



Stany zarysowania i ugięcia tarcz żelbetowych z otworami z fibrobetonu wysokowartościowego

PIOTR SMARZEWSKI

Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury,
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 40, p.smarzewski@pollub.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizy stanów zarysowania i ugięcia tarcz żelbetowych z otworami z betonu wysokowartościowego z włóknami stalowymi i polipropylenowymi. Badania przeprowadzono dla trzech elementów zróżnicowanych pod względem ilości i rodzaju zbrojenia. W tarczy T1 skonstruowano tradycyjne zbrojenie prętami stalowymi. W tarczach T2 i T3 zamiast siatek zastosowano zbrojenie rozproszone o zmiennej procentowej objętości włókien. Analizy zachowania tarcz pod obciążeniem statycznym przedstawiono na podstawie pomiarów rys i ugięć.

Słowa kluczowe: tarcze żelbetowe z otworami, beton wysokowartościowy, włókno stalowe, włókno polipropylenowe, stan zarysowania, ugięcia

DOI: 10.5604/12345865.1116932

1. Wprowadzenie

Tarcze żelbetowe to elementy konstrukcyjne stosowane między innymi w budynkach wysokich i budowach hydrotechnicznych. Często wykonywane są z otworami na drzwi, okna i kanały wentylacyjne. Prace eksperymentalne i analityczne nad zachowaniem tarcz prowadzone są od 1972 roku [1-9]. Dotyczą one analizy nośności w zależności od wymiarów, warunków brzegowych w strefach podparcia i obciążenia, sposobu zbrojenia i betonowania oraz rozmieszczenia i kształtu ewentualnych otworów.

Rozproszenie włókien stalowych w betonie skutkuje poprawą jego charakterystyk statycznych i dynamicznych. Cechy te są również pożądane w elementach betonowych zbrojonych tradycyjnie, w szczególności w strefach ścinanych.

Wyniki badania elementów tarczowych wzmacnianych włóknami stalowymi lub polipropylenowymi przedstawiono w pracach [6, 9].

Przedmiotem pracy są tarcze z betonu wysokowartościowego z dwoma symetrycznie rozmieszczonymi otworami kwadratowymi. Celem pracy jest określenie wpływu dodatku włókien hybrydowych: stalowych i polipropylenowych na zarysowania i ugięcia tarcz żelbetowych z betonu wysokowartościowego obciążonych siłą przyłożoną w środku rozpiętości.

2. Badania laboratoryjne

2.1. Przygotowanie tarcz

Przedmiotem badania są trzy tarcze o wymiarach $1000 \times 500 \times 100$ mm z dwoma otworami 150×150 mm.

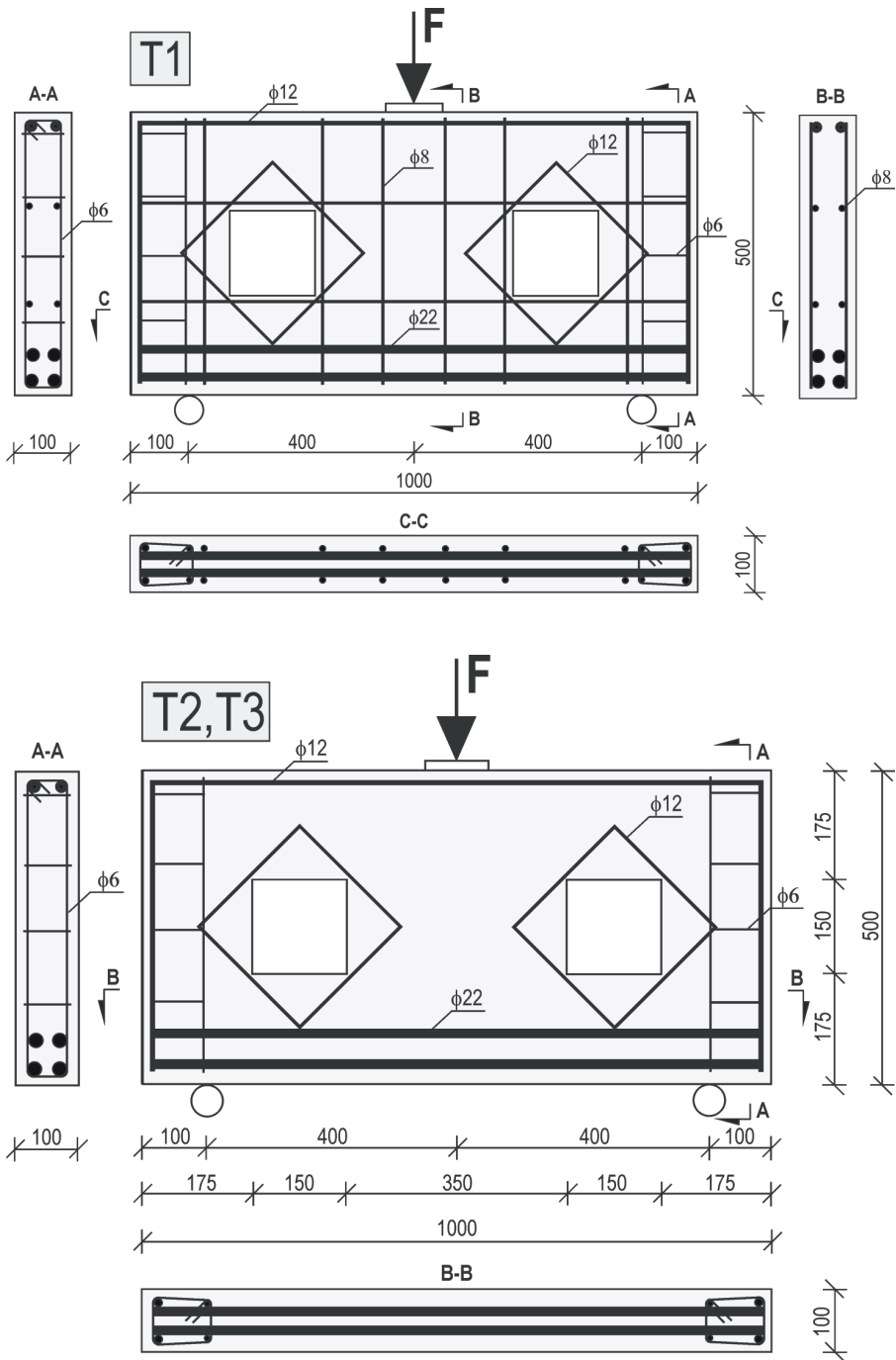
Tarcze wykonano z betonu wysokowartościowego z dodatkiem włókien stalowych i polipropylenowych. Elementy różnicowano poprzez ilość dodanego zbrojenia rozproszonego i układ zbrojenia prętami stalowymi. Nominalną zawartość włókien w fibrobecie określono ze wzoru $V_{fs} = W_{fs} / \rho_{fs}$, w którym W_{fs} oznacza zawartość włókien stalowych w jednostce masy w 1 m^3 , a ρ_{fs} jest gęstością materiału włókien w kg/m^3 . Zawartość włókien stalowych $V_{fs} = 0,01 = 1\%$ odpowiada dozowaniu 78 kg włókien stalowych do 1 m^3 mieszanki betonowej. Analogicznie wyznaczono nominalną zawartość włókien polipropylenowych V_{fp} . Składy ilościowe mieszanek betonowych podano w tabeli 1.

TABELA 1

Składy ilościowe mieszanek betonowych

	Skład mieszanki	Tarcza T1	Tarcza T2	Tarcza T3
		1000 × 500 × 100 mm		
		ilość [kg/m ³]		
Beton wysokowartościowy	cement CEM I 52.5R	596		
	mikrokrzemionka	59,6		
	granodioryt 2-8 mm	990		
	piasek	500		
	superplastyfikator	20		
	woda	177		
Włókna	stalowe	–	78 [1%]	117 [1,5%]
	polipropylenowe	–	0,5 [0,05%]	1 [0,1%]

Wskaźnik woda/składniki wiążące wynosi 0,27.

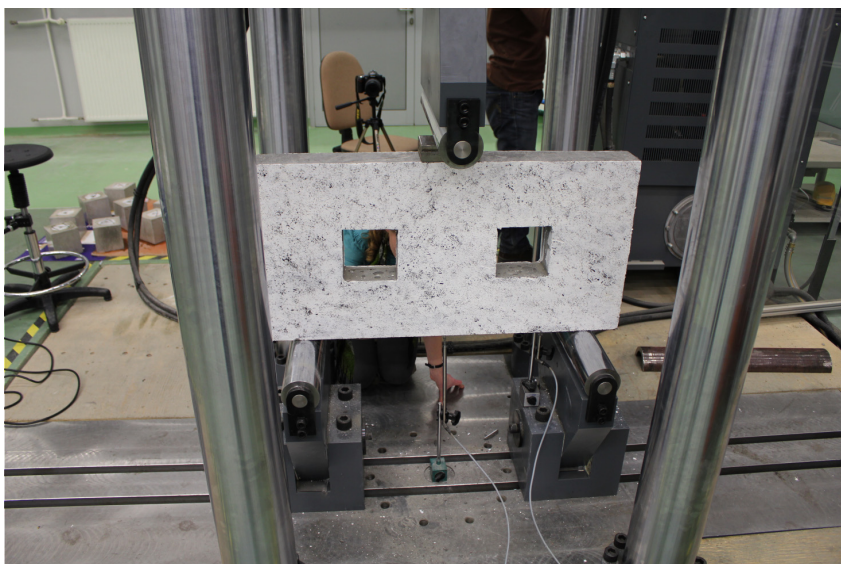


Rys. 1. Wymiary i rozmieszczenie zbrojenia w tarczach

Dodatkowo przeprowadzono badania wytrzymałości betonu i fibrobetonu na ściskanie, na rozciąganie przez rozłupywanie, na rozciąganie przy zginaniu i modułu sprężystości. Wytrzymałości betonu i fibrobetonów na ściskanie próbek walcowych wykonanych według receptur T1, T2 i T3 wynosiły odpowiednio $f_{c1} = 117$ MPa, $f_{c2} = 111$ MPa i $f_{c3} = 114$ MPa. Pręty zbrojeniowe o średnicach $\phi 6$, $\phi 8$, $\phi 12$ i $\phi 22$ mm i długości 300 mm badano w prasie MTS 810. Więcej informacji dotyczących przygotowania elementów tarczowych i przeprowadzonych badań własności betonu, fibrobetonu i stali zbrojeniowej przedstawiono w artykule [8]. Układ zbrojenia i schemat obciążenia zaprezentowano na rysunku 1.

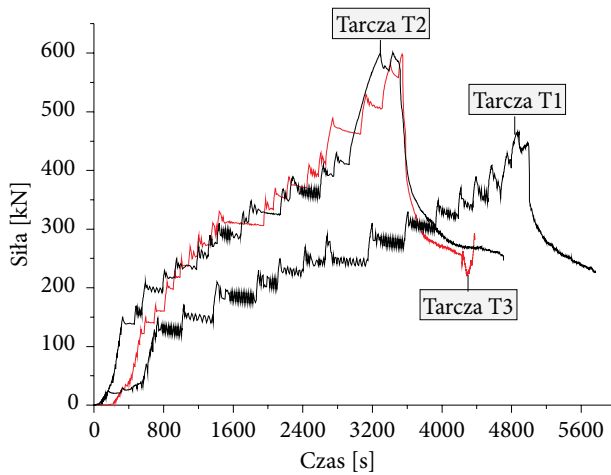
2.2. Badania tarcz

Sposób ustawienia elementów na stanowisku badawczym przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przygotowane stanowisko badawcze tarczy T1

Obciążenie przykładano etapowo co 20 kN za pośrednictwem płytek stalowych aż do zniszczenia elementów (rys. 3). W każdym etapie rejestrowano szerokości rys, ich propagację i wartości sił. W środku rozpiętości i przy podporze wykonano pomiary ugięć za pomocą czujników LVDT połączonych z mostkiem tensometrycznym.

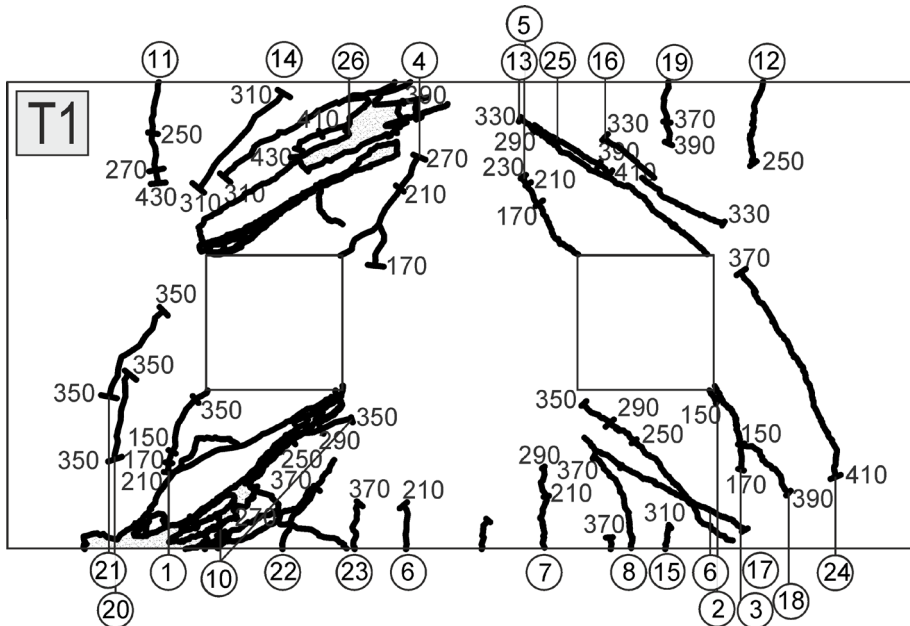


Rys. 3. Etapowy przebieg badania elementów

3. Analiza wyników

3.1. Stany zarysowania

Na rysunku 4 zilustrowano obrazy zarysowania tarcz.



Tarcza T1 z betonu wysokowartościowego z siatkami zbrojeniowymi

- siła maksymalna: 466,2 kN,
- numery rys prostopadłych: 6, 7, 11, 12, 15, 19, 23,
- numery rys ukośnych: 1-5, 8, 10, 13, 14, 16-18, 20-22, 25, 26,
- siła rysująca: 130 kN,
- wskaźnik siły rysującej do maksymalnej: 28%,
- numery rys niszczących: 4, 10, 26.

Z górnych naroży prawego i lewego otworu w kierunku strefy przyłożenia siły bieżyły odpowiednio rysy nr 25 i 26 powstałe przy siłach 260 i 390 kN. Przy dolnej krawędzi tarczy zaobserwowano małe rysy prostopadłe. Największy przyrost szerokości wszystkich rys wystąpił na poziomie 400 kN. Obszary miażdżenia betonu powstały na lewej podporze. Zniszczenie elementu T1 miało charakter gwałtowny, ze względu na wysoką wytrzymałość betonu i brak zbrojenia rozproszonego.

Tarcza T2 z betonu wysokowartościowego z włóknami stalowymi (1%) i polipropylenowymi (0,05%)

- siła maksymalna: 600,8 kN,
- numery rys prostopadłych: 21, 22,
- numery rys ukośnych: 1-12, 14, 16, 17, 20, 23, 24,
- siła rysująca: 140 kN,
- wskaźnik siły rysującej do maksymalnej: 23,3%,
- numery rys niszczących: 14, 16.

W tarczy T2 pierwsza rysa powstała później niż w tarczy żelbetowej T1. Niszcząca rysa ukośna nr 14 pojawiła się w górnym rogu prawego otworu dla wartości siły 390 kN i propagowała się w kierunku jej miejsca przyłożenia. Znaczny przyrost szerokości rys wystąpił na poziomie 500 kN. Zniszczenie tarczy ze względu na zbrojenie rozproszone nie miało gwałtownego charakteru. W miejscach podparcia i strefie obciążenia beton uległ zmiażdżeniu. W odróżnieniu od tarczy T1 przy dolnej krawędzi nie zaobserwowano powstawania rys prostopadłych od rozciągania przy zginaniu. Jedynie przy górnej krawędzi tarczy pojawiły się nieliczne rysy prostopadłe. Zarówno liczby rys, jak i ich szerokości były mniejsze niż w tarczy T1.

Tarcza T3 z betonu wysokowartościowego z włóknami stalowymi (1,5%) i polipropylenowymi (0,1%)

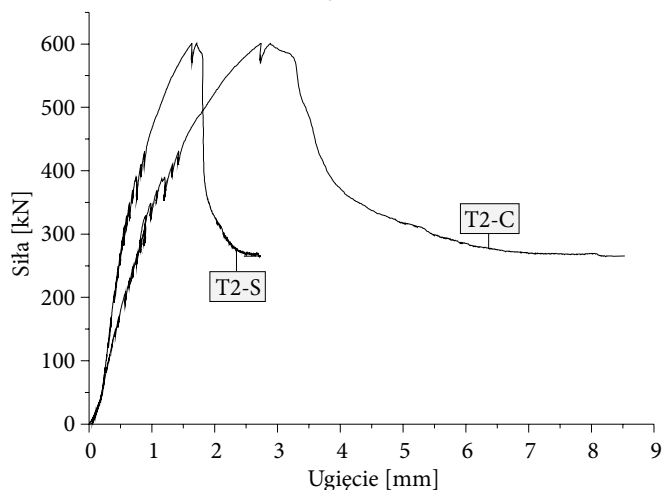
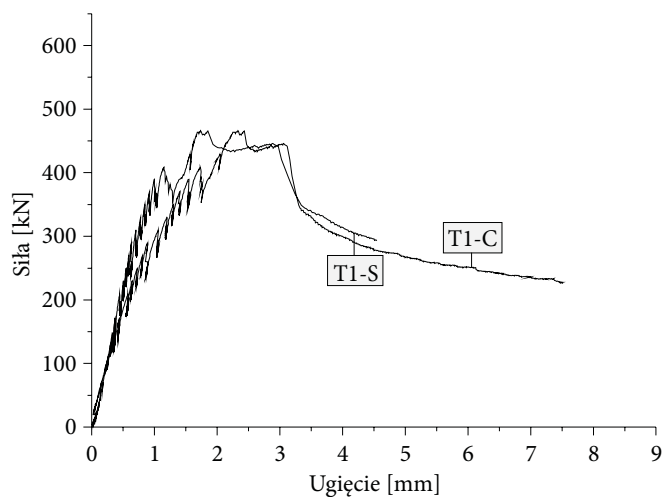
- siła maksymalna: 598,3 kN,
- numery rys prostopadłych: 5-7, 10, 11, 18, 19, 23, 24, 26,
- numery rys ukośnych: 1-4, 8, 9, 12-17, 20-22,
- siła rysująca: 150 kN,
- wskaźnik siły rysującej do maksymalnej: 25,1%,
- numery rys niszczących: 8, 12.

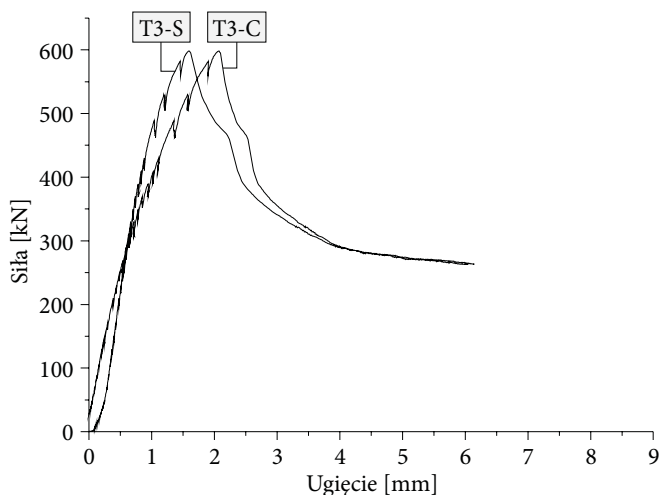
Rysa nr 8 powstała przy obciążeniu 330 kN i przebiegała od miejsca podparcia tarczy do dolnego rogu lewego otworu. Druga rysa niszcząca nr 12 pojawiła się na poziomie 390 kN i przebiegała równoległe do rysy nr 8 od górnego narożnika

otworu do miejsca przyłożenia siły. Znaczny przyrost szerokości rys zauważono przy obciążeniu 530 kN. Zniszczenie tarczy T3 miało zbliżony charakter do tarczy T2. W odróżnieniu do poprzednich elementów, w znacznym stopniu ograniczone zostało rozwarcie rys. Przy dolnej krawędzi odnotowano powstanie rys prostopadłych.

3.2. Stany ugięcia

Badania ugięć przeprowadzono przy użyciu czujników LVDT połączonych z mostkiem tensometrycznym, ustawionych przy podporze i w środku rozpiętości w zakresie ograniczonym do obciążeń eksploatacyjnych. Zachowanie się tarcz pod obciążeniem zilustrowano na wykresach siła–ugięcie (rys. 5).





Rys. 5. Ugięcia tarcz w środku rozpiętości (C) i przy podporze (S) w zakresie obciążeń eksploatacyjnych

Analizując powyższe wykresy, stwierdzono, że przy obciążeniu eksploatacyjnym ugięcia przy podporze (S) we wszystkich tarczach były bardzo zbliżone i wynosiły około 0,8 mm. Z kolei ugięcia w środku (C) były największe w tarczy T2 o mniejszej zawartości włókien. Największą sztywnością charakteryzowała się tarcza T3, w której ugięcia w środku (C) różniły się jedynie o 0,12 mm od ugięcia przy podporze (S). Taka tendencja przyrostu ugięć utrzymała się przy obciążeniach maksymalnych i niszczących. Wyniki opisujące zależności siła–ugięcie przedstawiono w tabeli 2. W kolejności podano wartości ugięć i odpowiadających im sił przy podporze i w środku elementów: w stanie eksploatacji α_{sS} , α_{sC} przy sile F_s odpowiadającej 60% wartości siły maksymalnej F_{max} , w stanie działania obciążenia maksymalnego $F_{max} - \alpha_{F_{max}S}$, $\alpha_{F_{max}C}$, w stanie zniszczenia α_{uS} , α_{uC} przy sile F_u .

TABELA 2

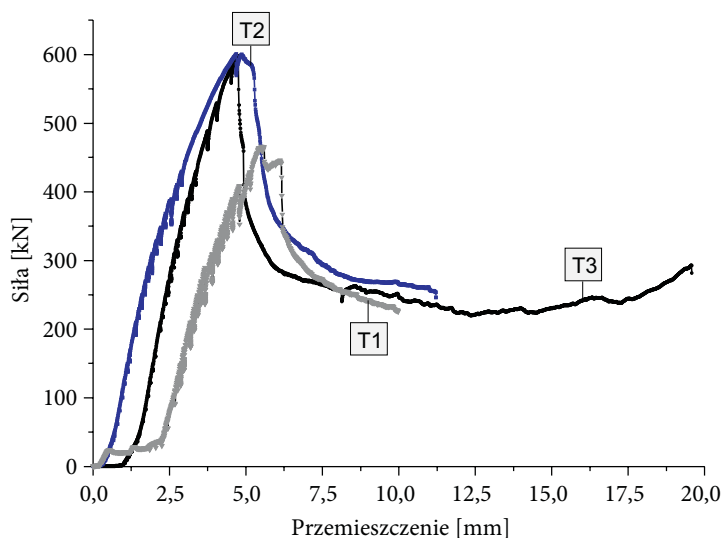
Charakterystyki krzywych siła–ugięcie

Symbol tarczy	α [mm]						F [kN]		
	α_{sS}	α_{sC}	$\alpha_{F_{max}S}$	$\alpha_{F_{max}C}$	α_{uS}	α_{uC}	F_s	F_{max}	F_u
T1	0,72	1,06	1,74	2,33	4,55	7,51	279,7	466,2	225,7
T2	0,76	1,20	1,63	2,74	2,46	8,34	360,5	600,8	264,8
T3	0,75	0,87	1,59	2,06	5,94	6,12	359,0	598,3	263,1

Ze względu na niebezpieczeństwo uszkodzenia czujników do pomiaru przemieszczeń, na rysunku 6 przedstawiono wykresy siła–przemieszczenie tłoka uzyskane

z maszyny wytrzymałościowej w całym zakresie obciążenia tarcz aż do ich zniszczenia.

Przed pojawieniem się pierwszych rys przyrosty ugięć tarczy T1 nie były znaczne. Podobny charakter miała odpowiedź na obciążenie tarczy T2. W elemencie T3 zauważono, że ugięcia przyrastały dużo wolniej. Ich wzrost, podobnie jak w elemencie T2, był jednostajny, ale znaczny skok wartości zanotowano dopiero po przekroczeniu 520 kN, czyli 85% maksymalnego obciążenia.



Rys. 6. Przemieszczenie tłoka prasy w całym zakresie obciążenia elementów tarczowych

Podsumowanie

Na podstawie analizy wyników rys stwierdzono, że w tarczach z otworami dominującym stanem naprężenia jest ścinanie, o czym świadczą rozkłady rys ukośnych. Wraz z dodatkiem włókien wzrastają rysoodporność i nośność na ścinanie elementów tarczowych, a maleją ugięcia. Elementy ze zbrojeniem rozproszonym w tarczach T2 i T3 miały bardzo zbliżoną wartość maksymalnej siły ścinającej, lecz tarcza T3 z dużą zawartością włókien stalowych i polipropylenowych charakteryzowała się znacznie większą ciągliwością. Zbrojenie rozproszone znakomicie zastąpiło siatki ortogonalne, zwiększając jednocześnie nośność elementów T2 i T3 o około 20%.

Wyniki prac były finansowane w ramach środków statutowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr S/15/2012.

Artykuł wpłynął do redakcji 3.03.2014 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 20.05.2014 r.

LITERATURA

- [1] ARABAZADEH A., AGHAYARI R., RAHAI A.R., *Investigation of experimental and analytical shear strength of reinforced concrete deep beams*, International Journal of Civil and Structural Engineering, 9, 3, 2011, 207-214.
- [2] EL MAADDAWY T., SHERIF S., *FRP composites for shear strengthening of reinforced concrete deep beams with openings*, Composite Structures, 89, 2009, 60-69.
- [3] FOSTER S.J., GILBERT R.I., *Tests on High Strength Concrete Deep Beams*, The University of New South Wales, Sydney, Australia, June 1996.
- [4] KONG F.K., *Reinforced concrete deep beams*, Taylor & Francis Books, 2002.
- [5] LEONHARDT F., MÖNNING E., *Vorlesungen über Massivbau, teil.2, Sonderfälle der Bemessung im Stahlbetonbau*, Springer Verlag, Berlin, 1975.
- [6] SHANMUGAM N.E., SWADDIWUDHIPONG S., *The ultimate load behavior of fiber reinforced concrete deep beams*, The Indian Concrete Journal, 58, 8, 12-14.
- [7] SINGH R., RAY S.P., REDDY C.S., *Some tests on reinforced concrete deep beams with and without opening in the web*, The Indian Concrete Journal, 54, 7, 189, 1980.
- [8] SMARZEWSKI P., SPACZYŃSKA R., *Analiza stanów granicznych tarcz żelbetowych z otworami z betonu wysokowartościowego z dodatkiem włókien*, Budownictwo i Architektura, 10, 2012, 27-36.
- [9] VENGATACHALAPATHY V., ILANGOVA R., *A Study on Steel Fibre Reinforced Concrete Deep Beams with and without Openings*, International Journal of Civil and Structural Engineering, 1, 3, 2010, 509-517.

P. SMARZEWSKI

Analysis of crack and deflection states of high performance reinforced fiber concrete deep beams with openings

Abstract. The article presents the crack and deflection states analysis of the reinforced deep beams with openings made of high performance steel and polypropylene fibre concrete. Research was carried out with regard to quantity and the type of reinforcement. The deep beam T1 was constructed conventionally with steel rods reinforcement. As regards deep beams T2 and T3, instead of the steel wire mesh, fibre reinforcement of variable fibre volume percentage was applied. The analysis of the behaviour of the deep beams under static load was based on the measurements of cracks and deflections.

Keywords: reinforced concrete deep beams with openings, high performance concrete, steel fibre, polypropylene fibre, crack state, deflections