

Marta ŻYŁKA¹

¹Zakład Mechaniki Płynów i Aerodynamiki, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów

WYKORZYSTANIE UKŁADÓW PNEUMATYCZNYCH W URZĄDZENIACH REHABILITACYJNYCH

Streszczenie: W pracy przedstawiono, element do synchronizacji ruchu dwóch tłoczków siłowników pneumatycznych. Celem przedstawionych w pracy badań doświadczalnych było uzyskanie charakterystyk przemieszczeń dwóch tłoczków siłowników z użyciem elementu synchronizującego. Element do synchronizacji dwóch siłowników pneumatycznych może zostać użyty do zaprezentowanych w artykule urządzeń rehabilitacyjnych MZ1 oraz MZ2, do ćwiczeń biernych kończyn dolnych człowieka.

Słowa kluczowe: urządzenia rehabilitacyjne, siłowniki pneumatyczne, element do synchronizacji ruchu dwóch siłowników.

1. WPROWADZENIE

Istotne staje się ułatwienie dostępu do rehabilitacji w celu utrzymania oraz zwiększenia sprawności ruchowej osób starszych [7]. Dane statystyczne potwierdzają, że niesprawności ruchowe kończyn dolnych obejmują coraz to większą liczbę osób [7, 11]. Podjęta zbyt późno rehabilitacja powoduje długotrwały bezruch. Ważna jest rehabilitacja w pierwszych dniach choroby lub po urazie co ochroni pacjenta przed np.: zanikami mięśniowymi czy też przykurczami mięśniowymi [5, 6].

W urządzeniu rehabilitacyjnym, można wykorzystać układ realizujący synchroniczny ruch dwóch tłoczków siłowników pneumatycznych. Realizacja równoczesnego ruchu dwóch kończyn powoduje, że ruchy kończyny zdrowej przyczyniają się do zwiększenia potencjałów mięśni w kończynie porażonej [2]. Wykonywanie ruchu dwóch kończyn dolnych, występuje w ćwiczeniach biernych oraz czynnych, przyczyniają się do:

- wyrobienia i utrzymania pełnego zakresu ruchów w stawach,
- zabezpieczenia przed powstaniem przykurczów mięśniowych,
- zabezpieczenia przed powstaniem odleżyn [2].

Analiza literaturowa wykazała brak urządzeń rehabilitacyjnych wykorzystujących siłowniki pneumatyczne z elementem synchronizującym wspomagających rehabilitację kończyn dolnych. Istnieje możliwość wykorzystania w urządzeniach rehabilitacyjnych napędów pneumatycznych [3, 4]. Płynowe elementy napędowe, charakteryzują się właściwościami przydatnymi w procesie rehabilitacji, gdyż odpowiednio sterowane, mają charakterystyki zbliżone do charakterystyk ludzkich mięśni [1].

Istotną kwestią pozostaje regulowanie jednoczesnego ruchu tłoczków dwóch siłowników pneumatycznych. Ze względu na ściśliwość czynnika roboczego – powietrza sprężonego – jest to proces skomplikowany [9, 10]. W artykule zaprezentowano wyniki badań

doświadczalnych elementu do synchronizacji ruchu dwóch tłoczków siłowników pneumatycznych.

W artykule przedstawiono dwa urządzenia rehabilitacyjne MZ1 oraz MZ2 do ćwiczeń biernych kończyn dolnych. W urządzeniach tych, można zastosować element synchronizujący, ruch dwóch tłoczków siłowników.

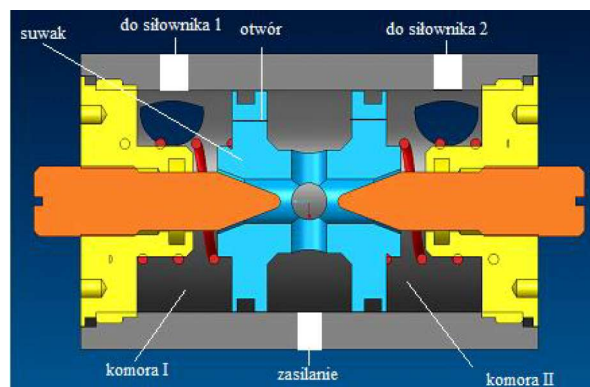
2. CEL I PRZEDMIOT BADAŃ

Celem badań doświadczalnych było uzyskanie charakterystyk przemieszczeń, dwóch tłoczków siłowników z użyciem elementu synchronizującego, przy różnych wartościach obciążeń tłoczyska w całym zakresie ruchu.

Zastosowanie elementu pneumatycznego miało na celu opracowanie prostego systemu sterowania dwoma tłoczkami siłowników w urządzeniu rehabilitacyjnym, do ćwiczeń biernych kończyn dolnych.

2.1. Element synchronizujący

W artykule przedstawiono nowe rozwiązanie elementu do synchronizacji ruchu dwóch tłoczków siłowników pneumatycznych (rys. 1) [14].

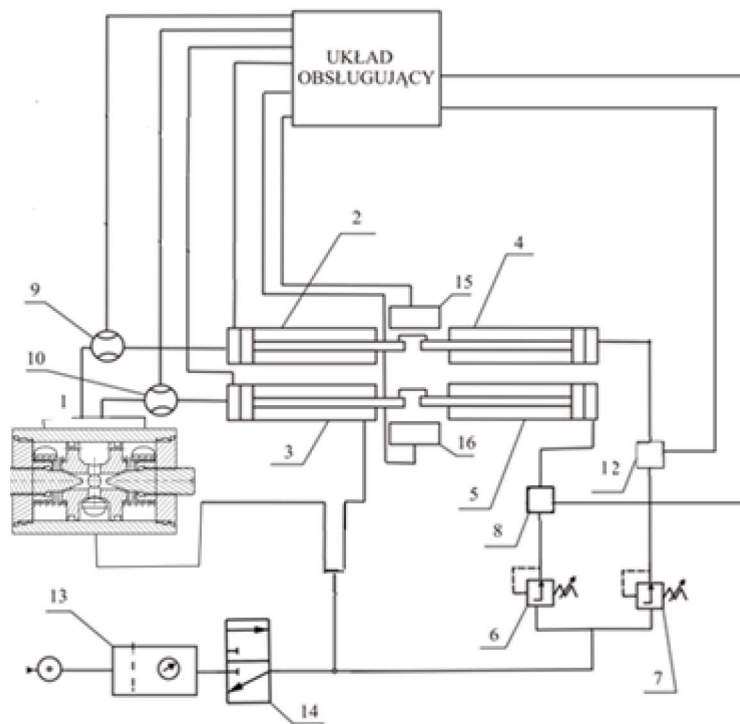


Rys. 1. Przekrój elementu synchronizującego ruchu dwóch tłoczków siłowników

Podczas ruchu, gdy siłownik 1 oraz 2, obciążony jest taką samą siłą, suwak znajduje się w położeniu środkowym. Gdy jeden z siłowników np. siłownik 1 (rys.1), obciążony jest większą siłą, wtedy w komorze I, następuje zwiększenie ciśnienia, natomiast w komorze II następuje jego zmniejszenie. W związku z występującą różnicą ciśnienia między komorami I a II, suwak zmienia swoje położenie, przesuując się w kierunku komory II o mniejszym ciśnieniu powietrza. W etapie zakończenia ruchu przez siłownik 1 i 2, suwak przestawia się w położenie środkowe elementu.

2.2. Metoda badawcza

Przeprowadzono badania doświadczalne elementu do synchronizacji ruchu dwóch siłowników pneumatycznych, wykonujących ruch pod różnymi wartościami obciążenia.

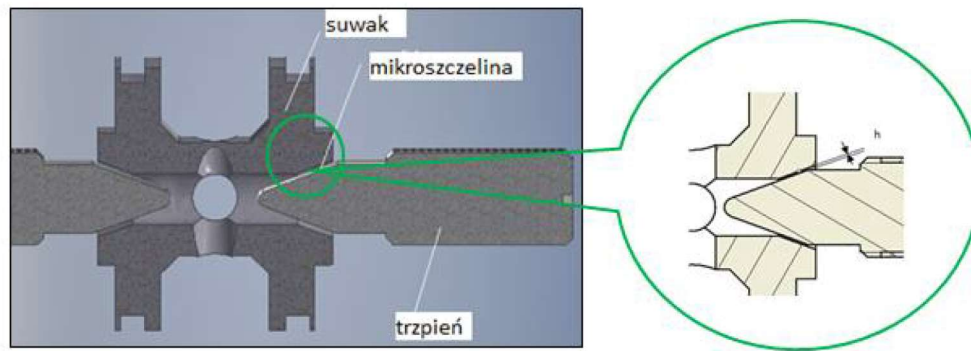


Rys. 2. Stanowisko badawcze. 1 - element synchronizujący; 2, 3 - badane siłowniki pneumatyczne; 4, 5 - siłowniki pneumatyczne realizujące obciążenia; 6, 7 - zawory redukcyjne; 8, 12 - czujniki ciśnienia; 9, 10 - przepływomierze sprężonego powietrza; 13 - zespół przygotowania powietrza; 14 - zawór odpowietrzający 3/2; 15, 16 - czujniki przemieszczenia

Aby dokonać badań charakterystyk synchronizacji przemieszczeń dwóch tłoczków siłowników pneumatycznych z zastosowaniem elementu synchronizującego (1), zaprojektowano oraz wykonano stanowisko badawcze, które przedstawiono na rys. 2. Dwa tłoczyska siłowników pneumatycznych (2) i (3), których przemieszczenia są synchronizowane, połączono mechanicznie z tłoczkami dwóch siłowników (4) i (5), realizujących obciążenie. Tym obciążeniem jest siła pochodząca od ciśnienia nastawianego zaworami redukcyjnymi (6) i (7). Pomiar tego ciśnienia odbywa przez czujniki ciśnienia (8), (12). Przemieszczenia dwóch tłoczków siłowników (2) i (3) mierzono się przez czujniki (15), (16). Sygnały z czujników pomiarowych zbierano i archiwizowano przez układ obsługujący - sprzęt pomiarowy USB 231, program pomiarowy DasyLab.

Aby zapewnić jednoczesne przemieszczenie się dwóch tłoczków siłowników, różnie obciążonych, należało wyznaczyć wielkość szczeliny elementu synchronizującego. W celu określenia zakresu regulacji elementu synchronizującego należało przeprowadzić badania doświadczalne oraz obliczenia natężenia przepływu powietrza przez siłownik pneumatyczny. W niniejszym artykule badanie elementu do synchronizacji ruchu dwóch siłowników pneumatycznych, zostało przeprowadzone dla wysokości mikroszczeliny o wartości $h = 5 \cdot 10^{-5}$ [m].

Na rysunku 3 przedstawiono przekrój elementu do synchronizacji ruchu dwóch siłowników, ze wskazaniem elementów: suwaka, trzpienia a także mikroszczeliny elementu.

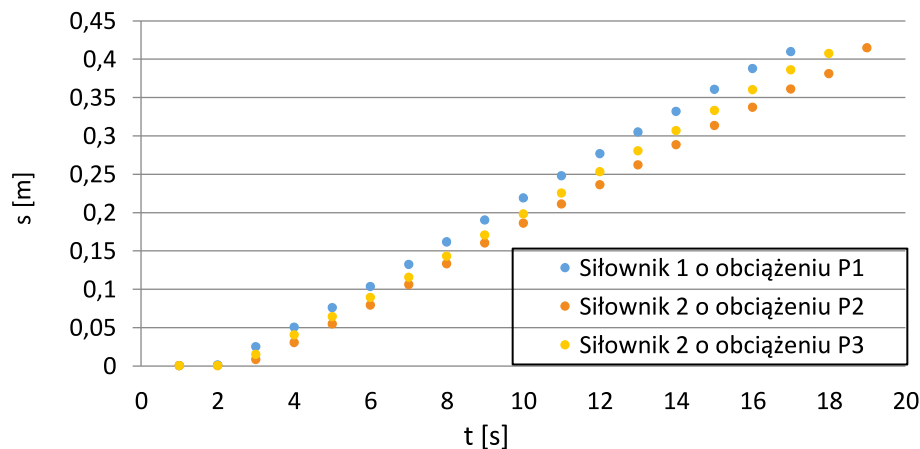


Rys. 3. Częściowy przekrój elementu synchronizującego (z lewej), Wysokość mikroszczeliny $h_1 = 5 \cdot 10^{-5} [m]$ (z prawej)

Wysokość mikroszczeliny badanego elementu przedstawiono na rysunku 3. Badania eksperymentalne wykonane zostały dla ciśnienia zasilania równego $p_z = 5 \cdot 10^5 [Pa]$.

Przeprowadzono dwie serie badań. W badaniu doświadczalnym 1 tłoczek siłownika (regulowane zaworem redukcyjnym) zostało obciążone ciśnieniem $P_1 = 1,831 \cdot 10^5 [Pa]$, natomiast drugie tłoczek siłownika obciążano ciśnieniem o różnych wartościach (w całym zakresie długości wysuwu tłoczyska). Wykonano dwa badania, przy czym we wszystkich pierwsze tłoczek siłownika pneumatycznego zostało obciążone ciśnieniem $P_1 = 1,831 \cdot 10^5 [Pa]$, a drugie tłoczek siłownika obciążono: $P_2 = 1,3 \cdot 10^5 [Pa]$, a następnie $P_3 = 1,0 \cdot 10^5 [Pa]$.

Na rysunku 4 przedstawiono wykres wysuwu tłoczek siłowników pneumatycznych, obciążonych różnymi ciśnieniami.



Rys. 4. Wykres wysuwu tłoczek siłowników pneumatycznych, wykonujący ruch pod różnymi obciążeniami, s – wysuw tłoczyska siłownika, t – czas

Przeprowadzone badania eksperymentalne miały na celu zbadanie synchronizacji ruchu dwóch tłoczek siłowników pneumatycznych różnie obciążonych.

Przedstawione wyniki na rysunku 4, dla mikroszczeliny równej $h = 5 \cdot 10^{-5} [m]$, wykazują różnicę przemieszczeń pomiędzy dwoma tłoczkami wynoszącą 7%, pomiędzy obciążeniem pierwszego siłownika równego $P_1 = 1,831 \cdot 10^5 [Pa]$, a drugiego siłownika równego $P_2 = 1,3 \cdot 10^5 [Pa]$. Natomiast dla obciążenia pierwszego siłownika równego $P_1 = 1,831 \cdot 10^5 [Pa]$ oraz dla drugiego siłownika równego $P_3 = 1 \cdot 10^5 [Pa]$, różnica przemieszczeń dwóch tłoczek siłownika wynosi do 5%. Założono, że największa różnica przemieszczeń, pomiędzy dwoma tłoczkami siłowników będzie wynosiła do 10%. Dla tej wartości różnicę przemieszczeń uznaje się za prawidłową.

3. URZĄDZENIA REHABILITACYJNE DO KOŃCZYN DOLNYCH

W artykule przedstawiono dwa urządzenia rehabilitacyjne MZ1 oraz MZ2, do ćwiczeń biernych, kończyn dolnych z zastosowaniem układu pneumatycznego. W urządzeniach MZ1, MZ2 można zastosować element synchronizujący, ruch dwóch tłoczek siłowników dla różnych wartości obciążeń tłoczyska, często występujący w procesie rehabilitacji kończyn dolnych.

Według ekspertów z dziedziny rehabilitacji jest zapotrzebowanie na tego typu urządzenia, które mogłyby realizować ruch dwóch kończyn jednocześnie.

Bardzo dobre wyniki daje równoczesne ćwiczenie kończyny zdrowej i porażonej [2]. Czas wczesnej rehabilitacji związany jest z obniżonym napięciem mięśniowym, celowe więc jest stałe pobudzanie aktywności ruchowej kończyn zdrowych oraz utrzymanie pełnego zakresu ruchów w kończynach porażonych [8].

3.1. Urządzenie rehabilitacyjne – MZ1

Zaprojektowano oraz wykonano urządzenie rehabilitacyjne MZ1 do ćwiczeń biernych, kończyn dolnych (zgłoszenie patentowe P.422817 [12]). Urządzenie MZ1 składa się z siedziska, podparcia o regulowanym kącie nachylenia oraz zamontowanego w górnej części oparcia głowy. Przed podparciem zamontowane są moduły ćwiczeń, lewy oraz prawy na których pacjent swobodnie kładzie kończyny. Zarówno ramię udowe, jak i ramię goleniowe ma budowę teleskopową, dzięki czemu możliwa jest regulacja ich długości i dostosowanie do budowy kończyny pacjenta. Pod modułem ćwiczeń lewym oraz prawym zamontowane są siłowniki pneumatyczne z elementem synchronizującym. Siłowniki będą realizowały jednoczesne ruchy zgięcia oraz wyprostu dwóch kończyn. Urządzenie posiada również zapięcia rzepowe na stopy oraz uchwyty goleniowe. Rama urządzenia ma cztery nogi, z których każda ma zamontowane kółko z hamulcem w celu zapewnienia większej mobilności urządzenia np. w celu podjazdu do pacjenta [12].



Rys. 5. Prototyp urządzenia rehabilitacyjnego MZ1

Urządzenie rehabilitacyjne MZ1 przedstawiono na rysunku 5. Dokonawszy konsultacji z ekspertami z dziedziny rehabilitacji, wskazano zakres pacjentów z dysfunkcjami neurologicznymi oraz ortopedyczno-chirurgicznymi m.in.:

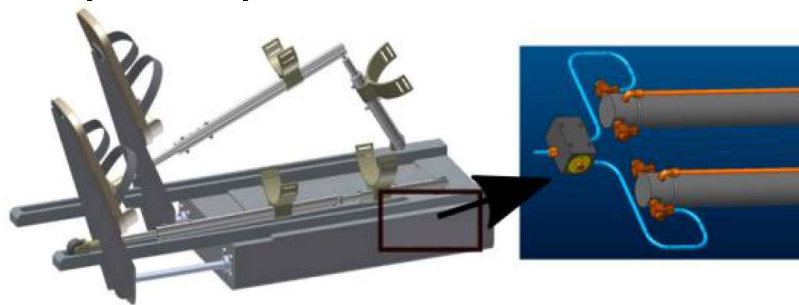
- po złamaniach w obrębie kończyny dolnej,
- po udarze mózgu,
- stwardnienie rozsiane,
- mózgowo porażenie dziecięce,
- długotrwałe unieruchomienie, itd.

Urządzenie MZ1 ma prostą budowę jest tanie w wykonaniu i umożliwia dostosowanie do wymiarów pacjenta. W urządzeniu rehabilitacyjnym (rys. 5) można wykorzystać układ realizujący synchroniczny ruch dwóch tłoczków siłowników pneumatycznych, który często występuje w procesie rehabilitacji kończyn dolnych.

3.2. Urządzenie rehabilitacyjne – MZ2

Zaprojektowano urządzenie rehabilitacyjne MZ2 do ćwiczeń biernych kończyn dolnych (zgłoszenie patentowe P.422818 [13]). Cała konstrukcja urządzenia MZ2 jest przenośna i umożliwia rehabilitację na łóżku pacjenta. Urządzenie rehabilitacyjne MZ2 zawiera dwa siłowniki pneumatyczne z elementem synchronizującym, zamontowane w obudowie, ponad którymi na górnej ścianie obudowy zamontowano dwie prowadnice. Każda z prowadnic jest połączona przegubowo z ramieniem udowym o budowie teleskopowej umożliwiającej zmianę jego długości. Urządzenie rehabilitacyjne, wyposażone jest w uchwyty zamocowane na ramieniu udowym oraz na ramieniu goleniowym, służące do stabilizacji kończyn dolnych pacjenta. Uchwyty na udo, goleń oraz oparcie na stopy zawiera zapięcia rzepowe. Siłowniki pneumatyczne będą realizowały jednoczesne ruchy zgięcia oraz wyprostu dwóch kończyn dolnych człowieka [13].

Zakres chorób obejmuje pacjentów neurologicznych oraz ortopedyczno-chirurgicznych, podobnie jak w punkcie 3.1. Urządzenie rehabilitacyjne do ćwiczeń biernych kończyn dolnych przedstawiony został na rysunku 6.



Rys. 6. Projekt urządzenia rehabilitacyjnego MZ2

W zaprezentowanym projekcie, urządzenia rehabilitacyjnego, może zostać użyty element synchronizujący do ruchu dwóch tłoczków siłowników pneumatycznych.

4. WNIOSKI

Badania eksperymentalne elementu do synchronizacji, miały na celu zbadanie równoczesnego wysuwu dwóch tłoczków siłowników pneumatycznych. W artykule przedstawiono element do synchronizacji ruchu dwóch tłoczków siłowników pneumatycznych, dla wysokości mikroszczeliny równej $h = 5 \cdot 10^{-5} [m]$. Wykonano dwa badania doświadczalne, które zostały przeprowadzone dla ciśnienia zasilania równego $p_z = 5 \cdot 10^5 [Pa]$. Pierwsze tłoczek siłownika pneumatycznego zostało obciążone ciśnieniem $P_1 = 1,831 \cdot 10^5 [Pa]$, a drugie tłoczek siłownika obciążono: $P_2 = 1,3 \cdot 10^5 [Pa]$, a następnie $P_3 = 1,0 \cdot 10^5 [Pa]$. Dla obciążenia pierwszego siłownika (P_1) oraz drugiego siłownika (P_2) różnica przemieszczeń dwóch tłoczków siłownika wynosi do 7%. Natomiast dla obciążenia pierwszego siłownika (P_1) oraz dla drugiego siłownika równego (P_3), różnica przemieszczeń dwóch tłoczków siłownika wynosi do 5%. Analizując otrzymane wyniki, wnioskować można, że oba badane przypadki nie przekraczają 10% - różnicy pomiędzy przemieszczeniami dwóch tłoczków siłowników. Powyższe różnice

pomiędzy przemieszczeniami tłoczków siłowników związane są przede wszystkim ze ściślnością czynnika roboczego – powietrza sprężonego, zmiennością parametrów ciśnienia, prędkości przepływu, lepkości i temperatury [9, 10]. Wyniki wskazują, że element synchronizujący, realizuje założoną funkcję - synchronizację ruchu dwóch tłoczków siłowników pneumatycznych. Jak wskazuje wykres (rys. 4) dla różnych obciążeń siłowników, układ z elementem synchronizującym, wyrównując ciśnienia w komorach, pozwala na realizację podobnego przemieszczenia tłoczka siłowników.

Do przedstawionych urządzeń rehabilitacyjnych MZ1 oraz MZ2, do ćwiczeń biernych kończyn dolnych, może zostać wykorzystany układ dwóch siłowników pneumatycznych z zastosowaniem elementu synchronizującego ruch dwóch tłoczków siłowników.

LITERATURA

- [1] Burghardt A., Cieślak J., Flaga S., Kurc K., Minorowicz B., Nawrocki M., Pluta J., Stefański F., Szybicki D., Zając M.: Wybrane problemy współczesnej robotyki. Wyd. AGH, Kraków, 2014.
- [2] Dega W.: Ortopedia i rehabilitacja. Tom I. PZWL, Warszawa, 1983.
- [3] Dindorf R., *Rozwój i zastosowanie manipulatorów i robotów rehabilitacyjnych*. Pomiary, Automatyka, Robotyka, 7 (2004), 11, 5-9.
- [4] Dindorf R., *Zastosowanie elementów płynowych w protezach kończyn*, V Seminarium Naukowe „Mechanika w Medycynie”, Rzeszów 8-9.09.2000.
- [5] Hunter J.: Venus tromboembolism. Intensive care of surgical patient. “Medical Publisher”, INC Chicago, London, 1981, p. 278-305.
- [6] Kiwerski J. E., Jagodziński Krzysztof L. Krasuski M.: Zator płuc jako jedna z przyczyn zgonów chorych po urazie kręgosłupa. „Chirurgia Narządu Ruchu”, 1998, 63, s.125-131.
- [7] Kuncewicz E., Gajewska E.: Istotne problemy rehabilitacji geriatrycznej. „Rehabilitacja w praktyce” 3/2016, s.16
- [8] Kwolek A.: Rehabilitacja w udarze mózgu. Wyd. URZ, Rzeszów, 2011.
- [9] Ning S., Bone G.M., *Experimental comparison of position tracking control algorithms for pneumatic cylinder actuators*, Transactions on Mechatronics, IEEE/ASME, 12 (2007), 5, 557-561
- [10] Zhu X., Cao J., Tao G., Yao B., *Synchronization strategy research of pneumatic servo system based on separate control of meter-in and meter-out*, Advanced Intelligent Mechatronics. IEEE/ASME International Conference, Singapore 2009, 24-29.
- [11] Żyłka M. Tutak J.: Manipulatory pneumatyczne w rehabilitacji kończyny górnej. „Pneumatyka”, 2009, 1(70), s. 7-12.
- [12] Zgłoszenie wniosku o udzielenie patentu na wynalazek “Urządzenie do rehabilitacji kończyn dolnych” P.422817, z dnia 12.09.2017 r.
- [13] Zgłoszenie wniosku o udzielenie patentu na wynalazek “Urządzenie do rehabilitacji kończyn dolnych” P.422818, z dnia 12.09.2017 r.
- [14] Zgłoszenie wniosku o udzielenie prawa ochronnego na wzór użytkowy „Element synchronizujący pracę dwóch siłowników”, z dnia 24.01.2018 r.

THE USE OF PNEUMATIC SYSTEMS IN REHABILITATION DEVICES

Abstract: The article presents the element for synchronizing the movement of two piston rods of pneumatic cylinders. The aim of the experimental, presented in this paper was to obtain displacement characteristics of two cylinder rods using a synchronizing element. The element for synchronization of two pneumatic cylinders can be used for the rehabilitation devices presented in the article. Two rehabilitation devices, MZ1 and MZ2, for passive exercises of the lower limbs of the human are presented.