

# KŁADKI DLA PIESZYCH

metodyka projektowania

Część 2.



dr inż. Marek Pańtak  
Politechnika Krakowska  
Katedra Budowy Mostów  
i Tuneli

KONKURS  
DLA MŁODYCH  
INŻYNIERÓW

20  
17  
EDYCJA I



wskazówka

Projektowanie konstrukcji wiązać się musi z pełną świadomością projektanta co, w jakim celu i jak projektuje oraz jak będzie to budowane.

stota inżynierii, polegająca na sprawnym, efektywnym i poprawnym rozwiązywaniu zagadnień technicznych, wymaga od osoby zaangażowanej w ten proces pomysłowości, sprytu, inteligencji oraz wiedzy technicznej i naukowej. Łacińskie słowo *ingeniosus*, od którego pochodzi angielskie *engineer*, oznacza osobę uzdolnioną, obdarzoną talentem, sprytną, pomysłową, twórczą, rozwiniętą intelektualnie. A zatem inżynier, jako osoba pomysłowa, sprytna, twórcza i inteligentna, zobligowa-

ny jest niejako do pomysłowego i kreatywnego wykorzystywania posiadanej wiedzy w celu rozwiązywania problemów technicznych w sposób dający pozytywny skutek. Od inżyniera oczekuje się projektowania konstrukcji spełniających swe funkcje użytkowe, a przy tym trwałych i bezpiecznych w użytkowaniu.

## Sztuka projektowania

Powszechnie dziś wykorzystywane narzędzia komputerowego wspomaganie projekto-





wania pozwalają inżynierom i architektom tworzyć koncepcje obiektów o złożonych układach konstrukcyjnych. Tworząc formę geometryczną nowej konstrukcji, musimy jednak pamiętać o ograniczeniach i korzyściach wynikających z wytrzymałości wykorzystywanych materiałów konstrukcyjnych oraz stosować rozwiązania konstrukcyjne poprawne z punktu widzenia mechaniki budowli. Podstawową zasadą jest przy tym kształtowanie konstrukcji w sposób zapewniający jej ochronę przed zniszczeniem przez działające obciążenia użytkowe i środowiskowe lub, inaczej mówiąc, kształtowanie konstrukcji w sposób pozwalający przeciwdziałać siłom działającym na tę konstrukcję. W tym celu stosowane są odpowiednio rozmieszczone punkty podparcia, podwieszenia elementów konstrukcji do elementów nośnych (tuków, pylonów), przekroje o zmiennej sztywności dostosowane do wartości sił wewnętrznych, stężenia, żebra usztywniające, przekroje zespolone tworzone z różnych materiałów konstrukcyjnych łączonych w sposób pozwalający wykorzystać korzystne właściwości wytrzymałościowe zastosowanych materiałów, przekroje sprężone itp.

Projektując skomplikowane układy konstrukcyjne o złożonych formach geometrycznych pamiętać należy, iż stopień skomplikowania układu konstrukcyjnego wpływa na wydłu-

żenie czasu potrzebnego na wykonanie obliczeń i rysunków konstrukcyjnych, przygotowanie elementów konstrukcyjnych oraz wydłużenie czasu budowy obiektu. Podejmując pierwsze decyzje, na wstępnym etapie tworzenia formy geometrycznej konstrukcji, należy zwracać uwagę na związaną z tym złożoność całego procesu projektowego i wykonawczego. Niezbędne jest dogłębne zrozumienie co, w jakim celu i jak projektujemy oraz jak będzie to budowane.

Projektując obiekt o prostym (nieskomplikowanym) układzie konstrukcyjnym, np. jednoprzęsłowy obiekt o konstrukcji płytowo-belkowej, wykorzystać można znane, ściśle rozwiązania matematyczne. Stosunkowo łatwo ustalić można miarodajne ustawienia i kombinacje obciążeń. W konstrukcjach o złożonej geometrii (np. konstrukcje krzywoliniowe, konstrukcje z krzywującymi się (przenikającymi się) elementami nośnymi, konstrukcje podwieszane o złożonym układzie cięgien podwieszających itp.) znane rozwiązania i intuicja mogą nie być wystarczającym „narzędziem” projektowym. Często wymagane jest wykonanie licznych do-

**Sztuka projektowania polega na rozumieniu sposobu pracy konstrukcji.**

datkowych analiz pozwalających jednoznacznie ustalić wartości sił przekrojowych i naprężeń w elementach konstrukcyjnych. W mostownictwie przydatnym narzędziem obliczeniowym są linie lub powierzchnie wpływu wykorzystywane do ustalenia miarodajnych ustawień obciążeń użytkowych. Analizy wykonywane z wykorzystaniem linii/powierzchni wpływu są niekiedy czasochłonne. Poświęcenie większej ilości czasu na wykonanie niezbędnych analiz jest jednak ceną, jaką projektant musi zapłacić, decydując się na przyjęcie złożonego układu konstrukcyjnego.

Dzisiaj proces projektowania wspomagany jest oprogramowaniem komputerowym. Jest to jednak wspomaganie, a nie całkowite zastępowanie projektanta w podejmowaniu decyzji. Za każdym razem inżynier, projektant posiadający fachową wiedzę, musi zapanować nad analizami wykonywanymi przez program obliczeniowy. Nie sztuką jest automatycznie stworzenie kilkudziesięciu przypadków i kombinacji obciążeń, z których większość można uznać za zbędną. Sztuka projektowania polega na rozumieniu sposobu pracy konstrukcji i zaplanowaniu wyłącznie niezbędnej liczby przypadków i kombinacji obciążeń pozwalających poprawnie zaprojektować poszczególne elementy konstrukcyjne. Powyższe stwierdzenie można uznać za truizm. Jednakże chęć zaoszczęd-





dzenia czasu oraz chęć szybkiego osiągnięcia efektu końcowego często popycha młodych inżynierów w stronę automatyzacji obliczeń. Efektem takiego postępowania jest brak zrozumienia pracy konstrukcji oraz brak możliwości udzielenia odpowiedzi na istotne pytania, np.: Jaki schemat obciążenia pozwolił na wyznaczenie maksymalnej siły wewnętrznej w wymiarowanym elemencie? Jakie ustawienie obciążeń użytkowych może doprowadzić do przeciążenia lub zniszczenia elementu? Znajomość pracy konstrukcji narażonej na działanie obciążeń statycznych i dynamicznych jest kluczem do bezpiecznego i poprawnego projektowania. W pewnym stopniu właściwy program obliczeniowy może ułatwić tę pracę, nie wykona jej jednak samodzielnie. Przy dużym stopniu automatyzacji obliczeń i braku kontroli inżyniera nad ich przebiegiem pojawia się duże ryzyko popełnienia błędu projektowego.

w celu odśnieżania pomostu lub pojazdu służb ratunkowych). Modele i wartości tych obciążeń określone są w obowiązujących normach projektowania obiektów mostowych [1] – obciążenie tłumem i pojazdami, [2] – obciążenie wiatrem (rozdział 8.), [3] – obciążenia termiczne. Istotne jest umiejętne wykorzystanie tych modeli dostosowane do stopnia złożoności układu konstrukcyjnego. Obszerniej informacje o obciążeniach statycznych kładek dla pieszych przedstawiono w pracy [4].

Na etapie analiz statycznych, w zależności od stopnia złożoności układu konstrukcyj-

**Analizy statyczno-wytrzymałościowe stanowią pierwszy etap doboru przekrojów elementów konstrukcyjnych.**

leży również równoczesność działania różnych typów obciążeń (np. obciążenie tłumem z łącznym i niekorzystnym działaniem temperatury).

Poprawnie wykonane analizy statyczne mają zapewnić bezpieczną pracę konstrukcji przenoszącej swój ciężar własny oraz obciążenia użytkowe i środowiskowe. Zadaniem projektanta jest świadome i poprawne przyjęcie właściwych schematów obciążeń.

### Analizy dynamiczne

Kładki dla pieszych jako konstrukcje lekkie, mogące osiągać duże rozpiętości przęseł i duże smukłości pomostu, wymagają od projektanta zwrócenia większej uwagi na zagadnienia analiz dynamicznych. Duża rozpiętość i duża smukłość przęsła prowadzić mogą do malej sztywności przestrzennej przęsła i wskutek tego do zwiększenia jego podatności dynamicz-



### Analizy statyczno-wytrzymałościowe

Analizy statyczno-wytrzymałościowe stanowią pierwszy etap doboru przekrojów elementów konstrukcyjnych. W analizach tych uwzględnić należy obciążenia związane ze statycznym oddziaływaniem tłumy oraz obciążenia środowiskowe, takie jak statyczne parcie wiatru, oddziaływania termiczne. W niektórych przypadkach uwzględnienia wymagają obciążenia w postaci nierównomiernego osiadania podpór. W projekcie założyć można również pojawienie się pojazdu na pomoście (lekkiego pojazdu technicznego stosowanego np.

nego, projektant rozważyć musi różne kombinacje obciążeń związane z występowaniem obszarów niekorzystnego działania obciążeń (wywołujących zwiększenie siły przekrojowej w wymiarowanym elemencie, dociążenie) oraz obszarów korzystnych (odciążających, wywołujących zmniejszenie siły przekrojowej w wymiarowanym elemencie). Istotne może być także rozpatrywanie obciążeń przyłożonych niesymetrycznie, które mogą doprowadzić do dużych przemieszczeń poziomych przęsła (w kierunku równoległym lub prostopadłym do osi podłużnej przęsła) oraz deformacji skrętnych. W projekcie rozważyć na-

nej. W przypadku kładek dla pieszych istotnym obciążeniem dynamicznym często stają się dynamiczne oddziaływania użytkowników w postaci chodu i biegu, a niekiedy także skoków lub przysiadów (oddziaływanie wandalii). Konstrukcje o dużych rozpiętościach przęseł mogą również wykazywać dużą podatność na dynamiczne działanie wiatru.

Wykonanie analiz dynamicznych konstrukcji związane jest z wyznaczeniem częstotliwości i postaci jej drgań własnych oraz wyznaczeniem jej odpowiedzi dynamicznej na działające obciążenia dynamiczne. Analizy te wykonać można np. poprzez numeryczne całkowa-



nie dynamicznego równania ruchu z użyciem parametrów zastępczego modelu dynamicznego konstrukcji o jednym stopniu swobody bądź wykorzystując złożony (np. przestrzenny) model obliczeniowy MES konstrukcji.

W celu wyznaczenia amplitud drgań konstrukcji niezbędna jest znajomość modeli działających na nią obciążeń dynamicznych. Ważna jest również znajomość wartości tłumienia drgań odpowiedniej dla projektowanej konstrukcji.

Znajomość amplitud drgań (odpowiedzi dynamicznej) konstrukcji jest niezbędna do oceny dopuszczalności drgań oraz komfortu użytkownika konstrukcji. Poszczególne etapy wykonywania analiz dynamicznych konstrukcji przedstawione zostaną w dwóch kolejnych częściach artykułu pt. *Kładki dla pieszych – parametry analiz dynamicznych* oraz *Kładki dla pieszych – obciążenia dynamiczne*.

poza właściwie dobraną szerokością użytkową ciągu, spadkami podłużnymi i poprzecznymi oraz sposobem podniesienia ruchu pieszych ponad poziom terenu (pochylnie, schody, windy), składają się także estetyczny wygląd konstrukcji nośnej ciągu dostosowany do otaczającego ją krajobrazu oraz odpowiednia

**Wykonanie analiz dynamicznych konstrukcji związane jest z wyznaczeniem częstotliwości i postaci jej drgań własnych oraz wyznaczeniem jej odpowiedzi dynamicznej na działające obciążenia dynamiczne.**

nizacji budowy. Na poszczególnych etapach rozpatrzenia wymagają liczne zagadnienia szczegółowe. W przypadku zbagatelizowania specyficznych wymagań poszczególnych etapów realizacja celu projektowego może okazać się utrudniona lub niemożliwa.

Każdy z etapów projektowych jest etapem wymagającym dużego nakładu pracy. Warto pamiętać, iż konieczny nakład pracy wzrasta w przypadku stosowania rozwiązań konstrukcyjnych o złożonej geometrii. Projektant nie powinien przyjmować złożonej (skomplikowanej) formy geometrycznej konstrukcji za synonim (odpowiednik) estetyki, innowacyjności i postępu. Unikać należy przerostu formy nad treścią (istotą, sednem sprawy). W projektach kładek dla pieszych tą treścią, istotą lub sednem sprawy jest przeprowadzenie ciągu komunikacyjnego nad przeszkodą. Forma, za pomocą której treść ta (istota sprawy) jest



## Cel i jego realizacja

Pomimo iż analizy statyczne i dynamiczne projektowanej konstrukcji są niezbędnymi, ważnymi i pracochłonnymi etapami projektowymi, to pamiętać należy, że nie są one celem samym w sobie, lecz są jedynie narzędziami pozwalającymi osiągnąć główny cel projektu. Tworząc projekt nowej kładki dla pieszych nie można zapomnieć, że głównym celem projektu jest stworzenie ciągu komunikacyjnego („chodnika dla pieszych”) spoczywającego na konstrukcji nośnej i posiadającego właściwe parametry użytkowe zapewniające duży komfort jego użytkowania. Na parametry te,

nośność tej konstrukcji i jej odporność na działanie obciążeń dynamicznych. Opracowanie projektu atrakcyjnego i poprawnego z punktu widzenia architektury i inżynierii wymaga umiejętnej realizacji wielu etapów projektowych począwszy od opracowania koncepcji konstrukcji z uwzględnieniem miejsca jej lokalizacji oraz wymagań architektury krajobrazu i estetyki poprzez dobór rozwiązań oraz elementów konstrukcyjnych zapewniających zachowanie właściwych walorów estetycznych konstrukcji, analizy statyczno-wytrzymałościowe i dynamiczne, analizy posadowienia, opracowanie metody budowy aż do kosztorysowania i orga-

realizowana, nie powinna dominować nad treścią. Może natomiast i powinna ją wzbogacić i uatrakcyjnić.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 1991-2:2007 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 2: Obciążenia ruchome mostów, PKN, Warszawa 2007.
- [2] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru, PKN, Warszawa 2008.
- [3] PN-EN 1991-1-5:2010 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-5: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania termiczne, PKN, Warszawa 2010.
- [4] Pańtak M.: Kładki dla pieszych – kształtowanie i projektowanie, Vademecum: Budownictwo drogowe, 2016 (on-line: <http://www.kataloginzyniera.pl>).