

## **SELECTED PROBLEMS OF DESIGN AND MODERNIZATION OF BRIDGES STRUCTURES OF CORRUGATED SHEET**

**Andrzej Surowiecki<sup>1</sup>**

### **ABSTRAKT**

Omówiono wybrane problemy projektowania i realizacji konstrukcji inżynierskich z blach falistych. Podstawą do opracowania artykułu jest projekt wybranej konstrukcji inżynierskiej i obowiązujące w Polsce zalecenia, opracowane w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów. Zalecenia te są adresowane dla projektantów, wykonawców i jednostek zarządzających eksploatacją. Zwrócono także uwagę na istotę modelowania teoretycznego, stanowiącego pomocnicze narzędzie projektanta.

### **Słowa kluczowe:**

konstrukcje inżynierskie, blachy faliste, projektowanie, modelowanie

### **ABSTRACT**

The paper introduces the selected problems of design and realization of bridges structures with corrugated sheet, taking operational safety into consideration. The basis of article preparation is the polish technical guidelines, elaborated by Research Institute of Roads and Bridges. This paper presents also the idea of theoretical modeling of constructions of corrugated sheet as auxiliary instrument of design engineer.

### **Key words:**

bridges structures, corrugated sheet, design, realization

## **1. INTRODUCTION**

Przedmiotem artykułu są obiekty inżynierskie wykonane z blachy falistej jako konstrukcje gruntowo-powłokowe, powszechnie stosowane w budownictwie

---

<sup>1</sup> Andrzej Surowiecki, Assoc. Prof., Gen. T. Kościuszko Military Academy of Land Forces, Department of Security Engineering. P. Czajkowskiego Street 109, 51-150 Wrocław, Poland,  
e-mail: andrzej-surowiecki3@wp.pl

komunikacyjnym jako na przykład: mosty, tunele, przepusty, przejścia podziemne, wiadukty ekologiczne (przejścia dla zwierząt). Obiekty te, budowane o małej i średniej rozpiętości są przyjazne dla naturalnego środowiska i w odniesieniu do klasycznych budowli (na przykład betonowych lub żelbetowych) wykazują wiele zalet o znaczeniu technologicznym i eksploatacyjnym. Do pozytywnych cech należą między innymi: niskie koszty realizacji i krótki okres budowy. W związku z tym obiekty z blach falistych mogą być z powodzeniem stosowane w sytuacjach kryzysowych (na przykład powódź), gdy konieczna jest szybka odbudowa zniszczonych obiektów komunikacyjnych [4].

W Polsce, w zakresie projektowania i wykonawstwa obiektów geoinżynierii, wprowadzono do stosowania „Zalecenia projektowe i technologiczne dla podatnych konstrukcji inżynierskich z blach falistych” [6]. Zalecenia [6] zostały opracowane przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów.

## **2. DESIGN AND TECHNOLOGY RECOMMENDATION FOR FLEXIBLE BRIDGES STRUCTURES OF CORRUGATED SHEET**

W Zaleceniach [6] określono zasady projektowania i realizacji remontów oraz nadzoru nad budową podatnych konstrukcji inżynierskich z blach falistych. Zalecenia te dotyczą wykonawstwa obiektów nowych i remontów lub modernizacji budowli istniejących. W szczególności Zalecenia [6] zawierają treści:

- charakterystyka konstrukcji (rodzaje kształtu przekrojów poprzecznych), informacje o materiałach sposobach połączeń elementów konstrukcyjnych z blachy falistej,
- problem trwałości konstrukcji (wykaz czynników agresywnych, wymagania antykorozyjnej ochrony konstrukcji, projektowanie trwałości konstrukcji),
- zasady i metody projektowania konstrukcji (modele zniszczenia konstrukcji podatnej, metody wyznaczania sił wewnętrznych i wymiarowanie obiektów),
- technologia budowy obiektów, obejmująca wszystkie fazy realizacji: przygotowanie podłoża, wykonanie fundamentu, montaż konstrukcji, zasypywanie konstrukcji, kontrola kształtu konstrukcji w czasie układania i zagęszczania zasyпки gruntowej,
- sposoby wzmacniania i przebudowy istniejących obiektów inżynierskich z zastosowaniem konstrukcji z blach falistych.

Okres trwałości konstrukcji z blach falistych jest zależny od intensywności działania czynników:

- agresywność środowiska otaczającego konstrukcję,
- proces mechanicznej destrukcji powierzchni obiektu, generowany na przykład przez tarcie transportowanych przez wodę materiałów kamiennych (abrazja),
- rodzaj ochrony antykorozyjnej,
- grubość blachy elementów konstrukcyjnych.

Standardowym zabezpieczeniem antykorozyjnym konstrukcji podatnej ze stalowej blachy falistej oraz jej elementów łączących jest powłoka cynkowa lub alucynkowa wykonana metodą przez zanurzenie, zgodnie z normą [5]. Powłoka alucynkowa jest warstwą stopową o składzie 55% Al; 1,6% Si; 43,4% Zn. W zależności od potrzeb dodatkowo konstrukcje te zabezpiecza się powłoką malarską lub

polimerową (trenchcoating). Ten system nazywany jest Duplexem. Trwałość powłok cynkowych z dodatkiem Al (alucynk) jest w stanie nie malowanym około 50% wyższa od trwałości zwykłych cynkowych, przy jednakowej grubości powłok [6]. Trwałość systemu Duplex  $T_{Duplex}$  jest przedstawiona w publikacji [5] zależnością:

$$T_{Duplex} = 1,2 \div 2,5 (T_{Zn/Al+Zn} + T_{Paint})$$

gdzie:

$T_{Duplex}$  – okres ochrony trwałości blachy w systemie Duplex,

$T_{Zn/Al+Zn}$  - okres ochrony trwałości blachy w systemie powłoki cynkowej lub alucynkowej,

$T_{Paint}$  - okres ochrony trwałości blachy w systemie powłoki malarskiej.

Zwykle projektant zwiększa grubość blachy z uwagi na korozję, stosując odpowiednie współczynniki [6]. Wartości tych współczynników są następujące:  $k_k = 1,5$  dla powłoki o grubości  $g = 200 \mu\text{m}$ ,  $k_k = 1,75$  dla  $g = 400 \mu\text{m}$  i  $k_k = 2,0$  dla powłoki typu trenchcoating.

W podręczniku [3] podano inną postać wzoru do oszacowania okresu ochrony trwałości powłoki wykonanej w systemie Duplex:

$$T_{Duplex} = T_{Fe} + 1,5 (T_{Zn} + T_{Paint}) \quad (1)$$

gdzie:

$T_{Fe}$  - okres ochrony trwałości blachy wynikający z zapasu grubości stali powłoki,

$T_{Zn}$  - okres ochrony trwałości blachy w systemie powłoki cynkowej,

$T_{Paint}$  - okres ochrony trwałości blachy w systemie powłoki malarskiej.

Istotna jest minimalna wysokość naziomu, czyli warstwa zasypki gruntowej łącznie z warstwami konstrukcyjnymi nawierzchni drogowej lub kolejowej, znajdująca się ponad obiektem inżynieryjnym. W Zaleceniach [6] podano wartość  $H_{min} = 0,6$  m oraz warunki do określenia tej wysokości:  $H_n = B/6$  albo  $H_n = B/8 + 0,2$  [m]. Z obu warunków należy wybierać wartość większą. Symbol  $B$  [m] jest średnicą obiektu o przekroju poprzecznym kołowym albo rozpiętością przekroju o innym kształcie.

W przypadku konstrukcji ramowej minimalną wysokość naziomu przyjmuje się w zakresie  $H_{min} = 0,45-1,5$  m. Wartość  $H_{min}$  jest zależna od rozpiętości obiektu, klasy obciążeń i ukształtowania przestrzennego blachy falistej.

Istnieje możliwość zmniejszenia wymaganej wartości  $H_{min}$ , pod warunkiem zastosowania systemu wzmacniającego nadsypkę lub wprowadzenia żelbetowej płyty odciążającej. Szczegóły tego rozwiązania znajdują się w Zaleceniach [6].

Zniszczenie obiektu z blachy falistej może wystąpić na skutek [6]: odkształceń plastycznych w powłoce (blacha falista), wyboczenia powłoki, zniszczenia elementów łączących sekcje powłoki i przekroczenia wartości granicznych naprężeń w zasypce otaczającej obiekt.

Wśród metod wyznaczania sił wewnętrznych i wymiarowania obiektów gruntowo-powłokowych, w Zaleceniach [6] przedstawiono następujące: metoda Marstona-Spanglera, Ring Compression Theory, Ontario Highway Bridge Design Code, AASHTO, metoda Duncana, metoda Vaslestada, metoda Sundquista-Pettersona, Canadian Highway Bridge Design Code. Ponadto zwrócono uwagę na istniejące metody modelowania numerycznego, których zasada jest oparta na metodzie elementów skończonych.

### 3. ANALYTICAL MODELS OF GROUND-SHELL STRUCTURES

Powszechnie znane są dwa modele obliczeniowe konstrukcji gruntowo powłokowych: geotechniczny i model, będący konstrukcją mostową.

W modelu geotechnicznym obowiązują założenia i sposób postępowania [3]:

- na powłokę oddziałuje materiał gruntowy zasyпки i obciążenie użytkowe stacjonarne,
- rozpatrując klasyczny model obliczeniowy, wykorzystuje się teorie rozkładu obciążenia w ośrodku gruntowym,
- rozwiązanie polega na określeniu nacisków na powłokę, stosując teorię sprężystości i założenie ośrodka gruntowego jako ciała jednorodnego liniowo-sprężystego,
- w przypadku powłok o kształcie paraboli należy liczyć się ze zjawiskiem przesklenia, o istotnym, pozytywnym znaczeniu dla nośności konstrukcji. W związku z tym, materiał zasyпки oraz nawierzchnię drogową lub kolejową traktuje się jako elementy nośne konstrukcji.

Przesklepienie jest zjawiskiem prowadzącym do pozornego odciążenia podatnej powłoki obiektu, w postaci redukcji nacisku materiału gruntowego na powłokę do 70 %. Wynika ze współpracy blachy powłoki obiektu z otaczającym ośrodkiem gruntowym, polegającej na redystrybucji obciążeń powłoki jako wynik wystąpienia naprężeń stycznych w powłoce. Naprężenia styczne są skierowane przeciwnie do przemieszczeń masy ośrodka gruntowego. W rezultacie występuje redukcja wartości odkształcenia poziomego i pionowego powłoki, natomiast efektem końcowym jest powiększenie nośności obiektu.

Przy opracowaniu modelu fizycznego zasyпки gruntowej obowiązują zasady:

- Bierze się pod uwagę cechy fizyczne materiału gruntowego (kąta tarcia wewnętrznego, kohezja, gęstość, wilgotność, porowatość, wskaźnik uziarnienia, stopień zagęszczenia, stopień plastyczności i ściśliwość).
- Wprowadza się dwie zasadnicze stałe materiałowe, służące do opisu zachowania się zasyпки gruntowej pod wpływem obciążenia: moduł ściśliwości  $E$ , współczynnik Poissona  $\nu$  oraz zastępcze stałe materiałowe: edometryczny moduł ściśliwości  $M_e$  oraz współczynnik parcia bocznego  $K$ .
- Jeżeli zasyпка gruntowa jest traktowana jako continuum sprężyste, powinna być wykonana z gruntu nasypowego o specjalnie dobranych właściwościach fizycznych. Cechy te są wyrażone przez moduł sprężystości Younga.
- Zasyпка gruntowa współdziałająca z obiektem może być traktowana jako continuum nieliniowo-sprężyste. Wtedy uwzględnia się sprężysto-plastyczne cechy materiału gruntowego. Obliczenia wykonuje się stosując Metodę Elementów Skończonych.
- modeluje się strefę kontaktową ośrodka gruntowego z blachą powłoki obiektu.

W modelu konstrukcji mostowej wprowadza się pojęcia mostowe, między innymi [3]: linię i powierzchnię wpływu sił wewnętrznych w powłoce. W podręczniku [3] podano charakterystykę płaskiego modelu (2D) oraz trójwymiarowego (3D) i zasady postępowania przy konstruowaniu tych modeli.

Model 2D szczegółowo odwzorowuje układ sił wewnętrznych pochodzących od ciężaru własnego obiektu. Obciążenia ruchome (generowane pojazdami samochodowymi) traktuje się jak siły skupione zlokalizowane na powierzchni jezdni i obciąża nimi analizowany wycinek konstrukcji stosując wzory teorii Boussinesqa.

Obliczenia konstrukcji wykonuje się z zastosowaniem specjalistycznego oprogramowania na bazie metody elementów skończonych (MES).

Zastosowanie modelu 3D w celu odwzorowania zachowania się obiektu gruntowo-powłokowego jest konieczne w przypadku obciążenia jezdni grupą sił skupionych, jak w konstrukcjach mostowych. W modelu 3D jest tworzona powierzchnia wpływu sił wewnętrznych w powłoce, odniesiona do płaszczyzny jezdni drogowej. Powierzchnia wpływu służy do ustalenia takiego położenia układu sił obciążających płaszczyznę jezdni w analizowanym elemencie konstrukcji, które wygeneruje ekstremalne (maksymalne lub minimalne) wartości momentów zginających, sił poprzecznych i sił podłużnych. Ten problem jest istotny w obliczeniach obiektów mostowych. Model 3D odwzorowuje dokładnie działanie sił wewnętrznych w powłoce wygenerowanych lokalnymi obciążeniami jezdni, jednak warunkiem tego rozwiązania jest wykonanie dyskretyzacji obiektu przy użyciu znacznej liczby elementów. Warstwa kontaktowa pomiędzy stalową powłoką a materiałem zasyпки gruntowej jest modelowana jako układ elementów prętowych funkcjonujący w zakresie liniowo-sprężystym odkształcenia. W charakterystyce tych prętów ujęte są właściwości ośrodka gruntowego (wilgotność i wytrzymałość na ścinanie zawierająca kąt tarcia wewnętrznego i kohezję) oraz cechy metalowej powłoki (na przykład stan mechaniczny powierzchni styku z zasypką gruntową).

#### **4. CONCLUSIONS**

Doświadczenia wynikające z produkcji powłok dla obiektów mostowych ze stalowych blach falistych oraz problemy związane z projektowaniem, budową i eksploatacją obiektów gruntowo-powłokowych wskazują na konieczność opracowania bardziej zaawansowanych rozwiązań i celowość prowadzenia dalszych badań.

We Wrocławiu (PL) opracowano wniosek do Narodowego Centrum Nauki w Krakowie o finansowanie projektu naukowo-badawczego na temat: „Bezpieczeństwo użytkowania toru kolejowego w strefie mostowego obiektu z blach falistych (teoria i badania eksperymentalne)”. Do wymiernych efektów pojętego problemu należeć będą między innymi: ocena wytrzymałości materiału konstrukcji gruntowo-powłokowej i ocena bezpieczeństwa użytkowania obiektu z zastosowaniem teorii niezawodności konstrukcji. Skład międzynarodowego konsorcjum badawczego: Military Academy of Land Forces, Department of Security Engineering, Wrocław (Poland), Technical University of Technology, Wrocław (Poland), ViaCon Poland Sp. z o.o., Rydzyna/Leszno, University of Žilina (Slovakia), Faculty of Civil Engineering, Polytechnic of Zagreb (Croatia), Department of Civil Engineering.

#### **REFERENCES**

[1] DRUSA M., MORAVČIK M.; Foundation Structures. University of Žilina, Faculty of Civil Engineering, Žilina, 2008.

- [2] DRUSA M.; Oporne konstrukcie dopravných stavieb. In: Zborník cesko-slovenskej konferencie „Stavební konstrukce z pohledu geotechniky”. Brno, 11-12. December 2008, ISBN 978-80-7204-609-6, s. 41-44.
- [3] DRUSA M.; Vhodnosť použitia klasických a nových sanacných metód pri zabezpečovaní stability svahov. In: Projekt a stavba 4/2001, s. 8, 9, 14.
- [4] DRUSA M., BENC G., MOSAT M., LABACHER P.; Niektóre aspekty návrhu a výstavby vysokých vystužených múrov. In: Zlepšovanie vlastností základových pod, Bratislava 2007, s. 139-142.
- [5] MACHELSKI C.; Modelowanie mostowych konstrukcji gruntowo-powłokowych. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2008.
- [6] SEIDL M., SIMAC L., ZAMIAR Z.; Bezpieczeństwo w transporcie. Oficyna Wydawnicza Międzynarodowej Wyższej Szkoły Logistyki i Transportu, Wrocław 2010.
- [7] Zalecenia projektowe i technologiczne dla podatnych konstrukcji inżynierskich z blach falistych. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa-Żmigród 2004.

Článok recenzovali dvaja nezávislí recenzenti.