



Stres cieplny w miejscu pracy: nowe spojrzenie na komfort jako mierzalny czynnik wpływający na bezpieczeństwo

Jak nowe dane, metody testowania
i zmieniające się normy kształtują podejście
do oceny środków ochrony indywidualnej

tyvek.pl/apx



Wstęp

„Stres cieplny nie jest już wyłącznie kwestią komfortu — staje się coraz poważniejszym zagrożeniem dla bezpieczeństwa”

— mówi Chloé Caux-Wetherell,
menedżerka ds. marketingu w regionie EMEA
w DuPont Personal Protection.



Stres cieplny stanowi coraz poważniejsze zagrożenie w miejscu pracy. Wzrost średnich temperatur, częstsze fale upałów oraz wymagające fizycznie warunki pracy sprawiają, że pracownicy są coraz bardziej narażeni na przegrzanie podczas wykonywania codziennych obowiązków. W całej Europie znaczna część zatrudnionych deklaruje pracę w wysokich temperaturach, co pokazuje, że problem ten nie ma już charakteru niszowego, lecz coraz wyraźniej dotyczy szerokiej grupy pracowników¹.

Ponadto organy regulacyjne oraz eksperci w dziedzinie zdrowia kładą coraz większy nacisk na dobrostan pracowników. Kolejne kraje wprowadzają odpowiednie przepisy, a deklaracje dotyczące komfortu oferowanego przez produkt muszą coraz częściej być poparte danymi.

Stres cieplny nie ogranicza się do dyskomfortu — jego konsekwencje są znacznie poważniejsze. Gdy organizm nie radzi sobie z regulacją temperatury, rośnie obciążenie fizyczne, pogarsza się koncentracja, a zdolność podejmowania decyzji ulega osłabieniu. W środowiskach, w których bezpieczeństwo ma kluczowe znaczenie, może to prowadzić do błędów i nieprzestrzegania procedur. Osoby wykonujące pracę mogą nawet przedkładać wygodę nad ochronę, stosując niebezpieczne praktyki użytkowania odzieży, co znacząco zwiększa ryzyko².

Dlatego specjaliści ds. BHP stoją dziś przed złożonym wyzwaniem: jak skutecznie chronić zatrudnionych przed niebezpiecznymi czynnikami, a jednocześnie uwzględnić fizjologiczne skutki narażenia na wysoką temperaturę.

Zarządzanie stresem cieplnym obecnie koncentruje się przede wszystkim na kontroli warunków środowiskowych i organizacji pracy, a nie na środkach ochrony indywidualnej (ŚOI). Tymczasem odzież stosowana w miejscu pracy może w istotnym stopniu wpływać na to, jak organizm reaguje na ciepło³.

W niniejszym e-przewodniku wyjaśniamy, w jaki sposób komfort — rozumiany naukowo jako mierzalny parametr — staje się ważnym narzędziem w projektowaniu i ocenie odzieży ochronnej, przyczyniając się do poprawy zarówno bezpieczeństwa, jak i efektywności pracy.

1. Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy (EU-OSHA). Upał w pracy: zapobieganie chorobom i ochrona pracowników.

<https://osha.europa.eu/pl/highlights/heat-work-preventing-illness-and-protecting-workers>

2. Kjellstrom, T. et al. (2016). Impact of heat on labour productivity and occupational health and safety <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20007118/>

3. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). PPE Heat Burden. <https://www.cdc.gov/niosh/heat-stress/recommendations/ppe.html>

Spis treści



1. Czym jest stres cieplny i dlaczego wpływa na bezpieczeństwo?

„Stres cieplny nie tylko obniża komfort pracy, lecz także utrudnia jej bezpieczne wykonywanie”

— podkreśla Aldjia Begriche,
globalna menedżerka ds. technicznych
w DuPont Personal Protection.



Stres cieplny występuje wtedy, gdy organizm nie jest w stanie utrzymać stałej temperatury wewnętrznej. W normalnych warunkach termoregulacja odbywa się poprzez pocenie i parowanie. Gdy pot paruje ze skóry, odprowadza ciepło, pomagając w ten sposób utrzymać temperaturę ciała w bezpiecznym zakresie.

Jednak w gorącym środowisku — lub podczas noszenia odzieży ochronnej ograniczającej rozpraszanie ciepła — ten naturalny proces chłodzenia staje się mniej skuteczny. Ciepło zaczyna gromadzić się w organizmie, co zwiększa obciążenie fizjologiczne. Temperatura ciała wzrasta, tętno przyspiesza, a organizm stopniowo się odwadnia⁴. Z czasem może to prowadzić do wyczerpania cieplnego lub poważniejszych reakcji organizmu na wysoką temperaturę.

Co istotne, skutki nie ograniczają się jedynie do dyskomfortu fizycznego. Stres cieplny bezpośrednio wpływa na funkcje poznawcze. Badania pokazują, że u osób pracujących w wysokich temperaturach obserwuje się pogorszenie koncentracji, wydłużenie czasu reakcji oraz ograniczoną zdolność podejmowania decyzji. Zjawisko to wiąże się również ze spadkiem produktywności oraz zwiększonym prawdopodobieństwem wystąpienia błędów i wypadków⁵.

W środowiskach wysokiego ryzyka oznacza to realne zagrożenie dla bezpieczeństwa. Stres cieplny nie tylko utrudnia pracę — sprawia również, że staje się ona mniej bezpieczna.

Jak rozpoznać stres cieplny — 5 głównych objawów:

- ✓ zawroty głowy lub dezorientacja
- ✓ nadmierne pocenie się (lub jego brak)
- ✓ zmęczenie lub osłabienie
- ✓ nudności
- ✓ podwyższone tętno

Co zrobić: Natychmiast przerwać pracę, przejść do chłodniejszego miejsca, nawodnić się, a w razie potrzeby — bezpiecznie zdjąć środki ochrony indywidualnej. Jeśli objawy nie ustępują, należy niezwłocznie skonsultować się z lekarzem.

4. Health and Safety Executive (HSE). Symptoms of heat stress.

<https://www.hse.gov.uk/temperature/employer/heat-stress.htm#symptoms>

5. Kjellstrom, T. et al. (2016). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20007118/>

2. ŚOI: element problemu i rozwiązanie

„Kiedy środki ochrony indywidualnej nadmiernie nagrzewają ciało lub ograniczają swobodę ruchów, pracownicy mogą przedkładać wygodę nad ochronę, co stwarza poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa”

— mówi Aldjia Begriche.

W miejscu pracy stres cieplny można zazwyczaj kontrolować poprzez działania środowiskowe i organizacyjne, takie jak dostosowanie harmonogramu zmian, wydłużenie przerw na odpoczynek czy zachęcanie do odpowiedniego nawodnienia. Choć środki te są istotne, w większości przypadków łagodzą jedynie objawy, a nie przyczynę problemu.

Jednocześnie często niedoceniana pozostaje rola ŚOI. Są one niezbędne, aby chronić zatrudnionych przed zagrożeniami chemicznymi, biologicznymi i mechanicznymi, mogą jednak również zwiększać obciążenie cieplne. Odzież ochronna ogranicza przepływ powietrza, utrudnia odparowanie wilgoci i zatrzymuje ciepło przy ciele⁶, co prowadzi do nasilenia dyskomfortu i większego obciążenia fizjologicznego. Może to mieć poważne konsekwencje.

Gdy ŚOI są postrzegane jako niewygodne, użytkownicy skracają czas ich noszenia, nieprawidłowo modyfikują odzież lub zdejmują niektóre jej elementy, co osłabia poziom ochrony i zwiększa ryzyko.

Dlatego warto przemyśleć sposób projektowania i oceny odzieży ochronnej — zwłaszcza pod kątem oddychalności i komfortu cieplnego — tak aby wspierała termoregulację, zamiast ją utrudniać.

W konsekwencji konieczne jest bardziej naukowe i mierzalne podejście do zagadnienia komfortu.

6. NIOSH. <https://www.cdc.gov/niosh/heat-stress/recommendations/ppe.html>

3. Pomiar komfortu użytkowania ŚOI

„Komfort przestaje być subiektywnym odczuciem — staje się mierzalnym parametrem użytkowym.”

Tradycyjnie komfort użytkowania ŚOI oceniano subiektywnie — na podstawie opinii użytkowników, takich jak „za gorąco” czy „niewygodnie”. Choć tego typu informacje są wartościowe, nie stanowią spójnej ani porównywalnej podstawy oceny skuteczności ŚOI.

Postęp w materiałoznawstwie i rozwój metod badawczych umożliwiają dziś ilościową ocenę tego parametru przy użyciu obiektywnych wskaźników. Branża koncentruje się przede wszystkim na analizie tego, jak skutecznie dany materiał wspomaga wymianę ciepła i wilgoci — są to kluczowe czynniki pozwalające utrzymać równowagę termiczną.

Organy regulacyjne również coraz większą uwagę poświęcają ocenie oraz kontroli ryzyka związanego ze stresem cieplnym. W niektórych regionach, w tym regionie Europy, Bliskiego Wschodu i Afryki (EMEA), coraz częściej oczekuje się, że deklaracje dotyczące komfortu będą poparte mierzalnymi danymi i uznanymi normami badawczymi, takimi jak ISO 11092 (Tekstylna — Właściwości fizjologiczne — Pomiar oporu cieplnego i oporu pary wodnej w warunkach stanu ustalonego).

Metoda ta polega na badaniu materiału z wykorzystaniem tzw. „pocącej się zaizolowanej cieplnie płyty”. Do oceny współczynnika Ret* całego zestawu odzieży stosuje się manekin termiczny odwzorowujący sylwetkę człowieka, wyposażony w system symulacji pocenia oraz czujniki temperatury i/lub strumienia ciepła. Obecnie ASTM F2370 (2016) pozostaje jedyną normą uwzględniającą pomiar oporu parowania odzieży z użyciem pocącego się manekina.

Dzięki temu służby BHP mogą porównywać oddychalność różnych wyrobów i podejmować bardziej świadome decyzje. Innymi słowy, komfort przestaje być postrzegany jako subiektywne odczucie, a staje się mierzalnym parametrem użytkowym, który można opisać, przetestować i zweryfikować.

*Współczynnik oporu parowania

4. Co to znaczy, że ŚOI są „oddychające”?

Oddychalność jest kluczowym czynnikiem w zarządzaniu stresem cieplnym. W kontekście odzieży ochronnej oznacza zdolność materiału do odprowadzania ciepła i wilgoci, w szczególności pary wodnej powstającej podczas pocenia.

Gdy oddychalność jest niska, pot gromadzi się na skórze, a jego odparowanie jest ograniczone. Zmniejsza to zdolność organizmu do rozpraszania ciepła, zwiększając obciążenie termiczne oraz dyskomfort. Z kolei materiały o wysokiej oddychalności skuteczniej odprowadzają wilgoć, wspierając regulację temperatury ciała i ograniczając obciążenie fizjologiczne podczas dłuższego użytkowania.

Aby umożliwić obiektywne porównania, oddychalność ocenia się przy użyciu ujednoliconych metod laboratoryjnych. Jednym z kluczowych parametrów jest współczynnik Ret, który określa opór, jaki materiał stawia przenikaniu pary wodnej. W branży wykorzystuje się testy oparte na tym wskaźniku do klasyfikowania i porównywania właściwości wyrobów, w tym do identyfikowania materiałów o bardzo niskim oporze parowania jako „wyjątkowo oddychających”. Materiały tego typu charakteryzują się minimalnym oporem dla przenikania wilgoci, aktywnie wspierając termoregulację i ograniczając skutki stresu cieplnego.

Współczynnik Ret zasadniczo różni się od wskaźnika przepuszczalności powietrza — materiał może przepuszczać powietrze, a jednocześnie zatrzymywać parę wodną pod wpływem gradientów ciśnienia i temperatury.⁷

„Oddychalność decyduje o tym, jak skutecznie organizm może regulować ciepło — dlatego stanowi kluczowy czynnik w zarządzaniu stresem cieplnym.”

7. Adámek, K.; Havelka, A.; Kůs, Z.; Mazari, A. (2023) The Correlation between Air and Water Vapour Permeability of Textiles.

<https://doi.org/10.3390/coatings13010163>



4. CO TO ZNACZY, ŻE ŚOI SĄ „ODDYCHAJĄCE”?

Co ważne, klasyfikacja Ret pozwala służbom BHP porównywać oddychalność materiałów na podstawie mierzalnych parametrów. Jednak określenie tej właściwości to tylko część wyzwania. W odzieży przeciwchemicznej materiał musi bowiem zapewniać również niezawodną barierę ochronną oraz odpowiednią wytrzymałość.

W przeszłości zwiększenie oddychalności często wiązało się z obniżeniem poziomu ochrony, natomiast jej podniesienie ograniczało zdolność do odprowadzania ciepła i wilgoci.

Prowadzi to do fundamentalnego pytania, które stawiają sobie zarówno specjaliści ds. bezpieczeństwa, jak i producenci: **w jaki sposób można poprawić oddychalność bez pogorszenia skuteczności ochrony, jaką mają zapewniać ŚOI?**

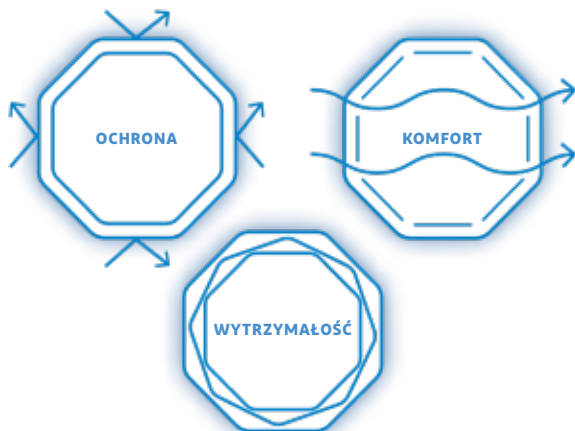
Odpowiedzią na to wyzwanie jest opracowanie nowej generacji ekstremalnie oddychających materiałów, które zachowują właściwości przeciwchemiczne i wytrzymałość w wymagających warunkach użytkowania.



5. Komfort jako pojęcie naukowe

„Prawdziwym wyzwaniem nie jest pomiar oddychalności, lecz jej osiągnięcie bez uszczerbku dla ochrony”

— mówi Chloé Caux-Wetherell.



Zaprojektowanie ekstremalnie oddychających materiałów chroniących przed substancjami chemicznymi stanowi istotny przełom. Postęp ten był możliwy dzięki lepszemu zrozumieniu stresu cieplnego jako procesu fizjologicznego oraz rozwojowi metod obiektywnego pomiaru komfortu i oddychalności.

Firma DuPont jest pionierem w tej dziedzinie — opracowała nową generację materiału Tyvek®, który łączy ekstremalną oddychalność z ochroną przed substancjami chemicznymi oraz wytrzymałością niezbędną w wymagających środowiskach pracy. Materiał Tyvek® APX™ stanowi odejście od tradycyjnego kompromisu między komfortem a ochroną, udowadniając, że oba te aspekty mogą być dziś osiągnane jednocześnie.

Do oceny komfortu zastosowano wieloskalowe podejście obejmujące trzy powiązane aspekty: właściwości materiału, konstrukcję odzieży oraz reakcję fizjologiczną użytkownika.

Właściwości te zostały naukowo zweryfikowane przez niezależne laboratorium Empa*, gdzie przeprowadzono wieloetapową ocenę — od modeli predykcyjnych po badania z udziałem ludzi. Celem było ujęcie komfortu nie jako subiektywnego odczucia, lecz jako reakcji fizjologicznej, którą można przewidzieć, zmierzyć i zweryfikować.

*Szwajcarskie Federalne Laboratoria Materiałoznawstwa i Technologii

5. KOMFORT JAKO POJĘCIE NAUKOWE

Właściwości materiału

W celu optymalizacji przenikania pary wodnej zastosowano zaawansowane rozwiązania z zakresu inżynierii materiałowej, przy jednoczesnym zachowaniu właściwości barierowych niezbędnych do zapewnienia ochrony. Instytut Hohensteina opracował klasyfikację materiałów według poziomu oddychalności na podstawie obiektywnych pomiarów laboratoryjnych, opartych głównie na współczynniku oporu parowania, powszechnie określanym jako Ret.

Współczynnik Ret określa opór, jaki materiał stawia odparowaniu potu z powierzchni ciała. Im niższa jego wartość, tym łatwiejsze odprowadzanie wilgoci, co przekłada się na wyższy komfort użytkowania.

Klasyfikacja Hohensteina obejmuje pięć poziomów — od „nieoddychających lub bardzo słabo oddychających” (Ret powyżej 30) do „wyjątkowo oddychających” (Ret poniżej 6).

Konstrukcja odzieży

Sposób, w jaki materiał jest przekształcany w ubranie — w tym jego konstrukcja, dopasowanie oraz rodzaj szwów — ma bezpośredni wpływ na właściwości termiczne. Firma DuPont ocenia te aspekty na podstawie testów z wykorzystaniem pocącego się manekina, symulujących wymianę ciepła między ciałem a otoczeniem. Pozwala to uzyskać szczegółowe dane dotyczące działania całego systemu, a nie wyłącznie samego materiału.

Reakcja fizjologiczna

Najważniejszym i końcowym poziomem oceny jest reakcja fizjologiczna użytkownika. Dane fizjologiczne pokazują, w jaki sposób organizm reaguje na stosowanie ŚOI w rzeczywistych, dynamicznych warunkach, odzwierciedlając zintegrowaną odpowiedź na bodźce termiczne, dotykowe i psychologiczne.

Wykorzystując modele predykcyjne termoregulacji, firma DuPont symulowała reakcje organizmu dla różnych kombinacji odzieży, poziomów aktywności i warunków środowiskowych. Symulacje te następnie zweryfikowano w kontrolowanych testach z udziałem użytkowników, podczas których w czasie rzeczywistym mierzono takie parametry, jak temperatura ciała, tętno i częstość oddechów.

Wyniki tej trójpoziomowej walidacji wykazały mierzalne zmniejszenie obciążenia fizjologicznego. Materiał Tyvek® APX™ charakteryzuje się ekstremalną oddychalnością, co przekłada się na wolniejszy wzrost temperatury wewnętrznej ciała, mniejsze obciążenie układu sercowo-naczyniowego oraz szybszą regenerację podczas odpoczynku. W niektórych przypadkach reakcje użytkowników są porównywalne z reakcjami obserwowanymi podczas noszenia odzieży codziennej.

Testy materiału Tyvek® APX™
przeprowadzone przez laboratorium Empa



Proces obejmujący zastosowanie zaawansowanej inżynierii materiałowej, a następnie pełną walidację reakcji fizjologicznej pokazuje, że komfort przestał być wyłącznie subiektywną cechą. Stanowi mierzalny, poparty dowodami parametr, który można optymalizować tak, aby zwiększać zarówno bezpieczeństwo, jak i funkcjonalność — bez uszczerbku dla ochrony i wytrzymałości.

Porównanie oddychalności i poziomu ochrony

Kombinezon
Tyvek® APX™ 400:



Bardzo niski
współczynnik
Ret



Wysoka
ochrona
przeciw-
chemiczna

Kurtka dżinsowa:



Wyższy
współczynnik
Ret



Niska
ochrona
przeciw-
chemiczna

Koszulka bawełniana:



Niższy
współczynnik
Ret



Niska
ochrona
przeciw-
chemiczna

6. Wnioski dla służb BHP

„Lepsze dane pozwalają podejmować trafniejsze decyzje dotyczące ŚOI, a w efekcie tworzyć bezpieczniejsze środowisko pracy.”

Dla specjalistów ds. BHP wnioski płynące z najnowszych osiągnięć nauki mają kluczowe znaczenie. W obliczu rosnącej skali problemu stresu cieplnego dobór ŚOI nie może już opierać się na subiektywnej ocenie ani na kompromisie między istotnymi parametrami odzieży. Dziś decyzje mogą być podejmowane na podstawie mierzalnych, popartych dowodami wskaźników.

Parametry takie jak Ret oraz powszechnie stosowane klasyfikacje oddychalności umożliwiają bardziej obiektywną ocenę działania odzieży przeciwchemicznej w praktyce. Uwzględniając zdolność odzieży do odprowadzania ciepła i wilgoci oraz jej wpływ na stan fizjologiczny użytkownika, specjaliści ds. bezpieczeństwa mogą podejmować bardziej świadome decyzje, które bezpośrednio przekładają się na bezpieczeństwo, wydajność i przestrzeganie procedur.

Równocześnie zmieniło się podejście do komfortu. Zamiast traktować go jako cechę drugorzędną lub opcjonalną, uznaje się go dziś za czynnik bezpośrednio wpływający na zdolność do bezpiecznego wykonywania pracy w czasie.

Co istotne, dobór ŚOI nie musi już oznaczać kompromisu. Postęp w materiałoznawstwie pokazuje, że odzież o bardzo wysokiej oddychalności może zapewniać jednocześnie wysoki poziom ochrony i lepsze warunki termiczne.

Kombinezon Tyvek® APX™ 400 stanowi przykład nowej generacji odzieży przeciwchemicznej. Uzyskanie klasy „ekstremalnie oddychającej” przy jednoczesnym zachowaniu niezbędnej wytrzymałości i właściwości ochronnych potwierdza, że komfort i ochrona mogą iść w parze.

Wraz z dalszym rozwojem wiedzy możliwość definiowania wymagań dla ŚOI w oparciu o mierzalne parametry komfortu będzie odgrywać coraz większą rolę w ograniczaniu stresu cieplnego i tworzeniu bezpieczniejszych warunków pracy.

The logo features the word "DUPONT" in a white, sans-serif font, enclosed within a white oval. Below this, the word "Tyvek" is written in a large, bold, white sans-serif font, followed by "APX" in a slightly smaller, bold, white sans-serif font. A small registered trademark symbol (®) is positioned between "Tyvek" and "APX".

DUPONT Tyvek® APX™

Niniejsze informacje są oparte na danych technicznych uznawanych przez firmę DuPont za rzetelne i mogą być weryfikowane w miarę uzyskiwania nowej wiedzy i doświadczenia. Ustalenie poziomu toksyczności i prawidłowy dobór środków ochrony indywidualnej jest obowiązkiem użytkownika. Informacje zawarte w niniejszym dokumencie odzwierciedlają parametry materiałów, a nie kompletnej odzieży, uzyskane w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych. Niniejsze informacje są przeznaczone dla osób posiadających kompetencje techniczne pozwalające im według własnego uznania i na własne ryzyko dokonać oceny pod kątem warunków użytkowania odzieży. Osoba zamierzająca wykorzystać te informacje powinna najpierw sprawdzić, czy odzież została wybrana prawidłowo do zastosowania. Aby nie narazić się na działanie substancji chemicznej, użytkownik powinien zaprzestać użytkowania odzieży, jeżeli materiał, z którego jest ona wykonana, uległ rozerwaniu, przetarciu lub przebicciu. Warunki użytkowania produktów są poza naszą kontrolą, DLATEGO FIRMA DUPONT DE NEMOURS, INC. I JEJ PODMIOTY STOWARZYSZONE NIE UDZIELAJĄ ŻADNYCH GWARANCJI (WYRAŻNYCH ANI DOROZUMIANYCH), W TYM GWARANCJI PRZYDATNOŚCI HANDLOWEJ ANI PRZYDATNOŚCI DO ZASTOSOWANIA, I NIE PONOSZĄ ŻADNEJ ODPOWIEDZIALNOŚCI W ZWIĄZKU Z JAKIMKOLWIEK KORZYSTANIEM Z TYCH PRODUKTÓW I INFORMACJI. Informacje te nie powinny być interpretowane jako udzielenie licencji ani zalecenie naruszenia jakichkolwiek praw patentowych lub informacji technicznych firmy DuPont bądź innych podmiotów w odniesieniu do jakiegokolwiek materiału lub jego użytkowania.

© 2026 DuPont. Wszystkie prawa zastrzeżone. DuPont™, owalne logo DuPont oraz wszystkie znaki towarowe i usługowe oznaczone symbolem ™, SM lub ® są własnością podmiotów stowarzyszonych DuPont de Nemours, Inc., o ile nie zaznaczono inaczej.