

Badania nośności belek żelbetowych wzmocnionych pod obciążeniem przez obetonowanie

Zinoviy Blikharskyy¹, Dmytro Dubizhanskyi², Roman Khmil³

¹ *Katedra Konstrukcji Budowlanych i Mostów, Politechnika Lwowska,
e-mail: ¹blikharskyy@ukr.net; ³roman_hl@ukr.net*

² *Katedra Mechaniki Budowli, Tarnopolski Narodowy Uniwersytet Techniczny,
e-mail: ddi.eng@ukr.net*

Streszczenie: Badano nośność żelbetowych belek zginanych wzmocnionych przez obetonowanie. Przebadano 16 belek zgrupowanych w 4 seriach. Ustalano stan naprężeniowo-odkształceniowy belek w zależności od poziomu obciążenia przy którym realizowano wzmocnienie, a także przyrost nośności wynikający z tego wzmocnienia. Zidentyfikowano trzy charakterystyczne etapy zmian tego stanu. Zaprezentowano wyniki badań nośności wzmocnionych belek i obliczono efektywność wzmocnienia. Ustalono także wpływ stopnia zbrojenia obetonowania na tę efektywność.

Słowa kluczowe: belka żelbetowa, przekroje normalne, wzmocnienie, obetonowanie

1. Wprowadzenie

W praktyce budowlanej często występuje potrzeba napraw i renowacji istniejących budynków mieszkalnych i przemysłowych. Towarzyszy im zwykle konieczność wzmocnienia ich elementów konstrukcyjnych, znaczna część z nich jest żelbetowa. Prace wzmacniające często prowadzi się pod obciążeniem. W związku z tym projektant musi brać pod uwagę istniejący w konstrukcji stan naprężeń. Wpływ poziomu tego obciążenia na nośność elementów wzmocnionych można określić na podstawie badań doświadczalnych i analiz teoretycznych takich konstrukcji.

2. Analiza studiów literaturowych

Problem wzmocnienia zginanych konstrukcji żelbetowych pod obciążeniem rozważany jest przez wielu badaczy [1-4].

Wzmacnianie belek żelbetowych przez obetonowanie ma kilka zalet. Po pierwsze, obetonowanie działa jak warstwa ochronna (otulina) zbrojenia. Po drugie, metoda ta pozwala wyeliminować skutki istniejących zarysowań, odkształceń i deformacji. Ponadto pozwala uzyskać znaczne zwiększenie nośności przekroju.

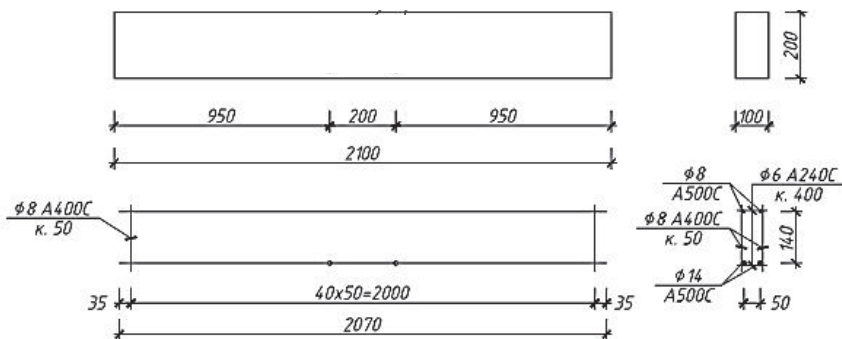
Jednak ważne jest, aby istniała współpraca między belką wzmacnianą obetonowaniem. Obetonowanie i element pierwotny, które mają współpracować w przenoszeniu obciążeń, mają różne właściwości fizyczne, mechaniczne i reologiczne. Wzmocniona konstrukcja jest konstrukcją zespoloną, która składa się z elementu pierwotnego, w którym panuje już pewien stan naprężeń i obetonowania, znajdującego się w stanie początkowym.

3. Metody badań

Zgodnie z programem badań przetestowano 4 serie belek (łącznie 16 belek) o wymiarach 2100×200×100 mm.

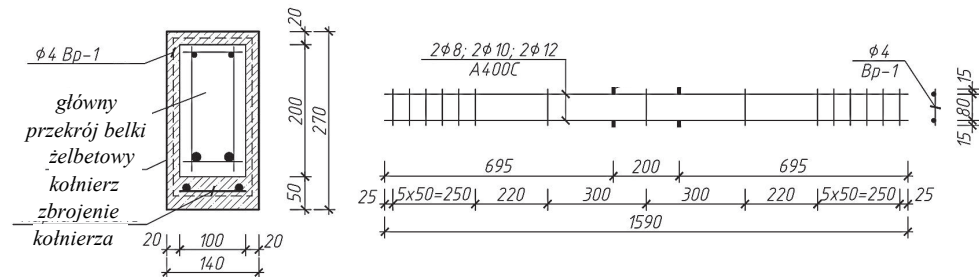
Celem pierwszej serii badań, składającej się z 2 belek, było wyznaczenie obciążenia granicznego M_{u0}^{exp} . Belki drugiej serii (2 sztuki) były wzmocnione przez obetonowanie koszulką zbrojoną 2Ø8 A400C, a wzmocnienie realizowano pod obciążeniem równym 0.7 obciążenia granicznego. Belki trzeciej serii (8 sztuk) były wzmocnione koszulką zbrojoną 2Ø10 A400C pod obciążeniem równym 0.3, 0.5, 0.7 i 0.9 obciążenia granicznego. Czwarta seria (4 sztuki) to belki wzmocnione koszulką zbrojoną 2Ø12 A400C, przy poziomie obciążenia 0,7 i 0,9 granicznej nośności.

Zatem, zmiennymi parametrami w poszczególnych seriach były: stopień zbrojenia rozciąganego w obetonowaniach, jak również poziom obciążenia belki podstawowej podczas wzmocniania. Konstrukcja badanych belek przedstawiona jest na rysunku 1.



Rys. 1. Konstrukcja belek podstawowych

Konstrukcja belek zespolonych pokazana jest na rys. 2. Aby zapewnić współpracę części pierwotnej i obetonowania, na powierzchni wzmocnianych belek wykonano bruzdy o głębokości ~ 3 mm co 40 mm, a także powierzchnię betonu "starego" bezpośrednio przed betonowaniem pokryto mineralną warstwą szepną. W celu zapewnienia współpracy dodatkowego zbrojenia w odległości 300 mm od krawędzi podpór zainstalowano dodatkowy pionowy pręt Ø4 Bp-1 co 30 mm (Rys. 3). Obetonowanie było zrealizowane na długości 1600 mm. Właściwości mechaniczne użytych materiałów przedstawionych w tabeli 1.



Rys. 2. Przekrój belki wzmocnionej i zbrojenie koszulki

Belki badano w schemacie czteropunktowym. Podczas obciążenia monitorowano ugięcie belek, odkształcenia betonu oraz rysy i ich rozwój.

Belki serii II-IV badano w trzech etapach. W pierwszym etapie obciążano belki główne przed wzmocnieniem do różnego poziomu obciążenia (w zależności od serii - 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 M_{u0}^{exp}). Drugim etapem było wzmocnianie belek przez obetonowanie (rys. 3, 4). Poziom obciążenia regulowano za pomocą sprężyny przez dokręcenie śrub na górnym

kształtowniku trawersu. Po 28 dniach przechodzą do trzeciego etapu - wzmocnione belki poddawano skokowemu obciążeniu do całkowitego zniszczenia (rys. 5).

Tabela 1. Właściwości fizyczne i mechaniczne belek żelbetowych

Belka główna					Obetonowanie				
Zbrojenie		Beton			Zbrojenie		Beton		
Granica plastyczności	Wytrzymałość	Moduł	Wytrzymałość na ściskanie	Moduł sprężystości	Granica plastyczności	Wytrzymałość	Moduł sprężystości	Wytrzymałość na ściskanie	Moduł sprężystości
f_y ,MPa	f_u ,MP	E_s ,MPa	f_{cd} ,MPa	E_c ,MPa	f_y^{ad} ,MPa	f_u^{ad} ,MPa	E_s^{ad} ,MPa	f_{cd}^{ad} ,MPa	$E_c^{ad} \times 10^4$,MPa
532	630	19×10^4	27,5	$2,94 \times 10^4$	440...480	542...564	21×10^4	28,3...40,52,72...3,46	



Rys. 3. Ogólny widok belki podczas badań



Rys. 4. Belka podczas obetonowywania



a)



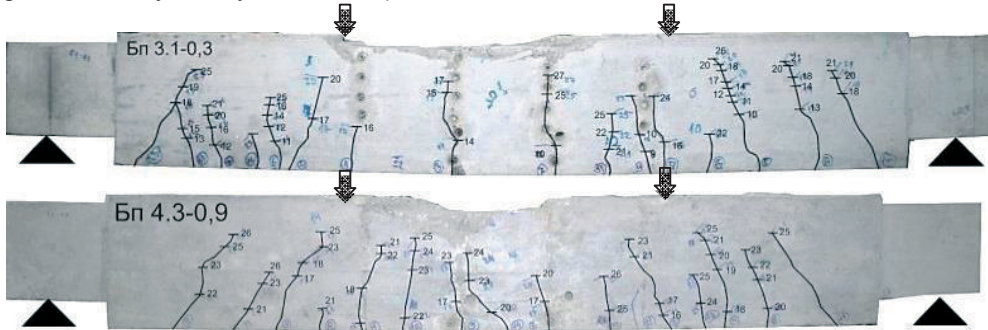
b)

Rys. 5. Oprządowanie służące do badania wzmocnionych belek (urządzenia po obydwu stronach w strefie środkowej belek)

4. Wyniki badań

Zmiany stanu naprężeniowo-odkształceniowego wzmocnionych belek można podzielić na trzy etapy. Na etapie pierwszym w czasie dojrzewania betonu naprężenia główne maleją z powodu włączania się obetonowania do pracy. Drugi etap trwa do osiągnięcia granicy plastyczności w zbrojeniu belki głównej lub zbrojenia w obetonowaniu, co przejawia się bardziej intensywnym wzrostem odkształceń i ugięć. Trzeci etap to etap

fizycznego zniszczenia, kiedy wszystkie pręty zbrojeniowe osiągną granicę plastyczności. Na tym etapie belki obserwuje się znaczący wzrost ugięcia belki. Fizyczne zniszczenie kończy się miążdżeniem betonu w strefie ściskanej. Typowe obraz zarysowania belek pokazano na rys.6. Wyniki badań są zestawione w Tabeli 2.



Rys. 6. Typowy obraz zarysowania żelbetowych belek wzmocnionych przez obetonowanie

Tabela 2 Wyniki badań belek żelbetowych wzmocnionych przez obetonowanie

Seria	№	Oznaczenie belki	Przekrój belki $b_{ad} \times h_{ad}$, mm	Moment zginający w chwili wzmocnienia, M_0^{exp} , kNm	Moment zginający, kNm		Moment niszczenia M_f^{exp}	Efekt wzmocnienia		
					w chwili osiągnięcia granicy plastyczności zbrojenia w belce głównej M_u^{exp}	w chwili osiągnięcia granicy plastyczności zbrojenia w obetonowaniu $M_{u,ad}^{exp}$		$\frac{M_u^{exp}}{M_{u0}^{exp}}$	$\frac{M_{u,ad}^{exp}}{M_{u0}^{exp}}$	$\frac{M_{u,aa}^{exp}}{M_u^{exp}}$
I	1	B 1.1			23,6	–	26,51	–	–	–
	2	B 1.2			24,0	–	26,55	–	–	–
II	3	Br 2.1-0,7	142x274	16.75	30.81	37.78	43.9	-	1.587	1.226
	4	Br 2.2-0,7	142x278	16.48	30.23	37.66	42.3	-	1.582	1.246
III	5	Br 3.1-0,3	146x275	7.1	44.18	40.17	48.5	1.856	-	0.909
	6	Br 3.2-0,3	145x276	7.1	43.11	40.08	48.2	1.811	-	0.930
	7	Br 3.3-0,5	143x274	11.78	45.0	43.44	49.7	1.891	-	0.965
	8	Br 3.4-0,5	144x273	11.75	43.83	43.11	46.7	1.842	-	0.984
	9	Br 3.5-0,7	150x278	15.82	36.37	45.85	48.5	-	1.926	1.261
IV	10	Br 3.6-0,7	142x273	16.51	35.62	44.26	50.1	-	1.860	1.243
	11	Br 3.7-0,9	145x272	21.06	31.43	43.66	47.2	-	1.834	1.389
	12	Br 3.8-0,9	145x277	21.04	31.45	45.71	51.2	-	1.921	1.453
	13	Br 4.1-0,7	142x275	16.45	40.32	49.53	55.5	-	2.081	1.228
	14	Br 4.2-0,7	148x275	15.83	40.40	49.01	53.0	-	2.059	1.213
IV	15	Br 4.3-0,9	142x272	21.1	32.56	49.17	55.4	-	2.066	1.510
	16	Br 4.4-0,9	146x275	21.26	32.34	51.34	55.54	-	2.157	1.588

W celu określenia wpływu poziomu obciążenia podczas wzmocniania belek na ich nośność poniżej przedstawiono analizę belek III serii. Belki zostały wzmocnione przy różnych poziomach obciążenia belki głównej (0,3, 0,5 i 0,7 i 0,9 M_{u0}^{exp}) i miały to samo zbrojenie koszulki, mianowicie 2Ø10 A400C. W rezultacie, stwierdzono, że przy obciążeniu podczas wzmocnienia równym 0,5 M_{u0}^{exp} osiągnięcie granicy plastyczności zbrojenia obu elementów składowych nastąpiło prawie jednocześnie. Gdy obciążenie to wynosiło 0,3 M_{u0}^{exp} granicę plastyczności najpierw osiągnęło zbrojenie w obetonowaniu,

a przy obciążeniu na poziomie 0,7 i 0,9 M_{u0}^{exp} granicy plastyczności najpierw została osiągnięta przez zbrojenie belki głównej. Efektywność wzmocnienia zdefiniowano jako stosunek nośności belek wzmocnionych i belek niewzmocnionych. Efektywność ta wynosiła średnio 1,87 i praktycznie nie zależała od poziomu obciążenia przy wzmocnieniu.

W celu zbadania wpływu ilości zbrojenia w obetonowaniu na nośność wzmocnionych belek przeanalizowano belki serii II, III, IV (seria II - 2Ø8, seria III - 2Ø10, IV - 2Ø12 serii A400C). Wzmocnienie realizowane było przy tym samym poziomie obciążenia (0,7 M_{u0}^{exp}). Wzrost stopnia zbrojenia obetonowania spowodował zmniejszenie odkształcenia zbrojenia głównego. Wraz ze wzrostem stopnia zbrojenia dodatkowego wzrosła efektywność wzmocnienia od 1,58 do 2,07.

W celu zbadania wpływu wzmocnienia realizowanego przy granicznym poziomie obciążenia analizowano belki serii III i IV, które były wzmocnione przy 0,9 M_{u0}^{exp} , a zastosowano zbrojenie 2Ø10 A400C w serii III i 2Ø12 A400C w serii IV. Można zauważyć, że nawet jeśli wzmocnienie realizowane jest niemal przy nośności granicznej, nośność belki można zwiększyć przez obetonowanie nawet 1,88 do 2,11 razy. Było to możliwe dzięki pełnemu zakotwieniu zbrojenia obetonowania i zapewnieniu przyczepności między "starym" i "nowym" betonem.

5. Wnioski

1. Zaproponowano metodykę badań belek wzmocnionych przez obetonowanie realizowane pod obciążeniem. Metodyka ta pozwala na uzyskanie danych na temat rzeczywistego stanu wyężenia elementów składowych (belki głównej i obetonowania) odpowiadającego realnym sytuacjom wzmocnionej konstrukcji.
2. Badania wykazały, że w belkach wzmacnianych pod obciążeniem 0,5 M_{u0}^{exp} , osiągnięcie granicy plastyczności zbrojenia obu elementów składowych nastąpiło prawie jednocześnie. Gdy belki były wzmacniane przy obciążeniu 0,3 M_{u0}^{exp} granica plastyczności osiągnięta została przez najpierw zbrojenie obetonowane, a przy obciążeniu na poziomie 0,7 i 0,9 M_{u0}^{exp} najpierw została osiągnięta granica plastyczności zbrojenia belki głównej.
3. Ustalono, że:
 - maksymalne zwiększenie nośności o 89% osiągnięto w przypadku, gdy zbrojenie w obetonowaniu wynosiło 2Ø10mm i nieznacznie zależało od poziomu obciążenia podczas wzmocnienia, a zależało wyłącznie od parametrów tego zbrojenia;
 - zwiększenie stopnia zbrojenia koszulki powoduje zwiększenie nośności belki, określonej przez osiągnięcie granicy plastyczności przez zbrojenie (w belce głównej i obetonowaniu); średni wzrost zawierał się w granicach o 58% do 107%;
 - jeśli wzmocnienie realizowane było przy poziomie obciążenia 0,9 M_{u0}^{exp} pozytywny efekt może być również osiągnięty (wzrost nośności belek od 88 do 111%).

Literatura

- 1 Blikharsky Z. Rekonstruktsiya ta pidsylennya budivel i sporud. [Reconstruction and strengthening of buildings and structures]. NU «Lvivska politehnika», Lviv 2008.
- 2 Holyshev A. Raschet y tekhnicheskyye reshenyya usylenyy zhelezobetonnykh konstruksyyi proyvodstvennykh zdanyy i prosadochnykh osnovanyy. [Calculation and technical solutions of reinforced concrete structures of industrial buildings and bases subsidence]. Kyiv, Lohos, 2008. ISBN 978-966-581-966-0

- 3 The Concrete Society, Technical Report No. 55, 2004: Design Guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials (Second Edition) „The Concrete Society, p.102.
- 4 V. G. Kvasha, I. V. Melnik, M. D. Klimpush Eksperimentalne doslidjennya zalizobetonnoi mostovoi balki za TP vipusk 56, pidsilenoj kompozitnoju strichkoyu z vuglecevikh volokon CFRP [Experimental research of reinforced concrete bridge beams for TP Vol. 56 reinforced composite tape of carbon fibers CFRP]// ZB. „Avtomobilni dorogi i dorozhnye budivnictvo.” – Vip. 62. — „Collection highways and road construction” — Kyiv, 2001. – p. 267–271.

Investigation of the bearing capacity of reinforced concrete beams strengthened with reinforced concrete ring under load

Zinoviy Blikharsky¹, Dmytro Dubizhansky², Roman Khmil³

¹ Department of Building Constructions and Bridges, Lviv Polytechnic National University, e-mail: ¹blikharsky@ukr.net; ³roman_hl@ukr.net

² Mechanical Engineering Department, Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, e-mail: ddi.eng@ukr.net

Abstract: Bearing capacity of normal cross section of bending concrete elements reinforced with reinforced concrete ring under load was investigated. Experimental researches of 4 sets of beams with the total number of 16 units were carried out.

The results of changes of stress-strain state settings depending on the load level, additional reinforcement, influence of limit level load were analyzed. The three characteristic stages of stress-strain state of reinforced concrete beams strengthened with reinforced concrete ring were defined. Results of experimental investigations of bearing capacity of normal cross section of strengthened beams with reinforced concrete ring under load were presented. Enhancing effect was calculated. According to the results of researches of strengthened beams plots of strain of working armature depending on current bending moment were constructed.

Keywords: reinforced concrete, normal cross sections, strengthening under load, reinforced concrete ring, bearing capacity