

Wzmacnianie mostów murowanych z użyciem blach falistych

Strengthening the masonry bridges with use of corrugated steel plates



Czesław Machelski

Prof. dr hab. inż.

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego; Katedra Mostów i Kolei

czeslaw.machelski@pwr.wroc.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono problem rewitalizacji starych, łukowych mostów, wybudowanych dawno temu jako konstrukcje murowane. Obecnie tego rodzaju budowle komunikacyjne są bardzo popularne i szeroko stosowane w Europie. W Polsce jest również znaczna liczba takich obiektów. Praca dotyczy możliwości wzmocnienia tych sklepień z wykorzystaniem blachy falistej jako materiału, który jest od dawna używany w konstrukcjach gruntowo-powłokowych. Wykorzystanie stalowych powłok jest bardzo wygodne, bowiem w niewielkim stopniu ingeruje się w istniejący układ konstrukcyjny przy tym z minimalnym zakresem prac budowlanych, jakie mają miejsce pod sklepieniem. Taka technologia nie powoduje żadnych ograniczeń ruchu na moście oraz w niewielkim stopniu zmniejsza obszar użytkowy pod mostem. W pracy przedstawiono różne geometrie powłok. Przykłady zrealizowanych obiektów wskazują na efektywność wzmocnienia sklepień murowanych z wykorzystaniem blachy falistej o niskim profilu.

Słowa kluczowe: sklepienia murowane, powłoki z blach falistych, technologia wzmacniania

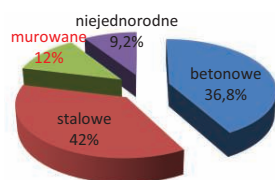
Abstract: The following work presents the problem of old arched bridges, built a long time ago as masonry constructions and their revitalization. Nowadays this kind of railway structures is very popular and extensively used in Europe. Moreover, in Poland there is a significant number of them. This work considers the possibility of strengthening these objects with using the corrugated steel plates as the material which is already being used in soil-steel structures. The usage of steel coatings is very convenient while providing any construction works as they are taking place underneath the arch. This is not causing any restrictions of movements on the bridge as only a small area under the bridge is occupied. According to different coatings geometry, this kind of technology is being presented based on already existing objects as the examples. The following study proves high efficiency of strengthening the masonry vaults with the usage of corrugated steel plates.

Keywords: strengthening the masonry bridges, corrugated steel plates

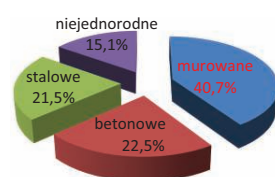
Sklepienie mosty murowane należą do grupy najstarszych obiektów, obecnie eksploatowanych. Zestawione na rys. 1 rodzaje mostów wskazują na to, że obiekty murowane zajmują na europejskich

szlakach kolejowych zdecydowanie najwyższą pozycję natomiast w Polsce ich udział jest znacznie mniejszy - ale znaczący. W przypadku mostów drogowych udział obiektów murowanych jest jeszcze mniejszy [2]. Ustalenie obecnej nośności użytkowej jest trudne do ustalenia bowiem były one projektowane ponad sto lat temu na zupełnie inne obciążenia ruchome niż obecne. Istotne znaczenie ma w tym oszacowaniu aktualny stan techniczny [2]. Jednak charakterystyczną cechą statyczno-wytrzymałościową konstrukcji sklepionych jest to, że przenoszą one głównie ciężar własny i wyposażenia w tym podbudowę z nawierzchnią jezdni. Z tego powodu nawet niewielkie wzmocnienie konstrukcji powoduje znaczną poprawę nośności użytkowej, oczywiście uwzględniając degradację sklepienia [2], co jest przedmiotem artykułu.

Wzmacnianiem obiektów sklepionych zajmowano się od dawna stosując ówczesne możliwości techniczne i materiałowe [1]. W zaleceniach technologicznych wskazywano na konieczność łączenia wzmacniającego betonu ze sklepieniem. Z tego powodu rzadko spotykane było wzmacnianie łuków betonowych a w przypadku konstrukcji żelbetonowych nie występowało [1]. Możliwe było więc łączenie betonu ze sklepieniami murowanymi z cegły i kamienia. W zalecanych koncepcjach wzmocnienia podanych w [1] preferowano pogrubianie sklepienia od jego dolnej powierzchni. Wiązało się to z poszerzeniem podpór (filarów i przyczółków) i fundamentów. Na rys. 2 podano jeden z przykładów wzmacniania obiektu ceglanego - w tym przypadku pogrubienie sklepienia wykonano z cegły klinkierowej. Zakres robót w takiej koncepcji wzmocnienia był ogromny!

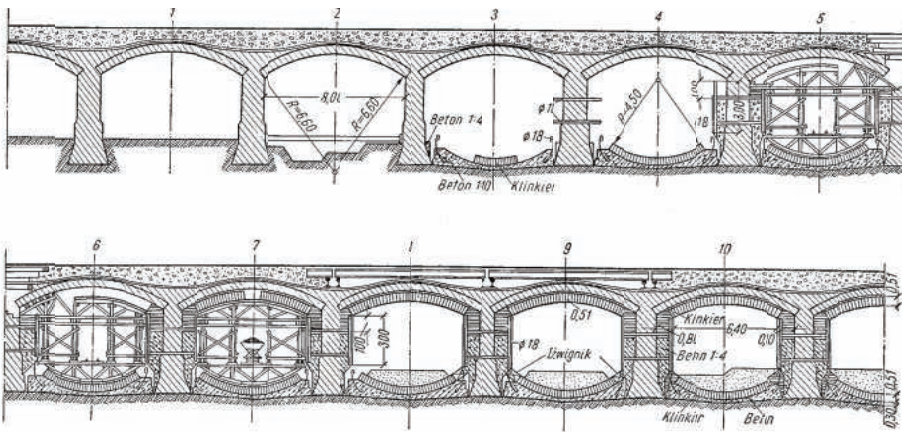


Polska



Europa

1. Procentowy udział materiału konstrukcji w mostach kolejowych [2]



Rys. 12.15. Wzmocnienie sklepień ceglanych wiaduktu kolejowego

- | | |
|---|---|
| 1 – stan przed wzmocnieniem, | f – wymuszenie górnej części filarów i sklepienia wzmacniającego z klinkieru, |
| 2 – wykop z rozparciem podpór, | g – belki odciążające nad sklepieniem dla założenia izolacji, |
| 3 – układanie odwrotnego sklepienia z klinkieru na warstwie betonu, | h – wstępne sprzężenie odwrotnych sklepień dźwigniami, |
| 4 – potrąbienie filarów, | z – zabetonowanie przestrzeni między filarami i odwrotnymi sklepieniami |
| 5, 6 – podparcie sklepień z założeniem belek odciążających nad filarem, | |

2. Technologia wzmocniania sklepień ceglanych wiaduktu kolejowego [1]



3. Wzmocnianie kamiennych sklepień murowanych mostu kolejowego [5]

W niniejszej pracy przedstawiono obecnie stosowane sposoby wzmocnienia sklepień murowanych z zastosowaniem blach falistych. W tej grupie, w zależności od kształtu powłoki wyróżnia się trzy układy geometryczne powłok:

- o kształcie zamkniętym, stosowane w relingu;
- o wysokim profilu, oparte na fundamencie obiektu;
- o niskim profilu, mocowane na podporze pod sklepieniem.

Na wybór jednego z tych rozwiązań mają wpływ możliwości techniczne przebudowy i koszty. Istotne znaczenie może mieć sytuacja komunikacyjna a więc możliwość eksploatacji (z ograniczeniami) obiektu w trakcie prac budowlanych – jak w przykładach rozwiązań technicznych omawianych w pracy.

Relining jako sposób wzmocnienia przepustów

Klasycznym przykładem wzmocnienia przepustów jest relining. Podobną technologię stosuje się również w przypadku wzmocnienia małych mostów sklepionych. W realizacji tej technologii używa się powłok z blach falistych oraz prefabrykaty betonowe i kompozytowe. Obydwa sposoby wzmocniania mostów są wzajemnie konkurencyjne co widoczne jest w zastosowaniach [5]. W przypadku przepustów najczęściej wykonuje się ich wzmocnienie polegające na wprowadzeniu do wnętrza istniejącego obiektu nową konstrukcję i szczelnym wypełnieniu przestrzeni pomiędzy nimi betonem lub innym, odpowiednio dobranym materiałem [3]. Metoda ta nazywana jest w literaturze technicznej relingiem.

Relining jest efektywnym sposobem w sytuacji poszerzania jezdni drogi i chodników oraz dodawania ścieżki rowerowej. W takich przypadkach może występować odmienna konstrukcja pod jezdnią i w obszarze poszerzenia. Zaletą relingu jest możliwość prowadzenia wszystkich robót bez wyłączenia obiektu z eksploatacji. Unika się też rozwiązania alternatywnego w postaci obiektu objazdowego stosowanego w przypadku rozbiórki dotychczasowej konstrukcji. Wiele przykładów stosowania tej technologii przedstawiono w [3].

Do relingu wykorzystuje się blachy faliste jak obiektach gruntowo-powłokowych [3, 4]. Również, stosowane są żelbetowe prefabrykaty o kształcie rurowym i skrzynkowym oraz rury z polie-



4. Widok obiektu drogowego w trakcie przebudowy i stanu obecnego [5]

stru i kompozytów GRP. Istotne znaczenie na decyzję o zastosowanym typie wzmocnienia ma: geometria istniejącego obiektu i możliwość zmiany kształtu (zmniejszenie użytecznego przekroju poprzecznego) oraz warunki techniczne gruntowo-wodne.

Przykłady wzmocnienia mostów sklepionych

Na rys. 3 przedstawiono wzmocnienie obiektu kolejowego na przedmieściach Filadelfii w stanie Pensylwania, USA. Konstrukcję obiektu tworzy 7 kamiennych łuków sklepionych. Most został oddany do użytku 150 lat temu i od tamtego czasu przeszedł kilka mniejszych remontów i wzmocnień. Ostatecznie zdecydowano, że 4 łuki wymagają wzmocnienia stalową powłoką z blachy falistej o profilu SC 381×140×5 stosowaną w obiektach o dużym obciążeniu [5]. Rozpiętości łuków 14,83 m a ich szerokość 7,39 m. Powłoka konstrukcji wzmocnienia została zmontowana na stanowisku roboczym. Następnie scalone arkusze blachy umieszczono na stalowych prowadnicach i nasuwano poprzecznie pod wzmocniane łuki, jak na rys. 3. Przestrzeń między

nową konstrukcją z blachy i łukiem sklepionym w każdym przypadku została wypełniona pompowanym do niej zaczynem cementowym. Po stwardnieniu mieszanki stalowa powłoka współpracuje ze sklepieniem. Remont obiektu zakończono w lutym 2015 r.

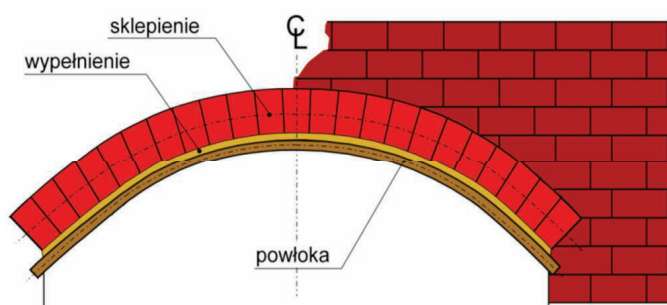
W przykładzie obiektu nad rzeką Zgłowiączką we Włocławku, przedstawionym na rys. 4 występowały dwie, zróżnicowane konstrukcje. Jedną z nich, traktowaną jako podstawową był sklepiony most betonowy a drugą obiekt o schemacie belkowym. W przebudowanym obiekcie przyjęto jednolity sposób wzmocnienia. O wyborze koncepcji z użyciem blachy falistej o kształcie łukowym zadecydowała geometria powłoki - dostosowana do sklepienia betonowego. Przeszło o schemacie belkowym w tym układzie podporządkowano konstrukcji głównej, sklepionej. W ten sposób powstała budowla o wspólnej architekturze, jak na rys. 4. Wobec tego zastosowanie takiego, jednolitego wzmocnienia można uważać jako uzasadnione. W obydwu przypadkach pokazanych na rysunkach 3 i 4 zastosowano powłoki z blach falistych podparto na istniejącym fundamencie mostu.

Przedstawiona na rys. 5 koncepcja wzmocnienia również w niewielkim stopniu ingeruje w obecny układ konstrukcyjny. Tak jak w wielu przypadkach stosuje się tu podparcie powłoki na filarze lub przyczółku mostu. Możliwa jest również jego realizacja podczas użytkowania obiektu, co może być istotną zaletą takich prac remontowych. Na rys. 5 przedstawiono mostowy obiekt o konstrukcji sklepionej, wykonany z czerwonego piaskowca, rozparty na murach regulacyjnych rzeki Włódzicy w ciągu ul. Dworskiej w Nowej Rudzie. Szczególnym elementem zastosowanej technologii wzmocnienia było sprężenie blach falistych z użyciem ściągu przed wykonaniem wypełnienia przestrzeni pomiędzy sklepieniem i powłoką [6]. Przy okazji wzmocnienia konstrukcji poprawiono elewację obiektu.

Na rys. 6 przedstawiono schemat ideowy wzmocnienia murowanego mostu sklepionego z zastosowaniem blachy falistej. Technologia wzmocnienia polega na wprowadzaniu powłoki z blachy falistej pod konstrukcję i mocowanie jej w podporze eksploatowanego obiektu. Następną czynnością jest wypełnianie wolnego obszaru pomiędzy wzmocnia-



5. Elewacja kamiennego obiektu murowanego po remoncie [6]



6. Schemat wzmocnienia sklepienia murowanego

na konstrukcją a powłoką betonem. Warstwa wypełniająca pełni w tym układzie kilka funkcji: elementu konstrukcji a także rolę tworzywa służącego do dostosowania geometrii powierzchni dolnej sklepienia i wytworzenia styku elementów układu nośnego (blachy i sklepienia). Z uwagi na zasadę pracy sklepienia przenoszącego głównie siłę osiową z małym mimośrodem i podobnie pracującej powłoki nie są konieczne łączniki wymuszające współpracę tych elementów konstrukcji. Na wybór miejsca podparcia powłoki ma wpływ geometria wzmacnianego sklepienia.

Efektywność wzmacnianie mostów murowanych

Układ konstrukcyjny przedstawiony na rys. 6 przed i po wzmocnieniu nie zmienia zasady pracy – jest w dalszym ciągu sklepioną konstrukcją łukową. W wyniku wzmocnienia powstaje układu warstwowy utworzony z trzech elementów: sklepienia (s), powłoki (p) i wypełnienia (w). Przenoszą one siły osiowe powstałe od obciążeń użytkowych zgodnie z zasadą pracy sklepienia – proporcjonalnie do sztywności układu warstwowego:

$$EA = (EA)_s + (EA)_w + (EA)_p \quad (1)$$

Przyjmując, jak w przykładzie obiektu przedstawionego na rys. 5, że wzmocnienie wykonano z blach falistej o niskim profilu typu MP 200x55x5,5 (wymiary fali: długość, wysokość, grubość blachy [mm]) jej sztywność wynosi

$$(EA)_p = 205000 \cdot 6,512 \cdot 10^{-3} = 1335 \text{ MN/m} \quad (2)$$

W przypadku wypełnienia przestrzeni pomiędzy blachą a sklepieniem betonem o średniej grubości warstwy 10 cm uzyskuje się sztywność warstwy powłoki

$$(EA)_w = 30000 \cdot 0,10 = 3000 \text{ MN/m} \quad (3)$$

Wobec tego sztywność układu warstwowego, jak na rys. 6, gdy h jest grubością murowanego sklepienia wynosi

$$EA = E_s h + 3000 + 1335 \text{ MN/m} \quad (4)$$

Tab. 1. Charakterystyki materiałów sklepień

Materiał sklepienia	E_s [MN/m ²]	α [%]
cegła	2000 - 5000	18,7 – 36,6
kamień	5000 - 10000	36,6 – 53,6
beton	10000 - 20000	53,6 – 69,8

W tab. 1 zestawiono zakresy modułów odkształcalności materiałów sklepienia. W wartościach E_s uwzględnia się aktualny stan materiału a więc jego degradację stąd wartości podane w tablicy są jedynie orientacyjne.

Ze wzoru (1) można obliczyć udział każdego elementu we wzmocnionym układzie. Przyjmując przykładową grubość sklepienia $h = 0,5$ m uzyskuje się procentowy udział sklepienia w przenoszeniu obciążeń ruchomych we wzmocnionej konstrukcji w postaci parametru

$$\alpha = \frac{E_s / 2}{3000 + 1335 + E_s / 2} \quad (5)$$

Z wartości α wynika że największą skuteczność wzmocnienia uzyskuje się w przypadku zdegradowanego sklepienia ceglanego a najniższą w łukach betonowych, na dodatek wykonanych z betonu o wysokiej wytrzymałości. W większości przypadków sklepień murowanych wzmocnienie (czyli blacha falista z wypełnieniem) staje się więc podstawowym elementem układu.

Oczywiście wprowadzenie dwóch dodatkowych elementów w układzie warstwowym wzmocnienia powoduje zmianę położenia pierwotnej powierzchni bezwładności, odbiegającej do linii ciśnienia sklepienia, utworzonej od obciążeń stałych. Z danych przedstawionych w tabeli wynika, że przesunięcie powierzchni bezwładności może być znaczne w przypadku sklepień ceglanych. Zastosowanie blachy falistej z jednej strony zabezpiecza tą warstwę przed ewentualnym powstawaniem naprężeń rozciągających. Istotne znaczenie dla bezpieczeństwa warstwowej konstrukcji staje się więc warstwa górna sklepienia w szczególności gdy jest ono murowane a więc mało odporne na powstawanie naprężeń rozciągających.

W ogólności, w wyniku wzmocnienia powstaje konstrukcja zespolona złożona z wielu materiałów. Model obliczeniowy takiej konstrukcji jest złożony a nośność użytkowa takiego obiektu trudna do oszacowania [3]. W szczególności dotyczy sił wewnętrznych w sklepieniu, powstałych jako wynik ciężaru własnego konstrukcji i wyposażenia jak również przemieszczeń wewnętrznych wynikających z destrukcji struktury [2].

Podsumowanie

Wśród najstarszych obiektów kolejowych i drogowych, obecnie jeszcze eksploatowanych, liczną grupę stanowią obiekty murowane (sklepione). Z uwagi na ich ograniczoną nośność użytkową wymagają one wzmocnienia a gdy zostały one wybudowane na ważnym ciągu komunikacyjnym istotną staje się możliwość ich remontowania bez konieczności zatrzymania ruchu na moście, a w szczególnej okoliczności tylko jego ograniczenia. Wzmacnianie sklepień z użyciem blach falistych może być efektywnym sposobem rewitalizacji starych obiektów murowanych. Zaletą proponowanej technologii jest niewielka ingerencja w dotychczasowy układ konstrukcyjny. Do wzmacniania sklepienia wystarczające jest użycie blach falistych o niskim profilu typu MP 200x55x5,5 - nawet przy dużych rozpiętościach. Bowiem w powłoce istotne jest pole powierzchni przenoszące siłę osiową, a nie jej sztywność przy zginaniu. Zaletą wzmacniania sklepienia blachą falistą jest niewielka redukcja przestrzeni pod obiektem. W przypadku sklepień o zaawansowanej degradacji materiału dogodne jest poszerzenie obiektu i nadanie mu estetycznej elewacji. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Bartoszewski J.: Wzmacnianie i poszerzanie mostów. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1962.
- [2] Bień J.: Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010.
- [3] Janusz L., Madaj A.: Obiekty inżynierskie z blach falistych. Projektowanie i wykonawstwo. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2007.
- [4] Machelski C.: Budowa konstrukcji gruntowo-powłokowych. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2014.
- [5] Machelski C., Łuczak N., Malek A.: Przebudowa mostów z zastosowaniem blach falistych. Mosty 5/2015 s. 22 – 24.
- [6] Machelski C., Michalski J.B.: Czynne wzmocnienie mostu sklepionego z zastosowaniem blach falistych. Mosty 6/2014 s. 26 – 28.