-e, jak i pozostałe potwierdziły zgodność z założonym modelem analitycznym w całym zakresie obciążeń.

Dzięki uniwersalności obliczeń, model ten może być z powodzeniem stosowany do opisu sposobu zachowania i określania nośności na zginanie elementów żelbetowych wzmocnionych techniką EB, metodą bierną lub czynną, ze wstępnie naprężonymi taśmami CFRP, nawet w przypadku wstępnego obciążenia elementu w chwili wykonywania wzmocnienia.

3.6 Efektywność wzmocnienia i stopień wykorzystania wytrzymałości taśmy CFRP na rozciąganie

Do analizy porównawczej efektywności wzmocnienia elementów wprowadzono parametr nazwany stopniem wzmocnienia, którego fizyczny sens oddaje wzór 3.4. Jest to stosunek różnicy sił niszczących element wzmocniony i niewzmocniony ($F_u - F_{u0}$) do siły niszczącej element niewzmocniony (F_{u0}).

$$\eta_F = (F_u - F_{u0})/F_{u0} \quad (3.4)$$

The described analytical model has been verified in a mount of tests on RC beams both non-strengthened and strengthened with CFRP laminates (Kaminska and Kotynia 2000, Kotynia and Kaminska 2003), achieving very good compatibility of the results.

It is a common practice to consider the state of preloading of elements before their strengthening. The greater preloading of an element before strengthening, the smaller increase of load and possibility of using load bearing capacity of a CFRP laminate after its application. The preloading state in the analytical model is described by the concrete strain on the top ε_{c0} and the bottom edge of a section ε_{t0} , as well as strain in the steel reinforcement. Pretensioning of the CFRP laminate was introduced in the model by the corresponding concrete strain in in compression and tension (ε_{cp} and ε_{tp}), respectively, and the strain in the CFRP strip $\varepsilon_{f,p}$.

Objective comparison of the calculated and test results shows the curvature-load (κ -2F) relationship. What was used here were the results of measurements registered by LVDTs, located in the pure bending zone. The curve was determined according to the following equation:

$$\kappa = \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_c}{h'} \quad \left(\frac{1}{\text{mm}} \right) \quad (3.3)$$

The comparison of curvature-load graphs (experimental versus calculated ones of the beams strengthened with a CFRP laminate bonded to the concrete surface, is presented in Fig. 3.14. On the calculated graphs points corresponding to the strain of the strip $\varepsilon_{f,\text{test}}$ equal to 5.0 and 8.0% have been marked to indicate the CFRP strain range at which one can expect debonding of the strip from the concrete surface.

Slight differences between the calculated and test results may come from inaccuracy of the real geometry of the beams in reference to the assumed (the location of steel reinforcement and inaccuracies in the geometry of the elements).

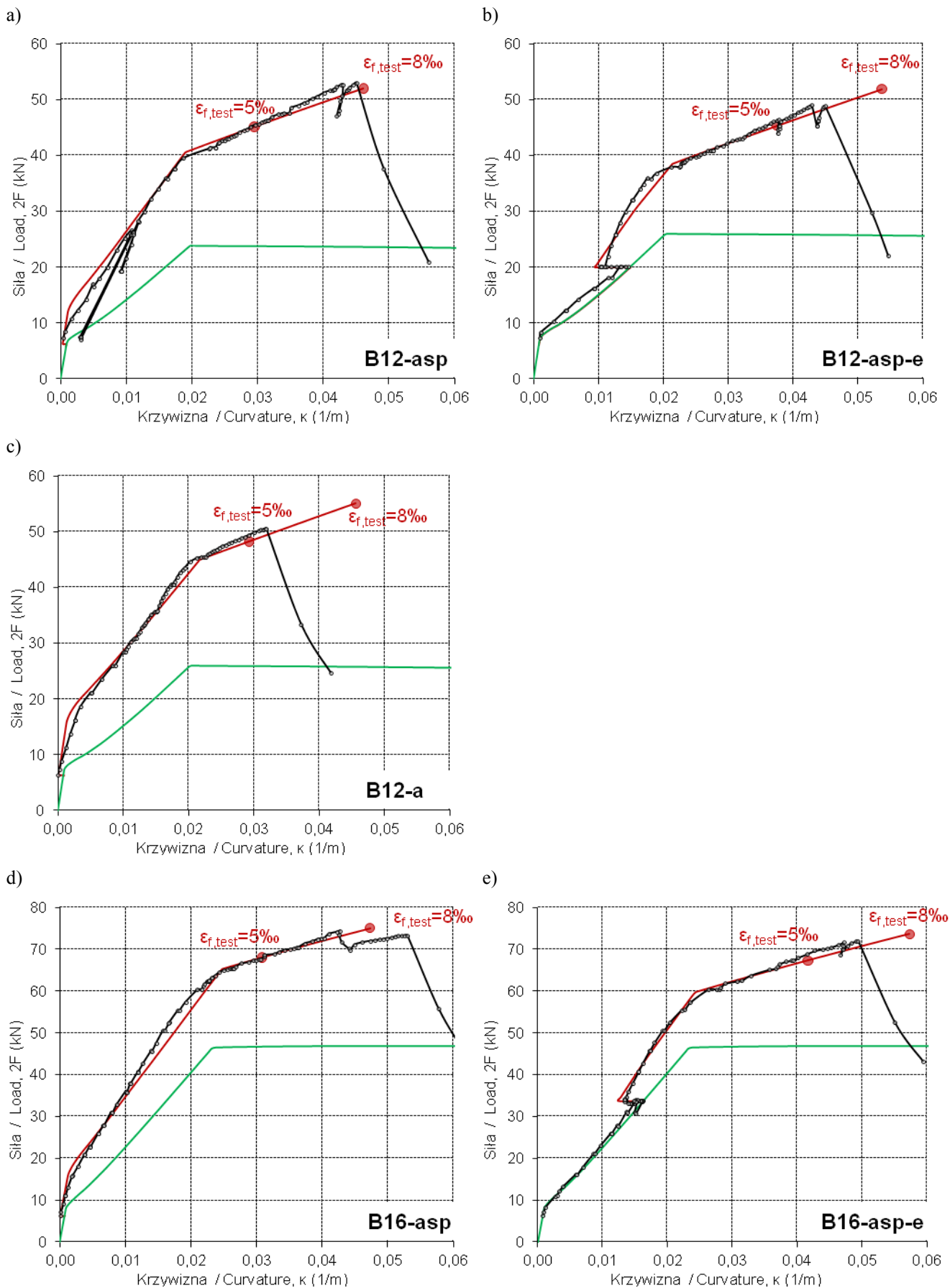
The graphs concerning B16-asp and B16-asp-e beams, as well as the rest of the beams, proved compatibility with the assumed analytical model in the full range of loads.

Universality of the model encourages to be used to determine the calculated curves of RC nonstrengthened and strengthened with EB technique with nonprestressed and prestressed CFRP laminates, even in case of preloading an element at the moment of strengthening.

3.6 The efficiency of strengthening and the extent of the use of tensile strength of a CFRP laminate

A strengthening degree parameter whose physical sense is expressed by equation 3.4 was introduced to the comparative analysis of the strengthening efficiency of RC elements. It is the ratio of the difference between ultimate load of a strengthened and nonstrengthened beams ($F_u - F_{u0}$) to the ultimate load of a nonstrengthened beam (F_{u0}).

$$\eta_F = (F_u - F_{u0})/F_{u0} \quad (3.4)$$



Rys. 3.14. Porównanie wykresu krzywizny uzyskanych w wyniku badań i na podstawie modelu obliczeniowego dla belek: a) B12-asp, b) B12-asp-e, c) B12-a , d) B16-asp, e) B16-asp-e

Fig. 3.14. The comparison of the calculated and test curvature-load graphs for the following beams: a) B12-asp, b) B12-asp-e, c) B12-a , d) B16-asp, e) B16-asp-e

Wyniki badań zestawione w tablicy 3.1 pokazują wpływ poszczególnych parametrów zmiennych na efektywność wzmocnienia. Belki z serii A i B o niższym stopniu zbrojenia stalowego uzyskały wyższy stopień wzmocnienia (od 0.88 do 1.20), niż belki z serii C (od 0.64 do 0.69). Ponadto belki wzmocnione przyklejona taśmą CFRP (B12-asp, B12-asp-e) osiągnęły wyższy stopień wzmocnienia niż belki wzmocnione bezprzyczepnościowo (B12-sp, B12-sp-e). Wysokie wstępne wyężenie elementów w chwili wykonywania wzmocnienia również obniżyło efektywność wzmocnienia. W belce B12-sp, wzmocnionej pod ciężarem własnym ($0.25F_{u0}$), stopień wzmocnienia wyniósł 0.95, podczas gdy belki B12-sp-e, wzmocnionej bez przyczepności pod obciążeniem zewnętrznym wynoszącym $0.76F_{u0}$, stopień wzmocnienia wyniósł 0.73. Podobna sytuacja ma miejsce w belkach wzmocnionych taśmami przyklejonymi do powierzchni betonu (1.20 dla B12-asp i 0.88 dla B12-asp-e). W serii belek C, o wyższym stopniu zbrojenia stalowego, wpływ wstępnego wyężenia elementu na efektywność wzmocnienia był mniejszy (0.69 dla B16-asp i 0.64 dla B16-asp-e).

Innym parametrem charakteryzującym efektywność wzmocnienia jest stopień wykorzystania wytrzymałości taśmy na rozciąganie, zdefiniowany jako stosunek maksymalnych odkształceń taśmy uzyskanych w trakcie badania belki ($\varepsilon_{f,tot}$) do wartości odkształceń granicznych określonych w badaniach wytrzymałościowych ($\varepsilon_{f,u}$), zgodnie z zależnością:

$$\eta_{ef} = \varepsilon_{f,tot} / \varepsilon_{f,u} \quad (3.5)$$

Belki wzmocnione naprężoną taśmą CFRP o większych wstępnych odkształceniach wykazywały naogół większy stopień wykorzystania wytrzymałości na rozciąganie. Belka B12-asp, wzmocniona taśmą o wstępnym odkształceniu 5.2‰ osiągnęła najwyższy stopień wzmocnienia, sięgający 1.20 i najwyższy stopień wykorzystania wytrzymałości taśmy CFRP równy 0.87 (Tablica 3.1). Podobnie na stopień wykorzystania nośności taśmy wpływa przyklejenie jej na całej długości pomiędzy szczękami kotwiącymi. Belki wzmocnione nieprzyklejonym kompozytem osiągnęły stopień wykorzystania wytrzymałości taśmy 0.68 (belka B12-sp) oraz 0.56 (belka B12-sp-e), a odpowiadające belki wzmocnione z przyczepnością, osiągnęły wyższy stopień wzmocnienia, odpowiednio 0.87 (B12-asp) oraz 0.69 (B12-asp-e). Stopień wykorzystania wytrzymałości taśmy na rozciąganie belek wzmocnionych pod większym wstępnym wyężeniem (0.69 dla B12-asp-e oraz 0.56 dla B12-sp-e) był niższy, niż belek wzmocnionych wyłącznie pod ciężarem własnym (0.87 dla B12-asp oraz 0.68 dla B12-sp).

The results of the tests summarised in Table 3.1 show the influence of particular investigated parameters on the of strengthening efficiency. The beams from A and B series with lower steel reinforcement ratio indicate the higher strengthening ratio (from 0.88 to 1.20), than the beams from the C series (from 0.64 to 0.69). Moreover, the beams strengthened with a bonded CFRP laminate (B12-asp, B12-asp-e) reached higher strengthening ratio than beams strengthened without any bonding (B12-sp, B12-sp-e). High initial preloading of the elements at the moment of strengthening also decreased the efficiency of strengthening. In the B12-sp beam, strengthened under dead load ($0.25F_{u0}$), the strengthening ratio was equal to 0.95, whereas for the B12-sp-e beam, strengthened without any bonding under external load equal to $0.76F_{u0}$, the strengthening ratio was equal to 0.73. A similar situation occurred for beams strengthened with strips bonded to the concrete surface (1.20 for B12-asp and 0.88 for B12-asp-e). In the series of the C beams, with higher ratio of steel reinforcement, the influence of initial preloading of an element on the efficiency of strengthening was smaller (0.69 for B16-asp and 0.64 for B16-asp-e).

Another parameter characterizing the strengthening efficiency is ratio of exhaustion of the tensile strength of the strip, defined as the ratio of the maximum tensile strain of the strip obtained during the test of the beam ($\varepsilon_{f,tot}$) to the value of ultimate tensile strain determined in the tensile test ($\varepsilon_{f,u}$), calculated from the equation:

$$\eta_{ef} = \varepsilon_{f,tot} / \varepsilon_{f,u} \quad (3.5)$$

The beams strengthened with the higher CFRP pretensioning level showed the higher degree of the CFRP utilization. The B12-asp beam, strengthened with the pretensioned strip of 5.2‰ reached the highest strengthening ratio, equal to 1.20 and the highest strength exhaustion of the CFRP laminate equal to 0.87 (Table 3.1). Bonding of the strip on the whole length between anchorage clamps leads to the similar highest strength exhaustion of the CFRP laminate tensile strength. The beams strengthened with an unbonded composite reached the highest strength exhaustion equal to 0.68 (B12-sp beam) and 0.56 (B12-sp-e beam), and the equivalent beams strengthened with bonding reached higher strengthening ratio, 0.87 (B12-asp) and 0.69 (B12-asp-e) respectively. The highest tensile strength exhaustion of the CFRP laminate for beams strengthened under higher initial preloading (0.69 for B12-asp-e and 0.56 for B12-sp-e) was lower than that of beams strengthened solely under a dead load (0.87 for B12-asp and 0.68 for B12-sp).

4 WNIOSKI

W celu oceny skuteczności wzmocnienia przekroju żelbetowego na zginanie przy użyciu wstępnie sprężonych taśm CFRP, przeprowadzono badanie trzech serii belek żelbetowych o przekroju prostokątnym 500x200mm, o dwóch różnych stopniach zbrojenia zwykłego, które wzmocniono przy różnym poziomie wstępnego wyęźnienia. W badaniach analizowano ponadto wpływ przyczepności taśmy do betonu na efektywność wzmocnienia. Każda seria belek składała się z elementów wzmocnionych wstępnie naprężonymi taśmami CFRP, przyklejonymi do spodniej powierzchni elementu lub taśmami nieprzyklejonymi, ale kotwionymi na końcach kompozytu. Jednym z podstawowych parametrów zmiennych był stopień wyęźnienia belek przed i w trakcie wzmocnienia. Część belek wzmocniono pod ciężarem własnym (odpowiadającym 14% lub 25% nośności elementu niewzmocnionego) lub dodatkowo pod obciążeniem zewnętrznym (stanowiącym łącznie 76% nośności elementu niewzmocnionego).

Na podstawie analizy wyników badań można wysnuć następujące wnioski:

1. Najczęściej występującym sposobem zniszczenia było odspojenie taśmy zainicjowane zarysowaniem środkowej części elementu; wysunięcie końca taśmy CFRP spod płyty kotwiącej było wtórnym efektem postępującego zniszczenia.
2. Obraz zarysowania był zbliżony we wszystkich badanych elementach. Niewielkie różnice wynikały z obecności kleju na długości taśmy, jak i z różnego poziomu wstępnego wyęźnienia elementów w chwili wykonywania wzmocnienia. W tym drugim wypadku belki w chwili wykonywania wzmocnienia były silniej zarysowane.
3. Badania wykazały wysoką efektywność wzmocnienia przy użyciu wstępnie naprężonych taśm węglowych, co potwierdza stopień wzmocnienia elementu (η_F), który wynosił od 0.73 do 1.20 dla belek Serii A i B (o niższym stopniu zbrojenia stalowego), oraz od 0.64 do 0.69 dla belek Serii C (o wyższym stopniu zbrojenia stalowego).
4. Zróżnicowanie historii obciążania belek Serii A i B w wyniku procesu obciążania i odciążania nie miało znaczenia na charakter pracy wzmocnionych elementów.
5. Wzrost poziomu wstępnego obciążenia elementu w chwili wykonywania wzmocnienia spowodował spadek maksymalnych odkształceń taśm CFRP zarejestrowanych podczas zniszczenia ($\epsilon_{f,test}$) (odspojenia taśm od powierzchni betonu). W belkach silnie wyęźnionych przed wzmocnieniem, odkształcenia taśm w chwili ich odspojenia były niższe niż odkształcenia zarejestrowane w elementach wzmocnionych pod ciężarem własnym.
6. Z porównania wyników badań elementów o różnym zbrojeniu zwykłym wynika, że efektywność wzmocnienia maleje wraz ze wzrostem stopnia zbrojenia stalowego.

4 CONCLUSION

In order to estimate the efficiency of flexural strengthening of an RC section with the use of prestressed CFRP laminates, tests on three series of RC beams with rectangular cross section of 500x200mm were carried out, with two different ordinary reinforcement ratios strengthened at different level of initial preloading. Another aspect analysed in the tests was the influence of bond between the strip and a concrete on the efficiency of strengthening. Each series of beams consisted of elements strengthened with pretensioned CFRP laminates, bonded to the bottom surface of an element or the strips unbonded but anchored at the ends of the composite. One of the basic variable parameters was the preloading level beams before and during strengthening. Some beams were strengthened under dead load (corresponding to 14% or 25% of the load bearing capacity of a non-strengthened element) or, additionally, under external load (accounting in total for 76% of the load bearing capacity of a non-strengthened element).

On the basis of the analysis of the test results one can come to the following conclusions:

1. The most common reason of failure was debonding of the strip initiated by the concrete cracking in the pure bending distance; pulling of the end of the CFRP laminate from the anchorage plate was a secondary effect of progressing failure.
2. Crack pattern was similar in all tested elements. Slight differences were caused by the presence of the adhesive along the strip and from various level of initial preloading of the elements at the moment of strengthening. In this second case, at the moment of strengthening beams were more cracked.
3. The tests demonstrated high efficiency of strengthening with the use of pretensioned strips, which is proved by the strengthening ratio / of an element (η_F), which was equal to 0.73 and 1.20 for beams of series A and B (with lower steel reinforcement ratio), and between 0.64 and 0.69 for beams of series C (with higher steel reinforcement ratio).
4. Variety of the load history (preloading level) of beams of A and B series as a result of the process of loading and unloading had no influence on behaviour of the strengthened elements.
5. The increase in the preloading level of an element at the moment of strengthening resulted in a decrease of maximum strain of the CFRP laminates registered during failure ($\epsilon_{f,test}$) (due to debonding of the strips from the concrete surface). In beams highly preloaded before strengthening, strain of the strips at the moment of their debonding were lower than the strain registered for the elements strengthened under the dead load.
6. The comparison of the test results for the elements with various ordinary reinforcement shows that the strengthening efficiency decreases with the increase in the steel reinforcement.

7. Przyczepność pomiędzy zbrojeniem kompozytowym CFRP a powierzchnią betonu ma wyraźny wpływ na odkształcalność belki dopiero po uplastycznieniu zbrojenia stalowego. Stopień wykorzystania wytrzymałości kompozytu na rozciąganie (η_{ef}) wyraźnie zależy od jego przyczepności do powierzchni betonu. W wypadku wzmocnienia z przyczepnością wykorzystanie wytrzymałości taśm CFRP na rozciąganie było na poziomie od 0.68 do 0.87, zaś w belkach wzmocnionych bezprzyczepnościowo, stopień wykorzystania nośności taśm był niższy i wynosił od 0.56 do 0.68.
 8. Przyrost odkształceń w taśmach nieprzyklejonych do powierzchni betonu, osiągnięty w trakcie obciążenia belek ($\epsilon_{f,test}$), wynosił od 5.0‰ do 6.9‰, a w taśmach przyklejonych wahał się od 6.9‰ do 9.3‰.
 9. Pomiar odkształceń betonu w rozciąganej strefie przekroju potwierdził korzystny wpływ przyklejenia taśm kompozytowych do powierzchni betonu. W belkach wzmocnionych bezprzyczepnościowo wystąpiły większe odkształcenia betonu niż w belkach z taśmami przyklejonymi na całej długości. Pochylenie wykresów odkształcenie-obciążenie było niższe w wypadku belek wzmocnianych bezprzyczepnościowo. Jest to widoczne zwłaszcza po uplastycznieniu zbrojenia zwykłego. Świadczy to o mniejszej sztywności tych elementów w porównaniu z belkami, w których taśmy były przyklejane.
 10. Pomimo bardzo wysokiego poziomu wstępnego obciążenia wybranych belek Serii A, B i C ($0.76 F_{u0}$) - poziom przekraczający stan graniczny użyteczności, wzmocnienie naprężonymi taśmami CFRP pozwoliło znacznie zredukować ugięcia i odkształcenia belek oraz doprowadziło do zwiększenia sztywności elementu do poziomu sztywności elementu wzmocnionego wyłącznie pod ciężarem własnym.
 11. Zaobserwowano niewielki wpływ wstępnego obciążenia elementu na końcową wartość ugięć wzmocnionego elementu. Na ogół jednak ugięcia elementów silnie wyteżonych, jak i niewyteżonych przed wzmocnieniem kształtował się podobnie.
 12. Wzmocnienie na zginanie przy użyciu naprężonych taśm CFRP jest jedną z najbardziej skutecznych metod poprawy warunków użyteczności i nośności nawet silnie wyteżonych elementów żelbetowych. W takim wypadku wzmocnienie taśmami sposobem biernym, byłoby niewystarczające.
 13. Porównanie doświadczalnych i obliczeniowych zależności krzywizna-obciążenie potwierdziło poprawność przyjętego modelu obliczeniowego w całym zakresie obciążeń badanych elementów.
7. The adhesion between the CFRP laminate and the concrete surface has clear influence on deformability of beams only after yielding of steel reinforcement. The highest tensile strength exhaustion/(strain efficiency) of the composite (η_{ef}) clearly depends on its adhesion to the concrete surface. In case of strengthening with adhesion, strain efficiency of the CFRP laminates was between 0.68 and 0.87, whereas in beams strengthened without bonding, the strain efficiency of the laminates was lower and its value varied from 0.56 to 0.68.
 8. The increase in the CFRP strain unbonded to the concrete surface, achieved during loading of beams ($\epsilon_{f,test}$), was from 5.0‰ to 6.9‰, and in strips bonded to the concrete surface it ranged from 6.9‰ to 9.3‰.
 9. The measurements of the concrete strain in the tensile zone of the section proved the positive effect of bonding composite strips to the concrete surface. In beams strengthened without any bonding the strain of concrete was greater than in beams with strips bonded over the whole length. The inclination of strain-load graphs was smaller in a case of beams strengthened without any bonding. This is particularly evident after the steel yielding. It proves lower stiffness of these elements in comparison with the beams strengthened with bonded laminates.
 10. Despite very high level of preloading of the beams from A, B and C series ($0.76 F_{u0}$) - under the load corresponding to the level exceeding SLS), strengthening with pretensioned CFRP laminates significantly reduced deflections and strain of beams, and led to the increase in the stiffness of the beams up to the level of stiffness of an beam strengthened only under a dead load.
 11. Preloading an element before strengthening indicated a slight influence on the ultimate deflections of the strengthened element. However, generally the deflections of the elements highly preloaded and not initially preloaded before strengthening were similar.
 12. Flexural strengthening with the use of pretensioned CFRP laminates is one of the most efficient methods of improving serviceability limit state (SLS) and ultimate limit states (ULS) of even highly preloaded RC elements. In such a case, passive (nonpretensioned) strengthening would be insufficient.
 13. The comparison of the experimental and calculated curvature-load responses proved the compatibility of the used analytical model in the whole range of loads registered in the tests.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Aram, M. R., Czaderski, C., and Motavalli, M. (2008). "Effects of gradually anchored prestressed CFRP strips bonded on prestressed concrete slabs." *J. Compos. Constr.*, 12:1(25), 25-34.
- [2] Czkwianianc A., Kamińska M. E.: „Metoda nieliniowej analizy żelbetowych elementów prętowych.” KILiW PAN IPPT, Studia z Zakresu Inżynierii nr 36, Warszawa 1993.
- [3] Deuring, M.: "Verstärken von Stahlbeton mit gespannten Faserverbundwerkstoffen.", EMPA Dübendorf, Bericht Nr. 224, Switzerland, 1993.
- [4] El-Hacha, R., Wight, R. G., and Green, M.F.: "Innovative System for Prestressing Fiber-Reinforced Polymer Sheets." *Aci Structural Journal*, 100(3), 305-313, 2003.
- [5] Kamińska M. E., Kotynia R.: Doświadczalne badania żelbetowych belek wzmocnionych taśmami CFRP, „Badania doświadczalne elementów i konstrukcji betonowych”, Z. 9, Wyd. Kat. Bud. Bet. PŁ, Łódź, 2000.
- [6] Kotynia R., Kamińska M. E.: Odkształcalność i sposób zniszczenia żelbetowych belek wzmocnionych na zginanie materiałami CFRP, „Badania doświadczalne elementów i konstrukcji betonowych”, Z. 13, Wyd. Kat. Bud. Bet. PŁ, Łódź, 2003.
- [7] Kotynia, R., Walendziak, R., Stoecklin, I., Meier, U.: "RC Slabs Strengthened with Prestressed and Gradually Anchored CFRP Strips under Monotonic and Cycling Loading" *Journal of Composites for Construction*, 15(2), 168-180, 2011.
- [8] Meier, U.: "Strengthening of structures using carbon fibre/epoxy composites." *Construction and Building Materials*, 9(6), 341–351, 1995.
- [9] Meier, U., Kotynia R.: „Wzmacnianie konstrukcji żelbetowych naprężonymi materiałami kompozytowymi FRP.” *Inżynieria i Budownictwo* 11/2006, str. 596-599.
- [10] Teng, J.G., Chen, J.F., Smith, S.T., and Lam, L.: "FRP: Strengthened RC Structures", John Wiley & Sons, ISBN 0471487066, UK, 2002.
- [11] Trintafyllou, T. C., Deskovic, N., and Deuring, M.: "Strengthening of Concrete Structures with Prestressed Fiber Reinforced Sheets." *Aci Structural Journal*, 89(3), 235-244, 1992.
- [12] Wight, R. G., Green, M. F., and Erki, M.-A.: "Prestressed FRP sheets for poststrengthening reinforced concrete slabs." *Journal of Composites for Construction*, 5(4), 214–220, 2001.

1. Czkwianianc A., Kamińska M., *Badania monolitycznych węzłów żelbetowych ram portalowych [Tests of RC Portal Frames Corners]*, Ułańska D., *Badania jednoprzęsłowych tarcz ze wspornikami [Research on Single Span Deep Beams with Brackets]*. Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 1, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej, Łódź 1991.
2. Czkwianianc A., Kamińska M., *Badania monolitycznych ram portalowych obciążonych siłami pionowymi lub poziomymi [Tests of RC Portal Frames Subjected to Vertical or Lateral Force]*. Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 2, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 1993.
3. Urban T., *Nośność na przebicie w aspekcie proporcji boków słupa [Punching Capacity in Aspect of Column Cross Section Ratio]*. Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 3, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej, Łódź 1994.
4. Ułańska D., *Przenoszenie sił ścinających przez zbrojenie osiowo rozciągane w zarysowanych przekrojach elementów żelbetowych [Transfer of Shear Forces Through the Axially Tension Reinforcement in Cracked Reinforced Concrete Sections Experimental Investigations]*. Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 4, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 1995.
5. Kozicki J., Urban T., Sitnicki M., *Badania modelu stropu płytowo-słupowego poddanego działaniu obciążeń krótko i długotrwałych [Tests on Model of Slab - Column Structure Subject to Short- and Longlasting Loads]*. Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 5, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 1995.
6. Czkwianianc A., *Badania doświadczalne płaskich i przestrzennych węzłów monolitycznych ustrojów prętowych [Experimental Investigations of Beam - Column Joints]*, Urban T., Kosińska A., Czkwianianc A., *Badania doświadczalne węzłów płytowo ściennych [Experimental Investigations of Slab - Wall Joints]*, Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 6, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 1995.
7. Kamińska M.E., *Doświadczalne badania żelbetowych słupów ukośnie mimośrodowo ściskanych [Experimental Investigations of RC Columns under Biaxial Bending]*, Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 7, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 1995
8. Kamińska M.E., *Doświadczalne badania żelbetowych elementów prętowych z betonu wysokiej wytrzymałości [Experimental research on HSC one-dimensional members]*, Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 8, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 1999
9. Kamińska M.E., Kotynia R., *Doświadczalne badania żelbetowych belek wzmocnionych taśmami CFRP [Experimental research on RC beams strengthened with CFRP strips]*, Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 9, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 2000
10. Kosińska A., Nowakowski A.B., *Doświadczalne badania żelbetowych elementów poddanych skręcaniu [Experimental research on RC elements under torsion]*, Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 10, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 2001
11. Bodzak P., Czkwianianc A., *Doświadczalne badania monolitycznych ram żelbetowych – strefa skrajnego węzła [Experimental research on RC frames – edge joint zone]*, Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 11, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 2000
12. Czkwianianc A., Pawlica J., Ułańska D., Skurcz i pełzanie betonów samozagęszczalnych *[Shrinkage and creep of self compacting concrete SCC]*, Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 12, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 2004
13. Kotynia R., Kamińska M.E., *Odkształcalność i sposób zniszczenia żelbetowych belek wzmocnionych na zginanie materiałami kompozytowymi CFRP [Ductility and failure mode of RC beam strengthened for flexure with CFRP]*, Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 13, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 2000

15. Kotynia R., Kamińska M.E., Ignatowski P., *Badania doświadczalne elementów ściskanych wzmocnionych materiałami kompozytowymi CFRP [Experimental research on CFRP confined RC members]*, Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 15, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 2000
16. Kotynia R., *Przyczepność zbrojenia kompozytowego do betonu w żelbetowych elementach wzmocnionych za pomocą materiałów kompozytowych CFRP [Bond between composite materials and concrete in reinforced concrete members strengthened with CFRP composites]* Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 16, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 2008
17. Czkwianianc A., Bodzak P., Pawlica J., Habiera E., *Badania sprężonych elementów betonowych zespolonych z profilem stalowym [Tests of the elements made from prestressed concrete connected with the steel profiles]* Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 17, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 2010
18. Urban T., Sitnicki M., Tarka J., *Badania połączeń płyta – słup wzmocnianych zewnętrznie na przebicie [Investigation of slab - column connection externally strengthened on punching]*. Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 18, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Katedry Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 2012
19. Urban T., Krakowski J., Gołdyn M., Krawczyk Ł., *Przebicie żelbetowych płyt krępych [Punching of RC thick plates]*. Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 19, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Katedry Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 2013
20. Urban T., Gołdyn M., Krawczyk Ł., *Nośność słupów żelbetowych z betonu o wysokiej wytrzymałości przewartwionych płytą betonu o niższej wytrzymałości [Load carrying capacity of high – strenght reinforced concrete columns intersected by lower – strenght reinforced concrete slabs]*. Badania doświadczalne elementów i konstrukcji żelbetowych, Z. 20, Wydawnictwo Katedry Budownictwa Betonowego Wydziału Katedry Budownictwa i Architektury Politechniki Łódzkiej, Łódź 2016

Załącznik

Wyniki pomiarów

Badania zostały wykonane w Laboratorium Katedry Budownictwa Betonowego.

Uczestniczyli w nich:

mgr inż. Jacek Łapiński
mgr inż. Dawid Moszczyński
mgr inż. Radosław Walendziak
tech. Andrzej Banasiak
tech. Adam Frątczak
tech. Stanisław Młynarski
tech. Monika Potapow
tech. Andrzej Wierzbicki

W załączniku zamieszczono wyniki badań elementów w postaci wykresów i tabel.

Appendix

Results of measurements

Tests were carried out at the Laboratory of the Department of Concrete Structures.

The participants were as follow:

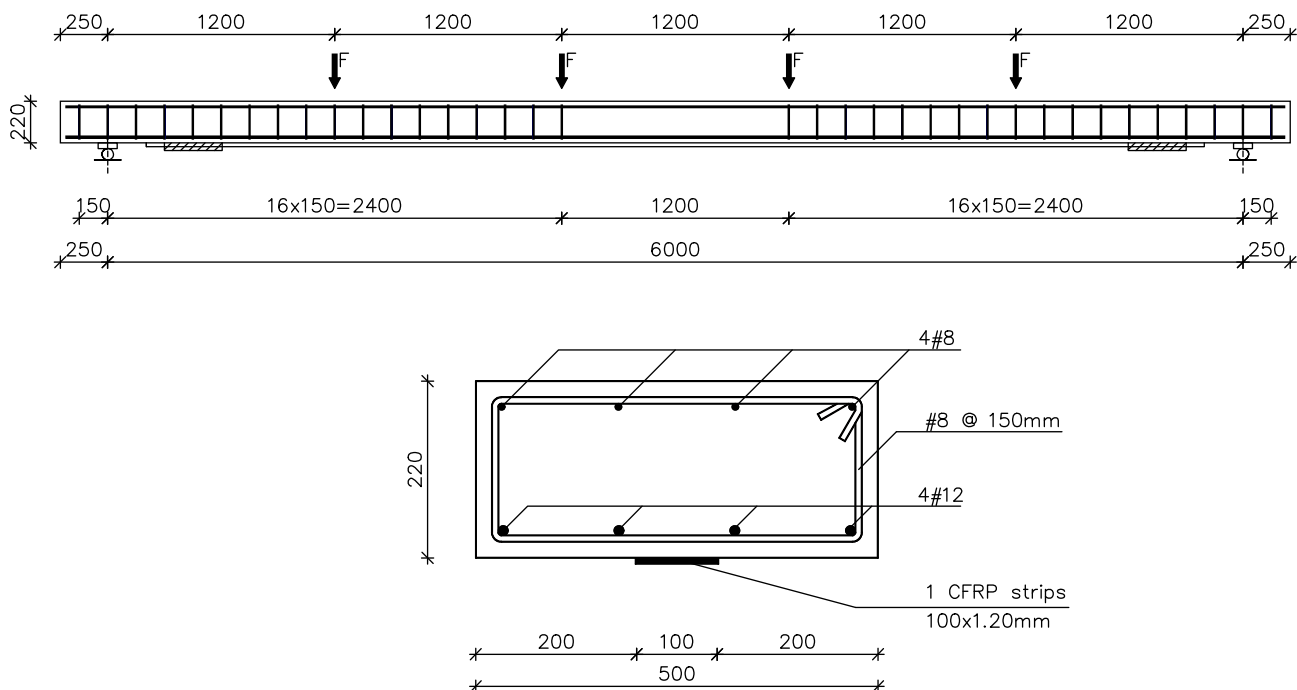
mgr inż. Jacek Łapiński
mgr inż. Dawid Moszczyński
mgr inż. Radosław Walendziak
tech. Andrzej Banasiak
tech. Adam Frątczak
tech. Stanisław Młynarski
tech. Monika Potapow
tech. Andrzej Wierzbicki

The appendix contains the tests results of the elements in the diagrams and tables.

WYNIKI BADAŃ ELEMENTU TEST RESULTS OF MEMBER

B12-asp

Series A



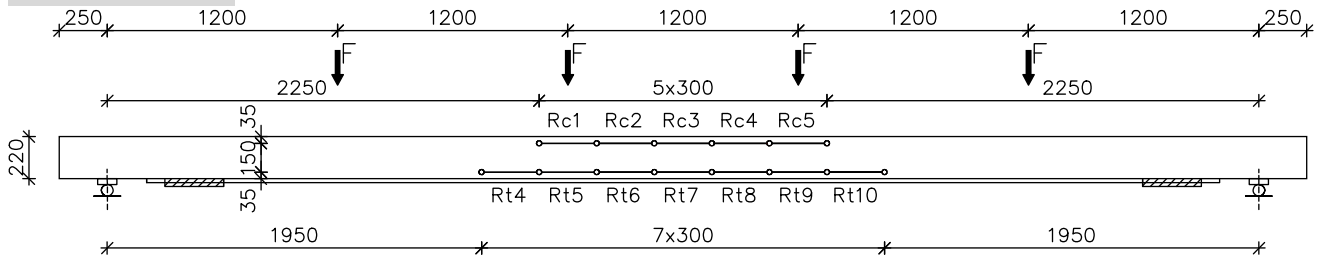
Tablica Z1.1 Zestawienie charakterystycznych parametrów dla elementu B12-asp
Table Z1.1 Summary of characteristic parameters for beam B12-asp

	Beton Concrete		Stal zbrojeniowa Steel reinforcement		CFRP		Siła Load	
		500 x 220mm ²		4 #12	4 #8	1x 100x1.2mm ²		2F _p
f _{c,cube}	35.3MPa	A _s	111.0mm ²	48.9mm ²	f _{fu}	2857MPa	2F _{u0}	24.0kN
f _{ct,split}	2.6MPa	f _y	511.4MPa	583.1MPa	ε _{fu}	16.8‰	$\frac{2F_p}{2F_{u0}}$	25%
f _c	32.2MPa	f _t	594.5MPa	650.5MPa	E _f	173.7Gpa	2F _u	52.6kN
E _c	23.7MPa	E _s	191.1GPa	200.7GPa	ε _{f,tot} (ε _{f,p} +ε _{f,test})	14.4‰ (5.20‰+9.30‰)	$\frac{2F_u}{2F_{u0}}$	219%

B12-asp

- a - taśma przyklejona / laminate bonded
- sp - stalowa płyta kotwiąca / anchorage steel plate

B12-asp



Tablica Z1.2 Odształcenia betonu, ϵ_c , ϵ_t (pomiar komputerowy)

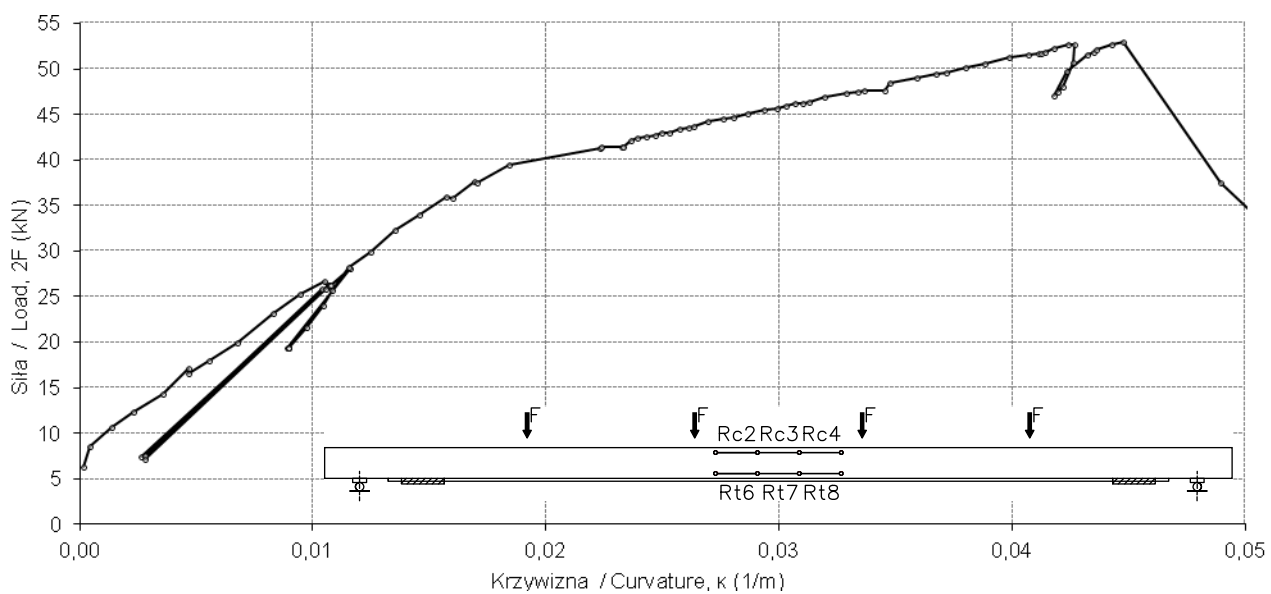
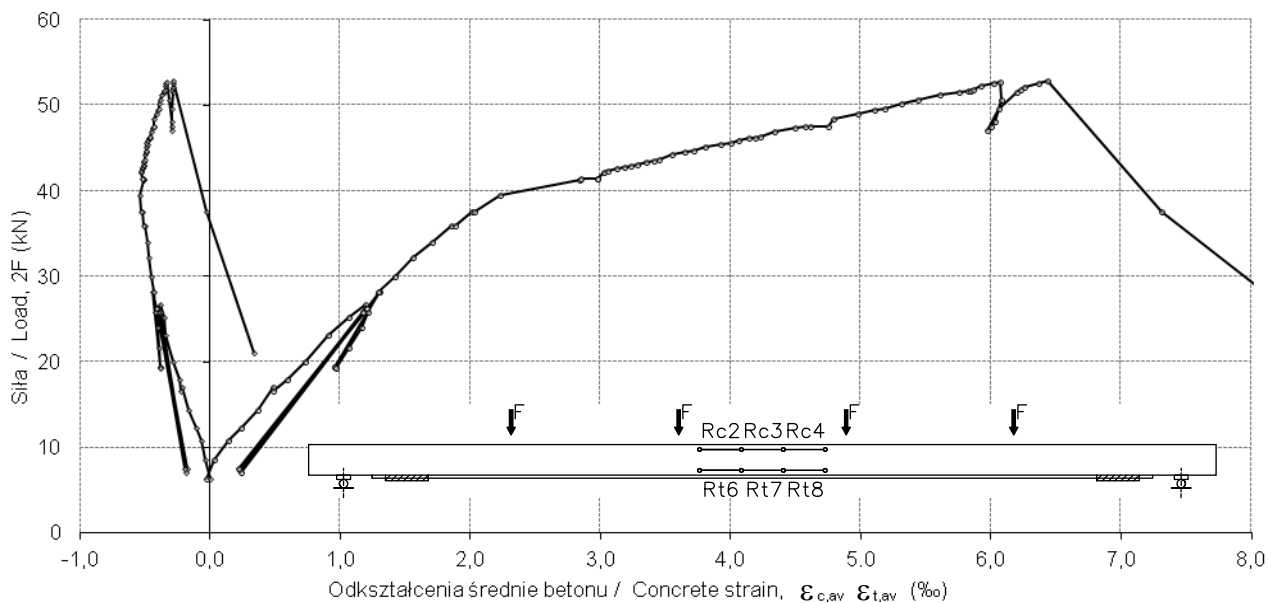
Table Z1.2 Concrete strain, ϵ_c , ϵ_t (computer registered measurements)

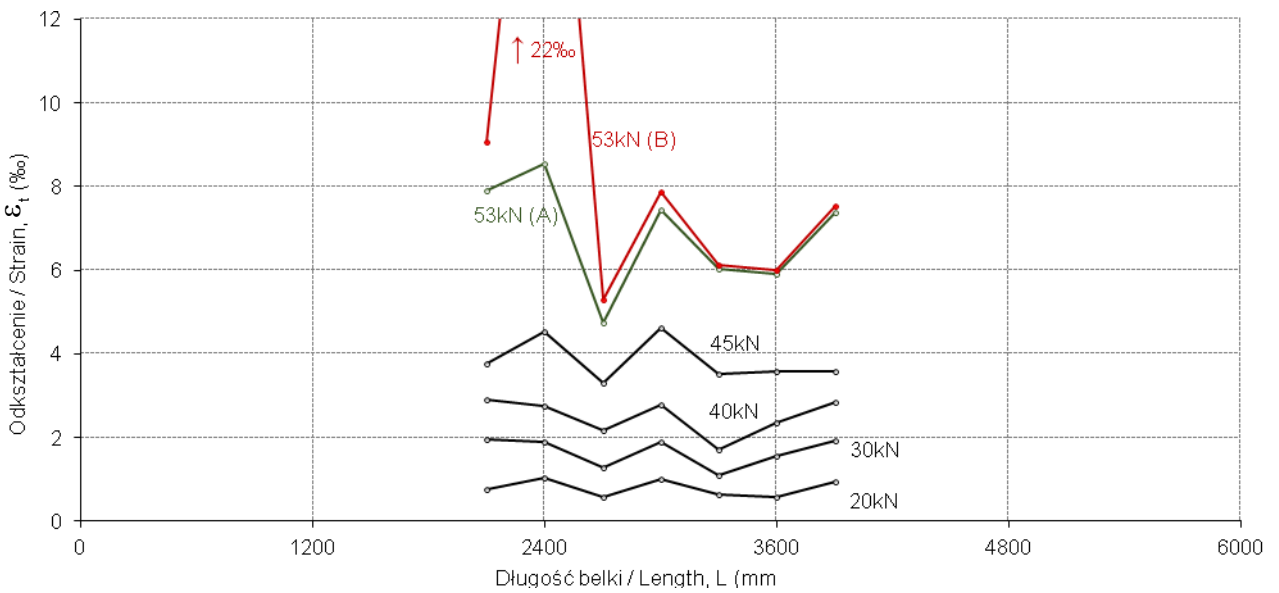
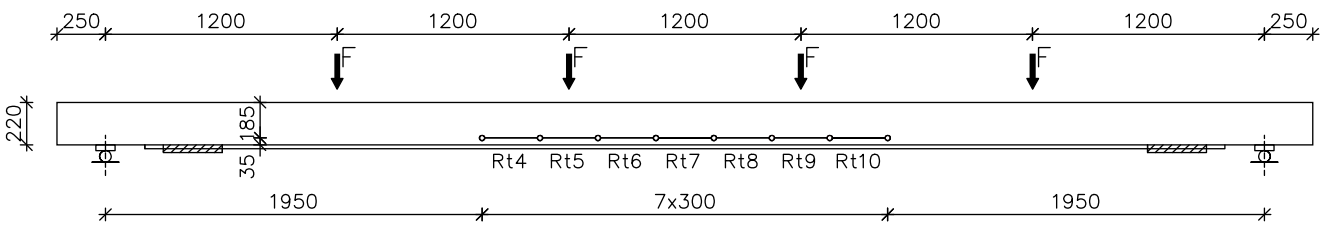
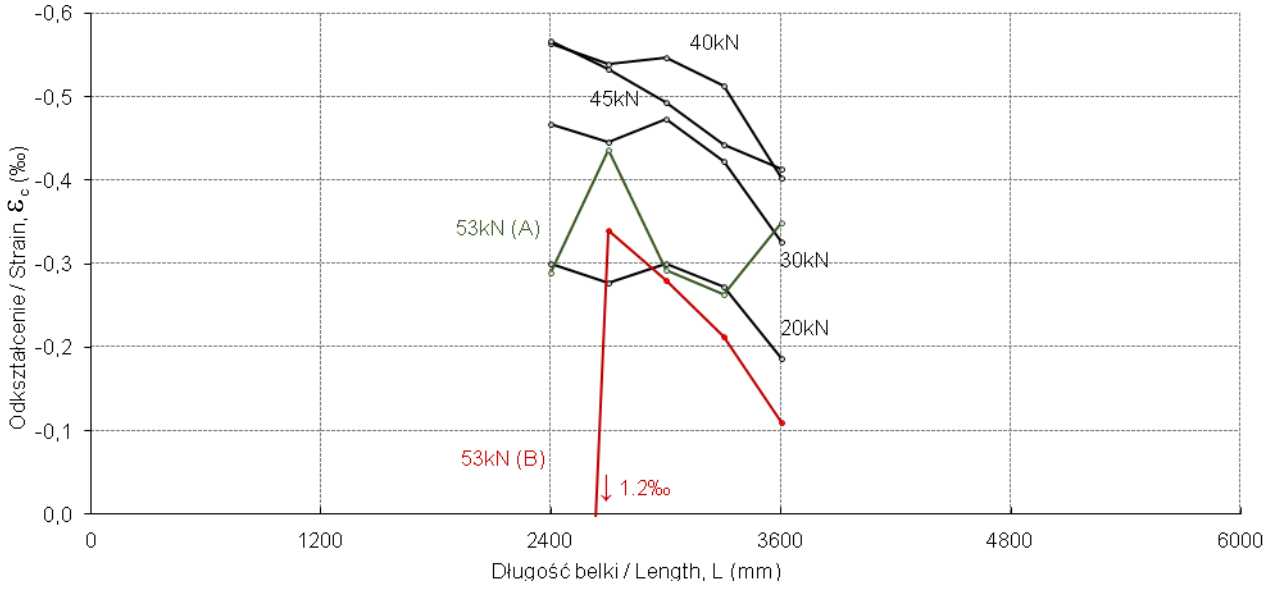
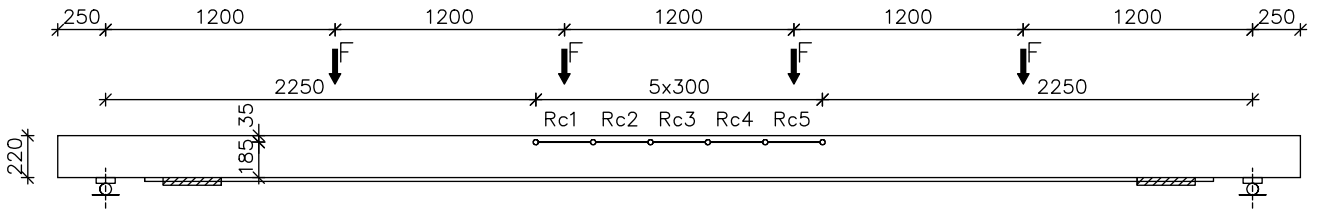
Siła / Load 2F kN	Odształcenia betonu / Concrete strain														Krzywizna /Curvature K 1/m
	ϵ_c						ϵ_t								
	R _{c1}	R _{c2}	R _{c3}	R _{c4}	R _{c5}	$\epsilon_{c,av}$	R _{t4}	R _{t5}	R _{t6}	R _{t7}	R _{t8}	R _{t9}	R _{t10}	$\epsilon_{t,av}$	
	‰						‰								
7.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.06	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.0001
8.5	-0.03	-0.02	-0.06	-0.03	0.00	-0.04	0.03	0.16	0.00	0.08	0.01	0.05	0.00	0.03	0.0004
10.7	-0.06	-0.05	-0.06	-0.07	0.00	-0.06	0.11	0.31	0.08	0.24	0.10	0.13	0.00	0.14	0.0013
12.3	-0.10	-0.10	-0.11	-0.11	-0.01	-0.11	0.22	0.43	0.15	0.38	0.18	0.22	0.00	0.24	0.0023
14.3	-0.17	-0.14	-0.20	-0.16	-0.08	-0.17	0.28	0.59	0.23	0.58	0.29	0.29	0.11	0.37	0.0036
17.1	-0.22	-0.19	-0.23	-0.21	-0.12	-0.21	0.40	0.76	0.34	0.74	0.38	0.38	0.30	0.49	0.0047
16.5	-0.23	-0.20	-0.26	-0.21	-0.12	-0.22	0.40	0.74	0.33	0.74	0.38	0.37	0.31	0.48	0.0047
17.9	-0.27	-0.21	-0.26	-0.24	-0.15	-0.24	0.54	0.87	0.43	0.88	0.48	0.46	0.59	0.60	0.0056
19.9	-0.30	-0.28	-0.30	-0.27	-0.19	-0.28	0.77	1.03	0.57	1.00	0.63	0.58	0.96	0.73	0.0068
23.1	-0.35	-0.32	-0.38	-0.32	-0.22	-0.34	1.07	1.30	0.74	1.23	0.75	0.83	1.25	0.91	0.0083
25.2	-0.37	-0.35	-0.35	-0.36	-0.25	-0.35	1.28	1.46	0.88	1.49	0.84	1.03	1.43	1.07	0.0095
26.6	-0.40	-0.37	-0.40	-0.37	-0.27	-0.38	1.49	1.58	0.99	1.66	0.92	1.15	1.55	1.19	0.0105
26.2	-0.41	-0.38	-0.42	-0.39	-0.27	-0.40	1.52	1.58	1.01	1.67	0.93	1.16	1.55	1.21	0.0107
7.4	-0.21	-0.18	-0.18	-0.15	-0.25	-0.17	0.43	0.30	0.15	0.33	0.20	0.27	0.67	0.23	0.0026
26.2	-0.41	-0.39	-0.43	-0.41	-0.28	-0.41	1.54	1.57	1.00	1.68	0.90	1.21	1.58	1.19	0.0107
7.4	-0.21	-0.19	-0.22	-0.15	-0.26	-0.19	0.43	0.30	0.15	0.34	0.20	0.25	0.67	0.23	0.0028
25.8	-0.41	-0.40	-0.35	-0.40	-0.28	-0.38	1.53	1.55	0.98	1.67	0.88	1.20	1.60	1.18	0.0104
7.5	-0.22	-0.19	-0.23	-0.16	-0.29	-0.19	0.43	0.31	0.15	0.31	0.21	0.25	0.67	0.22	0.0028
25.8	-0.42	-0.40	-0.43	-0.38	-0.28	-0.40	1.52	1.55	0.99	1.67	0.88	1.21	1.61	1.18	0.0106
26.3	-0.43	-0.41	-0.44	-0.39	-0.29	-0.41	1.59	1.59	1.02	1.68	0.90	1.25	1.67	1.20	0.0107
26.2	-0.42	-0.40	-0.43	-0.38	-0.29	-0.40	1.58	1.58	1.02	1.69	0.90	1.26	1.65	1.20	0.0107
7.1	-0.23	-0.20	-0.20	-0.15	-0.27	-0.18	0.44	0.30	0.15	0.33	0.23	0.24	0.68	0.24	0.0028
26.3	-0.43	-0.41	-0.44	-0.39	-0.29	-0.41	1.59	1.59	1.02	1.68	0.90	1.25	1.67	1.20	0.0107
26.2	-0.43	-0.41	-0.43	-0.39	-0.29	-0.41	1.61	1.59	1.03	1.69	0.90	1.27	1.68	1.21	0.0108
28.1	-0.46	-0.44	-0.46	-0.41	-0.31	-0.44	1.77	1.74	1.15	1.75	1.01	1.42	1.77	1.30	0.0116
19.3	-0.41	-0.39	-0.40	-0.34	-0.30	-0.38	1.28	1.18	0.75	1.38	0.74	0.93	1.50	0.96	0.0089
19.3	-0.41	-0.39	-0.41	-0.34	-0.30	-0.38	1.29	1.18	0.75	1.38	0.75	0.93	1.49	0.96	0.0089
19.3	-0.42	-0.39	-0.41	-0.34	-0.30	-0.38	1.28	1.17	0.75	1.38	0.75	0.94	1.47	0.96	0.0089
19.3	-0.41	-0.39	-0.41	-0.34	-0.30	-0.38	1.28	1.17	0.75	1.40	0.75	0.94	1.47	0.97	0.0090
21.6	-0.42	-0.40	-0.42	-0.35	-0.30	-0.39	1.41	1.31	0.84	1.57	0.78	1.09	1.60	1.06	0.0097
24.1	-0.43	-0.41	-0.43	-0.37	-0.30	-0.40	1.52	1.50	0.96	1.68	0.86	1.17	1.71	1.17	0.0105
25.8	-0.44	-0.42	-0.44	-0.39	-0.31	-0.42	1.62	1.58	1.03	1.70	0.91	1.26	1.77	1.21	0.0109
28.2	-0.45	-0.43	-0.46	-0.41	-0.31	-0.43	1.76	1.75	1.14	1.75	1.00	1.40	1.79	1.29	0.0115
30.0	-0.47	-0.45	-0.47	-0.42	-0.33	-0.45	1.95	1.89	1.27	1.89	1.11	1.55	1.93	1.42	0.0125
32.3	-0.49	-0.46	-0.49	-0.45	-0.34	-0.47	2.14	2.07	1.44	2.04	1.18	1.69	2.11	1.56	0.0135
34.0	-0.50	-0.48	-0.50	-0.46	-0.36	-0.48	2.30	2.26	1.63	2.17	1.33	1.87	2.28	1.71	0.0146
35.9	-0.52	-0.50	-0.51	-0.48	-0.37	-0.50	2.52	2.37	1.80	2.34	1.42	2.01	2.45	1.85	0.0157
35.9	-0.54	-0.51	-0.53	-0.49	-0.38	-0.51	2.56	2.40	1.84	2.38	1.44	2.05	2.50	1.89	0.0160
37.6	-0.55	-0.53	-0.54	-0.50	-0.39	-0.52	2.74	2.55	1.97	2.54	1.53	2.18	2.66	2.02	0.0169
37.6	-0.55	-0.53	-0.54	-0.50	-0.40	-0.52	2.73	2.55	1.99	2.57	1.54	2.19	2.66	2.03	0.0170
39.5	-0.56	-0.54	-0.55	-0.51	-0.40	-0.53	2.92	2.76	2.19	2.79	1.72	2.36	2.85	2.23	0.0184
41.3	-0.56	-0.52	-0.53	-0.47	-0.40	-0.51	3.12	3.30	2.76	3.28	2.47	2.80	3.08	2.84	0.0223
41.4	-0.56	-0.53	-0.53	-0.47	-0.41	-0.51	3.12	3.32	2.77	3.30	2.47	2.81	3.08	2.85	0.0224
41.4	-0.56	-0.53	-0.54	-0.47	-0.41	-0.52	3.13	3.41	2.81	3.63	2.49	2.87	3.10	2.98	0.0233
41.4	-0.57	-0.54	-0.54	-0.47	-0.41	-0.52	3.15	3.44	2.81	3.63	2.50	2.92	3.11	2.98	0.0233

42.2	-0.58	-0.54	-0.55	-0.48	-0.41	-0.52	3.19	3.49	2.87	3.64	2.56	2.95	3.16	3.02	0.0237
42.4	-0.57	-0.54	-0.55	-0.49	-0.41	-0.53	3.21	3.53	2.90	3.68	2.58	2.99	3.17	3.05	0.0239
42.6	-0.57	-0.54	-0.54	-0.49	-0.40	-0.52	3.24	3.62	2.94	3.79	2.64	3.05	3.19	3.12	0.0243
42.7	-0.57	-0.53	-0.53	-0.48	-0.40	-0.51	3.24	3.67	2.97	3.86	2.74	3.08	3.20	3.19	0.0247
42.9	-0.57	-0.53	-0.53	-0.48	-0.41	-0.51	3.27	3.73	2.99	3.91	2.80	3.11	3.21	3.23	0.0250
43.0	-0.56	-0.55	-0.52	-0.47	-0.40	-0.51	3.28	3.78	3.01	3.96	2.88	3.13	3.23	3.28	0.0253
43.4	-0.56	-0.54	-0.52	-0.46	-0.40	-0.51	3.32	3.86	3.05	4.05	2.96	3.18	3.26	3.35	0.0257
43.6	-0.57	-0.54	-0.52	-0.46	-0.41	-0.51	3.37	3.97	3.08	4.13	3.04	3.24	3.31	3.41	0.0261
43.6	-0.57	-0.54	-0.51	-0.46	-0.41	-0.50	3.40	4.03	3.09	4.17	3.09	3.26	3.32	3.45	0.0264
44.2	-0.56	-0.53	-0.51	-0.46	-0.40	-0.50	3.50	4.15	3.15	4.29	3.20	3.34	3.38	3.54	0.0270
44.5	-0.56	-0.53	-0.49	-0.45	-0.40	-0.49	3.59	4.30	3.20	4.42	3.32	3.43	3.44	3.65	0.0276
44.7	-0.56	-0.53	-0.50	-0.45	-0.42	-0.49	3.68	4.40	3.25	4.49	3.41	3.49	3.50	3.72	0.0281
45.1	-0.57	-0.53	-0.49	-0.44	-0.41	-0.49	3.76	4.54	3.29	4.61	3.51	3.57	3.57	3.81	0.0286
45.5	-0.55	-0.52	-0.48	-0.43	-0.40	-0.48	3.89	4.70	3.36	4.76	3.66	3.68	3.71	3.93	0.0294
45.6	-0.55	-0.58	-0.47	-0.42	-0.39	-0.49	3.97	4.80	3.40	4.86	3.74	3.73	3.84	4.00	0.0299
45.9	-0.55	-0.53	-0.47	-0.44	-0.41	-0.48	4.04	4.90	3.44	4.94	3.80	3.78	3.94	4.06	0.0303
46.2	-0.54	-0.52	-0.46	-0.41	-0.40	-0.46	4.11	5.02	3.49	5.04	3.89	3.85	4.07	4.14	0.0307
46.3	-0.54	-0.52	-0.46	-0.41	-0.40	-0.46	4.16	5.09	3.52	5.09	3.96	3.90	4.16	4.19	0.0310
46.3	-0.54	-0.52	-0.45	-0.41	-0.40	-0.46	4.20	5.14	3.55	5.14	4.00	3.92	4.22	4.23	0.0313
46.9	-0.53	-0.53	-0.44	-0.39	-0.41	-0.45	4.31	5.28	3.61	5.29	4.12	4.02	4.38	4.34	0.0319
47.4	-0.49	-0.52	-0.43	-0.38	-0.41	-0.44	4.41	5.61	3.72	5.49	4.27	4.15	4.60	4.49	0.0329
47.5	-0.49	-0.50	-0.42	-0.38	-0.40	-0.43	4.46	5.78	3.77	5.59	4.35	4.23	4.72	4.57	0.0334
47.6	-0.48	-0.50	-0.42	-0.37	-0.40	-0.43	4.50	5.87	3.81	5.64	4.40	4.27	4.78	4.61	0.0336
47.6	-0.47	-0.51	-0.42	-0.38	-0.40	-0.43	4.51	5.68	4.15	5.66	4.42	4.29	4.81	4.75	0.0345
48.5	-0.47	-0.50	-0.41	-0.37	-0.40	-0.43	4.67	6.16	3.94	5.85	4.58	4.42	5.01	4.79	0.0348
49.0	-0.44	-0.49	-0.40	-0.35	-0.40	-0.41	4.93	6.45	4.07	6.07	4.78	4.60	5.29	4.97	0.0359
49.4	-0.43	-0.49	-0.38	-0.34	-0.42	-0.40	5.22	6.68	4.14	6.24	4.94	4.74	5.49	5.11	0.0367
49.6	-0.42	-0.48	-0.37	-0.33	-0.40	-0.39	5.38	6.82	4.18	6.34	5.03	4.80	5.63	5.18	0.0372
50.2	-0.40	-0.47	-0.36	-0.33	-0.40	-0.39	5.61	7.05	4.26	6.50	5.19	4.96	5.86	5.32	0.0380
50.6	-0.39	-0.48	-0.35	-0.32	-0.40	-0.38	5.80	7.27	4.33	6.67	5.33	5.19	6.04	5.44	0.0388
51.3	-0.38	-0.48	-0.34	-0.30	-0.39	-0.37	6.03	7.53	4.43	6.87	5.50	5.38	6.42	5.60	0.0398
51.6	-0.36	-0.46	-0.32	-0.28	-0.38	-0.35	6.33	7.80	4.53	7.05	5.68	5.57	6.75	5.75	0.0407
51.7	-0.33	-0.45	-0.32	-0.27	-0.37	-0.35	6.55	7.38	4.57	7.13	5.77	5.63	6.90	5.82	0.0411
51.8	-0.34	-0.45	-0.31	-0.27	-0.36	-0.35	6.64	8.00	4.58	7.16	5.79	5.66	6.95	5.84	0.0413
51.9	-0.33	-0.45	-0.31	-0.27	-0.37	-0.35	6.70	8.05	4.59	7.19	5.81	5.69	6.99	5.86	0.0414
52.3	-0.34	-0.45	-0.31	-0.27	-0.37	-0.34	6.83	8.18	4.64	7.26	5.88	5.76	7.11	5.93	0.0418
52.6	-0.31	-0.44	-0.30	-0.27	-0.36	-0.34	7.12	8.36	4.70	7.38	5.98	5.84	7.27	6.02	0.0424
52.7	-0.29	-0.44	-0.29	-0.26	-0.35	-0.33	7.91	8.55	4.74	7.43	6.04	5.91	7.38	6.07	0.0427
50.7	-0.05	-0.42	-0.28	-0.23	-0.24	-0.31	8.60	10.40	4.77	7.46	6.00	5.79	7.39	6.08	0.0426
48.1	0.38	-0.39	-0.28	-0.21	-0.10	-0.29	8.82	13.83	4.72	7.44	5.94	5.64	7.25	6.03	0.0422
47.5	0.40	-0.39	-0.28	-0.20	-0.09	-0.29	8.79	13.86	4.67	7.41	5.93	5.59	7.22	6.00	0.0420
47.0	0.39	-0.38	-0.28	-0.20	-0.10	-0.29	8.75	13.84	4.64	7.38	5.91	5.56	7.18	5.98	0.0418
49.7	0.45	-0.39	-0.29	-0.20	-0.11	-0.29	8.87	14.53	4.77	7.49	5.92	5.72	7.26	6.06	0.0423
51.6	0.78	-0.38	-0.27	-0.21	-0.10	-0.29	8.96	17.38	4.94	7.65	6.00	5.85	7.29	6.20	0.0432
51.9	0.83	-0.37	-0.29	-0.21	-0.10	-0.29	8.98	17.91	5.00	7.68	6.01	5.87	7.32	6.23	0.0435
52.1	0.88	-0.36	-0.28	-0.21	-0.10	-0.28	8.99	18.42	5.06	7.70	6.03	5.89	7.35	6.26	0.0436
52.7	1.07	-0.35	-0.28	-0.21	-0.11	-0.28	9.05	20.27	5.24	7.78	6.07	5.95	7.43	6.36	0.0443
53.0	1.22	-0.34	-0.28	-0.21	-0.11	-0.28	9.07	21.87	5.31	7.86	6.13	6.00	7.54	6.43	0.0447
37.6	1.54	-0.12	-0.02	0.06	0.18	-0.03	9.15	22.73	6.06	8.80	7.07	6.95	8.33	7.31	0.0489
21.0	1.87	0.20	0.37	0.47	0.51	0.34	9.21	23.37	6.99	10.51	8.62	8.12	9.09	8.70	0.0557

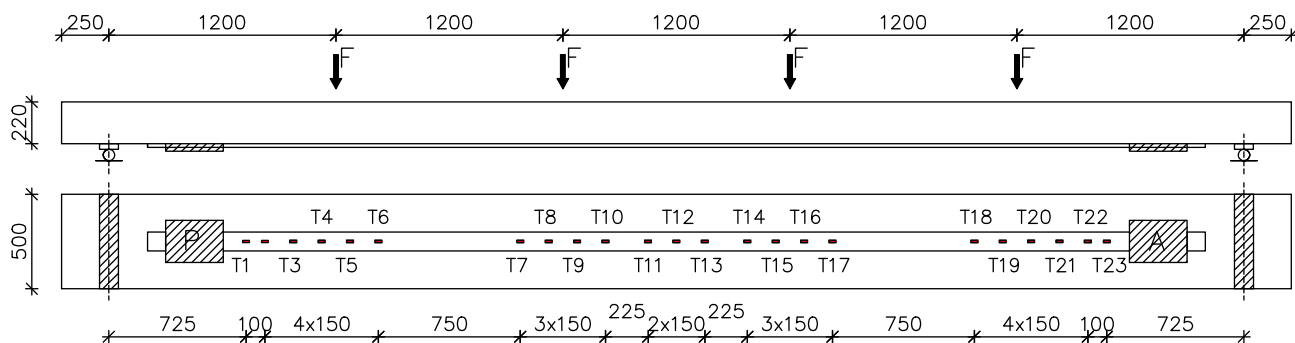
Pomiary odkształceń betonu wykonywano przetwornikami przemieszczeń liniowych o zakresie 10 i 20mm.
Concrete strain were measured with linear displacement transducers of 10 and 20mm range.

B12-asp





B12-asp

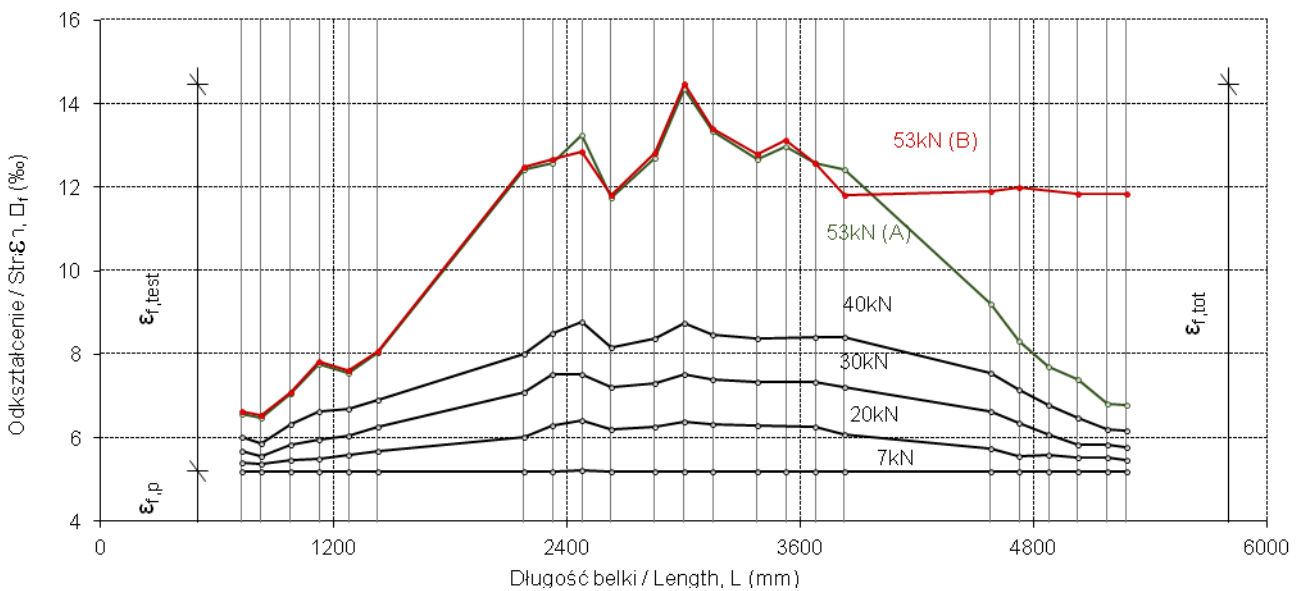
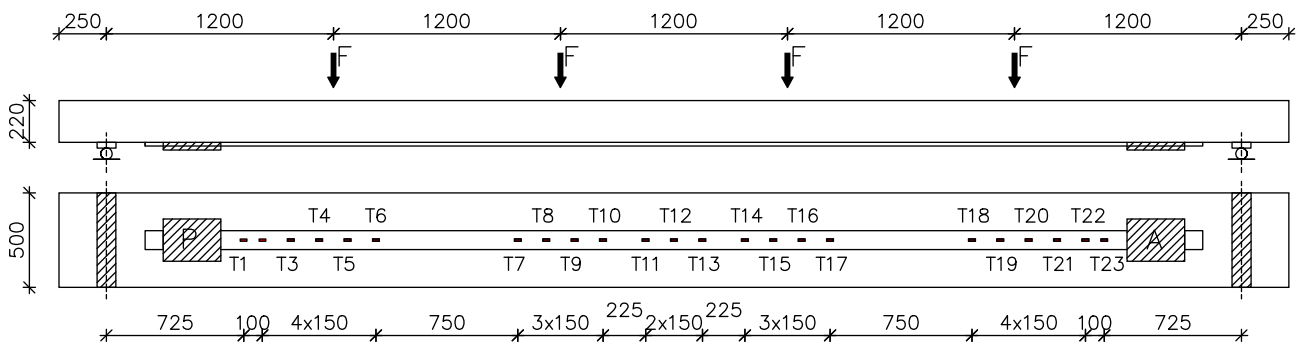
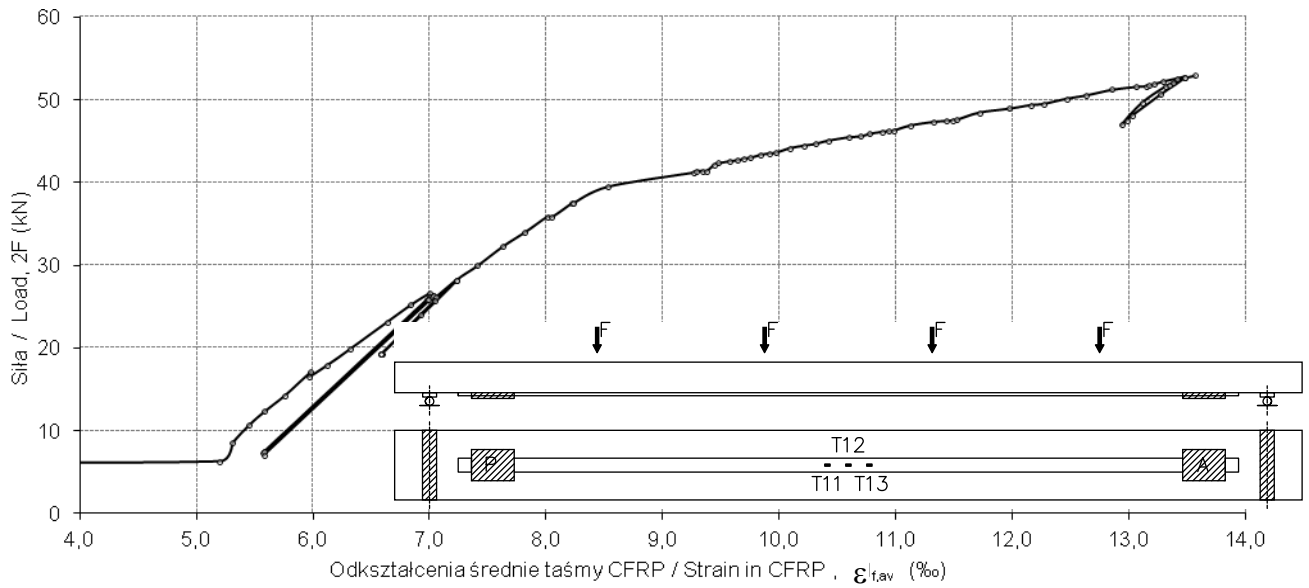


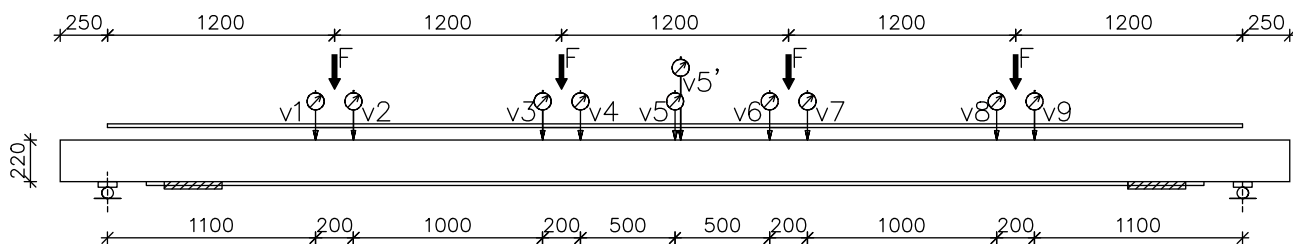
Tablica Z1.3 Odształcenia taśmy CFRP, ϵ_f

Table Z1.3 CFRP strain, ϵ_f

Siła / Load 2F kN	Odształcenia taśmy CFRP / CFRP strain ϵ_f																							T _M ‰
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	
6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.3	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.21	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.21	5.20	5.20	5.20	5.20	5.2
8.5	5.22	5.22	5.23	5.23	5.24	5.24	5.23	5.24	5.33	5.34	5.29	5.30	5.34	5.28		5.29	5.25	5.25	5.25	5.24	5.23	5.23	5.23	5.3
10.7	5.25	5.24	5.26	5.27	5.29	5.31	5.27	5.31	5.49	5.53	5.41	5.44	5.51	5.39		5.41	5.32	5.31	5.30	5.30	5.29	5.27	5.26	5.5
12.3	5.27	5.26	5.29	5.30	5.33	5.37	5.31	5.37	5.66	5.67	5.53	5.57	5.66	5.51		5.52	5.39	5.37	5.33	5.34	5.33	5.31	5.29	5.6
14.3	5.30	5.29	5.34	5.35	5.40	5.45	5.47	5.48	5.90	5.80	5.70	5.76	5.82	5.71		5.70	5.51	5.45	5.37	5.41	5.39	5.37	5.33	5.8
17.1	5.34	5.32	5.39	5.41	5.47	5.54	5.68	5.64	6.12	5.94	5.92	6.01	6.01	5.92		5.89	5.68	5.54	5.43	5.48	5.45	5.43	5.38	6.0
16.5	5.34	5.32	5.39	5.40	5.47	5.53	5.68	5.64	6.10	5.92	5.91	6.00	5.99	5.92		5.88	5.69	5.53	5.39	5.47	5.44	5.42	5.38	6.0
17.9	5.36	5.34	5.42	5.44	5.52	5.60	5.83	5.88	6.24	6.04	6.06	6.17	6.13	6.10		6.04	5.88	5.61	5.46	5.51	5.48	5.47	5.41	6.1
19.9	5.40	5.37	5.48	5.50	5.59	5.67	6.03	6.29	6.43	6.22	6.26	6.39	6.32	6.29		6.27	6.08	5.74	5.55	5.58	5.53	5.53	5.46	6.3
23.1	5.47	5.42	5.57	5.61	5.71	5.82	6.31	6.66	6.74	6.50	6.56	6.71	6.63	6.59		6.60	6.37	5.95	5.69	5.71	5.61	5.62	5.54	6.6
25.2	5.52	5.46	5.63	5.68	5.79	5.93	6.51	6.96	6.95	6.70	6.75	6.93	6.83	6.78		6.81	6.57	6.12	5.90	5.80	5.66	5.68	5.60	6.8
26.6	5.57	5.49	5.68	5.76	5.87	6.03	6.67	7.13	7.12	6.86	6.91	7.10	7.00	6.95		6.97	6.78	6.26	6.02	5.89	5.71	5.73	5.65	7.0
26.2	5.57	5.49	5.68	5.76	5.87	6.03	6.70	7.13	7.12	6.86	6.92	7.10	7.00	6.96	7.04	6.97	6.80	6.29	6.01	5.90	5.71	5.73	5.65	7.0
7.4	5.24	5.23	5.25	5.27	5.28	5.30	5.69	5.85	5.56	5.48	5.58	5.64	5.52	5.63		5.59	5.63	5.48	5.48	5.35	5.26	5.26	5.26	5.6
26.2	5.56	5.49	5.68	5.76	5.87	6.03	6.71	7.16	7.11	6.86	6.91	7.10	7.00	6.95		6.96	6.80	6.30	6.04	5.90	5.71	5.72	5.64	7.0
7.4	5.24	5.23	5.25	5.27	5.28	5.30	5.69	5.85	5.56	5.48	5.58	5.64	5.52	5.63		5.59	5.63	5.48	5.49	5.35	5.26	5.26	5.26	5.6
25.8	5.56	5.48	5.67	5.75	5.86	6.02	6.70	7.15	7.08	6.84	6.89	7.08	6.97	6.93		6.94	6.79	6.29	6.06	5.89	5.70	5.71	5.63	7.0
7.5	5.24	5.23	5.25	5.27	5.28	5.30	5.70	5.85	5.56	5.49	5.58	5.64	5.52	5.63		5.59	5.64	5.48	5.50	5.35	5.26	5.26	5.26	5.6
25.8	5.56	5.48	5.67	5.75	5.86	6.02	6.71	7.16	7.09	6.85	6.89	7.09	6.98	6.93		6.94	6.80	6.30	6.05	5.90	5.70	5.71	5.63	7.0
26.3	5.56	5.49	5.68	5.77	5.88	6.04	6.75	7.20	7.14	6.89	6.95	7.14	7.03	6.98		6.98	6.85	6.33	6.11	5.91	5.71	5.72	5.64	7.0
26.2	5.56	5.48	5.68	5.77	5.87	6.04	6.74	7.19	7.13	6.88	6.93	7.13	7.02	6.97		6.97	6.83	6.33	6.14	5.91	5.71	5.72	5.64	7.0
7.1	5.24	5.23	5.24	5.26	5.28	5.30	5.70	5.84	5.55	5.49	5.58	5.64	5.52	5.63		5.59	5.64	5.48	5.53	5.35	5.26	5.26	5.25	5.6
26.3	5.56	5.49	5.68	5.77	5.88	6.04	6.75	7.20	7.14	6.89	6.95	7.14	7.03	6.98		6.98	6.85	6.33	6.11	5.91	5.71	5.72	5.64	7.0
26.2	5.57	5.49	5.69	5.78	5.89	6.05	6.77	7.22	7.15	6.90	6.96	7.16	7.04	6.99		7.00	6.87	6.35	6.15	5.92	5.71	5.72	5.64	7.1
28.1	5.62	5.53	5.76	5.86	5.97	6.15	6.92	7.33	7.33	7.06	7.13	7.34	7.21	7.16		7.16	7.03	6.48	6.19	6.00	5.77	5.78	5.71	7.2
19.3	5.46	5.41	5.54	5.62	5.70	5.82	6.46	6.73	6.64	6.46	6.53	6.68	6.57	6.58		6.57	6.51	6.12	6.01	5.78	5.59	5.58	5.52	6.6
19.3	5.46	5.40	5.54	5.61	5.70	5.82	6.46	6.73	6.64	6.45	6.52	6.67	6.57	6.58	6.58	6.57	6.51	6.12	5.97	5.77	5.59	5.58	5.51	6.6
19.3	5.46	5.40	5.54	5.61	5.70	5.82	6.46	6.75	6.64	6.45	6.52	6.67	6.56	6.58		6.57	6.50	6.12	6.00	5.77	5.59	5.58	5.51	6.6
19.3	5.46	5.40	5.54	5.61	5.70	5.82	6.46	6.75	6.64	6.45	6.52	6.67	6.57	6.58		6.57	6.50	6.12	6.00	5.78	5.59	5.58	5.51	6.6
21.6	5.50	5.44	5.60	5.67	5.77	5.91	6.58	6.90	6.81	6.61	6.67	6.84	6.73	6.72		6.72	6.64	6.21	6.07	5.83	5.64	5.63	5.56	6.7
24.1	5.54	5.47	5.65	5.74	5.84	6.00	6.70	7.07	7.01	6.77	6.84	7.02	6.90	6.88		6.88	6.78	6.31	6.13	5.89	5.69	5.68	5.61	6.9
25.8	5.57	5.49	5.69	5.79	5.89	6.06	6.79	7.18	7.14	6.89	6.96	7.15	7.03	6.99		6.99	6.88	6.38	6.18	5.94	5.72	5.72	5.65	7.0
28.2	5.62	5.53	5.76	5.86	5.97	6.15	6.92	7.35	7.33	7.06	7.13	7.34	7.22	7.16		7.16	7.03	6.48	6.25	6.00	5.77	5.78	5.71	7.2
30.0	5.68	5.57	5.83	5.96	6.06	6.27	7.09	7.54	7.51	7.23	7.31	7.53	7.40	7.33		7.33	7.21	6.63	6.37	6.10	5.84	5.84	5.78	7.4
32.3	5.74	5.62	5.93	6.07	6.18	6.39	7.29	7.73	7.73	7.41	7.51	7.75	7.62	7.54		7.54	7.49	6.84	6.55	6.24	5.94	5.91	5.86	7.6
34.0	5.80	5.67	6.03	6.21	6.31	6.52	7.48	7.91	7.92	7.59	7.70	7.95	7.80	7.75		7.74	7.79	7.04	6.72	6.37	6.05	5.97	5.94	7.8
35.9	5.86	5.72	6.13	6.34	6.42	6.64	7.66	8.10	8.17	7.77	7.89	8.15	7.99	7.94		7.98	7.99	7.21	6.84	6.50	6.16	6.04	6.01	8.0
35.9	5.87	5.73	6.15	6.39	6.45	6.68	7.70	8.13	8.29	7.79	7.93	8.20	8.02	7.98		8.02	8.04	7.25	6.88	6.54	6.20	6.06	6.02	8.0
37.6	5.93	5.78	6.23	6.49	6.56	6.78	7.84	8.29	8.48	7.95	8.09	8.39	8.20	8.14		8.18	8.20	7.38	7.05	6.65	6.30	6.13	6.09	8.2
37.6	5.94	5.79	6.24	6.50	6.57	6.79	7.85	8.30	8.50	7.95	8.11	8.39	8.20	8.14		8.19	8.21	7.39	7.01	6.65	6.32	6.13	6.10	8.2
39.5	6.02	5.86	6.34	6.63	6.71	6.91	8.03	8.51	8.77	8.16	8.39	8.74	8.46	8.39		8.41	8.41	7.56	7.16	6.78	6.47	6.21	6.19	8.5

B12-asp





Tablica Z1.4 Przemieszczenia pionowe belki, v

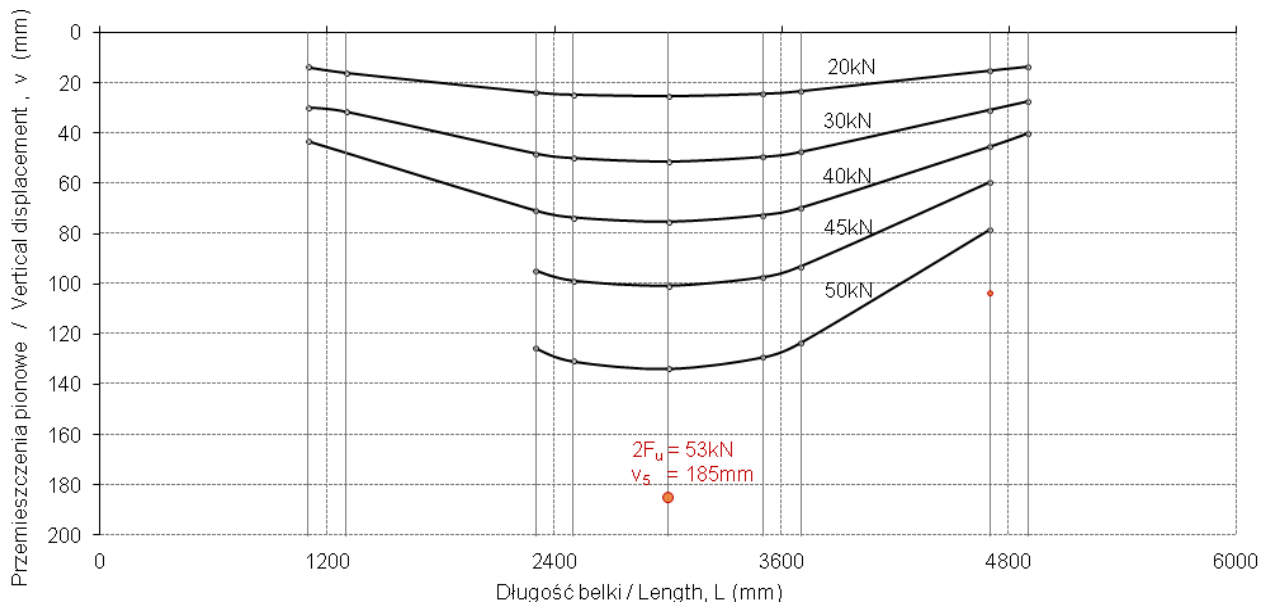
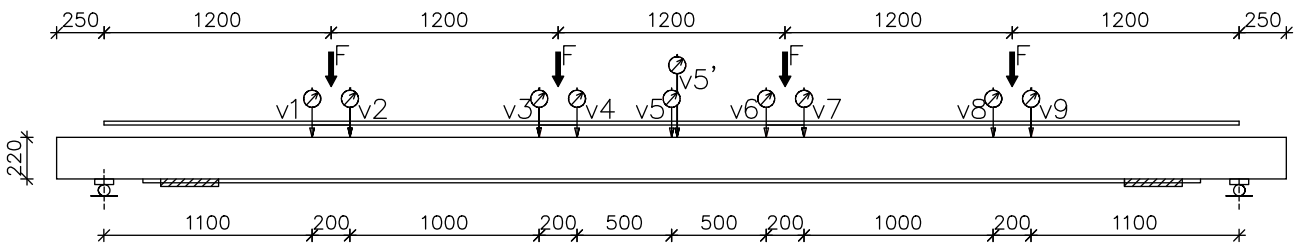
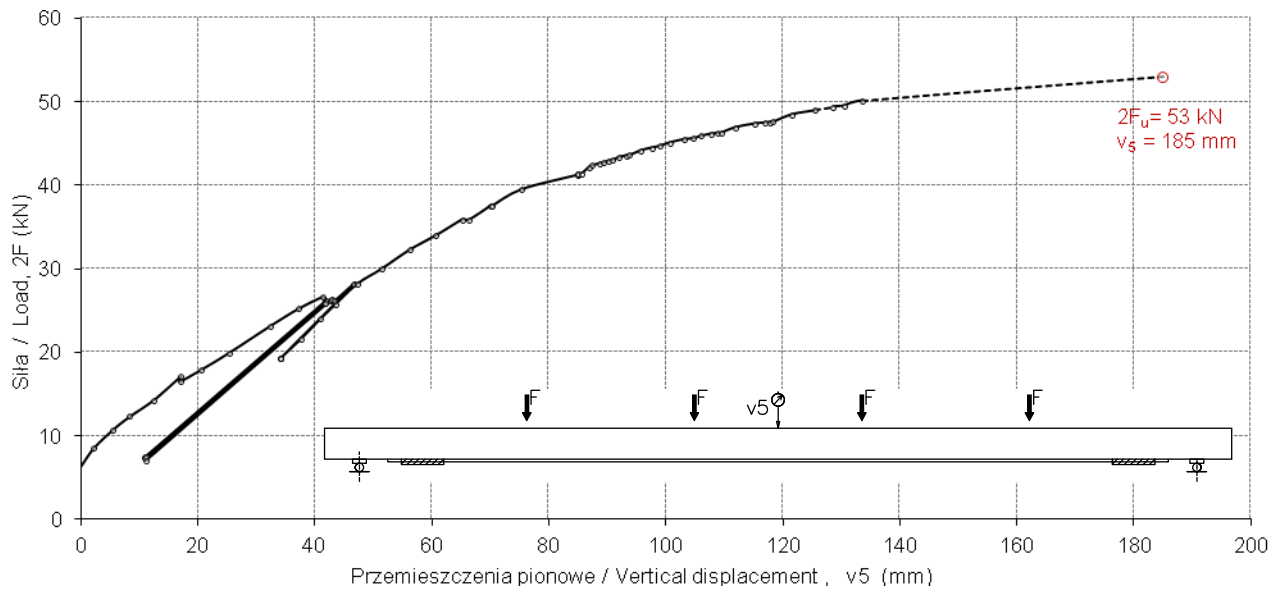
Table Z1.4 Vertical displacement, v

Siła / Load 2F kN	Przemieszczenia pionowe / Vertical displacement v (mm)												
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅	v ₆	v ₇	v ₈	v ₉	v _{av,1-2}	v _{av,3-4}	v _{av,6-7}	v _{av,8-9}
7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.5	1.3	1.4	2.1	2.2	2.2	2.1	2.0	1.3	1.1	1.4	2.1	2.0	1.2
10.7	3.0	3.5	5.2	5.4	5.5	5.2	4.9	3.2	2.8	3.2	5.3	5.0	3.0
12.3	4.6	5.3	7.9	8.2	8.4	7.9	7.6	4.9	4.4	5.0	8.1	7.7	4.6
14.3	6.8	7.9	11.8	12.2	12.5	11.9	11.4	7.4	6.6	7.4	12.0	11.6	7.0
17.1	9.2	10.7	16.0	16.6	17.1	16.3	15.5	10.0	9.0	9.9	16.3	15.9	9.5
16.5	9.2	10.6	15.9	16.5	16.9	16.1	15.4	10.0	8.9	9.9	16.2	15.8	9.4
17.9	11.1	12.9	19.3	20.1	20.6	19.7	18.9	12.2	10.8	12.0	19.7	19.3	11.5
19.9	13.7	15.9	23.9	24.8	25.4	24.4	23.3	15.0	13.4	14.8	24.3	23.9	14.2
23.1	17.5	20.4	30.5	31.7	32.4	31.2	29.8	19.3	17.1	18.9	31.1	30.5	18.2
25.2	20.2	20.7	35.1	36.5	37.3	36.0	34.5	22.3	19.8	20.5	35.8	35.3	21.0
26.6	21.0	20.7	38.9	40.4	41.4	40.0	38.2	24.9	20.9	20.9	39.7	39.1	22.9
26.2	21.1	20.7	39.3	40.8	41.8	40.4	38.6	25.2	20.9	20.9	40.0	39.5	23.0
7.4	5.9	6.9	10.3	10.7	10.9	10.6	10.2	6.2	5.5	6.4	10.5	10.4	5.9
26.2	21.1	20.7	39.3	40.9	42.0	40.4	38.8	25.2	20.9	20.9	40.1	39.6	23.0
7.4	6.0	7.0	10.4	10.8	11.0	10.7	10.3	6.3	5.6	6.5	10.6	10.5	5.9
25.8	21.1	20.7	39.0	40.5	41.6	40.0	38.4	24.9	20.9	20.9	39.7	39.2	22.9
7.5	6.0	7.0	10.5	10.9	11.1	10.7	10.3	6.3	5.6	6.5	10.7	10.5	6.0
25.8	21.0	20.7	39.2	40.7	41.8	40.3	38.6	25.0	20.9	20.9	40.0	39.4	23.0
26.3	21.0	20.7	40.2	41.8	42.8	41.3	39.6	25.7	20.9	20.9	41.0	40.4	23.3
26.2	21.1	20.7	39.9	41.5	42.6	41.1	39.4	25.5	20.9	20.9	40.7	40.2	23.2
7.1	6.1	7.2	10.5	10.9	11.2	10.8	10.4	6.4	5.7	6.7	10.7	10.6	6.0
26.3	21.0	20.7	40.2	41.8	42.8	41.3	39.6	25.7	20.9	20.9	41.0	40.4	23.3
26.2	21.0	20.7	40.6	42.2	43.4	41.8	40.1	26.0	20.9	20.9	41.4	40.9	23.5
28.1	21.0	20.7	44.2	46.0	46.6	45.5	43.7	28.4	20.9	20.9	45.1	44.6	24.7
19.3	17.6	20.7	32.1	33.3	34.2	33.0	31.6	20.3	18.0	19.2	32.7	32.3	19.1
19.3	20.4	20.7	32.0	33.3	34.2	32.9	31.6	20.3	18.0	20.6	32.7	32.3	19.1
19.3	20.4	20.7	32.0	33.3	34.2	32.9	31.6	20.3	18.0	20.6	32.7	32.3	19.1
19.3	20.4	20.7	32.0	33.3	34.2	32.9	31.6	20.3	18.0	20.6	32.7	32.3	19.1
21.6	22.3	22.9	35.3	36.6	37.6	36.2	34.8	22.4	19.9	22.6	35.9	35.5	21.1
24.1	24.1	25.0	38.5	39.9	41.0	39.5	37.9	24.4	21.7	24.5	39.2	38.7	23.1
25.8	25.5	26.6	40.8	42.4	43.5	41.9	40.3	25.9	23.1	26.0	41.6	41.1	24.5
28.2	27.5	29.0	44.3	46.0	47.3	45.6	43.7	28.2	25.1	28.2	45.2	44.6	26.7
30.0	29.8	31.5	48.1	50.0	51.3	49.5	47.5	30.8	27.4	30.7	49.0	48.5	29.1
32.3	32.5	34.7	52.7	54.7	56.1	54.1	51.9	33.7	29.9	33.6	53.7	53.0	31.8
34.0	35.1	37.7	57.0	59.2	60.7	58.5	56.1	36.5	32.3	36.4	58.1	57.3	34.4
35.9	37.6	40.7	61.2	63.6	65.2	62.8	60.2	39.1	34.8	39.1	62.4	61.5	36.9
35.9	38.4	41.4	62.4	64.8	66.3	64.0	61.4	39.9	35.4	39.9	63.6	62.7	37.6
37.6	40.5	41.4	65.9	68.4	70.1	67.6	64.9	42.2	37.4	41.0	67.2	66.2	39.8
37.6	40.5	41.4	66.2	68.7	70.3	67.8	65.1	42.3	37.4	41.0	67.4	66.5	39.9
39.5	43.3		70.9	73.6	75.4	72.7	69.8	45.4	40.1		72.3	71.2	42.8
41.3	48.2		79.8	83.0	84.9	82.0	78.6	50.9	44.9		81.4	80.3	47.9
41.4	48.3		80.1	83.4	84.9	82.3	78.8	51.0	45.0		81.7	80.6	48.0

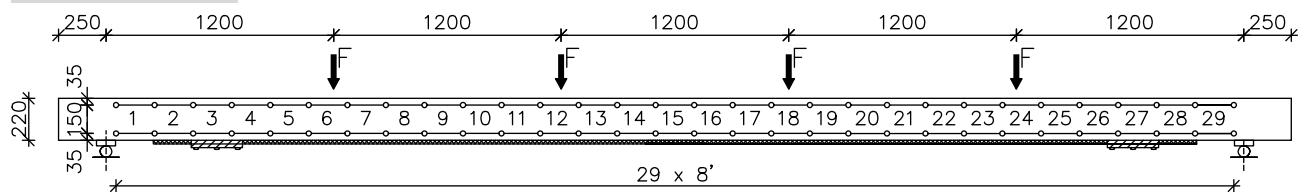
B12-asp

41.4			80.1	83.4	84.9	82.3	78.8	51.0	45.0		81.7	80.6	48.0
41.4			80.7	84.0	85.6	82.9	79.5	51.4	45.3		82.4	81.2	48.4
42.2			81.9	85.2	86.9	84.1	80.6	52.2	46.0		83.6	82.4	49.1
42.4			82.4	85.8	87.4	84.7	81.1	52.5	46.3		84.1	82.9	49.4
42.6			83.5	86.9	88.6	85.8	82.1	53.1			85.2	83.9	
42.7			84.2	87.7	89.4	86.5	82.8	53.5			85.9	84.7	
42.9			84.9	88.4	90.1	87.2	83.5	53.9			86.6	85.3	
43.0			85.6	89.1	90.9	87.9	84.2	54.3			87.3	86.0	
43.4			86.6	90.2	92.0	89.0	85.2	55.0			88.4	87.1	
43.6			87.7	91.3	93.2	90.1	86.2	55.6			89.5	88.2	
43.6			88.3	92.0	93.8	90.7	86.8	55.9			90.1	88.8	
44.2			90.1	93.9	95.7	92.6	88.6	57.0			92.0	90.6	
44.5			91.8	95.6	97.6	94.3	90.2	58.0			93.7	92.3	
44.7			93.0	96.9	98.9	95.6	91.4	58.8			95.0	93.5	
45.1			94.7	98.7	100.7	97.3	93.0	59.7			96.7	95.2	
45.5			97.0	101.0	103.2	99.7	95.3	61.1			99.0	97.5	
45.6			98.3	102.4	104.6	101.0	96.6	61.9			100.3	98.8	
45.9			99.6	103.8	106.0	102.5	98.0	62.7			101.7	100.2	
46.2			101.2	105.4	107.7	104.1	99.6	63.7			103.3	101.8	
46.3			102.2	106.4	108.8	105.1	100.5	64.2			104.3	102.8	
46.3			102.7	107.0	109.4	105.7	101.1	64.6			104.9	103.4	
46.9			105.0	109.4	111.8	108.1	103.3	66.0			107.2	105.7	
47.4			108.1	112.6	115.1	111.2	106.3	67.8			110.3	108.8	
47.5			109.7	114.3	116.9	112.8	107.9	68.8			112.0	110.4	
47.6			110.5	115.1	117.7	113.7	108.7	69.3			112.8	111.2	
47.6			111.0	115.7	118.3	114.3	109.3	69.6			113.4	111.8	
48.5			114.1	118.9	121.6	117.4	112.3	71.4			116.5	114.9	
49.0			117.7	122.7	125.5	121.2	115.8	73.6			120.2	118.5	
49.4			120.7	125.7	128.6	124.2	118.7	75.3			123.2	121.4	
49.6			122.5	127.6	130.5	126.0	120.4	76.4			125.0	123.2	
50.2			125.5	130.7	133.7	129.1	123.3	78.3			128.1	126.2	
50.6			128.2	133.6		132.0	126.1	79.9			130.9	129.0	
51.3								82.0					
51.6								84.1					
51.7								85.1					
51.8								85.5					
51.9								85.9					
52.3								86.8					
52.6								88.2					
52.7								89.5					
50.7								89.8					
48.1								90.6					
47.5								90.1					
47.0								89.6					
49.7								92.2					
51.6								96.7					
51.9								97.5					
52.1								98.3					
52.7								101.0					
53.0					185.0			103.3					
37.6								104.5					
21.0								105.2					

Pomiary przemieszczeń pionowych wykonywano przetwornikami przemieszczeń liniowych o zakresie 50mm.
Vertical displacement were measured with linear displacement transducers with range of 50mm.



B12-asp



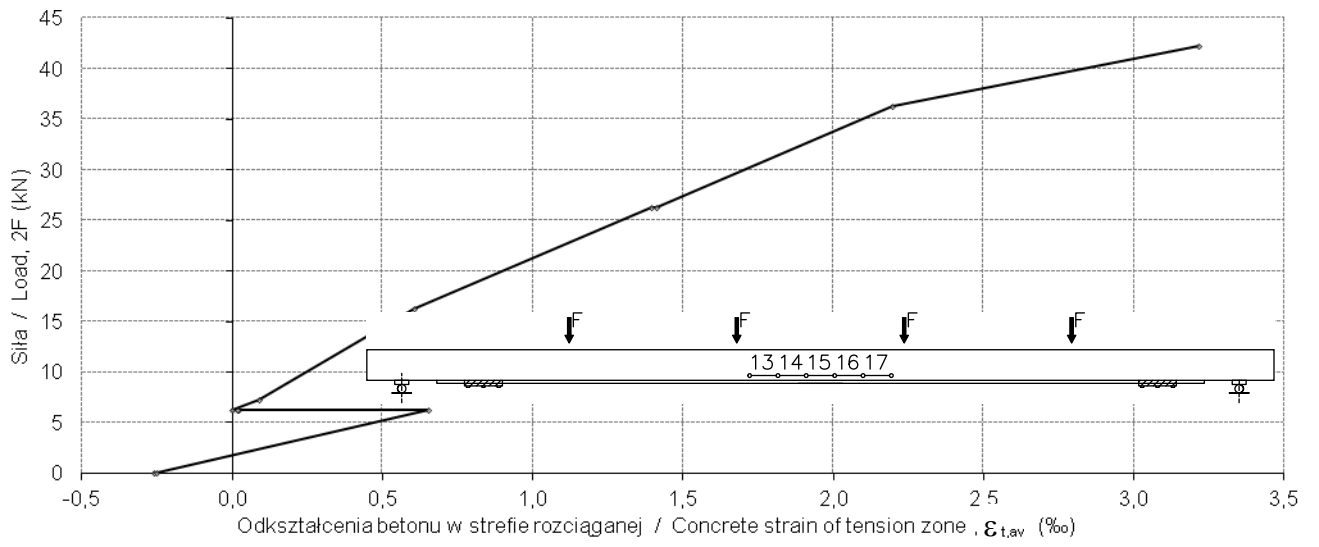
Tablica Z1.5 Odształcenia betonu, ε_t , ε_c (pomiar ręczny)

Table Z1.5 Concrete strain ε_t , ε_c (manual measurements)

Nr / No	Lokalizacja / Localization	Siła zewnętrzna / External load											
		Poza stanowiskiem na 3 podporach / Outside test set-up on 3 supports		Na stanowisku badawczym / Inside test set-up									
		0 kN	6.3 kN	Przed wzmocnieniem / Before strengthening	Po wzmocnieniu / After strengthening	Podczas badania / During the test							
				6.3 kN	6.3 kN	6.3 kN	7.3 kN	16.3 kN	26.3 kN	26.3 kN	36.3 kN	42.3 kN	
Odształcenia betonu w strefie rozciąganej / Concrete strain in tension zone, ε_t (‰)													
1	5845	0.00	0.03	0.00	0.03	0.04	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02	0.04	
2	5642	-0.44	-0.41	-0.42	0.12	0.04	0.00	0.01	0.07	0.16	0.16	0.26	
3	5438	-0.46	-0.44	-0.14	0.14	0.03	0.00	0.01	0.12	0.29	0.29	0.52	
4	5235	-0.08	-0.07	0.29	0.05	0.04	0.00	0.00	0.07	0.20	0.20	0.36	
5	5032	-0.21	-0.21	0.55	0.06	0.04	0.00	0.02	0.21	0.51	0.50	0.86	
6	4829	-0.27	-0.27	0.62	0.06	0.04	0.00	0.02	0.29	0.70	0.69	1.16	
7	4626	-0.13	-0.14	0.42	0.04	0.02	0.00	0.02	0.24	0.57	0.57	0.90	
8	4422	-0.11	-0.12	0.59	0.03	0.02	0.00	0.04	0.39	0.84	0.84	1.61	
9	4219	0.02	0.02	0.21	0.03	0.01	0.00	0.03	0.21	0.92	0.97	1.51	
10	4016	0.08	0.07	0.13	0.03	0.03	0.00	0.02	0.14	0.91	0.94	1.54	
11	3813	0.05	0.05	0.15	0.03	0.03	0.00	0.04	0.47	1.36	1.40	2.20	2.73
12	3610	-0.16	-0.16	0.54	0.03	0.01	0.00	0.06	0.55	1.56	1.59	2.38	3.46
13	3406	-0.12	-0.12	0.50	0.02	0.02	0.00	0.07	0.49	1.12	1.14	1.86	2.44
14	3203	-0.22	-0.20	0.58	0.03	0.02	0.00	0.09	0.53	1.39	1.41	2.19	3.49
15	3000	-0.24	-0.26	0.57	0.01	0.02	0.00	0.08	0.52	1.13	1.13	1.73	2.26
16	2797	-0.32	-0.31	0.70	0.02	0.01	0.00	0.10	0.64	1.56	1.58	2.45	3.47
17	2594	-0.41	-0.37	0.92	0.02	0.02	0.00	0.12	0.84	1.77	1.79	2.75	4.40
18	2390	-0.22	-0.16	0.61	0.02	0.02	0.00	0.08	0.52	1.10	1.10	1.70	2.28
19	2187	-0.02	0.01	0.29	0.04	0.03	0.00	0.05	0.27	0.86	0.89	1.38	
20	1984	-0.24	-0.21	0.61	0.04	0.03	0.00	0.07	0.62	1.69	1.73	2.80	
21	1781	-0.16	-0.11	0.49	0.04	0.04	0.00	0.05	0.36	0.65	0.65	0.93	
22	1578	0.05	0.10	0.15	0.03	0.03	0.00	0.01	0.11	0.72	0.76	1.34	
23	1374	-0.09	-0.07	0.52	0.03	0.03	0.00	0.04	0.34	1.06	1.12	2.18	
24	1171	-0.04	-0.03	0.52	0.05	0.04	0.00	0.04	0.30	0.31	0.49	0.75	
25	968	0.00	0.03	0.29	0.04	0.03	0.00	0.01	0.12	0.23	0.25	0.38	
26	765	0.70	0.72	0.63	0.07	0.04	0.00	0.01	0.15	0.40	0.40	0.71	
27	562	-0.37	-0.33	0.24	0.07	0.05	0.00	0.01	0.09	0.22	0.22	0.41	
28	358	-0.14	-0.16	0.02	0.05	0.03	0.00	0.00	0.06	0.18	0.20	0.54	
29	155	0.08	0.07	0.03	0.03	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	
$\varepsilon_{t,av}$ (‰)		-0.26	-0.25	0.65	0.02	0.02	0.00	0.09	0.60	1.39	1.41	2.20	3.21

Pomiary odształceń wykonywano przy użyciu ekstensometru nasadowego o bazie 8'.

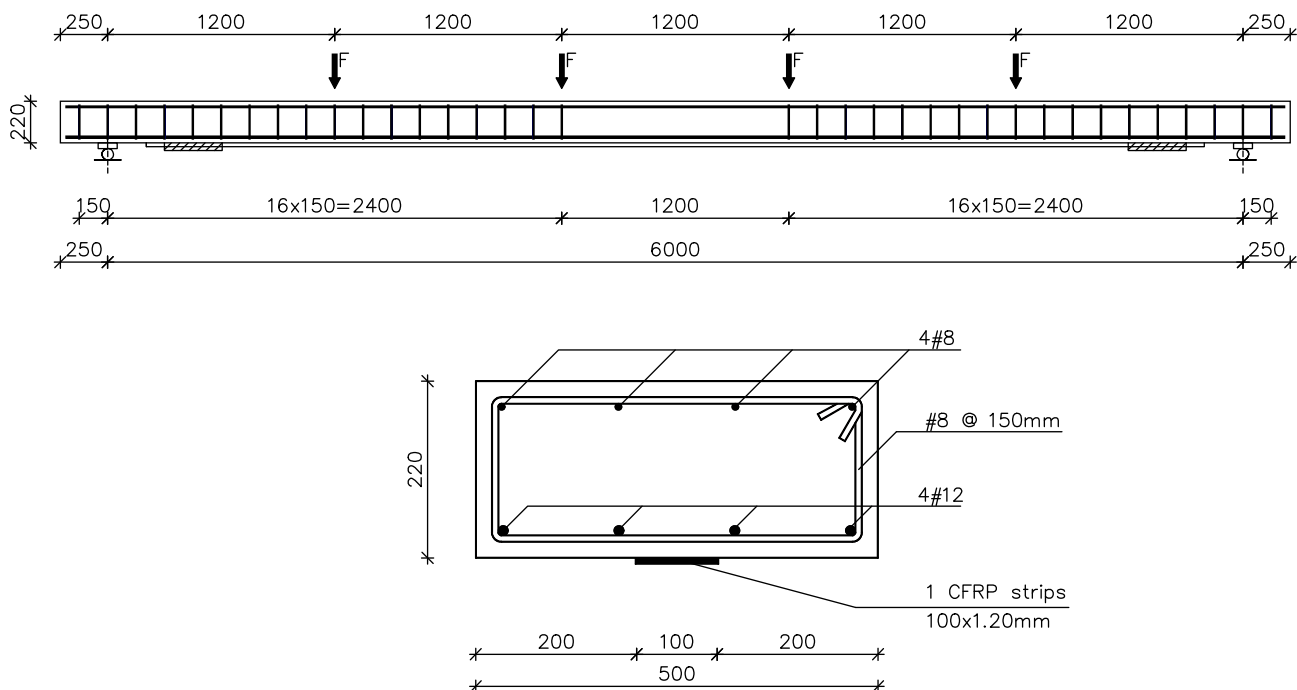
Concrete strain measurements measured by hand with dial strain gauges of 8' working range.



WYNIKI BADAŃ ELEMENTU TEST RESULTS OF MEMBER

B12-sp

Series A



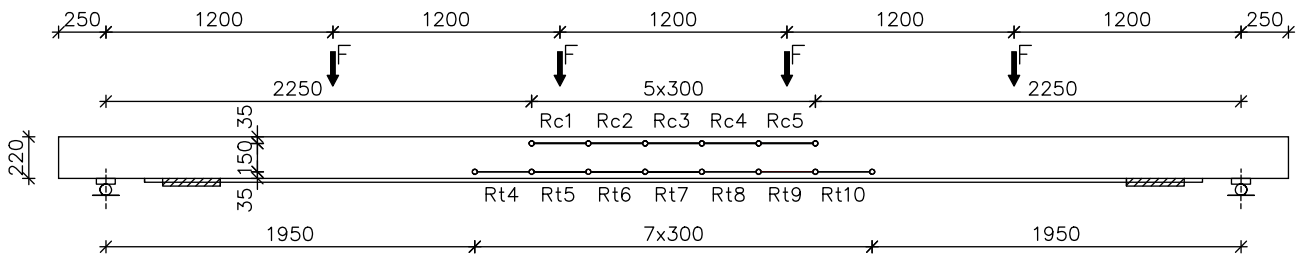
Tablica Z2.1 Zestawienie charakterystycznych parametrów dla elementu B12-sp
Table Z2.1 Summary of characteristic parameters for beam B12-sp

B12-sp	Beton Concrete		Stal zbrojeniowa Steel reinforcement		CFRP		Siła Load	
		500 x 220mm ²		4 #12	4 #8	1x 100x1.2mm ²		2F _p
f _{c,cube}	33.8MPa	A _s	111.0mm ²	48.9mm ²	f _{fu}	2857MPa	2F _{u0}	24.0kN
f _{ct,split}	3.13MPa	f _y	511.4MPa	583.1MPa	ε _{fu}	16.8‰	$\frac{2F_p}{2F_{u0}}$	25%
f _c	28.7MPa	f _t	594.5MPa	650.5MPa	E _f	173.7Gpa	2F _u	46.8kN
E _c	24.7MPa	E _s	191.1GPa	200.7GPa	ε _{f,tot} (ε _{f,p} +ε _{f,test})	11.5‰ (4.60‰+6.90‰)	$\frac{2F_u}{2F_{u0}}$	195%

B12-sp

sp - stalowa płyta kotwiąca / anchorage steel plate

B12-sp



Tablica Z2.2 Odkształcenia betonu, ϵ_c , ϵ_t (pomiar komputerowe)

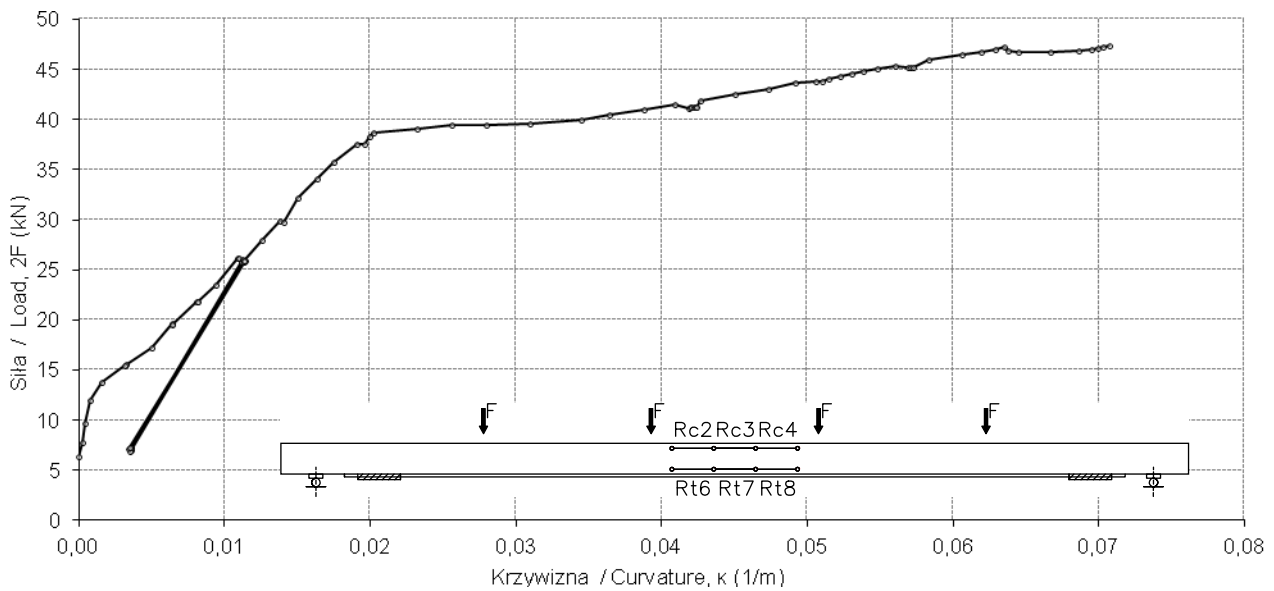
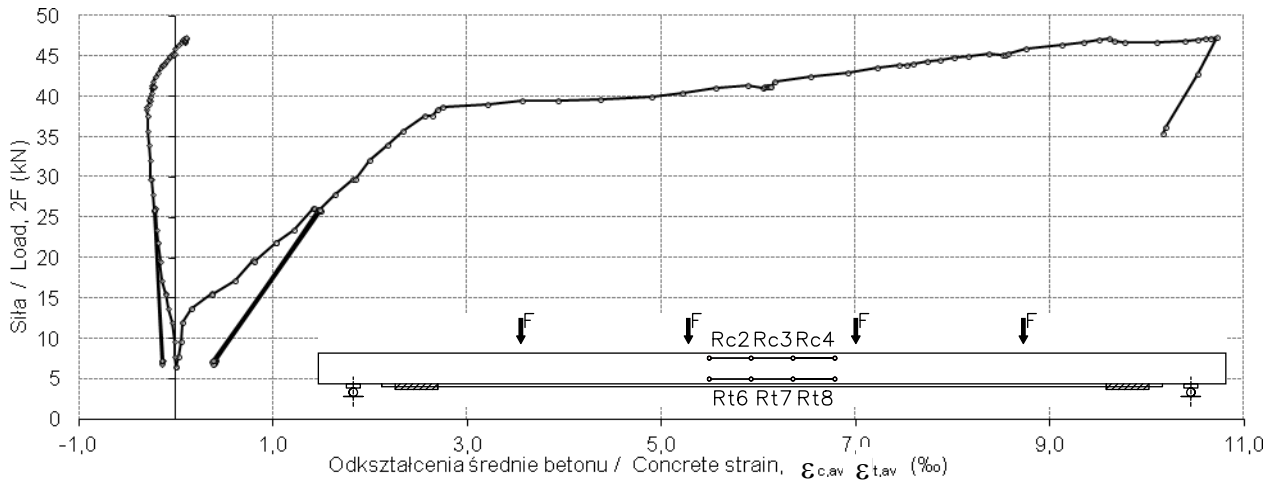
Table Z2.2 Concrete strain, ϵ_c , ϵ_t (computer registered measurements)

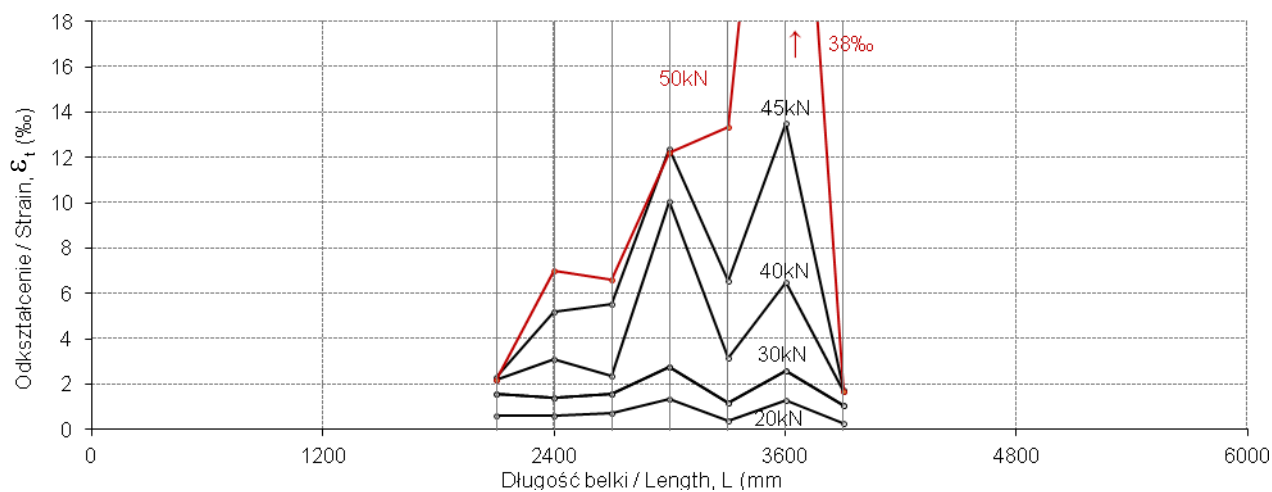
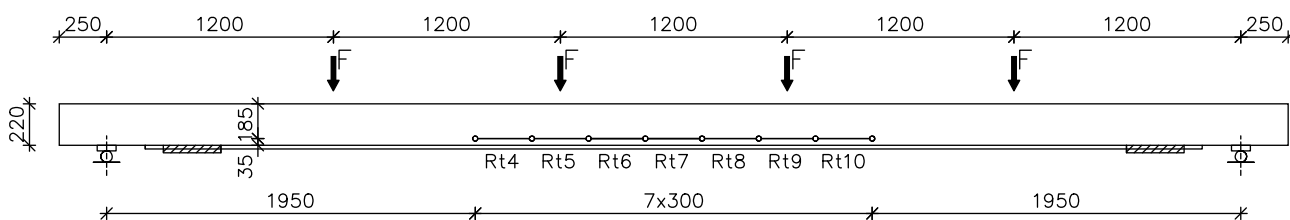
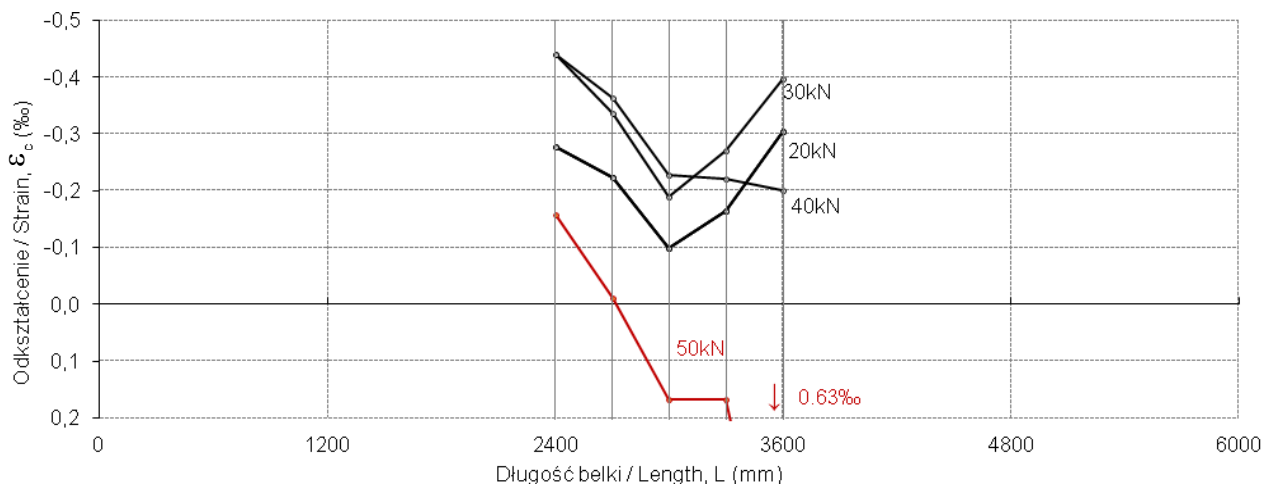
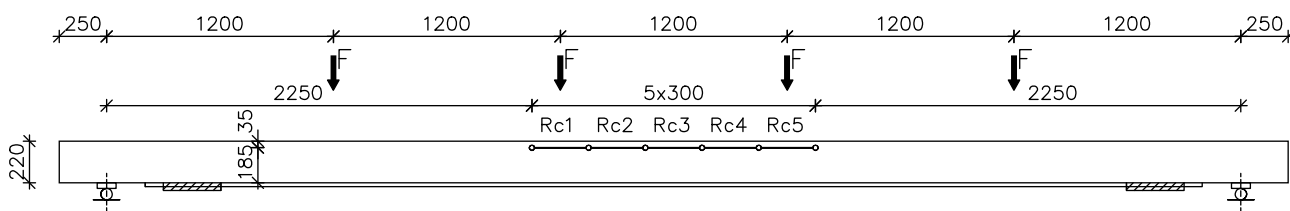
Siła / Load 2F kN	Odkształcenia betonu / Concrete strain														Krzywizna /Curvature κ 1/m	
	ϵ_c						ϵ_t									
	R _{c1}	R _{c2}	R _{c3}	R _{c4}	R _{c5}	$\epsilon_{c,av}$	R _{t4}	R _{t5}	R _{t6}	R _{t7}	R _{t8}	R _{t9}	R _{t10}	$\epsilon_{t,av}$		
	‰					‰	‰									‰
6.4	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000
7.7	-0.02	-0.02	0.00	0.00	-0.03	-0.01	0.03	0.03	0.00	0.08	0.03	0.03	0.01	0.03	0.0003	
9.6	-0.09	-0.05	0.01	-0.01	-0.07	-0.02	0.07	0.12	0.03	0.05	0.06	0.09	0.01	0.05	0.0004	
11.9	-0.12	-0.09	0.01	-0.04	-0.12	-0.04	0.13	0.16	0.00	0.10	0.11	0.17	0.04	0.07	0.0007	
13.7	-0.16	-0.14	0.00	-0.08	-0.16	-0.07	0.18	0.22	0.11	0.22	0.16	0.28	0.05	0.16	0.0016	
15.6	-0.21	-0.17	-0.04	-0.12	-0.22	-0.11	0.23	0.31	0.30	0.61	0.21	0.67	0.03	0.37	0.0032	
15.5	-0.20	-0.17	-0.04	-0.12	-0.22	-0.11	0.23	0.32	0.29	0.62	0.20	0.67	0.03	0.37	0.0032	
17.2	-0.24	-0.19	-0.08	-0.16	-0.25	-0.14	0.44	0.42	0.54	1.04	0.25	1.01	0.11	0.61	0.0050	
19.7	-0.28	-0.22	-0.10	-0.17	-0.31	-0.16	0.60	0.60	0.71	1.31	0.37	1.29	0.27	0.80	0.0064	
19.6	-0.28	-0.22	-0.10	-0.16	-0.30	-0.16	0.60	0.61	0.71	1.33	0.38	1.29	0.28	0.81	0.0064	
21.9	-0.31	-0.24	-0.13	-0.19	-0.33	-0.18	0.82	0.80	0.92	1.65	0.53	1.61	0.45	1.03	0.0081	
21.9	-0.31	-0.24	-0.13	-0.19	-0.33	-0.19	0.82	0.80	0.92	1.65	0.53	1.62	0.45	1.04	0.0081	
23.5	-0.33	-0.27	-0.13	-0.20	-0.35	-0.20	0.98	0.91	1.10	1.90	0.65	1.83	0.57	1.21	0.0094	
26.2	-0.35	-0.30	-0.14	-0.21	-0.38	-0.22	1.18	1.07	1.30	2.13	0.83	2.08	0.72	1.42	0.0109	
26.2	-0.35	-0.29	-0.14	-0.20	-0.38	-0.21	1.19	1.08	1.31	2.14	0.84	2.09	0.74	1.43	0.0110	
25.8	-0.36	-0.30	-0.15	-0.20	-0.38	-0.22	1.21	1.11	1.34	2.17	0.86	2.14	0.75	1.46	0.0112	
7.2	-0.13	-0.06	-0.15	-0.19	-0.06	-0.13	0.30	0.24	0.36	0.66	0.22	0.61	0.17	0.41	0.0036	
26.0	-0.39	-0.31	-0.15	-0.21	-0.38	-0.22	1.24	1.10	1.32	2.19	0.89	2.13	0.79	1.47	0.0112	
7.0	-0.14	-0.07	-0.15	-0.20	-0.06	-0.14	0.31	0.23	0.30	0.67	0.22	0.62	0.17	0.40	0.0036	
25.9	-0.40	-0.31	-0.15	-0.21	-0.38	-0.22	1.25	1.08	1.32	2.19	0.91	2.12	0.80	1.47	0.0113	
7.3	-0.15	-0.07	-0.16	-0.21	-0.07	-0.15	0.30	0.24	0.28	0.66	0.24	0.61	0.17	0.39	0.0036	
25.8	-0.41	-0.31	-0.15	-0.21	-0.38	-0.22	1.25	1.09	1.31	2.20	0.92	2.12	0.80	1.48	0.0113	
7.1	-0.15	-0.07	-0.15	-0.20	-0.06	-0.14	0.29	0.23	0.23	0.66	0.23	0.60	0.17	0.37	0.0034	
25.9	-0.40	-0.31	-0.15	-0.21	-0.38	-0.22	1.27	1.10	1.32	2.22	0.93	2.11	0.81	1.49	0.0114	
6.8	-0.15	-0.07	-0.15	-0.21	-0.05	-0.15	0.30	0.23	0.23	0.67	0.24	0.61	0.16	0.38	0.0035	
7.2	-0.15	-0.06	-0.16	-0.21	-0.07	-0.14	0.30	0.22	0.23	0.67	0.23	0.61	0.16	0.38	0.0035	
25.9	-0.41	-0.30	-0.15	-0.23	-0.33	-0.23	1.28	1.14	1.25	2.24	0.94	2.10	0.81	1.48	0.0114	
27.9	-0.42	-0.32	-0.17	-0.23	-0.38	-0.24	1.41	1.25	1.42	2.46	1.05	2.34	0.93	1.64	0.0126	
29.8	-0.44	-0.34	-0.19	-0.24	-0.40	-0.25	1.56	1.37	1.59	2.68	1.18	2.57	1.05	1.82	0.0138	
29.8	-0.44	-0.34	-0.19	-0.27	-0.40	-0.27	1.58	1.39	1.59	2.75	1.20	2.58	1.06	1.85	0.0141	
32.1	-0.46	-0.35	-0.20	-0.24	-0.42	-0.27	1.71	1.52	1.74	2.90	1.33	2.79	1.19	1.99	0.0150	
34.1	-0.47	-0.37	-0.22	-0.25	-0.43	-0.28	1.86	1.67	1.91	3.13	1.48	3.01	1.33	2.17	0.0163	
35.8	-0.49	-0.38	-0.22	-0.25	-0.44	-0.29	1.99	1.81	2.06	3.34	1.62	3.24	1.46	2.34	0.0175	
37.6	-0.49	-0.38	-0.23	-0.26	-0.35	-0.29	2.11	2.01	2.26	3.70	1.75	4.68	1.56	2.57	0.0191	
37.6	-0.50	-0.39	-0.24	-0.26	-0.32	-0.29	2.13	2.11	2.29	3.85	1.78	5.16	1.60	2.64	0.0196	
38.3	-0.49	-0.39	-0.24	-0.27	-0.33	-0.30	2.40	2.15	2.33	3.93	1.81	5.24	1.63	2.69	0.0199	
38.7	-0.48	-0.39	-0.23	-0.27	-0.30	-0.30	2.18	2.37	2.34	4.03	1.85	5.48	1.64	2.74	0.0203	
39.0	-0.45	-0.37	-0.23	-0.23	-0.26	-0.28	2.18	2.55	2.34	4.23	3.04	5.73	1.64	3.20	0.0232	
39.4	-0.45	-0.37	-0.23	-0.22	-0.23	-0.28	2.19	2.71	2.35	4.53	3.80	5.96	1.65	3.56	0.0256	
39.5	-0.44	-0.36	-0.22	-0.22	-0.22	-0.27	2.19	2.64	2.35	4.43	4.01	6.11	1.65	3.93	0.0280	
39.6	-0.44	-0.36	-0.23	-0.22	-0.20	-0.27	2.19	2.81	2.34	7.01	3.76	6.15	1.66	4.37	0.0309	
40.0	-0.44	-0.35	-0.22	-0.22	-0.21	-0.26	2.19	2.90	2.35	9.11	3.26	6.27	1.66	4.90	0.0344	
40.5	-0.42	-0.33	-0.22	-0.21	-0.20	-0.25	2.20	3.09	2.37	10.07	3.19	6.53	1.68	5.21	0.0364	
41.0	-0.40	-0.34	-0.21	-0.21	-0.15	-0.25	2.21	3.42	2.39	10.98	3.32	6.92	1.68	5.56	0.0388	

41.5	-0.38	-0.33	-0.19	-0.21	-0.11	-0.24	2.23	3.76	2.43	11.83	3.40	7.31	1.70	5.88	0.0409
41.1	-0.37	-0.33	-0.19	-0.20	-0.07	-0.24	2.23	3.90	2.45	12.18	3.50	7.67	1.69	6.04	0.0419
41.3	-0.36	-0.32	-0.19	-0.19	-0.06	-0.23	2.22	3.92	2.46	12.20	3.52	7.73	1.69	6.06	0.0420
41.3	-0.36	-0.32	-0.17	-0.19	-0.06	-0.23	2.22	3.94	2.46	12.23	3.56	7.79	1.69	6.08	0.0421
41.3	-0.36	-0.32	-0.19	-0.20	-0.08	-0.24	2.23	3.95	2.47	12.25	3.58	7.84	1.69	6.10	0.0422
41.3	-0.36	-0.33	-0.18	-0.20	-0.07	-0.23	2.22	3.97	2.48	12.28	3.59	7.89	1.69	6.12	0.0423
41.3	-0.36	-0.31	-0.18	-0.19	-0.07	-0.23	2.22	3.97	2.48	12.29	3.61	7.94	1.70	6.13	0.0424
41.9	-0.36	-0.32	-0.18	-0.19	-0.07	-0.23	2.25	4.02	2.52	12.34	3.65	8.03	1.71	6.17	0.0427
42.5	-0.36	-0.27	-0.18	-0.19	0.01	-0.21	2.27	4.17	3.24	12.58	3.79	9.09	1.72	6.54	0.0450
43.0	-0.35	-0.20	-0.16	-0.19	0.12	-0.18	2.27	4.27	4.11	12.63	4.02	10.36	1.73	6.92	0.0473
43.6	-0.35	-0.17	-0.12	-0.18	0.22	-0.16	2.29	4.49	4.54	12.61	4.49	11.44	1.73	7.21	0.0491
43.8	-0.33	-0.15	-0.10	-0.16	0.28	-0.14	2.29	4.69	4.80	12.55	4.98	12.05	1.74	7.44	0.0505
43.9	-0.32	-0.15	-0.08	-0.16	0.29	-0.13	2.29	4.75	4.88	12.52	5.15	12.21	1.73	7.52	0.0510
44.1	-0.32	-0.12	-0.08	-0.16	0.29	-0.12	2.30	4.80	4.97	12.51	5.31	12.37	1.74	7.60	0.0514
44.4	-0.32	-0.12	-0.07	-0.14	0.31	-0.11	2.31	4.91	5.12	12.47	5.61	12.65	1.74	7.73	0.0523
44.6	-0.31	-0.11	-0.05	-0.11	0.32	-0.09	2.31	5.01	5.26	12.44	5.90	12.94	1.76	7.87	0.0531
44.8	-0.30	-0.09	-0.03	-0.09	0.35	-0.07	2.32	5.11	5.40	12.41	6.22	13.22	1.77	8.01	0.0539
45.1	-0.30	-0.09	-0.01	-0.09	0.37	-0.06	2.33	5.22	5.56	12.37	6.55	13.50	1.77	8.16	0.0548
45.4	-0.29	-0.07	0.01	-0.05	0.40	-0.04	2.33	5.36	5.80	12.32	6.98	13.90	1.78	8.37	0.0560
45.2	-0.29	-0.06	0.03	-0.03	0.42	-0.02	2.34	5.43	5.97	12.31	7.28	14.14	1.78	8.52	0.0569
45.2	-0.29	-0.06	0.03	-0.03	0.43	-0.02	2.33	5.45	5.98	12.30	7.33	14.19	1.77	8.54	0.0571
45.3	-0.29	-0.07	0.04	-0.03	0.42	-0.02	2.33	5.46	6.01	12.30	7.40	14.23	1.78	8.57	0.0572
46.0	-0.28	-0.05	0.05	-0.02	0.45	-0.01	2.36	5.56	6.17	12.26	7.82	14.56	1.80	8.75	0.0584
46.5	-0.26	-0.02	0.09	0.01	0.50	0.03	2.37	5.79	6.42	12.22	8.72	15.15	1.81	9.12	0.0606
46.8	-0.25	-0.01	0.13	0.05	0.58	0.06	2.38	6.03	6.61	12.18	9.26	15.57	1.82	9.35	0.0619
47.0	-0.21	0.00	0.15	0.06	0.61	0.07	2.38	6.64	6.71	12.18	9.61	16.48	1.82	9.50	0.0629
47.3	-0.16	0.00	0.15	0.09	0.69	0.08	2.38	7.12	6.78	12.18	9.87	17.29	1.82	9.61	0.0635
46.9	-0.15	-0.01	0.16	0.15	0.82	0.10	2.36	7.19	6.78	12.18	10.04	19.25	1.81	9.67	0.0638
46.8	-0.16	-0.01	0.16	0.14	0.89	0.10	2.34	7.16	6.77	12.19	10.35	21.38	1.79	9.77	0.0645
46.8	-0.16	0.00	0.16	0.13	0.95	0.10	2.31	7.13	6.76	12.18	11.36	23.36	1.76	10.10	0.0667
46.9	-0.16	-0.01	0.16	0.14	0.96	0.10	2.29	7.11	6.72	12.19	12.26	25.93	1.75	10.39	0.0686
47.1	-0.16	-0.07	0.16	0.18	1.01	0.09	2.26	7.07	6.69	12.19	12.67	29.37	1.72	10.51	0.0695
47.2	-0.17	-0.01	0.16	0.18	0.98	0.11	2.23	7.04	6.65	12.19	12.96	33.01	1.71	10.60	0.0700
47.2	-0.16	-0.02	0.16	0.18	0.74	0.11	2.20	7.01	6.62	12.20	13.15	35.86	1.69	10.66	0.0703
47.3	-0.16	-0.01	0.17	0.17	0.63	0.11	2.19	6.99	6.60	12.20	13.34	37.89	1.67	10.71	0.0707
42.9	-0.16	0.00	0.17				1.92	6.70	6.27	12.21	13.08	37.65	1.43	10.52	
36.2	-0.14	0.03	0.25				1.50	6.23	5.74	12.21	12.62	36.09	1.05	10.19	
35.4	-0.14	0.04	0.25				1.46	6.19	5.70	12.21	12.56	35.98	1.01	10.16	

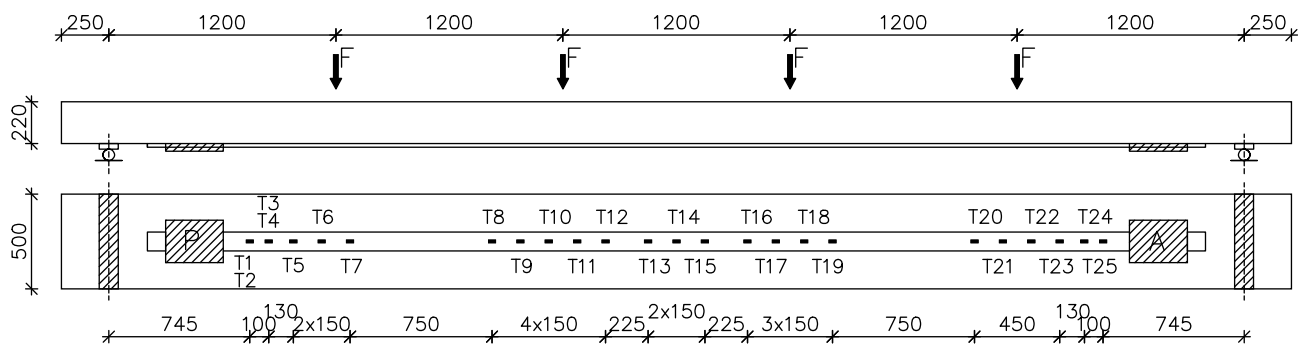
Pomiary odkształceń betonu wykonywano przetwornikami przemieszczeń liniowych o zakresie 10 i 20mm.
Concrete strain were measured with linear displacement transducers of 10 and 20mm range.

B12-sp





B12-sp



Tablica Z2.3 Odkształcenia taśmy CFRP, ϵ_f

Table Z2.3 CFRP strain, ϵ_f

Siła / Load 2F kN	Odkształcenia taśmy CFRP / CFRP strain ϵ_f																									T _M ‰
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	
	‰																									
6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.4	4.60	4.60	4.62	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.59	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.62	4.60	4.6
7.7	4.63	4.62	4.63	4.62	4.63	4.63	4.63	4.63	4.64	4.62	4.63	4.64	4.63	4.64	4.63	4.63	4.62	4.64	4.64	4.62	4.62	4.62	4.62	4.66	4.61	4.6
9.6	4.67	4.66	4.64	4.69	4.67	4.67	4.67	4.68	4.69	4.67	4.68	4.68	4.68	4.67	4.68	4.66	4.68	4.67	4.66	4.66	4.67	4.66	4.66	4.70	4.63	4.7
11.9	4.73	4.71	4.72	4.74	4.73	4.73	4.72	4.73	4.75	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	4.76	4.74	4.74	4.73	4.72	4.72	4.73	4.73	4.81	4.65	4.7
13.7	4.78	4.76	4.94	4.78	4.79	4.79	4.78	4.79	4.81	4.84	4.81	4.81	4.80	4.81	4.80	4.82	4.77	4.80	4.80	4.78	4.79	4.79	4.80	4.89	4.67	4.8
15.6	4.91	4.88	4.92	4.90	4.92	4.92	4.92	4.92	4.95	5.04	4.93	4.94	4.94	4.94	4.93	4.96	4.90	4.93	4.93	4.91	4.91	4.92	4.93	5.04	4.70	4.9
15.5	4.91	4.88	4.95	4.88	4.92	4.92	4.91	4.92	4.95	5.07	4.94	4.95	4.94	4.94	4.94	4.96	4.90	4.93	4.93	4.91	4.91	4.92	4.93	5.14	4.69	4.9
17.2	5.07	5.03	5.27	4.84	5.08	5.13	5.08	5.11	5.11	5.26	5.11	5.10	5.10	5.09	5.09	5.14	5.08	5.11	5.09	5.09	5.09	5.12	5.10	5.62	4.72	5.1
19.7	5.22	5.17	5.35	5.08	5.25	5.27	5.23	5.26	5.26	5.44	5.27	5.27	5.26	5.26	5.26	5.30	5.22	5.25	5.26	5.23	5.23	5.26	5.26	5.77	4.76	5.3
19.6	5.23	5.18	5.16	5.16	5.26	5.26	5.23	5.27	5.27	5.45	5.27	5.28	5.27	5.28	5.28	5.32	5.22	5.26	5.27	5.24	5.23	5.26	5.26	5.58	4.77	5.3
21.9	5.41	5.35	5.39	5.35	5.45	5.45	5.42	5.46	5.47	5.65	5.45	5.47	5.46	5.47	5.47	5.51	5.40	5.44	5.45	5.44	5.43	5.46	5.46	5.81	4.81	5.4
21.9	5.42	5.35	5.36	5.37	5.45	5.46	5.43	5.46	5.47	5.66	5.46	5.48	5.46	5.47	5.47	5.51	5.41	5.45	5.46	5.45	5.43	5.46	5.46	5.83	4.82	5.4
23.5	5.55	5.47	5.43	5.51	5.59	5.60	5.56	5.60	5.61	5.80	5.61	5.63	5.61	5.63	5.63	5.68	5.55	5.60	5.61	5.59	5.57	5.60	5.61	5.96	4.86	5.6
26.2	5.74	5.64	5.76	5.71	5.78	5.78	5.75	5.79	5.80	5.99	5.80	5.83	5.81	5.84	5.84	5.90	5.75	5.84	5.81	5.77	5.75	5.78	5.79	6.15	4.91	5.8
26.2	5.75	5.65	5.60	5.71	5.79	5.79	5.76	5.80	5.81	6.00	5.82	5.84	5.82	5.85	5.85	5.92	5.76	5.86	5.82	5.79	5.77	5.79	5.80	6.14	4.92	5.8
25.8	5.77	5.67	5.51	5.75	5.81	5.81	5.78	5.82	5.85	5.91	5.83	5.86	5.83	5.87	5.87	5.93	5.77	5.87	5.84	5.81	5.79	5.81	5.83	6.18	4.94	5.8
7.2	4.91	4.87	4.66	4.82	4.91	4.91	4.90	4.91	4.94	4.94	4.91	4.91	4.88	4.91	4.89	4.93	4.86	4.90	4.90	4.92	4.91	4.94	4.94	5.10	4.69	4.9
26.0	5.79	5.69	5.56	5.74	5.83	5.83	5.80	5.84	5.85	5.94	5.86	5.89	5.86	5.89	5.91	5.96	5.80	5.90	5.85	5.82	5.80	5.83	5.84	6.03	4.94	5.8
7.0	4.91	4.87	4.71	4.82	4.91	4.91	4.90	4.91	4.94	4.94	4.91	4.90	4.87	4.90	4.88	4.93	4.86	4.89	4.90	4.92	4.92	4.94	4.94	5.09	4.69	4.9
25.9	5.79	5.69	5.58	5.75	5.83	5.83	5.80	5.84	5.85	5.95	5.86	5.89	5.86	5.90	5.91	5.96	5.80	5.91	5.86	5.82	5.80	5.83	5.84	6.06	4.95	5.8
7.3	4.91	4.87	4.61	4.82	4.91	4.91	4.90	4.91	4.94	4.95	4.91	4.91	4.88	4.90	4.89	4.93	4.87	4.90	4.90	4.92	4.91	4.94	4.94	5.11	4.70	4.9
25.8	5.79	5.69	5.57	5.75	5.83	5.84	5.80	5.84	5.85	5.96	5.86	5.89	5.86	5.90	5.91	5.96	5.80	5.91	5.86	5.83	5.80	5.83	5.84	6.04	4.95	5.8
7.1	4.90	4.87	4.58	4.78	4.91	4.90	4.89	4.91	4.93	4.95	4.90	4.90	4.87	4.90	4.88	4.92	4.86	4.89	4.89	4.91	4.91	4.94	4.94	5.11	4.70	4.9
25.9	5.81	5.70	5.62	5.74	5.85	5.85	5.82	5.88	5.87	5.98	5.88	5.91	5.88	5.92	5.92	5.98	5.81	5.93	5.87	5.84	5.81	5.84	5.85	6.06	4.95	5.8
6.8	4.89	4.87	4.83	4.60	4.90	4.95	4.90	4.90	4.93	4.95	4.94	4.89	4.87	4.88	4.87	4.92	4.90	4.92	4.89	4.93	4.92	4.96	4.92	5.41	4.68	4.9
7.2	4.90	4.87	5.07	4.71	4.90	4.91	4.89	4.90	4.93	4.96	4.90	4.90	4.86	4.89	4.87	4.92	4.86	4.89	4.89	4.91	4.91	4.95	4.94	5.27	4.69	4.9
25.9	5.81	5.71	6.07	5.66	5.85	5.85	5.82	5.86	5.87	5.98	5.88	5.91	5.88	5.92	5.93	5.98	5.82	5.93	5.88	5.84	5.82	5.86	5.86	6.19	4.96	5.8
27.9	5.95	5.84	6.21	5.80	5.99	6.00	5.96	6.00	6.02	6.13	6.02	6.04	6.02	6.05	6.06	6.12	5.94	6.09	6.01	5.98	5.96	6.01	6.01	6.37	5.01	6.0
29.8	6.10	5.97	6.33	5.96	6.14	6.15	6.11	6.15	6.17	6.28	6.18	6.21	6.18	6.21	6.21	6.30	6.10	6.28	6.17	6.14	6.12	6.17	6.17	6.52	5.09	6.1
29.8	6.11	5.98	6.30	5.95	6.15	6.16	6.12	6.17	6.18	6.30	6.19	6.22	6.18	6.23	6.22	6.31	6.11	6.29	6.18	6.15	6.12	6.18	6.18	6.55	5.12	6.1
32.1	6.25	6.11	6.46	6.10	6.30	6.31	6.26	6.31	6.32	6.45	6.35	6.38	6.34	6.38	6.38	6.48	6.27	6.48	6.34	6.30	6.27	6.33	6.33	6.71	5.18	6.3
34.1	6.41	6.26	6.67	6.25	6.47	6.47	6.41	6.47	6.48	6.62	6.51	6.54	6.50	6.55	6.55	6.66	6.43	6.67	6.51	6.44	6.41	6.48	6.48	7.02	5.28	6.5
35.8	6.57	6.41	6.86	6.41	6.63	6.63	6.57	6.63	6.64	6.78	6.67	6.71	6.66	6.71	6.71	6.84	6.60	6.86	6.68	6.61	6.59	6.65	6.64	7.20	5.41	6.6
37.6	6.79	6.62	7.09	6.64	6.86	6.85	6.80	6.86	6.86	7.00	6.87	6.94	6.89	6.95	6.98	7.14	6.85	7.15	6.95	6.88	6.85	6.91	6.91	7.71	5.63	6.8
37.6	6.86	6.67	7.17	6.69	6.92	6.90	6.85	6.90	6.93	7.07	6.94	7.01	6.94	7.03	7.04	7.22	6.92	7.22		6.96	6.91	6.98	6.97		5.90	6.9
38.3	6.90	6.71	7.22	6.73	6.96	6.94	6.89	6.94	6.98	7.11	6.99	7.06	6.99	7.07	7.09	7.27	6.97	7.26		7.00	6.95	7.02	7.02		5.92	6.9
38.7	6.95	6.76	7.26	6.78	7.01	7.12	6.94	7.00	7.03	7.16	7.04	7.11	7.04	7.13	7.14	7.33	7.02	7.32		7.05	7.00	7.07	7.07		5.94	7.0
39.0	7.09	6.89	7.41	6.94	7.16	7.15	7.09	7.15	7.18	7.32	7.20	7.27	7.19	7.28	7.29	7.50	7.17	7.46		7.19	7.14	7.21	7.22		6.05	7.1
39.4	7.20	6.99	7.53	7.05	7.28	7.26	7.20	7.26	7.30	7.44	7.31	7.38	7.31	7.39	7.40	7.61	7.28	7.56		7.29	7.25	7.32	7.32		6.50	7.2
39.5	7.32	7.10	7.66	7.17	7.40	7.39	7.32	7.39	7.42	7.56	7.43	7.51	7.42	7.50	7.48	7.67	7.32	7.60		7.34	7.29	7.36	7.36		7.22	7.4

39.6	7.40	7.18	7.75	7.26	7.48	7.47	7.40	7.47	7.50	7.65	7.52	7.59	7.50	7.60	7.58	7.78	7.43	7.69		7.45	7.40	7.47	7.46		7.34	7.4
40.0	7.53	7.31	7.88	7.39	7.62	7.60	7.52	7.60	7.63	7.81	7.64	7.72	7.62	7.74	7.70	7.66	7.55	7.81		7.57	7.51	7.59	7.59		7.47	7.6
40.5	7.64	7.42	8.02	7.50	7.73	7.71	7.64	7.72	7.74	7.93	7.76	7.84	7.73	7.86	7.81	7.78	7.66	7.92		7.68	7.62	7.70	7.70		7.58	7.7
41.0	7.78	7.55	8.16	7.63	7.87	7.85	7.78	7.86	7.89	8.07	7.90	7.99	7.87	8.00	7.94	7.92	7.80	8.05		7.81	7.76	7.83	7.83		7.72	7.8
41.5	7.90	7.67	8.30	7.78	8.00	7.98	7.90	7.99	8.01	8.19	8.03	8.12	8.00	8.14	8.07	8.04	7.93	8.18		7.94	7.88	7.96	7.96		7.84	8.0
41.1	7.95	7.73	8.35	7.85	8.06	8.04	7.96	8.05	8.06	8.25	8.08	8.17	8.04	8.20	8.13	8.11	7.99	8.25		8.01	7.94	8.03	8.03		7.91	8.0
41.3	7.96	7.73	8.36	7.85	8.07	8.04	7.96	8.05	8.07	8.26	8.09	8.18	8.05	8.21	8.14	8.13	8.01	8.27		8.02	7.95	8.04	8.04		7.91	8.0
41.3	7.97	7.74	8.36	7.86	8.07	8.05	7.97	8.06	8.08	8.27	8.10	8.19	8.06	8.22	8.14	8.14	8.02	8.28		8.03	7.96	8.05	8.05		7.93	8.0
41.3	7.97	7.74	8.36	7.86	8.08	8.06	7.98	8.06	8.09	8.28	8.11	8.20	8.07	8.23	8.15	8.15	8.03	8.29		8.04	7.97	8.06	8.06		7.94	8.0
41.3	7.98	7.74	8.37	7.87	8.08	8.06	7.98	8.07	8.09	8.28	8.11	8.20	8.07	8.23	8.15	8.16	8.03	8.30		8.05	7.98	8.07	8.07		7.94	8.0
41.3	7.99	7.75	8.38	7.86	8.08	8.07	7.98	8.07	8.10	8.28	8.12	8.21	8.07	8.24	8.16	8.16	8.04	8.31		8.06	7.99	8.08	8.07		7.95	8.0
41.9	8.02	7.77	8.41	7.89	8.11	8.10	8.02	8.10	8.13	8.32	8.15	8.24	8.11	8.28	8.20	8.20	8.08	8.35		8.09	8.02	8.11	8.11		7.98	8.1
42.5	8.20	7.93	8.59	8.07	8.29	8.28	8.20	8.28	8.31	8.48	8.33	8.43	8.29	8.42	8.35	8.38	8.25	8.58		8.29	8.21	8.30	8.31		8.17	8.3
43.0	8.36	8.08	8.76	8.23	8.46	8.45	8.36	8.45	8.48	8.61	8.50	8.60	8.47	8.61	8.55	8.62	8.49	8.75		8.50	8.41	8.51	8.52		8.38	8.4
43.6	8.51	8.22	8.91	8.39	8.61	8.60	8.51	8.60	8.63	8.77	8.63	8.76	8.62	8.80	8.74	8.82	8.68	8.93		8.68	8.60	8.70	8.71		8.57	8.6
43.8	8.65	8.29	9.06	8.47		8.74	8.63	8.71	8.74	8.88	8.75	8.88	8.73	8.91	8.84	8.92	8.79	9.03		8.79	8.69	8.80	8.81		8.67	8.7
43.9	8.69	8.32	9.09	8.51		8.77	8.66	8.74	8.78	8.92	8.78	8.92	8.77	8.95	8.88	8.95	8.81	9.06		8.81	8.72	8.83	8.84		8.70	8.7
44.1	8.72	8.36	9.13	8.55		8.81	8.69	8.78	8.81	8.96	8.81	8.96	8.80	8.99	8.92	8.98	8.84	9.09		8.84	8.75	8.86	8.86		8.73	8.8
44.4	8.78	8.42	9.20	8.61		8.88	8.76	8.85	8.89	9.03	8.88	9.03	8.87	9.06	8.99	9.04	8.90	9.14		8.90	8.80	8.92	8.92		8.79	8.8
44.6	8.84	8.48	9.27	8.68		8.93	8.82	8.91	8.94	9.09	8.95	9.09	8.93	9.13	9.05	9.10	8.96	9.20		8.95	8.86	8.97	8.97		8.84	8.9
44.8	8.90	8.54	9.33	8.74		9.01	8.88	8.97	9.01	9.15	9.02	9.16	9.00	9.19	9.11	9.16	9.02	9.26		9.01	8.92	9.03	9.03		8.89	9.0
45.1	8.96	8.60	9.41	8.81		9.07	8.95	9.04	9.08	9.22	9.09	9.23	9.06	9.26	9.18	9.24	9.08	9.32		9.08	8.98	9.09	9.10		8.95	9.0
45.4	9.05	8.68	9.49	8.90		9.16	9.04	9.12	9.17	9.30	9.18	9.32	9.15	9.36	9.27	9.33	9.17	9.41		9.16	9.06	9.18	9.18		9.03	9.1
45.2	9.10	8.63	9.53	8.96		9.21	9.09	9.17	9.22	9.34	9.23	9.37	9.20	9.42	9.32	9.38	9.22	9.46		9.22	9.11	9.23	9.24		9.09	9.2
45.2	9.10	8.59	9.54	8.97		9.22	9.09	9.18	9.22	9.35	9.23	9.37	9.20	9.42	9.32	9.39	9.22	9.47		9.22	9.11	9.24	9.24		9.09	9.2
45.3	9.11	8.59	9.56	8.98		9.23	9.10	9.18	9.23	9.36	9.24	9.38	9.21	9.44	9.33	9.40	9.23	9.48		9.23	9.12	9.24	9.25		9.10	9.2
46.0	9.18	8.66	9.64	9.07		9.31	9.19	9.27	9.32	9.44	9.33	9.47	9.30	9.52	9.42	9.50	9.32	9.56		9.32	9.21	9.33	9.34		9.18	9.3
46.5	9.32	8.79	9.78	9.22		9.46	9.34	9.42	9.47	9.58	9.48	9.62	9.44	9.67	9.58	9.66	9.47	9.71		9.47	9.35	9.48	9.50		9.33	9.4
46.8	9.43	8.87	9.90	9.33		9.57	9.44	9.53	9.58	9.69	9.59	9.74	9.56	9.79	9.70	9.78	9.60	9.84		9.59	9.47	9.60	9.62		9.45	9.5
47.0	9.55	8.97	10.0	9.46		9.71	9.58	9.67	9.72	9.83	9.73	9.86	9.68	9.91	9.80	9.88	9.69	9.93		9.68	9.56	9.70	9.71		9.55	9.6
47.3	9.64	9.03	10.1	9.53		9.79	9.66	9.75	9.80	9.91	9.82	9.98	9.78	10.0	9.92	10.0	9.81	10.0		9.80	9.67	9.82	9.83		9.65	9.7
46.9	9.68	9.06	10.2	9.58		9.83	9.70	9.80	9.85	9.96	9.87	10.0	9.83	10.1	10.0	10.2	10.0	10.2		10.0	9.85	10.0	10.0		9.83	9.8
46.8	9.82	9.19	10.3	9.73		9.99	9.85	9.95	10.0	10.1	10.0	10.2	9.97	10.2	10.2	10.3	10.2	10.4		10.1	10.0	10.2	10.2		9.97	9.9
46.8	9.99	9.34	10.5	9.9		10.2	10.0	10.1	10.2	10.3	10.2	10.4	10.2	10.4	10.4	10.5	10.4	10.5		10.3	10.2	10.3	10.4		10.1	10.1
46.9	10.2	9.53	10.7	10.1		10.4	10.2	10.3	10.4	10.5	10.4	10.6	10.4	10.6	10.5	10.7	10.6	10.8		10.6	10.4	10.6	10.6		10.3	10.3
47.1	10.4	9.75	10.9	10.4		10.6	10.5	10.6	10.6	10.7	10.7	10.8	10.6	10.9	10.8	11.0	10.8	11.0		10.8	10.6	10.8	10.8		10.6	10.6
47.2			11.3	10.4				11.0	10.9	11.0	10.9	11.1	10.8	11.1	11.0	11.2	11.1	11.2		11.0	10.9	11.1	11.1		10.8	11.0
47.2			11.5	10.6				11.2	11.1	11.1	11.1	11.2	11.0	11.3	11.2	11.4	11.3	11.4		11.3	11.1	11.3	11.3		11.0	11.2
47.3			11.6	10.7				11.4	11.2	11.3	11.2	11.4	11.1	11.4	11.3	11.6	11.4	11.6		11.4	11.2	11.4	11.4		11.1	11.4
42.9			11.6	10.7				11.3	11.1	11.2	11.1	11.3	11.0	11.3	11.2	11.4	11.3	11.4		11.3	11.1	11.3	11.3		11.1	11.3
36.2			11.3	10.5				11.1	10.9	10.9	10.9	11.0	10.8	11.1	11.0	11.2	11.1	11.3		11.2	11.0	11.2	11.2		10.9	11.1
35.4			11.3	10.4				11.0	10.8	10.9	10.9	11.0	10.7	11.0	10.9	11.2	11.1	11.2		11.2	11.0	11.2	11.2		10.9	11.0

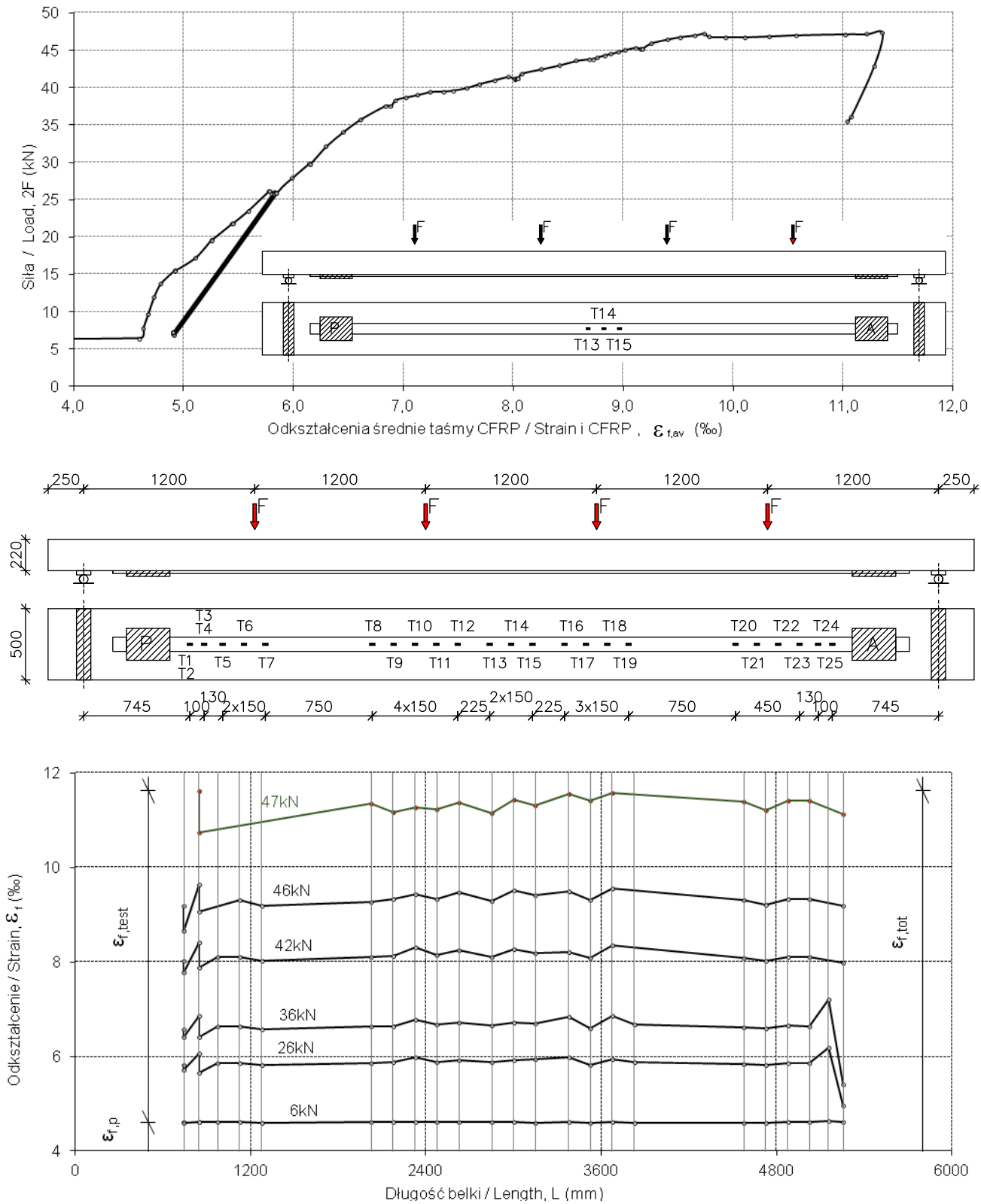
Pomiary odkształceń wykonywano tensometrami elektrooporowymi TFs-5 o bazie 5mm.

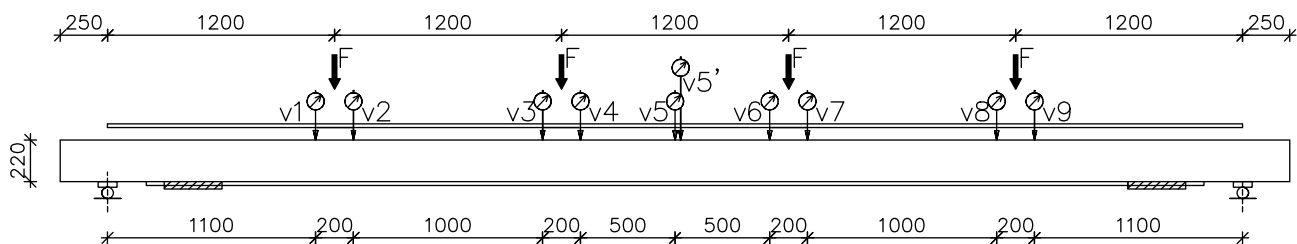
CFRP strain were measured with electric resistance gauges TFs-5 with range of 5mm.

P - oznaczenie strony pasywnej zakotwienia / the names of the passive side of anchorage system

A - oznaczenie strony aktywnej zakotwienia / the names of the passive side of anchorage system

B12-sp





Tablica Z2.4 Przemieszczenia pionowe belki, v

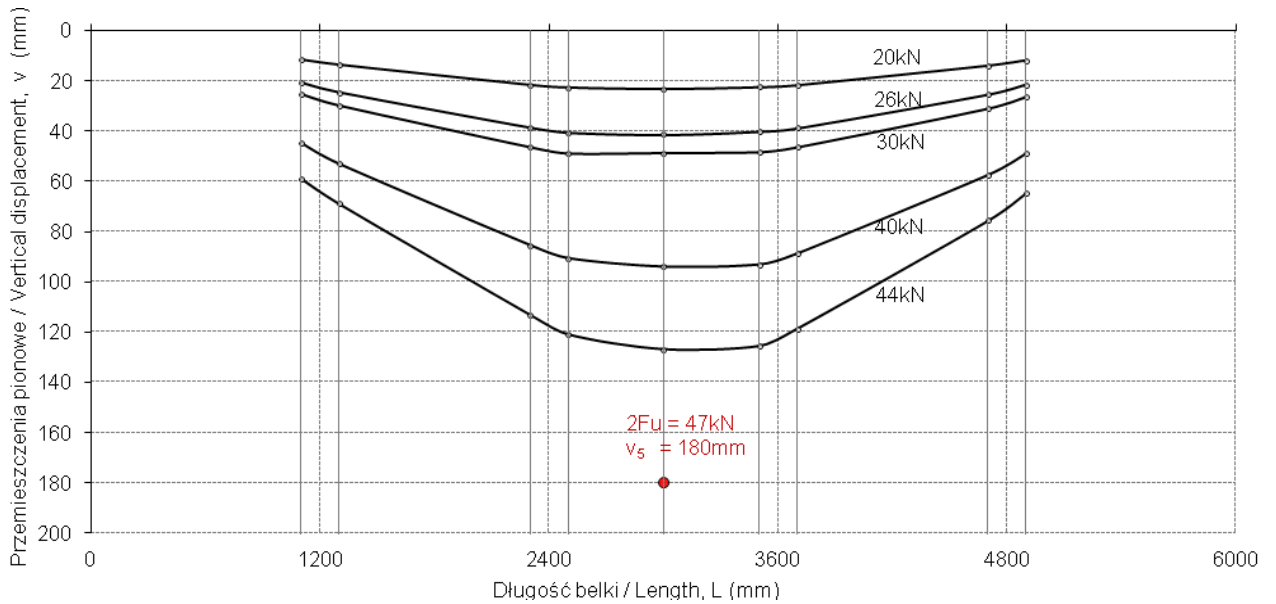
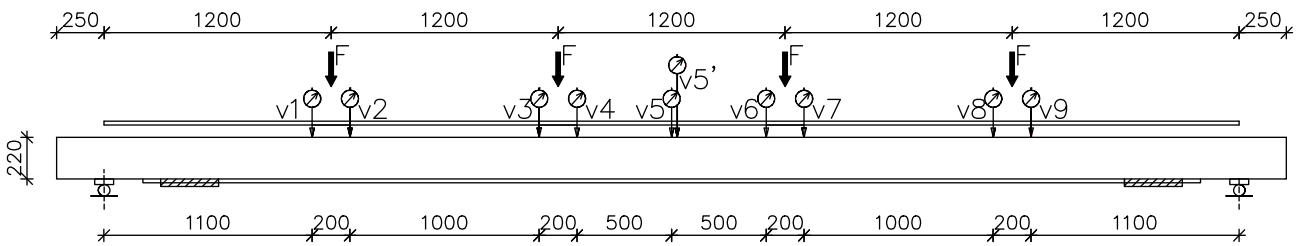
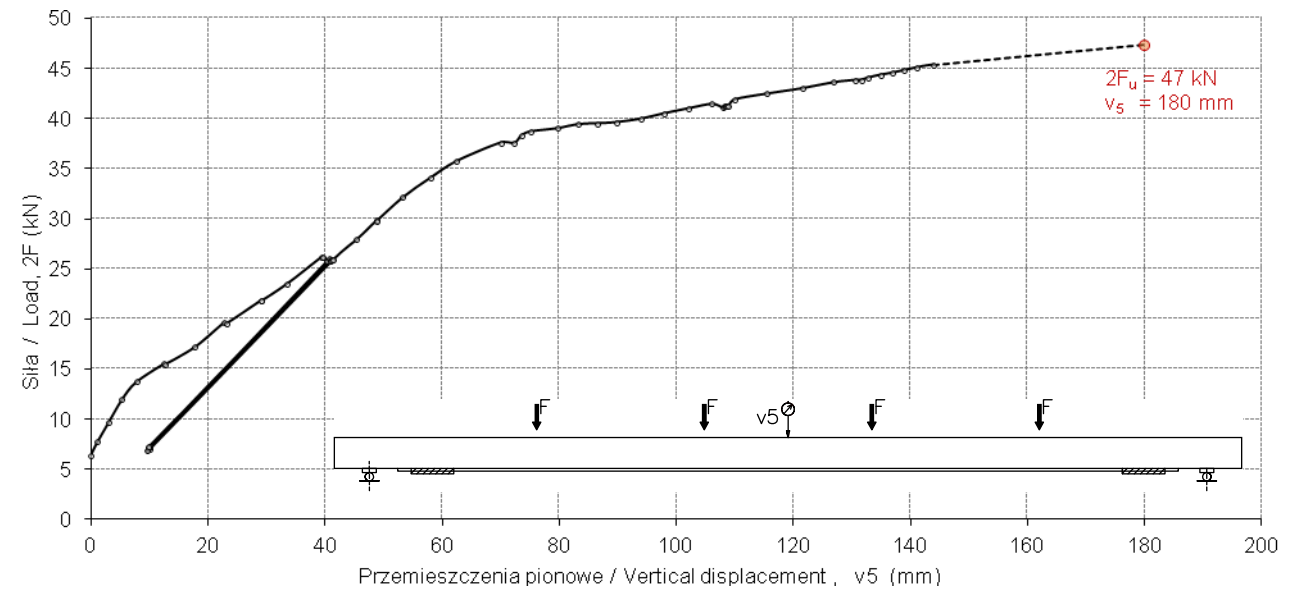
Table Z2.4 Vertical displacement, v

Siła / Load 2F kN	Przemieszczenia pionowe / Vertical displacement v (mm)												
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅	v ₆	v ₇	v ₈	v ₉	v _{av,1-2}	v _{av,3-4}	v _{av,6-7}	v _{av,8-9}
6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.7	0.6	0.6	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	0.7	0.6	0.6	1.1	1.1	0.6
9.6	1.5	1.8	2.8	2.9	3.0	2.9	2.8	1.8	1.5	1.6	2.9	2.8	1.7
11.9	2.7	3.1	4.9	5.2	5.3	5.1	4.9	3.2	2.8	2.9	5.0	5.0	3.0
13.7	3.9	4.6	7.2	7.5	7.8	7.6	7.3	4.7	4.0	4.2	7.4	7.4	4.4
15.6	6.1	7.2	11.5	12.1	12.6	12.2	11.7	7.4	6.3	6.7	11.8	11.9	6.9
15.5	6.2	7.2	11.6	12.1	12.6	12.2	11.7	7.4	6.3	6.7	11.8	12.0	6.9
17.2	8.8	10.4	16.5	17.3	17.8	17.3	16.8	10.7	9.1	9.6	16.9	17.1	9.9
19.7	11.4	13.4	21.2	22.2	22.8	22.2	21.4	13.7	11.7	12.4	21.7	21.8	12.7
19.6	11.6	13.6	21.5	22.6	23.2	22.5	21.7	13.9	11.8	12.6	22.0	22.1	12.9
21.9	14.5	17.1	27.0	28.3	29.0	28.2	27.0	17.4	14.8	15.8	27.7	27.6	16.1
21.9	14.6	17.1	27.2	28.5	29.2	28.3	27.2	17.5	14.9	15.9	27.8	27.7	16.2
23.5	16.8	19.8	31.2	32.8	33.6	32.6	31.3	20.3	17.2	18.3	32.0	31.9	18.8
26.2	19.7	23.2	36.5	38.4	39.3	38.1	36.6	24.0	20.3	21.5	37.4	37.3	22.1
26.2	19.9	23.5	36.9	38.7	39.7	38.5	36.9	24.2	20.5	21.7	37.8	37.7	22.4
25.8	20.2	23.9	37.4	39.3	40.3	39.1	37.5	24.7	20.9	22.0	38.4	38.3	22.8
7.2	5.4	6.2	9.5	10.2	10.0	9.7	9.5	6.4	5.3	5.8	9.8	9.6	5.9
26.0	20.5	24.2	37.9	39.9	40.8	39.6	38.2	25.1	21.2	22.3	38.9	38.9	23.1
7.0	5.3	6.2	9.4	10.2	9.9	9.6	9.5	6.4	5.3	5.8	9.8	9.6	5.8
25.9	20.5	24.2	38.0	39.9	40.8	39.6	38.2	25.1	21.2	22.3	38.9	38.9	23.2
7.3	5.4	6.3	9.5	10.2	10.0	9.7	9.6	6.4	5.3	5.8	9.9	9.7	5.9
25.8	20.5	24.2	38.0	40.0	40.9	39.6	38.3	25.2	21.2	22.4	39.0	39.0	23.2
7.1	5.3	6.1	9.3	10.0	9.8	9.5	9.4	6.3	5.2	5.7	9.7	9.5	5.8
25.9	20.7	24.5	38.3	40.3	41.3	40.0	38.7	25.4	21.4	22.6	39.3	39.3	23.4
6.8	5.3	6.1	9.2	9.9	9.7	9.4	9.3	6.3	5.2	5.7	9.6	9.4	5.7
7.2	5.3	6.1	9.3	10.0	9.8	9.5	9.4	6.3	5.2	5.7	9.7	9.4	5.8
25.9	20.8	24.6	38.4	40.4	41.3	40.1	38.7	25.5	21.5	22.7	39.4	39.4	23.5
27.9	22.8	27.1	42.3	44.6	45.3	44.0	42.3	28.2	23.9	24.9	43.4	43.2	26.1
29.8	25.3	29.8	46.4	49.0	48.8	48.4	46.5	31.1	26.4	27.5	47.7	47.5	28.7
29.8	25.3	29.8	46.4	49.0	48.8	48.4	46.5	31.1	26.4	27.5	47.7	47.5	28.7
32.1	27.4	32.3	50.5	53.2	53.2	52.7	50.7	33.8	28.8	29.9	51.8	51.7	31.3
34.1	29.9	35.2	54.9	57.8	57.9	57.4	55.2	36.9	31.4	32.5	56.4	56.3	34.1
35.8	32.2	38.0	59.1	62.2	62.5	61.8	59.5	39.8	33.9	35.1	60.7	60.6	36.8
37.6	35.5	41.9	65.6	69.1	70.0	69.5	66.9	44.3	37.8	38.7	67.3	68.2	41.1
37.6	36.5	43.1	67.6	71.2	72.3	71.9	69.2	45.7	39.0	39.8	69.4	70.5	42.4
38.3	37.2	43.9	68.7	72.4	73.6	73.2	70.4	46.5	39.7	40.5	70.6	71.8	43.1
38.7	37.8	44.6	70.1	73.9	75.1	74.7	71.8	47.4	40.4	41.2	72.0	73.3	43.9
39.0	39.4	46.6	73.8	77.8	79.7	79.5	76.1	49.9	42.6	43.0	75.8	77.8	46.2
39.4	40.8	48.2	76.7	81.0	83.3	83.1	79.5	51.8	44.2	44.5	78.9	81.3	48.0
39.5	42.0	49.7	79.4	84.0	86.6	86.2	82.4	53.5	45.6	45.8	81.7	84.3	49.5
39.6	43.0	51.0	82.0	86.8	89.7	89.2	85.1	55.1	47.0	47.0	84.4	87.1	51.0
40.0	44.6	52.9	85.4	90.6	93.9	93.1	88.7	57.3	48.7	48.7	88.0	90.9	53.0
40.5	46.0	54.8	88.6	94.0	97.8	96.8	92.1	59.2	50.4	50.4	91.3	94.4	54.8

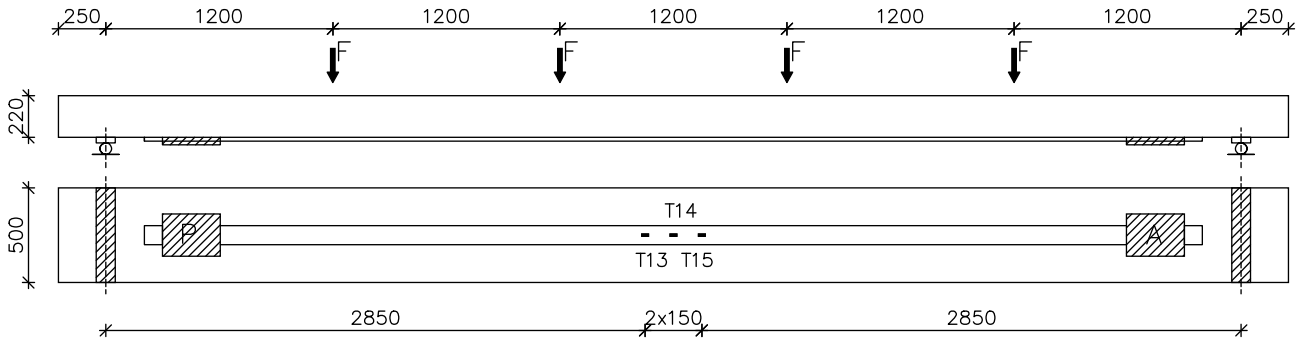
B12-sp

41.0	47.7	57.0	92.3	98.1	102.1	100.9	96.1	61.6	52.5	52.4	95.2	98.5	57.0
41.5	49.5	58.9	95.8	102.0	106.1	104.8	99.1	63.7	54.3	54.2	98.9	102.0	59.0
41.1	50.3	59.9	97.3	103.8	107.9	106.7	100.6	64.8	55.2	55.1	100.5	103.6	60.0
41.3	50.4	60.0	97.7	104.1	108.2	106.9	100.9	65.0	55.4	55.2	100.9	103.9	60.2
41.3	50.5	60.1	97.9	104.3	108.3	107.1	101.2	65.2	55.6	55.3	101.1	104.2	60.4
41.3	50.7	60.3	98.0	104.4	108.4	107.2	101.4	65.4	55.7	55.5	101.2	104.3	60.6
41.3	50.8	60.4	98.2	104.7	108.6	107.5	101.6	65.5	55.8	55.6	101.5	104.5	60.7
41.3	50.9	60.5	98.4	104.9	108.9	107.9	101.8	65.7	56.1	55.7	101.6	104.9	60.9
41.9	51.4	61.1	99.3	105.9	110.0	108.9	102.9	66.3	56.7	56.2	102.6	105.9	61.5
42.5	53.5	63.6	103.9	110.9	115.5	114.4	108.1	69.3	59.2	58.5	107.4	111.2	64.3
43.0	56.6	66.3	108.8	116.2	121.5	120.3	113.7	72.7	62.1	61.5	112.5	117.0	67.4
43.6	58.8	68.8	113.2	121.0	126.9	125.6	118.7	75.5	64.6	63.8	117.1	122.2	70.0
43.8	60.4		116.2	124.3	130.5	129.1	121.9	77.4	66.1		120.2	125.5	71.7
43.9	60.8		117.1	125.2	131.6	130.2	122.9	77.9	66.6		121.2	126.6	72.3
44.1	61.8		118.1	126.3	132.7	131.3	124.0	78.5	67.1		122.2	127.6	72.8
44.4	62.6		119.9	128.2	134.8	133.3	125.9	79.6	68.1		124.0	129.6	73.9
44.6	63.4		121.5	130.0	136.8	135.2	127.7	80.7	68.9		125.7	131.5	74.8
44.8	64.2		123.2	131.8	138.8	137.2	129.5	81.7	69.9		127.5	133.4	75.8
45.1	65.0		125.0	133.8	141.0	139.3	131.5	82.9	70.8		129.4	135.4	76.8
45.4	66.1		127.4	136.4	143.9	142.2	134.2	84.4	72.1		131.9	138.2	78.3
45.2	66.8		128.9	137.9		143.9	135.8	85.4	72.9		133.4	139.8	79.1
45.2	66.8		129.1	138.1		144.1	136.0	85.5	73.0		133.6	140.0	79.2
45.3	67.0		129.4	138.5		144.5	136.3	85.7	73.1		133.9	140.4	79.4
46.0	68.1		131.7	141.0		147.2	138.9	87.3	74.5		136.4	143.1	80.9
46.5	70.0		135.7	145.4			143.4	89.8	76.8		140.6		83.3
46.8	71.5		139.0	148.9				91.9	78.5		144.0		85.2
47.0	73.0		142.4	152.6				93.8	80.1		147.5		87.0
47.3	74.5							95.8	81.8				88.8
46.9	75.9							98.3	83.9				91.1
46.8	77.7							101.7	86.6				94.2
46.8								105.9	90.1				98.0
46.9								111.1	94.1				102.6
47.1									98.8				98.8
47.2									103.6				103.6
47.2													
47.3					180.0								

Pomiary przemieszczeń pionowych wykonywano przetwornikami przemieszczeń liniowych o zakresie 50mm.
Vertical displacement were measured with linear displacement transducers with range of 50mm.



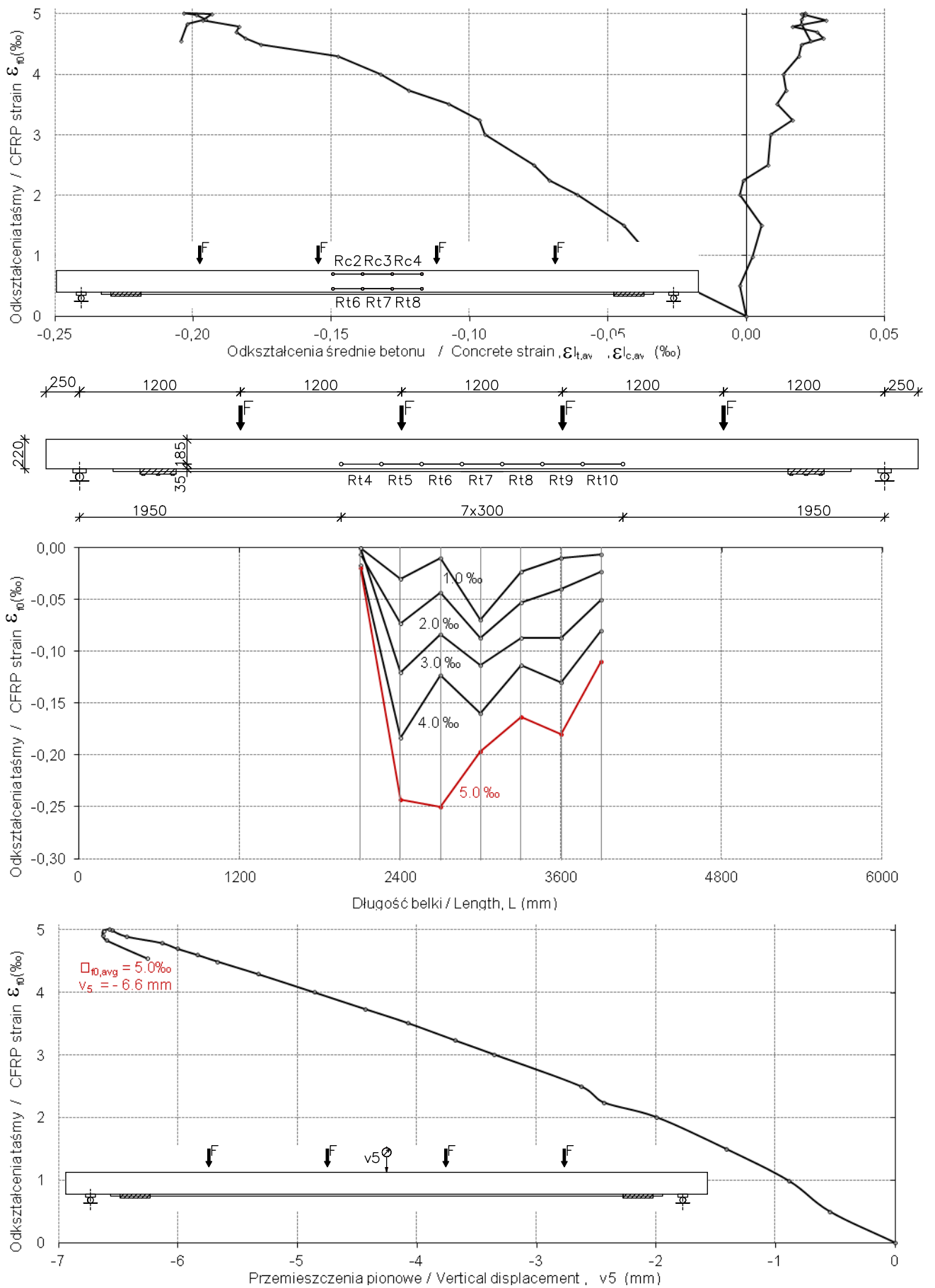
B12-sp



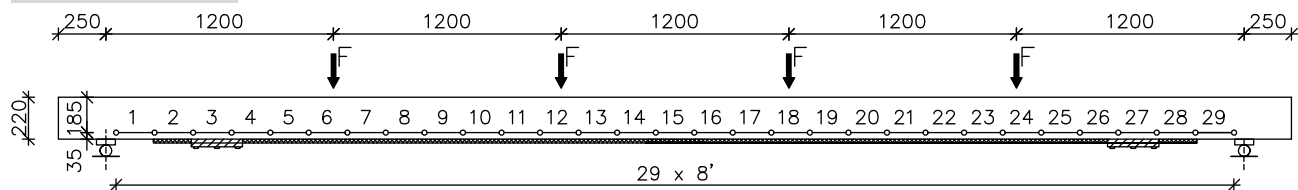
Tablica Z2.5 Pomiary podczas naprężania taśmy

Table Z2.5 Measurements during prestressing of the CFRP strip

Siła / Load 2F kN	Odształcenia taśmy CFRP / CFRP strain ϵ_t (%)				Odształcenia betonu / Concrete strain														Przemieszczenia pionowe / Vertical displacement v (mm)								
	T13	T14	T15	T_M	R_{c1}	R_{c2}	R_{c3}	R_{c4}	R_{c5}	$\epsilon_{c,av}$	R_{t4}	R_{t5}	R_{t6}	R_{t7}	R_{t8}	R_{t9}	R_{t10}	$\epsilon_{t,av}$	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	
	2850	3000	3150		2400	2700	3000	3300	3600		2100	2400	2700	3000	3300	3600	3900		1100	1300	2300	2500	3000	3500	3700	4700	
6.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.3	0.51	0.50	0.50	0.50	0.00	0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.00	-0.01	-0.02	0.00	-0.07	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.2	-0.3	0.5	-0.4	-0.5	-0.4	-0.4	-0.2	
6.3	0.99	0.99	0.99	0.99	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.03	-0.01	-0.07	-0.02	-0.01	-0.01	-0.03	-0.5	-0.5	-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.8	-0.5	
6.3	1.51	1.50	1.49	1.50	0.01	0.03	0.00	-0.01	0.02	0.01	-0.01	-0.06	-0.03	-0.07	-0.04	-0.03	-0.01	-0.04	-0.7	-0.8	-1.3	-1.4	-1.4	-1.4	-1.3	-0.8	
6.3	2.02	2.01	2.01	2.01	0.02	0.01	-0.01	-0.01	0.04	0.00	-0.01	-0.07	-0.04	-0.09	-0.05	-0.04	-0.02	-0.06	-1.0	-1.2	-1.9	-2.0	-2.0	-1.9	-1.8	-1.2	
6.3	2.26	2.25	2.24	2.25	0.03	0.03	-0.01	-0.02	0.03	0.00	-0.01	-0.10	-0.06	-0.10	-0.06	-0.06	-0.03	-0.07	-1.2	-1.4	-1.9	-2.3	-2.4	-2.2	-2.1	-1.4	
6.3	2.51	2.50	2.50	2.50	0.02	0.03	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	-0.10	-0.06	-0.10	-0.07	-0.06	-0.04	-0.08	-1.4	-1.6	-2.5	-2.6	-2.6	-2.5	-2.4	-1.6	
6.3	3.02	3.01	3.01	3.01	0.04	0.04	0.00	-0.01	0.06	0.01	0.00	-0.12	-0.08	-0.11	-0.09	-0.09	-0.05	-0.09	-1.8	-2.1	-3.2	-3.3	-3.4	-3.2	-3.1	-2.0	
6.3	3.25	3.24	3.24	3.24	0.05	0.04	0.00	0.00	0.07	0.02	0.00	-0.15	-0.08	-0.12	-0.09	-0.10	-0.06	-0.10	-1.9	-2.3	-3.5	-3.6	-3.7	-3.5	-3.4	-2.2	
6.3	3.53	3.52	3.51	3.52	0.06	0.05	0.00	-0.02	0.07	0.01	-0.02	-0.15	-0.10	-0.13	-0.09	-0.10	-0.06	-0.11	-2.1	-2.5	-3.9	-4.0	-4.1	-3.9	-3.8	-2.5	
6.3	3.76	3.74	3.73	3.74	0.07	0.06	0.00	-0.02	0.08	0.01	-0.01	-0.18	-0.11	-0.15	-0.11	-0.12	-0.08	-0.12	-2.3	-2.7	-4.2	-4.3	-4.4	-4.3	-4.1	-2.7	
6.3	4.03	4.01	3.99	4.01	0.08	0.07	-0.01	-0.02	0.08	0.01	-0.02	-0.18	-0.12	-0.16	-0.11	-0.13	-0.08	-0.13	-2.5	-3.0	-4.6	-4.7	-4.9	-4.7	-4.5	-2.9	
6.3	4.32	4.30	4.28	4.30	0.09	0.07	0.00	-0.01	0.10	0.02	-0.02	-0.21	-0.14	-0.17	-0.14	-0.15	-0.10	-0.15	-2.8	-3.3	-5.1	-5.2	-5.3	-5.1	-4.9	-3.2	
6.3	4.52	4.50	4.48	4.50	0.10	0.07	-0.01	0.00	0.10	0.02	0.00	-0.21	-0.22	-0.17	-0.14	-0.16	-0.10	-0.18	-3.0	-3.5	-5.4	-5.6	-5.7	-5.4	-5.2	-3.4	
6.3	4.63	4.61	4.59	4.61	0.10	0.08	0.00	0.00	0.10	0.03	-0.02	-0.22	-0.23	-0.17	-0.15	-0.17	-0.10	-0.18	-3.1	-3.6	-5.6	-5.7	-5.8	-5.6	-5.4	-3.5	
6.3	4.73	4.71	4.69	4.71	0.11	0.08	0.00	-0.01	0.10	0.03	-0.01	-0.22	-0.22	-0.18	-0.15	-0.17	-0.10	-0.18	-3.2	-3.7	-5.7	-5.9	-6.0	-5.8	-5.6	-3.6	
6.3	4.82	4.80	4.78	4.80	0.11	0.07	-0.01	-0.02	0.12	0.02	-0.02	-0.23	-0.23	-0.18	-0.15	-0.18	-0.11	-0.18	-3.2	-3.8	-5.9	-6.0	-6.1	-5.9	-5.7	-3.7	
6.3	4.92	4.90	4.88	4.90	0.11	0.09	0.00	0.00	0.12	0.03	-0.01	-0.24	-0.25	-0.19	-0.15	-0.18	-0.11	-0.20	-3.4	-4.0	-6.1	-6.3	-6.4	-6.2	-5.9	-3.8	
6.3	5.03	5.00	4.98	5.00	0.11	0.08	-0.01	-0.01	0.11	0.02	-0.02	-0.25	-0.24	-0.18	-0.16	-0.19	-0.11	-0.19	-3.5	-4.1	-6.3	-6.4	-6.6	-6.3	-6.1	-3.9	
6.3	5.04	5.02	4.99	5.02	0.11	0.08	0.00	-0.02	0.12	0.02	-0.02	-0.24	-0.25	-0.20	-0.16	-0.18	-0.11	-0.20	-3.5	-4.1	-6.3	-6.5	-6.6	-6.3	-6.1	-3.9	
6.3	5.02	4.99	4.97	4.99	0.13	0.08	-0.01	-0.01	0.12	0.02	-0.02	-0.25	-0.25	-0.19	-0.16	-0.18	-0.11	-0.20	-3.5	-4.1	-6.3	-6.5	-6.6	-6.4	-6.1	-3.9	
6.3	4.94	4.92	4.89	4.92	0.12	0.08	-0.01	-0.01	0.11	0.02	-0.01	-0.25	-0.25	-0.19	-0.15	-0.20	-0.11	-0.20	-3.5	-4.1	-6.3	-6.5	-6.6	-6.4	-6.1	-4.0	
6.3	4.87	4.84	4.82	4.84	0.12	0.08	-0.01	-0.01	0.11	0.02	-0.02	-0.24	-0.25	-0.19	-0.16	-0.18	-0.11	-0.20	-3.5	-4.1	-6.3	-6.5	-6.6	-6.4	-6.1	-4.0	
6.3	4.58	4.55	4.53	4.55	0.12	0.08	-0.01	-0.01	0.11	0.02	-0.02	-0.23	-0.26	-0.19	-0.17	-0.15	-0.09	-0.20	-3.4	-3.9	-5.9	-6.1	-6.3	-6.0	-5.9	-3.8	



B12-sp



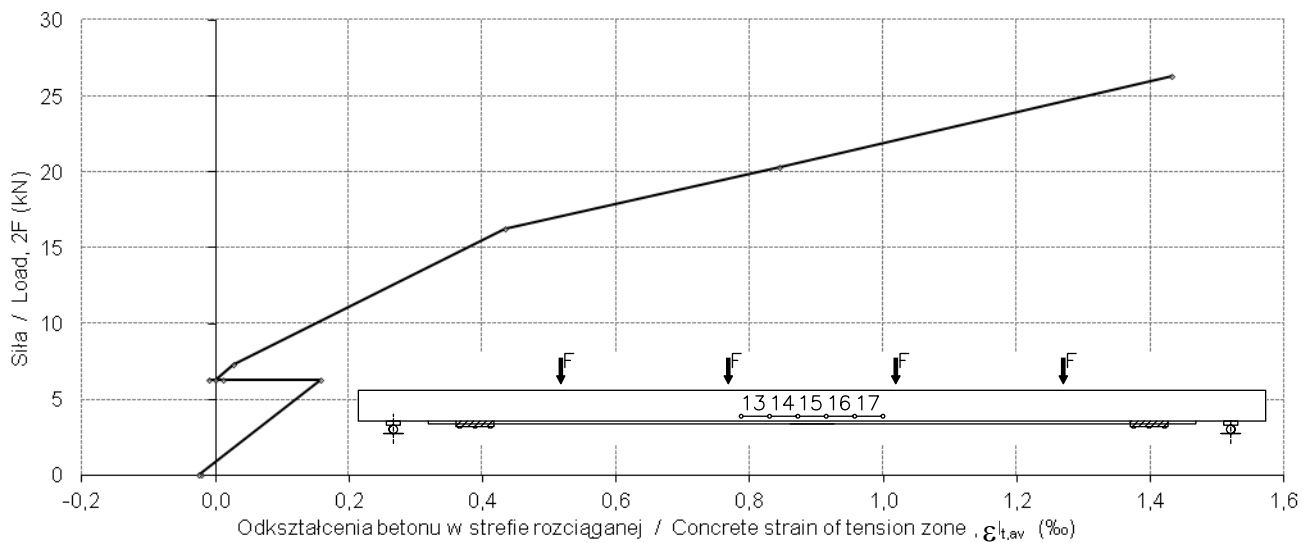
Tablica Z2.6 Odształcenia betonu, ϵ_t , ϵ_c (pomiar ręczny)

Table Z2.6 Concrete strain ϵ_t , ϵ_c (manual measurements)

Nr / No	Lokalizacja / Localization	Siła zewnętrzna / External load									
		Poza stanowiskiem na 3 podporach / Outside test set-up on 3 supports		Na stanowisku badawczym / Inside test set-up							
				Przed wzmocnieniem / Before strengthening		Po wzmocnieniu / After strengthening		Podczas badania / During the test			
		0 kN		6.3 kN		6.3 kN		6.3 kN	7.3 kN	16.3 kN	20.3 kN
Odształcenia betonu w strefie rozciąganej / Concrete strain in tension zone, ϵ_t (‰)											
1	5845	0.20	0.04	-0.05	-0.02	-0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02
2	5642	-0.24	-0.24	-0.32	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.06	0.10
3	5438	-0.07	-0.11	-0.16	-0.02	-0.02	0.00	0.01	0.05	0.08	0.13
4	5235	0.11	0.11	0.08	0.00	-0.01	0.00	0.01	0.04	0.06	0.08
5	5032	0.15	0.11	0.11	0.02	0.01	0.00	0.03	0.08	0.10	0.15
6	4829	0.11	0.10	0.09	0.00	-0.01	0.00	0.02	0.10	0.17	0.45
7	4626	0.09	0.08	0.09	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.09	0.15	0.48
8	4422	0.09	0.09	0.09	-0.01	-0.02	0.00	0.01	0.15	0.41	0.95
9	4219	-0.03	0.01	0.12	0.00	-0.01	0.00	0.02	0.17	0.32	0.69
10	4016	-0.01	0.03	0.34	0.01	0.01	0.00	0.04	0.39	0.76	1.31
11	3813	0.03	0.00	0.15	0.00	-0.01	0.00	0.03	0.57	0.73	1.23
12	3610	-0.14	-0.09	0.31	-0.01	-0.03	0.00	0.04	0.49	0.92	1.56
13	3406	0.02	0.01	0.10	0.01	0.00	0.00	0.02	0.40	0.86	1.53
14	3203	-0.04	-0.06	0.18	-0.01	-0.03	0.00	0.03	0.53	0.95	1.57
15	3000	-0.01	-0.01	0.15	0.07	-0.01	0.00	0.03	0.44	0.87	1.54
16	2797	-0.03	-0.03	0.16	0.00	0.00	0.00	0.03	0.43	0.85	1.48
17	2594	-0.05	-0.04	0.21	-0.01	-0.01	0.00	0.03	0.35	0.70	1.04
18	2390	-0.17	-0.11	0.34	-0.01	-0.01	0.00	0.04	0.43	0.70	1.44
19	2187	0.04	0.04	0.12	0.01	0.01	0.00	0.02	0.24	0.69	1.34
20	1984	-0.17	-0.11	0.31	-0.01	-0.01	0.00	0.03	0.51	0.96	1.61
21	1781	-0.06	-0.03	0.19	-0.02	0.00	0.00	0.02	0.22	0.39	0.73
22	1578	0.05	0.06	0.13	0.01	0.00	0.00	0.02	0.26	0.61	1.29
23	1374	0.08	0.12	0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07	0.09	0.35
24	1171	0.13	0.10	0.10	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.09	0.13	0.33
25	968	0.17	0.12	0.08	-0.02	-0.02	0.00	0.00	0.07	0.08	0.13
26	765	0.13	0.14	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.05
27	562	0.08	0.04	-0.01	-0.03	-0.03	0.00	0.00	0.03	0.05	0.10
28	358	-0.04	-0.04	-0.04	-0.03	-0.02	0.00	0.01	0.03	0.05	0.28
29	155	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
$\epsilon_{t,av}$ (‰)		-0.02	-0.03	0.16	0.01	-0.01	0.00	0.03	0.43	0.84	1.43

Pomiary odkształceń wykonywano przy użyciu ekstensometru nasadowego o bazie 8'.

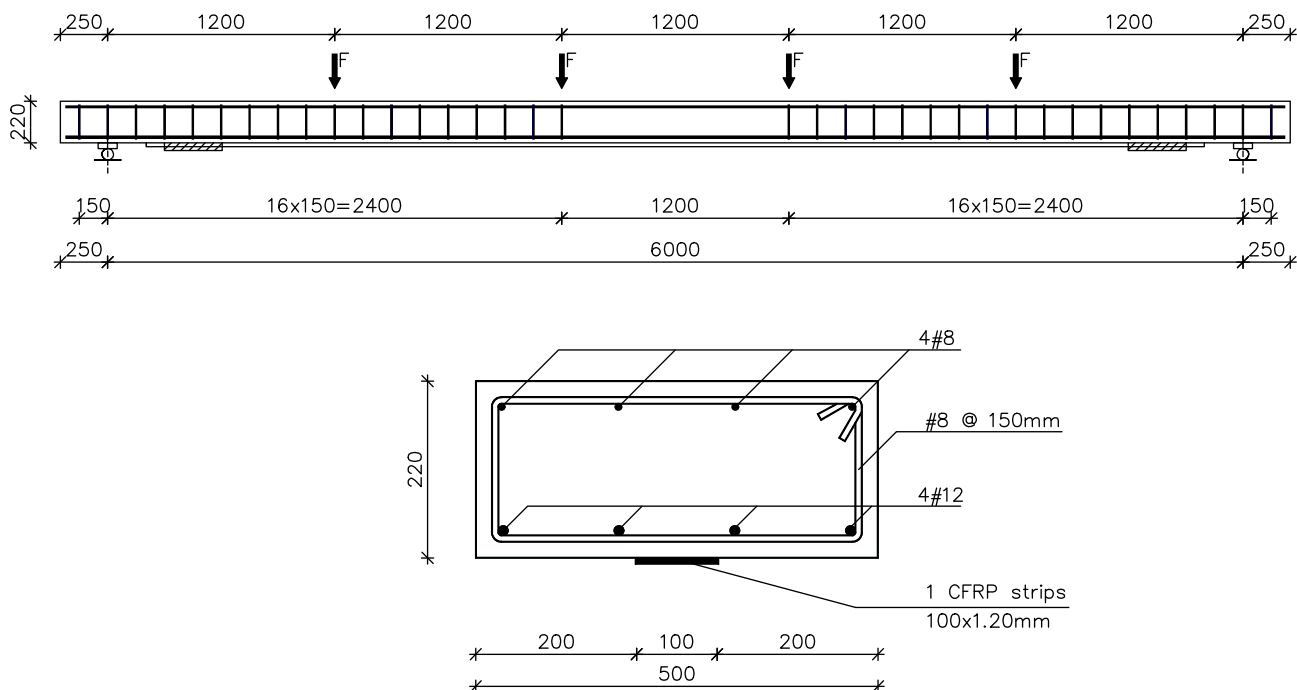
Concrete strain measurements measured by hand with dial strain gauges of 8' working range.



WYNIKI BADAŃ ELEMENTU TEST RESULTS OF MEMBER

B12-asp-e

Series B



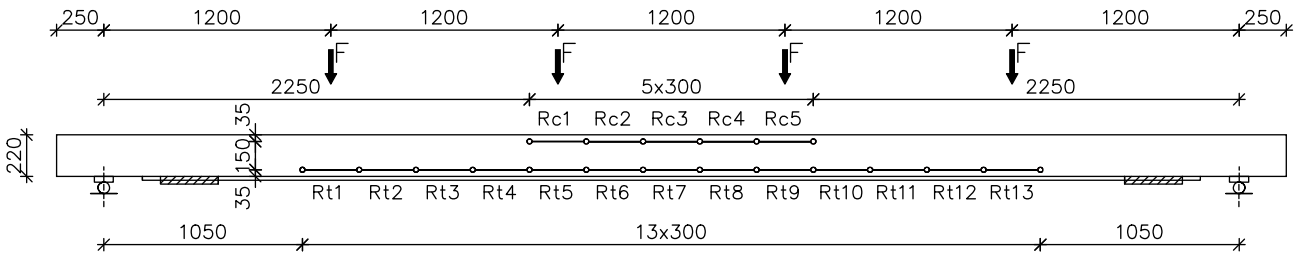
Tablica Z3.1 Zestawienie charakterystycznych parametrów dla elementu B12-asp-e
Table Z3.1 Summary of characteristic parameters for beam B12-asp-e

	Beton Concrete		Stal zbrojeniowa Steel reinforcement		CFRP		Siła Load	
		500 x 220mm ²		4 #12	4 #8	1x 100x1.2mm ²		2F _p
f _{c,cube}	46.7MPa	A _s	113.3mm ²	49.4mm ²	f _{fu}	2857MPa	2F _{u0}	26.0kN
f _{ct,split}	3.48MPa	f _y	539.6MPa	416.2MPa	ε _{fu}	16.8‰	$\frac{2F_p}{2F_{u0}}$	76%
f _c	40.9MPa	f _t	627.5MPa	734.1MPa	E _f	173.7Gpa	2F _u	49.0kN
E _c	25.4MPa	E _s	191.3GPa	186.1GPa	ε _{f,tot} (ε _{f,p} +ε _{f,test})	11.5‰ (4.75‰+6.85‰)	$\frac{2F_u}{2F_{u0}}$	188%

B12-asp-e

- a - taśma przyklejona / laminate bonded
- sp - stalowa płyta kotwiąca / anchorage steel plate
- e - wstępne obciążenie belki przed wzmocnieniem / preloading of the beam before its strengthening

B12-asp-e

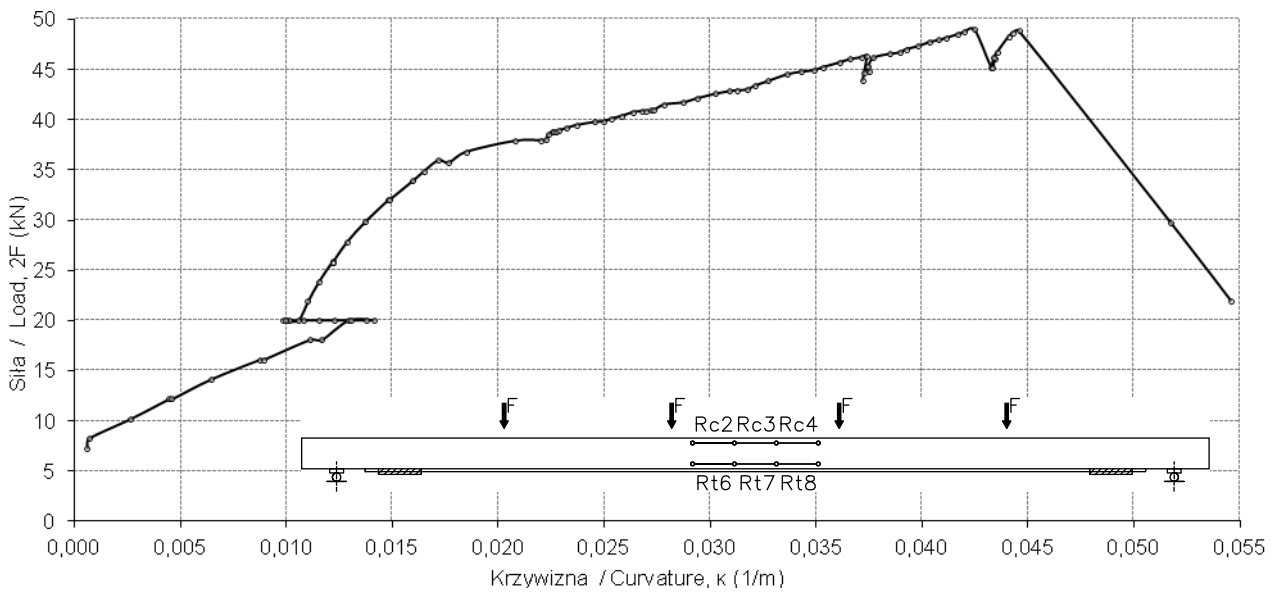
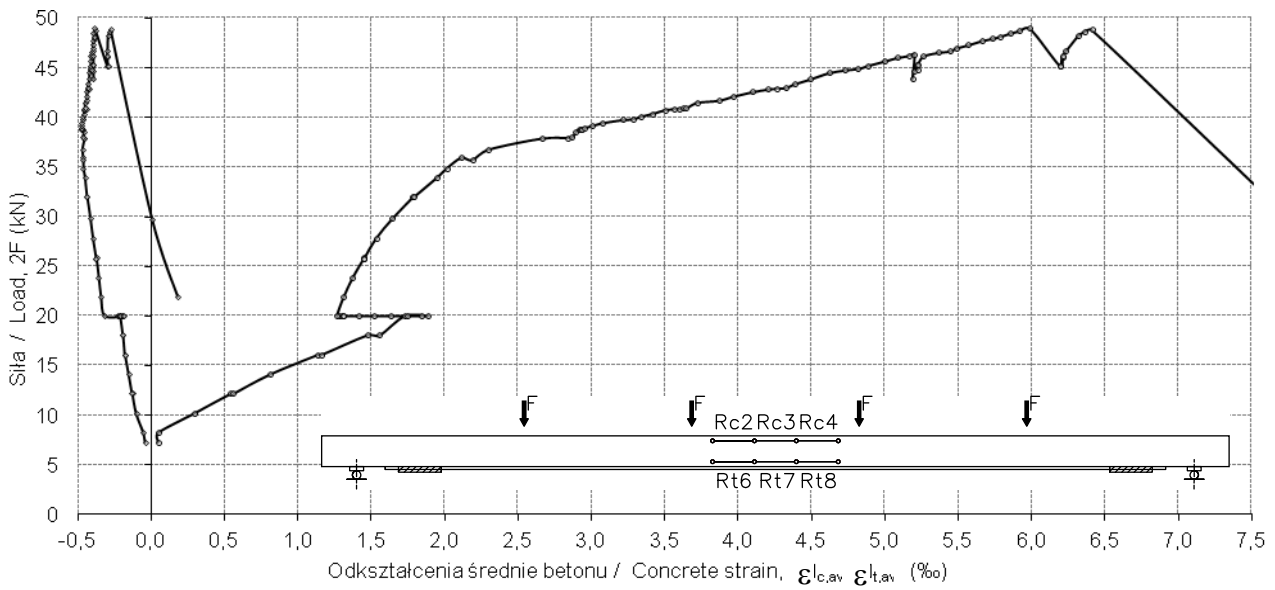


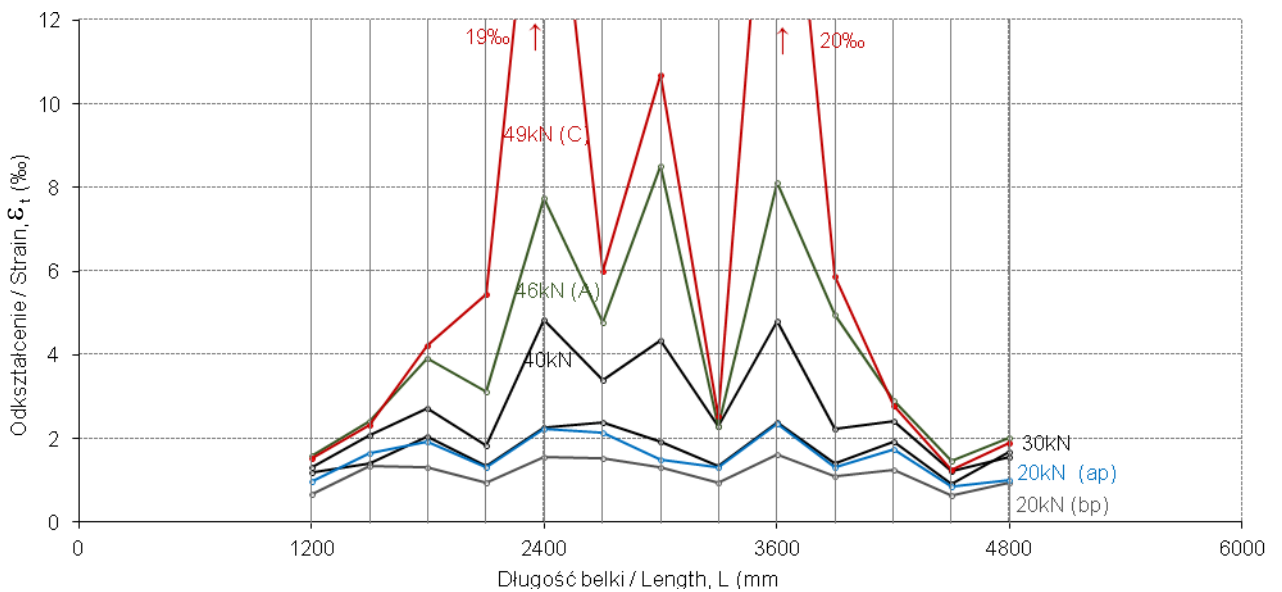
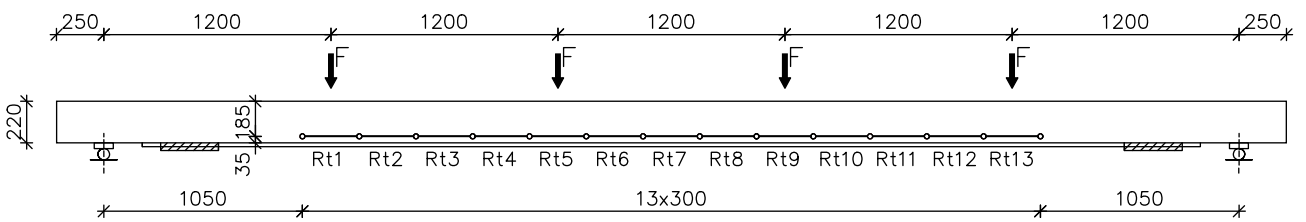
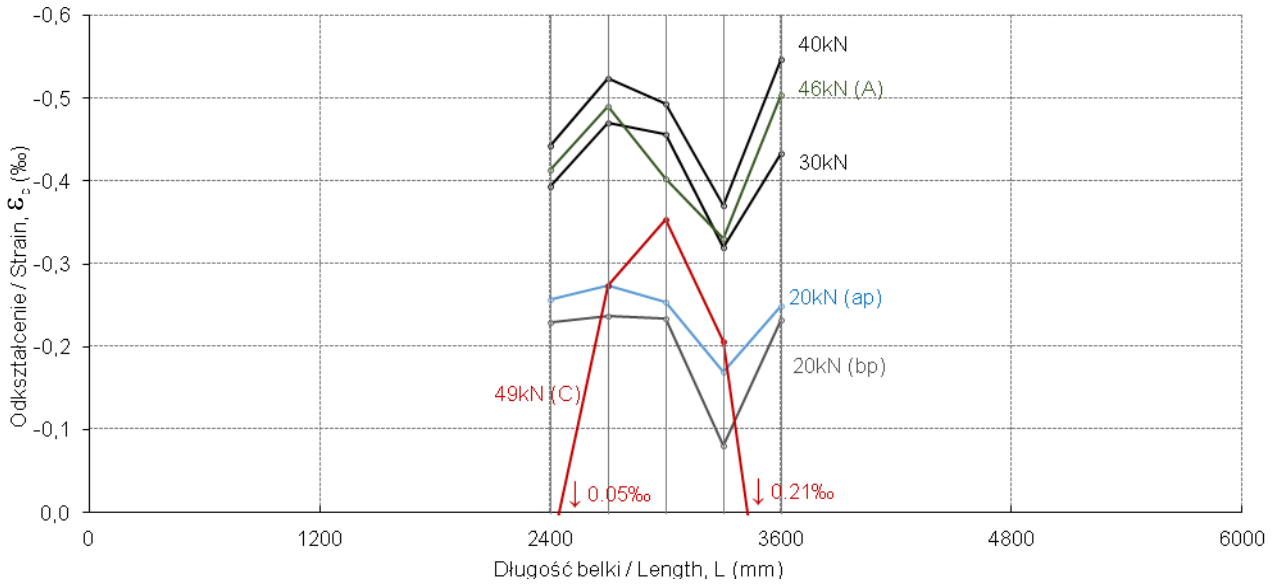
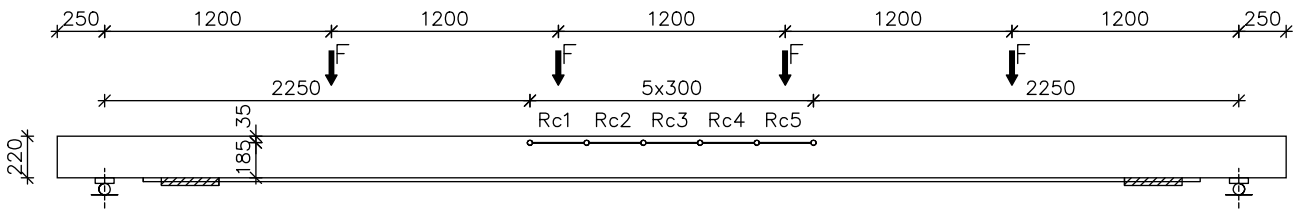
Tablica Z3.2 Odształcenia betonu, ϵ_c , ϵ_t (pomiar komputerowe)

Table Z3.2 Concrete strain, ϵ_c , ϵ_t (computer registered measurements)

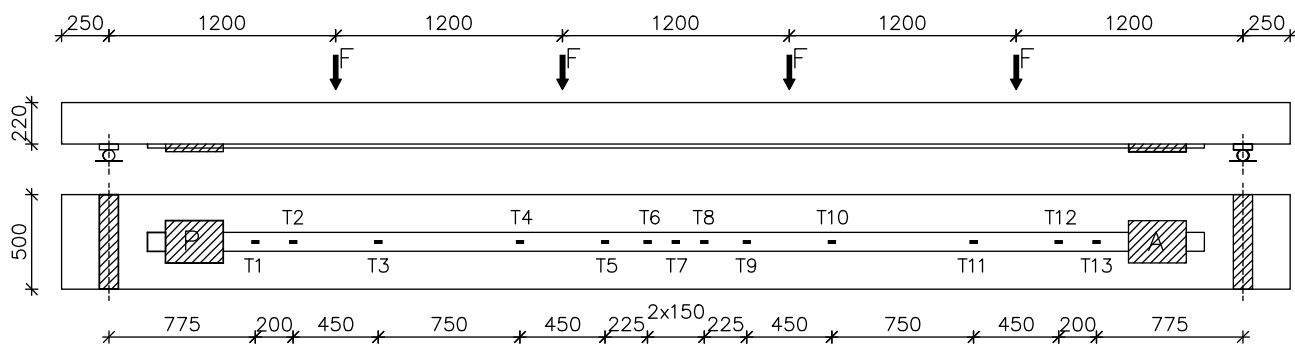
Siła / Load 2F kN	Odształcenia betonu / Concrete strain																			Krzywizna / Curvature κ 1/m	
	ϵ_c						ϵ_t														$\epsilon_{t,av}$
	R _{c1}	R _{c2}	R _{c3}	R _{c4}	R _{c5}	$\epsilon_{c,av}$	R _{t1}	R _{t2}	R _{t3}	R _{t4}	R _{t5}	R _{t6}	R _{t7}	R _{t8}	R _{t9}	R _{t10}	R _{t11}	R _{t12}	R _{t13}		
‰						‰													%		
7.3	-0.03	-0.04	-0.05	-0.04	-0.02	-0.04	0.02	0.03	0.09	0.04	0.13	0.09	0.02	0.03	0.13	0.07	0.14	0.01	-0.01	0.05	0.0006
8.3	-0.05	-0.04	-0.07	-0.06	-0.04	-0.05	0.04	0.07	0.17	0.07	0.30	0.05	0.04	0.05	0.24	0.13	0.19	0.03	-0.01	0.05	0.0007
10.2	-0.11	-0.08	-0.12	-0.11	-0.10	-0.10	0.16	0.26	0.58	0.24	0.76	0.32	0.32	0.24	0.65	0.41	0.53	0.17	0.00	0.29	0.0027
12.2	-0.13	-0.12	-0.15	-0.12	-0.13	-0.13	0.31	0.42	0.85	0.43	1.05	0.64	0.62	0.36	0.96	0.65	0.76	0.29	0.07	0.54	0.0045
12.2	-0.13	-0.12	-0.15	-0.12	-0.13	-0.13	0.33	0.44	0.89	0.44	1.07	0.67	0.63	0.37	0.99	0.67	0.78	0.31	0.11	0.56	0.0046
14.1	-0.17	-0.14	-0.18	-0.14	-0.16	-0.15	0.47	0.62	1.16	0.62	1.37	0.99	0.88	0.56	1.32	0.89	1.02	0.49	0.33	0.81	0.0064
16.1	-0.20	-0.18	-0.21	-0.15	-0.19	-0.18	0.72	0.84	1.53	0.88	1.65	1.39	1.15	0.87	1.77	1.15	1.38	0.68	0.71	1.13	0.0088
16.1	-0.20	-0.18	-0.21	-0.15	-0.19	-0.18	0.75	0.86	1.56	0.90	1.66	1.41	1.16	0.90	1.79	1.16	1.38	0.69	0.74	1.16	0.0089
18.1	-0.22	-0.20	-0.22	-0.15	-0.22	-0.19	0.89	0.99	1.76	1.06	1.89	1.65	1.67	1.09	2.04	1.19	1.56	0.79	0.95	1.47	0.0111
18.1	-0.22	-0.21	-0.22	-0.15	-0.22	-0.19	0.94	1.04	1.76	1.06	1.92	1.89	1.68	1.09	2.04	1.22	1.60	0.78	0.96	1.55	0.0117
20.0	-0.25	-0.23	-0.24	-0.17	-0.25	-0.21	1.08	1.21	1.97	1.30	2.23	2.18	1.72	1.29	2.36	1.32	1.82	0.89	1.21	1.73	0.0129
20.0	-0.26	-0.27	-0.25	-0.17	-0.25	-0.23	1.18	1.41	2.06	1.35	2.25	2.38	1.94	1.35	2.40	1.40	1.92	0.91	1.67	1.89	0.0141
20.0	-0.26	-0.25	-0.25	-0.17	-0.25	-0.22	1.14	1.41	1.97	1.32	2.15	2.32	1.90	1.31	2.32	1.41	1.84	0.88	1.63	1.84	0.0138
20.0	-0.26	-0.25	-0.25	-0.16	-0.25	-0.22	1.06	1.41	1.84	1.26	2.02	2.20	1.79	1.23	2.18	1.41	1.72	0.81	1.51	1.74	0.0131
20.0	-0.26	-0.24	-0.24	-0.15	-0.25	-0.21	0.98	1.41	1.70	1.18	1.88	2.07	1.66	1.15	2.03	1.36	1.60	0.75	1.39	1.63	0.0123
20.0	-0.26	-0.24	-0.24	-0.15	-0.25	-0.21	0.89	1.41	1.56	1.09	1.75	1.94	1.55	1.08	1.88	1.26	1.48	0.69	1.26	1.52	0.0115
20.0	-0.25	-0.24	-0.23	-0.14	-0.25	-0.20	0.80	1.41	1.42	1.00	1.62	1.82	1.43	1.00	1.74	1.16	1.35	0.63	1.13	1.41	0.0108
20.0	-0.25	-0.23	-0.23	-0.14	-0.25	-0.20	0.70	1.33	1.27	0.93	1.48	1.68	1.30	0.91	1.58	1.05	1.23	0.56	1.00	1.30	0.0100
20.0	-0.25	-0.23	-0.22	-0.13	-0.25	-0.20	0.68	1.31	1.24	0.91	1.45	1.66	1.28	0.90	1.56	1.03	1.21	0.55	0.98	1.28	0.0098
20.0	-0.25	-0.24	-0.24	-0.16	-0.25	-0.21	0.69	1.32	1.32	0.95	1.61	1.65	1.33	0.94	1.68	1.11	1.30	0.58	0.97	1.31	0.0101
20.0	-0.23	-0.24	-0.23	-0.08	-0.23	-0.18	0.71	1.36	1.31	0.95	1.59	1.63	1.34	0.95	1.65	1.11	1.27	0.58	1.03	1.31	0.0099
20.0	-0.29	-0.37	-0.36	-0.22	-0.32	-0.32	0.68	1.35	1.33	0.94	1.57	1.53	1.32	0.95	1.62	1.11	1.25	0.64	0.95	1.27	0.0105
21.9	-0.31	-0.39	-0.38	-0.26	-0.34	-0.34	0.73	1.38	1.44	0.98	1.71	1.59	1.35	0.98	1.76	1.16	1.34	0.67	0.95	1.31	0.0110
23.9	-0.33	-0.41	-0.40	-0.27	-0.36	-0.36	0.78	1.44	1.55	1.05	1.83	1.71	1.36	1.05	1.89	1.24	1.43	0.71	0.98	1.37	0.0115
25.9	-0.35	-0.43	-0.41	-0.29	-0.38	-0.37	0.84	1.50	1.66	1.13	1.96	1.84	1.38	1.14	2.04	1.29	1.53	0.75	0.98	1.45	0.0122
25.8	-0.35	-0.43	-0.41	-0.29	-0.38	-0.38	0.84	1.50	1.67	1.13	1.96	1.83	1.38	1.14	2.05	1.29	1.53	0.75	0.98	1.45	0.0122
25.8	-0.35	-0.43	-0.41	-0.29	-0.38	-0.38	0.84	1.50	1.67	1.13	1.96	1.83	1.38	1.14	2.05	1.29	1.54	0.75	0.98	1.45	0.0122
27.9	-0.37	-0.45	-0.43	-0.31	-0.41	-0.40	0.94	1.57	1.80	1.23	2.09	1.97	1.40	1.22	2.20	1.30	1.65	0.80	0.99	1.53	0.0129
29.9	-0.39	-0.47	-0.46	-0.32	-0.43	-0.42	0.97	1.64	1.91	1.31	2.22	2.13	1.48	1.32	2.36	1.33	1.75	0.85	0.99	1.64	0.0137
32.0	-0.42	-0.49	-0.48	-0.34	-0.46	-0.44	1.04	1.71	2.07	1.41	2.37	2.30	1.63	1.42	2.55	1.38	1.88	0.92	1.08	1.78	0.0148
32.0	-0.42	-0.49	-0.48	-0.35	-0.46	-0.44	1.05	1.72	2.07	1.41	2.38	2.31	1.63	1.43	2.56	1.38	1.89	0.92	1.09	1.79	0.0148
33.9	-0.44	-0.50	-0.49	-0.36	-0.48	-0.45	1.10	1.80	2.21	1.53	2.57	2.48	1.82	1.53	2.76	1.45	2.02	0.99	1.18	1.94	0.0160
34.9	-0.45	-0.51	-0.50	-0.37	-0.50	-0.46	1.12	1.85	2.30	1.59	2.72	2.48	1.96	1.59	2.92	1.52	2.09	1.03	1.24	2.01	0.0165
36.0	-0.46	-0.51	-0.50	-0.38	-0.51	-0.46	1.15	1.88	2.37	1.64	2.93	2.52	2.18	1.64	3.08	1.59	2.15	1.06	1.30	2.11	0.0172
35.8	-0.45	-0.51	-0.50	-0.37	-0.52	-0.46	1.16	1.90	2.39	1.65	3.07	2.60	2.32	1.64	3.17	1.62	2.17	1.07	1.35	2.19	0.0177
36.8	-0.46	-0.51	-0.51	-0.38	-0.52	-0.47	1.19	1.92	2.46	1.69	3.21	2.74	2.50	1.66	3.31	1.67	2.22	1.09	1.37	2.30	0.0185
37.9	-0.46	-0.51	-0.50	-0.36	-0.54	-0.46	1.22	1.97	2.54	1.74	3.81	2.98	3.06	1.93	3.93	1.77	2.28	1.13	1.42	2.66	0.0208
38.0	-0.43	-0.51	-0.50	-0.36	-0.54	-0.46	1.23	2.00	2.58	1.76	4.10	3.11	3.38	2.03	4.20	1.82	2.31	1.15	1.45	2.84	0.0220
38.0	-0.44	-0.53	-0.50	-0.38	-0.54	-0.47	1.25	2.01	2.59	1.77	4.16	3.12	3.44	2.04	4.24	1.84	2.32	1.15	1.47	2.87	0.0222
38.5	-0.45	-0.52	-0.49	-0.37	-0.54	-0.46	1.26	2.02	2.61	1.78	4.19	3.15	3.47	2.06	4.52	1.87	2.34	1.16	1.49	2.89	0.0223
38.8	-0.44	-0.53	-0.50	-0.38	-0.55	-0.47	1.26	2.03	2.63	1.80	4.20	3.17	3.49	2.08	4.29	1.88	2.35	1.17	1.50	2.91	0.0225
38.8	-0.46	-0.53	-0.51	-0.38	-0.54	-0.47	1.27	2.03	2.64	1.81	4.24	3.18	3.50	2.08	4.31	1.89	2.36	1.17	1.50	2.92	0.0226
38.8	-0.45	-0.52	-0.50	-0.39	-0.55	-0.47	1.27	2.03	2.64	1.81	4.26	3.19	3.53	2.09	4.32	1.89	2.36	1.17	1.51	2.94	0.0227

B12-asp-e





B12-asp-e



Tablica Z3.3 Odkształcenia taśmy CFRP, ϵ_f

Table Z3.3 CFRP strain, ϵ_f

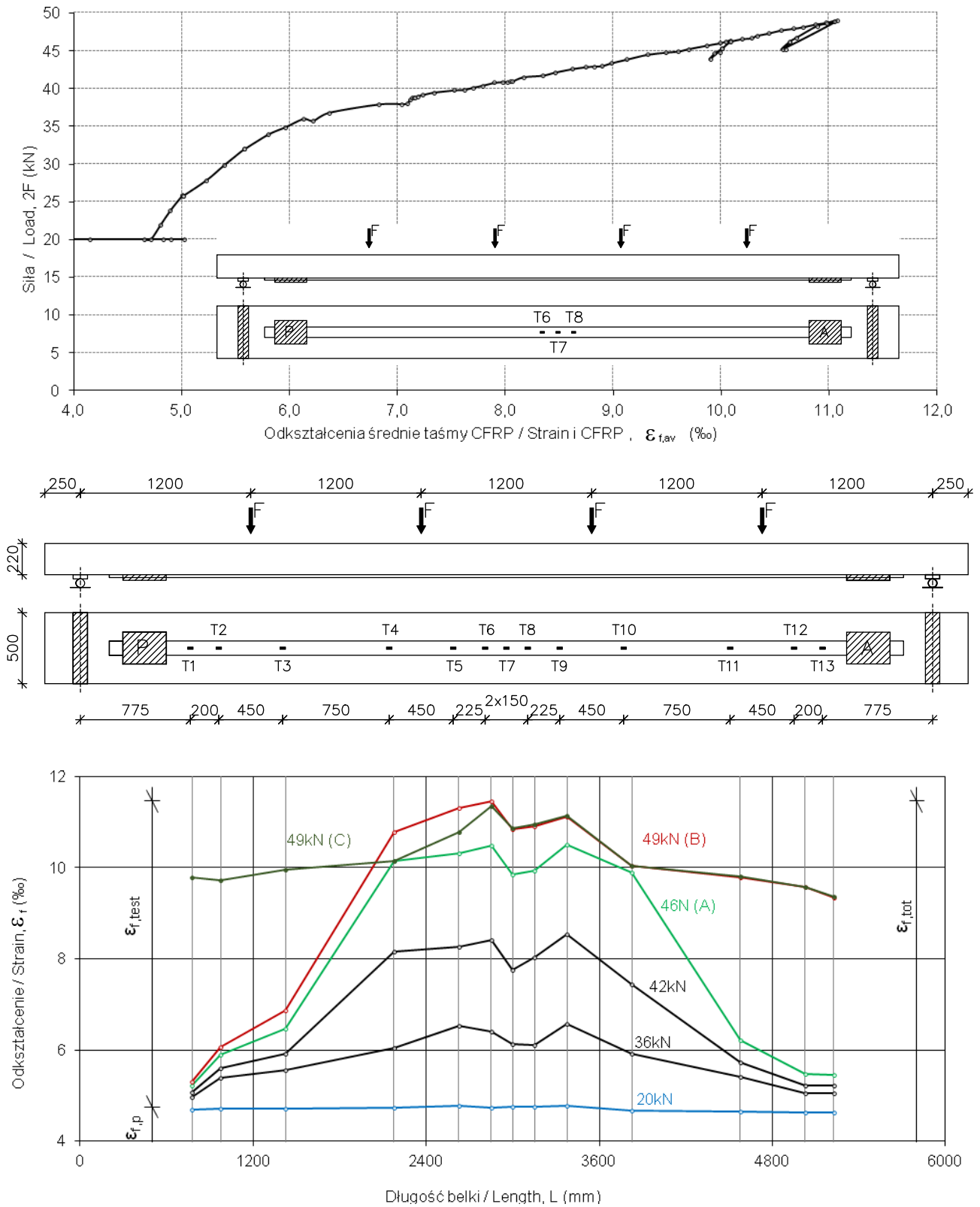
Siła / Load 2F kN	Odkształcenia taśmy CFRP / CFRP strain ϵ_f													T _M	
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T08	T09	T10	T11	T12	T13		
	‰														
6.3		0.0					0.0					0.0			0.0
20.0		0.00					0.00					0.00			0.0
20.0		0.85					0.79					0.87			0.8
20.0		1.78					1.71					1.79			1.8
20.0		2.64					2.57					2.65			2.6
20.0		3.43					3.35					3.43			3.4
20.0		4.18					4.09					4.17			4.1
20.0		4.94					4.86					4.91			4.9
20.0		5.07					4.98					5.03			5.0
20.0		4.88					4.82					4.80			4.8
20.0		4.67					4.68					4.61			4.7
20.0	4.69	4.71	4.72	4.73	4.76	4.72	4.75	4.75	4.78	4.67	4.64	4.63	4.62		4.7
21.9	4.71	4.78	4.80	4.83	4.92	4.83	4.84	4.83	4.95	4.75	4.69	4.67	4.64		4.8
23.9	4.75	4.85	4.87	4.93	5.08	4.95	4.94	4.94	5.16	4.81	4.77	4.71	4.67		4.9
25.9	4.78	4.94	4.96	5.07	5.25	5.08	5.07	5.07	5.39	4.91	4.83	4.76	4.73		5.0
25.8	4.78	4.94	4.96	5.08	5.25	5.09	5.07	5.07	5.39	4.93	4.84	4.77	4.73		5.0
25.8	4.78	4.94	4.97	5.08	5.25	5.09	5.07	5.08	5.40	4.93	4.85	4.77	4.73		5.0
27.9	4.81	5.01	5.04	5.22	5.42	5.29	5.21	5.19	5.63	5.08	4.93	4.82	4.78		5.2
29.9	4.85	5.10	5.13	5.37	5.63	5.49	5.35	5.34	5.84	5.24	5.00	4.87	4.83		5.4
32.0	4.89	5.18	5.25	5.56	5.83	5.70	5.53	5.51	6.05	5.43	5.10	4.92	4.91		5.6
32.0	4.89	5.18	5.25	5.57	5.83	5.70	5.53	5.52	6.06	5.43	5.10	4.92	4.91		5.6
33.9	4.92	5.28	5.36	5.76	6.06	5.95	5.75	5.70	6.26	5.62	5.22	4.98	4.97		5.8
34.9	4.94	5.32	5.43	5.89	6.22	6.12	5.91	5.86	6.40	5.75	5.30	5.01	5.01		6.0
36.0	4.96	5.37	5.52	6.00	6.42	6.31	6.05	6.01	6.54	5.84	5.36	5.04	5.05		6.1
35.8	4.96	5.38	5.56	6.05	6.54	6.41	6.14	6.11	6.57	5.92	5.40	5.05	5.06		6.2
36.8	4.98	5.42	5.60	6.13	6.70	6.56	6.28	6.25	6.70	6.00	5.45	5.07	5.08		6.4
37.9	5.00	5.45	5.68	6.36	7.14	6.91	6.73	6.84	7.17	6.30	5.54	5.11	5.11		6.8
38.0	5.01	5.46	5.72	6.66	7.33	7.15	6.90	7.05	7.42	6.50	5.53	5.12	5.12		7.0
38.0	5.02	5.47	5.74	6.76	7.37	7.21	6.95	7.11	7.45	6.54	5.56	5.13	5.13		7.1
38.5	5.03	5.49	5.76	6.79	7.40	7.25	6.97	7.13	7.49	6.56	5.58	5.14	5.15		7.1
38.8	5.02	5.50	5.77	6.80	7.43	7.28	6.99	7.14	7.52	6.58	5.60	5.15	5.15		7.1
38.8	5.03	5.50	5.77	6.83	7.44	7.30	7.00	7.16	7.54	6.58	5.60	5.15	5.15		7.2
38.8	5.03	5.50	5.77	6.88	7.46	7.31	7.01	7.16	7.59	6.59	5.59	5.15	5.16		7.2
39.0	5.03	5.50	5.78	6.95	7.48	7.34	7.03	7.19	7.67	6.60	5.60	5.15	5.16		7.2
39.2	5.04	5.51	5.80	7.07	7.53	7.40	7.07	7.23	7.76	6.64	5.61	5.15	5.17		7.2
39.5	5.04	5.53	5.81	7.22	7.63	7.55	7.15	7.31	7.90	6.70	5.63	5.16	5.18		7.3
39.8	5.04	5.54	5.83	7.40	7.75	7.82	7.30	7.47	8.06	6.83	5.65	5.17	5.19		7.5
39.9	5.04	5.54	5.84	7.53	7.82	7.93	7.37	7.58	8.14	6.91	5.65	5.17	5.19		7.6
40.1	5.05	5.56	5.86	7.65	7.89	8.02	7.42	7.66	8.20	6.98	5.66	5.18	5.20		7.7
40.4	5.05	5.57	5.86	7.82	7.97	8.11	7.50	7.76	8.30	7.11	5.68	5.18	5.21		7.8
40.8	5.06	5.58	5.89	7.96	8.08	8.23	7.60	7.87	8.40	7.25	5.69	5.20	5.22		7.9

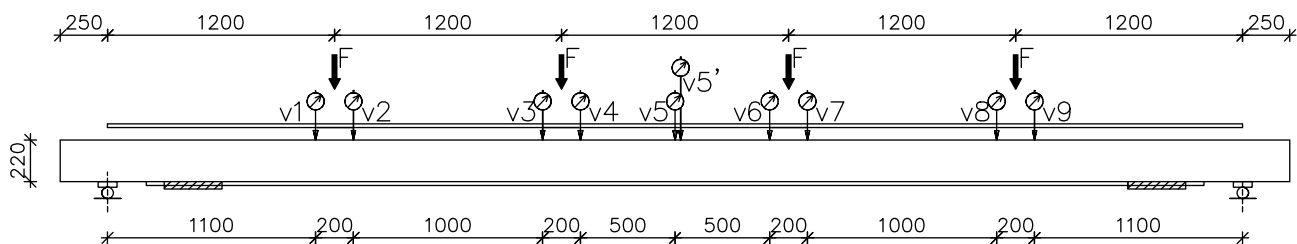
40.9	5.06	5.59	5.90	8.05	8.16	8.31	7.67	7.95	8.47	7.32	5.71	5.20	5.22	8.0
40.9	5.06	5.59	5.90	8.11	8.20	8.36	7.71	7.99	8.50	7.38	5.71	5.20	5.22	8.0
40.9	5.07	5.59	5.91	8.14	8.23	8.39	7.74	8.01	8.53	7.42	5.72	5.21	5.23	8.0
40.9	5.07	5.60	5.91	8.17	8.26	8.41	7.76	8.02	8.55	7.44	5.72	5.21	5.22	8.1
41.5	5.07	5.62	5.95	8.28	8.36	8.51	7.86	8.13	8.65	7.54	5.76	5.23	5.24	8.2
41.7	5.08	5.64	5.99	8.48	8.55	8.71	8.03	8.30	8.83	7.77	5.80	5.25	5.25	8.3
42.2	5.09	5.66	6.01	8.62	8.68	8.84	8.16	8.39	8.95	7.99	5.81	5.27	5.26	8.5
42.6	5.09	5.68	6.04	8.83	8.84	9.02	8.33	8.51	9.11	8.26	5.85	5.28	5.28	8.6
42.9	5.10	5.70	6.07	8.90	8.96	9.15	8.46	8.61	9.23	8.43	5.87	5.29	5.30	8.7
43.0	5.11	5.71	6.09	8.99	9.05	9.23	8.56	8.68	9.32	8.55	5.89	5.30	5.31	8.8
43.0	5.11	5.71	6.12	9.05	9.12	9.30	8.64	8.75	9.39	8.66	5.91	5.31	5.31	8.9
43.4	5.13	5.73	6.15	9.14	9.21	9.39	8.74	8.83	9.48	8.77	5.94	5.32	5.32	9.0
43.9	5.14	5.75	6.17	9.27	9.34	9.53	8.88	8.96	9.63	9.02	5.96	5.34	5.34	9.1
44.5	5.15	5.77	6.23	9.44	9.53	9.73	9.07	9.16	9.81	9.22	6.00	5.36	5.35	9.3
44.8	5.17	5.80	6.28	9.60	9.68	9.90	9.24	9.33	9.95	9.35	6.04	5.39	5.37	9.5
45.0	5.17	5.82	6.31	9.68	9.79	10.00	9.37	9.44	10.05	9.43	6.07	5.40	5.38	9.6
45.3	5.19	5.83	6.34	9.76	9.89	10.10	9.47	9.52	10.12	9.51	6.10	5.42	5.39	9.7
45.7	5.19	5.86	6.40	9.94	10.06	10.27	9.62	9.70	10.27	9.67	6.13	5.44	5.41	9.9
46.1	5.20	5.87	6.44	10.05	10.20	10.40	9.75	9.82	10.39	9.86	6.16	5.45	5.42	10.0
46.3	5.21	5.89	6.46	10.09	10.26	10.45	9.80	9.88	10.46	9.88	6.18	5.46	5.43	10.0
46.4	5.21	5.89	6.47	10.15	10.31	10.50	9.85	9.93	10.51	9.89	6.21	5.47	5.44	10.1
44.0	5.18	5.83	6.37	9.95	10.11	10.29	9.67	9.74	10.05	8.33	7.97	7.81	7.47	9.9
44.6	5.18	5.84	6.39	9.99	10.17	10.34	9.71	9.77	10.03	8.61	8.32	8.17	7.88	9.9
45.3	5.20	5.87	6.43	10.04	10.24	10.42	9.78	9.83	10.14	8.87	8.58	8.42	8.14	10.0
44.8	5.19	5.86	6.42	10.02	10.22	10.39	9.77	9.82	10.12	8.88	8.60	8.44	8.17	10.0
45.3	5.20	5.87	6.43	10.03	10.24	10.42	9.78	9.84	10.15	8.89	8.61	8.46	8.18	10.0
46.2	5.21	5.89	6.47	10.09	10.32	10.49	9.84	9.92	10.28	9.05	8.79	8.63	8.36	10.1
46.6	5.22	5.91	6.51	10.18	10.43	10.60	9.96	10.03	10.44	9.24	9.01	8.84	8.59	10.2
46.7	5.22	5.92	6.54	10.27	10.52	10.68	10.05	10.11	10.49	9.35	9.13	8.95	8.71	10.3
47.0	5.23	5.94	6.56	10.31	10.57	10.74	10.09	10.17	10.52	9.42	9.18	9.01	8.76	10.3
47.3	5.24	5.96	6.59	10.40	10.67	10.85	10.20	10.26	10.62	9.50	9.26	9.10	8.85	10.4
47.8	5.24	5.98	6.63	10.50	10.80	10.98	10.31	10.38	10.71	9.61	9.36	9.17	8.93	10.6
48.0	5.26	6.00	6.67	10.60	10.91	11.08	10.43	10.51	10.81	9.69	9.46	9.27	9.02	10.7
48.2	5.26	6.01	6.71	10.66	11.01	11.17	10.52	10.60	10.87	9.77	9.52	9.33	9.08	10.8
48.5	5.28	6.03	6.76	10.75	11.12	11.28	10.63	10.70	10.97	9.85	9.62	9.43	9.17	10.9
48.7	5.29	6.04	6.81	10.81	11.23	11.38	10.74	10.81	11.06	9.95	9.71	9.51	9.26	11.0
49.0	5.30	6.06	6.86	10.78	11.32	11.46	10.85	10.91	11.13	10.04	9.79	9.59	9.34	11.1
45.3	8.88	8.78	8.95	9.13	9.71	10.67	10.44	10.60	10.83	9.77	9.58	9.41	9.19	10.6
46.2	9.06	8.97	9.14	9.32	9.88	10.74	10.51	10.65	10.88	9.82	9.62	9.43	9.20	10.6
45.3	9.08	8.98	9.16	9.32	9.88	10.71	10.47	10.61	10.84	9.78	9.59	9.41	9.19	10.6
46.2	9.12	9.01	9.20	9.37	9.93	10.76	10.51	10.65	10.88	9.82	9.62	9.41	9.20	10.6
46.7	9.25	9.14	9.34	9.49	10.06	10.83	10.56	10.69	10.93	9.87	9.64	9.44	9.22	10.7
48.3	9.69	9.58	9.80	9.96	10.56	11.11	10.73	10.83	11.05	9.98	9.74	9.52	9.32	10.9
48.7	9.80	9.70	9.93	10.10	10.70	11.23	10.81	10.89	11.09	10.02	9.78	9.56	9.34	11.0
48.9	9.80	9.72	9.97	10.15	10.78	11.35	10.87	10.95	11.14	10.05	9.81	9.59	9.37	11.1

Pomiary odkształceń wykonywano tensometrami elektrooporowymi TFs-5 o bazie 5mm.
CFRP strain were measured with electric resistance gauges TFs-5 with range of 5mm.

P - oznaczenie strony pasywnej zakotwienia / the names of the passive side of anchorage system
A - oznaczenie strony aktywnej zakotwienia / the names of the passive side of anchorage system

B12-asp-e





Tablica Z3.4 Przemieszczenia pionowe belki, v

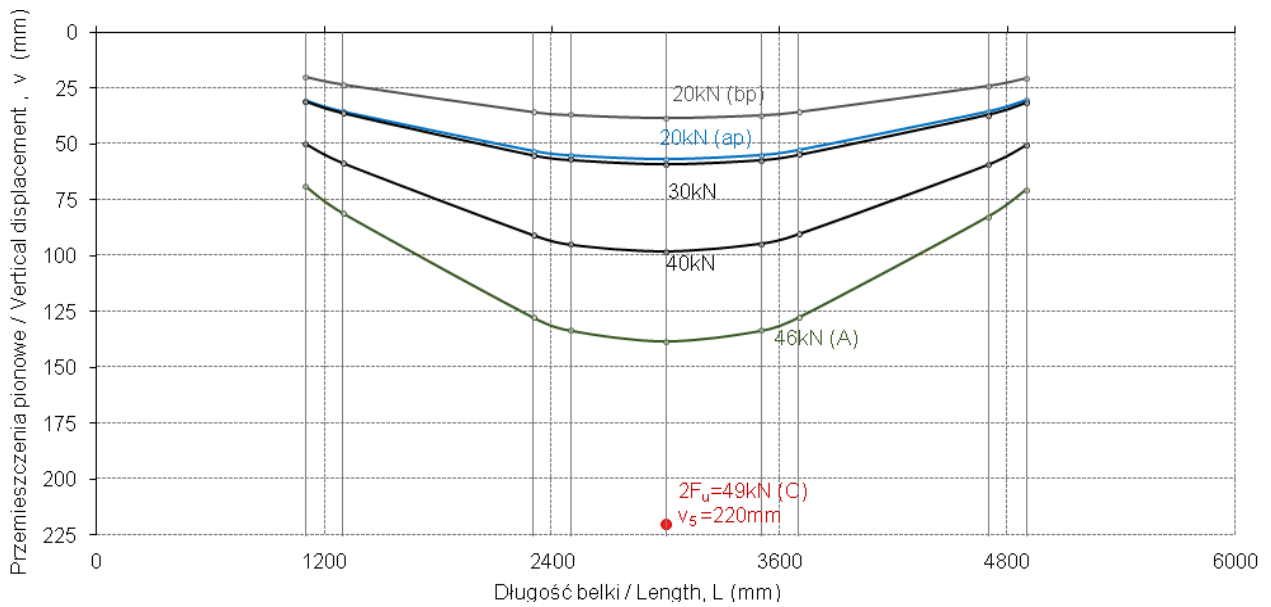
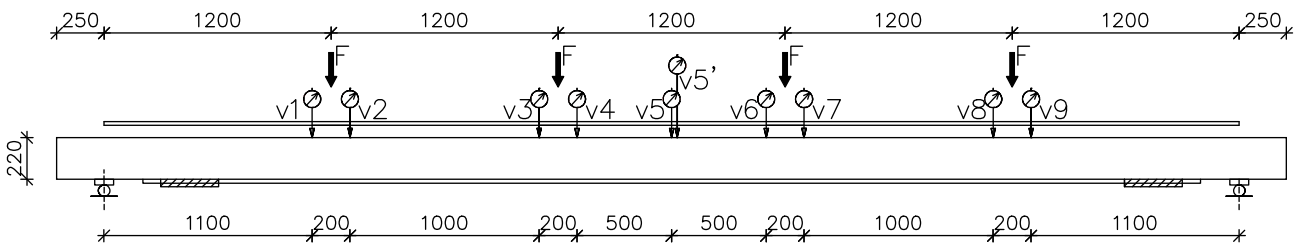
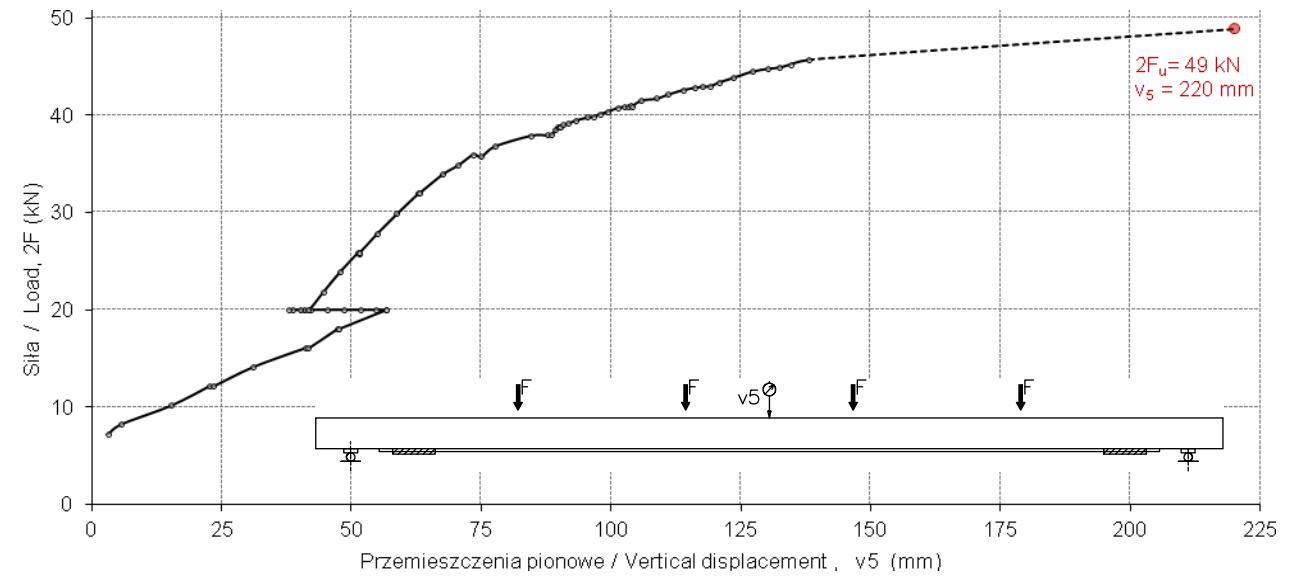
Table Z3.4 Vertical displacement, v

Siła / Load 2F kN	Przemieszczenia pionowe / Vertical displacement v (mm)												
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅	v ₆	v ₇	v ₈	v ₉	v _{av,1-2}	v _{av,3-4}	v _{av,6-7}	v _{av,8-9}
7.3	1.6	1.8	2.9	3.0	3.1	3.0	2.9	1.9	1.6	1.7	3.0	3.0	1.7
8.3	2.8	3.3	5.2	5.4	5.5	5.3	5.1	3.2	2.7	3.0	5.3	5.2	3.0
10.2	7.9	9.3	14.4	15.0	15.4	14.7	14.1	9.0	7.7	8.6	14.7	14.4	8.3
12.2	11.8	13.8	21.1	22.0	22.6	21.8	20.9	13.6	11.6	12.8	21.5	21.4	12.6
12.2	12.3	14.3	21.8	22.7	23.4	22.5	21.6	14.1	12.0	13.3	22.3	22.1	13.1
14.1	16.4	19.0	28.9	30.1	31.0	29.9	28.6	18.8	16.1	17.7	29.5	29.3	17.5
16.1	21.8	25.5	38.4	39.9	41.1	39.7	38.1	25.4	21.6	23.7	39.1	38.9	23.5
16.1	22.2	26.0	39.0	40.5	41.8	40.4	38.7	25.8	22.0	24.1	39.8	39.5	23.9
18.1	25.3	29.5	44.2	45.9	47.3	45.7	43.8	29.3	25.2	27.4	45.0	44.8	27.3
18.1	25.5	29.6	44.4	46.1	47.5	46.0	44.1	29.5	25.3	27.6	45.3	45.0	27.4
20.0	29.4	34.1	54.5	56.0	56.7	56.4	54.5	34.0	29.2	31.7	55.2	55.5	31.6
20.0	30.6	35.5	53.0	55.0	56.7	54.9	52.7	35.4	30.4	33.0	54.0	53.8	32.9
20.0	29.5	34.3	51.1	53.1	54.8	53.0	50.8	34.2	29.4	31.9	52.1	51.9	31.8
20.0	27.8	32.3	48.3	50.1	51.7	50.1	48.0	32.4	27.8	30.1	49.2	49.0	30.1
20.0	26.1	30.3	45.3	47.0	48.5	46.9	45.0	30.4	26.2	28.2	46.1	46.0	28.3
20.0	24.2	28.2	42.2	43.8	45.3	43.8	42.1	28.5	24.4	26.2	43.0	42.9	26.4
20.0	22.3	26.1	39.2	40.7	42.0	40.7	39.1	26.5	22.7	24.2	39.9	39.9	24.6
20.0	20.4	23.8	36.0	37.4	38.7	37.5	36.0	24.3	21.0	22.1	36.7	36.7	22.7
20.0	20.1	23.4	35.4	36.8	38.0	36.9	35.4	24.0	20.7	21.7	36.1	36.1	22.3
20.0	21.6	25.3	38.0	39.5	40.8	39.5	37.9	25.6	22.0	23.4	38.7	38.7	23.8
20.0	21.2	24.9	37.4	38.8	40.0	38.8	37.2	25.1	21.5	23.0	38.1	38.0	23.3
20.0	22.0	25.7	38.9	40.5	41.7	40.5	38.8	26.3	22.6	23.9	39.7	39.7	24.5
21.9	23.4	27.5	41.5	43.2	44.6	43.3	41.5	28.2	24.1	25.4	42.4	42.4	26.1
23.9	25.1	29.4	44.5	46.3	47.7	46.3	44.4	30.1	25.8	27.2	45.4	45.4	27.9
25.9	27.0	31.6	47.8	49.7	51.2	49.7	47.6	32.2	27.6	29.3	48.7	48.7	29.9
25.8	27.1	31.7	47.9	49.9	51.4	49.9	47.8	32.3	27.7	29.4	48.9	48.8	30.0
25.8	27.1	31.7	48.0	49.9	51.4	49.9	47.8	32.3	27.7	29.4	48.9	48.9	30.0
27.9	29.0	33.9	51.3	53.3	55.0	53.3	51.1	34.5	29.6	31.4	52.3	52.2	32.0
29.9	31.0	36.2	54.8	56.9	58.7	56.9	54.6	36.8	31.6	33.6	55.8	55.8	34.2
32.0	33.2	38.8	58.8	61.0	62.9	61.1	58.6	39.4	33.8	36.0	59.9	59.8	36.6
32.0	33.3	38.9	58.8	61.1	63.1	61.1	58.6	39.5	33.9	36.1	60.0	59.9	36.7
33.9	35.6	41.6	63.0	65.4	67.5	65.4	62.8	42.2	36.2	38.6	64.2	64.1	39.2
34.9	37.2	43.4	65.8	68.4	70.6	68.4	65.6	44.0	37.8	40.3	67.1	67.0	40.9
36.0	38.6	45.1	68.5	71.2	73.5	71.1	68.2	45.6	39.2	41.8	69.8	69.7	42.4
35.8	39.4	46.0	69.9	72.7	75.0	72.6	69.6	46.5	39.9	42.7	71.3	71.1	43.2
36.8	40.6	47.5	72.3	75.2	77.6	75.1	71.9	48.0	41.2	44.0	73.7	73.5	44.6
37.9	43.7	51.2	78.4	81.7	84.5	81.7	78.2	51.9	44.3	47.4	80.1	79.9	48.1
38.0	45.1	53.0	81.3	85.1	87.6	84.7	81.0	53.6	45.8	49.0	83.2	82.8	49.7
38.0	45.6	53.5	82.1	86.0	88.6	85.6	81.8	54.1	46.2	49.5	84.1	83.7	50.2
38.5	46.0	54.0	82.8	86.8	89.3	86.3	82.5	54.6	46.6	50.0	84.8	84.4	50.6
38.8	46.2	54.3	83.3	87.2	89.8	86.8	83.0	54.9	46.9	50.3	85.3	84.9	50.9
38.8	46.3	54.4	83.5	87.5	90.1	87.0	83.2	55.0	47.0	50.4	85.5	85.1	51.0
38.8	46.5	54.5	83.7	87.7	90.3	87.3	83.4	55.1	47.1	50.5	85.7	85.3	51.1
39.0	46.7	54.8	84.2	88.2	90.8	87.7	83.9	55.4	47.3	50.8	86.2	85.8	51.4

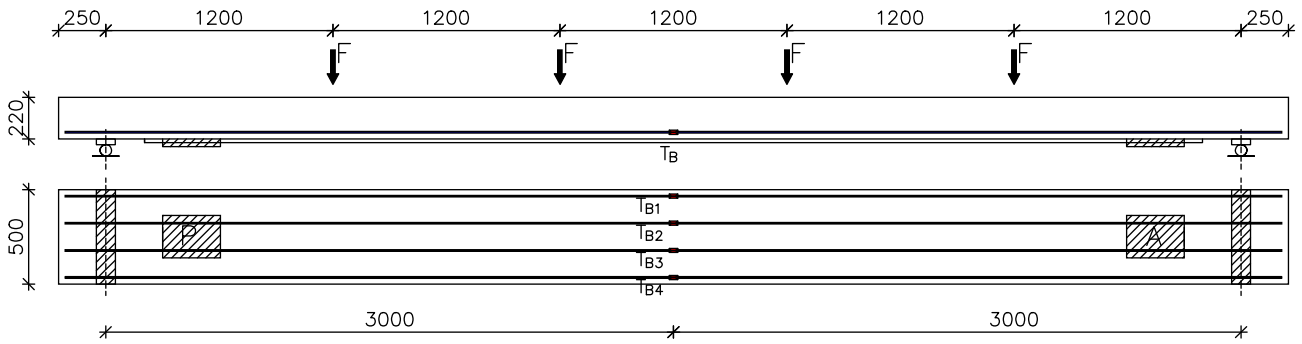
B12-asp-e

39.2	47.1	55.3	85.0	89.0	91.6	88.5	84.6	55.9	47.7	51.2	87.0	86.5	51.8
39.5	47.9	56.2	86.5	90.6	93.2	90.0	86.0	56.7	48.5	52.0	88.5	88.0	52.6
39.8	48.8	57.3	88.4	92.6	95.4	92.1	88.0	57.9	49.4	53.1	90.5	90.0	53.7
39.9	49.3	57.9	89.5	93.7	96.6	93.2	89.1	58.6	50.0	53.6	91.6	91.1	54.3
40.1	49.9	58.6	90.5	94.9	97.8	94.4	90.1	59.2	50.6	54.2	92.7	92.3	54.9
40.4	50.6	59.4	92.0	96.4	99.4	95.9	91.7	60.1	51.3	55.0	94.2	93.8	55.7
40.8	51.5	60.4	93.7	98.2	101.3	97.7	93.4	61.2	52.2	55.9	95.9	95.5	56.7
40.9	52.0	61.1	94.8	99.3	102.5	98.9	94.5	61.9	52.8	56.5	97.1	96.7	57.3
40.9	52.4	61.5	95.4	100.0	103.2	99.6	95.1	62.3	53.2	56.9	97.7	97.4	57.7
40.9	52.6	61.7	95.9	100.5	103.7	100.0	95.6	62.5	53.4	57.1	98.2	97.8	58.0
40.9	52.7	61.9	96.2	100.8	104.0	100.4	95.9	62.7	53.5	57.3	98.5	98.1	58.1
41.5	53.6	63.0	97.9	102.6	105.8	102.1	97.6	63.8	54.4	58.3	100.2	99.8	59.1
41.7	55.0	64.6	100.6	105.4	108.8	104.9	100.3	65.4	55.9	59.8	103.0	102.6	60.6
42.2	56.0	65.8	102.6	107.5	111.0	107.0	102.3	66.6	56.9	60.9	105.1	104.6	61.8
42.6	57.4	67.4	105.2	110.2	113.8	109.8	104.9	68.3	58.3	62.4	107.7	107.4	63.3
42.9	58.5	68.7	107.4	112.5	116.2	112.1	107.0	69.6	59.4	63.6	109.9	109.5	64.5
43.0	59.1	69.5	108.7	113.9	117.6	113.5	108.4	70.4	60.2	64.3	111.3	110.9	65.3
43.0	59.8	70.3	110.0	115.3	119.1	114.9	109.7	71.3	60.9	65.0	112.7	112.3	66.1
43.4	60.6	71.2	111.6	116.9	120.8	116.5	111.3	72.2	61.7	65.9	114.2	113.9	66.9
43.9	61.9	72.7	114.1	119.5	123.5	119.1	113.8	73.8	63.0	67.3	116.8	116.4	68.4
44.5	63.6	74.8	117.4	123.0	127.2	122.7	117.2	75.8	64.8	69.2	120.2	119.9	70.3
44.8	65.1	76.5	120.2	125.9	130.2	125.7	120.0	77.6	66.3	70.8	123.1	122.8	72.0
45.0	66.1	77.8	122.2	128.0	132.4	127.8	122.1	78.9	67.3	71.9	125.1	125.0	73.1
45.3	67.0	79.0	124.1	129.9	134.5	129.9	124.1	80.2	68.4	73.0	127.0	127.0	74.3
45.7	68.7	80.9	127.3	133.3	138.1	133.3	127.4	82.3	70.2	74.8	130.3	130.4	76.2
46.1	70.0	82.3	129.7	135.8			129.8	83.7	71.5	76.2	132.7		77.6
46.3	70.7	83.0	130.8				131.0	84.4	72.1	76.8			78.3
46.4	71.2	83.7	131.9					85.1	72.7	77.4			78.9
44.0	71.7	84.3						87.0	74.1	78.0			80.5
44.6	73.4	86.3						89.5	76.3	79.8			82.9
45.3	75.0	88.2						91.9	78.3	81.6			85.1
44.8	74.9	88.1						91.9	78.2	81.5			85.1
45.3	75.2	88.4						92.2	78.5	81.8			85.4
46.2	76.5	90.0						94.1	80.1	83.2			87.1
46.6	78.3	92.1						96.5	82.1	85.2			89.3
46.7	79.5	93.5						98.0	83.3	86.5			90.7
47.0	80.1	94.2						98.8	84.0	87.2			91.4
47.3	81.1	95.5						100.1	85.1	88.3			92.6
47.8	82.3	96.9						101.7	86.3	89.6			94.0
48.0	83.5	98.4						103.2	87.5	90.9			95.3
48.2	84.5	99.6						104.4	88.4	92.0			96.4
48.5	85.7	101.1						105.9	89.7	93.4			97.8
48.7	86.9	102.7						107.5	90.9	94.8			99.2
49.0	88.0	104.1							92.0	96.1			
45.3	89.2	105.9							92.4	97.6			
46.2	90.9								93.9				
45.3	90.8								93.7				
46.2	91.3								94.2				
46.7	92.5								95.3				
48.3	96.8								99.0				
48.7	98.2												
48.9					220.0								

Pomiary przemieszczeń pionowych wykonywano przetwornikami przemieszczeń liniowych o zakresie 50mm.
Vertical displacement were measured with linear displacement transducers with range of 50mm.



B12-asp-e



Tablica Z3.5 Odształcenia na stali, ϵ_s (‰)

Table Z3.5 Steel strain, ϵ_s (‰)

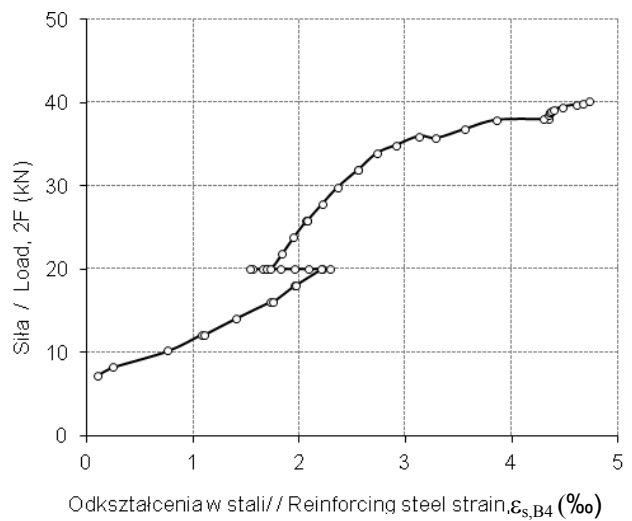
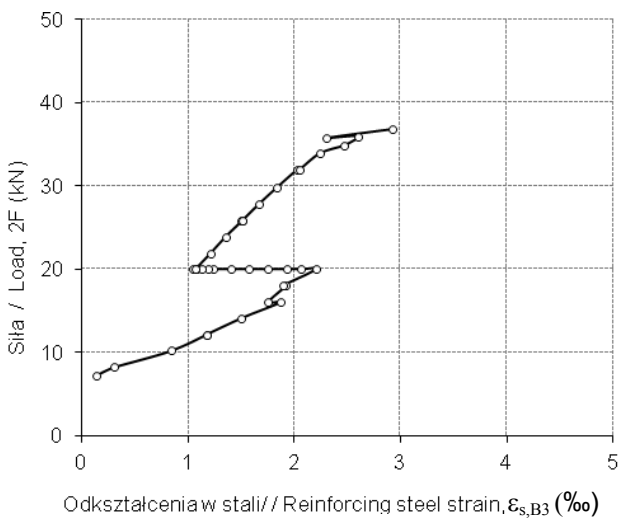
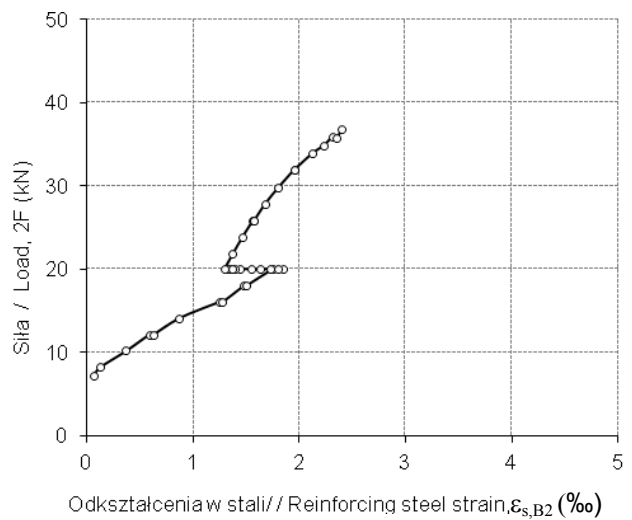
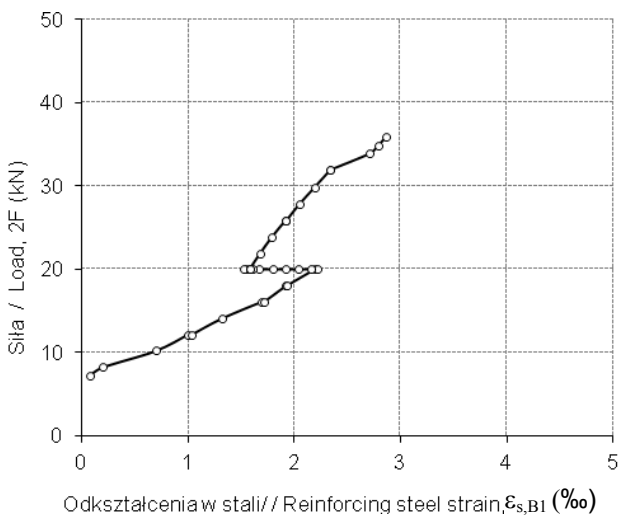
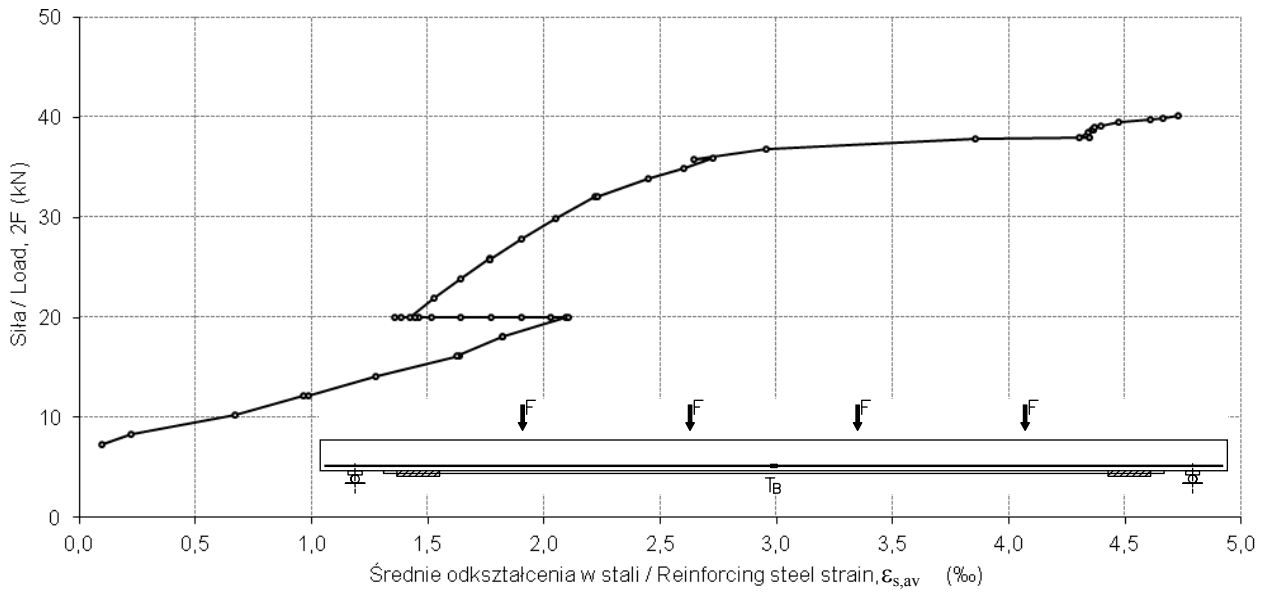
Siła / Load 2F kN	Odształcenia na stali / Steel strain ϵ_s (‰)				
	T _{B1}	T _{B2}	T _{B3}	T _{B4}	$\epsilon_{s,av}$
	3000				3000
7.3	0.08	0.07	0.14	0.10	0.10
8.3	0.20	0.13	0.31	0.25	0.22
10.2	0.70	0.37	0.84	0.76	0.67
12.2	1.00	0.59	1.18	1.08	0.96
12.2	1.03	0.63	1.17	1.11	0.99
14.1	1.32	0.87	1.50	1.41	1.28
16.1	1.69	1.25	1.88	1.73	1.64
16.1	1.71	1.28	1.76	1.75	1.63
18.1	1.92	1.48	1.92	1.96	1.82
18.1	1.93	1.50	1.89	1.96	1.82
20.0	2.19	1.75	2.20	2.22	2.09
20.0	2.22	1.85	2.06	2.29	2.11
20.0	2.16	1.80	1.94	2.21	2.03
20.0	2.04	1.72	1.75	2.09	1.90
20.0	1.92	1.63	1.57	1.95	1.77
20.0	1.79	1.54	1.40	1.83	1.64
20.0	1.67	1.45	1.24	1.70	1.51
20.0	1.54	1.35	1.08	1.56	1.38
20.0	1.52	1.33	1.05	1.54	1.36
20.0	1.61	1.39	1.19	1.65	1.46
20.0	1.59	1.37	1.13	1.69	1.44
20.0	1.58	1.30	1.08	1.73	1.42
21.9	1.68	1.38	1.21	1.84	1.53
23.9	1.79	1.47	1.35	1.95	1.64
25.9	1.92	1.56	1.51	2.07	1.77
25.8	1.92	1.57	1.51	2.07	1.77
25.8	1.92	1.57	1.51	2.07	1.77
27.9	2.05	1.68	1.67	2.21	1.90
29.9	2.19	1.81	1.84	2.36	2.05
32.0	2.34	1.95	2.03	2.56	2.22
32.0	2.34	1.96	2.05	2.56	2.23
33.9	2.71	2.12	2.24	2.73	2.45

2F kN	T _{B1}	T _{B2}	T _{B3}	T _{B4}	$\epsilon_{s,av}$
	3000				3000
34.9	2.79	2.23	2.47	2.91	2.60
36.0	2.87	2.31	2.60	3.13	2.73
35.8		2.35	2.30	3.29	2.65
36.8		2.40	2.92	3.56	2.96
37.9				3.86	3.86
38.0				4.35	4.35
38.0				4.30	4.30
38.5				4.34	4.34
38.8				4.36	4.36
38.8				4.36	4.36
38.8				4.36	4.36
39.0				4.37	4.37
39.2				4.39	4.39
39.5				4.47	4.47
39.8				4.61	4.61
39.9				4.67	4.67
40.1				4.73	4.73
40.4					
40.8					
40.9					
40.9					
40.9					
40.9					
41.5					
41.7					
42.2					
42.6					
42.9					
43.0					
43.0					
43.4					
43.9					
44.5					

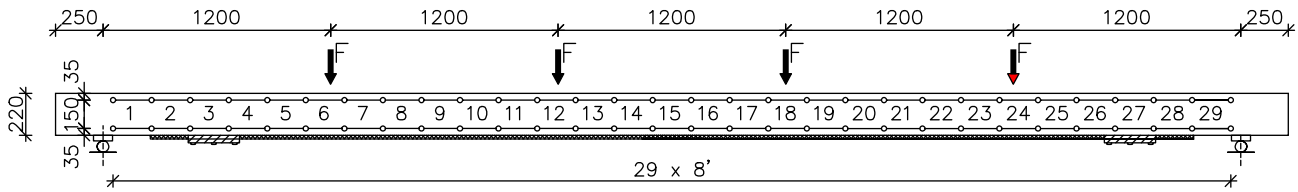
2F kN	T _{B1}	T _{B2}	T _{B3}	T _{B4}	$\epsilon_{s,av}$
	3000				3000
44.8					
45.0					
45.3					
45.7					
46.1					
46.3					
46.4					
44.0					
44.6					
45.3					
44.8					
45.3					
46.2					
46.6					
46.7					
47.0					
47.3					
47.8					
48.0					
48.2					
48.5					
48.7					
49.0					
45.3					
46.2					
45.3					
46.2					
46.7					
48.3					
48.7					
48.9					
29.8					
22.0					

Pomiary odkształceń wykonywano tensometrami elektrooporowymi TFs-5 o bazie 5mm.

Strain measurements were carried out by means of electric resistance gauges TFs-5 on the bases of 5mm.



B12-asp-e



Tablica Z3.6 Odkształcenia betonu, ϵ_t , ϵ_c (pomiar ręczny)

Table Z3.6 Concrete strain ϵ_t , ϵ_c (manual measurements)

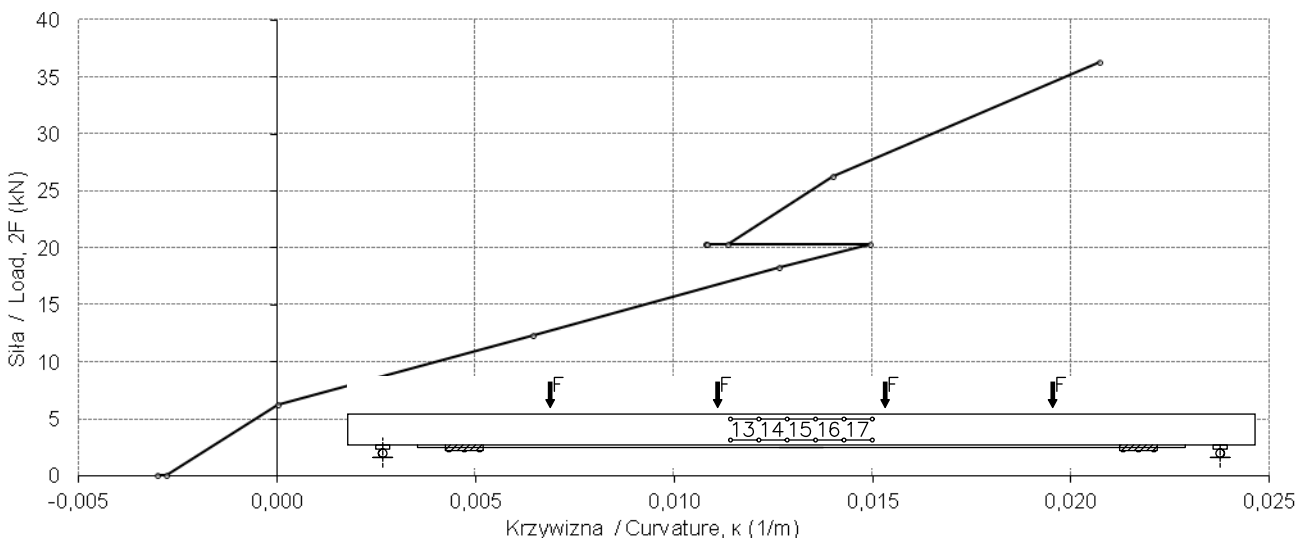
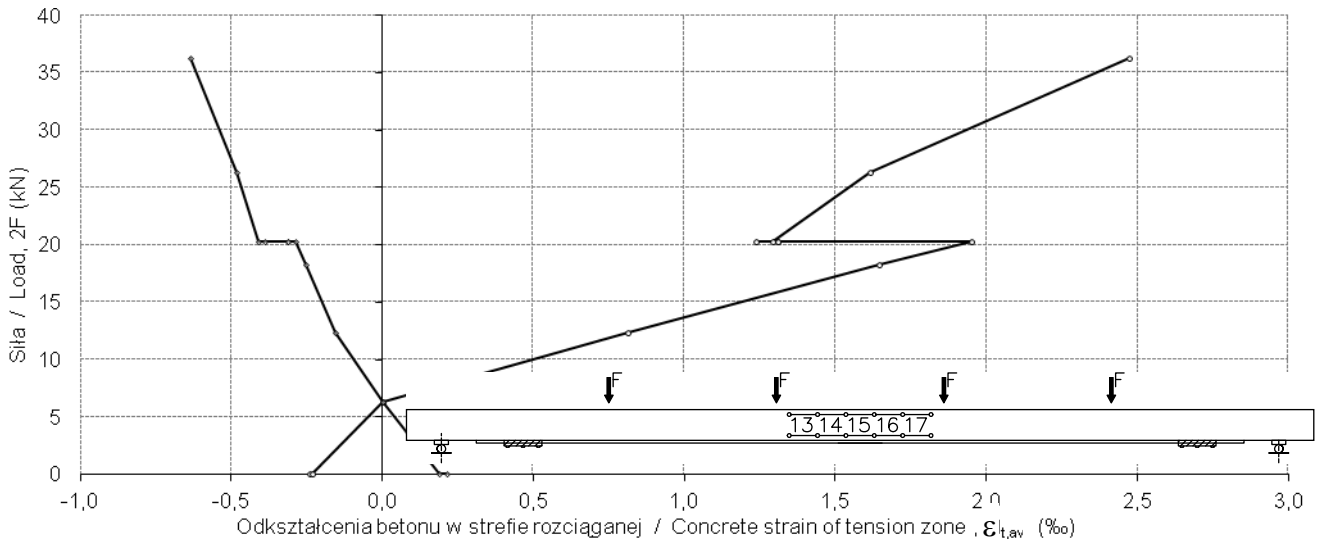
Nr / No	Lokalizacja / Localization	Siła zewnętrzna / External load											
		Poza stanowiskiem na 4 podporach / Outside test set-up on 4 supports		Na stanowisku badawczym / Inside test set-up									
				Podczas badania / During the test									
				Przed wzmocnieniem / Before strengthening					Po wzmocnieniu / After strengthening				
		0 kN	6.3kN	12.3kN	18.3kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	26.3kN	36.3kN	
Odkształcenia betonu w strefie ściskanej / Concrete strain in compression zone, ϵ_c (‰)													
1	5845	0.09	0.03	0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.02	-0.03	-0.09	-0.10	-0.10	-0.12
2	5642	0.06	0.01	0.00	-0.03	-0.07	-0.09	-0.15	-0.16	-0.24	-0.24	-0.26	-0.30
3	5438	0.13	0.08	0.00	-0.04	-0.10	-0.12	-0.15	-0.16	-0.24	-0.24	-0.26	-0.31
4	5235	0.15	0.09	0.00	-0.06	-0.13	-0.18	-0.09	-0.11	-0.19	-0.21	-0.24	-0.30
5	5032	0.11	0.08	0.00	-0.11	-0.22	-0.24	-0.17	-0.20	-0.27	-0.26	-0.31	-0.40
6	4829	0.30	0.24	0.00	-0.13	-0.22	-0.25	-0.22	-0.23	-0.29	-0.31	-0.35	-0.43
7	4626	0.03	-0.03	0.00	-0.12	-0.22	-0.25	-0.24	-0.25	-0.31	-0.32	-0.37	-0.49
8	4422	0.19	0.14	0.00	-0.13	-0.20	-0.23	-0.24	-0.24	-0.30	-0.31	-0.37	-0.48
9	4219	0.27	0.25	0.00	-0.23	-0.36	-0.42	-0.44	-0.44	-0.51	-0.53	-0.60	-0.76
10	4016	0.27	0.22	0.00	-0.12	-0.20	-0.23	-0.25	-0.25	-0.31	-0.34	-0.40	-0.53
11	3813	0.28	0.23	0.00	-0.14	-0.23	-0.28	-0.30	-0.30	-0.36	-0.38	-0.45	-0.59
12	3610	0.27	0.27	0.00	-0.23	-0.36	-0.42	-0.46	-0.45	-0.52	-0.54	-0.62	-0.81
13	3406	0.22	0.20	0.00	-0.17	-0.29	-0.32	-0.35	-0.35	-0.42	-0.44	-0.52	-0.67
14	3203	0.21	0.19	0.00	-0.17	-0.25	-0.29	-0.31	-0.31	-0.39	-0.41	-0.49	-0.64
15	3000	0.20	0.16	0.00	-0.14	-0.23	-0.26	-0.29	-0.29	-0.37	-0.39	-0.46	-0.59
16	2797	0.23	0.20	0.00	-0.15	-0.26	-0.29	-0.31	-0.31	-0.38	-0.41	-0.48	-0.65
17	2594	0.22	0.21	0.00	-0.15	-0.25	-0.29	-0.31	-0.30	-0.36	-0.39	-0.46	-0.63
18	2390	0.24	0.24	0.00	-0.20	-0.31	-0.37	-0.39	-0.38	-0.44	-0.46	-0.55	-0.73
19	2187	0.24	0.24	0.00	-0.15	-0.24	-0.28	-0.31	-0.30	-0.37	-0.40	-0.46	-0.61
20	1984	0.25	0.28	0.00	-0.22	-0.26	-0.40	-0.42	-0.42	-0.49	-0.51	-0.57	-0.75
21	1781	0.19	0.16	0.00	-0.14	-0.22	-0.26	-0.27	-0.27	-0.32	-0.35	-0.40	-0.52
22	1578	0.18	0.19	0.00	-0.20	-0.31	-0.35	-0.35	-0.35	-0.41	-0.44	-0.49	-0.64
23	1374	0.18	0.16	0.00	-0.15	-0.27	-0.30	-0.27	-0.27	-0.31	-0.34	-0.39	-0.54
24	1171	0.17	0.13	0.00	-0.13	-0.22	-0.25	-0.21	-0.22	-0.28	-0.30	-0.33	-0.45
25	968	0.12	0.12	0.00	-0.15	-0.23	-0.27	-0.21	-0.21	-0.27	-0.29	-0.34	-0.44
26	765	0.12	0.10	0.00	-0.06	-0.14	-0.18	-0.11	-0.11	-0.18	-0.19	-0.24	-0.31
27	562	0.11	0.07	0.00	-0.04	-0.09	-0.11	-0.11	-0.12	-0.18	-0.20	-0.23	-0.28
28	358	0.08	0.05	0.00	-0.02	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08	-0.14	-0.15	-0.18	-0.22
29	155	0.05	0.04	0.00	-0.01	-0.01	-0.03	-0.01	-0.03	-0.07	-0.08	-0.09	-0.11

Nr / No	Lokalizacja / Localization	Siła zewnętrzna / External load											
		Poza stanowiskiem na 4 podporach / Outside test set-up on 4 supports	Na stanowisku badawczym / Inside test set-up										
			Podczas badania / During the test										
			Przed wzmocnieniem / Before strengthening					Po wzmocnieniu / After strengthening					
		0 kN	6.3kN	12.3kN	18.3kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	26.3kN	36.3kN	
Odształcenia betonu w strefie rozciąganej / Concrete strain in tension zone, ϵ_t (‰)													
1	5845	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.23	0.22	0.18	0.18	0.19	0.22
2	5642	0.03	0.02	0.00	0.00	0.03	0.05	0.71	0.69	0.63	0.63	0.68	0.76
3	5438	-0.06	-0.05	0.00	0.05	0.18	0.37	0.94	0.92	0.85	0.86	0.93	1.06
4	5235	-0.03	-0.03	0.00	0.10	0.36	0.55	0.37	0.36	0.29	0.30	0.35	0.50
5	5032	-0.01	-0.03	0.00	0.11	0.62	0.78	0.45	0.44	0.37	0.37	0.47	0.69
6	4829	-0.16	-0.14	0.00	0.40	0.99	1.22	0.73	0.72	0.65	0.67	0.85	1.23
7	4626	-0.07	-0.08	0.00	0.32	0.83	1.04	0.65	0.65	0.58	0.60	0.75	1.09
8	4422	-0.18	-0.18	0.00	0.82	1.77	2.10	1.33	1.32	1.24	1.28	1.58	2.27
9	4219	-0.18	-0.21	0.00	0.51	1.02	1.21	0.72	0.71	0.65	0.67	0.87	1.33
10	4016	-0.20	-0.23	0.00	0.61	1.24	1.48	0.94	0.94	0.86	0.90	1.12	1.70
11	3813	-0.45	-0.44	0.00	1.01	2.06	2.43	1.56	1.56	1.48	1.54	1.95	2.98
12	3610	-0.27	-0.25	0.00	0.80	1.40	1.57	1.00	1.01	0.93	0.96	1.25	1.90
13	3406	-0.23	-0.23	0.00	0.61	1.41	1.71	1.13	1.14	1.06	1.12	1.42	2.16
14	3203	-0.25	-0.24	0.00	0.92	1.79	2.10	1.41	1.40	1.33	1.39	1.72	2.61
15	3000	-0.23	-0.23	0.00	0.74	1.48	1.75	1.17	1.19	1.12	1.16	1.45	2.28
16	2797	-0.27	-0.26	0.00	0.77	1.69	2.05	1.40	1.39	1.34	1.39	1.73	2.61
17	2594	-0.24	-0.22	0.00	1.02	1.86	2.15	1.43	1.43	1.34	1.40	1.75	2.70
18	2390	-0.25	-0.25	0.00	0.58	1.24	1.50	0.99	0.99	0.93	0.96	1.23	1.96
19	2187	-0.23	-0.25	0.00	0.64	1.36	1.60	1.05	1.05	0.97	1.00	1.28	1.94
20	1984	-0.46	-0.44	0.00	0.94	1.77	2.06	1.27	1.27	1.20	1.25	1.60	2.33
21	1781	-0.18	-0.17	0.00	0.56	1.26	1.50	0.94	0.94	0.89	0.93	1.15	1.68
22	1578	-0.26	-0.24	0.00	0.78	1.57	1.84	1.10	1.10	1.02	1.07	1.36	1.97
23	1374	-0.12	-0.11	0.00	0.31	0.80	1.01	0.62	0.62	0.56	0.58	0.74	1.07
24	1171	-0.10	-0.09	0.00	0.31	0.96	1.15	0.65	0.65	0.57	0.62	0.79	1.15
25	968	-0.15	-0.14	0.00	0.38	1.03	1.27	0.65	0.64	0.58	0.63	0.80	1.16
26	765	0.00	-0.01	0.00	0.05	0.30	0.45	0.27	0.27	0.21	0.23	0.29	0.39
27	562	0.00	-0.02	0.00	0.05	0.18	0.28	0.31	0.30	0.25	0.25	0.30	0.42
28	358	-0.03	-0.03	0.00	0.02	0.08	0.10	0.23	0.24	0.21	0.22	0.26	0.53
29	155	0.05	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00	0.04	0.04	0.04	0.01	0.01	0.03

	Siła zewnętrzna / External load												
	Poza stanowiskiem na 4 podporach / Outside test set-up on 4 supports	Na stanowisku badawczym / Inside test set-up											
		Podczas badania / During the test											
		Przed wzmocnieniem / Before strengthening					Po wzmocnieniu / After strengthening						
		0 kN	6.3kN	12.3kN	18.3kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	26.3kN	36.3kN	
$\epsilon_{c,av}$ (‰)		-0.24	-0.23	0.00	0.81	1.65	1.95	1.31	1.31	1.24	1.29	1.61	2.47
$\epsilon_{t,av}$ (‰)		0.21	0.19	0.00	-0.15	-0.25	-0.29	-0.31	-0.31	-0.39	-0.41	-0.48	-0.64
K (1/m)		-0.0030	-0.0028	0.0000	0.0064	0.0127	0.0149	0.0108	0.0108	0.0108	0.0114	0.0140	0.0207

Pomiary odkształceń wykonywano przy użyciu ekstensometru nasadowego o bazie 8'.
Concrete strain measurements measured by hand with dial strain gauges of 8' working range.

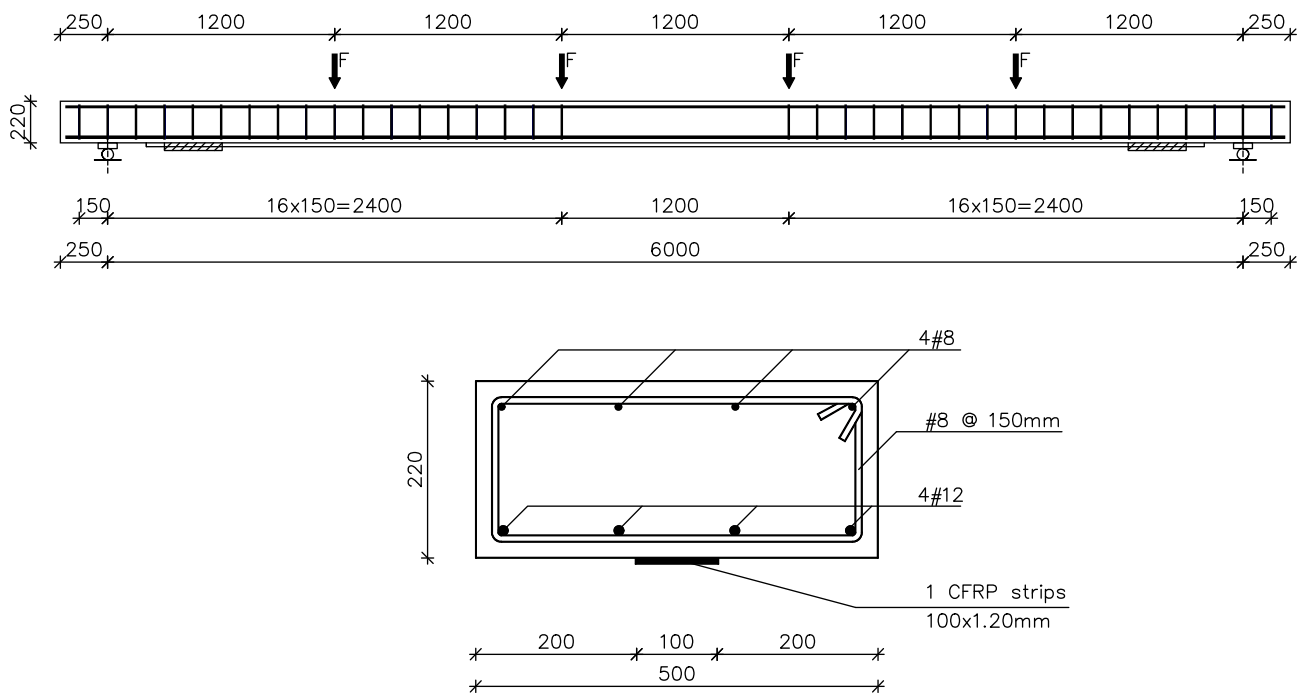
B12-asp-e



WYNIKI BADAŃ ELEMENTU TEST RESULTS OF MEMBER

B12-sp-e

Series B



Tablica Z4.1 Zestawienie charakterystycznych parametrów dla elementu B12-sp-e
Table Z4.1 Summary of characteristic parameters for beam B12-sp-e

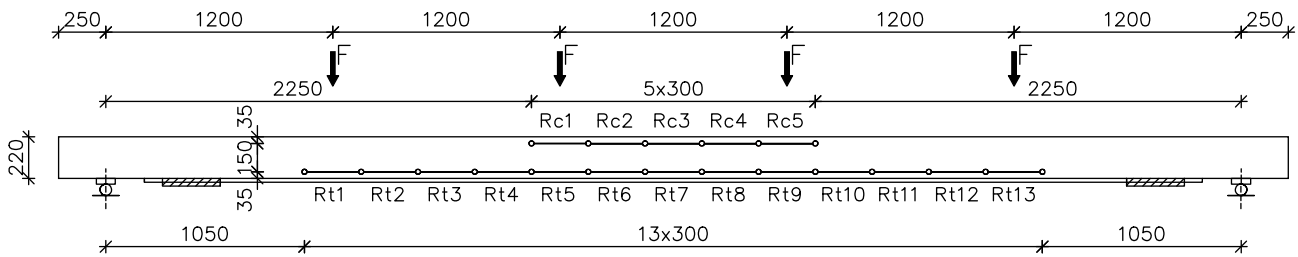
	Beton Concrete		Stal zbrojeniowa Steel reinforcement		CFRP		Siła Load	
		500 x 220mm ²		4 #12	4 #8	1x 100x1.2mm ²		2F _p
f _{c,cube}	44.0MPa	A _s	113.3mm ²	49.4mm ²	f _{fu}	2857MPa	2F _{u0}	26.0kN
f _{ct,split}	3.50MPa	f _y	539.6MPa	416.2MPa	ε _{fu}	16.8‰	$\frac{2F_p}{2F_{u0}}$	76%
f _c	41.6MPa	f _t	627.5MPa	734.1MPa	E _f	173.7Gpa	2F _u	49.0kN
E _c	24.7MPa	E _s	191.3GPa	186.1GPa	ε _{f,tot} (ε _{f,p} +ε _{f,test})	9.4‰ (4.40‰+5.00‰)	$\frac{2F_u}{2F_{u0}}$	173%

B12-sp-e

sp - stalowa płyta kotwiąca / anchorage steel plate

e - wstępne obciążenie belki przed wzmocnieniem / preloading of the beam before its strengthening

B12-sp-e

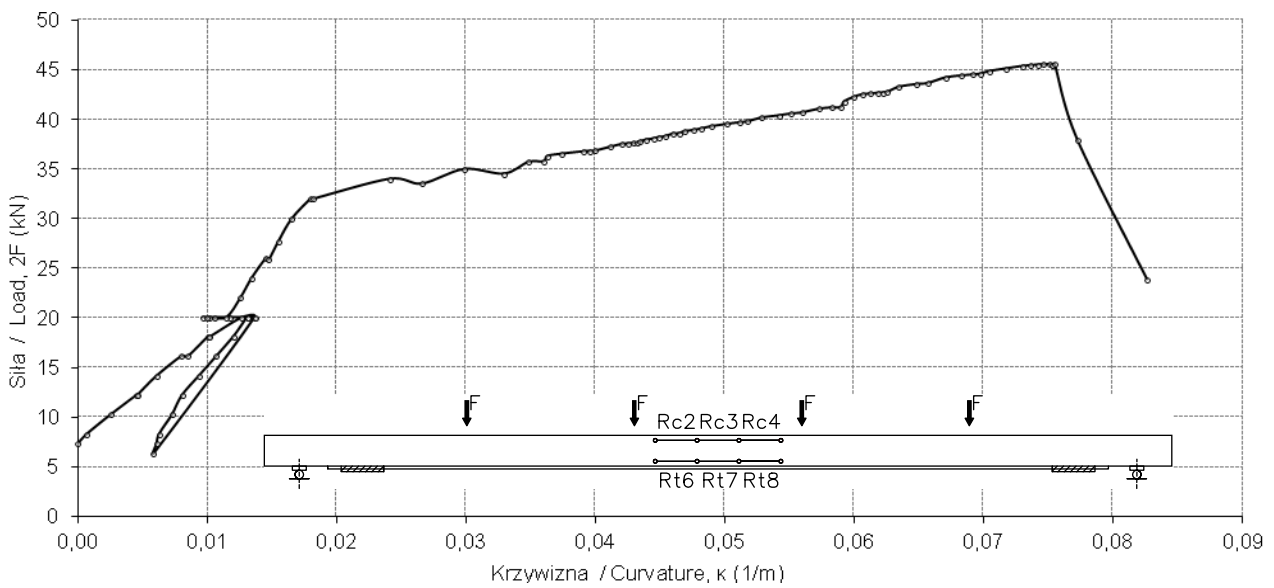
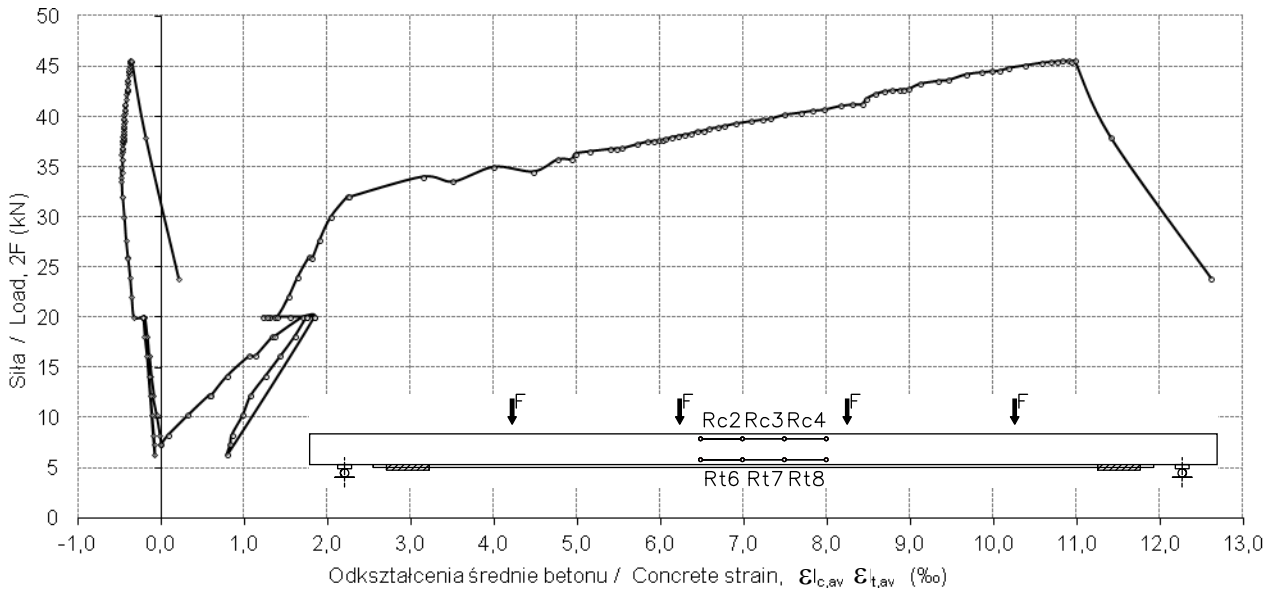


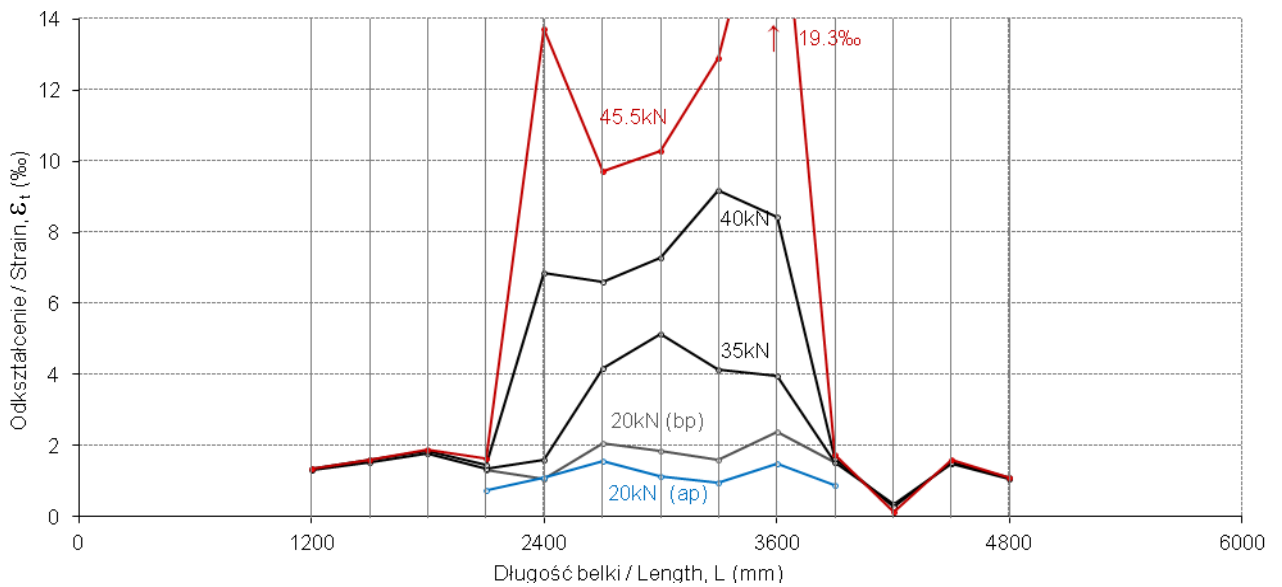
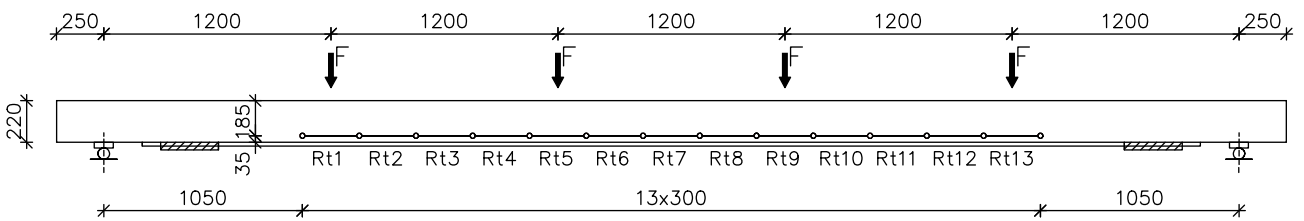
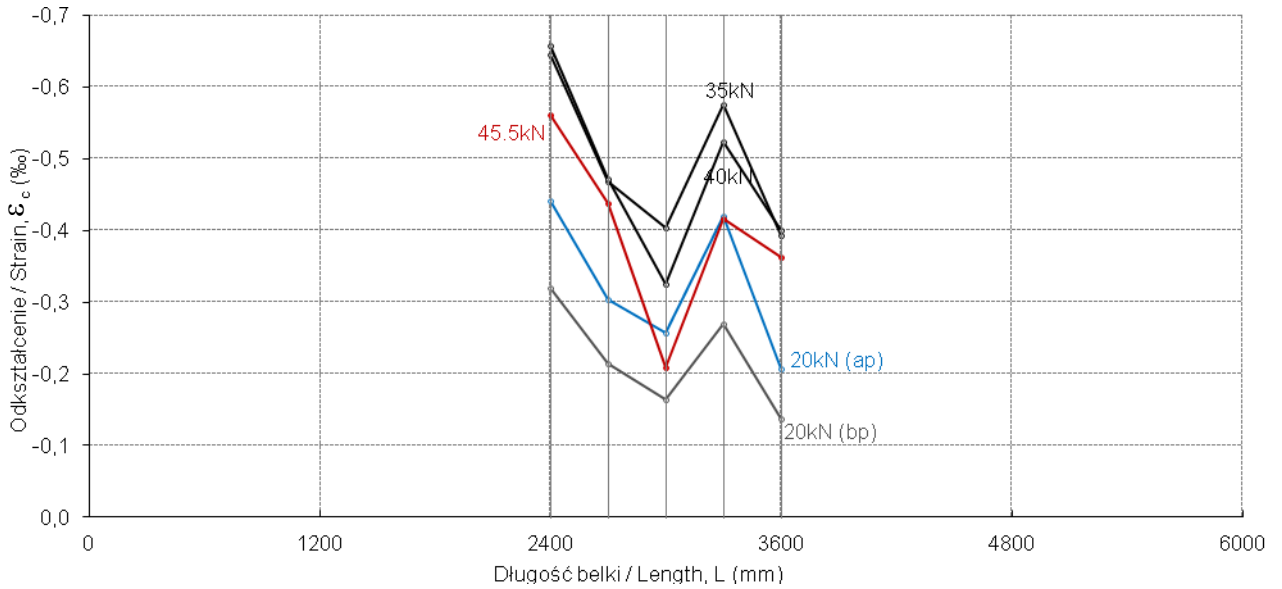
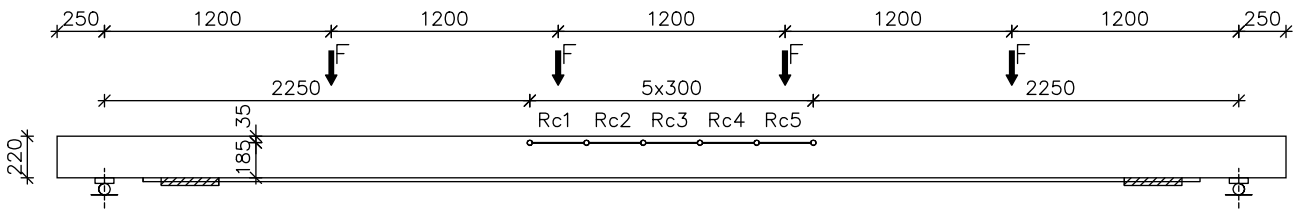
Tablica Z4.2 Odształcenia betonu, ϵ_c , ϵ_t (pomiar komputerowe)

Table Z4.2 Concrete strain, ϵ_c , ϵ_t (computer registered measurements)

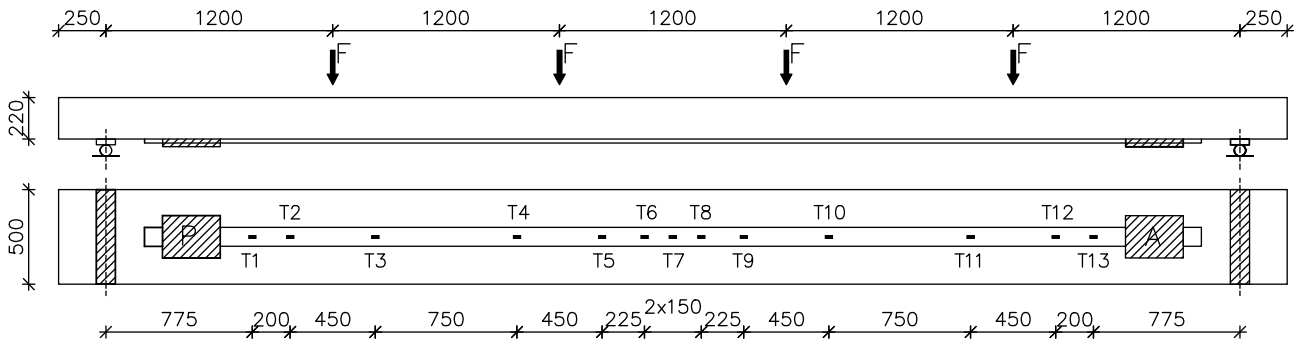
Siła / Load 2F kN	Odształcenia betonu / Concrete strain																Krzywizna / Curvature κ 1/m					
	ϵ_c						ϵ_t											$\epsilon_{t,av}$				
	R _{c1}	R _{c2}	R _{c3}	R _{c4}	R _{c5}	$\epsilon_{c,av}$	R _{t1}	R _{t2}	R _{t3}	R _{t4}	R _{t5}	R _{t6}	R _{t7}	R _{t8}	R _{t9}	R _{t10}			R _{t11}	R _{t12}	R _{t13}	%
‰						‰										%						
7.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					0.00	0.0000
8.3	-0.02	0.00	-0.04	0.00	-0.01	-0.01				0.08	0.00	0.07	0.08	0.11	0.12	0.06					0.09	0.0007
10.2	-0.09	-0.05	-0.08	-0.03	-0.01	-0.05				0.25	0.00	0.17	0.35	0.46	0.54	0.26					0.33	0.0025
12.2	-0.13	-0.08	-0.14	-0.09	-0.01	-0.10				0.43	0.10	0.33	0.65	0.75	0.93	0.48					0.58	0.0045
12.2	-0.13	-0.08	-0.10	-0.08	-0.01	-0.09				0.45	0.13	0.35	0.68	0.78	0.96	0.51					0.60	0.0046
14.1	-0.17	-0.11	-0.13	-0.12	-0.02	-0.12				0.58	0.30	0.54	0.90	0.96	1.24	0.67					0.80	0.0061
16.1	-0.20	-0.13	-0.14	-0.15	-0.05	-0.14				0.80	0.56	0.82	1.18	1.18	1.66	0.90					1.06	0.0080
16.1	-0.21	-0.14	-0.14	-0.16	-0.05	-0.15				0.82	0.61	0.93	1.25	1.22	1.73	0.96					1.13	0.0085
18.1	-0.23	-0.15	-0.16	-0.19	-0.08	-0.17				1.01	0.80	1.13	1.48	1.41	1.97	1.16					1.34	0.0101
18.1	-0.24	-0.16	-0.15	-0.19	-0.07	-0.17				1.03	0.81	1.19	1.49	1.41	2.00	1.19					1.36	0.0102
20.0	-0.28	-0.18	-0.18	-0.24	-0.11	-0.20				1.28	1.05	1.69	1.81	1.63	2.38	1.49					1.71	0.0127
20.0	-0.28	-0.18	-0.19	-0.25	-0.12	-0.21				1.29	1.07	1.72	1.81	1.60	2.39	1.51					1.84	0.0137
6.3	-0.29	-0.13	0.01	-0.11	-0.10	-0.08				0.46	0.80	1.11	0.73	0.57	0.96	0.56					0.80	0.0059
7.3	-0.30	-0.13	0.00	-0.11	-0.10	-0.08				0.46	0.89	1.16	0.77	0.57	0.96	0.56					0.83	0.0061
8.3	-0.29	-0.13	-0.02	-0.12	-0.11	-0.09				0.51	0.82	1.11	0.80	0.64	1.10	0.62					0.85	0.0063
10.2	-0.29	-0.13	-0.06	-0.13	-0.11	-0.11				0.65	0.81	1.13	1.00	0.82	1.34	0.79					0.98	0.0073
12.2	-0.29	-0.15	-0.08	-0.16	-0.11	-0.13				0.76	0.81	1.15	1.14	0.95	1.52	0.91					1.08	0.0081
14.1	-0.30	-0.15	-0.11	-0.18	-0.11	-0.15				0.89	0.81	1.32	1.32	1.13	1.75	1.07					1.26	0.0094
16.1	-0.29	-0.17	-0.13	-0.21	-0.11	-0.17				1.04	0.81	1.50	1.51	1.30	1.97	1.22					1.43	0.0107
18.1	-0.30	-0.20	-0.15	-0.24	-0.12	-0.20				1.16	0.94	1.68	1.68	1.47	2.14	1.37					1.61	0.0120
20.0	-0.36	-0.21	-0.17	-0.26	-0.14	-0.21				1.30	1.05	1.85	1.83	1.59	2.37	1.51					1.76	0.0131
20.0	-0.32	-0.21	-0.16	-0.27	-0.14	-0.22				1.31	1.06	2.06	1.86	1.60	2.39	1.52					1.84	0.0137
20.0	-0.32	-0.21	-0.16	-0.27	-0.13	-0.22				1.20	1.07	2.06	1.71	1.50	2.18	1.41					1.75	0.0131
20.0	-0.32	-0.22	-0.16	-0.28	-0.13	-0.22				1.03	1.07	1.91	1.47	1.27	1.90	1.20					1.55	0.0118
20.0	-0.33	-0.23	-0.16	-0.27	-0.13	-0.22				0.86	1.08	1.72	1.29	1.10	1.68	1.03					1.37	0.0106
20.0	-0.33	-0.23	-0.16	-0.27	-0.13	-0.22				0.81	1.08	1.66	1.23	1.03	1.59	0.97					1.30	0.0102
20.0	-0.33	-0.23	-0.16	-0.28	-0.13	-0.22				0.75	1.08	1.57	1.15	0.95	1.49	0.89					1.22	0.0096
20.0	-0.33	-0.23	-0.14	-0.28	-0.13	-0.22				0.78	1.08	1.60	1.22	1.00	1.58	0.93					1.27	0.0099
20.0	-0.44	-0.30	-0.26	-0.42	-0.21	-0.33	0.67	1.00	1.00	0.83	1.22	1.80	1.29	1.09	1.66	0.70	1.00	1.00	0.67		1.39	0.0115
22.0	-0.46	-0.32	-0.30	-0.44	-0.24	-0.36	0.77	1.12	1.12	0.90	1.22	1.86	1.50	1.24	1.91	0.85	0.85	1.00	0.76		1.53	0.0126
23.9	-0.47	-0.34	-0.32	-0.46	-0.25	-0.37	0.84	1.19	1.21	0.96	1.21	1.96	1.62	1.34	2.05	0.94	0.78	1.00	0.81		1.64	0.0134
26.0	-0.50	-0.36	-0.35	-0.49	-0.28	-0.40	0.95	1.27	1.34	1.04	1.21	2.11	1.76	1.48	2.23	1.06	0.68	1.05	0.88		1.78	0.0146
25.8	-0.50	-0.36	-0.35	-0.49	-0.29	-0.40	0.95	1.27	1.34	1.04	1.20	2.10	1.87	1.48	2.22	1.06	0.67	1.05	0.88		1.82	0.0148
27.7	-0.53	-0.38	-0.37	-0.52	-0.31	-0.42	1.03	1.32	1.46	1.09	1.20	2.24	1.88	1.60	2.37	1.16	0.60	1.15	0.93		1.90	0.0155
30.0	-0.55	-0.40	-0.39	-0.54	-0.35	-0.44	1.11	1.40	1.57	1.14	1.20	2.39	2.01	1.71	2.57	1.28	0.52	1.25	0.98		2.04	0.0165
32.0	-0.58	-0.43	-0.41	-0.56	-0.37	-0.47	1.21	1.47	1.67	1.22	1.30	2.57	2.20	1.95	2.75	1.41	0.42	1.35	1.03		2.24	0.0180
32.0	-0.58	-0.43	-0.41	-0.56	-0.37	-0.47	1.22	1.48	1.68	1.23	1.31	2.59	2.22	1.99	2.77	1.42	0.41	1.36	1.04		2.26	0.0182
34.0	-0.61	-0.45	-0.42	-0.57	-0.39	-0.48	1.29	1.52	1.75	1.32	1.48	2.79	4.20	2.45	2.98	1.54	0.35	1.45	1.08		3.15	0.0242
33.5	-0.62	-0.45	-0.40	-0.57	-0.38	-0.48	1.29	1.51	1.75	1.33	1.51	2.84	4.68	3.01	2.99	1.52	0.35	1.45	1.07		3.51	0.0266
35.0	-0.65	-0.47	-0.40	-0.57	-0.39	-0.48	1.31	1.54	1.78	1.35	1.59	3.08	4.98	3.94	3.12	1.57	0.32	1.49	1.08		4.00	0.0299
34.5	-0.65	-0.47	-0.37	-0.56	-0.40	-0.47	1.31	1.52	1.78	1.36	1.60	4.18	5.13	4.12	3.95	1.54	0.33	1.49	1.07		4.48	0.0330
35.7	-0.66	-0.47	-0.37	-0.56	-0.40	-0.47	1.34	1.55	1.80	1.38	1.65	4.60	5.30	4.38	4.60	1.58	0.31	1.49	1.07		4.76	0.0348
35.7	-0.64	-0.46	-0.37	-0.57	-0.40	-0.47	1.33	1.55	1.80	1.38	1.69	4.77	5.43	4.59	4.84	1.58	0.31	1.48	1.07		4.93	0.0360
36.3	-0.66	-0.47	-0.38	-0.57	-0.40	-0.47	1.34	1.56	1.81	1.39	1.72	4.81	5.48	4.64	4.89	1.59	0.30	1.50	1.07		4.98	0.0363

B12-sp-e





B12-sp-e



Tablica Z4.3 Odkształcenia taśmy CFRP, ϵ_f

Table Z4.3 CFRP strain, ϵ_f

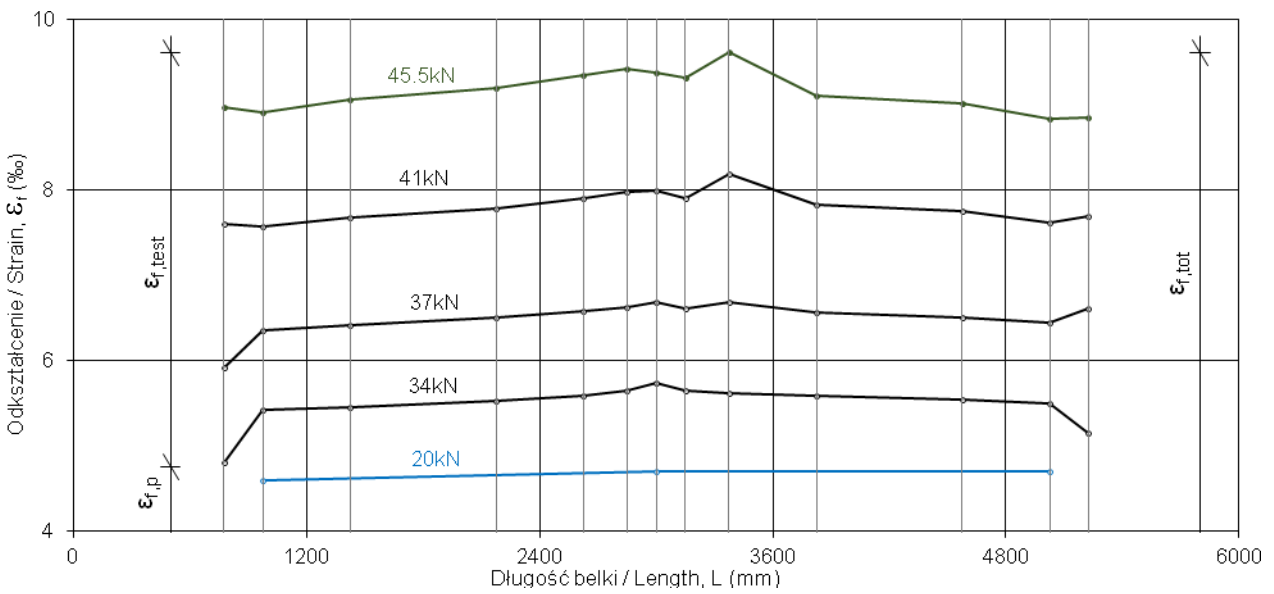
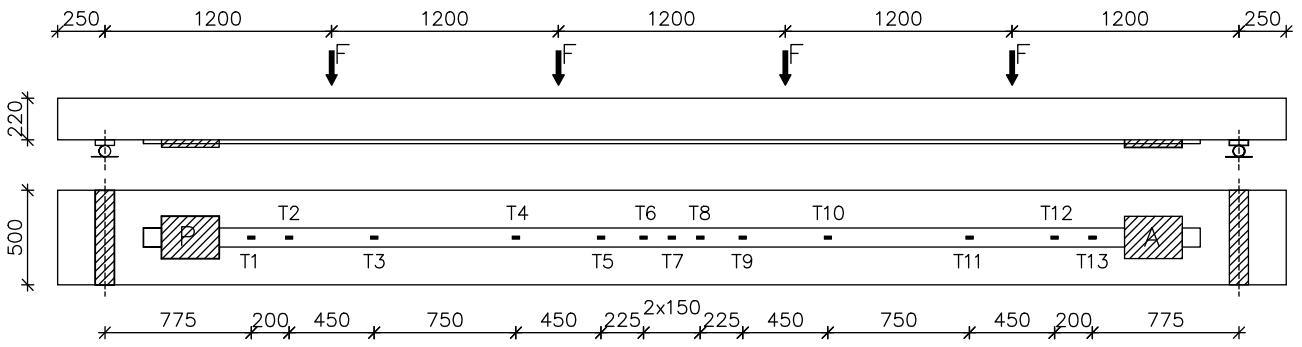
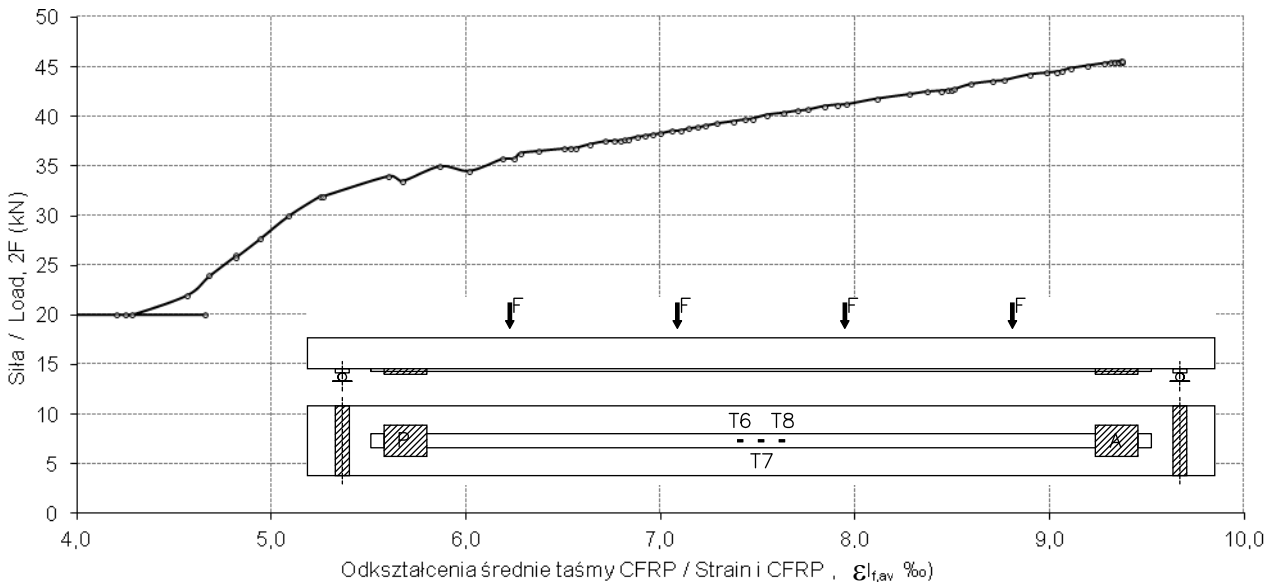
Siła / Load 2F kN	Odkształcenia taśmy CFRP / CFRP strain ϵ_f													T_M
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T08	T09	T10	T11	T12	T13	
6.3		0.0					0.0					0.0		0.0
20.0		0.00					0.00					0.00		0.0
20.0		1.11					1.14					1.15		1.1
20.0		2.69					2.75					2.77		2.7
20.0		3.78					3.86					3.88		3.8
20.0		4.13					4.22					4.25		4.2
20.0		4.60					4.70					4.69		4.7
20.0		4.20					4.30					4.25		4.2
20.0	4.20	4.20	4.23	4.27	4.30	4.34	4.36	4.35	4.30	4.30	4.30	4.28	4.25	4.3
22.0	4.25	4.36	4.39	4.46	4.51	4.55	4.58	4.56	4.52	4.49	4.46	4.44	4.35	4.6
23.9	4.29	4.48	4.50	4.57	4.63	4.67	4.70	4.67	4.63	4.60	4.57	4.56	4.44	4.7
26.0	4.33	4.62	4.63	4.71	4.76	4.81	4.84	4.81	4.77	4.74	4.70	4.70	4.54	4.8
25.8	4.34	4.62	4.63	4.71	4.76	4.81	4.84	4.81	4.77	4.74	4.71	4.69	4.54	4.8
27.7	4.38	4.74	4.75	4.83	4.88	4.93	4.96	4.93	4.89	4.86	4.83	4.81	4.64	4.9
30.0	4.43	4.88	4.89	4.97	5.03	5.08	5.11	5.07	5.04	5.01	4.97	4.94	4.76	5.1
32.0	4.50	5.03	5.07	5.13	5.19	5.24	5.27	5.24	5.20	5.17	5.13	5.12	4.86	5.3
32.0	4.51	5.04	5.06	5.14	5.20	5.27	5.28	5.25	5.21	5.18	5.14	5.11	4.87	5.3
34.0	4.71	5.36	5.38	5.46	5.54	5.59	5.66	5.56	5.52	5.48	5.44	5.41	5.06	5.6
33.5	4.80	5.43	5.45	5.53	5.59	5.64	5.73	5.64	5.62	5.58	5.54	5.50	5.15	5.7
35.0	4.93	5.60	5.63	5.72	5.79	5.84	5.93	5.83	5.80	5.75	5.71	5.67	5.26	5.9
34.5	5.33	5.75	5.78	5.88	5.94	6.00	6.06	6.00	5.98	5.94	5.89	5.84	5.65	6.0
35.7	5.44	5.90	5.93	6.03	6.10	6.16	6.23	6.17	6.15	6.11	6.05	6.00	5.77	6.2
35.7	5.54	5.96	5.99	6.09	6.16	6.22	6.29	6.23	6.21	6.16	6.11	6.07	6.05	6.2
36.3	5.55	5.99	6.03	6.13	6.19	6.25	6.33	6.25	6.24	6.20	6.14	6.11	6.08	6.3
36.5	5.64	6.08	6.12	6.22	6.29	6.35	6.42	6.34	6.33	6.28	6.22	6.18	6.18	6.4
36.8	5.85	6.25	6.30	6.40	6.45	6.50	6.55	6.46	6.48	6.40	6.34	6.30	6.46	6.5
36.8	5.87	6.27	6.34	6.43	6.49	6.53	6.59	6.50	6.53	6.44	6.38	6.34	6.52	6.5
36.8	5.88	6.30	6.36	6.45	6.51	6.56	6.61	6.52	6.58	6.47	6.41	6.36	6.56	6.6
37.2	5.91	6.35	6.41	6.51	6.58	6.63	6.68	6.60	6.69	6.56	6.50	6.44	6.61	6.6
37.5	6.02	6.41	6.48	6.58	6.66	6.71	6.76	6.67	6.77	6.62	6.56	6.50	6.64	6.7
37.6	6.22	6.46	6.53	6.63	6.72	6.76	6.81	6.71	6.81	6.65	6.59	6.54	6.68	6.8
37.6	6.34	6.49	6.56	6.66	6.75	6.80	6.85	6.75	6.85	6.68	6.62	6.57	6.66	6.8
37.6	6.40	6.51	6.58	6.68	6.77	6.82	6.87	6.76	6.86	6.69	6.64	6.58	6.66	6.8
37.7	6.46	6.52	6.60	6.69	6.79	6.84	6.89	6.78	6.89	6.71	6.65	6.60	6.68	6.8
37.9	6.52	6.57	6.64	6.74	6.83	6.88	6.93	6.83	6.93	6.75	6.69	6.64	6.70	6.9
38.1	6.62	6.61	6.68	6.78	6.87	6.93	6.97	6.87	6.98	6.79	6.73	6.67	6.73	6.9
38.2	6.70	6.64	6.72	6.82	6.91	6.96	7.01	6.91	7.02	6.83	6.77	6.71	6.76	7.0
38.3	6.78	6.67	6.76	6.85	6.95	7.00	7.05	6.95	7.07	6.87	6.81	6.75	6.79	7.0
38.5	6.82	6.72	6.80	6.90	6.99	7.05	7.10	7.02	7.15	6.96	6.90	6.84	6.87	7.1
38.6	6.85	6.77	6.84	6.94	7.04	7.10	7.14	7.07	7.20	7.00	6.93	6.87	6.90	7.1
38.8	6.88	6.81	6.88	6.98	7.08	7.14	7.18	7.11	7.25	7.03	6.96	6.90	6.93	7.1

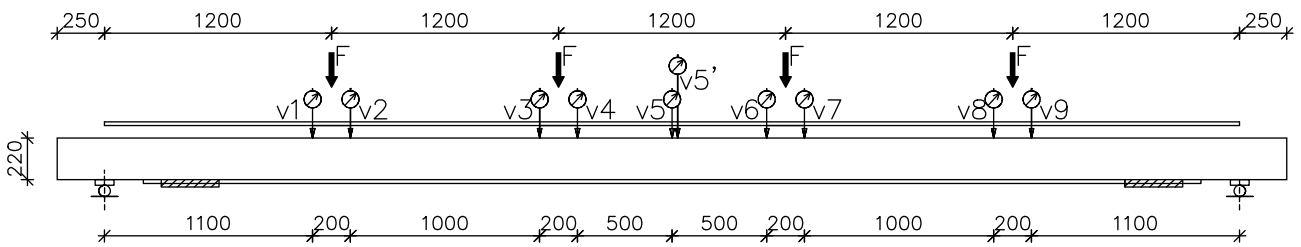
38.9	6.93	6.86	6.93	7.03	7.13	7.19	7.23	7.15	7.30	7.07	7.01	6.94	6.97	7.2
39.1	6.96	6.89	6.96	7.07	7.16	7.23	7.27	7.19	7.35	7.11	7.04	6.98	7.00	7.2
39.3	6.98	6.95	7.02	7.12	7.23	7.29	7.33	7.25	7.41	7.17	7.10	7.04	7.05	7.3
39.5	7.06	7.02	7.10	7.21	7.31	7.38	7.41	7.33	7.50	7.25	7.18	7.11	7.13	7.4
39.7	7.10	7.09	7.16	7.27	7.37	7.44	7.47	7.38	7.57	7.31	7.24	7.17	7.18	7.4
39.8	7.15	7.12	7.20	7.31	7.41	7.48	7.51	7.42	7.62	7.35	7.28	7.20	7.22	7.5
40.2	7.21	7.19	7.27	7.38	7.48	7.56	7.59	7.49	7.71	7.42	7.35	7.27	7.30	7.5
40.4	7.30	7.27	7.36	7.47	7.57	7.65	7.68	7.58	7.81	7.51	7.44	7.36	7.38	7.6
40.6	7.36	7.34	7.43	7.53	7.64	7.72	7.74	7.64	7.89	7.58	7.51	7.42	7.45	7.7
40.7	7.41	7.38	7.48	7.59	7.69	7.77	7.80	7.70	7.96	7.63	7.56	7.47	7.50	7.8
41.0	7.49	7.47	7.56	7.67	7.79	7.86	7.88	7.79	8.06	7.72	7.64	7.52	7.58	7.8
41.2	7.55	7.53	7.63	7.73	7.85	7.92	7.95	7.85	8.13	7.77	7.70	7.57	7.64	7.9
41.2	7.60	7.57	7.67	7.78	7.90	7.97	7.99	7.90	8.19	7.82	7.75	7.62	7.70	8.0
41.8	7.72	7.70	7.81	7.92	8.03	8.10	8.13	8.10	8.35	8.07	7.99	7.85	7.93	8.1
42.2	7.88	7.85	7.96	8.08	8.21	8.28	8.31	8.24	8.50	8.20	8.13	7.98	8.08	8.3
42.5	7.97	7.94	8.06	8.18	8.30	8.38	8.41	8.32	8.58	8.24	8.16	8.01	8.10	8.4
42.6	8.04	8.01	8.14	8.25	8.38	8.46	8.48	8.39	8.65	8.25	8.17	8.02	8.14	8.4
42.7	8.08	8.06	8.17	8.29	8.42	8.50	8.51	8.43	8.67	8.27	8.19	8.04	8.19	8.5
42.7	8.10	8.07	8.19	8.32	8.45	8.52	8.52	8.45	8.69	8.29	8.21	8.06	8.21	8.5
42.7	8.12	8.09	8.21	8.33	8.47	8.54	8.53	8.47	8.71	8.30	8.23	8.07	8.20	8.5
43.3	8.19	8.16	8.29	8.41	8.54	8.62	8.61	8.55	8.80	8.40	8.32	8.16	8.27	8.6
43.5	8.30	8.27	8.39	8.52	8.65	8.73	8.72	8.67	8.92	8.51	8.42	8.26	8.34	8.7
43.6	8.36	8.32	8.45	8.57	8.72	8.79	8.77	8.72	8.98	8.56	8.48	8.31	8.36	8.8
44.2	8.48	8.44	8.58	8.70	8.85	8.93	8.90	8.86	9.13	8.69	8.60	8.44	8.47	8.9
44.4	8.58	8.53	8.68	8.79	8.95	9.03	8.99	8.94	9.22	8.77	8.68	8.51	8.56	9.0
44.5	8.63	8.58	8.73	8.85	9.00	9.08	9.03	8.99	9.27	8.81	8.72	8.55	8.60	9.0
44.6	8.66	8.61	8.76	8.88	9.04	9.11	9.06	9.01	9.30	8.83	8.75	8.58	8.62	9.1
44.8	8.70	8.65	8.80	8.92	9.08	9.15	9.11	9.06	9.34	8.88	8.79	8.61	8.66	9.1
45.1	8.78	8.73	8.88	9.00	9.16	9.23	9.19	9.15	9.43	8.96	8.87	8.69	8.73	9.2
45.4	8.86	8.81	8.96	9.09	9.25	9.32	9.28	9.24	9.53	9.04	8.95	8.77	8.80	9.3
45.4	8.90	8.85	9.00	9.12	9.29	9.36	9.32	9.27	9.56	9.07	8.98	8.79	8.81	9.3
45.5	8.92	8.86	9.02	9.15	9.31	9.38	9.34	9.29	9.58	9.08	8.99	8.80	8.82	9.3
45.5	8.94	8.88	9.04	9.16	9.33	9.40	9.36	9.30	9.60	9.10	9.01	8.82	8.84	9.4
45.5	8.95	8.89	9.05	9.18	9.34	9.41	9.38	9.31	9.61	9.10	9.02	8.83	8.85	9.4
45.5	8.96	8.90	9.06	9.19	9.34	9.42	9.38	9.31	9.61	9.11	9.02	8.83	8.86	9.4
45.5	8.96	8.90	9.06	9.19	9.35	9.43	9.38	9.31	9.61	9.10	9.01	8.83	8.85	9.4

Pomiary odkształceń wykonywano tensometrami elektrooporowymi TFs-5 o bazie 5mm.
CFRP strain were measured with electric resistance gauges TFs-5 with range of 5mm.

P - oznaczenie strony pasywnej zakotwienia / the names of the passive side of anchorage system
A - oznaczenie strony aktywnej zakotwienia / the names of the passive side of anchorage system

B12-sp-e





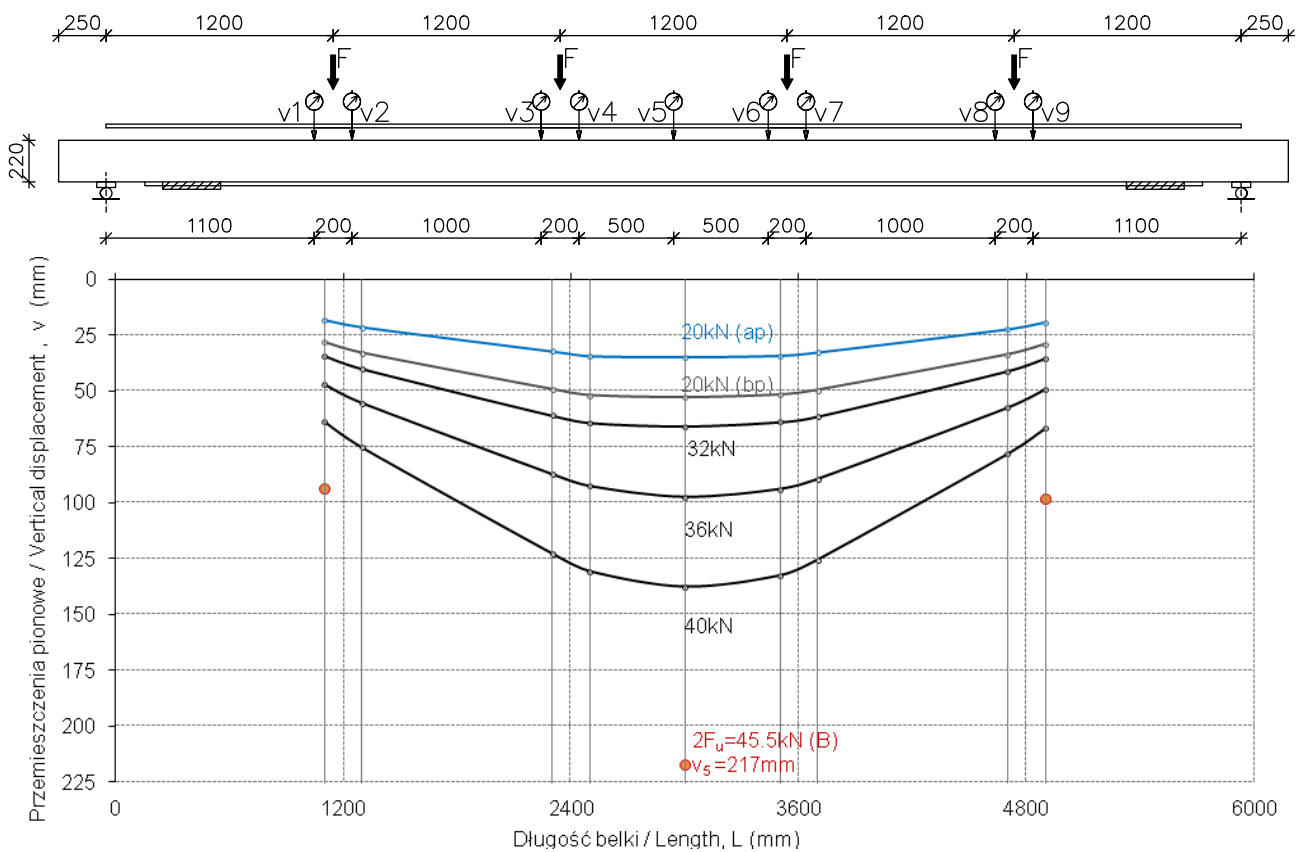
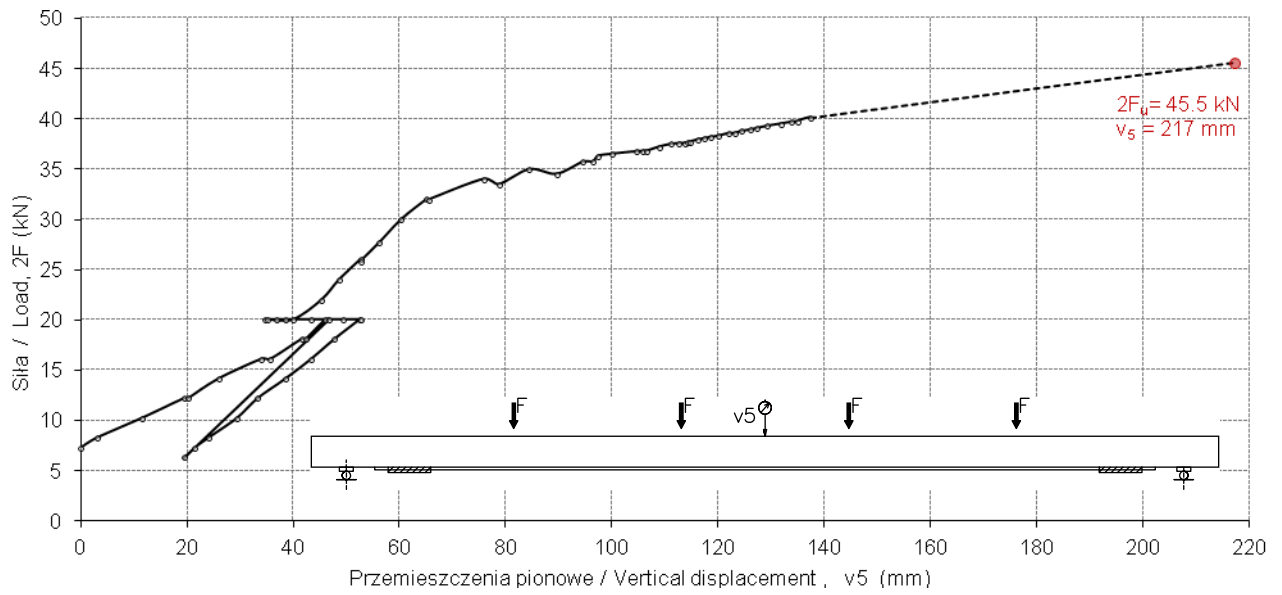
Tablica Z4.4 Przemieszczenia pionowe belki, v
 Table Z4.4 Vertical displacement, v

Siła / Load 2F kN	Przemieszczenia pionowe / Vertical displacement v (mm)												
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅ *	v ₆	v ₇	v ₈	v ₉	v _{av,1-2}	v _{av,3-4}	v _{av,6-7}	v _{av,8-9}
7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.3	1.5	2.0	2.7	3.6	3.0	3.2	2.9	2.2	2.0	1.8	3.1	3.0	2.1
10.2	5.7	7.0	10.5	11.8	11.5	11.3	10.7	7.3	6.4	6.4	11.2	11.0	6.8
12.2	9.8	11.9	17.9	19.5	19.5	19.0	18.2	12.2	10.8	10.8	18.7	18.6	11.5
12.2	10.3	12.4	18.6	20.2	20.2	19.8	19.0	12.8	11.2	11.3	19.4	19.4	12.0
14.1	13.3	15.9	23.9	25.7	26.0	25.4	21.7	16.4	13.7	14.6	24.8	23.5	15.0
16.1	17.7	21.0	31.6	33.6	34.0	33.2	28.3	21.5	18.2	19.3	32.6	30.8	19.8
16.1	18.7	22.1	33.2	35.3	35.7	34.9	29.9	22.7	19.2	20.4	34.2	32.4	20.9
18.1	21.8	25.6	38.6	40.9	41.6	40.6	35.3	26.4	22.4	23.7	39.7	37.9	24.4
18.1	22.3	26.2	39.3	41.7	42.4	41.3	36.0	26.9	22.9	24.3	40.5	38.6	24.9
20.0	27.0	31.7	46.3	48.1	46.1	46.7	41.0	32.5	27.7	29.4	47.2	43.9	30.1
20.0	27.5	32.2	47.0	48.1	46.8	47.6	39.7	33.0	28.3	29.8	47.6	43.6	30.7
6.3	10.8	12.7	18.3	19.7	19.6	19.4	18.4	12.9	11.1	11.7	19.0	18.9	12.0
7.3	11.7	13.8	20.0	21.6	21.5	21.3	20.3	14.2	12.1	12.8	20.8	20.8	13.1
8.3	13.0	15.3	22.4	24.1	24.1	23.7	22.6	15.7	13.5	14.2	23.2	23.2	14.6
10.2	15.8	18.5	27.4	29.2	29.4	28.9	27.7	19.0	16.3	17.2	28.3	28.3	17.7
12.2	17.8	20.9	31.0	33.0	33.3	32.7	31.3	21.4	18.4	19.4	32.0	32.0	19.9
14.1	20.6	24.1	35.9	38.1	38.6	37.8	36.2	24.7	21.2	22.3	37.0	37.0	23.0
16.1	23.1	27.1	40.4	42.8	43.4	42.5	40.7	27.7	23.8	25.1	41.6	41.6	25.8
18.1	25.3	29.7	44.4	47.0	47.8	46.7	44.8	30.4	26.2	27.5	45.7	45.8	28.3
20.0	27.8	32.6	48.9	51.6	52.6	51.4	49.2	33.3	28.7	30.2	50.3	50.3	31.0
20.0	28.0	32.8	49.2	51.9	52.8	51.6	49.5	33.6	28.9	30.4	50.5	50.6	31.2
20.0	26.3	30.7	46.0	48.6	49.5	48.4	46.3	31.5	27.1	28.5	47.3	47.4	29.3
20.0	22.9	26.8	40.2	42.6	43.3	42.4	40.7	27.7	23.8	24.9	41.4	41.6	25.8
20.0	20.2	23.8	35.7	38.0	38.5	37.8	36.2	24.7	21.3	22.0	36.8	37.0	23.0
20.0	19.3	22.7	34.1	36.3	36.8	36.1	34.6	23.6	20.3	21.0	35.2	35.3	22.0
20.0	18.1	21.3	32.1	34.2	34.6	34.0	32.6	22.3	19.2	19.7	33.1	33.3	20.7
20.0	18.5	21.7	32.7	34.8	35.2	34.6	33.1	22.6	19.4	20.1	33.7	33.8	21.0
20.0	21.1	24.6	37.1	39.3	40.0	39.0	37.4	25.4	21.9	22.9	38.2	38.2	23.7
22.0	23.8	27.8	42.0	44.5	45.4	44.2	42.5	28.8	24.7	25.8	43.3	43.3	26.8
23.9	25.4	29.8	45.0	47.6	48.6	47.3	45.4	30.7	26.4	27.6	46.3	46.3	28.6
26.0	27.6	32.2	48.8	51.6	52.7	51.2	49.3	33.2	28.6	29.9	50.2	50.2	30.9
25.8	27.6	32.3	48.9	51.6	52.7	51.2	49.3	33.3	28.6	29.9	50.2	50.3	30.9
27.7	29.4	34.4	52.1	55.0	56.2	54.7	52.6	35.5	30.5	31.9	53.6	53.7	33.0
30.0	31.6	36.9	56.0	59.0	60.3	58.6	56.4	37.9	32.7	34.2	57.5	57.5	35.3
32.0	34.0	39.7	60.3	63.6	65.1	63.3	60.8	40.8	35.1	36.8	62.0	62.0	38.0
32.0	34.2	40.0	60.8	64.1	65.6	63.7	61.3	41.1	35.4	37.1	62.4	62.5	38.2
34.0	38.4	44.9	69.3	73.1	75.8	73.1	70.0	46.2	39.8	41.6	71.2	71.6	43.0
33.5	39.4	46.3	71.6	75.7	78.8	75.9	72.6	47.7	41.0	42.8	73.6	74.3	44.4
35.0	41.7	49.0	76.3	80.8	84.5	81.3	77.6	50.7	43.5	45.4	78.5	79.5	47.1
34.5	43.6	51.5	80.5	85.4	89.6	86.2	82.1	53.2	45.6	47.5	83.0	84.2	49.4
35.7	45.7	53.9	84.7	89.9	94.5	91.0	86.7	55.9	47.9	49.8	87.3	88.9	51.9
35.7	46.4	54.8	86.3	91.6	96.5	92.9	88.5	56.9	48.7	50.6	89.0	90.7	52.8
36.3	46.9	55.3	87.2	92.6	97.4	93.9	89.4	57.4	49.2	51.1	89.9	91.6	53.3

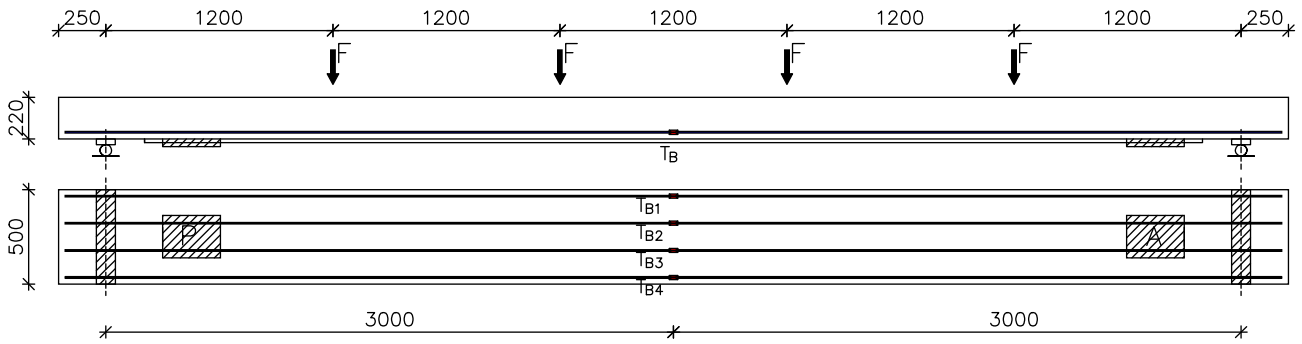
B12-sp-e

36.5	48.0	56.6	89.5	95.1	100.1	96.5	91.8	58.8	50.3	52.3	92.3	94.1	54.6
36.8	49.9	59.0	93.8	99.6	104.7	100.7	95.8	61.0	52.2	54.4	96.7	98.3	56.6
36.8	50.4	59.5	94.8	100.8	105.9	101.9	96.8	61.6	52.7	55.0	97.8	99.3	57.2
36.8	50.7	59.9	95.5	101.5	106.7	102.7	97.5	62.0	53.0	55.3	98.5	100.1	57.5
37.2	51.7	61.1	97.5	103.7	108.9	104.9	99.6	63.2	54.1	56.4	100.6	102.3	58.6
37.5	52.6	62.2	99.5	105.8	111.1	107.0	101.5	64.3	55.0	57.4	102.6	104.3	59.7
37.6	53.3	62.7	100.9	107.3	112.7	108.5	102.9	65.1	55.7	58.0	104.1	105.7	60.4
37.6	53.7	63.5	101.8	108.2	113.7	109.4	103.8	65.6	56.1	58.6	105.0	106.6	60.8
37.6	54.0	63.8	102.4	108.8	114.3	110.0	104.4	65.9	56.3	58.9	105.6	107.2	61.1
37.7	54.2	64.0	102.9	109.4	114.8	110.6	104.9	66.2	56.6	59.1	106.1	107.7	61.4
37.9	54.8	64.7	104.0	110.6	116.2	111.8	106.0	66.9	57.2	59.8	107.3	108.9	62.0
38.1	55.3	65.4	105.2	111.9	117.4	113.1	107.1	67.5	57.7	60.3	108.5	110.1	62.6
38.2	55.8	66.0	106.2	113.0	118.6	114.2	108.2	68.1	58.2	60.9	109.6	111.2	63.2
38.3	56.3	66.6	107.4	114.2	119.9	115.7	109.3	68.8	58.8	61.5	110.8	112.5	63.8
38.5	57.1	67.5	109.1	116.0	121.9	117.5	111.3	69.9	59.8	62.3	112.5	114.4	64.8
38.6	57.7	68.2	110.2	117.3	123.2	118.7	112.5	70.6	60.4	62.9	113.7	115.6	65.5
38.8	58.2	68.8	111.3	118.4	124.4	119.9	113.6	71.3	60.9	63.5	114.8	116.8	66.1
38.9	58.8	69.5	112.6	119.8	126.0	121.4	115.0	72.1	61.6	64.2	116.2	118.2	66.8
39.1	59.4	70.2	113.8	121.1	127.3	122.7	116.2	72.7	62.2	64.8	117.4	119.4	67.5
39.3	60.1	71.1	115.4	122.9	129.2	124.5	118.0	73.7	63.0	65.6	119.2	121.2	68.4
39.5	61.2	72.4	117.7	125.3	131.8	127.0	120.3	75.1	64.1	66.8	121.5	123.6	69.6
39.7	62.0	73.3	119.3	127.1	133.8	128.9	122.0	76.1	65.0	67.6	123.2	125.5	70.5
39.8	62.5	73.9	120.5	128.3	135.1	130.2	123.2	76.8	65.5	68.2	124.4	126.7	71.2
40.2	63.5	75.2	122.6	130.5	137.4	132.5	125.4	78.1	66.6	69.3	126.6	128.9	72.3
40.4	64.6	76.6	125.0	133.2		135.2	127.9	79.5	67.8	70.6	129.1	131.5	73.7
40.6	65.5	77.7	126.9	135.2			129.9	80.6	68.7	71.6	131.1		74.7
40.7	66.2	78.5	128.4				131.4	81.5	69.5	72.4			75.5
41.0	67.4	79.9						82.9	70.8	73.6			76.9
41.2	68.3	80.9						84.0	71.7	74.6			77.8
41.2	69.0	80.5						84.8	72.4	74.8			78.6
41.8	71.4	84.5						87.9	75.0	77.9			81.4
42.2	73.5	87.0						90.4	77.2	80.3			83.8
42.5	74.8	88.5						92.1	78.6	81.7			85.3
42.6	76.0	90.0						93.7	79.9	83.0			86.8
42.7	76.9	91.0						94.9	80.9	83.9			87.9
42.7	77.4	91.7						95.7	81.5	84.6			88.6
42.7	77.9	92.2						96.2	82.0	85.0			89.1
43.3	79.1	93.7						97.9	83.4	86.4			90.7
43.5	80.8	95.8						100.1	85.2	88.3			92.6
43.6	81.8	97.0						101.5	86.2	89.4			93.8
44.2	83.8	99.6						104.1	88.3	91.7			96.2
44.4	85.4	101.6						106.2	90.0	93.5			98.1
44.5	86.5	102.9							91.0	94.7			
44.6	87.2	103.8							91.8	95.5			
44.8	88.0								92.7				
45.1	89.5								94.1				
45.4	91.0								95.7				
45.4	91.7								96.4				
45.5	92.2								97.0				
45.5	92.6								97.4				
45.5	93.0								97.8				
45.5	93.2								98.1				
45.5	93.4					217.3			98.3				
37.9	94.8								98.5				
23.9	97.2								98.8				

Pomiary przemieszczeń pionowych wykonywano przetwornikami przemieszczeń liniowych o zakresie 50mm.
Vertical displacement were measured with linear displacement transducers with range of 50mm.



B12-sp-e



Tablica Z4.5 Odształcenia na stali, ϵ_s (‰)

Table Z4.5 Steel strain, ϵ_s (‰)

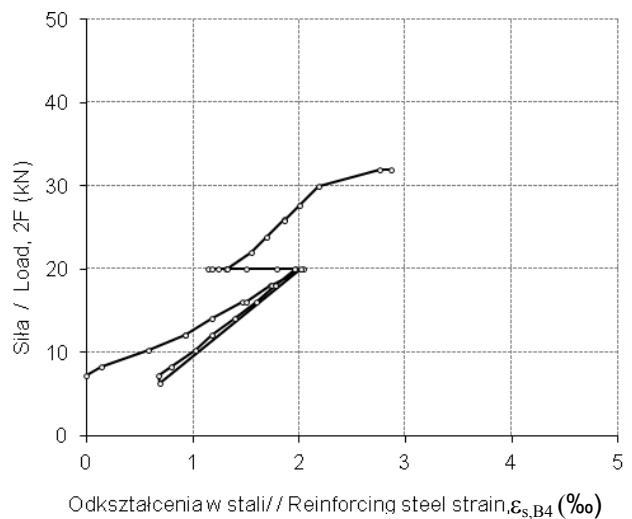
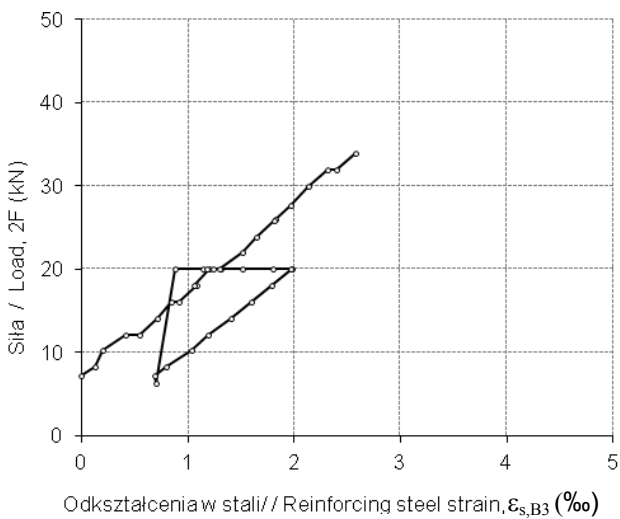
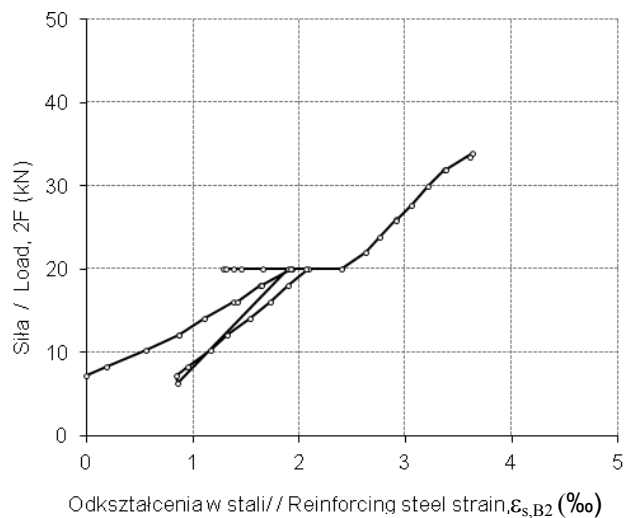
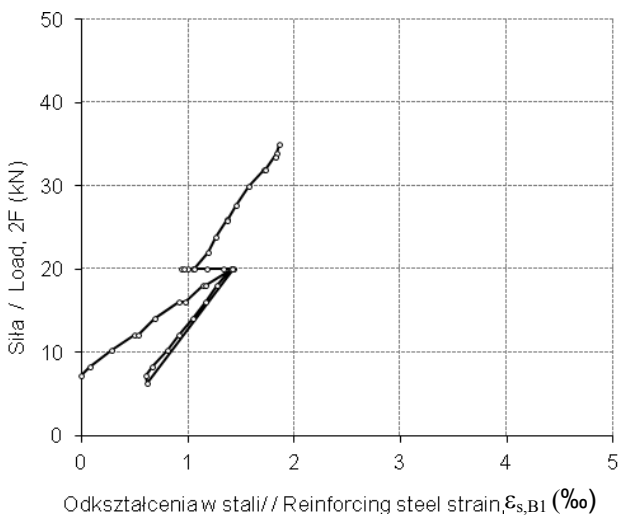
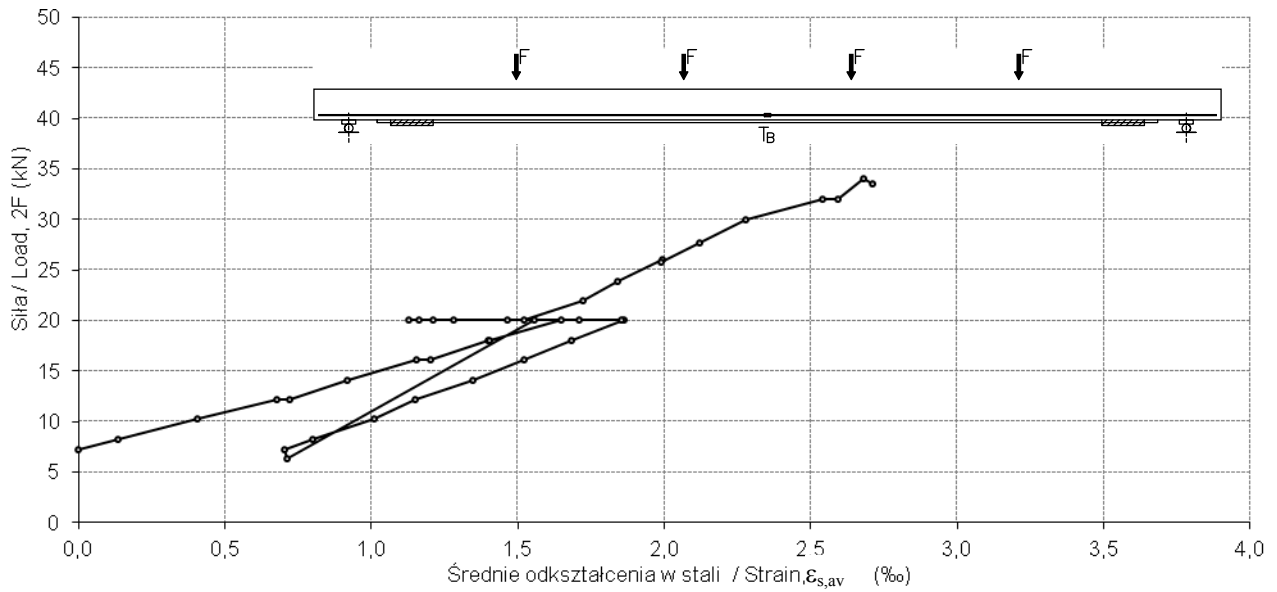
Siła / Load 2F kN	Odształcenia na stali / Steel strain ϵ_s (‰)				
	T _{B1}	T _{B2}	T _{B3}	T _{B4}	$\epsilon_{s,av}$
	3000				3000
7.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.3	0.08	0.18	0.13	0.14	0.13
10.2	0.28	0.56	0.20	0.58	0.40
12.2	0.50	0.87	0.41	0.92	0.68
12.2	0.54	0.87	0.55	0.93	0.72
14.1	0.69	1.10	0.71	1.17	0.92
16.1	0.92	1.38	0.84	1.47	1.15
16.1	0.97	1.42	0.91	1.50	1.20
18.1	1.14	1.64	1.09	1.73	1.40
18.1	1.16	1.64	1.06	1.74	1.40
20.0	1.42	1.93	1.20	2.04	1.65
20.0	1.43	1.90	0.88	2.02	1.56
6.3	0.61	0.85	0.70	0.69	0.71
7.3	0.61	0.84	0.69	0.67	0.70
8.3	0.67	0.95	0.79	0.79	0.80
10.2	0.81	1.16	1.04	1.02	1.01
12.2	0.91	1.32	1.19	1.18	1.15
14.1	1.05	1.54	1.40	1.39	1.34
16.1	1.17	1.73	1.60	1.59	1.52
18.1	1.28	1.90	1.78	1.77	1.68
20.0	1.41	2.08	1.98	1.97	1.86
20.0	1.42	2.07	1.97	1.95	1.85
20.0	1.34	1.92	1.80	1.78	1.71
20.0	1.18	1.66	1.51	1.51	1.46
20.0	1.05	1.45	1.31	1.31	1.28
20.0	1.00	1.38	1.23	1.23	1.21
20.0	0.95	1.28	1.14	1.14	1.13
20.0	0.96	1.32	1.18	1.18	1.16
20.0	1.06	2.40	1.30	1.32	1.52
22.0	1.19	2.63	1.52	1.55	1.72
23.9	1.26	2.76	1.65	1.69	1.84
26.0	1.37	2.92	1.83	1.86	1.99

2F kN	T _{B1}	T _{B2}	T _{B3}	T _{B4}	$\epsilon_{s,av}$
	3000				3000
	25.8	1.37	2.91	1.82	1.86
27.7	1.46	3.05	1.97	2.01	2.12
30.0	1.57	3.21	2.14	2.19	2.28
32.0	1.72	3.36	2.32	2.76	2.54
32.0	1.73	3.37	2.40	2.86	2.59
34.0	1.84	3.63	2.58		2.68
33.5	1.82	3.60			2.71
35.0	1.86				
34.5					
35.7					
35.7					
36.3					
36.5					
36.8					
36.8					
36.8					
37.2					
37.5					
37.6					
37.6					
37.6					
37.6					
37.7					
37.9					
38.1					
38.2					
38.3					
38.5					
38.6					
38.8					
38.9					
39.1					
39.3					
39.5					

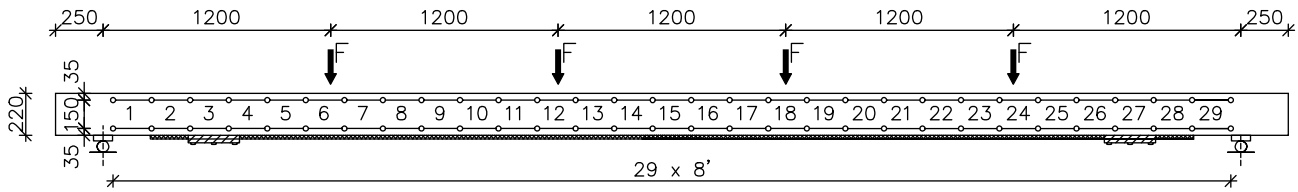
2F kN	T _{B1}	T _{B2}	T _{B3}	T _{B4}	$\epsilon_{s,av}$
	3000				3000
	39.7				
39.8					
40.2					
40.4					
40.6					
40.7					
41.0					
41.2					
41.2					
41.8					
42.2					
42.5					
42.6					
42.7					
42.7					
42.7					
43.3					
43.5					
43.6					
44.2					
44.4					
44.5					
44.6					
44.8					
45.1					
45.4					
45.4					
45.5					
45.5					
45.5					
45.5					
45.5					
45.5					
37.9					
23.9					

Pomiary odkształceń wykonywano tensometrami elektrooporowymi TFs-5 o bazie 5mm.

Strain measurements were carried out by means of electric resistance gauges TFs-5 on the bases of 5mm.



B12-sp-e



Tablica Z4.6 Odkształcenia betonu, ϵ_t , ϵ_c (pomiar ręczny)

Table Z4.6 Concrete strain ϵ_t , ϵ_c (manual measurements)

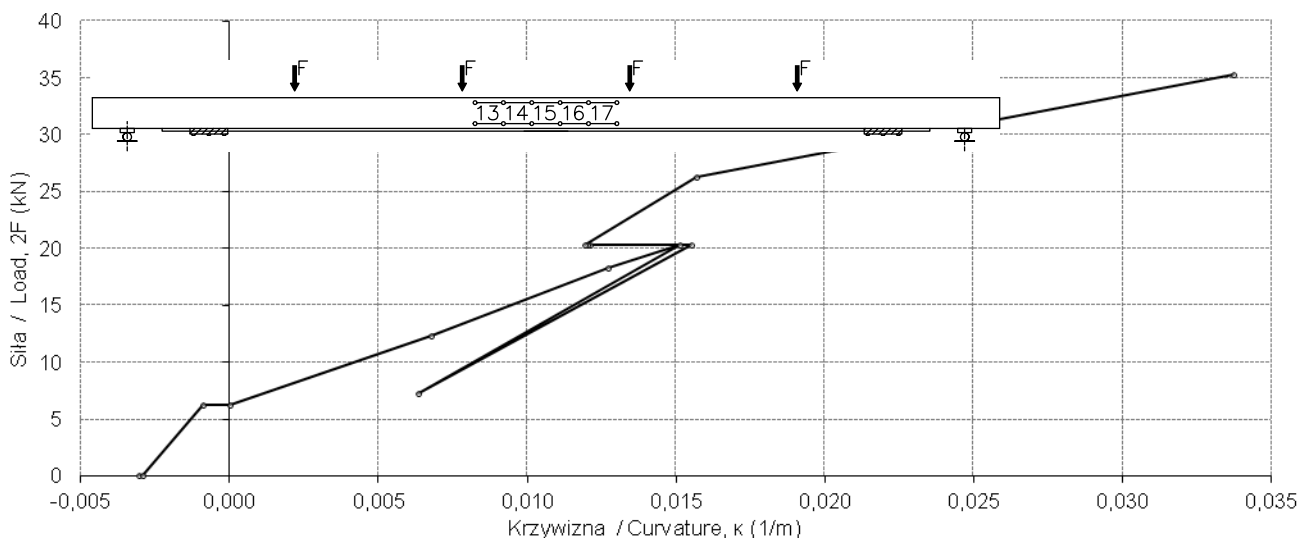
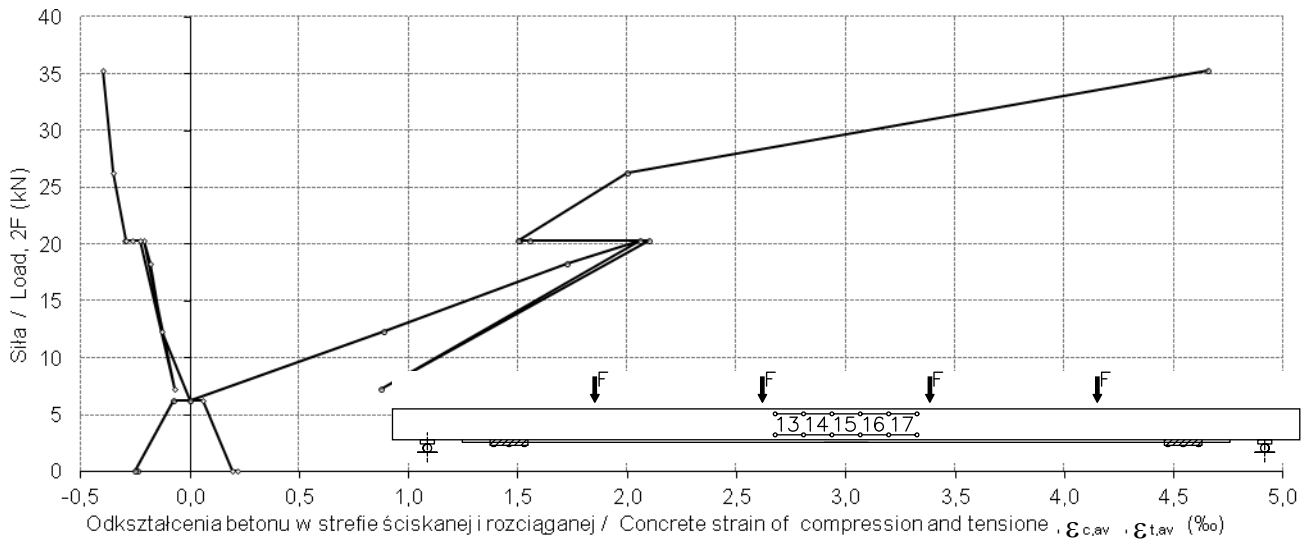
Nr / No	Lokalizacja / Localization	Siła zewnętrzna / External load													
		Poza stanowiskiem na 4 podporach / Outside test set-up on 4 supports	Na stanowisku badawczym / Inside test set-up												
			Podczas badania / During the test												
			Przed wzmocnieniem / Before strengthening						Po wzmocnieniu / After strengthening						
		0 kN	6.3 kN	6.3 kN	12.3kN	18.3kN	20.3kN	7.3 kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	26.3kN	35.3kN	
Odkształcenia betonu w strefie ściskanej / Concrete strain in compression zone, ϵ_c (‰)															
1	5845	0.06	0.05	0.03	0.00	0.00	-0.02	-0.03	-0.02	-0.03	-0.09	-0.09	-0.10	-0.11	-0.11
2	5642	0.09	0.07	0.03	0.00	-0.02	-0.03	-0.05	-0.02	-0.08	-0.14	-0.15	-0.15	-0.17	-0.20
3	5438	0.12	0.09	0.03	0.00	-0.04	-0.10	-0.14	-0.08	-0.17	-0.21	-0.23	-0.24	-0.26	-0.30
4	5235	0.13	0.10	0.05	0.00	-0.06	-0.13	-0.15	-0.07	-0.16	-0.14	-0.15	-0.16	-0.19	-0.22
5	5032	0.19	0.15	0.07	0.00	-0.10	-0.19	-0.23	-0.08	-0.23	-0.20	-0.20	-0.21	-0.27	-0.31
6	4829	0.19	0.15	0.05	0.00	-0.12	-0.22	-0.25	-0.11	-0.26	-0.24	-0.26	-0.27	-0.31	-0.40
7	4626	0.20	0.17	0.06	0.00	-0.12	-0.21	-0.24	-0.10	-0.23	-0.24	-0.27	-0.28	-0.32	-0.41
8	4422	0.24	0.18	0.05	0.00	-0.17	-0.26	-0.29	-0.11	-0.30	-0.30	-0.31	-0.32	-0.39	-0.47
9	4219	0.24	0.20	0.06	0.00	-0.12	-0.20	-0.25	-0.09	-0.25	-0.27	-0.30	-0.30	-0.37	-0.44
10	4016	0.29	0.24	0.06	0.00	-0.15	-0.23	-0.26	-0.11	-0.27	-0.30	-0.33	-0.33	-0.39	-0.48
11	3813	0.31	0.26	0.07	0.00	-0.17	-0.26	-0.30	-0.10	-0.34	-0.32	-0.36	-0.36	-0.42	-0.45
12	3610	0.26	0.21	0.06	0.00	-0.15	-0.21	-0.25	-0.09	-0.25	-0.28	-0.25	-0.30	-0.38	-0.45
13	3406	0.24	0.21	0.06	0.00	-0.12	-0.18	-0.20	-0.08	-0.22	-0.26	-0.30	-0.29	-0.35	-0.44
14	3203	0.20	0.18	0.06	0.00	-0.16	-0.15	-0.17	-0.04	-0.18	-0.23	-0.26	-0.26	-0.31	-0.33
15	3000	0.25	0.22	0.07	0.00	-0.14	-0.21	-0.24	-0.09	-0.26	-0.28	-0.32	-0.31	-0.37	-0.42
16	2797	0.21	0.18	0.06	0.00	-0.12	-0.21	-0.24	-0.08	-0.25	-0.29	-0.31	-0.31	-0.37	-0.37
17	2594	0.21	0.18	0.06	0.00	-0.13	-0.18	-0.21	-0.08	-0.24	-0.28	-0.31	-0.31	-0.35	-0.42
18	2390	0.27	0.24	0.07	0.00	-0.11	-0.20	-0.23	-0.09	-0.24	-0.29	-0.32	-0.31	-0.37	-0.45
19	2187	0.29	0.29	0.07	0.00	-0.14	-0.22	-0.26	-0.09	-0.26	-0.31	-0.33	-0.33	-0.38	-0.47
20	1984	0.23	0.23	0.06	0.00	-0.11	-0.17	-0.20	-0.08	-0.22	-0.25	-0.28	-0.28	-0.33	-0.42
21	1781	0.23	0.22	0.05	0.00	-0.14	-0.22	-0.25	-0.10	-0.27	-0.28	-0.31	-0.30	-0.35	-0.38
22	1578	0.22	0.22	0.05	0.00	-0.19	-0.27	-0.30	-0.14	-0.31	-0.32	-0.35	-0.34	-0.38	-0.48
23	1374	0.16	0.15	0.06	0.00	-0.12	-0.18	-0.20	-0.09	-0.23	-0.22	-0.26	-0.26	-0.30	-0.37
24	1171	0.15	0.15	0.05	0.00	-0.11	-0.18	-0.22	-0.10	-0.23	-0.21	-0.23	-0.23	-0.27	-0.33
25	968	0.14	0.12	0.03	0.00	-0.13	-0.22	-0.25	-0.12	-0.26	-0.22	-0.24	-0.24	-0.29	-0.34
26	765	0.10	0.10	0.04	0.00	-0.06	-0.12	-0.15	-0.08	-0.15	-0.13	-0.14	-0.15	-0.17	-0.21
27	562	0.10	0.10	0.04	0.00	-0.04	-0.08	-0.12	-0.05	-0.13	-0.14	-0.16	-0.17	-0.19	-0.24
28	358	0.09	0.08	0.01	0.00	-0.03	-0.09	-0.11	-0.06	-0.13	-0.17	-0.18	-0.18	-0.21	-0.29
29	155	0.06	0.06	0.03	0.00	-0.02	-0.03	-0.04	-0.03	-0.05	-0.07	-0.09	-0.09	-0.09	-0.10

Nr / No	Lokalizacja / Localization	Siła zewnętrzna / External load													
		Poza stanowiskiem na 4 podporach / Outside test set-up on 4 supports	Na stanowisku badawczym / Inside test set-up												
			Podczas badania / During the test												
			Przed wzmocnieniem / Before strengthening						Po wzmocnieniu / After strengthening						
0 kN		6.3 kN	6.3 kN	12.3kN	18.3kN	20.3kN	7.3 kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	26.3kN	35.3kN		
Odkształcenia betonu w strefie rozciąganej / Concrete strain in tension zone, ϵ_t (‰)															
1	5845	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.10	0.10	0.15
2	5642	-0.02	-0.02	-0.01	0.00	0.03	0.07	0.13	0.31	0.43	1.14	1.14	1.14	1.23	1.40
3	5438	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.16	0.26	0.17	0.29	0.29	0.29	0.29	0.32	0.42
4	5235	-0.01	-0.01	0.01	0.00	0.05	0.38	0.58	0.35	0.61	0.38	0.37	0.38	0.47	0.59
5	5032	-0.15	-0.15	-0.05	0.00	0.44	1.02	1.27	0.73	1.31	0.72	0.71	0.74	0.96	1.21
6	4829	-0.07	-0.08	-0.01	0.00	0.27	0.72	0.95	0.42	0.99	0.62	0.60	0.62	0.83	1.04
7	4626	-0.07	-0.08	-0.01	0.00	0.41	0.87	1.06	0.53	1.10	0.69	0.66	0.68	0.91	1.17
8	4422	-0.21	-0.22	-0.07	0.00	0.68	1.37	1.64	0.79	1.67	1.08	1.05	1.08	1.44	1.83
9	4219	-0.16	-0.18	-0.05	0.00	0.54	1.17	1.52	0.69	1.55	1.02	0.98	1.00	1.36	1.77
10	4016	-0.23	-0.25	-0.05	0.00	0.46	0.92	1.13	0.44	1.15	0.70	0.72	0.73	1.01	1.38
11	3813	-0.27	-0.31	-0.09	0.00	1.03	2.04	2.46	1.11	2.53	1.81	1.78	1.79	2.36	3.16
12	3610	-0.15	-0.18	-0.05	0.00	0.49	1.04	1.28	0.50	1.32	0.93	0.88	0.89	1.22	3.02
13	3406	-0.21	-0.23	-0.07	0.00	1.06	1.97	2.34	1.03	2.38	1.75	1.71	1.71	2.26	3.62
14	3203	-0.22	-0.23	-0.06	0.00	0.90	1.80	2.18	0.96	2.25	1.67	1.64	1.63	2.16	5.06
15	3000	-0.29	-0.30	-0.09	0.00	0.59	1.11	1.29	0.43	1.28	0.88	0.83	0.83	1.18	6.06
16	2797	-0.28	-0.28	-0.08	0.00	0.99	1.89	2.28	0.99	2.33	1.75	1.71	1.69	2.23	5.38
17	2594	-0.21	-0.23	-0.08	0.00	0.88	1.83	2.20	0.95	2.25	1.70	1.63	1.62	2.16	3.16
18	2390	-0.24	-0.25	-0.04	0.00	0.59	1.17	1.40	0.57	1.43	1.03	0.98	0.97	1.33	1.87
19	2187	-0.42	-0.43	-0.11	0.00	0.89	1.67	2.00	0.83	2.05	1.49	1.44	1.42	1.90	2.59
20	1984	-0.21	-0.22	-0.04	0.00	0.64	1.35	1.62	0.73	1.66	1.20	1.15	1.15	1.53	2.01
21	1781	-0.15	-0.15	-0.04	0.00	0.56	1.14	1.40	0.67	1.44	1.01	0.98	0.99	1.30	1.68
22	1578	-0.27	-0.26	-0.09	0.00	0.78	1.63	2.01	0.98	2.07	1.42	1.39	1.40	1.82	2.32
23	1374	-0.10	-0.10	-0.03	0.00	0.36	0.84	1.02	0.50	1.04	0.69	0.65	0.67	0.89	1.12
24	1171	-0.08	-0.09	-0.02	0.00	0.31	0.71	0.88	0.43	0.89	0.55	0.50	0.51	0.70	0.80
25	968	-0.12	-0.11	-0.04	0.00	0.26	0.88	1.10	0.63	1.14	0.66	0.65	0.66	0.86	1.05
26	765	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.08	0.31	0.50	0.31	0.53	0.32	0.31	0.32	0.41	0.51
27	562	-0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.15	0.21	0.12	0.23	0.20	0.19	0.19	0.24	0.33
28	358	-0.05	-0.03	-0.01	0.00	0.03	0.12	0.18	0.15	0.23	0.29	0.31	0.31	0.41	0.60
29	155	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00

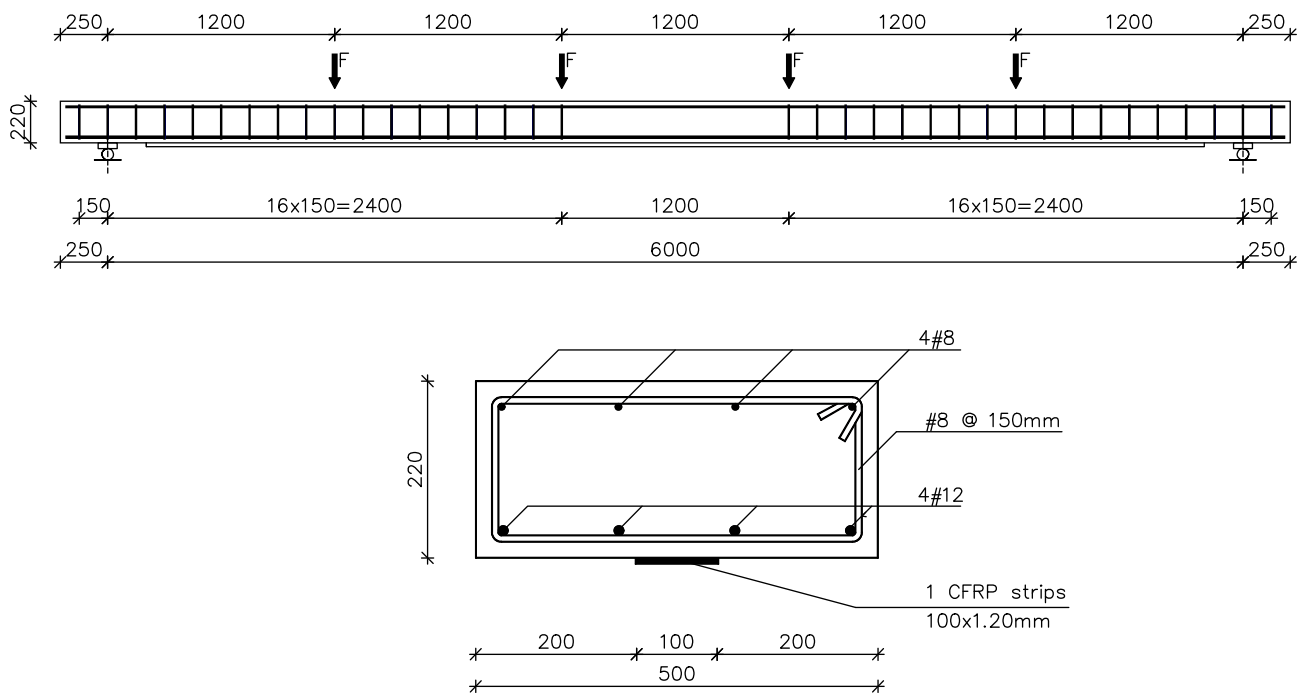
	Siła zewnętrzna / External load													
	Poza stanowiskiem na 4 podporach / Outside test set-up on 4 supports	Na stanowisku badawczym / Inside test set-up												
		Podczas badania / During the test												
		Przed wzmocnieniem / Before strengthening						Po wzmocnieniu / After strengthening						
	0 kN		6.3 kN	6.3 kN	12.3kN	18.3kN	20.3kN	7.3 kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	20.3kN	26.3kN	35.3kN
$\epsilon_{c,av}$ (‰)	0.22	0.19	0.06	0.00	-0.13	-0.18	-0.21	-0.07	-0.23	-0.26	-0.30	-0.29	-0.35	-0.40
$\epsilon_{t,av}$ (‰)	-0.24	-0.25	-0.07	0.00	0.88	1.72	2.06	0.88	2.10	1.55	1.51	1.50	2.00	4.66
K (1/m)	-0.0030	-0.0029	-0.001	0.000	0.0068	0.0127	0.0151	0.0063	0.0155	0.0121	0.0120	0.0119	0.0157	0.0337

Pomiary odkształceń wykonywano przy użyciu ekstensometru nasadowego o bazie 8'.
Concrete strain measurements measured by hand with dial strain gauges of 8' working range.

B12-sp-e



Series B



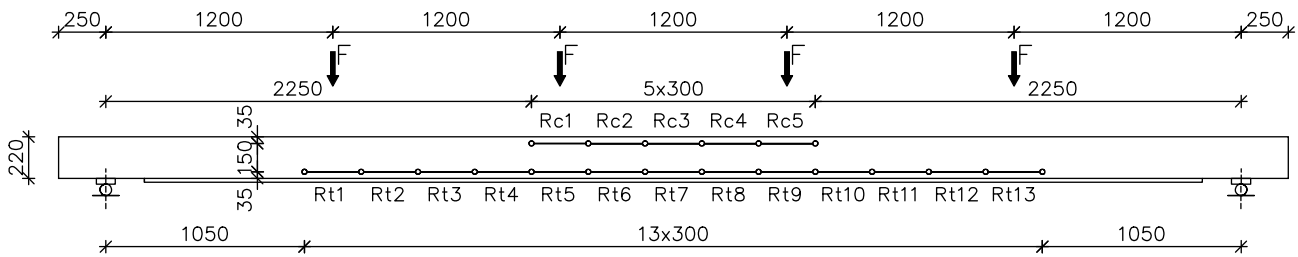
Tablica Z5.1 Zestawienie charakterystycznych parametrów dla elementu B12-a
Table Z5.1 Summary of characteristic parameters for beam B12-a

B12-a	Beton Concrete		Stal zbrojeniowa Steel reinforcement		CFRP		Siła Load	
		500 x 220mm ²		4 #12	4 #8	1x 100x1.2mm ²		2F _p
f _{c,cube}	50.3MPa	A _s	113.3mm ²	49.4mm ²	f _{fu}	2857MPa	2F _{u0}	26.0kN
f _{ct,split}	3.60MPa	f _y	539.6MPa	416.2MPa	ε _{fu}	16.8‰	$\frac{2F_p}{2F_{u0}}$	25%
f _c	- MPa	f _t	627.5MPa	734.1MPa	E _f	173.7Gpa	2F _u	50.6kN
E _c	24.3MPa	E _s	191.3GPa	186.1GPa	ε _{f,tot} (ε _{f,p} +ε _{f,test})	11.5‰ (5.10‰+6.40‰)	$\frac{2F_u}{2F_{u0}}$	194%

B12-a

a - taśma przyklejona / laminate bonded

B12-a



Tablica Z5.2 Odształcenia betonu, ϵ_c , ϵ_t (pomiar komputerowe)

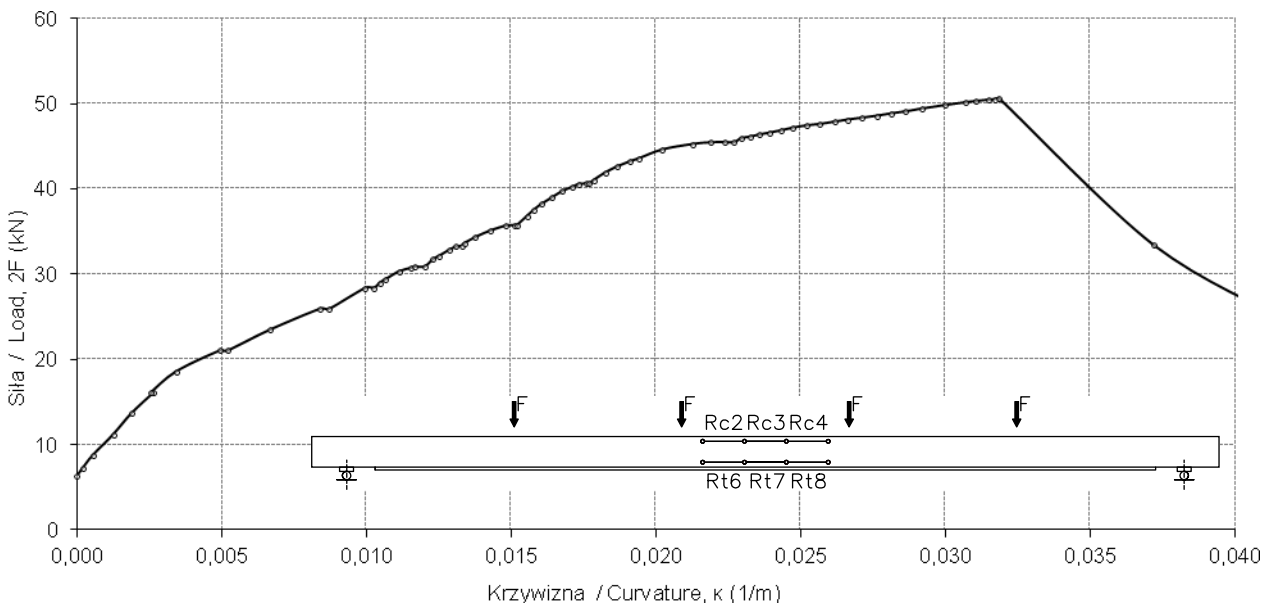
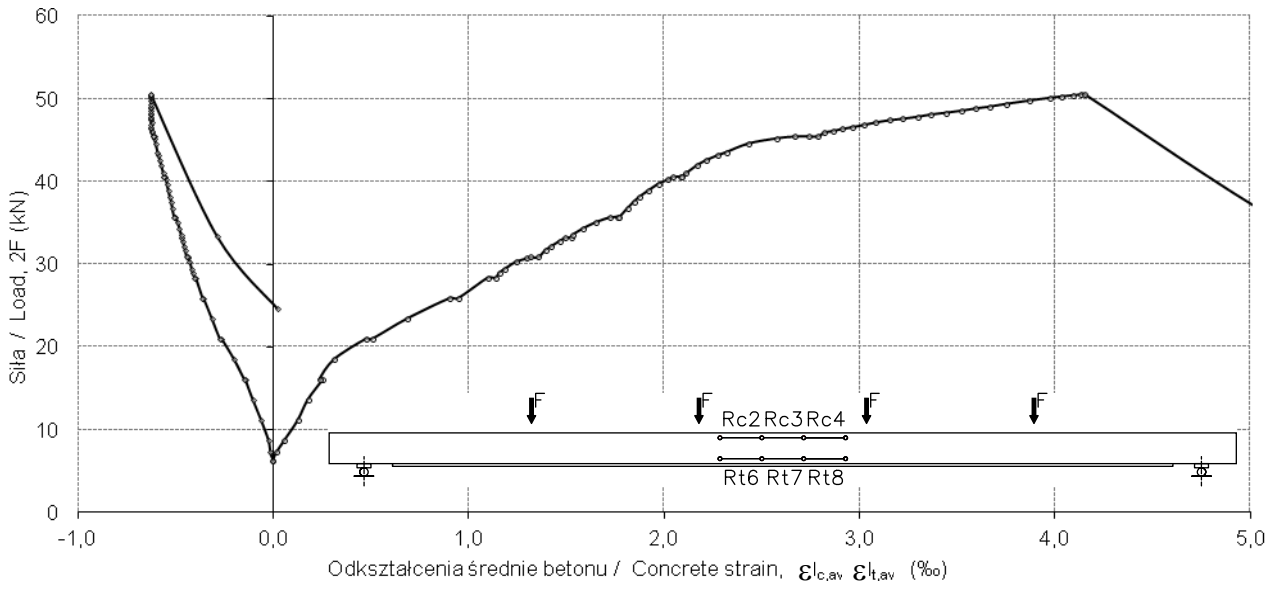
Table Z5.2 Concrete strain, ϵ_c , ϵ_t (computer registered measurements)

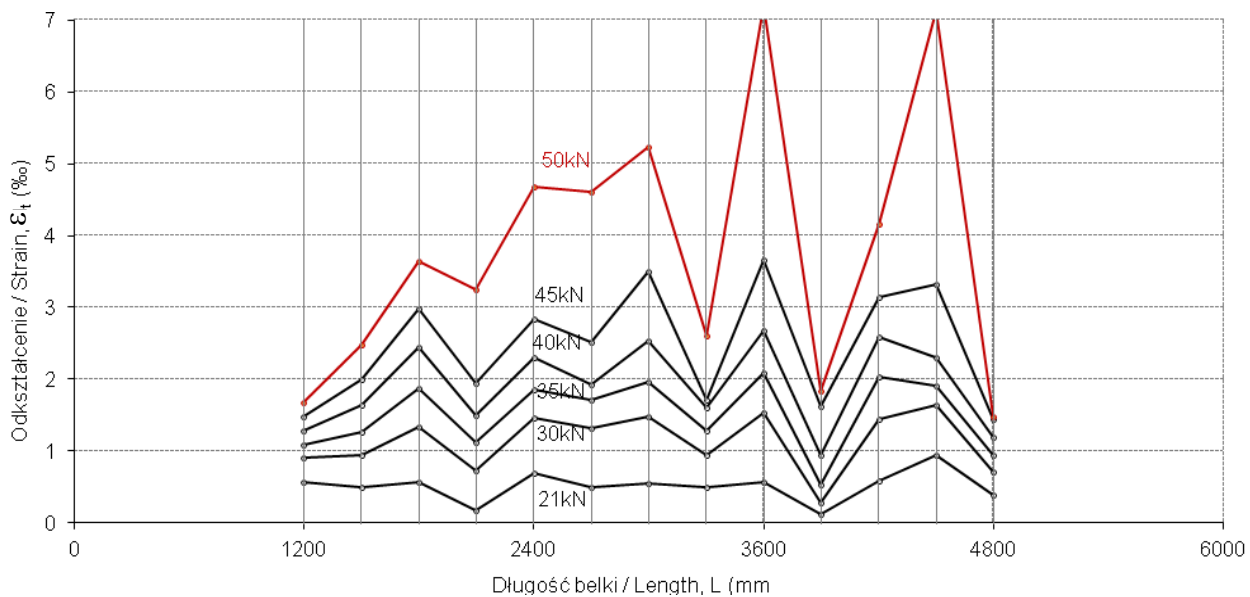
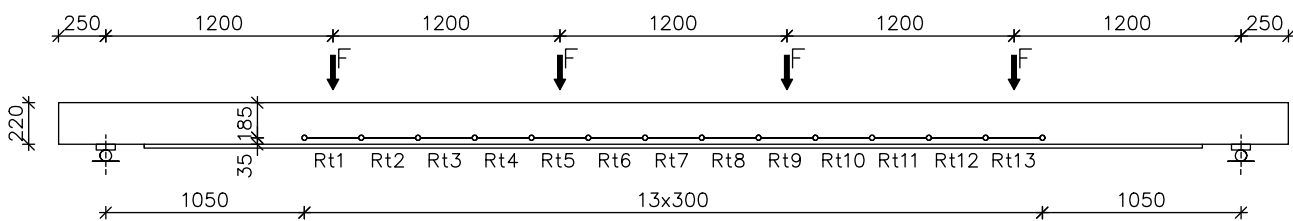
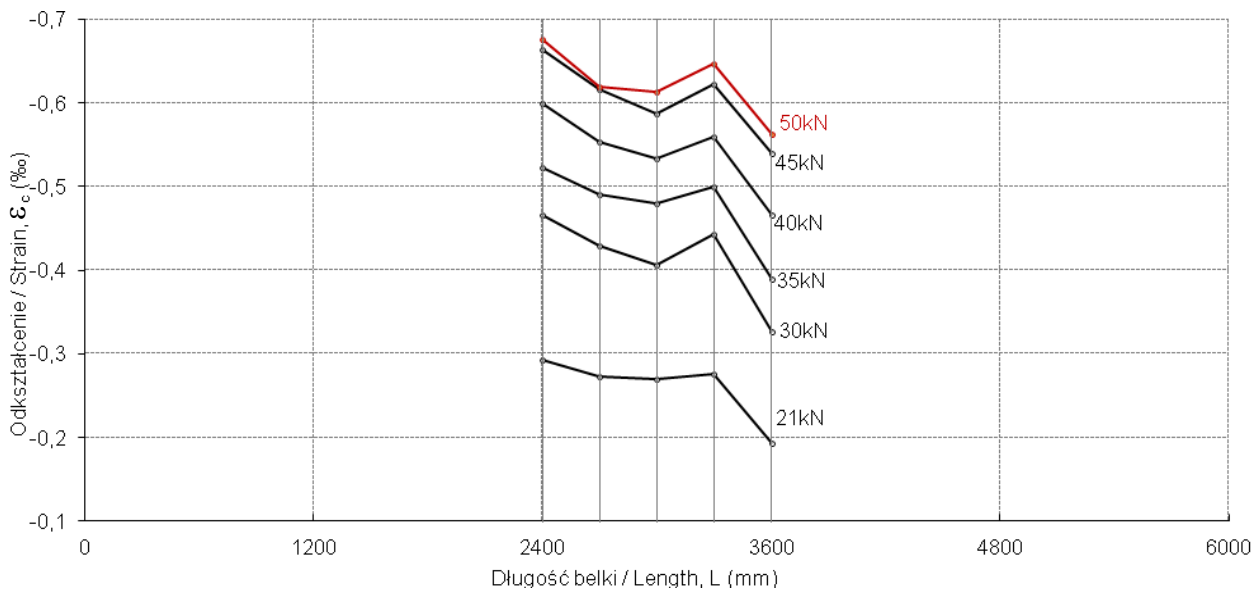
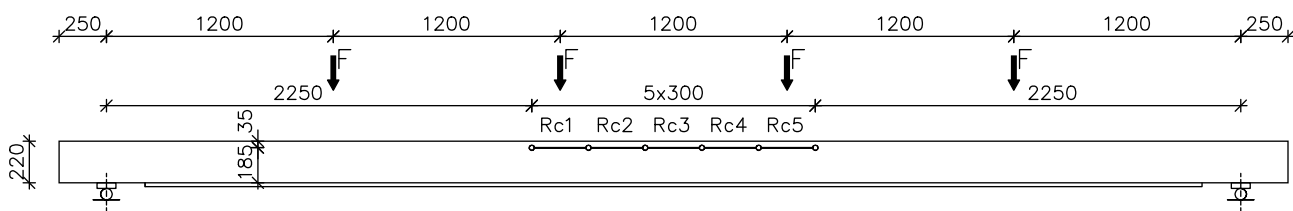
Siła / Load 2F kN	Odształcenia betonu / Concrete strain																			Krzywizna / Curvature K 1/m			
	ϵ_c						ϵ_t																
	Rc1	Rc2	Rc3	Rc4	Rc5	$\epsilon_{c,av}$	Rt1	Rt2	Rt3	Rt4	Rt5	Rt6	Rt7	Rt8	Rt9	Rt10	Rt11	Rt12	Rt13		$\epsilon_{t,av}$		
	‰						‰														‰		
6.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000
7.3	0.00	-0.03	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01	0.00	0.03	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.0002
8.8	-0.04	-0.03	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	0.03	0.04	0.08	0.03	0.12	0.05	0.05	0.08	0.01	0.02	0.08	0.06	0.00	0.06	0.00	0.06	0.0006
11.2	-0.09	-0.06	-0.07	-0.06	-0.04	-0.06	0.08	0.09	0.19	0.07	0.20	0.11	0.11	0.16	0.02	0.07	0.19	0.17	0.04	0.13	0.00	0.13	0.0013
13.7	-0.13	-0.10	-0.10	-0.11	-0.08	-0.10	0.16	0.16	0.27	0.09	0.29	0.16	0.15	0.22	0.11	0.09	0.26	0.31	0.09	0.18	0.00	0.18	0.0019
16.1	-0.17	-0.14	-0.14	-0.15	-0.12	-0.14	0.30	0.27	0.35	0.12	0.39	0.22	0.21	0.33	0.21	0.11	0.34	0.50	0.17	0.25	0.00	0.25	0.0027
16.1	-0.18	-0.14	-0.14	-0.16	-0.12	-0.15	0.34	0.25	0.35	0.11	0.39	0.22	0.21	0.29	0.22	0.11	0.35	0.53	0.18	0.24	0.00	0.24	0.0026
18.6	-0.22	-0.20	-0.20	-0.21	-0.16	-0.20	0.42	0.36	0.39	0.14	0.49	0.29	0.28	0.37	0.33	0.12	0.42	0.69	0.24	0.31	0.00	0.31	0.0034
21.0	-0.28	-0.27	-0.26	-0.27	-0.19	-0.26	0.53	0.47	0.54	0.17	0.65	0.46	0.50	0.47	0.53	0.12	0.55	0.95	0.32	0.48	0.00	0.48	0.0049
21.0	-0.29	-0.27	-0.27	-0.28	-0.19	-0.27	0.57	0.49	0.57	0.18	0.68	0.49	0.54	0.49	0.57	0.12	0.58	0.95	0.38	0.51	0.00	0.51	0.0052
23.5	-0.34	-0.32	-0.30	-0.32	-0.22	-0.31	0.65	0.57	0.73	0.25	0.88	0.69	0.79	0.58	0.79	0.12	0.75	1.12	0.46	0.69	0.00	0.69	0.0067
25.9	-0.39	-0.36	-0.34	-0.37	-0.26	-0.36	0.76	0.70	0.97	0.42	1.10	0.94	1.05	0.72	1.07	0.13	1.00	1.33	0.56	0.90	0.00	0.90	0.0084
25.9	-0.40	-0.37	-0.34	-0.37	-0.27	-0.36	0.80	0.74	1.03	0.46	1.14	0.99	1.10	0.75	1.13	0.13	1.06	1.38	0.60	0.95	0.00	0.95	0.0087
28.4	-0.43	-0.40	-0.38	-0.41	-0.30	-0.40	0.86	0.82	1.21	0.59	1.31	1.15	1.29	0.85	1.34	0.21	1.24	1.55	0.65	1.10	0.00	1.10	0.0100
28.4	-0.44	-0.40	-0.38	-0.42	-0.31	-0.40	0.87	0.86	1.25	0.62	1.34	1.18	1.35	0.88	1.39	0.23	1.31	1.51	0.68	1.14	0.00	1.14	0.0103
29.0	-0.45	-0.41	-0.39	-0.43	-0.31	-0.41	0.89	0.88	1.27	0.64	1.37	1.21	1.37	0.89	1.42	0.23	1.34	1.57	0.69	1.16	0.00	1.16	0.0105
29.4	-0.46	-0.42	-0.40	-0.44	-0.32	-0.42	0.90	0.89	1.29	0.67	1.39	1.24	1.40	0.91	1.45	0.25	1.37	1.59	0.70	1.18	0.00	1.18	0.0107
30.3	-0.47	-0.43	-0.41	-0.44	-0.33	-0.43	0.91	0.94	1.33	0.72	1.46	1.31	1.47	0.95	1.54	0.28	1.44	1.63	0.72	1.24	0.00	1.24	0.0111
30.7	-0.47	-0.43	-0.42	-0.45	-0.33	-0.43	0.93	0.97	1.43	0.78	1.50	1.36	1.54	1.00	1.61	0.31	1.52	1.67	0.75	1.30	0.00	1.30	0.0115
30.9	-0.47	-0.44	-0.42	-0.45	-0.34	-0.43	0.94	0.99	1.45	0.80	1.52	1.39	1.56	1.01	1.63	0.32	1.55	1.68	0.76	1.32	0.00	1.32	0.0117
30.9	-0.48	-0.45	-0.43	-0.46	-0.34	-0.44	0.96	1.03	1.52	0.83	1.56	1.42	1.61	1.04	1.69	0.34	1.64	1.70	0.79	1.36	0.00	1.36	0.0120
31.7	-0.49	-0.45	-0.43	-0.47	-0.35	-0.45	0.98	1.06	1.55	0.86	1.60	1.46	1.66	1.06	1.74	0.35	1.68	1.73	0.80	1.39	0.00	1.39	0.0123
32.1	-0.49	-0.46	-0.44	-0.47	-0.36	-0.46	0.99	1.07	1.58	0.88	1.62	1.49	1.69	1.08	1.78	0.37	1.72	1.75	0.81	1.42	0.00	1.42	0.0125
32.8	-0.50	-0.47	-0.45	-0.48	-0.37	-0.46	1.01	1.11	1.64	0.92	1.67	1.54	1.74	1.11	1.84	0.40	1.78	1.78	0.83	1.46	0.00	1.46	0.0129
33.2	-0.51	-0.47	-0.45	-0.48	-0.37	-0.47	1.02	1.14	1.68	0.96	1.70	1.56	1.78	1.14	1.89	0.42	1.82	1.81	0.85	1.50	0.00	1.50	0.0131
33.3	-0.51	-0.47	-0.45	-0.48	-0.37	-0.47	1.03	1.17	1.73	0.99	1.73	1.59	1.81	1.17	1.93	0.44	1.87	1.82	0.88	1.52	0.00	1.52	0.0133
33.6	-0.51	-0.47	-0.46	-0.49	-0.37	-0.47	1.04	1.18	1.74	1.01	1.74	1.60	1.82	1.18	1.94	0.46	1.88	1.83	0.88	1.54	0.00	1.54	0.0134
34.3	-0.52	-0.48	-0.47	-0.49	-0.38	-0.48	1.06	1.21	1.80	1.05	1.79	1.65	1.89	1.22	2.00	0.49	1.94	1.87	0.90	1.59	0.00	1.59	0.0138
35.1	-0.52	-0.49	-0.48	-0.50	-0.39	-0.49	1.08	1.26	1.87	1.12	1.86	1.71	1.97	1.28	2.08	0.53	2.03	1.92	0.94	1.65	0.00	1.65	0.0143
35.7	-0.53	-0.50	-0.49	-0.51	-0.40	-0.50	1.11	1.32	1.97	1.18	1.92	1.79	2.05	1.33	2.18	0.60	2.13	1.97	0.98	1.72	0.00	1.72	0.0148
35.7	-0.54	-0.50	-0.50	-0.51	-0.41	-0.50	1.13	1.36	2.02	1.21	1.96	1.82	2.10	1.36	2.23	0.64	2.19	2.00	1.01	1.76	0.00	1.76	0.0151
35.8	-0.55	-0.51	-0.50	-0.52	-0.42	-0.51	1.15	1.39	2.05	1.23	1.98	1.82	2.12	1.37	2.25	0.65	2.21	2.02	1.03	1.77	0.00	1.77	0.0152
36.8	-0.56	-0.52	-0.51	-0.53	-0.43	-0.52	1.17	1.42	2.11	1.27	2.04	1.83	2.19	1.42	2.32	0.69	2.28	2.08	1.05	1.81	0.00	1.81	0.0155
37.6	-0.57	-0.52	-0.51	-0.53	-0.43	-0.52	1.19	1.46	2.16	1.30	2.09	1.84	2.25	1.45	2.38	0.71	2.33	2.11	1.07	1.85	0.00	1.85	0.0158
38.2	-0.57	-0.53	-0.51	-0.54	-0.44	-0.53	1.21	1.49	2.22	1.34	2.14	1.84	2.31	1.48	2.44	0.76	2.39	2.15	1.09	1.87	0.00	1.87	0.0160
39.0	-0.58	-0.54	-0.52	-0.55	-0.45	-0.54	1.23	1.55	2.31	1.40	2.20	1.84	2.40	1.53	2.53	0.83	2.46	2.20	1.13	1.92	0.00	1.92	0.0164
39.7	-0.59	-0.55	-0.53	-0.56	-0.46	-0.54	1.26	1.60	2.38	1.45	2.26	1.87	2.48	1.57	2.60	0.88	2.53	2.25	1.16	1.97	0.00	1.97	0.0168
40.2	-0.60	-0.55	-0.53	-0.55	-0.47	-0.55	1.28	1.63	2.44	1.49	2.30	1.93	2.54	1.60	2.67	0.93	2.59	2.30	1.19	2.02	0.00	2.02	0.0171
40.6	-0.60	-0.56	-0.54	-0.56	-0.47	-0.55	1.29	1.66	2.48	1.53	2.33	1.95	2.57	1.62	2.71	0.97	2.63	2.32	1.21	2.05	0.00	2.05	0.0173
40.6	-0.61	-0.56	-0.54	-0.57	-0.47	-0.56	1.31	1.70	2.54	1.57	2.36	1.98	2.62	1.64	2.76	1.02	2.68	2.36	1.23	2.08	0.00	2.08	0.0176
40.6	-0.61	-0.57	-0.54	-0.57	-0.48	-0.56	1.32	1.72	2.56	1.57	2.37	1.99	2.64	1.65	2.78	1.03	2.69	2.37	1.25	2.09	0.00	2.09	0.0177
41.0	-0.62	-0.57	-0.55	-0.58	-0.48	-0.56	1.33	1.73	2.57	1.59	2.40	2.01	2.67	1.66	2.80	1.04	2.71	2.39	1.26	2.11	0.00	2.11	0.0178
41.9	-0.63	-0.58	-0.55	-0.59	-0.49	-0.57	1.37	1.76	2.64	1.64	2.45	2.07	2.73	1.70	2.88	1.09	2.78	2.43	1.27	2.17	0.00	2.17	0.0183
42.6	-0.63	-0.59	-0.56	-0.60	-0.50	-0.58	1.36	1.81	2.70	1.68	2.51	2.14	2.80	1.71	2.97	1.14	2.83	2.48	1.30	2.22	0.00	2.22	0.0187

43.2	-0.64	-0.59	-0.57	-0.60	-0.51	-0.59	1.39	1.85	2.76	1.73	2.56	2.21	2.88	1.74	3.06	1.19	2.89	2.52	1.33	2.28	0.0191
43.6	-0.65	-0.60	-0.57	-0.61	-0.51	-0.59	1.40	1.88	2.80	1.76	2.61	2.25	2.97	1.74	3.14	1.22	2.92	2.55	1.34	2.32	0.0194
44.6	-0.65	-0.61	-0.58	-0.62	-0.53	-0.60	1.44	1.95	2.90	1.85	2.72	2.38	3.16	1.76	3.36	1.30	3.00	2.63	1.39	2.43	0.0202
45.2	-0.66	-0.62	-0.59	-0.62	-0.54	-0.61	1.47	2.00	2.99	1.94	2.85	2.52	3.51	1.71	3.66	1.62	3.14	3.32	1.44	2.58	0.0213
45.4	-0.67	-0.62	-0.59	-0.62	-0.54	-0.61	1.48	2.03	3.02	1.98	2.92	2.61	3.70	1.70	3.86	1.64	3.18	3.53	1.44	2.67	0.0219
45.5	-0.67	-0.62	-0.59	-0.63	-0.55	-0.61	1.49	2.05	3.05	2.01	2.98	2.71	3.83	1.69	4.05	1.66	3.20	3.81	1.44	2.74	0.0224
45.5	-0.68	-0.62	-0.59	-0.64	-0.54	-0.62	1.50	2.06	3.06	2.03	3.03	2.78	3.89	1.69	4.16	1.68	3.23	3.93	1.45	2.79	0.0227
45.9	-0.68	-0.62	-0.60	-0.64	-0.54	-0.62	1.51	2.08	3.09	2.05	3.05	2.82	3.94	1.70	4.20	1.69	3.25	3.96	1.45	2.82	0.0229
46.1	-0.68	-0.62	-0.60	-0.65	-0.55	-0.62	1.52	2.09	3.11	2.08	3.10	2.89	3.99	1.71	4.28	1.71	3.28	4.02	1.45	2.86	0.0232
46.4	-0.69	-0.62	-0.60	-0.65	-0.55	-0.62	1.52	2.10	3.13	2.11	3.15	2.96	4.05	1.73	4.38	1.72	3.29	4.11	1.45	2.91	0.0236
46.6	-0.69	-0.62	-0.60	-0.65	-0.55	-0.62	1.53	2.11	3.15	2.15	3.22	3.04	4.12	1.74	4.50	1.73	3.31	4.23	1.45	2.97	0.0239
46.8	-0.69	-0.62	-0.60	-0.65	-0.55	-0.62	1.54	2.12	3.17	2.20	3.32	3.10	4.20	1.76	4.63	1.74	3.34	4.39	1.45	3.02	0.0243
47.1	-0.69	-0.62	-0.60	-0.65	-0.55	-0.62	1.54	2.14	3.20	2.30	3.45	3.16	4.29	1.81	4.76	1.76	3.36	4.56	1.45	3.08	0.0247
47.4	-0.68	-0.62	-0.60	-0.65	-0.55	-0.62	1.55	2.16	3.23	2.43	3.57	3.23	4.36	1.88	4.92	1.76	3.39	4.70	1.45	3.16	0.0252
47.6	-0.68	-0.62	-0.60	-0.65	-0.55	-0.62	1.56	2.18	3.26	2.49	3.66	3.30	4.41	1.95	5.09	1.75	3.41	4.79	1.46	3.22	0.0256
47.9	-0.68	-0.62	-0.60	-0.65	-0.55	-0.62	1.57	2.20	3.29	2.57	3.73	3.41	4.48	2.01	5.32	1.75	3.45	4.91	1.46	3.30	0.0262
48.1	-0.68	-0.62	-0.60	-0.65	-0.55	-0.63	1.58	2.21	3.32	2.63	3.79	3.50	4.54	2.06	5.51	1.75	3.47	5.02	1.45	3.37	0.0266
48.3	-0.68	-0.62	-0.60	-0.65	-0.55	-0.62	1.59	2.24	3.34	2.69	3.86	3.61	4.62	2.11	5.68	1.76	3.47	5.17	1.46	3.44	0.0271
48.6	-0.68	-0.62	-0.60	-0.65	-0.56	-0.62	1.60	2.26	3.37	2.74	3.94	3.72	4.68	2.16	5.84	1.77	3.51	5.32	1.46	3.52	0.0276
48.8	-0.69	-0.62	-0.61	-0.65	-0.56	-0.63	1.61	2.28	3.40	2.79	4.02	3.83	4.74	2.21	6.00	1.78	3.56	5.45	1.46	3.60	0.0281
49.1	-0.68	-0.62	-0.61	-0.65	-0.56	-0.63	1.62	2.30	3.43	2.84	4.10	3.94	4.80	2.26	6.14	1.78	3.60	5.59	1.47	3.66	0.0286
49.4	-0.68	-0.62	-0.61	-0.65	-0.56	-0.63	1.63	2.32	3.47	2.90	4.22	4.07	4.88	2.31	6.32	1.80	3.65	5.87	1.47	3.75	0.0292
49.8	-0.68	-0.62	-0.61	-0.65	-0.56	-0.63	1.64	2.36	3.51	2.98	4.38	4.25	4.98	2.38	6.57	1.82	3.73	6.26	1.47	3.87	0.0300
50.1	-0.68	-0.62	-0.61	-0.65	-0.56	-0.63	1.66	2.40	3.56	3.05	4.49	4.40	5.07	2.46	6.82	1.83	3.81	6.55	1.48	3.98	0.0307
50.3	-0.68	-0.62	-0.61	-0.65	-0.56	-0.63	1.66	2.43	3.59	3.11	4.56	4.46	5.13	2.50	6.97	1.84	3.91	6.74	1.48	4.03	0.0311
50.4	-0.68	-0.62	-0.61	-0.65	-0.56	-0.63	1.67	2.45	3.61	3.17	4.63	4.54	5.19	2.56	7.10	1.84	4.06	6.92	1.48	4.09	0.0315
50.5	-0.68	-0.62	-0.61	-0.65	-0.56	-0.63	1.67	2.47	3.63	3.21	4.66	4.58	5.22	2.59	7.18	1.84	4.13	7.06	1.49	4.13	0.0317
50.6	-0.68	-0.62	-0.61	-0.65	-0.56	-0.63	1.67	2.48	3.65	3.24	4.68	4.60	5.24	2.60	7.22	1.84	4.16	7.14	1.48	4.15	0.0318
33.4	-0.36	-0.27	-0.27	-0.32	-0.27	-0.29	1.47	2.27	3.56	4.03	5.56	5.75	6.88	3.24	9.45	2.19	4.37	7.19	1.37	5.29	0.0372
24.6	-0.07	0.06	0.04	-0.03	-0.04	0.02	1.60	2.22	3.60	4.63	6.34	6.60	8.32	3.93	11.18	2.48	4.54	7.16	1.30	6.28	0.0417

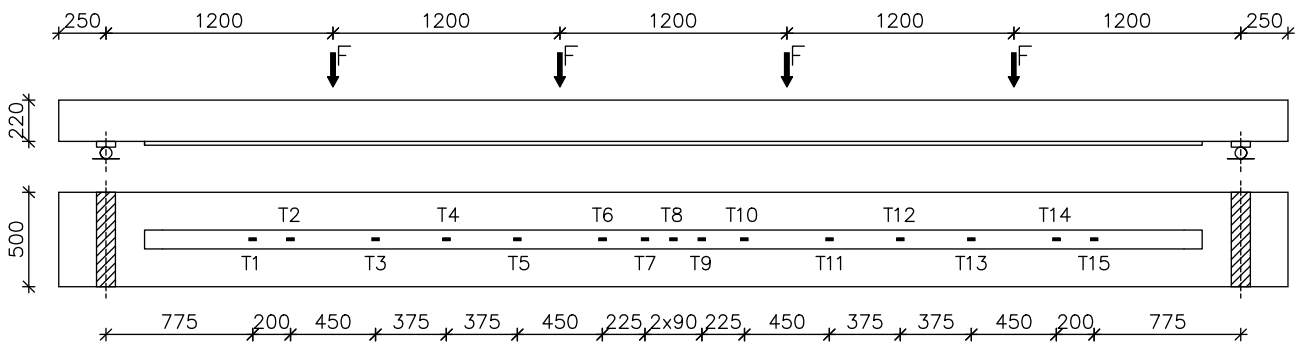
Pomiary odkształceń betonu wykonywano przetwornikami przemieszczeń liniowych o zakresie 10 i 20mm.
Concrete strain were measured with linear displacement transducers of 10 and 20mm range.

B12-a





B12-a



Tablica Z5.3 Odkształcenia taśmy CFRP, ϵ_f

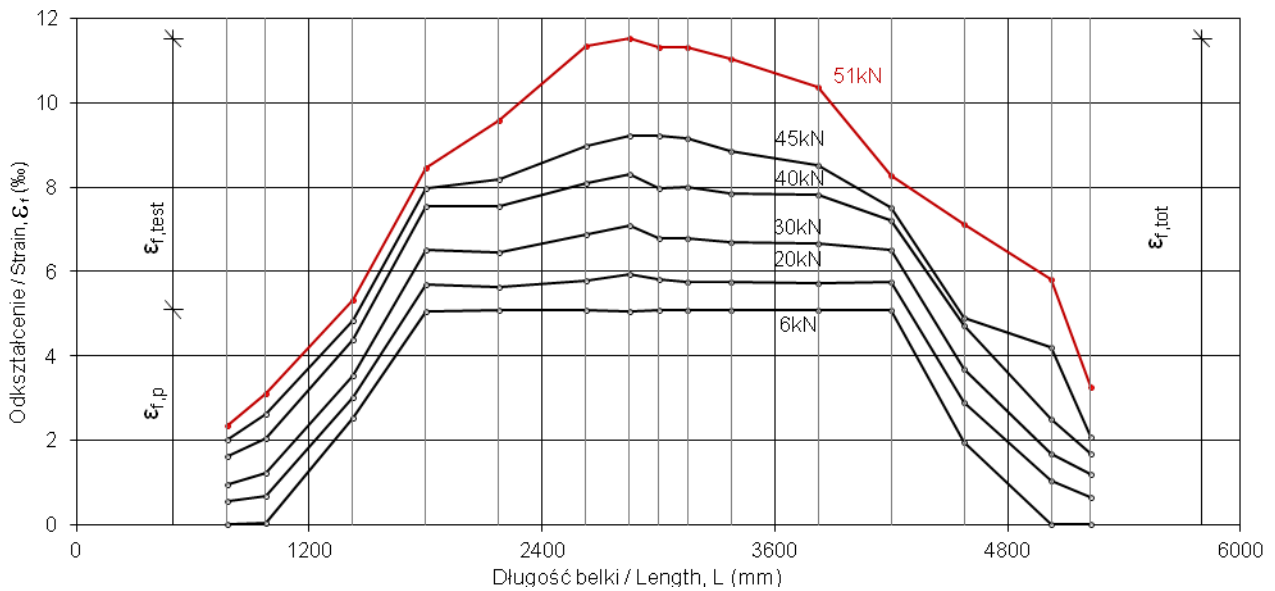
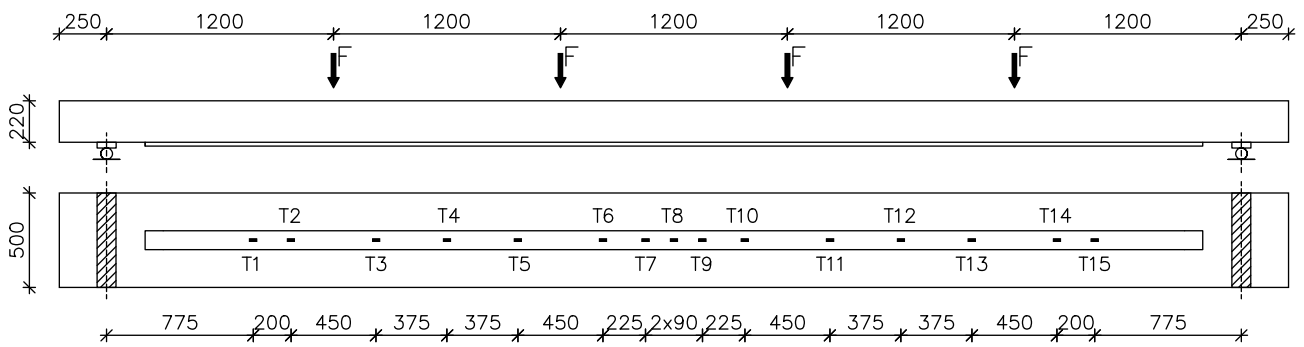
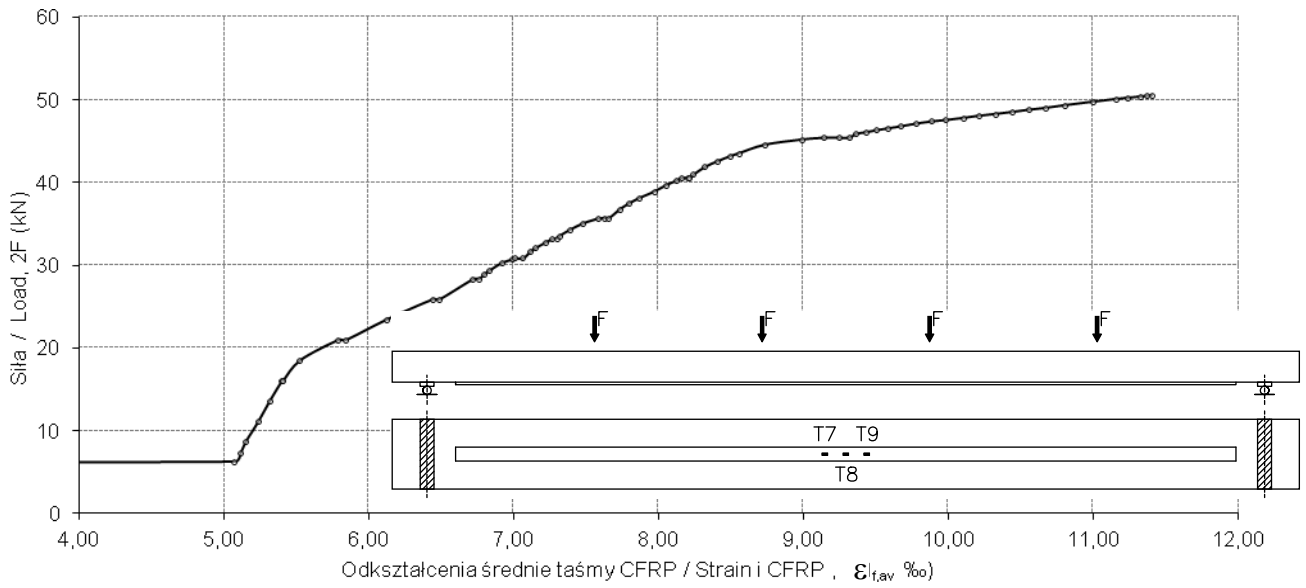
Table Z5.3 CFRP strain, ϵ_f

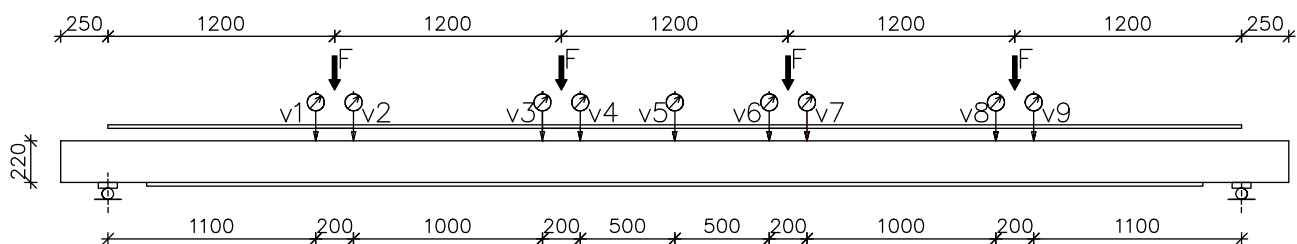
Siła / Load 2F kN	Odkształcenia taśmy CFRP / CFRP strain ϵ_f															T_M ‰	
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15		
6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.3	0.01	0.02	2.52	5.05	5.08	5.07	5.06	5.08	5.08	5.07	5.09	5.08	1.94	0.02	0.01	5.1	
7.3	0.02	0.03	2.53	5.08	5.10	5.12	5.10	5.11	5.11	5.11	5.12	5.12	1.96	0.03	0.02	5.1	
8.8	0.04	0.05	2.55	5.14	5.14	5.13	5.16	5.15	5.15	5.16	5.17	5.19	2.01	0.06	0.04	5.1	
11.2	0.08	0.09	2.61	5.24	5.22	5.22	5.26	5.24	5.23	5.24	5.27	5.29	2.11	0.14	0.08	5.2	
13.7	0.14	0.17	2.69	5.33	5.29	5.29	5.33	5.31	5.30	5.31	5.36	5.39	2.26	0.32	0.13	5.3	
16.1	0.22	0.31	2.79	5.41	5.35	5.37	5.43	5.39	5.37	5.39	5.44	5.50	2.43	0.52	0.23	5.4	
16.1	0.26	0.35	2.80	5.41	5.36	5.38	5.44	5.40	5.38	5.39	5.45	5.50	2.48	0.60	0.27	5.4	
18.6	0.33	0.45	2.88	5.50	5.44	5.48	5.58	5.51	5.48	5.50	5.54	5.59	2.64	0.75	0.36	5.5	
21.0	0.48	0.63	3.00	5.66	5.58	5.71	5.87	5.78	5.69	5.71	5.69	5.73	2.84	0.96	0.56	5.8	
21.0	0.54	0.69	3.03	5.70	5.62	5.77	5.93	5.82	5.74	5.75	5.73	5.76	2.91	1.03	0.64	5.8	
23.5	0.62	0.80	3.13	5.91	5.80	6.07	6.23	6.06	5.97	6.00	5.95	5.96	3.08	1.18	0.79	6.1	
25.9	0.74	0.96	3.28	6.15	6.06	6.39	6.57	6.36	6.29	6.28	6.24	6.19	3.28	1.36	0.98	6.4	
25.9	0.80	1.01	3.31	6.19	6.12	6.45	6.62	6.39	6.35	6.32	6.30	6.23	3.33	1.42	1.02	6.5	
28.4	0.87	1.11	3.42	6.36	6.29	6.67	6.87	6.62	6.58	6.52	6.50	6.39	3.50	1.55	1.11	6.7	
28.4	0.91	1.15	3.46	6.40	6.35	6.72	6.91	6.65	6.63	6.56	6.55	6.40	3.56	1.59	1.13	6.8	
29.0	0.93	1.17	3.48	6.43	6.38	6.75	6.95	6.69	6.66	6.60	6.58	6.43	3.59	1.62	1.15	6.8	
29.4	0.94	1.19	3.50	6.46	6.40	6.79	6.99	6.72	6.69	6.63	6.61	6.45	3.62	1.64	1.16	6.8	
30.3	0.96	1.22	3.54	6.53	6.46	6.87	7.09	6.80	6.78	6.71	6.68	6.50	3.68	1.68	1.18	6.9	
30.7	0.99	1.25	3.59	6.58	6.53	6.94	7.16	6.86	6.84	6.77	6.74	6.55	3.74	1.72	1.21	7.0	
30.9	1.02	1.27	3.62	6.60	6.55	6.97	7.18	6.88	6.87	6.79	6.76	6.57	3.77	1.73	1.22	7.0	
30.9	1.09	1.34	3.69	6.68	6.62	7.02	7.23	6.94	6.93	6.85	6.83	6.58	3.91	1.81	1.26	7.1	
31.7	1.11	1.36	3.72	6.72	6.66	7.08	7.29	6.99	6.98	6.89	6.88	6.62	3.95	1.83	1.28	7.1	
32.1	1.12	1.37	3.73	6.75	6.68	7.11	7.33	7.02	7.01	6.92	6.91	6.64	3.98	1.85	1.29	7.2	
32.8	1.14	1.40	3.77	6.81	6.74	7.18	7.40	7.08	7.08	6.99	6.97	6.68	4.02	1.89	1.31	7.2	
33.2	1.16	1.43	3.80	6.84	6.77	7.23	7.45	7.13	7.13	7.03	7.01	6.72	4.06	1.91	1.33	7.3	
33.3	1.19	1.46	3.85	6.87	6.81	7.26	7.48	7.16	7.17	7.07	7.04	6.74	4.09	1.94	1.35	7.3	
33.6	1.20	1.47	3.86	6.89	6.82	7.28	7.50	7.18	7.18	7.09	7.06	6.75	4.10	1.95	1.35	7.3	
34.3	1.23	1.50	3.90	6.94	6.88	7.35	7.57	7.25	7.25	7.16	7.12	6.80	4.15	1.98	1.38	7.4	
35.1	1.27	1.56	3.95	7.01	6.95	7.44	7.66	7.32	7.33	7.24	7.20	6.86	4.22	2.04	1.41	7.5	
35.7	1.34	1.64	4.04	7.10	7.05	7.55	7.76	7.43	7.44	7.33	7.30	6.93	4.30	2.11	1.46	7.6	
35.7	1.40	1.72	4.09	7.17	7.11	7.60	7.80	7.48	7.51	7.39	7.37	6.94	4.37	2.17	1.49	7.6	
35.8	1.44	1.77	4.12	7.19	7.15	7.64	7.82	7.51	7.56	7.42	7.40	6.94	4.39	2.22	1.51	7.7	
36.8	1.47	1.80	4.15	7.25	7.20	7.71	7.91	7.58	7.62	7.49	7.46	6.99	4.44	2.25	1.54	7.7	
37.6	1.49	1.83	4.19	7.30	7.26	7.78	7.97	7.64	7.68	7.54	7.52	7.04	4.49	2.29	1.56	7.8	
38.2	1.51	1.86	4.23	7.36	7.31	7.85	8.04	7.71	7.75	7.61	7.58	7.08	4.54	2.33	1.59	7.9	
39.0	1.55	1.92	4.29	7.43	7.40	7.95	8.14	7.81	7.85	7.70	7.67	7.14	4.61	2.39	1.62	8.0	
39.7	1.59	1.98	4.34	7.49	7.48	8.04	8.23	7.89	7.93	7.77	7.75	7.19	4.67	2.44	1.66	8.1	
40.2	1.63	2.04	4.39	7.54	7.54	8.10	8.29	7.96	8.00	7.85	7.82	7.22	4.72	2.49	1.69	8.1	
40.6	1.65	2.08	4.42	7.57	7.58	8.15	8.33	7.99	8.04	7.89	7.86	7.23	4.75	2.52	1.71	8.2	
40.6	1.71	2.18	4.48	7.60	7.63	8.20	8.36	8.04	8.11	7.98	7.91	7.24	4.79	2.57	1.74	8.2	

40.6	1.74	2.22	4.49	7.60	7.65	8.22	8.37	8.05	8.14	8.01	7.92	7.25	4.80	2.60	1.76	8.2
41.0	1.75	2.23	4.51	7.62	7.67	8.25	8.40	8.08	8.16	8.04	7.95	7.27	4.83	2.61	1.76	8.2
41.9	1.77	2.27	4.54	7.68	7.73	8.33	8.48	8.15	8.24	8.11	8.02	7.32	4.88	2.66	1.79	8.3
42.6	1.80	2.32	4.59	7.74	7.80	8.41	8.57	8.24	8.32	8.20	8.09	7.37	4.93	2.70	1.82	8.4
43.2	1.83	2.37	4.64	7.79	7.86	8.49	8.65	8.33	8.41	8.28	8.16	7.40	4.98	2.74	1.85	8.5
43.6	1.86	2.41	4.67	7.82	7.91	8.55	8.72	8.39	8.48	8.35	8.20	7.43	5.01	2.78	1.87	8.6
44.6	1.92	2.50	4.75	7.91	8.03	8.71	8.90	8.58	8.66	8.52	8.33	7.51	5.11	2.85	1.91	8.7
45.2	1.98	2.58	4.81	7.96	8.14	8.89	9.10	8.97	8.99	8.72	8.45	7.51	4.81	3.92	2.01	9.0
45.4	2.00	2.62	4.85	7.98	8.20	8.98	9.23	9.22	9.16	8.85	8.51	7.53	4.89	4.19	2.07	9.1
45.5	2.03	2.65	4.87	7.98	8.24	9.05	9.33	9.34	9.26	8.99	8.57	7.53	5.00	4.38	2.14	9.2
45.5	2.05	2.67	4.88	7.98	8.27	9.12	9.41	9.41	9.32	9.09	8.61	7.53	5.04	4.46	2.19	9.3
45.9	2.06	2.69	4.90	8.01	8.30	9.17	9.46	9.46	9.36	9.14	8.64	7.55	5.07	4.48	2.20	9.4
46.1	2.07	2.70	4.91	8.02	8.33	9.23	9.53	9.52	9.41	9.20	8.67	7.57	5.10	4.51	2.21	9.4
46.4	2.08	2.72	4.93	8.04	8.37	9.29	9.62	9.60	9.47	9.30	8.71	7.59	5.15	4.55	2.23	9.5
46.6	2.09	2.73	4.94	8.06	8.41	9.37	9.69	9.68	9.55	9.40	8.76	7.61	5.20	4.62	2.26	9.6
46.8	2.10	2.75	4.96	8.08	8.49	9.47	9.78	9.77	9.63	9.50	8.82	7.63	5.29	4.67	2.29	9.7
47.1	2.11	2.77	4.98	8.10	8.62	9.58	9.86	9.87	9.73	9.60	8.88	7.65	5.36	4.75	2.32	9.8
47.4	2.13	2.79	5.00	8.13	8.75	9.71	9.97	9.97	9.85	9.72	8.97	7.67	5.43	4.81	2.35	9.9
47.6	2.14	2.81	5.02	8.14	8.82	9.81	10.07	10.05	9.94	9.81	9.09	7.69	5.47	4.86	2.38	10.0
47.9	2.16	2.83	5.04	8.17	8.86	9.95	10.20	10.16	10.04	9.92	9.29	7.72	5.53	4.92	2.42	10.1
48.1	2.17	2.85	5.06	8.19	8.92	10.07	10.31	10.25	10.14	10.01	9.44	7.75	5.58	4.98	2.45	10.2
48.3	2.19	2.87	5.09	8.21	9.02	10.19	10.44	10.34	10.24	10.11	9.55	7.79	5.64	5.05	2.48	10.3
48.6	2.20	2.89	5.11	8.24	9.07	10.31	10.57	10.44	10.35	10.22	9.65	7.82	5.70	5.13	2.52	10.4
48.8	2.22	2.92	5.13	8.26	9.11	10.44	10.69	10.53	10.45	10.32	9.75	7.86	5.75	5.22	2.56	10.6
49.1	2.24	2.94	5.15	8.28	9.16	10.56	10.82	10.62	10.54	10.41	9.85	7.89	5.80	5.34	2.61	10.7
49.4	2.25	2.96	5.18	8.31	9.30	10.71	10.97	10.74	10.66	10.52	9.97	7.95	5.86	5.55	2.74	10.8
49.8	2.28	3.00	5.23	8.35	9.40	10.93	11.16	10.90	10.83	10.67	10.13	8.03	6.02	5.73	2.91	11.0
50.1	2.31	3.03	5.27	8.40	9.49	11.11	11.30	11.04	10.99	10.82	10.26	8.09	6.17	4.74	3.03	11.2
50.3	2.32	3.05	5.29	8.42	9.52	11.20	11.38	11.14	11.08	10.90	10.33	8.15	6.37	5.20	3.06	11.2
50.4	2.33	3.07	5.31	8.44	9.55	11.28	11.45	11.23	11.19	10.98	10.36	8.24	6.63	5.45	3.09	11.3
50.5	2.34	3.09	5.33	8.46	9.57	11.33	11.50	11.29	11.26	11.02	10.37	8.26	6.90	5.75	3.19	11.4
50.6	2.35	3.10	5.34	8.47	9.58	11.36	11.52	11.33	11.31	11.05	10.37	8.27	7.12	5.83	3.27	11.4
33.4	1.82	2.02	0.37													

Pomiary odkształceń wykonywano tensometrami elektrooporowymi TFs-5 o bazie 5mm.
CFRP strain were measured with electric resistance gauges TFs-5 with range of 5mm.

B12-a





Tablica Z5.4 Przemieszczenia pionowe belki, v

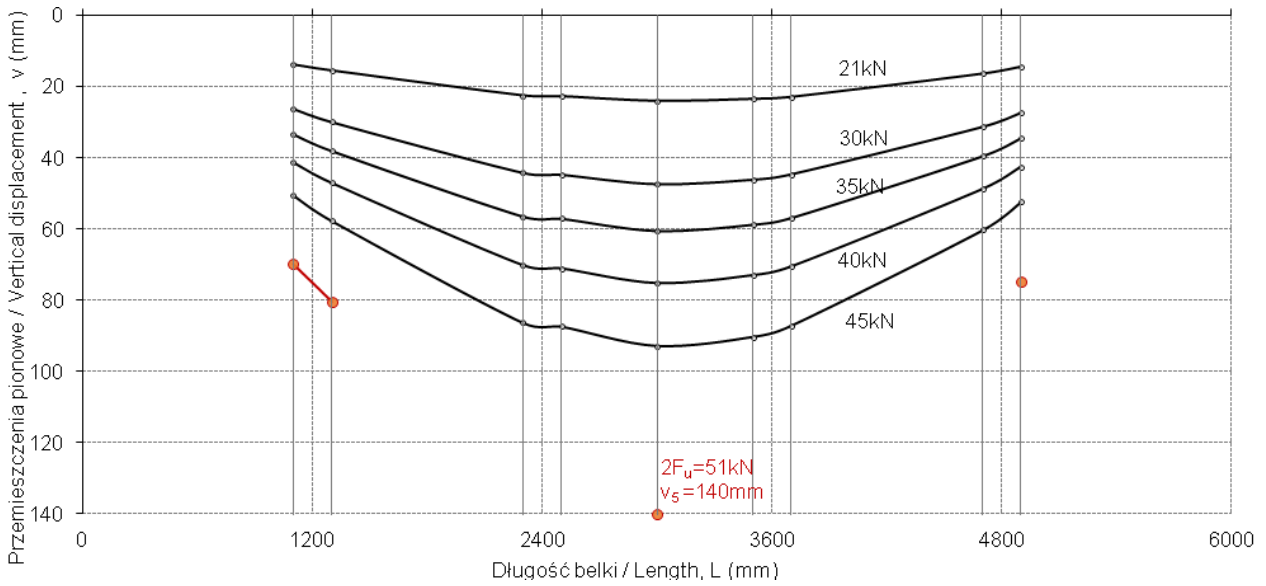
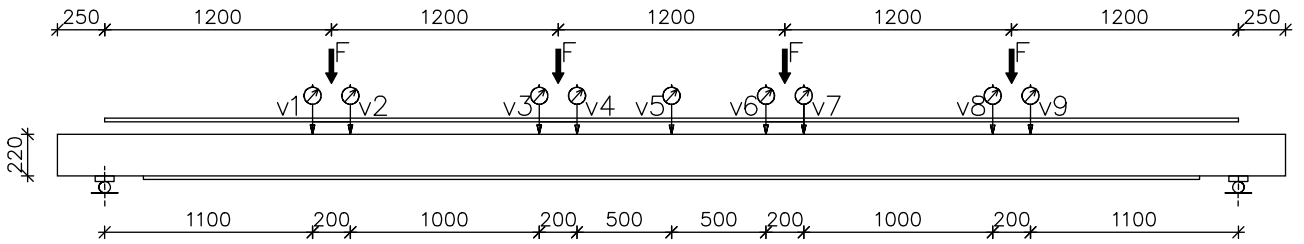
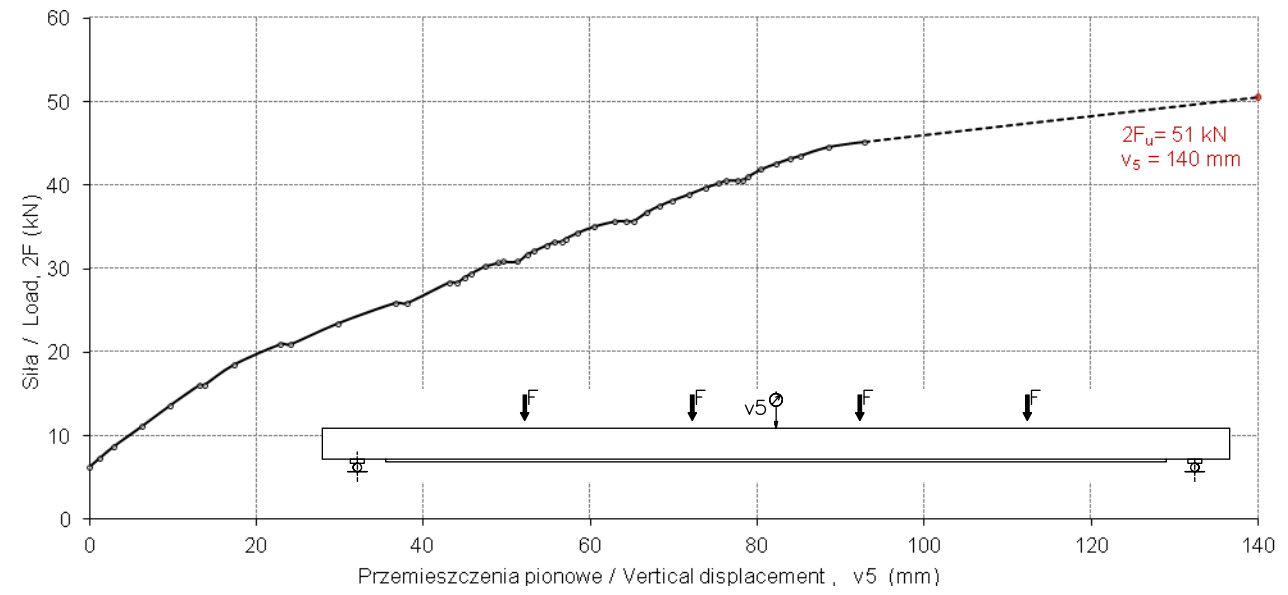
Table Z5.4 Vertical displacement, v

Siła / Load 2F kN	Przemieszczenia pionowe / Vertical displacement v (mm)												
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅	v ₆	v ₇	v ₈	v ₉	v _{av,1-2}	v _{av,3-4}	v _{av,6-7}	v _{av,8-9}
6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.3	0.6	0.7	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	0.7	0.6	0.6	1.1	1.1	0.6
8.8	1.6	1.7	2.7	2.8	2.9	2.8	2.8	1.8	1.6	1.7	2.8	2.8	1.7
11.2	3.4	3.9	5.9	6.0	6.3	6.2	6.0	4.1	3.5	3.7	6.0	6.1	3.8
13.7	5.4	6.1	9.1	9.2	9.6	9.4	9.2	6.4	5.6	5.7	9.1	9.3	6.0
16.1	7.5	8.5	12.5	12.6	13.2	13.0	12.7	9.0	7.9	8.0	12.5	12.8	8.4
16.1	7.9	8.9	12.9	13.1	13.7	13.5	13.2	9.4	8.3	8.4	13.0	13.3	8.8
18.6	9.9	11.2	16.3	16.4	17.3	17.0	16.6	11.9	10.5	10.5	16.4	16.8	11.2
21.0	13.0	14.6	21.4	21.7	22.9	22.4	21.8	15.5	13.7	13.8	21.6	22.1	14.6
21.0	13.7	15.4	22.5	22.8	24.1	23.5	23.0	16.3	14.4	14.6	22.7	23.3	15.4
23.5	16.6	18.8	27.7	28.2	29.7	29.0	28.1	19.9	17.4	17.7	27.9	28.6	18.6
25.9	20.2	22.9	34.0	34.6	36.6	35.6	34.6	24.3	21.2	21.5	34.3	35.1	22.8
25.9	21.1	24.0	35.4	35.9	38.0	37.0	35.9	25.3	22.0	22.5	35.7	36.5	23.7
28.4	23.7	27.1	40.1	40.7	43.1	41.9	40.5	28.5	24.8	25.4	40.4	41.2	26.6
28.4	24.3	27.8	41.0	41.5	44.0	42.9	41.5	29.1	25.4	26.0	41.3	42.2	27.3
29.0	24.8	28.3	41.8	42.4	44.9	43.7	42.2	29.6	25.9	26.6	42.1	43.0	27.8
29.4	25.2	28.8	42.6	43.1	45.6	44.4	43.0	30.1	26.3	27.0	42.8	43.7	28.2
30.3	26.1	29.9	44.2	44.8	47.4	46.1	44.6	31.2	27.3	28.0	44.5	45.4	29.3
30.7	27.0	30.9	45.7	46.2	49.0	47.7	46.1	32.2	28.1	28.9	46.0	46.9	30.2
30.9	27.3	31.2	46.3	46.8	49.6	48.2	46.7	32.6	28.5	29.3	46.5	47.4	30.5
30.9	28.3	32.3	47.8	48.4	51.2	49.8	48.2	33.7	29.4	30.3	48.1	49.0	31.5
31.7	28.9	33.0	48.9	49.4	52.4	50.9	49.3	34.4	30.0	30.9	49.2	50.1	32.2
32.1	29.3	33.5	49.6	50.2	53.2	51.7	50.0	34.9	30.5	31.4	49.9	50.8	32.7
32.8	30.1	34.4	51.0	51.6	54.7	53.1	51.4	35.8	31.3	32.2	51.3	52.3	33.5
33.2	30.6	35.0	52.0	52.5	55.7	54.1	52.4	36.4	31.8	32.8	52.2	53.2	34.1
33.3	31.1	35.6	52.8	53.4	56.6	55.0	53.2	37.0	32.3	33.3	53.1	54.1	34.6
33.6	31.4	35.8	53.2	53.8	57.0	55.3	53.6	37.3	32.5	33.6	53.5	54.4	34.9
34.3	32.1	36.7	54.6	55.2	58.5	56.8	54.9	38.5	33.4	34.4	54.9	55.9	36.0
35.1	33.2	37.9	56.4	57.0	60.5	58.7	56.8	39.4	34.4	35.6	56.7	57.7	36.9
35.7	34.5	39.4	58.6	59.3	62.8	61.0	59.0	40.9	35.7	37.0	59.0	60.0	38.3
35.7	35.4	40.3	60.0	60.6	64.3	62.4	60.4	41.9	36.5	37.8	60.3	61.4	39.2
35.8	35.9	40.9	60.8	61.4	65.2	63.2	61.1	42.4	37.0	38.4	61.1	62.2	39.7
36.8	36.7	41.9	62.3	63.0	66.8	64.8	62.7	43.4	37.9	39.3	62.6	63.7	40.6
37.6	37.5	42.7	63.6	64.3	68.2	66.2	64.0	44.3	38.7	40.1	64.0	65.1	41.5
38.2	38.3	43.7	65.1	65.8	69.7	67.7	65.5	45.3	39.5	41.0	65.4	66.6	42.4
39.0	39.4	44.9	67.0	67.9	71.8	69.7	67.4	46.6	40.6	42.2	67.5	68.5	43.6
39.7	40.4	46.1	68.8	69.7	73.7	71.5	69.1	47.8	41.7	43.3	69.2	70.3	44.7
40.2	41.3	47.1	70.3	71.1	75.3	73.0	70.6	48.8	42.5	44.2	70.7	71.8	45.7
40.6	41.8	47.7	71.2	72.0	76.2	74.0	71.5	49.4	43.1	44.8	71.6	72.7	46.2
40.6	42.7	48.6	72.5	73.4	77.7	75.4	72.8	50.3	43.9	45.6	73.0	74.1	47.1
40.6	43.0	48.9	73.0	73.9	78.2	75.9	73.3	50.6	44.1	46.0	73.4	74.6	47.4
41.0	43.3	49.3	73.6	74.4	78.8	76.4	73.9	51.0	44.4	46.3	74.0	75.2	47.7
41.9	44.1	50.2	75.1	76.0	80.4	78.0	75.4	52.0	45.3	47.2	75.5	76.7	48.7

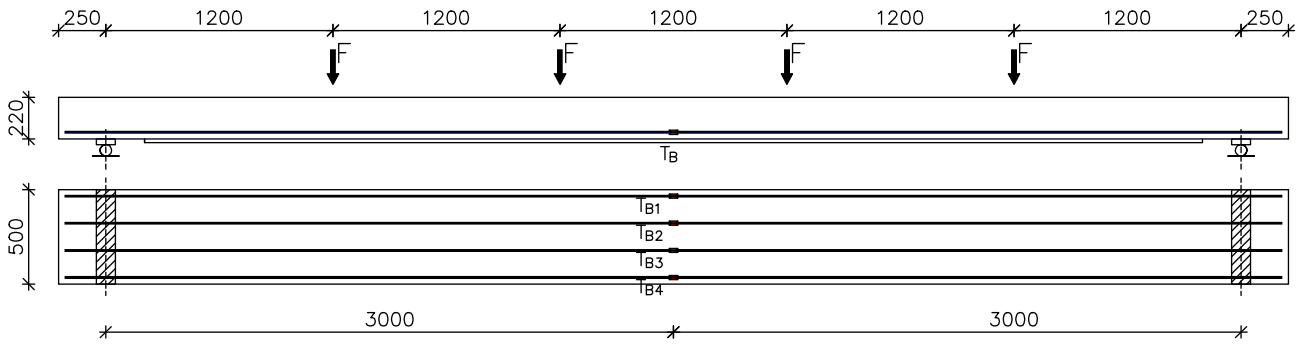
B12-a

42.6	45.0	51.3	76.7	77.6	82.2	79.8	77.1	53.2	46.3	48.2	77.2	78.4	49.7
43.2	46.0	52.5	78.3	79.2	83.9	81.4	78.6	54.2	47.1	49.2	78.8	80.0	50.7
43.6	46.6	53.3	79.5	80.4	85.1	82.6	79.8	55.0	47.8	50.0	79.9	81.2	51.4
44.6	48.3	55.3	82.5	83.5	88.4	85.8	82.9	57.0	49.6	51.8	83.0	84.3	53.3
45.2	50.4	57.6	86.4	87.4	92.9	90.3	87.2	60.3	52.4	54.0	86.9	88.8	56.3
45.4	51.4	58.8	88.4	89.5		92.6	89.4	61.7	53.6	55.1	88.9	91.0	57.6
45.5	52.4	59.9	90.2	91.3			91.3	63.1	54.8	56.1	90.7		58.9
45.5	52.9	60.5		92.4				63.9	55.5	56.7			59.7
45.9	53.4	61.0		93.3				64.4	55.9	57.2			60.2
46.1	53.9	61.6		94.2				65.0	56.4	57.7			60.7
46.4	54.4	62.2		95.2				65.7	57.0	58.3			61.4
46.6	55.1	63.0						66.6	57.8	59.0			62.2
46.8	55.8	63.8						67.7	58.6	59.8			63.2
47.1	56.7	64.8						68.9	59.6	60.8			64.2
47.4	57.7	66.0						70.1	60.6	61.8			65.4
47.6	58.4	66.8						71.1	61.4	62.6			66.3
47.9	59.3	67.8						72.3	62.4	63.6			67.4
48.1	60.1	68.8						73.4	63.3	64.4			68.3
48.3	60.9	69.7						74.5	64.2	65.3			69.3
48.6	61.7	70.7						75.6	65.1	66.2			70.4
48.8	62.6	71.7						76.8	66.0	67.1			71.4
49.1	63.4	72.6						78.1	67.1	68.0			72.6
49.4	64.5	73.9						79.7	68.3	69.2			74.0
49.8	66.0	75.7						82.0	70.2	70.8			76.1
50.1	67.3	77.4							71.7	72.3			71.7
50.3	68.1	78.4							72.8	73.2			72.8
50.4	69.0	79.4							73.8	74.2			73.8
50.5	69.5	80.0							74.5	74.8			74.5
50.6	69.8	80.4			140.0				74.9	75.1			74.9
33.4	72.1	81.2							77.3	76.6			77.3
24.6	75.0	81.6							78.7	78.3			78.7
24.3	75.0	81.6							78.7	78.3			78.7

Pomiary przemieszczeń pionowych wykonywano przetwornikami przemieszczeń liniowych o zakresie 50mm.
Vertical displacement were measured with linear displacement transducers with range of 50mm.



B12-a



Tablica Z5.5 Odształcenia na stali, ϵ_s (‰)

Table Z5.5 Steel strain, ϵ_s (‰)

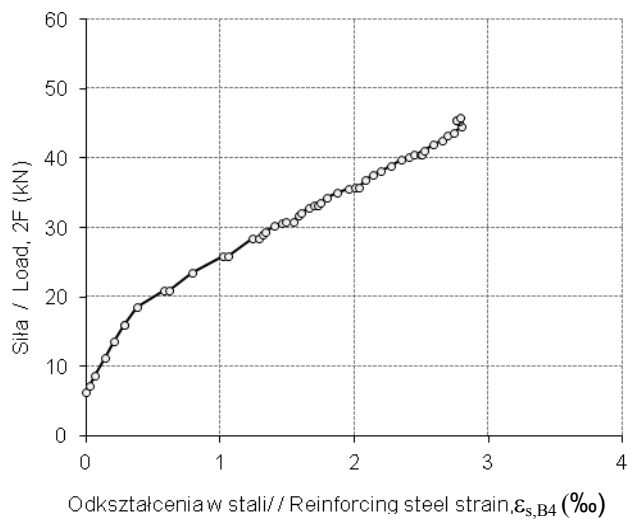
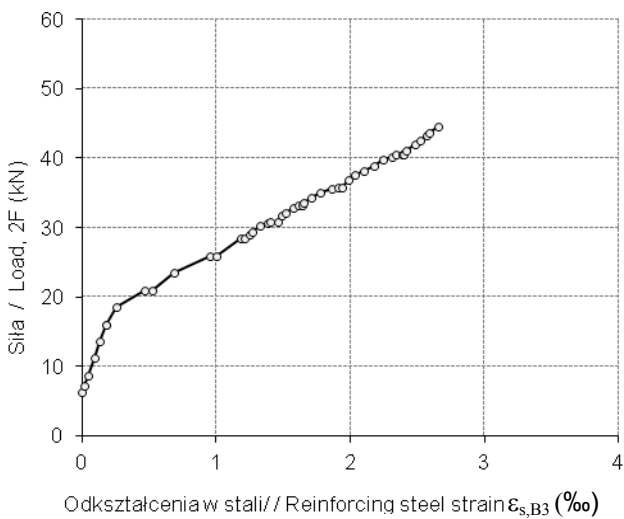
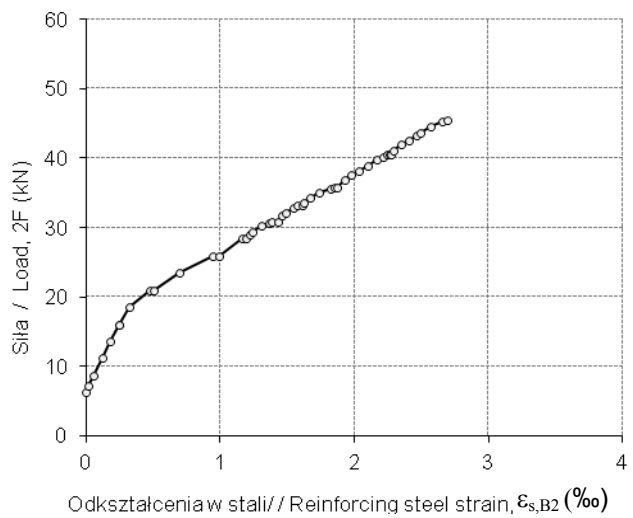
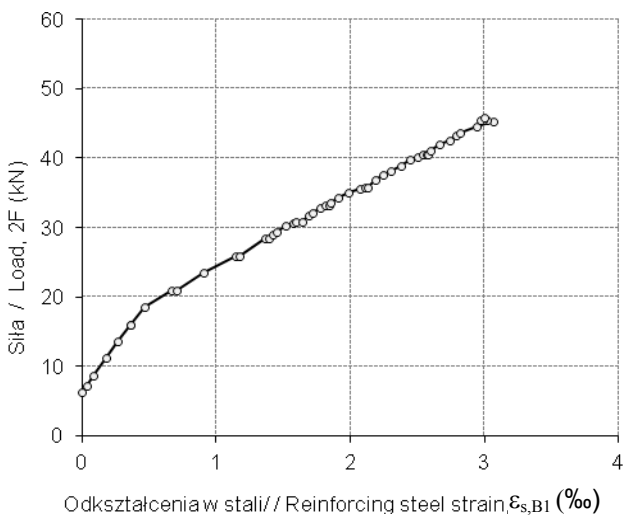
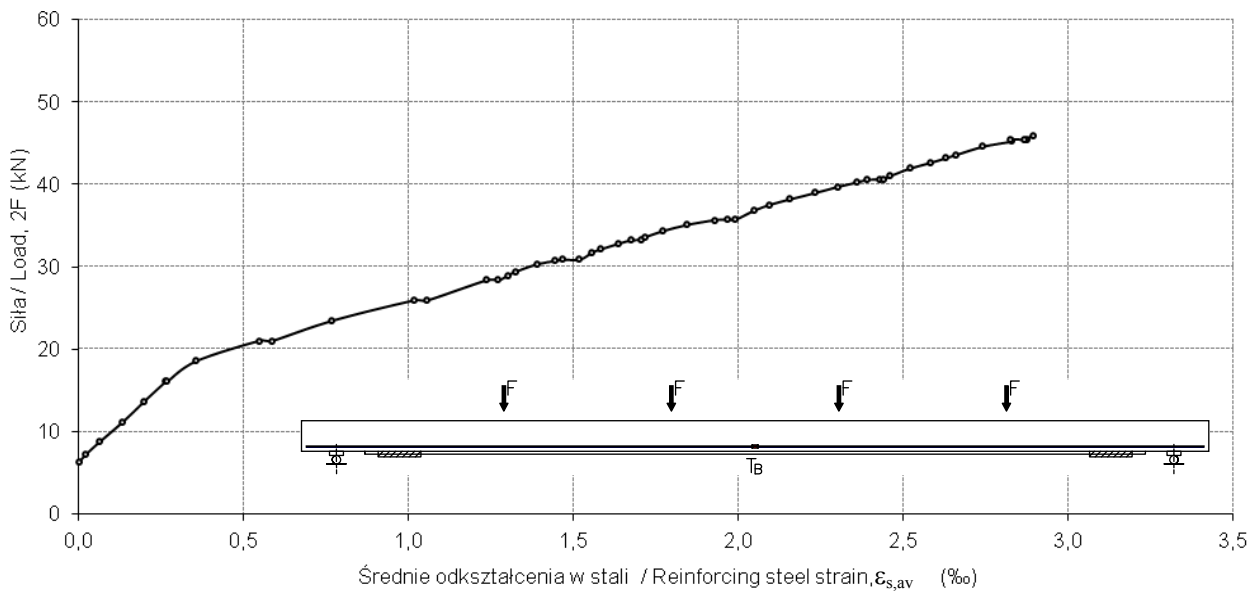
Siła / Load 2F kN	Odształcenia na stali / Steel strain ϵ_s (‰)				
	T_{s5}	T_{s6}	T_{s7}	T_{s8}	$\epsilon_{s,av}$
6.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.3	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
8.8	0.09	0.06	0.05	0.07	0.06
11.2	0.18	0.12	0.09	0.14	0.13
13.7	0.27	0.18	0.13	0.21	0.20
16.1	0.36	0.24	0.18	0.28	0.26
16.1	0.36	0.25	0.18	0.28	0.27
18.6	0.46	0.32	0.25	0.38	0.36
21.0	0.67	0.47	0.47	0.58	0.55
21.0	0.70	0.51	0.52	0.61	0.59
23.5	0.90	0.69	0.69	0.79	0.77
25.9	1.14	0.95	0.96	1.02	1.02
25.9	1.18	0.99	1.00	1.06	1.06
28.4	1.36	1.16	1.18	1.24	1.24
28.4	1.40	1.20	1.21	1.29	1.27
29.0	1.42	1.22	1.25	1.31	1.30
29.4	1.45	1.24	1.27	1.34	1.32
30.3	1.52	1.30	1.33	1.40	1.39
30.7	1.57	1.36	1.39	1.46	1.45
30.9	1.60	1.38	1.41	1.49	1.47
30.9	1.64	1.43	1.46	1.54	1.52
31.7	1.68	1.46	1.49	1.58	1.56
32.1	1.71	1.49	1.52	1.61	1.58
32.8	1.77	1.54	1.57	1.66	1.64
33.2	1.81	1.58	1.61	1.70	1.67

Siła / Load 2F kN	Odształcenia na stali / Steel strain ϵ_s (‰)				
	T_{s5}	T_{s6}	T_{s7}	T_{s8}	$\epsilon_{s,av}$
33.3	1.84	1.61	1.64	1.73	1.70
33.6	1.85	1.62	1.65	1.74	1.72
34.3	1.91	1.67	1.71	1.80	1.77
35.1	1.99	1.74	1.78	1.87	1.84
35.7	2.07	1.82	1.86	1.96	1.93
35.7	2.11	1.85	1.91	2.00	1.97
35.8	2.13	1.87	1.94	2.03	1.99
36.8	2.19	1.93	1.99	2.08	2.05
37.6	2.24	1.97	2.03	2.13	2.10
38.2	2.30	2.03	2.10	2.19	2.15
39.0	2.38	2.10	2.17	2.27	2.23
39.7	2.45	2.17	2.25	2.35	2.30
40.2	2.51	2.22	2.31	2.40	2.36
40.6	2.54	2.24	2.34	2.44	2.39
40.6	2.57	2.27	2.39	2.49	2.43
40.6	2.57	2.27	2.40	2.50	2.44
41.0	2.60	2.29	2.42	2.52	2.46
41.9	2.67	2.35	2.48	2.58	2.52
42.6	2.74	2.41	2.52	2.65	2.58
43.2	2.79	2.46	2.57	2.70	2.63
43.6	2.82	2.49	2.59	2.74	2.66
44.6	2.94	2.57	2.66	2.80	2.74
45.2	3.06	2.65		2.78	2.83
45.4	3.02	2.69		2.77	2.82
45.5	2.99			2.76	2.88

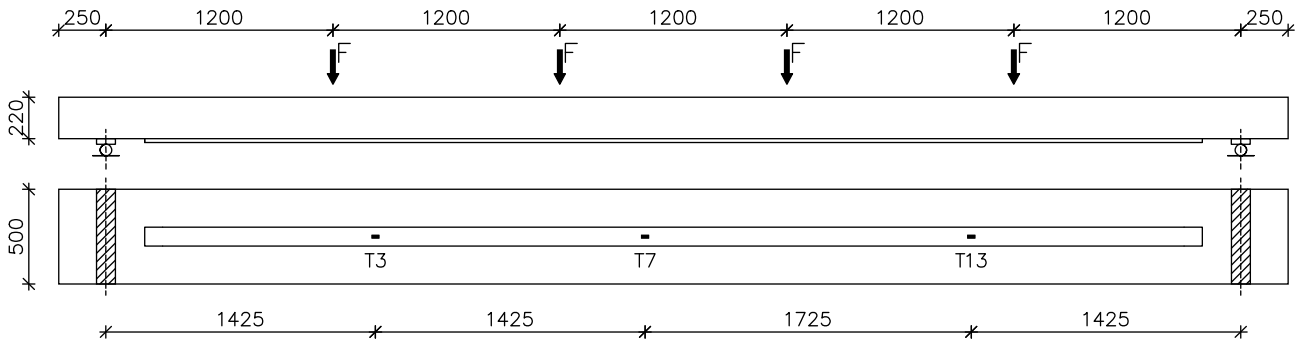
Siła / Load 2F kN	Odształcenia na stali / Steel strain ϵ_s (‰)				
	T_{s5}	T_{s6}	T_{s7}	T_{s8}	$\epsilon_{s,av}$
45.5	2.97			2.76	2.87
45.9	3.00			2.79	2.89
46.1					
46.4					
46.6					
46.8					
47.1					
47.4					
47.6					
47.9					
48.1					
48.3					
48.6					
48.8					
49.1					
49.4					
49.8					
50.1					
50.3					
50.4					
50.5					
50.6					
33.4					
24.6					
24.3					

Pomiary odkształceń wykonywano tensometrami elektrooporowymi TFs-5 o bazie 5mm.

Strain measurements were carried out by means of electric resistance gauges TFs-5 on the bases of 5mm.



B12-a



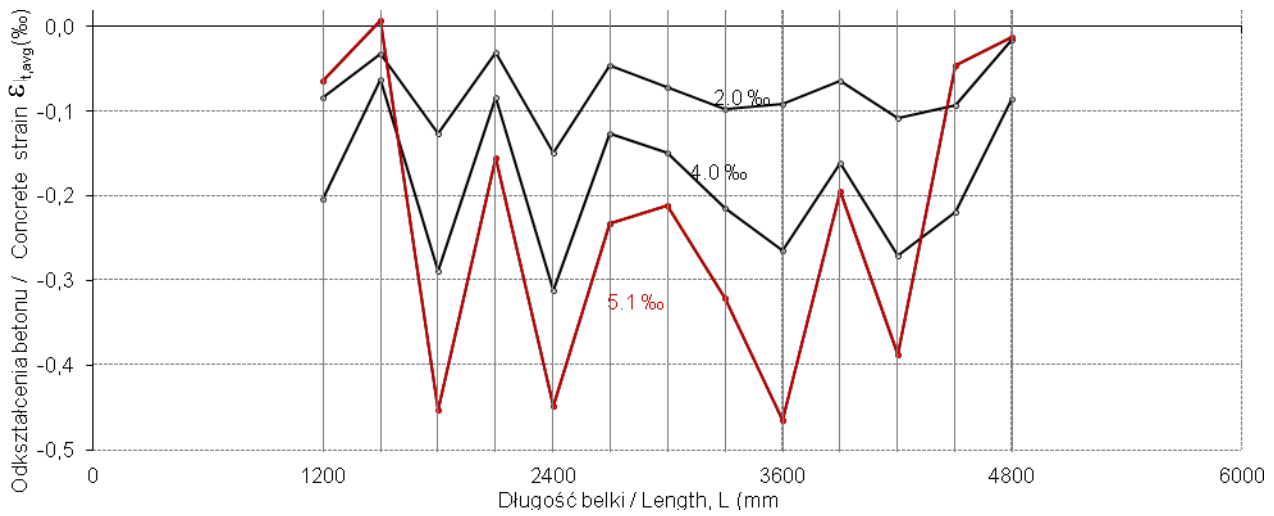
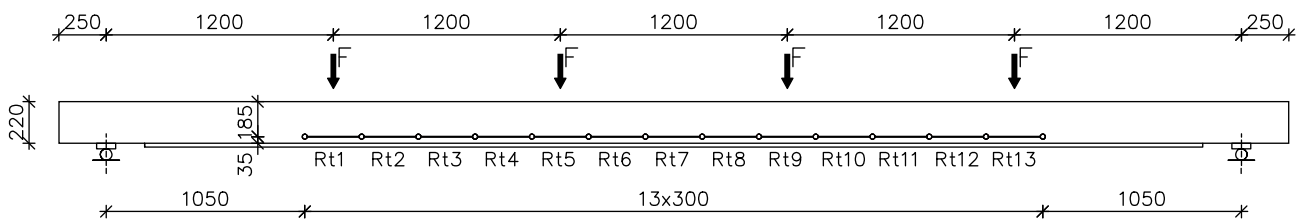
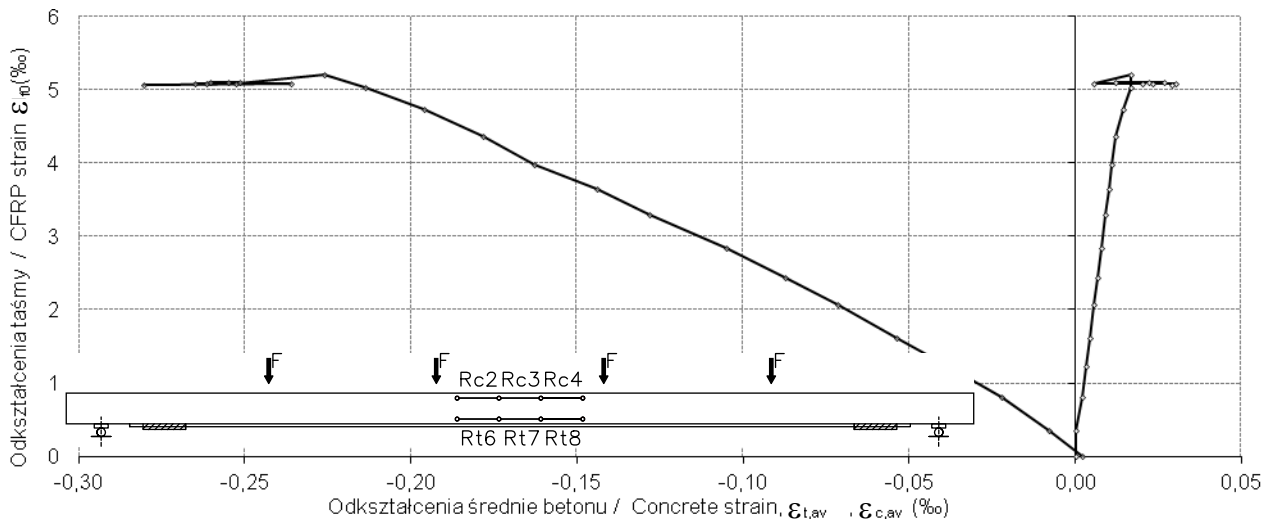
Tablica Z5.6 Pomiary podczas naprężania taśmy CFRP, ϵ_f

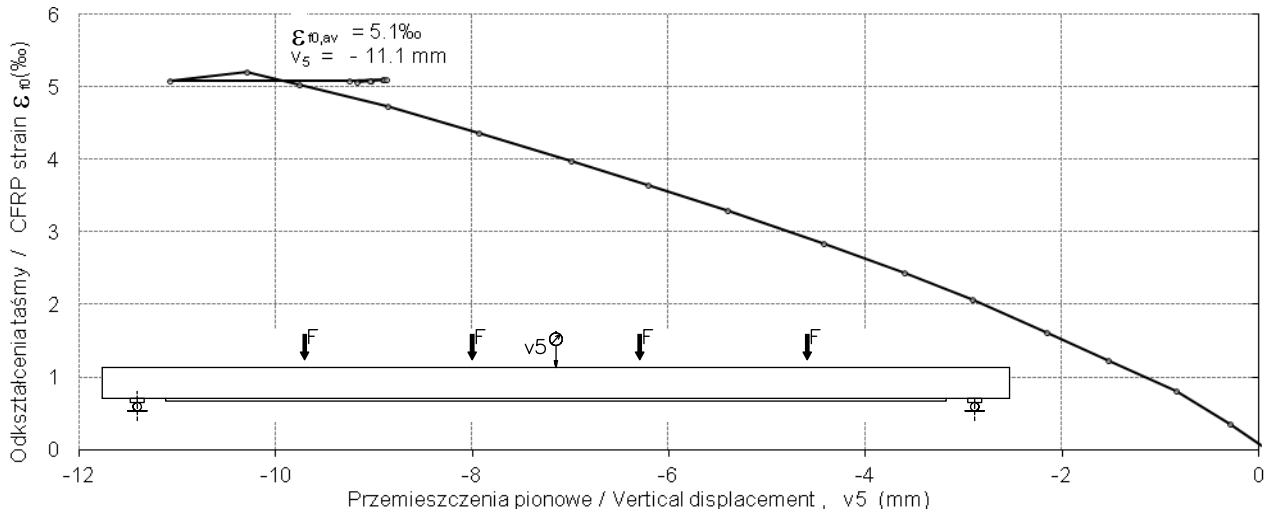
Table Z5.6 Measurements during prestressing of the CFRP strain, ϵ_f

Siła / Load 2F kN	Odształcenia taśmy CFRP / CFRP strain ϵ_f (‰)				Odształcenia betonu / Concrete strain																				
	T3	T7	T13	T_M	R _{c1}	R _{c2}	R _{c3}	R _{c4}	R _{c5}	$\epsilon_{c,av}$	R _{t1}	R _{t2}	R _{t3}	R _{t4}	R _{t5}	R _{t6}	R _{t7}	R _{t8}	R _{t9}	R _{t10}	R _{t11}	R _{t12}	R _{t13}	$\epsilon_{t,av}$	
	1425	3000	4575		2400	2700	3000	3300	3600		1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600	3900	4200	4500	4800		
6.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.3	0.44	0.36	0.42	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.02	0.00	-0.01	-0.02	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	-0.01
6.3	0.86	0.81	0.84	0.81	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.01	-0.04	-0.01	-0.05	0.00	-0.02	-0.04	-0.01	-0.02	-0.03	-0.02	0.00	0.00	-0.02
6.3	1.27	1.22	1.25	1.22	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.04	-0.02	-0.07	-0.01	-0.08	-0.02	-0.04	-0.06	-0.04	-0.03	-0.06	-0.05	-0.01	0.00	-0.04
6.3	1.67	1.62	1.66	1.62	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	-0.03	-0.09	-0.02	-0.11	-0.03	-0.05	-0.08	-0.06	-0.05	-0.08	-0.07	-0.01	0.00	-0.05
6.3	2.10	2.06	2.09	2.06	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	-0.08	-0.03	-0.13	-0.03	-0.15	-0.05	-0.07	-0.10	-0.09	-0.06	-0.11	-0.09	-0.02	0.00	-0.07
6.3	2.48	2.44	2.47	2.44	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	-0.11	-0.04	-0.16	-0.04	-0.18	-0.06	-0.09	-0.12	-0.13	-0.08	-0.14	-0.12	-0.02	0.00	-0.09
6.3	2.89	2.84	2.87	2.84	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	-0.13	-0.04	-0.19	-0.05	-0.21	-0.08	-0.10	-0.14	-0.17	-0.10	-0.17	-0.14	-0.03	0.00	-0.11
6.3	3.33	3.30	3.31	3.30	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	-0.16	-0.05	-0.23	-0.06	-0.25	-0.10	-0.12	-0.17	-0.21	-0.13	-0.21	-0.17	-0.05	0.00	-0.13
6.3	3.70	3.65	3.67	3.65	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	-0.18	-0.06	-0.26	-0.07	-0.28	-0.11	-0.14	-0.19	-0.24	-0.14	-0.24	-0.20	-0.07	0.00	-0.14
6.3	4.03	3.99	3.99	3.99	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	-0.20	-0.06	-0.29	-0.08	-0.31	-0.13	-0.15	-0.21	-0.27	-0.16	-0.27	-0.22	-0.09	0.00	-0.16
6.3	4.39	4.37	4.34	4.37	0.03	0.00	0.04	0.00	0.01	0.01	-0.23	-0.08	-0.33	-0.10	-0.35	-0.14	-0.16	-0.23	-0.30	-0.18	-0.30	-0.25	-0.11	0.00	-0.18
6.3	4.76	4.73	4.70	4.73	0.04	0.00	0.04	0.00	0.01	0.01	-0.25	-0.09	-0.36	-0.11	-0.39	-0.16	-0.17	-0.26	-0.33	-0.20	-0.34	-0.28	-0.13	0.00	-0.20
6.3	5.07	5.03	5.04	5.03	0.05	0.00	0.05	0.00	0.01	0.02	-0.27	-0.10	-0.40	-0.12	-0.42	-0.18	-0.19	-0.28	-0.37	-0.21	-0.37	-0.31	-0.15	0.00	-0.21
6.3	5.24	5.21	5.22	5.21	0.05	0.00	0.05	0.00	0.01	0.02	-0.28	-0.11	-0.42	-0.13	-0.44	-0.19	-0.20	-0.30	-0.39	-0.21	-0.38	-0.33	-0.16	0.00	-0.23
6.3	5.12	5.09	5.09	5.09	0.05	-0.02	0.04	0.00	0.01	0.01	-0.07	-0.12	-0.45	-0.15	-0.46	-0.21	-0.21	-0.33	-0.42	-0.23	-0.40	-0.37	-0.19	0.00	-0.25
6.3	2.99	5.08	2.30	5.08	0.07	-0.09	0.09	0.06	0.09	0.02	-0.06	-0.02	-0.47	-0.15	-0.46	-0.23	-0.22	-0.33	-0.47	-0.19	-0.40	-0.06	-0.02	0.00	-0.26
6.3	2.89	5.09	2.18	5.09	0.06	-0.10	0.08	0.06	0.07	0.01	-0.06	0.00	-0.47	-0.15	-0.46	-0.23	-0.22	-0.33	-0.47	-0.19	-0.40	-0.05	-0.01	0.00	-0.26
6.3	2.82	5.10	2.12	5.10	0.07	-0.10	0.10	0.06	0.08	0.02	-0.06	0.01	-0.45	-0.15	-0.45	-0.23	-0.21	-0.32	-0.47	-0.19	-0.39	-0.05	-0.01	0.00	-0.26
6.3	2.76	5.09	2.11	5.09	0.07	-0.09	0.11	0.06	0.09	0.03	-0.06	0.02	-0.45	-0.15	-0.44	-0.24	-0.21	-0.31	-0.47	-0.19	-0.38	-0.04	-0.01	0.00	-0.25
6.3	2.56	5.10	2.12	5.08	0.07	-0.10	0.10	0.06	0.08	0.02	-0.03	0.03	-0.28	-0.15	-0.46	-0.25	-0.22	-0.33	-0.47	-0.19	-0.40	0.09	0.01	0.00	-0.27
6.3	2.54	5.09	2.12	5.08	0.07	-0.09	0.11	0.06	0.10	0.03	-0.03	0.03	-0.27	-0.17	-0.45	-0.26	-0.17	-0.28	-0.47	-0.22	-0.41	0.09	0.00	0.00	-0.24
6.3	2.52	5.08	1.94	5.07	0.07	-0.09	0.11	0.06	0.10	0.03	-0.03	0.02	-0.28	-0.17	-0.46	-0.26	-0.24	-0.34	-0.48	-0.20	-0.42	0.09	-0.01	0.00	-0.28

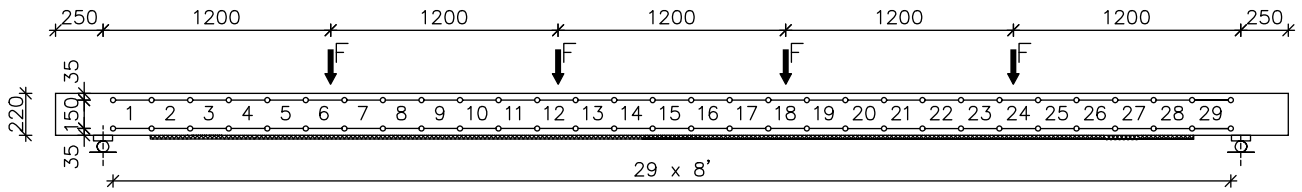
Siła / Load 2F kN	Odształcenia taśmy CFRP / CFRP strain ϵ_f (‰)				Przemieszczenia pionowe / Vertical displacement v (mm)									Odształcenia na stali / Strain in steel ϵ_s (‰)				
	T3	T7	T13	T_M	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	v_9	T_{s5}	T_{s6}	T_{s7}	T_{s8}	$\epsilon_{s,av}$
	1425	3000	4575		1100	1300	2300	2500	3000	3500	3700	4700	4900	3000	3000	3000	3000	3000
6.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.3	0.44	0.36	0.42	0.36	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.3	0.86	0.81	0.84	0.81	-0.5	-0.6	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-0.8	-0.6	-0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.3	1.27	1.22	1.25	1.22	-0.9	-1.0	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.0	-0.9	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6.3	1.67	1.62	1.66	1.62	-1.2	-1.4	-2.0	-2.1	-2.2	-2.1	-2.1	-1.4	-1.2	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1
6.3	2.10	2.06	2.09	2.06	-1.7	-1.9	-2.8	-2.8	-2.9	-2.9	-2.8	-1.9	-1.6	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
6.3	2.48	2.44	2.47	2.44	-2.1	-2.4	-3.4	-3.4	-3.6	-3.5	-3.4	-2.4	-2.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
6.3	2.89	2.84	2.87	2.84	-2.5	-2.9	-4.2	-4.2	-4.4	-4.3	-4.2	-2.9	-2.5	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
6.3	3.33	3.30	3.31	3.30	-3.1	-3.6	-5.1	-5.1	-5.4	-5.3	-5.1	-3.5	-3.0	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
6.3	3.70	3.65	3.67	3.65	-3.6	-4.1	-5.9	-5.9	-6.2	-6.1	-5.9	-4.1	-3.4	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2
6.3	4.03	3.99	3.99	3.99	-4.0	-4.6	-6.6	-6.6	-7.0	-6.8	-6.6	-4.6	-3.9	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2
6.3	4.39	4.37	4.34	4.37	-4.6	-5.3	-7.5	-7.5	-7.9	-7.7	-7.5	-5.2	-4.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2
6.3	4.76	4.73	4.70	4.73	-5.1	-5.9	-8.4	-8.4	-8.9	-8.7	-8.4	-5.8	-4.9	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2
6.3	5.07	5.03	5.04	5.03	-5.7	-6.5	-9.3	-9.3	-9.8	-9.5	-9.3	-6.4	-5.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
6.3	5.24	5.21	5.22	5.21	-6.0	-6.8	-9.8	-9.8	-10.3	-10.1	-9.8	-6.8	-5.7	-0.4	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3
6.3	5.12	5.09	5.09	5.09	-6.4	-7.3	-10.5	-10.5	-11.1	-10.9	-10.7	-7.5	-6.4	-0.4	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3
6.3	2.99	5.08	2.30	5.08	-4.5	-5.3	-8.7	-8.7	-9.2	-9.0	-8.8	-5.4	-4.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3
6.3	2.89	5.09	2.18	5.09	-4.3	-5.1	-8.3	-8.4	-8.9	-8.7	-8.4	-5.1	-4.2	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3
6.3	2.82	5.10	2.12	5.10	-4.3	-5.1	-8.3	-8.4	-8.9	-8.7	-8.4	-5.1	-4.2	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3
6.3	2.76	5.09	2.11	5.09	-4.3	-5.0	-8.3	-8.4	-8.9	-8.7	-8.4	-5.1	-4.1	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3
6.3	2.56	5.10	2.12	5.08	-4.4	-5.2	-8.5	-8.5	-9.0	-8.8	-8.6	-5.2	-4.2	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3
6.3	2.54	5.09	2.12	5.08	-4.4	-5.2	-8.5	-8.5	-9.0	-8.8	-8.6	-5.2	-4.2	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3
6.3	2.52	5.08	1.94	5.07	-4.4	-5.3	-8.6	-8.7	-9.2	-9.0	-8.7	-5.2	-4.3	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3

B12-a





B12-a



Tablica Z5.7 Odształcenia betonu, ϵ_t , ϵ_c (pomiar ręczny)

Table Z5.7 Concrete strain ϵ_t , ϵ_c (manual measurements)

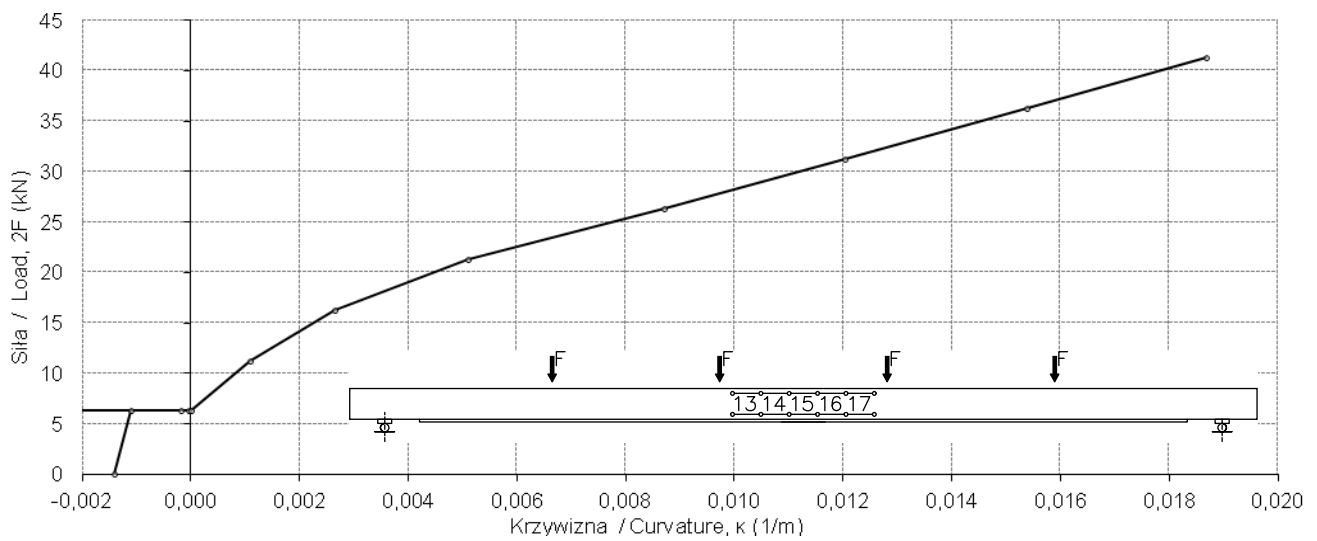
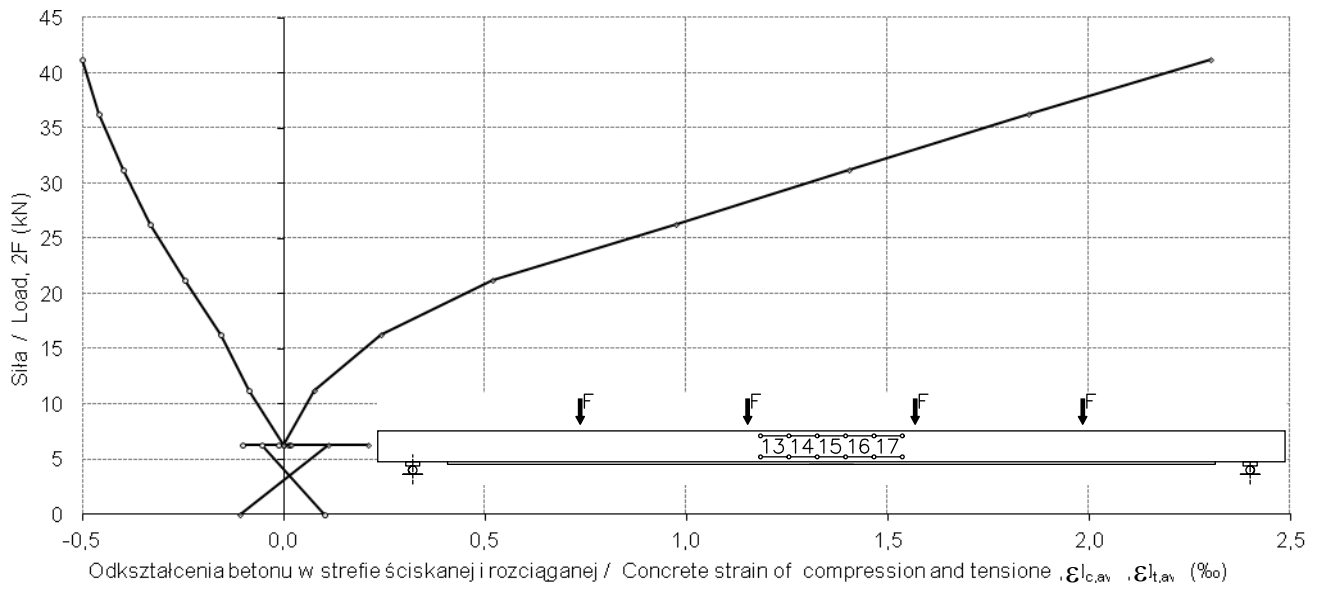
Nr / No	Lokalizacja / Localization	Siła zewnętrzna / External load												
		Na stanowisku badawczym / Inside test set-up												
		Przed wzmocnieniem / Before strengthening	Po wzmocnieniu / After strengthening	Podczas badania / During the test										
		0 kN	6.3 kN	6.3 kN	6.3kN	11.3kN	16.3kN	21.3kN	26.3kN	31.3kN	36.3kN	41.3kN		
Odształcenia betonu w strefie rozciąganej / Concrete strain in tension zone, ϵ_t (%)														
1	5845	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	
2	5642	-0.21	-0.17	-0.12	0.04	0.02	0.00	0.01	0.05	0.07	0.10	0.13	0.14	
3	5438	-0.53	-0.32	-0.17	0.05	0.02	0.00	0.06	0.14	0.25	0.36	0.48	0.64	
4	5235	-0.15	0.00	-0.03	-0.15	0.01	0.00	0.04	0.16	0.33	0.56	0.75	0.96	1.19
5	5032	-0.13	-0.03	-0.04	-0.19	-0.01	0.00	0.07	0.32	0.59	0.90	1.21	1.49	1.79
6	4829	-0.27	-0.12	-0.04	-0.24	0.00	0.00	0.13	0.57	1.03	1.41	1.71	2.05	2.38
7	4626	-0.31	-0.12	-0.03	-0.34		0.00	0.15	0.42	0.62	0.82	0.99	1.19	1.42
8	4422	-0.25	-0.01	0.12	-0.14		0.00	0.15	0.40	0.84	1.32	1.76	2.17	2.59
9	4219	-0.08	0.13	0.19	0.00	0.00	0.00	0.09	0.19	0.31	0.72	1.12	1.56	1.95
10	4016	-0.11	0.19	0.29	0.02	0.03	0.00	0.13	0.28	0.42	0.69	1.04	1.52	1.91
11	3813	-0.21	0.22	0.40	0.04	0.02	0.00	0.18	0.38	0.65	1.21	1.66	2.13	2.62
12	3610	-0.18	0.22	0.36	0.02	0.02	0.00	0.17	0.36	0.60	1.00	1.45	1.93	2.37
13	3406	-0.13	0.12	0.22	0.01	0.01	0.00	0.12	0.26	0.51	1.03	1.54	2.03	2.49
14	3203	-0.14	0.14	0.26	0.02	0.02	0.00	-0.06	0.29	0.59	0.95	1.32	1.75	2.19
15	3000	-0.13	0.09	0.23	0.01	0.02	0.00	0.12	0.26	0.64	1.20	1.69	2.17	2.69
16	2797	-0.10	0.09	0.18	0.02	0.02	0.00	0.10	0.21	0.52	0.97	1.39	1.80	2.22
17	2594	-0.05	0.13	0.17	0.02	0.02	0.00	0.10	0.20	0.32	0.71	1.08	1.50	1.92
18	2390	-0.20	0.30	0.42	0.02	0.01	0.00	0.21	0.37	0.85	1.34	1.56	2.34	2.84
19	2187	-0.06	0.14	0.23	0.01	0.01	0.00	0.10	0.23	0.40	0.78	1.17	1.60	2.00
20	1984	-0.14	0.23	0.36	0.02	0.02	0.00	0.18	0.35	0.61	1.08	1.50	1.97	2.43
21	1781	-0.06	0.12	0.19	0.00	0.00	0.00	0.08	0.19	0.33	0.64	0.98	1.37	1.82
22	1578	-0.04	0.08	0.15	-0.03		0.00	0.08	0.17	0.33	0.63	0.97	1.36	1.71
23	1374	-0.31	-0.10	0.01			0.00	0.14	0.42	0.74	1.00	1.39	1.69	2.04
24	1171	-0.15	-0.06	-0.01		0.02	0.00	0.09	0.42	0.69	0.96	1.26	1.57	1.91
25	968	-0.07	0.00	0.00		-0.01	0.00	0.06	0.24	0.43	0.70	0.89	1.10	1.28
26	765	-0.18	-0.08	-0.02		0.00	0.00	0.06	0.28	0.54	0.74	1.00	1.33	1.61
27	562	-0.15	0.03	-0.01		0.00	0.00	0.02	0.09	0.16	0.27	0.36	0.48	1.56
28	358	-0.09	-0.06	-0.04		-0.01	0.00	0.00	0.04	0.08	0.16	0.24	0.36	
29	155	-0.02	-0.01	-0.02		0.00	0.00	-0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	

Nr / No	Lokalizacja / Localization	Siła zewnętrzna / External load												
		Poza stanowiskiem na 4 podporach / Outside test set-up on 4 supports	Na stanowisku badawczym / Inside test set-up											
			Przed wzmocnieniem / Before strengthening	Po wzmocnieniu / After strengthening	Podczas badania / During the test									
					0 kN	6.3 kN	6.3 kN	6.3kN	11.3kN	16.3kN	21.3kN	26.3kN	31.3kN	36.3kN
Odształcenia betonu w strefie ściskanej / Concrete strain in compression zone, ϵ_c (‰)														
1	5845	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.05	
2	5642	0.14	0.09	0.02	-0.05	-0.01	0.00	-0.03	-0.04	-0.07	-0.08	-0.10	-0.12	
3	5438	0.17	0.07	0.00	-0.03	0.01	0.00	-0.04	-0.08	-0.14	-0.19	-0.23	-0.26	
4	5235	0.06	-0.02	0.01	0.13	0.01	0.00	-0.05	-0.10	-0.16	-0.22	-0.25	-0.31	
5	5032	0.01	-0.06	-0.01	0.18	0.00	0.00	-0.07	-0.16	-0.23	-0.29	-0.34	-0.38	
6	4829	0.08	-0.06	0.01	0.28		0.00	-0.10	-0.23	-0.33	-0.41	-0.46	-0.52	
7	4626	0.19	0.01	0.00	0.17		0.00	-0.10	-0.17	-0.26	-0.31	-0.38	-0.44	
8	4422	0.05	-0.05	-0.06	0.08		0.00	-0.08	-0.14	-0.21	-0.26	-0.32	-0.38	
9	4219	0.08	-0.17	-0.22	0.01	0.01	0.00	-0.15	-0.24	-0.33	-0.44	-0.53	-0.59	
10	4016	0.19	-0.10	-0.18	-0.03	0.02	0.00	-0.14	-0.22	-0.31	-0.39	-0.47	-0.52	
11	3813	0.16	-0.15	-0.21	0.00	0.02	0.00	-0.17	-0.27	-0.38	-0.48	-0.55	-0.61	
12	3610	0.18	-0.10	-0.16	0.00	0.02	0.00	-0.13	-0.20	-0.30	-0.36	-0.42	-0.50	-0.55
13	3406	0.10	-0.05	-0.10	0.00	0.00	0.00	-0.09	-0.15	-0.24	-0.33	-0.40	-0.46	-0.51
14	3203	0.10	-0.06	-0.11	-0.06	0.01	0.00	-0.09	-0.16	-0.24	-0.32	-0.37	-0.44	-0.48
15	3000	0.12	-0.07	-0.11	0.02	0.02	0.00	-0.10	-0.17	-0.28	-0.37	-0.45	-0.51	-0.56
16	2797	0.12	-0.04	-0.09	-0.01	0.02	0.00	-0.08	-0.16	-0.26	-0.32	-0.40	-0.46	-0.50
17	2594	0.08	-0.06	-0.11	-0.02	0.01	0.00	-0.08	-0.15	-0.23	-0.30	-0.36	-0.41	-0.44
18	2390	0.19	-0.14	-0.18	-0.03	0.00	0.00	-0.15	-0.22	-0.31	-0.37	-0.44	-0.48	-0.53
19	2187	0.13	-0.07	-0.12	-0.01	0.01	0.00	-0.10	-0.18	-0.24	-0.31	-0.39	-0.44	
20	1984	0.11	-0.21	-0.24	-0.03	-0.02	0.00	-0.19	-0.31	-0.40	-0.50	-0.59	-0.65	
21	1781	0.11	-0.09	-0.16	0.00	0.02	0.00	-0.12	-0.18	-0.27	-0.33	-0.39	-0.45	
22	1578	-0.05	-0.17	-0.16	-0.05		0.00	-0.10	-0.18	-0.24	-0.29	-0.33	-0.36	
23	1374	0.18	0.03	0.06			0.00	-0.06	-0.13	-0.19	-0.23	-0.29	-0.32	
24	1171	0.17	0.03	0.01		0.01	0.00	-0.08	-0.13	-0.18	-0.22	-0.26	-0.27	
25	968	0.04	-0.06	0.00		0.02	0.00	-0.06	-0.11	-0.17	-0.20	-0.24	-0.26	
26	765	-0.04	-0.13	0.02		0.06	0.00	-0.05	-0.13	-0.22	-0.27	-0.33	-0.36	
27	562	0.11	0.01	0.01		0.02	0.00	-0.03	-0.06	-0.08	-0.12	-0.14	-0.18	
28	358	0.10	0.07	0.00		0.02	0.00	-0.03	-0.05	-0.07	-0.09	-0.12	-0.16	
29	155	0.06	0.00	0.00		0.00	0.00	-0.02	-0.02	-0.01	0.00	-0.02	-0.05	

	Siła zewnętrzna / External load												
	Poza stanowiskiem na 4 podporach / Outside test set-up on 4 supports	Na stanowisku badawczym / Inside test set-up											
		Przed wzmocnieniem / Before strengthening	Po wzmocnieniu / After strengthening	Podczas badania / During the test									
				0 kN	6.3 kN	6.3 kN	6.3kN	11.3kN	16.3kN	21.3kN	26.3kN	31.3kN	36.3kN
$\epsilon_{c,av}$ (‰)	0.10	-0.06	-0.10	-0.01	0.01	0.00	-0.09	-0.16	-0.25	-0.33	-0.40	-0.46	-0.50
$\epsilon_{t,av}$ (‰)	-0.11	0.11	0.21	0.02	0.02	0.00	0.07	0.24	0.52	0.97	1.40	1.85	2.30
K (1/m)	-0.0014	-0.0011	-0.0021	-0.0002	-0.0000	0.0000	0.0011	0.0026	0.0051	0.0087	0.0120	0.0154	0.0187

Pomiary odkształceń wykonywano przy użyciu ekstensometru nasadowego o bazie 8'.
Concrete strain measurements measured by hand with dial strain gauges of 8' working range.

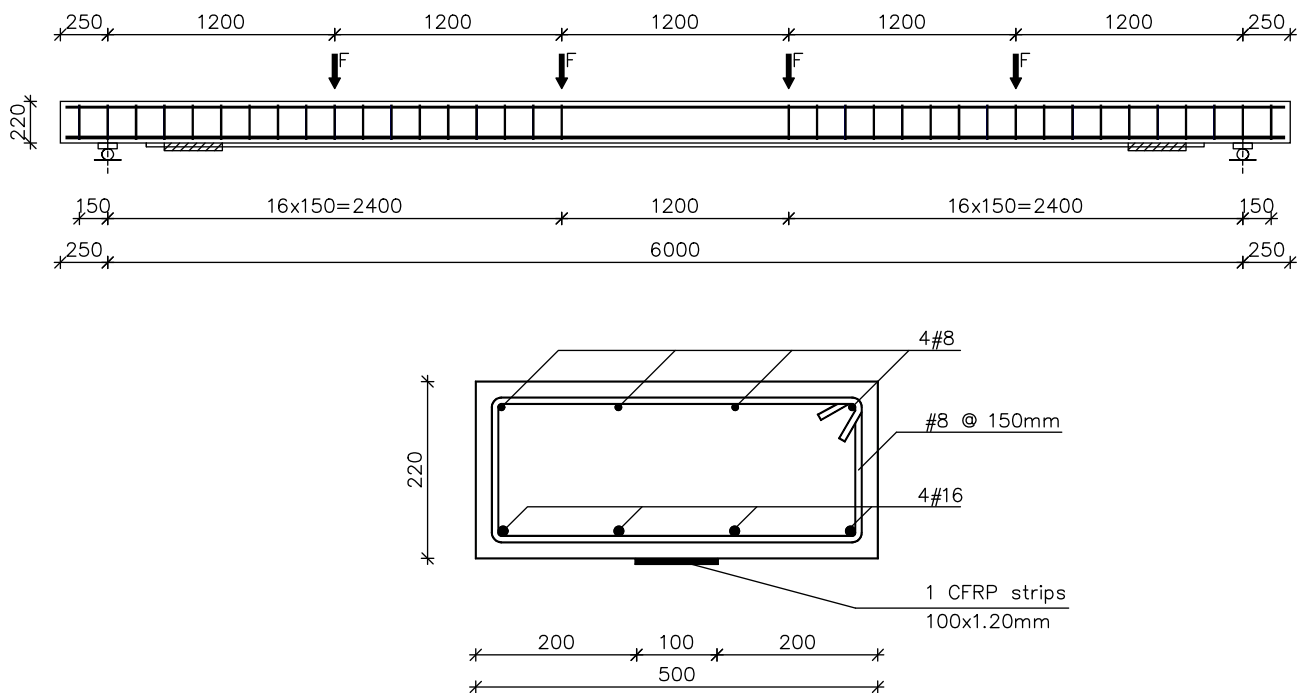
B12-a



WYNIKI BADAŃ ELEMENTU TEST RESULTS OF MEMBER

B16-asp

Series C



Tablica Z6.1 Zestawienie charakterystycznych parametrów dla elementu B16-asp

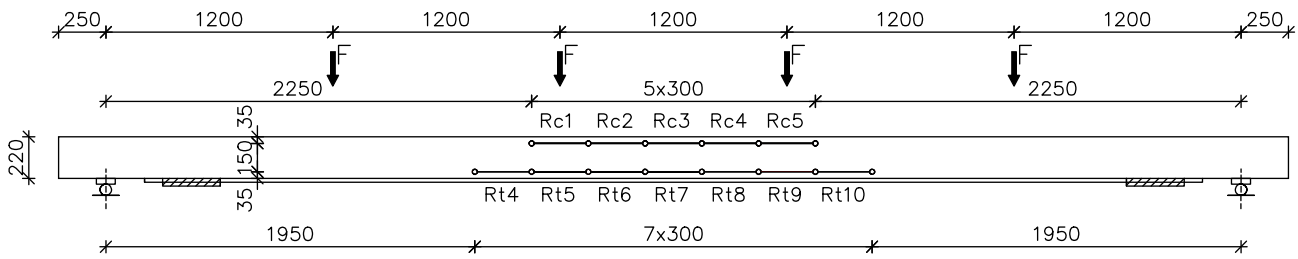
Table Z6.1 Summary of characteristic parameters for beam B16-asp

	Beton Concrete		Stal zbrojeniowa Steel reinforcement		CFRP		Siła Load	
		500 x 220mm ²		4 #12	4 #8	1x 100x1.2mm ²		2F _p
f _{c,cube}	52.4MPa	A _s	199.1mm ²	48.8mm ²	f _{fu}	2857MPa	2F _{u0}	44.0kN
f _{ct,split}	3.65MPa	f _y	595.0MPa	555.8MPa	ε _{fu}	16.8‰	$\frac{2F_p}{2F_{u0}}$	14%
f _c	49.0Mpa	f _t	672.0MPa	646.0MPa	E _f	173.7Gpa	2F _u	74.4kN
E _c	25.4Mpa	E _s	198.0GPa	196.4GPa	ε _{f,tot} (ε _{f,p} +ε _{f,test})	12.8‰ (4.80‰+8.00‰)	$\frac{2F_u}{2F_{u0}}$	169%

B16-asp_{sp}

- a - taśma przyklejona / laminate bonded
- sp - stalowa płyta kotwiąca / anchorage steel plate

B16-asp



Tablica Z6.2 Odształcenia betonu, ϵ_c , ϵ_t (pomiar komputerowe)

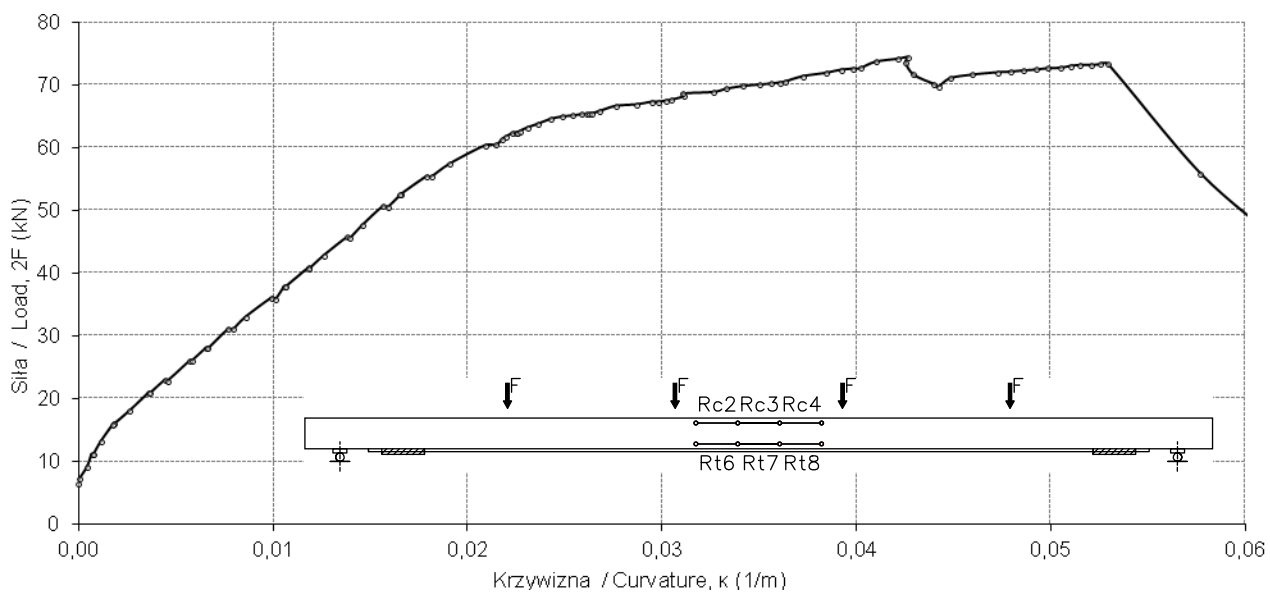
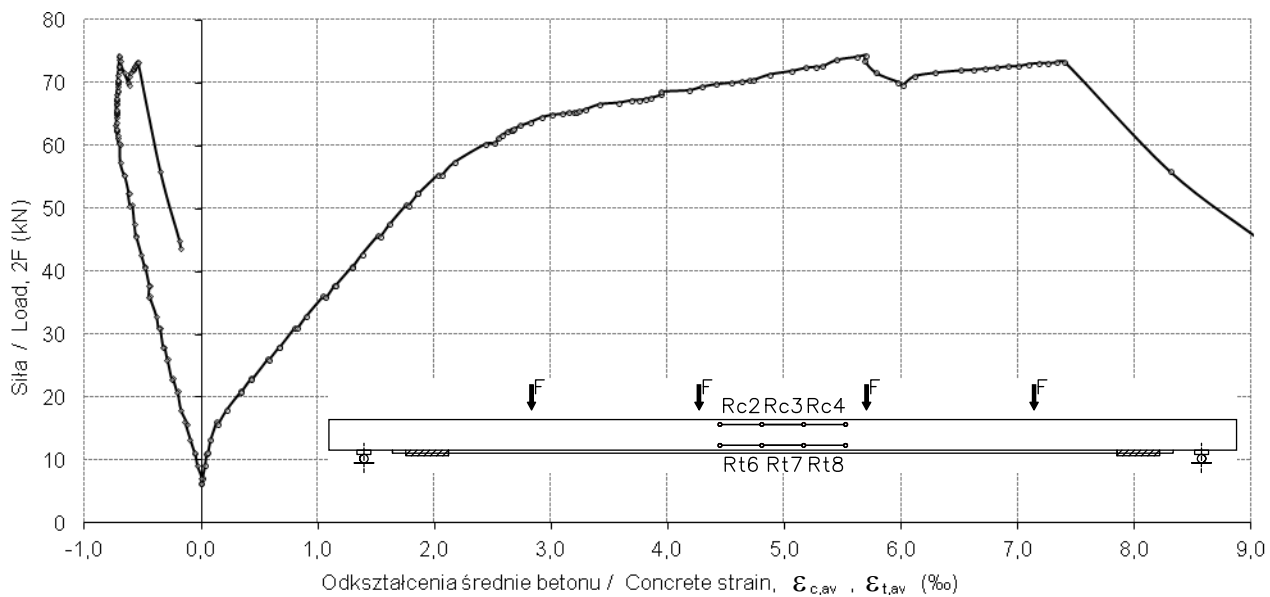
Table Z6.2 Concrete strain, ϵ_c , ϵ_t (computer registered measurements)

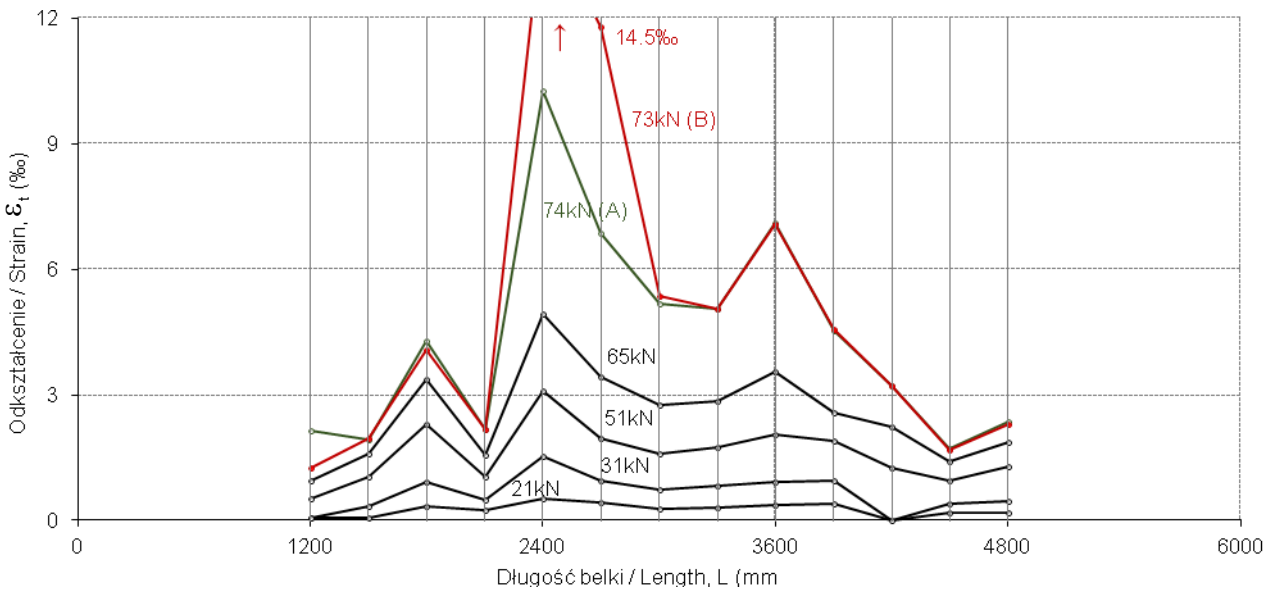
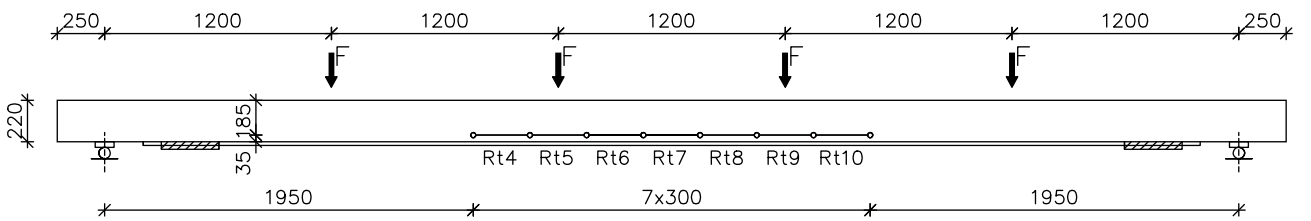
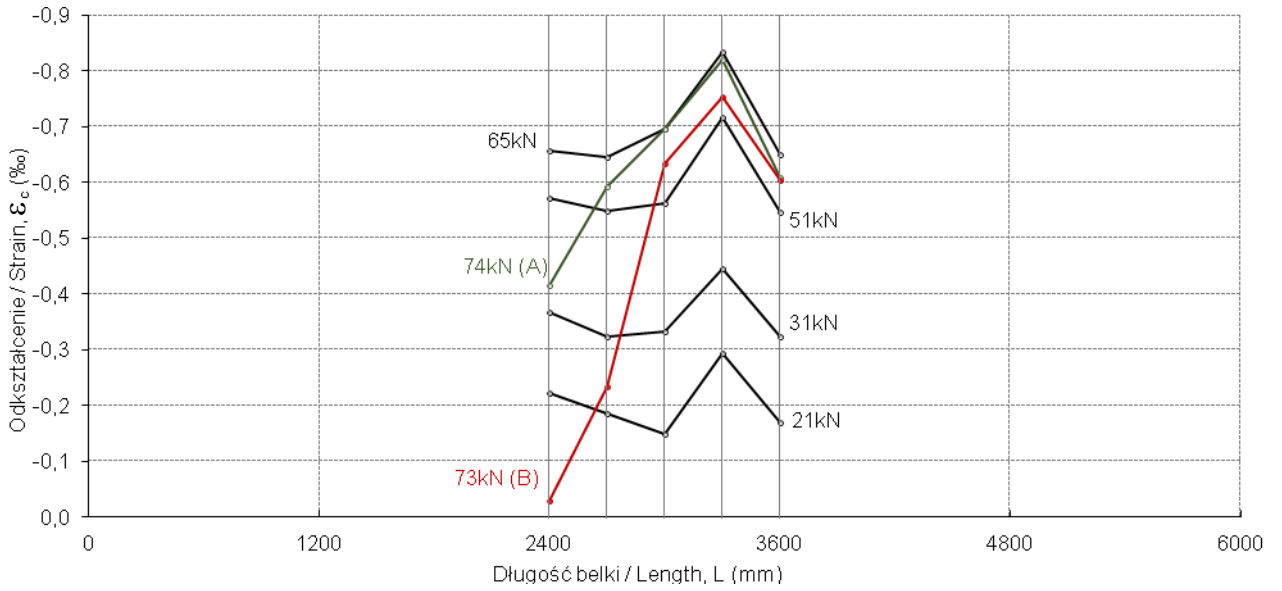
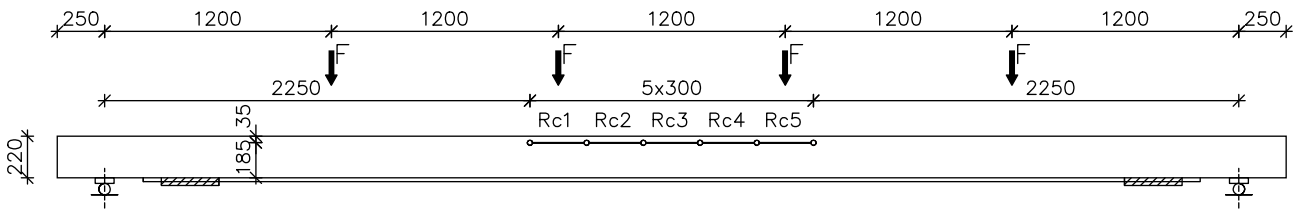
Siła / Load 2F kN	Odształcenia betonu / Concrete strain																			Krzywizna / Curvature K 1/m			
	ϵ_c						ϵ_t																
	R _{c1}	R _{c2}	R _{c3}	R _{c4}	R _{c5}	$\epsilon_{c,av}$	R _{t1}	R _{t2}	R _{t3}	R _{t4}	R _{t5}	R _{t6}	R _{t7}	R _{t8}	R _{t9}	R _{t10}	R _{t11}	R _{t12}	R _{t13}		$\epsilon_{t,av}$		
‰						‰													‰				
6.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000
7.2	-0.02	-0.01	0.04	-0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.0001
9.1	-0.05	-0.08	0.02	-0.05	-0.01	-0.04	0.00	0.00	0.04	0.04	0.19	0.04	0.03	0.03	0.04	0.08	-0.01	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.0005
11.0	-0.07	-0.05	-0.01	-0.10	-0.04	-0.05	0.08	0.03	0.07	0.08	0.16	0.07	0.05	0.02	0.08	0.13	-0.01	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.0007
11.1	-0.07	-0.05	-0.03	-0.10	-0.04	-0.06	0.03	0.03	0.07	0.08	0.16	0.07	0.05	0.05	0.07	0.13	-0.01	0.07	0.05	0.05	0.05	0.06	0.0008
13.2	-0.10	-0.07	-0.04	-0.18	-0.06	-0.09	0.03	0.03	0.09	0.10	0.16	0.10	0.07	0.07	0.10	0.16	-0.01	0.10	0.06	0.06	0.06	0.08	0.0012
16.0	-0.14	-0.11	-0.09	-0.22	-0.10	-0.14	0.06	0.05	0.14	0.14	0.23	0.17	0.12	0.11	0.16	0.21	-0.01	0.13	0.08	0.13	0.08	0.13	0.0018
15.7	-0.11	-0.10	-0.06	-0.19	-0.16	-0.12	-0.01	0.05	0.13	0.14	0.24	0.18	0.12	0.13	0.17	0.22	-0.01	0.13	0.10	0.14	0.10	0.14	0.0017
18.0	-0.18	-0.14	-0.10	-0.29	-0.12	-0.18	0.08	0.05	0.21	0.19	0.33	0.28	0.18	0.19	0.24	0.28	0.00	0.16	0.13	0.22	0.13	0.22	0.0026
20.9	-0.22	-0.16	-0.15	-0.29	-0.17	-0.20	0.07	0.06	0.32	0.25	0.51	0.44	0.28	0.31	0.37	0.39	-0.01	0.19	0.17	0.34	0.17	0.34	0.0036
20.8	-0.22	-0.19	-0.15	-0.29	-0.17	-0.21	0.16	0.07	0.33	0.25	0.51	0.44	0.28	0.31	0.38	0.39	0.11	0.32	0.17	0.34	0.17	0.34	0.0037
23.0	-0.26	-0.22	-0.18	-0.33	-0.21	-0.24	0.07	0.08	0.41	0.30	0.65	0.51	0.36	0.40	0.47	0.49	0.01	0.08	0.21	0.43	0.21	0.43	0.0045
22.7	-0.26	-0.22	-0.19	-0.36	-0.20	-0.25	0.07	0.24	0.41	0.35	0.67	0.52	0.37	0.41	0.48	0.49	0.00	0.22	0.22	0.43	0.22	0.43	0.0046
26.0	-0.30	-0.26	-0.23	-0.38	-0.25	-0.29	0.17	0.19	0.72	0.38	0.91	0.66	0.50	0.55	0.63	0.63	0.01	0.27	0.28	0.57	0.28	0.57	0.0057
25.9	-0.30	-0.27	-0.23	-0.38	-0.25	-0.29	0.07	0.18	0.58	0.38	0.94	0.67	0.50	0.57	0.64	0.64	0.00	0.26	0.29	0.58	0.29	0.58	0.0058
28.0	-0.33	-0.29	-0.26	-0.39	-0.28	-0.32	0.16	0.22	0.69	0.43	1.09	0.76	0.59	0.65	0.73	0.73	0.01	0.28	0.34	0.67	0.34	0.67	0.0065
27.9	-0.33	-0.29	-0.29	-0.41	-0.28	-0.33	0.06	0.25	0.70	0.46	1.20	0.77	0.59	0.66	0.72	0.74	0.00	0.29	0.34	0.67	0.34	0.67	0.0067
31.0	-0.36	-0.32	-0.30	-0.44	-0.34	-0.35	0.06	0.33	0.88	0.52	1.35	0.91	0.71	0.79	0.88	0.90	0.01	0.36	0.42	0.80	0.42	0.80	0.0077
31.0	-0.37	-0.32	-0.33	-0.45	-0.32	-0.37	0.06	0.34	0.93	0.50	1.52	0.93	0.73	0.81	0.90	0.94	0.01	0.39	0.45	0.82	0.45	0.82	0.0079
32.9	-0.39	-0.34	-0.35	-0.46	-0.34	-0.39	0.06	0.37	1.02	0.57	1.54	1.02	0.80	0.89	1.11	1.14	0.02	0.51	0.51	0.90	0.51	0.90	0.0086
36.0	-0.42	-0.48	-0.36	-0.50	-0.39	-0.44	0.06	0.48	1.23	0.64	1.80	1.18	0.93	1.03	1.19	1.24	0.21	0.52	0.64	1.05	0.64	1.05	0.0099
35.8	-0.43	-0.43	-0.42	-0.51	-0.38	-0.45	0.07	0.50	1.28	0.66	1.84	1.21	0.95	1.05	1.22	1.27	0.25	0.54	0.68	1.07	0.68	1.07	0.0101
37.8	-0.44	-0.41	-0.40	-0.53	-0.41	-0.44	0.10	0.56	1.39	0.71	1.97	1.28	1.02	1.13	1.31	1.34	0.34	0.58	0.73	1.14	0.73	1.14	0.0106
37.8	-0.45	-0.41	-0.40	-0.53	-0.44	-0.45	0.11	0.53	1.59	0.71	2.03	1.30	1.03	1.14	1.32	1.35	0.37	0.59	0.75	1.15	0.75	1.15	0.0107
40.9	-0.47	-0.44	-0.43	-0.57	-0.43	-0.48	0.25	0.68	1.59	0.77	2.25	1.43	1.15	1.31	1.46	1.41	0.57	0.66	0.84	1.30	0.84	1.30	0.0118
40.6	-0.47	-0.44	-0.43	-0.57	-0.44	-0.48	0.23	0.69	1.63	0.78	2.28	1.45	1.16	1.28	1.48	1.49	0.62	0.67	0.86	1.29	0.86	1.29	0.0118
42.8	-0.49	-0.49	-0.46	-0.60	-0.46	-0.51	0.28	0.75	1.73	0.83	2.42	1.54	1.23	1.36	1.58	1.57	0.71	0.72	0.92	1.38	0.92	1.38	0.0126
45.7	-0.51	-0.49	-0.51	-0.68	-0.48	-0.56	0.38	0.86	1.94	0.90	2.66	1.68	1.35	1.51	1.74	1.70	0.89	0.89	1.19	1.51	1.19	1.51	0.0138
45.6	-0.53	-0.50	-0.47	-0.71	-0.49	-0.56	0.40	0.88	1.98	0.91	2.70	1.71	1.37	1.52	1.77	1.71	0.94	0.81	1.10	1.53	1.10	1.53	0.0140
47.6	-0.54	-0.52	-0.52	-0.68	-0.51	-0.57	0.44	0.95	2.09	0.96	2.84	1.79	1.45	1.61	1.87	1.78	1.06	0.85	1.16	1.62	1.16	1.62	0.0146
50.6	-0.56	-0.54	-0.55	-0.68	-0.54	-0.59	0.53	1.05	2.31	1.03	3.08	1.95	1.58	1.73	2.06	1.89	1.24	0.94	1.29	1.76	1.29	1.76	0.0156
50.5	-0.57	-0.55	-0.56	-0.72	-0.55	-0.61	0.55	1.06	2.34	1.04	3.12	1.99	1.59	1.76	2.09	1.91	1.28	0.96	1.31	1.78	1.31	1.78	0.0159
52.5	-0.59	-0.57	-0.60	-0.71	-0.57	-0.63	0.59	1.13	2.44	1.09	3.26	2.07	1.67	1.84	2.19	1.97	1.38	1.00	1.39	1.86	1.39	1.86	0.0166
52.4	-0.59	-0.57	-0.58	-0.71	-0.57	-0.62	0.68	1.13	2.45	1.09	3.27	2.07	1.67	1.84	2.19	1.97	1.36	1.00	1.37	1.86	1.37	1.86	0.0165
55.4	-0.61	-0.58	-0.60	-0.78	-0.59	-0.65	0.68	1.24	2.66	1.17	3.54	2.27	1.83	1.99	2.40	2.09	1.60	1.16	1.49	2.03	1.49	2.03	0.0179
55.3	-0.62	-0.60	-0.64	-0.74	-0.59	-0.66	0.78	1.27	2.69	1.18	3.58	2.31	1.86	2.01	2.41	2.18	1.65	1.13	1.52	2.06	1.52	2.06	0.0181
57.4	-0.63	-0.61	-0.63	-0.83	-0.61	-0.69	0.73	1.32	2.80	1.23	3.76	2.42	1.96	2.13	2.56	2.17	1.72	1.18	1.60	2.17	1.60	2.17	0.0191
60.3	-0.65	-0.63	-0.64	-0.82	-0.69	-0.70	0.75	1.42	3.00	1.33	4.16	2.72	2.24	2.36	2.87	2.35	1.91	1.27	1.72	2.44	1.72	2.44	0.0209
60.4	-0.66	-0.64	-0.68	-0.80	-0.64	-0.71	0.84	1.45	3.06	1.37	4.26	2.82	2.31	2.42	2.95	2.35	1.96	1.29	1.75	2.51	1.75	2.51	0.0215
61.2	-0.68	-0.65	-0.69	-0.81	-0.65	-0.72	1.32	1.47	3.12	1.38	4.32	2.85	2.34	2.46	3.00	2.38	2.00	1.31	1.76	2.55	1.76	2.55	0.0218
61.8	-0.68	-0.65	-0.69	-0.81	-0.66	-0.72	0.87	1.49	3.13	1.38	4.37	2.88	2.39	2.48	3.02	2.40	2.04	1.32	1.79	2.58	1.79	2.58	0.0220
62.3	-0.68	-0.65	-0.69	-0.82	-0.65	-0.72	0.88	1.50	3.17	1.41	4.42	2.94	2.42	2.52	3.09	2.42	2.07	1.34	1.79	2.63	1.79	2.63	0.0223
62.4	-0.68	-0.65	-0.69	-0.82	-0.65	-0.72	0.88	1.51	3.18	1.42	4.47	2.97	2.45	2.54	3.12	2.44	2.09	1.34	1.80	2.65	1.80	2.65	0.0225

62.4	-0.69	-0.66	-0.70	-0.82	-0.66	-0.73	0.88	1.51	3.19	1.43	4.49	2.97	2.46	2.56	3.13	2.45	2.08	1.33	1.80	2.66	0.0226
62.6	-0.69	-0.66	-0.70	-0.83	-0.65	-0.73	0.88	1.51	3.20	1.43	4.51	2.99	2.47	2.57	3.15	2.47	2.10	1.33	1.80	2.68	0.0227
63.2	-0.69	-0.66	-0.70	-0.83	-0.66	-0.73	0.90	1.53	3.24	1.45	4.58	3.07	2.52	2.61	3.20	2.49	2.14	1.35	1.82	2.73	0.0231
69.4	-0.61	-0.61	-0.69	-0.83	-0.64	-0.71	1.08	1.75	3.80	1.75	6.72	5.11	3.88	3.88	5.34	2.95	2.68	1.52	2.10	4.29	0.0333
69.8	-0.60	-0.62	-0.70	-0.83	-0.65	-0.72	1.10	1.76	3.84	1.77	6.94	5.27	4.01	3.94	5.52	2.99	2.73	1.54	2.12	4.41	0.0342
70.1	-0.59	-0.61	-0.70	-0.83	-0.64	-0.71	1.09	1.78	3.89	1.77	7.12	5.44	4.11	4.08	5.66	3.04	2.76	1.55	2.13	4.55	0.0351
70.2	-0.58	-0.61	-0.70	-0.82	-0.64	-0.71	1.10	1.78	3.93	1.78	7.24	5.54	4.17	4.20	5.75	3.07	2.81	1.56	2.16	4.64	0.0356
70.4	-0.59	-0.61	-0.70	-0.83	-0.65	-0.71	1.11	1.78	3.94	1.78	7.32	5.62	4.22	4.25	5.84	3.10	2.84	1.56	2.16	4.70	0.0361
70.5	-0.58	-0.61	-0.70	-0.83	-0.64	-0.71	2.03	1.80	3.96	1.80	7.39	5.68	4.25	4.28	5.89	3.14	2.85	1.56	2.18	4.74	0.0363
71.4	-0.58	-0.61	-0.70	-0.83	-0.63	-0.71	1.14	1.81	4.04	1.83	7.63	5.86	4.38	4.39	6.06	3.29	2.91	1.59	2.21	4.88	0.0373
71.9	-0.34	-0.60	-0.70	-0.82	-0.63	-0.71	1.15	1.84	4.11	1.92	7.97	6.12	4.53	4.54	6.24	3.65	2.98	1.61	2.21	5.06	0.0385
72.4	-0.53	-0.59	-0.70	-0.82	-0.63	-0.70	1.17	1.86	4.16	1.99	8.32	6.27	4.65	4.63	6.38	3.79	3.02	1.62	2.22	5.18	0.0392
72.6	-0.51	-0.60	-0.70	-0.82	-0.63	-0.71	1.18	1.87	4.17	2.04	8.63	6.36	4.74	4.70	6.51	3.87	3.05	1.64	2.26	5.27	0.0398
72.7	-0.51	-0.60	-0.70	-0.82	-1.35	-0.71	2.10	1.87	4.19	2.07	8.82	6.42	4.81	4.76	6.58	3.94	3.06	1.65	2.26	5.33	0.0402
73.7	-0.49	-0.59	-0.69	-0.81	-0.62	-0.70	1.21	1.90	4.25	2.12	9.16	6.56	4.93	4.86	6.75	4.09	3.12	1.67	2.29	5.45	0.0410
74.2	-0.45	-0.59	-0.70	-0.81	-0.62	-0.70	1.22	1.91	4.29	2.17	9.86	6.76	5.10	5.01	7.00	4.34	3.19	1.70	2.34	5.62	0.0422
74.4	-0.42	-0.59	-0.70	-0.82	-0.61	-0.70	2.14	1.92	4.29	2.17	10.26	6.86	5.17	5.06	7.12	4.54	3.20	1.71	2.35	5.70	0.0427
73.6	-0.35	-0.59	-0.68	-0.81	-0.62	-0.70	1.22	1.98	4.20	2.17	10.98	6.85	5.16	5.05	7.09	4.56	3.21	1.69	2.32	5.69	0.0425
71.6	-0.19	-0.55	-0.66	-0.77	-0.61	-0.66	1.23	1.99	4.07	2.15	12.41	7.21	5.14	5.00	6.99	4.47	3.19	1.63	2.26	5.78	0.0429
70.2	-0.14	-0.48	-0.64	-0.76	-0.60	-0.63	1.25	1.96	4.04	2.15	12.78	7.82	5.13	4.97	6.93	4.43	3.19	1.61	2.23	5.97	0.0440
69.7	-0.14	-0.47	-0.64	-0.74	-0.60	-0.62	1.25	1.94	4.01	2.14	12.87	7.98	5.12	4.94	6.91	4.42	3.19	1.61	2.21	6.01	0.0442
71.1	-0.13	-0.47	-0.64	-0.74	-0.61	-0.62	1.25	1.94	4.04	2.16	13.04	8.21	5.15	4.97	6.96	4.45	3.20	1.63	2.24	6.11	0.0448
71.6	-0.12	-0.43	-0.64	-0.74	-0.61	-0.60	1.24	1.94	4.04	2.16	13.32	8.73	5.16	4.99	6.98	4.47	3.19	1.65	2.26	6.29	0.0460
72.0	-0.10	-0.38	-0.65	-0.73	-0.61	-0.59	1.24	1.94	4.05	2.16	13.55	9.34	5.19	4.99	7.00	4.48	3.20	1.65	2.25	6.51	0.0473
72.1	-0.09	-0.36	-0.64	-0.73	-0.60	-0.58	1.25	1.95	4.05	2.15	13.64	9.63	5.20	5.01	7.01	4.49	3.19	1.66	2.27	6.61	0.0480
72.3	-0.09	-0.35	-0.65	-0.74	-0.61	-0.58	1.25	1.95	4.04	2.16	13.74	9.92	5.21	5.02	7.02	4.50	3.19	1.66	2.27	6.71	0.0486
72.4	-0.08	-0.33	-0.64	-0.75	-0.60	-0.57	1.25	1.95	4.05	2.16	13.85	10.20	5.22	5.03	7.03	4.51	3.19	1.67	2.27	6.82	0.0493
72.7	-0.08	-0.31	-0.64	-0.74	-0.61	-0.56	1.25	1.94	4.05	2.16	13.94	10.48	5.24	5.03	7.04	4.51	3.19	1.67	2.28	6.92	0.0499
72.7	-0.07	-0.30	-0.65	-0.75	-0.61	-0.57	1.24	1.94	4.05	2.16	14.03	10.74	5.25	5.04	7.05	4.53	3.21	1.67	2.28	7.01	0.0505
73.0	-0.06	-0.28	-0.65	-0.75	-0.60	-0.56	1.25	1.95	4.05	2.16	14.12	10.97	5.28	5.03	7.06	4.53	3.20	1.68	2.29	7.09	0.0510
73.2	-0.05	-0.27	-0.63	-0.75	-0.61	-0.55	1.25	1.94	4.05	2.16	14.22	11.20	5.29	5.05	7.07	4.53	3.20	1.68	2.29	7.18	0.0515
73.2	-0.05	-0.26	-0.65	-0.75	-0.61	-0.55	1.25	1.94	4.06	2.16	14.31	11.41	5.31	5.05	7.08	4.54	3.20	1.69	2.30	7.26	0.0521
73.3	-0.04	-0.25	-0.64	-0.75	-0.61	-0.55	1.24	1.94	4.06	2.16	14.41	11.60	5.34	5.05	7.08	4.55	3.20	1.70	2.29	7.33	0.0525
73.3	-0.03	-0.23	-0.63	-0.75	-0.60	-0.54	1.25	1.94	4.06	2.17	14.53	11.79	5.36	5.06	7.09	4.56	3.20	1.70	2.31	7.40	0.0530
55.9	0.16	-0.06	-0.40	-0.59	-0.34	-0.35	1.53	1.95	4.10	2.17	14.47	12.94	6.02	5.95	7.87	4.66	3.53	1.60	2.37	8.31	0.0577
45.0	0.36	0.10	-0.19	-0.48	-0.07	-0.19	1.79	1.99	4.14	2.21	14.36	13.82	6.67	6.74	8.48	4.73	3.81	1.63	2.50	9.08	0.0618
43.7	0.36	0.11	-0.18	-0.47	-0.06	-0.18	1.80	1.99	4.07	2.16	14.31	13.81	6.69	6.75	8.46	4.69	3.74	1.60	2.46	9.09	0.0618

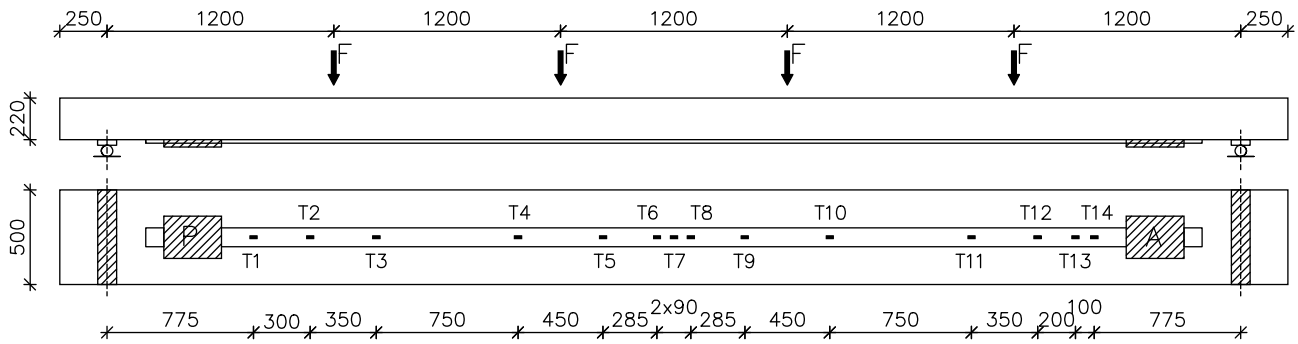
Pomiary odkształceń betonu wykonywano przetwornikami przemieszczeń liniowych o zakresie 10 i 20mm.
Concrete strain were measured with linear displacement transducers of 10 and 20mm range.

B16-asp





B16-asp



Tablica Z6.3 Odkształcenia taśmy CFRP, ϵ_f

Table Z6.3 CFRP strain, ϵ_f

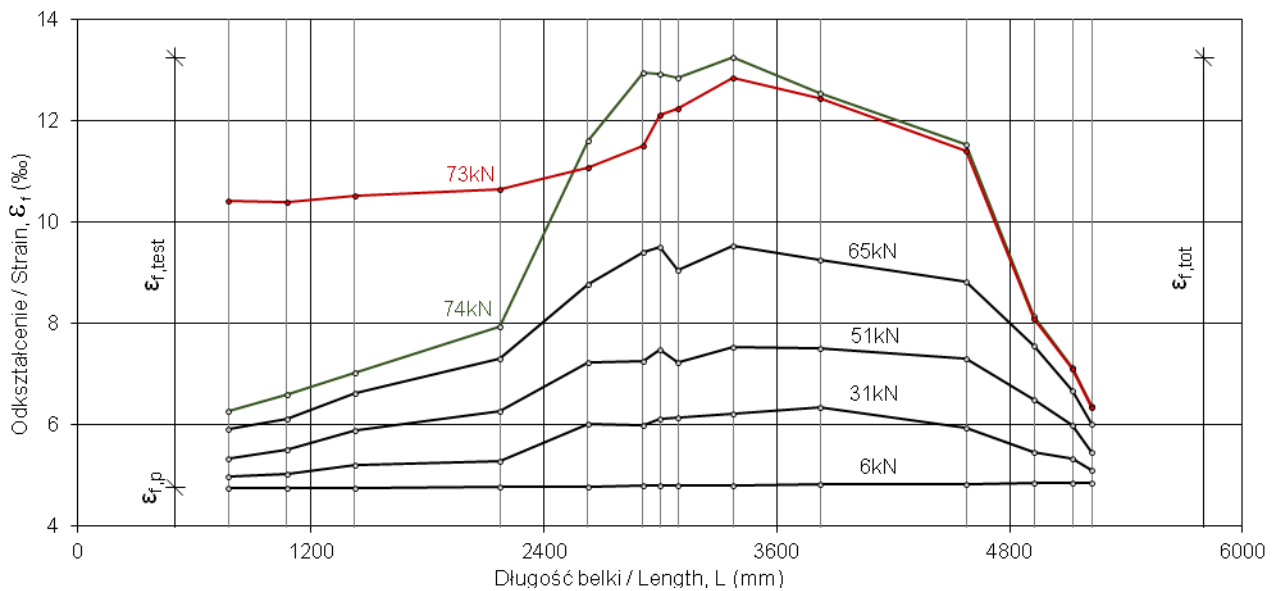
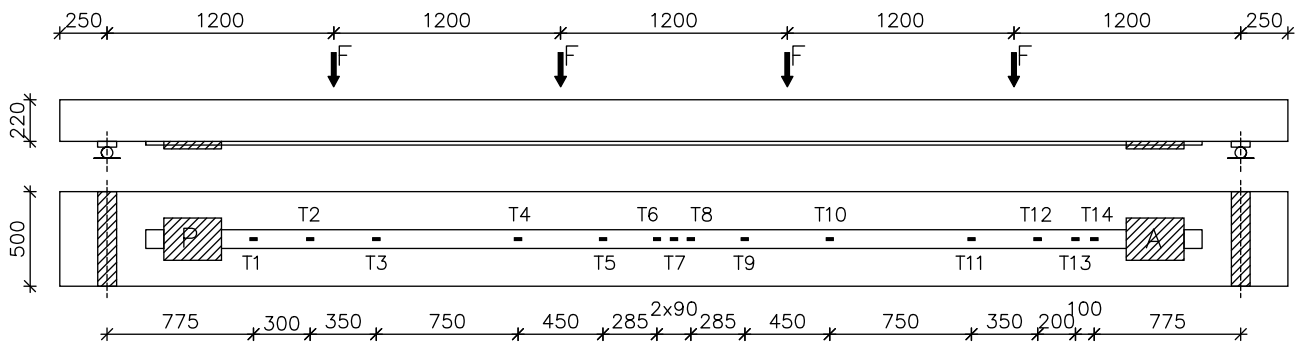
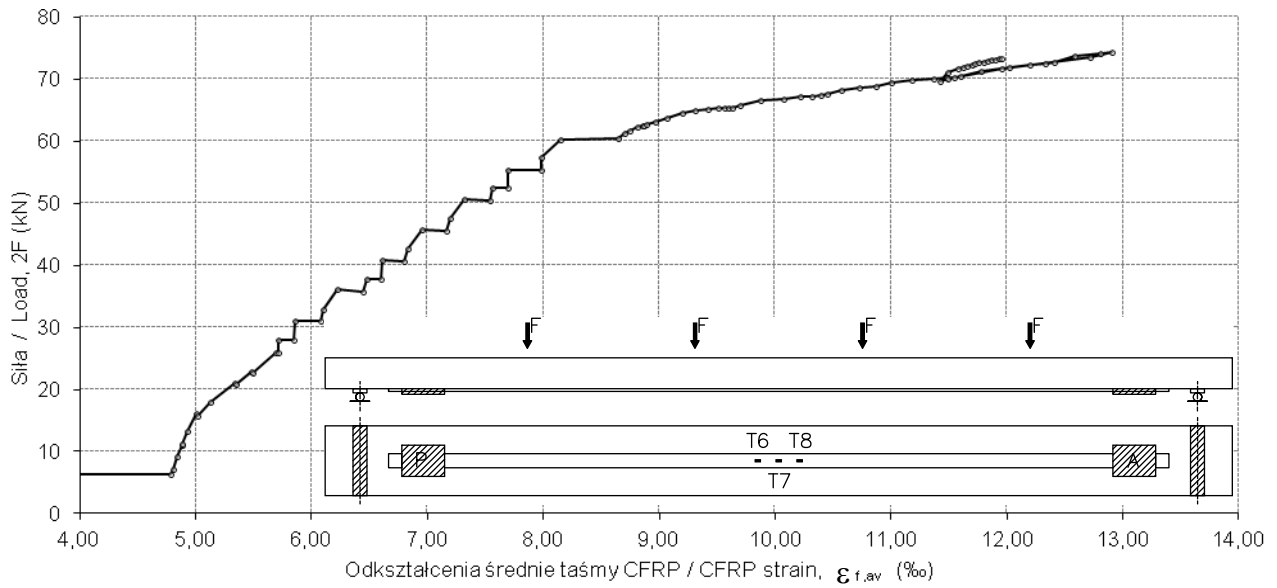
Sila / Load 2F kN	Odkształcenia taśmy CFRP / CFRP strain ϵ_f														
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T _M
	‰														
6.3	4.73	4.73	4.75	4.76	4.77	4.78	4.79	4.79	4.80	4.81	4.82	4.83	4.84	4.84	4.8
7.2	4.74	4.74	4.76	4.78	4.79	4.80	4.81	4.82	4.82	4.84	4.84	4.85	4.85	4.85	4.8
9.1	4.75	4.76	4.78	4.79	4.84	4.84	4.84	4.86	4.86	4.89	4.86	4.87	4.87	4.86	4.8
11.0	4.77	4.77	4.80	4.82	4.88	4.87	4.88	4.91	4.91	4.94	4.89	4.89	4.90	4.88	4.9
11.1	4.77	4.78	4.80	4.82	4.88	4.87	4.88	4.91	4.91	4.94	4.89	4.90	4.90	4.88	4.9
13.2	4.79	4.79	4.82	4.83	4.92	4.91	4.92	4.95	4.95	5.00	4.92	4.92	4.93	4.90	4.9
16.0	4.80	4.82	4.85	4.87	5.00	4.99	5.00	5.04	5.04	5.10	4.98	4.96	4.96	4.92	5.0
15.7	4.81	4.82	4.86	4.86	5.01	5.00	5.02	5.04	5.04	5.13	4.97	4.95	4.96	4.92	5.0
18.0	4.82	4.83	4.87	4.89	5.09	5.09	5.12	5.16	5.17	5.29	5.04	4.99	4.99	4.94	5.1
20.9	4.85	4.87	4.91	4.94	5.27	5.30	5.31	5.41	5.40	5.55	5.17	5.06	5.04	4.97	5.3
20.8	4.85	4.86	4.90	4.94	5.28	5.30	5.32	5.42	5.40	5.56	5.18	5.06	5.04	4.97	5.3
23.0	4.87	4.88	4.93	4.97	5.38	5.41	5.43	5.59	5.54	5.71	5.29	5.10	5.07	4.99	5.5
22.7	4.87	4.88	4.94	4.98	5.40	5.42	5.45	5.61	5.57	5.72	5.33	5.12	5.08	5.00	5.5
26.0	4.90	4.92	5.00	5.08	5.60	5.60	5.65	5.82	5.79	5.95	5.55	5.21	5.15	5.03	5.7
25.9	4.90	4.93	5.01	5.09	5.63	5.62	5.67	5.84	5.82	5.97	5.58	5.23	5.17	5.04	5.7
28.0	4.90	4.93	5.01	5.09	5.63	5.62	5.67	5.84	5.82	5.97	5.58	5.23	5.17	5.04	5.7
27.9	4.92	4.95	5.06	5.15	5.76	5.75	5.82	5.96	5.97	6.11	5.70	5.30	5.22	5.06	5.8
31.0	4.93	4.96	5.07	5.15	5.78	5.77	5.85	5.97	5.98	6.11	5.72	5.32	5.23	5.06	5.9
31.0	4.97	5.01	5.20	5.26	5.99	5.98	6.10	6.14	6.22	6.33	5.92	5.45	5.32	5.10	6.1
32.9	4.97	5.03	5.22	5.31	6.03	6.02	6.14	6.16	6.25	6.34	5.96	5.49	5.34	5.11	6.1
36.0	4.99	5.06	5.27	5.38	6.14	6.13	6.29	6.26	6.38	6.47	6.07	5.57	5.39	5.13	6.2
35.8	5.03	5.13	5.36	5.53	6.34	6.34	6.54	6.44	6.61	6.68	6.36	5.75	5.51	5.17	6.4
37.8	5.05	5.16	5.39	5.59	6.39	6.38	6.58	6.47	6.64	6.70	6.43	5.80	5.54	5.19	6.5
37.8	5.08	5.20	5.45	5.70	6.52	6.51	6.71	6.59	6.78	6.83	6.57	5.90	5.60	5.21	6.6
40.9	5.08	5.20	5.46	5.70	6.53	6.51	6.72	6.59	6.78	6.83	6.57	5.90	5.60	5.22	6.6
40.6	5.12	5.27	5.57	5.85	6.72	6.71	6.93	6.77	6.99	7.02	6.77	6.05	5.71	5.26	6.8
42.8	5.15	5.29	5.61	5.89	6.75	6.74	6.97	6.78	7.01	7.04	6.80	6.10	5.73	5.28	6.8
45.7	5.18	5.33	5.68	5.96	6.87	6.87	7.11	6.90	7.14	7.18	6.92	6.18	5.79	5.31	7.0
45.6	5.24	5.43	5.80	6.13	7.08	7.08	7.33	7.08	7.36	7.37	7.14	6.36	5.89	5.38	7.2
47.6	5.27	5.46	5.82	6.19	7.11	7.12	7.36	7.11	7.39	7.38	7.18	6.41	5.91	5.41	7.2
50.6	5.31	5.50	5.88	6.27	7.22	7.24	7.48	7.23	7.52	7.50	7.29	6.49	5.97	5.44	7.3
50.5	5.43	5.60	6.01	6.45	7.42	7.47	7.72	7.42	7.75	7.72	7.51	6.71	6.08	5.53	7.5
52.5	5.47	5.63	6.04	6.51	7.46	7.52	7.73	7.45	7.78	7.73	7.55	6.73	6.10	5.57	7.6
52.4	5.50	5.68	6.10	6.59	7.57	7.64	7.87	7.57	7.91	7.86	7.66	6.82	6.16	5.60	7.7
55.4	5.50	5.68	6.10	6.59	7.58	7.65	7.87	7.57	7.91	7.87	7.67	6.82	6.16	5.60	7.7
55.3	5.63	5.80	6.25	6.80	7.82	7.96	8.15	7.83	8.21	8.11	7.91	7.03	6.29	5.73	8.0
57.4	5.63	5.81	6.26	6.81	7.82	7.96	8.16	7.83	8.21	8.12	7.91	7.03	6.30	5.74	8.0
60.3	5.66	5.85	6.31	6.88	7.94	8.12	8.34	7.98	8.38	8.28	8.03	7.12	6.35	5.77	8.1
60.4	5.80	6.00	6.46	7.11	8.29	8.66	8.84	8.45	8.88	8.68	8.36	7.33	6.52	5.90	8.6
61.2	5.81	6.01	6.48	7.14	8.33	8.71	8.89	8.50	8.93	8.74	8.41	7.36	6.54	5.91	8.7
61.8	5.82	6.02	6.50	7.16	8.37	8.75	8.95	8.54	8.98	8.78	8.44	7.39	6.56	5.92	8.7

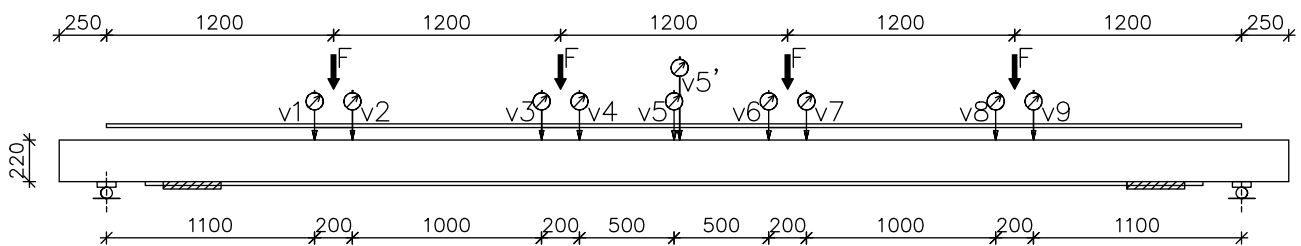
62.3	5.82	6.03	6.51	7.18	8.41	8.82	9.02	8.61	9.05	8.86	8.49	7.41	6.57	5.93	8.8
62.4	5.83	6.04	6.51	7.18	8.43	8.87	9.05	8.64	9.08	8.88	8.52	7.42	6.58	5.93	8.9
62.4	5.84	6.04	6.52	7.19	8.45	8.89	9.07	8.65	9.10	8.90	8.53	7.42	6.58	5.93	8.9
62.6	5.84	6.04	6.52	7.20	8.47	8.91	9.09	8.67	9.13	8.92	8.55	7.43	6.58	5.94	8.9
63.2	5.85	6.06	6.54	7.22	8.52	8.99	9.16	8.74	9.19	8.98	8.60	7.46	6.60	5.95	9.0
63.8	5.86	6.07	6.56	7.25	8.60	9.13	9.25	8.83	9.29	9.06	8.66	7.48	6.62	5.96	9.1
64.6	5.88	6.09	6.58	7.28	8.69	9.28	9.38	8.93	9.42	9.17	8.75	7.52	6.65	5.98	9.2
65.0	5.89	6.11	6.60	7.31	8.76	9.40	9.49	9.04	9.54	9.26	8.82	7.55	6.67	6.00	9.3
65.1	5.91	6.13	6.61	7.33	8.82	9.49	9.61	9.16	9.66	9.34	8.86	7.56	6.69	6.01	9.4
65.3	5.92	6.14	6.62	7.34	8.86	9.56	9.70	9.25	9.76	9.40	8.89	7.57	6.70	6.01	9.5
65.3	5.92	6.15	6.63	7.35	8.89	9.60	9.76	9.32	9.82	9.43	8.91	7.58	6.71	6.02	9.6
65.4	5.93	6.16	6.64	7.35	8.91	9.64	9.80	9.37	9.85	9.46	8.93	7.59	6.71	6.03	9.6
65.5	5.93	6.17	6.64	7.36	8.93	9.66	9.83	9.40	9.88	9.48	8.94	7.60	6.71	6.03	9.6
65.8	5.94	6.18	6.65	7.38	8.97	9.72	9.89	9.47	9.95	9.53	8.98	7.61	6.73	6.05	9.7
66.6	5.96	6.19	6.67	7.41	9.05	9.89	10.07	9.65	10.11	9.66	9.06	7.64	6.75	6.06	9.9
66.9	5.97	6.22	6.69	7.43	9.15	10.11	10.25	9.87	10.31	9.80	9.15	7.67	6.77	6.07	10.1
67.3	5.99	6.24	6.70	7.46	9.22	10.23	10.39	10.04	10.44	9.93	9.23	7.69	6.79	6.09	10.2
67.3	6.00	6.25	6.71	7.47	9.28	10.31	10.49	10.17	10.54	10.03	9.27	7.70	6.80	6.10	10.3
67.5	6.01	6.26	6.72	7.48	9.33	10.35	10.56	10.25	10.60	10.09	9.31	7.71	6.81	6.10	10.4
67.6	6.01	6.27	6.72	7.49	9.37	10.39	10.62	10.32	10.66	10.15	9.33	7.72	6.81	6.11	10.4
68.2	6.02	6.29	6.75	7.51	9.47	10.49	10.77	10.46	10.78	10.26	9.40	7.74	6.83	6.12	10.6
68.6	6.04	6.30	6.76	7.54	9.58	10.61	10.95	10.63	10.94	10.43	9.48	7.77	6.85	6.14	10.7
68.9	6.05	6.32	6.78	7.56	9.73	10.72	11.09	10.79	11.10	10.58	9.55	7.79	6.87	6.15	10.9
69.4	6.07	6.34	6.79	7.58	9.97	10.84	11.22	10.94	11.27	10.72	9.62	7.81	6.88	6.16	11.0
69.8	6.08	6.36	6.81	7.62	10.19	11.06	11.37	11.11	11.46	10.88	9.73	7.84	6.91	6.18	11.2
70.1	6.10	6.38	6.83	7.64	10.34	11.34	11.51	11.26	11.64	11.06	9.81	7.87	6.92	6.19	11.4
70.2	6.11	6.39	6.84	7.66	10.44	11.47	11.59	11.35	11.75	11.18	9.88	7.88	6.93	6.21	11.5
70.4	6.12	6.40	6.85	7.67	10.49	11.56	11.65	11.43	11.82	11.25	9.93	7.89	6.94	6.22	11.5
70.5	6.12	6.41	6.85	7.68	10.53	11.61	11.70	11.48	11.87	11.30	9.99	7.90	6.95	6.22	11.6
71.4	6.14	6.44	6.89	7.72	10.70	11.79	11.88	11.66	12.06	11.47	10.27	7.94	6.98	6.24	11.8
71.9	6.17	6.47	6.92	7.76	10.93	12.04	12.11	11.92	12.32	11.70	10.96	7.98	7.01	6.26	12.0
72.4	6.18	6.49	6.94	7.79	11.13	12.23	12.26	12.11	12.51	11.86	11.15	8.01	7.03	6.28	12.2
72.6	6.19	6.51	6.95	7.82	11.26	12.38	12.37	12.23	12.65	11.96	11.25	8.03	7.04	6.29	12.3
72.7	6.20	6.52	6.96	7.83	11.35	12.46	12.44	12.32	12.74	12.04	11.32	8.04	7.05	6.30	12.4
73.7	6.22	6.54	6.99	7.86	11.50	12.62	12.61	12.51	12.94	12.21	11.46	8.08	7.08	6.33	12.6
74.2	6.24	6.57	7.02	7.90	11.58	12.85	12.83	12.75	13.16	12.45	11.51	8.13	7.11	6.35	12.8
74.4	6.25	6.58	7.03	7.92	11.61	12.95	12.91	12.85	13.25	12.53	11.53	8.14	7.12	6.36	12.9
73.6	6.24	6.57	7.04	8.95	11.04	12.54	12.82	12.78	13.19	12.49	11.50	8.11	7.10	6.34	12.7
71.6	8.01	8.19	8.61	9.95	10.45	11.30	12.23	12.32	12.87	12.35	11.36	8.03	7.05	6.32	12.0
70.2	9.67	9.63	9.67	9.83	10.26	10.74	11.76	11.97	12.63	12.27	11.29	7.99	7.02	6.30	11.5
69.7	9.74	9.63	9.70	9.86	10.28	10.73	11.67	11.87	12.55	12.24	11.25	7.98	7.01	6.29	11.4
71.1	9.81	9.70	9.77	9.94	10.36	10.82	11.73	11.92	12.60	12.30	11.29	8.00	7.03	6.30	11.5
71.6	9.94	9.83	9.90	10.07	10.50	10.96	11.79	11.97	12.63	12.33	11.32	8.02	7.04	6.31	11.6
72.0	10.08	9.96	10.05	10.21	10.64	11.08	11.80	11.98	12.66	12.35	11.33	8.03	7.04	6.31	11.6
72.1	10.04	10.01	10.11	10.27	10.70	11.14	11.83	12.00	12.67	12.36	11.34	8.04	7.05	6.32	11.7
72.3	10.04	10.06	10.17	10.32	10.75	11.19	11.87	12.03	12.69	12.37	11.35	8.05	7.06	6.32	11.7
72.4	10.09	10.11	10.23	10.38	10.81	11.24	11.89	12.05	12.70	12.38	11.35	8.06	7.06	6.32	11.7
72.7	10.15	10.18	10.29	10.44	10.86	11.30	11.91	12.07	12.72	12.40	11.35	8.06	7.06	6.32	11.8
72.7	10.19	10.23	10.34	10.48	10.90	11.35	11.95	12.09	12.74	12.40	11.36	8.07	7.07	6.33	11.8
73.0	10.26	10.27	10.38	10.52	10.95	11.40	11.98	12.12	12.76	12.41	11.37	8.08	7.07	6.33	11.8
73.2	10.32	10.32	10.42	10.56	10.99	11.43	12.02	12.15	12.77	12.42	11.37	8.08	7.08	6.33	11.9
73.2	10.36	10.35	10.46	10.60	11.03	11.47	12.05	12.18	12.80	12.44	11.38	8.09	7.08	6.34	11.9
73.3	10.40	10.38	10.49	10.63	11.06	11.50	12.08	12.21	12.82	12.44	11.39	8.09	7.08	6.34	11.9
73.3	10.43	10.40	10.51	10.65	11.07	11.51	12.11	12.24	12.84	12.45	11.39	8.10	7.09	6.34	12.0

Pomiary odkształceń wykonywano tensometrami elektrooporowymi TFs-5 o bazie 5mm.
CFRP strain were measured with electric resistance gauges TFs-5 with range of 5mm.

P - oznaczenie strony pasywnej zakotwienia / the names of the passive side of anchorage system
A - oznaczenie strony aktywnej zakotwienia / the names of the passive side of anchorage system

B16-asp





Tablica Z6.4 Przemieszczenia pionowe belki, v

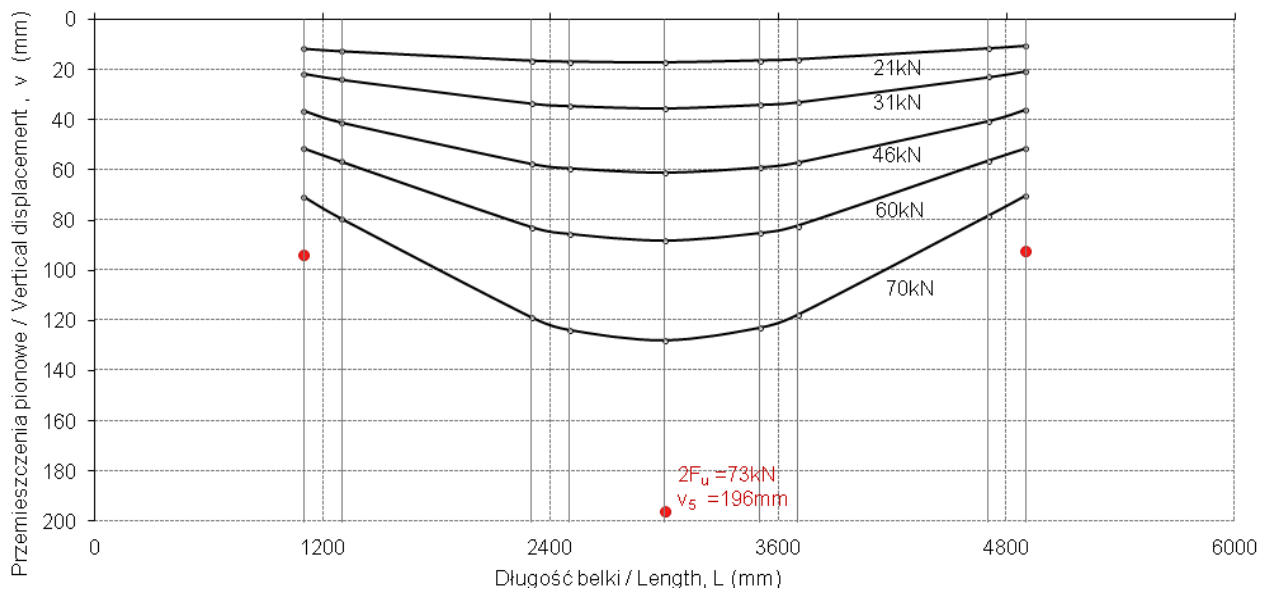
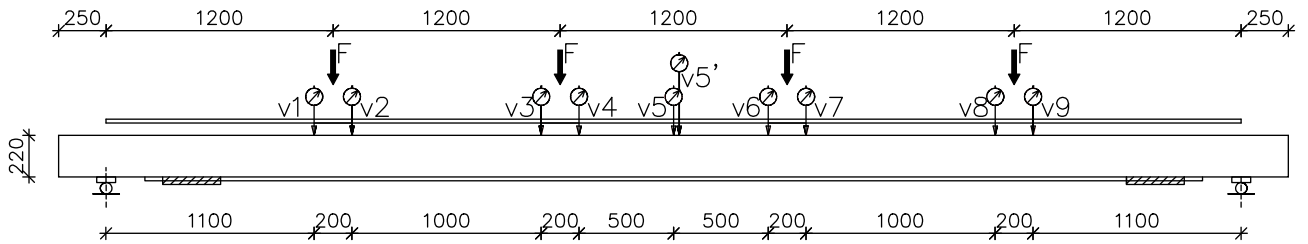
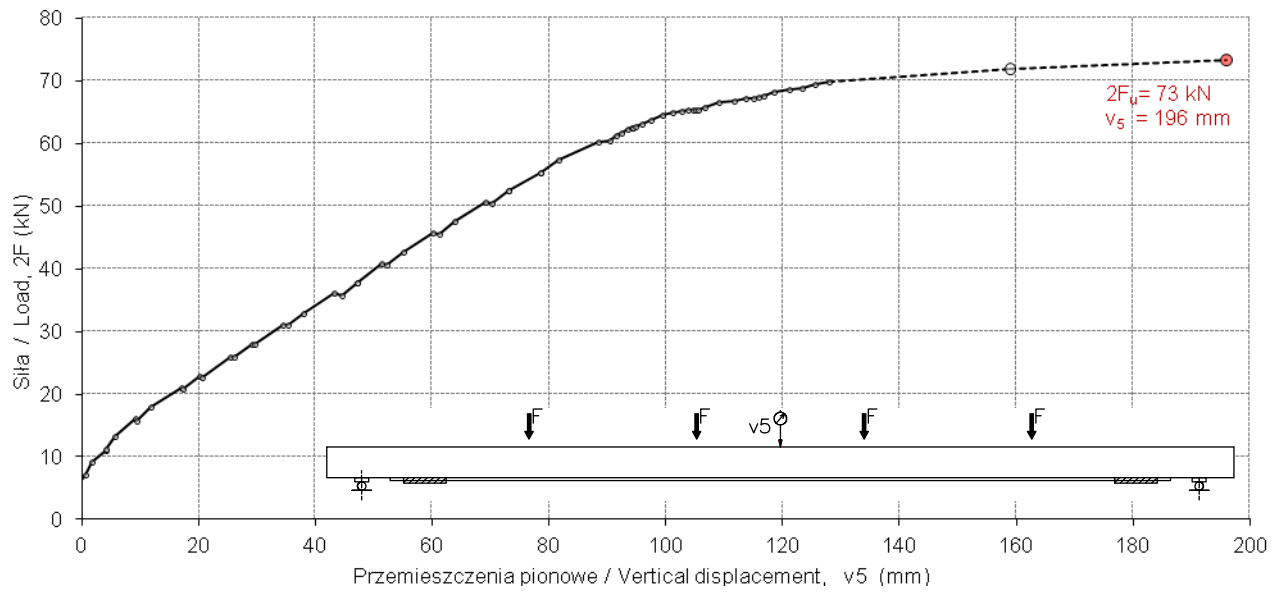
Table Z6.4 Vertical displacement, v

Siła / Load 2F kN	Przemieszczenia pionowe / Vertical displacement v (mm)												
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅	v ₆	v ₇	v ₈	v ₉	v _{av,1-2}	v _{av,3-4}	v _{av,6-7}	v _{av,8-9}
6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.2	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.4
9.1	1.3	1.4	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.2	1.1	1.3	1.7	1.6	1.2
11.0	2.6	2.8	3.8	3.9	4.1	4.2	4.1	3.8	3.7	2.7	3.8	4.2	3.8
11.1	2.6	2.9	3.9	4.0	4.2	4.3	4.2	3.9	3.9	2.8	3.9	4.3	3.9
13.2	3.4	3.8	5.3	5.5	5.7	5.7	5.6	4.8	4.6	3.6	5.4	5.7	4.7
16.0	6.7	7.2	8.9	9.2	9.2	9.0	8.7	6.8	6.3	7.0	9.1	8.8	6.5
15.7	6.8	7.3	9.1	9.3	9.4	9.1	8.8	6.9	6.4	7.1	9.2	9.0	6.6
18.0	8.3	9.0	11.5	11.7	11.9	11.5	11.2	8.5	7.7	8.6	11.6	11.3	8.1
20.9	11.6	12.7	16.5	16.9	17.1	16.4	15.9	11.5	10.4	12.2	16.7	16.1	11.0
20.8	11.7	12.7	16.5	16.9	17.2	16.4	16.0	11.5	10.5	12.2	16.7	16.2	11.0
23.0	13.2	14.5	19.2	19.7	20.1	19.2	18.6	13.3	12.0	13.8	19.4	18.9	12.7
22.7	13.5	14.8	19.7	20.2	20.6	19.7	19.2	13.7	12.3	14.2	19.9	19.4	13.0
26.0	16.1	17.7	24.2	24.9	25.5	24.4	23.7	16.7	15.0	16.9	24.5	24.0	15.8
25.9	16.5	18.2	24.8	25.5	26.2	25.0	24.3	17.1	15.4	17.3	25.1	24.7	16.3
28.0	18.1	20.0	27.6	28.4	29.2	27.9	27.1	19.0	17.1	19.0	28.0	27.5	18.1
27.9	18.3	20.2	28.0	28.7	29.5	28.2	27.5	19.3	17.3	19.2	28.3	27.9	18.3
31.0	20.9	23.3	32.4	33.5	34.4	33.0	32.0	22.3	20.0	22.1	32.9	32.5	21.2
31.0	21.5	23.9	33.4	34.4	35.3	33.9	32.9	23.0	20.6	22.7	33.9	33.4	21.8
32.9	23.0	25.7	35.8	36.9	37.9	36.4	35.3	24.7	22.1	24.3	36.4	35.8	23.4
36.0	25.9	29.0	40.8	42.2	43.3	41.7	40.4	28.1	25.1	27.4	41.5	41.1	26.6
35.8	26.6	29.8	42.0	43.2	44.5	43.0	41.6	29.0	25.9	28.2	42.6	42.3	27.4
37.8	28.1	31.5	44.4	45.9	47.1	45.4	44.0	30.6	27.4	29.8	45.2	44.7	29.0
37.8	28.2	31.8	44.4	45.8	47.1	45.4	44.0	31.3	27.8	30.0	45.1	44.7	29.6
40.9	30.8	34.8	48.5	50.0	51.4	49.6	48.0	34.1	30.4	32.8	49.3	48.8	32.3
40.6	31.3	35.4	49.3	50.8	52.2	50.4	48.8	34.7	30.9	33.3	50.1	49.6	32.8
42.8	32.9	37.2	52.0	53.6	55.1	53.2	51.5	36.6	32.5	35.1	52.8	52.3	34.6
45.7	35.7	40.4	56.7	58.4	60.1	58.0	56.1	39.9	35.4	38.1	57.5	57.1	37.6
45.6	36.4	41.2	57.7	59.5	61.2	59.1	57.2	40.6	36.1	38.8	58.6	58.1	38.4
47.6	37.9	42.9	60.3	62.1	63.9	61.8	59.7	42.4	37.7	40.4	61.2	60.8	40.0
50.6	40.8	46.2	65.1	67.1	69.1	66.7	64.6	45.8	40.6	43.5	66.1	65.7	43.2
50.5	41.4	46.9	66.2	68.2	70.2	67.9	65.6	46.6	41.4	44.2	67.2	66.8	44.0
52.5	43.0	48.7	68.8	70.9	73.1	70.6	68.3	48.4	42.9	45.8	69.9	69.5	45.7
52.4	43.0	48.7	68.8	71.0	73.2	70.7	68.3	48.5	42.9	45.9	69.9	69.5	45.7
55.4	45.9	50.6	73.8	76.2	78.5	75.9	73.3	50.2	45.9	48.3	75.0	74.6	48.1
55.3	46.0	50.6	73.9	76.3	78.6	75.9	73.4	50.2	46.0	48.3	75.1	74.7	48.1
57.4	47.6	52.5	76.7	79.2	81.6	78.8	76.1	52.1	47.6	50.1	77.9	77.5	49.9
60.3	51.2	56.6	82.9	85.6	88.3	85.3	82.3	56.3	51.3	53.9	84.3	83.8	53.8
60.4	52.5	58.0	84.9	87.8	90.5	87.4	84.3	57.6	52.5	55.2	86.3	85.8	55.0
61.2	53.0	58.7	85.9	88.8	91.6	88.4	85.3	58.3	53.0	55.8	87.4	86.9	55.7
61.8	53.5	59.2	86.7	89.6	92.5	89.3	86.1	58.8	53.5	56.3	88.2	87.7	56.2
62.3	54.0	59.8	87.7	90.7	93.6	90.3	87.1	59.5	54.1	56.9	89.2	88.7	56.8
62.4	54.3	60.1	88.2	91.2	94.1	90.8	87.6	59.7	54.3	57.2	89.7	89.2	57.0

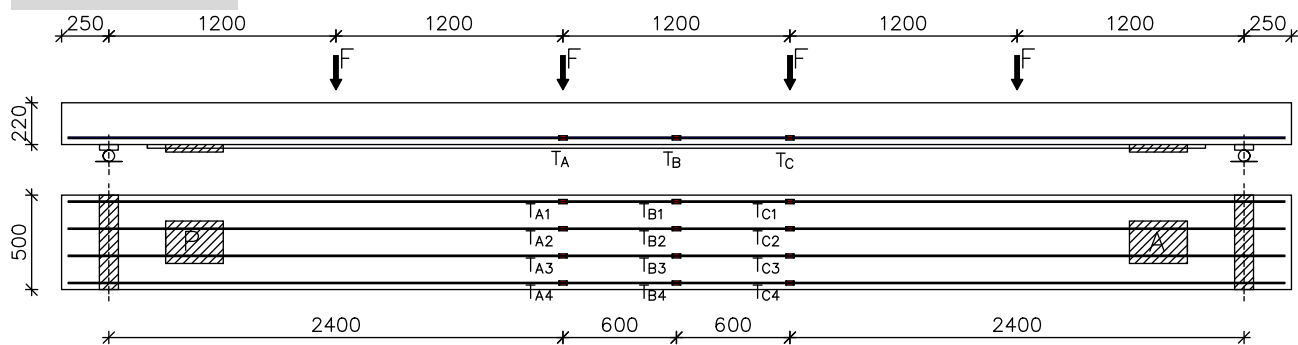
B16-asp

62.6	54.6	60.5	88.7	91.8	94.7	91.4	88.1	60.1	54.6	57.5	90.3	89.8	57.4
63.2	55.2	61.2	89.8	92.9	95.9	92.6	89.2	60.8	55.2	58.2	91.4	90.9	58.0
63.8	56.0	62.1	91.3	94.4	97.5	94.0	90.6	61.7	56.0	59.1	92.9	92.3	58.9
64.6	57.0	63.3	93.1	96.4	99.4	95.9	92.5	62.9	57.0	60.2	94.7	94.2	60.0
65.0	57.9	64.4	94.7	98.1	101.2	97.7	94.1	64.0	57.9	61.2	96.4	95.9	60.9
65.1	58.6	65.2	96.1	99.6	102.8	99.1	95.5	64.8	58.6	61.9	97.8	97.3	61.7
65.3	59.2	65.8	97.1	100.6	103.9	100.1	96.4	65.4	59.1	62.5	98.8	98.2	62.2
65.3	59.5	66.3	97.7	101.3	104.6	100.8	97.0	65.8	59.4	62.9	99.5	98.9	62.6
65.4	59.8	66.6	98.2	101.8	105.2	101.3	97.5	66.1	59.7	63.2	100.0	99.4	62.9
65.5	60.0	66.8	98.6	102.2	105.6	101.7	97.9	66.3	59.9	63.4	100.4	99.8	63.1
65.8	60.5	67.4	99.5	103.2	106.6	102.7	98.8	66.9	60.4	64.0	101.4	100.8	63.6
66.6	61.7	68.8	101.7	105.5	109.0	105.0	101.0	68.2	61.5	65.2	103.6	103.0	64.9
66.9	62.9	70.2	104.0	108.1	111.7	107.5	103.3	69.7	62.8	66.6	106.1	105.4	66.2
67.3	63.8	71.3	105.8	110.0	113.6	109.4	105.1	70.7	63.7	67.6	107.9	107.2	67.2
67.3	64.5	72.1	107.0	111.3	114.9	110.6	106.3	71.4	64.3	68.3	109.1	108.5	67.9
67.5	64.9	72.7	107.9	112.2	115.9	111.5	107.1	72.0	64.7	68.8	110.0	109.3	68.3
67.6	65.4	73.1	108.6	112.9	116.7	112.3	107.8	72.4	65.1	69.2	110.8	110.0	68.8
68.2	66.3	74.2	110.3	114.7	118.5	114.0	109.4	73.4	66.0	70.3	112.5	111.7	69.7
68.6	67.4	75.7	112.6	117.3	121.2	116.6	111.8	74.8	67.2	71.5	114.9	114.2	71.0
68.9	68.4	76.9	114.5	119.3	123.3	118.6	113.7	76.0	68.1	72.7	116.9	116.1	72.1
69.4	69.5	78.2	116.5	121.4	125.5	120.6	115.6	77.2	69.2	73.8	119.0	118.1	73.2
69.8	70.7	79.6	118.8	123.8	128.0	123.0	117.8	78.5	70.4	75.1	121.3	120.4	74.5
70.1	71.8	80.9	120.8			125.1	119.8	79.8	71.5	76.4		122.5	75.6
70.2	72.6	81.8	122.2				121.1	80.6	72.2	77.2			76.4
70.4	73.2	82.4	123.2				122.2	81.2	72.8	77.8			77.0
70.5	73.6	82.9	123.9				122.9	81.7	73.2	78.2			77.4
71.4	75.1	84.8						83.5	74.7	79.9			79.1
71.9	77.1	87.1			159.0			85.8	76.7	82.1			81.2
72.4	78.6	88.9						87.4	78.1	83.7			82.8
72.6	79.6	90.2						88.8	79.2	84.9			84.0
72.7	80.4	91.0						89.6	79.9	85.7			84.8
73.7	81.9	92.9						91.4	81.5	87.4			86.5
74.2	84.2	95.5						94.0	83.6	89.8			88.8
74.4	85.3	96.8						95.3	84.8	91.1			90.0
73.6	85.5	97.1						95.4	84.9	91.3			90.2
71.6	85.9	97.7						95.7	85.1	91.8			90.4
70.2	86.1	98.1						95.9	85.3	92.1			90.6
69.7	86.2	98.1						95.9	85.2	92.1			90.6
71.1	87.0	99.1						96.9	86.1	93.1			91.5
71.6	88.1	100.4						98.1	87.1	94.3			92.6
72.0	89.2							99.2	88.0				93.6
72.1	89.7							99.8	88.5				94.1
72.3	90.2							100.3	89.0				94.6
72.4	90.7								89.4				
72.7	91.2								89.8				
72.7	91.7								90.3				
73.0	92.1								90.7				
73.2	92.6								91.1				
73.2	93.0								91.5				
73.3	93.4								91.9				
73.3	93.8				196.0				92.2				
55.9	94.9								93.5				
45.0	95.4								94.4				
43.7	95.4								93.7				

Pomiary przemieszczeń pionowych wykonywano przetwornikami przemieszczeń liniowych o zakresie 50mm.
Vertical displacement were measured with linear displacement transducers with range of 50mm.



B16-asp



Tablica Z6.5 Odształcenia na stali, ϵ_s (‰)

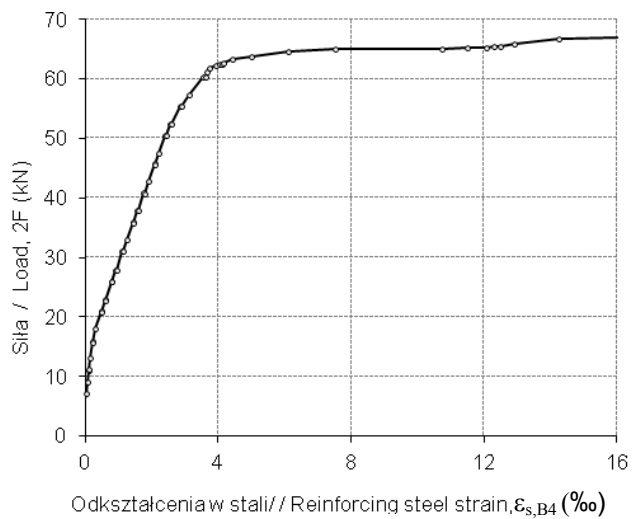
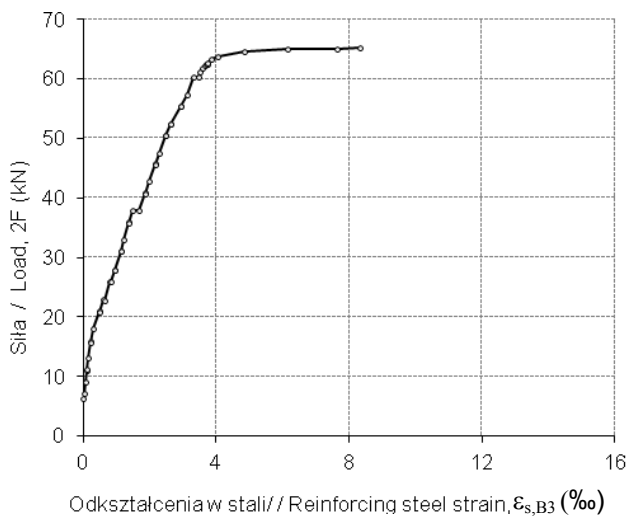
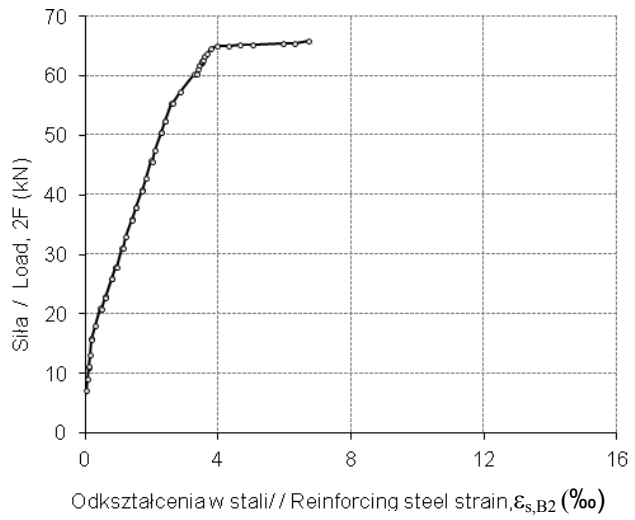
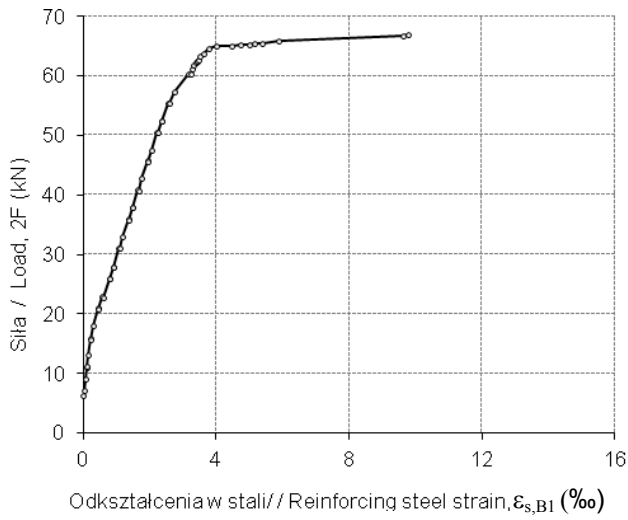
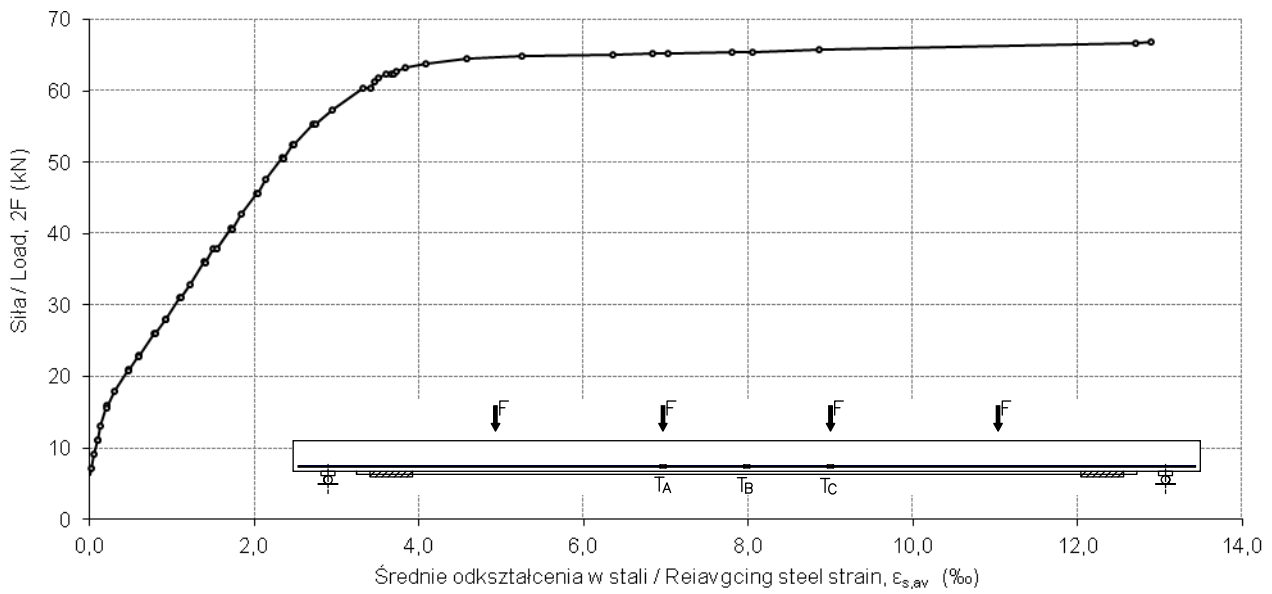
Table Z6.5 Steel strain, ϵ_s (‰)

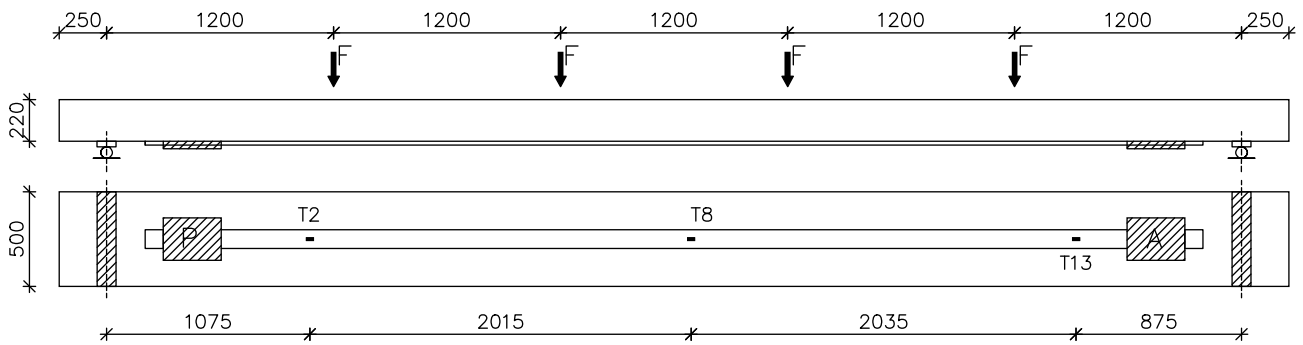
Siła / Load 2F kN	Odształcenia na stali / Steel strain ϵ_s (‰)														
	T_{s1}	T_{s2}	T_{s3}	T_{s4}	T_{s5}	T_{s6}	T_{s7}	T_{s8}	T_{s9}	T_{s10}	T_{s11}	T_{s12}	$\epsilon_{s,av}$	$\epsilon_{s,av}$	$\epsilon_{s,av}$
	2400				3000				3600				2400	3000	3600
6,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,2	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
9,1	0,07	0,07	0,07	0,08	0,05	0,04	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,04	0,05
11,0	0,12	0,12	0,14	0,12	0,08	0,06	0,08	0,07	0,10	0,09	0,08	0,10	0,12	0,07	0,09
11,1	0,12	0,12	0,14	0,13	0,08	0,06	0,08	0,07	0,10	0,09	0,08	0,10	0,13	0,07	0,09
13,2	0,17	0,17	0,20	0,16	0,11	0,09	0,11	0,10	0,13	0,12	0,12	0,15	0,17	0,10	0,13
16,0	0,25	0,26	0,28	0,24	0,17	0,14	0,17	0,15	0,19	0,19	0,19	0,22	0,25	0,16	0,20
15,7	0,25	0,25	0,27	0,23	0,18	0,14	0,18	0,16	0,19	0,19	0,22	0,23	0,25	0,16	0,21
18,0	0,36	0,38	0,37	0,33	0,26	0,20	0,27	0,25	0,26	0,27	0,29	0,33	0,36	0,25	0,29
20,9	0,53	0,56	0,53	0,48	0,43	0,34	0,44	0,44	0,41	0,48	0,49	0,54	0,52	0,41	0,48
20,8	0,53	0,57	0,53	0,48	0,44	0,35	0,45	0,44	0,41	0,48	0,49	0,54	0,53	0,42	0,48
23,0	0,64	0,68	0,64	0,58	0,58	0,48	0,56	0,55	0,50	0,58	0,63	0,65	0,63	0,54	0,59
22,7	0,64	0,69	0,64	0,59	0,61	0,51	0,58	0,57	0,51	0,60	0,64	0,66	0,64	0,57	0,60
26,0	0,88	0,87	0,82	0,77	0,77	0,72	0,73	0,74	0,67	0,76	0,85	0,86	0,84	0,74	0,79
25,9	0,87	0,89	0,83	0,78	0,79	0,75	0,74	0,77	0,68	0,78	0,87	0,87	0,84	0,76	0,80
28,0	0,98	1,00	0,95	0,89	0,91	0,86	0,84	0,88	0,78	0,88	1,03	0,99	0,96	0,87	0,92
27,9	0,98	1,03	0,96	0,90	0,92	0,87	0,86	0,90	0,79	0,89	1,03	0,99	0,97	0,89	0,93
31,0	1,15	1,18	1,15	1,07	1,10	1,04	0,99	1,08	0,96	1,06	1,23	1,18	1,14	1,05	1,10
31,0	1,16	1,21	1,16	1,09	1,13	1,06	0,96	1,12	0,98	1,08	1,24	1,19	1,16	1,07	1,12
32,9	1,26	1,31	1,26	1,20	1,23	1,15	1,03	1,23	1,08	1,17	1,35	1,31	1,26	1,16	1,23
36,0	1,42	1,49	1,45	1,38	1,40	1,32	1,13	1,44	1,25	1,35	1,55	1,49	1,43	1,32	1,41
35,8	1,43	1,51	1,46	1,40	1,42	1,35	1,08	1,47	1,27	1,39	1,58	1,50	1,45	1,33	1,43
37,8	1,53	1,61	1,57	1,51	1,50	1,44	1,14	1,57	1,36	1,49	1,69	1,61	1,56	1,41	1,54
37,8	1,54	1,62	1,58	1,52	1,54	1,46		1,59	1,37	1,50	1,72	1,62	1,57	1,53	1,55
40,9	1,70	1,78	1,75	1,70	1,71	1,62		1,76	1,53	1,67	1,93	1,79	1,73	1,70	1,73
40,6	1,70	1,78	1,76	1,71	1,73	1,64		1,78	1,53	1,68	1,94	1,81	1,74	1,72	1,74
42,8	1,81	1,89	1,86	1,82	1,84	1,75		1,89	1,63	1,78	2,07	1,93	1,85	1,83	1,85
45,7	1,98	2,05	2,03	2,03	2,02	1,92		2,08	1,79	1,95	2,29	2,11	2,02	2,01	2,03
45,6	2,00	2,08	2,04	2,05	2,05	1,95		2,12	1,81	1,97	2,31	2,11	2,04	2,04	2,05
47,6	2,09	2,18	2,15	2,15	2,15	2,04		2,22	1,90	2,07	2,42	2,22	2,14	2,14	2,15
50,6	2,26	2,35	2,33	2,36	2,34	2,22		2,43	2,07	2,24	2,63	2,44	2,32	2,33	2,34
50,5	2,27	2,39	2,33	2,38	2,36	2,25		2,46	2,08	2,25	2,64	2,48	2,34	2,36	2,36
52,5	2,37	2,49	2,52	2,49	2,46	2,35		2,56	2,18	2,35	2,75	2,64	2,47	2,46	2,48
52,4	2,38	2,49	2,53	2,49	2,46	2,35		2,57	2,18	2,35	2,75	2,65	2,47	2,46	2,48
55,4	2,55	2,67	2,78	2,96	2,70	2,55		2,75	2,36	2,54	3,11	2,90	2,74	2,66	2,73
55,3	2,57	2,70	2,80	2,97	2,79	2,57		2,78	2,37	2,56	3,04	2,94	2,76	2,71	2,73
57,4	2,82	3,05	2,95	3,21	2,90	2,67		3,02	2,48	2,83	3,32	3,12	3,01	2,86	2,94
60,3	3,32	3,44	3,30	3,61	3,20	3,07		3,41	2,99	3,35		3,58	3,42	3,23	3,30
60,4	3,42	3,50	3,47	3,68	3,19	3,15		3,50	3,08	3,41		3,71	3,52	3,28	3,40
61,2	3,46	3,54	3,52	3,73	3,22	3,19		3,54	3,12	3,45		3,75	3,56	3,32	3,44
61,8	3,50	3,57	3,57	3,84	3,31	3,22		3,59	3,15	3,48		3,81	3,62	3,37	3,48
62,3	3,58	3,62	3,66	4,13	3,36	3,32		3,64	3,22	3,54		3,98	3,75	3,44	3,58

63,8	3,85	3,80	4,06	6,16	3,53	3,43		3,78	3,42	3,71		5,10	4,47	3,58	4,07
64,6	4,09	3,93	4,86	7,81	3,60	3,52		3,88	3,61	3,91		6,68	5,17	3,66	4,73
65,0	4,43	4,19	6,16	9,49	3,63	3,62		3,94	3,89	4,11		9,06	6,07	3,73	5,69
65,1	4,67	4,61	7,64	10,83		3,74			4,25	4,53		10,60	6,94	3,74	6,46
65,3	4,90	5,21	8,33	11,50		3,86			4,58	4,90		11,48	7,48	3,86	6,99
65,3	5,08	5,80		12,10		4,01			4,87	5,31		12,01	7,66	4,01	7,40
65,4	5,10	6,20		12,26					5,23	5,69		12,31	7,85		7,74
65,5	5,12	6,52		12,45					5,63	6,04		12,56	8,03		8,07
65,8	5,13			12,80					6,59	6,71		13,04	8,97		8,78
66,6				13,63					9,63			14,87	13,63		12,25
66,9									9,78			16,01			12,89
67,3															
67,3															
67,5															
67,6															
68,2															
68,6															
68,9															
69,4															
69,8															
70,1															
70,2															
70,4															
70,5															
71,4															
71,9															
72,4															
72,6															
72,7															
73,7															
63,8															
64,6															
65,0															
65,1															
74,2															
74,4															
73,6															
71,6															
70,2															
69,7															
71,1															
71,6															
72,0															
72,1															
72,3															
72,4															
72,7															
72,7															
73,0															
73,2															
73,2															
73,3															
73,3															
55,9															
45,0															
43,7															

Pomiary odkształceń wykonywano tensometrami elektrooporowymi TFs-5 o bazie 5mm.
 Strain measurements were carried out by means of electric resistance gauges TFs-5 on the bases of 5mm.

B16-asp



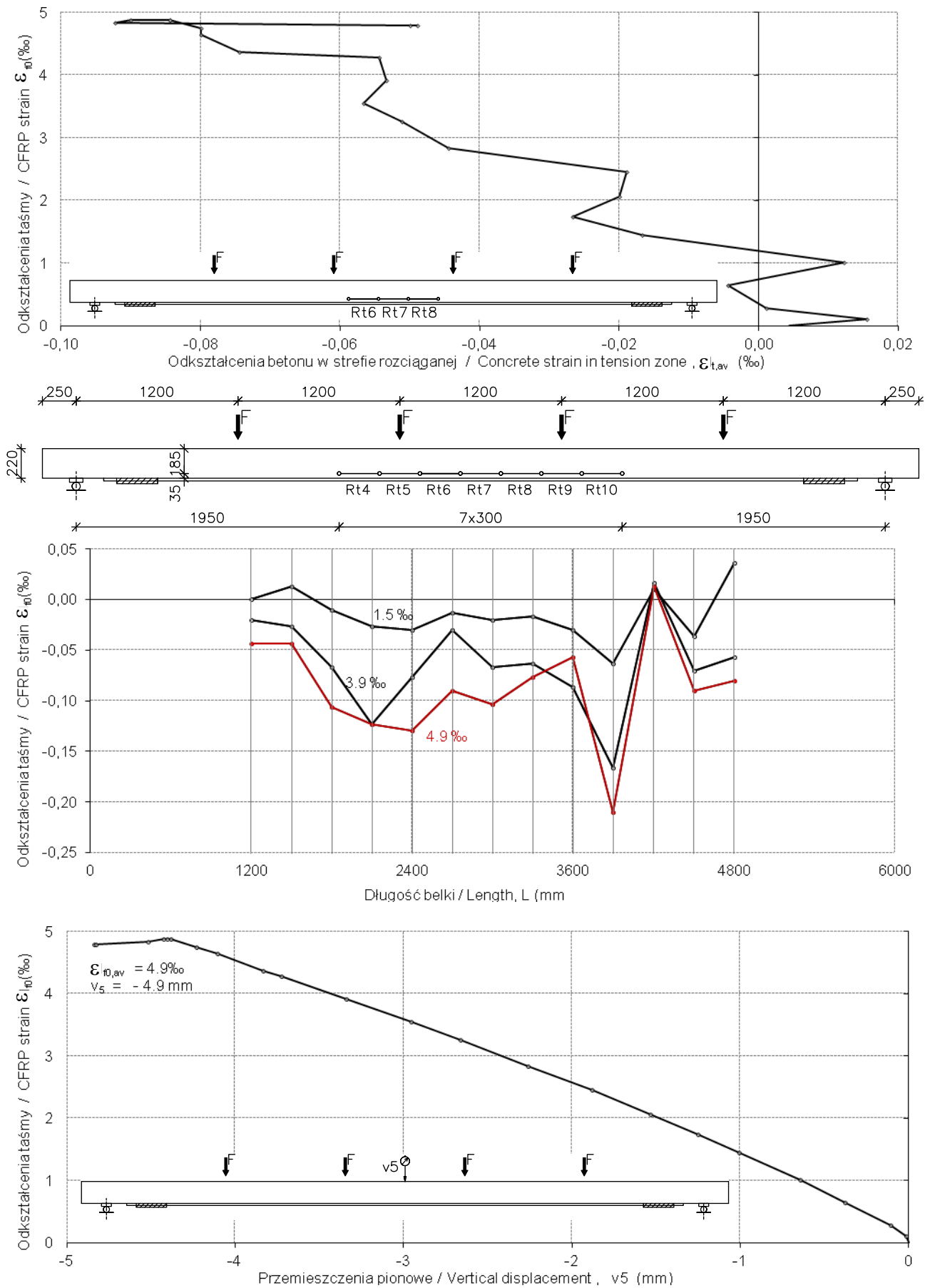


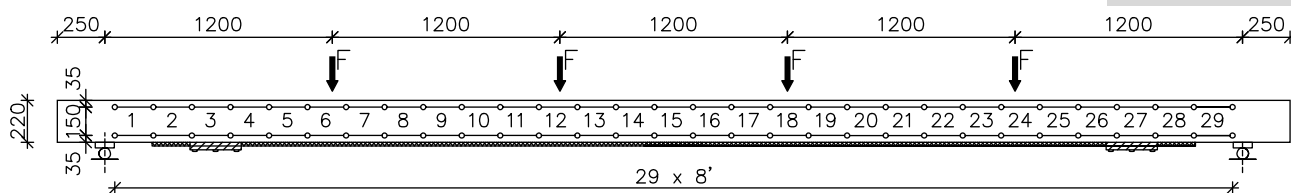
Tablica Z6.6 Pomiary podczas naprężania taśmy

Table Z6.6 Measurements during prestressing of the CFRP strip

Siła / Load 2F kN	Odształcenia betonu / Concrete strain													Odształcenia taśmy CFRP / CFRP strain ϵ_t (%)				Przemieszczenia pionowe / Vertical displacement v (mm)	
	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₁₄	R ₁₅	R ₁₆	R ₁₇	R ₁₈	R ₁₉	R ₁₁₀	R ₁₁₁	R ₁₁₂	R ₁₁₃	$\epsilon_{t,av}$	T2	T7	T13	T _M	V5
	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600	3900	4200	4500	4800		1075	3000	5125		3000
6.3	0.00	0.00	0.08	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.0
6.3	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	-0.09	0.00	0.01	0.01	0.02	0.20	0.11	0.13	0.11	0.0
6.3	0.00	0.02	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.36	0.27	0.30	0.27	-0.1
6.3	0.04	0.03	0.00	-0.02	0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.64	0.68	0.64	-0.4
6.3	0.00	-0.02	-0.04	-0.02	-0.05	0.04	0.01	-0.01	-0.02	-0.05	0.00	-0.01	-0.01	0.01	1.09	1.01	1.08	1.01	-0.6
6.3	0.00	0.01	-0.01	-0.03	-0.03	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.06	0.01	-0.04	0.04	-0.02	1.51	1.45	1.52	1.45	-1.0
6.3	0.00	0.01	-0.01	-0.03	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02	-0.03	-0.07	0.00	-0.02	-0.02	-0.03	1.78	1.74	1.81	1.74	-1.3
6.3	0.00	0.00	-0.01	-0.04	-0.04	0.05	-0.03	-0.07	-0.04	-0.08	0.01	-0.03	-0.02	-0.02	2.10	2.06	2.13	2.06	-1.5
6.3	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.05	-0.03	0.01	-0.04	-0.05	-0.10	0.01	-0.03	-0.03	-0.02	2.48	2.45	2.53	2.45	-1.9
6.3	-0.02	0.01	-0.11	-0.06	-0.07	-0.04	-0.05	-0.04	-0.04	-0.11	0.01	-0.04	-0.04	-0.04	2.86	2.84	2.92	2.84	-2.3
6.3	-0.01	-0.02	-0.02	-0.07	-0.08	-0.05	-0.10	0.00	-0.07	-0.14	0.01	-0.05	-0.05	-0.05	3.27	3.25	3.35	3.25	-2.7
6.3	-0.01	-0.02	-0.05	-0.08	-0.08	-0.06	-0.06	-0.06	-0.08	-0.15	0.01	-0.06	-0.05	-0.06	3.56	3.55	3.64	3.55	-3.0
6.3	-0.02	-0.03	-0.07	-0.12	-0.08	-0.03	-0.07	-0.06	-0.09	-0.17	0.02	-0.07	-0.06	-0.05	3.89	3.91	4.00	3.91	-3.3
6.3	-0.03	-0.03	-0.08	-0.10	-0.12	-0.02	-0.07	-0.07	-0.10	-0.18	0.02	-0.08	-0.07	-0.05	4.26	4.28	4.37	4.28	-3.7
6.3	-0.03	-0.02	-0.08	-0.10	-0.11	-0.08	-0.07	-0.07	-0.10	-0.19	0.02	-0.08	-0.07	-0.07	4.34	4.37	4.45	4.37	-3.8
6.3	-0.04	-0.04	-0.09	-0.11	-0.12	-0.08	-0.08	-0.08	-0.11	-0.20	0.02	-0.08	-0.07	-0.08	4.61	4.64	4.72	4.64	-4.1
6.3	-0.04	-0.04	-0.10	-0.11	-0.12	-0.08	-0.08	-0.08	-0.11	-0.20	0.02	-0.09	-0.08	-0.08	4.71	4.75	4.83	4.75	-4.2
6.3	-0.04	-0.05	-0.11	-0.12	-0.11	-0.09	-0.08	-0.08	-0.12	-0.21	0.02	-0.09	-0.03	-0.08	4.85	4.89	4.96	4.89	-4.4
6.3	-0.04	-0.05	-0.05	-0.10	-0.13	-0.09	-0.08	-0.08	-0.12	-0.21	0.00	-0.09	-0.08	-0.08	4.85	4.88	4.96	4.88	-4.4
6.3	-0.04	-0.04	-0.11	-0.12	-0.13	-0.09	-0.10	-0.08	-0.06	-0.21	0.01	-0.09	-0.08	-0.09	4.85	4.89	4.96	4.89	-4.4
6.3	0.01	-0.05	-0.10	-0.13	-0.13	-0.10	-0.09	-0.09	-0.12	-0.21	0.01	-0.09	-0.15	-0.09	4.80	4.83	4.90	4.83	-4.5
6.3	-0.07	-0.06	-0.14	-0.16	-0.15	-0.12	-0.10	0.07	-0.13	-0.22	0.00	-0.05	-0.06	-0.05	4.73	4.79	4.84	4.79	-4.8
6.3	-0.07	-0.06	-0.14	-0.15	-0.15	-0.12	-0.10	0.07	-0.14	-0.22	-0.01	-0.05	-0.07	-0.05	4.73	4.79	4.84	4.79	-4.8

B16-asp





Tablica Z6.7 Odształcenia betonu, ϵ_t , ϵ_c (pomiar ręczny)

Table Z6.7 Concrete strain ϵ_t , ϵ_c (manual measurements)

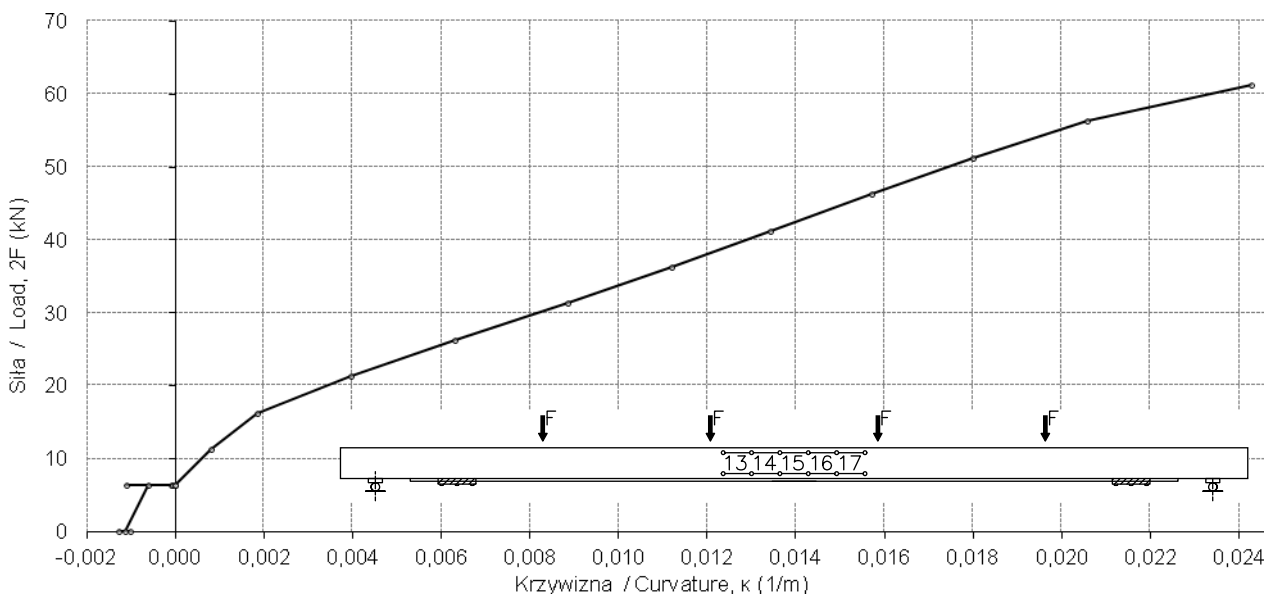
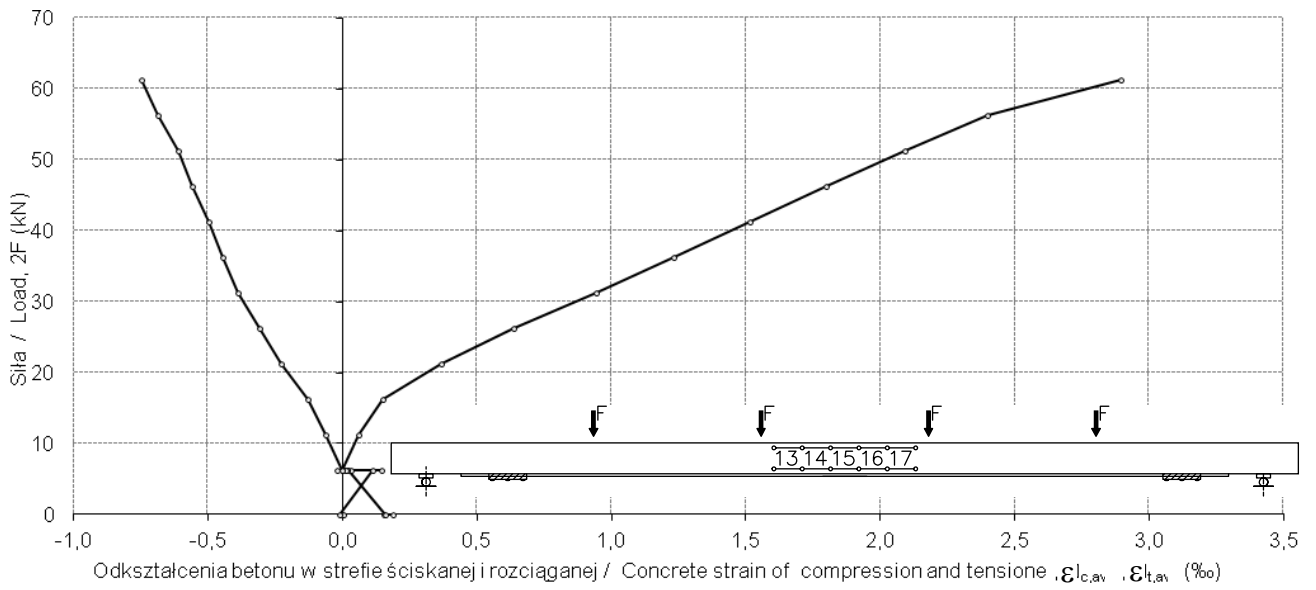
Nr / No	Lokalizacja / Localization	Siła zewnętrzna / External load																			
		Na stanowisku badawczym / Inside test set-up																	Podczas badania / During the test		
		Poza stanowiskiem na 4 podporach / Outside test set-up on 4 supports			Przed wzmocnieniem / Before strengthening		Po wzmocnieniu / After strengthening														
		0 kN			6.3 kN		6.3 kN		6.3kN	11.3kN	16.3kN	21.3kN	26.3kN	31.3kN	36.3kN	41.3kN	46.3kN	51.3kN	56.3kN	61.3kN	
Odształcenia betonu w strefie rozciąganej / Concrete strain in tension zone, ϵ_t (%)																					
1	5845	0.04	0.05	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.00	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.12	0.16	0.20
2	5642	-0.09	-0.09	-0.10	-0.12	-0.15	0.04	0.02	-0.01	0.00	0.00	-0.02	0.04	-0.02	0.06	0.09	0.05	0.15	0.19	0.26	0.26
3	5438	-0.11	-0.11	-0.12	-0.07	-0.07	0.04	0.04	0.02	0.00	0.04	0.07	0.09	0.12	0.16	0.22	0.22	0.41	0.57	0.73	0.93
4	5235	0.06	0.05	0.05	0.08	0.09	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.07	0.11	0.15	0.21	0.28	0.35	0.42	0.54	0.65
5	5032	0.06	0.09	0.08	0.12	0.15	0.03	0.01	0.01	0.00	0.03	0.06	0.11	0.17	0.30	0.49	0.69	0.88	1.08	1.26	1.47
6	4829	0.09	0.08	0.03	0.15	0.14	0.02	0.01	0.03	0.00	0.04	0.09	0.15	0.25	0.36	0.50	0.65	0.85	1.00	1.16	1.36
7	4626	0.04	0.03	0.02	0.11	0.12	0.02	0.00	-0.01	0.00	0.03	0.06	0.14	0.28	0.43	0.61	0.81	1.01	1.22	1.44	1.66
8	4422	0.03	0.00	-0.02	0.13	0.16	0.04	0.01	0.01	0.00	0.06	0.11	0.25	0.48	0.71	0.93	1.13	1.35	1.56	1.74	1.95
9	4219	0.05	0.03	0.01	0.14	0.17	0.06	0.03	0.04	0.00	0.07	0.12	0.24	0.42	0.62	0.80	0.99	1.22	1.46	1.68	1.91
10	4016	-0.01	-0.05	-0.07	0.13	0.15	-0.04	-0.04	0.00	0.00	0.06	0.13	0.34	0.69	1.05	1.45	1.78	2.11	2.44	2.76	3.01
11	3813	-0.03	-0.04	-0.06	0.12	0.16	0.02	0.01	0.01	0.00	0.06	0.14	0.31	0.48	0.71	0.95	1.14	1.38	1.60	1.81	2.09
12	3610	0.08	0.07	0.06	0.21	0.22	0.09	0.07	0.08	0.00	0.14	0.20	0.43	0.73	0.99	1.27	1.53	1.84	2.17	2.49	2.99
13	3406	-0.04	-0.03	-0.05	0.12	0.17	0.03	0.01	0.01	0.00	0.06	0.17	0.40	0.70	1.01	1.33	1.64	1.94	2.22	2.53	3.03
14	3203	0.01	0.00	-0.01	0.11	0.14	0.03	0.02	0.01	0.00	0.06	0.14	0.37	0.63	0.96	1.25	1.53	1.81	2.12	2.42	2.91
15	3000	0.03	0.03	0.02	0.13	0.16	0.04	0.03	0.03	0.00	0.08	0.15	0.28	0.49	0.70	0.90	1.07	1.25	1.45	1.67	2.08
16	2797	-0.02	-0.01	-0.01	0.09	0.13	0.02	0.01	0.00	0.00	0.06	0.15	0.41	0.76	1.01	1.31	1.59	1.89	2.18	2.51	3.00
17	2594	0.01	0.02	0.00	0.12	0.14	0.03	0.02	0.01	0.00	0.05	0.15	0.36	0.61	1.01	1.38	1.73	2.11	2.48	2.85	3.44
18	2390	-0.02	0.01	-0.01	0.12	0.16	0.03	0.02	0.01	0.00	0.08	0.16	0.33	0.64	0.79	0.99	1.21	1.43	1.65	1.91	2.32
19	2187	-0.01	0.02	0.00	0.17	0.21	0.04	0.03	0.02	0.00	0.10	0.21	0.49	0.89	1.26	1.62	1.97	2.32	2.64	2.97	3.38
20	1984	0.11	0.11	0.11	0.14	0.15	0.05	0.04	0.03	0.00	0.06	0.12	0.24	0.42	0.62	0.83	1.05	1.26	1.48	1.67	1.93
21	1781	-0.01	-0.03	-0.01	0.11	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.11	0.24	0.37	0.56	0.76	0.96	1.15	1.46	1.68	1.96
22	1578	0.01	0.04	0.04	0.11	0.15	0.02	0.02	0.01	0.00	0.05	0.11	0.23	0.50	0.80	1.08	1.35	1.62	1.90	2.14	2.37
23	1374	0.08	0.09	0.09	0.12	0.13	0.03	0.02	0.02	0.00	0.03	0.06	0.13	0.23	0.36	0.53	0.68	-0.16	0.97	1.15	1.34
24	1171	0.11	0.13	0.12	0.15	0.15	0.04	0.02	0.03	0.00	0.05	0.08	0.14	0.22	0.34	0.49	0.66	0.81	0.96	1.12	1.29
25	968	0.07	0.10	0.10	0.12	0.14	0.04	0.03	0.03	0.00	0.06	0.08	0.13	0.22	0.36	0.57	0.79	1.00	1.19	1.41	1.28
26	765	0.13	0.13	0.12	0.11	0.09	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03	0.04	0.06	0.09	0.12	0.16	0.20	0.28	0.40	0.53	0.58
27	562	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.03	0.06	0.09	0.13	0.18	0.23	0.30	0.38	0.55	0.71
28	358	0.03	0.06	0.06	0.05	0.04	0.06	0.07	0.05	0.00	0.05	0.06	0.11	0.17	0.24	0.36	0.45	0.55	0.66	0.72	0.79
29	155	0.04	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.06	0.08

B16-asp

Nr / No	Lokalizacja / Localization	Siła zewnętrzna / External load																			
		Poza stanowiskiem na 4 podporach / Outside test set-up on 4 supports	Na stanowisku badawczym / Inside test set-up																		
			Przed wzmocnieniem / Before strengthening	Po wzmocnieniu / After strengthening	Podczas badania / During the test																
					0 kN	6.3 kN	6.3 kN	6.3kN	11.3kN	16.3kN	21.3kN	26.3kN	31.3kN	36.3kN	41.3kN	46.3kN	51.3kN	56.3kN	61.3kN		
Odształcenia betonu w strefie ściskanej / Concrete strain in compression zone, ϵ_c (‰)																					
1	5845	0.11	0.10	0.07	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.00	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.05	-0.06	-0.07
2	5642	0.12	0.18	0.17	0.07	0.04	-0.02	-0.03	0.01	0.00	-0.01	-0.03	-0.06	-0.07	-0.11	-0.13	-0.15	-0.21	-0.21	-0.24	-0.26
3	5438	0.18	0.17	0.15	0.08	0.06	0.02	0.00	0.02	0.00	-0.03	-0.03	-0.04	-0.06	-0.10	-0.13	-0.16	-0.17	-0.23	-0.23	-0.27
4	5235	0.12	0.12	0.09	-0.01	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	0.00	-0.04	-0.08	-0.15	-0.19	-0.22	-0.25	-0.32	-0.35	-0.39	-0.43	-0.46
5	5032	0.04	0.09	0.08	-0.04	-0.07	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	-0.12	-0.17	-0.22	-0.31	-0.35	-0.42	-0.48	-0.52	-0.57	-0.62
6	4829	0.14	0.15	0.14	0.00	-0.03	0.01	0.01	0.02	0.00	-0.04	-0.08	-0.13	-0.18	-0.25	-0.30	-0.34	-0.39	-0.45	-0.50	-0.55
7	4626	0.20	0.20	0.17	0.00	-0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.09	-0.17	-0.22	-0.30	-0.34	-0.39	-0.47	-0.51	-0.56	-0.60
8	4422	0.11	0.20	0.22	0.00	-0.04	0.02	0.01	0.03	0.00	-0.06	-0.13	-0.23	-0.31	-0.41	-0.47	-0.54	-0.58	-0.64	-0.70	-0.76
9	4219	0.20	0.22	0.22	0.02	-0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	-0.07	-0.12	-0.19	-0.27	-0.33	-0.39	-0.45	-0.49	-0.55	-0.61	-0.66
10	4016	0.17	0.19	0.18	-0.01	-0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	-0.06	-0.11	-0.19	-0.26	-0.31	-0.37	-0.42	-0.47	-0.53	-0.63	-0.64
11	3813	0.18	0.21	0.23	0.01	-0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	-0.07	-0.16	-0.26	-0.33	-0.40	-0.46	-0.54	-0.59	-0.65	-0.71	-0.76
12	3610	0.17	0.18	0.17	-0.07	-0.04	-0.05	-0.02	0.00	0.00	-0.08	-0.12	-0.22	-0.29	-0.36	-0.41	-0.46	-0.51	-0.57	-0.65	-0.70
13	3406	0.20	0.14	0.15	-0.01	-0.04	0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.06	-0.13	-0.22	-0.29	-0.36	-0.41	-0.46	-0.51	-0.56	-0.64	-0.69
14	3203	0.15	0.06	0.15	0.01	-0.04	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.07	-0.15	-0.24	-0.32	-0.41	-0.46	-0.53	-0.58	-0.64	-0.72	-0.79
15	3000	0.21	0.21	0.19	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.00	-0.06	-0.14	-0.26	-0.32	-0.40	-0.46	-0.52	-0.58	-0.64	-0.71	-0.77
16	2797	0.19	0.18	0.16	0.03	-0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	-0.05	-0.10	-0.20	-0.28	-0.35	-0.41	-0.45	-0.53	-0.57	-0.66	-0.72
17	2594	0.21	0.20	0.16	0.03	-0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	-0.07	-0.13	-0.24	-0.32	-0.40	-0.47	-0.52	-0.59	-0.65	-0.71	-0.79
18	2390	0.02	0.15	0.15	-0.03	-0.10	0.01	0.01	0.01	0.00	-0.07	-0.12	-0.20	-0.29	-0.34	-0.40	-0.47	-0.53	-0.60	-0.67	-0.73
19	2187	0.14	0.15	0.11	0.00	-0.05	0.02	0.01	0.02	0.00	-0.08	-0.15	-0.25	-0.33	-0.41	-0.47	-0.54	-0.60	-0.66	-0.73	-0.80
20	1984	0.17	0.14	0.14	0.00	-0.10	0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.07	-0.14	-0.22	-0.31	-0.40	-0.45	-0.52	-0.57	-0.63	-0.69	-0.78
21	1781	0.15	0.13	0.10	0.01	-0.05	0.01	0.01	0.01	0.00	-0.08	-0.13	-0.20	-0.28	-0.35	-0.40	-0.47	-0.53	-0.59	-0.63	-0.68
22	1578	0.10	0.10	0.08	0.00	-0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	-0.07	-0.15	-0.22	-0.30	-0.37	-0.43	-0.48	-0.53	-0.58	-0.64	-0.68
23	1374	0.16	0.14	0.09	0.02	-0.02	0.03	0.03	0.02	0.00	-0.03	-0.08	-0.12	-0.18	-0.26	-0.30	-0.35	-0.41	-0.45	-0.50	-0.54
24	1171	0.13	0.10	0.08	0.00	-0.03	0.02	0.01	0.02	0.00	-0.04	-0.09	-0.13	-0.19	-0.25	-0.29	-0.34	-0.38	-0.43	-0.48	-0.51
25	968	0.06	0.05	0.03	0.00	-0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	-0.04	-0.09	-0.13	-0.20	-0.27	-0.40	-0.38	-0.41	-0.44	-0.49	-0.52
26	765	0.11	0.08	0.06	0.02	-0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	-0.02	-0.04	-0.07	-0.09	-0.13	-0.17	-0.20	-0.23	-0.27	-0.30	-0.32
27	562	0.11	0.08	0.07	0.04	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	-0.02	-0.03	-0.05	-0.07	-0.11	-0.12	-0.14	-0.17	-0.21	-0.23	-0.24
28	358	0.10	0.10	0.07	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	-0.02	-0.03	-0.05	-0.07	-0.10	-0.12	-0.14	-0.16	-0.19	-0.20	-0.22
29	155	0.11	0.08	0.07	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.05	-0.06	-0.06	-0.08	-0.08	-0.10	-0.11

	Siła zewnętrzna / External load																			
	Poza stanowiskiem na 4 podporach / Outside test set-up on 4 supports	Na stanowisku badawczym / Inside test set-up																		
		Przed wzmocnieniem / Before strengthening	Po wzmocnieniu / After strengthening	Podczas badania / During the test																
				0 kN	6.3 kN	6.3 kN	6.3kN	11.3kN	16.3kN	21.3kN	26.3kN	31.3kN	36.3kN	41.3kN	46.3kN	51.3kN	56.3kN	61.3kN		
$\epsilon_{c,av}$ (‰)	0.19	0.16	0.16	0.02	-0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	-0.06	-0.13	-0.23	-0.31	-0.39	-0.44	-0.50	-0.56	-0.61	-0.69	-0.75
$\epsilon_{t,av}$ (‰)	0.00	0.00	-0.01	0.11	0.15	0.03	0.02	0.01	0.00	0.06	0.15	0.37	0.64	0.94	1.23	1.51	1.80	2.09	2.40	2.89
K (1/m)	0.0013	0.0010	0.0011	0.0006	0.0011	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0008	0.0019	0.0040	0.0063	0.0089	0.0112	0.0134	0.0157	0.0180	0.0206	0.0243

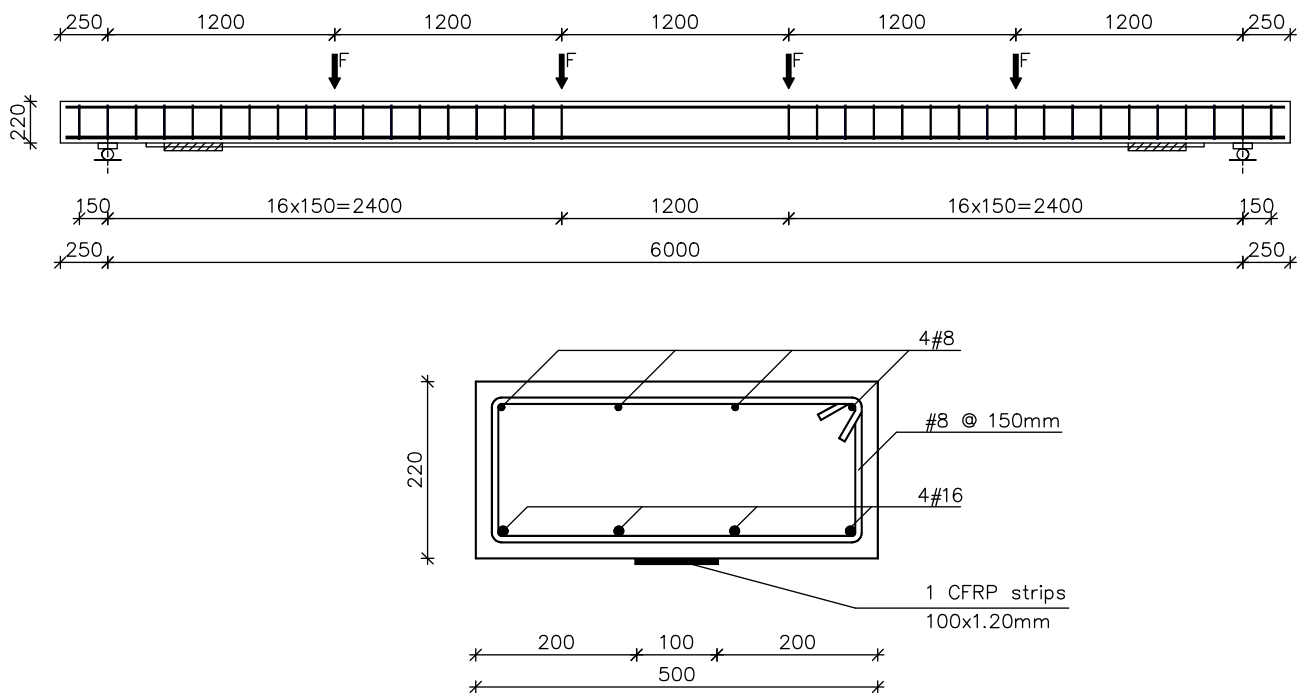
Pomiary odkształceń wykonywano przy użyciu ekstensometru nasadowego o bazie 8'.
Concrete strain measurements measured by hand with dial strain gauges of 8' working range.



WYNIKI BADAŃ ELEMENTU TEST RESULTS OF MEMBER

B16-asp-e

Series C



Tablica Z7.1 Zestawienie charakterystycznych parametrów dla elementu B16-asp-e

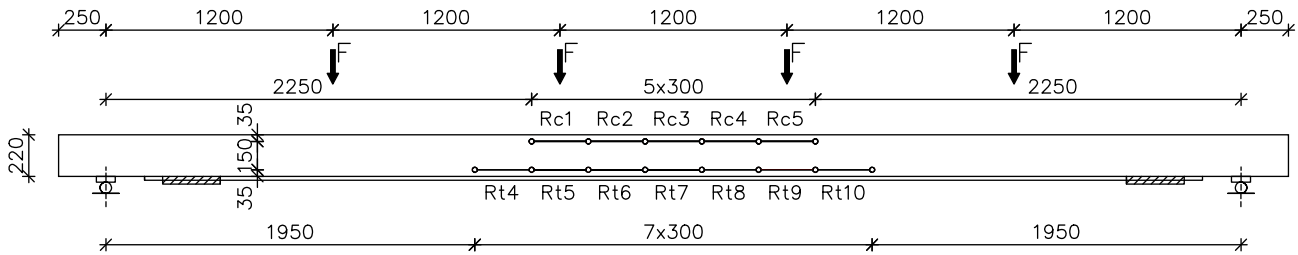
Table Z7.1 Summary of characteristic parameters for beam B16-asp-e

	Beton Concrete		Stal zbrojeniowa Steel reinforcement			CFRP		Siła Load	
		500 x 220mm ²		4 #12	4 #8	1x 100x1.2mm ²		2F _p	33.8kN
f _{c,cube}	60.3MPa	A _s	199.1mm ²	48.8mm ²	f _{fu}	44.0kN	2F _{u0}	44.0kN	
f _{ct,split}	5.30MPa	f _y	595.0MPa	555.8MPa	ε _{fu}	76%	$\frac{2F_p}{2F_{u0}}$	14%	
f _c	51.0Mpa	f _t	672.0MPa	646.0MPa	E _f	72.0kN	2F _u	74.4kN	
E _c	26.4Mpa	E _s	198.0GPa	196.4GPa	$\frac{\epsilon_{f,tot}}{(\epsilon_{f,p} + \epsilon_{f,test})}$	164%	$\frac{2F_u}{2F_{u0}}$	169%	

B16-asp-esp

- a - taśma przyklejona / laminate bonded
- sp - stalowa płyta kotwiąca / anchorage steel plate
- e - wstępne obciążenie belki przed wzmocnieniem / preloading of the beam before its strengthening

B16-asp-e



Tablica Z7.2 Odształcenia betonu, ϵ_c , ϵ_t (pomiar komputerowe)

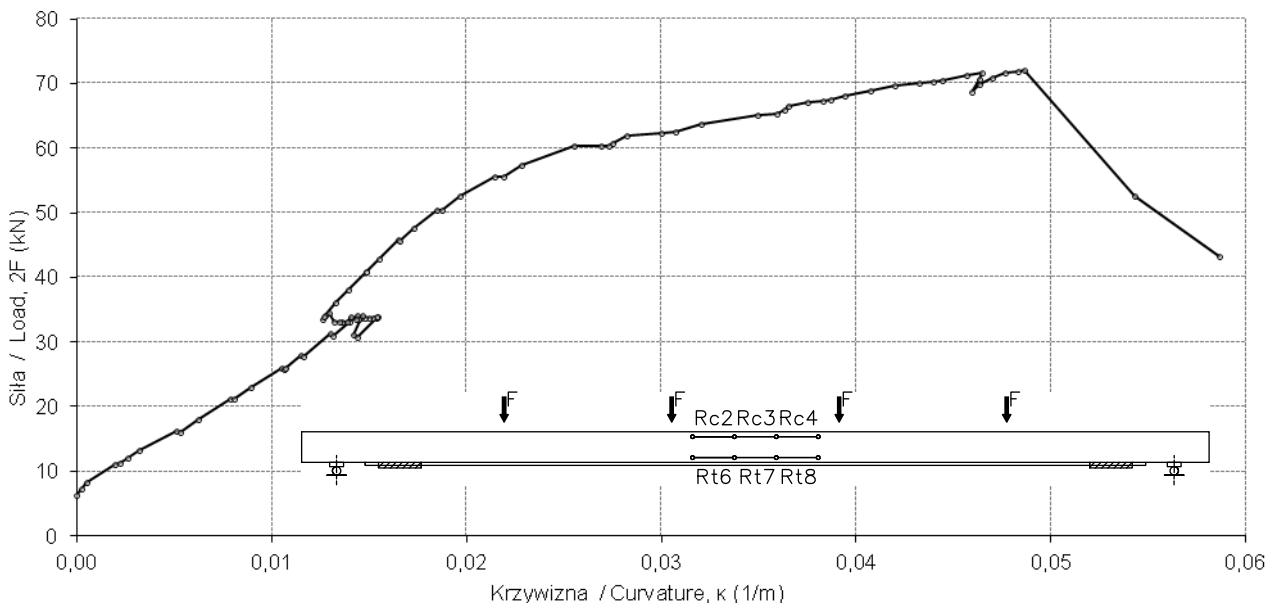
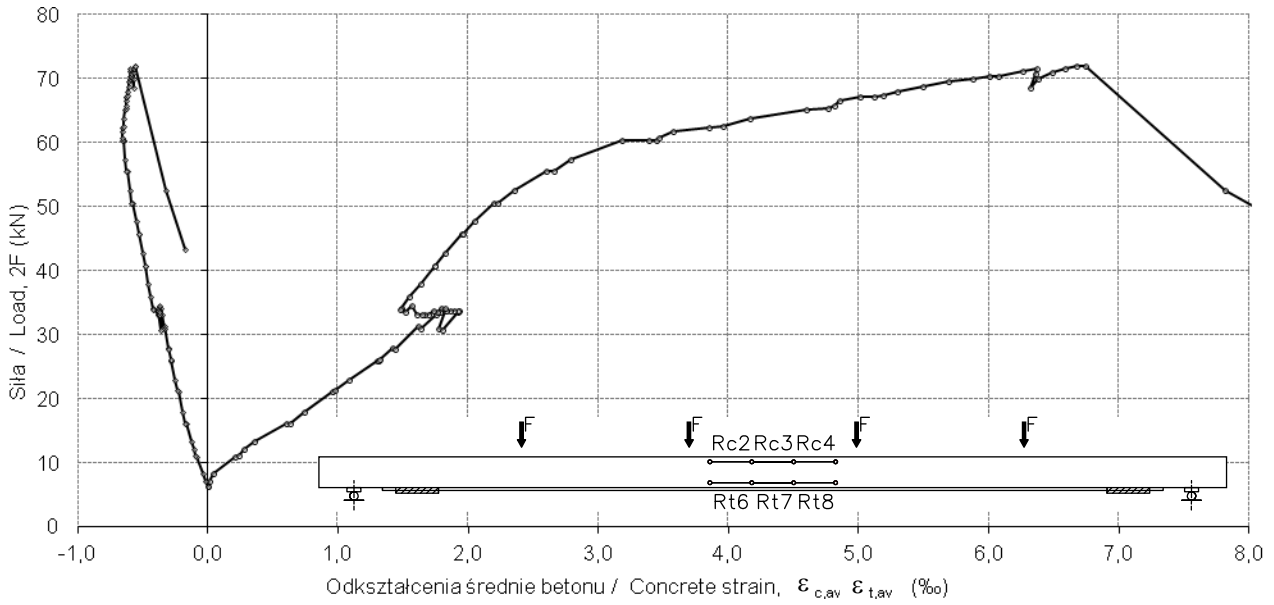
Table Z7.2 Concrete strain, ϵ_c , ϵ_t (computer registered measurements)

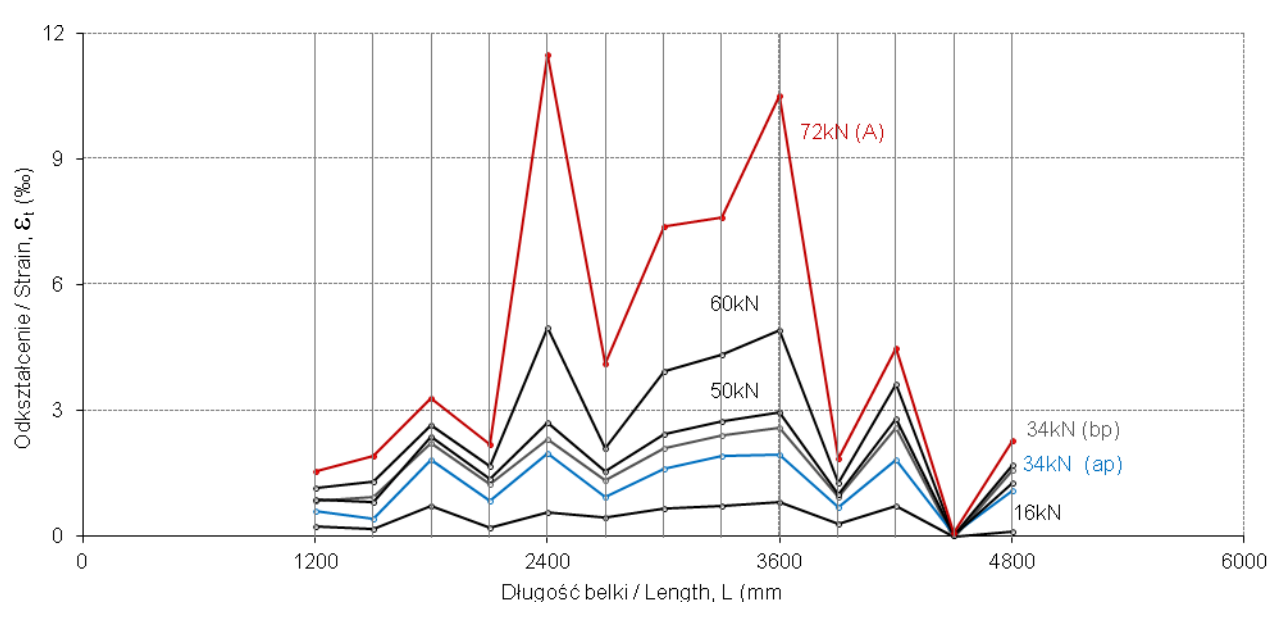
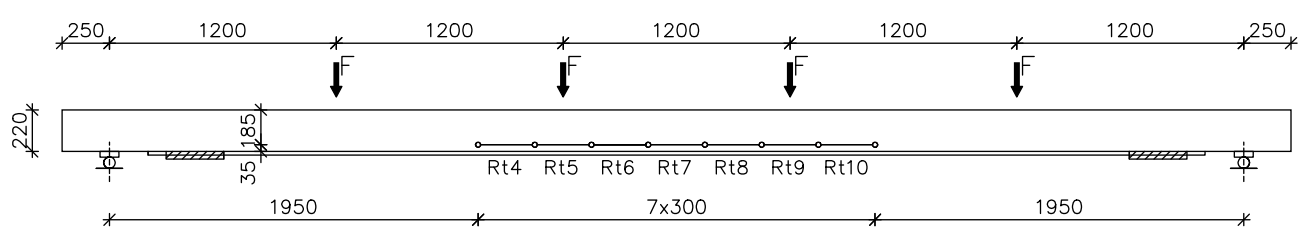
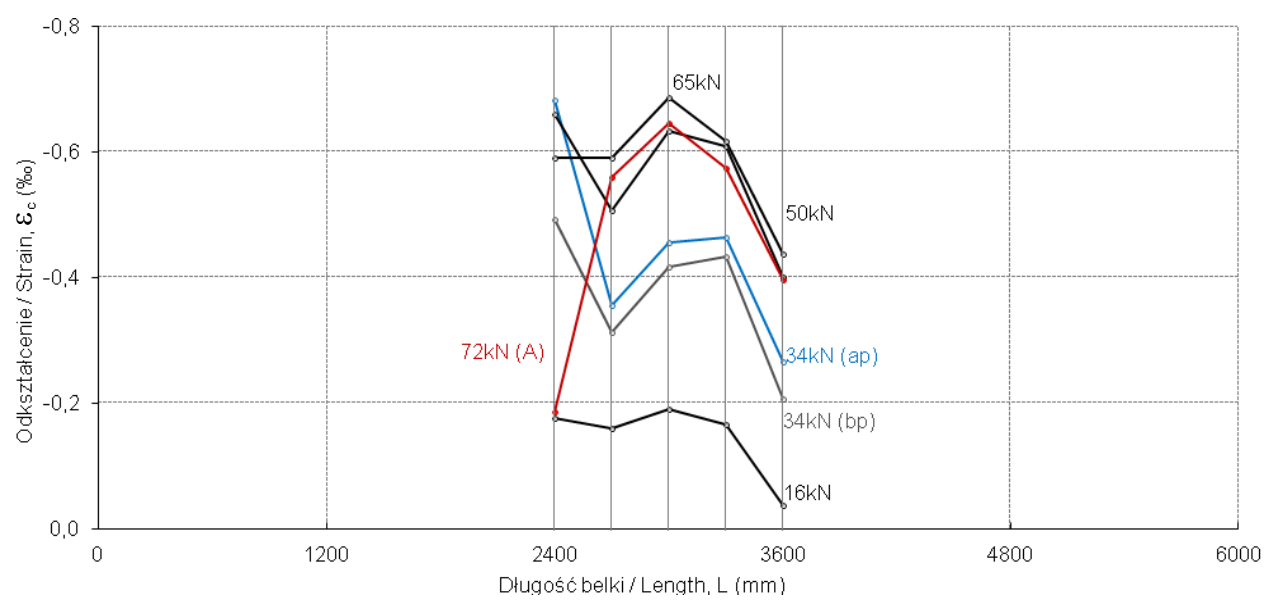
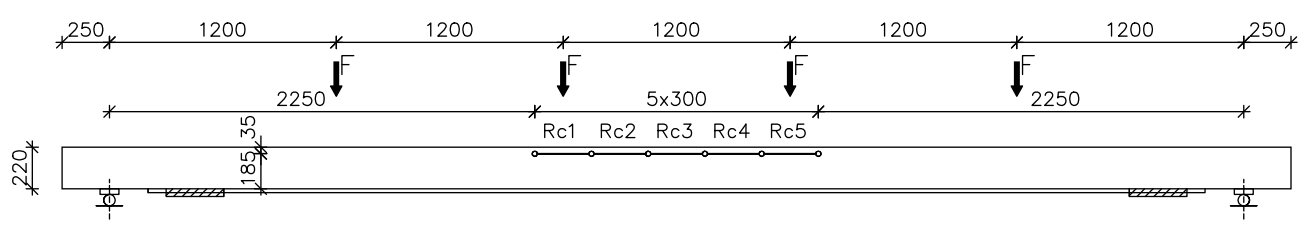
Siła / Load 2F kN	Odształcenia betonu / Concrete strain																			Krzywizna / Curvature κ 1/m			
	ϵ_c						ϵ_t																
	R _{c1}	R _{c2}	R _{c3}	R _{c4}	R _{c5}	$\epsilon_{c,av}$	R _{t1}	R _{t2}	R _{t3}	R _{t4}	R _{t5}	R _{t6}	R _{t7}	R _{t8}	R _{t9}	R _{t10}	R _{t11}	R _{t12}	R _{t13}		$\epsilon_{t,av}$		
	‰						‰														‰		
6.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000
7.2	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	0.00	-0.02	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	-0.01	0.03	0.02	0.05	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.0002	
8.3	-0.05	-0.03	-0.03	-0.04	0.00	-0.03	0.02	0.00	0.07	-0.01	0.02	0.00	0.06	0.06	0.11	0.04	0.06	0.00	0.00	0.04	0.0005		
11.0	-0.07	-0.08	-0.09	-0.09	0.00	-0.09	0.09	0.04	0.27	0.06	0.03	0.13	0.25	0.24	0.37	0.12	0.23	0.01	0.03	0.21	0.0020		
11.2	-0.07	-0.09	-0.10	-0.10	0.00	-0.10	0.10	0.03	0.30	0.05	0.07	0.16	0.27	0.29	0.40	0.12	0.27	0.00	0.01	0.24	0.0022		
12.1	-0.10	-0.10	-0.12	-0.11	0.00	-0.11	0.11	0.04	0.34	0.07	0.13	0.17	0.32	0.34	0.42	0.15	0.31	-0.01	0.03	0.28	0.0026		
13.3	-0.14	-0.11	-0.13	-0.12	0.00	-0.12	0.13	0.07	0.42	0.10	0.22	0.24	0.39	0.43	0.50	0.18	0.39	-0.05	0.04	0.35	0.0032		
16.1	-0.11	-0.15	-0.18	-0.16	-0.03	-0.17	0.21	0.17	0.72	0.19	0.56	0.43	0.65	0.72	0.80	0.29	0.70	-0.02	0.11	0.60	0.0051		
16.0	-0.18	-0.16	-0.19	-0.17	-0.04	-0.17	0.22	0.16	0.77	0.20	0.60	0.45	0.67	0.76	0.86	0.30	0.76	-0.03	0.11	0.63	0.0053		
17.9	-0.22	-0.18	-0.22	-0.19	-0.05	-0.19	0.25	0.21	0.91	0.26	0.77	0.53	0.80	0.89	0.99	0.35	0.91	-0.04	0.16	0.74	0.0062		
21.2	-0.22	-0.21	-0.26	-0.21	-0.08	-0.23	0.34	0.29	1.19	0.39	1.09	0.68	1.06	1.12	1.31	0.46	1.23	-0.09	0.26	0.96	0.0079		
21.3	-0.26	-0.21	-0.27	-0.22	-0.08	-0.23	0.32	0.30	1.24	0.42	1.12	0.69	1.09	1.16	1.33	0.46	1.28	-0.10	0.27	0.98	0.0081		
23.0	-0.26	-0.23	-0.29	-0.24	-0.09	-0.25	0.40	0.29	1.35	0.48	1.27	0.77	1.21	1.27	1.48	0.52	1.42	-0.10	0.37	1.09	0.0089		
26.0	-0.30	-0.25	-0.32	-0.26	-0.12	-0.28	0.49	0.33	1.60	0.60	1.58	0.94	1.45	1.50	1.78	0.62	1.74	-0.09	0.56	1.30	0.0105		
25.8	-0.30	-0.26	-0.33	-0.27	-0.12	-0.29	0.51	0.33	1.62	0.62	1.59	0.95	1.47	1.52	1.79	0.63	1.76	-0.13	0.59	1.31	0.0107		
26.0	-0.33	-0.26	-0.33	-0.27	-0.12	-0.29	0.52	0.33	1.62	0.63	1.60	0.96	1.48	1.52	1.81	0.64	1.76	-0.09	0.60	1.32	0.0107		
27.9	-0.33	-0.28	-0.36	-0.28	-0.14	-0.31	0.52	0.38	1.71	0.69	1.76	1.04	1.60	1.61	1.95	0.69	1.92	-0.09	0.70	1.42	0.0115		
27.7	-0.36	-0.28	-0.36	-0.28	-0.14	-0.31	0.57	0.38	1.73	0.72	1.77	1.05	1.61	1.66	1.97	0.70	1.94	-0.09	0.73	1.44	0.0117		
31.3	-0.37	-0.30	-0.37	-0.31	-0.17	-0.33	0.66	0.51	1.93	0.88	2.04	1.10	1.71	2.05	2.23	0.78	2.22	-0.10	0.91	1.62	0.0130		
30.9	-0.39	-0.31	-0.38	-0.31	-0.17	-0.33	0.68	0.52	1.96	0.92	2.05	1.10	1.71	2.09	2.25	0.79	2.26	-0.10	0.93	1.63	0.0131		
33.0	-0.42	-0.32	-0.41	-0.33	-0.18	-0.36	0.73	0.58	2.05	0.97	2.20	1.18	1.81	2.26	2.40	0.83	2.40	-0.11	1.03	1.75	0.0140		
34.1	-0.43	-0.33	-0.42	-0.34	-0.19	-0.36	0.76	0.63	2.10	1.02	2.27	1.22	1.88	2.29	2.48	0.86	2.49	-0.12	1.08	1.80	0.0144		
33.7	-0.44	-0.34	-0.43	-0.34	-0.20	-0.37	0.80	0.65	2.14	1.15	2.28	1.26	1.91	2.28	2.56	0.88	2.54	-0.12	1.13	1.82	0.0146		
31.0	-0.45	-0.32	-0.40	-0.34	-0.20	-0.36	0.76	0.65	2.14	1.13	2.28	1.22	1.84	2.26	2.41	0.84	2.40	-0.11	1.11	1.77	0.0142		
30.8	-0.47	-0.29	-0.39	-0.41	-0.19	-0.36	0.77	0.92	2.16	1.09	2.29	1.21	1.94	2.25	2.38	0.89	2.39	-0.09	1.54	1.80	0.0144		
33.6	-0.47	-0.31	-0.42	-0.43	-0.20	-0.38	0.83	0.93	2.18	1.20	2.31	1.31	2.07	2.39	2.56	0.94	2.56	-0.10	1.55	1.92	0.0154		
33.8	-0.49	-0.31	-0.42	-0.43	-0.21	-0.39	0.83	0.92	2.22	1.23	2.31	1.32	2.08	2.40	2.56	0.94	2.58	-0.05	1.56	1.93	0.0155		
33.8	-0.51	-0.31	-0.42	-0.43	-0.21	-0.39	0.82	0.92	2.23	1.23	2.32	1.32	2.06	2.39	2.54	0.93	2.55	-0.10	1.56	1.92	0.0154		
33.8	-0.53	-0.31	-0.41	-0.43	-0.21	-0.39	0.81	0.92	2.22	1.20	2.31	1.29	2.03	2.36	2.56	0.92	2.50	-0.09	1.56	1.89	0.0152		
33.8	-0.54	-0.31	-0.41	-0.43	-0.21	-0.39	0.75	0.92	2.21	1.18	2.31	1.27	2.01	2.32	2.46	0.91	2.45	-0.09	1.55	1.87	0.0150		
33.7	-0.56	-0.31	-0.41	-0.43	-0.21	-0.38	0.77	0.92	2.16	1.15	2.31	1.24	1.97	2.29	2.42	0.89	2.40	-0.09	1.52	1.83	0.0148		
34.1	-0.57	-0.31	-0.41	-0.43	-0.21	-0.38	0.76	0.92	2.13	1.13	2.31	1.22	1.95	2.29	2.39	0.89	2.36	-0.09	1.50	1.82	0.0147		
33.5	-0.59	-0.31	-0.41	-0.43	-0.21	-0.38	0.75	0.88	2.11	1.11	2.31	1.20	1.92	2.24	2.35	0.88	2.32	-0.09	1.47	1.79	0.0145		
33.5	-0.59	-0.31	-0.40	-0.43	-0.21	-0.38	0.73	0.85	2.08	1.10	2.30	1.17	1.89	2.24	2.31	0.86	2.27	-0.08	1.43	1.76	0.0143		
33.8	-0.61	-0.31	-0.40	-0.43	-0.21	-0.38	0.71	0.80	2.06	1.04	2.30	1.14	1.85	2.20	2.27	0.85	2.22	-0.08	1.40	1.73	0.0141		
33.1	-0.62	-0.31	-0.40	-0.43	-0.21	-0.38	0.70	0.77	2.04	1.06	2.30	1.12	1.83	2.14	2.24	0.84	2.18	-0.08	1.37	1.70	0.0138		
33.2	-0.63	-0.30	-0.40	-0.43	-0.21	-0.38	0.68	0.72	2.01	1.06	2.30	1.08	1.79	2.11	2.19	0.83	2.12	-0.05	1.34	1.66	0.0136		
33.1	-0.65	-0.30	-0.40	-0.43	-0.21	-0.38	0.67	0.69	1.99	1.03	2.31	1.06	1.77	2.11	2.16	0.82	2.08	-0.07	1.32	1.65	0.0135		
33.1	-0.66	-0.30	-0.40	-0.43	-0.21	-0.38	0.66	0.66	1.96	0.98	2.31	1.03	1.74	2.05	2.11	0.81	2.03	-0.07	1.29	1.61	0.0132		
34.6	-0.68	-0.30	-0.39	-0.43	-0.21	-0.37	0.64	0.61	1.92	0.93	2.28	0.99	1.69	2.01	2.06	0.79	1.97	-0.06	1.25	1.57	0.0129		
33.5	-0.68	-0.30	-0.39	-0.42	-0.21	-0.37	0.61	0.57	1.87	0.90	2.24	0.94	1.64	1.98	1.99	0.77	1.89	-0.06	1.21	1.52	0.0126		
34.1	-0.68	-0.35	-0.45	-0.47	-0.23	-0.42	0.58	0.48	1.88	0.76	2.21	0.91	1.62	1.92	1.96	0.74	1.86	0.02	1.12	1.48	0.0127		
34.0	-0.68	-0.36	-0.46	-0.46	-0.27	-0.43	0.58	0.41	1.82	0.82	1.96	0.92	1.60	1.92	1.92	0.67	1.81	0.04	1.07	1.48	0.0127		
36.0	-0.69	-0.37	-0.47	-0.48	-0.28	-0.44	0.60	0.44	1.88	0.83	1.97	0.98	1.68	1.98	2.00	0.72	1.90	0.04	1.06	1.55	0.0133		

38.0	-0.69	-0.39	-0.49	-0.49	-0.29	-0.46	0.63	0.50	1.95	0.99	1.97	1.07	1.77	2.06	2.11	0.74	2.01	0.04	1.07	1.63	0.0139
40.8	-0.69	-0.41	-0.52	-0.51	-0.31	-0.48	0.67	0.56	2.04	1.03	2.09	1.16	1.89	2.18	2.21	0.79	2.16	0.03	1.08	1.74	0.0148
40.8	-0.69	-0.41	-0.52	-0.51	-0.31	-0.48	0.68	0.57	2.05	1.04	2.10	1.18	1.90	2.16	2.27	0.79	2.17	0.03	1.09	1.74	0.0149
42.8	-0.67	-0.43	-0.54	-0.53	-0.33	-0.50	0.70	0.59	2.11	1.09	2.20	1.23	1.97	2.27	2.38	0.82	2.28	0.03	1.10	1.82	0.0155
45.8	-0.67	-0.46	-0.57	-0.55	-0.35	-0.53	0.75	0.62	2.20	1.13	2.36	1.33	2.11	2.41	2.56	0.87	2.45	0.02	1.11	1.95	0.0165
45.7	-0.67	-0.46	-0.57	-0.55	-0.35	-0.53	0.75	0.62	2.20	1.14	2.36	1.34	2.12	2.42	2.57	0.87	2.47	0.01	1.11	1.96	0.0166
47.7	-0.66	-0.47	-0.59	-0.57	-0.37	-0.55	0.79	0.69	2.26	1.20	2.47	1.41	2.21	2.51	2.68	0.91	2.58	0.01	1.16	2.04	0.0173
50.5	-0.66	-0.50	-0.62	-0.60	-0.39	-0.58	0.84	0.80	2.36	1.28	2.67	1.53	2.38	2.68	2.90	0.96	2.77	0.00	1.26	2.20	0.0185
50.5	-0.66	-0.51	-0.63	-0.61	-0.40	-0.58	0.85	0.80	2.37	1.34	2.69	1.54	2.42	2.72	2.93	0.98	2.79	0.00	1.26	2.23	0.0187
52.6	-0.65	-0.52	-0.65	-0.62	-0.41	-0.60	0.89	0.86	2.43	1.40	2.86	1.64	2.56	2.85	3.11	1.01	2.92	0.00	1.34	2.35	0.0196
55.5	-0.65	-0.54	-0.67	-0.64	-0.43	-0.62	0.96	0.96	2.56	1.54	3.22	1.82	2.89	3.08	3.45	1.07	3.12	-0.03	1.46	2.60	0.0214
55.5	-0.65	-0.55	-0.68	-0.65	-0.44	-0.63	0.98	0.98	2.57	1.51	3.32	1.85	2.97	3.16	3.57	1.09	3.16	-0.02	1.48	2.66	0.0219
57.3	-0.65	-0.56	-0.70	-0.66	-0.45	-0.64	1.02	1.06	2.62	1.57	3.60	1.85	3.16	3.35	3.81	1.12	3.29	-0.03	1.54	2.78	0.0228
60.4	-0.65	-0.57	-0.71	-0.67	-0.44	-0.65	1.11	1.24	2.63	1.66	4.65	1.97	3.67	3.90	4.66	1.22	3.57	-0.02	1.69	3.18	0.0255
60.4	-0.64	-0.59	-0.72	-0.63	-0.44	-0.65	1.13	1.27	2.63	1.67	4.92	2.06	3.86	4.24	4.84	1.24	3.61	0.01	1.70	3.39	0.0269
60.3	-0.64	-0.60	-0.73	-0.63	-0.44	-0.65	1.15	1.28	2.63	1.67	4.98	2.08	3.93	4.32	4.89	1.25	3.63	0.01	1.69	3.44	0.0273
60.8	-0.64	-0.61	-0.73	-0.63	-0.44	-0.66	1.15	1.30	2.63	1.67	5.01	2.10	3.94	4.34	4.92	1.25	3.65	0.01	1.71	3.46	0.0275
61.8	-0.64	-0.61	-0.73	-0.64	-0.44	-0.66	1.16	1.34	2.64	1.77	5.13	2.18	4.04	4.49	5.00	1.27	3.70	0.01	1.75	3.57	0.0282
62.3	-0.63	-0.60	-0.72	-0.64	-0.45	-0.65	1.18	1.37	2.67	1.88	5.35	2.45	4.22	4.86	5.16	1.29	3.75	0.01	1.77	3.84	0.0300
62.5	-0.61	-0.60	-0.71	-0.64	-0.45	-0.65	1.18	1.38	2.68	1.88	5.47	2.54	4.32	5.02	5.25	1.30	3.78	0.02	1.77	3.96	0.0307
63.8	-0.61	-0.60	-0.71	-0.63	-0.44	-0.65	1.21	1.43	2.73	1.87	5.74	2.67	4.52	5.29	5.48	1.33	3.88	0.02	1.82	4.16	0.0321
65.2	-0.60	-0.59	-0.69	-0.62	-0.44	-0.63	1.26	1.51	2.84	1.88	6.45	2.77	5.20	5.84	6.16	1.90	3.74	0.03	1.87	4.60	0.0349
65.3	-0.59	-0.59	-0.69	-0.62	-0.44	-0.63	1.29	1.53	2.88	1.89	6.90	2.79	5.47	6.03	6.66	2.14	3.69	0.04	1.89	4.76	0.0359
65.8	-0.58	-0.59	-0.69	-0.61	-0.43	-0.63	1.31	1.55	2.91	1.89	7.09	2.82	5.59	6.04	6.83	2.25	3.67	0.04	1.91	4.81	0.0363
66.5	-0.59	-0.59	-0.68	-0.61	-0.43	-0.63	1.33	1.58	2.94	1.89	7.38	2.87	5.62	6.07	7.09	2.34	3.66	0.05	1.94	4.85	0.0365
67.1	-0.58	-0.59	-0.68	-0.60	-0.43	-0.62	1.36	1.62	2.98	1.93	7.84	2.96	5.72	6.34	7.50	2.46	3.67	0.06	1.97	5.01	0.0375
67.3	-0.58	-0.59	-0.68	-0.60	-0.43	-0.62	1.38	1.64	2.99	1.90	8.14	3.05	5.86	6.45	7.75	2.51	3.67	0.04	2.00	5.12	0.0383
67.4	-0.34	-0.59	-0.67	-0.60	-0.42	-0.62	1.39	1.64	3.00	1.89	8.30	3.12	5.94	6.50	7.89	2.53	3.66	0.03	2.00	5.19	0.0387
68.0	-0.53	-0.58	-0.68	-0.60	-0.42	-0.62	1.40	1.68	3.01	1.87	8.54	3.23	6.06	6.59	8.10	2.58	3.67	0.03	2.02	5.29	0.0394
68.8	-0.51	-0.58	-0.67	-0.59	-0.42	-0.61	1.43	1.73	3.05	1.85	9.03	3.42	6.30	6.76	8.56	2.73	3.66	0.04	2.06	5.50	0.0407
69.7	-0.51	-0.57	-0.66	-0.59	-0.42	-0.61	1.46	1.78	3.10	1.88	9.51	3.60	6.55	6.92	9.04	2.81	3.66	0.05	2.10	5.69	0.0420
70.1	-0.49	-0.56	-0.65	-0.58	-0.41	-0.60	1.48	1.80	3.17	1.96	9.91	3.74	6.77	7.13	9.40	1.80	4.28	0.08	2.15	5.88	0.0432
70.3	-0.45	-0.56	-0.65	-0.58	-0.41	-0.59	1.50	1.83	3.20	2.03	10.22	3.83	6.93	7.24	9.62	1.89	4.32	0.08	2.18	6.00	0.0440
70.5	-0.42	-0.56	-0.65	-0.57	-0.41	-0.59	1.51	1.83	3.23	2.07	10.41	3.89	7.02	7.31	9.74	1.92	4.34	0.08	2.20	6.07	0.0444
71.2	-0.35	-0.56	-0.65	-0.57	-0.40	-0.59	1.53	1.87	3.26	2.17	10.97	4.03	7.25	7.49	10.19	1.82	4.46	0.08	2.26	6.26	0.0457
71.6	-0.19	-0.56	-0.65	-0.57	-0.40	-0.59	1.54	1.89	3.27	2.17	11.49	4.12	7.40	7.60	10.50	1.84	4.49	0.08	2.27	6.37	0.0464
70.8	-0.14	-0.55	-0.64	-0.57	-0.39	-0.59	1.53	1.89	3.27	2.14	12.24	4.12	7.40	7.56	10.48	1.81	4.45	0.08	2.28	6.36	0.0463
68.7	-0.14	-0.52	-0.62	-0.55	-0.40	-0.56	1.35	1.90	3.30	2.08	15.02	4.15	7.37	7.45	10.34	1.79	4.30	0.09	2.26	6.32	0.0459
69.9	-0.13	-0.52	-0.63	-0.55	-0.39	-0.57	1.35	1.89	3.31	2.06	17.37	4.24	7.38	7.52	10.44	1.81	4.37	0.08	2.28	6.38	0.0463
70.9	-0.12	-0.50	-0.64	-0.56	-0.40	-0.57	1.35	1.89	3.31	2.02	19.25	4.46	7.41	7.59	10.52	1.86	4.42	0.08	2.32	6.49	0.0470
71.6	-0.10	-0.50	-0.64	-0.56	-0.39	-0.57	1.35	1.89	3.31	1.96	20.48	4.65	7.46	7.63	10.64	1.87	4.46	0.08	2.35	6.58	0.0477
71.9	-0.09	-0.49	-0.64	-0.56	-0.39	-0.56	1.35	1.89	3.31	1.94	21.54	4.79	7.55	7.69	10.90	1.97	4.48	0.08	2.37	6.68	0.0483
72.0	-0.09	-0.48	-0.64	-0.56	-0.38	-0.56	1.34	1.89	3.31	1.94	22.17	4.87	7.61	7.74	11.39	1.97	4.42	0.08	2.37	6.74	0.0487
52.6	-0.08	-0.34	-0.31	-0.32	0.00	-0.32	1.36	1.93	3.41	2.39	22.11	5.67	9.10	8.68	12.29	2.49	4.11	0.59	2.40	7.82	0.0543
43.3	-0.08	-0.24	-0.08	-0.21	0.19	-0.18	1.40	1.94	3.43	2.62	22.05	6.14	10.28	9.43	12.76	2.75	4.02	0.87	2.40	8.62	0.0586

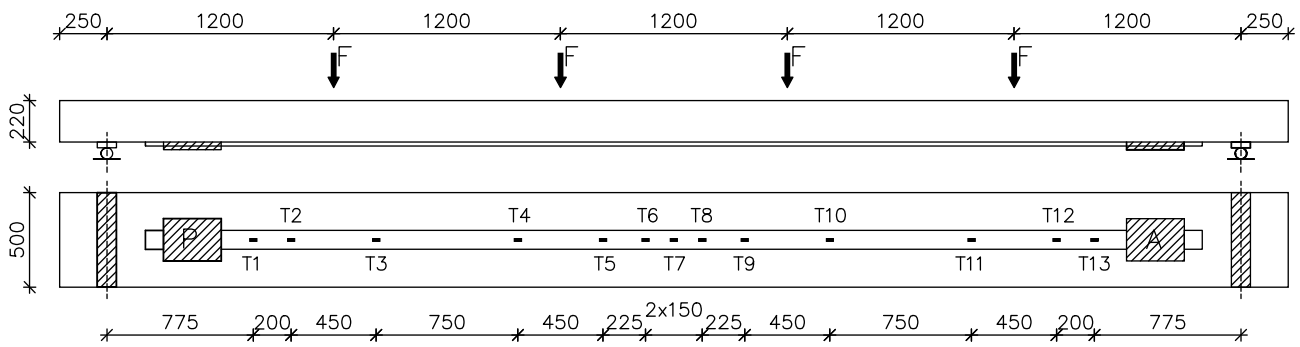
Pomiary odkształceń betonu wykonywano przetwornikami przemieszczeń liniowych o zakresie 10 i 20mm.
 Concrete strain were measured with linear displacement transducers of 10 and 20mm range.

B16-asp-e





B16-asp-e



Tablica Z7.3 Odkształcenia taśmy CFRP, ϵ_f

Table Z7.3 CFRP strain, ϵ_f

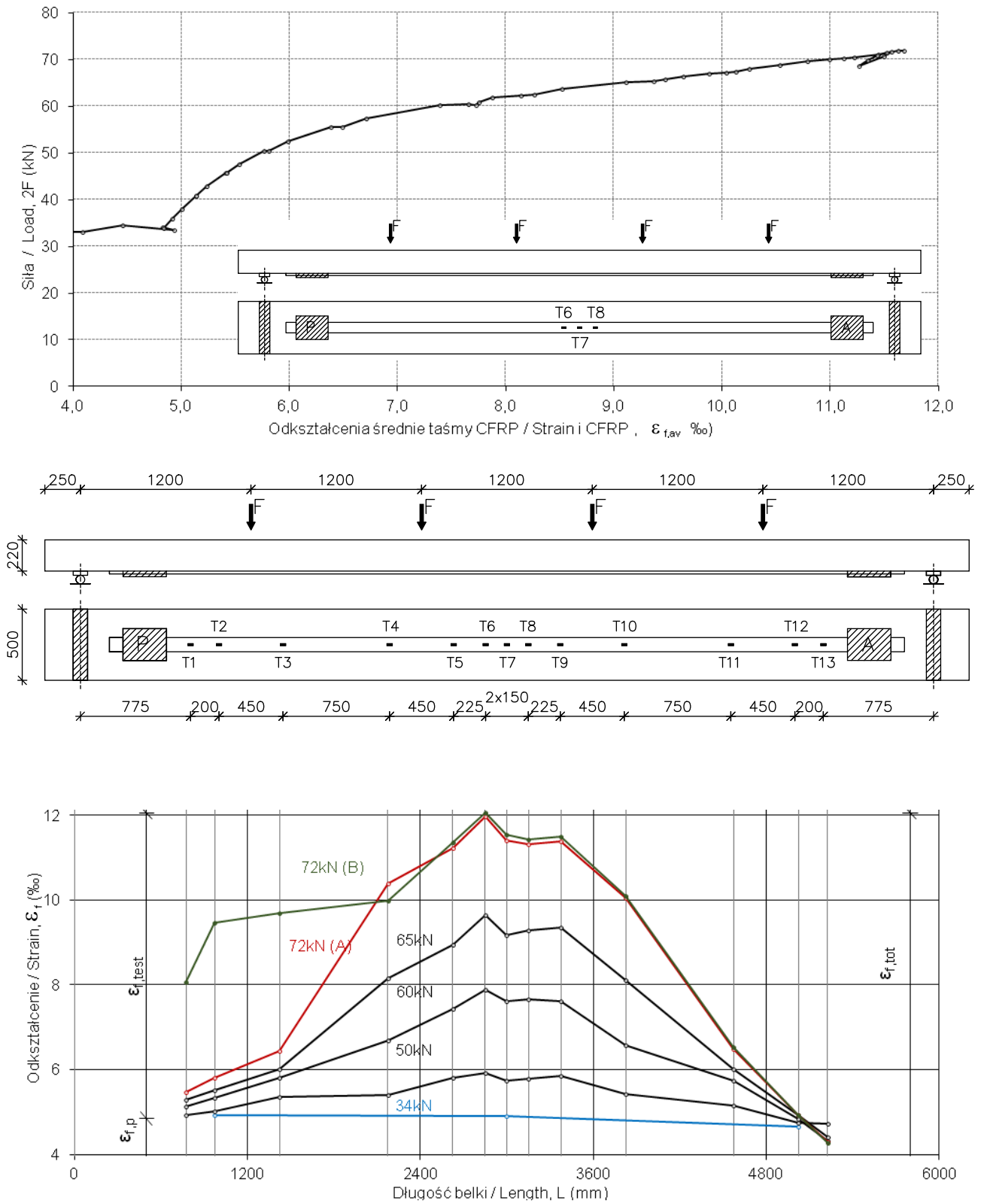
Siła / Load 2F kN	Odkształcenia taśmy CFRP / CFRP strain ϵ_f													T _M	
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13		
6.3		0					0					0			0
33.8		0.04					0.05					0.04			0.0
33.8		0.47					0.41					0.40			0.4
33.8		0.89					0.88					0.83			0.9
33.8		1.28					1.26					1.22			1.3
33.7		1.65					1.62					1.60			1.6
34.1		1.95					1.92					1.91			1.9
33.5		2.24					2.22					2.20			2.2
33.5		2.59					2.55					2.53			2.6
33.8		2.93					2.89					2.88			2.9
33.1		3.18					3.16					3.14			3.2
33.2		3.52					3.50					3.45			3.5
33.1		3.80					3.77					3.74			3.8
33.1		4.12					4.09					4.07			4.1
34.6		4.48					4.46					4.42			4.5
33.5		4.97					4.94					4.90			4.9
34.1		4.92					4.91					4.65			4.8
34.0	4.70	4.70	4.72	4.74	4.78	4.82	4.87	4.82	4.75	4.70	4.60	4.54	4.54		4.8
36.0	4.72	4.73	4.78	4.79	4.90	4.91	4.94	4.91	4.87	4.76	4.64	4.58	4.56		4.9
38.0	4.74	4.76	4.84	4.84	4.99	5.00	5.01	5.00	4.99	4.82	4.68	4.61	4.59		5.0
40.8	4.78	4.81	4.96	4.92	5.13	5.15	5.12	5.15	5.18	4.92	4.74	4.64	4.64		5.1
40.8	4.78	4.81	4.96	4.93	5.14	5.15	5.12	5.15	5.19	4.93	4.74	4.63	4.65		5.1
42.8	4.80	4.85	5.03	4.98	5.24	5.26	5.20	5.24	5.31	4.99	4.79	4.67	4.67		5.2
45.8	4.85	4.90	5.14	5.10	5.42	5.48	5.34	5.41	5.48	5.13	4.89	4.72	4.72		5.4
45.7	4.85	4.91	5.15	5.11	5.45	5.49	5.36	5.42	5.49	5.15	4.91	4.70	4.69		5.4
47.7	4.88	4.94	5.22	5.18	5.55	5.63	5.46	5.53	5.60	5.23	4.98	4.73	4.72		5.5
50.5	4.92	5.00	5.34	5.37	5.77	5.88	5.69	5.74	5.83	5.38	5.10	4.75	4.77		5.8
50.5	4.93	5.01	5.35	5.41	5.82	5.92	5.73	5.78	5.86	5.41	5.15	4.75	4.73		5.8
52.6	4.96	5.04	5.43	5.52	5.98	6.11	5.90	5.94	6.03	5.51	5.20	4.78	4.76		6.0
55.5	5.01	5.12	5.54	5.80	6.36	6.56	6.29	6.32	6.37	5.74	5.38	4.82	4.82		6.4
55.5	5.02	5.14	5.56	5.88	6.44	6.67	6.38	6.41	6.44	5.80	5.42	4.81	4.77		6.5
57.3	5.05	5.20	5.63	6.04	6.64	6.91	6.61	6.62	6.66	5.94	5.51	4.83	4.78		6.7
60.4	5.12	5.31	5.77	6.53	7.21	7.56	7.30	7.32	7.32	6.40	5.68	4.88	4.61		7.4
60.4	5.13	5.34	5.80	6.65	7.38	7.82	7.55	7.60	7.54	6.54	5.73	4.84	4.38		7.7
60.3	5.14	5.34	5.81	6.69	7.43	7.89	7.62	7.67	7.61	6.58	5.74	4.83	4.32		7.7
60.8	5.14	5.35	5.82	6.71	7.46	7.92	7.65	7.69	7.64	6.60	5.75	4.83	4.33		7.8
61.8	5.16	5.38	5.86	6.77	7.57	8.04	7.79	7.81	7.83	6.66	5.79	4.85	4.35		7.9
62.3	5.17	5.40	5.88	6.87	7.85	8.29	8.04	8.11	8.21	6.76	5.81	4.86	4.36		8.1
62.5	5.18	5.41	5.89	6.94	7.98	8.41	8.16	8.24	8.33	6.94	5.83	4.86	4.37		8.3
63.8	5.22	5.44	5.93	7.08	8.21	8.68	8.37	8.49	8.59	7.03	5.87	4.89	4.39		8.5

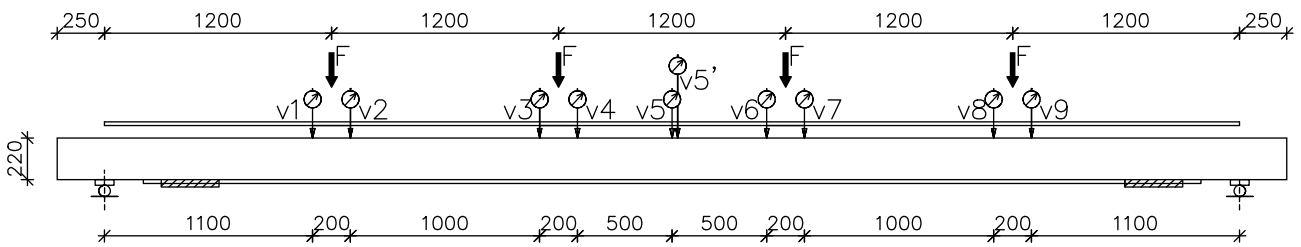
65.2	5.28	5.49	5.99	7.56	8.71	9.39	8.92	9.03	9.10	7.77	5.95	4.93	4.42	9.1
65.3	5.30	5.52	6.02	8.17	8.95	9.65	9.18	9.28	9.34	8.11	6.01	4.94	4.41	9.4
65.8	5.31	5.54	6.04	8.37	9.08	9.76	9.29	9.38	9.45	8.21	6.03	4.93	4.41	9.5
66.5	5.32	5.56	6.07	8.65	9.25	9.93	9.46	9.55	9.61	8.38	6.07	4.94	4.42	9.6
67.1	5.34	5.58	6.10	9.00	9.48	10.20	9.67	9.78	9.82	8.58	6.11	4.94	4.41	9.9
67.3	5.35	5.60	6.12	9.16	9.64	10.37	9.82	9.92	9.95	8.71	6.14	4.93	4.40	10.0
67.4	5.36	5.61	6.13	9.21	9.73	10.47	9.91	10.01	10.03	8.81	6.16	4.94	4.39	10.1
68.0	5.37	5.63	6.15	9.32	9.86	10.60	10.04	10.11	10.15	8.94	6.19	4.94	4.39	10.3
68.8	5.39	5.66	6.20	9.61	10.11	10.91	10.35	10.34	10.38	9.14	6.24	4.95	4.38	10.5
69.7	5.41	5.70	6.25	9.85	10.37	11.17	10.63	10.57	10.62	9.40	6.30	4.96	4.37	10.8
70.1	5.43	5.73	6.28	10.03	10.59	11.38	10.84	10.77	10.84	9.62	6.35	4.96	4.36	11.0
70.3	5.44	5.74	6.31	10.15	10.75	11.51	10.97	10.90	10.97	9.74	6.38	4.95	4.34	11.1
70.5	5.44	5.76	6.33	10.22	10.85	11.61	11.07	10.98	11.06	9.81	6.40	4.96	4.32	11.2
71.2	5.46	5.81	6.40	10.38	11.10	11.83	11.29	11.20	11.28	9.96	6.46	4.93	4.30	11.4
71.6	5.47	5.82	6.43	10.38	11.23	11.96	11.42	11.31	11.40	10.05	6.49	4.93	4.30	11.6
70.8	5.46	5.80	7.60	9.76	11.05	11.88	11.36	11.26	11.34	10.00	6.46	4.91	4.28	11.5
68.7	7.27	8.38	8.58	8.85	10.25	11.50	11.19	11.12	11.20	9.87	6.38	4.88	4.20	11.3
69.9	7.61	8.79	8.98	9.23	10.46	11.57	11.26	11.20	11.28	9.92	6.42	4.89	4.23	11.3
70.9	7.84	9.09	9.28	9.56	10.84	11.71	11.34	11.27	11.35	9.98	6.47	4.91	4.26	11.4
71.6	7.99	9.28	9.47	9.78	11.11	11.84	11.41	11.32	11.41	10.03	6.50	4.92	4.27	11.5
71.9	8.06	9.43	9.64	9.92	11.29	11.99	11.50	11.40	11.49	10.14	6.52	4.93	4.28	11.6
72.0	8.07	9.48	9.70	9.98	11.37	12.06	11.55	11.44	11.51	10.09	6.54	4.93	4.28	11.7

Pomiary odkształceń wykonywano tensometrami elektrooporowymi TFs-5 o bazie 5mm.
CFRP strain were measured with electric resistance gauges TFs-5 with range of 5mm.

P - oznaczenie strony pasywnej zakotwienia / the names of the passive side of anchorage system
A - oznaczenie strony aktywnej zakotwienia / the names of the passive side of anchorage system

B16-asp-e





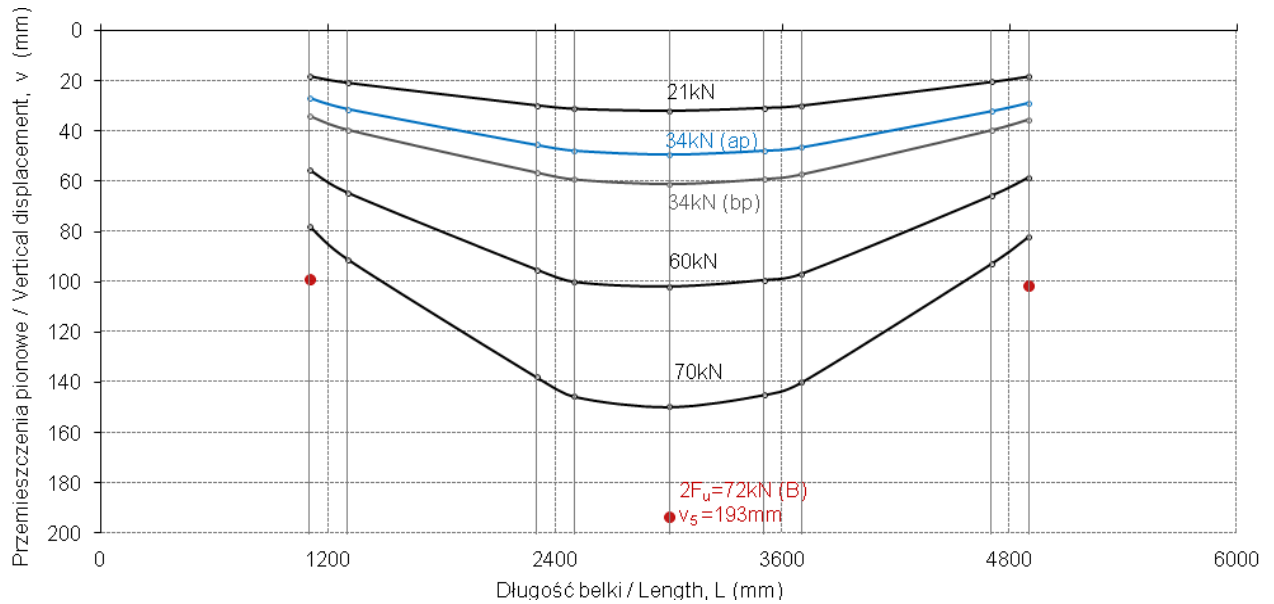
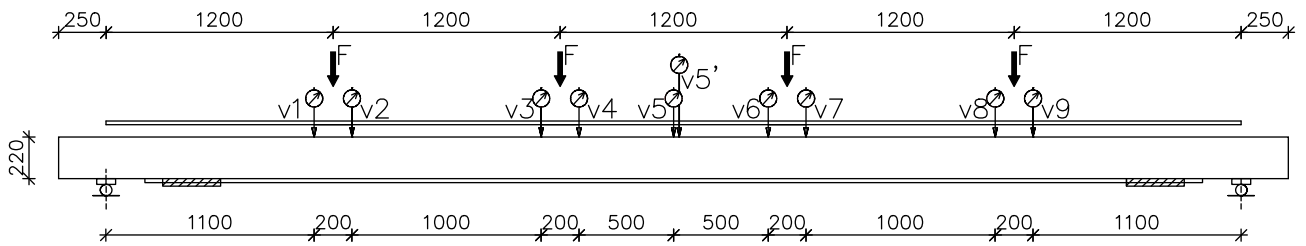
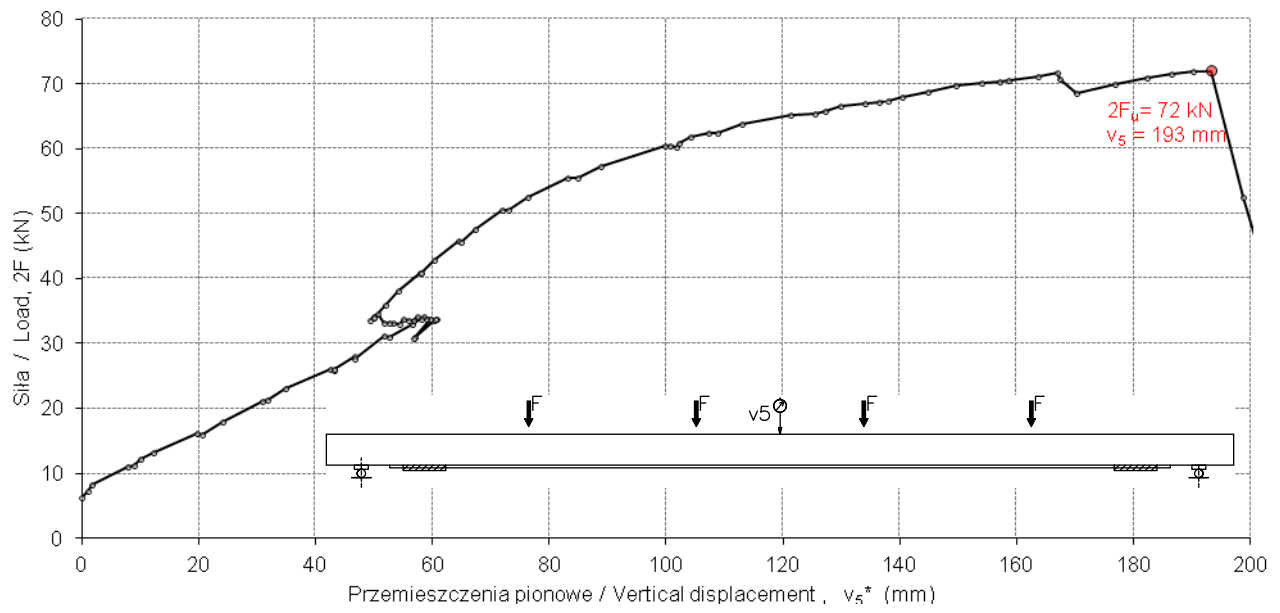
Tablica Z7.4 Przemieszczenia pionowe belki, v
Table Z7.4 Vertical displacement, v

Siła / Load 2F kN	Przemieszczenia pionowe / Vertical displacement v (mm)												
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅ *	v ₆	v ₇	v ₈	v ₉	v _{av,1-2}	v _{av,3-4}	v _{av,6-7}	v _{av,8-9}
6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.2	0.6	0.7	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	0.5	0.6	0.6	1.0	0.9	0.5
8.3	1.4	1.5	1.8	1.9	1.8	1.8	1.7	1.1	1.2	1.5	1.8	1.7	1.2
11.0	4.6	5.2	7.4	7.7	7.8	7.4	7.2	4.6	4.4	4.9	7.5	7.3	4.5
11.2	5.1	5.8	8.3	8.7	8.9	8.5	8.3	5.2	5.0	5.5	8.5	8.4	5.1
12.1	5.8	6.7	9.6	10.0	10.2	9.8	9.5	6.1	5.7	6.2	9.8	9.6	5.9
13.3	7.0	8.0	11.4	11.9	12.2	11.7	11.4	7.4	6.9	7.5	11.7	11.5	7.1
16.1	11.1	12.7	18.4	19.2	19.7	19.0	18.5	12.2	11.1	11.9	18.8	18.7	11.6
16.0	11.6	13.3	19.3	20.2	20.7	20.0	19.4	12.9	11.7	12.5	19.7	19.7	12.3
17.9	13.6	15.5	22.6	23.5	24.2	23.3	22.6	15.3	13.6	14.5	23.0	23.0	14.4
21.2	17.4	20.0	28.8	30.2	31.0	29.9	28.9	19.7	17.5	18.7	29.5	29.4	18.6
21.3	18.0	20.6	29.7	31.1	31.9	30.7	29.8	20.3	18.1	19.3	30.4	30.3	19.2
23.0	19.9	22.8	32.5	34.0	34.8	33.6	32.6	22.2	19.9	21.3	33.2	33.1	21.1
26.0	23.4	27.2	39.3	41.3	42.4	41.1	39.8	26.9	24.0	25.3	40.3	40.4	25.4
25.8	23.8	27.7	40.0	41.9	43.1	41.7	40.4	27.3	24.4	25.7	40.9	41.1	25.9
26.0	23.9	27.7	40.1	42.0	43.2	41.8	40.5	27.4	24.5	25.8	41.1	41.2	25.9
27.9	26.0	29.9	43.4	45.5	46.8	45.3	43.9	29.8	26.6	28.0	44.4	44.6	28.2
27.7	26.1	30.2	43.4	45.5	46.8	45.3	43.9	30.3	27.2	28.1	44.4	44.6	28.8
31.3	29.5	34.1	48.2	50.4	51.8	50.1	48.7	33.9	30.4	31.8	49.3	49.4	32.2
30.9	30.0	34.7	49.0	51.3	52.6	51.0	49.5	34.5	30.9	32.3	50.1	50.3	32.7
33.0	31.6	36.6	52.5	54.9	56.5	54.7	53.1	36.8	32.9	34.1	53.7	53.9	34.8
34.1	32.7	37.9	54.2	56.9	58.6	56.6	54.9	38.1	34.0	35.3	55.5	55.8	36.1
33.7	33.3	38.7	55.2	57.9	59.6	57.7	55.9	38.8	34.6	36.0	56.6	56.8	36.7
31.0	31.5	36.6	52.7	55.2	56.9	55.1	53.4	36.9	33.0	34.0	54.0	54.3	34.9
30.8	31.6	36.7	52.7	55.1	56.7	54.9	53.3	37.0	33.0	34.2	53.9	54.1	35.0
33.6	33.8	39.1	55.9	58.6	60.3	58.4	56.6	39.3	35.1	36.4	57.2	57.5	37.2
33.8	33.9	39.4	56.3	59.1	60.9	58.9	57.1	39.6	35.3	36.7	57.7	58.0	37.5
33.8	33.6	39.0	56.0	58.7	60.5	58.6	56.7	39.3	35.1	36.3	57.3	57.7	37.2
33.8	33.1	38.4	55.2	57.9	59.7	57.8	56.0	38.8	34.6	35.7	56.6	56.9	36.7
33.8	32.6	37.8	54.5	57.2	59.0	57.0	55.2	38.3	34.1	35.2	55.8	56.1	36.2
33.7	32.1	37.3	53.7	56.3	58.1	56.2	54.5	37.7	33.7	34.7	55.0	55.3	35.7
34.1	31.7	36.8	53.2	55.7	57.5	55.6	53.9	37.3	33.3	34.3	54.4	54.7	35.3
33.5	31.3	36.4	52.6	55.0	56.8	55.0	53.3	36.9	32.9	33.8	53.8	54.1	34.9
33.5	30.8	35.8	51.7	54.2	55.8	54.1	52.5	36.3	32.4	33.3	52.9	53.3	34.4
33.8	30.2	35.2	50.9	53.3	55.0	53.3	51.8	35.8	32.0	32.7	52.1	52.5	33.9
33.1	29.9	34.8	50.3	52.7	54.4	52.7	51.2	35.4	31.6	32.3	51.5	52.0	33.5
33.2	29.2	34.0	49.3	51.7	53.3	51.7	50.2	34.7	31.0	31.6	50.5	50.9	32.8
33.1	28.9	33.6	48.7	51.0	52.7	51.1	49.6	34.3	30.7	31.2	49.9	50.3	32.5
33.1	28.4	33.0	47.9	50.2	51.8	50.3	48.8	33.8	30.2	30.7	49.1	49.5	32.0
34.6	27.7	32.2	46.8	49.1	50.7	49.2	47.7	33.1	29.6	30.0	48.0	48.5	31.3
33.5	26.9	31.2	45.5	47.7	49.3	47.8	46.4	32.2	28.8	29.0	46.6	47.1	30.5
34.1	27.6	31.9	46.2	48.5	50.0	48.5	47.1	32.8	29.4	29.8	47.3	47.8	31.1
34.0	27.6	31.9	46.2	48.5	50.0	48.5	47.1	32.8	29.4	29.8	47.3	47.8	31.1
36.0	28.8	33.3	48.0	50.4	51.9	50.3	48.8	34.1	30.6	31.1	49.2	49.6	32.3

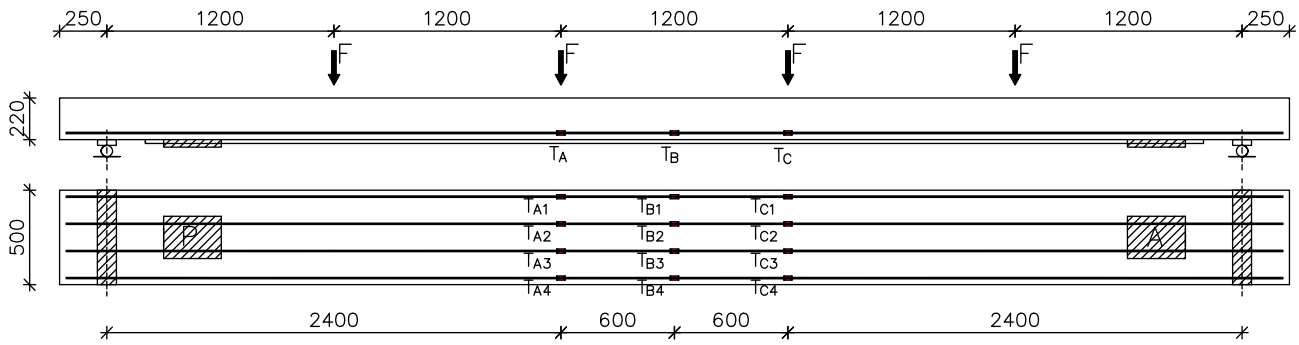
B16-asp-e

38.0	30.2	34.9	50.1	52.5	54.1	52.5	50.9	35.6	31.9	32.5	51.3	51.7	33.7
40.8	32.1	37.1	53.6	56.2	57.8	56.1	54.4	37.9	33.9	34.6	54.9	55.2	35.9
40.8	32.2	37.2	53.7	56.4	58.1	56.3	54.6	38.0	34.1	34.7	55.1	55.5	36.1
42.8	33.5	38.7	55.9	58.6	60.3	58.5	56.7	39.6	35.4	36.1	57.2	57.6	37.5
45.8	35.6	41.2	59.7	62.5	64.4	62.4	60.6	42.2	37.7	38.4	61.1	61.5	39.9
45.7	35.9	41.5	60.1	62.9	64.8	62.9	61.0	42.5	38.0	38.7	61.5	61.9	40.2
47.7	37.3	43.1	62.4	65.3	67.4	65.3	63.4	44.1	39.4	40.2	63.9	64.3	41.8
50.5	39.7	46.0	66.7	69.8	72.0	69.8	67.7	47.1	42.0	42.8	68.3	68.8	44.6
50.5	40.2	46.5	67.6	70.7	72.9	70.7	68.6	47.7	42.6	43.3	69.1	69.7	45.2
52.6	41.9	48.5	70.5	73.9	76.3	73.9	71.6	49.8	44.3	45.2	72.2	72.7	47.1
55.5	45.3	52.5	76.7	80.4	83.1	80.4	77.8	53.9	47.9	48.9	78.5	79.1	50.9
55.5	46.1	53.5	78.1	82.0	84.8	82.1	79.4	54.9	48.8	49.8	80.1	80.7	51.9
57.3	48.1	55.8	81.8	85.8	88.7	85.9	83.1	57.3	50.9	52.0	83.8	84.5	54.1
60.4	53.7	62.4	91.9	96.6	99.9	96.6	93.3	63.8	56.7	58.0	94.2	95.0	60.2
60.4	54.9	63.9	94.1	98.9	100.7	98.2	95.5	65.2	57.9	59.4	96.5	96.8	61.6
60.3	55.5	64.5	95.1	100.0	101.8	99.2	96.8	65.8	58.5	60.0	97.5	98.0	62.2
60.8	55.8	64.8	95.5	100.4	102.2	99.6	96.8	66.1	58.8	60.3	97.9	98.2	62.4
61.8	56.8	66.0	97.2	102.2	104.1	101.4	98.6	67.3	59.8	61.4	99.7	100.0	63.6
62.3	58.4	67.8	100.0	105.2	107.2	104.4	101.4	69.1	61.3	63.1	102.6	102.9	65.2
62.5	59.1	68.6	101.4	106.7	108.8	105.9	102.8	70.0	62.2	63.9	104.1	104.4	66.1
63.8	60.8	70.7	105.0	110.5	112.9	109.8	106.5	72.2	64.1	65.8	107.8	108.2	68.2
65.2	64.7	75.2	112.5	118.4	121.4	117.8	114.1	76.9	68.1	69.9	115.4	115.9	72.5
65.3	66.5	77.4	116.1	122.3	125.4	121.7	117.8	79.3	70.1	72.0	119.2	119.8	74.7
65.8	67.5	78.5	117.8	124.1	127.3	123.5	119.5	80.4	71.1	73.0	121.0	121.5	75.7
66.5	68.8	80.0	120.1	126.6	129.9	126.0	121.9	81.9	72.4	74.4	123.3	123.9	77.1
67.1	70.6	82.1	123.7	130.5	133.9	129.9	125.6	84.1	74.3	76.3	127.1	127.8	79.2
67.3	71.8	83.5	125.7	133.0	136.5	132.3	127.9	85.6	75.6	77.6	129.3	130.1	80.6
67.4	72.4	84.2	127.3	134.3	137.9	133.7	129.2	86.4	76.3	78.3	130.8	131.5	81.3
68.0	73.5	85.6	129.4	136.6	140.3	136.0	131.4	87.8	77.4	79.5	133.0	133.7	82.6
68.8	75.7	88.3	133.6	141.1	144.9	140.4	135.6	90.3	79.7	82.0	137.3	138.0	85.0
69.7	78.0	91.0	137.9	145.6	149.7	144.9	139.9	93.0	82.1	84.5	141.7	142.4	87.6
70.1	80.2	93.5	141.7		154.1			95.6	84.4	86.9			90.0
70.3	81.6	95.2	144.5		157.0			97.3	85.8	88.4			91.5
70.5	82.4	96.3			158.7			98.2	86.7	89.4			92.5
71.2	84.9	99.1			163.7			101.2	89.2	92.0			95.2
71.6	86.4	101.0			166.8			103.0	90.8	93.7			96.9
70.8	86.6	101.2			167.3			103.0	90.8	93.9			96.9
68.7	87.7	102.7			170.2			103.8	91.4	95.2			97.6
69.9	91.0	106.7			176.7			107.1	94.2	98.9			100.6
70.9	94.0	110.2			182.3			110.0	96.7	102.1			103.3
71.6	96.0	112.6			186.4			112.0	98.4	104.3			105.2
71.9	97.8				190.3			114.0	100.1				107.0
72.0	99.1				193.3				101.4				
52.6	100.6				198.8				102.1				
43.3	101.6				201.7				103.0				

Pomiary przemieszczeń pionowych wykonywano przetwornikami przemieszczeń liniowych o zakresie 50mm.
Vertical displacement were measured with linear displacement transducers with range of 50mm.



B16-asp-e



Tablica Z7.5 Odkształcenia na stali, ϵ_s (%)

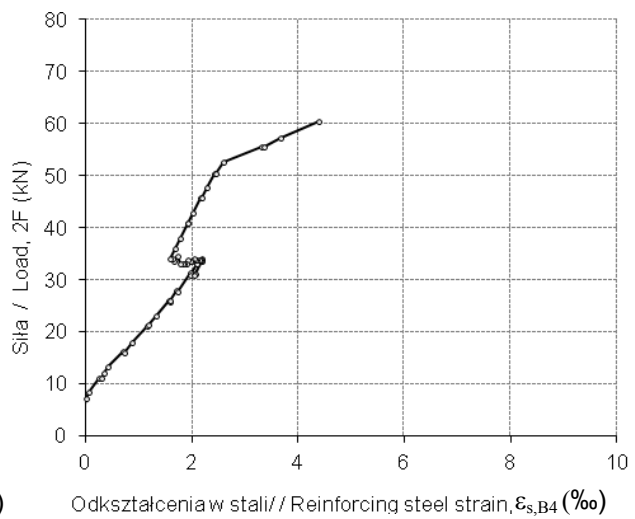
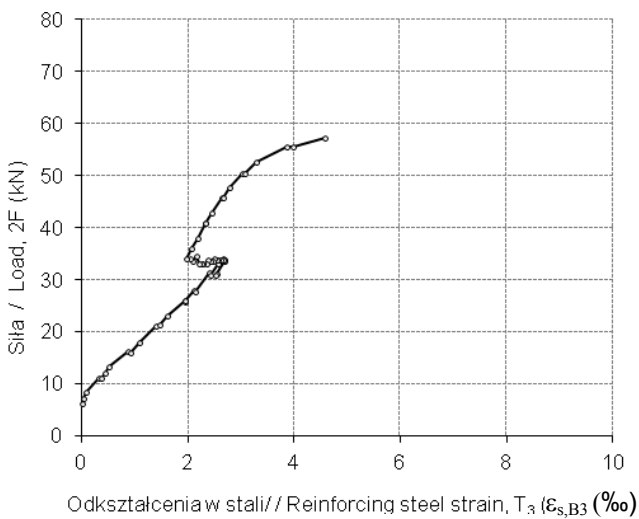
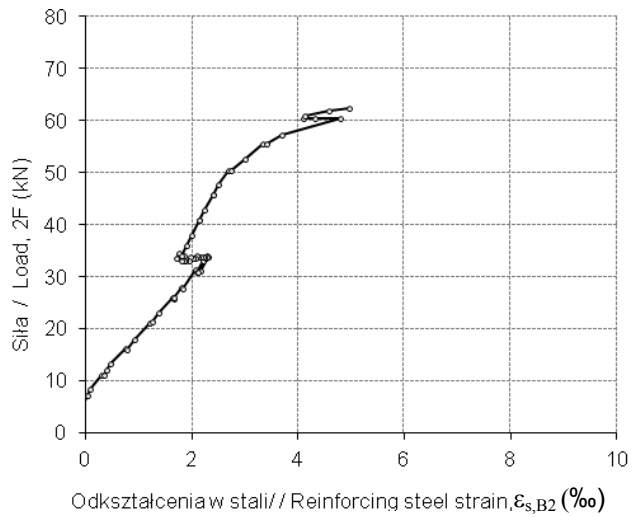
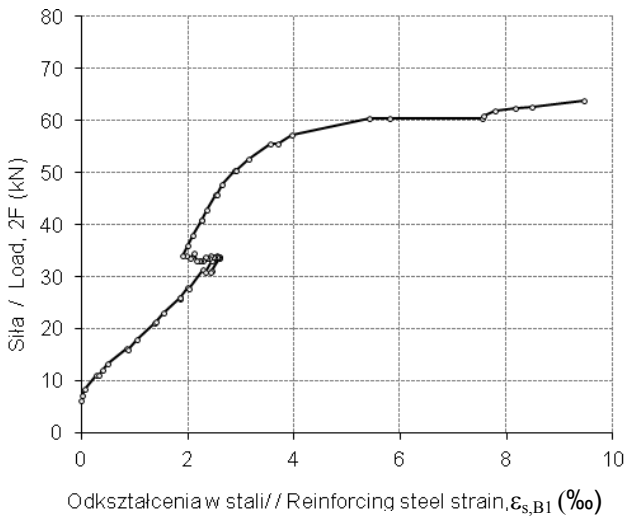
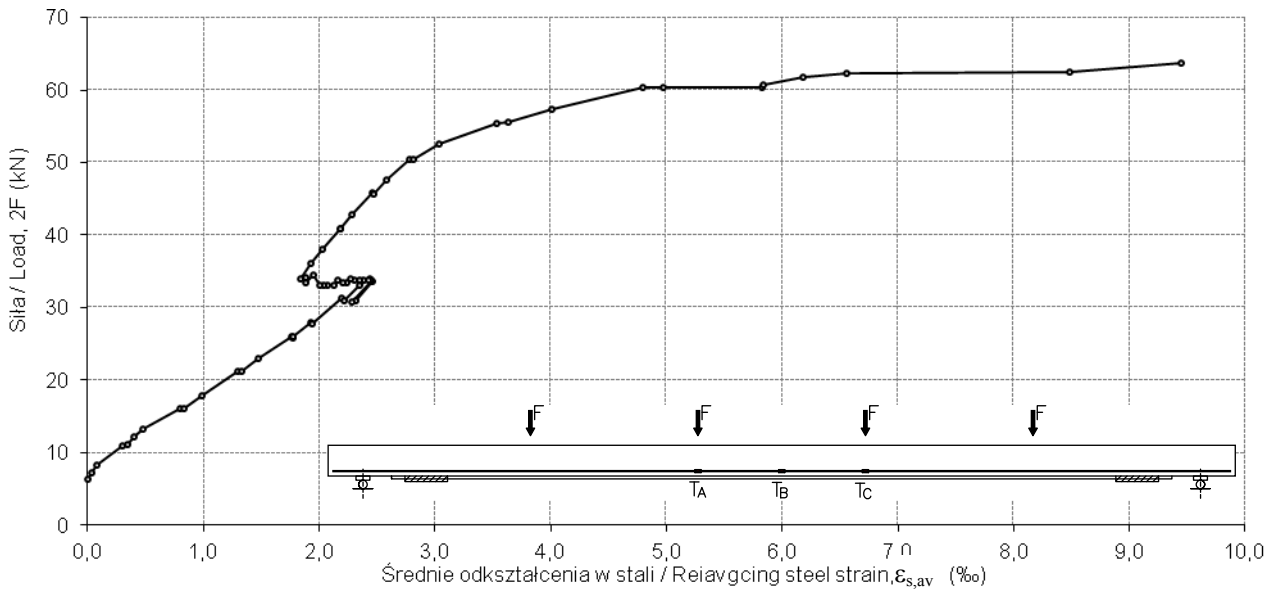
Table Z7.5 Steel strain, ϵ_s (%)

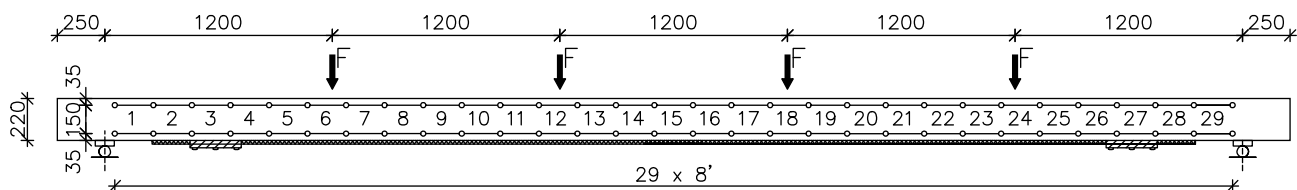
Siła / Load 2F kN	Odkształcenia na stali / Steel strain ϵ_s (%)														
	T_{s1}	T_{s2}	T_{s3}	T_{s4}	T_{s5}	T_{s6}	T_{s7}	T_{s8}	T_{s9}	T_{s10}	T_{s11}	T_{s12}	$\epsilon_{s,av A}$	$\epsilon_{s,av B}$	$\epsilon_{s,av C}$
	2400				3000				3600				2400	3000	3600
6.3		0.00	0.00		0.00	0.00	0.04	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.01	0.00
7.2		0.06	0.03		0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.02	0.03
8.3		0.15	0.09		0.05	0.06	0.06	0.03	0.07	0.07	0.10	0.09	0.12	0.05	0.08
11.0		0.44	0.36		0.26	0.26	0.21	0.19	0.29	0.24	0.44	0.33	0.40	0.23	0.32
11.2		0.48	0.42		0.32	0.30	0.25	0.22	0.32	0.28	0.47	0.36	0.45	0.27	0.36
12.1		0.52	0.48		0.42	0.35	0.28	0.26	0.37	0.32	0.54	0.42	0.50	0.33	0.41
13.3		0.60	0.58		0.54	0.41	0.34	0.34	0.44	0.37	0.66	0.51	0.59	0.41	0.50
16.1		0.97	0.89		0.95	0.65	0.58	0.64	0.73	0.63	1.17	0.78	0.93	0.70	0.83
16.0		1.04	0.90		0.99	0.67	0.61	0.67	0.77	0.65	1.25	0.80	0.97	0.74	0.87
17.9		1.21	1.08		1.18	0.78	0.72	0.82	0.90	0.78	1.47	0.95	1.14	0.88	1.02
21.2		1.54	1.34		1.61	1.04	0.97	1.13	1.16	1.05	1.91	1.20	1.44	1.19	1.33
21.3		1.61	1.36		1.63	1.07	1.01	1.16	1.19	1.08	2.02	1.21	1.49	1.22	1.37
23.0		1.76	1.50		1.78	1.18	1.14	1.30	1.31	1.19	2.25	1.34	1.63	1.35	1.52
26.0		2.06	1.74		2.11	1.44	1.42	1.56	1.58	1.42	2.71	1.56	1.90	1.63	1.82
25.8		2.10	1.74		2.11	1.45	1.44	1.59	1.59	1.43	2.68	1.57	1.92	1.65	1.82
26.0		2.10	1.73		2.11	1.46	1.45	1.59	1.59	1.43	2.69	1.57	1.92	1.65	1.82
27.9		2.28	1.87		2.29	1.57	1.58	1.73	1.72	1.56	2.92	1.71	2.07	1.80	1.98
27.7		2.31	1.87		2.31	1.59	1.60	1.75	1.74	1.57	2.96	1.71	2.09	1.81	1.99
31.3		2.60	2.09		2.61	1.79	1.81	2.00	1.98	1.80	3.31	1.92	2.34	2.05	2.25
30.9		2.62	2.09		2.62	1.82	1.84	2.03	2.02	1.81	3.34	1.92	2.36	2.08	2.27
33.0		2.79	2.22		2.78	1.93	1.97	2.16	2.14	1.93	3.54	2.05	2.50	2.21	2.42
34.1		2.87	2.29		2.88	2.01	2.05	2.24	2.23	2.00	3.67	2.12	2.58	2.29	2.51
33.7		2.87	2.31		2.89	2.03	2.09	2.27	2.29	2.01	3.69	2.11	2.59	2.32	2.53
31.0		2.69	2.16		2.76	1.93	1.98	2.16	2.17	1.89	3.50	1.96	2.43	2.21	2.38
30.8		2.64	2.13		2.72	1.92	1.97	2.15	2.16	1.77	3.44	1.94	2.39	2.19	2.33
33.6		2.85	2.30		2.88	2.05	2.10	2.28	2.30	1.92	3.68	2.11	2.58	2.33	2.50
33.8		2.85	2.30		2.89	2.05	2.11	2.29	2.31	1.92	3.69	2.11	2.58	2.33	2.51
33.8		2.82	2.27		2.86	2.03	2.09	2.27	2.29	1.89	3.64	2.08	2.55	2.31	2.47
33.8		2.76	2.23		2.82	2.00	2.06	2.24	2.26	1.85	3.58	2.04	2.50	2.28	2.43
33.8		2.70	2.19		2.78	1.97	2.03	2.21	2.22	1.82	3.53	2.00	2.45	2.25	2.39
33.7		2.65	2.15		2.74	1.94	2.00	2.18	2.19	1.78	3.47	1.96	2.40	2.22	2.35
34.1		2.62	2.12		2.71	1.92	1.98	2.15	2.16	1.75	3.43	1.92	2.37	2.19	2.31
33.5		2.57	2.09		2.68	1.89	1.95	2.13	2.13	1.71	3.38	1.89	2.33	2.16	2.28
33.5		2.52	2.04		2.63	1.86	1.92	2.09	2.10	1.67	3.32	1.85	2.28	2.13	2.23
33.8		2.46	1.99		2.59	1.83	1.89	2.06	2.06	1.64	3.26	1.80	2.23	2.09	2.19
33.1		2.42	1.96		2.55	1.80	1.86	2.03	2.03	1.61	3.21	1.77	2.19	2.06	2.16
33.2		2.35	1.90		2.50	1.76	1.82	1.99	1.98	1.56	3.14	1.73	2.13	2.01	2.10
33.1		2.31	1.88		2.46	1.73	1.80	1.96	1.96	1.54	3.10	1.70	2.09	1.99	2.07
33.1		2.25	1.84		2.42	1.70	1.76	1.92	1.92	1.50	3.05	1.65	2.04	1.95	2.03
34.6		2.18	1.78		2.36	1.66	1.72	1.87	1.87	1.46	2.98	1.60	1.98	1.90	1.98
33.5		2.10	1.72		2.28	1.60	1.67	1.81	1.80	1.40	2.88	1.54	1.91	1.84	1.90
34.1		2.11	1.68		2.19	1.61	1.65	1.77	1.74	1.83	2.77	1.52	1.90	1.81	1.96

34.0		2.06	1.64		2.12	1.57	1.62	1.73	1.69	1.80	2.67	1.48	1.85	1.76	1.91
36.0		2.16	1.73		2.22	1.64	1.68	1.81	1.76	1.88	2.81	1.57	1.94	1.84	2.01
38.0		2.28	1.83		2.33	1.72	1.76	1.90	1.87	1.96	2.96	1.67	2.06	1.93	2.11
40,8		2,48	1,97		2,50	1,85	1,89	2,03	2,00	2,09	3,16	1,81	2,23	2,07	2,26
40,8		2,50	1,97		2,50	1,85	1,88	2,04	2,01	2,08	3,17	1,81	2,24	2,07	2,27
42,8		2,62	2,09		2,61	1,93	1,96	2,13	2,10	2,17	3,32	1,92	2,35	2,16	2,38
45,8		2,84	2,25		2,80	2,07	2,10	2,27	2,26	2,31	3,59	2,08	2,54	2,31	2,56
45,7		2,86	2,26		2,82	2,07	2,11	2,29	2,28	2,32	3,61	2,09	2,56	2,32	2,57
47,7		2,97	2,37		2,94	2,17	2,21	2,38	2,37	2,40	3,78	2,19	2,67	2,42	2,68
50,5		3,18	2,54		3,23	2,33	2,39	2,52	2,53	2,56	4,15	2,35	2,86	2,62	2,90
50,5		3,20	2,56		3,27	2,34	2,41	2,53	2,56	2,69	4,24	2,37	2,88	2,64	2,96
52,6		3,60	2,84		3,53	2,58	2,51	2,63	2,77	2,82	4,54	2,58	3,22	2,81	3,17
55,5		4,02	3,46		4,04	2,86	2,97	3,32	3,05	3,16	5,18	3,29	3,74	3,30	3,67
55,5		4,10	3,57		4,20	2,92	3,08	3,39	3,20	3,20	5,33	3,35	3,83	3,40	3,77
57,3		4,49	4,65		4,51	3,14	3,28	3,64	3,40	3,44	5,80	3,72	4,57	3,64	4,09
60,4		6,07			7,09	4,27	3,96	4,38	3,76	4,03			6,07	4,93	3,90
60,4					7,72	4,32	3,99		3,86					5,34	3,86
60,3					7,54	4,10								5,82	
60,8					7,56	4,12								5,84	
61,8					7,77	4,59								6,18	
62,3					8,16	4,95								6,55	
62,5					8,48									8,48	
63,8					9,45									9,45	
65,2															
65,3															
65,8															
66,5															
67,1															
67,3															
67,4															
68,0															
68,8															
69,7															
70,1															
70,3															
70,5															
71,2															
71,6															
70,8															
68,7															
69,9															
70,9															
71,6															
71,9															
72,0															
52,6															
43,3															

Pomiary odkształceń wykonywano tensometrami elektrooporowymi TFs-5 o bazie 5mm.
 Strain measurements were carried out by means of electric resistance gauges TFs-5 on the bases of 5mm.

B16-asp-e





Tablica Z7.7 Odształcenia betonu, ϵ_t , ϵ_c (pomiar ręczny)

Table Z7.7 Concrete strain ϵ_t , ϵ_c (manual measurements)

Nr / No	Lokalizacja / Localization	Siła zewnętrzna / External load														
		Na stanowisku badawczym / Inside test set-up														
		Podczas badania / During the test														
		Przed wzmocnieniem / Before strengthening							Po wzmocnieniu / After strengthening							
		0 kN	6.3kN	11.3kN	16.3kN	21.3kN	26.3kN	31.3kN	34.3kN	34.3kN	34.3kN	41.3kN	46.3kN	51.3kN	56.3kN	61.3kN
Odształcenia betonu w strefie rozciąganej / Concrete strain in tension zone, ϵ_t (%)																
1	5845	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.05	-0.06	-0.06	-0.08	-0.09	-0.09
2	5642	0.11	0.06	0.00	-0.07	-0.04	-0.06	-0.08	-0.10	-0.11	-0.19	-0.17	-0.16	-0.20	-0.23	-0.24
3	5438	0.13	0.06	0.00	-0.03	-0.07	-0.07	-0.17	-0.22	-0.25	-0.31	-0.31	-0.34	-0.37	-0.39	-0.43
4	5235	0.13	0.06	0.00	-0.03	-0.08	-0.13	-0.19	-0.23	-0.26	-0.24	-0.29	-0.31	-0.36	-0.38	-0.41
5	5032	0.15	0.08	0.00	-0.05	-0.12	-0.20	-0.24	-0.29	-0.31	-0.29	-0.31	-0.35	-0.39	-0.44	-0.49
6	4829	0.15	0.10	0.00	-0.10	-0.22	-0.30	-0.35	-0.41	-0.44	-0.41	-0.44	-0.49	-0.53	-0.57	-0.61
7	4626	0.22	0.17	0.00	-0.08	-0.16	-0.23	-0.29	-0.33	-0.36	-0.36	-0.39	-0.45	-0.50	-0.52	-0.59
8	4422	0.24	0.20	0.00	-0.10	-0.20	-0.29	-0.34	-0.41	-0.44	-0.44	-0.48	-0.54	-0.60	-0.64	-0.72
9	4219	0.19	0.16	0.00	-0.07	-0.16	-0.22	-0.27	-0.31	-0.35	-0.35	-0.39	-0.45	-0.49	-0.53	-0.60
10	4016	0.20	0.17	0.00	-0.09	-0.16	-0.23	-0.28	-0.35	-0.37	-0.39	-0.43	-0.49	-0.54	-0.59	-0.67
11	3813	0.18	0.19	0.00	-0.10	-0.21	-0.29	-0.33	-0.39	-0.43	-0.47	-0.49	-0.54	-0.61	-0.65	-0.73
12	3610	0.15	0.15	0.00	-0.08	-0.15	-0.20	-0.25	-0.29	-0.32	-0.36	-0.38	-0.43	-0.50	-0.54	-0.60
13	3406	0.17	0.16	0.00	-0.09	-0.18	-0.25	-0.30	-0.34	-0.39	-0.41	-0.47	-0.53	-0.58	-0.63	-0.69
14	3203	0.15	0.17	0.00	-0.10	-0.18	-0.23	-0.28	-0.31	-0.34	-0.37	-0.42	-0.48	-0.53	-0.58	-0.64
15	3000	0.17	0.15	0.00	-0.08	-0.17	-0.25	-0.29	-0.33	-0.36	-0.39	-0.43	-0.49	-0.54	-0.58	-0.65
16	2797	0.09	0.15	0.00	-0.10	-0.20	-0.27	-0.30	-0.38	-0.42	-0.43	-0.49	-0.55	-0.60	-0.65	-0.72
17	2594	0.16	0.16	0.00	-0.09	-0.17	-0.23	-0.29	-0.33	-0.35	-0.38	-0.50	-0.52	-0.53	-0.58	-0.68
18	2390	0.13	0.12	0.00	-0.07	-0.15	-0.20	-0.25	-0.30	-0.32	-0.36	-0.38	-0.45	-0.49	-0.54	-0.62
19	2187	0.17	0.14	0.00	-0.10	-0.18	-0.26	-0.31	-0.36	-0.41	-0.43	-0.47	-0.54	-0.58	-0.63	-0.70
20	1984	0.12	0.14	0.00	-0.11	-0.18	-0.25	-0.30	-0.32	-0.37	-0.39	-0.44	-0.50	-0.55	-0.58	-0.66
21	1781	0.13	0.13	0.00	-0.07	-0.15	-0.22	-0.28	-0.32	-0.36	-0.36	-0.38	-0.44	-0.50	-0.55	-0.65
22	1578	0.18	0.16	0.00	-0.08	-0.17	-0.24	-0.28	-0.31	-0.35	-0.35	-0.40	-0.45	-0.48	-0.47	-0.60
23	1374	0.13	0.10	0.00	-0.11	-0.16	-0.22	-0.28	-0.32	-0.34	-0.35	-0.38	-0.43	-0.51	-0.51	-0.57
24	1171	0.14	0.09	0.00	-0.07	-0.17	-0.25	-0.31	-0.35	-0.37	-0.37	-0.39	-0.44	-0.48	-0.52	-0.59
25	968	0.09	0.08	0.00	-0.04	-0.13	-0.23	-0.24	-0.28	-0.31	-0.28	-0.29	-0.33	-0.37	-0.40	-0.49
26	765	0.09	0.06	0.00	-0.04	-0.08	-0.14	-0.19	-0.22	-0.24	-0.25	-0.23	-0.26	-0.27	-0.31	-0.36
27	562	0.12	0.05	0.00	-0.02	-0.06	-0.11	-0.14	-0.16	-0.19	-0.22	-0.22	-0.25	-0.26	-0.27	-0.31
28	358	0.05	0.03	0.00	-0.02	-0.04	-0.05	-0.07	-0.10	-0.10	-0.14	-0.14	-0.17	-0.19	-0.20	-0.23
29	155	0.07	0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.07

B16-asp-e

Nr / No	Lokalizacja / Localization	Siła zewnętrzna / External load															
		Poza stanowiskiem na 4 podporach / Outside test set-up on 4 supports		Na stanowisku badawczym / Inside test set-up													
				Podczas badania / During the test													
				Przed wzmocnieniem / Before strengthening							Po wzmocnieniu / After strengthening						
		0 kN	6.3kN	11.3kN	16.3kN	21.3kN	26.3kN	31.3kN	34.3kN	34.3kN	34.3kN	41.3kN	46.3kN	51.3kN	56.3kN	61.3kN	
Odształcenia betonu w strefie ściskanej / Concrete strain in compression zone, ϵ_c (‰)																	
1	5845	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.09	0.06	0.09	0.10	0.10	0.12	0.13
2	5642	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.05	0.01	0.02	0.02	0.47	0.41	0.43	0.48	0.50	0.51	0.54
3	5438	-0.03	-0.03	0.00	0.03	0.07	0.13	0.34	0.47	0.56	1.07	1.07	1.13	1.19	1.24	1.32	1.41
4	5235	-0.05	-0.04	0.00	0.04	0.10	0.20	0.34	0.50	0.58	0.50	0.66	0.75	0.84	0.97	1.15	1.36
5	5032	-0.05	-0.05	0.00	0.04	0.10	0.26	0.39	0.58	0.71	0.47	0.59	0.70	0.80	0.97	1.12	1.31
6	4829	-0.15	-0.14	0.00	0.19	0.57	0.90	1.26	1.58	1.68	1.17	1.12	1.32	1.48	1.63	1.78	1.97
7	4626	-0.10	-0.09	0.00	0.13	0.32	0.52	0.74	0.94	1.08	0.79	0.78	0.91	1.02	1.14	1.32	1.51
8	4422	-0.09	-0.09	0.00	0.14	0.33	0.56	0.78	0.96	1.08	0.80	0.77	0.90	1.00	1.13	1.28	0.45
9	4219	-0.22	-0.20	0.00	0.32	0.73	1.06	1.44	1.81	2.02	1.51	1.48	1.74	1.96	2.21	2.51	2.82
10	4016	-0.12	-0.11	0.00	0.19	0.47	0.87	1.24	1.62	1.82	1.40	1.39	1.61	1.83	2.06	2.35	2.74
11	3813	-0.11	-0.10	0.00	0.28	0.67	0.99	1.33	1.63	1.79	1.40	1.38	1.61	1.80	2.01	2.35	2.84
12	3610	-0.14	-0.15	0.00	0.26	0.59	0.95	1.35	1.72	1.93	1.49	1.49	1.76	1.99	2.25	2.71	3.34
13	3406	-0.13	-0.13	0.00	0.28	0.70	0.97	1.36	1.67	1.85	1.44	1.42	1.68	1.90	2.19	2.68	2.98
14	3203	-0.16	-0.17	0.00	0.31	0.59	0.90	1.23	1.55	1.70	1.30	1.29	1.53	1.73	2.00	2.40	3.13
15	3000	-0.12	-0.16	0.00	0.29	0.84	1.35	1.87	2.37	2.65	2.10	1.10	2.41	2.73	3.11	3.78	4.94
16	2797	-0.08	-0.13	0.00	0.29	0.67	0.98	1.28	1.58	1.73	1.35	1.35	1.59	1.80	2.05	2.49	3.21
17	2594	-0.13	-0.17	0.00	0.34	0.74	1.09	1.45	1.78	1.99	1.55	1.52	1.79	2.01	2.31	2.79	3.58
18	2390	-0.12	-0.16	0.00	0.21	0.60	0.95	1.36	1.74	1.96	1.54	1.53	1.81	2.04	2.33	2.82	4.01
19	2187	-0.06	-0.12	0.00	0.21	0.48	0.76	1.02	1.29	1.44	1.11	1.10	1.30	1.45	1.65	1.95	2.52
20	1984	-0.20	-0.25	0.00	0.41	0.87	1.26	1.68	2.09	2.31	1.75	1.71	2.03	2.28	2.56	2.90	3.26
21	1781	-0.06	-0.11	0.00	0.18	0.37	0.72	1.00	1.28	1.44	1.08	1.08	1.27	1.44	1.60	1.85	2.11
22	1578	-0.11	-0.13	0.00	0.24	0.57	0.84	1.10	1.38	1.52	1.09	1.05	1.27	1.46	1.59	1.77	1.94
23	1374	-0.04	-0.11	0.00	0.11	0.32	0.67	0.98	1.29	1.46	1.07	1.07	1.26	1.42	1.59	1.81	2.06
24	1171	-0.02	-0.07	0.00	0.08	0.25	0.42	1.60	0.80	0.92	0.64	0.60	0.74	0.83	0.93	1.05	1.26
25	968	-0.04	-0.08	0.00	0.09	0.35	0.61	0.88	1.12	1.27	0.89	0.87	1.00	1.11	1.24	1.40	1.51
26	765	0.00	-0.05	0.00	0.03	0.04	0.12	0.24	0.34	0.38	0.31	0.31	0.35	0.38	1.44	0.49	0.56
27	562	0.00	-0.01	0.00	0.03	0.05	0.11	0.21	0.31	0.38	0.43	0.46	0.50	0.55	0.64	0.73	0.83
28	358	0.00	-0.02	0.00	0.02	0.01	0.04	0.06	0.10	0.12	0.19	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.37
29	155	0.02	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.04	0.07	0.09	0.10	0.11	0.16	0.20	0.24

	Siła zewnętrzna / External load															
	Poza stanowiskiem na 4 podporach / Outside test set-up on 4 supports		Na stanowisku badawczym / Inside test set-up													
			Podczas badania / During the test													
			0 kN	6.3kN	11.3kN	16.3kN	21.3kN	26.3kN	31.3kN	34.3kN	34.3kN	34.3kN	41.3kN	46.3kN	51.3kN	56.3kN
$\epsilon_{c,av}$ (‰)	0.15	0.16	0.00	-0.09	-0.18	-0.24	-0.29	-0.34	-0.38	-0.40	-0.46	-0.52	-0.56	-0.60	-0.68	-0.71
$\epsilon_{t,av}$ (‰)	-0.12	-0.15	0.00	0.30	0.71	1.06	1.44	1.79	1.98	1.55	1.33	1.80	2.03	2.33	2.83	3.57
K (1/m)	-0.0018	-0.0020	0.0000	0.0026	0.0059	0.0087	0.0115	0.0142	0.0157	0.0130	0.0120	0.0154	0.0173	0.0196	0.0233	0.0285

Pomiary odkształceń wykonywano przy użyciu ekstensometru nasadowego o bazie 8'.
Concrete strain measurements measured by hand with dial strain gauges of 8' working range.

