

Zabrze, 16.01.2026 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Sławomira Grycuka
pod tytułem

***Aspekty metodyczne projektowania powłok sztywnych gorsetów korekcyjnych
do leczenia skoliozy idiopatycznej***

1. Przedmiot rozprawy

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska mgr. inż. Sławomira Grycuka pt.: *Aspekty metodyczne projektowania powłok sztywnych gorsetów korekcyjnych do leczenia skoliozy idiopatycznej* napisana w języku polskim pod opieką naukową dr. hab. inż. Piotra Mrozka prof. PB. Formalną podstawę opracowania stanowi uchwała Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej nr 67/2024-2028 z dnia 29 października 2025 r. oraz dołączona do niej rozprawa doktorska, które otrzymano dnia 19.11.2025 r.

Zagadnienia poruszane w pracy dotyczą problemu o wysokiej aktualności i znaczeniu społecznym związanym z leczeniem młodzieńczej skoliozy idiopatycznej (AIS) za pomocą sztywnych gorsetów. Obecnie w tradycyjnej ortotyce tułowiwa są powszechnie stosowane lite gorsety (np. Boston), które cechują się dużą masą, niskim komfortem cieplno-wilgotnościowym i ograniczoną estetyką. Podjęta próba opracowania metodyki kształtowania/projektowania geometrii powłoki gorsetu, która pozwoliłaby na redukcję materiału przy zachowaniu funkcji korekcyjnej stanowi główny cel poznawczy pracy. Zaawansowane metody projektowania CAD/CAM oraz modelowania MES zostały wykorzystane w pracy do opracowania skutecznej metodyki projektowania struktury geometrycznej gorsetu. Zaproponowana metodyka, wywodząca się z analizy ścieżek obciążenia (ang. *load paths*), umożliwia kształtowanie mechanicznej charakterystyki powłoki gorsetu, spełniającej wymagania korekcyjne (zdolności do przenoszenia obciążeń korekcyjnych) z jednoczesnym zapewnieniem wysokich parametrów funkcjonalnych.

Skuteczność opracowanej metodyki została potwierdzona na przykładzie gorsetu typu Boston, który po udowodnionej modyfikacji skorupy/powłoki w pełni zachował funkcję korekcyjną charakteryzując się przy tym mniejszą masą i wyższym poziomem komfortu (wymiany gazowej i termicznej). Osiągnięcie podwyższonych parametrów funkcjonalnych było efektem wyznaczenia trajektorii maksymalnych naprężeń głównych (ang. *maximum principal stress trajectories*) z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES). Stanowiły one podstawę wyznaczenia kształtu i rozlokowania otworów perforacyjnych. Uformowana/wyznaczona w ten sposób systematyczna perforacja powłoki nie wpłynęła negatywnie na przenoszenie obciążeń korekcyjnych (nie powodując spadku sztywności/wytrzymałości), co wykazano w badaniach numerycznych i eksperymentalnych z wykorzystaniem interferometrii plamkowej ESPI i prototypów wytworzonych metodą druku 3D. Zastosowana perforacja oprócz aspektów estetycznych również wpływa na podwyższenie stopnia komfortu oraz akceptacji ortozy przez pacjenta.

Potencjał opracowanej metodyki i jej zastosowanie przyczynia się do rozwoju spersonalizowanych rozwiązań terapeutycznych indywidualnie dopasowanych do danego pacjenta, otwierając perspektywy dla innowacyjnych rozwiązań ortotycznych. Kompleksowe podejście do projektowania gorsetów tułowiwa stwarza realne możliwości poprawy bezpieczeństwa, trwałości oraz przewidywalności leczenia ortotycznego. Dlatego uważam, że tematyka rozprawy doktorskiej jest ważna i aktualna, gdyż poruszane są w niej zagadnienia jeszcze mało poznane, bardzo ciekawe, aktualne oraz bardzo istotne z punktu widzenia naukowego i klinicznego. Z tego względu wybór problematyki rozprawy doktorskiej

należy uznać za trafny oraz uzasadniony, zarówno pod względem poznawczym jak i praktycznym. Nowatorskie zastosowanie metod modelowania umożliwiające identyfikację kierunków/ścieżek obciążenia będące odpowiedzią mechaniczną gorsetu tułowia na warunki korekcji dostarcza cennych informacji, które mogą przyczynić się do opracowania i rozwoju nowych narzędzi do projektowania i wytwarzania ortez. Również ze względu na naukowo-aplikacyjny charakter pracy stwierdzam, że mieści się ona w obszarze naukowym, który wpisuje się w dyscyplinę inżynieria biomedyczna.

2. Ocena struktury i układu rozprawy

Recenzowana praca obejmuje 163 strony maszynopisu w formie zwartej monografii zawierającej wykaz stosowanych skrótów i akronimów, streszczenia w języku polskim i angielskim, spisy treści, rysunków, tablic oraz literatury. Treść pracy została podzielona na 9 rozdziałów i w nich zawartych podrozdziałów. Praca rozpoczyna się od rozdziału zatytułowanego Wstęp. Kolejne rozdziały posiadają następujące tytuły: Przegląd literatury (1); Cel i zakres pracy (2); Charakterystyka obiektu badawczego – sztywnego gorsetu typu Boston (3); Inżynieria odwrotna – digitalizacja i opracowanie modelu CAD gorsetu (4); Opracowanie modelu MES gorsetu i jego weryfikacja eksperymentalna (5); Badania numeryczne ortez projektowanych z wykorzystaniem autorskiej metodyki (6); Wytwarzanie powłok zmodyfikowanych wariantów ortez metodą druku 3D (7); Weryfikacja eksperymentalna wyników MES zróżnicowanych wariantów powłok (8); Podsumowanie i wnioski (9). Bibliografia składa się z 214 pozycji literaturowych, a spisy rysunków i tabel zawierają odpowiednio 75 rysunków i dwie tabele z wynikami.

W pierwszym rozdziale Autor dokonał przeglądu literatury dotyczącej obecnie stosowanych ortez tułowia i wykorzystywanych w terapii skoliozy idiopatycznej. Ponadto, Autor zaprezentował rzetelną prezentację aktualnego stanu wiedzy na temat analiz i identyfikacji ścieżek przenoszenia obciążenia, ze szczególnym uwzględnieniem metod wpisujących się w koncepcję „linii przepływu sił” (ang. *force flow line*). Dla lepszego zrozumienia Autor zaprezentował szczegółowe informacje na ich temat i skoncentrował się na specyficznych zastosowaniach z odniesieniami do aktualnych badań. Przedstawiony przegląd literatury stanowił podstawę wyboru metod nadających się do identyfikacji sił wewnętrznych w kontekście kształtowania właściwości mechanicznych powłoki gorsetu.

Rozdział drugi zawiera omówienie problemu naukowego dotyczącego optymalnego kształtowania mechanicznej charakterystyki powłoki gorsetu, którego Autor podjął się zbadania. Za główny cel pracy przyjął *opracowanie metodyki projektowania powłoki ortozy w sposób umożliwiający zachowanie właściwości korekcyjnych litej powłoki danego wariantu gorsetu, z jednoczesnym wprowadzeniem jej modyfikacji strukturalnych dla podwyższenia parametrów funkcjonalnych ortozy.*

Ponadto, sformułował tezę dysertacji, która zakłada, że: *metoda, oparta na teoretycznej koncepcji linii przepływu sił w wariacie trajektorii maksymalnych naprężeń głównych, umożliwia zaprojektowanie powłoki gorsetu o wymaganej charakterystyce mechanicznej z punktu widzenia funkcji korekcyjnej i wyższym, w stosunku do typowej litej konstrukcji powłoki ortozy, poziomie funkcjonalności w zakresie masy, komfortu cieplno-wilgotnościowego oraz adherencji.* Dodatkowo sformułował dwie hipotezy do zweryfikowania, których udowodnienie potwierdzi słuszność postawionej tezy rozprawy, a także omówił zakres prac i założenia badawcze.

W trzecim rozdziale została szczegółowo przedstawiona charakterystyka obiektu badawczego, który stanowi sztywny gorset typu Boston, stosowany w terapii skoliozy idiopatycznej. Opisano kluczowe cechy geometryczne, materiałowe oraz biomechaniczne tej ortozy, a także mechanizm przenoszenia obciążeń korekcyjnych na tułów pacjenta. W przekonaniu Autora wybór tego gorsetu na obiekt dalszych analiz jest słuszny, podkreślając przy tym i uzasadniając decyzję, której dokonał.

Kolejne rozdziały stanowią główną część badań własnych Autora. Rozdział 4 dysertacji zawiera pierwszy etap procesu modelowania gorsetu. Metodą inżynierii odwrotnej dokonano digitalizacji

fizycznego egzemplarza gorsetu za pomocą skanera optycznego, a następnie opracowano precyzyjny trójwymiarowy (3D) model CAD tej ortozy.

W rozdziale piątym przedstawiono kolejne etapy opracowania modelu gorsetu z wykorzystaniem MES i jego weryfikacji eksperymentalnej. Przedstawiono w nim opis modelu MES gorsetu oraz wyniki badań numerycznych. Omówiono również badania doświadczalne z wykorzystaniem metody ESPI służące weryfikacji wyników MES i przedstawiono wyniki weryfikacji stanowiskowej modelu ortozy. Opisano również i omówiono metodykę projektowania zmodyfikowanej struktury powłoki gorsetu.

Natomiast w rozdziale szóstym przedstawiono badania numeryczne ortez zaprojektowanych z wykorzystaniem autorskiej metodyki. Autor zaprezentował i opisał badania numeryczne modelu ortozy częściowej oraz badania numeryczne gorsetów ażurowych. Zaś proces wytwarzania metodą druku 3D opracowanych modeli zmodyfikowanych wariantów ortez/gorsetów przedstawiono w rozdziale siódmym.

W kolejnym rozdziale (ósmym) Autor przedstawił weryfikację eksperymentalną wyników MES zróżnicowanych wariantów powłok gorsetu. Autor omówił w nim metodę pomiarów ESPI, a następnie dokonał szczegółowej analizy i porównania wyników numerycznych MES oraz doświadczalnych ESPI dla każdego wariantu wydrukowanego gorsetu. Na tej podstawie (na podstawie przeprowadzonych badań) stwierdził, że opracowana metodyka oparta na badaniu rozkładu naprężeń głównych z powodzeniem umożliwia optymalizację/modyfikację gorsetu. W ten sposób Autor potwierdza prawdziwość przyjętych hipotez 1 i 2, a także słuszność tezy pracy. Finalnie, w ostatnim rozdziale (9) Autor dokonał podsumowania pracy i sformułował wnioski końcowe, a także przedstawił perspektywy dalszych badań.

Przedstawioną rozprawę doktorską pod względem poziomu edytorskiego oceniam bardzo pozytywnie. Układ pracy jest przejrzysty i logiczny, a praca jest starannie zredagowana. Całość pozwala bez problemu zrozumieć cel planowanych badań, wyniki i wnioski. Należy przy tym podkreślić dbałość Doktoranta o stronę estetyczną pracy, której dużą zaletą jest obszerna oprawa ilustratorska/graficzna, co sprawia, że recenzowaną dysertację czyta się z dużą przyjemnością.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy można zauważyć, że praca ma charakter badawczo-naukowy. Jednakże, w głównej mierze zawiera ona badania *in silico* z zastosowaniem metody elementów skończonych (MES), a wyniki uzyskane podczas jej realizacji wskazują na duży potencjał aplikacyjny. Opracowana metodyka kształtowania cech konstrukcyjnych gorsetu, oparta na analizie trajektorii naprężeń głównych, otwiera nowe perspektywy i oferuje nowatorskie podejście w skutecznym projektowaniu ortez tułowia o polepszonych cechach funkcjonalnych.

W tym kontekście przedstawiony przez Autora dobór metod i narzędzi do realizacji badań dotyczących: (i) identyfikacji obciążeń wewnętrznych ortozy/gorsetu i ich przebiegu poprzez analizę kierunków naprężeń głównych, (ii) określenie obszarów ortozy odpowiedzialnych za wykonywanie funkcji korekcyjnej, wspierającej i pomocniczej, uważam za słuszny i poprawny. Ponadto, zaprezentowane w rozprawie doktorskiej zadania badawcze wskazują na umiejętność poprawnego organizowania pracy naukowej oraz efektywnego korzystania z innowacyjnych/nowoczesnych narzędzi.

Moim zdaniem przyjęta teza pracy w pełni oddaje przedmiot rozprawy, której przewodnią tematyką jest opracowanie metodyki projektowania powłok sztywnych gorsetów korekcyjnych do leczenia skoliozy idiopatycznej z zastosowaniem metody MES umożliwiającej wyznaczenie trajektorii maksymalnych naprężeń głównych. Uważam, że jednak można było w niej bardziej zaakcentować **dostarczenie optymalnej powłoki gorsetu** pod względem funkcjonalności i komfortu. Niepotrzebnie Autor zestawia w tezie funkcjonalność z masą, a komfort z adhezją. Lepiej byłoby osobno wyjaśnić,

np. w założeniach, jak Autor rozumie/definiuje pojęcia: funkcjonalność i komfort, a także jakie parametry je charakteryzują. Podobne wrażenie odnoszę do sformułowanych hipotez badawczych, które moim zdaniem mogłyby być ujęte w jedną hipotezę. Świadczy o tym ich wzajemna zależność, hipoteza 1 stanowi warunek konieczny do spełnienia hipotezy 2, która tworzy warunek wystarczający i nie może być samodzielnie spełniona. Dlatego uważam, że zastąpienie obu hipotez jedną; o przykładowej treści: *jeśli na podstawie układu linii przepływu sił w powłoce gorsetu jest możliwe wyróżnienie obszarów powłoki pełniących rolę: korekcyjną, pomocniczą oraz obszarów zbędnych z punktu widzenia użyteczności ortozy, to powinna być możliwa modyfikacja struktury geometrycznej litej powłoki typowej ortozy, z zachowaniem jej niezmienionej roli korekcyjnej, ze zminimalizowaniem udziału obszarów o funkcji pomocniczej i obszarów zbędnych i z podwyższeniem parametrów funkcjonalnych*; która byłoby lepszym wariantem i dopiero w toku realizacji badań oraz analiz zostałaby potwierdzona.

Natomiast, jedną z kluczowych i mocnych stron rozprawy jest zaplanowany program etapów/zadań badawczych, który jest metodologicznie spójny, systematyczny i kompleksowy. Świadczy to o profesjonalizmie Doktoranta i zdolności do samodzielnego prowadzenia badań. Do istotnych i ważnych elementów rozprawy zaliczam:

- implementacja koncepcji linii przepływu sił (*ścieżek przenoszenia obciążeń*), jakim są kierunki naprężeń głównych, do optymalizacji konstrukcji powłoki gorsetu, które nie były dotąd stosowane w ortotyce;
- określenie możliwości rozróżnienia obszarów korekcyjnych od pomocniczych/zbędnych oraz racjonalnego modyfikowania geometrii gorsetu/ortozy przy zachowaniu roli korekcyjnej, co bezpośrednio może przekładać się na poprawę komfortu pacjenta;
- opracowanie i skuteczne zastosowanie nowatorskiej metodyki projektowania i wytwarzania powłok spersonalizowanych gorsetów.

Przedstawione w rozprawie badania umożliwiły Doktorantowi zrealizowanie założonego celu naukowego oraz sformułowanie przekonujących spostrzeżeń i wniosków, które poparte uzyskanymi wynikami stanowią potwierdzenie przyjętej tezy. W rozprawie wskazano możliwość praktycznego zastosowania autorskiej metodyki do tworzenia zindywidualizowanych ortez/gorsetów w leczeniu ortotycznym. Doktorant również zauważa potrzebę prowadzenia dalszych badań dla pełnego zrozumienia mechanizmu korekcyjnego i zweryfikowania hipotezy, że opisana metodyka może być użyta do projektowania ortez z poprawionymi parametrami funkcjonalnymi, także w bardziej złożonych przypadkach.

4. Uwagi szczegółowe i krytyczne

Praca zredagowana jest poprawnie w sposób zrozumiały z właściwą systematyką rozwiązywanych zagadnień. Jakość opracowania naukowego świadczy o dużej dojrzałości naukowej Autora, czego dowodem jest spójność zadań badawczych, ich realizacja i interpretacja wyników, a także opracowanie wniosków z wytyczeniem kierunku dalszych działań. Jednakże, po wnikliwej analizie treści rozprawy zauważyłem, że praca zawiera pewne fragmenty wymagające dyskusji i wyjaśnienia ze względu na ujęte skróty myślowe lub zawarte ograniczenia, których nie uwzględniono w części opisowej poszczególnych rozdziałów.

Przykładem jest relatywnie słabe uzasadnienie wyboru typu/rodzaju elementu skończonego w metodzie MES do dyskretyzacji modelu gorsetu. Autor nie uzasadnia wprost, dlaczego wybrał element typu tetraedralnego (tetrahedron), a nie element heksaedralny (hexahedron). Poza tym, brakuje wyraźnego wyjaśnienia, dlaczego bryłowe zamodelowanie gorsetu było bardziej właściwym podejściem niż powierzchniowe w kontekście zachowania mechanicznego powłoki gorsetu. Brakuje również szczegółowego uzasadnienia doboru wielkości elementu przy grubości skorupy gorsetu wynoszącej 8 mm z podziałem na warstwę zewnętrzną i wewnętrzną o grubości 4 mm. Głębsza dyskusja na ten temat, być może obejmująca analizę porównawczą z użyciem innego elementu, czy też

modelowania 2D, wzmocniłaby dokonany wybór i pewność co do uzyskanych wyników. Ponieważ różne elementy SOLID czworoboczny czy sześcioboczny i różnej wielkości uzyskują różną dokładność i mogą znacząco wpłynąć na wyniki obliczeń, zwłaszcza w przypadku trójwymiarowych i niejednorodnych modeli. Chociaż została zademonstrowana siatka modelu MES gorsetu, którą Doktorant przyjął za poprawną, to zasadne byłoby zbadanie jej jakości choćby pod względem Jakobionu. Pozwala on ocenić, jak bardzo rzeczywisty kształt elementów odbiega od jego idealnej, geometrycznej formy. W danym przypadku zauważalne są elementy o maksymalnej wielkości (8 mm) krawędzi w podstawie i wysokości 4 mm zgodnej z grubością warstwy, to można stwierdzić, że boczne ściany tych elementów nie są foremnymi trójkątami. Ponadto, biorąc pod uwagę zmienność materiałową warstw (zewnątrzna, wewnętrzna) to na ich styku wymagane byłoby zweryfikowanie uzyskiwanych wyników, a także konieczne zwalidowanie dostosowania siatki mesh do warunków brzegowych. Dlatego, niezrozumiała jest analiza MES gorsetu z użyciem elementu SOLID187, by ze względu na jego ograniczenia, ponownie modelować skorupę gorsetu elementami powłokowymi SHELL181, umożliwiającymi wyznaczenie kierunków naprężeń głównych.

Doktorant powinien bardziej uzasadnić przyjęte warunki brzegowe (obciążeniowe) w symulacjach wytrzymałościowych i badaniach doświadczalnych. Brakuje odpowiedzi, dlaczego dla badanego gorsetu BOSTON z uproszczonym schematem korekcji (Rys. 3.1) w symulacjach siły przyłożone do powłoki gorsetu mają różne kierunki i różny charakter działania. W założeniu siły wywierane przez orteżę F1, F2, F3 działające na ciało pacjenta są biernymi siłami (reakcjami), a w symulacjach i badaniach doświadczalnych po jednej stronie występują bierne siły P1 i P2, a po drugiej siła czynna F1. Ponadto, Doktorant pominął w swoich rozważaniach działanie pelot korekcyjnych, które jako elementy pośrednie między gorsetem a ciałem pacjenta odgrywają kluczową rolę. Czy takie uproszczenie było świadomym zabiegiem, czy raczej dostosowaniem warunków brzegowych symulacji do możliwości badawczych na stanowisku pomiarowym ESPI, aby w jak najwyższym stopniu były odwzorowywane warunki testów eksperymentalnych. Poza tym, przyjęty układ sił stanowi uproszczony przypadek płaskiego układu działającego w jednej płaszczyźnie (czołowej). Mając na uwadze, że kluczowym dla uzyskania odpowiedniej korekcji bocznych skrzywień kręgosłupa jest precyzyjne dostosowanie sił do aktualnego stanu pacjenta, to pominięcie pelot oraz ustawienie sił w jednej płaszczyźnie stanowi daleko idące uproszczenie. Ponadto, Doktorant odwrócił działanie gorsetu, zakładając odśrodkowe działanie sił, a nie obciążając gorset poprzez regulowany system zapięć. Taki układ byłby bliski rzeczywistym warunkom użytkowania gorsetu, a miejsca kontaktu gorsetu z ciałem pacjenta stanowiłyby miejsca podparcia. Zapewne współpraca z lekarzami pomogłaby w ocenie, czy założone warunki brzegowe w tym przypadku faktycznie korelują z klinicznymi warunkami leczenia/terapii danego pacjenta.

Doktorant dokonuje obrazowego przedstawienia linii przepływu sił (ścieżek przenoszenia obciążeń), jakim są kierunki naprężeń głównych dla przedniej części gorsetu, ale słabo uwidacznia taki rozkład dla części tylnej. Czy rozkład ścieżek przenoszenia obciążeń dla tej części gorsetu był podobny? Chociaż wskazano wzorce perforacji powłoki gorsetu dla poprawy jego komfortu z zachowaniem funkcji korekcyjnej, to brakuje skorelowania ich z cechami anatomicznymi i fizjologicznymi ciała człowieka. Korelacja perforacji gorsetu z rozmieszczeniem stref pocenia się (gruczołów potowych) na tułowie człowieka mogłaby przyczynić się do wyróżnienia konkretnych miejsc, w których potencjalne zagęszczenie perforacji dodatkowo zwiększyłoby poziom komfortu.

Prezentowane w pracy przez Autora wyniki badań ESPI dla poszczególnych wersji gorsetów są bardzo interesujące. Jednakże, zważywszy na dokładność pomiarową tej metody rzędu nanometrów, to nie są one przekonujące, by dowodzić zmianę właściwości mechanicznych gorsetów po modyfikacji ich powłok/skorup. Czy Autor rozważał inne metody badawcze, które nadawałyby się do walidacji i pomiaru rzeczywistych deformacji gorsetu będących wynikiem działania pełnego obciążenia korekcyjnego? Czy Autor rozważał użycie skanera 3D, będącego w posiadaniu, do tworzenia

geometrii gorsetu przed i po obciążeniu dla każdego przypadku, a przez to wyznaczenia jego odkształcenia i porównania z symulacyjnie wyznaczanym stanem odkształcenia modelu. Takie porównanie zapewne dawałoby obraz całościowego pola przemieszczeń gorsetu, nie tylko dla obszaru pomiarowego, ale również dla pełnego obciążenia (a nie tylko dla dodatkowej siły F_2 o wartości 0,1 N) i bardziej odpowiadałoby rzeczywistym warunkom terapii. W pracy brakuje prezentacji rozkładu pola przemieszczeń (*total displacement*) gorsetu dla całkowitego obciążenia.

W pracy zauważalne są też stosowane przez Autora wyrażenia, które są dosłownym tłumaczeniem z języka angielskiego, co może powodować błędne ich rozumowanie i być nieco mylące lub nieprecyzyjne dla czytelnika. Przykładem jest określenie „*linie przepływu sił*” (ang. *force flow lines*). Warto zaznaczyć, że naukowe tłumaczenie wyrażenia „*force flow lines*” na język polski powinno zależeć od kontekstu, w jakim jest używane. W fizyce najbardziej precyzyjnym i powszechnie stosowanym terminem są: linie pola, lub rzadziej linie sił pola odnoszące się do pola sił np. elektrycznych, magnetycznych. Określają one kierunek i (poprzez swoje zagęszczenie) natężenie danego pola w przestrzeni. W mechanice (inżynierii mechanicznej) termin „*force flow lines*” powinno się tłumaczyć jako linie lub ścieżki obciążenia (ang. *load paths*), albo trajektorie naprężeń. W tym kontekście linie te ilustrują drogę, jaką pokonują siły przyłożone do elementu konstrukcyjnego, co jest kluczowe dla analizy sił wewnętrznych. Doktorant dokonując wyboru metody kształtowania powłoki gorsetu, powinien konsekwentnie w dalszych analizach używać terminu *trajektorie naprężeń głównych*, które odnoszą się do ogólnej koncepcji dystrybucji sił wewnętrznych w materiale.

Dotyczy to również terminu *metoda* i *metodyka*, które być może nieświadomie, Autor stosuje zamiennie. W swojej pracy Doktorant podjął się opracowania *metodyki projektowania powłok sztywnych gorsetów korekcyjnych do leczenia skoliozy idiopatycznej*. W tym kontekście używa prawidłowego określenia „*metodyka*”, gdyż jest to zbiór zasad i metod dotyczących systemowego podejścia, które określa, jakich metod użyć, w jakiej kolejności i według jakich reguł. Natomiast *metoda* to świadomie stosowany sposób postępowania i wykorzystywania konkretnych narzędzi, który ma doprowadzić do osiągnięcia konkretnego celu.

Złożoność zagadnienia poruszanego w pracy oraz ograniczenia istniejących narzędzi wskazują na potrzebę prowadzenia dalszych badań w tej dziedzinie. Doktorant zauważa nowe możliwości opracowanej metodyki do projektowania ortez, lecz moim zdaniem niewystarczająco i nie w pełni opisał potencjalne kierunki rozwoju, co budzi szereg pytań, np. czy jest to finalna wersja metodyki oraz czy może ona być wykorzystywana do projektowania innego rodzaju ortez.

W pracy występują nieliczne błędy stylistyczne (jeden błąd ortograficzny), ale można zauważyć pewne błędy natury redakcyjnej (edytorskiej), do których można zaliczyć m. in.:

- liczne „wdowy” i „sieroty” tj. pozostawienie na końcu akapitu krótkiego, zazwyczaj jednowyrazowego wiersza czy pojedynczych liter na ostatnim miejscu w wersji;
- wielokrotne występowanie dużych odstępów w treści rozprawy, a także pustych obszarów stron;
- stosowanie skrótów i akronimów, których zabrakło w spisie, jak: PP, PLA, PETG, PA.

Pozostałe drobne uwagi i błędy redakcyjne zostały zaznaczone w tekście pracy i przekazane Autorowi.

5. Ocena końcowa

Podsumowując, uważam, że Pan mgr inż. Sławomir Gryczuk w recenzowanej pracy przedstawił oryginalne rozwiązanie w zakresie metodycznego projektowania powłok sztywnych gorsetów korekcyjnych, które może mieć praktyczne zastosowanie i być wykorzystywane przy tworzeniu zindywidualizowanych ortez. Ponadto, zaprezentował wyniki własnych badań naukowych, które naświetlają problem naukowy dotyczący identyfikacji rozkładu pola sił wewnętrznych i korekcyjnych (w strukturze) aparatu ortotycznego. Świadczy to o interdyscyplinarnej wiedzy Doktoranta, zwłaszcza w inżynierii biomedycznej, umiejętności posługiwania się zaawansowanymi narzędziami

inżynierskimi (programistycznymi i graficznymi), a także stosowania nowoczesnych metod badawczych oraz obliczeniowych.

Reasumując stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Sławomira Grycuka spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Biomedyczna Politechniki Białostockiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Jednocześnie biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny pracy i oryginalne rozwiązanie problemu naukowego z użyciem nowoczesnych metod oraz potencjał aplikacyjny wyników badań do sfery społecznej/gospodarczej, a także zwracając uwagę na samą sylwetkę Doktoranta w aktywności naukowej, czego przykładem są cztery Autorskie publikacje, które stanowią część rozprawy doktorskiej, wnioskuję o jej wyróżnienie.

Wojciech Kłoss