

dr inż. Aleksander Duda¹⁾
ORCID: 0000-0002-5549-3098

Innovative stay-in-place formwork reinforced with GFRP bars for deck bridge

Innowacyjne deskowania tracone zbrojone prętami GFRP do zastosowania w płycie pomostu

DOI: 10.15199/33.2025.04.01

Abstract: The aim of the work is to present innovative solutions for concrete stay-in-place formwork reinforced with GFRP (glass fiber reinforced polymer) bars for the construction of a bridge deck. Two types of stay-in-place formwork were developed: the first nonstructural, constituting only a technological facilitation, and the second cooperating with the bridge deck rods. The clear spans for the given types of stay-in-place formwork are 1.5 m and 3.4 m, and their thickness are 4 cm and 7 cm, respectively. The dimensions of stay-in-place formwork may be modified depending on the specific support system on the steel frame. Before being implemented in the bridge deck, the concrete stay-in-place formworks were tested in technological conditions of construction or tested in the laboratory. The first type of stay-in-place formwork was implemented in a composite steel-concrete bridge with a 52 m length frame scheme, and the second type of stay-in-place formwork was implemented in a composite steel-concrete bridge with a continuous beam scheme with a total length of 200 m.

Keywords: GFRP bars; bridge; stay-in-place formwork; optimization; testing; application.

Streszczenie: W artykule przedstawiono innowacyjne rozwiązania betonowych deskowań traconych zbrojonych prętami GFRP (polimer zbrojony włóknem szklanym) do budowy płyty pomostowej. Opracowano dwa rodzaje deskowań: pierwsze niekonstrukcyjne, stanowiące jedynie ułatwienie technologiczne oraz drugie współpracujące z prętami płyty pomostu. Rozpiętość w świetle podanych deskowań wynosi 1,5 i 3,4 m, a ich grubość odpowiednio 4 i 7 cm. Wymiary deskowania traconego mogą podlegać modyfikacji w zależności od układu podparcia na ruszcie stalowym. Przed wdrożeniem do płyty pomostowej deskowania betonowe zostały przetestowane w warunkach technologicznych budowy lub laboratoryjnie. Pierwszy rodzaj deskowania zaimplementowano w moście zespolonym stalowo-betonowym o schemacie ramy długości 52 m, a drugi w moście zespolonym stalowo-betonowym o schemacie belki ciągłej łącznej długości 200 m.

Słowa kluczowe: pręty GFRP; most; deskowanie tracone; optymalizacja; testy; wdrożenie.

A constantly increasing category of costs in the construction process are labor costs. Specialized construction works also require high precision, should be performed by professional personnel, and the designed structural elements of the bridge slabs should be characterized by a durability of at least 50 years [1]. A major difficulty during the works is the necessity to make system formworks without the possibility of assembling scaffoldings in river terrain or at a considerable height above the terrain. System formworks are subject to local damages, and the process of their dismantling is also difficult, increasing labor costs. An effective solution to these problems is the **use of concrete formwork**, which is not dismantled after concreting the bridge slab [2÷4]. Most often, however, they perform a non-structural function and thus overestimate the weight of the bridge deck, increasing the total costs of the main girders that must bear the additional load. In order for the concrete formwork to perform a structural function, it should be of an appropriate thickness and have an appropriate number of connectors for bonding with fresh concrete [5÷7]. Its effectiveness increases the greater the distance of the tension reinforcement from the neu-

Stale wzrastającą kategorią kosztów w procesie budowlanym są koszty robocizny. Specjalistyczne roboty budowlane wymagają dużej precyzji, powinny być wykonywane przez fachowy personel, a zaprojektowane elementy konstrukcyjne płyt pomostowych powinny się charakteryzować trwałością co najmniej 50 lat [1]. Dużym utrudnieniem podczas prowadzenia robót jest konieczność wykonywania systemowych deskowań bez możliwości montażu rusztowań w terenie rzeczonym lub na znacznej wysokości nad terenem. Systemowe deskowania ulegają lokalnym uszkodzeniom, a sam proces ich demontażu jest utrudniony, co zwiększa koszty robocizny. Skutecznym rozwiązaniem tych problemów jest **stosowanie deskowań betonowych**, których nie demontuje się po zabetonowaniu płyty pomostu [2÷4]. Najczęściej pełnią one funkcję niekonstrukcyjną i zwiększają ciężar płyty pomostu, a w efekcie całkowite koszty dźwigarów głównych, które muszą przenieść dodatkowe obciążenie. Aby deskowanie betonowe pełniło funkcję konstrukcyjną, powinno mieć odpowiednią grubość oraz odpowiednią liczbę łączników do zespolenia ze świeżym betonem [5÷7]. Jego efektywność wzrasta, im większa jest odległość zbrojenia rozciąganego od osi obciążonej elementu. Deskowanie konstrukcyjne powinno zapewniać ochronę przed czynnikami środowiskowymi (klasy ekspozycji) oraz odpowiednią ochronę przeciwpożarową.

¹⁾ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury; aduda@prz.edu.pl

tral axis of the element. The structural stay-in-place formwork should provide protection against environmental factors (exposure classes) and appropriate fire protection. Glass fibre composite rods GFRP have been successfully used as concrete reinforcement for years. The main reason for the replacement of reinforcing steel by GFRP rods in selected areas of construction is their unique properties, i.e. high resistance to corrosion and variable environmental conditions, low bulk density and high tensile strength [8]. In the case of stay-in-place formwork reinforced with GFRP rods, it is crucial to obtain a relatively small technological deflection from the weight of the wet concrete mix, which will reduce the costs of preparing and sealing the bridge before concreting. The article discusses hybrid solutions for structural stay-in-place formwork. GFRP bars allow for reducing the thickness of the concrete cover, and additional steel trusses provide load-bearing capacity and bonding in fire conditions [9, 10] without the use of GFRP bars.

Specimens

Non-structural stay-in-place formwork. Six specimens (S1-S6) of stay-in-place formwork panels with dimensions of $1.56 \times 1.00 \times 0.04$ m (Figure 1) made of C35/45 concrete with a maximum aggregate size of 8 mm were used for the tests. GFRP bars with a diameter of 6 mm and a tensile strength of approx. $f_u = 1100$ MPa were used as formwork reinforcement. The concrete cover was 15 mm. The number of GFRP bars in the formwork was adjusted to the specific design of the bridge deck, so that the cracking caused by the weight of the wet concrete mix did not exceed 0.2 mm (permissible value ≤ 0.5 mm [11], in order to limit leakage and prevent damage at low temperatures).

Structural stay-in-place formworks. The subject of the tests were three specimens (P1-P3) of stay-in-place formwork panels with dimensions of $3.50 \times 0.50 \times 0.07$ m (Figure 2). The panels were made of C35/45 concrete with a maximum aggregate size of 8 mm. The formwork reinforcement was made of GFRP bars with a diameter of 6 and 10 mm and a tensile strength of approx. $f_u = 1100$ MPa. The concrete cover of the GFRP bars was 14 mm, and of the steel bars 30 mm. The steel connecting trusses were made of bars with a diameter of 6 and 10 mm. The number of GFRP bars in the formwork was adjusted to the specific design of the bridge deck so that the cracking caused by the weight of the wet concrete mix did not exceed 0.1 mm, and the stress in the GFRP bars in the quasi-permanent combination in the bridge deck did not exceed 220 MPa, as a limit to brittle creep cracking according to [11].

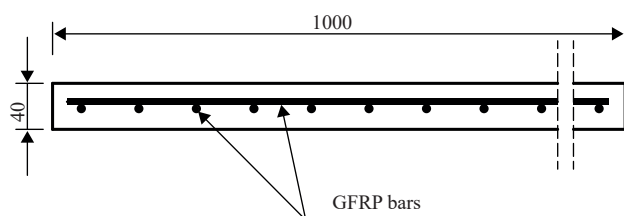


Fig. 1. Cross-section of nonstructural stay-in-place formwork
Rys. 1. Przekrój poprzeczny deskowania traconego niekonstrukcyjnego

Pręty kompozytowe z włókien szklanych GFRP od lat z powodzeniem znajdują zastosowanie jako zbrojenie betonu. Głównym powodem wypierania stali zbrojeniowej przez pręty GFRP w wybranych obszarach budownictwa są ich unikatowe właściwości, tj. duża odporność na korozję oraz zmienne warunki środowiskowe, mały ciężar objętościowy i duża wytrzymałość na rozciąganie [8]. W przypadku deskowania traconego zbrojonego prętami GFRP kluczowe jest uzyskanie relatywnie niewielkiego ugięcia technologicznego od ciężaru mokrej mieszanki betonowej, które ograniczy koszty przygotowania i uszczelnienia pomostu przed betonowaniem.

W artykule omówiono hybrydowe rozwiązania deskowań konstrukcyjnych. Pręty GFRP pozwoliły na ograniczenie grubości otuliny betonowej, a dodatkowe kratownice stalowe zapewniają nośność i zespolenie w warunkach pożaru [9, 10] bez udziału prętów GFRP.

Próbki

Deskowania tracone niekonstrukcyjne. Do badań przeznaczono sześć próbek (S1-S6) płyt deskowania traconego o wymiarach $1,56 \times 1,00 \times 0,04$ m (rysunek 1) wykonanych z betonu C35/45 o maksymalnym wymiarze kruszywa 8 mm. Jako zbrojenie deskowania zastosowano pręty GFRP średnicy 6 mm i nośności na zrywanie ok. $f_u = 1100$ MPa. Otulina betonowa wynosiła 15 mm. Liczbę prętów GFRP w deskowaniu dostosowano do konkretnego projektu płyty pomostu, tak aby zarysowanie od ciężaru mokrej mieszanki betonowej nie przekraczało rozwarości 0,2 mm (dopuszczalna wartość $\leq 0,5$ mm [11], w celu ograniczenia przecieków oraz niedopuszczania do uszkodzeń w niskiej temperaturze).

Deskowania tracone konstrukcyjne. Przedmiotem badań były trzy próbki (P1-P3) płyt deskowania traconego o wymiarach $3,50 \times 0,50 \times 0,07$ m (rysunek 2). Płyty wykonano z betonu C35/45 o maksymalnym wymiarze kruszywa 8 mm. Jako zbrojenie deskowania zastosowano pręty GFRP o średnicy 6 i 10 mm oraz nośności na zrywanie ok. $f_u = 1100$ MPa. Otulina betonowa prętów GFRP wynosiła 14 mm, a prętów stalowych 30 mm. Stalowe kratownice zespalające wykonano z prętów o średnicy 6 i 10 mm. Liczbę prętów GFRP w deskowaniu dostosowano do konkretnego projektu płyty pomostu, tak aby zarysowanie od ciężaru mokrej mieszanki betonowej nie przekraczało rozwarości 0,1 mm, a naprężenie w prętach GFRP w kombinacji quasi-stałej w przypadku płyty pomostu nie przekraczało 220 MPa, jako ograniczenie kruchego pęknięcia od pełzania wg [11].

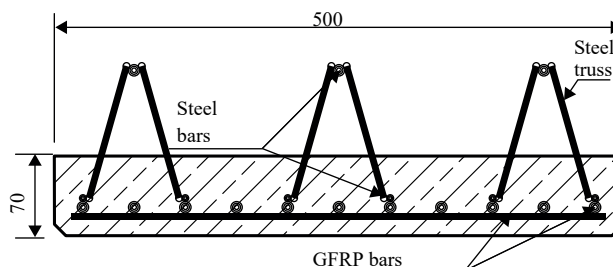


Fig. 2. Cross-section of structural stay-in-place formwork
Rys. 2. Przekrój poprzeczny deskowania traconego konstrukcyjnego

Test stands

Non-structural formwork tests were conducted in laboratory conditions. The hydraulic loading system of Instron Shenck Testing System GmbH with a load range of 0–40 kN was used. The HBM measuring system consisting of the X840A module and WA-50 and WA-100 displacement sensors was used to acquire measurement data (Figure 3). The formwork panels were placed on stable supports in the form of massive steel beams with a span of 1.50 m and a width of 3 cm. The formwork load came from a hydraulic cylinder operating in the middle of the panel span and was transmitted by a steel pressure element with a diameter of 20 cm, placed on a thin layer of rubber. **The structural formwork tests** were conducted in field conditions on the prefabrication site (Figure 4). Non-destructive tests, confirming the design assumptions, were carried out using an overload ballast in the form of a water tank with a capacity of 1 m³. The displacements of the plates were measured with a dial gauge with a resolution of 0.01 mm. In accordance with the test program, the elements were based on stable supports in the form of massive concrete beams, with a clear span of 3.40 m, 5 cm wide. The ballast load was applied at the mid-span of the slab and transmitted through the wooden elements.

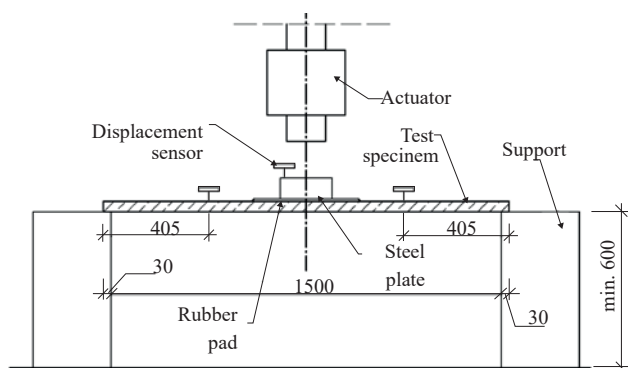


Fig. 3. Laboratory stand for testing non-structural stay-in-place formwork panels

Rys. 3. Stanowisko laboratoryjne do badania płyt deskowania niekonstrukcyjnego

Tests

For non-structural formwork panels (S1-S6), loading was carried out by moving the actuator piston at a speed of 2 mm/min. Loading stages were carried out according to the test program (Table 1). After reaching the required force, the load was maintained for 1–2 minutes and then unloaded to 0 kN at a speed of 10 mm/min. Due to the risk of damage to the measuring equipment, the displacement sensors were removed before starting the last loading stage (until destruction). In the case of the structural formwork panels (P1-P3), the load was applied by gradually filling the tank with water at a constant rate, in accordance with the test program (Table 1). Once the required force was achieved, the load was held for 1–2 minutes, after which the sample was unloaded. Readings at intermediate loading stages were taken manually, interrupting the tank filling until the reading stabilized.

Stanowiska badawcze

Badania deskowania niekonstrukcyjnego przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych. Zastosowano hydrauliczny system obciążania Instron Shenck Testing System GmbH o zakresie obciążeń 0–40 kN. Do akwizycji danych pomiarowych wykorzystano system pomiarowy HBM składający się z modułu X840A oraz czujników przemieszczeń WA-50 i WA-100 (rysunek 3). Płyty deskowania umieszczono na stabilnych podporach w postaci masywnych belek stalowych o rozpiętości w świetle 1,50 m, na szerokości 3 cm. Obciążenie deskowania pochodziło z siłownika hydraulicznego działającego w środku rozpiętości płyty i było przekazywane przez stalowy element dociskowy o średnicy 20 cm, umieszczony na cienkiej warstwie gumy.

Badania deskowania konstrukcyjnego przeprowadzono w warunkach terenowych na placu prefabrykacji (rysunek 4). Testy nieniszczące, potwierdzające założenia projektowe, realizowano z wykorzystaniem balastu przeciążeniowego w postaci zbiornika na wodę o pojemności 1 m³. Przemieszczenia płyt mierzono czujnikiem zegarowym o rozdzielczości 0,01 mm. Zgodnie z programem badań elementy oparto na stabilnych podporach w postaci masywnych belek betonowych, o rozpiętości w świetle 3,40 m, na szerokość 5 cm. Obciążenie od balastu przyłożono w środku rozpiętości płyty i przekazywano je przez elementy drewniane.

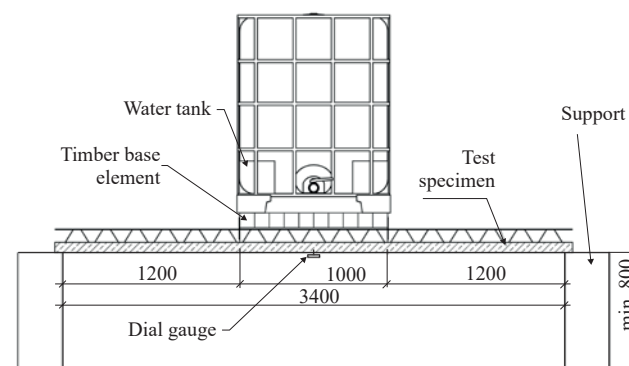


Fig. 4. Field stand for testing structural stay-in-place formwork panels

Rys. 4. Stanowisko polowe do badania płyt deskowania konstrukcyjnego

Badania

W przypadku płyt deskowania niekonstrukcyjnego (S1-S6) obciążanie realizowano przez przemieszczanie tłoka siłownika z prędkością 2 mm/min. Etapy obciążania realizowano zgodnie z programem badań (tabela 1). Po osiągnięciu wymaganej siły obciążenie utrzymywano przez 1–2 minuty, po czym odciążano je do 0 kN z prędkością 10 mm/min. Ze względu na ryzyko uszkodzenia sprzętu pomiarowego czujniki przemieszczenia zdemontowano przed rozpoczęciem ostatniego etapu obciążania (do zniszczenia).

W przypadku płyt deskowania konstrukcyjnego (P1-P3) obciążanie przykładano przez stopniowe napełnianie zbiornika wodą ze stałą prędkością, zgodnie z programem badań (tabela 1). Po osiągnięciu wymaganej siły obciążenie utrzymywano przez 1–2 minuty, po czym próbkę odciążano. Odczyty na pośrednich etapach obciążania wykonywano ręcznie, przerywając napełnianie zbiornika aż do stabilizacji odczytu.

Results and discussion

Figure 5 shows the loading stages of the non-structural formwork specimen S2. The test results of all slabs (S1-S6) are presented in Table 2. Similar crack development and crack width were obtained for all samples at the corresponding loading stages. Photo 1 shows the concrete crushing failure mode at about half the span of the slab, typical for all specimens. The GFRP bars

were not damaged, after unloading the cracked specimen lifted. Figure 6 shows a summary of the loading stages of the structural stay-in-place formworks P1-P3. In the case of non-structural formwork panels (S1-S6), the dependence of vertical displacement on force is almost in the entire load range quasi-linear. This indicates a relatively high degree of GFRP reinforcement in the concrete volume. Similarly, the deflection increase in the structural formworks (P1-P3) is quasi-proportional to the load, and the cracking was of an incidental nature. All tested non-structural

stay-in-place formworks (S1-S6) met the performance requirements concerning the limitation of technological deflection [12] and cracking in the case of a load constituting the weight of a wet concrete mix in accordance with the design [13]. All tested structural stay-in-place formworks (P1-P3) behaved similarly, demonstrating an appropriate safety margin in relation to the developed calculation model for the stress limitation condition in accordance with the design [14]. Further research on the optimization of the GFRP

reinforcement system of the presented structural stay-in-place formworks requires the development of a numerical model validated by displacement results in a wider load range (up to failure), determining the nonlinear behavior of concrete together with the analysis of the adhesion of GFRP bars

Table 1. Stage load for testing formworks

Tabela 1. Etapy obciążenia badanych deskowań wraz z warunkami projektowymi

Non-structural (4 cm thickness) formwork loading stages		
Stage load	Force [kN]	Description
1	1,44	Estimated cracking initiation
2	3,55	Permanent load on formwork in bridge (100%), cracking 0.1 mm
3	5,11	Permanent load on formwork in bridge (141%), cracking 0.2 mm
4	6,89	Permanent load on formwork in bridge (206%)
5	–	Destructive force
Structural (7 cm thickness) formwork loading stages		
Stage load	Force [kN]	Description
1	5	Permanent load on formwork in bridge (100%), cracking 0.1 mm
2	10	Permanent load on formwork in bridge (200%)

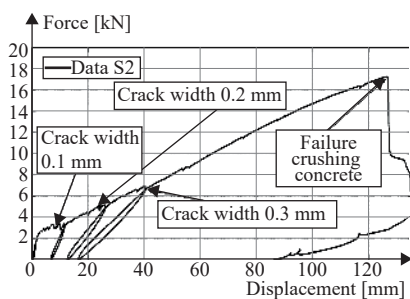


Fig. 5. Loading stages for specimen S2 with the development of the scratches

Rys. 5. Etapy obciążenia w przypadku próbki S2 wraz z rozwojem zarysowania

Table 2. Summary of results for tested slabs S1-S6

Tabela 2. Podsumowanie wyników badanych płyt S1-S6

Force [kN]	Displacement actuator [mm]						Description
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
1.44	3.13	1.29	5.78	7.19	1.38	3.04	no crack
3.35	9.77	11.60	13.44	18.06	15.12	12.16	0.1–0.2 mm crack width
5.11	21.73	26.02	24.78	29.78	29.51	24.09	0.2–0.3 mm crack width
6.89	34.01	40.34	38.90	42.22	45.10	37.30	0.3–0.4 mm crack width
11±20	122.66	126.02	94.99	108.95	85.48	107.86	range (sd = 3.24 kN); failure = crash concrete

Wyniki i dyskusja

Na rysunku 5 przedstawiono etapy obciążania próbki S2 deskowania niekonstrukcyjnego. Wyniki badań wszystkich płyt (S1-S6) przedstawiono w tabeli 2. W przypadku wszystkich próbek uzyskano podobny rozwój pęknięć i rozwartości rys na odpowiadających im etapach obciążenia. Fotografia 1 przedstawia formę zniszczenia przez zmiżdżenie betonu

w około połowie rozpiętości płyty, typową dla wszystkich próbek. Pręty GFRP nie zostały uszkodzone, po odciążeniu pęknięta próbka się uniosła. Na rysunku 6 pokazano podsumowanie etapów obciążenia deskowań traconych konstrukcyjnych P1-P3.

W przypadku płyt deskowania niekonstrukcyjnego (S1-S6) zależność przemieszczenia pionowego od siły prawie w całym zakresie obciążenia przyjmuje charakter quasi-liniowy. Świadczy to o relatywnie dużym stopniu zbrojenia GFRP w objętości betonu.

Analogicznie, przyrost ugięcia w deskowaniach konstrukcyjnych (P1-P3) jest quasi-proporcjonalny do obciążenia, a zarysowanie miało charakter incydentalny.

Wszystkie testowane niekonstrukcyjne deskowania tracone (S1-S6) spełniły wymagania wykonawcze dotyczące ograniczenia technologicznego ugięcia [12] i zarysowania w przypadku obciążenia stanowiącego ciężar mokrej mieszanki betonowej zgodnie z projektem [13]. Podobnie zachowały się wszystkie testowane konstrukcyjne deskowania tracone

(P1-P3) wykazując odpowiedni margines bezpieczeństwa w odniesieniu do opracowanego modelu obliczeniowego dla warunku ograniczenia naprężeń zgodnie z projektem [14].

Dalszy kierunek badań nad optymalizacją układu zbrojenia GFRP prezentowanych konstrukcyjnych deskowań



Photo 1. Repetitive failure for non-structural stay-in-place formwork by crushing the concrete

Fot. 1. Postać zniszczenia deskowania niekonstrukcyjnego przez zmiążdżenie betonu powtarzalna w przypadku każdej próbki

to concrete. Such a detailed numerical analysis should also take into account the steel stiffening trusses and the stability of their upper bars. Limiting the development of cracking of GFRP reinforced structural elements and the expected form of concrete crushing failure are the most commonly used design fuses by designers, in relation to glass fiber composite materials, which do not exhibit plasticity (brittle fracture) and are characterized by about 2 times lower permissible stress limit in relation to reinforcing steel under long-term creep load [11]. This usually results in the use of a much higher degree of reinforcement in bridge decks reinforced with GFRP bars. It should be noted that prefabrication of bridge decks by using stay-in-place formwork in the case of long bridge structures brings comparable direct costs at the construction stage compared to dismantled system formwork and a significant reduction in costs in the life cycle of the bridge (investor, user and social costs) due to the reduced time and financial outlays on maintenance works.

The first national implementation of stay-in-place formwork reinforced with GFRP rods

The footbridge over the Wisłok River in Besko, Podkarpacie, was put into service in 2024. It is a bridge structure with a static frame scheme with a theoretical span of approx. 52 m [13]. The bridge underwent acceptance tests under a static test load in the case of load class II according to PN-EN 1991-2, having been originally designed for class D (20 tons) in accordance with withdrawn Polish standards. The bridge superstructure consists of four rolled HEB 900 steel girders made of S460J2W steel (weathering steel) composite with a concrete deck slab. The bridge has a single 3.5 m wide roadway and 1.5 m wide sidewalks on both sides. In the area between the girders, non-structural stay-in-place formwork of the S type was used, discussed in the article. The favourable static design of the bridge, the use of rolled girders that do not require anti-corrosion protection and partial prefabrication of the deck slab with increased durability through the use of non-corrosive reinforcement are in line with the trend of optimal design of bridge infrastructure, taking into account

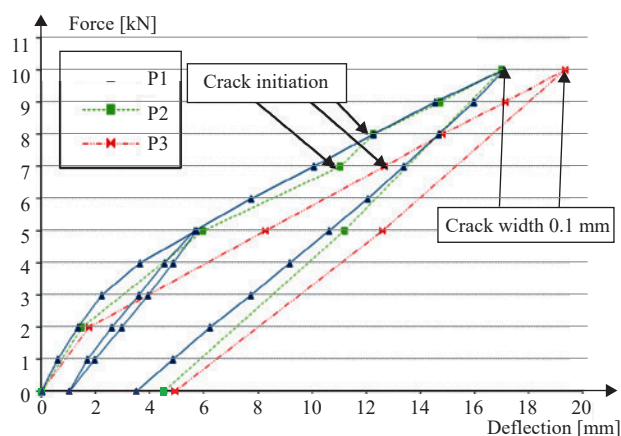


Fig. 6. Summary of loading stages for structural stay-in-place formworks P1-P3

Rys. 6. Podsumowanie etapów obciążenia próbek P1-P3 w przypadku deskowania konstrukcyjnego

traconych wymaga opracowania modelu numerycznego walidowanego o wyniki przemieszczeń w szerszym zakresie obciążenia (do zniszczenia), określającego nieliniowe zachowanie betonu wraz z analizą przyczepności prętów GFRP do betonu. W takiej szczegółowej analizie numerycznej należy uwzględnić również stalowe kratownice usztywniające oraz stateczność ich górnych prętów.

Ograniczenie rozwoju zarysowania elementów konstrukcyjnych zbrojonych GFRP oraz spodziewana postać zniszczenia przez zmiążdżenie betonu to najczęściej stosowane przez projektantów bezpieczniki projektowe, w odniesieniu do materiałów kompozytowych z włókien szklanych, które nie wykazują plastyczności (kruche pęknięcie) oraz charakteryzują się ok. dwukrotnie mniejszą dopuszczalną granicą naprężeń w odniesieniu do stali zbrojeniowej pod obciążeniem długotrwałym od pełzania [11]. Skutkuje to najczęściej stosowaniem znacznie większego stopnia zbrojenia w płytach pomostowych zbrojonych prętami GFRP. Należy zaznaczyć, że prefabrykacja płyt pomostowych przez stosowanie deskowań traconych w przypadku długich obiektów mostowych przynosi porównywalne koszty bezpośrednie na etapie budowy w porównaniu z demontowanymi deskowaniami systemowymi oraz znaczne obniżenie kosztów w cyklu życia pomostu (koszty inwestora, użytkownika i społeczne) z uwagi na ograniczenie nakładów czasowych i finansowych na prace utrzymaniowe.

Pierwsze krajowe wdrożenie deskowania traconego zbrojonego prętami GFRP

Kładka pieszo-jezdna nad rzeką Wisłok w miejscowości Besko na Podkarpaciu została oddana do użytkowania w 2024 r. Jest to obiekt mostowy o schemacie statycznym ramowym rozpiętości teoretycznej ok. 52 m [13]. Most przeszedł badania odbiorcze pod próbnym obciążeniem statycznym w przypadku klasy obciążenia II wg PN-EN 1991-2, będąc pierwotnie zaprojektowany na klasę D (20 ton) zgodnie z wycofanymi normami polskimi. Ustrój nośny mostu tworzą cztery stalowe dźwigary walcowane HEB 900 ze stali S460J2W (stal samopatynująca) zespolone z betonową płytą pomostu. Most

the needs of the investor (reduced maintenance costs, high durability, required load-bearing capacity) and the contractor (reduced direct costs, technological facilitations).

Currently, the construction of a bridge and access viaduct over the San River in Niewistka in the Podkarpacie region is underway, where for the first time in Poland, formwork will be used in a hybrid reinforcement system made of GFRP bars and steel reinforcement. The structure is designed for the highest road and military loads according to current Polish standards. It will have a theoretical length of approx. 300.0 m, which includes: an arched main span and a five-span access viaduct (100 m + 33.3 m + 3 × 44.4 m + 33.3 m) with a deck on which there is a 2 × 4.3 m wide roadway and a 1 × 3.4 m wide pedestrian and bicycle path [14]. The superstructure of the access viaduct is formed by a steel grid of four plate girders connected by crossbeams, composite by a concrete deck slab (photo 2). In the zone between the girders, the P-type structural formwork was used, as discussed in the article.



Photo 2. Side view of the part flyover under construction
Fot. 2. Widok boczny na część estakady dojazdowej w czasie budowy

Summary

The lack of corrosiveness of GFRP bars allows for a reduction of the concrete cover in stay-in-place formwork solutions, but their low fire resistance makes it necessary to increase the cover, treat them as non-structural elements (S-type formwork) or use hybrid solutions with steel bars (P-type formwork). The benefit for the contractor was obtaining a small thickness of the formwork elements, which significantly facilitated assembly and reduced the amount of concrete mix incorporated during concreting of the deck slab. Wider national implementation of GFRP composite materials in bridge construction, which was presented in the article or study [15], requires greater public awareness of road traffic safety and appropriate marking and monitoring of bridge infrastructure.

We would like to thank the employees of the Faculty Laboratory of Structural Re-

search of the Rzeszów University of Technology for their help in carrying out the research and the employees and management of Sarinż Sp. z o.o. for providing the tested formwork elements.

Received: 12.11.2024

Revised: 31.12.2025

Published: 25.04.2025

ma pojedynczą jezdnię szerokości 3,5 m i obustronne chodniki szerokości 1,5 m. W strefie między dźwigarami zastosowano niekonstrukcyjne deskowanie tracone typu S, omówione w artykule. Korzystny schemat statyczny mostu, zastosowanie dźwigarów walcowanych, które nie wymagają zabezpieczenia antykorozyjnego oraz częściowa prefabrykacja płyty pomostu ze zwiększeniem jego trwałości przez zastosowanie niekorodującego zbrojenia wpisują się w trend optymalnego projektowania infrastruktury mostowej, uwzględniając potrzeby zarządcy (ograniczenie kosztów utrzymania, wysoka trwałość, wymagana nośność) oraz wykonawcy (ograniczenie kosztów bezpośrednich, ułatwienia technologiczne).

Obecnie trwa budowa mostu i estakady dojazdowej nad rzeką San w miejscowości Niewistka na Podkarpaciu, gdzie po raz pierwszy w Polsce zostaną zastosowane deskowania konstrukcyjne w hybrydowym układzie zbrojenia z prętów GFRP i zbrojenia stalowego. Obiekt jest zaprojektowany na największe obciążenia drogowe i wojskowe wg aktualnych polskich norm. Będzie miał długość teoretyczną ok. 300,0 m, na co przypada: łukowe przęsło nurtowe i pięcioprzęsłowa estakada dojazdowa (100 m + 33,3 m + 3 × 44,4 m + 33,3 m) z pomostem, na którym znajduje się jezdnia szerokości 2 × 4,3 m i ciąg pieszo-rowerowy szerokości 1 × 3,4 m [14]. Ustrój nośny estakady dojazdowej tworzy stalowy ruszt czterech dźwigarów blachownicowych połączonych poprzecznkami, zespolonych betonową płytą pomostu (fotografia 2). W strefie między dźwigarami zastosowano deskowanie tracone konstrukcyjne typu P, omówione w artykule.

Podsumowanie

Brak korozyjności prętów GFRP umożliwia zmniejszenie otuliny betonu w rozwiązaniach deskowań traconych, lecz ich niewielka oporność ogniowa powoduje konieczność zwiększenia otuliny, traktowania ich jako elementy niekonstrukcyjne (deskowania typu S) lub stosowania rozwiązań hybrydowych z prętami stalowymi (deskowania typu P). Korzyścią dla wykonawcy robót było uzyskanie niewielkiej grubości elementów deskowań, co znacznie ułatwiło montaż oraz ograniczyło ilość mieszanki betonowej wbudowanej podczas betonowania płyty pomostu. Szersze krajowe wdrożenie materiałów kompozytowych GFRP w mostownictwie, które przedstawiono w artykule lub opracowaniu [15], wymaga większej świadomości społeczeństwa w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego (BRD) oraz odpowiedniego oznakowania i monitorowania infrastruktury mostowej.

Podziękowania dla pracowników Wydziałowego Laboratorium Badań Konstrukcji Politechniki Rzeszowskiej za pomoc w realizacji badań oraz dla pracowników i kierownictwa firmy Sarinż Sp. z o.o. za udostępnienie badanych elementów deskowania.

Artykuł wpłynął do redakcji: 12.11.2024 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 31.12.2024 r.

Opublikowano: 25.04.2025 r.

Literature

- [1] Dz.U. 2022 poz. 1518. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych.
- [2] Goyal R, Majhi S, Mukherjee A, and Goyal S. FRP Stay-in-Place Formworks for High Performance of Concrete Slabs. *J. Compos. Sci.* 2022; 6: 31, <https://doi.org/10.3390/jcs6100313>.
- [3] Boules P, Fam A, and Genikomsou AS. Concrete floor with GFRP-embedded I-beams and stay-in-place structural forms. *Journal of Composites for Construction.* 2020; 25(2); [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0001109](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0001109).
- [4] Brózda K, Selejdak J. Systemy deskowań traconych jako proekologiczne rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe. *Przegląd Budowlany*, Jan. 2017. <https://paperity.org/p/233097221/systemy-deskowan-traconych-jako-proekologiczne-rozwiazania-konstrukcyjno-materialowe>.
- [5] Pournasiri E, Pham TM, and Hao H. Behavior of Ultrahigh-Performance Concrete Bridge Decks with New Y-Shape FRP Stay-in-Place Formworks. *Journal of Composites for Construction*, 2022; 26 (3), DOI: 10.1061/(asce)cc.1943-5614.0001214.
- [6] Richardson P, Nelson M, and Fam A. Fatigue behavior of concrete bridge decks cast on GFRP Stay-in-Place structural forms. *Journal of Composites for Construction*, 2013; 18 (3), DOI: 10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000432.
- [7] Pournasiri E, Pham TM, and Hao H. Innovative bridge deck solutions: Examining the impact response and capacity of UHPC with FRP stay-in-place formworks. *Engineering Structures*, 2024; 315:118448, DOI: 10.1016/j.engstruct.2024.118448.
- [8] Jarek B, Kubik A. Zastosowanie prętów zbrojeniowych z włókna szklanego (GFRP) w budownictwie. *Przegląd Budowlany*. 2015; 12: 21 – 26
- [9] Nicoletta B, Woods J, Gales J, and Fam A. Postfire performance of GFRP stay-in-place formwork for Concrete Bridge decks. *Journal of Composites for Construction.* 2019; 23(3) [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0000941](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000941).
- [10] Williams B, Bisby L, Kodur V, Green M, and Chowdhury E. Fire insulation schemes for FRP-strengthened concrete slabs. *Composites Part A Applied Science and Manufacturing*, 2005; 37 (8):1151–1160, DOI: 10.1016/j.compositesa.2005.05.028.
- [11] ACI 440.1R-06 (2006). Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars, ACI Committee 440, American Concrete Institute (ACI).
- [12] PN-EN 13670:2011: Wykonywanie konstrukcji z betonu.
- [13] Projekt wykonawczy. Budowa kładki pieszo-jezdnej z rozbudową drogi wewnętrznej ul. Nadrzecznej i przebudową uzbrojenia terenu. Optipro Sp. z o.o., 2023 (Projektant: Aleksander Duda).
- [14] Projekt wykonawczy. Budowa mostu w ciągu drogi powiatowej wraz z drogami dojazdowymi łączącymi Niewistkę z Jabłonicą Ruską. Optipro Sp. z o.o., 2024 (Projektant: Aleksander Duda).
- [15] Siwowski T, Rajchel M, Kaleta D, Własak L. Pierwszy polski most drogowy z kompozytów FRP. Projekt, badania, budowa. *Mosty*, Jan. 2016. <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-f813686f-0277-4a87-9e9b-ba1b111284bb>.