

# ZASTOSOWANIE MATERIAŁÓW PRZEMIANY FAZOWEJ W ODDZIAŁY SPORTOWEJ

Edyta Marciniak, Weronika Trotzka

## 1. Wprowadzenie

Jedną z podstawowych funkcji odzieży jest ochrona organizmu ludzkiego przed wpływem klimatu oraz wspomaganie jego własnych funkcji termoregulacyjnych w różnych kombinacjach warunków środowiskowych i aktywności fizycznych. Odzież działa jako bariera dla transportu ciepła i pary wodnej między skórą a otoczeniem. Tą barierę tworzą warstwy materiałów odzieżowych oraz powietrze zawarte między tymi warstwami i w materiałach odzieżowych. Chroniąc organizm użytkownika przed ekstremalnym ciepłem lub zimnem, bariera ta jednocześnie hamuje utratę nadmiaru ciepła generowanego przez ten organizm do środowiska.

W przypadku odzieży zapewniającej ochronę przed złymi warunkami atmosferycznymi takimi jak: śnieg, deszcz, mżawka, wiatr, warstwa zewnętrzna jest wykonana z wodoszczelnego materiału odzieżowego. W wyniku zastosowania takiego materiału, nawet paroprzepuszczalnego, opór systemu odzieżowego dla transportu wilgoci i transportu ciepła powiększa się, co prowadzi do kumulacji ciepła w organizmie użytkownika odzieży. W konsekwencji następuje wzrost temperatury i wilgotności mikroklimatu odzieży oraz pojawia się odczucie dyskomfortu u użytkownika odzieży. Charakterystykę komfortu użytkowego odzieży możemy poprawić zwiększając jej zdolność buforowania ciepła w warunkach okresowych zmian aktywności fizycznej. Jednym ze sposobów zwiększenia zdolności buforowania ciepła jest inkorporacja materiału przemiany fazowej (PCM) do odzieży.



Rys.1 Spodnie termoaktywne firmy BRUBECK.



Rys.2 Koszulka damska X-Bionic Biber.

## 2. Przemiana fazowa- co to takiego?

Przemianą fazową nazywamy proces wywołany zmianą temperatury lub ciśnienia polegający na zmianie stanu skupienia(topnienie, parowanie), struktury krystalicznej (przemiana jednej odmiany polimorficznej w inną), bądź innych właściwości fizycznych. Substancje, które przechodzą proces przemiany fazowej są znane jako materiały przemiany fazowej.

Zgodnie z definicją, PCM jest materiałem, który absorbuje, magazynuje i uwalnia duże ilości energii w postaci ciepła utajonego, w ściśle określonym zakresie temperatury, nazywanym zakresem przemiany fazowej, podczas którego materiał zmienia fazę albo stan (ze stałego w ciekły albo z ciekłego w stały).W wyniku inkorporacji PCM do struktury włóknistej możliwe jest uzyskanie tekstyliów o właściwościach termoregulacyjnych tzn. tekstyliów, które pochłaniają lub uwalniają ciepło w zależności od zmiany warunków otoczenia.

## 3. Charakterystyka

W chwili obecnej w przemyśle tekstylnym jako PCM stosowane są wyłącznie alkany, czyli liniowe węglowodory nasycone, nazwane również parafinami.

Termiczne charakterystyki alkanów:

Nazwa	Wzór chemiczny	Temperatura topnienia	Temperatura krystalizacji	Entalpia
n-heksadekan	$C_{16}H_{34}$	18.2	16.2	237.05
n-heptadekan	$C_{17}H_{36}$	22.5	21.5	213.81
n-oktadekan	$C_{18}H_{38}$	28.2	25.4	244.02
n-nonadekan	$C_{19}H_{40}$	32.1	29.0	222.00
n-eikosan	$C_{20}H_{42}$	36.1	30.6	246.34
n-heneikosan	$C_{21}H_{44}$	40.5		199.86

#### 4. Mikroenkapsulacja

Aby zapobiec migrowaniu ciekłych alkanów we włóknistej strukturze, przed wprowadzeniem do tej struktury należy poddać je mikroenkapsulacji (mikrokapsułkowaniu). Mikroenkapsulacja polega na stworzeniu cienkiej otoczki wokół mikroskopowej ilości substancji aktywnej (cząsteczki stałej, kropli cieczy lub pęcherzyka gazu). Mikroenkapsulacja bywa stosowana w różnych celach, między innymi:

- zwiększenia trwałości różnych związków przez odizolowanie od czynników zewnętrznych np. wilgoci,
- wyeliminowania toksycznego działania niektórych substancji,
- uwalniania substancji czynnej np. leków, produktów kosmetycznych itp. w sposób kontrolowany albo adresowany,
- przeciwdziałanie interakcji danej substancji z innymi składnikami układu, która mogłaby doprowadzić do jej degradacji,
- zamaskowania smaku i zapachów różnych związków, zwłaszcza leków,
- przekształcenia cieczy w proszki, w celu ułatwienia mieszania,
- ograniczenia lotności i palności kapsułkowanych substancji,
- łatwego i bezpiecznego posługiwania się różnymi związkami chemicznymi.

#### 5. Makro- i mikrokapsułka

Wyróżniamy makro- i mikrokapsuły PCM. Makro PCM mają najczęściej wymiar rzędu 1-4 mm i stosowane są w odzieży noszonej blisko ciała (kamizelki w formie bielizny). Mikrokapsułki PCM mogą mieć średnicę od 0.5 do 1000  $\mu m$ . Mikrokapsułki PCM o średnicach od 1-10  $\mu m$  są wprowadzane do włókien w procesie przedzenia z roztworu. Większe mikrokapsułki powyżej (10-100  $\mu m$ ) mogą być inkorporowane do pianek lub powłok nanoszonych na tkaniny lub włókniny. Rdzeń mikrokapsułki stanowi zazwyczaj 60-85% objętości cząstki, natomiast grubość polimerycznej otoczki wynosi ok. 1  $\mu m$ . Mikrokapsułki PCM są najczęściej wytwarzane metodami chemicznymi albo koacerwacji albo polimeryzacji na granicy faz. Mikrokapsułki PCM stosowane są w materiałach tekstylnych takich jak: buty, pościel, kurtki, rękawiczki, poduszki w siedzeniach samochodowych i wózkach inwalidzkich, pianki, membrany, materiały budowlane i wojskowe.

Powinny być odporne na działania mechaniczne (np.: ścieranie, ścinanie, ciśnienie), a także na chemikalia. Materiał otoczki powinien dobrze przewodzić ciepło i mieć odpowiednią trwałość, aby znieść zmianę objętości, jakie mają miejsce podczas przemiany fazowej. W syntezie mikrokapsulek PCM jako materiał otoczki stosowane są kopolimery mocznikowo-formaldehadowe, melaminowo-formaldehadowe, mocznikowo-melami-nowoformaldehadowe, a także usieciowane poliamidy i poliuretany.

## 6. Metody uwalniania

Zawartość mikrokapsulek może być uwalniana różnymi metodami:

1. rozerwanie ścianki mikrokapsułki pod wpływem naprężeń mechanicznych, przy zastosowaniu nacisku zewnętrznego,
2. dyfuzja substancji stanowiącej rdzeń mikrokapsułki po degradacji ścianki, spowodowanej przez środki chemiczne lub enzymy przez czynniki zewnętrzne np.: temperaturę, poziom pH, światło,
3. przez ekstrakcję materiału rdzenia mikrokapsułki, przez umieszczenie w odpowiedniej cieczy (jeżeli rdzeń mikrokapsułki jest rozpuszczalny w wodzie jest otoczony przez wodoprzepuszczalną ściankę np. etylocelulozy zawartość mikrokapsułki może być wyekstrahowana przez wodę),
4. rozerwanie ścianki mikrokapsułki w wyniku spęcznienia substancji stanowiącej jej rdzeń.

Prędkość uwalniania substancji zawartej w mikrokapsułce może być regulowana przez:

- rodzaj polimeru, z którego utworzona jest ścianka,
- grubość ścianki,
- średnica mikrokapsułki.

Jeżeli mikrokapsułki są połączone ze strukturą włóknistą za pomocą środka wiążącego uwalnianie zawartości mikrokapsulek zależy nie tylko od parametrów mikrokapsułki ale również właściwości tego środka. W przypadku aplikowania mikrokapsulek do struktury włóknistej techniką powlekania prędkość uwalniania zależy od mechanicznych właściwości i bariery dyfuzyjnej powłoki, w której znajdują się mikrokapsułki.

## 7. Połączenie mikrokapsulek ze strukturą włóknistą

Wyróżniamy kilka technologii inkorporowania mikrokapsulek do wyrobów tekstylnych. Najczęstszym sposobem jest zdyspergowanie mikrokapsulek w środku wiążącym, a następnie aplikowanie tej dyspersji na tkaninę (włókninę lub dzianinę) różnymi technikami: napawania, powlekania, laminowania, drukowania, natryskiwania dyszowego.

Ujemną stroną użycia środka wiążącego jest możliwość pogorszenia właściwości użytkowych wyrobów. Aby zapewnić trwałe połączenie ze strukturą włóknistą, użyta ilość środka wiążącego musi być dostatecznie duża. Jednakże duża ilość środka wiążącego powoduje zwiększenie sztywności tkaniny, pogorszenie jej chwytu, zmniejszenie przepuszczalności powietrza i przepuszczalności pary wodnej, a także zmniejszenie oporu termicznego. Środek wiążący może także zakłócać kontrolowane uwalnianie substancji aktywnej.

Pokryte środkiem wiążącym ścianki mikrokapsulek mogą stawiać zbyt duży opór przy rozrywaniu. Warstwa środka wiążącego może także przeszkadzać w uwalnianiu substancji aktywnej z mikrokapsułki po rozerwaniu ścianki.

Niekiedy stosowany jest sposób połączenia mikrokapsulek z powierzchnią włókna analogiczny do połączenia włókno-barwnik reaktywny. W celu realizowania takiego połączenia polimer z którego utworzona jest otoczka, musi mieć grupy reaktywne zdolne do utworzenia wiązań kowalencyjnych z grupami funkcyjnymi polimeru włókna (np. z grupą hydroksylową w przypadku włókien celulozowych). Taki sposób połączenia mikrokapsulek ze strukturą włóknistą pozwala bardziej skutecznie kontrolować uwalnianie substancji aktywnej z wyrobu włókienniczego. Mikrokapsułki uzyskane w wyniku polikondensacji na granicy faz są szczepione przez wiązanie chemiczne po zmodyfikowaniu powierzchni otoczki. Szczepienie może być realizowane na tekstylnych włóknach chemicznych polimerów naturalnych i chemicznych. Połączenia mikrokapsulek z wyrobem tekstylnym pozostaje trwałe nawet po 20 praniach. Inna metoda inkorporacji mikrokapsulek do struktury włóknistej polega na wprowadzeniu mikrokapsulek do matrycy polimeru, z którego formowane jest włókno.

## 8. Podstawowe formy materiałów PCM oraz ich przykładowe zastosowania

Granulat – suchy, trwały produkt o różnych rozmiarach ziarna oraz różnej temperaturze topnienia, zawierający 35% wag. PCM w formie związanej dzięki czemu utrzymuje swoją makroskopową stałą formę podczas zmiany fazowej i w formie płynnej nie wycieka z granulatu. Granulat może wypełniać każdą geometryczną przestrzeń.

Znajduje zastosowanie w materiałach budowlanych, w elektrycznym i wodnym ogrzewaniu podłogowym, w transporcie żywności.

Płyty – PCM jest związany z 2-go rzędową strukturą wspomagającą np. drewnianą płytą, sklejką. Specjalny mechanizm powoduje, że PCM nie wycieka poza płytę. Zawartość 65% w płycie zapewnia wysoką zdolność magazynowania ciepła. Płyty są cienkie i lekkie. Temperatura topnienia w granicach od 54-100 °C. Znajdują zastosowanie w transporcie żywności.

Proszek – jest mieszanką PCM w ilości ok. 60 % a 40% - stanowi silikat- naturalny minerał. Proszek pozostaje miękki i sypki w każdej temperaturze. Temp. Topnienia: -3 do 80 °C. Stosowany w materiałach do terapii medycznej, opakowań termicznych oraz tekstyliów.

## 9. Włókna outlast

Obecnie w skali przemysłowej wytwarzane jest jedynie włókno akrylowe z mikrokapsułkami PCM o nazwie handlowej Outlast, które może być przetwarzane na przędze, tkaniny, dzianiny i włókniny przy użyciu tradycyjnych technik włókienniczych.

Najcieńsze dostępne włókno Outlast ma masę liniową 2.2 dtex, zaś masowy udział mikrokapsulek PCM nie przekracza 10 %. Przekroczenie tej granicy powoduje pogorszenie mechanicznych właściwości włókna. Ze względu na małą zawartość mikrokapsulek we włóknach ich pojemność cieplna jest umiarkowana, około 8-12 J/g.

Włókna te pozwoliły na stworzenie dzianiny, która w aktywny sposób umożliwia regulację temp. ciała poprzez zdolność magazynowania i oddawania ciepła w zależności od warunków zewnętrznych. Dla odpowiedniejszej ochrony ciała przed wpływem niekorzystnych warunków zewnętrznych, czy to na płaszczyźnie sportowo- wyczynowej (wspinaczka wysokogórska, szybownictwo, skoki spadochronowe itp. sporty ekstremalne) czy też na gruncie ochrony zawodowej (ratownictwo, straż pożarna, hutnictwo itp.).

Stosując tego typu materiały otrzymujemy odzież posiadającą nastp. typy korzyści:

- chłodzenia – dzięki absorpcji nadmiaru ciepła z organizmu,
- termoizolacji – PCM imituje ciepło do wyrobu, stwarzając barierę termiczną, która redukuje strumień ciepła płynący od organizmu człowieka do otoczenia.
- Termoregulacji – PCM reguluje zmianę temperatury, tzn. utrzymuje temperaturę mikroklimatu na niemal stałym poziomie.

## 10. Literatura

1. W. Bendkowska: „Komfort termofizjologiczny odzieży sportowej zawierającej PCM”, Przegląd włókienniczy 3/2001.
2. A. Komisarczyk, A. Błasińska, I. Krucińska: „Nowe rozwiązania pakietów tekstylnych zapewniających wysoki komfort użytkowania odzieży”, Przegląd Włókienniczy 2/2002.
3. A. Błasińska, E. Wenerska: „Wykorzystywanie zjawiska przemiany fazowej dla komfortu fizjologicznego człowieka”.
4. W. Bendkowska: „Technologia mikroenkapsulacji we włókiennictwie” cz.I, Przegląd włókienniczy 3/2006.
5. W. Bendkowska: „Zastosowanie technologii mikroenkapsulacji we włókiennictwie”. cz. III, Przegląd -WOS 6/2006.