

Nawierzchnia przejazdu kolejowo-drogowego z małogabarytowych płyt żelbetowych

Surface made of small-size reinforced concrete plates for level crossings

dr inż. Jarosław Michałek (ORCID: 0000-0002-4242-9054), Politechnika Wrocławska

DOI: 10.5604/01.3001.0054.7193

Streszczenie: Przedmiotem artykułu są wyniki badań laboratoryjnych w skali naturalnej elementów nawierzchni przejazdu kolejowo-drogowego. Nawierzchnia analizowanego przejazdu kolejowo-drogowego składa się z wewnętrznych i zewnętrznych małogabarytowych płyt żelbetowych oraz belek podporowych. Płyty wewnętrzne opierają się obustronnie na stopkach szyn poprzez wewnętrzne amortyzatory polimerowe, które redukują oddziaływania dynamiczne kół samochodów i stabilizują płyty w kierunku prostopadłym do szyny. Natomiast płyty zewnętrzne z jednej strony opierają się na stopce szyny za pośrednictwem polimerowych amortyzatorów zewnętrznych, a z drugiej na pasie gumowym ułożonym na żelbetowej belce podporowej, która może stanowić jednocześnie krawężnik. Elementy nawierzchni przejazdu zaprojektowano na maksymalny nacisk koła samochodu S o wartości charakterystycznej $P_k = 60,0$ kN. Badania laboratoryjne zrealizowano w laboratorium Katedry Konstrukcji Budowlanych na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej. Program badań obejmował sprawdzenie zarysowania i ugięcia oraz nośności granicznej na zginanie wewnętrznej płyty przejazdowej. Badania płyt przejazdowych na zginanie potwierdziły ich właściwą nośność w stanie eksploatacyjnym i granicznym oraz możliwość ich stosowania na liniach kolejowych i tramwajowych.

Słowa kluczowe: przejazd kolejowo-drogowy, nawierzchnia z płyt betonowych, transport szynowy.

Abstract: The subject of the article is laboratory testing on a natural scale of surface elements for level crossings. The surface of the analyzed level crossing consists of small inner and outer reinforced concrete plates and support beams. The inner plates rest on both sides on the rail feet through internal polymer shock absorbers, which reduce the dynamic impact of car wheels and stabilize the plates in the direction perpendicular to the rail. The outer plates, on the other hand, rest on one side via external polymer shock absorbers on the rail foot and on the other side on a rubber strip placed on a reinforced concrete support beam, which can also act as a curb. The surface elements of the level crossing were designed for the maximum car S wheel load with a characteristic value of $P_k = 60,0$ kN. Laboratory tests were carried out in the laboratory of the Department of Building Structures at the Faculty of Civil Engineering of the Wrocław University of Science and Technology. The research program included checking of the cracking resistance and the deflection as well as the ultimate bending load capacity of the inner plate. The bending tests of the inner plates confirmed their proper load-bearing capacity in the operating and limit state and the possibility of using them on railway and tram lines.

Keywords: level crossing, reinforced concrete plate surface, rail transport.

1. Wprowadzenie

W obiektach związanych z szeroko pojętą energetyką na skrzyżowaniach dróg kołowych z kolejowymi mogą być wykorzystywane różnego typu nawierzchnie. Rozwiązania konstrukcyjne nawierzchni na przejazdach kolejowo-drogowych powinny mieć dużą nośność, dobre parametry eksploatacyjne, długą żywotność oraz zapewnić bezpieczeństwo ruchu samochodów i komfort użytkownika. Stosowane obecnie nawierzchnie drogowe na przejazdach kolejowo-drogowych można podzielić na cztery grupy: nawierzchnie bezpodsytkowe (np. STEDEF, STELCON, GTP, EDILON LC-L, ŻELTOR, RHEDA2000, LVT, EBS, FBB i in.); z płyt gumowych (np. CEPAG, KOLDROG, STRAIL, ELASTrack, OMNI i in.); z płyt wielkogabarytowych (np. ABETONG, HOLFAST, CBP i in.) i z płyt małogabarytowych (np. BOMAC, MIROSŁAW, BODAN, PGP, STRUNOBET i in.) [1–3].

Nawierzchnie bezpodsytkowe stanowią prefabrykowane żelbetowe płyty szynowe z ukształtowanymi kanałami, w których przy użyciu różnych technologii w sposób trwały mocuje się szyny kolejowe lub tramwajowe [4, 5]. Rodzaj płyt dostosowuje się do typu zastosowanych szyn, obciążenia ruchem drogowym, prędkości ruchu pociągów oraz promienia łuku poziomego toru. Nawierzchnie z płyt gumowych wykonane są jako dwuwarstwowe. Warstwa zewnętrzna płyt wykonana jest z gumy wysokiej klasy zawierającej korund, odpowiadającej własnościami gumie do produkcji opon samochodowych, natomiast warstwa wewnętrzna z mieszanki wulkanizacyjnej o zmniejszonych wymaganiach wytrzymałościowych. Powierzchnia jezdnia płyt jest nacięta dla zwiększenia przyczepności.

Przez długi czas dominującymi (i nadal stosowanymi) typami nawierzchni na przejazdach kolejowo-drogowych w Polsce były nawierzchnie wykonywane z żelbetowych

Tabela. 1. Zalety i wady nawierzchni drogowych na przejazdach kolejowo-drogowych

Nawierzchnia	Zalety	Wady
Bezpodsytkowa	wysoka trwałość i stabilność; wysoka szybkość realizacji nowych przejazdów; dobra współpraca nawierzchni drogowej z nawierzchnią kolejową (brak wzajemnych przemieszczeń, odkształceń) w obrębie przejazdu; niskie koszty utrzymania konstrukcji toru w cyklu eksploatacji	brak możliwości wymiany elementów nawierzchni bez demontażu przejazdu; różnica sztywności nawierzchni na przejeździe oraz sztywności nawierzchni poza przejazdem; brak możliwości regulacji wykonanego wcześniej toru; zwiększona emisja hałasu; wysoki koszt początkowy
Z płyt gumowych	zredukowany poziom wibracji i hałasu; możliwość wykorzystania elementów z recyklingu; duża różnorodność elementów dostosowanych do indywidualnych zastosowań	zwiększona podatność tworzyw sztucznych na warunki zewnętrzne (temperatura, promieniowanie UV, zaolejenie); możliwość powstawania trwałych odkształceń i zużycia nawierzchni przy większych obciążeniach; zmniejszone tarcie przy hamowaniu pojazdu zimą i w czasie deszczu; koszty związane z diagnostyką oraz utrzymaniem przejazdu w trakcie eksploatacji
Z płyt wielkogabarytowych	stosunkowo łatwy montaż i demontaż (konieczność użycia ciężkiego sprzętu, ale niewielka liczba elementów); niska cena wyrobu	duża masa elementów; brak współpracy nawierzchni drogowej z nawierzchnią kolejową (powstawanie deformacji, w tym klawiszowanie, przesunięcia płyt); duży poziom wibracji i hałasu; koszty związane z diagnostyką oraz utrzymaniem przejazdu w trakcie eksploatacji
Z płyt małogabarytowych	duża trwałość i wytrzymałość podstawowych elementów przy zachowaniu niewielkiej masy; łatwy i szybki montaż i demontaż (w tym pojedynczych płyt)	duża liczba elementów; nierównomierne obciążenie płyt w przypadku przejazdów zlokalizowanych pod kątem do drogi; koszty związane z diagnostyką oraz utrzymaniem przejazdu w trakcie eksploatacji; koszty związane z diagnostyką oraz utrzymaniem przejazdu w trakcie eksploatacji

płyt wielkogabarytowych typu CBP. Nawierzchnia tego typu składa się z płyt żelbetowych wewnętrznych (między szynami) i zewnętrznych oraz belek podporowych [6]. Płyty wielkogabarytowe montowane są bezpośrednio na podbudowie z tłuczni nasączonego masą twardniejącą, np. lepikiem asfaltowym lub upłynnionym lepiszczem bitumicznym. Grubość warstwy podbudowy powinna być taka, aby górna powierzchnia ułożonej płyty przejazdu pokrywała się z górną powierzchnią główki szyny na przejeździe.

Nawierzchnia z małogabarytowych płyt żelbetowych składa się z płyt wewnętrznych i zewnętrznych oraz belek podporowych. Płyty przejazdowe zewnętrzne od strony toru są oparte na stopce szyny poprzez amortyzatory polimerowe, natomiast od strony drogi opierają się na belce podporowej, do której są przykręcone za pomocą wkrętu mocującego. Płyty przejazdowe wewnętrzne z obu stron opierają się na stopkach szyn za pośrednictwem amortyzatorów polimerowych [7]. Belki podporowe ułożone są na zagęszczonym podłożu.

Rozwiązania klasyczne i te w postaci nawierzchni bezpodsytkowych mają swoje zalety oraz wady. Zestawienie wybranych zalet i wad nawierzchni na przejazdach kolejowo-drogowych wykonywanych w 4 podstawowych technologiach przedstawiono w tabeli 1.

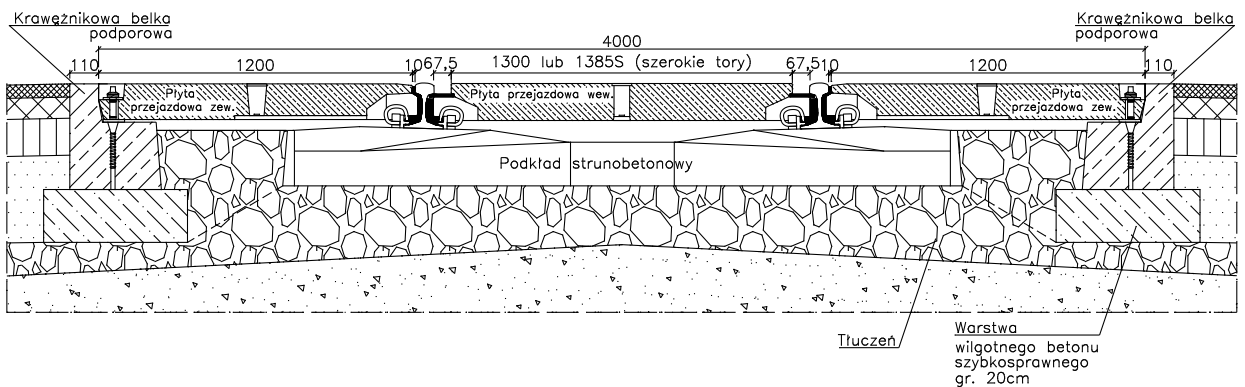
Przedmiotem artykułu są wyniki badań laboratoryjnych na zginanie prefabrykowanych, żelbetowych płyt przejazdowych małogabarytowych stosowanych na skrzy-

żowaniach dróg samochodowych z torami kolejowymi oraz na placach przeładunkowych transportu drogowego i kolejowego. Badania płyt przejazdowych wewnętrznych przeprowadzono w Laboratorium Konstrukcji Budowlanych na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej.

2. Charakterystyka nawierzchni przejazdu kolejowego

Przedmiotowa nawierzchnia przejazdu kolejowego składa się z małogabarytowych płyt wewnętrznych i zewnętrznych oraz belek podporowych (rys. 1). Płyty wewnętrzne i zewnętrzne mają jednakową szerokość 600 mm dla torów normalnych 1435 mm i szerokich 1525 mm. Wysokość płyt wewnętrznych wynosi $h_w = 140$ mm, a zewnętrznych $h_z = 135$ mm. Długość płyt wewnętrznych w torze normalnym wynosi $L_n = 1440$ mm, a w torze szerokim $L_s = 1525$ mm. Długość płyt zewnętrznych $L_z = 1220$ mm jest jednakowa dla obu szerokości torów.

Płyty wewnętrzne opierają się obustronnie na stopkach szyn poprzez wewnętrzne amortyzatory polimerowe, które redukują oddziaływania dynamiczne kół samochodów i stabilizują płyty w kierunku prostopadłym do szyny. Płyty zewnętrzne z jednej strony opierają się na stopce szyny za pośrednictwem polimerowych amortyzatorów zewnętrznych, a z drugiej na pasie gumowym ułożonym na żelbetowej belce podporowej (która może stanowić



Rys. 1. Elementy przejźdu kolejowego z żelbetowych płyt małogabarytowych

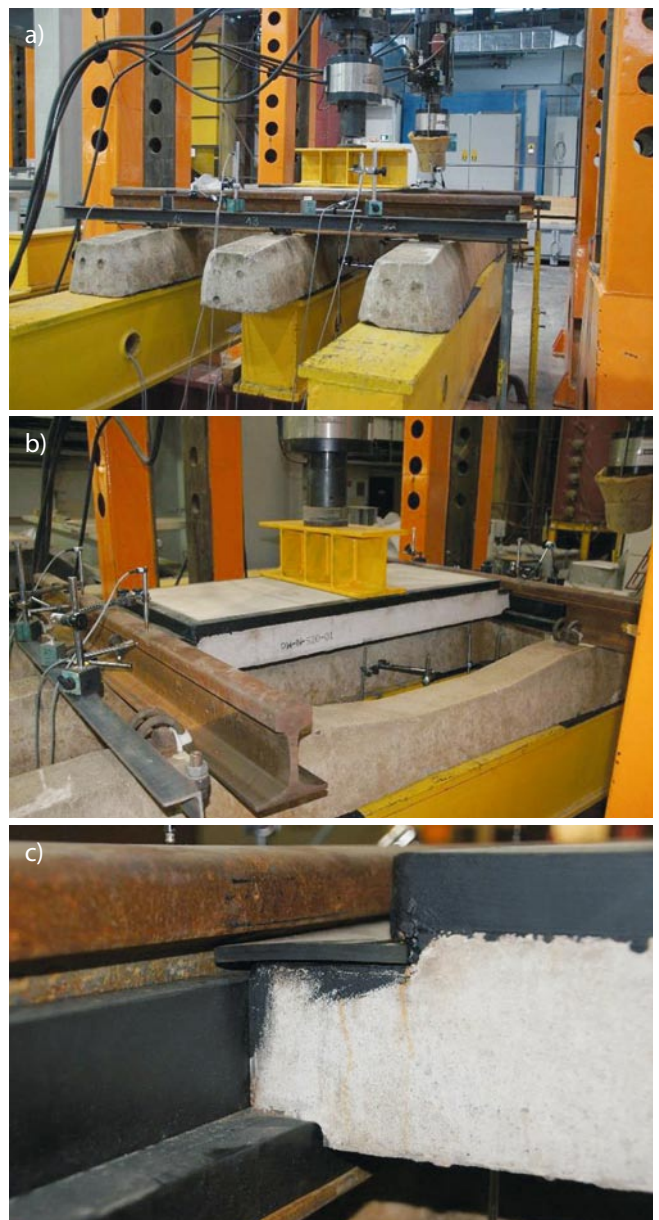
jednocześnie krawężnik). Każda płyta zewnętrzna jest przykręcona do belki podporowej wkrętem stalowym. Belki podporowe ułożone są na zagęszczonym podłożu poprzez warstwę betonu cementowego lub asfaltobetonu. Płyty przejazdowe oparte są więc przegubowo przesuwnie na stopkach szyn, z których reakcje od przejeżdżających samochodów przekazują się bezpośrednio na podkłady kolejowe a następnie na podsypkę. Natomiast podczas przejazdu pociągu płyty przejazdowe nie są obciążone oddziaływaniami z podłoża gruntowego, gdyż nie mają styczności z podsypką (przesuwają się pionowo razem z szynami i podkładami).

3. Badania na zginanie płyt wewnętrznych nawierzchni przejźdu kolejowego

Badanie na zginanie płyty wewnętrznej zrealizowano [8] na specjalnym stanowisku badawczym pozwalającym na przyłożenie obciążeń próbnych płyt w sposób jak najbardziej odpowiadający rzeczywistości (rys. 2). Stanowisko badawcze składa się z trzech podkładów strunobetonowych (rys. 2a) rozmieszczonych osiowo co 600 mm, do których poprzez typowe zamocowanie sprężyste przytwierdzone są odcinki szyn UIC60 (rys. 2a, b). Płyta wewnętrzna oparta jest na stopkach szyn poprzez amortyzatory wewnętrzne (rys. 2c). Pomiędzy środnik szyny i wyprofilowany rowek w okuciu płyty włożono pas gumowy uszczelniający (rys. 2c).

Pionową siłę P przyłożono za pomocą siłownika Instron (rys. 2a) poprzez specjalnie wzmocniony żebrami kształtownik stalowy HEB200 oraz przekładkę gumową (rys. 2b). Powierzchnia styku kształtownika stalowego z płytą odpowiada wprost powierzchni styku z nawierzchnią $A_s = 0,20 \times 0,60 = 0,12 \text{ m}^2$ koła pojazdu samochodowego S [9]. Podczas badania wytrzymałości płyty wewnętrznej na zginanie siła zginająca została umieszczona w środku rozpiętości płyty (rys. 2b).

Płyty przejazdowe wewnętrzne zaprojektowano [10] na maksymalny nacisk koła samochodu S o wartości charakterystycznej $P_k = 0,5 \cdot P_{k,osi} = 0,5 \cdot 120 = 60,0 \text{ kN}$. W obliczeniach stanu granicznego nośności płyt przejazdowych uwzględniono współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1,5$ i współczynnik dynamiczny



Rys. 2. Płyta przejazdowa wewnętrzna na stanowisku badawczym: a) widok elementów składowych stanowiska – strunobetonowe podkłady kolejowe, szyna UIC60, b) widok płyty na stanowisku wraz ze sposobem przekazania obciążenia, c) szczegół oparcia płyty na stopce szyny poprzez amortyzator wewnętrzny

Fot. J. Michałek

Rys. 3. Względne przemieszczenia pionowe w środku rozpiętości płyty wewnętrznej w zależności od poziomu obciążenia podczas badania nośności płyty na zginanie

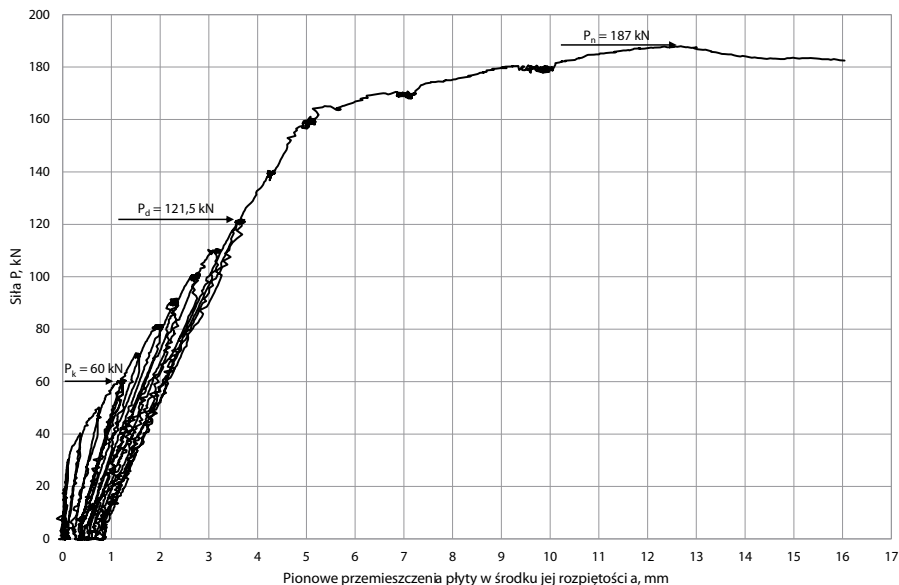
$\varphi = 1,35 - 0,005 \cdot L$ według wzoru (9) normy [9]. Dla rozpiętości teoretycznej płyty przejazdowej wewnętrznej $L_{os} = 1525 - 2 \cdot 0,5 \cdot 40 = 1485$ mm = 1,485 m uzyskano $\varphi \approx 1,343$ (przyjęto $\varphi = 1,35$). W obliczeniach [10] stanu granicznego nośności płyt przejazdowych przyjęto obliczeniową wartość obciążenia $P_d = \gamma_f \cdot \varphi \cdot P_k = 1,5 \cdot 1,35 \cdot 60,0 = 121,5$ kN od naciśku koła pojazdu samochodowego S.

Obciążenia próbne płyty zrealizowano w cyklach obciążenie-odciążenie, przechodząc kolejno przez poziomy obciążenie $P_k = 60$ kN, $P = \varphi \cdot P_k = 1,35 \cdot 60 = 81$ kN, $P = \gamma_f \cdot P_k = 1,5 \cdot 60 = 90$ kN, $P_d = 121,5$ kN, aż do zniszczenia (rys. 3). Podczas badań dokonywano pomiarów przy użyciu czujników indukcyjnych przemieszczeń płyty w środku rozpiętości oraz przy oparciu na stopkach szyn. Względne (po uwzględnieniu podatności podpór) przemieszczenia pionowe mierzone przy podporach oraz w środku rozpiętości płyty przedstawiono na rysunku 4.

Przemieszczenia płyty przy podporach były znaczne, co podyktowane jest ich oparciem na stopce płyty poprzez podatne amortyzatory wewnętrzne. Względne ugięcie płyty wewnętrznej w środku rozpiętości w ostatnim cyklu do zniszczenia wyniosło: dla obciążenia charakterystycznego $P_k = 60$ kN około $a = 2,1$ mm, dla obciążenia obliczeniowego $P_d = 121,5$ kN około $a = 3,6$ mm i dla obciążenia niszczonego $P_n = 187$ kN około $a = 12,7$ mm.

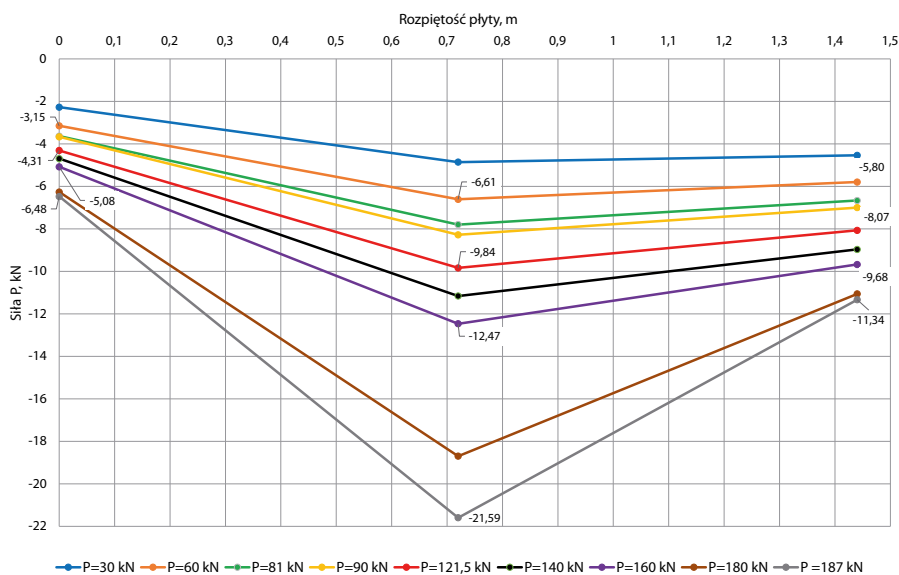
Zmierzone ugięcia płyty wewnętrznej są stosunkowo niewielkie. Dla porównania można za normą [11] przyjąć graniczną wartość ugięcia $a_{lim} = l/250 = 1440 / 250 = 5,8$ mm, która nie powinna zostać przekroczona przy obciążeniu siłą charakterystyczną $P_k = 60$ kN. Zatem można uznać, że warunek został spełniony. Pierwsza rysa prostopadła do osi płyty zlokalizowana była prawie do-

Rys. 4. Przemieszczenia pionowe przy podporach oraz w środku rozpiętości płyty wewnętrznej w zależności od poziomu obciążenia podczas badania nośności płyty na zginanie



kładnie w jej środku rozpiętości o szerokości rozwarcia $w \leq 0,1$ mm powstała przy obciążeniu siłą $P = 50$ kN. Po odciążeniu płyty ($P = 0$ kN) rysa zamknęła się. Przy obciążeniu $P_k = 60,0$ kN odpowiadającemu maksymalnemu naciskowi koła samochodu S pojawiły się nowe rysy prostopadłe do osi elementu, ale o szerokości rozwarcia nie przekraczającej $w = 0,1$ mm. Po odciążeniu płyty rysy zamknęły się. Według obliczeń [10] przy obciążeniu $P_k = 60$ kN rysy nie powinny przekroczyć szerokości rozwarcia $w = 0,2$ mm, zatem warunek został spełniony.

Rysy o szerokości rozwarcia $w \leq 0,3$ mm pojawiły się przy obciążeniu siłą $P = 100$ kN (po odciążeniu pozostały rysy $w \leq 0,1$ mm). Przy obliczeniowym obciążeniu siłą $P_d = 121,5$ kN obserwowano rysy o szerokości rozwarcia $w \leq 0,4$ mm. Jednak po odciążeniu pozostały rysy $w \approx 0,1$ mm. Przy obciążeniu $P = 180$ kN w środku rozpiętości zaobserwowano rysę o szerokości rozwarcia $w \leq 1,4$ mm, a przy obciążeniu





Rys. 5. Widok zniszczonej płyty wewnętrznej na zginanie przy obciążeniu siłą $P_n = 187$ kN



Rys. 6. Widok od góry złamanej podczas zginania strefy betonu płyty wewnętrznej

niszczącym $P_n = 187$ kN stwierdzono w tym samym miejscu pęknięcie o szerokości rozwarcia $w \leq 3,0$ mm (rys. 5). Płyta wewnętrzna uległa zniszczeniu na zginanie w środku rozpiętości przy obciążeniu $P_n = 187$ kN (rys. 5 i 6) w wyniku osiągnięcia przez zbrojenie rozciągane granicy plastyczności, a następnie przez beton wytrzymałości na ściskanie i w konsekwencji zgniecenie betonu strefy ściskanej. Uzyskana siła niszcząca $P_n = 187$ kN jest prawie 54% większa od maksymalnej dopuszczalnej siły obliczeniowej $P_d = 121,5$ kN.

4. Podsumowanie

Badania wewnętrznych płyt przejazdowych na zginanie potwierdziły ich właściwą nośność w stanie eksploatacyjnym i granicznym. Zginana w środku rozpiętości płyta wewnętrzna uległa zniszczeniu przy obciążeniu $P_n = 187$ kN. Zniszczenie nastąpiło w wyniku osiągnięcia przez zbrojenie rozciągane granicy plastyczności, a następnie przez beton wytrzymałości na ściskanie i w konsekwencji zgniecenie betonu strefy ściskanej.

W badanej wewnętrznej płycie przejazdowej stwierdzono spełnienie warunku stanu granicznego rozwarcia rys prostopadłych w $(P_k) \leq w_{lim} = 0,2$ mm [11] pod obciążeniem

użytkowym $P_k = 60$ kN. W badaniu płyty uzyskano szerokość rozwarcia rys w $(P_k) \leq 0,1$ mm.

Badania wewnętrznej płyty przejazdowej na zginanie potwierdziły jej odpowiednią sztywność. Przemieszczenia płyty przy podporach były znaczne, co podyktowane jest oparciem ich na stopce płyty za pośrednictwem podatnych amortyzatorów wewnętrznych. Względne (uwzględniające podatność podpór) maksymalne ugięcia zginanej płyty wewnętrznej pod siłą zlokalizowaną w środku rozpiętości są niewielkie i nie przekraczają wartości $a = 2,1$ mm dla obciążenia charakterystycznego $P_k = 60$ kN.

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych [8] oraz poligonowych [12] można stwierdzić, że przedmiotowe wewnętrzne płyty przejazdowe spełniają postawione przed nimi zadania i mogą być stosowane na skrzyżowaniach dróg kołowych z liniami kolejowymi i tramwajowymi [13, 14].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Lipko C., Przegląd konstrukcji nawierzchni na przejazdach kolejowych. Wymagania stawiane nawierzchni. Projektowanie i modernizacja skrzyżowań w poziomie szyn, Rynek Kolejowy 7–8/2004, str. 73–82
- [2] Jakubowski R., Rozwój konstrukcji nawierzchni na przejazdach kolejowych, Zeszyty naukowo-techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie 132/2006, str. 287–309
- [3] Dąbrowski A., Stencel G., Rodzaje nawierzchni na przejazdach kolejowo-drogowych i ich wprowadzanie do obrotu, Zeszyty naukowo-techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie 2(109)/2016, str. 47–68
- [4] Chudyba Ł., Porównanie kolejowej nawierzchni podsypkowej z bezpodsypkową, Technika Transportu Szynowego 9(25)/2018, str. 40–45
- [5] Tarifa M., Zhang X., Ruiz G., Poveda E., Full-scale fatigue tests of precast reinforced concrete slabs for railway tracks, Engineering Structures 100/2015, str. 610–621, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.06.016>
- [6] Kubiak J., Łodo A., Michałek J., Wielkogabarytowe płyty żelbetowe stosowane na przejazdach kolejowych, Materiały Budowlane 5/2014, str. 58–60
- [7] Plotkin D., Prefabricated Concrete Panel Railroad Crossings With Preformed Rubber Flangeway Fillers. U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories, FEAP-UG 97/85, Champaign, June 1997
- [8] Michałek J., Badania małowymiarowych żelbetowych płyt wewnętrznych przeznaczonych do budowy nawierzchni drogowej lub przejścia dla pieszych na przejazdach kolejowych. Raport serii SPR nr 7/2021, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2021
- [9] PN-S-10030:1985: Obiekty mostowe. Obciążenia
- [10] Michałek J., Łodo A., Kubiak J., Projekt prefabrykatów żelbetowych do budowy nawierzchni drogowej i przejść dla pieszych na przejazdach kolejowych, Pracownia Doradztwa Projektów Ekspertyz Budowlanych Compendium, Wrocław, 2018
- [11] PN-EN 1992-1-1:2008: Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [12] Michałek J., Badania poligonowe elementów nawierzchni przejazdu kolejowego (belki podporowe, płyty przejazdowe wewnętrzne, wewnętrzne skrajne i zewnętrzne) zabudowanych na skrzyżowaniu drogi z linią kolejową 61 Kielce-Fosowskie w km 49,756. Raport serii SPR nr 31/2021, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2021
- [13] Instrukcja PKP PLK S.A. Id-1 (D-1) Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na torach kolejowych (wydanie z 2005 r. wraz ze zmianami do 2015 r.)
- [14] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 20 października 2015 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać skrzyżowania linii kolejowych oraz bocznic kolejowych z drogami i ich usytuowanie (Dz.U. z 2015 r., poz. 1744 wraz z późn. zm.)