

Prof. zw. dr hab. inż. Bogdan Mizieliński
Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki
i Inżynierii Środowiska
Politechniki Warszawskiej
ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa

Warszawa, 21.06.2017

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Młynarczyk pt. „**Badania porównawcze metod oceny efektywności chłodzenia materiałów zawierających związki zmiennofazowe, w zależności od typu zastosowanych symulatorów cieplnych**”

Recenzję opracowano na zlecenie Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego (pismo z dnia 07.06.2017r, TP-448/2394/2017).

Pracę wykonano w CIOP-PIB, promotorem pracy jest dr hab. inż. Jan Kaczmarczyk z Politechniki Śląskiej.

Praca składa się z 6 rozdziałów zatytułowanych następująco: Wprowadzenie, Cel naukowy i Teza pracy, Badania podstawowych właściwości materiałów ze związkami zmiennofazowymi, Badania materiałów ze związkami zmiennofazowymi z wykorzystaniem symulatorów cieplnych, Badania z udziałem ochotników, Podsumowanie badań. Ponadto Autorka załączyła bibliografię zawierającą 96 pozycji w tym 70 obcojęzycznych a także spis ilustracji, spis tabel oraz 7 załączników. Praca liczy 127 stron merytorycznego tekstu.

Charakterystyka rozprawy

Związki zmiennofazowe są przedmiotem zainteresowania w różnych dziedzinach działalności człowieka a między innymi w przemyśle włókienniczym, medycynie, przemyśle chemicznym, energetyce, transporcie. PCM absorbują, akumulują, oddają energię cieplną w procesach topnienia i krzepnięcia. Materiały te w przemianie fazowej przechodzą od stanu stałego w stan ciekły pochłaniając ciepło z otoczenia lub przemieniając się z formy ciekłej w stan stały po przekroczeniu temperatury krzepnięcia. Zakumulowane ciepło oddawane jest do otoczenia.

Parametry które charakteryzują PCM to: entalpia, temperatura przemian fazowych oraz przewodność cieplna. Omawiane materiały znalazły szerokie zastosowanie w ochronie ciała człowieka w warunkach niekorzystnych zmian temperatury otoczenia. Na przykład w skafandrach kosmonautów a także w trudnych warunkach przebywania. Stosowane są w produkcji odzieży specjalistycznej dla ochrony osób znajdujących się w uciążliwych cieplnie warunkach pracy. Znajdują zastosowanie w użytkowaniu codziennym w postaci bielizny, śpiworów materacy, kamizelek itp.

Dotychczasowe badania materiałów PCM wykonywane w wielu ośrodkach badawczych za granicą nie określiły jednej skutecznej metody oceny właściwości tych materiałów. Wyniki badań różnią się, co wywołuje konieczność prowadzenia dalszych badań i dążenia do opracowania sposobu efektywnego porównania różnych metod, czym zajęła się Autorka niniejszej pracy. Mgr inż. Magdalena Młynarczyk przeprowadziła badania porównawcze metod oceny efektywności chłodzenia materiałów zawierających związki zmiennofazowe w zależności od typu zastosowanych symulatorów cieplnych. Wyznaczonym przez Doktorantkę celem pracy jest ocena efektywności działania materiału zawierającego związki zmiennofazowe możliwe do zastosowania w odzieży ochronnej. Podjęła się także opracowania procedury prowadzenia badań, które umożliwią standaryzację wyników uzyskiwanych na różnych symulatorach.

Przyjęte w pracy tezy to:

„Rodzaj wykorzystanego symulatora cieplnego i zastosowana procedura badań wpływają na wyniki oceny efektywności działania materiałów zawierających związki zmiennofazowe”.

„Zastosowanie jednolitej procedury prowadzenia badań tych materiałów na symulatorach cieplnych jest niezbędne dla właściwej interpretacji otrzymanych wyników oceny efektywności ich działania”.

Autorka dokonała obszernego przeglądu literatury (96 pozycji) co utwierdziło ją w przekonaniu, że konieczne jest prowadzenie ukierunkowanej metodyki badań materiałów oraz wyrobów z PCM przy wykorzystaniu symulatorów cieplnych oraz z udziałem ochotników.

Mgr inż. Magdalena Młynarczyk w recenzowanej pracy badała i rozpatrywała problemy naukowe związane z wymianą ciepła i masy pomiędzy materiałami zmiennofazowymi a symulatorami o różnej konstrukcji. Weryfikacja wyników były badania przeprowadzone z udziałem ochotników.

Ocena wyników pracy badawczej

Do prowadzonych badań wytypowano dwa rodzaje materiałów to jest: tkanina Morrison oznaczona jako PCM1 oraz tkanina Wellington jako PCM2. Jako materiał referencyjny REF zastosowano tkaninę poliestrową, będącą bazą dla wytypowanych tkanin.

Wybrane materiały z PCM różniły się między sobą głównie wartościami entalpii przemian fazowych, masą powierzchniową oraz gęstością. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wytypowane tkaniny ze związkami zmiennofazowymi mają właściwości umożliwiające ich zastosowanie w bezpośrednim kontakcie z powierzchnią ciała człowieka. Przeprowadzone pomiary wykazały zgodność wyznaczonych wartości temperatury topnienia T_1 dla obu materiałów a entalpia topnienia ΔH nieco się różniła. Ocena efektywności działania wybranych materiałów PCM przeprowadzono przy użyciu typowych symulatorów cieplnych. Opracowano procedurę badawczą wspólną dla wszystkich symulatorów w celu uzyskania możliwości przeprowadzenia analizy porównawczej. Badania prowadzono przy pomocy czterech symulatorów cieplnych: modelu sztucznej skóry, Torso, manekina Diana oraz manekina Newton. Do badania materiałów zastosowano metodę utrzymania stałej

wartości temperatury powierzchni pomiarowej symulatorów ($T_{pp} = \text{const.}$). Pomiary prowadzono dla warunków nieizotermicznych i izotermicznych. Pomiary w warunkach nieizotermicznych jak i izotermicznych wykazały, że pełnowymiarowe manekiny termiczne osiągały niższe wartości zakumulowanego ciepła w stosunku do modelu sztucznej skóry a symulator Torso znacznie zawyżał te wartości. Związane to jest między innymi z dopasowaniem próbki materiału do powierzchni pomiarowej symulatorów, maksymalnej mocy nominalnej urządzenia oraz sposobu regulacji temperatury powierzchni symulatora. Odnotowano różnice w odpowiedzi symulatorów na badane materiały. Różnice wynikały między innymi z dopasowania próbki materiału do powierzchni pomiarowej symulatora, maksymalnej mocy urządzenia, sposobu regulacji temperatury powierzchni symulatorów, aklimatyzacji próbek przed pomiarem.

Konieczne było utrzymanie podobnych warunków początkowych podczas pomiarów na wszystkich symulatorach z uwzględnieniem kontroli parametrów w komorze klimatycznej.

Weryfikację uzyskanych wyników z przeprowadzonych pomiarów wykonano z udziałem ochotników. Wyposażono ich w koszulki z materiałem zmiennofazowym i oceniano reakcję po założeniu koszulki referencyjnej. Do tych badań używano tylko materiału PCM2 a uwagi na większą wartość ciepła topnienia. Analizowano wskaźniki takie jak: średnia ważona temperatury skóry oraz wartości wilgotności względnej. Mierzono temperaturę na powierzchni materiałów na koszulkach, uzyskane za pomocą kamery termograficznej. Oceniano także subiektywne odczucia cieplne ochotników wg skali ASHRAE oraz wilgotności skóry i odzieży wg skali Nielsena.

Mgr inż. Magdalena Młynarczyk zbudowała zaawansowane technicznie stanowiska badawcze wyposażone w niezbędne urządzenia pomiarowe oraz symulatory cieplne. Wykazała zdolności do prowadzenia badań naukowych i prowadzenie samodzielnej pracy badawczej. Realizowane badania są podstawą opracowania procedury wyznaczania efektywności działania materiałów zawierających związki zmiennofazowe.

Autorka sformułowała zależności pomiędzy zmianami w ilości zakumulowanego ciepła przez materiał PCM a maksymalnymi wartościami mocy nominalnej symulatorów cieplnych. Uzyskana w tych badaniach wiedza pozwoli na standaryzację metody oceniania efektywności stosowania PCM przy udziale symulatorów ciepła.

Ocena merytoryczna pracy

Doktorantka podjęła próbę opracowania jednolitej metodyki do oceny efektywności działania materiału zawierającego związki zmiennofazowe. W okresie bardzo szybkiego rozwoju technologicznego urządzeń umożliwiających symulację wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem elementem utrudniającym prace badawcze nad innowacyjnymi zestawami odzieży ochronnej jest brak możliwości korzystania z wyników prac badawczych różnych laboratoriów. Z tej przyczyny tematykę pracy wybraną przez doktorantkę uznaję z wartościową i traktuję jako przyczynek do usystematyzowania wiedzy w tym zakresie.

Doktorantka skupiła się na analizie 2 wybranych próbek materiałów zawierających związki zmiennofazowe tj. tkaniny Morrison i Wellington dostarczonych przez firmę komercyjnie oferującą materiały z PCM. W obu przypadkach PCM był wprowadzony w postaci

7

2

dodatkowej warstwy, którą pokryte były fragmenty warstwy bazowej. Temperatura topnienia oraz entalpia obu materiałów była zbliżona. Próbkę te były następnie poddane badaniom na popularnych symulatorach wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem, tj. modelem skóry, urządzeniu Torso, manekinach termicznych Diana i Newton. Należy tu podkreślić dobry wybór zastosowanych urządzeń, od płaskiego modelu skóry, poprzez uproszczony pionowy symulator aż do bardziej zaawansowanych technicznie symulatorów Diana i Newton.

Opracowując procedurę badawczą, Doktorantka dokonała szczegółowego przeglądu metod badawczych służących ocenie efektywności działania związków zmiennofazowych stosowanych w odzieży. Analizowała procedury stosowane dla różnych symulatorów cieplnych, jak również badań z udziałem ludzi. Przegląd literatury jest wykonany starannie i uzasadnia podjęcie tematu pracy doktorskiej.

Zauważalną wartością pracy, oprócz wniosków i rekomendacji opracowanych przez Doktorantkę stanowią uwagi dyskusyjne w odniesieniu do wyników przeprowadzonych badań. Istotne jest także wskazanie kierunku dalszych prac badawczych, które powinny być prowadzone w celu zunifikowania metody oceny efektywności działania związków zmiennofazowych.

Warto również podkreślić, że Doktorantka ma znaczne doświadczenie w prowadzeniu badań zarówno z zastosowaniem manekinów termicznych, jak również dotyczących rozwiązań zawierających związki zmiennofazowe, na co wskazują publikacje autorstwa Doktorantki przytoczone w bibliografii.

Uwagi krytyczne

1. W przeglądzie literatury dotyczącej stosowanych metod badawczych zabrakło zestawienia które wskazywałoby, które parametry są najczęściej określane podczas badań z wykorzystaniem manekina termicznego (np. izolacyjność cieplna, całkowite straty ciepła itp.). Odpowiedź na to pytanie wskazałoby, które parametry są dla innych badaczy najważniejsze w ocenie odzieży zawierającej związki zmiennofazowe a więc także na których parametrach powinna się koncentrować Doktorantka. Brakuje również wyjaśnienia co Doktorantka rozumie pod pojęciem „efektywność działania” i jakie parametry charakteryzują to określenie.
2. Nie jest do końca wyjaśnione dlaczego Doktorantka skupiła się na prowadzeniu badań z wykorzystaniem wyłącznie dwóch próbek o bardzo zbliżonych parametrach cieplnych. Bardziej wartościowe wyniki można byłoby uzyskać stosując próbki o większym zróżnicowaniu cieplnym.
3. W pracy nie podano które z metod opisanych w publikacjach naukowych były analizowane i na jakiej podstawie wybrano metody do porównania. Nie zdefiniowano dokładnie parametrów a także kryteriów określających „najlepszą metodykę”.
4. Na str. 61 napisano, że łącznie analizie poddano 5 wariantów badań które schematycznie zaprezentowano w tabeli „8” W kolejnym etapie, na podstawie wyników badań tych metod wytypowano 2 metody do dalszych badań.

Uzasadnienie, że wyłącznie te 2 metody są dostępne na wszystkich symulatorach, nie jest wystarczające, gdyż można było porównać wybrane symulatory w danym zakresie. Aspekt ten nie jest wystarczająco wyjaśniony w rozprawie.

5. W podrozdziale 4.3.2. skupiono się na porównaniu ilości ciepła akumulowanego przez poszczególne urządzenia, natomiast w rozdziale 4.3.3. – na czasie działania związków zmiennofazowych w badanych próbkach. Tymczasem z przeglądu literatury wynikało, że ważnym parametrem, który był oceniany w badaniach z manekinem, była również izolacyjność cieplna (opór cieplny) odzieży. Zabrakło jednak analizy tego elementu w pracy.
6. W podrozdziale 4.3.2. przeprowadzono porównanie zależności ilości akumulowanego ciepła przez próbki badane w odniesieniu do maksymalnej mocy danego symulatora. Lepszym rozwiązaniem byłoby jednak odniesienie uzyskanych wartości do strat ciepła z „nagiego” symulatora w tych samych warunkach środowiskowych, ponieważ byłby to parametr lepiej uwzględniający różnice w konstrukcji danych symulatorów.
7. Nie do końca uzasadniono w pracy potrzebę przeprowadzenia badań z udziałem ochotników, szczególnie, że badania określone były jako studium przypadku. Nie wskazano również w jakim zakresie badania te były przyczynkiem do opracowania metody badawczej, która mogła by być zastosowana w pomiarach symulatorami cieplnymi.

Uwagi redakcyjne

1. W rozdziale 4 przedstawione są wyniki badań prowadzonych z wykorzystaniem wszystkich używanych w pomiarach symulatorów, jest to więc główna część rozprawy. Niestety w obecnym układzie trudno jest zidentyfikować najważniejsze elementy rozprawy a materiał jest skomplikowany w odbiorze. Warto było rozważyć podział wyników na dodatkowe podrozdziały w związku z prezentacją wyników uzyskanych przy pomocy poszczególnych urządzeń symulujących.
2. Rysunek 35 dobrze prezentuje efekt, jaki wywołało nałożenie materiału z PCM na urządzenie Torso. Dobrze by było inne tego typu wyniki przedstawić w podobny sposób.
3. Wyniki przedstawione w tabelach 23 i 24 łatwiej byłoby analizować gdyby były przedstawione na wykresie.

Ocena Końcowa

Mgr inż. Magdalena Młynarczyk trafnie dobrała temat pracy doktorskiej który wypełnia lukę w wiedzy na temat procedur stosowania materiałów zmiennofazowych w zastosowaniu do odzieży ochronnej. Wykazała umiejętność formułowania i badania problemów naukowych. Używała przy tym nowoczesnych urządzeń badawczych a także w sposób właściwy prowadziła pomiary i opracowywała wyniki. Doktorantka wykazała dobrą znajomość z zakresu wymiany ciepła i masy i swobodnie poruszała się w analizowaniu uzyskanych wyników badań. Osiągnięte wyniki zamieszczone w pracy mogą być podstawą do opracowania rozwiązań technicznych zastosowanych w praktyce.

Praca jest czytelna, styl i język techniczny dobry. Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Młynarczyk stanowi oryginalne i samodzielne rozwiązanie zagadnienia naukowego.

Wniosek końcowy

W związku z powyższym stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Magdaleny Młynarczyk spełnia warunki Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym, oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003r. wraz z późniejszymi zmianami.

Wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Magdaleny Młynarczyk do dalszych etapów przewodu doktorskiego i do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Młynarczyk', is written over a faint, light blue circular stamp or watermark.