

**Piotr PROCHOR**, Katedra Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka

**Roman TROCHIMCZUK**, Katedra Automatyki i Robotyki, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka

## PROJEKT MECHATRONICZNEGO URZĄDZENIA DO DRENAŻU LIMFATYCZNEGO

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono projekt koncepcyjny mechatronicznego urządzenia do drenażu limfatycznego. Głównym celem zaprojektowanej konstrukcji medycznej jest umożliwienie pacjentowi samodzielnej kontroli nad obrzękiem limfatycznym w warunkach domowych. Umożliwione jest to poprzez odpowiedni masaż z wykorzystaniem posuwowo-wibracyjnych układów masujących oraz wymiennych i dopasowywanych końcówek w zależności od anatomicznej budowy pacjenta. Dzięki temu proponowane rozwiązanie charakteryzuje się innowacyjnymi cechami, wyróżniającymi je spośród innych rozwiązań obecnie dostępnych na rynku.

**Słowa kluczowe:** mechatronika, sprzęt medyczny, drenaż limfatyczny

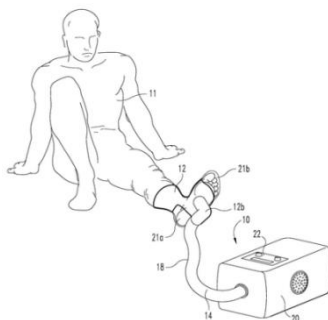
### 1. WSTĘP

Obrzęk limfatyczny powstaje na skutek nagromadzenia się bogatego w białko płynu w przestrzeni tkankowej i naczyniach limfatycznych, co prowadzi do postępującego włóknienia tkanek [1]. Schorzenie to dotyczy zarówno kończyn dolnych jak i górnych oraz może obejmować zarówno jedną kończynę (obrzęk jednostronny) lub obie jednocześnie (obrzęk dwustronny). Jednym ze sposobów jego kontroli jest drenaż limfatyczny, polegający na usprawnianiu krążenia limfy w miejscu obrzęku limfatycznego. Obecnie drenaż wykonywany jest on przez fizjoterapeutę w sposób manualny lub z użyciem dodatkowych systemów wspomagających jego pracę. Niniejsza praca powstała w celu przedstawienia własnej koncepcji mechatronicznego urządzenia do drenażu limfatycznego, które pozwoli pacjentowi dotkniętemu obrzękiem limfatycznym na pełną automatyzację procesu rehabilitacji.

### 2. OBECNY SPOSÓB WYKONYWANIA DRENAŻU LIMFATYCZNEGO

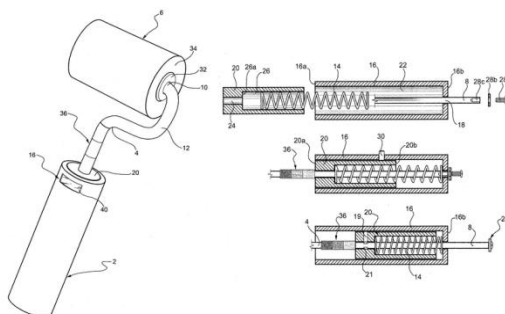
Obecnie szacuje się, że około 140 mln ludzi na całym świecie cierpi na powikłania związane z obrzękiem limfatycznym [2], co wskazuje na powszechność występowania tego schorzenia i związanego z nim zapotrzebowaniem na sposoby jego kontrolowania. Obrzęk limfatyczny stanowi bardzo duży problem nie tylko poprzez upośledzenie fizyczne osoby chorej, ale również może być przyczyną np. dodatkowych problemów emocjonalnych i obniżenia satysfakcji z życia codziennego. Tego typu obrzęki nie tylko wywołują u dotkniętych nimi ludzi wymienione powyżej niedogodności, ale przede wszystkim uniemożliwiają im w rezultacie częściowe lub też całkowite wykonywanie pracy zawodowej.

Obecnie istnieje niewiele metod i urządzeń stosowanych do drenażu limfatycznego. Każde z nich służy wyłącznie do wspomaganie pracy fizjoterapeuty, a nie czynności wykonywanych w domu przez samego pacjenta. Jednym z takich urządzeń jest m.in. pneumatyczne urządzenie ułatwiające cyrkulację płynu w organizmie (rys. 1). W systemie wyróżniamy nadmuchiwany mankiet, do którego włączane jest powietrze pod odpowiednim ciśnieniem. Cykliczne napełnianie mankieta powietrzem ma na celu usprawnienie przepływu chłonki w naczyniach limfatycznych kończyny pacjenta.



**Rys. 1. Pneumatyczne urządzenie ułatwiające cyrkulację płynu w organizmie [3]**

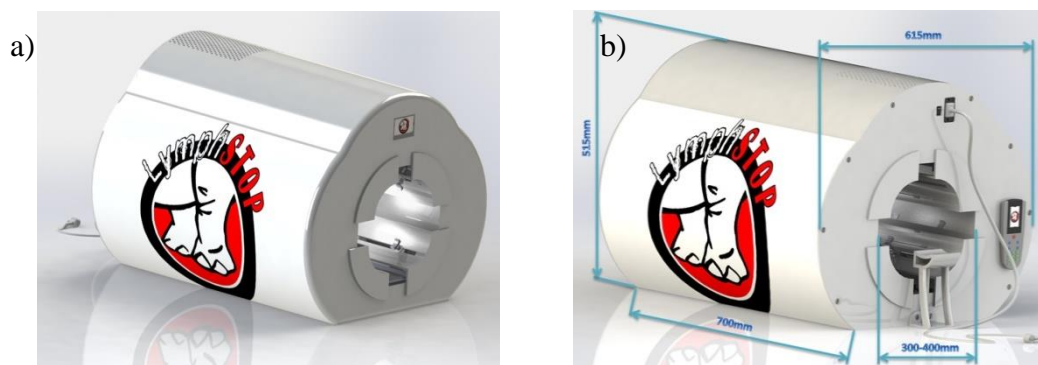
Kolejnym przykładem sprzętu używanego w opisywanym schorzeniu jest rolka do drenażu limfatycznego (rys. 2). Urządzenie ma służyć do przeprowadzania miejscowego drenażu limfatycznego przy pomocy wałka osadzonego na drążku z uchwytem, wewnątrz którego osadzona jest sprężyna. Do wykonywania drenażu potrzebny jest fizjoterapeuta, a rolka jedynie służy jako narzędzie wspomagające jego pracę [4].



**Rys. 2. Rolka do drenażu limfatycznego [4]**

### 3. PROPOZYCJA WŁASNEGO ROZWIĄZANIA

Pozytywne działanie masażu znane jest od wielu stuleci. Najlepsze rezultaty uzyskuje się stosując masaż regularnie, jednak jest to drogi i czasochłonny proces. Wymaga on częstych wizyt pacjenta w specjalistycznych placówkach medycznych. Dzięki proponowanemu rozwiązaniu dostajemy możliwość stosowania urządzenia w warunkach domowych, a tym samym problemy te ulegają rozwiązaniu. Proponowane rozwiązanie konstrukcyjne zaprojektowanego urządzenia medycznego LymphSTOP przedstawione jest na rysunku 3a i 3b.



Rys. 3. Własne rozwiązanie konstrukcyjne: a) widok z przodu, b) widok z tyłu z wymiarami gabarytowymi

Przy pomocy zaprojektowanego urządzenia możliwy będzie efektywny masaż w dowolnej chwili i co ważne w warunkach domowych. LymphSTOP masuje system limfatyczny w efekcie zmniejszając istniejący obrzęk. Aby urządzenie mogło spełniać stawiane jemu wymagania, opracowano następujące założenia konstrukcyjne:

- wymiary urządzenia:
  - długość odpowiadająca średniej długości antropometrycznej kończyny dolnej wynoszącej 700mm [5] (jednocześnie spełniona jest średnia długość antropometryczna kończyny górnej – około 650mm [5]);
  - kanał o średnicy maksymalnej równej 400mm i minimalnej 300mm (ustalana za pomocą przemieszczania z użyciem prowadnic, czteroczęściowej obudowy kanału, a także za pomocą dowolnego ustalenia długości końcówek masujących);
- wykorzystanie materiałów, o możliwie najniższym ciężarze właściwym, jednocześnie spełniających wymogi wytrzymałościowe (ABS oraz stop Al 6063 T6);
- połączenie zalet istniejących metod – masażu manualnego i wibracyjnego;
- automatyzacja i możliwość programowania procesu masażu;
- możliwość stosowania zarówno w warunkach szpitalnych jak i w domowych.

Obrzęk limfatyczny dotyczy w głównej mierze osób dorosłych, dlatego przyjęte wymiary zaprojektowanego urządzenia zostały dopasowane do tej grupy wiekowej. W przypadku stosowania u dzieci i osób o kończynach krótszych niż 700mm, istnieje możliwość wykonania prezentowanego urządzenia w mniejszych gabarytach. Wymaga to zastosowania jedynie odpowiednio krótszych prowadnic wewnętrznych i mniejszych obudów zewnętrznych.

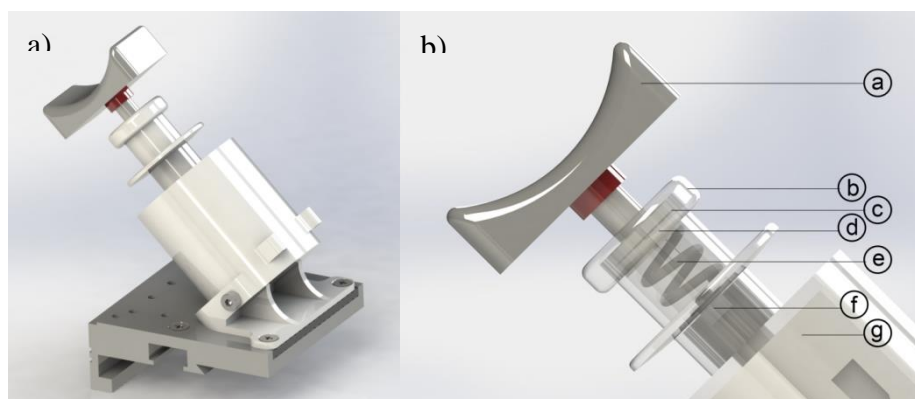
#### 4. ZASADA DZIAŁANIA ZAPROJEKTOWANEGO URZĄDZENIA

Kończyna objęta schorzeniem umieszczana jest w kanale wewnętrznym, który to dopasowywany jest za pomocą dwóch układów prowadnic, gdzie jeden układ zawiera: 4 prowadnice osi Z, 2 prowadnice osi X i 2 prowadnice osi Y. LymphSTOP w trakcie użytkowania przedstawiony został na rysunku 4:



Rys. 4. LymphSTOP w trakcie użytkowania (przekrój przez urządzenie); a - podpórka pod kończynę dolną

Drenaż limfatyczny (masaż) odbywa się przez układy masujące (rys. 5) poruszane ruchem posuwistym na prowadnicach X (dzięki czemu drenaż posiada zalety płynące z masażu manualnego). Do każdego z nich można dobrać w zależności od cech anatomicznych pacjenta różne długości sworzni końcówek, zwiększając możliwość dopasowania urządzenia do cech indywidualnych użytkownika. Pozytywne cechy płynące z masażu wibracyjnego możliwe są do osiągnięcia przez zastosowanie asynchronicznego obciążenia na małych silnikach elektrycznych umieszczonych wewnątrz układów masujących. Pod obudową silnika znajdują się podkładki z tworzywa elastycznego, oddzielające silnik od obudowy zewnętrznej oraz tłumiące drgania. Dzięki temu drgania występują jedynie na końcówkach masujących i zredukowane są drgania obudowy urządzenia.



**Rys. 5. Układ masujący: a) widok podstawowy; b) umiejscowienie elementów: a - końcówka masująca, b - blokada zewnętrzna gwintowana, c - czujnik nacisku, d - blokada wewnętrzna pod czujnik, e - sprężyna, f - asynchroniczne obciążenie, g - silnik elektryczny**

Projektując rozwiązanie przewidziano również zastosowanie handlowych, wymiennych końcówek, stosowanych w urządzeniach masujących (rys. 6), które nakładane są na trzpień pojedynczej końcówki. Ich odpowiedni kształt pozwala na efektywny masaż, dostosowany do indywidualnych potrzeb pacjenta.



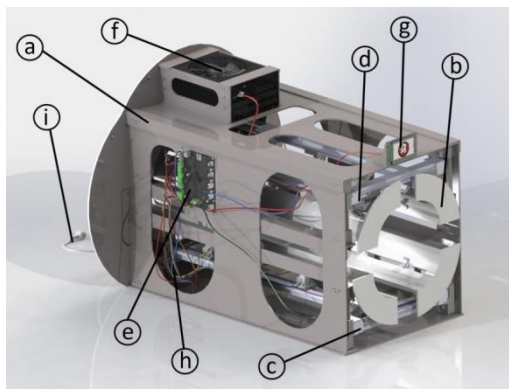
**Rys. 6. Przykładowe wymienne końcówki masujące [6]**

Elementy nadające urządzeniu cechy mechatroniczne to przede wszystkim czujniki nacisku umiejscowione w układach masujących. Przyłożona siła do okrągłej końcówki czujnika powoduje wzrost jego rezystancji. Wykorzystanie tego zjawiska i odpowiedniego sterownika, umożliwia dokładne dopasowanie rozmiaru kanału do wnętrza którego wprowadzana jest kończyna, dając możliwość dopasowania go do indywidualnych cech anatomicznych pacjenta. Zakres pomiarowy czujnika został dopasowany do danych normatywnych, opisujących siłę oddziaływania drenażu na obrzęk. Na ich podstawie wartość siły stosowana w masażu, nie powinna wywoływać ciśnienia powyżej 4kPa na powierzchni opuchlizny [7].

W celu kontrolowania i automatyzacji procesu dopasowywania uwzględniono układ mikroprocesorowy, który steruje całym procesem rehabilitacyjnym. Odbywa się to począwszy od pierwszego dopasowania kanału do kończyny pacjenta przez odpowiednie

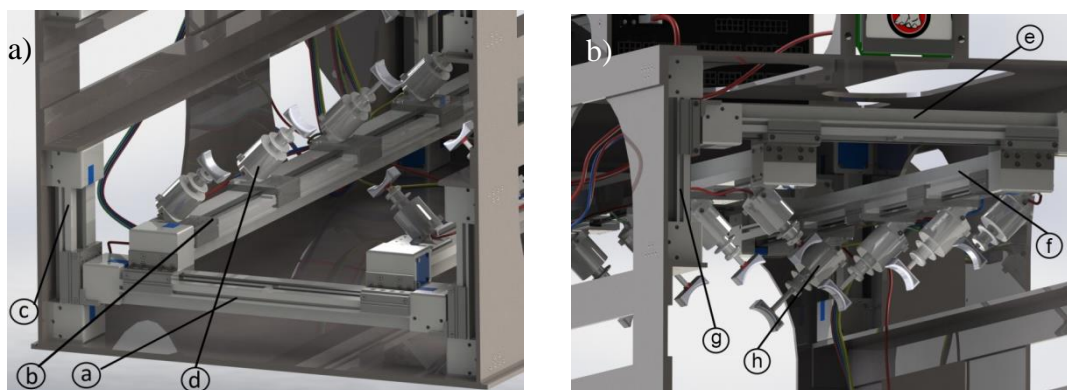
sprężenie z czujnikami nacisku, poprzez ruchy posuwiste końcówek masujących, aż do czasu zakończenia etapu rehabilitacji. Uwzględniony sterownik do obsługi trzech osi został dopasowany do silników elektrycznych (12V i 4,8V) użytych w urządzeniu. Ze względu na brak przepływu prądu przez część aplikacyjną (końcówki masujące), wykorzystane do zasilania urządzenia napięcie 24V stosowane w przemyśle można uznać za bezpieczne [8]

Pozostałe komponenty prezentowanego urządzenia pozwalające na spełnienie stawianych mu wymagań, przedstawione zostały na rysunku 7.



**Rys. 7.** Propozycja własnego rozwiązania konstrukcyjnego (widok po zdjęciu zewnętrznej obudowy): a - rama, b - czteroczęściowy kanał, c - dolny układ prowadnic d - górny układ prowadnic e - sterownik, f - zasilacz, g - wyświetlacz, h - przewody łączące elementy elektroniczne urządzenia, i - kabel zasilający

Równie ważnym i kluczowym elementem całego urządzenia jest dwumodułowy układ prowadnic przedstawiony na rysunku 8a i 8b. Zapewnia on prawidłowe działanie całego urządzenia przez umożliwienie ruchu posuwowego układów masujących. Wraz z wibracyjnym oddziaływaniem każdego układu na kończynę objętą schorzeniem, pozwala na przeprowadzenie drenażu limfatycznego łączącego zalety masażu manualnego i wibracyjnego.



**Rys. 8.** Dwumodułowy układ prowadnic a) moduł dolny: a - prowadnica dolna oś X, b - prowadnica dolna oś Y, c - prowadnica dolna oś Z, d - układ masujący dolny; b) moduł górny: e - prowadnica górna oś X, f - prowadnica górna oś Y, g - prowadnica górna oś Z, h - układ masujący górny

#### 4. PODSUMOWANIE I KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

Analizując stosowane powszechnie urządzenia i wynalazki (przykłady w źródłach [3, 4]), można stwierdzić, że żadne z nich nie posiada możliwości automatyzacji procesu masażu obręku limfatycznego. Proponowane rozwiązanie mechatroniczne jest w stanie spełnić takie wymagania. Jego konstrukcja pozwala wykonywać precyzyjny drenaż limfatyczny skutkujący zmniejszeniem obrzęku kończyn chorego, łączący zalety płynące z połączenia oddziaływań manualnych i wibracyjnych na układ limfatyczny pacjenta.

Poprzez zastosowanie czujników siły nacisku, urządzenie posiada również możliwość automatyzacji masażu i dokładnego dopasowania (poprzez wykorzystanie informacji ze środowiska zewnętrznego) do kończyny użytkownika. Nieodzowną zaletą urządzenia jest również możliwość programowania cykli masażu, dzięki czemu drenaż limfatyczny jest indywidualnie dobierany do indywidualnych potrzeb pacjenta. Dodatkowo pacjent ma również możliwość łatwego dostosowania intensywności masażu, poprzez użycie kontrolera, na którym możemy zadać parametry masażu. Niezbędne pacjentowi informacje pojawiają się na wyświetlaczu LCD, czyniąc urządzenie łatwym i wygodnym w użytkowaniu dla każdego. Zaprezentowana w niniejszej pracy konstrukcja została zgłoszona jako wynalazek do Urzędu Patentowego RP [9]. Kolejnym planowanym etapem rozwoju jest wykonanie prototypu zaprojektowanej konstrukcji, który następnie będzie testowany przez grupę wybranych pacjentów. Celem tych działań będzie testowanie i optymalizacja umożliwiająca prawidłowe przystosowanie systemu do codziennej praktyki rehabilitacyjnej.

## LITERATURA

- [1] Wiktor M., Synowiec T., Liweń., M.: The basis of physiology of the lymphatic system. Lymphedema, Przewodnik Lekarza, vol. 5, 2006, p. 80-89
- [2] Brorson H., Ohlin K., Olsson G., Svensson B., Svensson.: Controlled compression and liposuction treatment for lower extremity lymphedema, Lymphology, vol. 41, no. 2, 2008, p. 52-63
- [3] Patent - US2014088476 (A1) – Intermittent pneumatic compression device
- [4] Patent - US2014148744 (A1) - Roller device for lymphatic drainage treatments
- [5] Gedliczka A.: Atlas miar człowieka, Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa, 2001.
- [6] Materiały firmy LIBERCO, strona internetowa: [www.liberco.pl](http://www.liberco.pl) [dostęp 28.06.2015].
- [7] French R. M.: Milady's guide to lymph drainage massage, wyd. Thomson Delmar Learning, New York, 2004
- [8] Polska norma: PN-EN 60601-1:2011, Medyczne urządzenia elektryczne – Część 1: Wymagania ogólne dotyczące bezpieczeństwa podstawowego oraz funkcjonowania zasadniczego
- [9] Potwierdzenie przyjęcia wniosku o zgłoszenie wynalazku pt.: Mechatroniczne urządzenie do drenażu limfatycznego; zgłoszenie nr P.411811

## THE PROJECT OF A MECHATRONIC DEVICE FOR LYMPHATIC DRAINAGE

**Abstract:** The following article presents the project of a mechatronic device for lymphatic drainage. It's main goal is to provide the possibility of unassisted lymphatic obstruction's massage in home conditions. The whole process is enabled by the designed massaging gears with exchangeable and adjusted to patient's anatomic attributes remainders. Described features provide innovative properties that distinguish the presented project from others devices that are available on the market.