

Bartosz Wieczorek, Mateusz Kukła, Romuald Wieczorek

Prototyp piasty wielobiegowej przekładniowej do ręcznych wózków inwalidzkich – konstrukcja i eksploatacja

JEL: L62 10.24136/atest.2018.506

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule omówiona została budowa piasty wielobiegowej przekładniowej do ręcznych wózków inwalidzkich. Urządzenie to wzbogaca ręczny napęd ciągowy o trzy biegi. Artykuł opisuje budowę funkcjonalnego prototypu opatentowanego rozwiązania technicznego. Na postawie prototypu przetestowano funkcjonalność urządzenia i na tej postawie zdefiniowano poprawki konieczne do wprowadzenia w finalnym produkcie.

Słowa kluczowe: wózek inwalidzki, napęd ręczny, przekładnia planetarna.

Wstęp

W dzisiejszych czasach obserwujemy znaczny wzrost populacji osób niepełnosprawnych ruchowo, którzy do codziennego funkcjonowania muszą wykorzystywać wózki inwalidzkie. Około 75% użytkowników wózków inwalidzkich może w celu zapewnienia mobilności używać napędy ręczne.

Mając na uwadze wygodę i troskę o zdrowie użytkowników ręcznych wózków inwalidzkich na Uniwersytecie w Buffalo w stanie NY powstała organizacja Rehabilitation Engineering Research Center on Technology Transfer (T2RERC) zrzeszająca inżynierów, rehabilitantów oraz przedsiębiorców zajmujących się sprzedażą urządzeń rehabilitacyjnych. Grupa ta podczas swoich prac wyraziła potrzebę zaprojektowania oraz wdrożenia wielobiegowych przekładni do napędów ciągowych. Zauważyli oni że użytkownik musi narażać się na duży wysiłek aby napędzić wózek inwalidzki. W wyniku czego jest on podatny na liczne urazy, takie jak odciski na dłoniach, zerwanie mięśni i zwichnięcia stawów. Jak wynika z przeprowadzonego rozpoznania przez T2RERC około 51% użytkowni-

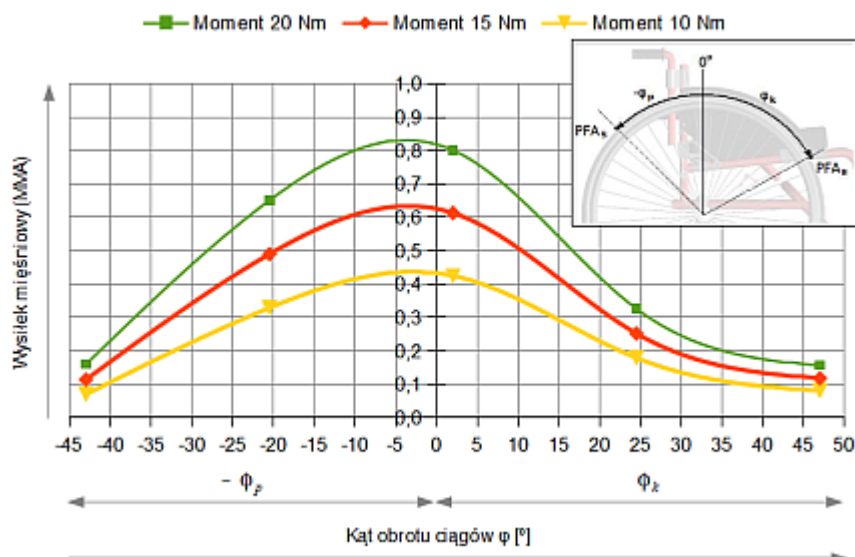
ków wózka inwalidzkiego uległo urazowi kończyn górnych w wyniku jego napędzania. Należy pamiętać, że uraz kończyny górnej u użytkownika wózka ręcznego w znacznej ilości przypadków oznacza brak możliwości samodzielnego funkcjonowania w codziennym życiu.

Oprócz urazów jakie może powodować ręczny napęd wózka uwagę zwrócić należy na czynniki środowiskowe i ludzkie które zmniejszają mobilność ręcznych wózków inwalidzkich. Duży wpływ na wysiłek użytkownika mają warunki terenowe takie jak twardość nawierzchni i pochylenie terenu, problemy te pojawiają się zwłaszcza w krajach rozwijających się i starych aglomeracjach miejskich.

Wszystkie te parametry wpływają na wartość momentu napędowego który musi wygenerować użytkownik aby napędzać wózek inwalidzki. Wielkość momentu napędowego wpływa wprost proporcjonalnie na wysiłek użytkownika. Wysiłek ten mierzyć można procentowo za pomocą oprogramowania AnyBody Modeling System (AnyBody Modeling System). W oprogramowaniu tym wysiłek użytkownika opisany jest za pomocą wielkości maksymalnej aktywności mięśniowej. Jego wartość wyrażana jest przez maksymalny w danym położeniu kończyny iloraz siły mięśniowej F_m i wytrzymałości siłowej mięśnia F_0 (1).

$$MMA = \frac{F_m}{F_0} \times 100\% \quad (1)$$

Przykładowe wartości maksymalnej aktywności mięśniowej MMA przedstawiono na wykresie (rys. 1). Na wykres ten naniesione zostały trzy linie odzwierciedlające zmianę parametru MMA dla trzech wartości momentu napędowego M_{nap} : 20 Nm, 15Nm, 10Nm. W badaniu tym zmienna była tylko wartość momentu napędowego nieuwzględniającego zmiany współczynnika aktywnej części siły mięśniowej FEF [1]. Stałymi wielkościami w badaniu były przyspie-



Rys. 1. Wykres wysiłku mięśniowego jednej kończyny górnej wyrażonego przez maksymalną aktywność mięśniową dla trzech wartości połowy momentu napędowego ciągów. [2]

szanie kątowe ciągów, położenie ciała na wózku inwalidzkim oraz kąt obrotu ciągów.

Na podstawie przeprowadzonych analiz zauważyć można potrzebę wykorzystywania napędów ręcznych posiadających funkcję multiplikacji i redukcji momentu napędowego doprowadzanego na ciągi. Napęd taki powinien działać w trybie reduktora podczas podjazdu pod wzniesienia lub podczas jazdy po trudnym terenie. W przypadku jazdy po równym terenie funkcja multiplikatora powodowała by zwiększenie prędkości wózka bez konieczności zwiększania częstotliwości ruchów napędowych. Oprócz wymienionych powyżej funkcji napęd taki powinien posiadać bieg neutralny o przełożeniu, który wykorzystywany był by podczas jazdy w pomieszczeniach zamkniętych lub podczas spokojnego spacerowego napędzania wózka. W odpowiedzi na tak zdefiniowaną potrzebę, w ramach projektu Lider VII „badania biomechaniki napędzania ręcznych wózków inwalidzkich dla innowacyjnych napędów ręcznych i hybrydowych” (LIDER/7/0025/L-7/15/2016) finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, zaprojektowano i zbudowano prototyp piasty wielobiegowej [3] wzbogacającej klasyczny napęd ciągowy o trzy dodatkowe przełożenia.

1. Parametry techniczne prototypu

Prototyp piasty wielobiegowej wykonano w skali 2:1, jest on w pełni funkcjonalny a zwiększone wymiary ułatwiają realizację badań eksploatacyjnych na prototypie. Prototyp tak jak i wersja użytkowa stanowi dodatkowe wyposażenie ręcznych wózków inwalidzkich z napędem ciągowym.

Montaż urządzenia w wózku wymaga zastosowania odpowiedniego adaptera łączącego oś centralną piasty z ramą wózka. Zaznaczyć należy, że adapter musi być dopasowany do ramy wózka inwalidzkiego. W prototypie wykorzystano autorską konstrukcję adaptera dopasowanego do wózka inwalidzkiego Vermeiren v300. Urządzenie przystosowane jest do współpracy z 24 calowymi obręczami dwukomorowymi i szprychami o średnicy 3 mm. Zaleca się wykorzystywanie opony 24x2,5 cala. Najważniejsze parametry techniczne prototypu zebrano w tabeli 1.

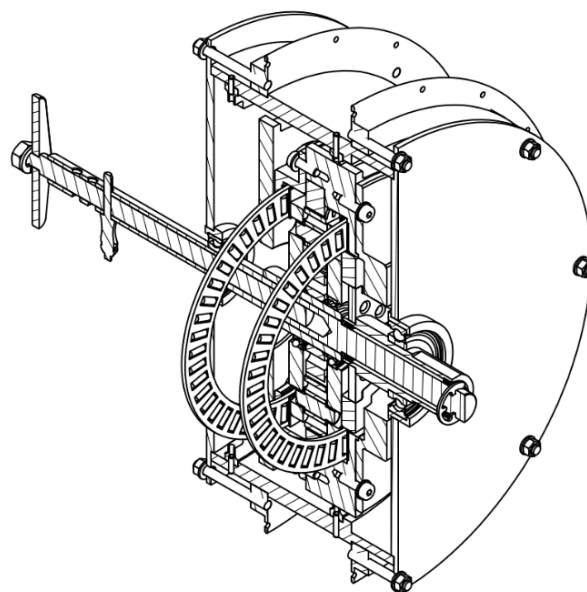
Tab. 1. Zestawienie parametrów technicznych przekładni

Parametry ogólne		
Masa	$m=26$	kg
Przełożenie bazowe	$i_0=2,06$	---
Przełożenie biegu pierwszego	$i_1=1,96$	---
Przełożenie biegu drugiego	$i_2=1$	---
Przełożenie biegu trzeciego	$i_3=0,51$	---
Średnica ciągów	$D_c=445$	mm
Średnica osi centralnej	$D_o=17$	mm
Długość osi montażowej	$L_o=113$	mm
Ilość szprych	36	szt.
Wymiary gabarytowe (bez ciągów)		
Grubość piasty	$L=135$	mm
Długość piasty (z osią centralną)	$L_c=294$	mm
Średnica piasty	$D=294$	Mm
Parametry przekładni		
Ilość zębów koła słonecznego	$Z=34$	---
Ilość zębów koła obiegowego	$Z=18$	---
Ilość zębów koła pierścieniowego	$Z=70$	---

2. Opis budowy prototypu

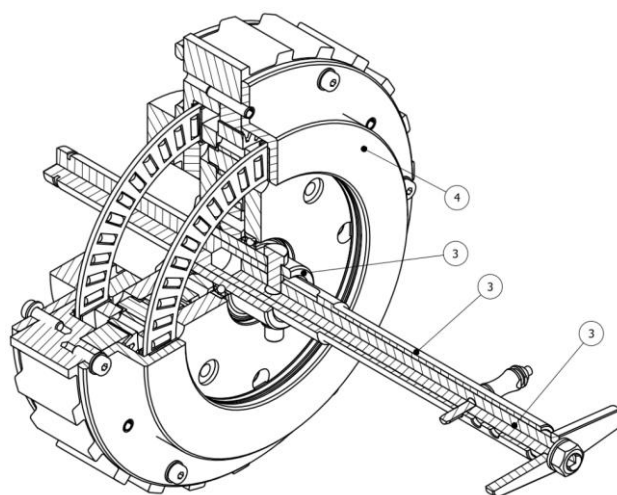
Piasta wielobiegowa do ręcznych wózków inwalidzkich została przedstawiona na rys. 2. Urządzenie składa się z dwóch zasadniczych elementów obudowy piasty, która to przenosi obroty za obręcz koła wózka inwalidzkiego oraz przekładni umieszczonej we-

wnątrz obudowy. Przekładnia transformuje prędkość obrotową kształtowaną przez użytkownika za pomocą ciągów.



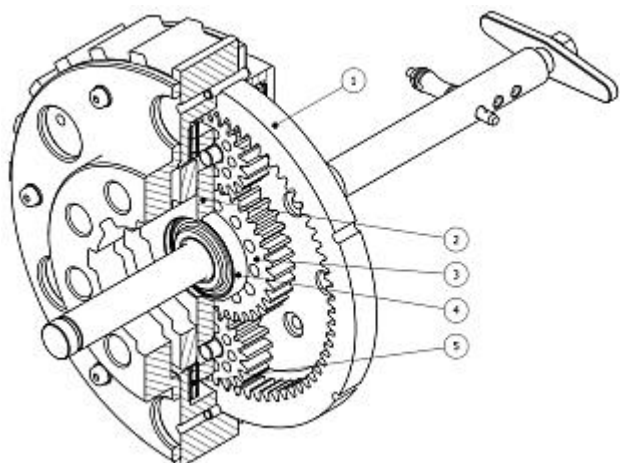
Rys. 2. Konstrukcja piasty wielobiegowej

Zmiana biegów możliwa jest poprzez wprowadzenie do urządzenia (rys. 3) przesuwnej osi (1), umieszczonej wewnątrz głównej drażonej osi przekładni (2). Oś przesuwna połączona jest z kołem zębatym słonecznym (3) za pomocą którego przesuwana jest cała przekładnia planetarna (4) i w ten sposób zmieniane są przełożenia.



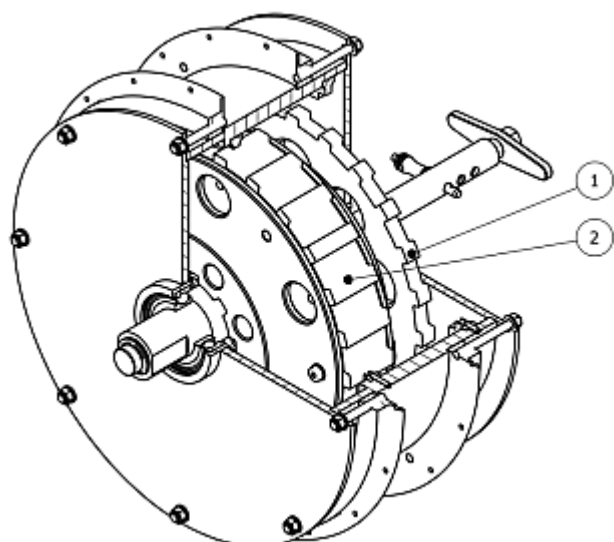
Rys. 3. Widok na przekładnię planetarną

Przekładnia wyposażona jest w układ łożyskowy (rys. 4), który pozycjonuje położenie jarzma (2) wraz z kołami obiegowymi względem koła słonecznego (3) i koła pierścieniowego (1). W tym celu zastosowano cztery łożyska: dwa poprzeczne (4) oraz dwa wzdłużne (5). Łożyska poprzeczne osiują oś obrotu jarzma z osią koła słonecznego. Natomiast łożyska wzdłużne redukują tarcie między jarzmem a zespołem koła pierścieniowego. Ponadto łożyska wzdłużne pozycjonują położenie zespołu koła pierścieniowego (rys. 5a) względem zespołu jarzma z kołem słonecznym (rys. 5b).



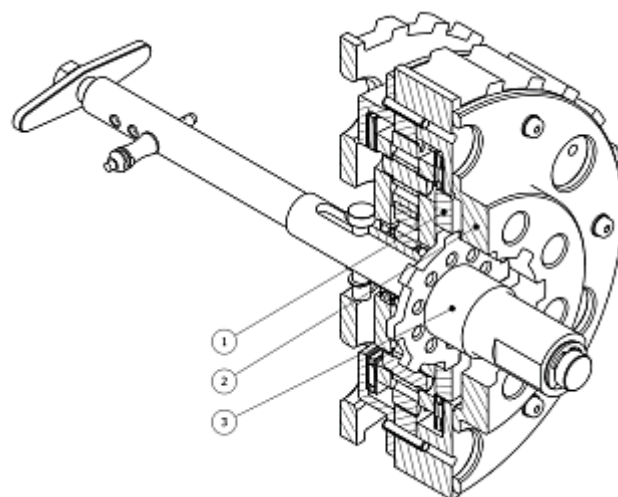
Rys. 4. Widok na układ łożyskujący jarzmo wewnątrz przekładni planetarnej

Konstrukcja przekładni wyposażona jest w zespół sprzęgieł wielowypustowych. Zgodnie z tym moment z przekładni planetarnej wyprowadzany będzie na piastę poprzez tarczę wielowypustową (1) oraz pierścień wielowypustowy (2) (rys. 6).



Rys. 6. Widok na piastę wielobiegową i sposoby sprzęgania z nią przekładni planetarnej

Moment napędowy doprowadzany do przekładni planetarnej poprzez ciągi jest przekazywany z sprzęgła wielowypustowego (1) na pierścień wielowypustowy jarzma (2) lub pierścień wielowypustowy koła pierścieniowego (3) (rys. 7).



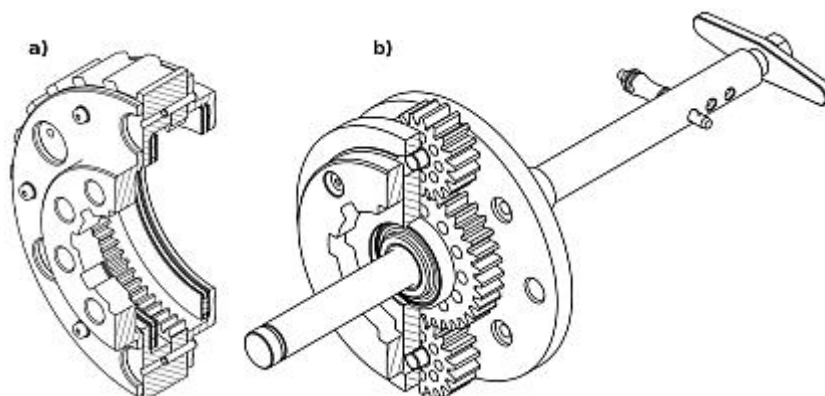
Rys. 7. Widok na sposób sprzęgania sprzęgła wielowypustowego elementami przekładni planetarnej

3. Instalacja piasty w wózku inwalidzkim

Wykonany prototyp cechuje się większą średnicą osi centralnej, dodatkowo ze względu na mechanizm zmiany biegów, os nie posiada zabezpieczenia zatraskowego. Dlatego montaż piasty wymaga w pierwszej kolejności zmiany akcesoryjnego adaptera (rys. 8 – A) na dedykowanym adapterem dla piasty wielobiegowej. Nowy adapter przykręca się to samo miejsce na ramie wózka (rys. 8. – C) za pomocą tych samych śrub walcowych z gniazdem sześciokątnym (rys. 8 – D). Dedykowany adapter dodatkowo wyposażony został w hamulec (rys. 8. – E) blokujący obroty osi centralnej piasty wielobiegowej. Hamulec ten jest niezbędny ponieważ do prawidłowego funkcjonowania piasty niezbędne jest unieruchomienie obrotów osi centralnej.

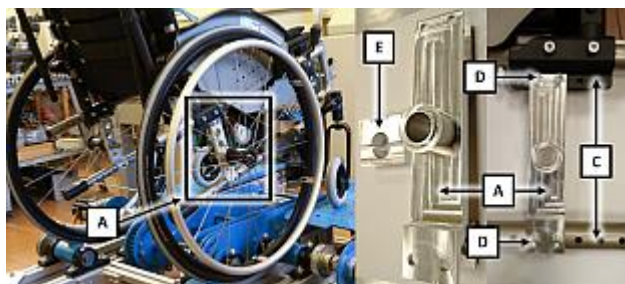
Po zamontowaniu adaptera można założyć koło napędowe wyposażone w opisywaną piastę wielobiegową. W tym celu należy zdemontować z osi centralnej (rys. 9 – A) sworzeń zabezpieczający biegi (rys. 9 – B) oraz uchwyt dźwigni zmiany biegów (rys. 9 – C). Następnie wsunąć os centralną (rys. 9 – A) do gniazda w adapterze (rys. 9 – D), tak aby ten dotykał wewnętrznej bieżni łożyska piasty (rys. 9 – E). Następnie należy zablokować obroty osi centralnej zakładając hamulec (rys. 9 – F). Na końcu wsunąć sworzeń zabezpieczający biegi (rys. 9 – B) oraz uchwyt dźwigni zmiany biegów (rys. 9 – C).

Przy montażu należy zwrócić uwagę aby otwory na osi centralnej (rys. 9. A) były u góry względem podłoża. Ponadto zaleca się dodatkowe zamocowanie do ramy wózka tylnych kół antywrotnych w celu dodatkowego zwiększenia stateczności układu. Zalecenie to wynika z występowania dużego momentu napędowego

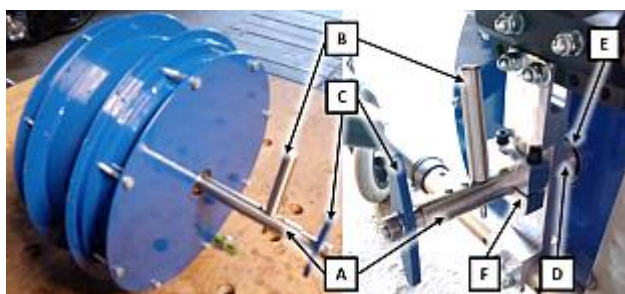


Rys. 5. Widok na zespół koła pierścieniowego a) i zespół jarzma b) piasty wielobiegowej

w przypadku wykorzystywania biegu redukcyjnego.



Rys. 8. Montaż adaptera piasty wielobiegowej

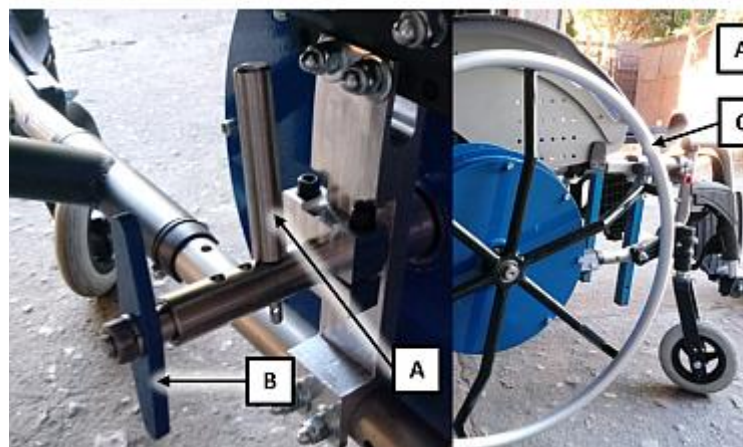


Rys. 9. Montaż piasty w wózku inwalidzkim

4. Sterowanie zmianą biegów

Wykonany prototyp cechuje się większą średnicą osi centralnej, dodatkowo ze względu na mechanizm zmiany biegów, oś nie posiada zabezpieczenia zatraskowego. Dlatego jej montaż w pierwszej kolejności na zamiennie akcesoryjnego adaptera (rys. 10 – A), dedykowanym adapterem dla piasty wielobiegowej. Nowy adapter przykręca się to samo miejsce na ramie wózka (rys. 10 – C) za pomocą tych samych śrub z łbem gniazdowym (rys. 10 – D). Dedykowany adapter dodatkowo wyposażony został w hamulec (rys. 10 – E) blokujący obroty osi centralnej piasty wielobiegowej. Hamulec ten jest niezbędny ponieważ do prawidłowego funkcjonowania piasty niezbędne jest unieruchomienie obrotów osi centralnej.

W prototypie zastosowano sprzęgła wielowypustowe o nie zastrzonych powierzchniach czołowych. W efekcie czego testy wykazały utrudnioną zmianę biegów. W obecnym rozwiązaniu aby zmienić bieg należy ciągnąć lub pchać dźwignię zmiany biegów i jednocześnie wykonywać delikatne ruchy ciągnięcia. Procedura ta wymagana jest ze względu na konieczność wykleszczenia aktualnego biegu przesunięciu przekładni przez położenie martwe i wkleszczeniu nowego biegu. W całej tej procedurze zazębiają się różne tarcze wielowypustowe, stąd też wymagany jest ruch oscylacyjny umożliwiający dopasowanie wypustów do wrębów.

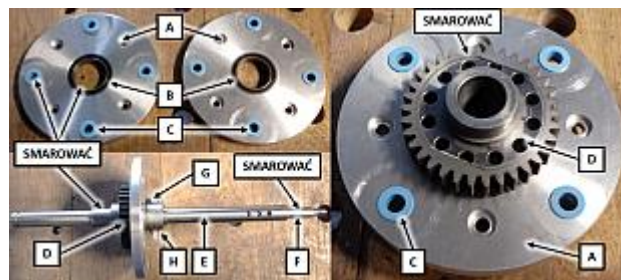


Rys. 10. Schemat zmiany biegów

5. Opis montażu prototypu

Montaż piasty rozpoczęto od złożenia jarzma przekładni planetarnej. W pierwszym kroku umieszczono w pokrywach jarzma (rys. 11 – A) łożyska toczne (rys. 11 – B) i łożyska ślizgowe (rys. 11 – C). Następnie na wewnętrzne bieżnie łożysk oraz koło słoneczne nałożono smar stały. Do jednej z pokryw jarzma (rys. 11 – A) wsunięto koło słoneczne (rys. 11 – D) kołnierzem z otworem na sworzeń ku dołowi. Przed wsunięciem osi centralnej (rys. 11 – E) do koła słonecznego (rys. 11 – D) na wewnątrz piasty należało nanieść warstwę smaru stałego. Umożliwia on redukcję oporów wynikających z przesuwania przekładni względem osi centralnej. Z kolei przesuw ten umożliwia zmianę biegów.

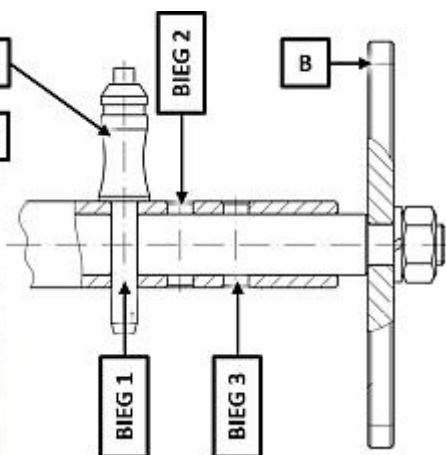
Po nasmarowaniu wnętrza piasty koła słonecznego (rys. 11 – D) wsunięto oś centralną (rys. 11 – E), tak aby otwór na kole słonecznym (rys. 11 – D) i otwory na osi centralnej (rys. 11 – E) znajdowały się po jednej stronie. W kolejnym kroku osadzono dźwignię zmiany biegów (rys. 11 – F) w wnętrzu osi centralnej (rys. 11 – E). Należy zwrócić uwagę aby dźwignia zmiany biegów była pokryta smarem stałym. W dalszej części montażu Wyosowano otwór na kole słonecznym (rys. 11 – D) z faskolką na osi centralnej (rys. 11 – E) oraz z otworem w dźwigni zmiany biegów (rys. 11 – F) i przelożono sworzeń (rys. 11 – G). Jego koniec zabezpieczono pierścieniem osadzonym (rys. 11 – G).



Rys. 11. Montaż koła słonecznego na osi centralnej

W kolejnym etapie montażu na wewnętrznej części obudowy wielowypustowej (rys. 12 – A) naniesiono cienką warstwę smaru stałego. Smar ten ma mocować bieżnię łożyska do powierzchni obudowy wielowypustowej. W tak przygotowanej obudowie umieszczono zespół łożyska tocznego (rys. 12 – B). Zespół ten składa się z dwóch bieżni i jednego zespołu tocznego. Należy pamiętać aby pomiędzy bieżniami łożyska a zespołem tocznym (rys. 13 – C) nałożyć smar stały.

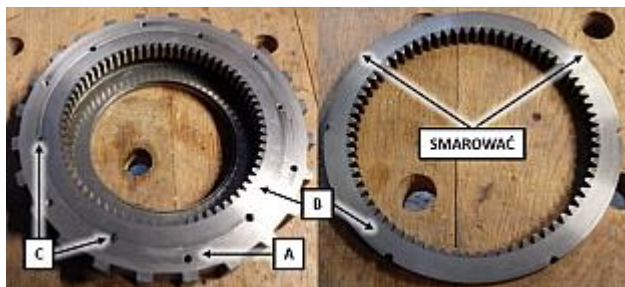
Po osadzeniu łożyska tocznego wsunięto do wnętrza obudowy wielowypustowej (rys. 13 – A) wieńiec zębaty (rys. 13 – B), a następnie wciśnięto sześć kółek sprężystych (rys. 13 – C). Przed osadzeniem tego elementu nasmarowano zewnętrzną część wieńca



smarem stałym. Taka kolejność montażu wynika z mniejszej średnicy wewnętrznej wieńca zębatego niż bieżni łożyska wzdłużnego.

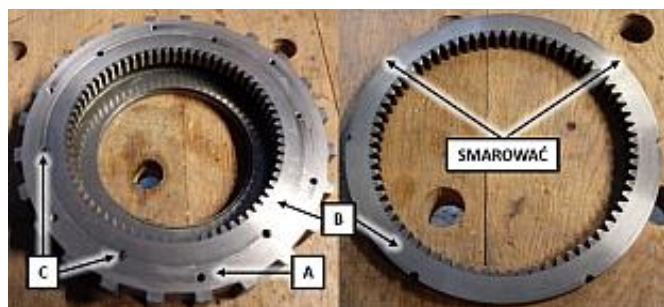


Rys. 12. Montaż łożyska wzdłużnego w zespole koła zewnętrznego



Rys. 13. Montaż wieńca zębatego w zespole koła zewnętrznego

Kolejny krok montażu polegał na osadzeniu w zespole koła zewnętrznego tarczy jarzma (rys. 14 – B). Podczas tej czynności zwracano uwagę aby osadzić bieżnię łożyska wzdłużnego (rys. 14 – C) w podtoczeniu na tarczy jarzma (rys. 14 – B). Po osadzeniu tarczy (rys. 14 – B) zamontowano w niej cztery koła planetarne (rys. 14 – D) oraz cztery gwintowane tuleje dystansowe (rys. 14 – E) na wieniec koła zewnętrznego (rys. 14 – E) nałożono na całym obwodzie grubą warstwę smaru stałego.

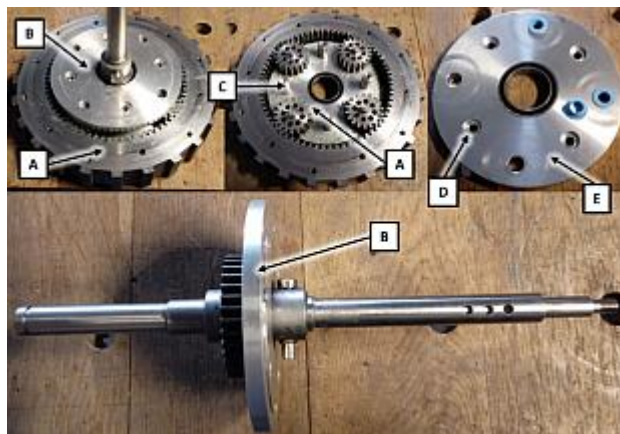


Rys. 14. Montaż wieńca zębatego w zespole koła zewnętrznego

W kolejnym kroku do zespołu koła zewnętrznego z założonymi kołami planetarnymi (rys. 15 – A) wsunięto przygotowaną na początku tarczę jarzma wraz z osią centralną (rys. 15 – B). Przy tej procedurze zwracano uwagę aby tuleje gwintowane (rys. 15 – C) zostały wsunięte do końca w swoje gniazda (rys. 15 – D) w tarczy jarzma (rys. 15 – E).

Na tak przygotowany zespół koła zewnętrznego nałożono cienką warstwę smaru na wybranie raczy jarzma (rys. 16 – A), a następnie nałożono na nią zespół łożyska wzdłużnego (rys. 16 – B).

Zespół łożyska wzdłużnego zabezpieczono nakładając pokrywę aluminiową (rys. 16 – C), którą to zabezpieczono za pomocą sześciu śrub z łbem gniazdowym (rys. 16 – D). Po przykręceniu pokrywy wystąpiły wyczuwalne opory w ruchu przekładni, jednak zniwelowane zostały one podczas dalszych czynności montażowych. Opory te wynikały z braku osiowania przekładni, które możliwe jest tylko przy współpracy z obudową piast.



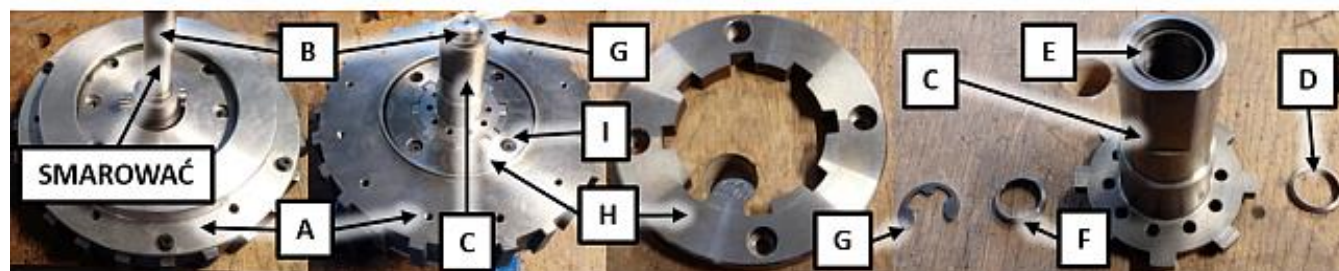
Rys. 15. Montaż jarzma w zespole koła zewnętrznego



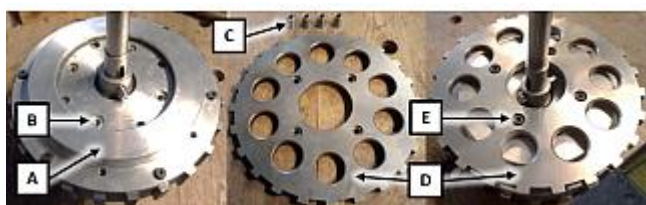
Rys. 16. Montaż drugiego łożyska wzdłużnego

Istotnym elementem jest sprzęgło wielowypustowe tarcza wielowypustowa. Sprzęgło wielowypustowe (rys. 17 – C) osadzono na osi centralnej (rys. 17 – B). W tym celu na oś centralną nasunięto pierścien dystansowy (rys. 17 – D), następnie sprzęgło wielowypustowe (rys. 7 – C) z osadzonymi łożyskami (rys. 17 – E). Na końcu wsunięto drugi pierścien dystansowy (rys. 17 – F) i całość zabezpieczono pierścieniem osadczym (rys. 17 – G). Przed wsunięciem sprzęgła wielowypustowego (rys. 17 – C) należało pokryć oś centralną (rys. 17 – B) warstwą smaru. Po zabezpieczeniu sprzęgła wielowypustowego nałożono na nie i wycentrowano względem niego małą tarczę z wielowypustem wewnętrznym (rys. 17 – H), którą to przykręcono czterema śrubami z łbem gniazdowym (rys. 17 – I).

Ostatnim elementem przekładni planetarnej wykorzystanej w piastach jest duża tarcza wielowypustowa. Aby ją zamontować w gniazdach na tarczy jarzma (rys. 18 – B) osadzono cztery tuleje dystansowe (rys. 18 – C), następnie nałożono na nie dużą tarczę wielowypustową (rys. 18 – D) i przykręcono ją czterema śrubami z łbem gniazdowym (rys. 18 – E).



Rys. 17. Montaż sprzęgła wielowypustowego



Rys. 18. Montaż dużej tarczy wielowypustowej

Po przykręceniu śrub (rys. 18 – E) jazdmo zostało kompletnie skręcone a cały zespół trwale połączony. Po ich przykręceniu przekładnia zaczęła płynnie obracać się względem osi centralnej.

Tak przygotowaną przekładnię planetarną osadzono w korpusie piasty po przez wsunięcie na oś centralną (rys. 19 – A) pierścienia dystansowego (rys. 19 – B), oraz łożyska (rys. 19 – C) umieszczonego w obudowie piasty (rys. 19 – D). Po umieszczeniu przekładni w obudowie piasty (rys. 19 – D) nałożono na sprzęgło wielowypustowe (rys. 19 – E) łożysko toczne (rys. 19 – F). Następnie nałożono na obudowę pokrywę (rys. 19 – G) i przykręcono ją za pomocą ośmiu śrub z łbem gniazdowym (rys. 19 – H).

Na końcu należało wyposażyć przygotowany prototyp w obręcz i ciągi. Ze względu na masę piasty zdecydowano się na felgi dwu komorowe i 3 milimetrowe szprychy. W prototypie wykorzystane zostały nie modyfikowane ciągi wózka aktywnego z 24 calowymi kołami napędowymi. Tak przygotowane zespoły piast zamontowano do wózka półaktywnego (rys. 19) który następnie został poddany badaniom na hamowni podwozowej dla ręcznych wózków inwalidzkich



Rys. 19. Kompletny zespół piasty wielobiegowej

Podsumowanie

Budowa prototypu potwierdziła możliwość funkcjonowania podjętych w projekcie rozwiązań konstrukcyjnych związanych z zmianą biegów i sposobem transformacji momentu napędowego dostarczanego na ciągi. Wózek wyposażony w piastę posiada trzy biegi oraz możliwość napędzania koła do przodu i do tyłu. Analiza prototypu wykazała, że konieczna jest jego miniaturyzacja oraz zmiana materiału z którego został wykonany na stopy lekkie metali kolorowych. Konieczne jest również dopracowanie geometrii sprzęgieł aby poprawić płynność zmiany biegów.

Bibliografia:

1. Rozendaal L.A., Veeger H.E.J., Woude L.H.V., The push force pattern in manual wheelchair propulsion as a balance between cost and effect, "Journal of Biomechanics" 2009, vol. 36/2
2. Wieczorek B., Modelowanie ruchu użytkownika wózka inwalidzkiego w systemie anybody z analizą wysiłku mięśni, Projektowanie dla seniorów i osób z niepełnosprawnościami: badania, analizy, oceny, konstrukcje red. Bogdan Branowski, Poznań 2015
3. Wieczorek B. Zabłocki M., Piasta przekładniowa wielobiegowa do ręcznych wózków inwalidzkich. Patent PL 223142 do UP RP 2012.

Multi-gear hub prototype for manual wheelchairs - design and operation

The article discusses the construction of a multi-speed gear hub for manual wheelchairs. This device enriches the manual string drive by three gears. The article describes the construction of a functional prototype of a patented technical solution. On the basis of the prototype, the functionality of the device was tested and on this basis the corrections necessary to be introduced in the final product were defined.

Keywords: wheelchair, manual drive, planetary gear.

Autorzy:

dr inż. **Bartosz Wieczorek** – Politechnika Poznańska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, bartosz.wieczorek@put.poznan.pl
 dr inż. **Mateusz Kukla** – Politechnika Poznańska
 inż. **Romuald Wieczorek** – Stowarzyszenie Rzeczoznawców techniki Samochodowej i Ruchu Drogowego oddział w Poznaniu
 dr inż. **Łukasz Warguła** – Politechnika Poznańska