

Ugięcie belek fibropiaskobetonowych wykonanych na bazie piasku odpadowego

Dr inż. Jacek Domski, Politechnika Koszalińska

1. Wprowadzenie

Podstawową zależnością określaną w badaniu zginanych belek fibrobetonowych jest relacja pomiędzy obciążeniem a ugięciem. Dla elementów drobnowymiarowych, na podstawie powyższej zależności można wyznaczyć wiele różnych parametrów fibrobetonu (m.in. wskaźnik odporności na zginanie), które nie mają jednak bezpośredniego zastosowania do opisu ugięcia pełnowymiarowych zginanych belek fibrobetonowych ze zbrojeniem wiotkim, ponieważ zastosowane pręty stalowe w znacznym stopniu wpływają na charakter krzywej obciążenie – ugięcie.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań ugięcia zbrojonych belek fibropiaskobetonowych (na bazie piasku odpadowego) i porównano je z wartościami wyznaczonymi zgodnie z PN-B-03264:2002 [15] i propozycją autorstwa Tana, Paramasivama i Tana [17] oraz zmodyfikowaną metodą Alsayeda [3].

2. Metody obliczania ugięcia elementów belkowych

Metody obliczania ugięcia elementów fibrobetonowych obejmowały początkowo „beleczi” bez zbrojenia wiotkiego [15], [12], [9]. Jednymi z pierwszych, którzy w 1987 roku uwzględnili w swoich analizach zarówno pręty zbrojeniowe, jak i włókna stalowe byli: Craig [5], Liqiu i Guofan [13] oraz Lim, Paramasivam i Lee [11]. W 1992 roku Hsu, He i Ezeldin [7] zaproponowali metodę wyznaczania ugięcia belek jednoprzęsłowych. Kolejne dwie propozycje obliczeń, polegające na modyfikacji sztywności analizowanych belek, powstały w 1993 roku. Pierwsza z nich to propozycja Alsayeda [3], natomiast druga jest autorstwa Ashoura i Wafa [4], i dotyczy belek wykonanych z betonu o wysokiej wytrzymałości (powyżej 80 MPa). Tan, Paramasivam i Tan [17] zaproponowali w 1994 roku modyfikację metody Bransona (dla betonu zwykłego), polegającą na uwzględnieniu wpływu włókien stalowych na sztywność belki, zaś w 1995 roku Ezeldin i Shiah [6] przedstawili sposób obliczania ugięcia belek fibrobetonowych, zarówno pod obciążeniem doraźnym, jak i długotrwałym.

Wymienione wyżej metody obliczania stanu granicznego ugięcia belek z dodatkiem włókien stalowych dotyczą elementów fibrobetonowych, wykonanych na bazie betonu zwykłego. W celu określenia metody obliczania ugięcia fibropiaskobetonów wykonanych na bazie piasku odpadowego, zmodyfikowano metodę Alsayeda [3]. Uwzględniała ona wpływ dodatku włókien poprzez współczynnik (zawierający ilość i smukłość włókien) korygujący wartość całkowitego momentu bezwładności. Proponowana zmiana polega na przyjęciu, przy wyznaczaniu sztywności belki, modułu sprężystości fibropiaskobetonu zamiast modułu sprężystości betonu zwykłego, ponieważ jak podano w [8], włókna mogą powodować spadek modułu sprężystości o około 10% w sto-

unku do matrycy drobnoziarnistej bez uzbrojenia.

Alsayed ograniczył swoje rozważania jedynie do pracy elementu po jego zarysowaniu, co nie obejmuje całości zagadnienia. W niniejszej propozycji obliczeń ugięcia w fazie pierwszej (dla elementów niezarysowanych) należy wyznaczać, zachowując konsekwencję w stosunku do obliczeń w fazie drugiej (jak dla elementów zarysowanych) – zgodnie ze wzorami podanymi w ACI [1], przy uwzględnieniu cech mechanicznych fibropiaskobetonu.

3. Skład mieszanek betonowych oraz program badań elementów próbnych

Recepturę matrycy piaskobetonowej ustalono w oparciu o wytyczne zawarte w [14], bazujące na doświadczalnie stwierdzonej zależności, pomiędzy rzeczywistą objętością wody i porów w mieszance betonowej a właściwościami betonu piaskowego. Następnie zmodyfikowano ustalony skład mieszanki piaskobetonowej, poprzez dodanie superplastyfikatora (FM 34) oraz włókien stalowych. Zawartość wody regulowano tak, aby otrzymać mieszankę o konsystencji plastycznej, zgodnie z zaleceniami [2]. W rezultacie otrzymano fibropiaskobeton odpowiadający klasie C25/30 i C30/37 według PN [15]. Dodatkowo w celach porównawczych wykonano serię elementów z betonu zwykłego (twarowego). Jego skład został zaprojektowany przez lokalnego producenta, dla ustalonej wytrzyma-

Tabela 1. Składy mieszanek fibropiaskobetonowych na 1 m³

Beton	Składniki					
	piasek ¹⁾ [kg]	cement ²⁾ [kg]	woda [litr]	FM 34 [litr]	włókna stalowe[kg]	
					30/0,55	50/0,8
Fibropiaskobeton z włóknami klejonymi w pasma	1855	378	140	3,51	34	–
Fibropiaskobeton z włóknami luzem	1835	374	150	3,47	–	33

¹⁾ Piasek odpadowy (pozostałość po hydroklasyfikacji pospółki) frakcji 0-4 mm.
²⁾ Cement CEM II/B-V 32,5 R.

Tabela 2. Skład betonu towarowego C35/45 na 1 m³

Lp.	Materiał	Jednostka	Ilość
1	Kruszywo (0–2)	kg	646,0
2	Kruszywo (2–8)	kg	576,0
3	Kruszywo (8–16)	kg	523,0
4	Cement CEM I 32,5 R	kg	410,0
5	Pantarhit [®] 45 (BV)	litr	1,64
6	Woda	litr	188,0

małości kostkowej o wartości 45 MPa. Ostateczne składy mieszanek fibropiaskobetonowych oraz recepturę betonu towarowego podano w tabelach 1 i 2.

Badanie ugięcia, wywołanego obciążeniem doraźnym, przeprowa-

dzono na belkach o wymiarach 150×200×3300 mm. Elementy próbne wykonano w 10 seriach, zróżnicowanych pod względem: rodzaju mieszanki betonowej (fibropiaskobeton i beton zwykły – towarowy), zastosowanych

włókien stalowych (50/0,8 mm i 30/0,55 mm), stopnia zbrojenia podłużnego (rozciąganego) elementów belkowych (0,6%; 0,9%; 1,3%; 1,8%) oraz użycia (lub nie) zbrojenia ściskanego i strzemion prostopadłych do osi elementu, rozmieszczonych co 130 mm. Każda seria elementów próbnych składała się z dwóch belek oraz co najmniej 6 walców i 12 próbek sześciennych (tab. 3). Ich rozformowanie przeprowadzono po 24 godzinach od momentu zabetonowania. Warunki cieplno-wilgotnościowe podczas wykonywania oraz dojrzewania elementów próbnych były jednakowe.

Zbrojenie podłużne belek wykonano ze stali żebrowanej (gatunku 34GS) o średnicy 8, 10, 12 i 14 mm, zaś zbrojenie poprzeczne ze stali gładkiej (gatunku St3SX-b) o średnicy 4,5 mm. Badaniom właściwości mechanicznych poddano jedynie stal żebrowaną. Miały one na celu określenie granicy plastyczności, wytrzymałości

Tabela 3. Program badań elementów belkowych i drobnowymiarowych

Beton	Seria	Elementy belkowe				Elementy drobnowymiarowe	
		oznaczenie belek	liczba belek [szt.]	wymiary	zbrojenie (górne, dolne)	liczba próbek [szt.]	wymiary betonowanych kostek i walców [mm]
Piaskowy z włóknami 50/0,8	A	A-1, A-2	2	150 × 200 × 3300 mm	2 # 8, 3 # 8	6* + 6** 3# + 3##	150×150×150 150×450
	B	B-1, B-2	2		2 # 8, 3 # 10	6* + 6** 3# + 3##	150×150×150 150×450
	C	C-1, C-2	2		2 # 8, 3 # 12	6* + 6** 3# + 3##	150×150×150 150×450
	D	D-1, D-2	2		–, 3 # 8	6* + 6** 3# + 3##	150×150×150 150×450
	G	G-1, G-2	2		2 # 8, 3 # 14	6* + 6** 3# + 3##	150×150×150 150×450
Zwykły	F	F-1, F-2	2		2 # 8, 3 # 10	12* + 12** 3# + 3##	150×150×150 150×450
Piaskowy z włóknami 30/0,55	H	H-1, H-2	2		2 # 8, 3 # 14	6* + 6** 3# + 3##	150×150×150 150×450
	I	I-1, I-2	2		2 # 8, 3 # 12	6* + 6** 3# + 3##	150×150×150 150×450
	J	J-1, J-2	2		2 # 8, 3 # 10	6* + 6** 3# + 3##	150×150×150 150×450
	K	K-1, K-2	2		2 # 8, 3 # 8	6* + 6** 3# + 3##	150×150×150 150×450
Łącznie:		20 sztuk		Łącznie:	192 sztuki		

* – kostki do określenia wytrzymałości na ściskanie
** – kostki do określenia wytrzymałości na rozciąganie przy roztopianiu
– walce do określenia słupowej wytrzymałości na ściskanie
– walce do określenia modułu sprężystości

Tabela 4. Otrzymane z badań właściwości mechaniczne stali żebrowanej

Średnica pręta [mm]	Przekrój pręta [mm ²]	Granica plastyczności [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	Moduł sprężystości [GPa]
8,2	53,0	424	695	223
10,2	81,1	454	714	220
12,2	116,7	430	678	205
14,3	160,6	451	688	214

na rozciąganie i modułu sprężystości prętów zbrojeniowych (tab. 4). Użyta w badaniach stal charakteryzowała się wyraźną granicą plastyczności.

4. Metodyka badań elementów belkowych

Stanowisko do badań elementów belkowych składało się z ramowej konstrukcji stalowej, siłownika hydraulicznego i układu sterującego obciążeniem. Schemat statyczny badanych elementów to jednoprzęsłowa belka wolnopodparta, obciążona dwiema siłami skupionymi, przyłożonymi w 1/3 rozpiętości

między osiami podpór (rys. 1). Siły przykładano poprzez stałowy trawers obciążany siłownikiem hydraulicznym. Na dolnym ryglu ramy usytuowano dwie podpory: przegubowo-przesuwную i przegubowo-nieprzesuwную, skonstruowane w sposób umożliwiający pomiar reakcji przy użyciu siłomierzy tensometrycznych (rys. 2).

Wielkość przykładanego obciążenia kontrolowano poprzez odczyt reakcji podporowych belki z zastosowaniem komputerowego systemu akwizycji danych SAD 256 (rys. 3). W prezentowanych badaniach, system ten został użyty również do pomiaru przemieszczeń

pionowych belki. Ugięcie mierzone czujnikami przemieszczeń, osadzonymi w listwie aluminiowej, zamocowanej – niezależnie od belki – do ramy nośnej stanowiska badawczego (rys. 1 i 2).

Przemieszczenia pionowe belki mierzone w pięciu miejscach, wyznaczonych poprzez kątowniki przytwierdzone do belki w połowie jej wysokości, tj.:

- w środku rozpiętości (rys. 4, pkt 5) poprzez czujnik tensometryczny o zakresie 100 mm,
- pod siłami (rys. 4, punkty 4 i 6) poprzez czujniki indukcyjne o zakresie 50 mm,
- w osiach podpór (rys. 4, punkty 3 i 7) poprzez czujniki tensometryczne o zakresie 10 mm (rys. 2).

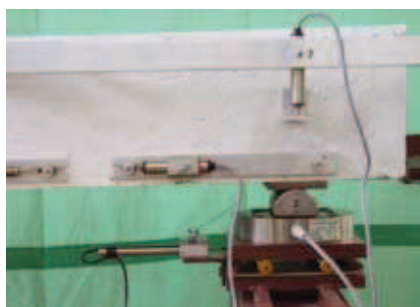
5. Wyniki badań i ich analiza

Przemieszczenia w wybranych punktach charakterystycznych belek, określono w kilkunastu fazach obciążenia (ustalanych poprzez odczyt reakcji podporowych). Ilość faz dobrana była na podstawie obliczeniowej nośności belek i uzależniona od ich stopnia zbrojenia podłużnego. Wartości ugięcia wyznaczono w każdej z analizowanych faz obciążenia, po uwzględnieniu osiadania podpór. Przykładowe wykresy ugięć dla belki A-2 przedstawiono na rysunku 4.

Dla każdej z badanych belek, ugięcia uzyskane w miejscach przyłożenia sił (rys. 4, punkty 4 i 6), we wszystkich fazach obciążenia, różnią się od siebie nieznacznie. Maksymalny średni błąd procentowy uzyskany dla wszystkich analizowanych belek wynosił 5,8% (dla belki J-1). Są to małe różnice, które mogą wynikać z niewielkich wartości mierzalnych, szczególnie w początkowych fazach obciążenia. Rozbieżności pomiędzy ugięciami w środku rozpiętości belek tej samej serii, w poszczególnych fazach obciążenia, dają średni błąd procentowy nieprzekraczający 15% (z wyjątkiem belek serii I). Wartość ta zawiera się w przedziale 10÷20%, określonym przez



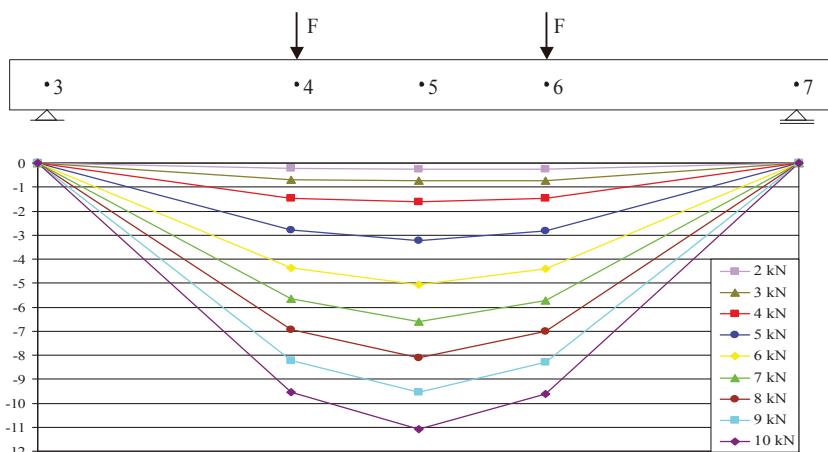
Rys. 1. Widok ogólny stanowiska podczas badania belki B-2 (seria B)



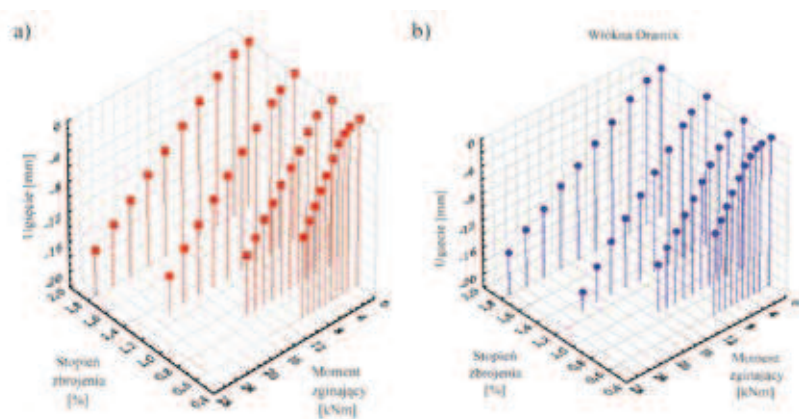
Rys. 2. Podpora przegubowo-przesuwная



Rys. 3. System akwizycji danych SAD 256



Rys. 4. Ugięcie [mm] belki A-2 w zależności od reakcji podporowej (w kN)



Rys. 5. Zależność pomiędzy stopniem zbrojenia rozciągane, momentem zginającym a ugięciem belek piaskobetonowych z włóknami: a) 50/0,8 mm, b) 30/0,55 mm

W. Kuczyńskiego jako dopuszczalny [10]. Dlatego też do dalszej analizy przyjęto średnią wartość ugięcia otrzymaną dla dwóch belek każdej serii.

Na rysunku 5 przedstawiono zmianę ugięcia (w środku rozpiętości belek) w funkcji maksymalnego momentu zginającego, dla różnych stopni zbrojenia rozciągane i dwóch rodzajów zastosowanych włókien stalowych. Z przedstawionych zależności wynika, że im wyższy stopień zbrojenia rozciągane belki, tym mniejsze są ugięcia przy takim samym obciążeniu. Zatem w belkach fibropiaskobetonowych – podobnie jak w belkach z betonu zwykłego – o sztywności decyduje również ilość zastosowanej stali zbrojeniowej.

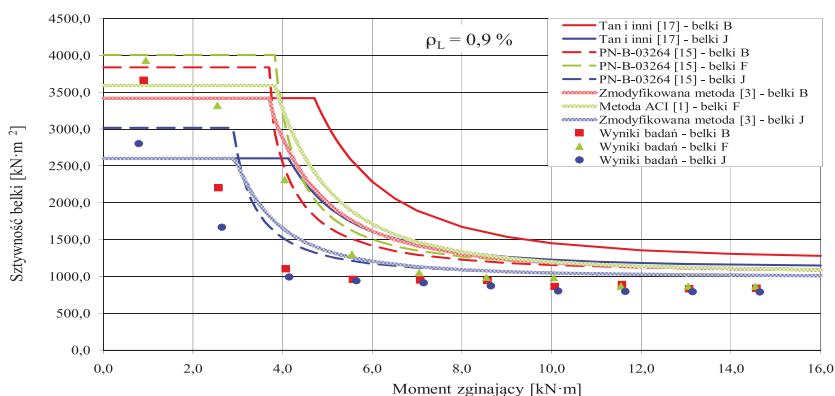
Wpływ włókien stalowych i stopnia zbrojenia rozciągane na sztywność belki określono doświadczalnie, na podstawie iloczynu momentu zginającego i odległości pomiędzy miejscami pomiaru odkształceń, podzielonego przez sumę przyrostów odkształceń (ściskających betonu i rozciągających stali zbrojeniowej).

Na rysunku 6 przedstawiono przykładowy wykres zależności sztywności i momentu zginającego belek fibropiaskobetonowych i z betonu zwykłego o stopniu zbrojenia rozciągane równym 0,9. Do sporządzenia wykresów obliczeniowych zastosowano metodę Tana i innych [17], propozycję zamieszczoną w PN [15] oraz zmodyfikowany sposób określania sztywno-

ści Alsayeda. Wartości teoretyczne wyznaczono dla każdej z serii belek i porównano je z wynikami obliczonymi na podstawie badań własnych. Z przeprowadzonej analizy wynika, że sztywność belek maleje ze wzrostem obciążenia oraz rośnie wraz ze zwiększaniem się stopnia zbrojenia rozciągane (ρ_L). Doświadczalne wartości sztywności belek z betonu zwykłego oraz belek piaskobetonowych z włóknami stalowymi, w fazie zarysowanej, były na porównywalnym poziomie. Porównując wykresy wyznaczone zgodnie z propozycją zamieszczoną w PN [15], zmodyfikowaną metodą Alsayeda oraz Tana i innych [17], należy pamiętać, że zróżnicowane wartości sztywności w fazie pierwszej spowodowane są różnymi sposobami wyznaczania momentów bezwładności. W przekroju zarysowanym różnice między sztywnościami teoretycznymi maleją wraz ze wzrostem obciążenia. Podobną zależność zaobserwowano dla pozostałych belek o stopniu zbrojenia 0,6; 1,3 i 1,8. Rozbieżności występują również pomiędzy teoretycznymi oraz wyznaczonymi z badań iloczynami $E_c I$, w poszczególnych fazach obciążenia. Są one znaczne w fazie pierwszej (przed zarysowaniem), natomiast w drugiej (po zarysowaniu) zanikają wraz ze wzrostem obciążenia i stopnia zbrojenia rozciągane (analiza pozostałych belek). Przyczyną może być niewłaściwa ocena teoretycznych momentów zginających oraz pominięcie dodatkowej krzywizny wywołanej niewielkim skurczem fibropiaskobetonu.

Z prezentowanych (rys. 6) rezultatów badań wynika, że w elementach fibropiaskobetonowych zmiana sztywności pod wpływem obciążenia jest funkcją potęgową zarówno dla przekroju zarysowanego, jak i niezarysowanego. Potwierdza to słuszność założenia o kontynuacji sztywności elementów zginanych [10].

W tabeli 5 przedstawiono wyniki analizy pomierzonych i obliczo-



Rys. 6. Przykładowa zależność pomiędzy sztywnością a momentem zginającym dla belek o stopniu zbrojenia rozciąganego (ρ_L) równym 0,9

nym ugięć belek w środku ich rozpiętości dla obciążeń eksploatacyjnych – najbardziej istotnych dla praktyki budowlanej. Najmniejsze ugięcie (10,12 mm) badanych belek z tym samym stopniem zbrojenia (belki B, F i J) otrzymano dla betonu zwykłego, dla którego uzyskano najwyższą sztywność (rys. 6). Zbliżone, choć trochę większe ugięcie (10,70 mm) miały belki z dodatkiem dłuższych włókien (Ekomet). Dla belek z włóknami 50/0,8 mm stwierdzono, że brak zbrojenia w strefie ściskanej elementów (seria D) powoduje niewielkie zwiększenie wartości ugięcia w stosunku do belek ze zbrojeniem ściska-

nym (seria A), od wartości 8,05 mm do 8,74 mm (przy poziomie obciążenia odpowiednio 0,59 i 0,62). Z tabeli 5 wynika, że dla belek o niskim stopniu zbrojenia rozciąganego (A, D i K – 0,6 %) metoda zawarta w PN [15] daje zawyżone wartości ugięć, nawet o 25,8%. Dla pozostałych belek wartości pomierzonych ugięć są wyższe od obliczonych, maksymalnie o 13,5%. Jest to potwierdzeniem znanej z literatury zależności, że metoda zawarta w [15] pozwala uzyskać na ogół lepszą zgodność z wynikami badań dla elementów o wyższym stopniu zbrojenia. Wartości ugięć wyznaczone według propozycji Tana i in-

nych [17], są zaniżone maksymalnie o 38,8%. Średni błąd procentowy wynosi w tym przypadku 21,0 i jest dość wysoki w porównaniu z pozostałymi metodami, natomiast odchylenie standardowe jest najniższe (8,5%). Dla zmodyfikowanej metody Alsayeda otrzymano wartość odchylenia równą 9,2%, przy średnim błędzie procentowym 3,7.

6. Wnioski

1. Wyniki przeprowadzonej analizy pozwalają przypuszczać, że zaproponowana modyfikacja metody Alsayeda w dobry sposób opisuje zjawisko ugięcia w całym zakresie obciążeń. Z porównania obliczeń ugięcia z wynikami eksperymentu uzyskano średni błąd o wartości 3,7%, przy odchyleniu standardowym 9,2%. Przyjęta w PN-B-03264: 2002 metoda obliczania ugięcia elementów z betonu zwykłego, w odniesieniu do analizowanych belek fibropiaskobetonowych, wykazała niewielki błąd średni (0,7%) przy wyższym odchyleniu standardowym (12,3%). Należy mieć na uwadze, że obie metody dają wartości nieznacznie zaniżone w stosunku do doświadczalnych. Jednak nie wykluc-

Tabela 5. Analiza ugięć badanych belek w środku ich rozpiętości na poziomie obciążeń eksploatacyjnych

Seria belek	$\frac{M_{\text{eks}}}{M_{\text{max}}}$	ugięcie [mm]				$\frac{a_{\text{dos.}} - a_{\text{PN}}}{a_{\text{dos.}}}$ [%]	$\frac{a_{\text{dos.}} - a_{\text{Tan.}}}{a_{\text{dos.}}}$ [%]	$\frac{a_{\text{dos.}} - a_{\text{w.}}}{a_{\text{dos.}}}$ [%]
		z badań $a_{\text{dos.}}$	Obliczone wg metody:					
			PN [15] a_{PN}	Tana i innych [17] $a_{\text{Tan.}}$	zmodyfikowanej Alsayeda $a_{\text{w.}}$			
A	0,59	8,05	8,52	4,93	7,45	-5,8	38,8	7,5
B	0,62	10,70	9,89	8,10	9,75	7,6	24,3	8,9
C	0,58	10,44	9,21	8,62	9,21	11,8	17,4	11,8
D	0,62	8,74	9,92	6,91	8,83	-13,5	20,9	-1,0
F	0,66	10,12	9,65	-	9,66	4,6	-	4,5
G	0,58	12,01	11,11	10,82	11,17	7,5	9,9	7,0
H	0,56	11,83	11,51	8,47	11,56	2,7	28,4	2,3
I	0,59	11,81	10,23	9,75	10,31	13,4	17,4	12,7
J	0,65	11,28	10,82	9,40	10,89	4,1	16,7	3,5
K	0,60	8,34	10,49	7,05	9,98	-25,8	15,5	-19,7
Błąd średni [%]						0,7	21,0	3,7
Odchylenie standardowe [%]						12,3	8,5	9,2
Przedział ufności dla $\alpha = 0,05$ [%]						-8,1 ÷ 9,5	14,5 ÷ 27,5	-3,4 ÷ 10,8
Długość przedziału ufności [%]						17,6	13,0	14,2
M_{eks} – moment zginający odpowiadający obciążeniu eksploatacyjnemu; M_{max} – moment zginający odpowiadający obciążeniu niszczącemu								

cza to możliwości ich stosowania w praktyce inżynierskiej.

2. Użyty w badaniach beton zwykły (twarowy) o deklarowanej klasie wytrzymałości na ściskanie C35/45 charakteryzował się wyższymi właściwościami wytrzymałościowymi w porównaniu z dwoma zastosowanymi fibropiaskobetonami niższych klas (C25/30 i C30/37). Pomimo to ugięcie belki (o jednakowym stopniu zbrojenia) z fibropiaskobetonu i betonu zwykłego było porównywalne. Dlatego można uznać, że elementy belkowe wykonane z fibropiaskobetonu (na bazie piasku odpadowego) z włóknami stalowymi spełniają wymagania stawiane elementom z betonu zwykłego w zakresie przeprowadzonej analizy ugięć.

BIBLIOGRAFIA

[1] ACI 318-89: Building Code Requirements for Reinforced Concrete
 [2] ACI 544.3R-93 (Reapproved 1998): Guide for specifying, proportioning, mixing, placing and finishing steel fiber reinforced concrete.

[3] Alsayed S.H.: Flexural deflection of reinforced fibrous concrete beams. ACI Structural Journal, V. 90, No 1, January-February 1993.
 [4] Ashour S. A., Wafa F. F., Flexural behaviour of high-strength fibre reinforced concrete beams. ACI Structural Journal, V. 90, No 3, May-June 1993
 [5] Craig R., Flexural behaviour and design of reinforced fiber concrete members. Fiber reinforced concrete properties and applications, SP-105 American Concrete Institute, 1987
 [6] Ezeldin A. S., Shiah T. W., Analytical immediate and long-term deflections of fibre-reinforced concrete beams. ASCE Journal of Structural Engineering, V. 121, No. 2, April 1995
 [7] Hsu C.-T. T., He R. L., Ezeldin A. S., Load-deformation behaviour of steel fibre reinforced concrete beams. ACI Structural Journal, V. 89, No. 6, November-December 1992
 [8] Jamróży Z., Drutobeton. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1985
 [9] Johnston C. D., Deflection measurement considerations in evaluating FRC performance using ASTM C 1018. Testing of fiber reinforced concrete. SP-155 American Concrete Institute, 1995
 [10] Kuczynski W., Konstrukcje betonowe. Kontynuacja teorii zginania żelbetu. PWN, Warszawa 1971
 [11] Lim T. Y., Paramasivam P., Lee S. L., Behaviour of reinforced steel-fiber-concrete beams in flexural. ASCE Journal of Structural Engineering, V. 113, No. 12, December 1987

[12] Lim T. Y., Paramasivam P., Lee S. L., Bending behaviour of steel fiber concrete beams. ACI Structural Journal, V. 84, No. 6, November-December 1987
 [13] Liqui G., Guofan Z., Analysis of complete moment-curvature curve of concrete beams reinforced with steel bars and steel fibers. Congress by RILEM in Versailles, 1987
 [14] Metody projektowania betonów piaskowych opracowane w ramach problemu B-219 pt. „Zastosowanie piaskobetonów do prefabrykatów budowlanych produkowanych konwencjonalnie”, Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Betonów CEBET, Warszawa 1981
 [15] PN-B-03264 (grudzień 2002): Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie
 [16] Sakai M., Nakamura N., Kokan N., Analysis of flexural behaviour of steel fiber reinforced concrete. RILEM SYMPOSIUM Third International Symposium on Developments in fibre reinforced cement and concrete, 1986
 [17] Tan K.-H., Paramasivam P., Tan K.-C., Instantaneous and long-term deflections of steel fibre reinforced concrete beams. ACI Structural Journal, V. 91, No. 4, July-August 1994

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2003–2006 jako projekt badawczy nr 5 T07E 021 24

Producent markowych konferencji oraz autorskich produktów dla środowiska architektoniczno-budowlanego.

degustacja na www.infoinvest.pl
tel. 22 532 14 00

Info Invest
informacja i inwestycje

Info Invest
prace i wydarzenia