

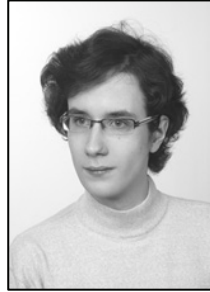
Wojciech CREDO, Danuta JASIŃSKA-CHOROMAŃSKA

INSTYTUT MIKROMECHANIKI I FOTONIKI,
ul. Św Andrzeja Boboli 8, 02-525 Warszawa

Modelowanie pasa biodrowego Systemu Pionizacji i Wspomagania Ruchu

Mgr inż. Wojciech CREDO

Absolwent specjalności Mikromechanika na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Od 2013 roku zatrudniony na stanowisku asystenta w Instytucie Mikromechaniki i Fotoniki PW.



e-mail: w.credo@mchtr.pw.edu.pl

Dr hab. inż. Danuta JASIŃSKA-CHOROMAŃSKA

Ukończyła studia na Wydziale Mechaniki Precyzyjnej PW (obecnie Wydział Mechatroniki) w 1975r. W 1983r. uzyskała stopień doktora (na Wydziale Mechaniki Precyzyjnej PW), a w 2001r. stopień doktora habilitowanego (na Wydziale Mechatroniki PW). Od 2006 roku kieruje Zakładem Konstrukcji Urządzeń Precyzyjnych w IMiF Wydziału Mechatroniki PW na stanowisku prof. nzw. PW. Jest autorką ponad 120 prac naukowych, w tym 2 monografii dotyczących zagadnień projektowania mechatronicznego.



e-mail: danuta@mchtr.pw.edu.pl

Streszczenie

W artykule opisano problem projektowania pasa biodrowego stanowiącego element składowy robota ortotycznego. Pas ten pełni istotną funkcję w mechanicznej strukturze systemu. Dla mechanizmów robota jest on ostoją, czyli zespołem zapewniającym stałe, wzajemne położenie elementów łańcuchów kinematycznych obu kończyn. Z tego względu musi on spełniać wymagania dużej sztywności i określonej wytrzymałości. Pas biodrowy służy ponadto do połączenia systemu z tułowiem użytkownika. W tym przypadku ważne są zasady ergonomii takie jak możliwość łatwego ubierania systemu i wygoda jego użytkowania. Wiąże się to z potrzebą wprowadzenia niezbędnych podatności i nieciągłości mechanicznych, które utrudniają osiągnięcie wymaganych charakterystyk wytrzymałościowych. Pogodzenie tych sprzeczności jest rolą konstruktora. Przeprowadzone badania wytrzymałościowe, wykorzystujące metodę elementów skończonych pozwoliły na wybranie konstrukcji pasa biodrowego, który przy spełnieniu podstawowych wymagań, umożliwił ograniczenie masy elementu.

Słowa kluczowe: roboty ortotyczne, biomechanika, roboty medyczne, rehabilitacja.

Modeling of the hip belt of the System for Verticalization and Aiding Motion

Abstract

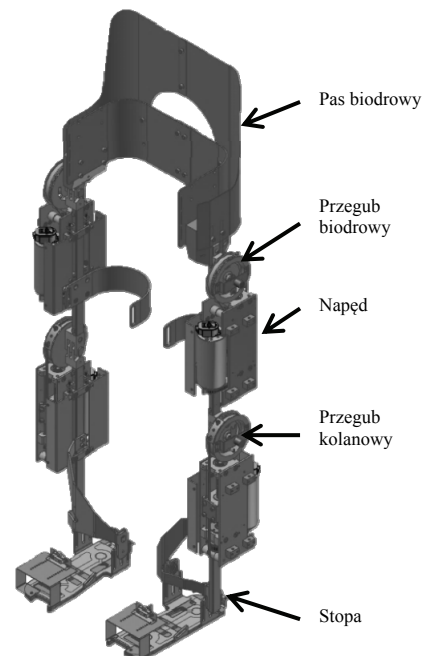
The paper describes a problem related to design of a hip belt, which is a member of an orthotic robot. The belt plays an important role in the mechanical structure of the system. It is a bearing frame for mechanisms of the robot, i.e. it is a unit that ensures a constant mutual position of the members of kinematic chains of both limbs. Because of this fact, it must satisfy requirements pertaining to high rigidity and appropriate mechanical strength. Besides, the hip belt serves also a purpose of connecting the system with the user's trunk. In this case, the principles related to ergonomics are of utmost importance: it must be easy for the user to put on the system and to use it in a comfortable way. This is connected with a necessity of introducing indispensable mechanical compliances and discontinuities, which makes it difficult to obtain the required strength characteristics. To reconcile these contradictions is a task of the design engineer, who is expected to strike a happy medium. Studies related to the strength, using the finite element method, that were carried out, allowed one to choose a design of the hip belt, which made it possible to reduce the mass of this element and to meet the basic requirements at the same time.

Keywords: wearable robots, biomechanics, medical robots, rehabilitation.

1. Wprowadzenie

1.1. System pionizacji i wspomagania ruchu

W 2009r w Zakładzie Konstrukcji Urządzeń Precyzyjnych na Politechnice Warszawskiej rozpoczęto prace nad urządzeniem do pionizacji i wspomagania ruchu osób z niedowładem kończyn dolnych - rys. 1.



Rys. 1. System Pionizacji i Wspomagania Ruchu
Fig. 1. System for Verticalization and Aiding Motion

Projekt urządzenia jest częścią programu o nazwie ECO-Mobilność, który obejmuje opracowanie przyjaznych dla środowiska, kompatybilnych systemów transportu miejskiego, zarówno lokalnego jak i osobistego, dostępnych dla całej populacji, w tym w szczególności dla osób niepełnosprawnych. Budowane urządzenie zalicza się do grupy robotów ortotycznych. Jego główną funkcją jest wymuszanie ruchu dolnych kończyn użytkownika w sposób zbliżony do normalnego chodu człowieka[2].

1.2. Rola pasa biodrowego w mechanicznej strukturze systemu

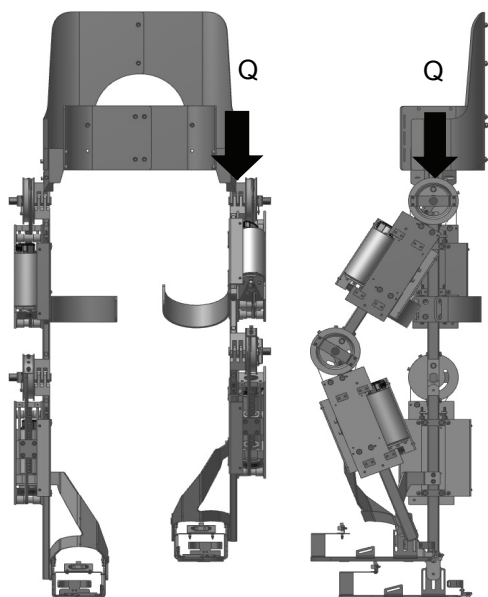
Zespół noszący nazwę pasa biodrowego pełni istotną funkcję w mechanicznej strukturze systemu. Dla mechanizmów robota jest on ostoją, czyli zespołem zapewniającym stałe, wzajemne położenie elementów łańcuchów kinematycznych obu kończyn. Z tego względu musi on spełniać wymagania dużej sztywności i określonej wytrzymałości. Pas biodrowy służy ponadto do połączenia systemu z tułowiem użytkownika. W tym przypadku ważne są zasady ergonomii: możliwość łatwego instalowania (ubierania) systemu i wygoda jego użytkowania. Wiąże się to z potrzebą wprowadzenia niezbędnych podatności i nieciągłości mechanicz-

nych, które utrudniają osiągnięcie wymaganych charakterystyk wytrzymałościowych. Pogodzenie tych sprzeczności jest rolą konstruktora. Z uwagi na złożony kształt elementów składających się na pas, sprawdzanie jego poprawności przez badanie modeli technicznych jest zbyt kosztowne. Dlatego też badania doświadczalne zastępuje się obliczeniami z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi programowych. W artykule opisano wybrane wyniki tych prac.

2. Metoda modelowania

2.1. Identyfikacja obciążeń dla pasa biodrowego

W wyniku pogłębionej dyskusji ustalono że główne obciążenia dla pasa biodrowego wynikają z sił ciężkości powstających podczas chodu w momencie gdy jedna z kończyn jest w fazie przenoszenia.



Rys. 2. Siła ciężkości działająca na pas biodrowy
Fig. 2. Gravity force acting upon the hip belt

Sytuacja przedstawiona na rys. 2 prezentuje sposób w jaki siła ciężkości Q obciąża pas biodrowy. Siłę Q obliczono w następujący sposób:

$$Q = \left(m_{cz-k} + \frac{m_{cz-t}}{2} + m_{s-k} + \frac{m_{s-pb}}{2} \right) \cdot g \quad (1)$$

gdzie:

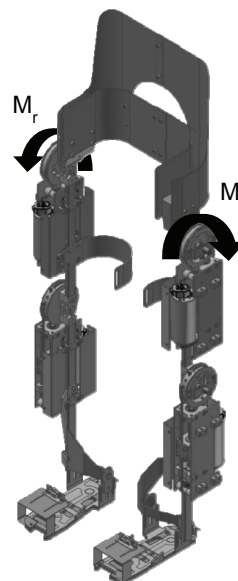
- m_{cz-k} – masa kończyny dolnej człowieka
- m_{cz-t} – masa tułowia człowieka wraz głową oraz kończynami górnymi
- m_{s-k} – masa kończyny systemu
- m_{s-pb} – masa pasa biodrowego systemu wraz z akumulatorami
- g – przyspieszenie ziemskie

Masy części ciała człowieka zaczerpnięto z atlasu antropometrycznego dla mężczyzny dla 50 centyla, natomiast masy systemu pobrano z modelu przy uwzględnieniu obecnej konstrukcji pasa biodrowego.

Po podstawieniu wartości liczbowych siła Q wyniosła:

$$Q = \left(25,7kg + \frac{61,4kg}{2} + 22,5kg + \frac{12kg}{2} \right) \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 833N \quad (2)$$

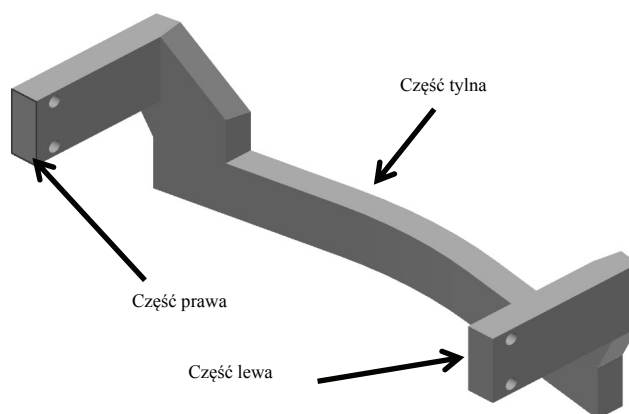
Drugim obciążeniem jakie przenosi pas biodrowy jest moment reakcji od momentów wytwarzanych przez układy napędowe przegubów biodrowych (rys. 3). Do obliczeń przyjęto sumę momentów występujących podczas chodu. Dane zaczerpnięto z symulacji sytemu przeprowadzonej w środowisku Matlab. Maksymalna wartość jaką osiągnięto wynosiła 220 Nm.



Rys. 3. Momenty reakcji od układów napędowych
Fig. 3. Reaction torques due to the actuators

2.2. Modelowanie pasa biodrowego

Projektowanie pasa biodrowego przebiega w sposób iteracyjny. Proponowana konstrukcja zespołu jest zapisywana w postaci wirtualnego modelu przestrzennego z wykorzystaniem programu Inventor [1].



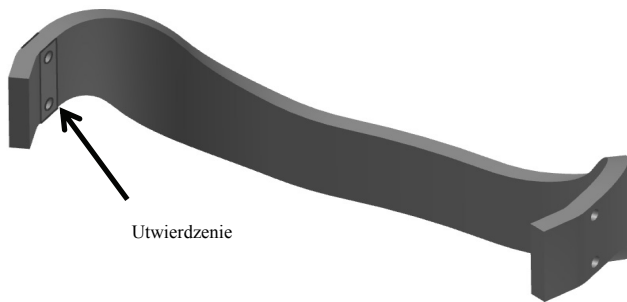
Rys. 4. Pas biodrowy wieloelementowy
Fig. 4. Multi-element hip belt

Model ten jest importowany do specjalnego modułu programowego wyposażonego w algorytmy do obliczeń wytrzymałościowych metodą elementów skończonych. Badacz ma możliwość zdefiniowania obciążeń siłami i momentami sił oraz miejsc utwierdzenia konstrukcji. Za pomocą tego modułu badane są rozkłady naprężeń i odkształceń w zaprojektowanych elementach. Ocena uzyskanych rezultatów jest podstawą do zmodyfikowania konstrukcji pasa. Przedstawiony w artykule pas biodrowy składa się z 3 głównych elementów (rys. 4), których wzajemne ustawienie może być zmieniane w celu dopasowania do cech antropometrycznych użytkownika.

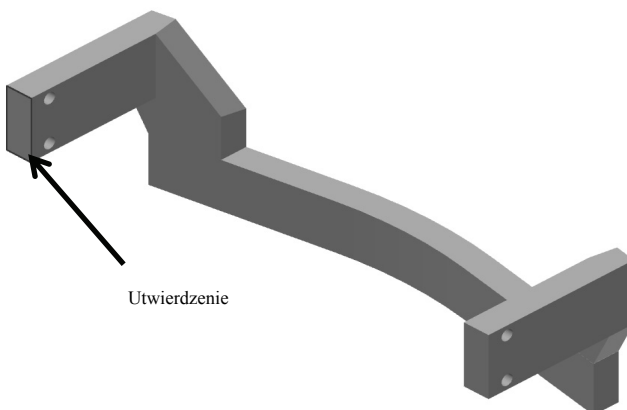
3. Badania

W badaniach modelowych jako uzmienniane cechy konstrukcji przyjęto materiały konstrukcyjne oraz kształt i wymiary przekroju. Jako warunki brzegowe dla rozpatrywanych rozwiązań przyjęto dopuszczalne, maksymalne przemieszczenia przegubów biodrowych i maksymalne dopuszczalne dla danego materiału naprężenia. Za podstawowe kryterium oceny wyników przyjęto możliwie małą masę badanego zespołu.

W pierwszym etapie symulacji należało zdefiniować miejsca utwierdzenia konstrukcji. W obu konstrukcjach zastosowano utwierdzenie stałe, odbierające wszystkie stopnie swobody, w miejscu mocowania jednej z kończyn systemu (rys. 5, rys. 6).

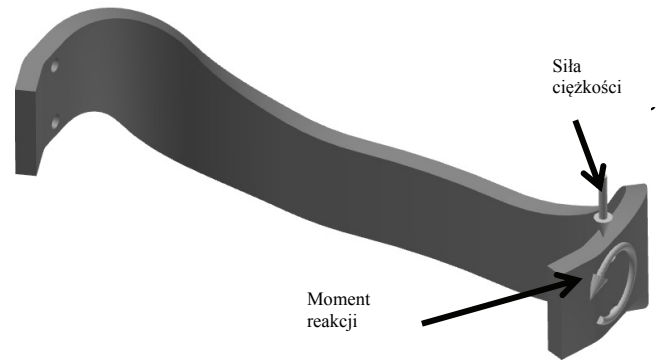


Rys. 5. Miejsce utwierdzenia pasa monolitycznego
Fig. 5. Fixation point of the monolithic belt

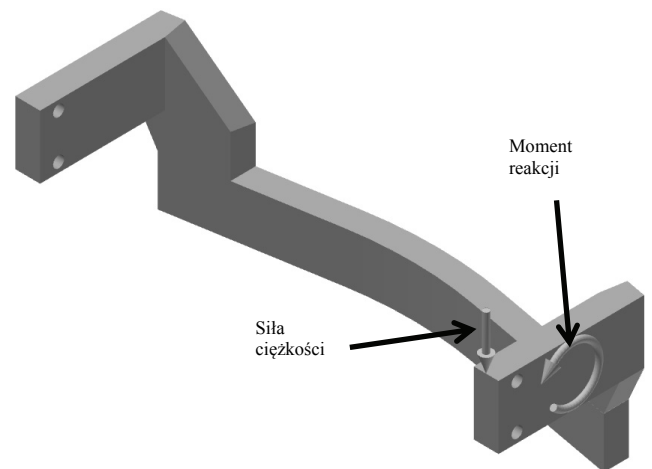


Rys. 6. Miejsce utwierdzenia pasa wieloelementowy
Fig. 6. Fixation point of the multi-element belt

Następnie zdefiniowano występujące obciążenia: siły ciężkości działającej w osi pionowej oraz moment reakcji działającego w osi poziomej, przyłożone w miejscu mocowania drugiej kończyny systemu (rys. 7, rys. 8).

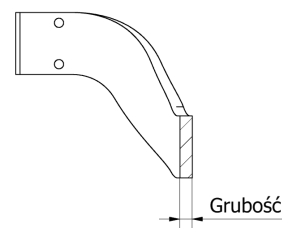


Rys. 7. Obciążenia dla pasa monolitycznego
Fig. 7. Loads for the multi-element belt



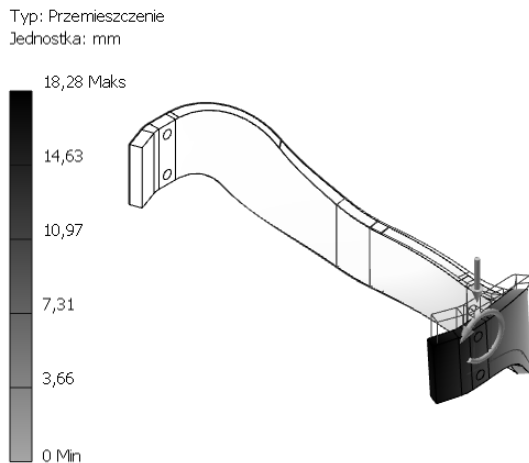
Rys. 8. Obciążenia dla pasa wieloelementowego
Fig. 8. Loads for the monolithic belt

Dla obu konstrukcji przeprowadzono serie badań, w których zmieniano grubość przekroju poprzecznego elementów (rys. 9) i porównując otrzymane wartości naprężeń oraz przemieszczeń, jednocześnie kontrolując masę konstrukcji.

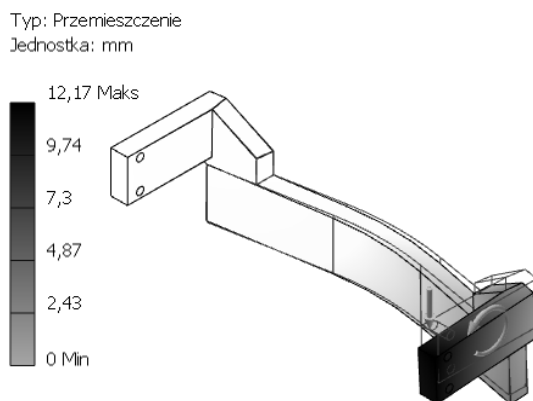


Rys. 9. Grubość przekroju
Fig. 9. Thickness of the cross-section

Przykładowe wyniki symulacji przedstawiono na rysunkach 10 i 11.



Rys. 10. Wynik symulacji dla pasa monolitycznego
Fig. 10. Loads for the monolithic belt



Rys. 11. Wynik symulacji dla pasa wieloelementowego
Fig. 11. Result of simulation for the multi-element belt

4. Wyniki badań

Otrzymane wyniki liczbowe dla różnych grubości ścianek w obu konstrukcjach przedstawiono w tabelach:

Tab. 1. Wyniki analizy MES dla pasa monolitycznego
Tab. 1. Results of FEM analysis for the monolithic belt

Grubość	Naprężenia	Przemieszczenia	Masa
mm	MPa	mm	kg
11	556	18,3	3,3
12	478	14,5	3,6
13	448	11,7	3,9
14	423	9,6	4,2
15	318	7,8	4,6
16	304	6,5	4,9
17	319	5,8	5,2
18	285	5,0	5,5

Tab. 2. Wyniki analizy MES dla pasa wieloelementowego
Tab. 2. Results of FEM analysis for the multi-element belt

Grubość	Naprężenia	Przemieszczenia	Masa
mm	MPa	mm	kg
20	202	16,4	1,7
22	157	13,1	1,9
24	135	10,9	2,1
26	124	9,2	2,3
28	105	7,9	2,5
29	111	7,3	2,6
30	94	6,9	2,7
31	91	6,4	2,8
32	89	6,0	2,9

5. Dyskusja wyników

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić iż trudno jest stworzyć konstrukcję, która umożliwi sztywne połączenie przegubów biodrowych przy ograniczeniach kształtów narzuconych przez ciało człowieka. Realizacja sztywnej konstrukcji okupiona jest znaczną masą (konstrukcja monolityczna), bądź też znacznymi rozmiarami elementów (konstrukcja wieloelementowa).

Porównując wyniki obu konstrukcji, lepszą wydaje się konstrukcja wieloelementowa wykonana z części z duraluminium. Przy prawie dwukrotnie mniejszej masie zapewnia większą sztywność niż konstrukcja monolityczna. Jej budowa oraz materiał wymusza zastosowanie elementów o większej grubości, jednak przy konstrukcji całego systemu jest ona do zaakceptowania. Dodatkowo wykonanie pasa z blachy stalowej o wymaganej grubości (18 mm) nastęrczałaby wiele problemów natury technologicznej.

6. Podsumowanie

Badania umożliwiły zaproponowanie dwóch rozwiązań pasa biodrowego: z elementami wykonanymi ze stali oraz z wykorzystaniem duraluminium. Przewiduje się również badania konstrukcji z kompozytów epoksydowo węglowych. Przeprowadzone analizy doprowadziły do opracowania konstrukcji spełniającej założone wymagania.

W artykule wykorzystano m.in. wyniki prac wykonanych w ramach projektu "ECO Mobilność" nr UDA-POIG.01.03.01-14-154/09-00 finansowanego ze środków Unii Europejskiej.

7. Literatura

- [1] Wierciak J., Szykiedans K., Binder-Czajka.: Modeling of mechatronic devices supported by 3D engineering software. Journal of Automation Mobile Robotics and Intelligent System, vol. 6, s. 042-046, 2012.
- [2] Jasińska-Choromańska D., Szykiedans K., Wierciak J., Kołodziej D., Zaczek M., Bagiński K., Bojarski M., Kabziński B.: Mechatronics system for verticalization and aiding the motion of the disabled, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, Vol. 61, No. 2, 2013, 419-431.

otrzymano / received: 07.02.2014

przyjęto do druku / accepted: 03.03.2014

artykuł recenzowany / revised paper