

dr inż. Janusz Kubiak*

dr inż. Aleksy Łodo*

dr inż. Jarosław Michalek*

Wielkogabarytowe płyty żelbetowe stosowane na przejazdach kolejowych

Large-size reinforced concrete plate used at railroad crossings

Streszczenie. Przedmiotem artykułu są badania doświadczalne żelbetowych, wielkogabarytowych płyt przejazdowych typu CBP układanych na przejazdach kolejowych i na skrzyżowaniach dróg z liniami kolejowymi. Badania płyt i próbek materiałowych wykonano w Laboratorium Badawczym Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej.

Słowa kluczowe: płyty żelbetowe, przejazdy kolejowe, badania.

Abstract. The subject of the work is experimental study of reinforced concrete, large-size plate vehicular type CBP laid at railroad crossings at intersections of roads with railway lines. Research plate and material samples was performed at the Laboratory of the Research Institute for Building Wrocław University of Technology.

Keywords: reinforced concrete plate, railroad crossings, research.

Rozwój przemysłu energetycznego i budowlanego w kraju jest uzależniony od możliwości logistycznych transportu. Jednocześnie nowoczesny transport kolejowy i drogowy wymaga dogodnej sieci dróg o trwałej nawierzchni, które często krzyżują się w jednym poziomie z torami kolejowymi. Uciążliwą bolączką użytkowników dróg jest niezadowalający stan techniczny nawierzchni przejazdów kolejowych.

Rozwiązania konstrukcyjne nawierzchni drogowych na przejazdach kolejowych powinny mieć dużą wytrzymałość, dobre parametry eksploatacyjne, długą żywotność oraz zapewnić bezpieczeństwo ruchu samochodów i komfort użytkownika [1, 2]. Stosowane w kraju na przejazdach kolejowych nawierzchnie drogowe w postaci kostki kamiennej i brukowej lub nawierzchnie z warstwy mineralno-bitumicznej są nietrwale. Coraz częściej zastępuje się je materiałami, takimi jak guma i gumopochodne (nawierzchnie CEPAG, KOLDROG, STRAIL i OMNI [1, 2]) oraz beton w postaci żelbetowych płyt małogabarytowych (BOMAC, MIROSŁAW, BODAN) i wielkogabarytowych (ABETONG, HOLFASST, CBP [1, 2]) bądź konstrukcji zintegrowanych (np. prefabrykowana nawierzchnia kolejowo-drogowa typu Edilon LC-L [1, 2]).

Przedmiotem artykułu są badania prefabrykowanych, żelbetowych płyt

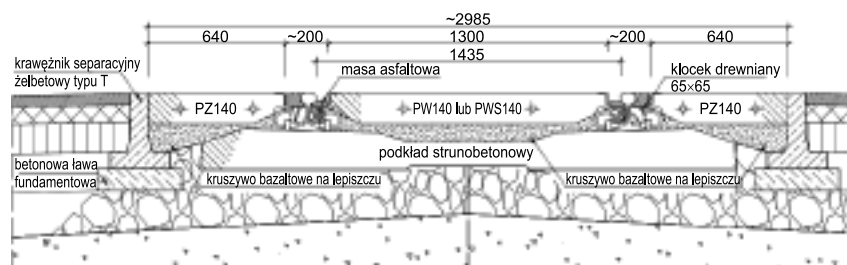
przejazdowych typu CBP stosowanych na skrzyżowaniach dróg samochodowych z torami kolejowymi (rysunek 1) oraz na placach przeładunkowych transportu drogowego i kolejowego. Badania płyt przejazdowych wewnętrznych PW140 i PWS140 oraz zewnętrznych PZ140 przeprowadzono w Laboratorium Badawczym Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej [11] w oparciu o przepisy normowe [3, 4], warunki techniczne wykonania i odbioru [5 ÷ 7], a także zalecenia zawarte w projektach wykonawczych płyt [8 ÷ 10].

Charakterystyka żelbetowych płyt przejazdowych typu CBP

Prefabrykowane płyty żelbetowe CBP wysokości 140 mm mogą być stosowane na przejazdach kolejowych o szerokości torów 1435 mm i szyn S49 lub UIC60 na odcinkach prostych lub łukach o promieniu $R > 600$ m [1, 2, 4 ÷ 7]. W nawierzchni przejazdów kolejowych stosuje się płyty wewnętrzne środkowe PW140 i skrajne PWS140

o wymiarach 3000 x 1300 x 140 mm oraz zewnętrzne PZ140 o wymiarach 3000 x 640 x 140 mm. Zbrojenie płyt dla dwóch wersji obciążeń 120 i 160 kN na oś samochodu podano w tabeli 1.

Ilość zbrojenia głównego gatunku RB500 w płytach CBP zależna jest od przyjętego schematu statycznego płyty i nacisku na oś pojazdu 120 lub 160 kN (tabela 1). Bezawaryjna praca płyt przejazdowych długości 3,0 m opartych na czterech (wytyczne [4 ÷ 6]) lub pięciu (projekty [8 ÷ 10]) niepodatnych podporach (podkładach kolejowych) przez warstwę kruszywa bazaltowego z lepiszczem jest trudna do zrealizowania w dłuższym okresie eksploatacji przejazdu ze względu na niestabilność podłoża. Z tego też względu wielkogabarytowe, żelbetowe płyty przejazdowe powinny być projektowane z uwzględnieniem braku podparcia płyty przynajmniej na jednym podkładzie, co uwzględniono w najnowszym projekcie [10] płyt przejazdowych montowanych na terenie Portu Gazowego w Świnoujściu.



Rys. 1. Nawierzchnia drogowa z płyt żelbetowych CBP na przejeździe kolejowym

* Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Tabela 1. Zbrojenie płyt przejazdowych PW140 i PZ140 obciążonych samochodami o nacisku 120 i 160 kN na oś

Klasa obciążenia na oś	Nazwa płyty	Strzeżmiona	Zbrojenie główne płyt		Momenty obliczeniowe [kNm] wg obliczeń własnych
			górne	dolne	
120 kN	wewnętrzna – środkowa PW140 b = 1,30 m	14 ∅ 8 RB500	8#10 2 x L50 x 50 x 5	7#10 –	+ 18,75 - 19,39 (- 44,79 z kątownikami)
	wewnętrzna – skrajna PWS140 b = 1,30 m		8#10 2 x L50 x 50 x 5	7#10 –	
	zewnętrzna PZ140 b = 0,64 m		8#10 1 x L50 x 50 x 5	7#10 –	+ 18,24 - 14,22 (- 31,35)
160 kN	wewnętrzna – środkowa PW140 b = 1,30 m	22 ∅ 10 S235JR albo 22#8 RB500	2#10 + 6#12 2 x L50 x 50 x 5	4#14 + 3#12 –	+ 37,10 - 33,48 (- 56,52 z kątownikami)
	wewnętrzna – skrajna PWS140 b = 1,30 m		2#10 + 6#12 2 x L50 x 50 x 5	4#14 + 3#12 –	
	zewnętrzna PZ140 b = 0,64 m		1#10 + 3 #12 + 2#14 L 50 x 50 x 5	4#14 + 3#12 –	+ 33,99 - 27,81 (- 38,45)

Badania płyt przejazdowych

Badania dwóch serii płyt przejazdowych obejmowały 6 płyt o nośności użytkowej 120 kN na oś (po dwie płyty PW140, PWS140 i PZ140 ze zbrojeniem jak w tabeli 1) oraz cztery płyty ze zwiększonym zbrojeniem (po jednej płycie PW140 i PWS140 i dwie PZ140) zaprojektowane na obciążenie 160 kN na oś (tabela 1). W ramach badań wstępnych przeprowadzono ocenę cech użytkowo-technicznych wszystkich płyt (w tym cechowanie, stan powierzchni i wygląd zewnętrzny, masa, wymiary i odchyłki wykonawcze). Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że badane płyty przejazdowe spełniają wymagania aprobaty [5] i dokumentów branżowych [6, 7] oraz projektów [8 ÷ 10].

Badania wytrzymałości betonu na ściskanie wykonane na próbkach sześciennych o wymiarach 150 × 150 × 150 mm i na wyciętych z płyt próbkach rdzeniowych średnicy 100 mm potwierdziły klasę betonu C45/55 przewidzianą w projektach [8 ÷ 10]. Otulina zbrojenia podłużnego w płytach powinna wynosić min. 30 mm, a poprzecznego min. 25 mm. Zmierzone w płytach otuliny zbrojenia podłużnego dolnego (30 ÷ 38 mm), podłużnego górnego (30 ÷ 39 mm) i poprzecznego (odpowiednio 16 ÷ 29 mm i 23 ÷ 31 mm) są zgodne z wymaganiami projektów [8 ÷ 10]. Na podstawie pomiarów stwierdzono, że średnice i usytuowanie prętów zbrojeniowych w płytach serii pierwszej (120 kN/oś – tabela 1) są właściwe, ale zamieniono w nich gatunek zbrojenia strze-

mion ze stali żebrowanej RB500 na S235JR. Natomiast w płytach serii drugiej średnice i usytuowanie prętów zbrojeniowych oraz gatunek zbrojenia zgadzał się z projektem (160 kN/oś – tabela 1).

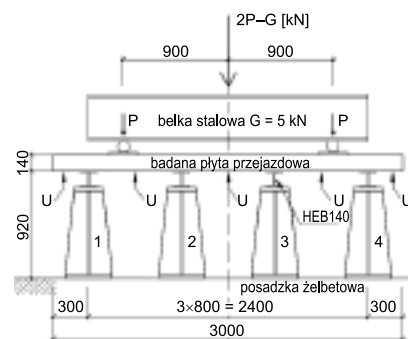
Badania nasiąkliwości i mrozoodporności betonu potwierdziły, że beton w płytach serii pierwszej nieznacznie nie spełnił warunku nasiąkliwości $w_1 = 5,1\% > w_{lim} = 4,5\%$, natomiast beton w płytach serii drugiej spełnił to wymaganie ($w_2 = w_{lim} = 4,5\%$). W zakresie mrozoodporności beton badanych płyt spełnił wymagania minimalnej mrozoodporności F100 [4 ÷ 6].

Odporność betonu płyt na ścieranie określono za pomocą badań na tarczach Böhmego, na próbkach o wymiarach 71 × 71 × 71 mm wyciętych z kostek 150 × 150 × 150 mm. Uzyskano średnie zmniejszenie objętości próbki z pierwszej serii $\Delta V = 10980 \text{ mm}^3$, co odpowiada grubości starłej warstwy betonu 2,2 mm i drugiej serii odpowiednio $\Delta V = 8653 \text{ mm}^3$ (1,78 mm). Wartości dopuszczalne zgodnie z [4 ÷ 6] wynoszą $\Delta V = 12500 \text{ mm}^3$ i 2,5 mm.

Sprawdzenie **wytrzymałości płyt na zginanie** w pozycji wbudowania w nawierzchnię przejazdu kolejowego przeprowadzono na specjalnie przygotowanym stanowisku badawczym (rysunek 2, fotografia 1), zgodnie z wytycznymi aprobaty [5]. Stanowisko składało się z czterech sztywnych podpór rozmieszczonych symetrycznie. Obciążenie w postaci dwóch sił skupionych P = 60 lub 80 kN rozsuniętych względem siebie o 1800 mm przyłożone było prostopadłe do po-

wierzchni płyty przez stalową belkę (rysunek 2). W pierwszym cyklu badań płyt serii 1 obciążenie przykładano statycznie z szybkością 50 kN/min do wymaganego przez aprobatę [5] i wytyczne [6] poziomu P = 60 kN na każde koło osi samochodu. Po osiągnięciu zadanego poziomu obciążenia utrzymywano je przez 3 min i obserwowano spód oraz wierzch płyty pod kątem wystąpienia ewentualnych rys. Następnie płytę odciążono. W drugim cyklu płyty obciążano ponownie zwiększając poziom obciążenia do $P_1 = \gamma_f \cdot P = 1,4 \cdot 60 = 84 \text{ kN}$ (uwzględniano w ten sposób współczynnik dynamiczny $\phi = 1,4$) i obserwowano spód oraz wierzch płyty. Analogicznie obciążano płyty serii 2, przyjmując odpowiednio P = 80 kN i $P_1 = 1,4 \cdot 80 = 112 \text{ kN}$.

Podczas obciążenia ugięcia każdej płyty mierzono czujnikami indukcyjnymi (U na rysunku 2). Na podstawie badań płyt przejazdowych na zginanie, wg aprobaty [5] i wytycznych [6], stwierdzono, że płyty typu PWS140, PW140 i PZ140 w zakresie próby na zginanie pod obciążeniem 2 x 60 kN (seria 1) i 2 x 80 kN (seria 2) z przeciążeniem o 40% spełniają wymagania dokumentów [4 ÷ 6]. Nie oznacza to jednak, że płyty te będą bezawaryjnie funkcjonować przez długi czas (np. 25 lat). Okazuje się, że płyty przejazdowe



Rys. 2. Schemat stanowiska do badań wytrzymałości płyt na zginanie



Fot. 1. Widok stanowiska do badań wytrzymałości płyt na zginanie

o nośności użytkowej 2 x 60 kN ulegają zniszczeniu po kilku latach eksploatacji wskutek zmiany schematu statycznego (rozluźnia się pod płytami warstwa kruszywa bazaltowego połączona z lepiszczem – rysunek 1). Dlatego przeprowadzono badania niszczące płyt dla schematów innych (mniej dogodnych) niż przewiduje aprobatą [5] i wytyczne [6].

Badania niszczące płyt przejazdowych na zginanie momentami dodatnimi i ujemnymi przeprowadzono także na stanowisku przedstawionym na rysunku 2. Podczas tych badań zmieniano schematy statyczne płyt, usuwając wybrane podpory. Badano w ten sposób płyty na zginanie momentami dodatnimi przez obciążenie płyty jedną siłą skupioną w środku rozpiętości (fotografia 2) przy braku podpór 2 i 3 (rysunek 2). Zginanie momentem ujemnym (fotografia 3) wywoływano dwoma siłami skupionymi jak na rysunku 2, ale po usunięciu podpór skrajnych 1 i 4. Przepisy [4 ÷ 6] nie przewidują realizacji takich badań, należy więc traktować je jako uzupełniające, w celu określenia rzeczywistych momentów rysujących i niszczących płyty.

W trakcie badań płyt na zniszczenie obserwowano pojawienie się pierwszych rys i ich rozwój podczas przyrostu obciążenia aż do zniszczenia płyty. Pod każdą badaną płytą zamontowane były czujniki indukcyjne (U na rysunku 2), rejestrujące jej ugięcia. Uzyskane z badań wartości momentów rysu-



Fot. 2. Zginanie płyty momentem dodatnim



Fot. 3. Zginanie płyty momentem ujemnym

jących i niszczących poszczególne płyty zginane momentami dodatnimi lub ujemnymi zestawiono w tabeli 2.

Podsumowanie

Na podstawie badań płyt przejazdowych CBP w skali naturalnej, analizy projektów wykonawczych oraz wytycznych dotyczących prefabrykowanych płyt przejazdowych PW140, PWS140 i PZ140 ze zbrojeniem na obciążenia 120 kN/oś (seria 1) i 160 kN/oś (seria 2) oraz badań betonu sformułowano następujące wnioski:

- badania cech użytkowo-technicznych (cechy zewnętrzne elementów, właściwości betonu, przekrój i położenie zbrojenia) wchodzących w zakres tzw. badań okresowych i badań typu wykazały dobrą jakość badanych płyt przejazdowych;

- badania na zginanie dwóch serii płyt przejazdowych według wytycznych [4 ÷ 6] potwierdziły spełnienie warunku rysoodporności (brak rys i uszkodzeń przy obciążeniu 2 x 60 kN na oś dla serii 1 i 2 x 80 kN na oś dla serii 2);

- dodatkowe badania płyt na zniszczenie momentem dodatnim (siła przyłożona w środku) lub ujemnym (dwie siły przyłożone na wspornikach) potwierdziły obliczone wartości momentów rysujących i niszczących dla obu serii płyt;

- po opracowaniu wyników badań płyt [11] i wykonaniu dodatkowych obliczeń statycznych zalecono zmianę zbrojenia płyt przejazdowych realizowanych wg najstarszego projektu CBPBK Kolprojekt z 1974 r. (płyty o nacisku na oś 2 x 60 = 120 kN – tabela 1), gdyż w płytach tych nie uwzględniono możliwości zmiany schematu statycznego płyty podczas wieloletniej eksploatacji (np. po wyłączeniu się jednej z czterech podpór – rysunek 2). Właściwe zbrojenie płyt typu CBP przewidzianych na obciążenia 120 kN na oś powinno być przyjmowane jak w płytach serii 2 (co uczyniono w projekcie [10]).

Literatura

[1] Lipko C.: Przegląd konstrukcji nawierzchni na przejazdach kolejowych. Wymagania stawiane nawierzchni. Projektowanie i modernizacja skrzyżowań w poziomie szyn. Rynek Kolejowy 7-8/2004, s. 73 – 82.

[2] Jakubowski R.: Rozwój konstrukcji nawierzchni na przejazdach kolejowych. Zeszyty naukowo-techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie nr 132/2006, s. 287 – 309.

[3] PN-EN 13369:2005 (z aneksami A1:2008 i AC:2008). Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu.

[4] BN-77/8939-02 Przejazdy kolejowe. Nawierzchnia drogowa z prefabrykowanych płyt żelbetonowych. Wymagania i badania przy odbiorze.

[5] Aprobaty Techniczne CNTK AT/09-2008-0011-02 Prefabrykowane wielkogabarytowe płyty żelbetowe.

[6] Warunki techniczne wykonania i odbioru prefabrykowanych wielkogabarytowych płyt żelbetonowych do nawierzchni przejazdów kolejowych. Wymagania i badania. ILKB-5100/92/06. Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa. Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów. Warszawa, 02.08.2006 r.

[7] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 26 lutego 1996 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać skrzyżowania linii kolejowych z drogami publicznymi i ich usytuowanie (Dz. U. 1996 nr 33 poz. 144).

[8] Małek T., Rybicka D., Rapa A.: Prefabrykowane płyty żelbetowe grubości 140 mm do nawierzchni drogowej stosowane na przejazdach kolejowych w torach o szerokości 1435 mm. Projekt wykonawczy PPP i MEB ELMONT Lublin, grudzień 2006 r.

[9] Małek T., Rybicka D., Rapa A.: Prefabrykowane płyty żelbetowe nawierzchni drogowej (obciążenie 160 kN/oś) na przejazdach kolejowych o prześwicie torów 1435 mm. Projekt wykonawczy. PPP i MEB ELMONT Lublin, październik 2012 r.

[10] Małek T., Rybicka D., Rapa A.: Prefabrykowane płyty żelbetowe do nawierzchni drogowej stosowane na przejazdach kolejowych w torach o szerokości 1435 mm. Projekt wykonawczy. PPP i MEB ELMONT Lublin, sierpień 2013 r.

[11] Kubiak J., Łodo A., Michałek J.: Badania doświadczalne wielkogabarytowych płyt przejazdowych stosowanych na skrzyżowaniach linii kolejowej z drogami samochodowymi. Raport Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, serii U nr 50/2013, Wrocław 2013.

Tabela 2. Wartości momentów rysujących i niszczących wybranych płyt ze względu na zginanie momentami dodatnimi lub ujemnymi

Typ płyty	Seria	Obciążenie na oś	Momenty rysujące M_{cr} [kNm]		Momenty niszczące M_n [kNm]	
			dodatnie (+)	ujemne (-)	dodatnie (+)	ujemne (-)
wewnętrzna	1	120 kN	13,37	15,41	39,42	90,97
	2	160 kN	17,83	18,75	63,31	114,80
skrajna	1	120 kN	7,81	7,61	35,33	50,12
	2	160 kN	10,81	9,01	55,81	64,51