

APARATURA

BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Prototyp mobilnego urządzenia wspomagającego przesiadanie osób niepełnosprawnych

ADAM KALINA

KATEDRA KONSTRUKCJI MASZYN, POLITECHNIKA RZESZOWSKA IM. I. ŁUKASIEWICZA

Słowa kluczowe: prototyp, mobilność, urządzenie wspomagające

STRESZCZENIE

W pierwszej części referatu zostały przedstawione główne powody powstania mobilnego urządzenia wspomagającego przesiadanie osób niepełnosprawnych (MUWPON) oraz założenia przyjęte na wczesnym etapie projektowania i prototypowania urządzenia. Następnie przedstawiono kryteria doboru głównych elementów MUWPON (takich jak przekładnia czy silnik) oraz podano uzasadnienie podjętych decyzji (przedstawiono podstawowe obliczenia). W artykule zamieszczono również informacje dotyczące niektórych rozwiązań konstrukcyjnych, jak np. sposób osadzenia i łożyskowania bębna służącego do zwijania linki. Ponadto przedstawiono zasadę działania urządzenia, tendencje przyszłościowe oraz wnioski, jakie sformułowano podczas prac nad urządzeniem.

The prototype of mobile supporting device to change seat for people with physical disabilities

Keywords: prototype, mobility, supporting device

ABSTRACT

The first part of article presents main reasons to design the mobile supporting device to change seat for people with physical disabilities (MSD) and basic premises which has been set out on beginning phase of designing and prototyping. Next part presents criteria for selection a main parts of MSD (elements like transmission or motor) with substantiation for this decisions (presentation of basics calculations). Article contains also information about selected mechanisms and constructions developed for this device, for instance bearings on reel. Article explains how to use MSD, how it can be developed in future. The last part presents main conclusions.

1. POTRZEBA MATKĄ WYNALAZKÓW

Mobilne urządzenie wspomagające przesiadanie osób niepełnosprawnych (MUWPON) jest odpowiedzią na istniejącą na rynku lukę w strefie małych, posiadających autonomiczny układ zasilania i co najważniejsze mobilnych urządzeń, które pełnią rolę asystenta dla osób z problemami ruchowymi oraz osób z ich otoczenia jak np. rehabilitantów. Po dokonaniu przeglądu istniejących rozwiązań stwierdzono, że rynek nie oferuje urządzeń, które odznaczałyby się wyżej wymienionymi cechami. Większość urządzeń to duże podnośniki, które nie mogą być zabrane w podróż samochodem i w każdym przypadku wymagają pomocy osób zdrowych.

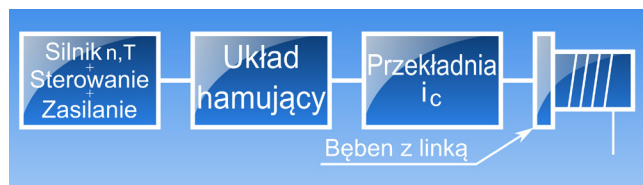
2. GŁÓWNE ZAŁOŻENIA PRZYJĘTE NA ETAPIE PROJEKTOWANIA

Projektując urządzenie położono nacisk na to, aby było ono mobilne z punktu widzenia osoby niepełnosprawnej (o. n.), co oznacza, że urządzenie powinno być lekkie, mieć niewielkie wymiary i przede wszystkim musi posiadać niezależne źródło zasilania pozwalające na pracę urządzenia bez konieczności podłączania go do sieci zasilającej lub częstego ładowania akumulatorów. Projektując urządzenie podjęto wszelkie starania, aby jego używanie pozwoliło w pełni wyeliminować pomoc osób zdrowych w procesie przesiadania, tak aby użytkownik mógł przesiadać się samodzielnie np. z wózka do samochodu. Jednak opracowane urządzenie, które nie jest stricte podnośnikiem, pełni tylko rolę asystenta, mając za zadanie odciążyć rehabilitantów i zmniejszyć tym samym ich wysiłek fizyczny. Urządzenie dysponuje udźwigniem do 85 kg – należy tutaj podkreślić, że ma ono za zadanie podnieść tylko nogi pacjenta, tak aby przy pomocy osoby sprawnej mógł on przesiąść się z wózka dożądanego miejsca np. łóżka.

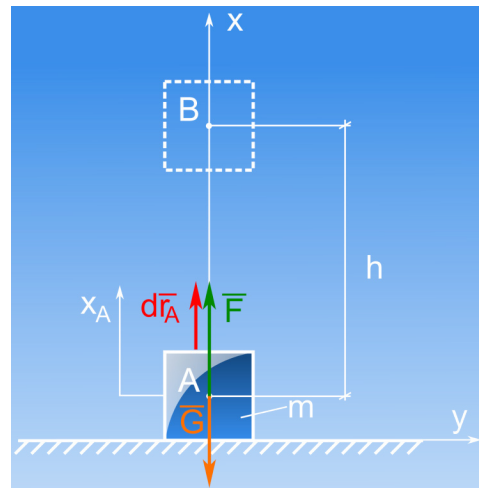
3. DOBÓR PODZESPOŁÓW

Kluczowym elementem projektu było podjęcie odpowiednich decyzji dotyczących doboru głównych podzespołów urządzenia. Starano się tak dobrać te elementy (Rys. 1), aby zaprojektowane urządzenie było lekkie, małe, łatwe w sterowaniu i serwisowaniu oraz tanie, a co za tym idzie dostępne i przystępne dla jak największej liczby użytkowników. Podstawowym elementem urzą-

dzenia, determinującym dobór pozostałych, jest jednostka napędowa. Ze względu na łatwość dostępu i mnogość rozwiązań zdecydowano się na zastosowanie napędu elektrycznego. Jest to napęd łatwy w sterowaniu, energia do jego zasilania jest łatwo dostępna, a co za tym idzie tania, dodatkowo silniki elektryczne prądu stałego odznaczają się niewielką masą i wymiarami. Charakter pracy urządzenia nie wymaga od napędu długich czasów działania (czas pracy rzędu 5 sekund), a odstępy pomiędzy kolejnymi włączeniami urządzenia mogą być bardzo długie, co nie wymaga stosowania dodatkowych elementów chłodzących napęd, które zwiększyłyby sumaryczny koszt urządzenia oraz jego masę. Na poniższej ilustracji (Rys. 2) zaprezentowano model użyty do oszacowania wymaganej mocy silnika, natomiast w Tabeli 1 podano zestaw danych przyjętych do obliczeń.



Rysunek 1 Schemat ideowy projektowanego urządzenia



Rysunek 2 Model przyjęty do obliczeń

Wyznaczono parametry ruchu: [1-3]

$$\begin{cases} \ddot{x}_A = \frac{F}{m} - g \\ \dot{x}_A = \left(\frac{F}{m} - g\right) t \\ x_A = \frac{1}{2} \left(\frac{F}{m} - g\right) t^2 \end{cases} \quad 1)$$

Bazując na powyższych równaniach wyznaczono wartość siły F, niezbędnej do podniesienia masy

Tabela 1 Dane przyjęte do obliczeń przy doborze silnika

Parametr	Oznaczenie	Wartość [Jednostka]
Podnoszona masa	m	85 [kg]
Przyspieszenie ziemskie	g	9,81 [m/s ²]
Wysokość podnoszenia	h	1 [m]
Czas, po którym masa ma zostać podniesiona	t _{pod}	5 [s]
Warunki początkowe	zerowe ()	

na wysokość h = 1 m, wartość pracy L oraz szacowaną moc silnika N:

$$h = \frac{1}{2} \left(\frac{F}{m} - g \right) t_{pod}^2 \Rightarrow F = \left(\frac{2h}{t_{pod}^2} + g \right) m = 840,65 [N] \quad 2)$$

$$L = \int_0^h \delta L = F * h = 840,65 [J] \quad 3)$$

$$N = \frac{L}{t} = \frac{F * h}{t_{pod}} = 168,13 [W] \quad 4)$$

Dla wyznaczonych parametrów dobrano silnik 38VDC (Volts Direct Current) od producenta RS Components Ltd., który odznacza się wysokim momentem szczytowym, przy masie ok. 1,2 kg i niewielkich gabarytach (152 x 152 x 83 mm). Ponadto może on pracować w dwóch kierunkach i nie wymaga skomplikowanego układu sterowania – wystarczy prosty sterownik PWM (Pulse-Width Modulation) [4].

Prototyp jest zasilany z wbudowanego układu zasilania w postaci zestawu 4 pakietów ogni (Redox 1800 mAh), które połączono szeregowo. Masa jednego pakietu to 142 g.

Następnym ważnym elementem urządzenia jest przekładnia główna. Ze względu na wysokie wartości prędkości obrotowej zastosowanego silnika (3 do 6 tys. obr/min) od zastosowanej przekładni wymaga się dużej wartości przełożenia. Dodatkowo ze względu na małe rozmiary silnika, a co za tym idzie ograniczony zapas mocy, przekładnia powinna odznaczać się wysokim współczynni-

kiem sprawności. W początkowej fazie projektu rozpatrywano możliwość zastosowania jednego z dwóch typów przekładni. Pierwszą propozycją była przekładnia ślimakowa, która prócz dużego przełożenia może być samohamowna – niestety odbywa się to kosztem dużego spadku sprawności. Dodatkowo ze względów technologicznych, w przekładniach ślimakowych jako materiał na ślimacznice stosuje się brąz, który jest materiałem o stosunkowo dużej gęstości (w porównaniu z aluminium lub magnezem). W związku z wcześniej wymienionymi wadami w prototypie urządzenia zastosowano dwustopniową przekładnię planetarną GL40, która pozwala na uzyskanie wysokiego, bo wynoszącego aż 64 przełożenia oraz momentu obrotowego (26 Nm do 52 Nm – moment szczytowy) przy niewielkiej masie (0,46 kg), małych gabarytach i wysokiej wartości sprawności (96%) [5].

Do obliczeń weryfikujących podjętą decyzję wykorzystano dane podane w Tabeli 2.

Wyznaczono moment na wale wyjściowym przekładni:

$$M_2 = \frac{d_b}{1000} * g * m = 25,015 [Nm] \quad 5)$$

$$\text{gdzie: } g = 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Następnie określono moment wejściowy przekładni M₁ równy co do wartości momentowi silnika T_{min}:

$$M_1 = T_{min} = M_2 * \frac{1}{i_c} * \frac{1}{\eta} = 0,4885 [Nm] = 48,45 [Ncm] \quad 6)$$

Tabela 2 Dane przyjęte do obliczeń przy doborze przekładni

Parametr	Oznaczenie	Wartość [Jednostka]
Podnoszona masa	m	85 [kg]
Przełożenie całkowite przekładni	i _c	64 [-]
Zakładana sprawność całego układu		0,8 [-]
Wysokość podnoszenia	h	1000 [mm]
Obroty silnika	n	4000 [obr/min]
Średnica bębna	d _b	60 [mm]

Ostatecznie wyznaczono: obwód bębna O_b , prędkość obrotową bębna n_b , prędkość zwijania linki v_{zwj} i czas zwinięcia linki t_{zwj} :

$$O_b = \pi d_b = 188 \text{ [mm]} \quad 7)$$

$$n_b = \frac{n}{i_c} = 62,5 \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \quad 8)$$

$$v_{zwj} = \frac{n_b}{60} * O_b = 196 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right] \quad 9)$$

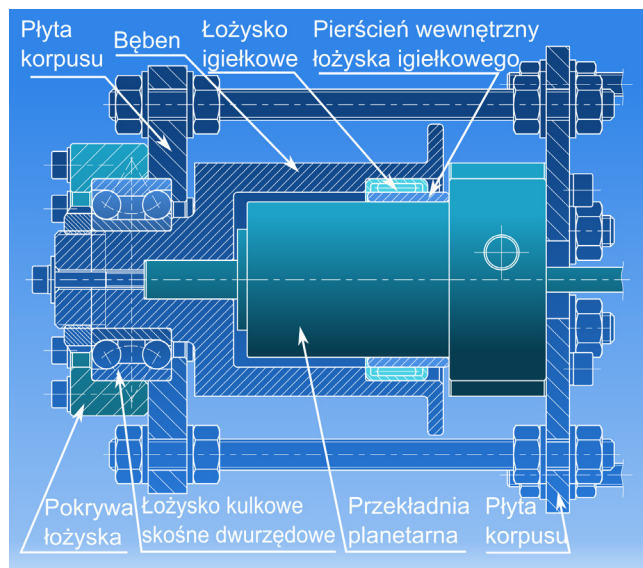
$$t_{zwj} = \frac{h}{v_{zwj}} = 5,09 \text{ [s]} \quad 10)$$

Aby urządzenie mogło prawidłowo pracować, zostało ono wyposażone w układ hamujący. Zastosowano hamulec elektromagnetyczny Brake-BKE-1,0-6,35 firmy Nanotec [6]. Jest to rozwiązanie zarówno wygodne (niewielkie rozmiary i masa 0,11 kg), jak i bezpieczne, gdyż hamulec jest zwalniany tylko i wyłącznie wtedy, gdy jest on zasilany, co oznacza, że w razie wyczerpania akumulatorów w trakcie pracy urządzenia użytkownikowi nie grozi upadek.

4. PROJEKTOWANIE POZOSTAŁYCH ELEMENTÓW I MONTAŻ PROTOTYPU

Kolejnym krokiem było zaprojektowanie pozostałych elementów urządzenia, kierując się przy tym zasadami: prostoty wykonania, minimalizacji gabarytów i masy oraz ograniczenia ilości części, zarówno nieznormalizowanych, jak i tych objętych normalizacją. Dzięki temu zaprojektowana konstrukcja jest łatwa w wykonaniu, a do jej montażu nie potrzeba dużej ilości narzędzi. Warto tutaj zwrócić uwagę na konstrukcję bębna, na który będzie nawijana linka, oraz jego łożyskowanie. W celu uzyskania sztywnej i zwartej budowy urządzenia zdecydowano się na to, aby we wnętrzu bębna umieścić przekładnię planetarną – dzięki temu długość urządzenia uległa skróceniu. Do łożyskowania bębna użyto dwóch rodzajów łożysk. Pierwsza podpora składa się z łożyska igiełkowego, którego pierścień wewnętrzny został osadzony na korpusie przekładni, natomiast samo łożysko zostało wprasowane w bęben. W drugiej podporze łożyskowej zostało użyte łożysko kulkowe dwurzędowe skośne, osadzone na wale będącym częścią bębna. Na poniższej ilustracji został pokazany bęben wraz

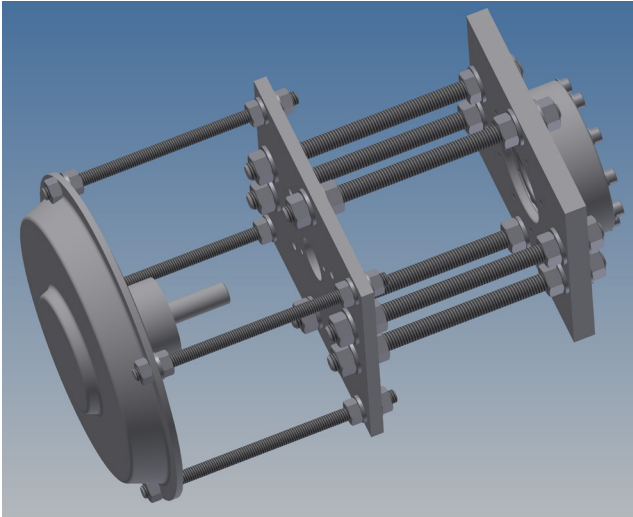
z łożyskowaniem (Rys. 3) [7, 8]. Bęben wykonano z aluminium PA7 (PN-EN AW-2024).



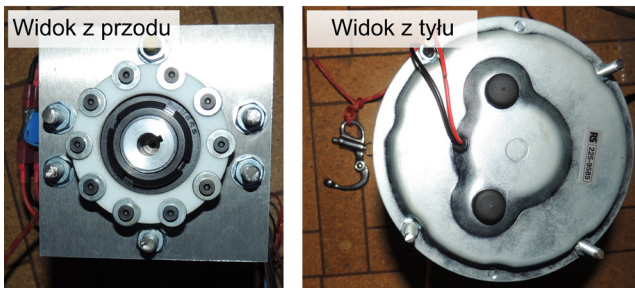
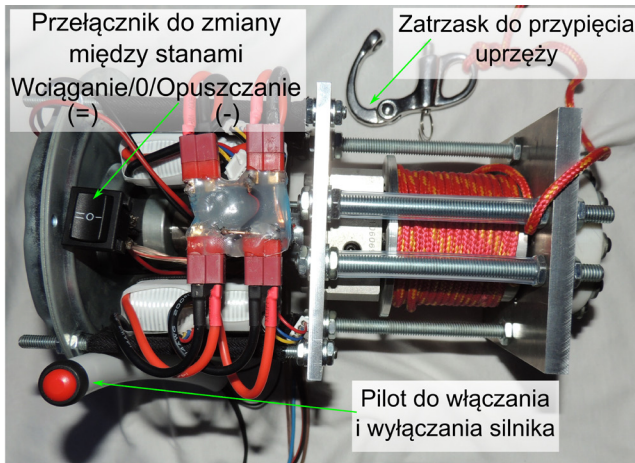
Rysunek 3 Bęben do zwijania linki wraz z łożyskowaniem i elementami korpusu

Ze względu na to, że średnica wału wyjściowego była inna niż średnica otworu przystosowanego do montażu wału wejściowego w przekładni planetarnej, należało zaprojektować element łączący przekładnię z silnikiem. Ze względu na wczesny etap prac nad urządzeniem zdecydowano się na wykonanie korpusu mającego postać dwóch płyt połączonych gwintowanymi prętami, do których – również przy pomocy gwintowanych prętów – przymocowano silnik. Wolną przestrzeń między płytami i silnikiem można było łatwo zagospodarować, umieszczając tam wszystkie elementy urządzenia. Dzięki temu zaprojektowany prototyp jest bardzo łatwy w montażu. Charakteryzuje się też dużą odpornością na błędy wykonania i montażu, które można kompensować, dostosowując kluczem położenie nakrętek. Poniżej został zaprezentowany model skręconych płyt, wraz z silnikiem (Rys. 4).

Na ilustracji można również zauważyć niewielką pokrywą (z prawej), której zadaniem jest zabezpieczenie łożyska. Płyta została wykonana przy użyciu technik Rapid Prototyping (RP), metodą FDM (Fused Deposition Modeling). Między silnikiem a płytą 1 zostały umieszczone akumulatory, element sprzęgający silnik z przekładnią, hamulec oraz układ sterowania, do którego za pomocą przewodu został podłączony pilot do obsługi urządzenia (Rys. 5).



Rysunek 4 Model 3D wykonany w programie AutoDesk Inventor Proessional 2014 [9]. Płyty wykonano z aluminium PA7 (PN-EN AW-2024) dla płyty 1 (z lewej) oraz PA6 (PN-EN 2017A) dla płyty 2 (z prawej)



Rysunek 5 Wykonany prototyp – masa urządzenia wynosi ok. 4,5 kg

5. ZASADA DZIAŁANIA

Użytkownik może wykorzystać urządzenie do pomocy w przesiadaniu z wózka do: wanny, łóżka, samochodu itp. W tym celu użytkownik (lub osoba z jej otoczenia np. rehabilitant) powinien przy mocować urządzenie np. do bagażnika na dachu

samochodu, następnie przełożyć uprząż pod kolanami i zapiąć ją do linki urządzenia. Po wykonaniu tych czynności użytkownik za pomocą pilota podnosi nogi na określoną wysokość. W dalszej kolejności osoba niepełnosprawna wykorzystując siłę ramion (nie jest to zalecane) lub przy pomocy osoby sprawnej przesiada się z wózka dożądanego miejsca. Prototyp został wstępnie przetestowany w warunkach zbliżonych do rzeczywistych (Rys. 6).



Rysunek 6 Zdjęcia prezentujące zastosowanie urządzenia na sali rehabilitacyjnej

6. TENDENCJE ROZWOJOWE

W dalszych badaniach nad urządzeniem przewidyje się możliwość zastosowania nowego rodzaju przekładni, a dokładniej przekładni falowej wykonanej z tworzyw. Badania te mają na celu sprawdzenie możliwości zastosowania tego rodzaju mechanizmu. Rozważana jest również gruntowna modernizacja układu sterowania mająca na celu poprawę wygody kontrolowania urządzenia. W tym celu można zastosować bezprzewodowy pilot lub sterowanie z wykorzystaniem mobilnej aplikacji, kompatybilnej z obecnymi telefonami.

7. WNIOSKI

Wykorzystanie technik prototypowania wirtualnego pozwala na szybką weryfikację wstępnych założeń, ponadto przyczynia się do redukcji kosztów związanych z budową prototypu. Dzięki temu już na wczesnym etapie projektowania MUWPON możliwe było zweryfikowanie podstawowych założeń konstrukcyjnych. Po wstępnie przeprowadzonych testach stwierdzono wysoki potencjał urządzenia, zarówno pod kątem zastosowania, jak i dalszego rozwoju, z naciskiem na optymalizację kosztowo-wymiarową. Zauważono również, że zastosowanie sterownika PWM w urządzeniu generuje opóźnienia, przez co zdecydowano się na usunięcie tego elementu z obecnej wersji prototypu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Hendzel Z., Żylski W., Mechanika ogólna. Dynamika. Wyd. III. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki, 2012. ISBN 978-83-71995-64-4
- [2] Hendzel Z., Żylski W., Mechanika ogólna. Kinematyka. Wyd. III. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki, 2010. ISBN 978-83-71995-94-1
- [3] Hendzel Z., Żylski W., Mechanika ogólna. Statyka. Wyd. V. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki, 2014. ISBN 978-83-71995-44-6
- [4] <http://pl.rs-online.com/web/>
- [5] <http://www.akcesoria.cnc.info.pl/>
- [6] <http://www.nanotec.com/>
- [7] Kurmaz L. W., Kurmaz O. L., Projektowanie węzłów i części maszyn. Wyd. IV poprawione i uzupełnione. Kielce, 2007. ISBN 978-83-88906-81-7
- [8] Skrzyszowski Z., Kuczyński R., Wciągarka bębnowa: PKM – projektowanie. Kraków, 2003.
- [9] Tremblay T., Inventor 2014. Oficjalny podręcznik. Gliwice: Helion, 2014. ISBN 978-83-24685-67-7