

Białystok, 23.04.2019 r.

Dr hab. inż. Małgorzata Poniatowska  
Katedra Inżynierii Materiałowej i Produkcji  
Wydział Mechaniczny Politechniki Białostockiej  
15-351 Białystok, ul. Wiejska 45 C  
Tel. 692 543 901

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Rępańskiej  
nt. **Metoda pomiaru wzrostu dzieci w krótkich interwałach czasowych**  
opracowana na zlecenie Dziekan Wydziału Mechatroniki  
Politechniki Warszawskiej z dnia 2.04.2019 r.

### 1. Ocena problematyki rozprawy

Jednym z podstawowych narzędzi badań w pediatrii, pozwalających na ocenę prawidłowego przebiegu procesu rozwoju i dojrzewania oraz identyfikację czynników zaburzających te procesy są pomiary wysokości lub długości dzieci oraz obserwacja wzrastania. Jeśli w sytuacjach klinicznych, podczas prowadzonej terapii, istnieje ryzyko spowolnienia tempa wzrostu pacjenta, to pożądanym jest pomiar wysokości lub długości ciała dzieci z interwałem kilkutygodniowym. Taki sposób monitorowania procesu wzrastania pozwala na ocenę reakcji pacjenta na leczenie.

Stosowane obecnie w praktyce przyrządy stykowe do pomiaru wysokości lub długości ciała charakteryzuje mała dokładność pomiaru. Istotny wpływ na wynik pomiaru mają tu takie czynniki jak nieokreśloność obiektu mierzonego, czyli pozycja przyjmowana w czasie pomiaru i zmiany zachodzące w ciele dziecka w ciągu dnia, a także subiektywizm operatora. Spośród metod optycznych skanery 3D wymagają utrzymania nieruchomej pozycji ciała podczas badania, a systemy do pomiarów dynamicznych wysokości pacjenta w ruchu charakteryzuje rozdzielczość przestrzenna rzędu 1 mm, czyli zbyt mała do obserwacji dynamiki wzrostu z krótkim interwałem czasowym.

W wielu obszarach medycyny pomocną byłaby metoda monitorowania procesu wzrastania z interwałem krótszym, niż umożliwiają to dostępne powszechnie przyrządy pomiarowe, metoda o większej rozdzielczości pomiaru, minimalizująca wpływ pozycji ciała oraz subiektywizmu operatora. Miarodajnym rozwiązaniem jest pomiar długości podudzia dziecka. Jak wskazuje Doktorantka w swojej pracy, z doświadczenia lekarzy wynika, że pomiary takie są wystarczające do monitorowania procesu wzrastania, możliwa jest obserwacja przyrostów długości podudzia z interwałem tygodniowym, a nawet jednodniowym. Potwierdziły to eksperymenty kliniczne wykonane na stanowiskach

pomiarowych zwanych knemometrami. Stosowane dotychczas knemometry, to stacjonarne stanowiska pomiarowe do pomiarów stykowych, a wykonywane na nich pomiary charakteryzuje czasochłonność i wrażliwość na doświadczenie operatora.

Pomiary długości ciała, czy podudzia, to pomiary geometryczne. Zadanie pomiarowe jest skomplikowane ze względu na nieokreśloność obiektu mierzonego, związaną przede wszystkim z przyjęciem i utrzymaniem właściwej pozycji ciała w czasie pomiaru oraz wpływem właściwości tkanki miękkiej. Czynniki te mają decydujący wpływ na dokładność pomiarów. W tym kontekście aspekty metrologiczne są bardzo istotne. Analiza statystyczna, określenie udziału wymienionych czynników w budżecie niepewności pomiarów, pozwala na ocenę jakościową wyników i zastosowanej metody pomiarowej.

W zamierzeniu Doktorantki, podjęte przez nią zadanie, to opracowanie nowej metody, umożliwiającej łatwy, szybki, dokładny pomiar długości podudzia z krótkim interwałem czasowym. Większą dokładność pomiaru ma zapewnić odniesienie do warunków bezstykowych, tzn. z kompensacją ugięć tkanki miękkiej kończyny dziecka. Określając zadanie przewidziano bogatą podbudowę metrologiczną, gdyż zamierzono identyfikację źródeł niepewności pomiaru oraz jej oszacowanie, a także ocenę wrażliwości opracowanej metody na czynniki wpływające na wyniki pomiarów.

Z punktu widzenia walorów poznawczych i aplikacyjnych recenzowana praca doktorska jest poznawczo aktualna i ważna. Dostarcza nowej wiedzy i rozwiązuje problem istotny w pomiarach geometrycznych wzrostu dzieci stosowanych w medycynie.

Stwierdzam, że recenzowana praca doktorska **spełnia wymagania, jakie można wiązać z tematem pracy doktorskiej**. Dobrze wkomponowuje się we współczesne potrzeby badawcze, związane z poszukiwaniem nowych rozwiązań technicznych dla potrzeb zwiększania dokładności monitorowania dynamiki wzrostu ciała dzieci w zastosowaniach medycznych.

## 2. Opis rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Marty Rępałskiej, napisana na 122 stronach, składa się z 8 rozdziałów, z czego rozdział 1 to Wstęp. Praca zawiera łącznie 70 rysunków, w tym większość to wykresy, i 22 tabele, w tym większość z wynikami badań. Pracę zamyka spis literatury zawierający 101 pozycji. Praca jest napisana zwięźle, poprawnym językiem polskim, choć Autorka nie ustrzegła się błędów stylistycznych, interpunkcyjnych, ortograficznych i pomyłek w stosowaniu pojęć.

Należy stwierdzić, że układ przedstawionej rozprawy jest prawidłowy. Mgr inż. M. Rępałska zastosowała właściwą kolejność rozdziałów i podział treści, zaczynając od opisu wiedzy literaturowej poprzez postawienie celów, określenie zakresu prac badawczych, postawienie tezy, analizę teoretyczną, opracowanie metody pomiaru, konstrukcję i modyfikację stanowiska pomiarowego, wszechstronne badania, analizę statystyczną, co doprowadziło do podsumowania i wniosków końcowych.

Spośród znanych narzędzi do pomiarów stykowych zastosowano 7-osiowe ramię pomiarowe MetrisNicon MCA II z głowicą stykową z trzpieniem pomiarowym o średnicy 6 mm oraz wysokościomierz TRIMOS TVM 600. Eksperymenty przeprowadzono na specjalnie skonstruowanym stanowisku pomiarowym umożliwiającym powtarzalność warunków pomiarów realizowanych w kolejnych tygodniach, m.in. płytkę ustalającą kąt pomiędzy udem a podudziem oraz płytkę ograniczającą odchylenie kończyny w stawie skokowym. Eksperyment przeprowadzono dla jednego, prawidłowo rozwijającego się dziecka. Wykonywano po trzy sesje pomiarowe w jednym dniu, w każdej sesji po trzy serie pomiarów. W pomiarach za pomocą ramienia pomiarowego, w układzie współrzędnych związanych z elementami konstrukcyjnymi stanowiska, zastosowano dwie strategie pomiaru – w pierwszej dokonano pomiarów 5 punktów bezpośrednio na powierzchni kolana, a w drugiej zastosowano płytkę opuszczaną na powierzchnię kolana. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli i zaprezentowano na wykresach, a także przeprowadzono analizę metrologiczną tych wyników. Zmiany długości podudzia w okresie kilkunastu tygodni aproksymowano modelem regresji liniowej, której współczynnik kierunkowy reprezentuje szybkość przyrostu podudzia. Analizę metrologiczną uwieńczono oszacowaniem niepewności złożonej. Wyniki analiz dla obu strategii pomiaru zestawiono w tabeli. W podsumowaniu wyników zwrócono uwagę na istotny wpływ ugięcia tkanki miękkiej na uzyskane rezultaty.

Spośród metod bezstykowych, pozwalających na wyeliminowanie wpływu ugięcia tkanki miękkiej, zastosowano metodę fotogrametryczną. Zastosowano tracker optyczny C-Track, umożliwiający śledzenie i rejestrację położenia przestrzennego znaczników umieszczonych na ciele dziecka. Badania przeprowadzono na specjalnie zbudowanym stanowisku pomiarowym. Założeniem było wyznaczenie współrzędnych środków obrotu stawu kolanowego i stawu skokowego. Zastosowano dwie strategie – ze zmiennym i stałym położeniem środka obrotu stawu skokowego. W posumowaniu wyników stwierdzono wpływ wielu trudnych do oszacowania wielkości oraz rozrzut wyników pomiarów dyskwalifikujący tę metodę.

Rozdział 4, to opis nowej metody pomiaru wzrostu dzieci, jej podstaw teoretycznych, założeń konstrukcyjnych oraz przeprowadzonych badań i analiz. W nowej metodzie założono pomiar stykowy kończyny będącej w ruchu oraz kompensację ugięć tkanki miękkiej. W opisie przedstawiono m. in. konstrukcję wstępnej, prototypowej wersji stanowiska do pomiaru długości podudzia autorską metodą, model mechaniczny układu pomiarowego, wyniki badań na nowym stanowisku oraz analizę metrologiczną uzyskanych wyników. Badanie odbywa się w pozycji siedzącej dziecka. Stanowisko umożliwia pomiar chwilowej odległości płaszczyzny stycznej do powierzchni kolana od płaszczyzny, na której spoczywa pięta, oraz jednoczesny pomiar siły nacisku pomiarowego. Pomiar wykonywane są w czasie ruchu stopą (w czasie zgięcia grzbietowej stopy). Mierzona długość reprezentowana jest przez wysokość położenia płytki dopasowanej do powierzchni kolana i połączonej z ruchomym elementem odczytowym liniału inkrementalnego. Jednocześnie przetwornik siły

realizuje pomiar nacisku pomiarowego generowanego za pomocą sprężyny o regulowanym napięciu. Opracowana konstrukcja pozwala na wyeliminowanie odkształceń w obszarze tkanki miękkiej. Dla przyjętej koncepcji pomiaru opracowano model mechaniczny, który uwzględnia właściwości mechaniczne tkanki miękkiej oraz zastosowanego w konstrukcji elementu sprężystego. Postać modelu zweryfikowano doświadczalnie, a wnioski z wyników badań doprowadziły do opracowania udoskonalonej wersji stanowiska. Udoskonalenia polegały na zwiększeniu zakresu pomiarowego oraz wprowadzeniu możliwości pomiaru obu kończyn. W dalszej części rozdziału przeprowadzono kompleksową analizę metrologiczną nowej metody, poczynając od analizy źródeł niepewności pomiaru i ich wpływu ilościowego w obu torach pomiarowych – torze pomiaru długości i torze pomiaru siły. W efekcie rozważań otrzymano zależność na obliczenie niepewności rozszerzonej pomiaru przyrostu podudzia opracowaną metodą.

W rozdz. 5 Autorka dokumentuje swoimi wynikami badań przydatność opracowanej metody pomiaru wzrostu dzieci w krótkich interwałach czasowych. Badania przeprowadzono na grupie dwadzieściorga dzieci o bardzo zróżnicowanych cechach, takich jak płeć, wiek, wysokość ciała, stan zdrowia i aktywność fizyczna. Grupę dzieci zweryfikowano statystycznie pod kątem reprezentatywności populacji w odniesieniu do siatki centylowej oraz wysokości ciała. Wykonano szereg zestawień i wykresów, m.in. oceniono zależności tygodniowego wzrostu podudzia od takich czynników, jak masa ciała, wysokość ciała, wskaźnika BMI, czy płeć dziecka. Z analiz tych wynikają istotne wnioski o charakterze medycznym. Wyniki przeprowadzonych i udokumentowanych w tym rozdziale badań, a także ich analiza metrologiczna, upoważniają do konkluzji, że nowa metoda może być stosowana w medycynie do monitorowania stanu zdrowia dzieci.

Wnioski te doprowadziły Doktorantkę do podsumowania swoich obszernych prac stwierdzeniem o realizacji postawionej tezy oraz celu pracy, co zawarła w rozdz. 6.

Rozdział 6, to podsumowanie prac i odniesienie do tezy. Doktorantka odwołała się do wyników badań przeprowadzonych w ciągu 6 tygodni na grupie dzieci potwierdzających realizację idei swojej metody oraz stawianych jej wymagań. Autorka w podsumowaniu zwróciła uwagę na łatwość obsługi stanowiska pomiarowego i jego mobilność, a także na krótki czas pomiaru, co daje lekarzom możliwość przeprowadzenia badania w czasie rutynowej wizyty okresowej, co ma ścisły związek z postawionym celem pracy.

Można więc podsumować, że praca stanowi kompletne dzieło. Opracowane i skonstruowane stanowisko badawcze oraz zrealizowane i udokumentowane w rozprawie doktorskiej badania – **swą celowością, wynikającą ze znaczenia naukowego i potrzeby aplikacyjnej, skalą złożoności, przekazu nowej wiedzy, dobrze postawionego i sformułowanego zadania konstrukcyjno-badawczego, a także sposób opracowania i przekazu wyników tych badań, spełniają z nadmiarem wymogi stawiane rozprawom doktorskim.**

### 3. Ocena merytoryczna pracy

**Temat pracy można uznać za rozwiązany na poziomie zadania doktorskiego.** Kolejne rozdziały rozprawy opisują we właściwy sposób przyjęty tok myślowy, rozwiązania konstrukcyjne, badania i analizę statystyczną wyników wykonane przez Doktorantkę w celu rozwiązania postawionego przez nią zadania konstrukcyjno-badawczego.

Zawartość recenzowanej rozprawy doktorskiej ma istotną wartość poznawczą dla lekarzy zajmujących się pomiarami wzrostu ciała dzieci w krótkich interwałach czasowych w kontekście monitorowania dynamiki rozwoju fizycznego i zdrowia dziecka.

Do istotnych osiągnięć pracy doktorskiej zaliczam:

- dostarczenie nowej bazy wiedzy, obejmującej autorski materiał dokumentujący wykonane badania nad dotychczas stosowanymi metodami i nową autorską metodą pomiaru długości podudzia;
- wprowadzenie do praktyki pomiarowej nowej metody do pomiaru wzrostu dzieci w krótkich interwałach czasowych, metody pozbawionej wad dotychczas stosowanych w pomiarach medycznych knemometrów, umożliwiającej szybki i łatwy pomiar przyrostu podudzia odniesiony do pomiarów bezstykowych;
- kompleksową analizę metrologiczną nowej metody, poczynając od identyfikacji źródeł niepewności pomiaru, przez ocenę ilościową wpływu tych źródeł po wyznaczenie zależności na obliczanie niepewności złożonej pomiaru przyrostu podudzia tą metodą.

Mgr inż. Marta Rępańska wykazała się w pełni zdolnościami naukowymi wymaganymi przy zdobywaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych, a w szczególności:

- znajomością najnowszej literatury krajowej i zagranicznej związanej z tematyką pomiarów długości ciała dzieci i oceną dokładności pomiarów,
- ugruntowaną, dogłębną wiedzę z zakresu tych zagadnień,
- umiejętnością formułowania problemów badawczych i stawiania tez,
- swobodą w stosowaniu różnych technik badawczych,
- umiejętnością stosowania różnych narzędzi w analizie metrologicznej wyników badań,
- umiejętnością trafnej interpretacji wyników i wyciągania wniosków z wyników badań.

W prezentacji obszernego materiału badawczego zawsze pojawiają się błędy, zarówno merytoryczne, terminologiczne, interpretacyjne, jak i edytorskie. Do takich błędów zaliczam:

- w całej pracy:
  - kilkakrotnie nieprawidłowe następstwo wyrazów rodzaju „normalny rozkład”;
  - wielokrotnie powtarzane błędy terminologiczne „rozkład niepewności”, a nawet „normalny rozkład niepewności”;

- błędy ortograficzne związane z pisaniem *nie* razem lub osobno, np. wielokrotnie „nie mniej jednak”, „nie skorygowaną długością podudzia” str. 66.
- w rozdz. 3 – pominięto analizę, interpretację i ocenę wyników zawartych w tab. 3.2, gdzie niepewność pomiaru i wyniki pomiarów przyrostu długości podudzia ramieniem pomiarowym mają zbliżone wartości;
- w rozdz. 4 i rozdz. 5 – w opisie nowej metody i wyników badań, nieprecyzyjne zastosowanie wyjaśnienia „mierzona długość podudzia  $L$ ”, gdy w rzeczywistości mierzona długość  $L$  jest wypadkową pionowych przemieszczeń w obszarach stawu kolanowego i skokowego oraz ugięć tkanki miękkiej, a długość podudzia jest wynikiem obliczeń;
- w rozdz. 4:
  - analizę niepewności pomiaru nową metodą opisano w podrozdziale 4.7.2. *Równanie pomiaru*, należało tu zastosować podział treści i dodać kolejny podrozdział 4.7.3. z *niepewnością* w tytule, wówczas ta ważna analiza metrologiczna znalazłaby swoje miejsce w spisie treści pracy;
- w rozdz. 5:
  - brak omówienia istotnych wyników obliczeń zawartych w tabeli 5.4;
- w rozdz. 6 – w ocenie metrologicznej nowej metody brak komentarza do podanych wartości – niepewności rozszerzonej rzędu 0,2 mm oraz zaobserwowanego tygodniowego wzrostu podudzia rzędu 0,3 mm; brak wyczerpującej opinii Autorki na temat właściwości metrologicznych proponowanej metody.

Wskazane w pracy błędy i niedociągnięcia, to błędy głównie edytorskie, terminologiczne i niedomówienia, które nieznacznie obniżają ocenę pracy. **Pod względem merytorycznym oceniam pracę wysoko. Praca z nadmiarem spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim. Ponadto nasuwają się następujące pytania, które wymagają wyjaśnienia ze strony Autorki.**

1. Jak należałoby precyzyjnie wyjaśnić ideę pomiaru/wyznaczenia długości podudzia zaproponowaną metodą?
2. Jak należałoby zinterpretować wyniki pomiaru „długości podudzia” w tygodniach 9-11, rys. 4.4; czy na osi odciętych rzeczywiście jest „długość podudzia”?
3. Jaka interpretację wyników zamieszczonych w tab. 5.4 dotyczących wyników badań wzrostu grupy dzieci proponuje Doktorantka?
4. Jak należy komentować wyniki analizy nieparametrycznej?
5. W kontekście postawionego w pracy zadania – jaka jest jakość metrologiczna nowej metody i z czego ona wynika?

Przedstawiony w recenzji szczegółowy opis pracy świadczy o tym, że mgr inż. Marta Rępańska jest doświadczonym eksperymentatorem, swobodnie posługującym się różnymi technikami badawczymi. Oprócz niezbędnej wiedzy teoretycznej prezentuje inżynierskie podejście do rozwiązywanego problemu oraz duże doświadczenie. Wyniki jej prac zostały docenione przez recenzentów trzech publikacji, z których dwie opublikowano w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym.

### **Konkluzja końcowa**

Opiniowana praca stanowi samodzielne rozwiązanie problemu naukowo-badawczego z zakresu pomiarów geometrycznych wysokości ciała dziecka. Tematyka ta wpisuje się zatem w problematykę budowy i eksploatacji maszyn.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Marty Rępańskiej zatytułowana „**Metoda pomiaru wzrostu dzieci w krótkich interwałach czasowych**” spełnia wymagania określone w obowiązującej Ustawie z nadmiarem i w związku z tym wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Marty Rępańskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Wyrażam nadzieję, że moje wątpliwości i uwagi zostaną zadowolająco wyjaśnione na piśmie oraz w trakcie obrony pracy, a także uwzględnione w późniejszych pracach naukowych doktorantki.

