

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Dems  
Katedra Inteligentnych Metod Komputerowych  
Wyższej Szkoły Informatyki i Umiejętności w Łodzi

## OCENA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Dąbrowskiej

pt. **„Aktywne układy materiałów z elementami z dwukierunkowym efektem pamięci kształtu przeznaczone na odzież ciepłochronną”**

opracowana na zlecenie

Rady Naukowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego

### 1. Wstęp

Powyższa rozprawa została zrealizowana przez Doktorantkę w ramach zadania statutowego Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – PIB nr III-46 pt. *„Modelowanie transportu ciepła przez aktywne układy materiałów z elementami z pamięcią kształtu przeznaczone na odzież ciepłochronną”*. Zadanie to było realizowane w okresie 1.04.2014 – 31.05.2016 przez 6-cio osobowy zespół wykonawców, w skład którego wchodziła mgr inż. Anna Dąbrowska jako kierownik i główny wykonawca. Opierając się na oświadczeniu podpisanym przez wszystkich wykonawców tego zadania oraz wykorzystując fakt, że byłem recenzentem zarówno wniosku o realizację tego zadania jak i sprawozdań z obu etapów jego realizacji, mogę stwierdzić, że recenzowana rozprawa doktorska jest w całości autorskim opracowaniem Doktorantki i jako taka może stanowić, w świetle art. 13 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, podstawę do ubiegania się mgr inż. Anny Dąbrowskiej o stopień naukowy doktora nauk technicznych.

### 2. Zakres rozprawy

Rozprawa zawierająca na 213 stronach formatu A4 tekst, rysunki i tabele, której celem było potwierdzenie tezy, że *aktywne układy materiałów ciepłochronnych zawierające elementy sprężyste wykonane z materiałów z pamięcią kształtu umieszczone w sprężystej warstwie puchu będą się charakteryzowały samoistną, wynikającą z warunków temperaturowych w środowisku zimnym, regulacją ich własności termoizolacyjnych, a w szczególności ich przewodności cieplnej*, składa się z dziesięciu rozdziałów, wykazu literatury zawierającego 122 pozycje i trzech załączników zawierających zestawienie wyników badań eksperymentalnych, testy statystyczne wykorzystywane do analizy otrzymanych wyników oraz wyniki tej analizy.

W pierwszym, wstępnym rozdziale rozprawy Autorka podaje motywacje podjęcia tematyki pracy oraz określa jej cel i zakres.

Drugi rozdział rozprawy jest poświęcony bardzo wnikliwemu omówieniu aktualnego stanu wiedzy z zakresu trzech głównych zagadnień poruszanych w rozprawie, którymi są: zjawisko wymiany ciepła w układzie człowiek – odzież ciepłochronna – zimne środowisko pracy, bierna i aktywna odzież ciepłochronna oraz stopy metaliczne z pamięcią kształtu i ich

wykorzystanie w budowie odzieży ochronnej. W każdym z trzech wymienionych obszarów wiedzy Autorka dokonała w tym rozdziale przeglądu aktualnej literatury krajowej i zagranicznej, cytując i zwięźle omawiając najważniejsze pozycje literaturowe.

Cel i założenia rozprawy doktorskiej zostały sformułowane w rozdziale trzecim rozprawy. W rozdziale tym zostały prawidłowo sformułowane główna teza pracy oraz towarzyszące jej hipotezy badawcze, które zostały zweryfikowane w kolejnych rozdziałach rozprawy.

Rozdział czwarty rozprawy jest poświęcony sformułowaniu założeń konstrukcyjnych i materiałowych dla aktywnych układów materiałów przeznaczonych na odzież ciepłochronną.

W rozdziale piątym rozprawy, poświęconym kształtowaniu właściwości termoizolacyjnych układów materiałów tekstylnych zawierających sprężystą warstwę puchu, Doktorantka przedstawiła własne badania eksperymentalne w tym zakresie. Omówiła metodykę badań oraz przedstawiła wyniki badań eksperymentalnych i ich analizę. Badane były przewodność cieplna układu materiałów jako funkcja masy całkowitej i masy objętościowej puchu w pakiecie materiałów oraz opór cieplny wybranego do dalszej analizy układu materiałów z puchem w funkcji grubości pakietu. W końcowej części tego rozdziału Autorka przedstawiła końcowe wnioski, prawidłowo sformułowane w oparciu o przeprowadzony program badań eksperymentalnych i analizę wyników tych badań.

Szósty rozdział rozprawy jest poświęcony problemowi numerycznego modelowania rozkładu pola temperatury w aktywnym pakiecie materiałów tekstylnych zawierających warstwę puchu oraz elementy sprężyste wykonane z materiału z pamięcią kształtu, wykorzystując komercyjne oprogramowanie do analizy ruchu ciepła, bazujące na metodzie elementów skończonych. W procesie modelowania rzeczywisty pakiet materiałów tekstylnych z puchem i elementami z pamięcią kształtu został poddany procesowi dyskretyzacji, w którym materiały tekstylne wraz z puchem były modelowane jako jednorodny materiał cieplnie izotropowy, zaś elementy sprężyste wykonane ze stopu metalicznego z pamięcią kształtu zastąpiono ich dyskretnymi odpowiednikami w postaci pełnych lub perforowanych cienkich zamkniętych powierzchni walcowych. Wyniki przeprowadzonych przez Doktorantkę symulacji numerycznych pozwoliły na ustalenie zakresów temperatur przemian fazowych w elementach z pamięcią kształtu, powodujących zmianę kształtu tych elementów. W fazie niskotemperaturowej elementy te przyjmują postać rozciągniętych sprężyn, powodujących zwiększenie grubości pakietu materiałów i w konsekwencji zmniejszenie ich przewodności cieplnej, zaś w fazie wysokotemperaturowej przyjmują one postać ściśniętych sprężyn, powodujących zmniejszenie grubości pakietu materiałów i w konsekwencji zwiększenie ich przewodności cieplnej.

W siódmym rozdziale rozprawy omówiony jest problem kształtowania właściwości fizycznych elementów aktywnych w postaci sprężyn wykonanych ze stopów z dwukierunkową pamięcią kształtu oraz przedstawiona jest metodyka prowadzenia obróbki cieplnej tych elementów celem wywołania dwukierunkowego efektu pamięci kształtu. W dalszej części tego rozdziału omówiono badania eksperymentalne elementów z dwukierunkową pamięcią kształtu oraz poddano analizie wyniki uzyskane w tych badaniach. W końcowej części tego rozdziału Doktorantka przedstawiła wnioski, prawidłowo sformułowane w oparciu o przeprowadzony program badań eksperymentalnych i dogłębną analizę wyników tych badań.

Wykorzystują wyniki symulacji numerycznej przedstawionej w rozdziale 6 oraz wyniki eksperymentalne omówione w rozdziale 7, Doktorantka przedstawiła w kolejnym, ósmym rozdziale rozprawy program formowania i obróbki termomechanicznej elementów aktywnych, utrwalający w nich dwukierunkowy efekt pamięci kształtu. W celu oceny proponowanego programu wytwarzania takich elementów poddano wytworzone elementy badaniom eksperymentalnym umożliwiającym dokonanie oceny poprawności proponowanego programu wytwarzania z punktu widzenia powtarzalności i trwałości charakterystycznych własności wytworzonych elementów w czasie wielu cykli pracy. Wyniki tych badań oraz ich analizę i wnioski wynikające z tej analizy zostały przedstawione w dalszej części rozdziału ósmego. W czasie prowadzonych badań, które obejmowały 100 cykli pracy każdego z wytworzonych elementów oceniano wartość uzyskanych temperatur przemiany martenzytycznej, zakres zmian odkształcenia podczas samoistnej zmiany kształtu oraz maksymalną siłę ściskającą i charakterystykę zależności siła – odkształcenie elementu. Jako rezultat prowadzonej analizy wyników badań eksperymentalnych, Doktorantka ostatecznie ustaliła program formowania i obróbki termomechanicznej elementów aktywnych w postaci spiralnych sprężyn, charakteryzujących się z akceptowalną dokładnością ustalonymi we wcześniejszych rozdziałach pracy parametrami dwukierunkowego efektu pamięci kształtu oraz akceptowalną zmianą tych parametrów po zadanej liczbie cykli ich pracy.

Rozdział dziewiąty rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Dąbrowskiej zawiera swego rodzaju posumowanie prowadzonych wcześniej badań eksperymentalnych i symulacji numerycznej ruchu ciepła w pakiecie materiałów przeznaczonych na odzież ciepłochronną. Pakiet ten zawiera, jako główny element, sprężysty puch chroniący pracownika przed utratą ciepła i jest uzupełniony o aktywne elementy z dwukierunkową pamięcią kształtu, które samoistnie mają zmieniać grubość tego pakietu, a zatem i jego przewodność cieplną, pod wpływem różnicy temperatur po obu stronach tego pakietu. Temperatury te reprezentują z jednej strony temperaturę skóry człowieka zaś z drugiej strony temperaturę środowiska, w którym człowiek przebywa. Jednym z najważniejszych problemów przy konstruowaniu takiego pakietu było ustalenie optymalnej liczby i rozmieszczenia w analizowanym pakiecie elementów aktywnych. Należy zauważyć, że z jednej strony zwiększenie liczby takich elementów może ułatwić proces zmiany grubości wywołany różnicą temperatur a więc proces zmian przewodności cieplnej jest łatwiejszy do realizacji, lecz z drugiej strony większą liczbą elementów to większa liczba mostków cieplnych pomiędzy warstwami zawierającymi puch i w konsekwencji zwiększenie wartości uśrednionej globalnej przewodności cieplnej pakietu.

Temu głównie zagadnieniu jest poświęcony rozdział dziewiąty rozprawy. Doktorantka bada na zmodyfikowanym stanowisku „model skóry” przepływ ciepła przez pakiety materiałów zawierające różną liczbę różnie rozmieszczonych elementów aktywnych, wyznaczając eksperymentalnie zarówno opór cieplny, czyli inaczej odwrotność przewodności cieplnej, takiego pakietu wielofazowego jak również jego zmienną grubość wywołaną zmienną temperaturą powietrza nad zewnętrzną warstwą pakietu, zachowując równocześnie niezmienną lub prawie niezmienną ustaloną na początku eksperymentu temperaturę wewnętrznej powierzchni pakietu, modelującą na stanowisku badawczym warstwę odzieży stykającą się ze skórą człowieka. Wyniki prowadzonych badań, opisanych w tym rozdziale, jak również ich analiza, wsparta przeprowadzoną analizą statystyczną uzyskanych wyników, wskazują jednoznacznie, że Doktorantce udało się zrealizować założony cel rozprawy doktorskiej i potwierdzić słuszność postawionej hipotezy badawczej.

Rozprawę doktorską mgr. inż. Anny Dąbrowskiej kończy rozdział dziesiąty, w którym Doktorantka zawarła 10 końcowych wniosków, z których dziewięć, dotyczących przede

wszystkim prowadzonych badań eksperymentalnych, jest logicznym następstwem poprawnie, żeby nie powiedzieć wzorcowo, prowadzonych badań eksperymentalnych, zaś jeden, dotyczący przeprowadzonej symulacji numerycznej ruchu ciepła w wielofazowym ośrodku o własnościach termicznych orto- lub wręcz anizo-tropowych, może budzić pewne wątpliwości, na co zwracam uwagę w dalszej części recenzji.

### 3. Ogólna ocena merytoryczna rozprawy

Tematyka recenzowanej rozprawy dotyczy w pierwszym rzędzie badań eksperymentalnych nad ruchem ciepła w wielofazowym ośrodku niejednorodnym, jakim jest pakiet równolegle ułożonych warstw materiałów tekstylnych o różnych, najczęściej ortotropowych własnościach termicznych. Jedną z tych warstw stanowi mieszanina sprężystego puchu gęsiego i powietrza zamknięta pomiędzy dwoma warstwami materiału tekstylnego. Dodatkowo, pomiędzy tymi warstwami zostały umieszczone spiralne sprężyny wykonane z materiału z dwukierunkową pamięcią kształtu, których zadaniem było regulowanie grubości warstwy puchu w wyniku różnicy temperatur występujących pomiędzy warstwami zawierającymi puch.

Głównym celem prowadzonych badań eksperymentalnych, realizowanych przede wszystkim na stanowisku badawczym „model skóry”, które zostało przystosowane przez Doktorantkę do badań pakietu materiałów o dynamicznie zmieniającej się w czasie pomiarów jego grubości, było określenie globalnej, uśrednionej dla badanej próbki, przewodności cieplnej, która ulega zmianie wraz ze zmianą grubości badanej próbki, wywołanej zmienną różnicą temperatur otoczenia na ‘umownie’ górnej i dolnej powierzchni zewnętrznej próbki.

Dodatkowym elementem rozprawy była próba numerycznej symulacji ruchu ciepła w takim pakiecie, oparta o komercyjne oprogramowanie do analizy ruchu ciepła bazujące na powszechnie znanej i szeroko stosowanej w badaniach naukowych i zastosowaniach aplikacyjnych metodzie elementów skończonych.

O ile do części eksperymentalnej rozprawy i analizy przez Doktorantkę wyników uzyskanych podczas głęboko przemyślanych i uzasadnionych eksperymentów nie mam żadnych zastrzeżeń, a wręcz przeciwnie mogę stwierdzić, że w mojej ocenie były one przeprowadzone wzorowo, to rozdział szósty, poświęcony symulacji numerycznej budzi pewne wątpliwości, szczególnie w zakresie formułowania warunków brzegowych ruchu ciepła oraz przyjętych w symulacji własności termicznych badanego pakietu. Moje główne zastrzeżenie budzi zawarte na stronie 71 rozprawy założenie, że *(tu cytat z rozprawy)* „Pomimo, iż poszczególne warstwy zestawu materiałów mają charakter anizotropowy, na potrzeby analizy potraktowano je jako elementy termicznie jednorodne (Dems, 2014) o średnich zastępczych współczynnikach przewodności cieplnej wynikających z pomiarów eksperymentalnych.” Przywołanie mojej publikacji z 2014 roku w *Encyclopedia of Thermal Stresses* jako uzasadnienia takiego uproszczenia jest zupełnie nieadekwatne, gdyż przeprowadzana tam homogenizacja wielofazowego ortotropowego kompozytu składającego się z jednorodnej macierzy wzmocnionej długimi jednorodnymi włóknami uwzględniała zarówno wyznaczenie macierzy współczynników przewodności cieplnej w kierunkach osi ortotropii wynikających z orientacji warstw włókien jak i ich dalszą transformację do jednego wspólnego układu współrzędnych generującego wypadkową macierz współczynników przewodności zastępczego jednorodnego lecz w dalszym ciągu ortotropowego materiału zastępczego. Jeżeli Doktorantka chciała zastąpić ortotropowy materiał wielowarstwowy izotropowym materiałem jednorodnym o uśrednionym współczynniku przewodności wyznaczonym na drodze eksperymentalnej, to należało na przykład przeprowadzić pomiary przewodności cieplnej próbek wykonanych z samych warstw materiałów tekstylnych, lecz o różnej orientacji przestrzennej i następnie otrzymane z pomiarów globalne uśrednione

współczynniki przewodności dla każdej z orientacji jeszcze raz uśrednić. Takie postępowanie uwiarygodniłoby założenie o jednorodności pakietu podczas symulacji numerycznej. Dodatkową wątpliwość budzi również brak informacji w tym rozdziale o współczynniku konwekcji na górnej powierzchni pakietu. Warunek brzegowy ruchu ciepła w wyniku konwekcji wymaga wprowadzenia jako danych do procesu symulacji nie tylko temperatury otoczenia (co Doktorantka uczyniła) lecz również informacji o współczynniku konwekcji i ewentualnej metodzie, teoretycznej lub eksperymentalnej, jego wyznaczenia dla analizowanego pakietu.

Pomimo tych dwóch uwag krytycznych dotyczących omawianego rozdziału uważam, że uzyskane w nim wyniki mają również znaczenie dla zdecydowanie pozytywnej oceny całości rozprawy, nawet wtedy, gdy mają one charakter bardziej jakościowy niż ilościowy.

Chcę również zwrócić uwagę, że Doktorantka zamiennie używa terminów „przewodność cieplna” i „opór cieplny”. Choć jedna wielkość jest odwrotnością drugiej, to uważam, że używanie konsekwentnie jednego terminu byłoby lepsze. Również niepoprawnym jest używanie często sformułowania „gradient temperatury” jako czynnika wywołującego ruch ciepła. Poprawnie ruch ciepła wywołany jest różnicą temperatur w sąsiednich punktach ośrodka. Pojęcie gradientu jest pojęciem wtórnym w stosunku do różnicy temperatur. Różnica temperatur skutkuje różnym od zera lokalnym, ogólnie zmiennym w przestrzeni gradientem temperatury, a nie niezerowy gradient wywołuje różnice temperatur.

Reasumując ogólną ocenę rozprawy, uważam, że prezentowane w pracy rezultaty stanowią w dużej części oryginalny wkład Doktorantki w obszarze zabezpieczeń człowieka przed niekorzystnymi warunkami środowiska, w którym egzystuje. Mogę zatem stwierdzić, że:

- Rozprawa doktorska mgr inż. Anny Dąbrowskiej dotyczy ciekawego z naukowego punktu widzenia i bardzo istotnego z aplikacyjnego punktu widzenia problemu ‘*inteligentnej*’ autoregulacji własności termicznych materiału wielofazowego elementów konstrukcyjnych ( w przypadku rozprawy: odzieży ochronnej) w zmiennych warunkach pracy. Podjęta tematyka wpisuje się w coraz szersze wprowadzanie do konstrukcji inżynierskich tzw. materiałów inteligentnych, które samoistnie reagują na zmienne warunki pracy takich konstrukcji lub wręcz samoistnie reagują na zagrożenia mogące doprowadzić do zniszczenia konstrukcji.
- Oryginalność metody rozwiązania sformułowanego problemu autoregulacji własności termicznych wielofazowego materiału tekstylnego lub włókienniczego polega na udanej, jak wynika bez wątplenia z rozprawy, próbie wykorzystania w takich materiałach elementów sprężystych z dwukierunkową pamięcią kształtu, które samoistnie reagują zmianą swojej długości na zmianę temperatury otoczenia, powodując przez to zmianę grubości pakietu materiałów skutkującą odpowiednio zmniejszeniem lub zwiększeniem jego przewodności cieplnej. Planowane zastosowanie aktywnych elementów o dwukierunkowej pamięci kształtu w konstrukcji odzieży ciepłochronnej można bez wątplenia uznać za istotny wkład własny Doktorantki w obszarze nowoczesnych ‘inteligentnych’ zabezpieczeń człowieka w środowisku pracy.
- Sposób planowania i przeprowadzania przez Doktorantkę eksperymentów badawczych z zakresu zagadnień dotyczących szeroko rozumianego ruchu ciepła w środowisku pracy człowieka świadczą o jej ogólnej wiedzy teoretycznej w tym zakresie i umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a zatem bez wątplenia wpisują się w obszar dyscypliny naukowej ‘inżynieria środowiska’.

- Bardzo obszerna rozprawa doktorska jest napisana poprawnym językiem, układ rozdziałów jest logiczny, cytowana literatura jest obszerna, aktualna i związana z tematyką rozprawy.

#### 4. Uwagi szczegółowe

W tej części recenzji wymieniam najistotniejsze, moim zdaniem, uwagi i wątpliwości szczegółowe o różnej wadze merytorycznej i formalnej, które nasunęły mi się podczas czytania tekstu rozprawy.

1. Str. 15 ostatni akapit pkt. 2.1.2: Definiując przewodność cieplną, która jest rozumiana w rozprawie jako współczynnik przewodności cieplnej (w literaturze przedmiotu spotyka się te dwa terminy używane wymiennie), Doktorantka stwierdza, że jej wartość zależy od czasu. Trudno się z tym zgodzić, gdyż funkcją czasu oraz innych parametrów jest całkowita ilość ciepła przepływającego przez ciało, zaś współczynnik przewodności cieplnej zależy jedynie od rodzaju materiału i może być jedynie nieliniową funkcją temperatury.
2. Str. 33 wiersz 7 od góry: Niezręcznym jest sformułowanie: „*Problemem jest również gradient temperatury występujący w odzieży...*”. Bardziej poprawnie będzie: *Problemem jest również różnica temperatur występująca w odzieży (lub warstwach odzieży)*. Tego rodzaju niezręczne lub niepoprawne sformułowanie występuje kilkakrotnie w tekście rozprawy.
3. Str. 38 tab. 2-6: Sformułowanie „*Efekt nawrotu naprężenia*” jest niezręczne.
4. Str. 46 drugi akapit od góry” Sformułowanie: „*Odporność na uderzenie ciał o wysokiej prędkości*” sugeruję zastąpić bardziej poprawnym „*Odporność na uderzenie ciał o dużej energii kinetycznej*”.
5. Str. 53 hipoteza badawcza 2: Można byłoby rozszerzyć sformułowanie: „*w porównaniu do układów materiałów bez puchu*” o „*lub z włókniną puszystą*”.
6. Str. 59 – 61: Opis metodyki badań w pkt. 5.3.1 jest zbyt powierzchowny. Bardziej szczegółowe opisanie trybu i sposobu prowadzonych badań z wykorzystaniem stanowiska badawczego pn. „*model skóry*” miałyby pozytywny wpływ na jakość tego punktu rozprawy.
7. Str. 60 wzór (5-2): Brak uzasadnienia postaci tego wzoru. Dlaczego np. w mianowniku pojawia się liczba „1000”?
8. Str. 61 3 wiersz od góry: Brak informacji jak wyznaczono wartość „*ok. 0,044m<sup>2</sup>·K/W*”.
9. Str. 61 rys. 5-3: Umieszczenie perforowanej blachy na górnej powierzchni badanej próbki zmienia sposób odprowadzania ciepła do otoczenia, czyli innymi słowami, zmienia warunki brzegowe pomiaru. Być może lepszym rozwiązaniem byłoby umieszczenie cienkich i wiotkich nitek o określonej długości równej maksymalnej grubości pakietu, łączących dolną i górną warstwę materiałów próbki.
10. Str. 62: Rys. 5-5 jest, moim zdaniem, niepotrzebnym powieleniem rys. 5-4.. Oba wykresy bazują na rów. (5-1), z którego wynika, że dla  $V = \text{const.}$  masa objętościowa jest liniową funkcją masy.
11. Str. 63 wiersze 1 – 5 od dołu: Uzasadnienie wyboru układu materiałów z puchem do dalszych badań jest, moim zdaniem, niejasne.
12. Str. 72 wzór 6-1: Pojęcie masy objętościowej  $\rho$  jest zdefiniowane na tej stronie wzorem (6-1) zaś wcześniej, na stronie 58 wzorem (5-1). Oba wzory są różne, co wymaga dodatkowego komentarza lub wyjaśnienia.

13. Str. 72 tekst powyżej rys. 6-2: Brak dokładnej informacji o modelu dyskretnym elementów aktywnych. Doktorantka stwierdza, że w przypadku elementów w stanie rozprężonym ich modelem jest drążony walec z otworami rozmieszczonymi na jej powierzchni bocznej. Brak jest jednak informacji, czy jego objętość jest taka sama jak objętość walca bez otworów, modelującego element aktywny w stanie ściśniętym. W rzeczywistym elemencie aktywnym, jego objętość jest taka sama w obu stanach a różna tylko konfiguracja.
14. Str. 76: Brak informacji o wartości przyjętego współczynnika konwekcji na górnej powierzchni zestawu materiałów. Niejasny jest również sposób prowadzenia symulacji numerycznej w ustalonym przedziale czasu. Jaka wielkość wejściowa do obliczeń była funkcją czasu i jak jej przebieg czasowy określano? Taka informacja jest istotna do precyzyjnego określenia czy prowadzona analiza ruchu ciepła dotyczyła stanu ustalonego czy też niustalonego, jak założono w rozprawie na stronie 74. W przypadku niustalonego ruchu ciepła niezbędna jest również informacja o pojemności cieplnej materiału analizowanej konstrukcji.
15. Str. 127 tab. 8-2: Brak jest wyjaśnienia symboli zawartych w pierwszej kolumnie tej tabeli. Nawet, jeżeli używane symbole są tradycyjnie przyjętymi w analizie statystycznej, to należy co najmniej raz wyjaśnić ich znaczenie. Podobna uwaga dotyczy również pozostałych tablic w rozdziale 8 i 9.
16. Str. 131: Uzasadnienie wniosku dotyczącego zakresu zmienności temperatur początku i końca przemian fazowych nie jest do końca przekonujące.
17. Str. 133 pierwszy akapit od góry: Brak jest wyjaśnienia różnic zakresu zmian długości elementów aktywnych podczas pracy w położeniu pionowym i poziomym.
18. Str. 150 u góry: Wyjaśnienie, że w badaniach aktywnych układów materiałów odstąpiono od wykorzystania perforowanej płyty z uwagi na dodatkowe obciążenie badanego pakietu jest nie do końca pełne. Usunięcie płyty zmieniło również, a może przede wszystkim, warunki brzegowe na górnej powierzchni pakietu, w porównaniu do badań pakietów bez elementów aktywnych, w których taką płytę stosowano (por. rozdz. 5).
19. Str. 156 i następne: Rysunki od 9-8 do 9-12 są nieczytelne. Lepiej, w moim przekonaniu byłoby pokazanie przebiegu np. temperatur średnich dla badanych układów materiałów i odchyłeń standardowych, lub też należało rozciągnąć skalę czasu w przedziale 1200 – 3600 sekund.
20. Str. 161 u dołu: Uzasadniają mniejszy od oczekiwanego przyrost grubości pakietu materiałów w temperaturze otoczenia  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (chyba nie  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  jak jest w tekście) można by było dodać informację np. graficzną, o kształcie górnej powierzchni pakietu dla obu stanów elementów aktywnych, tj. stan ściśnięty i stan rozprężony. Podobna sugestia może mieć zastosowanie do uzasadnień zawartych w pierwszym od góry akapicie na str. 166 rozprawy.
21. Str. 164 pkt. 9.8: W podsumowaniu prowadzonych badań, które zakończyły się niewątpliwym sukcesem, odczuwa się brak informacji o tym jak elementy aktywne zastosowane do całej odzieży roboczej wpłyną na wzrost jej ciężaru, np. w porównaniu do odzieży z dodatkową warstwą włókniny puszystej.

Powyższe uwagi szczegółowe mogą być a może powinny być, w moim przekonaniu, uwzględnione przez Doktorantkę w przypadku przygotowywania publikacji naukowych dotyczących tematyki prezentowanej w pracy. Oczekuję również, że Doktorantka ustosunkuje się do niektórych z nich w czasie publicznej obrony.

Równoczesne jednak wyraźnie stwierdzam, że uwagi zamieszczone w tym punkcie recenzji w żadnym stopniu nie wpływają ujemnie na ogólną istotnie pozytywną ocenę rozprawy mgr inż. Anny Dąbrowskiej.

## 5. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr inż. Anny Dąbrowskiej stanowi istotny przyczynek naukowy dotyczący zagadnień konstrukcji i technologii tzw. *inteligentnej odzieży ochronnej* która będzie mogła w pewnych granicach samoistnie dostosowywać swoją przewodność cieplną do aktualnych warunków środowiska, w którym przebywa człowiek.

Zawiera ona szereg elementów stanowiących oryginalny wkład Autora do teorii i praktyki wykorzystania elementów wykonanych z materiałów o dwukierunkowej pamięci kształtu w konstruowaniu pakietów materiałów włókienniczych o zmiennych własnościach izolacyjnych. Równocześnie Doktorantka wykazała wiedzę i przygotowanie do prowadzenia badań eksperymentalnych i poprawnej analizy ich wyników oraz do poprawnego wnioskowania opartego o uzyskane wyniki i ich analizę. Ponadto wykazała również wiedzę i umiejętności do prowadzenia komputerowo zorientowanego modelowania i analizy zachowania się włókienniczych elementów konstrukcyjnych w zmiennych warunkach termicznych.

Dlatego też uważam, że przedstawiona rozprawa w pełni spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę o tytule naukowym i stopniach naukowych i może być dopuszczona do publicznej obrony przed Radą Naukową Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – PIB.

Równocześnie, zakładając pomyślny przebieg publicznej obrony rozprawy doktorskiej, stawiam wniosek o uznanie rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Dąbrowskiej za wyróżniającą się. Uzasadnienie tego wniosku znajduje się w końcowym fragmencie oceny merytorycznej rozprawy, przedstawionej w pkt. 3 niniejszej recenzji. Dodatkowo mogę stwierdzić, że Doktorantka zaplanowała i skutecznie przeprowadziła logicznie ułożony ciąg eksperymentów, których wyniki pozwoliły nie tylko uzasadnić przyjętą w rozprawie tezę, lecz również stworzyły możliwość do ciekawej modyfikacji stoiska badawczego 'model skóry', poszerzającej zakres jego wykorzystania. W rozprawie wykazała Ona również, że uzyskana podczas realizacji rozprawy wiedza znacznie wykracza poza obszar projektowania odzieży, obejmując również takie obszary jak materiały z pamięcią kształtu lub komputerowo-zorientowane modelowanie i analiza włókienniczych elementów konstrukcyjnych.



Łódź, dn. 21 czerwca 2017 r.