

KONFERENCJA



Mobilność osób o szczególnych potrzebach

26-27 październik 2023 r.
WARSZAWA

KONFERENCJA POD HONOROWYM PATRONATEM:

Rektora – Komendanta WAT
gen. bryg. prof. dr hab. inż. Przemysława Wachulaka



Ministra Rodziny i Polityki Społecznej



Ministra Funduszy i Polityki Regionalnej

ORGANIZATORZY KONFERENCJI



Na konferencję zaprasza

CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU
I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH





Wojskowa
Akademia
Techniczna

Badania eksperymentalne napędów ręcznych wózków inwalidzkich

Bartosz Wieczorek, dr hab. inż.

Politechnika Poznańska



Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój na lata 2014-2020 (PO WER 2014-2020).



Warszawa, 26-27 października, 2023 r.



Wojskowa
Akademia
Techniczna

GENEZA PROBLEMATYKI BADAWCZEJ



Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój na lata 2014-2020 (PO WER 2014-2020).



Warszawa, 26-27 października, 2023 r.

Zauważalne jest niedostosowanie ręcznych układów napędowych do użytkowników. Różny stopień niepełnosprawności i indywidualne możliwości fizyczne pozwalają tylko na ograniczoną eksploatację wózka inwalidzkiego z klasycznym napędem ręcznym.

Do ograniczeń tych zaliczyć możemy czas eksploatacji napędu ręcznego oraz zbyt niską wartość generowanej przez mięśnie siły napędowej uniemożliwiającej pokonanie niektórych przeszkód terenowych.

Stając naprzeciw tym ograniczeniom powstają nowe konstrukcje układów napędowych wózków inwalidzkich. W związku z tym powstała potrzeba opracowania sformalizowanej procedury badawczej analizującej parametry biomechaniczne związane z eksploatacją układów człowiek-wózek inwalidzki.



Wojskowa
Akademia
Techniczna

UKŁADY NAPĘDOWE WÓZKA INWALIDZKIEGO – NOWE KIERUNKI

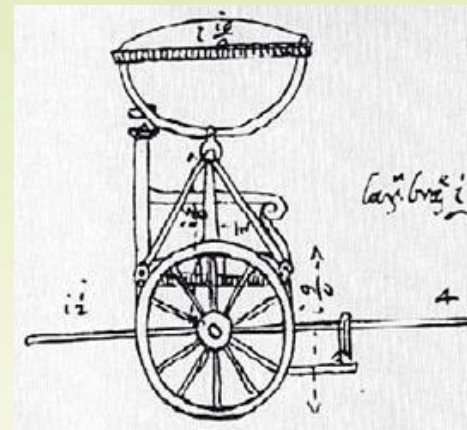




Ilustracje pochodzące z Grecji i Chin przedstawiające osoby poruszające się w pozycji siedzącej na krzesła z kołami.



Wózek inwalidzki króla Filipa II

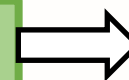


Wózek inwalidzki króla Władysława IV Wazy

Epoka starożytna



Rok 1595



Rok 1640



UKŁADY NAPĘDOWE WÓZKA INWALIDZKIEGO – NOWE KIERUNKI



Protoplasta ręcznych wózków inwalidzkich opatentowany w Stanach zjednoczonych



Napęd ręczny



Napęd elektryczny



specjalne

Rok 1894



czasy obecne





UKŁADY NAPĘDOWE WÓZKA INWALIDZKIEGO – NOWE KIERUNKI



Blokada cofania



Napęd wielobiegowy



Baza do modyfikacji wózka inwalidzkiego



Piasta wielobiegowa



Napęd hybrydowy ręczno-elektryczny





Wojskowa
Akademia
Techniczna

BADANIA BIOMECHANICZNE JAKO PROCES PROJEKTOWANIA



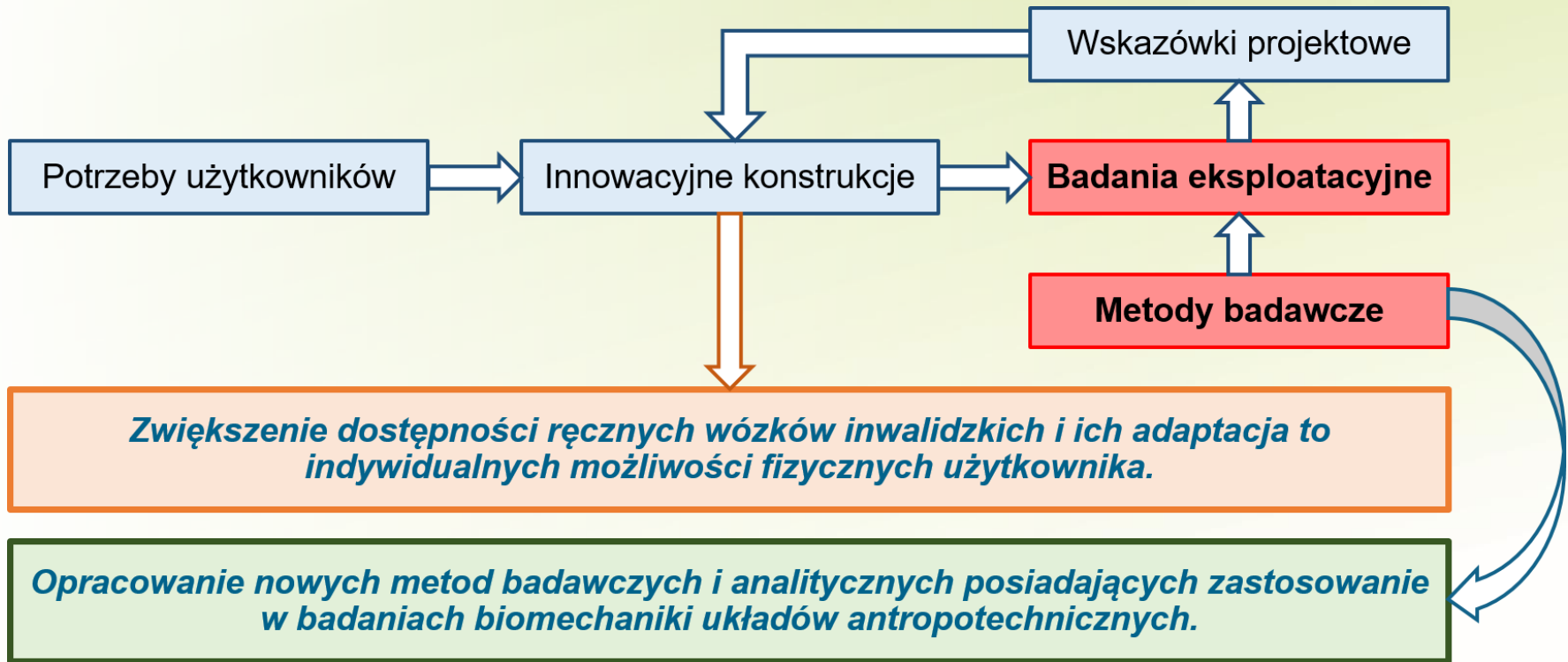
Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój na lata 2014-2020 (PO WER 2014-2020).



Warszawa, 26-27 października, 2023 r.





Wojskowa
Akademia
Techniczna

HAMOWNIA DO BADANIA WÓZKÓW INWALIDZKICH



Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny

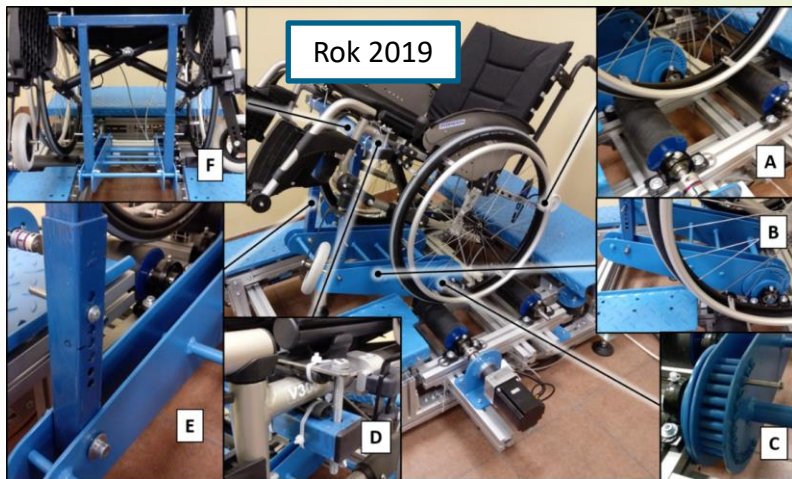


Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój na lata 2014-2020 (PO WER 2014-2020).



Mobilność
osób o szczególnych
potrzebach

Warszawa, 26-27 października, 2023 r.



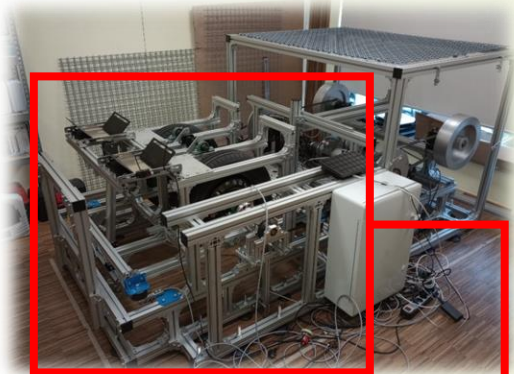
Badania biomechaniki napędzania ręcznych wózków inwalidzkich dla innowacyjnych napędów ręcznych i hybrydowych

(LIDER/7/0025/L_7/15/NCBR/2016),
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

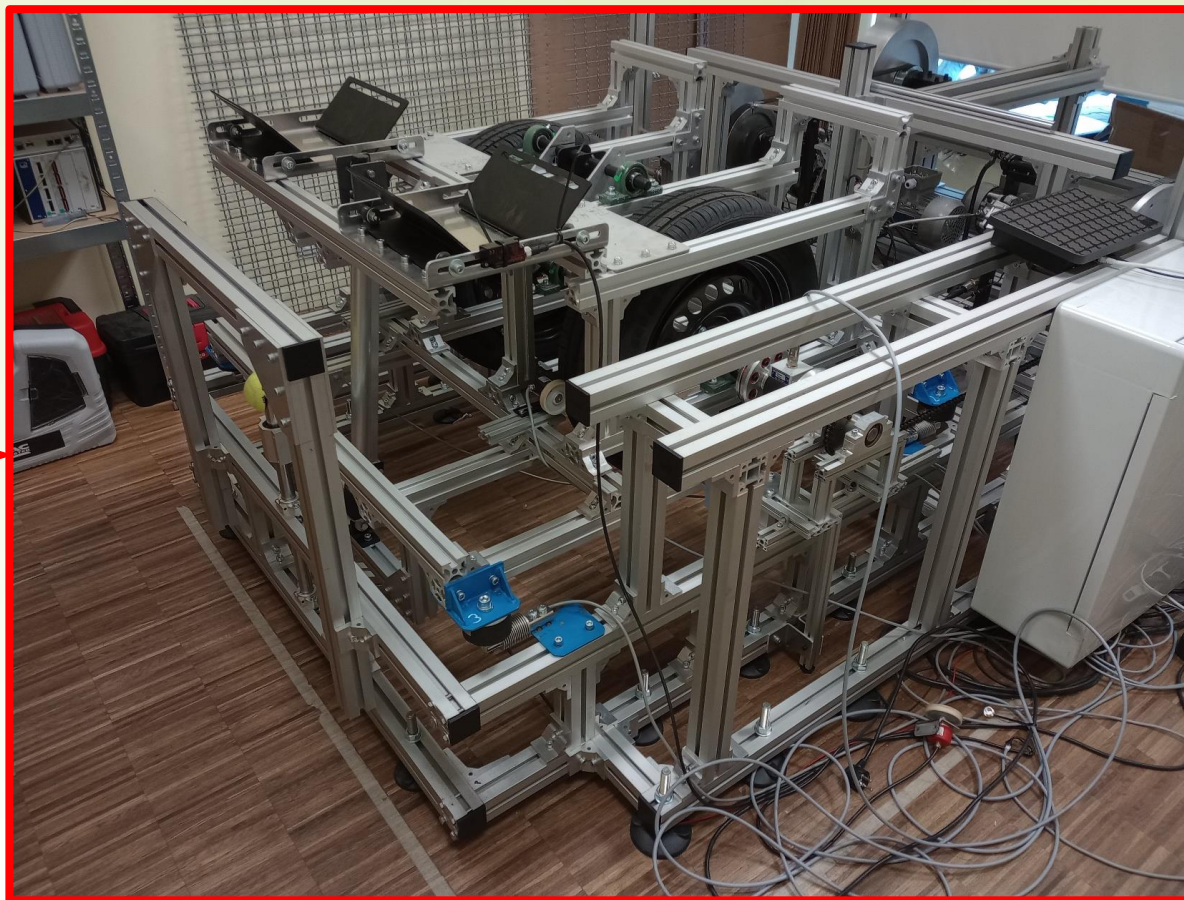
Innowacyjne Układy Napędowe Wózków Inwalidzkich – Projekt, Prototyp, Badania (Rzeczy są dla ludzi/0004/2020), Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

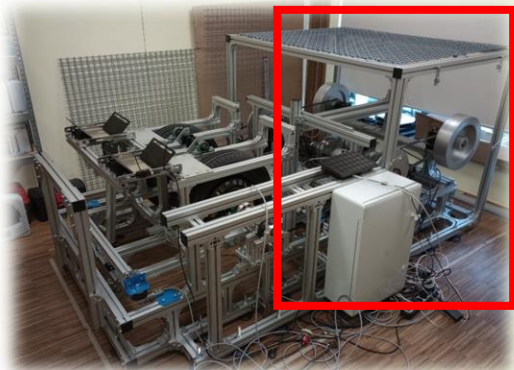
Złoty medal na *International Warsaw Invention Show IWIS*, 14-16.10.2019 Warszawa

Górecki J., **Wieczorek B.**, Kukła M., Wilczyński D., Wojtkowiak D.: Urządzenie do symulacji warunków eksploatacji i pomiaru parametrów dynamicznych wózka inwalidzkiego, Patent w Urzędzie Patentowym RP, nr. zgłoszenia P.424482, 2021

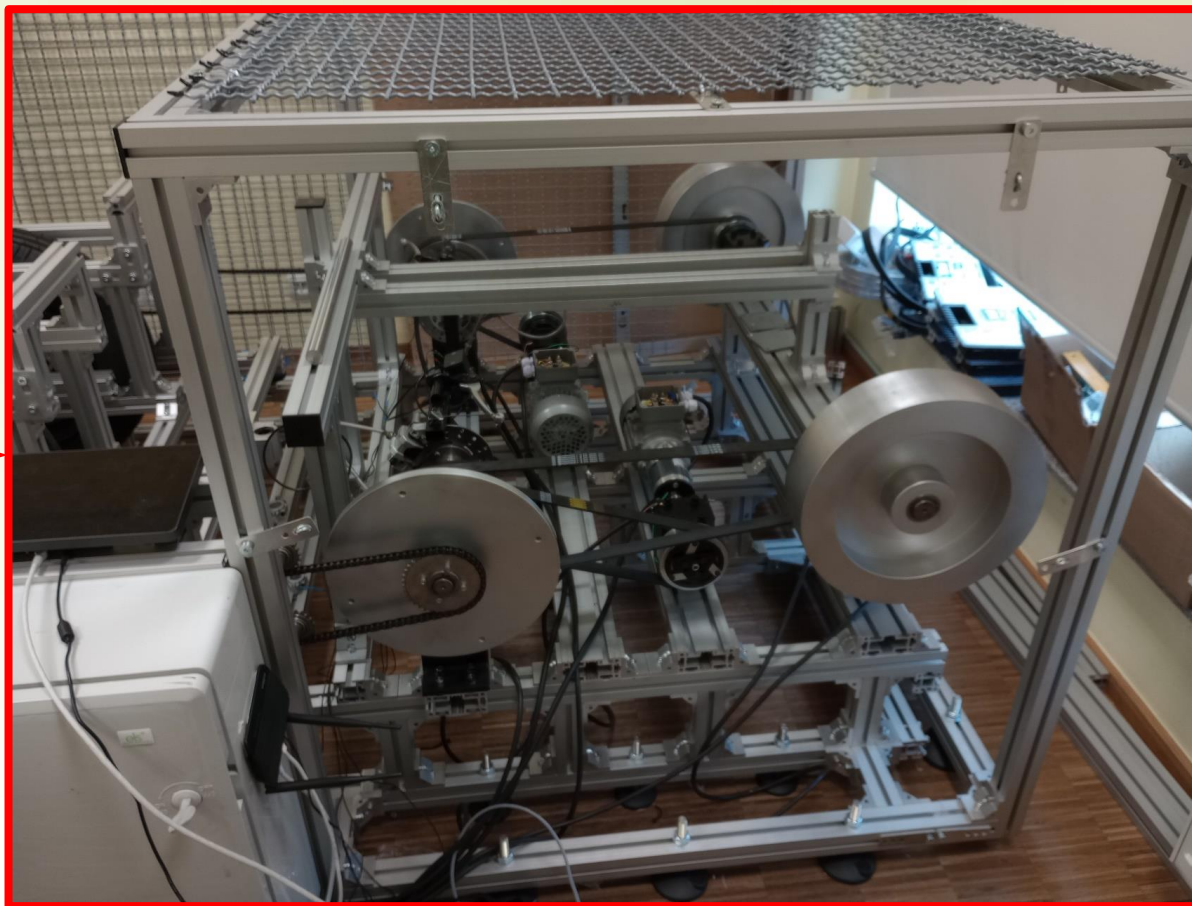


Moduł pomiarowy umożliwia pomiar położenia środka ciężkości, momentu oporów ruchu, wysiłku mięśniowego, prędkości wózka inwalidzkiego i wartości momentu napędowego generowanego przez kończynę górną.





Moduł symulacyjny umożliwia na symulację oporów, wymuszeń kinetycznych oraz kumulację energii powstałej w wyniku napędzania wózka inwalidzkiego





METODY BADAWCZE DO OCENY RĘCZNYCH WÓZKÓW INWALIDZKICH



Hamownia wózków inwalidzkich – symulowanie warunków eksploatacyjnych, pomiar parametrów kinematycznych wózka inwalidzkiego, aktywności mięśniowej.

Stanowisko i metoda pomiaru motion capture i EMG – pomiar kinematyki kończyn górnych i ich aktywności mięśniowej podczas eksploatacji wózka inwalidzkiego w warunkach rzeczywistych.

Metoda wyznaczania trajektorii wózka inwalidzkiego – odwzorowanie trajektorii ruchu wózka inwalidzkiego na podstawie danych z hamowni.

Metoda wyznaczania środka ciężkości ciała człowieka w warunkach dynamicznych – wyznaczanie położenia środka ciężkości na podstawie pomiaru rozkładu masy na płytę podpartą wagami.

Metoda opisu zbioru punktów obszarami eliptycznymi – procedury analizy wyników umożliwiające sformalizowanie parametryczne zbioru punktów.

Analityczna metoda wyznaczania środka ciężkości ciała człowieka – metoda umożliwiająca analityczne wyznaczanie położenia środka ciężkości człowieka na podstawie zunifikowanych danych antropometrycznych.

Podpis zdjęcia, przypis



Wojskowa
Akademia
Techniczna

METODA WYZNACZANIA TRAJEKTORII WÓZKA INWALIDZKIEGO



Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny

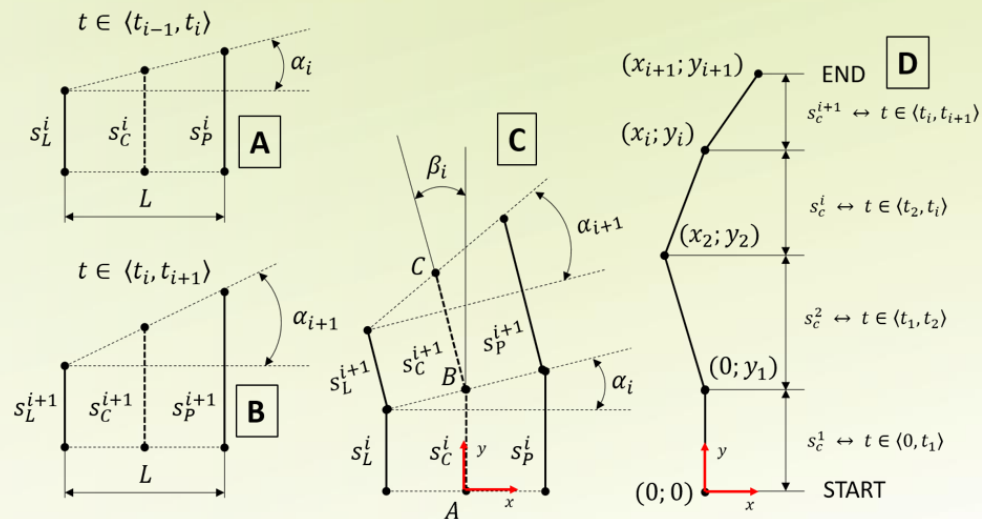
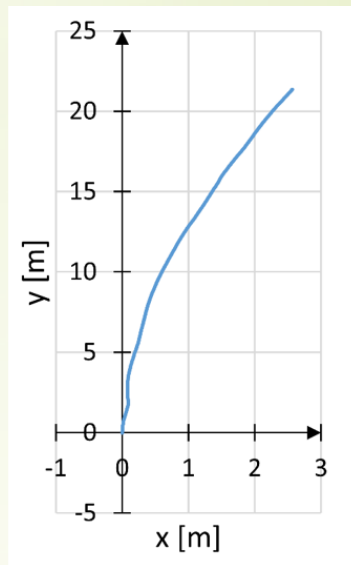
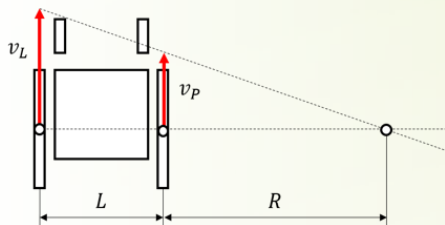


Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój na lata 2014-2020 (PO WER 2014-2020).



Warszawa, 26-27 października, 2023 r.

METODA WYZNACZANIA TRAJEKTORII WÓZKA INWALIDZKIEGO



Metoda wykorzystana w publikacjach:

Wieczorek, B., & Kukla, M. (2020). Biomechanical Relationships Between Manual Wheelchair Steering and the Position of the Human Body's Center of Gravity. *Journal of biomechanical engineering*, 142(8), 081006

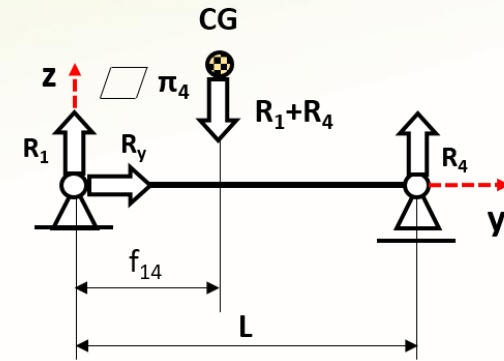
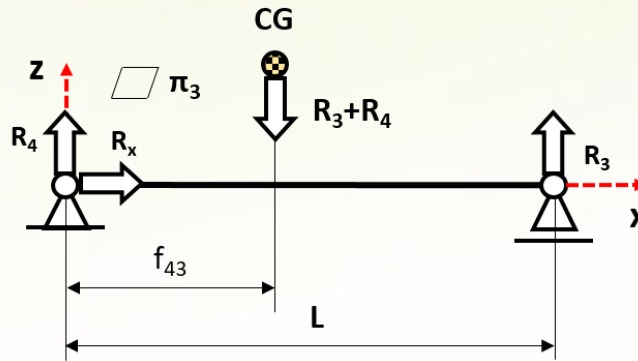
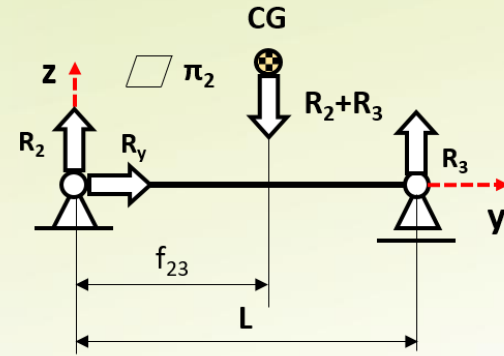
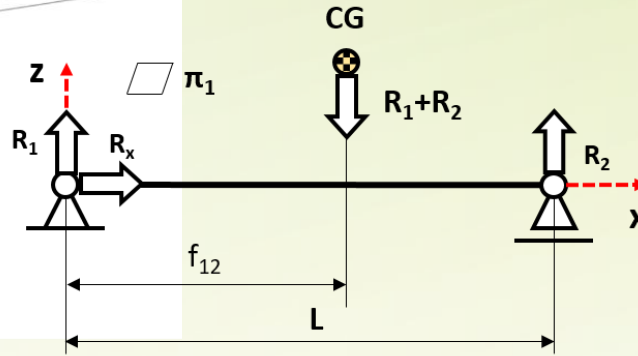
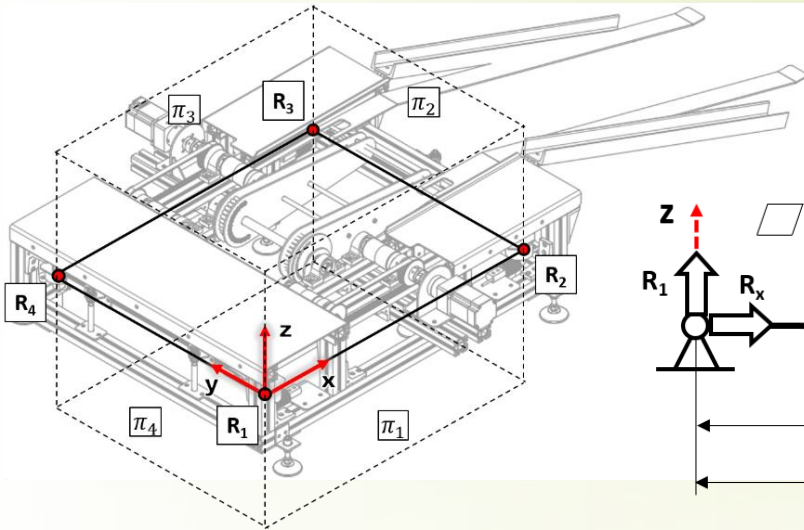
Wieczorek, B. (2021). Methods of Determining Trajectory for Wheelchair with Manual Pushrim Drive. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1016, No. 1, p. 012004)*. IOP Publishing

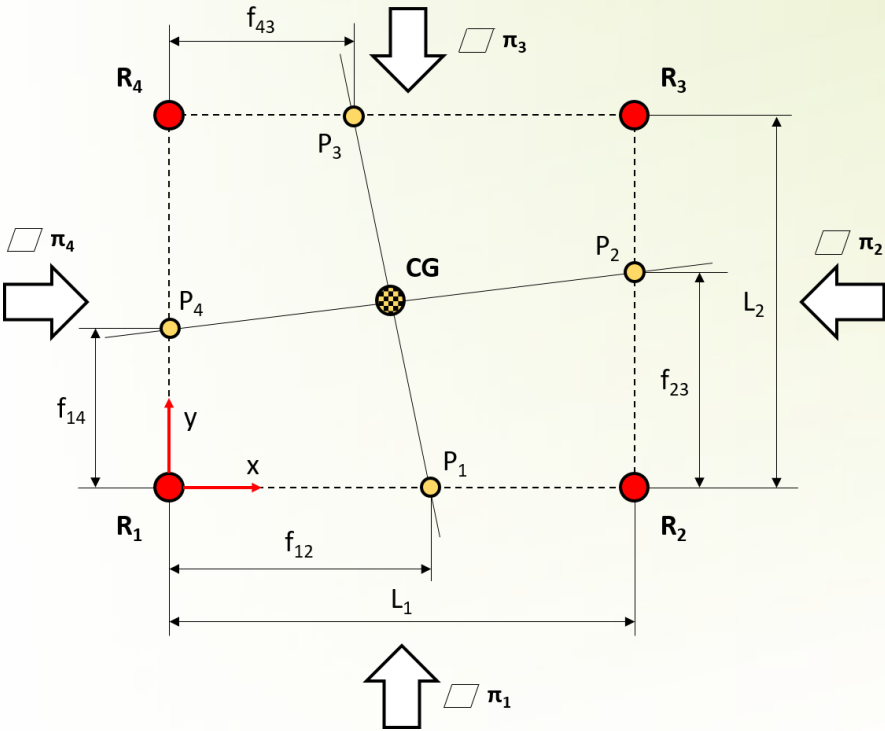


Wojskowa
Akademia
Techniczna

METODA WYZNACZANIA ŚRODKA CIĘŻKOŚCI W WARUNKACH DYNAMICZNYCH







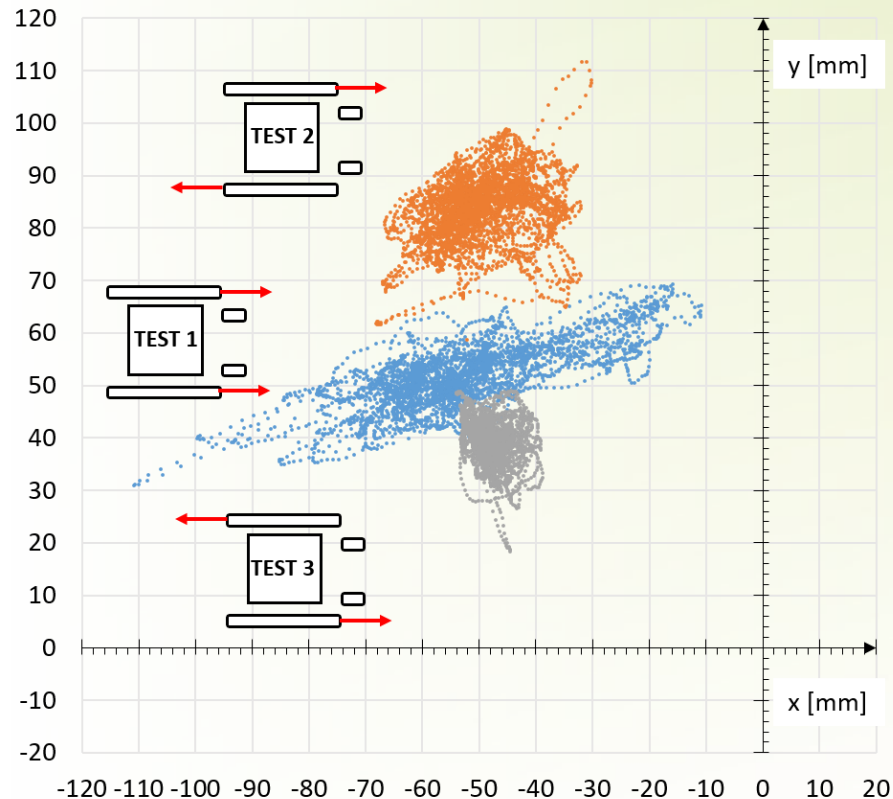
$$\begin{aligned} \sum M_{R_1} = 0: & -(R_1 + R_2) \cdot f_{12} + R_2 \cdot L_1 = 0 \rightarrow f_{12} = \frac{R_2 \cdot L_1}{(R_1 + R_2)}, \\ \sum M_{R_2} = 0: & -(R_2 + R_3) \cdot f_{23} + R_3 \cdot L_2 = 0 \rightarrow f_{23} = \frac{R_3 \cdot L_2}{(R_2 + R_3)}, \\ \sum M_{R_4} = 0: & -(R_3 + R_4) \cdot f_{43} + R_3 \cdot L_1 = 0 \rightarrow f_{43} = \frac{R_3 \cdot L_1}{(R_3 + R_4)}, \\ \sum M_{R_1} = 0: & -(R_1 + R_4) \cdot f_{14} + R_4 \cdot L_2 = 0 \rightarrow f_{14} = \frac{R_4 \cdot L_2}{(R_1 + R_4)}. \end{aligned}$$

$$x = \frac{-\frac{L_2 f_{12}}{f_{43} - f_{12}} - f_{14}}{\left(\frac{f_{23} - f_{14}}{L_1}\right) - \left(\frac{L_2}{f_{43} - f_{12}}\right)}$$

$$y = \frac{\left(\frac{f_{23} - f_{14}}{L_1}\right) \left(\frac{L_2 f_{12}}{f_{43} - f_{12}}\right) - \left(\frac{f_{23} - f_{14}}{L_1}\right) f_{14}}{\left(\frac{f_{23} - f_{14}}{L_1}\right) - \left(\frac{L_2}{f_{43} - f_{12}}\right)} + f_{14}$$



Zmierzone dane to zbiór punktów. Dane te są trudne w analizie i opisie matematycznym. Dlatego koniecznym jest opracowanie algorytmu umożliwiającego zautomatyzowany opis matematyczny zmierzonych zbiorów punktów.



Metoda wykorzystana w publikacjach:

Wieczorek, B., Kukła, M., Warguła, Ł., Rybarczyk, D., Giedrowicz, M., & Górecki, J. (2021). The Impact of the Human Body Position Changes During Wheelchair Propelling on Motion Resistance Force: A Preliminary Study. *Journal of Biomechanical Engineering*, 143(8), 081008

Wieczorek, B., & Kukła, M. (2019). Effects of the performance parameters of a wheelchair on the changes in the position of the centre of gravity of the human body in dynamic condition. *PloS one*, 14(12), e0226013

Kukła, M., **Wieczorek, B.,** Warguła, Ł., Górecki, J., & Giedrowicz, M. (2021). An Analytical Modelling of Demand for Driving Torque of a Wheelchair with Electromechanical Drive. *Energies*, 14(21), 7315



Wojskowa
Akademia
Techniczna

METODA OPISU ZBIORU PUNKTÓW OBSZARAMI ELIPTYCZNYMI





$$x_{COG} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; y_{COG} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right)$$

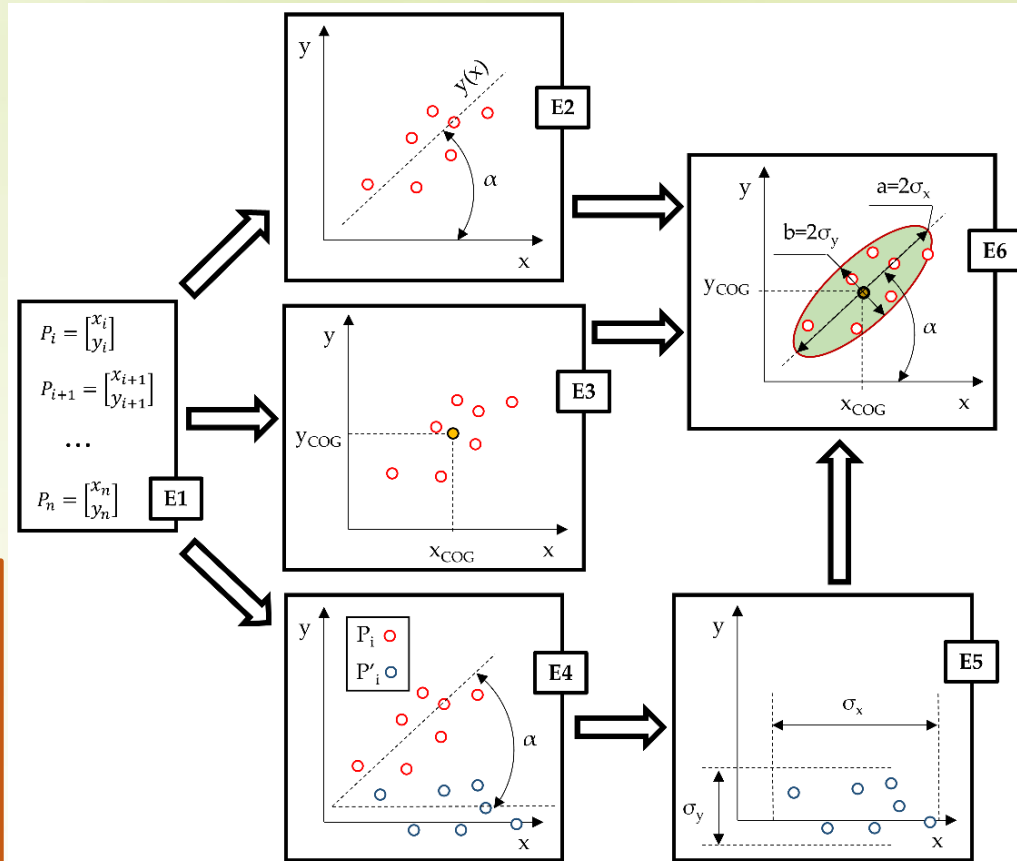
$$a = 2\sigma_x = 2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x'_i - \bar{x}')^2}{n}}$$

$$b = 2\sigma_y = 2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y'_i - \bar{y}')^2}{n}}$$

Wieczorek, B., Kukla, M., & Warguła, Ł. (2022). Describing a Set of Points with Elliptical Areas: Mathematical Description and Verification on Operational Tests of Technical Devices. *Applied Sciences*, 12(1), 445

Warguła, Ł., Kukla, M., **Wieczorek, B.**, & Krawiec, P. (2022). Energy consumption of the wood size reduction processes with employment of a low-power machines with various cutting mechanisms. *Renewable Energy*, 181, 630-639

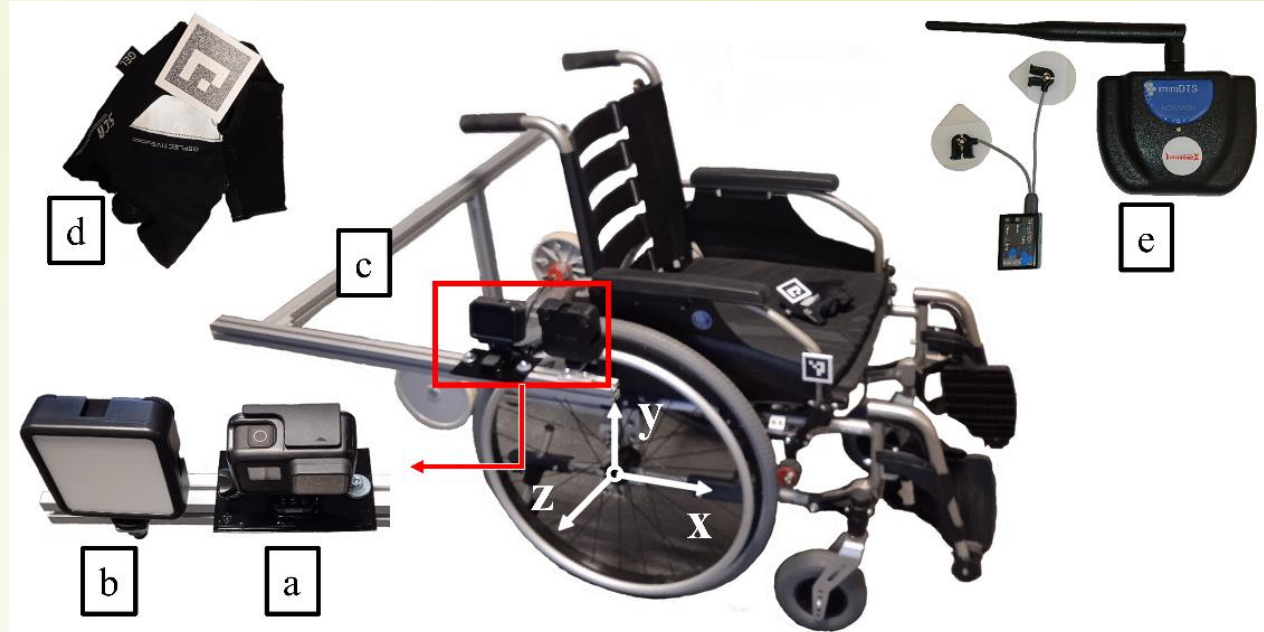
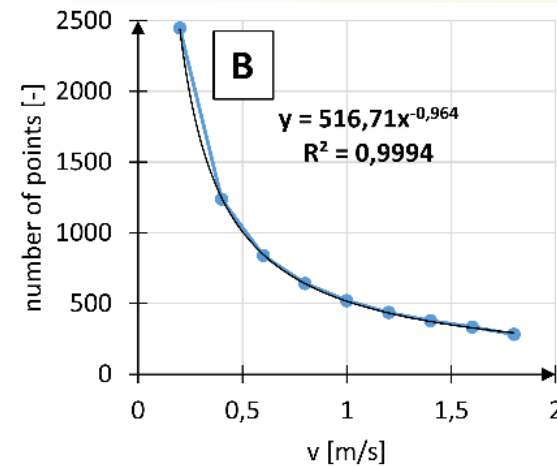
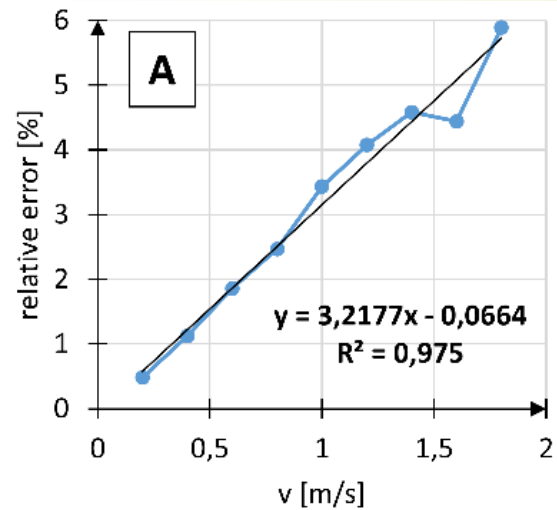
Wieczorek, B., Kukla, M., Warguła, Ł., Rybarczyk, D., Giedrowicz, M., & Górecki, J. (2021). The Impact of the Human Body Position Changes During Wheelchair Propelling on Motion Resistance Force: A Preliminary Study. *Journal of Biomechanical Engineering*, 143(8), 081008





METODA POMIARU MOTION CAPTURE I EMG





Metoda wykorzystana w publikacjach:

Wieczorek, B., & Kukla, M. (2021, November). The method of measuring motion capture in wheelchairs during actual use—description of the method and model of measuring signal processing. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1199, No. 1, p. 012084). IOP Publishing.

Wieczorek, B., Warguła, Ł., Kukla, M., Kubacki, A., & Górecki, J. (2020). The effects of ArUco marker velocity and size on motion capture detection and accuracy in the context of human body kinematics analysis. Technical Transactions, 117(1)



Wojskowa
Akademia
Techniczna

PRZYKŁADOWE BADANIA BIOMECHANICZNE WÓZKA INWALIDZKIEGO





(W1) Badania wpływu trajektorii ruchu wózka inwalidzkiego na rozkład środka ciężkości ciała człowieka.

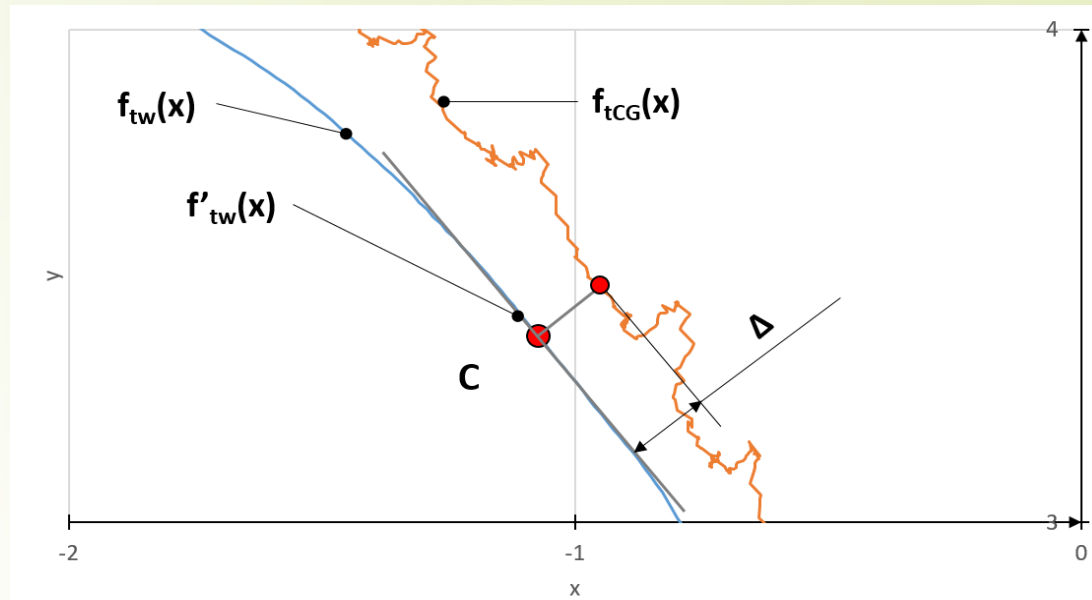
(W2) Badania zmienności siły oporów toczenia.

(W3) Opracowanie mapy zalecanych obszarów montażu modułów dodatkowych.

(W4) Opracowanie modelu funkcji obrotu koła napędowego podczas trwania fazy napędowej.

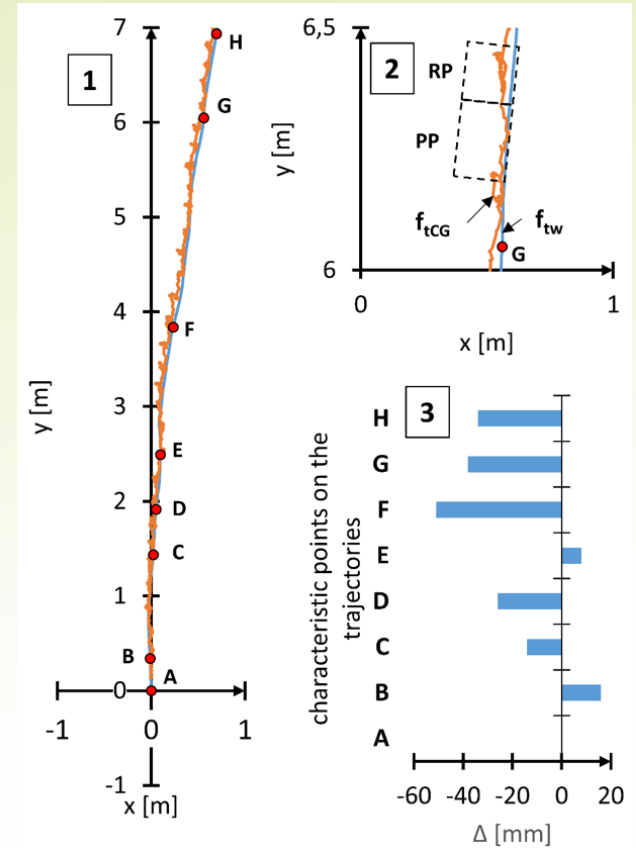
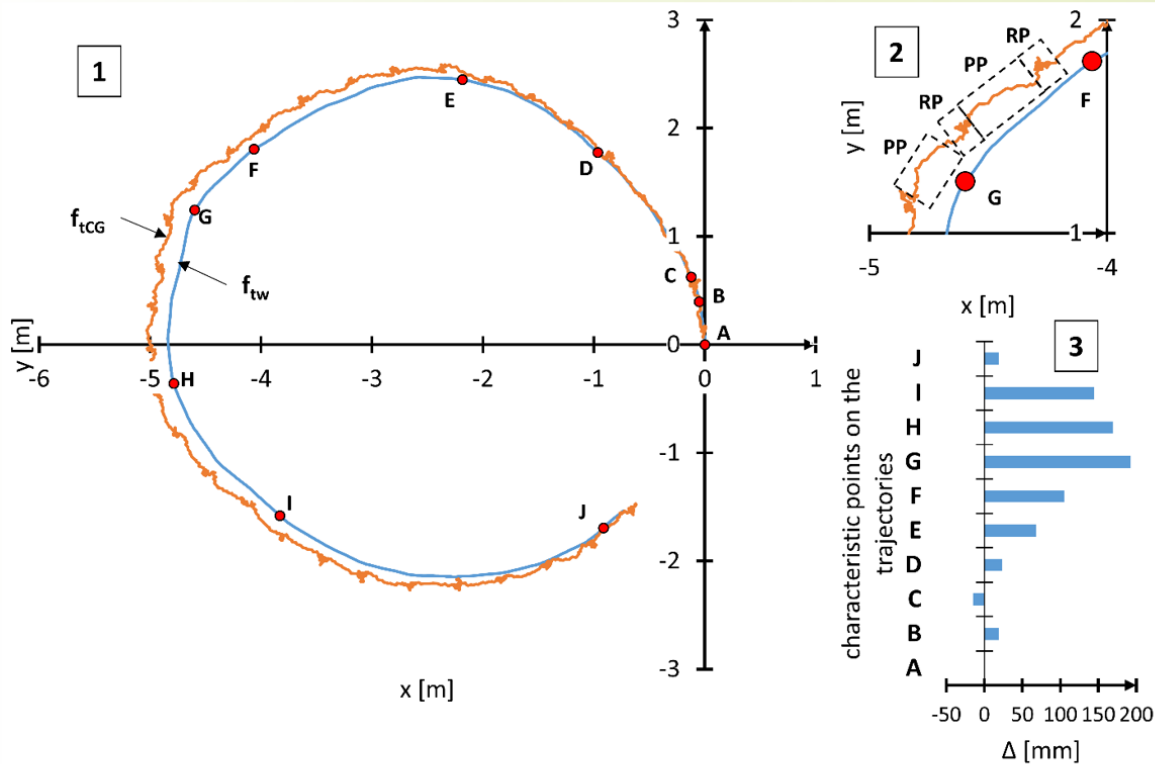


Badania wpływu trajektorii ruchu wózka inwalidzkiego na rozkład środka ciężkości ciała człowieka



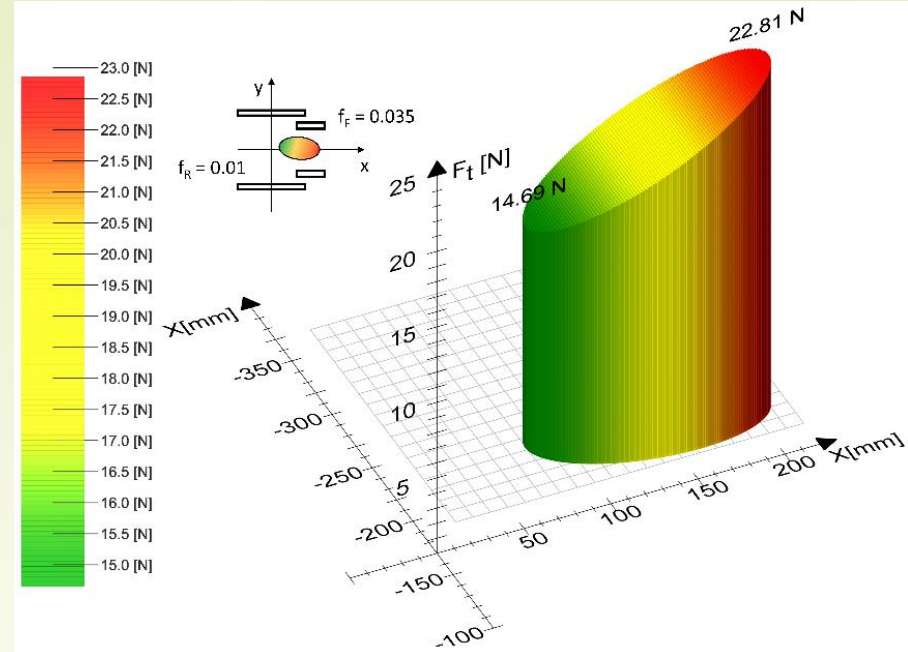
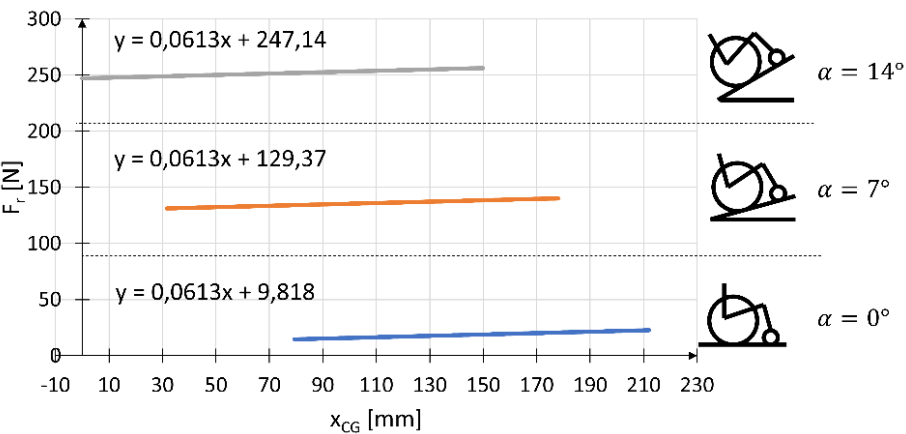
Schemat określania odchylenia trajektorii położenia środka ciężkości Δ od punktów charakterystycznych na trajektorii wózka inwalidzkiego. Gdzie $f_{tw}(x)$ – funkcja trajektorii wózka inwalidzkiego, $f'_{tw}(x)$ – pochodna funkcji trajektorii wózka inwalidzkiego, $f_{tCG}(x)$ funkcja trajektorii środka ciężkości ciała człowieka i Δ – odchylenie trajektorii środka ciężkości względem rozpatrywanego punktu trajektorii wózka inwalidzkiego

Badania wpływu trajektorii ruchu wózka inwalidzkiego na rozkład środka ciężkości ciała człowieka



Badania zmienności siły oporów toczenia

$$F_r(x_{CG}, \alpha) = 0.0613 \cdot x_{CG} + (9.818 + m \cdot g \cdot \sin \alpha)$$

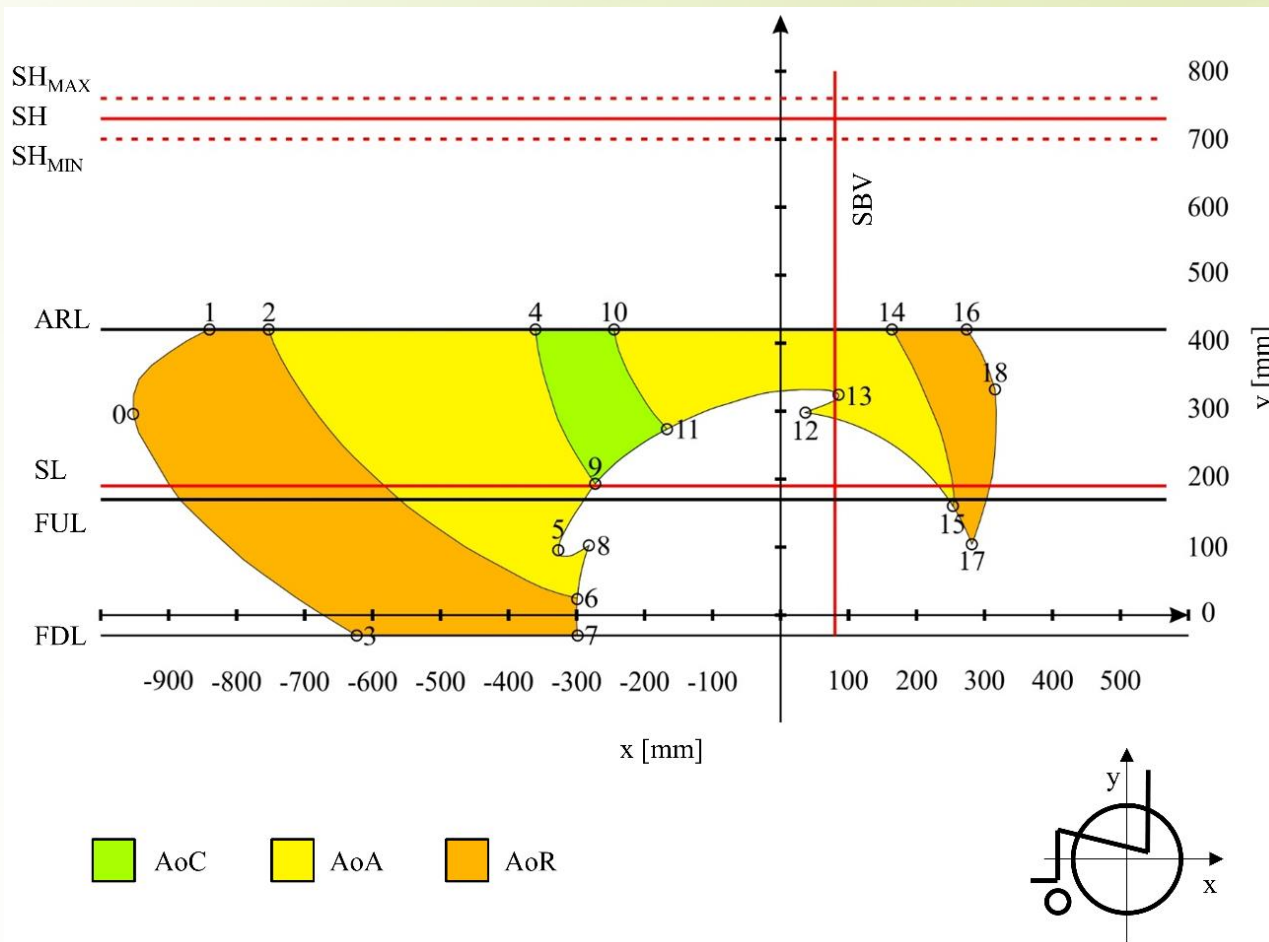


Wieczorek, B., Kukla, M., Warguła, Ł., Rybarczyk, D., Giedrowicz, M., & Górecki, J. (2021). The Impact of the Human Body Position Changes During Wheelchair Propelling on Motion Resistance Force: A Preliminary Study. *Journal of Biomechanical Engineering*, 143(8), 081008

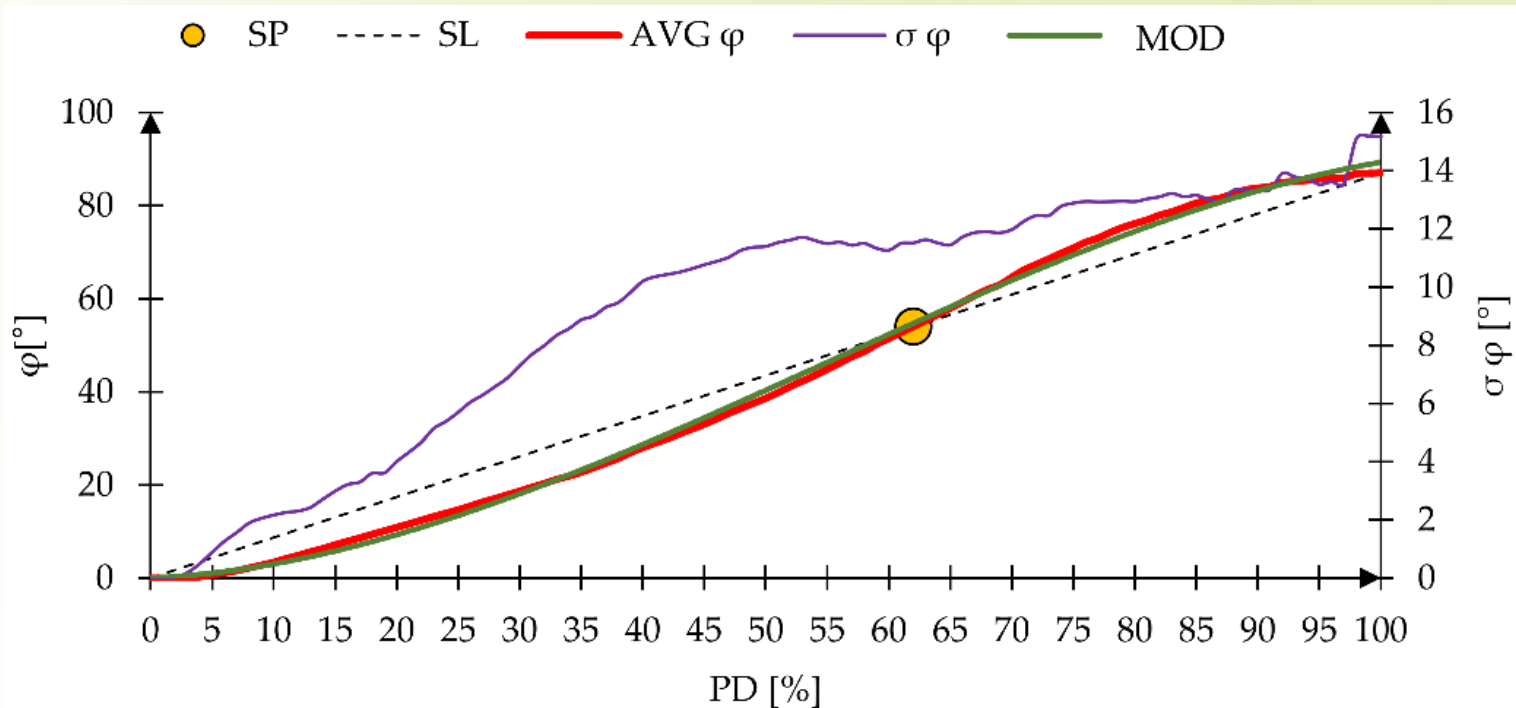
Warguła, Ł., Kukla, M., & **Wieczorek, B. (2020).** The impact of wheelchairs driving support systems on the rolling resistance coefficient. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 776, No. 1, p. 012076). IOP Publishing



Opracowanie mapy zalecanych obszarów montażu modułów dodatkowych



Opracowanie modelu funkcji obrotu koła napędowego podczas trwania fazy napędowej

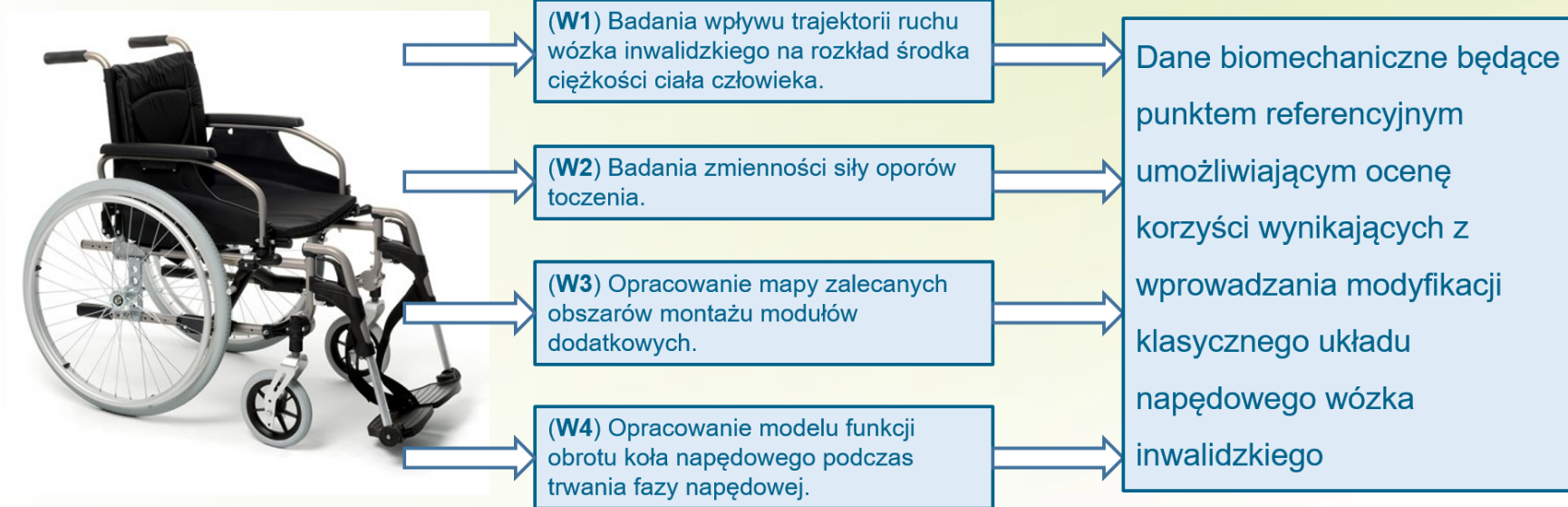


Wykres uśrednionej funkcji zmiany kąta obrotu koła napędowego i odchylenia standardowego w zależności od czasu trwania fazy napędowej dla wózka inwalidzkiego.

Gdzie: SP – punkt symetrii, SL – linia symetrii, AVG φ – średnia dla wszystkich pacjentów funkcja kąta obrotu koła napędowego, $\sigma \varphi$ – odchylenie standardowe między badanymi pacjentami, MOD- funkcja przybliżenia matematycznego wyznaczonej funkcji średniej AVG φ , φ – kąt obrotu koła napędowego, PD – procentowy czas trwania fazy napędowej



PRZYKŁADOWE BADANIA BIOMECHANICZNE WÓZKA INWALIDZKIEGO



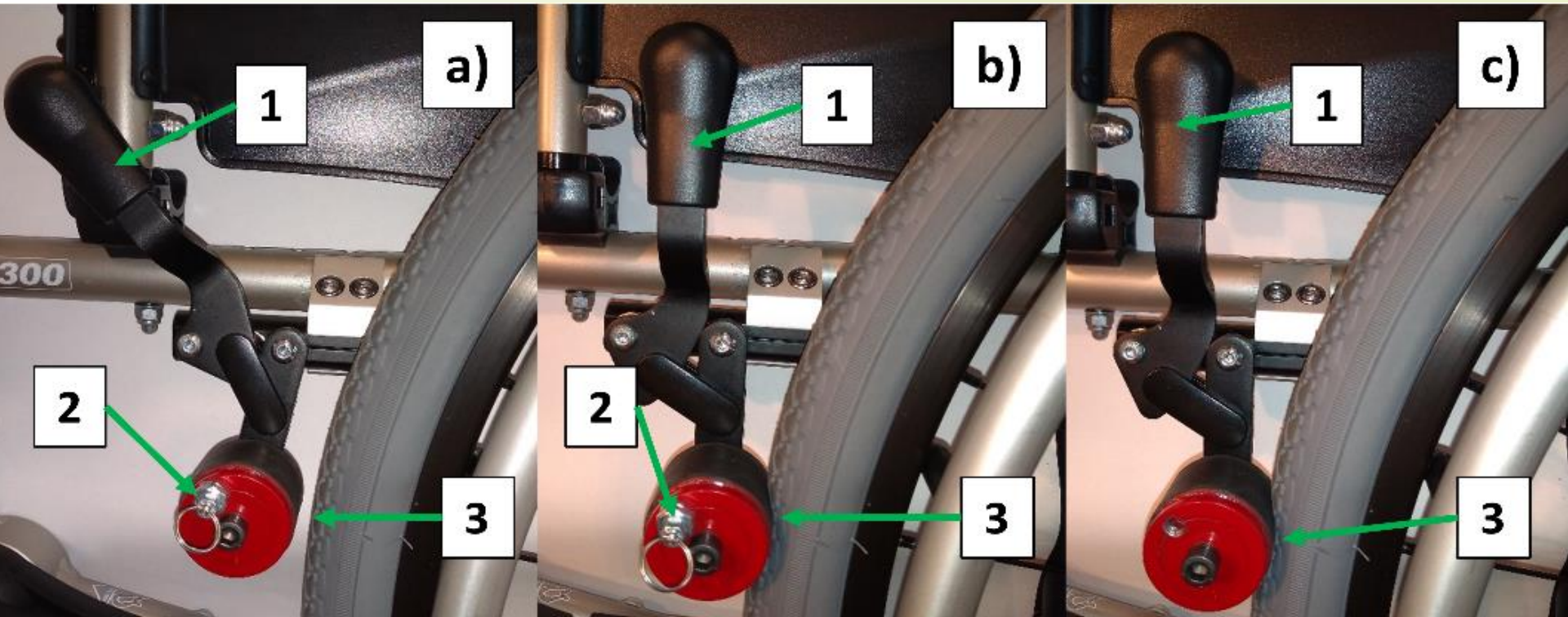


PRZYKŁAD: ANALIZA MODUŁU BLOKADY COFANIA WÓZKA INWALIDZKIEGO





ANALIZA MODUŁU BLOKADY COFANIA WÓZKA INWALIDZKIEGO



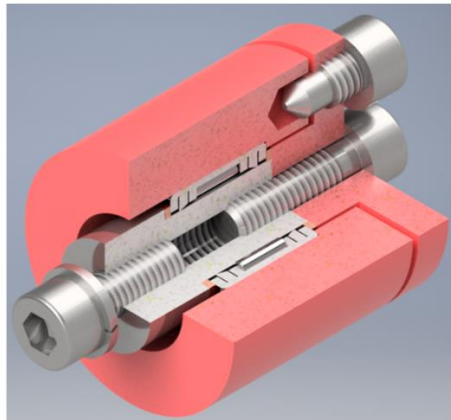


classic brake

simple
→
conversion

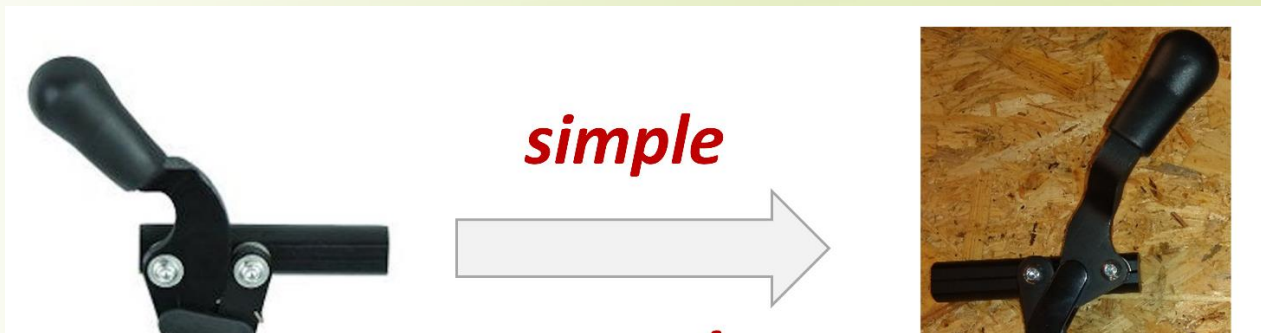


anti-rollback brake



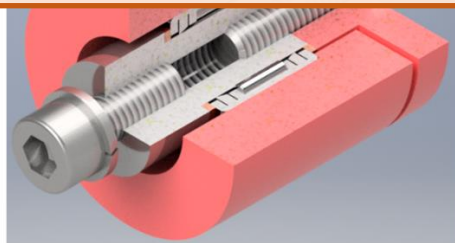
Conversion kit

- simple design
- adaptation to most lever brakes
- low production costs
- use in all types of manual wheelchairs



Wieczorek B., Warguła Ł., Kukła M.: Moduł do uniwersalnego hamulca dźwigniowego koła wózka inwalidzkiego, **Patent w Urzędzie Patentowym RP, nr. prawa wyłącznego PL 239693, 2021**

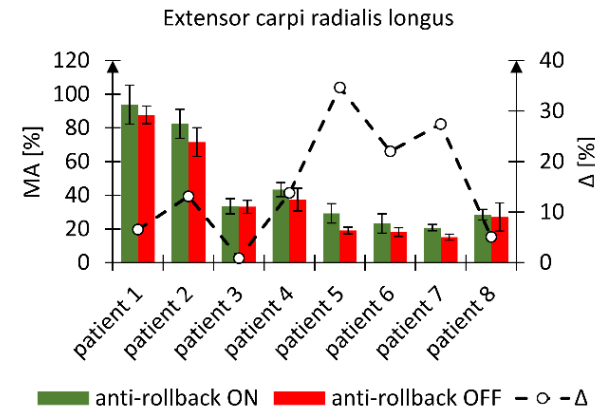
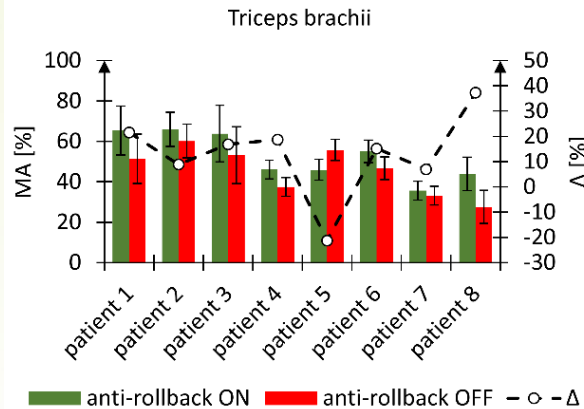
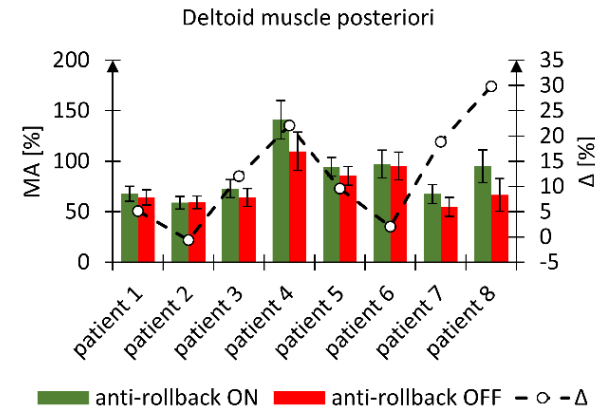
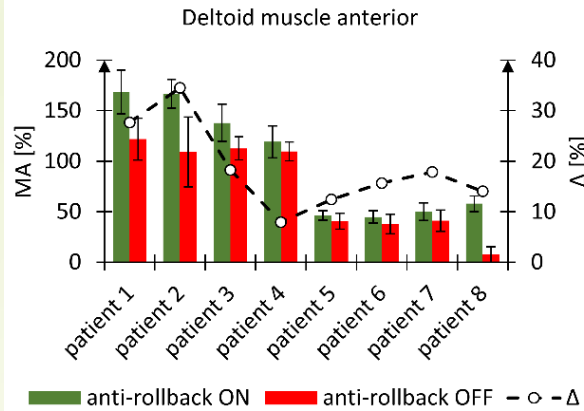
Wieczorek B., Warguła Ł., Kukła M., Berdychowski M.: Moduł do uniwersalnego hamulca dźwigniowego koła wózka inwalidzkiego, **Patent w Urzędzie Patentowym RP, nr. prawa wyłącznego PL 239410, 2021**



- adaptation to most lever brakes
- low production costs
- use in all types of manual wheelchairs

Analiza aktywności mięśniowej

Wykresy średnich aktywności mięśniowych dla poszczególnych pacjentów przy włączonej blokadzie cofania (anti-rollback ON) i wyłączonej blokadzie cofania (anti-rollback system OFF). Gdzie: Δ - procentowa różnica między aktywnością mięśniową dla włączonej blokadzie cofania i wyłączonej blokadzie cofania

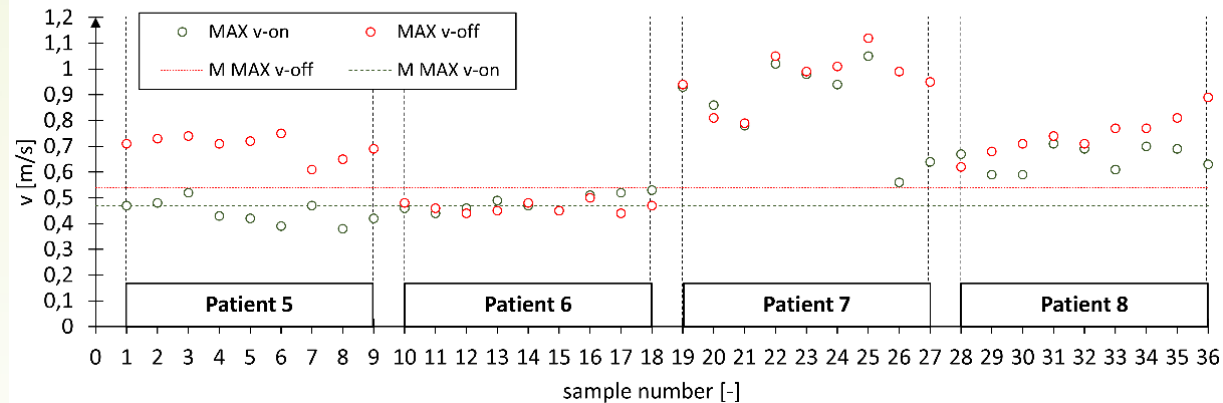
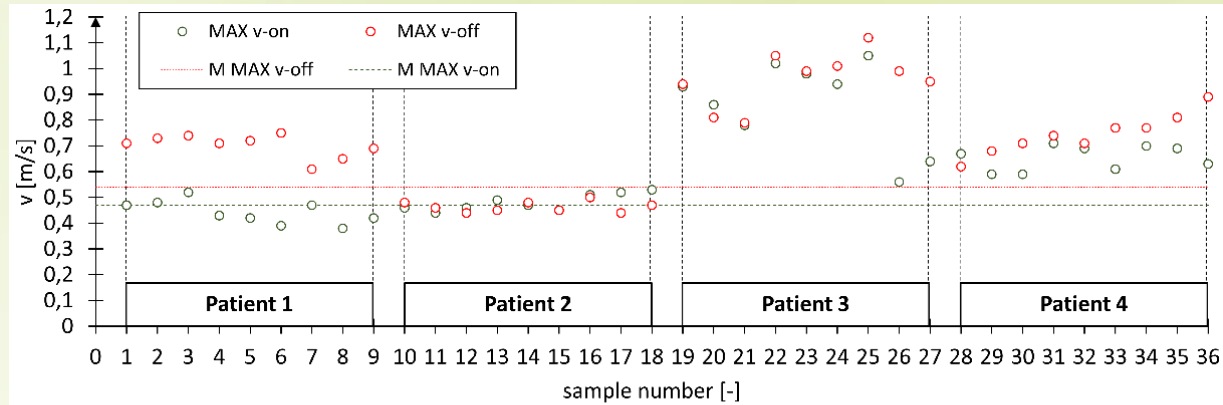


Wyniki opublikowane w:

Wieczorek, B., Kukła, M., Rybarczyk, D., & Warguła, Ł. (2020). Evaluation of the biomechanical parameters of human-wheelchair systems during ramp climbing with the use of a manual wheelchair with anti-rollback devices. *Applied Sciences*, 10(23), 8757

Analiza kinematyki

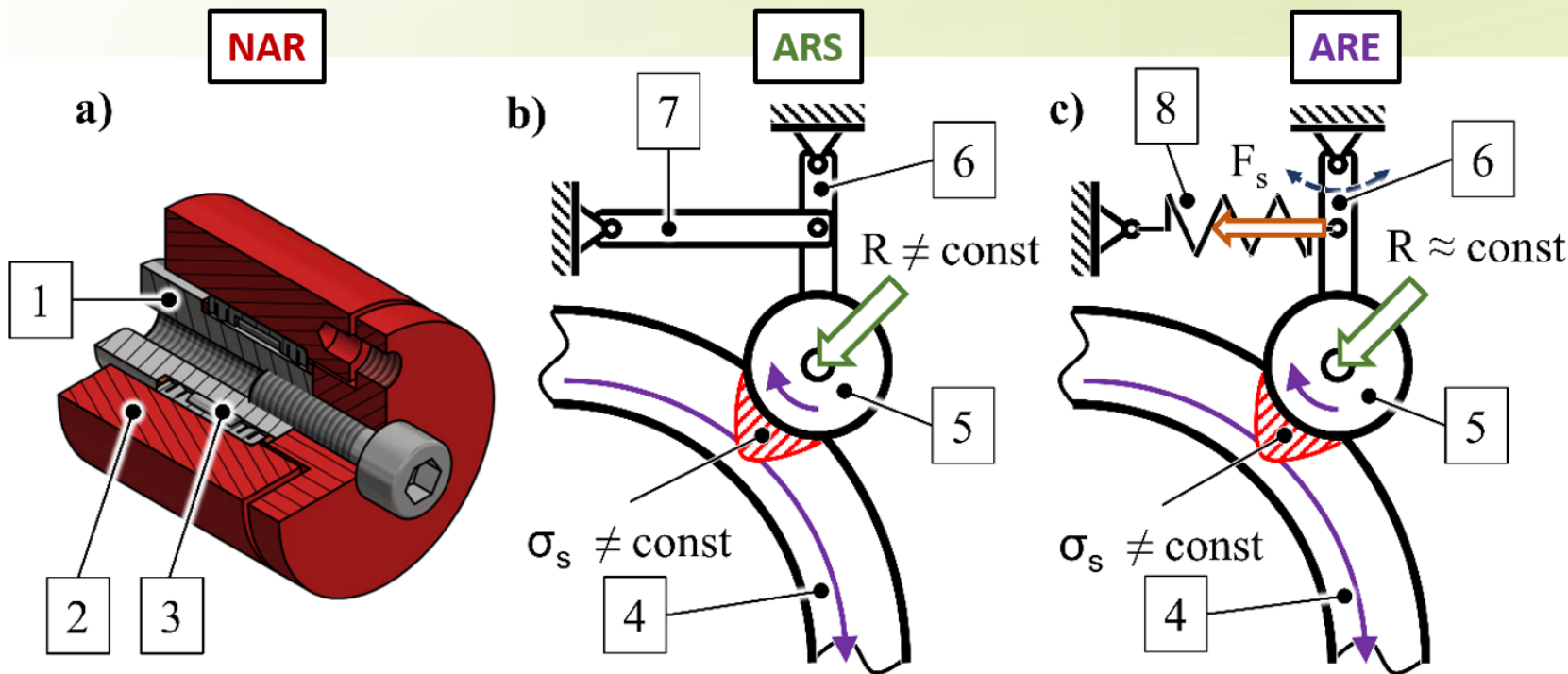
Wykres maksymalnej prędkości wózka inwalidzkiego dla wszystkich analizowanych prób pomiarowych, gdzie MAX v-on – maksymalna prędkość wózka inwalidzkiego z włączoną blokadą cofania, MAX v-off – maksymalna prędkość wózka inwalidzkiego z wyłączoną blokadą cofania, M MAX v-on – średnia maksymalna prędkość wózka inwalidzkiego dla wszystkich prób pomiarowych z włączoną blokadą cofania, M MAX v-off – średnia maksymalna prędkość wózka inwalidzkiego dla wszystkich prób pomiarowych z wyłączoną blokadą cofania



Wyniki opublikowane w:

Wieczorek, B., Kukła, M., Rybarczyk, D., & Warguła, Ł. (2020). Evaluation of the biomechanical parameters of human-wheelchair systems during ramp climbing with the use of a manual wheelchair with anti-rollback devices. *Applied Sciences*, 10(23), 8757

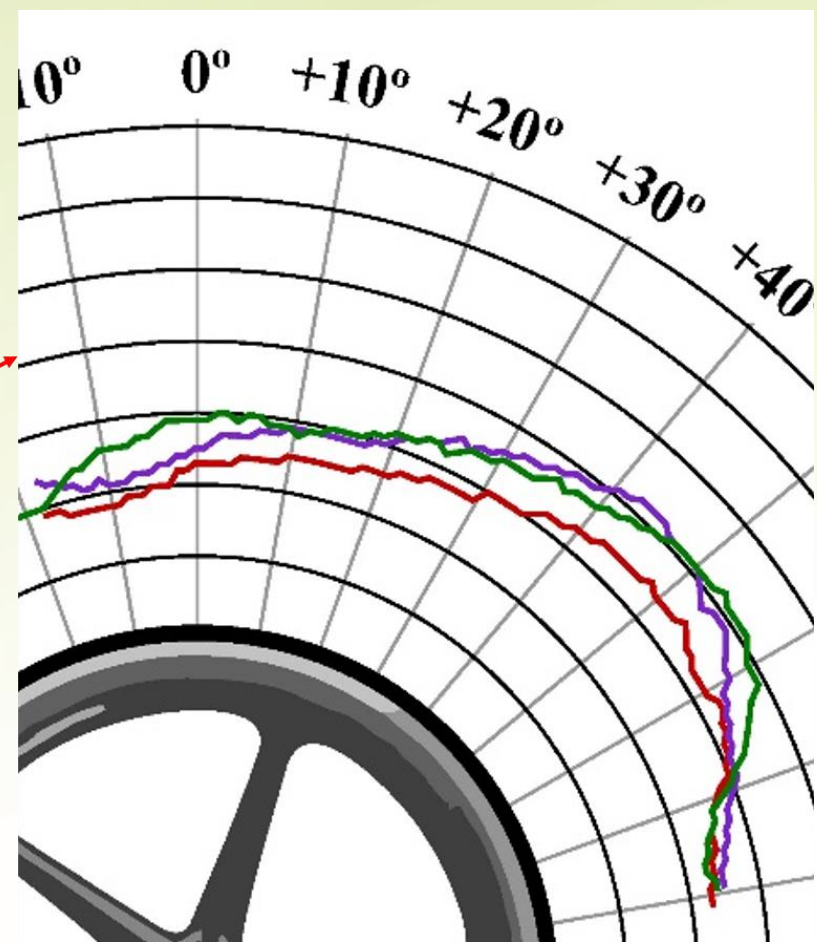
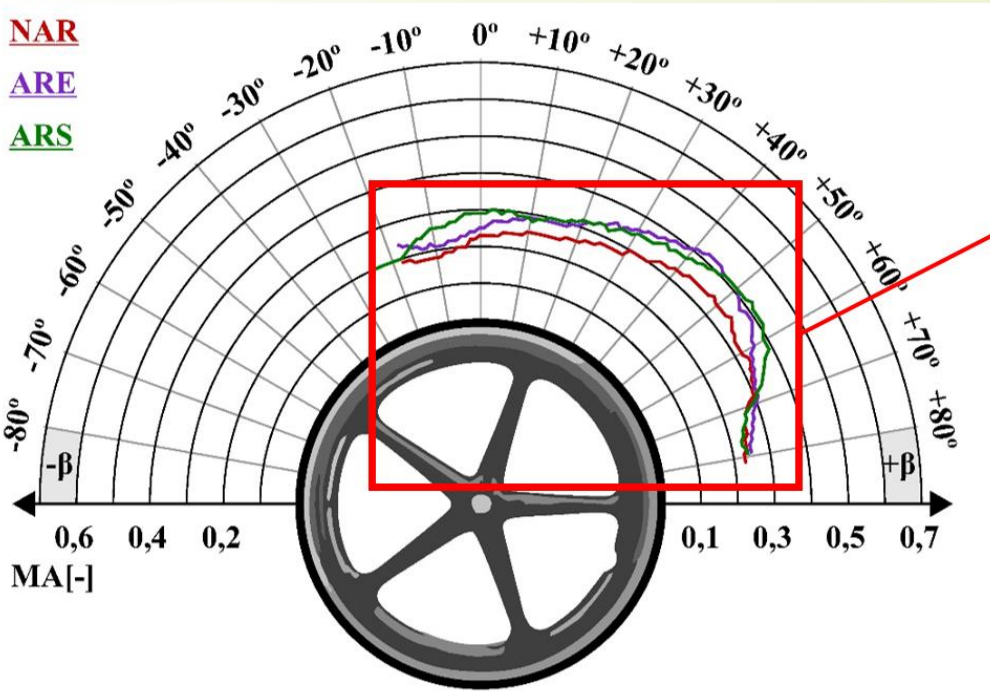
Rozwój konstrukcji



Blokada cofania (a) oraz sposoby sprzężenia jej z kołem napędowym za pomocą elementu sztywnego (b) i elementu sprężystego (c). Gdzie: 1 – oś centralna, 2 – rolka blokady cofania, 3 – sprzęgło jednokierunkowe, 4 – pneumatyczne koło napędowe wózka inwalidzkiego, 5 – blokada cofania, 6 – łącznik przegubowy, 7 – sztywna belka, 8 – sprężyna naciągowa



Rozwój konstrukcji – analiza aktywności mięśniowej





WNIOSKI



- Wózki inwalidzkie o napędzie ręcznym mają szereg zalet i nie powinno się ich w pełni zastępować wózkami o napędzie elektrycznym, dlatego warto poznawać i rozwijać sposoby ich efektywnego wykorzystania. Zauważalny jest trend dopasowywania ręcznego układu napędowego do indywidualnych możliwości fizycznych użytkownika. Proces ten realizowany jest przez zastosowanie napędów hybrydowych lub modułów dodatkowych takich jak anti-rollback system
- Hamownia dla wózków inwalidzkich pełni dwie funkcje: symulację warunków rzeczywistej eksploatacji podczas badań laboratoryjnych oraz pomiar parametrów biomechanicznych. Symulacja możliwa jest dzięki zmianie kąta pochylenia wózka inwalidzkiego oraz sterowaniu wymuszeniami dynamicznymi przekazywanymi na koło napędowe wózka inwalidzkiego. Mierzone parametry biomechaniczne za pomocą hamowni to: położenie środka ciężkości, pomiar kinematyki wózka inwalidzkiego i ciała człowieka, pomiar wysiłku mięśniowego z zastosowaniem elektromiografii powierzchniowej i analizy wydychanych gazów.
- Kompleksowa ocena wózków inwalidzkich podczas badań biomechanicznych pozwala na uzyskanie nowej wiedzy przydatnej: podczas projektowania wózków inwalidzkich, podczas nastawiania i dopasowywania wózka inwalidzkiego do jego użytkownika oraz treningu techniki jazdy.

Podpis zdjęcia, przypis

- Hamownia eliminuje fizyczny ruch liniowy wózka inwalidzkiego. Brak wrażenia ruchu wózka inwalidzkiego może zakłócać przeprowadzane badania i prowadzić do błędnych wyników. Dlatego konieczne jest dostarczanie użytkownikowi informacji o trajektorii ruchu wózka podczas badań laboratoryjnych.
- Położenie środka ciężkości układu człowiek – wózek inwalidzki warunkuje efektywność oraz stateczność wózka inwalidzkiego. Dlatego istotne jest zbadanie zmian położenia środka ciężkości w warunkach dynamicznych.
- Realizacja badań biomechanicznych przekłada się na akwizycję danych z dużą częstotliwością. Powoduje to duży zbiór danych na podstawie których należy wykonać analizę wpływu środka technicznego na człowieka. Praca z dużymi zbiorami danych jest trudna i wymaga dużych zasobów obliczeniowych. W związku z tym niezbędne jest opracowanie metod analitycznych zastępujących zbiory danych umieszczonych w pewnej przestrzeni trójwymiarowej zbiorem kilku parametrów opisujących figurę geometryczną przybliżającą obszar zmienności mierzonych danych.

Podpis zdjęcia, przypis