



ANDRZEJ BRZEZIŃSKI<sup>1)</sup>  
KAROLINA JESIONKIEWICZ-NIEDZIŃSKA<sup>2)</sup>

## SELECTED ISSUES OF CYCLING INFRASTRUCTURE DESIGN IN THE ASPECT OF ROAD TRAFFIC SAFETY

### WYBRANE ZAGADNIENIA PROJEKTOWANIA INFRASTRUKTURY PRZEZNACZONEJ DO RUCHU ROWERÓW W PERSPEKTYWIE BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO

**STRESZCZENIE.** Wzrost mobilności prowadzi do rosnącego zatłoczenia dróg i ulic. Próby poprawienia warunków ruchu przez zwiększenie przepustowości drogi zazwyczaj tylko pogarszają sytuację. Głównym celem powinno być zwiększenie udziału transportu publicznego i ruchu rowerowego w podziale zadań przewozowych. Wzrost udziału przemieszczeń rowerowych w codziennych podróżach wymaga jednak konkurencyjnej przewagi tego środka transportu nad innymi. Wiąże się to z koniecznością zapewnienia odpowiedniej infrastruktury, która dałaby rowerzystom możliwość przemieszczania się sprawnie, wygodnie i – przede wszystkim – bezpiecznie. Niniejszy artykuł opisuje problemy wynikające z niedostatecznej jakości przepisów dotyczących projektowania infrastruktury przeznaczonej do ruchu rowerów i przedstawia sugerowane kierunki zmian oraz uzupełnień nieodzownych z perspektywy bezpieczeństwa ruchu. Odnoszą się one głównie do prędkości do projektowania na trasach dla rowerów, poszerzeń dróg dla rowerów na łukach, skrajni dróg dla rowerów oraz widoczności na przejazdach dla rowerzystów umożliwiającej nieprzerwaną jazdę.

**SŁOWA KLUCZOWE:** bezpieczeństwo ruchu, projektowanie, rower, skrajnia, widoczność.

**ABSTRACT.** Increasing mobility results in growing overcrowding of roads and streets. Attempts to improve travel conditions through an increase in road capacity usually only worsen the situation. The main purpose should be an increased share of public transport, including bicycle traffic, in the modal split. An increased share of bicycles in everyday traveling requires, however, a competitive advantage of that means of transport over other transport possibilities. It involves the need for adequate infrastructure which would provide bicycle users with the possibility to move efficiently, comfortably, and above all, safely. This paper describes the problems resulting from insufficient quality of the regulations on cycling infrastructure design and proposes directions of changes and complements that are vital for traffic safety. It applies mainly to design speed on bicycle routes, widening of bikeways on curves, bikeway clearances, and visibility on cycle crossings enabling uninterrupted cycling.

**KEYWORDS:** bicycle, clearances, design, traffic safety, visibility.

DOI: 10.7409/rabdim.021.005

<sup>1)</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów, al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa; a.brzezinski@il.pw.edu.pl

<sup>2)</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów; k.jesionkiewicz@il.pw.edu.pl (✉)

## 1. WSTĘP

Rozwój ruchu rowerowego wymaga inwestycji nie tylko w infrastrukturę transportową czy nowe trasy, lecz również w rozbudowę i reorganizację istniejących dróg i ulic. Należy uzupełnić braki wynikające z wieloletnich zaniedbań, zarówno pod względem spójnej sieci tras dla rowerów, jak i jakości stosowanych rozwiązań technicznych. Jest to niezbędne zwłaszcza ze względu na rosnące znaczenie ruchu rowerowego w codziennych podróżach [1] i coraz większe wymagania rowerzystów, rodzące zapotrzebowanie na odpowiednie przepisy dotyczące projektowania, normy, wytyczne i katalogi dobrych praktyk. Infrastruktura przeznaczona do ruchu rowerów powinna zapewniać bezpieczeństwo i wygodę użytkownika, podobnie jak infrastruktura samochodowa [2]. Powinna być ona dostosowana do specyfiki roweru, który jest środkiem transportu napędzanym siłą ludzkich mięśni. Niniejszy artykuł zaznajamia czytelników z kierunkami prac nad przepisami dotyczącymi projektowania infrastruktury przeznaczonej do ruchu rowerów oraz – co najistotniejsze – przedstawia zagadnienia dotąd pomijane w polskim prawodawstwie lub uwzględniane w bardzo ograniczonym zakresie. Do zagadnień tych należą: prędkość do projektowania na trasach dla rowerów, poszerzenie dróg dla rowerów na łukach, skrajnia dróg dla rowerów, jak również widoczność na przejazdach dla rowerzystów. Wszystkie te problemy wpływają bezpośrednio na bezpieczeństwo ruchu drogowego, pośrednio zaś – na komfort i płynność jazdy.

## 2. PRZEPISY DOTYCZĄCE PROJEKTOWANIA

W obecnym systemie prawnym Polski kwestie związane z projektowaniem infrastruktury przeznaczonej do ruchu rowerów regulowane są przez ratyfikowane umowy międzynarodowe, ustawy, rozporządzenia oraz akty prawa miejscowego. Spośród umów międzynarodowych ratyfikowanych przez Polskę fundamentalne znaczenie należy przypisać konwencji o ruchu drogowym [3, 4], które mają pierwszeństwo przed ustawami. Określają one ogólne zasady ruchu drogowego (w tym znaki i sygnały drogowe) obowiązujące w krajach będących ich sygnatariuszami. Polskim odpowiednikiem wspomnianych konwencji jest właściwa ustawa [5]. Definiuje ona zasady ruchu na drogach publicznych, w strefach zamieszkania i strefach ruchu, jak również warunki dopuszczenia pojazdów do ruchu oraz wymagania dotyczące pozostałych użytkowników dróg innych niż kierujący pojazdami. W roku 2011 weszła w życie istotna nowelizacja ustawy, której postanowienia dostosowano w znacznym stopniu do konwencji międzynarodowych. Zmiany objęły terminy i definicje, nowe pojęcia oraz fundamentalne zagadnienia takie jak

## 1. INTRODUCTION

Bicycle traffic development requires investments not only in transport infrastructure and new routes but also in extension and reorganization of roads and streets. Years of neglect should be compensated, both in terms of a consistent network of bicycle routes and in terms of the quality of technical solutions used. It is essential particularly due to the increasing importance of bicycle traffic in everyday traveling [1] and the growing requirements of bicycle users, generating the need for adequate design regulations, standards, guidelines and catalogs of good solutions. Just like in the case of car infrastructure [2], the cycling infrastructure should ensure safety and comfort of use. It should be adapted to the specificity of the bicycle, which is a human-powered means of transport. This paper familiarizes the readers with directions of works on regulations on bicycle infrastructure design, and, most importantly, presents topics which have been avoided or discussed to a very limited extent in the Polish legislation so far. These topics include the design speed on bicycle routes, widening bike-ways on curves, clearance, as well as visibility on crossings for cyclists. All these issues directly affect the safety of bicycle traffic, and - indirectly - its comfort and fluency.

## 2. DESIGN REGULATIONS

In the current Polish legal system, issues related to design of infrastructure for bicycle traffic are regulated in ratified international conventions, law acts, regulations and local law acts. Among the international conventions ratified by Poland, fundamental importance must be attributed to conventions on road traffic [3, 4], which prevail over acts of law. They define general principles of road traffic (including road signs and signals) applicable in signatory countries. The Polish equivalent of the aforementioned conventions is the respective act of law [5]. It defines the rules of traffic on public roads, in residential and traffic zones, terms of admitting vehicles to traffic or requirements for road users other than vehicle drivers. In 2011 an important amendment thereof was adopted, whose provisions were adapted to a large extent to the international conventions. The changes included terms and definitions, new notions or fundamentals such as the priority principle – priority was granted to a cyclist riding on the roadway, bike lane or another part of the road over vehicles that are about to change their direction. It resulted in the 2015 amendment of ordinances [6, 7] based on the aforementioned act. As a result of the legislative process, normative acts have been adapted to the most recent research and to the evolution of transport systems which has occurred

zasada pierwszeństwa – rowerzyście poruszającemu się po jezdni, pasie ruchu dla rowerów czy innej części drogi przyznano pierwszeństwo nad pojazdami zmieniającymi kierunek jazdy. Konsekwencją tego była nowelizacja w 2015 roku rozporządzeń [6, 7] do tej ustawy. Przeprowadzony proces legislacyjny dostosował akty normatywne do najnowszych badań i ewolucji systemów transportowych jaka miała miejsce na przestrzeni kilkudziesięciu ostatnich lat. Niestety, w ślad za zmianami zasad i organizacji ruchu nie poszło wprowadzenie istotnych aktualizacji przepisów technicznych i budowlanych.

Podstawowe zasady planowania, projektowania i wykonawstwa dróg publicznych w Polsce znaleźć można w ustawach [8-10] wraz z przepisami techniczno-budowlanymi wydanymi na ich podstawie. Należy jednak podkreślić, że pozostają one niepełne i niespójne, szczególnie w zakresie infrastruktury przeznaczonej do ruchu rowerów. Niespójności występują także na poziomie ustaw [5, 9], oraz aktów wykonawczych do tych ustaw. Do problematycznych aspektów należą: dopuszczenie dwukierunkowego ruchu rowerowego na ulicach jednokierunkowych, możliwość stosowania śluz rowerowych czy łączenia przejazdów dla rowerzystów z przejściami dla pieszych. Według [6, 7] takie rozwiązania są dopuszczalne, natomiast [11] nie przewiduje takiej organizacji ruchu.

Ze względu na powyższe, bardzo ważne są uporządkowanie i standaryzacja aktów prawnych regulujących projektowanie infrastruktury (w tym infrastruktury przeznaczonej do ruchu rowerów) i uzupełnienie ich o zagadnienia związane z planowaniem i eksploatacją. Niezbędne jest również skorygowanie ewidentnych niedociągnięć utrudniających poprawne projektowanie, w tym wymagań dotyczących prędkości do projektowania, minimalnych promieni łuków w planie i łuków pionowych, poszerzeń na łukach oraz skrajni.

W związku z brakiem ogólnokrajowych przepisów pojawiają się liczne przepisy lokalne, zazwyczaj przybierające formę wytycznych/instrukcji projektowych lub poradników [12-14]. Niektórym przyznawany jest status aktów prawa miejscowego – np. zarządzenia prezydenta miasta. Jakość takich dokumentów jest różna, a chociaż często dostosowane są one do warunków lokalnych, nie zapewniają jednorodnego standardu projektowania infrastruktury drogowej ani spójności systemu na poziomie regionalnym czy krajowym.

Tworząc polskie przepisy warto korzystać z doświadczeń innych krajów. Kompleksowo problematyka planowania i projektowania infrastruktury przeznaczonej do ruchu rowerów jest ujęta np. w USA, Holandii, Wielkiej Brytanii, Kanadzie i Belgii [15-21]. W przepisach tych znajdują się zarówno zasady projektowania, jak i schematy zalecanych typowych rozwiązań.

within the last decades. Unfortunately, no serious updates have been made to technical and construction regulations to accompany those amendments of traffic rules and organization.

Basic rules of planning, design and building of public roads in Poland can be found in the acts [8-10] along with technical and constructional provisions issued on their ground. It must be emphasized, however, that those provisions, especially regarding cycling infrastructure, remain incomplete and inconsistent. Inconsistencies can also be found in the acts [5, 9], as well as in their implementing acts. The problematic aspects include two-way bicycle traffic allowed on one-way streets, possibility of use of bicycle advanced stop boxes or combining bicycle crossings with pedestrian crossings (toucan crossings). According to [6, 7], such solutions are acceptable, whereas [11] does not stipulate such traffic organization.

Considering the above, it is extremely important to order and standardize the legal acts which regulate the design of infrastructure (including cycling infrastructure) and to complement them with aspects related to planning and service. It is also essential to address the evident deficiencies which hinder correct design, including the requirements on the design speed, minimum horizontal and vertical curve radiuses, widening of curves or clearance.

As the nationwide design regulations are lacking, there are numerous local regulations which usually adopt the form of design standards/instructions or guidebooks [12-14]. Some of them are granted the status of local law acts – e.g. decrees of city presidents. Quality of such documents varies and, although they are often adapted to local conditions, they do not provide a uniform standard for road traffic infrastructure design or consistency of the system at the regional or national level.

It is recommendable to base the Polish regulations on the experience of other countries. A comprehensive overview of planning and design of cycling infrastructure in the USA, the Netherlands, the United Kingdom, Canada and Belgium is presented in [15-21]. Those documents include both the design rules and schemes of recommended typical solutions.

### 3. DESIGN SPEED

The speed reached by cyclists depends mainly on four factors: type of user/equipment, character of the ride, topography and type of surface. The highest speed can be reached on surfaces with low tire rolling resistance, usually made of asphalt concrete, on steep longitudinal profile

### 3. PRĘDKOŚĆ DO PROJEKTOWANIA

Prędkość osiągana przez rowerzystów zależy od czterech głównych czynników: rodzaju użytkownika/sprzętu, charakteru podróży, topografii oraz rodzaju nawierzchni. Najwyższe prędkości osiągnąć można na nawierzchniach o małym oporze toczenia opony, zazwyczaj na betonie asfaltowym, na odcinkach o dużym pochyleniu podłużnym (w takich warunkach rowerzyści przekraczają prędkość 50 km/h [15]). Kolejnym ważnym czynnikiem jest motywacja, z której wynika podróż - zwłaszcza, jeśli jest to dojazd do szkoły lub do pracy. Dużo niższe prędkości obserwuje się w przypadku starszych użytkowników rowerów, dzieci na małych rowerach czy osób jeżdżących na rowerze w celach rekreacyjnych, dla których prędkość nie jest najważniejszym czynnikiem, a jazda stanowi cel sam w sobie.

Zasadniczo przepisy projektowe wyróżniają trzy prędkości: minimalną (niską), podstawową (lub standardową) i wysoką (ponadstandardową). Prędkość minimalna (Tabl. 1) wynosi od 12 km/h do 20 km/h. Dla większości tras dla rowerów przyjmuje się prędkość do projektowania z zakresu 20-30 km/h. Wyższe prędkości przyjmowane są dla tras o wyższej jakości lub zlokalizowanych poza terenami zabudowanymi (miejskimi).

Zakłada się, że na nawierzchni utwardzonej dorośli utrzymują prędkość od 13 km/h do 24 km/h [15]. Jazda na rowerze z prędkością poniżej 12 km/h sprawia, że utrudnione jest utrzymanie równowagi. Według badań [22] kwantyl 85% prędkości dla ruchu rowerowego wynosi 22 km/h na odcinkach płaskich, zaś przy jeździe w dół przy wysokim nachyleniu podłużnym (> 6%) kwantyl 85% prędkości przekracza 28 km/h. Kolejnym istotnym czynnikiem wpływającym na wzrost prędkości rowerzystów jest wiatr. Wiatr wiejący z prędkością 16 km/h może zwiększyć prędkość rowerzysty o ponad 10 km/h. Według [22] rowerzyści zjeżdżający odcinkiem drogi o nachyleniu podłużnym 2% przy wietrze wiejącym z prędkością 16 km/h w sprzyjającym kierunku osiągają średnią prędkość przekraczającą 37 km/h. Podsumowując, na podstawie przepisów obowiązujących w innych krajach oraz badań prędkości w ruchu rowerowym uzasadnione jest wprowadzenie czterech progów prędkości do projektowania dla rowerów  $V_{bds}$ : 12 km/h, 20 km/h, 30 km/h oraz 40 km/h.

Jako podstawową prędkość do projektowania należy traktować wartość 30 km/h. Wynika ona zarówno ze średniej prędkości osiąganej przez rowerzystów jak i z odpowiednich przepisów [5], według których rower może być wyposażony w napęd elektryczny umożliwiający jazdę z prędkością do 25 km/h. Taka prędkość do projektowania powinna obowią-

zwać (under such conditions cyclists can exceed the speed of 50 km/h [15]). Another important factor is the motivation behind the ride, especially if it is related to school or work. Much lower speeds can be observed for older bicycle users, children riding smaller bikes or people riding bicycles for recreational purposes, for whom speed is not the most important factor and whose purpose is riding itself.

Basically, design regulations include three speeds: minimum (low), basic (or standard) and high (above-standard). Minimum speed (Table 1) is between 12 km/h and 20 km/h. For most bicycle routes, speeds within the range of 20-30 km/h are adopted as the design speed. Higher speeds are adopted for routes of higher quality or located outside of the built-up (urban) area.

Table 1. Design speeds in bicycle traffic regulations  
Tablica 1. Prędkości do projektowania w przepisach dotyczących ruchu rowerowego

| Country<br>Kraj  | Bicycle design speeds $V_{bds}$ [km/h]<br>Prędkości do projektowania dla rowerów |                     |   |
|--|--|---------------------|---|
|  | low<br>niska   | basic<br>podstawowa | high<br>wysoka  |
| USA [15]   | > 12   | 30                  | < 48  |
| The Netherlands [16]<br>Holandia                         | > 12   | 25                  | 30 (40 outside urban areas)<br>30 (40 poza obszarami miejskimi) |
| United Kingdom (London) [20]<br>Wielka Brytania (Londyn) | > 12   | 20                  | -   |
| Belgium [19]<br>Belgia                                   | -  | 20                  | 30  |
| Germany [21]<br>Niemcy                                   | -  | 20                  | 30  |

It is assumed that adults maintain the speed from 13 km/h to 24 km/h on a paved surface [15]. Riding a bicycle at the speed lower than 12 km/h makes it difficult to keep the balance. According to tests [22], the speed quantile of 85% for bicycle traffic is 22 km/h on the flat, and when the road downhill grade is high (> 6%), the speed quantile of 85% exceeds 28 km/h. Wind is another important factor which results in higher bicycle speeds. Wind blowing with the speed of 16 km/h may increase the speed of a cyclist by more than 10 km/h. According to [22], cyclists who go downhill on a road section with 2% grade when the wind blows at 16 km/h in a favorable direction, reach an average speed exceeding 37 km/h. In summary, provisions effective in other countries and studies on speed in bicycle traffic justify the introduction

zywać na trasach podstawowych, tworzących najważniejsze połączenia w danym obszarze, zapewniających połączenia pomiędzy miejscowościami, dojazd do ważnych generatorów ruchu, dojazd do ważnych węzłów transportu zbiorowego czy obsługę atrakcyjnych miejsc turystycznych. Powinna być ona również przyjmowana w miastach na głównych połączeniach międzydzielnicowych, ważnych wewnątrzdzielnicowych i obsługujących silne generatory ruchu (rejon koncentracji miejsc pracy, usług, szkół/uczeln wyższych, rejon koncentracji miejsc zamieszkania, węzły transportu zbiorowego, obiekty służby zdrowia, sportu, kultury, tereny rekreacji). Z tą prędkością powinny być związane wysokie wymagania techniczne, m.in. dotyczące trasy w planie i profilu podłużnym oraz widoczności.

Prędkość do projektowania 20 km/h powinna być stosowana na trasach uzupełniających, przeznaczonych do obsługi krótkich podróży, dojazdów do węzłów transportu zbiorowego o mniejszym znaczeniu, na pozostałych trasach wewnątrzdzielnicowych oraz na drogach dla pieszych i rowerów. Prędkość do projektowania 40 km/h powinna być przyjmowana, gdy trasa jest bardzo popularna wśród rowerzystów (podróże masowe) oraz gdy dla infrastruktury zakładane są ponadstandardowe parametry techniczne umożliwiające osiągnięcie wysokich prędkości przejazdu (tak zwane autostrady rowerowe czy velostrady). Ze względów bezpieczeństwa prędkość 40 km/h powinna być również stosowana na tych odcinkach dróg dla rowerów, których pochylenie podłużne przekracza 6%.

Najniższa prędkość do projektowania, tj. 12 km/h nie powinna być stosowana jako element wyznaczania standardu trasy, z którym stowarzyszone są wymagania techniczne odnoszące się do planu i profilu podłużnego trasy. Powinna być przyjmowana na zasadzie wyjątku, gdy otoczenie nie pozwala na osiągnięcie wyższych prędkości oraz tylko na krótkich odcinkach – np. w okolicach skrzyżowań czy obiektów inżynierskich.

Zróznicowanie prędkości do projektowania musi być związane z funkcjami tras dla rowerów i ich rolą w hierarchicznej sieci dróg. Przyjęte prędkości do projektowania powinny określać graniczne parametry poszczególnych elementów infrastruktury (zwłaszcza w planie i profilu) związane w bezpieczeństwem ruchu rowerowego (np. związane z odległością na zatrzymanie, pola widoczności, widocznością na łukach). Przykładową zależność między promieniem łuku poziomego a prędkością do projektowania dróg dla rowerów przedstawiono w Tabl. 2.

of four bicycle design speed thresholds  $V_{bds}$ : 12 km/h, 20 km/h, 30 km/h and 40 km/h.

The value of 30 km/h should be considered as the basic design speed. It results both from the average speed reached by cyclists and from the applicable regulations [5], according to which a bicycle can be equipped with an electric drive enabling riding with the speed of up to 25 km/h. Such a design speed should be applicable on basic routes, which provide the most important connections within a given area, which connect different localities, give access to important traffic generators, access to important public transport hubs or which cover locations attractive for tourists. Such a speed should be adopted in cities on main cross-district connections, important intra-district connections and those which cover important traffic generators (areas with high concentration of workplaces, trade, schools/universities, densely housed areas, public transport hubs, health care institutions, sports, cultural and recreation facilities). Such a speed should be associated with strict technical requirements, encompassing alignment, longitudinal profile and visibility (sight).

The value of 20 km/h should be adopted as the design speed on complementary routes for short rides, providing access to collective transport hubs of lesser importance, on other intra-district routes and on shared-use paths. The design speed of 40 km/h should be observed when the route is very popular among cyclists (mass riding) and when above-standard technical parameters are intended for the infrastructure, making it possible to reach high riding speeds (the so-called cycle motorways or bike freeways). For safety reasons, the speed of 40 km/h should also be observed on those sections of bikeways where longitudinal profile grade exceeds 6%.

The lowest design speed, i.e. 12 km/h should not be adopted as the element that determines technical requirements regarding the alignment and longitudinal profile of the routes. It should be adopted on an exceptional basis whenever the surroundings prevent riding at higher speeds and on short sections only – e.g. around crossroads or bridge structures.

Differentiation of design speeds must be associated with functions of bicycle routes and their role in the hierarchical system. The adopted design speeds should determine the threshold parameters of specific infrastructural elements (mostly in alignment and profile) associated with bicycle traffic safety (e.g. related to stopping distance, field of vision, visibility at curves). An example of the relationship between the horizontal curve radius and the design speed on bikeways is presented in Table 2.

## 4. POSZERZENIE NA ŁUKACH POZIOMYCH

Rowerzysta w momencie zatrzymania zajmuje powierzchnię o szerokości wynoszącej średnio 0,75 m. Podczas jazdy, w wyniku kołysania pojazdu, powierzchnia ta poszerza się do około 1 m. Szerokość pojedynczego rowerzysty w ruchu jest zatem większa niż maksymalna szerokość roweru zdefiniowana w przepisach [5], która wynosi 0,90 m. Należy jednak podkreślić, że ze względu na bezpieczeństwo i komfort jazdy założona szerokość powierzchni zajmowanej przez rowerzystę powinna być nawet większa niż 1 m. W rezultacie, nawet jeśli nie wprowadzi się marginesu bezpieczeństwa odległości między mijającymi się rowerzystami, szerokość dwukierunkowej drogi dla rowerów powinna być nie mniejsza niż 2,00 m.

Kiedy rowerzysta i samochód poruszają się po tym samym łuku poziomym, siły oddziałujące na rower i samochód są uzależnione od tych samych wielkości fizycznych. Niemniej jednak, sposób ich zrównoważenia jest odmienny ze względu na specyfikę jazdy na rowerze – kiedy pozwala na to promień łuku, rowerzysta chcący utrzymać płynny ruch roweru musi pochylić się do środka łuku. Jeśli w tym samym czasie inny rowerzysta porusza się po tym samym łuku poziomym z dużo mniejszą prędkością i się nie pochyla (albo pochyla się pod dużo mniejszym kątem), może dojść do kolizji (Rys. 1.). Taka sytuacja może okazać się niebezpieczna (podobnie jak potencjalna kolizja rowerzysty z pieszym, jeśli droga dla rowerów przebiega wzdłuż drogi dla pieszych) i prowadzić do wypadku. Bezpieczne rozwiązanie projektowe wymaga zatem poszerzenia drogi dla rowerów na łukach w planie.

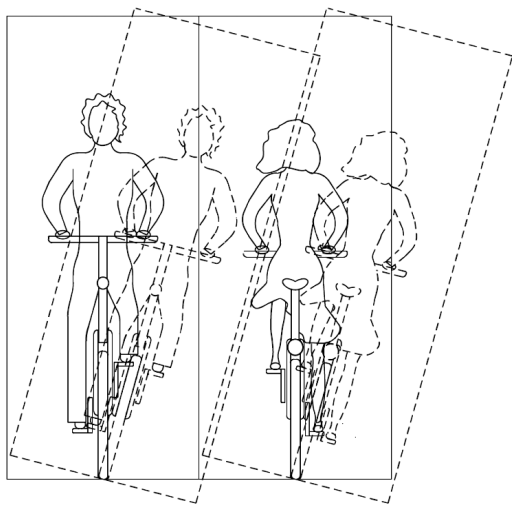


Fig. 1. Outlines of the space used by bicycle riders at a horizontal curve

Rys. 1. Krawędzie przestrzeni zajmowanej przez rowerzystów na łuku poziomym

Table 2. Recommended and minimum horizontal curve radius  $R$  as function of  $V_{bds}$   
Tablica 2. Zalecane i minimalne promienie łuków poziomych  $R$  jako funkcja  $V_{bds}$

| $V_{bds}$<br>[km/h] | Recommended radius $R$ [m]<br>Zalecany promień $R$ [m] | Minimum radius $R$ [m]<br>Minimalny promień $R$ [m] |
|---------------------|--|---|
| 12 <sup>*)</sup>    | n/a<br>nd.   | 4 (2) <sup>**)</sup>                                |
| 20                  | ≥ 25   | 12  |
| 30                  | ≥ 60   | 25  |
| 40                  | ≥ 100  | 40  |

<sup>\*)</sup> 12 km/h value adopted on an exceptional basis on short sections, most often around crossroads / wartość 12 km/h przyjmowana na zasadzie wyjątku na krótkich odcinkach, zazwyczaj w pobliżu skrzyżowań

<sup>\*\*)</sup> minimum radius of a horizontal curve at locations where bicycle traffic stops / minimalny promień łuku poziomego w miejscach, gdzie dochodzi do zatrzymania ruchu rowerowego

n/a – not applicable, nd. – nie dotyczy

## 4. WIDENING OF HORIZONTAL CURVES

A bicycle rider at rest occupies an area whose average width is 0.75 m. During movement, as a result of swings of the bicycle, this area is widened to about 1 m. The width of a single bicycle rider in motion is therefore greater than the maximum width of a bicycle defined in the regulations [5], which equals 0.90 m. It must be emphasized, however, that for safety and comfort reasons the width of the area to be occupied by a single bicycle rider in motion should be even greater than 1 m. As a result, even if the safety margin of the distance between two bicycle riders passing each other is ignored, the width of a two-way bikeway should not be less than 2.00 m.

When a cyclist rides along a horizontal curve and a car moves along the same curve, the forces acting on the bicycle and on the car are related to the same physical quantities. Nevertheless, the way they are balanced is different due to the specificity of bike riding - when the radius of a curve allows it, a bicycle rider, in order to maintain stable movement of the bike, must tilt towards the center of the curve. If at the same time, on the same horizontal curve a different cyclist rides at a much lower speed and does not tilt (or tilts at a much smaller angle), then both riders can run into each other (Fig. 1). Such a situation can prove dangerous (also in the case of collision between a pedestrian and a bicycle rider, if the cycleway runs adjacently to a pedestrian path) and an accident can occur. Therefore, a safe solution requires widening of each bikeway on horizontal curves.

Na drogach dla rowerów, na łukach w planie nie stosuje się przechylek. Swobodę pochylania się rowerzysty na łuku ograniczają pedały roweru. Uniemożliwiają one pochylenie pojazdu pod kątem większym niż 15-20° [23]. Kąt nachylenia roweru przy danej prędkości i określonym promieniu skrętu można wyliczyć z następującego równania [23]:

$$\theta = \text{ctg} \frac{0,0079 V_{bds}^2}{R}, \quad (1)$$

gdzie:

$V_{bds}$  – prędkość do projektowania dla rowerów [km/h],

$R$  – promień łuku w planie [m],

$\theta$  – kąt nachylenia rowerzysty [°].

Poszerzenie na łuku  $e$ , zgodnie z oznaczeniem przedstawionym na Rys. 2, może zostać wyliczone ze wzoru:

$$e = h \sin \left( \text{ctg} \frac{0,0079 V_{bds}^2}{R} \right) - a + a \cos \left( \text{ctg} \frac{0,0079 V_{bds}^2}{R} \right), \quad (2)$$

gdzie

$V_{bds}$  – prędkość do projektowania dla rowerów [km/h],

$R$  – promień łuku w planie [m],

$h$  – wysokość skrajni rowerowej [m],

$a$  – połowa szerokości przestrzeni zajmowanej przez rowerzystę w ruchu [m].

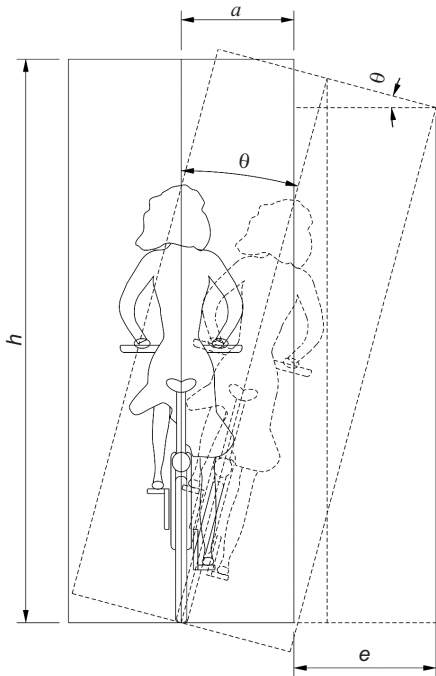


Fig. 2. Outline of the space used by a bicycle rider on a horizontal curve

Rys. 2. Krawędzie przestrzeni zajętej przez pojedynczego rowerzystę na łuku poziomym

No transverse superelevations are applied on bikeway horizontal curves. The ease with which a bicycle rider may incline on a curve is restricted by bicycle pedals. They prevent greater maximum tilt of the bicycle than 15° to 20° [23]. The inclination angle at a set speed and for a determined radius can be calculated according to the following formula [23]:

$$\theta = \text{ctg} \frac{0,0079 V_{bds}^2}{R}, \quad (1)$$

where:

$V_{bds}$  – bicycle design speed [km/h],

$R$  – horizontal curve radius [m],

$\theta$  – bicycle rider inclination angle [°].

The curve widening  $e$ , as indicated in Fig. 2, can be calculated according to the following formula:

$$e = h \sin \left( \text{ctg} \frac{0,0079 V_{bds}^2}{R} \right) - a + a \cos \left( \text{ctg} \frac{0,0079 V_{bds}^2}{R} \right), \quad (2)$$

where:

$V_{bds}$  – bicycle design speed [km/h],

$R$  – horizontal curve radius [m],

$h$  – bicycle traffic clearance height [m],

$a$  – half of the width of the outline of a bicycle rider in motion [m].

Therefore, the widening of a horizontal curve depends on the dimensions of the space in which a bicycle rider moves along a straight segment ( $a$  and  $h$ ), curve radius and design speed observed on a given bikeway. It should be remembered, however, that  $\theta$  is an angle less than 20°, which means that when the radius is small, bicycle riders who want to keep balance would have to reduce their speed. If a standard bicycle route is to provide bicycle riders with the possibility of maintaining a similar speed along its length (both on straight segments and on horizontal curves), then curve radiuses should be adequately designed (increased). It is not justified to apply widening  $e$  of more than 0.80 m, as in such a case, according to formula (2), a bicycle rider would have to tilt at an angle greater than 20° to make full use of the widening, which is practically excluded by the risk of pedals hitting the surface.

Considering the above conditions and formula (2), it is possible to determine the widening of bicycle routes on horizontal curves using nomograms (Fig. 3). It is recommended to adopt fixed assumptions with respect to the space of 1.0 m × 2.5 m occupied by a single bicycle rider.

Poszerzenie na łuku w planie jest zatem uzależnione od wymiarów przestrzeni zajmowanej przez rowerzystę poruszającego się po prostym odcinku ( $a$  oraz  $h$ ), promienia łuku i prędkości do projektowania obowiązującej na danej drodze dla rowerów. Należy jednak mieć na uwadze, że  $\theta$  to kąt nieprzekraczający  $20^\circ$ , a zatem przy małych promieniach łuku rowerzysta chcąc utrzymać stabilność ruchu musiałby ograniczyć swoją prędkość. Jeśli standard trasy dla rowerów ma zapewnić rowerzystom utrzymanie podobnej prędkości na całej jej długości (na odcinkach prostych i na łukach), to należy odpowiednio dobierać (zwiększać) promienie łuków w planie. Nie jest uzasadnione stosowanie poszerzenia  $e$  większego niż 0,80 m, ponieważ w takim wypadku zgodnie z wzorem (2) rowerzysta chcący w pełni wykorzystać dostępne poszerzenie musiałby pochylić się pod kątem większym niż  $20^\circ$  – a taka ewentualność jest w praktyce wykluczona ze względu na ryzyko uderzenia pedałami w nawierzchnię.

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania oraz wzór (2), możliwe jest określenie poszerzeń tras dla rowerów na łukach poziomych z zastosowaniem nomogramów (Rys. 3). Zalecane jest przyjęcie stałych założeń dotyczących przestrzeni  $1,0 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$  zajmowanej przez pojedynczego rowerzystę w przekroju poprzecznym. Nie zaleca się wprowadzania poszerzeń mniejszych od 0,20 m, ponieważ tak małe wartości nie mają znaczącego wpływu na zmianę ryzyka kolizji.

Jak wynika z Tabl. 3, najwyższe wartości poszerzenia powinny być wprowadzane na łukach o najniższych dopuszczalnych promieniach. Nie jest wskazane stosowanie poszerzeń na odcinkach trasy, na których obowiązuje prędkość do projektowania 12 km/h, jako że odcinki te mają z zasady wyjątkowy charakter – np. są zlokalizowane w pobliżu skrzyżowań z ograniczeniami przestrzennymi. W takich przypadkach należy założyć, że niska prędkość rowerzystów zapewnia im lepszą percepcję otoczenia i umożliwia uniknięcie ewentualnych wypadków.

Nomogram (Rys. 3) przedstawia związek między poszczególnymi prędkościami do projektowania i promieniami a potrzebnym poszerzeniem. Ponieważ  $e$  odnosi się do jednego rowerzysty, w przypadku dwukierunkowych tras dla rowerów poszerzenie  $e$  powinno być wprowadzone dla obu kierunków (Rys. 4). Dla kierunku poruszającego się po zewnętrznej stronie łuku wprowadzone poszerzenie powinno znaleźć się w obrębie nawierzchni drogi dla rowerów (co w rezultacie prowadzi do fizycznego poszerzenia tejże nawierzchni). Po wewnętrznej stronie  $e$  powinno być wykonane w ramach skrajni, co wymaga jej poszerzenia na łuku. W przypadku gdy po wewnętrznej stronie łuku w planie droga dla rowerów jest ograniczona krawężnikiem lub innym elementem o wysokości większej niż 5 cm w stosunku do nawierzchni, poszerzenie

It is not recommended to apply widening of less than 0.20 m, as such small values would not significantly alter the risk of collision.

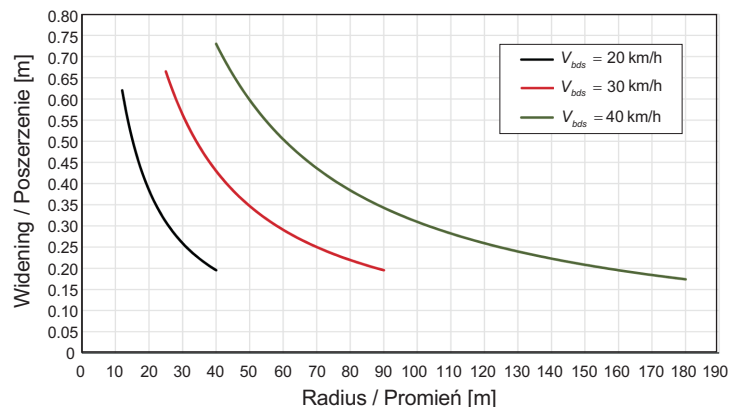


Fig. 3. Nomograms for determination of widening on horizontal curves depending on the radiuses of those curves and the bicycle design speed

Rys. 3. Nomogramy do wyznaczania poszerzenia na łukach poziomych w zależności od promieni łuków oraz prędkości do projektowania dla rowerów

As shown in Table 3, the highest widening values should be applied for the minimum acceptable curve radiuses. It is not recommended to apply widening on route sections where the design speed is 12 km/h, because those sections generally have a special character – e.g. they are located close to crossroads with terrain limitations. In such cases it should be assumed that the low speed of bicycle riders ensures their better perception of the surroundings and makes it possible for them to avoid accidents.

Table 3. Maximum widening of horizontal curves, values rounded to 0.05 m

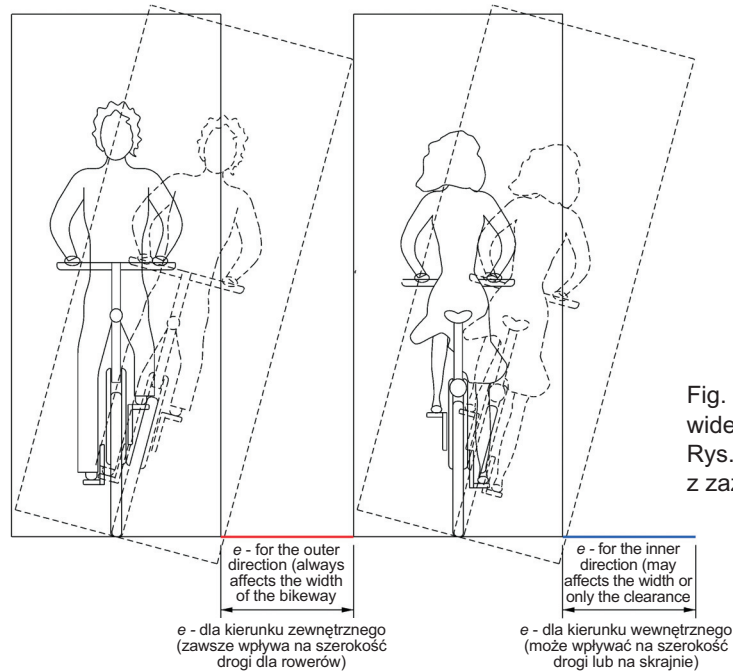
Tablica 3. Maksymalne poszerzenie na łuku poziomym, wartości zaokrąglone do 0,05 m

| Bicycle design speed<br>Prędkość do projektowania<br>dla rowerów<br>[km/h] | Minimum horizontal<br>curve radius<br>Minimalny promień<br>łuku poziomego<br>[m] | Widening value<br>Wartość<br>poszerzenia<br>[m] |
|--|--|---|
| 20   | 12   | 0.60  |
| 30   | 25   | 0.65  |
| 40   | 40   | 0.75  |

The nomogram (Fig. 3) illustrates a relationship between specific design speeds and radiuses for which a widening is needed. Since  $e$  relates to a single cyclist, if the cycle route is two-way, then the  $e$  widening should be introduced for both directions (Fig. 4). For the direction traveling



po wewnętrznej stronie łuku powinno być wykonane w granicach szerokości drogi dla rowerów, jak w przypadku strony zewnętrznej. Oznacza to, że w takim wypadku szerokość drogi dla rowerów może zostać zwiększona o dwukrotność obliczonej wartości  $e$ . Z praktycznego punktu widzenia wysokie krawężniki ( $> 5$  cm) nie są zalecane po wewnętrznej stronie łuku, ponieważ pedały roweru mogą o nie uderzyć.



along the outer side of the curve the introduced widening should lie within the limits of the bikeway pavement (resulting in an increase in physical width of the pavement). On the inner side it should lie within the clearance (not necessarily over the pavement itself), which requires the clearance on the curve to be extended, but in some cases may not affect the width of the bikeway. However, if on the inner side of the horizontal curve the bikeway is limited by a curb or any other element higher than 5 cm in relation to the surface, the widening on the inner side of the curve should also consist in an increase in the width of the bikeway (and not only in an extension of the clearance), just like it does for the outer side. It means that in such a case the width of the bikeway must be increased by twice the calculated widening  $e$ . Practically speaking, high curbs ( $> 5$  cm) are not recommended on the internal side of the curve, because bicycle pedals can hit their edges.

Fig. 4. Outlines of the spaces occupied by bicycle riders with widening marked  
Rys. 4. Krawędzie przestrzeni zajmowanej przez rowerzystów z zaznaczonym poszerzeniem

Wartości przedstawione w Tabl. 3 odnoszą się do dróg dla rowerów o minimalnych szerokościach – to jest od 2,00 m do 2,20 m. Jeśli szerokość drogi dla rowerów mieści się w przedziale od 2,20 m do 3,20 m, wówczas poszerzenie powinno być obliczone według wzoru (3). Gdy szerokość drogi dla rowerów przekracza 3,20 m, nie ma potrzeby wprowadzania poszerzenia:

$$e' = e - (L - 2,20) / 2, \quad (3)$$

gdzie:

$e'$  – poszerzenie drogi dla rowerów o pierwotnej szerokości 2,20-3,20 m [m],

$e$  – poszerzenie wyliczone na podstawie wzoru (2) [m],

$L$  – szerokość drogi dla rowerów [m].

W przypadku szerokich dróg dla rowerów o wysokich parametrach projektowych na których za pomocą oznakowania poziomego wprowadzono podział na pasy ruchu, każdy pas powinien zostać poszerzony osobno, a przejście od pierwotnej szerokości do odcinka poszerzonego powinno być płynne. Pełna wartość poszerzenia powinna zostać osiągnięta na początku łuku poziomego.

The values provided in Table 3 apply to bikeways with minimum widths – that is from 2.00 m to 2.20 m. If the width of the bikeway is from 2.20 m to 3.20 m, then the widening should be calculated according to the formula (3). If the width of the bikeway exceeds 3.20 m, then there is no need for any widening:

$$e' = e - (L - 2.20) / 2, \quad (3)$$

where:

$e'$  – widening of the bikeway 2.20-3.20 m [m] wide,

$e$  – widening calculated according to the formula (2) [m],

$L$  – width of the bikeway [m].

In the case of wide bikeways with high design parameters and with lanes identified horizontally, each lane should be widened separately and the widening transition should be smooth. The full widening value should be achieved at the beginning of the horizontal curve.

## 5. WIDOCZNOŚĆ

Sposób rozwiązania miejsc potencjalnych konfliktów rowerzystów z innymi użytkownikami dróg ma podstawowe znaczenie dla bezpieczeństwa i sprawności ruchu. Wpływa na wzrost lub spadek ryzyka wystąpienia zdarzeń drogowych i decyduje o komforcie korzystania z trasy dla rowerów, w tym o osiąganych prędkościach jazdy. W ramach projektowania infrastruktury przeznaczonej do ruchu rowerów należy dążyć do minimalizacji liczby zatrzymań, aby zapobiec zbędnym opóźnieniom i zredukować straty energii wywołane koniecznością przyspieszania. Bezpieczeństwo na skrzyżowaniach, przejazdach dla rowerzystów oraz we wszystkich miejscach, gdzie drogi dla rowerów przecinają się z kierunkami ruchu innych pojazdów i pieszych, wymaga odpowiedniej widoczności. Oznacza to, że żadne przeszkody nie powinny ograniczać pola widzenia użytkowników drogi, między którymi może dojść do potencjalnej kolizji. Pole widoczności wyznacza się za pomocą tzw. trójkątów widoczności. W przypadku przejazdów dla rowerzystów trójkąty widoczności (Rys. 5) powinny być wyznaczone w oparciu o dwie odległości: roweru od krawędzi jezdni  $L_d$  oraz celu obserwacji rowerzysty od punktu przecięcia się kolizyjnych strumieni ruchu  $L_w$ .

Aby umożliwić rowerzystom przekroczenie punktu kolizji bez zatrzymania,  $L_d$  powinno być co najmniej równe odległości widoczności na zatrzymanie  $S$ . W takim wypadku rowerzyści mogą być pewni, że zdążą zareagować i bezpiecznie zatrzymać swój pojazd przed przeszkodą (np. krawędzią jezdni). Odległość ta zależy od czasu decyzji, na który składa się czas obserwacji i reakcji danego rowerzysty (ogólnie można przyjąć 2,5 sekundy) oraz od długości hamowania, zależnej od prędkości, nachylenia podłużnego i szorstkości nawierzchni. Powinna być ona wyznaczana z następującego wzoru [15]:

$$S = \frac{V_{bds}^2}{254 (f \pm G)} + \frac{V_{bds}}{1,4}, \quad (4)$$

gdzie:

$S$  – odległość widoczności na zatrzymanie [m],

$V_{bds}$  – prędkość do projektowania dla rowerów [km/h],

$f$  – współczynnik tarcia [-],

$G$  – pochylenie podłużne drogi dla rowerów [m/m].

Istotne jest ostrożne przyjmowanie współczynnika tarcia, biorąc pod uwagę, że nawierzchnia może być mokra.

Im wyższa prędkość rowerów, tym większa odległość widoczności na zatrzymanie (Tabl. 4) oraz, co za tym idzie, tym wyższe wymagania dotyczące bezpieczeństwa. Zapewnić należy wówczas większe trójkąty widoczności wolne od

## 5. VISIBILITY

The arrangement of locations where possible conflicts can occur between bicycle riders and other road users is of vital importance to traffic safety and efficiency. It either increases or reduces the risk of road accidents and is decisive for comfortable use of any cycle route, including the speeds reached by cyclists. During the design of bicycle traffic infrastructure it is necessary to strive for minimization of the number of stops to prevent redundant delays and reduce energy loss provoked by the need to accelerate. Safety on crossroads, bicycle crossings and any locations where bikeways cross the trajectories of other vehicles and pedestrians requires appropriate visibility. It means that no obstacles should restrict the field of vision of potentially conflicting road users, delineated by the so-called sight triangles. In the case of crossings for bicycle users sight triangles (Fig. 5) should be delineated based on two lengths: the distance of the bicycle from the roadway edge  $L_d$  and the distance of the potentially conflicting road user that may be sighted by the bicycle rider from the intersection of the colliding traffic flows  $L_w$ .

In order to enable bicycle riders to pass the collision point without stopping,  $L_d$  should be at least equivalent to the stopping sight distance  $S$ . In such a case, bicycle riders can be sure that they will be able to react and stop their bicycles safely before the obstacle (e.g. road edge). This distance depends on the decision-making time which represents the time of observation and response of the respective cyclist (generally it may be assumed as 2.5 seconds) and the braking distance which depends on speed, longitudinal grade and coarseness of the surface. It should be calculated according to the following formula [15]:

$$S = \frac{V_{bds}^2}{254 (f \pm G)} + \frac{V_{bds}}{1.4}, \quad (4)$$

where:

$S$  – stopping sight distance [m],

$V_{bds}$  – bicycle design speed [km/h],

$f$  – coefficient of friction [-],

$G$  – longitudinal grade of the bikeway [m/m].

It is necessary to adopt the coefficient of friction carefully, taking into account that the surface may be wet.

The higher the bicycle design speed, the greater the stopping sight distances (Table 4) and, consequently, the stricter the safety requirements. Therefore, bigger sight triangles, free of any obstacles, should be ensured. For instance, an increase in bicycle design speed from 12 km/h

przeszkód. Na przykład wzrost prędkości do projektowania dla rowerów od 12 km/h do 20 km/h prowadzi do podwojenia wymaganej odległości widoczności na zatrzymanie, zaś wzrost do 30 km/h prowadzi do potrojenia tej odległości. Wpływ nachylenia podłużnego jest niemal tak samo ważny. Różnica między odległością widoczności na zatrzymanie określoną na płaskim odcinku a określoną przy największym pochyleniu (12%) jest niemal dwukrotna.

to 20 km/h doubles the required stopping sight distance and its increase to 30 km/h triples the distance. The impact of the longitudinal grade is almost equally important. The difference between the stopping sight distance determined on a flat surface and when the grade is the highest (12%) is almost twofold.

Table 4. Examples of stopping sight distances [m] on a bikeway if  $f = 0.16$

Tablica 4. Przykładowe odległości widoczności na zatrzymanie [m] na drodze dla rowerów przy  $f = 0,16$

| $V_{bds}$<br>[km/h] | Stopping sight distance / Odległość widoczności na zatrzymanie [m] |       |       |       |      |  |      |      |      |  |
|---------------------|--|-------|-------|-------|------|--|------|------|------|--|
|                     | downhill grade / pochylenie podłużne (zjazd)                       |       |       |       |      | uphill grade / pochylenie podłużne (podjazd) |      |      |      |  |
|                     | -0.12  | -0.06 | -0.04 | -0.02 | 0.00 | 0.02   | 0.04 | 0.06 | 0.12 |  |
| 12                  | 23   | 14    | 13    | 13    | 12   | 12   | 11   | 11   | 11   |  |
| 20                  | 54   | 30    | 27    | 26    | 24   | 23   | 22   | 21   | 20   |  |
| 30                  | 110  | 57    | 51    | 47    | 44   | 41   | 39   | 38   | 34   |  |
| 40                  | 186  | 92    | 81    | 74    | 68   | 64   | 60   | 57   | 51   |  |

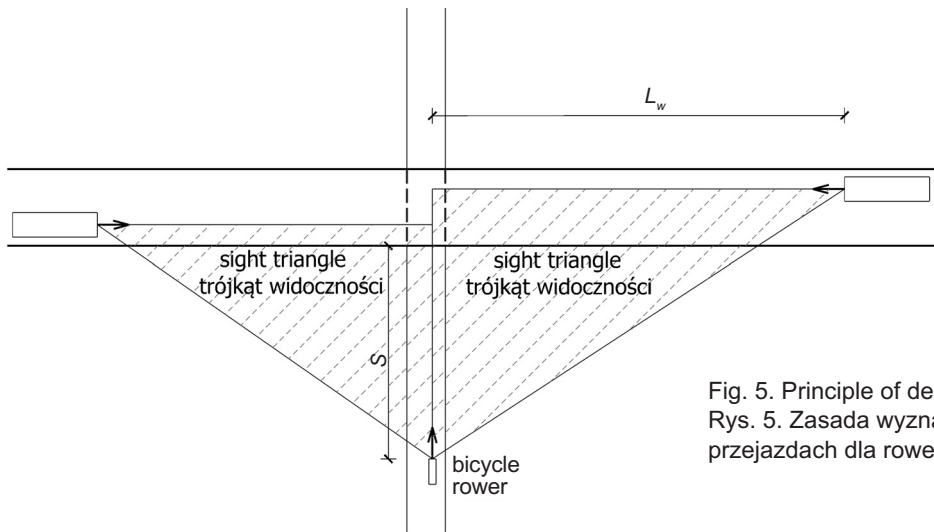


Fig. 5. Principle of delineating sight triangles at cycle crossings  
Rys. 5. Zasada wyznaczania trójkątów widoczności na przejazdach dla rowerzystów

Zapewnienie dostatecznego pola widoczności zapewnia rowerzystom możliwość płynnego przejazdu, bez zatrzymywania się, o ile na kierunku nadrzędnym nie ma innych pojazdów. Jeśli są należy zakładać, że rowerzysta będzie musiał się zatrzymać ustępując pierwszeństwa. Wówczas niezbędne jest zapewnienie minimalnej widoczności (trójkątów widoczności) wyznaczonych przy założeniu, że wartość  $L_d$  wynosi 2,0 m w przypadku przecinania drogi na której prędkość dopuszczalna na jezdni jest  $< 60$  km/h i 4,0 m w przypadku wyższych prędkości. Wyznaczenie minimalnej widoczności obowiązuje także wtedy gdy nie jest możliwe, na przykład ze względu na ograniczenia terenowe, wyznaczenie pełnych trójkątów widoczności. Wybrane wartości  $L_d$  są przedstawione w Tabl. 5.

When provided with unobstructed view of the crossing, bicycle riders can ride smoothly, without stopping, unless there are other vehicles driving in the priority direction. If there are such vehicles, it must be assumed that the bicycle rider will have to stop and give way. In such a case, it is required to ensure minimum sight (sight triangles) delineated assuming that  $L_d$  is 2.0 m for crossing a road where the speed limit is  $< 60$  km/h and 4.0 m in the case of higher speeds. Determination of minimum sight applies also when it is impossible, for instance due to terrain restrictions, to delineate full sight triangles. Selected  $L_d$  values are presented in Table 5.

Table 5. Distance  $L_d$  [m] depending on the speed limit on the road and bicycle design speed  $V_{bds}$   
 Tablica 5. Odległość  $L_d$  [m] w zależności od dopuszczalnej prędkości na drodze oraz prędkości do projektowania dla rowerów  $V_{bds}$

| Speed limit on the road [km/h]<br>Dopuszczalna prędkość na drodze   | < 60  | 60    | 70   |
|---|-------|-------|------|
| When bicycle traffic stops<br>Kiedy dochodzi do zatrzymania ruchu rowerowego  | 2.00  | 4.00  | 4.00 |
| $V_{bds} = 12$ km/h and the longitudinal grade for bicycles is 0%<br>$V_{bds} = 12$ km/h przy pochyleniu podłużnym dla rowerów 0% | 12.00 | 12.00 | –    |
| $V_{bds} = 12$ km/h and the longitudinal grade for bicycles is 6%<br>$V_{bds} = 12$ km/h przy pochyleniu podłużnym dla rowerów 6% | 14.00 | 14.00 | –    |
| $V_{bds} = 20$ km/h and the longitudinal grade for bicycles is 0%<br>$V_{bds} = 20$ km/h przy pochyleniu podłużnym dla rowerów 0% | 24.00 | 24.00 | –    |
| $V_{bds} = 20$ km/h and the longitudinal grade for bicycles is 6%<br>$V_{bds} = 20$ km/h przy pochyleniu podłużnym dla rowerów 6% | 30.00 | 30.00 | –    |

Podobnie postępuje się wyznaczając wartości  $L_w$ . Chcąc zapewnić rowerzystom przejazd przez punkt kolizji bez zatrzymania, do wyznaczenia  $L_w$  stosuje się wzór (5), który przy założeniu określonej prędkości do projektowania na trasie dla rowerów uzależnia odległość celu obserwacji od długości przejazdu, prędkości na drodze poprzecznej i odległości widoczności na zatrzymanie.

$$L_w = 0,278 V_{dop} \left( \frac{S + W + L_R}{0,278 V_{dop}} \right), \quad (5)$$

gdzie:

- $S$  – odległość widoczności na zatrzymanie [m],
- $W$  – długość przejazdu dla rowerzystów [m],
- $L_R$  – długość roweru [m], zakłada się 1,8 m,
- $V_{bds}$  – prędkość do projektowania przyjęta na drodze dla rowerów w pobliżu punktu kolizji (stała na całym analizowanym odcinku) [km/h],
- $V_{dop}$  – prędkość dopuszczalna na drodze (dla samochodów) [km/h].

Jeśli rowerzysta zatrzyma się przed jezdnią lub jeśli niemożliwe jest zapewnienie pełnego obszaru widoczności, wartość  $L_w$  powinna być wyliczona według wzoru (6):

$$L_w = 0,278 V_{dop} \cdot t, \quad (6)$$

gdzie:

- $t$  – czas, którego rowerzysta potrzebuje na minięcie punktu kolizji (przejazd od punktu zatrzymania do bezpiecznego obszaru po drugiej stronie jezdni) [s],
- $V_{dop}$  – prędkość dopuszczalna na drodze z pierwszeństwem przejazdu [km/h].

The  $L_w$  values are determined similarly. To enable bicycle riders to pass the collision point without stopping,  $L_w$  is calculated according to the formula (5), which, if we assume a determined design speed on a bikeway, makes the sight distance dependent on the length of the crossing, speed on the transverse road and stopping sight distance:

$$L_w = 0.278 V_{dop} \left( \frac{S + W + L_R}{0.278 V_{dop}} \right), \quad (5)$$

where:

- $S$  – stopping sight distance [m],,
- $W$  – length of the bicycle crossing [m],
- $L_R$  – length of the bicycle [m], 1.8 m is assumed,
- $V_{bds}$  – bicycle design speed adopted in the vicinity of the collision point (the same along the entire analyzed section) [km/h],
- $V_{dop}$  – speed limit on the road (for cars) [km/h].

If the bicycle rider stops or when it becomes impossible to ensure a full field of vision,  $L_w$  value should be calculated according to the following formula (6):

$$L_w = 0.278 V_{dop} \cdot t, \quad (6)$$

where:

- $t$  – time needed by the bicycle rider to go past the collision point (from the stopping point to the safe area located outside of the roadway) [s],
- $V_{dop}$  – speed limit on the road at the priority direction [km/h].

Oszacowanie czasu potrzebnego rowerzyście na przekroczenie jezdni może okazać się problematyczne. Ze względów bezpieczeństwa nie zaleca się, żeby przejazd dla rowerzystów był dłuższy niż trzy pasy ruchu. Stąd przyjmując, że przejazdy są stosunkowo krótkie, rowerzyści na przejeździe w zasadzie poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym. Oznacza to, że czas jaki potrzebują na pokonanie przejazdu można określić wzorem (7):

$$t = \sqrt{\frac{2d}{a}}, \quad (7)$$

gdzie:

- $t$  – czas, którego rowerzysta potrzebuje na minięcie punktu kolizji (przejazd od punktu zatrzymania do bezpiecznego obszaru po drugiej stronie jezdni) [s],
- $a$  – przyspieszenie rowerzysty [ $\text{m/s}^2$ ],
- $d$  – suma długości przejazdu, długości roweru oraz odległości  $L_d$  [m].

Wyliczenie zmiennej  $d$  nie przysparza większych trudności, natomiast określenie przyspieszenia rowerzysty wymaga założenia pewnych uproszczeń. Wartości przyspieszenia są bardzo zróżnicowane, co wynika z niejednorodności ruchu rowerowego związanej z różną sprawnością rowerzystów czy odmienną konstrukcją samych rowerów. Zasadniczo przyspieszenia wahają się w zakresie od  $0,5 \text{ m/s}^2$  do  $1,5 \text{ m/s}^2$  wg [15] lub od  $0,8 \text{ m/s}^2$  do  $1,2 \text{ m/s}^2$  wg [16]. Przyjmując wartość średnią z tych zakresów, uzasadnione jest założenie na potrzeby obliczeń przyspieszenia  $1,0 \text{ m/s}^2$ . W tym wypadku czas obserwacji jest uwzględniony poprzez włączenie odległości  $L_d$  do wartości  $d$ , odzwierciedlającej całkowitą drogę, którą rowerzysta musi pokonać, aby przekroczyć punkt kolizji.

Jak wynika z Tabl. 6, największy wpływ na wartość  $L_w$  ma prędkość dopuszczalna na drodze. Im wyższa prędkość, tym większa długość odcinka  $L_w$ . Przy prędkości dopuszczalnej  $60 \text{ km/h}$  na drodze z pierwszeństwem  $L_w$  wynosi około  $100 \text{ m}$ . Między innymi z tego powodu nie zaleca się projektowania przejazdów dla rowerzystów w poziomie terenu bez sygnalizacji świetlnej w sytuacji gdy prędkość dopuszczalna na drodze przekracza  $60 \text{ km/h}$ . Nie jest więc zalecane projektowanie przejazdów dla rowerzystów na jednym poziomie z nawierzchnią drogi bez sygnalizacji świetlnej, jeśli dopuszczalna prędkość na drodze przekracza  $60 \text{ km/h}$ . Zapewnienie w takich warunkach trójkątów widoczności jest trudne do osiągnięcia.

Nie zaleca się również doprowadzania do zbyt dużych prędkości na przejazdach dla rowerzystów. Kiedy przejazd jest zlokalizowany w pobliżu odcinka drogi dla rowerów o wysokim

It is difficult to estimate how much time a bicycle rider needs to go past the collision point. For safety reasons it is not recommended to design bicycle crossings longer than three road lanes. Therefore, assuming that crossings are short enough, bicycle riders basically move with uniform acceleration. It means that the time needed to cross the roadway can be calculated according to the formula (7):

$$t = \sqrt{\frac{2d}{a}}, \quad (7)$$

where:

- $t$  – time that the bicycle rider needs to go past the collision point (from the stopping point to the safe area located outside of the roadway) [s],
- $a$  – acceleration of the bicycle rider [ $\text{m/s}^2$ ],
- $d$  – total sum of the length of the crossing, length of the bicycle and  $L_d$  [m].

The variable  $d$  is relatively easy to calculate, but the determination of the bicycle rider's acceleration requires the adoption of simplifying assumptions. Acceleration values are very diverse and result from heterogeneity of the bicycle traffic, which is associated with effectiveness of bicycle riders or structure of bicycles themselves. Basically, accelerations vary from  $0.5 \text{ m/s}^2$  to  $1.5 \text{ m/s}^2$  in [15] or from  $0.8 \text{ m/s}^2$  to  $1.2 \text{ m/s}^2$  in [16]. While adopting an average value from the aforementioned ranges, it is justified to adopt  $1.0 \text{ m/s}^2$  for calculation purposes. In this case, the observation time is taken into account through inclusion of  $L_d$  in the length  $d$ , which corresponds to the total way a bicycle rider must travel to go past the collision point.

Table 6 demonstrates that the factor with the most pronounced impact on  $L_w$  is the speed limit on the road. The higher the speed, the longer the  $L_w$  segment should be. At  $60 \text{ km/h}$  on the priority road,  $L_w$  is about  $100 \text{ m}$ . It is one of the reasons for which it should not be assumed that bicycle riders will go past collision points without stopping themselves when the acceptable speed of the priority traffic flow exceeds  $60 \text{ km/h}$ . As a result, it is not recommended to design at-grade bicycle crossings without traffic lights whenever the speed limit on the road exceeds  $60 \text{ km/h}$ . In such conditions it is difficult to ensure unobstructed sight triangles.

It is also not recommended to allow excessive bicycle speeds on crossings. When the crossing is located in the vicinity of a section of the bikeway with high downhill grade, cycle traffic attenuation elements must be considered to reduce bicycle speed to  $20 \text{ km/h}$ . If such a reduction

nachyleniu podłużnym, należy rozważyć wprowadzenie elementów uspokojenia ruchu rowerowego celem zredukowania prędkości rowerów do 20 km/h. Jeśli takie ograniczenie prędkości nie jest możliwe, należy rozważyć inne rozwiązania – np. zastosowanie sygnalizacji świetlnej, zapobiegającej kolizjom między dwoma potokami ruchu.

Table 6. Distance  $L_w$  [m] depending on the speed limit on the road, assuming that the length of the crossing for bicycle riders is 9 m

Tablica 6. Odległość  $L_w$  [m] w zależności od dopuszczalnej prędkości na drodze przy założeniu, że długość przejazdu dla rowerzystów wynosi 9 m

| Speed limit on the road [km/h]<br>Dopuszczalna prędkość na drodze  | 20 | 30 | 40 | 50  | 60  | 70  |
|--|----|----|----|-----|-----|-----|
| When bicycle traffic stops<br>Kiedy dochodzi do zatrzymania ruchu rowerowego   | 28 | 42 | 56 | 70  | 91  | 106 |
| When the bicycle rider does not have to stop and the longitudinal grade of the bikeway is 0%<br>Kiedy rowerzysta nie musi się zatrzymywać, a pochylenie podłużne drogi dla rowerów wynosi 0%   | 35 | 52 | 70 | 87  | 104 | –   |
| When the bicycle rider does not have to stop and the longitudinal grade of the inclined section of the bikeway is 6%<br>Kiedy rowerzysta nie musi się zatrzymywać, a pochylenie podłużne nachylonego odcinka drogi dla rowerów wynosi 6% | 41 | 62 | 83 | 103 | 125 | –   |

## 6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Prawodawcy odpowiedzialni za przepisy dotyczące planowania i projektowania infrastruktury przeznaczonej do ruchu rowerów powinni brać pod uwagę wszystkie zagadnienia związane z bezpieczeństwem ruchu. Wymaga to wprowadzenia prędkości do projektowania powiązanej z wymaganiami dotyczącymi granicznych wartości parametrów geometrycznych tras dla rowerów. Takie podejście umożliwi zapewnienie jednolitego standardu dotyczącego infrastruktury i pozwoli rowerzystom utrzymać równomierną prędkość bez względu na to, czy poruszają się po prostej czy po łuku w planie. Do tej pory przy projektowaniu łuków w planie na drogach dla rowerów skupiano się głównie na określeniu wartości promienia łuku, a poszerzenie trasy dla rowerów, istotne z uwagi na pochylenie rowerzysty, najczęściej pomijano. Takie podejście stwarzało mylne przeświadczenie o zapewnieniu rowerzystom warunków do utrzymania prędkości na łuku i powodowało nie tylko trudność w utrzymaniu stałej prędkości ruchu ale również stwarzało poważne zagrożenia dla bezpieczeństwa rowerzystów.

Kolejnym czynnikiem który wpływa na płynność ruchu rowerów, jak również poprawia bezpieczeństwo jest widoczność na trasach dla rowerów co najmniej umożliwiająca zatrzymanie się przed przeszkodą a w miarę możliwości płynny przejazd, bez niepotrzebnego zatrzymywania się. Dotyczy to

is impossible, another solution must be sought – e.g. installation of traffic lights to avoid collisions between both traffic flows.

## 6. SUMMARY AND CONCLUSIONS

Legislators responsible for regulations on cycling infrastructure planning and design should consider all the traffic safety issues. It requires introduction of design speeds associated with requirements on threshold values of geometric parameters of bicycle routes. Such approach will make it possible to ensure a uniform infrastructural standard and provide bicycle users with the possibility to maintain stable speed, regardless of whether they go along a straight segment of the bikeway or along its curve. With regard to the design of horizontal curves on bikeways, the designers have focused so far on determining the radius of such a curve, while widening of the track, which is important due to the bicycle tilt, has been ignored for the most part. Such approach resulted in a false assumption that bicycle riders have appropriate conditions to maintain their riding speed when entering a curve. Such method of bikeway curve design made it difficult not only to keep a stable riding speed, but also generated serious threats to the safety of cyclists.

Another factor which affects bicycle traffic fluency and improves its safety is visibility on bikeways which enables cyclists to stop in front of an obstacle in time, and, if possible, ride without stopping. It applies mostly to roadway, tramway or railway track crossings, and to those locations

zwłaszcza przejazdów dla rowerzystów przez jezdnię, torowisko tramwajowe lub tory kolejowe, miejsc krzyżowania się ruchu rowerów z ruchem pieszych, a także krzyżowania się tras dla rowerów. Zapewnienie trójkątów widoczności na przejazdach dla rowerzystów zwiększa szansę rowerzystom na jazdę bez potrzeby zatrzymywania się, w sytuacji gdy na kierunkach nadrzędnych nie ma innych pojazdów.

## INFORMACJE DODATKOWE

Niniejszy artykuł został zaprezentowany w ramach XIII Międzynarodowej Konferencji Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego GAMBIT 2020, dofinansowanej z programu „Doskonała Nauka” Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] *Brzeziński A., Jesionkiewicz-Niedzińska K.M.*: Travel models for corridors of metropolitan areas served by railways. *Archives of Civil Engineering*, **62**, 4, 2016, 3-15, DOI: 10.1515/ace-2015-0094
- [2] *Cafiso S., D'agostino C., Kieć M., Pappalardo G.*: Surrogate measure of safety from road inspection data – experimental test on Polish roads. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, **16**, 2, 2017, 115-130, DOI: 10.7409/rabdim.017.008
- [3] Konwencja o ruchu drogowym. Protokół w sprawie znaków i sygnałów drogowych oraz Akt końcowy, Genewa 1949
- [4] Konwencja o ruchu drogowym. Wiedeń 1968
- [5] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym. Dz.U. z 2018 r. poz. 1990, z późn. zm.
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach. Dz.U. 2003 nr 220 poz. 2181
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury oraz Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 31 lipca 2002 r. w sprawie znaków i sygnałów drogowych. Dz.U. 2002 nr 170 poz. 1393
- [8] Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych. Dz.U. 1985 nr 14 poz. 60
- [9] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane. Dz.U. 1994 nr 89 poz. 414
- [10] Ustawa z dnia 10 kwietnia 2003 r. o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie dróg publicznych. Dz.U. 2003 nr 80 poz. 721
- [11] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz.U. 1999 nr 43 poz. 430
- [12] Standardy projektowe i wykonawcze dla systemu rowerowego w m. st. Warszawie. Załącznik do Zarządzenia nr 5523/2010 Prezydenta m. st. Warszawy z 18.11.2010 r. Urząd Miasta Stołecznego Warszawy, Biuro Drogownictwa i Komunikacji, Warszawa 2010

where bicycle traffic crosses pedestrian or bicycle traffic flows. Unobstructed sight triangles on crossings for bicycles increase the likelihood of bicycle users riding fluently without stopping, provided that there are no other vehicles on priority ways.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The paper has been presented on 13<sup>th</sup> International Road Safety Conference GAMBIT 2020 co-funded by the Science Excellence program of the Ministry of Science and Higher Education.

- [13] Standardy projektowe i wykonawcze dla infrastruktury rowerowej dla Województwa Dolnośląskiego. Załącznik do Uchwały Nr 4710/V/17 Zarządu Województwa Dolnośląskiego z dnia 28 grudnia 2017 r. Instytut Rozwoju Terytorialnego, Wrocław 2017
- [14] Wytyczne do planowania, projektowania i utrzymania dróg rowerowych w Łodzi. Załącznik do uchwały Rady miejskiej w Łodzi nr XLI/813/08 z dnia 08.10.2008 r. Urząd Miasta Łodzi, Łódź 2009
- [15] Guide for the Development of Bicycle Facilities, Fourth Edition. AASHTO, 2012
- [16] CROW Design Manual for Bicycle Traffic, Revised edition. CROW & de Groot R., The Netherlands, 2016
- [17] *Sustrans Design Manual*, Principles and processes for cycle friendly design, November 2014, Bristol, UK
- [18] Ontario Traffic Manual, Book 18: Cycling Facilities. Queen's Printer for Ontario, Ontario 2014, Canada
- [19] *Vademecum Fietsvoorzieningen*, Mobicel Vlaanderen, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, April 2017, Belgium, <https://www.mobielvlaanderen.be/vademecums/vademecum-fiets01.php#gsc.tab=0> (24.02.2021)
- [20] London Cycling Design Standards Chapter 4, Transport for London, 2014, <http://content.tfl.gov.uk/lcdis-chapter4-cyclelanesandtracks.pdf> (22.02.2021)
- [21] Qualitätsstandards für Radschnellverbindungen in Baden-Württemberg. Ministerium für Verkehr, Baden-Württemberg, Germany, 2018, [https://www.aktivmobil-bw.de/fileadmin/user\\_upload\\_fahrradlandbw/Downloads/Qualitaetsstandards\\_RSV\\_032018.pdf](https://www.aktivmobil-bw.de/fileadmin/user_upload_fahrradlandbw/Downloads/Qualitaetsstandards_RSV_032018.pdf) (22.02.2021)
- [22] *Parkin J., Rotheram J.*: Design speeds and acceleration characteristics of bicycle traffic for use in planning, design and appraisal. *Transport Policy*, **17**, 5, 2010, 335-341, DOI: 10.1016/j.tranpol.2010.03.001
- [23] Bicycle Facility Design Handbook. Wisconsin Department of Transportation, Wisconsin 2004, <https://wisconsin.gov/Documents/projects/multimodal/bike/facility.pdf> (22.02.2021)