Kładki dla pieszych – kształtowanie i projektowanie

Podstawowym zadaniem kładek dla pieszych jest przeprowadzenie ruchu pieszych lub ruchu pieszo-rowerowego nad przeszkodami terenowymi w postaci cieków wodnych, trasami komunikacji samochodowej i kolejowej lub innymi przeszkodami będącymi dziełem natury lub działalności człowieka.

Podstawowe zagadnienia i tendencje projektowe

Budowa kładek dla pieszych związana jest z dążeniem do zapewnienia prawidłowych warunków życia i rozwoju mieszkańców obszaru, w którym są wznoszone. Często obiekty te wykorzystywane są także do podniesienia walorów turystycznych i rekreacyjnych obszarów cennych kulturowo i przyrodniczo (kładki w ciągu szlaków turystycznych osiągają obecnie rekordowe rozpiętości przęseł).
Rozpiętości najdłuższych kładek osiągają 440 m. Są to kładki wiszące i linowe: 439 m – SkyBridge, Rosja; 430 m – Zhangjiajie Grand Canyon Glass Bridge, Chiny; 406 m – Highline-179 Footbridge, Austria; 390 m – Kokonoe „Yume" Otsurihashi Footbridge, Japonia; 375 m – Ryujin Footbridge, Japonia; 374 m – Raiffeisen Skywalk, Szwajcaria; 360 m – Hängeseilbrücke Geierlay, Niemcy; 340 m – Sigriswil Panorama Bridge, Szwajcaria.

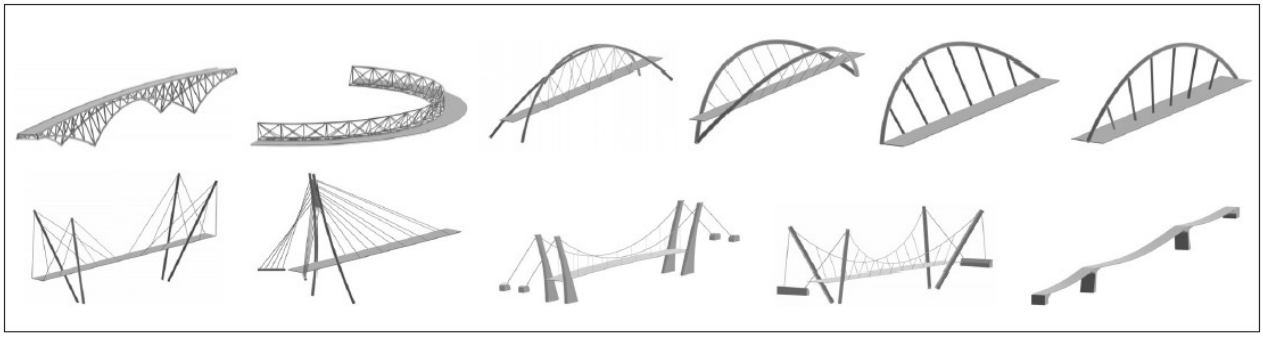
Jak każdy obiekt mostowy, kładki dla pieszych są konstrukcjami niepowtarzalnymi, wymagającymi indywidualnego podejścia z uwagi na dużą liczbę różnorodnych uwarunkowań, mających wpływ na wybór rozwiązania konstrukcyjnego. W projektowaniu kładek pojawiają się jednak dodatkowe aspekty wymagające od projektanta ich rozważenia. Stosunkowo niewielkie obciążenia użytkowe kładek, mała szerokość użytkowa pomostu oraz łagodniejsze wymagania dotyczące promieni łuków poziomych i pionowych, dopuszczalnych pochyleń niwelety, widoczności lub przechyłki na łukach, stwarzają możliwość wznoszenia efektownych i oryginalnych obiektów o wyszukanych formach architektonicznych. Przyciąga to uwagę licznej grupy konstruktorów i architektów.

Podstawowe tendencje obserwowane w projektowaniu kładek dla pieszych to:

- dostosowywanie skali konstrukcji do skali ludzkiej (dopasowanie skali obiektu do cech fizycznych i psychicznych człowieka)
- duża swoboda w kształtowaniu obiektu w planie i przekroju podłużnym
- mały ciężar własny konstrukcji
- mała szerokość użytkowa pomostu (najczęściej w przedziale od 1,5 do 4,0 m)
- stosowanie nowoczesnych materiałów budowlanych
- duże znaczenie estetyki konstrukcji, duża dbałość o rozwiązania detali konstrukcyjnych
- wzrost rozpiętości przęseł.

Formy konstrukcyjne kładek dla pieszych

Kładki dla pieszych projektowane są jako jedno- lub wieloprzęsłowe konstrukcje kratownicowe (z wykorzystaniem kratownic płaskich i przestrzennych), płytowe i płytowo-belkowe, łukowe oraz podwieszone, wiszące i wstęgowe, a także jako konstrukcje linowe z pomostami ułożonymi bezpośrednio na linach nośnych rozpiętych nad przeszkodą (rys. 1).

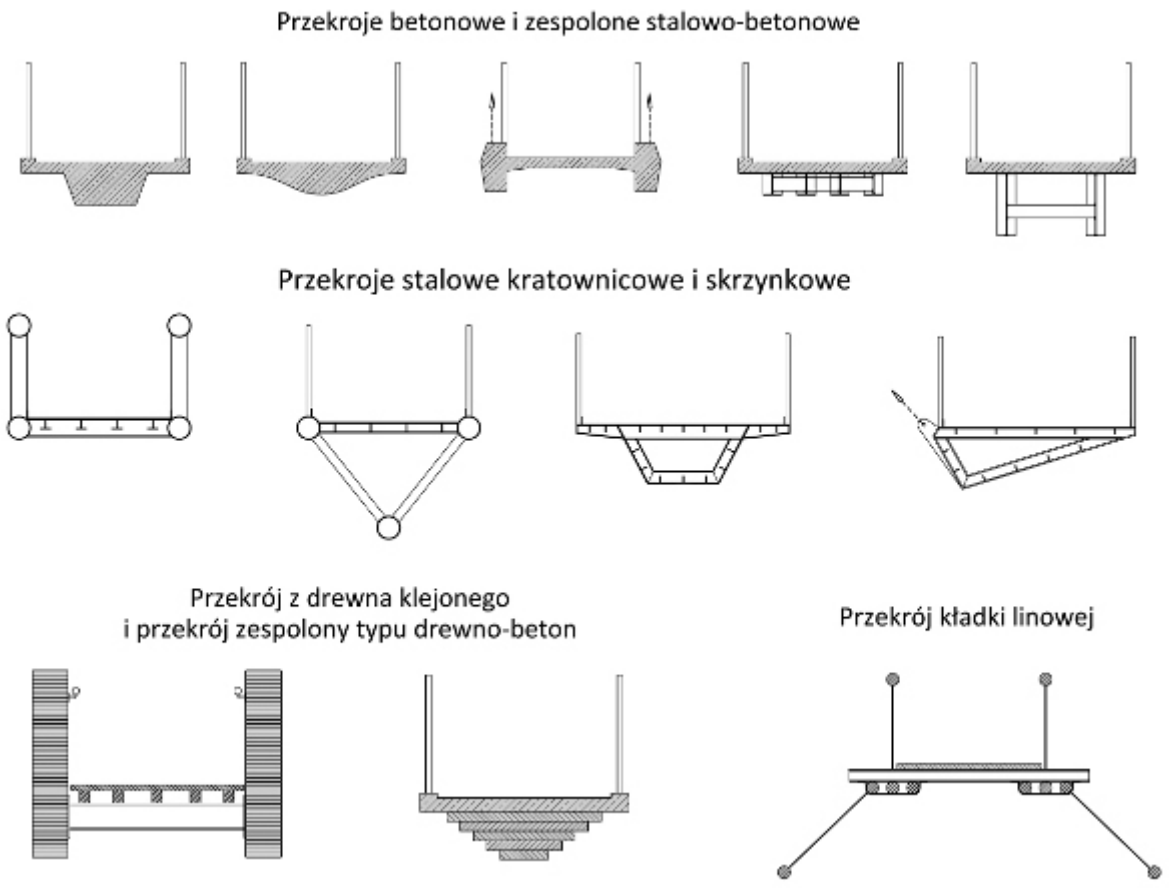


Rys. 1. Najczęściej spotykane typy konstrukcji kładek dla pieszych

Klasyczne rozwiązania konstrukcyjne wykorzystywane w projektach kładek dla pieszych niejednokrotnie odznaczają się większą dynamiką wizualną. Dynamika ta uzyskiwana jest przede wszystkim przez stosowanie form krzywoliniowych, pochyleń, a niekiedy także przenikania się elementów konstrukcyjnych. Generalnie dynamizm formy konstrukcyjnej osiągany jest przez unikanie dominacji kąta prostego oraz kierunków wertykalnych i horyzontalnych.

Ogólna zasada ekonomicznego projektowania obiektów mostowych mówi, by dążyć do projektowania obiektów możliwie najkrótszych i o jak najmniej skomplikowanej geometrii w planie i profilu. W przypadku kładek dla pieszych zasada ta nie jest ściśle przestrzegana. Możliwa jest większa swoboda w kształtowaniu geometrii konstrukcji. Mniejsze zużycie materiału oraz stosunkowo mała ilość elementów konstrukcyjnych przyczyniają się do zachowania korzystnych wskaźników ekonomicznych również przy bardziej złożonej geometrii konstrukcji. Taki sposób projektowania musi być jednak przemyślany i racjonalny by wskaźniki efektywności ekonomicznej lub techniczno-ekonomicznej projektu nie uległy pogorszeniu (np.: wskaźniki produktywności, materiałochłonności, majątkochłonności, kapitałochłonności).

Przekroje poprzeczne kładek odzwierciedlają rozwiązania stosowane w obiektach mostowych, jednak skala tych przekrojów jest znacznie mniejsza. W projektowanych kładkach zastosowanie mają przekroje płytowe, płytowo-belkowe, kratownicowe oraz skrzynkowe. Przekroje skrzynkowe z powodu małej wysokości konstrukcyjnej projektowane są jako nieprzełazowe, szczelne, zabezpieczone przed korozją np. przez metalizację i/lub przez przedmuchanie i wypełnienie gazem neutralnym np. azotem w celu osuszenia wnętrza skrzynek oraz usunięcia części tlenowej z powietrza odpowiadającej za rozwój korozji [1, 3]. Często lekkie pomosty wykonywane są w postaci stalowego układu rusztowego utworzonego z podłużnych dźwigarów głównych oraz z łączących je belek poprzecznych. Płyty pomostów wykonywane są jako płyty żelbetowe, płyty stalowe usztywnione żebrami podłużnymi (płyty ortotropowe) bądź jako pomosty ażurowe z dyliny z drewna twardego (krajowego lub egzotycznego).



Rys. 2. Przykłady przekrojów poprzecznych kładek dla pieszych

Materiały konstrukcyjne

Projektanci kładek dla pieszych sięgają zarówno po tradycyjne materiały budowlane jak i najnowsze osiągnięcia materiałowe. Wykorzystywane są: drewno (naturalne i klejone), beton (żelbet, beton sprężony), stal (konstrukcyjna ogólnego przeznaczenia, niskostopowa, nierdzewna, trudnordzewiejąca, stal wysokiej wytrzymałości) oraz betony RPC (ang. Reactive Powder Concrete) z proszków reaktywnych (betony ultrawysokowartościowe), betony zbrojone tekstyliami, materiały kompozytowe (kompozyty FRP, kompozyty stal-beton, beton-drewno, drewno-stal), aluminium oraz szkło laminowane. Bardzo często kładki dla pieszych są pierwszymi prototypowymi konstrukcjami wznoszonymi z nowych materiałów budowlanych. Jako element wykończenia architektonicznego zastosowanie znajdują kamień łamany, ceramika budowlana (cegły klinkierowe), płyty z betonu architektonicznego oraz kosze gabionowe wypełniane materiałami ozdobnymi (kamień łamany, otoczaki, drewno, barwione szklane bryły itp.).

Wymagania geometryczne i użytkowe

Do podstawowych parametrów geometrycznych kładek dla pieszych zaliczyć należy szerokość użytkową, pochylenie podłużne pomostu oraz parametry geometryczne pochylni i/lub schodów stanowiących dojścia do kładki.

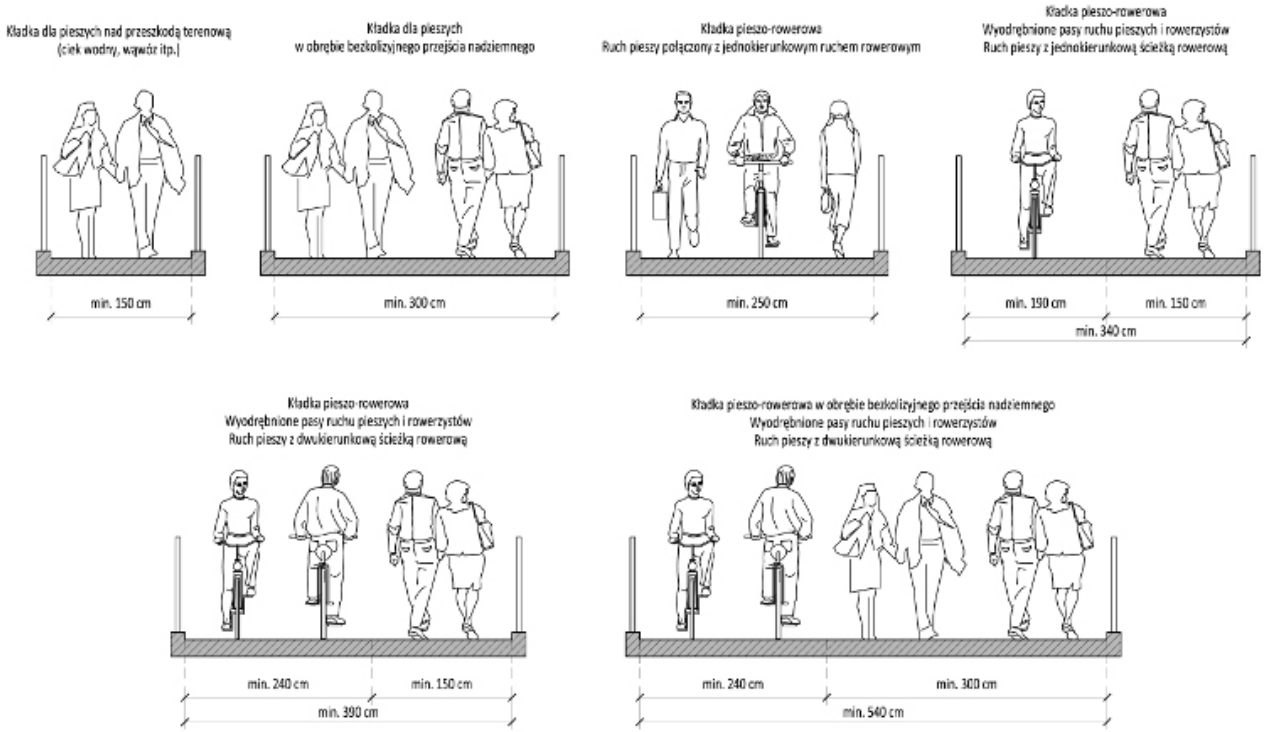
Zalecenia dotyczące kształtowania szerokości chodników i samodzielnych ciągów pieszych oraz ścieżek rowerowych przedstawione są w dziennikach ustaw [4 i 5]. Wymagają one przyjmowania szerokości chodnika nie mniejszej niż 1,5 m. W przypadku bezkolizyjnego przeprowadzania ruchu pieszych nad lub pod trasą komunikacyjną, szerokość przejścia dla pieszych nie powinna być mniejsza niż 3,0 m – jeżeli jest to przejście nadziemne (kładka) i 4,5 m – jeżeli jest to przejście podziemne (np. tunel) (§127 p. 12 [4]). W

przypadku projektowania kładek pieszo-rowerowych spełnić należy dodatkowe wymagania, dotyczące zapewnienia właściwej szerokości ścieżek rowerowych na pomoście, przedstawione w §47 [4]. Zgodnie ze schematem skrajni ścieżki rowerowej przy jej krawędziach należy przewidzieć dodatkowe pasy bezpieczeństwa o szerokości 0,2 m.

Z wytycznych [4, 5] wynika, iż minimalna szerokość użytkowa kładki dla pieszych wynosi 1,5 m, gdy kładka przeprowadza ruch pieszych nad przeszkodą terenową oraz 3,0 m, gdy jest elementem skrzyżowania bezkolizyjnego przeprowadzając ruch nad inną trasą komunikacyjną.

Obiekt pieszo-rowerowy może mieć szerokość:

- min. 2,5 m, w przypadku połączenia ruchu pieszych z jednokierunkowym ruchem rowerowym
- min. 3,4 m, gdy na pomoście kładki zostanie wyodrębniony pas ruchu pieszych i jednokierunkowa ścieżka rowerowa
- min. 3,9 m, gdy na pomoście kładki zostanie wyodrębniony pas ruch pieszych oraz dwukierunkowa ścieżka rowerowa.



Rys. 3. Zestawienie szerokości użytkowych pomostu

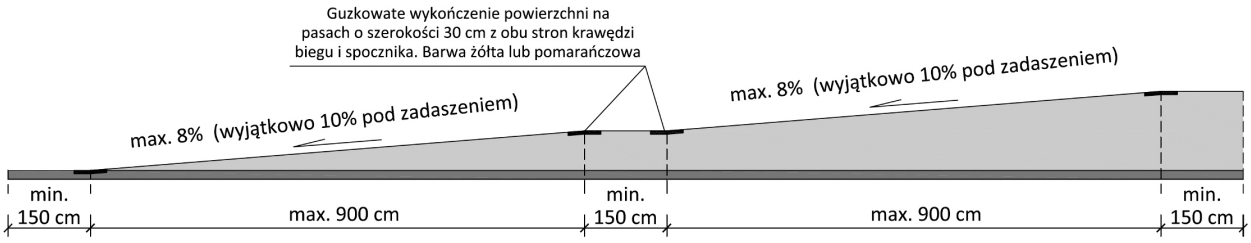
W przypadku kładek pieszo-rowerowych stanowiących element skrzyżowania bezkolizyjnego przeprowadzających ruch pieszych i dwukierunkową ścieżkę rowerową na wyodrębnionych pasach ruchu wymagana szerokość użytkowa pomostu wynosi min. 5,4 m (rys. 3).

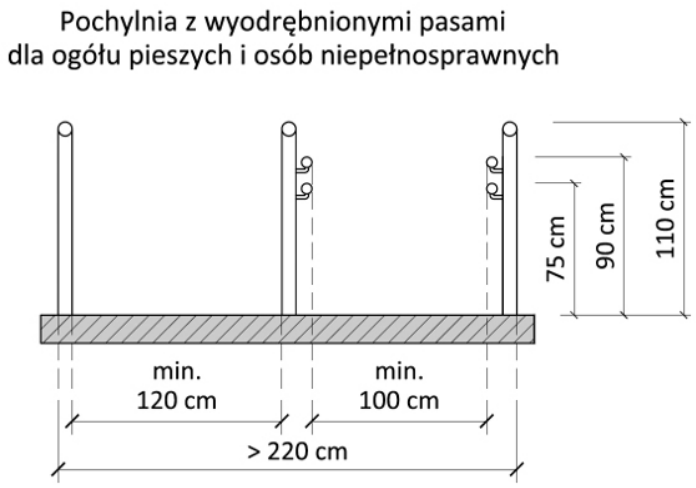
Dalsze wytyczne przedstawione w [4, 5] dotyczą:

- wysokości skrajni pionowej nad chodnikiem lub ścieżką rowerową – nie mniejszej niż 2,5 m
- projektowania dojść do kładki w formie pochylni, a wyjątkowo w postaci schodów (§59 [5], §45 p. 6 [4], §133 p. 1 [5]). Stosowanym rozwiązaniem alternatywnym są windy. Alternatywa ta może być jednak kosztowna (koszty inwestycji i utrzymania: przeglądów, napraw, sprzątania) i budząca obawy dotyczące powszechnejdostępności, a także właściwej sprawności technicznej oraz podatna na akty wandalizmu
- pochylenia podłużnego pochylni dla ruchu pieszych (rys. 4)
- pochylenia podłużnego chodnika lub samodzielnego ciągu pieszego – maks. 6%
- pochylenia podłużnego ścieżki rowerowej
  – maks. 5% (w wyjątkowych wypadkach

– maks. 15%)

■ stosowania balustrad chroniących przed upadkiem osób z wysokości (§252 [5]).





Rys. 4. Pochylenie podłużne pochylni dla ruchu pieszego

W przypadku kładek nad trasami komunikacyjnymi wskazane jest (choć niewymagane przepisami) stosowanie krawężników brzegowych wystającym ponad poziom nawierzchni pomostu w celu zabezpieczenia przed przypadkowym spadnięciem upuszczonego przedmiotu poza krawędź pomostu.

Obciążenia kładek dla pieszych

Wprowadzenie norm Eurokod nieco zmieniło zasady projektowania. W głównej mierze zmianie uległy modele obciążeń obiektów oraz wartości częściowych współczynników bezpieczeństwa i współczynników kombinacyjnych. Główna zasada ustalania miarodajnych sił przekrojowych, wymagająca ustawiania obciążeń zmiennych w odpowiednich obszarach w sposób pozwalający uzyskać najbardziej niekorzystny efekt nie uległa zmianie. Obciążenia zmienne należy stosować w kierunku podłużnym i poprzecznym na niekorzystnych częściach linii (powierzchni) wpływu. Wartość obliczeniową obciążeń ustala się z wykorzystaniem częściowego współczynnika bezpieczeństwa γ_{sup} = 1,35.

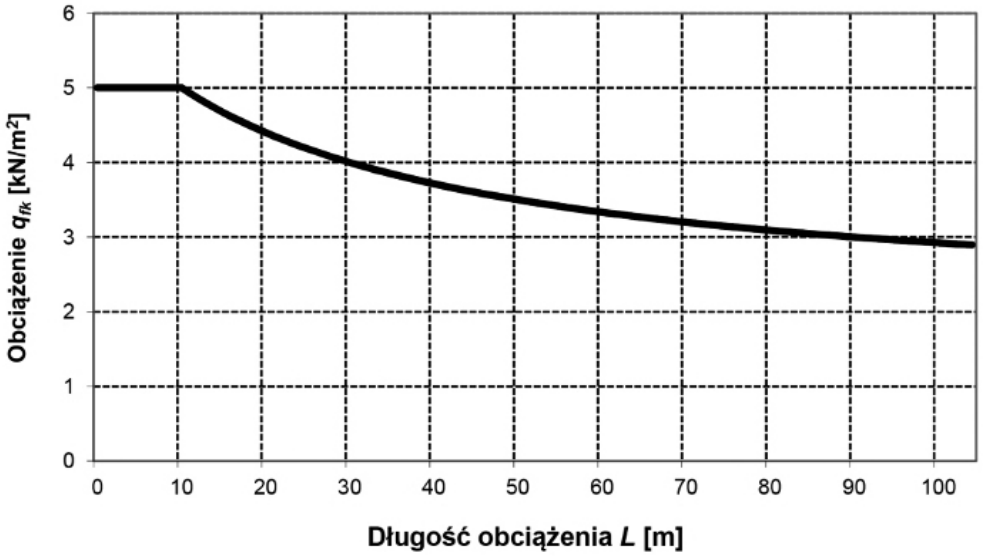
Obowiązująca norma PN-EN 1991-2 [8] definiuje następujące modele i wartości zmiennych obciążeń kładek dla pieszych:

■ Równomiernie rozłożone obciążenie tłumem i/lub rowerami q_{fk} – wartość obciążenia ustalana jest zgodnie z poniższym równaniem:

$$q_{fk} = 2{,}0 + \frac{120}{L+30} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$2{,}5 \text{ kN/m}^2 \leq q_{fk} \leq 5{,}0 \text{ kN/m}^2$$

gdzie:
L – długość obciążenia [m].



Rys. 5. Graficzny przebieg funkcji obciążenia w zależności od długości obciążanego odcinka L

Ustalenie długości L powiązać należy z zapisem normy wymagającym stosowania obciążenia q_{fk}, w kierunku podłużnym i poprzecznym na niekorzystnych częściach linii (powierzchni) wpływu.
Na rys. 5 przedstawiono graficzny przebieg funkcji obciążenia w zależności od długości obciążanego odcinka L.
W celu uwzględnienia efektów statycznych ciągłego gęstego tłumu, gdy istnieje takie ryzyko (sąsiedztwo stadionów, sal koncertowych lub innych obiektów z przeznaczeniem na imprezy masowe), jako obciążenie kładki należy przyjąć Model Obciążenia 4 (LM 4), zgodnie z którym q_{fk} = 5,0 kN/m^2.

■ Obciążenie skupione Q_{fwk} o wartości 10 kN – siła ta, jeśli ma zastosowanie, przykładana jest na powierzchni o wymiarach 10x10 cm (występuje tu podobieństwo do definicji pola docisku koła do powierzchni asfaltu). Obciążenie to zaleca się stosować tylko w sprawdzeniu efektów lokalnych. Jeśli kładkę projektuje się na obecność pojazdu służbowego to obciążenia Q_{fwk} nie uwzględnia się.

■ Obciążenie pojazdem służbowym (serwisowym) Q_{serv} – w projekcie kładki należy uwzględnić jeden pojazd służbowy jeśli zakłada się możliwość jego wprowadzenia na kładkę i jeśli żadna trwała przeszkoda nie zabezpiecza przed wjazdem pojazdu na przęsło. Zasady przyjmowania modelu obciążenia serwisowego przedstawiono w rozdziale 5.3.2.3 normy [8]. Pojazdem serwisowym może być pojazd zdefiniowany w rozdziale 5.6.3 [8] jako obciążenie wyjątkowe kładki (rys. 6).

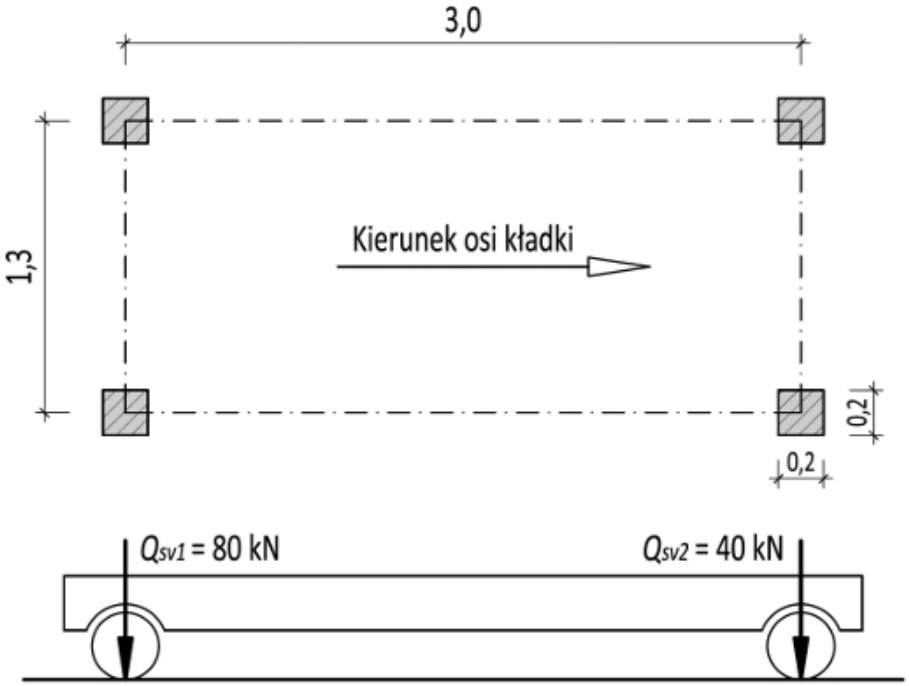
Obciążenia q_{fk}, Q_{fwk}, Q_{serv} określono w normie [8] jako obciążenia wzajemnie wykluczające się.

■ Obciążenie siłą poziomą Q_{flk} – zalecane jest uwzględnianie siły poziomej Qflk działającej wzdłuż osi przęsła kładki na poziomie nawierzchni jednocześnie z odpowiadającym obciążeniem pionowym, ale w żadnym przypadku nie z obciążeniem skupionym Q_{fwk}. Wartość charakterystyczną siły poziomej należy przyjąć zgodnie z rozdziałem 5.4 normy [8].

■ Obciążenie wyjątkowe – zdefiniowano jako obciążenie ruchem drogowym pod mostem (uderzenie pojazdów w pomosty kładek) oraz jako wyjątkowa obecność ciężkiego pojazdu na kładce. Siły uderzenia pojazdów w konstrukcje lekkie, do których zaliczono kładki dla pieszych, wymagają indywidualnego

ustalania w dokumentacji technicznej lub w załączniku krajowym. Przede wszystkim jednak zalecane jest, by w projekcie zapewnić odpowiednią skrajnię pionową między powierzchnią gruntu a spodem przęsła kładki w celu zabezpieczenia przed uderzeniami pojazdów.

Obciążenie wyjątkowe w postaci dwuosiowego ciężkiego pojazdu na przęśle kładki (rys. 6) należy uwzględniać jeśli żadna trwała przeszkoda nie zabezpiecza przed wjazdem pojazdu na przęsło i jeśli pojazd ten nie został uwzględniony w obliczeniach jako pojazd służbowy (serwisowy).



Rys. 6. Obciążenie wyjątkowe w postaci dwuosiowego ciężkiego pojazdu na przęśle kładki

■ Obciążenia dynamiczne – obciążenia dynamiczne kładek dla pieszych mogą mieć różne źródła np. piesi, wiatr, wandalizm itd. W przypadku lekkich konstrukcji kładek dla pieszych o niskim poziomie tłumienia drgań, dynamiczne oddziaływania pieszych (chód, bieg, skoki, taniec) mogą doprowadzić do zaburzenia komfortu użytkowania konstrukcji i muszą być brane pod uwagę w sprawdzanych stanach granicznych związanych z drganiami. Wytyczne dotyczące obciążeń dynamicznych ruchem pieszych przedstawiono w rozdziale 5.7 normy [8] oraz w rozdziale A2.4.3.1 normy [10]. Analizy dynamiczne konstrukcji oraz sprawdzenie kryteriów komfortu należy wykonać, jeśli podstawowa częstotliwość drgań przęsła kładki jest mniejsza od 5,0 Hz w przypadku drgań pionowych oraz 2,5 Hz w przypadku drgań poziomych (bocznych) i skrętnych.

Inne obciążenia kładek dla pieszych wynikające z zapisów norm Eurokod to:

■ Oddziaływanie wiatru – wartość obciążenia wiatrem dla obiektów o stałej wysokości pomostu i określonej geometrii przekroju poprzecznego zdefiniowanej w normie PN-EN 1991-1-4 [11] ustalić można zgodnie z procedurą przedstawioną w rozdziale 8 tej normy.

W przypadku parcia wiatru na przęsło obciążone tłumem, przyjmowanym jako obciążenie wiodące kładki, wyznaczone oddziaływanie wiatru należy uwzględniać w obliczeniach jako obciążenie zmienne towarzyszące $\Psi_{0.}q_{w,x(2)}$. W przypadku kładek dla pieszych współczynnik Ψ dla oddziaływania wiatru wynosi 0,3. Oddziaływania wiatru nie uwzględnia się w wyjątkowych sytuacjach obliczeniowych (rozdział A2.2.5 [10]).

Zasady uwzględniania statycznych i dynamicznych oddziaływań wiatru na kładki dla pieszych w szerokim zakresie omówiono w [12].

■ Obciążenie śniegiem – zgodnie z normą [10], rozdział A2.2.3 nie jest wymagane, aby obciążenia

śniegiem uwzględniano łącznie z obciążeniem tłumem lub łącznie z pojazdem serwisowym, chyba że dotyczy to szczególnych terenów geograficznych oraz określonych rodzajów kładek dla pieszych. Szczególne typy kładek i obszary geograficzne wymagające uwzględniania obciążenia śniegiem mogą być podane w załączniku krajowym do normy (obecnie taki załącznik nie istnieje). Obciążenia śniegiem nie uwzględnia się w wyjątkowych sytuacjach obliczeniowych (rozdział A2.2.5 [10]). Podczas budowy kładki, obciążenie śniegiem, jeśli jest stosowane, należy uwzględniać jako obciążenie towarzyszące ze współczynnikiem Ψ = 0,8 (tab. A2.2 [10]).

■ Obciążenia termiczne – zasady wyznaczania obciążeń termicznych przedstawione zostały w rozdziale 6 normy PN-EN 1991-1-5 [13]. Uwzględnienie oddziaływań termicznych w analizie konstrukcji wymaga: określenia temperatury dla danej lokalizacji obiektu, korekty wartości temperatury z uwagi na rodzaj konstrukcji (rodzaj 1 – pomost stalowy, rodzaj 2 – pomost zespolony, rodzaj 3 – pomost betonowy), wyboru rozkładu temperatury na wysokości przekroju, uwzględnienie czynników łagodzących, jak np. grubość nawierzchni, uwzględnienia równoczesności oddziaływania składowych temperatury (składowej równomiernej i składowej różnicy temperatury).

Oddziaływania termiczne uwzględniane jako obciążenie towarzyszące należy stosować ze współczynnikiem Ψ = 0,6. Zalecana wartość Ψ dla oddziaływań termicznych w większości przypadków może być zredukowana do zera w stanach granicznych nośności EQU, STR i GEO. Łączne działanie temperatury i wiatru nie musi być uwzględniane jeśli nie wymagają tego lokalne warunki klimatyczne.

■ Oddziaływania na balustrady – zapisy normy [8] w zakresie obciążenia balustrad na kładkach dla pieszych (rozdział 5.8) wymagają ich obciążania w sposób analogiczny do balustrad na chodnikach mostów drogowych (rozdział 4.8 [8]). W normie zamieszczone jest jednak odesłanie do nieistniejącej normy EN 1317-6. Obecnie brak zatem pełnych wytycznych do ustalania obciążeń balustrad. W rozdziale 4.8 normy [8] przedstawiono jedynie wstępne wytyczne ustalania obciążeń balustrad kładek.

Podsumowanie

Choć określenie kładka kojarzyć się może z małą, prowizoryczną konstrukcją to w dzisiejszych czasach pod pojęciem tym kryją się znaczące osiągnięcia konstrukcyjne. Są to niekiedy obiekty prototypowe pozwalające wdrożyć do praktyki inżynierskiej nowe rozwiązania i materiały. Niejednokrotnie są to konstrukcje przyjmujące oryginalne formy architektoniczne. Niezależnie od stopnia innowacyjności i

oryginalności zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych, kładki dla pieszych powinny być przede wszystkim konstrukcjami funkcjonalnymi, wygodnymi w użytkowaniu, zaprojektowanymi ergonomicznie (przyjaźnie człowiekowi), estetycznie i ekonomicznie. W celu osiągnięcia odpowiedniej sztywności przestrzennej konstrukcji oraz zapewnienia właściwego komfortu jej użytkowania w projekcie uwzględnić należy szereg obciążeń statycznych i dynamicznych. Zarówno parametry funkcjonalne jak i atrakcyjna oraz estetyczna forma konstrukcji powinny zachęcać pieszych i rowerzystów do korzystania z niej przyczyniając się tym samym do przestrzegania zasad ruchu drogowego w szczególnie niebezpiecznych miejscach kolizji ruchu pieszego z ruchem kołowym.

dr inż. Marek Pańtak
Politechnika Krakowska

Literatura

1. Biliszczuk J., *Projektowanie stalowych kładek dla pieszych*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2004.
2. Buchner A., *Trasy mostowe w krajobrazie miasta*, PWN, Warszawa-Łódź, 1982.
3. Kowalski D., *Korozja i zniszczenia kształtowników stalowych o przekrojach zamkniętych*, Przegląd Budowlany, 5/2016.
4. Dz.U. nr 43 poz. 430, 1999.
5. Dz.U. nr 63 poz. 735, 1999.
6. Kowalski K., *Projektowanie bez barier*, Stowarzyszenie Przyjaciół Integracji, Warszawa, 2010.
7. PN-85/S-10030 Obiekty mostowe. Obciążenia, PKN, Warszawa, 1985.
8. PN-EN 1991-2:2007 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 2: Obciążenia ruchome mostów, PKN, Warszawa, 2007.
9. PN-EN 1991-1-7:2008 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-7: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wyjątkowe, PKN, Warszawa, 2008.
10. PN-EN 1990:2004/A1:2008 Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji, PKN, Warszawa, 2008.
11. PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru, PKN, Warszawa, 2008.
12. Flaga A., *Mosty dla pieszych*, WKŁ, Warszawa, 2011.
13. PN-EN 1991-1-5:2010 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-5: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania termiczne, PKN, Warszawa, 2010.