

Wpływ nawierzchni drogi rowerowej na zużycie energii rowerzysty

The effect of bicycle road surface on cycling energy consumption



Czesław Wolek

dr inż.

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Zakład Dróg i Lotnisk

czeslaw.wolek@pwr.edu.pl



Jacek Grosel

dr inż.

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Katedra Mechaniki Budowli i Inżynierii Miejskiej

jacek.grosel@pwr.edu.pl



Sebastian Kowerski

mgr inż.

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Zakład Dróg i Lotnisk

sebastian.kowerski@pwr.edu.pl

Streszczenie: Zalety wykorzystania roweru jako środka transportu do codziennych podróży miejskich powodują wzrost wymagań rowerzystów w zakresie sprawnego i komfortowego przemieszczania się. Jednym z podstawowych elementów pozwalającym, na sprawne dotarcie do wymaganego celu jest odpowiednia infrastruktura rowerowa, w tym rodzaj nawierzchni drogi. Stąd autorzy podjęli problem wpływu rodzaju nawierzchni drogi rowerowej na wydatek energetyczny rowerzysty. W artykule przedstawiono tempo wzrostu natężenia ruchu rowerowego na podstawie pomiarów przeprowadzonych we Wrocławiu. Krótko scharakteryzowano rodzaje nawierzchni dróg rowerowych. Przedstawiono wyniki badań własnych wydatku energetycznego rowerzysty w zależności od wybranego typu nawierzchni. Na podstawie przeprowadzonych analiz wskazano rodzaj nawierzchni pod tym względem najbardziej efektywny oraz różnice względne pomiędzy poszczególnymi typami.

Słowa kluczowe: Ruch rowerowy; Nawierzchnia drogi rowerowej; Wydatek energii rowerzysty

Abstract: The advantages of using a bicycle as a mean of transport for daily urban journeys increase the demands of cyclists for efficient and comfortable mobility. One of the basic elements that allows to reach the required target efficiently is the appropriate bicycle infrastructure, including the type of road surface. Thus, the authors have taken up the problem of the effect of the type of pavement on cyclist's energy expenditure. The article presents the growth rate of bicycle traffic on the basis of measurements carried out in Wrocław. The types of surface of bicycle paths have been briefly described. The results of own research on the energy expenditure of a cyclist depending on the type of pavement were presented. On the basis of the analysis, the most effective type of surface and the relative differences between the different types.

Keywords: Cycling traffic; Surface of the cycling path; Energy expenditure of a cyclist

Rower stanowi istotny element wspomagający systemu zrównoważonego transportu zbiorowego w warunkach miejskich, może być pomocnym w częściowym rozładunku problemów komunikacyjnych w dużych miastach. Komunikacja rowerowa charakteryzuje się nieszkodliwością dla środowiska naturalnego, posiada walory zdrowotne dla użytkowników, generuje niskie koszty inwestycyjne i eksploatacji [4, 6, 23] i w warunkach miejskich jest najszybszym środkiem poruszania się na odległość do 6 km [18]. Stopień wykorzystania roweru jest zależny od dostępności i zakresu infrastruktury rowerowej, którą stanowią: dostępność roweru, (publiczny, prywatny), drogi rowerowe, parkingi rowerowe, samoobsługowe stacje naprawcze dla roweru. Droga rowerowa winna spełniać wymagania odnośnie zapewnienia możliwości sprawnego i komfortowego użytkowania przez rowerzystów.

Przedstawione oczekiwania związane są z małymi oporami toczenia oraz wibracjami przekazywanymi na rowerzystę. Powyższe cechy w znacznym stopniu są zależne od rodzaju i stanu nawierzchni drogi rowerowej. Podstawowym zagadnieniem do rozstrzygnięcia jest odpowiedź na pytanie: w jakim zakresie w sposób bezpieczny ruch rowerowy może funkcjonować we wspólnej przestrzeni z innymi uczestnikami ruchu. Wrocław posiada Koncepcję rozwoju tras rowerowych [10] oraz Standardy projektowe i wykonawcze dla systemu tras rowerowych miasta Wrocławia [27]. Podstawowym założeniem Koncepcji jest osiągnięcie 100 % dostępności głównych źródeł i celów podróży w obszarze miasta z wykorzystaniem roweru oraz przedstawienie zasady hierarchizacji znaczenia dróg rowerowych z podziałem na klasy: główne, zbiorcze, lokalne i rekreacyjne. Standardy projektowe i wyko-

nawcze zawierają ogólne wytyczne jakie winny spełniać elementy infrastruktury rowerowej i uwzględniają wymagania określone w [20 i 26]. Obowiązujące w zakresie wymagań odnośnie projektowania dróg rowerowych Rozporządzenie [26] określa w sposób ogólny wymagania techniczne dotyczące lokalizacji urządzeń ruchu rowerowego, w pasie drogowym z tym, że wymagania odnośnie projektowania nawierzchni, między innymi dróg rowerowych (zał. 4 i 5) zostały uchylone Rozporządzeniem [25]. Brak rozwiązań rekomendowanych przez Ministerstwo Infrastruktury wymusił na władzach samorządowych, opracowanie własnych standardów budowy dróg rowerowych, np.: [5, 6, 7, 8, 9], dotyczą one jednak w znaczącej części oczekiwań w zakresie funkcjonalności, klasyfikacji dróg rowerowych i ich parametrów geometrycznych, natomiast w mniejszym zakresie odnośnie

jakości nawierzchni, zalecając a priori nawierzchnie bitumiczne. Wadą przyjętych rozwiązań jest ich słabe umocowanie prawne, co utrudnia prowadzenie kontroli i egzekwowania wymagań Standardów, ponadto przedstawione rozwiązania często uwzględniają problem rodzaju nawierzchni i jej jakości w sposób bardzo uogólniony. W okresie ostatnich 20 lat długość sieci dróg rowerowych sukcesywnie wzrastała, dla przykładu w roku 1995 we Wrocławiu było: 20 km a w roku 2015 już 229,78 km [34]. Nawierzchnię sieci dróg rowerowych stanowią najczęściej nawierzchnie: asfaltowe, betonowe - z kostki lub płytek betonowych [30] oraz zagęszczonej mieszanki mineralno - kamiennej. Zmiany w natężeniu ruchu rowerowego na wybranych skrzyżowaniach zlokalizowanych na trasach dojazdowych do centrum miasta Wrocławia przedstawiono w tab. 1 oraz na rys. 1 i 2, wykorzystując wyniki badań przedstawione w opracowaniu [2]. Pomiary prowadzono w miesiącu czerwcu w latach 2006 ÷ 2016 na zlecenie Urzędu Miejskiego Wrocławia przez Stowarzyszenie Akcja Miasto.

Z przedstawionego zestawienia wynika, że następuje systematyczny wzrost zainteresowania wykorzystaniem roweru do podróży miejskich. Z przeprowadzonych we Wrocławiu Kompleksowych Badaniach Ruchu w roku 2010 [16], wynika, że ponad 3,5 % podróży miejskich było realizowane z wykorzystaniem roweru. W niektórych

krajach UE ruch rowerowy w podróży miejskich wynosił, np. w Kopenhadze do 32 %, w Amsterdamie do 25 % [13]. Warunkiem osiągnięcia takiego udziału podróży rowerowych jest prowadzenie odpowiedniej polityki transportowej w zakresie kształtowania zmian: mobilności podróży miejskich [17] oraz rozwoju szeroko pojętej infrastruktury rowerowej w odniesieniu do: rozwoju sieci dróg rowerowych, rowerów miejskich [14]: osobistych; dla dzieci; do przewozu bagażu, samoobsługowych stacji prostych napraw rowerów, parkingów rowerowych i przechowalni rowerów. W warunkach miejskich rower staje się alternatywą dla innych środków transportu. Następuje systematyczna rozbudowa infrastruktury rowerowej [15, 33], ponadto użytkownicy roweru zaczynają artykułować swoje oczekiwania odnośnie jakości nawierzchni dróg rowerowych. Wymusza to wykorzystanie materiałów zapewniających nawierzchni małe opory toczenia, brak drgań oraz wibracji. Celem pracy jest porównanie zużycia energii rowerzysty na wybranych typach nawierzchni drogi rowerowej w stanie technicznym dobrym, bez nierówności i uszkodzeń, tzn. po przekazaniu jej do eksploatacji. Przeprowadzono badania nawierzchni dróg rowerowych nie narażonych na parkowanie i postój pojazdów samochodowych, tj. zlokalizowanych niezależnie od jezdni dla innych pojazdów.

Rodzaje nawierzchni dróg rowerowych

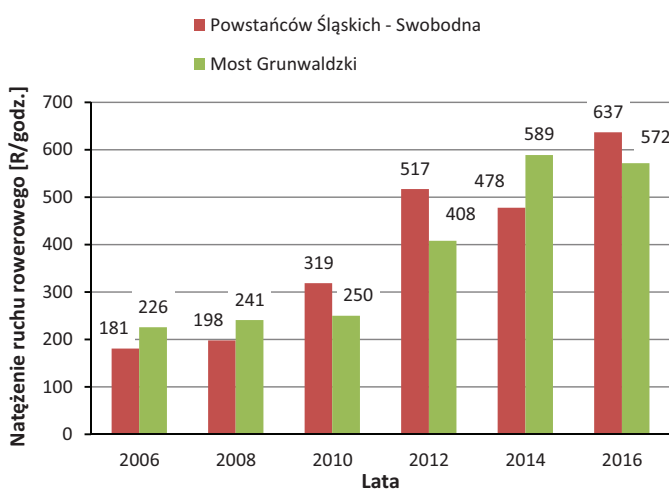
Komfort i bezpieczeństwo w ruchu rowerowym są zależne od sposobu prowadzenia ruchu rowerowego w przekroju drogowym oraz jakości nawierzchni drogi rowerowej. Do najczęściej spotykanych sposobów prowadzenia ruchu drogowego można zaliczyć następujące przypadki [4]:

- ruch drogowy odbywa się wspólnie z innymi pojazdami niezależnie od warunków ruchowych,
- pasje dla rowerów wydzielone z istniejących jezdni,
- drogi pieszko - rowerowe, prowadzone najczęściej równoległe do istniejących jezdni, wspólne dla pieszych i rowerzystów,
- drogi rowerowe, prowadzone wzdłuż istniejących jezdni z równoczesnym odseparowaniem od jezdni,
- wydzielone drogi rowerowe, prowadzone niezależnie od istniejących jezdni i ciągów pieszych, często z bezkolizyjnymi skrzyżowaniami z innymi drogami,
- kontrapasy, tj. pasje ruchu „pod prąd” dopuszczające jazdę rowerem po ulicach jednokierunkowych w kierunku przeciwnym do ruchu pojazdów samochodowych,
- ruch rowerowy odbywa się na wspólnej jezdni z pojazdami w przypadku ulic z uspokojeniem ruchu.

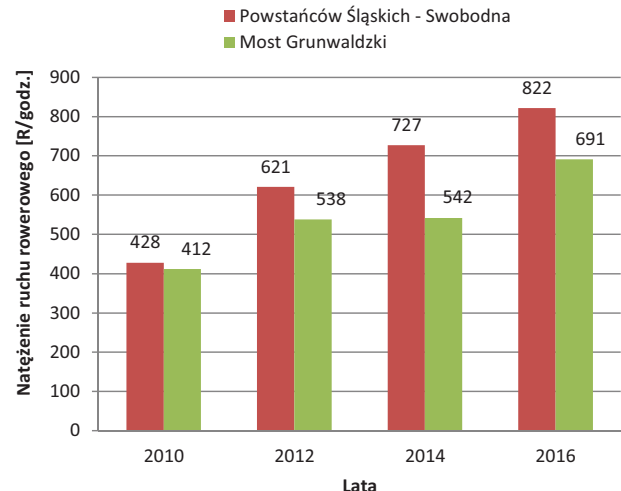
Ustawa prawo o ruchu drogowym [32] tylko w szczególnych przypadkach dopuszcza możliwość wykorzystania przez rowerzystów, chodników dla pieszych. Na komfort jazdy wpływa również odczucie bezpieczeństwa, brak przeszkód, płynność przebiegu drogi, równość nawierzchni, zapotrzebowanie na energię oraz drgania przenoszone z nawierzchni na rowe-

Tab. 1. Zestawienie zmian natężenia ruchu rowerowego na wybranych skrzyżowaniach w godzinie szczytu porannego i popołudniowego w miesiącu czerwcu [R/godz.]

Godziny	7.00 ÷ 8.00						16.00 ÷ 17.00				
	Lata	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2010	2012	2014	2016
Skrzyżowanie Powstańców Śląskich, Swobodna		181	198	319	517	478	637	428	621	727	822
Most Grunwaldzki		226	241	250	408	589	572	412	538	542	691



1. Zmiany natężenia ruchu rowerowego w szczycie porannym w godz. 7.00 ÷ 8.00 w latach 2006 ÷ 2016



2. Zmiany natężenia ruchu rowerowego w szczycie popołudniowym w godz. 16.00 ÷ 17.00 w latach 2010 ÷ 2016

rzystę, tj. cechy odzwierciedlające jakość nawierzchni. Zgodnie z uchylonym [25] załącznikiem nr 4 i 5 Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. [26] zalecane konstrukcje dla dróg rowerowych stanowią 2 rodzaje nawierzchni: asfaltowa na podbudowie z kruszywa oraz z kostki betonowej na podbudowie z piasku średnio lub gruboziarnistego, obie o grubości łącznej 13 cm, posadowione na podłożu niewysadzinowym grupy G1 lub wymianie podłoża na niewysadzinowe w warstwie o grubości 10 cm dla grupy nośności G2 i G3 oraz 20 cm dla grupy nośności G4. W warunkach krajowych w wielu opracowaniach wykonanych na zlecenie lokalnych samorządów zaleca się stosowanie nawierzchni bitumicznych, jednak w praktyce do realizacji budowy dróg rowerowych wykorzystuje się również, następujące rodzaje nawierzchnie:

- a) z kostki betonowej niefazowanej,
- b) z kostki betonowej fazowanej,
- c) betonowe,
- d) z kostki kamiennej,
- e) z płyt kamiennych o różnym kształcie, szczególnie w obszarach staromiejskich dużych miast,
- f) z mieszanki mineralno – kamiennej wykonane z warstwy niesortu stabilizowanego mechanicznie, występują najczęściej na drogach rowerowych wykorzystywanych do ruchu rekreacyjnego i sezonowego, np.: w parkach i na wałach przeciwpowodziowych.

Nawierzchnia drogi rowerowej winna charakteryzować się między innymi jak najmniejszym zapotrzebowaniem na energię rowerzysty, co jest pochodną oporów toczenia zależnych od rodzaju nawierzchni i jakości wykonania oraz brakiem wstrząsów przekazywanych z nawierzchni na rowerzystę. W pracy [19] określono wpływ różnych rodzajów nawierzchni na powstawanie wstrząsów szkodliwych dla zdrowia rowerzysty. Wykazano że, w przypadku wykorzystywania roweru do codziennych i długotrwałych jazd (powyżej 3 ÷ 4 godz.), niektóre rodzaje nawierzchni mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia rowerzysty w odniesieniu do uszkodzeń stawów i mięśni nadgarstków. W pracy [13] porównano zużycie energii przez rowerzystę, przyjmując zapotrzebowanie na energię dla nawierzchni asfaltowej o wysokiej jakości wykonania jako 100 % do: nawierzchni asfaltowej z uszkodzeniami jako 120 %, nierównej nawierzchni z kostki betonowej

niefazowanej 130 %, nierównej i wyboistej nawierzchni z kostki betonowej fazowanej jako 140 %.

W niniejszej pracy omówiono wyniki badań związane z określeniem zużycia energii przez rowerzystę dla wybranych nawierzchni w dobrym stanie technicznym bez nierówności, kolein, uszkodzeń i nie wymagających zabiegów remontowych.

Zakres przeprowadzonych badań

Na wydatek energetyczny rowerzysty związany z jazdą na rowerze (tzn. pominięty energii niezbędnej do utrzymania funkcji życiowych organizmu), wpływ mają następujące czynniki

- a) opór bezwładności – związany ze zmianą prędkości (przyspieszanie),
- b) opór ciężkości – związany z jazdą na wzniesieniu,
- c) opór aerodynamiczny – proporcjonalny do prędkości,
- d) opór wewnętrzny mechanizmów roweru,
- e) opór toczenia.

Z wymienionych wyżej oporów niektóre z nich można pominąć w analizie zapewniając odpowiednie warunki eksperymentu. W trakcie przejazdów wykonywanych na trasie o możliwie zerowym pochyleniu nie powstają opory ciężkości, zależne od wzniesienia. Natomiast jazda z możliwie stałą prędkością eliminuje opór bezwładności a opór aerodynamiczny pozostaje w trakcie pomiarów na stałym poziomie. Jazda z możliwie stałą prędkością dodatkowo redukuje wpływ prędkości na opory wewnętrzne mechanizmów roweru oraz na opory toczenia.

Ostatecznie na wydatek energetyczny rowerzysty, w zakresie prędkości poruszania się rowerem w warunkach miejskich, posiada wpływ - opór toczenia, zależny od: ciśnienia powietrza w ogumieniu, rodzaju bieżnika i rodzaju nawierzchni [21]. Wpływ rodzaju bieżnika i ciśnienia w ogumieniu wyeliminowano wykorzystując ten sam rodzaj bieżnika i stałe ciśnienie w ogumieniu. Tym samym uzyskano znikomą mały wpływ innych czynników poza rodzajem nawierzchni, na wydatek energetyczny rowerzysty. Porównawczo w tabeli 2 zestawiono wartości współczynników oporu toczenia dla różnych nawierzchni. Mniejszy opór toczenia generuje mniejsze zapotrzebowanie energii na przejechanie jednostkowego odcinka drogi.

Współczynniki oporu toczenia dla opo-

ny rowerowej podano zgodnie z [28, 35, 36], gdzie nie określono warunków prowadzenia badań, należałoby zatem przeprowadzić badania w ustalonych warunkach odnośnie nawierzchni i atrybutów wykorzystanego roweru (rodzaj roweru, amortyzatory, ciśnienie w oponie, rozmiar i typ opony).

Badania przeprowadzono we Wrocławiu na odcinkach dróg rowerowych znajdujących się poza jezdnią dla pojazdów, w miesiącach październik – listopad 2016 r. przy bezwietrznej pogodzie, przy temperaturze otoczenia w przedziale od +5 do +20 0C, na nawierzchniach o szerokości \geq 1,5 m wykonanych w technologii z (fot. 3):

- a) z betonu asfaltowego,
- b) z kostki betonowej niefazowanej (typu holland 10/20cm),
- c) z kostki betonowej fazowanej (typu behaton),
- d) z mieszanki kamiennej zagęszczanej mechanicznie,

charakteryzujących się dobrym stanem technicznym, bez nierówności i ubytków, zapewniających komfort jazdy.

Całkowita długość badanych dróg wynosiła 146 km. Długość badanych odcinków dla poszczególnych rodzajów nawierzchni wynosiła od 0,5 km do 2,2 km. Przeciętna długość badanego odcinka pomiarowego wynosiła 0,83 km. Każdorazowo prowadzono pomiary w czasie nie przekraczającym 2 godz., badania były prowadzone przez jednego rowerzystę.

Do badań wykorzystano rower miejski typu Giant bez amortyzacji (fot. 4) na oponach firmy Schwalbe Silentio o rozmiarze 42-622(28x1,60-700x40C) przy ciśnieniu powietrza w oponie równym 4 bary.

Omówienie wyników badań

Do pomiarów wykorzystano urządzenie Garmin fenix 3/HR (rys. 6) umożliwiające pomiar temperatury otoczenia, prędkości bieżącej i średniej, przejechanego dystansu oraz tętna rowerzysty (pomiar pr zez opaskę piersiową). Wbudowany w urządzenie odbiornik sygnału GPS umożliwia wizualizację trasy oraz jej przekroju podłużnego (rys. 5 i 6). Określanie zużytej przez rowerzystę energii obliczane jest na podstawie bieżącego pomiaru tętna. Wykonano 137 pomiarów, średnia prędkość jazdy podczas prowadzonych badań wynosiła 20,2 km/h. Na wszystkich przejazdach rowerowych w obszarze skrzyżowań występowały krawężniki wtopione o wysokości do 2cm.

Tab. 2. Współczynniki oporu toczenia dla samochodu osobowego i roweru

L. p.	Rodzaj nawierzchni	Samochód osobowy, opony z dętką [1, 3, 4, 22]	Opony rowerowe [28, 35, 36]
1	Mieszanka mineralno - asfaltowa	0,010 ÷ 0,012	0,004 [28] 0,003 ÷ 0,007 [34,36]
2	Beton cementowy	0,012 ÷ 0,015	0,002[35]
3	Kostka granitowa równa	0,014 ÷ 0,016	0,010 [36]
4	Nawierzchnia tłuczniowa w dobrym stanie	0,020 ÷ 0,023	0,013[36]
5	Kostka betonowa fazowana	0,01 ÷ 0,015	-
6	Kostka betonowa niefazowana	-	0,006 ÷ 0,007 [36]
7	Tor drewniany	-	0,001 [35]
8	Droga piaszczysta wilgotna	0,080 ÷ 0,150	-
9	Suchy piasek	0,150 ÷ 0,300	0,022 ÷ 0,041 [34]
10	Grunt trawiasty	0,060 ÷ 0,110	0,007 ÷ 0,012 [34]
11	Opór stalowych kół po szynach	0,001 ÷ 0,002	0,001 ÷ 0,002 [35]

W wyniku przeprowadzonych badań określono wartość zapotrzebowania na energię rowerzysty [kcal] do przejechania 1 km drogi rowerowej w zależności od rodzaju nawierzchni. Zestawienie wyników badań zobrazowano na rysunkach 7 ÷ 10 oraz przedstawiono w tabeli 3.

Podsumowanie

Nawierzchnia drogi rowerowej winna zapewniać bezpieczeństwo i płynność jazdy dla rowerzysty, przy minimalizacji wysiłku fizycznego wynikającego z konieczności hamowania i przyspieszania związanego z jakością nawierzchni. Najkorzystniejszymi z badanych nawierzchni, dla ruchu rowerowego są nawierzchnie bitumiczne, ze względu na najmniejsze zapotrzebowanie na energię rowerzysty (tab. 3) a w szczególności na wielkość drgań przenoszonych na organizm rowerzysty [19]. W pracy [24] wskazano, że w Holandii nawierzchnie bitumiczne stosuje się na zamiejskich drogach rowerowych oraz na drogach miejskich o dużym ich znacze-



Beton asfaltowy



Kostka betonowa niefazowana



Kostka betonowa fazowana



Mieszanka kamienna

3. Widok badanych nawierzchni



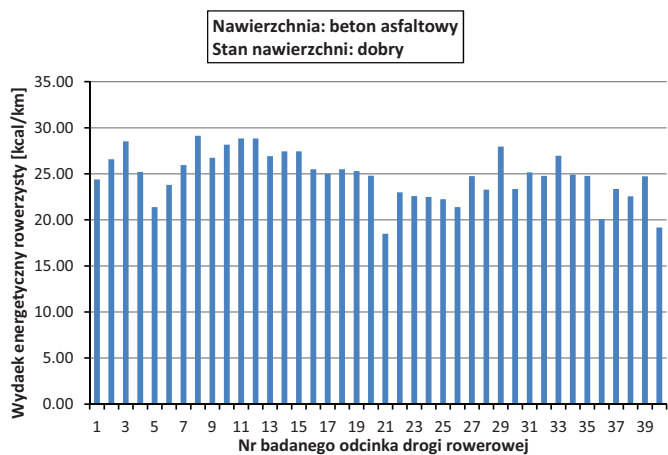
4. Widok roweru wykorzystanego do badań



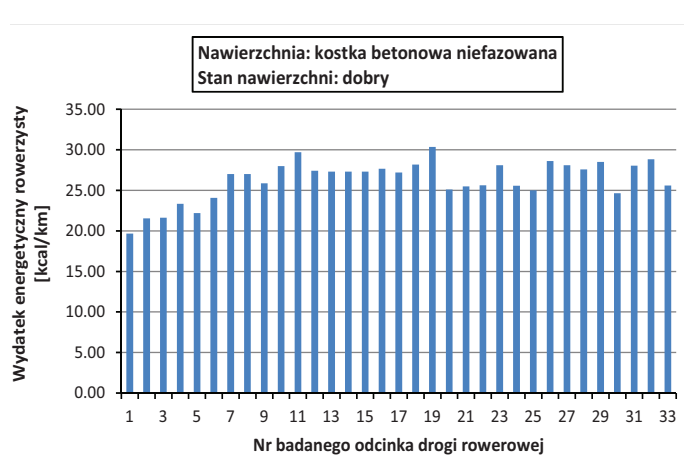
5. Lokalizacja badanego odcinka zapisany w urzadzeniu pomiarowym



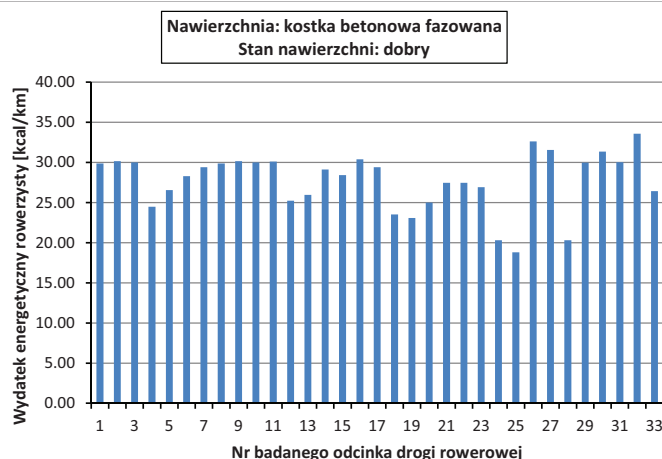
6. Zapis wyników badań oraz widok urządzenia pomiarowego



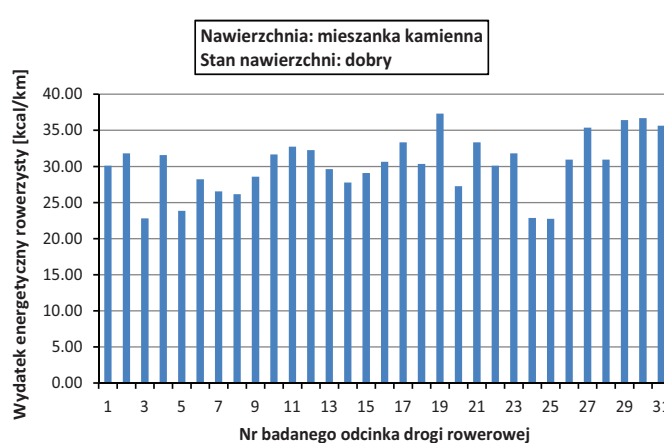
7. Zmiana zużycia energii rowerzysty dla nawierzchni z betonu asfaltowego



8. Zmiana zużycia energii rowerzysty dla nawierzchni z kostki bet. niefazowanej



9. Zmiana zużycia energii rowerzysty dla nawierzchni z kostki bet. fazowanej



10. Zmiana zużycia energii rowerzysty dla naw. z mieszanki kamiennej

Tab. 3. Zestawienie zapotrzebowania na energię rowerzysty do przejechania 1 km drogi rowerowej o określonej nawierzchni

Charakterystyka badanych parametrów	Nawierzchnia z betonu asfaltowego	Nawierzchnia z kostki betonowej niefazowanej	Nawierzchnia z kostki betonowej fazowanej	Nawierzchnia z mieszanki kamiennej
Wartość średnia zapotrzebowania na energię [kcal/km]	24,79	26,30	27,76	30,28
Procentowy wzrost zużycia energii w porównaniu do nawierzchni z betonu asfaltowego [%]	-----	6	12	22
Wartość minimalna zapotrzebowania na energię [kcal/km]	18,50	19,68	18,81	22,76
Wartość maksymalna zapotrzebowania na energię [kcal/km]	29,13	30,37	33,58	37,31
Odchylenie standardowe rozkładu zapotrzebowania na energię [kcal/km]	2,63	2,48	3,57	4,02
Współczynnik zmienności rozkładu zapotrzebowania na energię [%]	11	9	13	13
Liczba badanych odcinków	40	33	33	31

nium w układzie komunikacyjnym, np., na drogach międzydzielnicowych prowadzących ruch na większe odległości lub o dużym natężeniu ruchu rowerowego.

Przedstawione w pracy wyniki badań dotyczące nawierzchni w dobrym stanie technicznym bez uszkodzeń, nierówności i wybojów, nie wykazały różnicy w zapotrzebowaniu na energię rowerzysty w

porównaniu do nawierzchni z betonu asfaltowego, większej o 6 % dla nawierzchni z kostki betonowej niefazowanej, 12 % dla nawierzchni z kostki betonowej fazowanej i 22 % dla nawierzchni z mieszanki kamiennej. W pracach [12, 29] autorzy określają za [31] zwiększone zużycie energii przez rowerzystę o 30 ÷ 40 % dla nawierzchni z kostki betonowej w porów-

naniu z nawierzchnią równą - asfaltową z tym że, dotyczy to kostki betonowej wyeksploatowanej nierównej i wyboistej [31]. Nawierzchnie inne niż bitumiczne posiadające nieciągłą budowę wywołują drgania, które mogą mieć wpływ na zdrowie rowerzysty, co zostało określone w warunkach krajowych w pracy [19]. Drgania przenoszone z nawierzchni na rowerzystę szczególnie przy dłuższej i systematycznej jeździe, mogą stanowić większy powód niechęci użytkowników roweru do nawierzchni z kostki betonowej na korzyść nawierzchni asfaltowych. Komfort jazdy rowerem jest zależny również od jakości utrzymania nawierzchni, która powinna być równa, niezarośnięta otaczającymi krzewami wrastającymi w skrajnię drogi rowerowej. Na wzrost zainteresowania, wykorzystaniem roweru do codziennej jazdy w większym stopniu posiada, nie rodzaj nawierzchni (kostka czy beton asfaltowy) ale jej stan techniczny określony przez:

- poładowania wyeksploatowanej nawierzchni w odniesieniu do każdego jej rodzaju,
- przeszkody punktowe, np.: nierówne

- wloty studzienek, garby nawierzchni, wrastające pod nawierzchnię korzenie drzew i krzewów,
- c) przeszkody liniowe, np.: obecność w skrajni drogi rowerowej zadrzewienia przydrożnego ograniczającego prędkość jazdy,
 - d) brak wyniesienia w obszarze skrzyżowania czy wyjazdu z posesji, drogi rowerowej do poziomu chodnika,
 - e) konieczność wielokrotnego zatrzymywania rowerzysty w obszarze skrzyżowania w szczególności z sygnalizacją świetlną w przypadku lewoskrętów realizowanych poza jezdnię dla pojazdów.

Omówione problemy związane z wpływem rodzaju nawierzchni, jej cech eksploatacyjnych i jakości utrzymania na komfort i bezpieczeństwo ruchu rowerowego wymagają dalszych badań i analiz w warunkach krajowych. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Arczyński S.: Mechanika ruchu samochodu. WNT, Warszawa 1993.
- [2] Badania natężenia ruchu rowerowego, Wrocław 2016. Opracowanie na zlecenie Urzędu Miejskiego Wrocławia. Stowarzyszenie Akcja Miasto. <http://www.wroclaw.pl/rower-badania-ruchu>, dostęp: 2017. 03. 15.
- [3] Dębicki M.: Teoria samochodu, teoria napędu. WNT, Warszawa 1969.
- [4] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu drogowego. WKŁ, Warszawa 2008.
- [5] Hyla M., Kopta T.: Instrukcja projektowania infrastruktury rowerowej. Wyjaśnienia dla standardów technicznych dla infrastruktury rowerowej miasta Słupska. Załącznik Nr 2 do zarządzenia Nr 686/K/2010 Prezydenta Miasta Słupska z dnia 24 sierpnia 2010 r.
- [6] Hyla M.: Rowerowy Gdańsk - Rowerowa Polska, Gdanski Rowerowy projekt Inwestycyjno – promocyjny, Polski Klub Ekologiczny 2002 – 2006.
- [7] Hyla M.: Standardy techniczne dla infrastruktury rowerowej Miasta Krakowa. Załącznik do zarządzenia Nr 2103/2004 Prezydenta Miasta Krakowa z dnia 26 listopada 2004 r.
- [8] Instytut Rozwoju Terytorialnego – Wrocław. Standardy projektowe i wykonawcze dla infrastruktury rowerowej województwa dolnośląskiego. Załącznik do Uchwały Nr 1987/V/16 Zarządu Województwa Dolnośląskiego z dnia 22 marca 2016 r.
- [9] Instytut Rozwoju Terytorialnego – Wrocław. Założenia do Dolnośląskiej Polityki Rowerowej 2014 – 2020. Uchwała Zarządu Województwa Dolnośląskiego Nr 5088/IV/13 z dnia 17 grudnia 2013 r.
- [10] Koncepcja podstawowej sieci tras rowerowych we Wrocławiu. Biuro Rozwoju Wrocławia, Wrocław 2005.
- [11] Kopta T., Buczyński A., Hyla M., Lustofin B.: Konkurencyjność roweru w zakresie czasu podróży. GDDKiA, Kraków – Warszawa, 2012.
- [12] Kopta T., Buczyński A., Hyla M., Lustofin B.: Opinia w sprawie typowych nawierzchni dróg dla rowerów. GDDKiA, Kraków – Warszawa, 2012.
- [13] Kopta T.: Ruch rowerowy w Polsce na tle innych krajów UE, Raport wstępny GDDKiA, Warszawa – Kraków 2009.
- [14] Kowerski S.: Wrocławski rower miejski – krokiem w dobrą stronę... Przegląd komunikacyjny, 11-12/2011, str. 40-45.
- [15] Kozłowska-Święconek M., Chojnacki D.: Rowerowe planowanie w mieście na przykładzie doświadczeń Wrocławia. Przegląd komunikacyjny, 12/2012, str. 29-33.
- [16] Kozłowska-Święconek M., Swędrak M., Mikulski B.: Wrocławskie Badania Ruchu 2010. Przegląd komunikacyjny, 2011/7-8, str. 18-25.
- [17] Kruszyna M.: Dworzec kolejowy jako węzeł mobilności. Przegląd komunikacyjny, 10/2012, str. 34-37.
- [18] Kucińska M.: Badania ankietowe potencjalnych możliwości wykorzystania roweru przez uczniów wrocławskich szkół średnich. Przegląd komunikacyjny, 12/2012, str. 24-28.
- [19] Pawłowski P., Roliński T., Utkin M.: Nawierzchnia dróg rowerowych i jej wpływ na zdrowie i bezpieczeństwo rowerzystów. Brüel&Kjær, IPPT PAN, BDiK UMStW, Warszawa 2009.
- [20] Postaw na rower – podręcznik projektowania przyjaznej dla rowerów infrastruktury, CROW, 1993, wydanie polskie - Polski Klub Ekologiczny, Kraków, 1999.
- [21] Prochowski L.: Pojazdy samochodowe. Mechanika ruchu samochodowego. WKŁ, Warszawa 2005.
- [22] Prochowski L.: Pojazdy samochodowe. Mechanika ruchu. WKŁ, Warszawa 2016.
- [23] Projektowanie i budowa dróg i szlaków rowerowych, IBDiM, Warszawa 2014.
- [24] Rowerowa Holandia, TransEko, Warszawa, <http://www.transeko.pl>, dostęp: 2017. 02. 28.
- [25] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju zmieniające Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, z dnia 17 lutego 2015 r. Dz. U. z dnia 10 marca 2015 r., poz. 329.
- [26] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999r., w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz. U. Nr 43, poz. 430.
- [27] Standardy projektowe i wykonawcze dla systemu rowerowego miasta Wrocławia. Biuro Rozwoju Wrocławia, Wrocław 2005.
- [28] Steyn W., Warnich J.: Comparison of tyre rolling resistance for different mountain bike tyre diameters and surface conditions. South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation, 2014, 36(2): 179-193.
- [29] Szczuraszek P.: Przykład analizy wyboru rodzaju nawierzchni do budowy dróg rowerowych i pieszych w terenie o charakterze rekreacyjnym. Przegląd komunikacyjny, 6/2016, str. 4-12.
- [30] Śmierotka G., Kaczmarek Kalisz D.: Nawierzchnie ścieżek rowerowych - asfalt versus betonowa galanteria drogowa. Przegląd Komunikacyjny, 9/2012, str. 64-68
- [31] UPI – Bericht: Entwicklung und Potentiale des Fahrradverkehrs – Maßnahmen zur Ausschöpfung des Fahrradpotentials in der Verkehrsplanung, 2000.
- [32] Ustawa prawo o ruchu drogowym. Dz. U. 98 poz.602 z dnia 20 czerwca 1997.
- [33] Wolek Cz., Kowerski S.: Wybrane zagadnienia kształtowania mobilności na przykładzie miasta Wrocławia. Przegląd komunikacyjny, 12/2012, str. 25-28.
- [34] www.zdiu.wroc.pl, dostęp dn. 2016. 12. 07.
- [35] www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d_1303.html, dostęp: 2017. 04. 18.
- [36] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812016955>, dostęp 2017.04.12