

## TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI GRUNTOWO-STALOWYCH

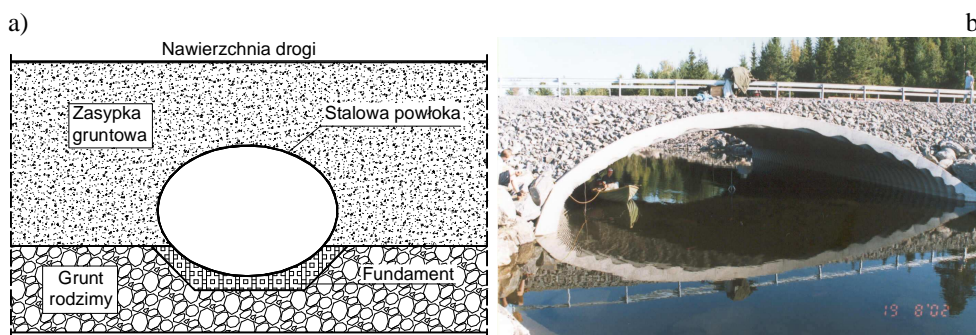
Damian BĘBEN  
Wydział Budownictwa Politechnika Opolska, Opole

### 1. Wprowadzenie

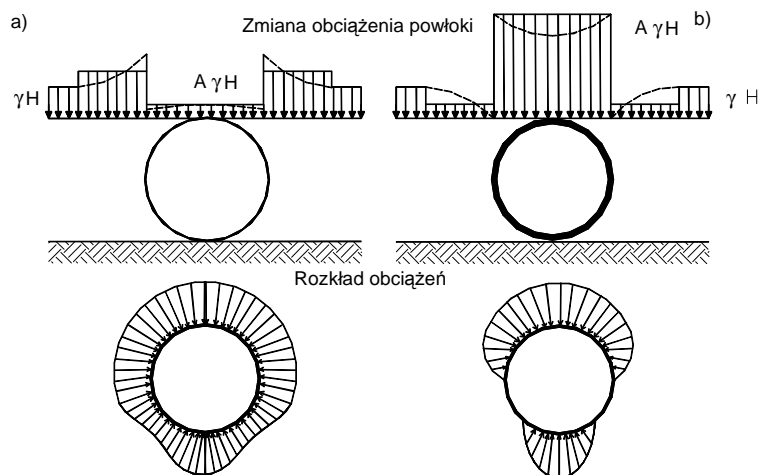
Konstrukcjami gruntowo-stalowymi są obiekty inżynierskie takie jak mosty, przepusty, tunele, przejścia podziemne, wiadukty, które są zaprojektowane w postaci stalowej powłoki i otaczającego ją gruntu zasypowego, który musi spełniać określone wymagania fizyczne i wytrzymałościowe. W efekcie, dzięki wzajemnemu oddziaływaniu i współpracy pomiędzy elementami składowymi (gruntem i stalą) powstaje układ konstrukcyjny o stosunkowo dużej nośności, co zostało wykazane m.in. w pracach [1], [2], [3]. Na rysunku 1a przedstawiono podstawowe elementy składowe, a na rys. 1b przykład realizowanego obiektu gruntowo-stalowego.

Intensywność oddziaływania gruntu na konstrukcję powłoki zależy głównie od jej sztywności względem otaczającej powłokę zasyпки. Z tego też względu można dokonać podziału na dwie grupy, a mianowicie na konstrukcje sztywne i podatne. Konstrukcje sztywne wykonane są zwykle z materiału o niskiej wytrzymałości na rozciąganie (beton, cegła, kamień), a konstrukcje podatne mają powłokę wykonaną z stalowych lub aluminiowych blach falistych (lub płaskich), czy też z tworzyw sztucznych. W zależności od rodzaju materiału powłoki (sztywny lub podatny) wyróżniamy dwa charakterystyczne rozkłady intensywności parcia gruntu na powłokę jak również różne rozkłady obciążeń, co pokazano na rys. 2, co ma zasadniczy wpływ przy określaniu trwałości tych konstrukcji.

Zagadnienia określania szeroko rozumianej trwałości konstrukcji gruntowo-stalowych nie jest jeszcze podejmowane na szerszą skalę. Powinna być rozumiana jako wytrzymałość



Rys. 1. Konstrukcja gruntowo-stalowa: a) elementy składowe, b) przykład realizacji  
Fig. 1. The soil-steel structure: a) components elements, b) example of realization



Rys. 2. Zmiana obciążenia powłoki i rozkład obciążeń w zależności od jej sztywności:  
a) konstrukcja podatna i b) konstrukcja sztywna  
Fig. 2. The load change of shell and load distribution depending on its rigidity:  
a) flexible structure and b) rigid structure

eksploatacyjna układu konstrukcyjnego gruntowo-stalowego z uwzględnieniem odporności na czynniki zewnętrzne. Najstarsze w Polsce konstrukcje tego typu nie przekraczają jeszcze 20 lat i problem trwałości jeszcze bezpośrednio ich nie dotyka.

Zgodnie z polską normą minimalny okres użytkowania dla przepustów wynosi 40 lat, jednakże wiele instytucji zarządzających mostami wymaga trwałości konstrukcji gruntowo-stalowych takiej jak dla mostów, tzn. min. 80 lat. Należy jednak zaznaczyć, że zagrożenie obniżenia trwałości w przypadku tych konstrukcji jest stosunkowo dość duże, m.in. ze względu na położenie w środowiskach silnie korozyjnych, systematyczny wzrost obciążeń i natężenia ruchu komunikacyjnego, a także cieniową konstrukcję powłoki (2-7 mm) [4].

## 2. Wytrzymałość eksploatacyjna konstrukcji gruntowo-stalowych

Wytrzymałość eksploatacyjna elementów konstrukcji jest uzależniona od zbioru obciążeń eksploatacyjnych. Zbiór ten jest sumą wszystkich obciążeń uporządkowanych według wielkości i częstości występowania naprężeń w czasie przyjętej trwałości obiektów. Zbiory obciążeń opisują obciążenia eksploatacyjne, to znaczy obciążenia zmienne, którym poddany jest element konstrukcji bezpośrednio lub pośrednio w następstwie jego współpracy z innymi elementami obiektu. Najczęstszym sposobem określania zbiorów obciążeń jest bezpośredni pomiar wyteżenia poszczególnych elementów konstrukcyjnych pod rzeczywistym obciążeniem, czyli wykonanie w terenie badań eksploatacyjnych oraz rozpoznanie i zarejestrowanie aktualnej struktury ruchu na analizowanym obiekcie. Pomiar na obiektach rzeczywistych dają możliwość poznania dokładnego przebiegu zmian odkształceń (naprężeń normalnych), chociaż ustalona przez nie objętość (zakres) zbioru nie jest zgodna z rzeczywistą liczbą cykli zmiany obciążenia. Na tej podstawie jest możliwe oszacowanie przewidywanej wytrzymałości eksploatacyjnej i określenie trwałości obiektu.

W celu oceny wytrzymałości eksploatacyjnej rozważanych elementów konstrukcyjnych, rozumianej w tym przypadku jako wytrzymałość zmęczeniowa przy

rzeczywistym zespole obciążeń zmiennych, należy posłużyć się wyrażeniami przekształcającymi rzeczywiste wielostopniowe widmo naprężeń na zastępcze widmo o stałej amplitudzie przy wykorzystaniu jednej z dostępnych hipotez kumulacji uszkodzeń.

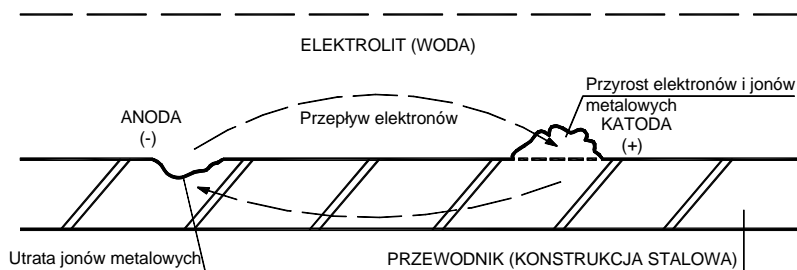
Najczęściej stosowaną metodą, która w wystarczająco dokładny sposób opisuje przebieg procesu kumulacji jest hipoteza Minera, której weryfikacja z wynikami badań doświadczalnych na tradycyjnych mostach stalowych dała bardzo dobre rezultaty. W tej hipotezie zakłada się, że każde pojedyncze obciążenie wywołuje częściowe uszkodzenie oraz, że trwałość konstrukcji wyczerpuje się wówczas, kiedy ich suma równa się jedności. Jeśli wszystkie zakresy naprężeń widma  $\Delta\sigma_i$  wywołują częściowe uszkodzenie, to za pomocą hipotezy Minera można je zastąpić równoważnym zakresem naprężeń  $\Delta\sigma_e$  o rzeczywistej liczbie cykli  $N_f$ .

### 3. Czynniki zewnętrzne a trwałość konstrukcji gruntowo-stalowych

Niszczenie materiału poprzez czynniki środowiskowe, takie jak abrazja, korozja chemiczna i elektrochemiczna, oprócz wytrzymałość eksploatacyjnej, mają zasadniczy wpływ na trwałość konstrukcji gruntowo-stalowych.

Korozja chemiczna w konstrukcjach gruntowo-stalowych może występować od strony gruntu, jak i wody. Występuje ona zwłaszcza wtedy, gdy woda i/lub grunt zawierają kwasy, zasady, rozpuszczone sole i organiczne odpady przemysłowe. Proces ten może zostać zintensyfikowany w regionach występowania cykli zamarzania – odmrażania (duże różnice temperatur pomiędzy zimą i latem). Natomiast korozja elektrochemiczna konstrukcji stalowych może wystąpić tam gdzie na konstrukcji pojawia się ogniwo galwaniczne o różnych potencjałach (anoda i katoda). Różnica potencjałów powoduje przepływ prądu elektrycznego przez obwód składający się z elektrolitu (wilgotność gruntu lub ciecz), z anody (miejsca na konstrukcji niezawierającego elektronów) i z katody (miejsca na konstrukcji zawierającego elektrony) i z konstrukcji jako przewodnika (rys. 3). Utrata materiału przez konstrukcję występuje tylko po stronie anody, z kolei po stronie katody następuje jego przyrost. Innym źródłem powstania różnicy potencjałów mogą być prądy błędzące występujące w pobliżu linii kolejowej. Stopień degradacji elektrochemicznej konstrukcji gruntowo-stalowych wzrasta wraz ze zmniejszeniem pH i oporu właściwego gruntu i wody.

Materiał abrazyjny taki jak kamienie, rumosz może powodować z kolei mechaniczne niszczenie konstrukcji. Stopień problemu zależy od typu abrazji, częstotliwości pojawiania się materiału abrazyjnego w korycie konstrukcji, prędkości płynięcia i rodzaju zabezpieczenia. Substancje ściernące mogą powodować utratę wytrzymałości konstrukcji gruntowo-stalowej i/lub redukcję hydraulicznej przepustowości obiektu podczas



Rys. 3. Proces korozji elektrochemicznej  
Fig. 3. The electrochemical corrosion process

stopniowego ścierania ścianek konstrukcji.

Do ochrony konstrukcji stalowych od strony gruntu i wody przeciw korozji chemicznej i elektrochemicznej stosuje się zazwyczaj powłoki cynkowe, aluminiowe, stopy aluminiowo-cynkowe, powłoki asfaltowe i polimerowe. W przypadku abrazji należy stosować obrukowania dna konstrukcji powyżej wysokości zwierciadła wody wysokiej.

#### **4. Podsumowanie**

W niektórych krajach, np. w USA, Kanadzie czy Szwecji średnia trwałość życia tego typu konstrukcji jest przyjmowana na 50 lat. Jednakże zakres i warunki możliwości zastosowania, jak i względy ekonomiczne mogą dawać podstawę do wydłużenia jak i do skrócenia długości okresu trwałości. Wiele czynników ma zasadniczy wpływ na trwałość konstrukcji gruntowo-stalowych, m.in.: korozja, abrazja, dobór właściwych materiałów, uszkodzenie połączeń śrubowych, utrata stateczności zasypki, poprawne projektowanie, odpowiednie utrzymanie obiektu, odporność na oddziaływanie środowiska lokalnego.

Doświadczenia zagraniczne pokazują, że nie można tego typu konstrukcji traktować jak typowych przepustów, np. żelbetowych, z takiego powodu, że uszkodzenia korozyjno-abrazyjne tych konstrukcji są przeważnie nieodwracalne, zwłaszcza wtedy, gdy występują od strony gruntu. Obliczenie trwałości użytkowej musi uwzględniać również koszty utrzymania, które muszą być rozważone w stosunku do kosztów wymiany obiektu. Na przykład w przypadku konstrukcji z dużym naziemem może to wywołać inne problemy, np. utrudnienia w ciągłości ruchu, co jest związane z dodatkowymi kosztami np. objazdów.

#### **Literatura**

- [1] Bęben D.: Współpraca gruntu i konstrukcji mostowych wykonywanych ze stalowych blach falistych. Wydział Budownictwa Politechnika Opolska, Opole, wrzesień 2005.
- [2] Machelski Cz., Antoniszyn G.: Siły wewnętrzne w mostowych budowlach gruntowo-powłokowych. Drogi i Mosty, 2003, nr 2, s. 33-58.
- [3] Manko Z., Beben D.: Tests during Three Stages of Construction of a Road Bridge with a Flexible Load-Carrying Structure Made of Super Cor Type Steel Corrugated Plates Interacting with Soil. Journal of Bridge Engineering, ASCE, vol. 10, 2005, no. 5, pp. 570-591.
- [4] Wysokowski A.: Badania odporności zmęczeniowej przepustów ze stali karbowanej i tworzyw sztucznych w skali naturalnej. IV Konferencja pt. Problemy Projektowania, Budowy i Utrzymania Mostów Małych, Wrocław, 2-3 grudnia 1999, s. 380-392.

### **DURABILITY OF THE SOIL-STEEL STRUCTURES**

#### **Summary**

The paper presents the description of soil-steel structures as well as the introduction to solving the problem of durability of this type of structure. Durability of such structures should be understood as the service life strength of the soil-steel system with respect of resistance on the external factors, e.g. chemical and electrochemical corrosion, abrasion. In order to evaluate the durability of soil-steel objects made from flexible steel structures, Miner's method, usually used to traditional steel bridges is proposed.

### **Podziękowanie**

Praca jest współfinansowana przez UE w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.