

Doświadczenia w budowie obiektów z blach falistych o bardzo dużej rozpiętości

Leszek Janusz, Barbara Bednarek, Piotr Tomala¹



Ryc. 1. Przeście dla zwierząt w miejscowości Trzebaw

1. Wstęp

Kiedy w 2005 r. powstawało w Polsce pierwsze w Europie przejście dla zwierząt nad drogą krajową nr 5 w miejscowości Trzebaw nieopodal Poznania (ryc. 1), wszyscy byli pod wrażeniem szybkości prac montażowych i efektu końcowego [1]. Projekt wykonany przez ówczesne Biuro Projektów Transprojekt w Poznaniu przewidywał wzmocnienie konstrukcji za pomocą obwodowych żeber wypełnionych betonem.

Żebra te w języku angielskim znane są jako EC Ribs i mają za zadanie ograniczyć deformację powłoki stalowej w trakcie zasypywania i jej eksploatacji. Jednak doświadczenia z budowy i późniejszej eksploatacji dały ciekawe wnioski co do zakresu i konieczności ich stosowania. Kolejne obiekty wykonane w Polsce o podobnych, a nawet większych rozpiętościach, takich żeber już nie miały.

2. Metody wymiarowania

W ostatnich trzech latach najczęściej stosuje się w Europie dwie metody wymiarowania konstrukcji podatnych z blach falistych: metodę szwedzką [2, 3, 4] oraz metodę kanadyjską CHBDC [3, 5]. Obie metody stosowane są do projektowania konstrukcji o bardzo dużej rozpiętości, wykonanych z blach falistych o głębokiej fali (380 × 140 mm). Zasadniczymi warunkami przesądzającymi o spełnieniu warunków nośności konstrukcji są:

a) w metodzie szwedzkiej

□ warunek 3

$$\sigma = \frac{N_{d,s}}{A} + \frac{M_{d,s}}{W} < f_{yd}$$

gdzie:

σ – max naprężenia w ścianie konstrukcji [MPa]

$N_{d,s}$ – siła osiowa wywołana obciążeniem gruntu [kN/m]

$M_{d,s}$ – moment zginający wywołany obciążeniem gruntu [kNm/m]

A – powierzchnia przekroju ścianki konstrukcji [m²]

W – wskaźnik bezwładności [mm³/mm]

f_{yd} – granica plastyczności stali [MPa]

□ warunek 4

$$\left(\frac{N_{d,u}}{\omega f_{yd} A} \right)^{\alpha_c} + \left(\frac{M_{d,u}}{M_u} \right) \leq 1.0$$

gdzie:

$N_{d,s}$ – siła osiowa wywołana obciążeniem gruntu [kN/m]

$M_{d,s}$ – moment zginający wywołany obciążeniem gruntu [kNm/m]

A – powierzchnia przekroju ścianki konstrukcji [m²]

f_{yd} – granica plastyczności stali [MPa]

ω – współczynnik wyoboczeniowy przy pełnym uplastycznieniu

M_u – moment uplastyczniający [kNm/m]

b) w metodzie CHBDC

wzór

$$\sigma = \frac{T_f}{A} \leq f_b$$

¹ ViaCon Polska sp. z o.o.

gdzie:

σ – max naprężenia w ścianie konstrukcji [MPa]

T_f – siła osiowa wywołana obciążeniem stałym i zmiennym [kN/m]

A – powierzchnia przekroju ścianki konstrukcji [m²]

f_b – obliczeniowe naprężenia niszczące [MPa]

Pozostałe warunki metody są z reguły spełnione i nie przesądają o spełnieniu wymogów stawianych konstrukcji.

3. Trzy największe obiekty zbudowane w ostatnich trzech latach

3.1. Największy na świecie most gruntowo-powłokowy z blach falistych o głębokiej fali (380 × 140 mm)

W 2005 r. w stanie Alberta w Kanadzie, na terenie kopalni odkrywkowej powstał most z blach falistych o rozpiętości 24 m (ryc. 2). Jest to jak dotąd największy na świecie most gruntowo-powłokowy. Producentem konstrukcji był AIL z Kanady. W przekroju poprzecznym miała ona kształt łuku jednopromieniowego. Łuk został wzmocniony żebrami typu EC Ribs na całym obwodzie i długości konstrukcji. Grubość blach wynosiła 7 mm. Ponadto grunt zasypowy w bezpośredniej bliskości konstrukcji zabrono ocynkowanymi siatkami stalowymi systemu o nazwie *wire mesh wall*. Wszystkie te zabiegi miały na celu zapewnienie dużej nośności obiektu, który został zaprojektowany na przeniesienie obciążeń od samojezdnej koparki o całkowitej masie 1000 t. Konsekwencją usztywnień konstrukcji i otaczającego ją gruntu było niewielkie jej wypiętrzenie w trakcie zasypywania, które wyniosło tylko 95 mm.



Ryc. 2. Największy na świecie obiekt zbudowany w Kanadzie

Analiza wyników uzyskanych przy użyciu metody szwedzkiej [2, 4] oraz CHBDC [3, 5] wskazuje na przekroczenie nośności granicznych konstrukcji tego obiektu zarówno w fazie jego budowy, jak i w fazie użytkowania. Dopiero wykonanie analizy MES z wykorzystaniem programu CandeCad Pro potwierdziło spełnienie warunków wymaganej nośności (tab. 1).

Z porównania wyników obliczeń oraz z analizy parametrów wyjściowych użytych do obliczeń wynika, że niebagatelne znaczenie odgrywa sposób odwzorowania gruntu otaczającego konstrukcję. W tym przypadku był to grunt zbrojony, który miał bardzo duży wpływ na podniesienie nośności samej konstrukcji.

3.2. Wiadukt autostradowy pod autostradą D47 w Czechach

Obiekt autostradowy został wykonany w 2008 r. z konstrukcji o rozpiętości 21,5 m i wyniosłości 6,92 m, z blach o głębokiej fali (380 × 140 mm) – rycina 3. Grubość blach wynosiła 7 mm. Jest to łuk niskoprofilowy o dwóch promieniach krzywizny. Na wlocie

i wylocie obiektu zaprojektowano umocnienie z bloczków betonowych, połączonych z geosiatkami zbrojącymi masyw nasypu. W tym przypadku również zastosowano żebra typu EC Ribs w rozstawie 1524 mm, które usztywniały konstrukcję na obwodzie. W trakcie zasypywania obiekt uległ wypiętrzeniu o 30 mm.

Wyniki uzyskane przy wykorzystaniu metody szwedzkiej oraz metody CHBDC oraz MES z użyciem CandeCad Pro zestawiono w tablicy 1. Tutaj ponownie wyniki uzyskane z metody szwedzkiej i CHBDC wskazują, że konstrukcja nie spełniła warunków nośności.



Ryc. 3. Obiekt pod autostradą D47 w Czechach (w trakcie realizacji)

3.3. Przejście dla zwierząt nad linią kolejową E20 w okolicach Rzepina

W 2007 r. nad zelektryfikowaną linią kolejową E20 na odcinku Poznań – Berlin zbudowano dwa przejścia dla zwierząt z użyciem konstrukcji z blach falistych o głębokiej fali (380 × 140 mm) – rycina 4. Konstrukcje wykonano z łuków o dwóch promieniach krzywizny i rozpiętości 20 m. Grubość blach konstrukcji podstawowej wynosiła 7 mm. Na obwodzie zastosowano dodatkowe usztywnienia w postaci żeber z blach falistych o grubości 5,5 mm i rozstawie 1524 mm.

W trakcie zasypywania konstrukcji prowadzono ścisłą kontrolę zachowania się geometrii powłoki i stwierdzono jej maksymalne wypiętrzenie, wynoszące ok. 139 mm. Porównując wielkość wypiętrzenia z dwiema wcześniej opisanymi konstrukcjami, zauważyć można istotny jego wzrost, co jest bezpośrednią konsekwencją mniejszej sztywności giętej konstrukcji. Niemniej jednak, biorąc pod uwagę bezpieczny zakres deformacji dla konstrukcji podatnych, który określany jest jako 2% rozpiętości konstrukcji



Ryc. 4. Ukończone przejście dla zwierząt nad linią kolejową E20

Tab. 1. Zestawienie wyników obliczeń statycznych uzyskanych przy wykorzystaniu metody szwedzkiej, metody CHBDC oraz MES z użyciem CandeCad Pro

Obiekt	Rozpiętość [m]	Wysokość [m]	Promień górny Rt [m]	Obciążenie zmienne	Wysokość naziomu [m]	SDM						CHBDC		CandeCad Pro (MES)	
						Naprężenia [MPa]			Warunek 4			Naprężenia [MPa]		Naprężenia [MPa]	
						W kluczu dla zasypki na poziomie klucza	Max	Min	Dla siły osiowej N, i odpowiadającego jej momentu M	Dla momentu zginającego M, i odpowiadającego jej siły osiowej N	Siła osiowa N/ siła krytyczna Ncr	Obliczone	Dopuszczalne	W kluczu dla zasypki na poziomie klucza	W kluczu dla obciążenia stałego i zmiennego
SCA-35 Rzepin	20,0	7,42	13,93	4x60 kN/ oś	1,40	-249	114	-162	0,96	0,92	1,44	81	48	-246	1741
Alberta White Horse Creek Kanada	24,0	12,00	12,00	11000kN	4,00	-413	405	-413	1,14	1,98	1,21	148	141	-306	-155
SCA-39 Czechy	21,5	6,93	13,93	4x200 kN/oś	0,87-1,38	92	136	-33	1,2	1,16	1,27	71	40	-230	-211

[3], uzyskany wynik 0,73% rozpiętości należy uznać za bardzo bezpieczny.

Wyniki obliczeń statycznych uzyskane przy wykorzystaniu metody szwedzkiej oraz metody CHBDC i MES z użyciem CandeCad Pro zestawiono w tablicy 1.

4. Analiza wyników i ich dyskusja

Otrzymane wyniki dla trzech powyżej opisanych obiektów zestawiono w tablicy 1.

Analiza wyników prowadzi do wniosku, że metody analityczne nie oddają właściwie rzeczywistości. Zgodnie z nimi, zbudowane obiekty powinny ulec katastrofie na etapie ich zasypywania, głównie w wyniku lokalnej utraty stateczności ścianki konstrukcji. Dopiero MES wykorzystana w programie CandeCad Pro dała wyniki potwierdzające spełnienie warunków nośności konstrukcji oraz zachowanie lokalnej stateczności ścianki. Pomierzone deformacje obiektów podczas ich zasypywania utwierdziły w przekonaniu, że nie było zagrożenia dla ich bezpiecznej pracy. Doświadczenie i wiedza na temat konstrukcji pokazują, że stan budowy jest najbardziej niebezpiecznym stanem dla mostów gruntowo-powłokowych [6].

Należy podkreślić bardzo istotny wpływ zbrojenia gruntu na ograniczenie deformacji konstrukcji. Dodatkowo jej usztywnienie w postaci żeber wypełnionych betonem, co wykonano w przypadku pierwszych dwóch z opisanych obiektów, istotnie ograniczyło zakres ich deformacji. Nie oznacza to jednak, że było ono niezbędne. Konstrukcja wykonana nad linią kolejową E20 została wzmocniona żebrami o dużo mniejszej sztywności niż zebra typu EC i jednocześnie ułożony grunt nie był zbrojony. Pomimo tego konstrukcja na etapie budowy doznała odkształceń 2,7 razy mniejszych niż dopuszczalne i nie wykazała żadnych uchybień w zakresie swojej nośności.

Zdaniem autorów dokonanie pomiarów deformacji konstrukcji i poziomu ich wytyżenia na kolejnych realizacjach potwierdzi konieczność rewizji metod wymiarowania konstrukcji o dużych rozpiętości. Dotychczasowe wyniki znacznie odbiegają od przewidywań wynikających z metody szwedzkiej i kanadyjskiej. Ciekawe prace w zakresie deformacji konstrukcji zostały opisane m.in. w [6].

Z analizy nasuwa się wniosek, że istnieją przesłanki, by sądzić, że zbrojenie gruntu pozwoli na zwiększenie rozpiętości obiektów gruntowo-powłokowych ponad granicę 25 m. Konstrukcje o rozpiętości do ok. 20 m i kształtach owalnych nie wymagają stosowania żeber wypełnianych betonem, o ile nie są przewidywane bardzo duże obciążenia użytkowe, np. w przypadku przejść dla zwierząt. Potwierdza to przykład budowy przejścia dla zwierząt nad linią kolejową E20 oraz nieopisany w niniejszym artykule, ale znany autorom przykład budowy przejść dla zwierząt nad autostradą A4 (zastosowano tam konstrukcję o rozpiętości 19,5 m).

5. Podsumowanie i wnioski

Przedstawione przykłady budowy obiektów gruntowo-powłokowych o bardzo dużej rozpiętości pokazują, że w pełni opanowano techniczne możliwości ich realizacji. Z kolei prawidłowe funkcjonowanie tych obiektów dowodzi, że analityczne metody obliczeniowe dają duży globalny współczynnik bezpieczeństwa pracy konstrukcji. Istnieje konieczność przeprowadzenia dalszych badań potrzebnych do weryfikacji i korekt metod wymiarowania. MES wydaje się być obecnie jednym z lepszych narzędzi umożliwiających prawidłowe wymiarowanie konstrukcji o bardzo dużej rozpiętości.

Literatura

1. Bednarek B., Czerepak A.: *Animal crossing built over A2 motorway in Poland*. "Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej" 2007, nr 1; *Buried flexible steel structures*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań 2007.
2. Petersson L., Sundquist H.: *Design of soil steel composite bridges*. KTH, Civil and Architectural Engineering.
3. Janusz L., Madaj A.: *Obiekty inżynierskie z blach falistych. Projektowanie i wykonawstwo*. WkiŁ. Warszawa 2007.
4. Pettersson L.: *Full Scale Tests and Structural Evaluation of Soil Steel Flexible Culverts with low Height of Cover*. Doctoral Thesis in Civil and Architectural Engineering. Stockholm 2007.
5. *Handbook of steel drainage and highway construction products*. Corrugated Steel Pipe Institute. Canada 2002.
6. Machelski C., Michalski J.B.: *Obiekty gruntowo-powłokowe w obwodnicy Nowej Rudy*. „Drogi” 2008, nr 10.