

Małgorzata OTREBSKA, Wojciech SKARKA, Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, Gliwice

MODELOWANIE RUCHU KOŃCZYN DOLNYCH PODCZAS CHODU, W KONTEKŚCIE ODZYSKU ENERGII W EGZOSZKIELECIE KOŃCZYNY DOLNEJ

Streszczenie: Egzoszkielec kończyny dolnej jest to urządzenie zewnętrzne wspomagające chód osoby niepełnosprawnej. Jednym z największych problemów w istniejących rozwiązaniach tego rodzaju urządzeń jest sposób zasilania. Podczas naturalnego chodu człowieka występuje zjawisko odzysku energii. W artykule podjęto próbę poszukiwania sposobów odzysku energii poprzez jej gromadzenie, a następnie zużytkowanie w egzoszkielecie kończyny dolnej.

Słowa kluczowe: analiza energetyczna chodu, odzysk energii, egzoszkielec kończyny dolnej, model odwróconego wahadła, model masy sprężystej

1. WSTĘP

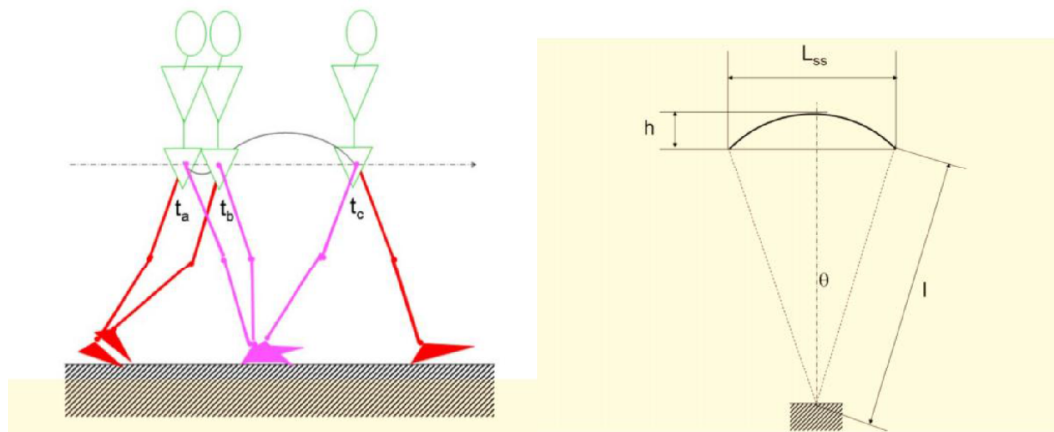
Egzoszkielec kończyny dolnej to urządzenie zewnętrzne (nieingerujące w organizm ludzki) wspomagające pracę mięśni poprzez zwiększanie ich siły. Może być stosowane w wielu dziedzinach np. w rehabilitacji, w przemyśle, czy w zastosowaniach specjalnych takich jak wojska, straż pożarna czy ratunkowa. Mechanizm taki mocowany jest na zewnątrz ciała, dzięki czemu nie jest inwazyjny, a mimo wszystko bezpośrednio oddziałuje na dane części ciała człowieka. W obecnych czasach prowadzonych jest wiele badań zajmujących się projektowaniem i konstruowaniem egzoszkielecików różnych partii ciała. Największym problemem, jaki autor dostrzega w istniejących rozwiązaniach to sposób zasilania tych urządzeń. Analiza przepływu energii podczas chodu, może być inspiracją w zastosowaniu układów odzysku energii w egzoszkielecie kończyny dolnej.

2. ANALIZA ENERGETYCZNA CHODU

Analizując zjawiska odzysku energii podczas chodu człowieka [3][14], można zastanowić się nad wykorzystaniem takiego zjawiska podczas modelowania egzoszkielecika kończyny dolnej.

W badaniach analizy chodu brany pod uwagę jest przede wszystkim ruch środka ciężkości ciała. W kontekście odzysku energii najczęściej wykorzystywany jest model odwróconego wahadła polegający na zamieszczeniu masy na sztywnym łączniku, poruszająca się nad punktem podparcia [6]. Metoda ta jest jednak obciążona wieloma błędami takimi jak brak kompresji kończyny czyli niezmienna długość kończyn, co powoduje stałą odległość środka ciężkości oraz niezmiennie położenie środka ciężkości względem pozostałych

segmentów ciała (rys. 1.).

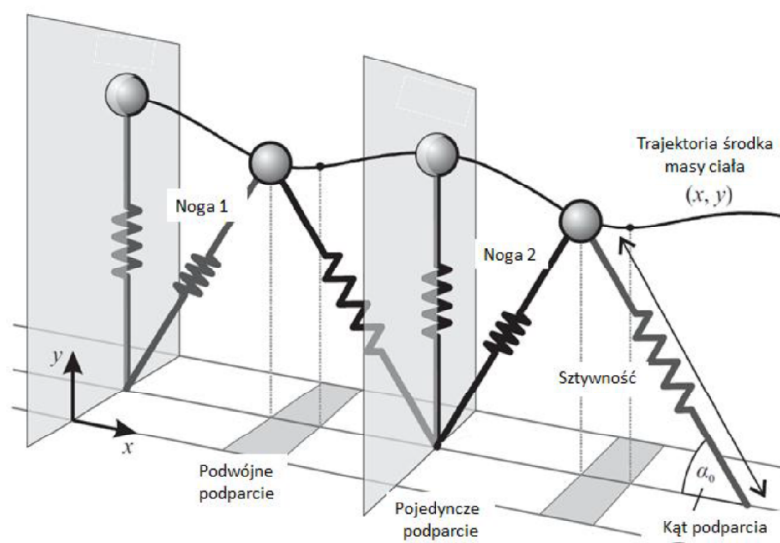


Rys. 13. Model odwróconego wahadła w analizie chodu człowieka [4]

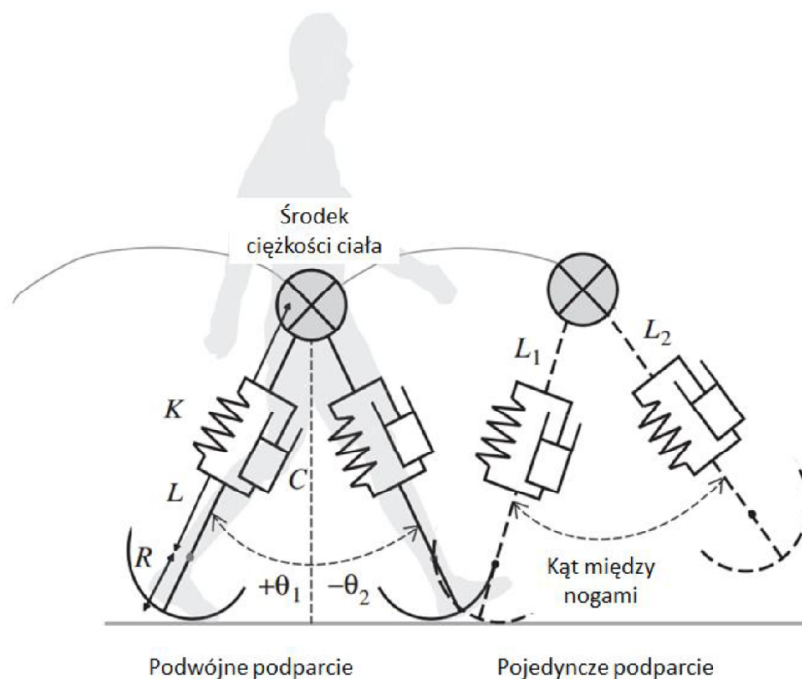
Następnym wykorzystywanym modelem jest model masy sprężystej, czyli zamieszczenie masy na sprężystym łączniku [9][7]. Model ten lepiej odzwierciedla kompresję kończyn oraz zmianę położenia środka ciężkości (Rys. 2).

Jednym z bardziej zaawansowanych modeli jest dynamiczny model lokomocji z teleskopowymi kończynami [5] polegający na zastosowaniu zespołu elementów sprężystych rozmieszczonych w poszczególnych stawach, z dopasowaną charakterystyką dynamiczną, tak aby uzyskać odpowiednią wypadkową sztywność kończyny. W modelu takim, im szybciej człowiek będzie się poruszał, tym więcej energii zostanie zgromadzone (Rys. 3).

W wielu pozycjach literaturowych [3][2][12] udowodniony jest proces odzysku energii podczas chodu, nawet do 60%. Polega on na wzajemnej wymianie energii potencjalnej z kinetyczną (i na odwrót) w ruchu postępowym względem osi strzałkowej wykorzystując mechanizm odwróconego wahadła, gdzie masą był ogólny środek ciężkości ciała. Pozostała część energii jest rozpraszana i tracona na siłę tarcia między stopą a podłożem, energię cieplną i energię fali akustycznej.



Rys. 14. Model sprężysty w analizie lokomocji człowieka [9]



Rys. 15. Model teleskopowy w analizie chodu człowieka [5]

Egzoszkielelet ma za zadanie odzwierciedlić ruch kończyn dolnych, dzięki czemu istnieje możliwość badań nad wykorzystaniem zjawiska odzysku energii odzwierciedlający proces zachodzący podczas chodu fizjologicznego.

Innym pomysłem wykorzystania odzysku energii jest koncepcja odzysku energii opierająca się na pracy mięśni antagonistycznych. Mięśnie te mają działanie do siebie przeciwstawne. Jeden z mięśni napędza lub odwodzi daną partię ciała, drugi działa przeciwstawnie, czyli np. wyhamowuje lub przyciąga kończynę. Można wykorzystać pracę tych mięśni do pobierania i magazynowania energii w układzie odzysku energii, a następnie wykorzystać ją do wspomaganie zasilania egzoszkieletu.

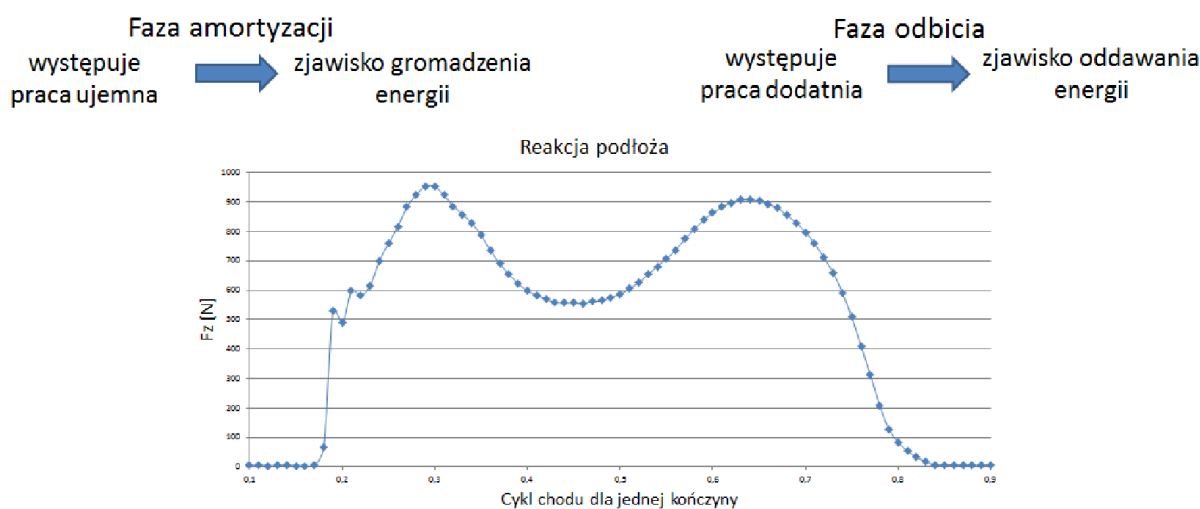
2.1. Analiza energetyczna chodu w kontekście odzysku energii w egzoszkielecie kończyny dolnej

Analizując pracę wykonywaną podczas chodu można wyróżnić pracę zewnętrzną oraz pracę wewnętrzną kończyn dolnych. Praca wewnętrzna to ta wykonywana przez mięśnie, w zamianie energii chemicznej na mechaniczną, natomiast praca zewnętrzna to praca, która wywołuje ruch kończyny, wykonana przez siły mięśni i siły zewnętrzne [3].

Podczas chodu można wyróżnić dwie główne fazy – fazę podporu i fazę wyroku. W fazie podporu występują kolejne trzy fazy. Faza amortyzacji, w momencie postawienia stopy na podłożu, faza podparcia – przeniesienie ciężaru ciała i stabilizacji ciała oraz faza odbicia. Podczas fazy amortyzacji występuje praca ujemna, którą można wykorzystać do gromadzenia energii, natomiast w fazie odbicia występuje praca dodatnia, czyli zjawisko oddawania energii.

Zjawisko to można przełożyć na pełen cykl chodu, obu kończyn, które wykonują różną pracę. Kończyna zakroczna wykorzystuje więcej energii na wykonanie kroku – rozpedzenie kończyny do przodu, natomiast kończyna wykroczna traci energię na jej wyhamowanie wykonując pracę ujemną. Obserwując taką zależność można zaobserwować mechanizm podwójnego wahadła. Podczas amortyzacji następuje zjawisko gromadzenia energii natomiast podczas fazy odbicia, gdy występuje praca dodatnia następuje zjawisko oddawania

energii. Dzięki temu energia tracona przez kończynę zakroczną może być wykorzystywana przez kończynę wykroczną.



Rys. 16. Przepływ energii podczas chodu

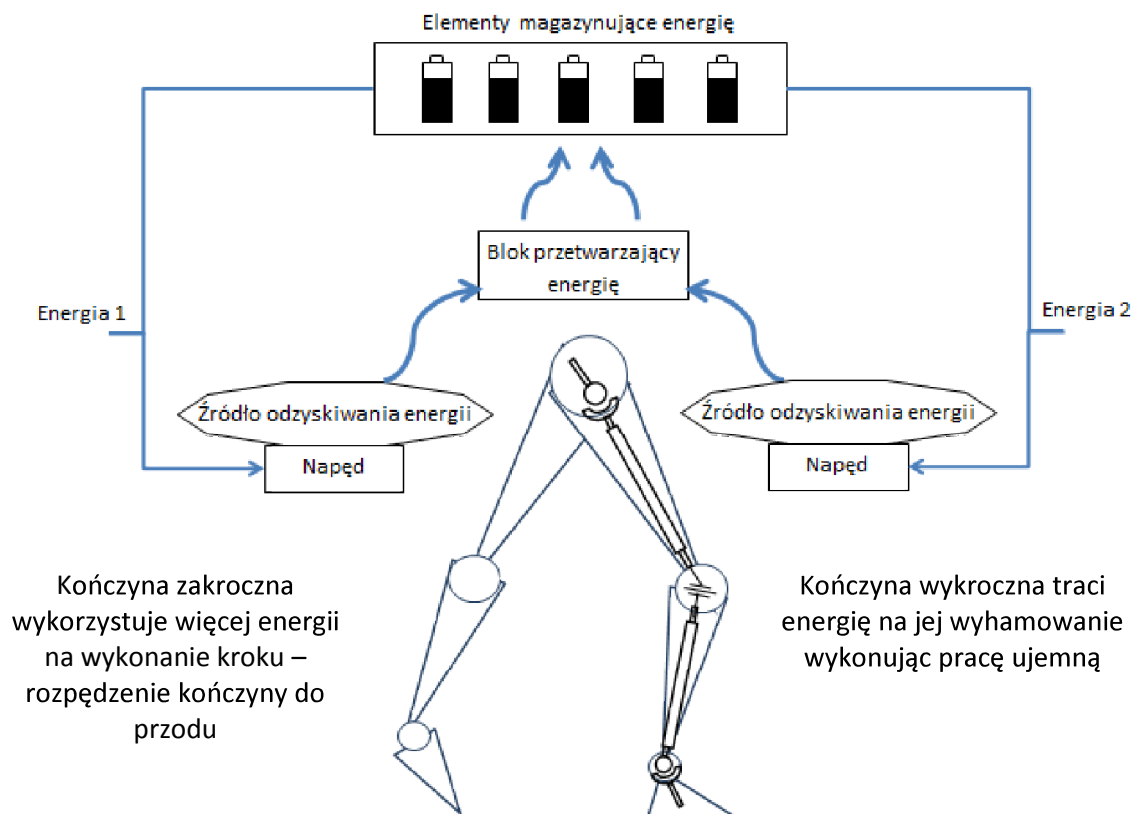
3. ODZYSK ENERGII

Odzysk energii jest to zjawisko polegające na magazynowaniu i późniejszym wykorzystywaniu energii, która zazwyczaj jest tracona. Źródłami odzysku energii mogą być elektrownie wodne, elektrownie wiatrowe, wykorzystanie paneli słonecznych lub energii geotermalnej. W urządzeniach typu egzoszkielety można poszukiwać źródeł odzysku energii takich jak: ciepło ludzkie czy drgania lub zastosować materiały typu piezoelektryczne lub magnetystrykcyjne [8][13][11][1].

4. PRZEPIY W I MAGAZYNOWANIE ENERGII W EGZOSZKIELECIE KOŃCZYNY DOLNEJ

W jednej z koncepcji (opisanej we wniosku patentowym złożonym przez autorów artykułu) zakłada się umieszczenie na każdej z kończyn źródła odzyskiwania energii. Energia ta przekazywana jest do bloku przetwarzającego energię. A następnie do elementu magazynującego energię, składającego się z zestawu kilku akumulatorów, które są po kolei ładowane (pierwszy akumulator do pełna, następnie kolejny itd.) i w takiej samej kolejności rozładowywane. Pomoże to uniknąć szkodliwego zjawiska częstego oraz krótkotrwałego ładowania i rozładowywania jednego, większego akumulatora. Następnie zmagazynowana energia przekazywana jest do napędu w drugiej kończynie. Czyli w momencie wyhamowania kończyny wykrocznej, energia jest magazynowana i może być z wydatkowaną na rozpędzenie kończyny zakrocznej.

System odzysku energii może polegać na jednym lub kilku z wyżej wymienionych metod, podstawowym jest odzysk energii ze zjawiska hamowania, jednak można także zastosować system drgań lub odzysk energii z ciepła ludzkiego ciała.



Rys. 17. Schemat przepływu energii

5. WNIOSKI

Analizując przepływ energii podczas fizjologicznego chodu, zauważa się występowanie zjawiska odzysku energii. Podstawowym zjawiskiem odzysku energii obserwowanym w chodzie jest ruch środka ciężkości ciała, który odbywa się na zasadzie odwróconego wahadła. Czyli energia potencjalna zamieniana jest na energię kinetyczną i na odwrot.

Dodatkowo analizując ruch obu kończyn podczas jednego cyklu chodu można wyróżnić proces magazynowania energii w trakcie wyhamowania kończyny wykrocznej oraz następnie z wydatkowania go do rozpędzenia kończyny zakrocznej.

Taka analiza pozwoliła na wygenerowanie koncepcji odzysku energii w egzoskielecie kończyny dolnej, która będzie dalej badana i rozwijana.

LITERATURA

- [1] Beeby S. P., Tudor M. J., White N. M. „Energy harvesting vibration sources for microsystems applications”, *Meas. Sci. Technol.* 17 (2006) R175–R195
- [2] Cavagna G. A., Saibene F.P., Margaria R.: External work in walking. *J. Appl. Physiol.* 18 (1963) s. 1-9
- [3] Chwała W.: Wpływ prędkości na zmiany położenia środka ciężkości ciała i sprawność mechanizmu odzyskiwania energii w chodzie fizjologicznym i sportowym. Monografie nr 12. Kraków, 2013

- [4] González R. C., Alvarez D., López A. M., Alvarez J. C.: Modified Pendulum Model for Mean Step Length Estimation. Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS. Cité Internationale, Lyon, France. August 23-26, 2007
- [5] Kim S., Park S.: Leg stiffness increases with speed to modulate gait frequency and propulsion energy. *Journal of Biomechanics* 44 (2011) s. 1253–1258
- [6] Kuo A. D., Donelan J.M., Ruina A.: Energetic consequences of walking like an inverted pendulum: Step-to-step transitions. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, Vol. 33, No. 2, pp. 88–97, 2005. Dostępne: <http://www-personal.umich.edu/~artkuo/Papers/ESSR05.pdf>
- [7] Lipfert S. W., Günther M., Renjewski D., Grimmer S., Seyfarth A.: A model-experiment comparison of system dynamics for human walking and running. *Journal of Theoretical Biology* 292 (2012) s. 11–17
- [8] Paradiso J. „Energy harvesting for mobile computing”, Responsive Environments Group, MIT Media Lab
- [9] Rummel J., Blum Y., Maus H.M., Rode C., Seyfarth A.: Stable and Robust Walking with Compliant Legs. 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Anchorage Convention District. May 3-8, 2010, Anchorage, Alaska, USA
- [10] Seyfarth A., Geyer H., Günther M., Blickhan R.: A movement criterion for running. *Journal of Biomechanics* 35 (2002) s. 649–655.
- [11] Staley M. E. „Development of a prototype magnetostrictive energy harvesting device”, Master of Science 2005
- [12] Umberger B. R., Augsburg S., Resig J., Oeffinger D., Shapiro R., Tylkowski C.: Generation, absorption, and transfer of mechanical energy during walking in children. *Medical Engineering & Physics* 35 (2013) s. 644– 651
- [13] Vullers R. „Energy harvesting or micropower generation for wireless autonomous sensors”, Holst Centre/IMEC-NL, ASCI SPRINGSCHOOL on EMBEDDED SYSTEMS 2008
- [14] Wang W.J., Crompton R.H., Li Y., Gunther M.M.: Energy transformation during erect and ‘bent-hip, bent-knee’ walking by humans with implications for the evolution of bipedalism. *Journal of Human Evolution* 44 (2003) s. 563–579

THE ENERGETIC ANALYSIS OF WALKING WITH REGARDS TO ENERGY RECOVERING IN THE LOWER LIMB EXOSKELETON

Abstract: The lower-limb exoskeleton is an external, robotic device supporting and assisting walking in the case of disabled people. One of the most significant aspects in the contemporary existing devices is the issue of power supply necessary to drive the exoskeleton. During the natural process of human walking the phenomenon of energy recovering is observed. In this article, the author undertakes the task of researching ways of recovering the energy, developed while walking, through accumulating it and then using to supply the lower-limb exoskeleton.