

Szacowanie oddziaływania zasyпки na powłokę w obiekcie gruntowo-powłokowym na podstawie deformacji powłoki

Estimation the interaction effects of backfill on the shell in the soil-steel structure based on deformation of the shell



Czesław Machelski

Prof. dr hab. inż.

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

czeslaw.machelski@pwr.edu.pl

Streszczenie: Charakterystyczną cechą konstrukcji gruntowo-powłokowych, w odróżnieniu od klasycznych mostów, jest duży wpływ zasyпки gruntowej i nawierzchni jezdni jako elementów nośnych obiektu. W modelu obiektu gruntowo-powłokowego wyróżnia się dwa podukłady konstrukcyjne: powłokę z blachy falistej oraz zasypkę gruntową z nawierzchnią. Współdziałanie pomiędzy nimi modeluje się jako oddziaływanie kontaktowe, czyli siły o kierunku normalnym i stycznym do powierzchni powłoki. Oddziaływania normalne te są zmienne w czasie budowy jak również podczas eksploatacji. W pracy do ich określenia wykorzystuje się warunek kolokacji polegający na tym, że wynik obliczeń uzyskany z modelu geometrii powłoki ma być zgodny w rezultatem pomiaru przemieszczenia punktu kolokacyjnego obiektu. Zaletą takiego algorytmu jest uwzględnienie cech fizycznych gruntu w warstwach zasyпки a przede wszystkim technologii jej układania i zagęszczania. Wyniki tych analiz mogą być podstawą do porównań skuteczności klasycznych modeli geotechnicznych.

Słowa kluczowe: Konstrukcje gruntowo-powłokowe; Oddziaływanie gruntu na powłokę; Zmiany w czasie eksploatacji; Model obliczeniowy

Abstract: A characteristic feature of the soil-steel structure, unlike conventional bridges, is greatly influenced by the backfill ground and the road surface as a load-bearing elements. In the model of soil-steel structure there are two structural parts: steel shell with corrugated pates and backfilling ground with road surface. The interaction between them is modeled as an contact interaction (interface), which is a normal and tangential force to the surface of the shell. These normal interactions are variable during the construction phase as well as during operation. In this paper the collocation condition is use to determine these interactions, based on the fact that the calculation result obtained from the model of the geometry of the shell is to be consistent in the result of the measurement of the movement of the collocation point in real structure. The physical characteristics of the soil in layers of backfill and especially the technology of laying and compacting is to taken into account and this is the advantage of this algorithm. The results of these analyzes can be the basis for comparing the effectiveness of conventional geotechnical models.

Keywords: Soil-steel structures; The backfilling ground impact of the shell; Changes during operation; Calculation model

Charakterystyczną cechą konstrukcji gruntowo-powłokowych, w odróżnieniu od klasycznych mostów, jest duży wpływ zasyпки gruntowej i nawierzchni jezdni jako elementów nośnych obiektu [1]. Sztywność samej powłoki z blachy falistej jest niewielka. Podczas układania zasyпки podlega ona znacznej deformacji bowiem jest ona geometryczną formą ograniczającą nasyp od góry i z boków w budowanym obiekcie mostowym. Z tego powodu powłoka przejmuje pełne parcie gruntu tak samo jak ściana oporowa (ale podatna). Dopiero w otoczeniu zasyпки gruntowej powłoka staje się efektywnym elementem konstruk-

cji pozwalającym na przenoszenie znacznych, komunikacyjnych obciążeń, jak na rysunku 1. Sztywność obiektów gruntowo-powłokowych jest porównywalna z klasycznymi mostami stalowymi, oczywiście największe sztywności występują w

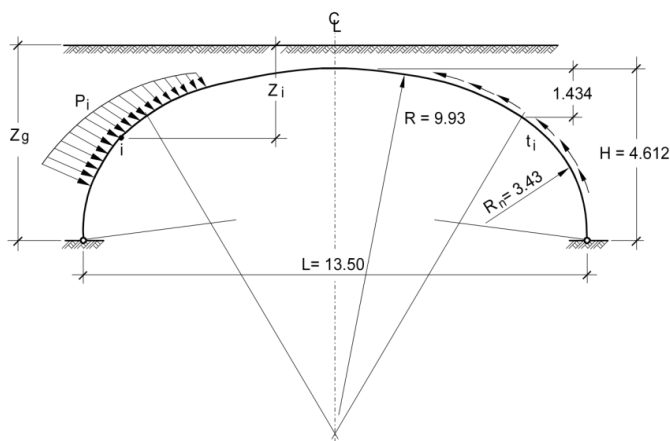
mostach murowanych [2].

Do odwzorowania pracy konstrukcji obiektów gruntowo-powłokowych w modelach MES wykorzystuje się trzy rodzaje pomiarów:

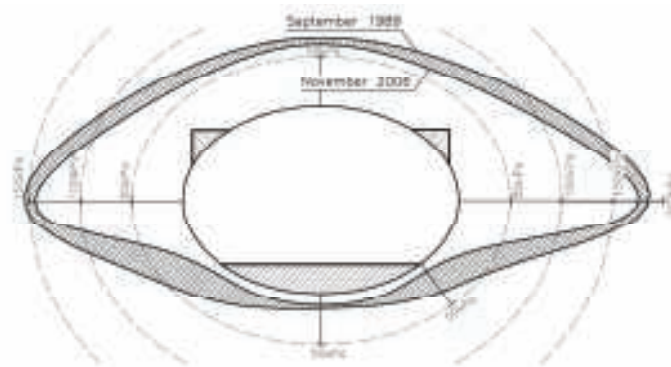
- przemieszczenia, określające deformację powłoki zanurzonej w



1. Obciążenie obiektów kolejowych sklepionego i gruntowo-powłokowego



2. Schemat sił oddziaływania gruntu na powłokę



3. Zmiana oddziaływania gruntu na powłokę w okresie siedemnastu lat eksploatacji obiektu [3]

- ośrodka gruntowym;
- odkształcenia blach falistych, służące do wyznaczenia sił wewnętrznych w powłoce;
- parcie gruntu, dające pogląd na zachowanie się konstrukcji.

W każdej z tych grup pomiarowych realizuje się odmienną metodologię badawczą a w jej wyniku otrzymuje się inne informacje o wyężeniu obiektu. W niniejszej pracy przedstawiono sposób określania oddziaływania gruntu na powłokę, wyznaczanego na podstawie jej deformacji. Wyniki tych analiz mogą służyć do sprawdzania bezpieczeństwa obiektów jak również oceny dokładności klasycznych modeli geotechnicznych [3, 4, 5].

W modelach obiektów grunto-powłokowych wyróżnia się dwa podukłady konstrukcyjne: powłokę z blachy falistej oraz pozostałą część w postaci zasypki gruntowej, nawierzchni z podbudową jezdni. Współdziałanie pomiędzy nimi modeluje się jako oddziaływanie kontaktowe (interface) w postaci sił powierzchniowych, rozkładanych z regoły na dwie składowe: normalne p_i i styczne t_r , jak na rysunku 2. Znajomość tych oddziaływań pozwala na oddzielną analizę każdego z podukładów – podobnie jak w przypadku wielkości nadliczbowych (hiperstatycznych) w metodzie sił stosowanej powszechnie w układach prętowych. W pracy wynikiem oddziaływań p_i i t_r jest deformacja powłoki określana przez przemieszczenia punktów pomiarowych w

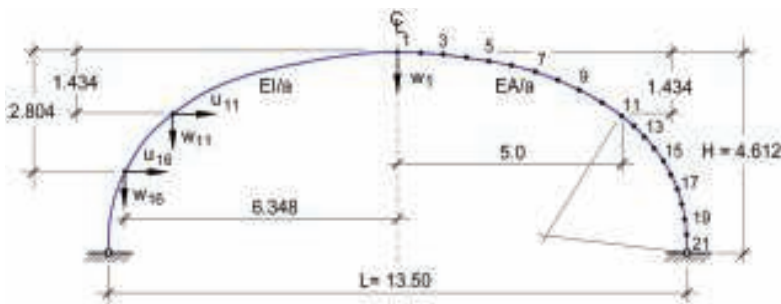
postaci składowych pionowych w i poziomych u . Są one mierzone z zastosowaniem technik geodezyjnych – wystarczająco dokładnych z uwagi na duże wartości przemieszczeń. Na rysunku 2 przedstawiono schemat przekroju poprzecznego analizowanej powłoki i oddziaływanie gruntu. W pracy rozpatruje się fazę budowy, gdy poziom zasypki wynosi z_g oraz jej użytkowanie przy pełnym naziomiu z nawierzchnią drogową.

Analiza sił wewnętrznych i przemieszczeń drugiego podukładu jest trudna do identyfikacji z uwagi na jego złożoną, warstwową budowę i indywidualne cechy fizyczne każdej warstwy. Ustalenie przemieszczeń gruntu na podstawie deformacji powłoki jest bardzo trudne z uwagi na możliwość powstawania poślizgów w styku blachy i gruntu podczas obciążeń. Stąd wynika konieczność śledzenia wartości sił t_r uwikłanych z p_i . Pomiedzy podukładami występuje jako stała zasada wzajemność sił.

Oddziaływania gruntu na powłokę są zmienne w czasie budowy jak również podczas eksploatacji obiektu. Na wartości sił kontaktowych główny wpływ ma położenie analizowanego punktu względem poziomu zasypki z_i jak na rysunku 2. Jednak istotne znaczenie mają cechy fizyczne gruntu wynikające również z technologii zagęszczania zasypki, jej grubości po obydwu stronach powłoki, użyty sprzęt, warunki klimatyczne, przerwy robocze [1]. Efekty te, o cechach losowych, są odwzorowane w deformacji po-

włoki – są zapisem procesu budowy obiektu. Na podstawie przemieszczeń po zakończeniu budowy ocenia się jakość prac w tych obiektach. W przypadku powłok o wyróżniającej się geometrii przygotowuje się prognozę przemieszczeń – analogicznie jak w programach sprężania mostów betonowych.

Po wybudowaniu obiektu i podczas jego eksploatacji obserwowane są zmiany oddziaływań pomiędzy gruntem a powłoką. Na rysunku 3 przedstawiono jeden z przykładów wyników badań obiektu w Dovre (Norwegia). Powłokę wykonano jako elipsę poziomą o rozpiętości $L = 10,78$ m i wysokości $H = 7,13$ m z naziomem o grubości 4,2 m. Powłokę utworzono z blachy falistej o typowym profilu MP 200x55x7. W narożach powłoki wykonano betonowe żebra usztywniające o kształcie trójkątnego przekroju poprzecznego, widoczne na rysunku 3. Powodują one znaczne zaburzenia rozkładu oddziaływań pomiędzy gruntem a powłoką [3, 4]. Największe wartości składowej normalnej oddziaływania p_i uzyskano na głębokości 7,8 m od poziomu jezdni (naziomu) ok. 180 kPa. Oddziaływanie gruntu na powłokę w jej kluczu wynosi ok. 75 kPa przy grubości naziomu 4,2 m a więc przy minimalnym wpływie zjawiska przesklepienia. W podsumowaniu wyników badań w [3] stwierdzono 30% redukcję nacisku na powłokę po dwudziestoletniej eksploatacji obiektu.



4. Model obliczeniowy powłoki i przemieszczenia punktów kolokacyjnych

Model oddziaływania gruntu na powłokę

Podział obiektu na dwa podukłady konstrukcyjne pozwala na niezależną analizę powłoki poddanej obciążeniu zewnętrznemu w postaci sił o składowych p i t w obiekcie gruntowo-powłokowym. Są one wzajemnym oddziaływaniem zasypki gruntowej z drugiego podukładu. Powłoka z blachy falistej jest idealnym modelem sprężystego układu o sztywności na zginanie EI/a oraz na siły osiowe EA/a (gdzie a jest długością fali w blasze o typowym symbolu np. MP axfx).

W pracy do określenia oddziaływania wzajemnego podukładów wykorzystuje się warunek kolokacji polegający na tym, że wynik pomiaru przemieszczenia punktu kolokacyjnego obiektu, oznaczonego jako s , ma być zgodny z rezultatem obliczeń uzyskany w modelu geometrii powłoki, jak w równaniu

$$s = f_{sp} \cdot p. \quad (1)$$

Zatem po lewej stronie równania (1) wykorzystuje się pomiary i stan przemieszczeń obiektu a po prawej stronie (1) efekt deformacji obliczony z użyciem modelu zjawiska. We wzorze (1) p jest wektorem siły równomiernie rozłożonej (składowej normalnej oddziaływania gruntu na powłokę) na paśmie obwodowym powłoki określonym w węzłach podziału powłoki na elementy, jak na rysunkach 2 i 4, o postaci

$$p = \text{col}\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_i, \dots, p_n\}.$$

(2)

Wektor f_{sp} jest funkcją wpływu prze-

mieszczenia s od oddziaływań składowych normalnych p

$$f_{sp} = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_i, \dots, f_n\}. \quad (3)$$

Składowe oddziaływania styczne t i normalne p są wzajemnie uwikłane poprzez współczynnik tarcia. W pracy i w wynikach pomiarów, jak na rysunku 3, pomija się wpływ składowej stycznej na przemieszczenia.

Z postaci równania (1) i wzorów (2) i (3) widoczna jest wada przedstawionej metodyki analizy określana jako niejednoznaczność rozwiązania. Polega ona na tym, że znaczną liczbę wyznaczanych wyrazów p_i uzyskuje się na podstawie jednej wartości s z wykorzystaniem warunku kolokacji (1). Wobec tego do szacowania funkcji oddziaływania p przydatne może być rozwiązanie Coulomba [5] ujęte w formie statycznego parcia gruntu

$$p_i = \gamma_g \cdot K_a \cdot z_i - 2c\sqrt{K_a}, \quad (4)$$

gdzie: γ_g – ciężar objętościowy gruntu, c – współczynnik kohezji. Rozkład parcia w (4) jest liniową zależnością od grubości zasypki z_i (odległość analizowanego punktu od poziomu naziomu, jak na rysunku 2). W funkcji wielu zmiennych $K_a(\alpha, \beta, \phi, \delta)$ uwzględnia się kształt powłoki oraz parametry gruntu [5]. Należy przy tym pamiętać, że zależność (4) dotyczy parcia gruntu na masywne ściany oporowe a nie na wiotką powłokę z blachy falistej, jak w pracy.

Rozbieżność pomiędzy wynikiem obliczeń a wartościami p_i z (4) mogą być znaczne. Bowiem w obliczanych z wykorzystaniem (1) wartościach oddziaływań p_i uwzględnia

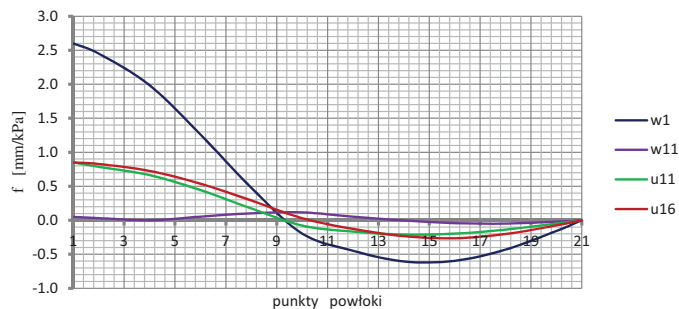
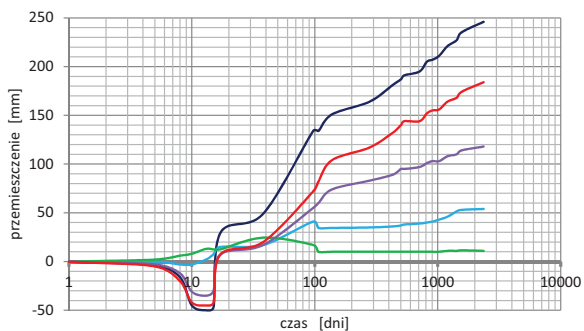
się rzeczywiste parametry fizyczne zasypki gruntowej, jej układ warstwowy o zróżnicowanych cechach fizycznych wynikających ze stopnia zagęszczenia a czasem odmiennego rodzaju gruntu. Ważnym efektem jest technologia układania zasypki. W wybudowanym obiekcie istotne znaczenie mają pozostałe elementy drugiego podukładu np. nawierzchnia. Solidną podstawą zależności (3) są charakterystyki statyczne pierwszego podukładu takie jak kształt i rozkład sztywności blachy falistej - uwzględnione w wyrazach wektora wpływu przemieszczenia f_i [mm/kPa].

Do uzyskania wiarygodnych oszacowań funkcji oddziaływań p z (1) korzysta się z metodologii kolejnych przybliżeń. Dokładność wyrazów wektora p_i jest większa gdy wykorzystuje się kilka warunków kolokacyjnych czyli przemieszczeń punktów s , jak w przykładzie podanym w pracy.

Analizowany obiekt

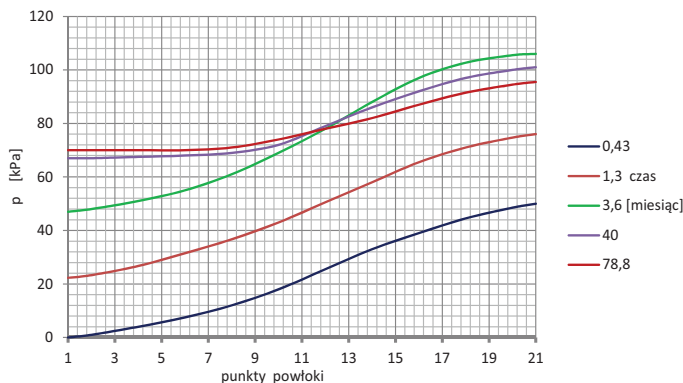
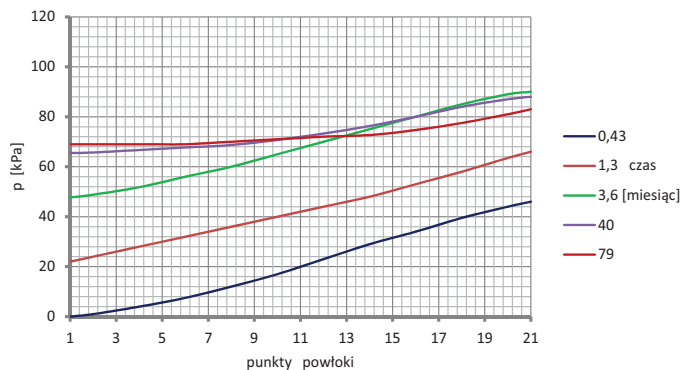
Na rysunkach 2 i 4 przedstawiono kształt przekroju poprzecznego analizowanego przykładu typowego obiektu o symbolu SC-15NA [6]. Powłokę wykonano jako paraboliczną o rozpiętości $L = 13,50$ m i wysokości $H = 4,68$ m z naziomem o grubości 3,72 m. Powłokę utworzono z blachy falistej o profilu SC 381×130×7. Z pomiarów deformacji podczas budowy i eksploatacji wynika, że jest ona zbliżona do symetrycznej – co wykorzystano w modelu obliczeniowym podanym na rysunku 4. Do szacowania oddziaływań zasypki na powłokę wykorzystuje się pomiary przemieszczeń punktów, jak po lewej stronie rysunku 4. Punkty te, o jednakowej liczbie, rozmieszczone są na powłoce o dwóch promieniach krzywizny. Wśród tych punktów wyróżniono miejsca pomiarowe: w kłuczu powłoki oraz dwa punkty na jej poboczniczy [6].

Na rysunku 5 przedstawiono zmiany przemieszczeń punktów pomiarowych zarejestrowane w czasie budowy (1-67 dni) oraz użytkowania



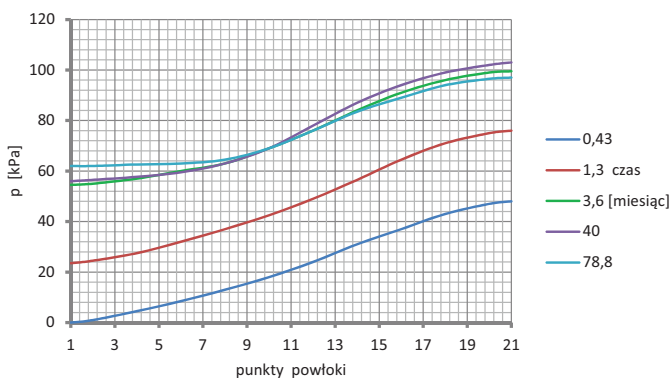
5. Zmiany przemieszczeń punktów powłoki podczas budowy i eksploatacji obiektu

6. Funkcje wpływu przemieszczeń powłoki



7. Zmiany oddziaływania $p(w_i)$ obliczonego z warunku kolokacji $s = w_i$

8. Zmiany oddziaływania $p(u_i)$ obliczonego z warunku kolokacji $s = u_i$



9. Zmiany oddziaływania $p(u_i)$ obliczonego z warunku kolokacji $s = u_{i6}$

obiektu przez ponad sześć lat. Z wykresów tych wynika, że dominujące wartości przemieszczeń dotyczą w_1 , u_{11} i u_{16} a funkcje te są proporcjonalne względem czasu. W pracy wykorzystano te przemieszczenia jako wartości s w warunku kolokacyjnym (1).

Na rysunku 6 przedstawiono funkcje wpływu wybranych przemieszczeń gdy obciążeniem jest siła równomiernie rozłożona nad analizowanym punktem i , na dwóch odcinkach pomiędzy punktami $i-1$, i , $i+1$. Z wykresów tych wynika, że do określania oddziaływań p_i przydatne są przemieszczenia w_1 oraz u_{11} i u_{16} . Istotne znaczenie do określenia oddziaływania na klucz powłoki p_i

ma funkcja wpływu $f(w_1)$ – zatem można ją przyjąć jako podstawową. Z wykresów $f(u_{11})$ oraz $f(w_{16})$ widoczne jest, że niewielkie zmiany p_i wpływają znacząco na przemieszczenia poziome w pachwinie powłoki. Możliwość wykorzystania funkcji $f(w_{11})$ jako warunek kolokacji są ograniczone co jest również widoczne w wartościach podanych na rysunku 5. Odcinki pomiędzy punktami 1-11 są dłuższe niż pomiędzy punktami 11-21 stąd zauważalne są nieciągłości funkcji wpływu w punkcie 11.

Oddziaływania gruntu na powłokę

Składowe normalne sił oddziaływa-

nia gruntu na powłokę p_i wyznaczono w trzech fazach budowy (1-107 dni) i trzech wycinkach czasowych eksploatacji obiektu (107 – 2364 dni). W tabl. 1 zamieszczono zmierzony przemieszczenia punktów pomiarowych, jak na rys. 6, wykorzystane do obliczeń p_i . W ostatniej kolumnie podano wartości parcia gruntu w punkcie podporowym 21 (betonowa ściana pionowa podparcia powłoki) obliczone ze wzoru (4) przy przyjęciu $c = 0$ oraz jako stałej

$$\gamma_g \cdot K_a = 12 \text{ kN/m}^3, \quad (5)$$

stąd

$$p_{21} = 12 \cdot z_g. \quad (6)$$

W badaniach gruntu zasypki tego obiektu uzyskano wyjątkowo dużą wartość $\gamma_g = 23,5 \text{ kN/m}^3$ stąd z (5) oszacowano również wysoką wartość $K_a = 0,51$ oczywiście uzyskaną z uproszczonego wzoru (4), czyli bez uwzględnienia kohezji c .

Na rysunku 7 przedstawiono wyniki obliczeń oddziaływania p_i wyznaczone z warunku (1) gdy $s = w_1$ czyli na podstawie ugięcia klucza powłoki. Wykresy podane na rysun-

ku **8** uzyskano w podobny sposób lecz z wykorzystaniem przemieszczenia poziomego u_{11} . W przypadku rysunku **9** jako warunek kolokacyjny (1) przyjęto przemieszczenie poziome bocznej ściany powłoki u_{16} . Ponieważ każdy z warunków kolokacji rozpatruje się niezależnie otrzymuje się nieco inne rozkłady sił $p(s)$ podane na rysunkach **7-9**. Jako sprawdzenie skuteczności oszacowanych oddziaływań wykorzystuje się równanie (1) ale w zastosowaniu do pozostałych punktów pomiarowych powłoki. Oczywiście w punktach pomiarowych wykorzystanych w warunku kolokacji uzyskuje się pełną zgodność – z założenia. W tabelicy **2** zamieszczono obliczone w ten sposób przemieszczenia.

Z porównania wykresów podanych na rysunkach **7-9**, dla tych samych wycinków czasowych widoczna jest mała ich różnica pomimo zmiany warunku kolokacyjnego – co można uznać za dobre oszacowanie oddziaływania $p(s)$. Z analizy przemieszczeń podanych w tabelicy **2** wynikają znaczne ich różnice pomimo niewielkich zmian $p(s)$ – co można uważać jako poparcie wcześniejszego wniosku. Na rozbieżności wyników podanych na rysunkach **7-9** i tabelicy **2** ma wpływ zastosowane uproszczenie w postaci symetrii modelu - było ono podstawą metodyki badań obiektu [6]. Wcześniej pominięto wpływ sił stycznych t_i . Istotne znaczenie podanych na rysunkach **7-9** wykresów ma oszacowanie zmiany oddziaływań gruntu na powłokę w przypadku braku stabilizacji przemieszczeń powłoki (propagacji deformacji w czasie eksploatacji), podanych na rysunku **5**.

Podsumowanie

Do odwzorowania pracy konstrukcji obiektów gruntowo-powłokowych w modelach MES [9, 10] i oceny ich bezpieczeństwa w trakcie budowy i użytkowania [1, 6, 7] wykorzystuje się trzy rodzaje pomiarów:

- przemieszczenia powłoki z zastosowaniem technik geodezyj-

Tab. 1. Zmiany przemieszczeń i oddziaływań w czasie budowy i eksploatacji obiektu

Czas[dni]	Przemieszczenia punktów [6] [mm]			Oddziaływanie	
	w_1	u_{11}	u_{16}	z_g [m]	p_{21} [kPa]
13	-50	-17,5	-22,5	4,7	56,4
38	49	8,5	10	6,5	78,0
107	134	30	41	8,4	100,8
1200	221	54	82		
2364	246	59	92		

nych [1, 6, 7];

- odkształcenia blach falistych powłok z użyciem tensometrów [1, 7, 8];
- parcia zasyпки gruntowej na powłokę z użyciem presjometrów [3, 4, 11].

W każdej z tych grup pomiarowych realizuje się odmienną metodologię badawczą a w jej wyniku otrzymuje się inne informacje o wyężeniu obiektu. Z przykładu podanego w niniejszej pracy na podstawie przemieszczeń powłoki uzyskuje się naciski gruntu na powłokę, jak z pomiarów presjometrycznych. Na podstawie deformacji powłoki otrzymuje się również naprężenia w blasze falistej jak w wynikach podanych np. w [1, 2, 7, 8] a więc z zastosowaniem pomiarów tensometrycznych. Zatem wyniki pomiarów przemieszczeń dają ogólniejszy pogląd na pracę konstrukcji niż wymienione wcześniej metodyki pomiarowe. Pomiar geodezyjne deformacji powłoki podczas budowy są również wykonywane do innych prac natomiast do pomiarów tensometrycznych i presjometrów niezbędna jest specjalistyczna obsługa i sprzęt.

Określanie oddziaływania gruntu na powłokę jest tradycyjnym zadaniem geotechnicznym. Przy naziomnie obciążonym siłą skupioną jest to zadanie Bousinesqu'a. W przypadku ciężaru własnego zasyпки gruntowej (z rozłożonym obciążeniem naziomu) są to klasyczne rozwiązania: Coulomb'a, Müller'a-Breslau'a, Rankina. W przypadku powłok z blach falistych, były stosowane do projektowania sposoby: Duncan'a, Spanglera, Wite'a i Layer'a oraz Meyerhofa i Baika lub Klöpel'a – Glöck'a [11] i wiele innych. W wielu pracach np. [3, 4, 7, 10, 11] podjęto próby określenia

Tab. 2. Wyniki obliczeń przemieszczeń punktów pomiarowych powłoki

Czas pomiaru[dni]	Przemieszczenia punktów [mm]		
	w_1	u_{11}	u_{16}
13		-16,70	-18,16
	-52,72		-19,25
	-59,41	-20,09	
38		15,84	21,84
	27,34		13,12
	19,81	6,09	
107		26,22	56,20
	144,12		59,51
	96,98	13,80	
1200		81,08	89,62
	142,0		58,41
	203,0	74,93	
2364		80,69	99,28
	179,64		72,65
	227,50	74,55	

parcia gruntu na powłokę z zastosowaniem różnych metod badawczych.

W pracy podano możliwość uzyskania oddziaływań p_i na podstawie deformacji powłoki. Uzyskuje się to metodą kolejnych przybliżeń a wynik oszacowania zależy od przyjętego punktu kolokacyjnego. Zaletą takiego algorytmu jest uwzględnienie cech fizycznych gruntu w warstwach zasyпки a przede wszystkim technologii jej układania i zagęszczenia.

Wyniki tych analiz mogą być podstawą do porównań skuteczności klasycznych modeli geotechnicznych, wymienionych wyżej. Pomiar oddziaływań gruntu na powłokę wykonywane są sporadycznie. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Machelski C. Budowa konstrukcji gruntowo-powłokowych. Dol-

- nośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2013.
- [2] Machelski C. Szywność obiektu mostowego jako parametru użytkowego konstrukcji inżynierskich. Przegląd Komunikacyjny 2/2016 s. 27-32.
- [3] Vaslestad J., Kunecki B., Johansen T.H. Twenty one year pressure measurements on buried flexible steel structure. Archives of Institute of Civil Engineering. No 1/2007 p. 233-244.
- [4] Bakht B. Evaluations of the design methods for soil-steel structures in Canada. Archives of Institute of Civil Engineering. No 1/2007 p. 7-22.
- [5] Jaske T., Prздеcki T., Rossiński B. Mechanika gruntów. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1966.
- [6] Machelski C., Janusz L., Czerepak A. Estimation of Stress level in the Corrugated Soil-Steel Structure Based on Deformation in the Crown. Journal of the Traffic and Transportation Engineering 5(2016), p. 186-193.
- [7] Machelski C. Estimation of internal forces in the shell of soil-steel structures on the basis of its displacements during backfilling. Studia Geotechnica et Mechanica. 1/2009 p. 19-38.
- [8] Machelski C. Skuteczność pomiarów geodezyjnych podczas budowy obiektów gruntowo-powłokowych. Mosty 8/2016 s. 24-28.
- [9] Czerepak A., Tomala P., Wysokowski A. Comparison of test and calculation results of corrugated steel plate box structure MP150. Archives of Institute of Civil Engineering. No 1/2007 p. 53-63.
- [10] Szajna W.S. Numerical model for the analysis of construction process of soil-steel culverts. Archives of Institute of Civil Engineering. No 1/2007 p. 215-223.
- [11] Klöppel K., Glöck D. Theoretische und experimentelle Untersuchungen zu den Traglastproblemen bigeweicher in die Erde eingebetteter Rohre. Veröffentlichung des Instituts Statik und Stahlbau der Technische Hochschule Darmstadt 3/1979, H-10.

REKLAMA



CZAS NA INNOWACYJNE BUDOWNICTWO

Oferujemy profesjonalne usługi z zakresu:

- budowy infrastruktury komunikacyjnej, sieci instalacyjnych i obiektów hydrotechnicznych,
- wykonywania pomiarów geodezyjnych, tworzenia map do celów projektowych, wytyczenia budynku i sieci.



W BUDOWNICTWIE WYBIERZ FIRME,
KTÓREJ MOŻESZ ZAUFAĆ

Zobacz, co już wybudowaliśmy
i dla kogo pracowaliśmy:
www.gm-roads.pl

Biuro:

ul. Krzemieniecka 47,
54-613 Wrocław

Budownictwo inżynierskie:

tel.: (71) 300 12 40
e-mail: info@gm-roads.pl

Geodezja:

tel.: 697 660 932
e-mail: m.wozniak@gm-roads.com

Siedziba firmy:

ul. Wrocławska 41, Łażany
58-130 Żarów