

Grzegorz ANTONISZYN\*  
Politechnika Wroclawska

## ANALIZA PARAMETRYCZNA MOSTOWYCH OBIEKTÓW GRUNTOWO-POWŁOKOWYCH TYPU *SUPER-COR*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono analizę parametryczną mostowych obiektów o konstrukcji gruntowo-powłokowej typu *SUPER-COR*. Analizowano wpływ zmiennych parametrów geometrycznych powłoki, takich jak: grubość naziomu, rozpiętość powłoki, promień naroża, rodzaj falowania blachy oraz grubość blachy dla poszczególnych typów powłok. Do analizy wykorzystano numeryczny model obiektu oparty na *MES* oraz metodologię polegającą na porównaniu linii wpływu naprężeń normalnych dla analizowanych punktów powłoki.

## PARAMETRICAL ANALYSIS OF *SUPER-COR* SOIL-STEEL BRIDGES

**Summary.** This paper presents parametrical analysis of *SUPER-COR* soil-steel bridges. The influence of the several parameters of the shell, such as: depth of cover, span of shell, radius of haunch, kind of steel corrugation and thickness of the shells was analyzed. The *FEM* model of the structure and comparison influence lines of normal stresses for analyzed points of the shell was used in the analysis.

### 1. Wprowadzenie

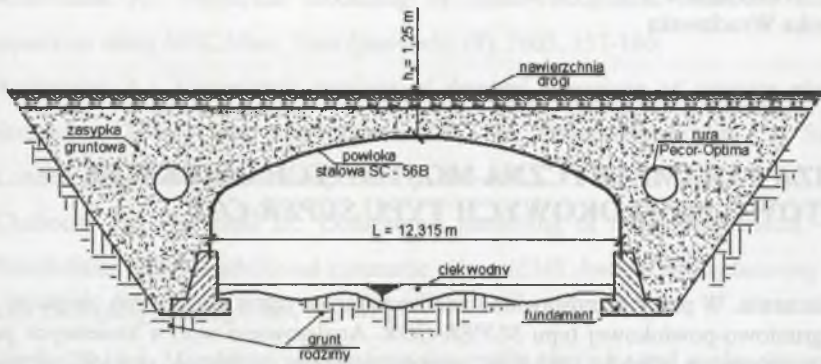
Obiekty mostowe o konstrukcji gruntowo-powłokowej to struktury, których głównymi elementami konstrukcyjnymi są podatna, najczęściej stalowa, pofalowana powłoka oraz otaczająca i współpracująca z nią zasypka gruntowa (rys. 1). Budowle te projektuje i wykonuje się w sposób zapewniający korzystne współdziałanie tych dwóch elementów konstrukcyjnych.

Rosnąca liczba obiektów gruntowo-powłokowych oraz wymagania dotyczące wpisania obiektu w otaczający krajobraz wymuszają konieczność stosowania zróżnicowanych kształtów powłok. Z tego względu coraz częściej dąży się do wprowadzania nowych kształtów powłok zarówno w przekroju podłużnym, jak i poprzecznym (rodzaj falowania).

---

\* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Czesław Machelski

W pracy przedstawiono wybrane wyniki analizy [1], dotyczącej wpływu parametrów geometrycznych podatnej powłoki na siły wewnętrzne od obciążeń jezdni.



Rys. 1. Przekrój podłużny mostu o konstrukcji gruntowo-powłokowej w Szczytnej  
 Fig. 1. Longitudinal section of the soil-steel bridge in Szczytna

## 2. Metodyka i zakres analizy modeli MES

W analizie przyjęto metodykę polegającą na porównaniu linii wpływu (l.w.) naprężeń normalnych ( $\sigma_N$ ) dla wybranych punktów pasma powłoki [2], [8]. Pozwala to na obiektywną analizę zmian wybranych parametrów i dodatkowo umożliwia obliczenie naprężeń normalnych w analizowanych punktach powłoki od dowolnie przyjętych i ustawionych na obiekcie obciążeniach ruchomych (np. rzeczywistych pojazdów samochodowych lub umownych pojazdów normowych). Do tworzenia l.w.  $\sigma_N$  wykorzystano wymuszenia kinematyczne [9].

Zmiany parametrów geometrycznych podano w tabl. 1. Odniesiono je do istniejącego obiektu wybudowanego w miejscowości Szczytna (rys. 1) [4], [7]. W dwóch przypadkach odstąpiono od regularnych zmian parametrów i przyjęto wartości odpowiadające rzeczywistemu obiektowi, a mianowicie przyjęto: rozpiętość  $L_3 = 12,315$  m oraz promień  $R_{n2} = 1,016$  m.

W wyniku testów numerycznych modeli powłoki otoczonej gruntem i na podstawie wyników badań na rzeczywistych obiektach, przedstawionych np. w [3] i [8], przyjęto do analizy model mostu, w którym:

- blachę faldową modelowano jako belkowe pasmo obwodowe;
- zasypkę gruntową modelowano jako continuum izotropowe dwuwymiarowe;
- nawierzchnię jezdni traktowano jako powierzchniowe elementy izotropowe;

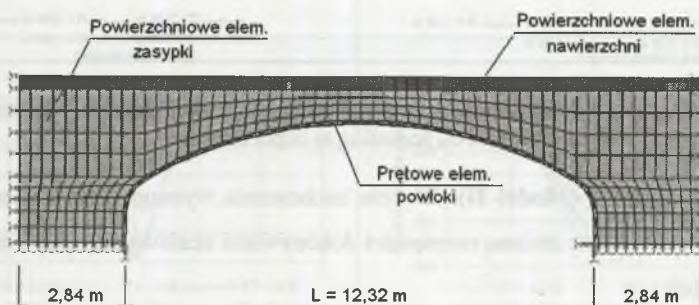
- warstwę kontaktową (interface) modelowano przy użyciu jednowymiarowych elementów sprężystych.

Tablica 1

Zakres zmienności analizy parametrycznej

Model obiektu	Parametr zmienny	Zakres zmienności	Przyrost parametru
I	wysokość naziomu	$H = [0,65 - 1,85]$ m	co 0,30 m
II	rozpiętość powłoki	$L = [8,00 - 20,00]$ m	co 2,00 m
III	promień naroża	$R_n = [0,5 - 3]$ m	co 0,50 m
IV	geometria pofalowania blachy powłoki	MP 150•50, MP 200•55, SC 380•140, SC 400•150	---
V	grubość blachy powłoki dla powłok jak w modelu IV	$t = [3 - 7]$ mm	co 1 mm

Model mostu (rys. 2) zbudowano i poddano weryfikacji na podstawie badań terenowych mostu w Szczytniej. Badania te oraz analizy numeryczne przedstawiono w [3] i [8], gdzie podano szczegółowy opis modelu numerycznego, który został wykorzystany w niniejszej analizie. Zarówno analizę numeryczną, jak i modele obliczeniowe wykonano przy wykorzystaniu systemu COSMOS/M.



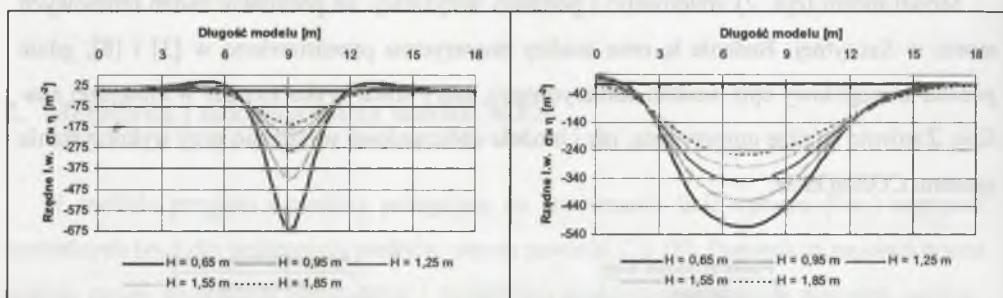
Rys. 2. Numeryczny model mostu  
Fig. 2. Numerical model of the bridge

### 3. Analiza parametryczna

Szczegółowej analizie poddano dwa przekroje: w połowie rozpiętości powłoki (lewe wykresy w wynikach analizy) i w środku naroża (prawe wykresy). Są to przekroje, w których

występują największe wartości naprężeń normalnych odpowiednio na krawędziach górnej i dolnej powłoki.

**Naziom nad powłoką (Model I).** Na wykresach przedstawiających wpływ grubości naziomu na wartości rzędnych l.w. (rys. 3) widać, że wraz z przyrostem grubości naziomu rzędne te maleją. Świadczy to o malejącym wpływie ruchomych obciążeń na wartości naprężeń normalnych  $\sigma_N$  w analizowanych punktach powłoki. Jest to wynikiem powstawania przesklepienia w gruncie oraz rozkładania, przez warstwy zwiększającego się naziomu, obciążeń skupionych na większą powierzchnię powłoki. Przy dostatecznie grubym naziomie obciążenia skupione mogą zostać rozłożone równomiernie na całą szerokość łupiny. Korzystny wpływ przyrostu grubości naziomu (przesklepienia) jest niestety ograniczony przyrostem naprężeń powstałych od obciążeń stałych przypadających na powłokę, wynikających z ciężaru własnego zasypki, które należy uwzględnić w obliczeniach.



Rys. 3. Linie wpływu naprężeń normalnych  $\sigma_N$  w zależności od zmiany grubości naziomu  
Fig. 3. Influence line of normal stresses  $\sigma_N$  according to depth of cover

**Rozpiętość powłoki (Model II).** W celu zachowania wymaganych proporcji promieni krzywizn powłoki wraz ze zmianą rozpiętości dokonywano skalowania całego modelu obiektu wg zależności:

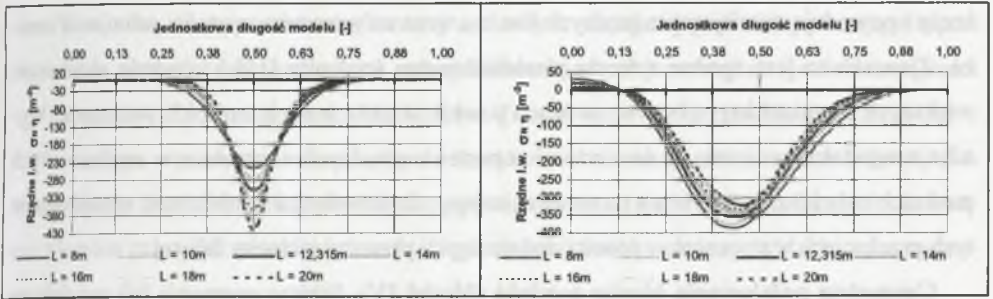
$$s_i = (L_i + 2) / L_i \quad \text{dla } i = 2, 3, \dots, 6 \quad (1)$$

oraz  $L_i$  [m], natomiast dla  $i = 1$

$$s_1 = 8,00/12,315 = 0,6469 \quad (2)$$

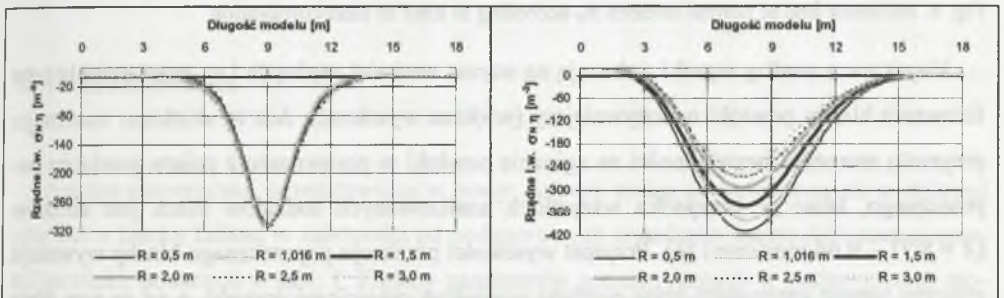
W celu uzyskania jednakowych nacisków na powłokę, powstających od warstw naziomu, we wszystkich analizowanych obiektach przyjęto stałą grubość zasypki gruntowej równą 90 cm i nawierzchnię drogową o grubości 35 cm ( $H = 1,25$  m). Przedstawienie wszystkich

wyników na jednym wykresie wymagało wprowadzenia jednostkowej długości modelu, która zmienne długości poszczególnych modeli sprowadza do wymiaru  $L_{spr} = 1$ .



Rys. 4. Linie wpływu naprężeń normalnych  $\sigma_N$  w zależności od rozpiętości powłoki  
 Fig. 4. Influence line of normal stresses  $\sigma_N$  according to span of shell

Wyniki analizy (rys. 4) wskazują na wzrost naprężeń normalnych w  $L/2$  wywołany zwiększającą się rozpiętością powłoki. Należy zatem stwierdzić, że rozpiętość powłoki wpływa znacząco na wzrost rzędnych l.w.  $\sigma_N$  (większa rozpiętość powłoki skutkuje powstawaniem większych naprężeń normalnych, np. od obciążeń ruchomych). Jest to zjawisko odmienne od zaobserwowanego podczas wcześniejszej analizy numerycznej obiektów gruntowo-powłokowych [2]. Wynika to z innej geometrii obecnie analizowanego obiektu oraz przyjęcia innego rodzaju blachy do wykonania powłoki.

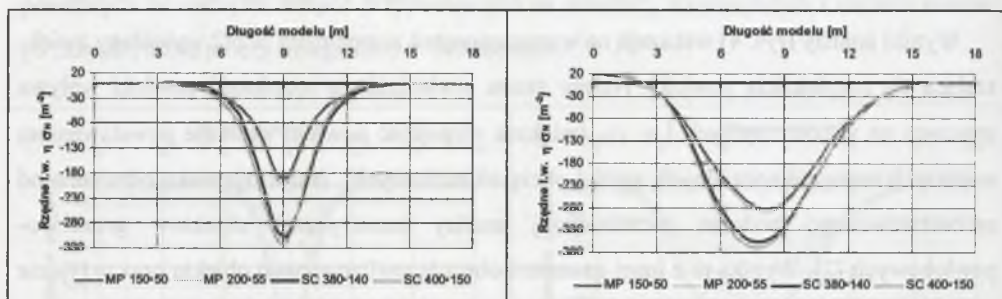


Rys. 5. Linie wpływu naprężeń normalnych  $\sigma_N$  w zależności od zmiany promienia naroża  
 Fig. 5. Influence line of normal stresses  $\sigma_N$  according to change of haunch radius

**Promień naroża powłoki (Model III).** Zmiana promienia krzywizny naroża (rys. 5) wpływa odmiennie na wartości l.w.  $\sigma_N$  w analizowanych punktach powłoki, tj. w środku rozpiętości i w środku naroża. Promień krzywizny naroża powłoki znikomo wpływa na kształt l.w. dla punktu w środku rozpiętości. Jest to spowodowane relatywnie małą sztywnością giętą powłoki, przez co ukształtowanie dalszych fragmentów łupiny nie oddziałuje bezpośrednio

na naprężenia w analizowanym punkcie powłoki (w  $L/2$ ). Zmiana geometrii powłoki w pobliżu analizowanego punktu (zmiana  $R_n$ ) ma znaczny wpływ na wartość naprężenia w tym przekroju i powoduje zmniejszenie rzędnych l.w.  $\sigma_N$  wraz ze wzrostem wartości promienia naroża. Zjawisko to jest zgodne z teorią pierścieniowego ściskania [10] i sugeruje stosowanie większych promieni krzywizny w narożach powłok w celu zmniejszenia ich wyężenia. Wynika z tego także wniosek, że na wartości naprężeń normalnych w powłoce w analizowanych punktach największy wpływ ma moment zginający, co potwierdza konieczność stosowania w tych przekrojach wzmocnień w postaci dodatkowych płaszczy z blachy falistej.

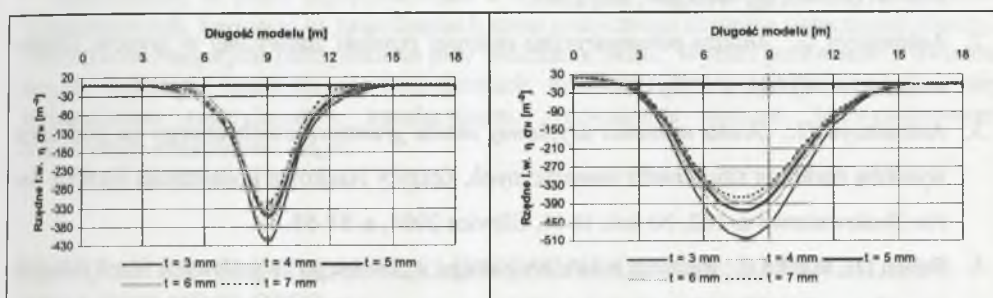
**Geometria pofalowania blachy powłoki (Model IV).** Wpływ geometrii fali powłoki na rzędne l.w.  $\sigma_N$  przy stałej grubości blachy  $t = 7$  mm przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Linie wpływu naprężeń  $\sigma_N$  w zależności od rodzaju wykorzystanej blachy do budowy łupiny  
Fig. 6. Influence line of normal stresses  $\sigma_N$  according to kind of steel corrugation

Uzyskane z analizy wyniki wskazują na wzrost wartości rzędnych l.w. przy zmianie typu falowania blachy powłoki na sztywniejszy (większa wysokość). Jest to skutkiem znacznego przyrostu momentu bezwładności na zginanie powłoki w porównaniu z polem przekroju poprzecznego, które w przypadku wszystkich analizowanych rodzajów blach jest zbliżone ( $A = 8,71 - 9,64 \text{ mm}^2/\text{mm}$ ) [6]. Przyrost wysokości przekroju poprzecznego blachy wywołuje znaczny wzrost sztywności ścian powłoki względem otaczającej zasyпки, a co za tym idzie przejmowanie przez powłokę większej części obciążeń zewnętrznych. Na wykresach (rys. 6) widać wyraźnie dwie oddzielne grupy krzywych, co pozwala podzielić analizowane rodzaje pofalowania blachy na wiotkie (MP 150\*50, MP 200\*55) i sztywne (SC 380\*140 oraz SC 400\*150). Prawidłowy dobór odpowiedniego rodzaju falowania powłoki zależeć będzie niewątpliwie od rodzaju obiektu, ukształtowania przekroju podłużnego mostu czy też rodzaju prowadzonego ruchu na obiekcie.

**Grubość blachy powłoki (Model V).** Ze względu na bardzo zbliżony kształt wykresów w pracy przedstawiono tylko wyniki dla powłoki *SC 400•150*. Z otrzymanych wykresów (rys. 7) wynika, że w powłoce wykonanej z blachy o mniejszej grubości powstają większe naprężenia normalne bez względu na rodzaj faldowania i miejsce analizy (środek rozpiętości czy też naroże). Przyrost grubości blachy (rys. 7) o 50 % powoduje spadek naprężeń tylko o 15 %, z czego wynika stwierdzenie, by do mostów o konstrukcji gruntowo-powłokowej stosować blachy o minimalnej grubości jako optymalnej ze względów ekonomicznych. Powyższe również prowadzi do ułatwień technologicznych (obróbka cieńszych blach przez walcowanie).



Rys. 7. Linie wpływu naprężeń normalnych  $\sigma_N$  w zależności od grubości blachy powłoki *SC 400•150*  
 Fig. 7. Influence line of normal stresses  $\sigma_N$  according to change of thickness of shell *SC 400•150*

#### 4. Podsumowanie

Analiza numeryczna, przedstawiona w pracy, dotyczy zmian sił wewnętrznych w stalowej powłoce z blachy falistej w zależności od podstawowych wymiarów konstrukcji oraz geometrii powłoki, podanych w tabl. 1. Zmiany parametrów geometrycznych w numerycznych modelach mostu przyjmowano w odniesieniu do istniejącego obiektu w miejscowości Szczytna [4], [7]. Wyniki analizy podano w formie linii wpływu naprężeń normalnych, a więc w postaci niezależnej od rodzaju obciążenia - łatwej do dalszego przetwarzania.

Przedstawione wyniki analizy numerycznej wskazują na istotne parametry geometryczne, wpływające znacząco na siły wewnętrzne w powłoce oraz zmiany kształtu, mające wpływ drugorzędny. Wyniki te mogą być wykorzystane do racjonalizacji kształtu powłok w mostach o konstrukcji gruntowo-powłokowej typu *SUPER-COR*.

Z analiz numerycznych konstrukcji gruntowo-powłokowych, wymienionych w piśmiennictwie, należy wyciągnąć wniosek, że wyniki uzyskane z badań czy analiz numerycznych poszczególnych obiektów można odnieść jedynie do pewnych grup tych budowli.

## LITERATURA

1. Antoniszyn G., Machelski Cz.: *Analiza parametryczna sił wewnętrznych w powłokach obiektów mostowych gruntowo-powłokowych*, Raport serii SPR nr 19/2005, Inst. Inż. Łąd. Pol. Wrocławskiej, Wrocław, maj 2005.
2. Antoniszyn G.: *Analiza parametryczna stalowej powłoki zanurzonej w gruncie*, Drogoznictwo nr 4/2004, s. 135- 139.
3. Antoniszyn G.: *Ocena nośności użytkowej mostu gruntowo-powłokowego na podstawie wyników badań in situ i analiz numerycznych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Budownictwo z. 102, Nr kol. 1644, Gliwice 2004, s. 51-58.
4. Bęben D., Mańko Z.: *Badania mostu drogowego wykonanego ze stalowych blach falistych typu Super Cor SC-56B pod obciążeniem statycznym*, I Sympozjum „Diagnostyka i Badanie Mostów”, Opole, 4-6 kwietnia 2001, s. 27-70.
5. Girges Y., Abdel-Sayed G.: *Three-dimensional analysis of soil-steel bridges*, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 22, 1995, p. 1155-1163.
6. *Handbook of Steel Drainage & Highway Construction Products*, Corrugated Steel Pipe Institute & American Iron and Steel Institute, Second Canadian Edition, 2002.
7. Krajnik D., Michalski J.B.: *Pierwsze „mosty kanadyjskie” w Europie*, Inżynieria i Budownictwo nr 3-4/2002, s. 159-161.
8. Machelski Cz., Antoniszyn G.: *Influence of live loads on the soil-steel bridges*, Studia Geotechnica et Mechanica, Vol. XXVI, No. 3-4, 2004, p. 91-119.
9. Machelski Cz.: *Zastosowanie metody kinematycznej do wyznaczania funkcji wpływu sił wewnętrznych w układach prętowych*, Inżynieria i Budownictwo nr 7/1998, s. 372-375.
10. Vaslestad J.: *Soil structure interaction of buried culverts*, Institutt for Geoteknikk, Norges Tekniske Hogskole, Universitetet I Trondheim, 1990.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Witold Wołowicki