

Wojciech KŁODA¹, Michał KUNC¹, Piotr KAMIŃSKI², Joanna KOCZUR³

Opiekun naukowy: Robert DROBINA⁴

GÓRSKA TURYSTYKA ROWEROWA - ASPEKTY PRAWNE ORAZ PROJEKT WENTYLATORA ROWEROWEJ TARCZY HAMULCOWEJ

Streszczenie: W artykule omówiono aspekty prawne związane z bezpieczeństwem poruszania się rowerem po górach. Jednym z istotnych elementów gwarantujących bezpieczną jazdę w warunkach górskich są sprawne i skuteczne hamulce. Z tego powodu opracowano konstrukcję wentylatora do chłodzenia tarczy hamulcowej mocowanej na piaście tylnej roweru uzasadniając to tym, że nadmierny wzrost temperatury może doprowadzić do uszkodzenia elementów roboczych układu hamulcowego. Dla oceny skuteczności wentylatora przeprowadzono szereg prób terenowych, a uzyskane wyniki opracowano statystycznie.

Słowa kluczowe: MTB, piasta, wentylator, chłodzenie

MOUNTAIN BIKING TOURISM - LEGAL ASPECTS AND A PROJECT OF A BICYCLE DISC BRAKE VENTILATOR

Abstract: The article presents the legal aspect related to the safety of cycling in the mountains. One of the important elements ensuring safe driving in mountain conditions are efficient and effective brakes. A fan that can cool the brake disc mounted on the rear hub of a bicycle was developed to reduce excessive temperature increase that may damage the working elements of the brake system. Article include statistical analysis of the results of the conducted pilot trial confirming the effectiveness of the applied above solution. Summary present possible directions of the project's development.

Key words: MTB, bicycle hub, fan, cooling

¹ Uczeń, Zespół Szkół Elektronicznych, Elektrycznych i Mechanicznych w Bielsku-Białej

² mgr inż. Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, specjalność: Inżynieria Produkcji

³ dr Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Prawa i Administracji, email: joanna.koczur@us.edu.pl

⁴ prof. ATH dr hab. inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: rdrobina@ath.bielsko.pl

1. Cel i zakres pracy

Celem niniejszej pracy było przedstawienie aspektów prawnych poruszania się rowerem po górach, a także zaprezentowano projekt i wykonanie wentylatora służącego do chłodzenia tarczy hamulcowej mocowanej na piaście tylnej roweru przeznaczonego dla dyscypliny sportowej MTB, czyli kolarstwa górskiego. Przeprowadzono próbę pilotażową skonstruowanego wentylatora w warunkach rzeczywistych podczas zjazdu górskiego w celu weryfikacji proponowanego usprawnienia pod kątem zmniejszenia temperatury tarczy hamulcowej podczas zjazdów górskich.

Zakres tej pracy obejmował projekt i wykonanie wentylatora tarczy hamulcowej, opis przebiegu badania skuteczności wprowadzonego usprawnienia podczas chłodzenia tarczy hamulcowej w rowerze przeznaczonym do MTB w warunkach rzeczywistych oraz opracowanie statystyczne wyników potwierdzających skuteczność wprowadzonego rozwiązania konstrukcyjnego.

2. Wstęp

Na przestrzeni ostatnich lat zauważa się wzrost zainteresowań dyscypliną MTB. Jest ona traktowana jako możliwość rozwoju fizycznego, w których kolarze górcy mogą sprawdzić swoje umiejętności. Jest to nowy odłam turystyki rowerowej w trudnym terenie. Od 1996 roku zawody w zjazdach górskich stały się oficjalną dyscypliną Letnich Igrzysk Olimpijskich [1].

Poruszając się na rowerze w górach, należy pamiętać o aspektach prawnych górskiego ruchu rowerowego oraz o zachowaniu zasad bezpieczeństwa.

2.1. Aspekty prawne górskiego ruchu rowerowego

Zgodnie z definicją legalną zawartą w art. 2 pkt 47 Ustawy Prawo o ruchu drogowym [2], pod pojęciem „roweru” rozumieć należy pojazd o szerokości nieprzekraczającej 0,9 m poruszany siłą mięśni osoby jadącej tym pojazdem; rower może być wyposażony w uruchamiany naciskiem na pedały pomocniczy napęd elektryczny zasilany prądem o napięciu nie wyższym niż 48 V o znamionowej mocy ciągłej nie większej niż 250 W, którego moc wyjściowa zmniejsza się stopniowo i spada do zera po przekroczeniu prędkości 25 km/h. Ponadto rower powinien być odpowiednio wyposażony. Na elementy obowiązkowego wyposażenia roweru wskazuje § 53 ust. 1 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia [3]. Zgodnie z ww. Rozporządzeniem, rower powinien być wyposażony z przodu co najmniej w jedno światło pozycyjne barwy białej lub żółtej selektywnej, z tyłu - co najmniej w jedno światło odblaskowe barwy czerwonej o kształcie innym niż trójkąt oraz co najmniej w jedno światło pozycyjne barwy czerwonej, co najmniej w jeden skutecznie działający hamulec oraz w dzwonek lub inny sygnał ostrzegawczy o nieprzerwalnym dźwięku. Wymienione w powyższym akcie prawnym elementy wyposażenia roweru stanowią wyposażenie minimalne. Oczywiście rowerzysta może zaopatrzyć swój rower w elementy dodatkowe, choć niewymagane prawem (np. migające światła, dodatkowe elementy odblaskowe itp.). Przepisy obowiązującego prawa nie nakładają natomiast na

rowerzystów obowiązku posiadania odpowiedniego stroju czy akcesoriów służących do jazdy na rowerze (np. kasku, ochraniaczy czy odblaskowych elementów stroju).

Cytowana już Ustawa Prawo o ruchu drogowym w art. 2 pkt 5 definiuje ponadto pojęcie „droga dla rowerów”. Zgodnie z ww. przepisem jest to droga lub jej część przeznaczona do ruchu rowerów przeznaczona do ruchu rowerów, oznaczona odpowiednimi znakami drogowymi; droga dla rowerów jest oddzielona od innych dróg lub jezdni tej samej drogi konstrukcyjnie lub za pomocą urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Aktualnie zyskują na popularności kompleksy górskich ścieżek rowerowych (tzw. szlaki enduro). Na tego rodzaju szlakach obowiązują odrębne i znacznie surowsze niż zawarte w ww. aktach prawnych zasady, a także wymogi dotyczące sprzętu i wyposażenia rowerzystów korzystających z tego rodzaju szlaków. Zasady oraz tryb korzystania z kompleksów górskich ścieżek rowerowych enduro określają regulaminy, które powinny być bezwzględnie przestrzegane przez wszystkich użytkowników górskich ścieżek rowerowych. W regulaminach kompleksów górskich ścieżek rowerowych enduro wskazano, iż: „Specyfika uprawiania sportów rowerowych wymaga ostrożności, predyspozycji fizycznych i odpowiednich umiejętności. Nieuniknione upadki mogą nieść trudne do przewidzenia konsekwencje zdrowotne prowadzące również do trwałego uszczerbku na zdrowiu, a nawet utraty życia” [4] – dlatego też bezwzględnie wymagane jest przestrzeganie zasad bezpieczeństwa obowiązujących w tego rodzaju kompleksach. Wśród zasad bezpieczeństwa dot. korzystania z kompleksów enduro znajdują się m.in. te dotyczące wymogów sprzętowych. Zgodnie z brzmieniem wyżej przytoczonych Regulaminów, a dokładniej pkt 2 Rozdziału II pt.: „Zasady bezpieczeństwa”: trasy rowerowe enduro może użytkować każdy, kto posiada sprawny rower przeznaczony do jazdy w górach, który koniecznie posiadać musi dwa sprawne hamulce oraz minimum przedni amortyzator, ponadto użytkownik tras enduro musi obowiązkowo posiadać kask oraz wszelkie niezbędne ochraniacze. Kwestię wyposażenia rowerzysty uprawiającego kolarstwo górskie rozwija pkt 4 Rozdziału II ww. Regulaminów, w których wskazano, iż: użytkownik kompleksu jest zobowiązany do tego, by używać kasku rowerowego z atestem na każdej z tras rowerowych, ponadto zalecane jest używanie przez korzystających z kompleksów kasków z ochroną całej twarzy, a także używanie długich rękawiczek, ochraniaczy łokci, kolan, kręgosłupa (tzw. żółt) oraz kołnierza ochraniającego odcinek szyjny kręgosłupa. Pkt 14 Rozdziału II ww. Regulaminów wskazuje ponadto na konieczność posiadania przez każdego użytkownika tras enduro dokumentów lub karty informacyjnej zawierających dane identyfikacyjne (w tym numer do osoby, którą należy powiadomić w razie wypadku), które powinny być umieszczone w łatwo dostępnym miejscu (np. w prawej przedniej kieszeni spodni lub w skrajnej kieszeni plecaka). Nie budzi wątpliwości, iż użytkownik tras powinien zachowywać się tak, by nie stwarzać zagrożenia dla osób trzecich, a prędkość jazdy powinna być dostosowana do stopnia trudności odcinka trasy, swoich umiejętności i liczby osób na trasie (*vide*: pkt 5 i 10 Rozdziału II ww. Regulaminów). W trakcie jazdy po trasie rowerowej obowiązuje zakaz zatrzymywania się (za wyjątkiem miejsc do tego przeznaczonych), a rowerzysta powinien zachować bezpieczną odległość od rowerzysty jadącego z przodu (*vide*: pkt 6 i 9 Rozdziału II ww. Regulaminów). Na obszarach kompleksów obowiązuje bezwzględny zakaz m.in. jazdy bez kasku, jazdy na niesprawnym rowerze, jazdy na rowerze, który nie jest przeznaczony do jazdy w górach, podprowadzania roweru

wzdłuż trasy w kierunku przeciwnym do kierunku jazdy, podjeżdżania trasami w górę (jeżeli trasa nie jest do tego przeznaczona), wjazdów poza wyznaczoną trasą (*vide*: pkt 8 Rozdziału I ww. Regulaminów).

2.2. Układ hamulcowy jako gwarancja bezpieczeństwa podczas zjazdów górskich

Głównym układem gwarantującym bezpieczeństwo podczas zjazdów górskich w dyscyplinie MTB jest układ hamulcowy. Jego sprawne i niezawodne działanie jest podstawą bezpieczeństwa rowerzysty. Układ hamulcowy odpowiada za zmniejszenie prędkości, a także zatrzymanie i unieruchomienie roweru podczas postoju na nierównym terenie. W związku z tym powinien posiadać następujące cechy [5]:

- oznaczać się trwałością,
- jak najkrótszym czasem zadziałania,
- niezawodnością działania,
- odznaczać się trwałością i łatwością obsługi.

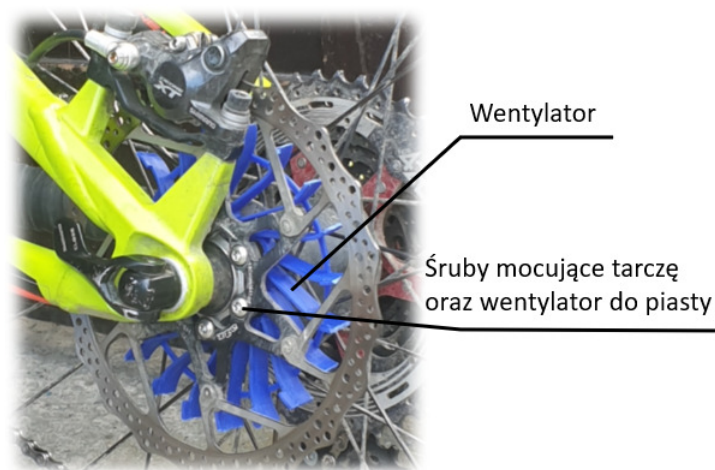
Jednym z głównych wskaźników określających skuteczności działania układu hamulcowego jest długość drogi hamowania. Zależy ona przede wszystkim od momentu hamującego powstającego podczas działania układu hamulcowego. Wartość tego momentu uzależniona jest od średnicy tarczy hamulcowej oraz od siły, z jaką klocki naciskają na nią. Istotny wpływ wywiera również wartość współczynnika tarcia pomiędzy elementami ciernymi [4]. Współczynnik tarcia uzależniony jest od temperatury i pojemności cieplnej współpracujących elementów trących w hamulcu [6].

Przy zjazdach górskich na rowerze jest on w stanie niejednokrotnie rozpędzić się do prędkości 50km/h. Wyhamowanie roweru z takiej prędkości w dużym uproszczeniu sprowadza się do zamiany jego energii kinetycznej w energię cieplną. Ten proces odbywa się w elementach roboczych układu hamulcowego, charakteryzujących się określoną pojemnością cieplną, uzależnioną od zastosowanych materiałów. W procesie hamowania wytwarzają się duże ilości energii cieplnej pochłanianej przez klocki i tarcze hamulcowe. Elementy robocze układu hamulcowego posiadają określoną pojemność cieplną. Zatem po osiągnięciu granicznej temperatury (uzależnionej od danego materiału), dalszy odbiór ciepła drastycznie spada i powoduje obniżenie skuteczności hamowania. W niektórych przypadkach praca hamulców w ekstremalnej temperaturze może prowadzić do uszkodzenia pracujących elementów roboczych. Z tej przyczyny kluczowym zagadnieniem wydaje się podjęcie działań zmierzających do zmniejszenia temperatury tarczy hamulcowej podczas hamowania [7].

3. Projekt wentylatora tarczy hamulcowej

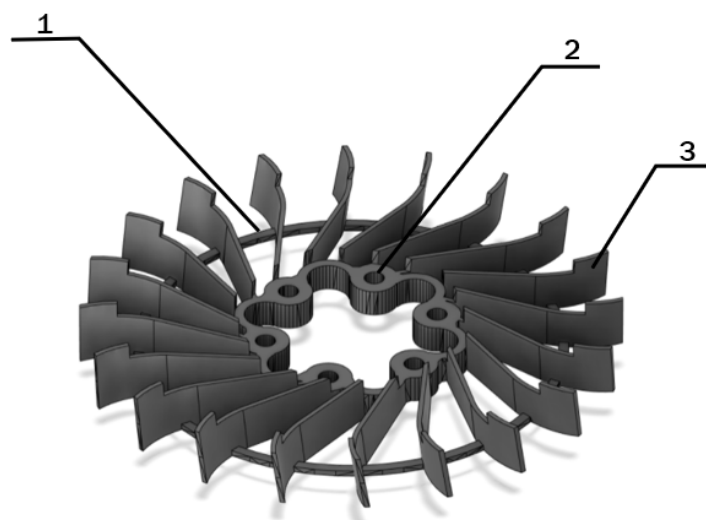
Model wentylatora tarczy hamulcowej został wykonany w programie SolidWorks. Na jego podstawie została wykonana część na drukarce 3D typu FDM - użyto w tym celu materiału ABS. Konstrukcja wentylatora została tak zaprojektowana, aby umożliwić podłączenie wentylatora za pomocą śrub M3 do oryginalnych otworów gwintowanych w piaście typu DT SWISS służących do montażu tarczy hamulcowej. Kształt łopatek wentylatora został tak dobrany, aby zapewnić jak największą skuteczność chłodzenia tarczy i stanowią tajemnicę konstruktorów.

Średnica wentylatora pozwala na jego montaż w taki sposób, aby podczas obrotu była zachowana stała odległość pomiędzy zaciskiem hamulca a tarczą. Ponadto rozwiązanie konstrukcyjne charakteryzuje się tym, że wentylator jest mocowany pomiędzy kołnierzem na piaście, do którego mocowane są szprychy a tarczą hamulcową. Przedstawia to rys. 1.



Rysunek 1. Umieszczenie wentylatora na piaście koła

Na rys. 2. przedstawiono model CAD wentylatora, natomiast na rys. 3. rzeczywisty wykonany na podstawie rysunku wentylator.



Rysunek 2. Model CAD wentylatora tarczy hamulcowej 1-pierścien wzmacniający, 2-uchwyt montażowy, 3-łopatki



Rysunek 3. Widok wykonanej tarczy hamulcowej

Przedstawiony na rys. 2 wentylator chłodzący tarczę hamulcową tylnego koła w rowerze wyposażona jest w pierścień wzmacniający (1) służący do zwiększenia sztywności łopatek (3) podczas obrotu wentylatora. Konstrukcja posiada specjalnie wyprofilowany uchwyt montażowy (2) służący do połączenia z piastą koła tylnego za pomocą śrub.

Demontaż, montaż wentylatora na piastę koła rowerowego

W celu demontażu należy zapoznać się z instrukcją przedstawioną poniżej, montaż wykonujemy w kolejności odwrotnej.

Potrzebne narzędzia: klucz torx 25.



Rysunek 4. Poglądowy rysunek demontażu wentylatora hamulcowego 1- śruba mocująca piastę koła tylnego, 2-śruby mocujące tarczę hamulcową, 3-tarcza hamulcowa, 4-wentylator

W celu demontażu wentylatora tarczy hamulcowej należy (rys. 4):

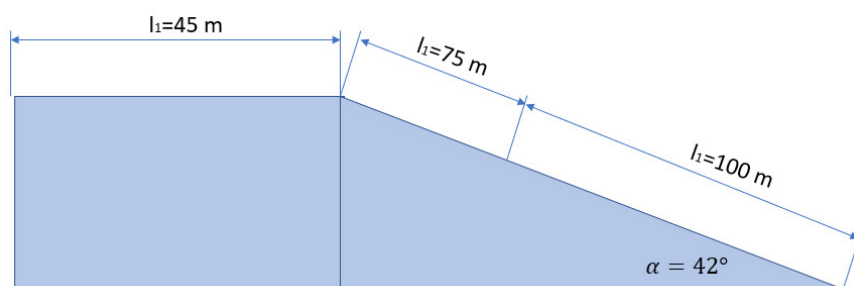
1. ściągnąć tylnie koło z ramy rowerowej poprzez odkręcenie śruby (1),
2. na zdemontowanym kole odkręcić śruby (2) mocujące tarczę do piasty koła oraz, wentylator do piasty za pomocą klucza torx 25,
3. zdemontować tarczę hamulcową (3),
4. przekręcić wentylator względem piasty o 30° ,
5. wyciągnąć wentylator przez piastę (4).

4. Ocena skuteczności zastosowania wentylatora do chłodzenia tarczy hamulcowej roweru przystosowanego do zjazdów górskich

Program badań

Przeprowadzenia próba badania skuteczności chłodzenia tarczy hamulcowej odbyła się przy następujących założeniach:

- a) Marka roweru - Rock Machine BIZZARD 90-27 2017,
- b) Rodzaj tarczy hamulcowej – tarcza pływająca średnicy $\Phi 180\text{mm}$ A2Z,
- c) Rodzaj klocków hamulcowych – klocki metaliczne SzajBajk,
- d) Zacisk – Shimano XT zacisk dwufłozkowy ,
- e) Masa roweru – 15kg,
- f) Temperatura otoczenia – 20°C ,
- g) Masa osoby prowadzącej rower – 65kg,
- h) Wszystkie zjazdy na rowerze były przeprowadzone przez jednego rowerzystę,
- i) Ukształtowanie terenu – teren do przeprowadzenia badań został tak dobrany, aby na trasie przejazdu znalazł się odcinek prosty oraz zjazd z góry. Ukształtowanie terenu schematycznie przedstawiono na rys. 5.



Rysunek 5. Ukształtowanie terenu podczas zjazdu

Na odcinku prostym l_1 rowerzysta rozpędza się do prędkości 20km/h . Następnie przy zjeździe z góry na odcinku l_2 osiąga prędkość 50km/h . Natomiast na odcinku l_3 jego zadaniem było równomierne hamowanie tak, aby na końcu odcinka się zatrzymać.

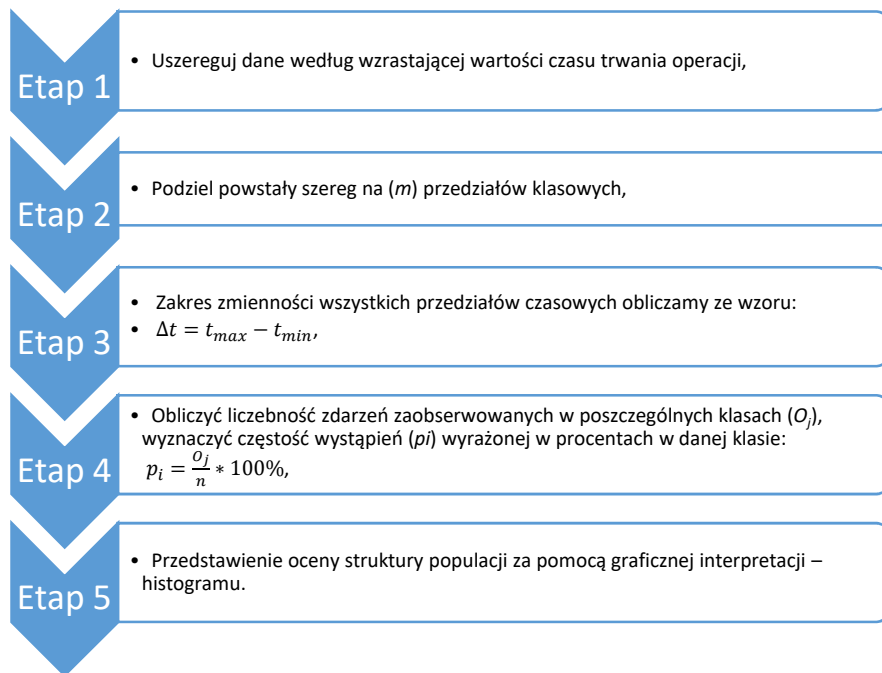
- j) Każdorazowo przed rozpoczęciem jazdy temperatura tarczy hamulcowej wynosiła 20 ± 1 °C,
- k) Każdorazowo po zjeździe z góry i zatrzymaniu roweru mierzono temperaturę tarczy w jednakowych miejscach,
- l) Liczność próby do porównania skuteczności wprowadzonego rozwiązania technicznego wyniosła dla zjazdów bez wentylatora i z wentylatorem tyle samo, przyjęto arbitralnie, że $n=30$. Wyniki pomiarów temperatury tarczy hamulcowej bez i zastosowanym wentylatorem po zjeździe z trasy przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Temperatura tarczy hamulcowej z i bez wentylatora

lp.	Temperatura tarczy w °C		lp.	Temperatura tarczy w °C	
	Z wentylatorem	Bez wentylatora		Z wentylatorem	Bez wentylatora
1.	76,8	113,1	16.	80,7	102,4
2.	78,6	99,5	17.	77,3	100,6
3.	81,5	108	18.	76,6	113,2
4.	80,3	101,5	19.	81,0	107,8
5.	79,8	109,7	20.	74,3	108,4
6.	77,5	102,4	21.	82,1	97,9
7.	81,9	100,2	22.	85,1	103,4
8.	75,1	96,8	23.	71	105,3
9.	78,2	112,6	24.	81,7	104
10.	75,1	95,3	25.	76,2	106
11.	85,5	100,6	26.	89	90,4
12.	78,5	107,9	27.	84,4	117,8
13.	80,9	104,6	28.	82,7	100,6
14.	76,7	107,7	29.	78	101,4
15.	80,8	107,3	30.	79,1	98,2

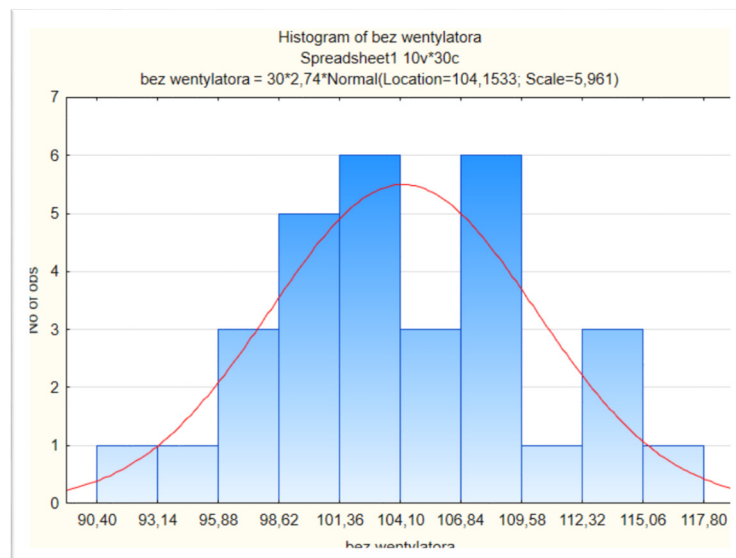
5. Opracowanie statystyczne wyników pomiaru

Analizując wyniki pomiarów zestawione w tabeli 1 można stwierdzić, że charakterystyka rozkładu temperatury w poszczególnych pomiarach kształtuje się w sposób zróżnicowany. Dlatego w celu dalszej analizy danych należy opracować histogramy zróżnicowania temperatury tarczy hamulcowej. W realizacji tego celu posłużono się procedurą przedstawioną na rys. 6.

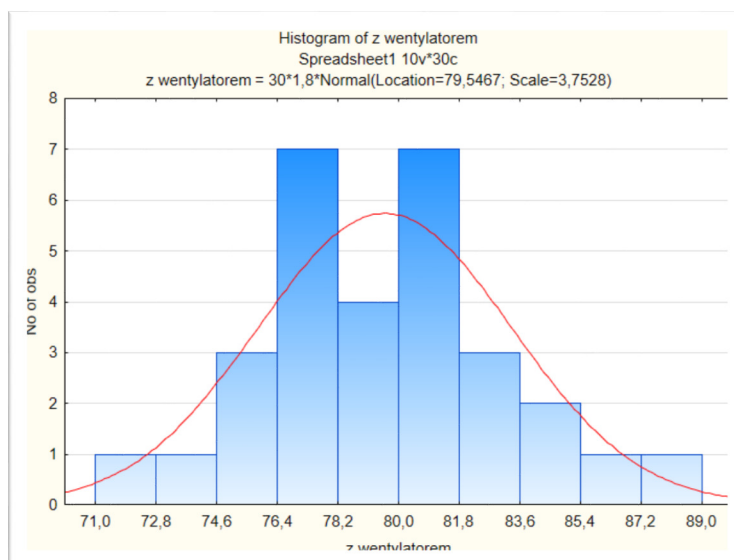


Rysunek 6. Etapy realizacji powstawania histogramu [8].

Według przedstawionej na rys. 6 procedury dokonano wyznaczenia histogramu zróżnicowania temperatury na tarczy hamulcowej bez i z chłodzeniem w tym celu wykorzystano program STATISTICA. Na rys. 7 przedstawiono histogram rozkładu temperatury dla tarczy bez wentylatora, natomiast na rys. 7 z wentylatorem.

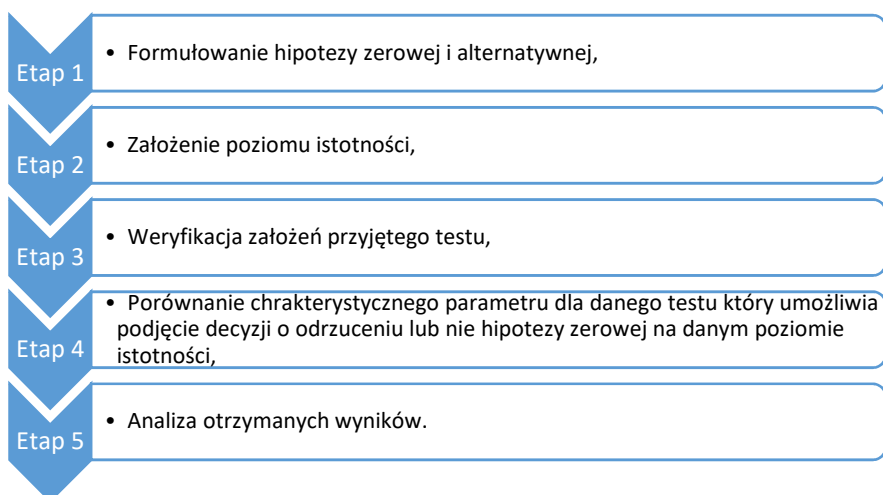


Rysunek 7. Histogram dla tarczy hamulcowej bez wentylatora



Rysunek 8. Histogram dla tarczy hamulcowej z wentylatorem

Następnie analizując kształt histogramów założono, że ich kształty opisują krzywe rozkładu normalnego o parametrach przedstawionych na rys. 7 oraz rys. 8. W dalszej kolejności dokonano oceny adekwatności poprawności założenia rozkładu normalnego do opisu charakteru zmienność temperatury tarczy hamulcowej podczas przejazdu po wyznaczonej trasie bez i z wykorzystaniem wentylatora. Dokonano tego za pomocą testu chi-kwadrat przy wykorzystaniu programu STATISTICA. Procedurę postępowania podczas wnioskowania statystycznego przedstawia rys. 9. Natomiast wyniki przeprowadzonej analizy przedstawiono w Tabeli 2 dla tarczy bez wentylatora oraz w Tabeli 3 dla tarczy z wentylatorem.



Rysunek 9. Etapy wnioskowania statystycznego [9]

Etap 1. Formułowanie hipotezy zerowej i alternatywnej

Wyróżniamy rodzaje postawionych hipotez:

- pierwsza tzw. hipoteza zerowa – zakłada, że sprawdzany rozkład został dobrany prawidłowo,
- druga tzw. hipoteza alternatywna – zakłada, że sprawdzany rozkład został dobrany błędnie.

Do weryfikacji postawionej hipotezy stosuje się test istotności, na podstawie którego można podjąć decyzję, czy są podstawy do odrzucenia lub przyjęcia stawianej hipotezy. Test ten zakłada możliwość popełnienia błędu pierwszego rodzaju (odrzucenie hipotezy prawdziwej), którego prawdopodobieństwo nosi nazwę poziomu istotności. Nie uwzględnia on jednak możliwości popełnienia błędu drugiego rodzaju (przyjęcie hipotezy fałszywej).

Postawiono następujące 2 hipotezy zerowe:

H_{01} - „Rozkład temperatur podczas hamowania bez wentylatora przyjmuje wartość rozkładu normalnego”

H_{02} - „Rozkład temperatur podczas hamowania z wentylatorem przyjmuje wartość rozkładu normalnego”

Postawiono również 2 hipotezy alternatywne:

H_{11} - „Rozkład temperatur podczas hamowania bez wentylatora nie przyjmuje wartość rozkładu normalnego”

H_{12} - „Rozkład temperatur podczas hamowania z wentylatorem nie przyjmuje wartość rozkładu normalnego”

Etap 2. Przyjęcie poziomu istotności

Poziom istotności α tj. prawdopodobieństwo popełnienia błędu I rodzaju. Określa również maksymalne ryzyko błędu, jakie jesteśmy w stanie zaakceptować. Założono arbitralnie, że poziom istotności $\alpha=0,05$.

Etap 3. Sprawdzenie założeń przyjętego testu

W celu zweryfikowania, czy proponowane rozkłady statystyczne odzwierciedlają charakter czasu trwania danej operacji, posłużono się testem chi-kwadrat. Na podstawie tego testu można sprawdzić, czy dana populacja posiada określony typ rozkładu. Może zostać on zastosowany dla populacji większej lub równej 30 obserwacji. Wyniki obserwacji dzieli się na klasy i dla każdej z nich przy założeniu jaki typ rozkładu badamy, obliczamy licznosc teoretyczną tj. ilości próbek jakie powinny się znaleźć w danej klasie E_j -ilość zdarzeń spodziewanych. Następnie wyznacza się ilość rzeczywistych próbek, które mieszczą się w danym przedziale O_j -zdarzenia obserwowane. Na podstawie tych danych wyznacza się statystykę χ^2 według wzoru [10]:

$$X^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j}, \quad (1)$$

gdzie:

O_j - licznosc zdarzeń zaobserwowanych,

E_j - licznosc zdarzeń przypisana dla konkretnego modelu probabilistycznego,

Weryfikacja postawionej hipotezy zerowej odbywa się przez porównanie wyliczonej statystyki χ^2 ze znanym stabilizowanym rozkładem zwanym krytyczną wartością testu. Do odczytania stabilizowanej wartości χ^2 niezbędna okazuje się znajomość liczby stopni swobody, którą z definicji wyznaczano ze wzoru [10]:

$$s = k - 1, \quad (2)$$

gdzie: k - liczba kategorii.

Poziom prawdopodobieństwa p jest to najmniejsze prawdopodobieństwo, przy którym hipoteza zerowa może zostać odrzucona. Jeżeli $\alpha > p$, to na danym poziomie istotności $\alpha=0,05$ odrzucamy hipotezę zerową, natomiast gdy $\alpha=0,05 < p$, to na danym poziomie istotności α nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Porównanie tych dwóch wartości jest podstawą przy podejmowaniu decyzji weryfikacyjnych.

Tabela 2. Zestawienie dla testu chi-kwadrat testowanego rozkładu normalnego dla tarczy hamulcowej bez wentylatora

Chi-Square = 1,73455, df = 1 (adjusted), p = 0,18783									
Upper Boundary	Observed Frequency	Cumulative Observed	Percent Observed	Cumul. % Observed	Expected Frequency	Cumulative Expected	Percent Expected	Cumul. % Expected	Observed-Expected
<= 89,00000	0	0	0,00000	0,0000	0,165294	0,16529	0,55098	0,5510	-0,16529
92,00000	1	1	3,33333	3,3333	0,456748	0,62204	1,52249	2,0735	0,54325
95,00000	0	1	0,00000	3,3333	1,247746	1,86979	4,15915	6,2326	-1,24775
98,00000	3	4	10,00000	13,3333	2,659439	4,52923	8,86480	15,0974	0,34056
101,00000	6	10	20,00000	33,3333	4,422924	8,95215	14,74308	29,8405	1,57708
104,00000	6	16	20,00000	53,3333	5,740027	14,69218	19,13342	48,9739	0,25997
107,00000	3	19	10,00000	63,3333	5,813242	20,50542	19,37747	68,3514	-2,81324
110,00000	7	26	23,33333	86,6667	4,594347	25,09977	15,31449	83,6659	2,40565
113,00000	1	27	3,33333	90,0000	2,833454	27,93322	9,44485	93,1107	-1,83345
116,00000	2	29	6,66667	96,6667	1,363541	29,29676	4,54514	97,6559	0,63646
119,00000	1	30	3,33333	100,0000	0,511963	29,80872	1,70654	99,3624	0,48804
< Infinity	0	30	0,00000	100,0000	0,191275	30,00000	0,63758	100,0000	-0,19128

Tabela 3. Zestawienie dla testu chi-kwadrat testowanego rozkładu normalnego dla tarczy hamulcowej z wentylatorem

Variable: bez wentylatora, Distribution: Normal (Spreadsheet1) Chi-Square = 2,43574, df = 2 (adjusted), p = 0,29586									
Upper Boundary	Observed Frequency	Cumulative Observed	Percent Observed	Cumul. % Observed	Expected Frequency	Cumulative Expected	Percent Expected	Cumul. % Expected	Observed-Expected
<= 70,00000	0	0	0,00000	0,0000	0,164434	0,16443	0,54811	0,5481	-0,16443
72,00000	1	1	3,33333	3,3333	0,500511	0,66494	1,66837	2,2165	0,49949
74,00000	0	1	0,00000	3,3333	1,426090	2,09104	4,75363	6,9701	-1,42609
76,00000	3	4	10,00000	13,3333	3,078233	5,16927	10,26078	17,2309	-0,07823
78,00000	7	11	23,33333	36,6667	5,034281	10,20355	16,78094	34,0118	1,96572
80,00000	5	16	16,66667	53,3333	6,238706	16,44226	20,79569	54,8075	-1,23871
82,00000	8	24	26,66667	80,0000	5,858553	22,30081	19,52851	74,3360	2,14145
84,00000	2	26	6,66667	86,6667	4,168883	26,46969	13,89628	88,2323	-2,16888
86,00000	3	29	10,00000	96,6667	2,247786	28,71748	7,49262	95,7249	0,75221
88,00000	0	29	0,00000	96,6667	0,918220	29,63570	3,06073	98,7857	-0,91822
90,00000	1	30	3,33333	100,0000	0,284136	29,91983	0,94712	99,7328	0,71586
< Infinity	0	30	0,00000	100,0000	0,080168	30,00000	0,26723	100,0000	-0,08017

Etap 4. Porównanie, który parametr p umożliwi podjęcie decyzji o odrzuceniu lub nie hipotezy zerowej na danym poziomie istotności

Wyznaczony za pomocą programu STATISTICA parametr $p_1 = 0,0,188 > \alpha$ dla tarczy hamulcowej bez chłodzenia tabela 5.1. oraz $p_2 = 0,296 > \alpha$ dla tarczy hamulcowej chłodzonej wentylatorem tabela 5.2. jest w obydwu przypadkach większy od założonego poziomu istotności. Dlatego nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_{01} - „Rozkład temperatur podczas hamowania bez wentylatora przyjmuje wartość

rozkładu normalnego” oraz hipotezy H_{02} - „Rozkład temperatur podczas hamowania z wentylatorem przyjmuje wartość rozkładu normalnego”. Założone modele rozkładu normalnego opisujące przebieg zmienności temperatury tarczy hamulcowej podczas przejazdu po wyznaczonej trasie po przeprowadzonym teście chi-kwadrat można uznać za adekwatne.

Etap 5. Analiza otrzymanych wyników

Analizując dane zawarte w tabeli 2 oraz w tabeli 3 można stwierdzić, że wykorzystane modele oparte na rozkładzie normalnym poparte analizą statystyczną umożliwiły identyfikację możliwych do wystąpienia temperatur tarczy hamulcowej podczas przejazdu na wyznaczonej trasie.

Z uwagi na rodzaj i charakter przeprowadzanej próby można stwierdzić, że zbliżonym do opisu rzeczywistych warunków eksploatacyjnych tarczy hamulcowej jest model statystyczny oparty o rozkład normalny.

6. Podsumowanie

Stwierdzono, że zastosowanie wentylatora pozwoliło na obniżenie temperatury tarczy hamulcowej o 24,7°C podczas zjazdu na rowerze wyznaczoną trasą. Zastosowanie ww. rozwiązania poprawi skuteczność hamowania przy długotrwałych zjazdach górskich, co z kolei bezpośrednio przełoży się na poprawę bezpieczeństwa rowerzysty. Zastosowana analiza statystyczna pozwoliła na określenie charakteru zmienności rozkładu temperatury podczas zjazdów górskich na tarczy hamulcowej koła tylnego. Zmienność tę można opisać za pomocą funkcji rozkładu normalnego. W dalszej kolejności projekt będzie rozwijany pod kątem możliwości adaptacji tego rozwiązania dla większości standardowych piast rowerowych kół tylnych stosowanych w dyscyplinie MTB oraz pod kątem zwiększenia skuteczności chłodzenia tarczy poprzez zmianę geometrii kształtu łopatek

LITERATURA

1. Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. - Prawo o ruchu drogowym (t.j. Dz. U. z 2020 r. poz. 110 z późn. zm.)
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (t.j. Dz. U. z 2016 r. poz. 2022 z późn. zm.)
3. Regulamin kompleksu górskich ścieżek rowerowych Enduro Trails w Bielsku-Białej (Rozdział II, pkt 1); Regulamin kompleksu górskich ścieżek rowerowych Szczyrk Enduro Trails w Szczyrku (Rozdział II, pkt 1)
4. CHOMIKA G., CHUDY J., TUTKAJ K.: Analiza rozkładu temperatury w częściach roboczych hamulca tarczowego, Czasopismo Logistyka 1(2016).
5. GAJEK A., SZCZYPIŃSKI-SALA W.: Wybrane własności tribologiczne okładzin ciernych hamulców tarczowych. The Archives of Automotive Engineering - Archiwum Motoryzacji 57(2012)3.
6. PATYK R., KUŁAKOWSKA A.: Analiza numeryczna procesu nagrzewania się tarczy hamulcowej podczas hamowania. Logistyka 6(2011).

7. WAWAK S.: Zarządzanie jakością. Podstawy, systemy i narzędzia, Wydawnictwo Onepress, 2011.
8. WASILEWSKA E.: Statystyka matematyczna w praktyce, Wydawnictwo Difin, 2015.
9. SALWIN M., KRYSZOSIAK K.: Zastosowanie narzędzi inżynierii jakości w procesie wytwarzania tworzyw sztucznych, Czasopismo Przedsiębiorczość i Zarządzanie s.213-228,19(2018).