

Wagi samochodowe – wybrane zagadnienia dotyczące projektowania pomostów

Weighbridges – selected issues regarding the design of platforms

dr inż. Ryszard Antonowicz (ORCID: 0000-0002-0026-9961), dr inż. Czesław Bywalski (ORCID: 0000-0003-0460-9000), Politechnika Wrocławska

DOI: 10.5604/01.3001.0054.7178

Streszczenie: Przedmiotem pracy są pomosty o konstrukcji stalowej, żelbetowej i zespolonej wag samochodowych. Wagi wykonywane są w różnych konfiguracjach, dostosowanych do obciążeń i możliwości transportowych. Z uwagi na rozmiary ważonych pojazdów ciężarowych pomosty łączy się w konstrukcję o szerokości wynoszącej najczęściej 3,0 m i długości 12, 14 lub 18 m. Wagi o konstrukcji stalowej i zespolonej stalowo-żelbetowej są lżejsze od żelbetowych, jednak są bardziej wrażliwe na negatywne oddziaływanie środowiska. Obciążenie wag ma charakter cykliczny. W pracy opisano niektóre aspekty projektowania pomostów wag z uwzględnieniem ich projektowanego okresu użytkowania. Przedstawiono podstawowe założenia w zakresie przyjmowanych do obliczeń oddziaływań pionowych, poziomych i dynamicznych. W pracy zidentyfikowano też sytuacje obliczeniowe i wskazano rodzaje kombinacji, które należy uwzględnić w sprawdzaniu stanów granicznych nośności i użyteczności. Poruszono tematykę ograniczeń transportowych, obciążeń montażowych i liczby cykli obciążeń (obciążenia zmęczeniowe).

Słowa kluczowe: projektowanie, pomost, waga samochodowa, konstrukcja.

Abstract: The subject of the work are platforms used in steel, reinforced concrete and composite weighbridges. The weighbridges are made in various configurations, adapted in terms of dimensions and weight to transport requirements. Due to the size of the trucks to be weighed, the platforms are assembled into a whole, usually 3.0 m wide and 12, 14 or 18 m long. Weighbridges with a combined steel and reinforced concrete structure are slightly lighter than those made of reinforced concrete, but they are more sensitive to negative environmental impacts. The load on the weighbridge is cyclical. The paper describes some aspects of the design of weighbridges, taking into account their designed service life. The basic assumptions regarding the vehicle speed assumed for calculations and the related horizontal and dynamic impacts are presented. The work also identifies design situations and indicates the types of combinations that should be taken into account when checking the ultimate and serviceability limit states. Aspects of durability were also discussed, e.g. transport and assembly restrictions, and the number of load cycles, which determines whether the platform should be computationally checked for fatigue.

Keywords: designing, platform, weighbridge, structure.

1. Wprowadzenie

Ważenie pojazdów kołowych poruszających się po drogach jest zagadnieniem niezwykle ważnym i aktualnym. Szacuje się, że nawet około 30% pojazdów poruszających się po polskich drogach jest przeciążonych. Za przekroczenie masy pojazdu grożą kary finansowe nakładane na przewoźników lub kierowców. Przekroczenie masy pojazdu lub nacisku na osie może wpłynąć na bezpieczeństwo ruchu drogowego, trudność opanowania przeciążonego pojazdu w kryzysowej sytuacji, spowodować wypadek, wydłużyć się też droga hamowania. Najczęściej występującymi skutkami przekroczenia masy pojazdów jest nadmierne i bardzo szybkie zużycie się nawierzchni dróg, podbudowy i infrastruktury oraz ich uszkodzenia [1], ale zdarzały się też przypadki przeciążenia mostów, wiaduktów, a nawet zawalenia się ich konstrukcji [2]. Pozostałe skutki nadmiernej masy ciężarówek to szybkie zużycie się pojazdów i opon oraz zwiększenie emisji spalin.

Pojazdy waży się też w celach handlowych m.in. w składach kruszyw, węgla i opału, w magazynach produktów rolnych, biomasy, w gospodarce leśnej, elektrociepłowniach itd.

W tym przypadku do ważenia stosuje się wagi statyczne, których elementami są m.in. pomosty i fundamenty. Pod względem projektowym największą trudnością stwarzają pomosty, dla których istotne jest właściwe ustalenie i odzwierciedlenie obciążeń, przyjęcie i uwzględnienie projektowanego okresu użytkowania, wymogów eksploatacyjnych oraz określenie liczby cykli obciążeń (obciążenia zmęczeniowe). Celem pracy jest przedstawienie zasad projektowania pomostów wag samochodowych w odniesieniu do wymienionych aspektów.

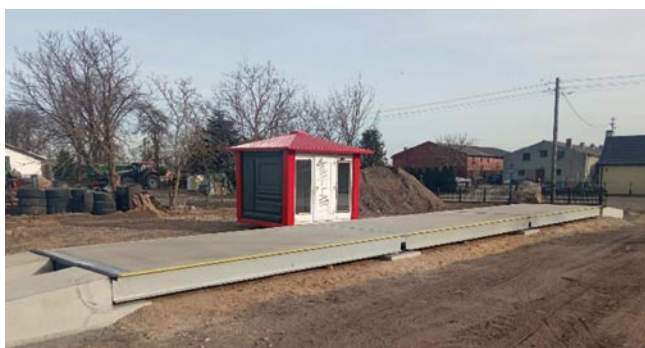
2. Metody ważenia, rodzaje wag i pomostów oraz aktualne kierunki badań i analiz

Dwie podstawowe metody ważenia pojazdów to metoda statyczna i dynamiczna. Pierwsza realizowana jest najczęściej

za pomocą dużej wagi, na której mieści się cały pojazd samochodowy lub zestaw złożony z ciągnika i naczepy. Podczas ważenia pojazd nie może się poruszać. Metoda ta jest najdokładniejsza, jednak najbardziej czasochłonna.

Każdy rodzaj wagi ma urządzenia pomiarowe: czujniki nacisku, oprzyrządowanie elektroniczne i komputerowe do przetwarzania sygnałów z czujników oraz wyświetlacz do komunikacji z użytkownikiem.

Wagi statyczne, które są przedmiotem niniejszej pracy, dzielą się na najazdowe i zagłębione. Wagi najazdowe (stacjonarne lub przenośne), mają konstrukcję wyniesioną ponad powierzchnię drogi czy placu manewrowego (rys. 1, 2, 4–6). Wagi zagłębione z kolei mają górną powierzchnię zlicowaną z powierzchnią drogi, a konstrukcja samej wagi schowana jest w tzw. dole wagowym (rys. 3).



Rys. 1. Waga najazdowa 18 m; pomosty zespolone



Rys. 2. Waga najazdowa 18 m; pomosty zespolone



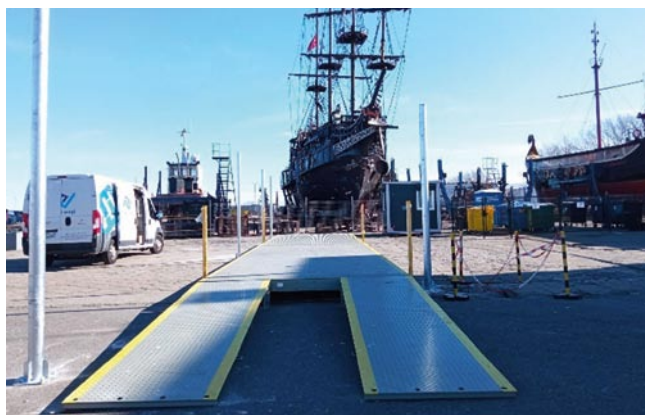
Rys. 3. Waga zagłębiona 18 m w trakcie legalizacji; pomosty zespolone



Rys. 4. Waga najazdowa 18 m; pomosty żelbetowe



Rys. 5. Waga najazdowa 18 m. Pomosty stalowe



Rys. 6. Waga najazdowa 18 m w porcie morskim; pomosty stalowe

Z uwagi na duże gabaryty wag, wynikające z potrzeby ważenia pojazdów ciężarowych, składają się one z kilku mniejszych elementów tzw. pomostów. Pomosty wag statycznych mogą mieć konstrukcję stalową (rys. 5 i 6), żelbetową (rys. 4), zespoloną stalowo-żelbetową (rys. 1–3) lub betonową sprężoną [3–5]. Są wykonywane w postaci gotowych prefabrykatów lub półfabrykatów przeznaczonych do transportu albo w formie lekkiego stalowego szkieletu przeznaczonego do zabetonowania w miejscu montażu wagi. Dla producentów wag istotne są ograniczenia transportowe, dotyczące gabarytów i ciężaru przewożonego towaru. Wynika stąd tendencja do optymalizowania konstrukcji pomostów wag tak, aby możliwy był ich przewóz, np. jednym ciągnikiem siodłowym z naczepą. Innym istotnym aspektem jest ustalenie zachowania się pomostów pod obciążeniem

wysokocyklowym. Wykonywane są w tym zakresie analizy numeryczne i badania w skali naturalnej przez Szydlowski i in. [3–5].

3. Wybrane problemy projektowe pomostów wag samochodowych

3.1. Liczba cykli obciążeń

Zgodnie z normą [6]: „konstrukcję należy zaprojektować tak, aby jej: nośność, użyteczność i trwałość była należyta”. Ta sama norma zaleca określać projektowany okres użytkowania, który wynosi co najmniej 10 lat dla 1. kategorii projektowanego okresu użytkowania, obejmującej konstrukcje tymczasowe. Okres ten należy też uzgodnić z producentem wag.

W projektowaniu pomostów należy określić liczbę cykli obciążeń pomostu w okresie użytkowania. W zależności od rodzaju konstrukcji zastosowanie mają zapisy odpowiednich norm [7, 8 i 9]. Podają one wartość liczby cykli, powyżej której trzeba sprawdzać konstrukcję na zmęczenie. Zwykle wartość ta wynosi 10^4 lub nieznacznie więcej. Zakładając średnią liczbę dni roboczych w roku 250 dni i okres eksploatacji 10 lat, maksymalna dzienna liczba cykli obciążenia pomostu, dla której nie trzeba sprawdzać zmęczenia, wyniesie zaledwie 4, a roczna 1000. Intensywniej eksploatowane pomosty należy więc sprawdzać na zmęczenie według odpowiedniej normy. Przy obciążeniu wysokocyklowym sprawdzają się np. pomosty sprężone [3–5].

3.2. Obciążenia

W obliczeniach pomostów wag samochodowych należy rozważyć kilka faz pracy: transportu i składowania, montażu oraz fazę eksploatacji. Ustalenie oddziaływań dla pierwszych trzech nie nastręcza problemów – ustala się je jak dla innych prefabrykatów. Inaczej jest w przypadku fazy eksploatacji. Pomosty wag samochodowych są najczęściej obciążone ruchem pojazdów spełniających wymagania dyrektywy [10] i wprowadzającego ją w Polsce rozporządzenia [11]. Na obciążenie takimi pojazdami projektuje się 99% wszystkich pomostów. Są to więc ich obciążenia typowe. Inne od typowych obciążenia dotyczą pomostów wag specjalnych, np. w kopalniach. W zbiorze norm europejskich (Eurokodów) obciążeń od ruchu samochodowego dotyczy norma [12], jednak pomosty wag samochodowych nie są elementami mostów drogowych. Podstawowa różnica, poza przeznaczeniem i gabarytami, dotyczy projektowanego okresu użytkowania, liczby cykli obciążeń, prędkości poruszania się pojazdów i wreszcie konsekwencji zniszczenia. Modele obciążeń ruchu drogowego zawarte w [12] pozwalają na bezpieczne zaprojektowanie obiektu o istotnym znaczeniu, jakim jest most, ale ich stosowanie do projektowania analizowanych pomostów wag samochodowych jest co najmniej dyskusyjne. Jeśli przyjąć, iż do ustalenia obciążeń ruchem pojazdów pomostów wag zastosowana zostanie norma [12], to najwłaściwszym byłby tutaj model obciążenia

LM2. W celu ustalenia obciążeń pomostów wag wykorzystuje się najczęściej zapisy rozporządzenia [11] w zakresie: wymiarów, mas i nacisków osi pojazdów.

W obliczeniach należy również uwzględnić prędkość pojazdu i obciążenia poziome. Najczęściej ustala się je indywidualnie, lecz nie mniej niż 15% oddziaływań pionowych wynikających z zapisów normy [13] dla prędkości pojazdu ≤ 10 km/h. Innymi obciążeniami przyjmowanymi w obliczeniach pomostów wag są również obciążenia stałe (najczęściej ciężar własny pomostu) [14] i obciążenie śniegiem (jako niewiadome), ustalone jak dla gruntu zgodnie z normą [15].

3.3. Sytuacje obliczeniowe i kombinacje obciążeń

W obliczeniach pomostów należy uwzględnić przede wszystkim sytuacje trwałe, odnoszące się do zwykłych warunków użytkowania [6] i przejściowe, występujące chwilowo, np. w czasie montażu, transportu czy remontu. Sprawdzając warunki stanu granicznego nośności w trwałych i przejściowych sytuacjach obliczeniowych, stosuje się regulaminy kombinacji określone w normie [6] wzorami (6.10) albo (6.10a i 6.10b), przy czym w sytuacji trwałej wiodącymi obciążeniami będą te pochodzące od ruchu pojazdów. W przypadku stanu granicznego użyteczności sprawdzać należy przede wszystkim ugięcia, a w przypadku pomostów żelbetowych, sprężonych i zespolonych również zarysowanie (także w fazie transportu i montażu). Najczęściej stosowane jest ograniczenie ugięcia do $1/250$ rozpiętości przęsła l , czyli $l/250$. Możliwe jest kryterium łagodniejsze – po uzgodnieniu pomiędzy producentem wagi a inwestorem. W stanie granicznym SLS (SGU) należy rozpatrywać kombinację charakterystyczną – również dla pomostów żelbetowych, sprężonych i zespolonych.

3.4. Ograniczenia transportowe i montażowe

Najczęściej jedna waga składa się z 2 lub 3 pomostów. Typowe długości pomostów wynoszą 6 m, choć zdarzają się też pomosty o długości 7 m. Dłuższe pomosty spotyka się bardzo rzadko i wówczas są to pomosty z betonu sprężonego. Projektując pomosty, należy mieć na uwadze ograniczenia transportowe i montażowe. Pierwsze wynikają z dopuszczalnej masy całkowitej (DMC), która jest różna dla różnych typów pojazdów i jest określona w [11]. Chodzi o to, by nie przekroczyć dopuszczalnego nacisku na oś. W konsekwencji ciężar ładunku zsumowany z masą własną pojazdu lub zestawu pojazdów nie może być większy od DMC. Powszechnie przyjmuje się, że dopuszczalna masa ładunku wynosi 24 t. Jest to zarazem wymóg projektowy producentów wag. Po jego spełnieniu kompletna waga może być przewieziona w miejsce przeznaczenia jednym kursem. Wynika stąd również średnia masa pomostu o długości 6 m – max. 8 ton.

Należy też przeanalizować inne fazy pracy, np. składowania i montażu. Trzeba zaprojektować haki transportowe o odpowiedniej nośności i rozstawie oraz zawiesia o właściwym kącie natarcia.

4. Podsumowanie

W pracy opisano wybrane problemy projektowe dotyczące pomostów wag samochodowych. Znaczną część pracy poświęcono obciążeniom pomostów, w szczególności obciążeniom pojazdami. Główne założenia projektowe można sprowadzić do następujących:

- projektowany okres użytkowania pomostów wag wynosi zwykle 10 lat, sporadycznie 10–25 lat;
- urealnione oddziaływania w zakresie maksymalnego nacisku na osie ustala się na podstawie rozporządzenia [11], a powierzchnie kontaktu kół z pomostem przyjmuje się według norm [12, 13, 16];
- prędkość ważonego pojazdu nie powinna przekraczać 10 km/h, zaś oddziaływanie pojazdu ma charakter dynamiczny co uwzględnia się zwiększając oddziaływania statyczne o 20–30%;
- obciążenia poziome ustala się indywidualnie, lecz nie przyjmuje się mniej niż 15% oddziaływań pionowych wynikających z zapisów normy [13] dla prędkości pojazdu ≤ 10 km/h;
- do sprawdzania stanu granicznego nośności stosuje się reguły Eurokodu 0, przyjmując w sytuacji trwałej obciążenie pojazdami jako wiodące;
- do sprawdzania stanu granicznego użyteczności należy korzystać z kombinacji charakterystycznej;
- inne czynniki, które należy uwzględnić w projektowaniu pomostów to: agresywność środowiska, liczba cykli obciążeń oraz obciążenia w fazie transportu, składowania i montażu.

Podziękowania

Autorzy dziękują firmie MIW GROUP Tomasz Kogut Sp. k. za udostępnienie fotografii wag samochodowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://www.nik.gov.pl/aktualnosci/przeladowane-ciezarowki-rozjezdza-drogi-w-miastach.html>; dostęp: 22.04.2024
- [2] Jacob B., Feypell-de la Beaumelle V., Improving truck safety potential of weigh-in-motion technology, IATSS Research 34, 2010, str. 9–15
- [4] Ramteke P. B., Gawande R. R., Kakde A. M., Design, modeling and FEM analysis of weighbridge, International Journal for Scientific Research & Development, tom 3, 5/2013, ISSN (on-line) 2321-0613
- [3] Szydłowski R., Ogrodniczek M., Pierwsze krajowe pomosty wag samochodowych z betonu sprężonego, Przegląd Budowlany 6/2015, str. 100–104
- [4] Szydłowski R., Kalisz W., Ogrodniczek M., Pierwsze krajowe pomosty wag samochodowych z betonu sprężonego. Założenia projektowe a wyniki badań, Konferencja Naukowo-Techniczna Konstrukcje sprężone, Kraków, 16–17 kwietnia 2015
- [5] Szydłowski R., Ślaga Ł., Łabuzek B., Płyta wagi samochodowej 30-tonowej z betonu sprężonego ciągniami bez przyczepności, Przegląd Budowlany 6/2017, str. 33–39
- [6] PN-EN 1990: Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji
- [7] PN-EN 1993-1-9:2007: Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-9: Zmęczenie
- [8] PN-EN 1994-1-1:2008: Eurokod 4: Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [9] PN-EN 1992-1-1:2008: Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [10] Dyrektywa Rady nr 96/53/WE z dnia 25 lipca 1996 roku w sprawie określenia maksymalnych wymiarów poszczególnych pojazdów kołowych w ruchu krajowym i ponadgranicznym na obszarze Wspólnoty oraz określenia maksymalnych ciężarów w ruchu ponadgranicznym, Dz.U.-UE.L.1996.235.59
- [11] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz.U. 2003, 32 poz. 262, wraz z późn. zm.
- [12] PN-EN 1991-2:2007: Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 2: Obciążenia ruchome mostów
- [13] PN-B-02004:1982: Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne technologiczne. Obciążenia pojazdami
- [14] PN-EN 1991-1-1:2004: Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach
- [15] PN-EN 1991-1-3:2005: Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Obciążenie śniegiem
- [16] PN-S-10030:1985: Obiekty mostowe. Obciążenia

55. KONFERENCJA NAUKOWA

INŻYNIERIA PRZEDSIĘWZIĘĆ BUDOWLANYCH 2024

SZCZYRK,
07.10.2024 - 09.10.2024

Zakres tematyczny Konferencji:

- Przygotowanie, programowanie i planowanie inwestycji budowlanych
- Nowoczesne materiały i technologie w budownictwie
- Planowanie i realizacja robót budowlanych, w tym automatyzacja i cyfryzacja
- Problematyka eksploatacji obiektów budowlanych (zarządzanie nieruchomościami budynkowymi, utrzymanie zasobów budowlanych w tym modernizacja, rekonstrukcja itp.)
- Ekonomia w planowaniu, projektowaniu i realizacji inwestycji budowlanych
- Wdrażanie i rozwijanie nowoczesnych koncepcji społeczno-gospodarczych w realizacji przedsięwzięć budowlanych (ochrona środowiska, zrównoważony rozwój, cykl życia, gospodarka cyrkulacyjna itp.)
- Modele i metody naukowe w badaniach problematyki inżynierii procesów budowlanych
- Wspomaganie podejmowania decyzji w zarządzaniu przedsiębiorstwem i przedsięwzięciem budowlanym

Podczas konferencji odbywa się otwarte zebranie Sekcji IPB KILiW PAN.

Przewodniczący Komitetu Naukowego

- prof. dr hab. inż. Elżbieta Radziszewska-Zielina, Politechnika Krakowska, przewodnicząca Komitetu,
- prof. dr hab. inż. Jacek Gołaszewski, Politechnika Śląska, z-ca Przewodniczącej,

Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego

- dr hab. inż. Tomasz Ponikiewski, prof. PŚ. – Przewodniczący

Kontakt:

Katedra Procesów Budowlanych i Fizyki Budowli, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

e-mail: ipb2024@polsl.pl

strona internetowa: <https://www.polsl.pl/rb3/55-konferencja-naukowa-inzynieria-przedsiwziecie-budowlanych-2024/>

Organizatorami konferencji są:

IPB KILiW PAN oraz Katedra
Procesów Budowlanych i Fizyki
Budowli Wydziału Budownictwa
Politechniki Śląskiej



Politechnika
Śląska