

# Oddziaływanie pojazdu na powłokę w obiektach gruntowo-powłokowych

## The vehicle impact on the corrugated steel shell in soil-steel structures



Czesław Machelski

Prof. dr hab. inż.

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

czeslaw.machelski@pwr.edu.pl

**Streszczenie:** W pracy omówiono wyniki badań obiektów gruntowo-powłokowych poddanych obciążeniom pojazdami drogowymi i kolejowymi, zmieniającymi swoje położenie wzdłuż toru ruchu. Rozpatrywane są obciążenia quasi statyczne w ujęciu kroczącym i ciągłym (z minimalną prędkością przejazdu). Analizowano wpływy oddziaływań dynamicznych pojazdów w funkcji prędkości przejazdu. Rozpatrywane są ciężkie, przejazdy eksploatacyjne z małymi prędkościami. Odrębną grupą są przejazdy pasażerskich pociągów w przejazdach z dużymi prędkościami. W tym przypadku realizowane są symulacje numeryczne z wykorzystaniem złożonych modeli obiektów gruntowo-powłokowych. W pracy sprecyzowana jest specyfika (odmienność) efektów oddziaływań dynamicznych taboru kolejowego na obiekty gruntowo-powłokowe w odniesieniu do klasycznych mostów stalowych. Z przedstawianych wyników badań obiektów gruntowo-powłokowych widoczne jest korzystne współdziałanie nawierzchni kolejowej i podbudowy z powłoką z blachy falistej zanurzonej w zasypce gruntowej jak w nasypach kolejowych.

**Słowa kluczowe:** Konstrukcje gruntowo-powłokowe; Oddziaływanie pojazdu na powłokę; Dynamika; Badania obiektów

**Abstract:** The paper presents the results of soil-steel structures tests under road and rail vehicles loads, which change their position along the track. Quasi static loads are considered in both stepping and continuous measurement method (with minimum travel speed). The impact of dynamic loads from vehicles as a function of vehicle speed was analyzed. Heavy, low-speed driving rides and as a separate group the passage of passenger trains in high speed journeys were considered. In this cases numerical simulations are performed using complex models of soil-steel structures. The specificity (difference) of dynamic effects from dynamic loads of rolling stock on soil-steel structures in relation to classic steel bridges is specified in the paper. The presented results from tests shows the favorable interaction of the railway tracks and substructures with the corrugated steel shell in the backfilling as in the railway embankments.

**Keywords:** Soil-steel structures; Impact of vehicle on the shell; Dynamic; Investigation of the structures

### Budowa obiektów gruntowo-powłokowych

Konstrukcje gruntowo-powłokowe są budowlami inżynierskimi spełniającymi rolę obiektów mostowych, jak na rys. 1, jak również wiaduktów, kładek dla pieszych, przepustów, tuneli, przejść podziemnych, przejazdów gospodarczych, przejść dla dziko żyjących zwierząt. Duża grupa tych budowli pełni funkcje obiektów komunalnych, zwykle o kształcie przewodów zamkniętych (rurowych). Są one wybudowane w postaci powłoki i otaczającego ją, specjalnie zagęszczonego gruntu. Zaprojektowane są one w taki sposób aby zapewnić długotrwałe, korzystne współdziałanie między zasadniczymi elementami układu

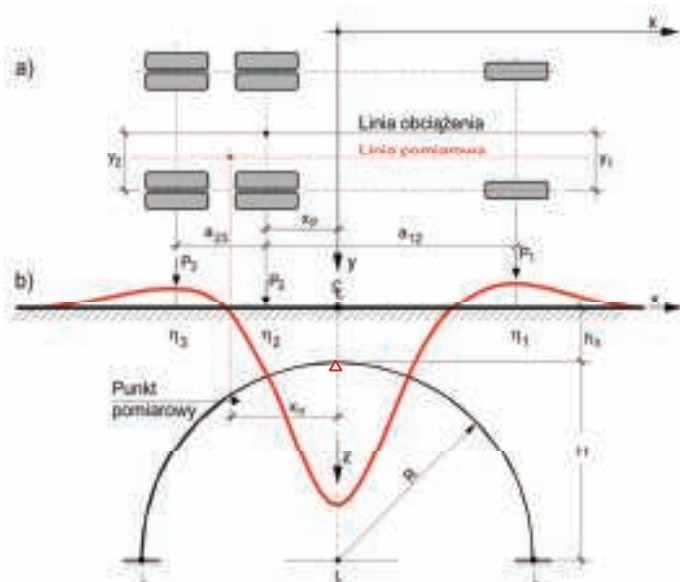
nośnego (w klasycznej konstrukcji), tj. powłoką (podpartą na fundamencie) i zasypką gruntową z udziałem nawierzchni [7].

Efekt współpracy powłoki z gruntem obserwuje się jako pozornie odciążenie podatnej powłoki przez wytworzenie się naturalnego sklepienia w gruncie. Intensywność oddziaływania gruntu na konstrukcję nośną zależy od sztywności powłoki względem otaczającej ją zasypki [8, 11, 12]. W konstrukcji sztywnej pełnią one zupełnie inne role. Z uwagi na kształt powłok konstrukcji gruntowo-powłokowych wyróżnia się ich trzy rodzaje: łukowe o przekroju zamkniętym i otwartym oraz skrzynkowe. Podział ten wynika z różnic w przebiegu deformacji powłok w trakcie budowy

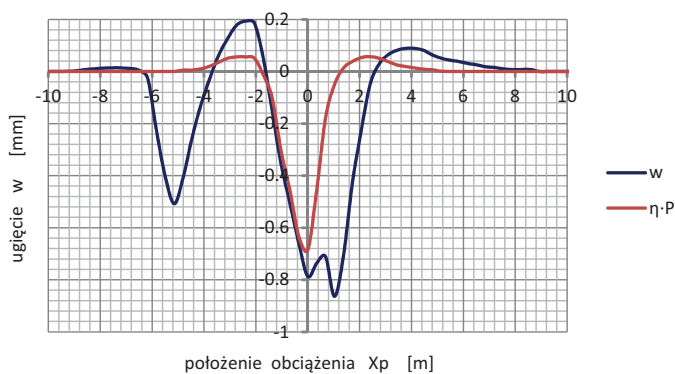
obiekty [7]. Pod obciążeniami zmieniającymi różnice te zanikają i wszystkie powłoki zachowują się podobnie [4, 12, 13, 18]. Z uwagi na zastosowany materiał wyróżnia się powłoki z blachy płaskiej i falistej, stalowe i aluminiowe oraz betonowe. Deformacje tych powłok są podobne a istotne znaczenie ma ich sztywność [12]. Z tego względu konstrukcje gruntowo-powłokowe



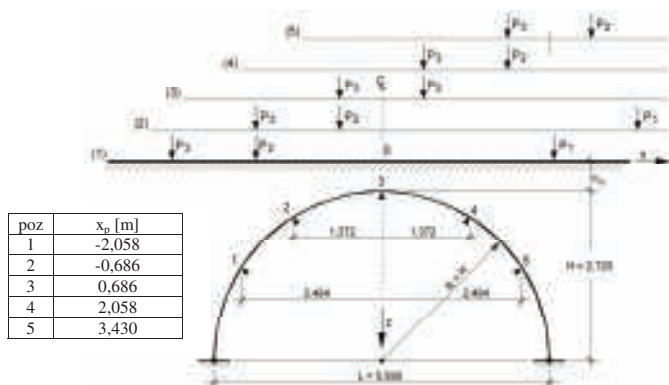
1. Przebudowa obiekt belkowego na gruntowo-powłokowy



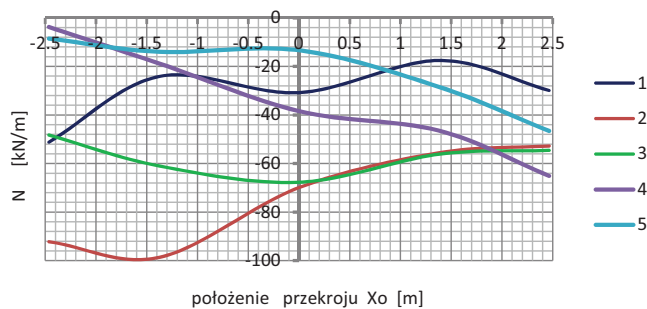
2. Układ kół samochodu oraz linia wpływu ugięcia klucza powłoki



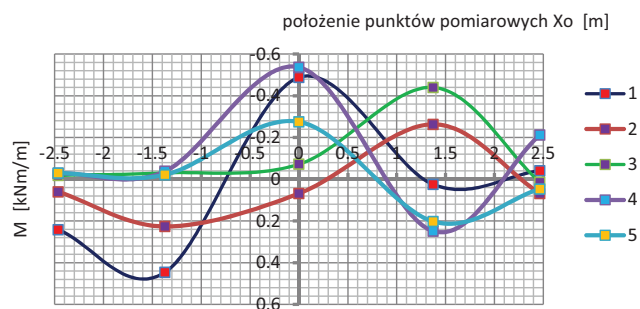
3. Zmiany ugięcia i linii wpływu ugięcia klucza powłoki



4. Położenia samochodu w realizacji koncepcji obciążenia kroczącego

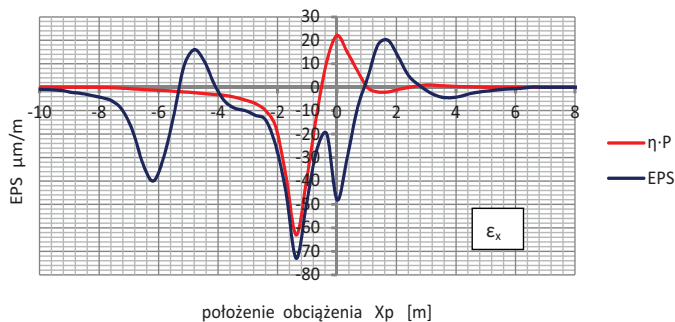


położenie przekroju  $X_0$  [m]

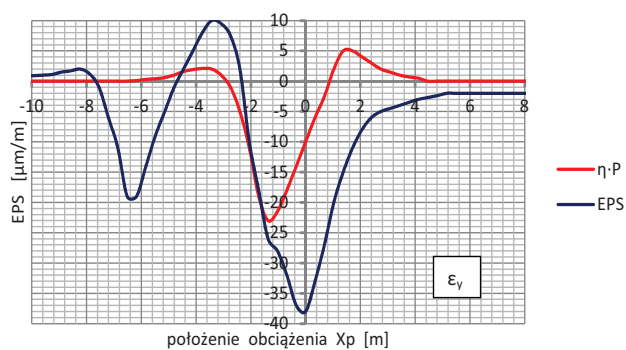


położenie punktów pomiarowych  $X_0$  [m]

5. Rozkład sił osiowych i momentów zginających w paśmie obwodowym powłoki



położenie obciążenia  $x_p$  [m]



położenie obciążenia  $x_p$  [m]

6. Zmiany odkształceń jednostkowych i linie wpływu  $\epsilon$  w punkcie 2 powłoki

dzieli się na dwie, zasadnicze grupy: sztywne i podatne. Szczegółowe uzasadnienie podziału tych obiektów podano w pracy [7].

## Obciążenia zmieniające położenie

W obiektach komunikacyjnych o prostej geometrii (nie położonych na łukach) pojazdy poruszają się wzdłuż osi podłużnej jezdni nad pasmem obwodowym konstrukcji, jak na rysunku 2. Gdy rejestruje się przemieszczenia

analizowanego punktu konstrukcji powstaje wykres, zależny od położenia wyróżnionej osi pojazdu (referencyjnej), czyli współrzędnej  $x_p$ . Gdy pojazd porusza się z małą prędkością jego oddziaływanie dynamiczne jest ograniczone, zwykle przyjmuje się, że jest to obciążenie quasi statyczne, zmieniające swoje położenie [6, 11, 13]. Na rysunkach 3 - 6 omówiono wyniki badań drogowego obiektu gruntowo-powłokowego eksploatowanego od 1962 roku w USA (okręg Waszyngton)

o szerokości  $B = 9$  m [18]. Grubość nawierzchni drogowej z naziemem była wyjątkowo mała i wynosiła  $h_c = 0,406$  m. Przekrój poprzeczny powłoki to kształt połowy koła. Charakterystyczne parametry geometryczne powłoki to: rozpiętość  $L = 5,59$  m; wysokość  $H = 2,72$  m. Analizowany obiekt utworzono z blachy o niskim profilu MP 152'38'8. W tych badaniach jako obciążenia użyto typowy trzyosiowy samochód ciężarowy o rozstawie osi  $a_{12} = 4,877$  m  $a_{23} = 1,372$  m. naciski

na osie tego samochodu były zbliżone i wynosiły:  $P_1 = 80,77$  kN;  $P_2 = 93,89$  kN;  $P_3 = 93,22$  kN. W programie badań obciążenie zmieniało swoje położenie wzdłuż osi jezdni w sposób ciągły i kroczący.

Na rysunku 3 przedstawiono wynik pomiaru ugięcia klucza powłoki  $w(x)$  podczas przejazdu samochodu [18]. Na osi poziomej wykresu podano położenie osi środkowej pojazdu w odniesieniu do klucza powłoki. Gdy  $x_p = 0$ , oś środkowa samochodu znajduje się nad kluczem powłoki. Widoczny na tym rysunku trzy wartości ekstremalne ugięcia są wynikiem obciążenia kolejnymi kołami z zestawu. Powstają one w przypadku dużego rozstawu osi w stosunku do rozpiętości przepustu  $L$ . W rozpatrywanym przypadku ustawienia samochodu może występować ugięcie  $w = 0$  pomimo pełnego obciążenia samochodem. Ważnym wynikiem w tych pomiarach jest uzyskanie  $w = 0$  po przejeździe samochodu zwykle pozostają deformacje residualne [2, 4, 6, 9, 11, 17].

Na rysunku 4 przedstawiono realizację koncepcji obciążenia kroczącego – samochodu zatrzymanego podczas jazdy w pięciu pozycjach. W tym szczególnym przypadku badanego obiektu i układu osi występują zbliżone zależności geometryczne pomiędzy rozstawem tylnych kół samochodu  $a_{23}$  i rozpiętością  $L$  jako  $a_{23} \approx L/4 = 1,4$  m oraz układem punktów pomiarowych 2, 3, 4.

Na rysunku 5 podano wartości sił wewnętrznych w analizowanych punktach pasma obwodowego powłoki jak na rysunku 4 obliczone na podstawie wyników pomiarów tensometrycznych. W legendzie wykresów podano położenia samochodu zmieniającego położenie w ujęciu kroczącym. W badaniu występują podobne układy tylnych osi samochodu w stosunku do klucza powłoki np. schematy 1 i 5 oraz 2 i 4 oraz symetryczny 3. Jednak wpływ przedniej osi pojazdu, czyli  $P_1$  zaburza symetrię tych sił wewnętrznych. Siły osiowe  $N$  (rys. 5a) są zawsze jednego znaku (ściskające). W przypadku momentów zginających  $M$  (rys. 5b) pomiędzy siłami  $P_2$  i  $P_3$  (tylne osie pojazdu) pojawiają się w powłoce momenty zginające odwrotnego znaku niż pod kołami. Z uwagi na inne po-

łożenie sił w odniesieniu do punktów pomiarowych (jak na rysunku 4) wartości  $M$  podane na wykresach nie są ekstremalne a wykresy nie odwzorowują przebiegu momentów zginających w paśmie obwodowym powłoki.

We analizowanym wcześniej obiekcie [18] realizowano również pomiary tensometryczne między innymi w punkcie  $x_0 = -1,372$  m jak na rysunku 4. Na rysunku 6 przedstawiono funkcje odkształceń jednostkowych - w części  $a$  wykresy  $\epsilon_x$  (w kierunku obwodowym) na dolnej fali powłoki a w części  $b$   $\epsilon_y$  (prostopadle do kierunku obwodowego) na górnej fali powłoki. Funkcje wpływu  $\eta$  [1/kN] pomnożono przez  $P = P_2$  aby przedstawiać je na wspólnym wykresie z  $\epsilon$ . Obydwie funkcje  $\epsilon(x)$  i ich linie wpływu są podobne zarówno co do kształtu jak i wartości. Widoczna jest też ich specyficzna różnica. Z maksymalnych rzędnych  $\epsilon$  można określić naprężenia normalne jako

$$\sigma = E \cdot \epsilon_x^D = 0,205 \cdot 10^6 \cdot (-74 \cdot 10^{-6}) = -15,2 \text{ MPa}$$

Znak naprężenia „-” oznacza ściskanie. Wartość odkształcenia jest wielokrotnie mniejsza niż powstająca w powłoce podczas budowy [12].

Z przebiegów funkcji  $w(x)$ , jak na rys. 3 i  $\epsilon(x)$ , jak na rys. 6 oraz powstałych na tej podstawie linii wpływu  $\eta(x)$  widoczna jest mniejsza skuteczność określania maksymalnych wartości w koncepcji obciążenia kroczącego, jak na rysunku 4. W ujęciu kroczącym uzyskuje się wyniki w punktach pomiarowych wyłącznie przy ustalonych położeniach obciążenia  $x_p$ . Z uwagi na wielokrotną zmianę znaku linii wpływu analizowanych wielkości oraz przy złożonej geometrii pojazdu i zróżnicowanych naciskach na koła wartości ekstremalne mogą występować w nieoczekiwanych położeniach obciążenia [17, 18].

## Linie wpływu przemieszczeń i sił wewnętrznych

Z ciągłego pomiaru ugięcia tworzy się wykres  $w(x)$  a stąd również linie wpływu ugięcia  $\eta(x)$ . Na rysunku 3 pokazano obydwie linie. Aby uzyskać jednakowe jednostki funkcję  $\eta(x)$  [mm/kN] pomnożono przez  $P = P_2$  [kN]. W układzie tych dwóch wykresów moż-

na wyróżnić trzy sytuacje:

- gdy wyłącznie pierwsza oś położona jest nad linią wpływu, wówczas występuje zależność

$$w(x) = P_1 \cdot \eta_1(x + a_{12}) \quad (1)$$

- gdy druga oś wpływa na ugięcie klucza powłoki, jak we wzorze

$$w(x) = P_1 \cdot \eta_1(x + a_{12}) + P_2 \cdot \eta_2(x) \quad (2)$$

- w przypadku ogólnym, jak na rysunku 2, wówczas występuje zależność

$$w(x) = P_1 \cdot \eta_1(x + a_{12}) + P_2 \cdot \eta_2(x) + P_3 \cdot \eta_3(x - a_{23}) \quad (3)$$

Przy wykorzystaniu równania (1) wyznacza się pierwszą część wykresu  $\eta(x + a_{12})$ . Gdy występuje aktywne oddziaływanie drugiej osi pojazdu  $P_2$  znane są już rzędne wykresu  $\eta_2 = \eta(x)$  a określany zakres wykresu  $\eta(x + a_{12})$  znajdujący się pod siłą  $P_1$  z wykorzystaniem równania (2). Przypadek ujęty w równaniu (3) jest ogólnym gdyż wszystkie trzy osie pojazdu wpływają na ugięcie klucza powłoki. W tym przypadku znane są rzędne wykresu  $\eta_2 = \eta(x + a_{12})$  oraz  $\eta_3 = \eta(x)$  a określana jest składnik  $\eta(x)$  pochodzący od siły  $P_1$ , jak na rysunku 2. Gdy wyznaczona jest postać funkcji wpływu  $\eta(x)$  korzysta się z ogólnej zależności

$$w(x) = \sum_{i=1}^3 P_i \cdot \eta_i(x_i) \quad (4)$$

gdzie:  $x = x_p$ ,  $x_1 = a_{12} - x_p$  i  $x_2 = x_p$  oraz  $x_3 = -a_{23} - x_p$ .

Z wartości rzędnych linii wpływu  $\eta(x)$  widoczny jest obszar aktywnego oddziaływania pojazdu – zbliżony zwykle do  $2L$ . Przedstawiony na rysunku 3 wykres  $w(x)$  jest wynikiem pomiarów zrealizowanych na obiekcie i równocześnie sprawdzeniem poprawności funkcji  $\eta(x)$  wytworzonej na podstawie badań obiektu. Zaletą funkcji wpływu  $\eta(x)$  jest uwzględnienie wszystkich elementów konstrukcji łącznie ze współpracą wyposażenia (np. nawierzchni).

Taką samą metodologią badań zastosowano w przypadku pojazdów o większej liczbie osi – jak w taborze kolejowym. Badany obiekt kolejowy przedstawiono na rysunku 7. Powłokę konstrukcji gruntowo-powłokowej stanowi blacha typu SuperCor o fali SC 380×140×7, z nakładką odcinkową (płaszcze powłoki przesunięte o jedno pole) z blachy SC 380×140×5.5. Geometria pasma obwodowego SC-35B jest oznaczana przez producenta jako





7. Położenie lokomotywy w trakcie obciążenia

skrzynkowa. Charakterystyczne wymiary powłoki to: rozpiętość  $L = 7.945$  m, wysokość  $H = 2.37$  m, górny promień krzywizny  $R = 8.82$  m. Szerokości powłoki są następujące: górna  $B_g = 13.8$  m oraz dolna  $B_d = 21.36$  m. Obiekt charakteryzuje się bardzo małą wysokością konstrukcyjną  $h_k = 1,20$  m, co przy całkowitej grubości nawierzchni kolejowej 60E1 na podsypce i podkładach strunobetonowych daje warstwę grubości 0,95 m.

Obciążenie obiektu stanowiła lokomotywa, sześciosiowa typu ST44 o rozstawie osi:  $2 \cdot 2,10 + 4,20 + 2 \cdot 2,10$  m i obciążeniach na osie  $P = 192,9$  kN. W badaniach obiektu zastosowano metodykę obciążenia zmieniającego położenie w sposób *quasi-statyczny*. Polegała ona na przejeździe lokomotywy w kolejne ustawienia ze stałym krokiem, w tym przypadku co dwa podkłady, czyli co około 1,3 m. W tych położeniach rejestrowano automatycznie (komputerowo) ugięcia klucza powłoki.

Na podstawie uzyskanych wyników utworzono wykres  $w(x)$  podany na rysunku 8. Rzędne wykresów są odniesione do wartości  $x_p$ , która jest odległością środkowej siły w wózku lokomotywy od klucza powłoki. Gdy  $x_p = 0$  środkowa siła w wózku lokomotywy jest nad kluczem. Kolejne przejazdy lokomotywy odbywały się w sposób ciągły z małymi prędkościami tak aby nie powstawały efekty dynamiczne. Z tych pomiarów uzyskano podobne wykresy  $w(x)$ .

Z kształtu wykresu  $w(x)$  widoczny jest udział trzech sił  $P$  w wózku lokomotywy i kolejny najazd nad punkt pomiarowy powłoki. Odległość pomiędzy wierzchołkami wykresu jest zgodna z rozstawem wózków loko-

motywy, czyli  $d = 2 \cdot 2.1 + 4.4 = 8.6$  m. Na podstawie wykresu ugięcia  $w(x)$  utworzono linie wpływu ugięcia  $\eta(x)$  na tych samych zasadach jak w przypadku obciążenia analizowanego na rysunku 2. Sprawdzianem dokładności odwzorowania  $\eta(x)$  jest utworzona na tej podstawie linia ugięcia  $w(x)$  z siłami w rozpatrywanych punktach  $x_i$  wynosi

$$w(x) = P \sum_{i=1}^6 \eta(x_i) \quad (5)$$

gdys

$$x_i = \{x+2,1; x; x-2,1; x-6,5; x-8,6; x-10,7\} \quad (6)$$

## Sztywność obiektu mostowego

W przypadku obiektów mostowych poddanych obciążeniom ruchomym stosuje się jako parametr techniczny sztywność  $k$  zarówno w obiektach gruntowo-powłokowych jak również w klasycznych mostach [6, 9]. Wartości  $k$  zależą od budowy konstrukcji, materiału a szczególnie od rozpiętości obiektu. Do tego celu wyznacza się linię ugięcia powstałą podczas przejazdu pojazdu np. kolejowego a na tej podstawie funkcję wpływu ugięcia, jak w wykresach podanych w pracy.

W pracach [6, 9] zaproponowano definicję sztywności obiektu mostowego jako proporcję wartości siły skupionej  $P$  do wywołanego przez nią przemieszczenia  $w$ , jak we wzorze

$$k = \frac{P}{w} \quad [\text{kN/mm}]. \quad (8)$$

W rozpatrywanym przypadku zakłada się liniowy model konstrukcji, a więc proporcjonalność  $w$  do  $P$ . Siła  $P$  jest zatem dowolna (nie musi być wartością maksymalną dla elementu

konstrukcji), a więc  $k$  nie zależy od intensywności obciążenia. Istotne znaczenie przy tym ma minimalna wartości  $k$ , otrzymana dla danej konstrukcji. W przypadku konstrukcji mostowych poszukuje się więc takiego położenia siły  $P$  na jezdni, przy którym wystąpi maksymalna wartość przemieszczenia  $w$ . W takim ujęciu problemu korzysta się z funkcji wpływu ugięcia  $\eta(x)$  omawianych wcześniej.

Gdy zmiana położenia siły  $P$  odbywa się wzdłuż linii prostej, jak w przypadku mostu kolejowego, zagadnienie sprowadza się do postaci pokazanej na rysunkach 2, 3, 8. Z definicji linii wpływu  $\eta$  przemieszczenie  $w$  oblicza się z zależności

$$w = P \eta \quad (9)$$

gdzie  $\eta$  jest maksymalną rzędną linii wpływu. Po podstawieniu (8) do (8) otrzymuje się

$$k = \frac{1}{\eta} \quad [\text{kN/mm}]. \quad (10)$$

Wobec tego sztywność  $k$  jest odwrotnością maksymalnej rzędnej linii wpływu ugięcia  $\eta$  [10]. Zatem  $\eta$  jest również wskaźnikiem, jednak w  $\eta$  uwzględnia się schemat podparcia powłoki, jej geometrię i nawierzchnię. Wartości  $k$  są użyteczne w odniesieniu do innych rodzajów mostów [6].

W analizowanych wcześniej układach obiektów uzyskano następujące maksymalne wartości:

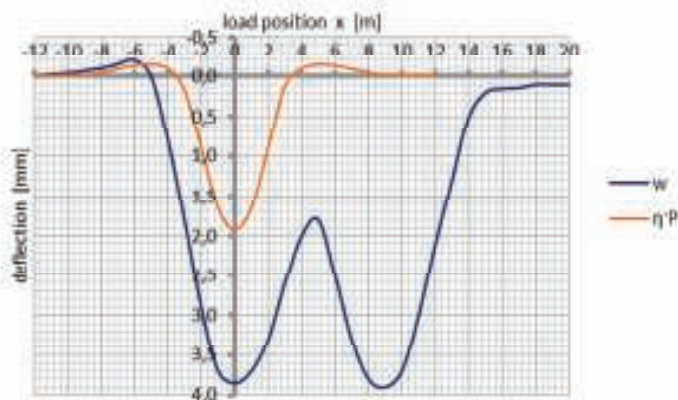
- obiekt drogowy  $\eta \cdot P = 0.686$  mm (rysunek 3), po uwzględnieniu siły  $P = 93.89$  kN otrzymuje się

$$k = \frac{93.89}{0.686} = 137 \quad [\text{kN/mm}]$$

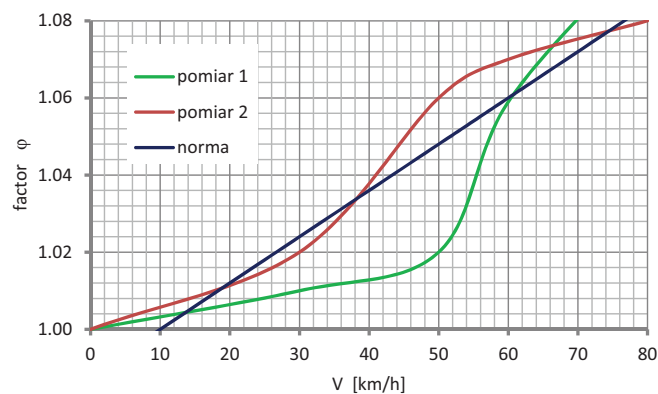
- obiekt kolejowy  $\eta \cdot P = 1.94$  mm (rysunek 8), po uwzględnieniu siły  $P = 192.9$  kN otrzymuje się

$$k = \frac{192.9}{1.94} = 100 \quad [\text{kN/mm}].$$

Obliczone wyżej sztywności są miarami ogólnymi i są stosowane do określenia mostów o różnych schematach (belkowych, ramowych, łukowych, podwieszonych itp.). Wartości  $k$  zależą od rozpiętości  $L$  (w mostach małych są one największe, rzędu  $k = 300$  kN/mm). Zależą także od rodzaju konstrukcji - najmniejsze wartości występują w kładkach dla pieszych nawet  $k = 15$  kN/mm.



8. Zmiana ugięcia i linia wpływu ugięcia klucza powłoki



9. Wartości współczynnika dynamicznego wyznaczonego z badania

## Efekty dynamiczne

W badaniu efektów dynamicznych przejazdów szynowych wyróżnia się prędkości eksploatacyjne ciężkich transportów kolejowych (towarowych) i lżejszych składów pasażerskich. Odrębne analizy prowadzi się w przypadku pojazdów kolejowych przystosowanych do dużych prędkości [1, 3, 5, 14, 15]. Z uwagi na zakres prowadzonych w pracy analiz dotyczących największych oddziaływań pojazdów skupiono się na lokomotywach wykorzystywanych w badaniach odbiorczych, jak na rysunku 7. Przykład analizy rozpatrywany w pracy to typowy obiekt kolejowy [17] o skrzynkowej konstrukcji gruntowo-powłokowej z blachy falistej SuperCor o fali SC 380×140×7. W takich powłokach często stosuje się nakładki w części środkowej i narożnej. Geometria pasma obwodowego SC-48B o charakterystycznych wymiarach powłoki: rozpiętość  $L = 11.04$  m, wysokość  $H = 2.37$  m, górny promień krzywizny  $R = 8.82$  m. Obiekt charakteryzuje się małą wysokością naziomu  $h_n = 0,85$  m.

Obciążenie odbiorcze stanowiła lokomotywa, sześćosiowa typu S1000 o rozstawie osi:  $2 \cdot 2.00 + 4.66 + 2 \cdot 2.00$  m i obciążeniu na oś  $P = 193.7$  kN. W badaniach obiektu zastosowano metodykę obciążenia zmieniającego położenie w sposób krokowy. Polegała ona na przejeździe lokomotywy w kolejne ustawienia ze stałym krokiem. W tych położeniach rejestrowano automatycznie (komputerowo) ugięcia klucza powłoki. Podstawowe badania dotyczyły cech dynamicznych obiektu. W tym przypadku zrealizowano ciągle przejazdy z prędkościami ok. 5, 30, 50, 60 km/h. Pozwoliły one na określenie współczynnika dynamicznego

(naddatku dynamicznego) uzyskiwanego z pomiaru ugięcia klucza powłoki. Wyniki te zestawiono na rysunku 9.

Z pomiarów na obiekcie wynikają niewielkie wartości współczynnika dynamicznego  $\phi$ . W przypadku klasycznego mostu o schemacie belkowym jego wartość jest znacznie większa bo dla analizowanej wartości  $L$ , obliczona ze wzoru normowego wynosi

$$\phi = \frac{1,44}{\sqrt{L} - 0,2} + 0,82 = 1,281. \quad (11)$$

W przypadku mostów z warstwą nawierzchni o grubości  $h_n = 0,85$  m (jak w obiekcie) obliczona z (11) wartość podlega redukcji jak we wzorze

$$\phi_h = 1 + 2(1 - h_n)(\phi - 1) = \frac{7 + 3\phi}{10} = 1,084. \quad (12)$$

Wpływ prędkości przejazdu pojazdu określa się według zależności

$$\phi_v = 1 + (\phi_h - 1) \frac{V - 10}{70} = 1 + \frac{3(V - 10)}{2500}, \quad (13)$$

gdzie  $V$  [km/h]. Na podstawie wzoru (13) utworzono wykres podany na rysunku 9. Jest on zgodny z wynikami pomiarów na obiekcie [17].

Z przykładów badań podanych w wielu pracach wynika niewielki wpływ oddziaływań dynamicznych transportów towarowych przejeżdżających przez obiekty gruntowo-powłokowe. Odrębnym problemem jest zachowanie się tych obiektów w przypadku pojazdów kolejowych poruszających się z dużymi prędkościami [1, 3, 5, 15]. W przypadku obiektów gruntowo-powłokowych problem przejazdów pociągów pasażerskich przystosowanych do dużych prędkości ( $V > 160$  km/h) dotyczy głównie zachowania się ośrodka gruntowego w takiej konstrukcji. Wynika to z większych rozstawów osi w pojazdach

kolejowych i ich mniejszej liczby biorących udział w oddziaływaniu na powłokę [13]. Zatem skuteczność oddziaływania dwóch osi pojazdu o znacznie większym rozstawie niż trzech osi ciężkiej lokomotywy jest mniejsza nawet ze znacznie większej wartości współczynnika dynamicznego. Przejazd przez obiekt o rozpiętości  $L = 10$  m z prędkością 180 km/h wynosi zaledwie  $\frac{1}{4}$  sekundy (gdy przyjmie się długość linii wpływu jako  $2L$ ).

## Podsumowanie

Szczególną cechą obiektów gruntowo-powłokowych jest brak elementów występujących w klasycznych mostach: łożysk, dylatacji, przyczółków. Z powodu układania zasyпки gruntowej na powłoce nawierzchnia i podbudowa jezdni w obiektach drogowych i kolejowych ma takie same podłoże jak w całym ciągu komunikacyjnym (na nasypach). Stąd też nie ma powodów aby stosować w tych obiektach dodatkowych elementów służących do poprawy płynności ruchu występujących w klasycznych mostach (np. płyt przejściowych). Z rezultatów badań oddziaływania pojazdów na obiekty gruntowo-powłokowe widoczna jest znaczna redukcja efektów dynamicznych. Wynika to z dużej sztywności blachy falistej zanurzonej w ośrodku gruntowym oraz dużej bezwładności obiektu w tym masy zasyпки gruntowej stanowiącej konstrukcję. ◀

## Materiały źródłowe

- [1] Aktualne zagadnienia budownictwa komunikacyjnego (praca zbiorowa) Seria Monografie Zakładu Mechaniki Teoretycznej i Mechaniki Nawierzchni Komunikacyjnych, Warszawa 2015.



- [2] Andersson A., Karoumi R.: A soil-steel bridge under high-speed railways. Archives of Institute of Civil Engineering 23/2017 p. 45-52.
- [3] Asp O., Laaksonen A.: Instrumentation and FE-analysis of a large span culvert built under a railway. Structural Engineering International, Vol. 26 No. 4/2016 pp. 357-364.
- [4] BayogluFlener E., Karoumi R.: Evaluation of the dynamic response of a soil-steel composite railway bridge. Archives of Institute of Civil Engineering, 12, 2012, 55-64.
- [5] Klasztorny M.: Dynamika mostów belkowych obciążonych pociągami szybkojeżdżącymi. Wydawnictwa naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
- [6] Machelski C.: Ruchome obciążenia obiektów mostowych. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2015.
- [7] Machelski C.: Klasyfikacja obiektów gruntowo-powłokowych z uwagi na zmiany deformacji powłoki podczas budowy. Przegląd Komunikacyjny 9/2016 s. 5-10.
- [8] Machelski C.: Szacowanie oddziaływania zasyпки na powłokę obiektów gruntowo-powłokowych na podstawie deformacji powłoki. Przegląd Komunikacyjny 11/2016 s. .
- [9] Machelski C.: Stiffness of railway soil-steel structures. Studia Geotechnika et Mechanica. No. 4/2015 p. 29-36.
- [10] Machelski C.: Kinematic method for the determination of influence function of internal forces in the steel shell of soil-steel Bridges. Studia Geotechnika et Mechanica. No. 3/2010 pp. 27- 40.
- [11] Machelski C., Janusz L.: Application of Results of Test in Developing 2D Model for Soil-Steel Railway Bridges. Journal of Transportation Research Board, Vol. 2656:53-6, January 2017.
- [12] Machelski C., Janusz L., Czerepak A.: Estimation of Stress level in the Corrugated Soil-Steel Structure Based on Deformations in the Crown. Journal of Traffic and Transportation Engineering 4(2016) p. 186-193.
- [13] Machelski C., Mumot M.: Corrugated shell displacements during the passage of a vehicle along a soil-steel structure. Studia Geotechnika et Mechanica. No. 4/2016 p. 29-36
- [14] Madaj A., Surzbecher K., Porębski R., Janusz L.: Testing of Multiplate type structure under dynamic railway loads. Archives of Institute of Civil Engineering, 12, 2012, 185-195
- [15] Mellak P., Anderson A., Pettersson L., Karomi R., Dynamic behaviour of short span soil-steel composite bridge for high-speed railways-field measurements and FE-analysis, Engineering Structures, Vol. 69, 15 June 2014, pp. 49-61.
- [16] Surowiecki A., Machelski C., Saska P.: Numerical modeling of engineering soil shell structure. Journal of Science of the Military Academy of Land Force. Vol. 48 No 4(182) 2016 pp. 160-169.
- [17] Szczęśniak W., Hypki M., Skulski B., Śledziewski K.: Badanie statyczne i dynamiczne mostu kolejowego o konstrukcji gruntowo-powłokowej. Logistyka 6/2014 s. 10252-10268.
- [18] White K., Sargand S., Masada T.: Evaluation of load rating procedure for metal culverts under shallow oil covers. Archives of Institute of Civil Engineering 23/2017 p. 311-323.

## REKLAMA



- Rury stalowe spiralnie karbowane
- Konstrukcje ze stalowych blach falistych
- Rury przepustowe z PP i HDPE
- System kanalizacji deszczowej i sanitarnej
- Ściany oporowe z gruntu zbrojonego
- Zbiorniki retencyjne
- Geosyntetyki
- Mosty kratowe
- Gabiony
- Konstrukcje inżynierskie z żelbetowych elementów prefabrykowanych
- Płatki ochronno-naprowadzające dla płazów

**ViaCon Polska Sp. z o.o.**  
 ul. Przemysłowa 6  
 64-130 Rydzyna  
 tel.: +48 65 525 45 45  
 fax: +48 65 525 45 55  
 office@viacon.pl

**www.viacon.pl**