

dr JAN MARIA KOWALSKI  
mgr inż. ANNA MAZIK  
mgr inż. MAŁGORZATA WRÓBLEWSKA  
mgr inż. GRZEGORZ BRODOWSKI

Instytut Przemysłu Organicznego  
Zakład Bezpieczeństwa Chemicznego i Elektryczności Statycznej, Warszawa  
Kontakt: mazik@ipo.waw.pl

# Ocena wpływu wilgotności powietrza na utrzymywanie stanu naelektryzowania przez tkaniny przeznaczone na odzież ochronną\*

Fot. Uschi Hering /Bigstockphoto



W artykule opisano wyniki badań wpływu wilgotności powietrza oraz zawartości wody w wybranych materiałach włókienniczych na parametry elektryczne (rezystancja, rezystywność i przenikalność elektryczna oraz czas relaksacji ładunku elektrostatycznego) charakteryzujące ich zdolność do utrzymywania stanu naelektryzowania, w aspekcie wymagań ochrony przed elektrycznością statyczną. Wykazano, że podstawowy asortyment wyrobów tekstylnych stosowanych w odzieży ochronnej (flanela, drelch, wełna, tkanina z włókna poliestrowego) w rezultacie ich kondycjonowania w temperaturze 23 °C oraz przy wilgotności względnej powietrza zmienianej w przedziale (25-80)% osiąga stan równowagi z zaabsorbowaną wodą w czasie nie dłuższym niż 10 h. Maksymalna zmiana (wzrost) rezystywności badanych materiałów przy przejściu od stanu suchego do stanu równowagi w powietrzu o wilgotności 50% wynosi do 2 rzędów wielkości oraz w powietrzu o wilgotności 80% – do 5 rzędów wielkości.

Stwierdzono, że jako minimalny czas – klimatyzacji / kondycjonowania określonego typu materiałów włókienniczych można skrócić do 12 h, w przeciwieństwie do 48 h wymaganych w wielu normach (np. PN-EN 1149-1).

Znajomość zakresu wpływu wilgotności powietrza na zmianę rezystywności materiału włókienniczego umożliwia dostosowanie kryteriów oceny odpowiednich właściwości wyrobu do stosunkowo łatwo osiągalnych w praktyce warunków klimatycznych ( $t = 23 \pm 2$  °C;  $\kappa = (50 \pm 5)$ %) i wyklucza potrzebę prowadzenia badań przy bardzo niskiej wilgotności powietrza (12%).

## Evaluation of the influence of air's humidity on the static charge decay ability of textiles used in protective garments

The paper presents the test results of the influence an air relative humidity (RH) and a suitable water contents in textile materials on their ability to maintain of the electrostatic charge. It was proved, that the basic range of textile products (denim, flannel, wool, polyester fabric) after conditioning at 23 °C and RH (25-80)% reaches the equilibrium state with the absorbed water in the time of no longer than 10 hours. The largest change (increase) of the electrical resistivity for the tested textiles amounts to the 3 magnitude orders passing from the dry state to the equilibrium state in 50 % RH.

It was found, that for the tested kind of textile materials, the 12 h time of the conditioning is entirely enough and the requirement of the considerably longer conditioning times, as in some standards, is groundless.

It was stated, that knowledge of the RH influence range on the resistivity of the textiles makes possible to adjust the assessment criteria of their anti-static properties for the easy reached in practice "standard"-RH conditions [ $t = (23 \pm 2)$  °C; RH (50 ± 5)%], which not require of expensive equipments and complicated procedures.

## Wstęp

Przepisy zawarte w wielu dokumentach normatywnych, w tym wprowadzone w naszym kraju w trybie obligatoryjnym [1, 2] dyrektywy Unii Europejskiej: nr 99/9/WE (ATEX) i nr 1999/92/WE (ATEX USERS) uznają wyładowanie elektrostatyczne za jedno z potencjalnych źródeł zapłonu atmosfer wybuchowych i nakładają w związku z tym obowiązek stosowania skutecznej ochrony przed elektrycznością statyczną w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Z dyrektywy 1999/92/WE (ATEX USERS) wynika m.in. potrzeba wyposażenia pracowników w środki ochrony indywidualnej, zwłaszcza – odzież ochronną, wykonane z materiałów spełniających odpowiednie wymagania.

Wymagania ochrony przed elektrycznością statyczną określone zostały w polskich normach serii: PN-E-05200÷PN-E-05205, PN-EN 1149-(1÷5) oraz PN-EN-61340-x-x [2-17]. Normy te przytaczają zarazem procedury oceny antyelektrostatycznych właściwości materiałów przeznaczonych na odzież ochronną [6, 10-12, 14].

Parametrami (wielkościami fizycznymi) decydującymi o zdolności materiału do elektryzacji są m.in.: jego rezystywność skrośna  $\rho$ , (albo powierzchniowa –  $\rho_s$ ) i przenikalność elektryczna  $\epsilon$ . Wychodząc z uzasadnionego założenia, że największą zdolność do utrzymywania stanu naelektryzowania, wyrażoną czasem relaksacji ładunku elektrostatycznego:  $\tau = \epsilon \rho_v$  [1], wykazują materiały w stanie suchym, ze względu na relatywnie najmniejszą ich prze-

\* Jest to 1. część cyklu publikacji, poświęconych badaniom antyelektrostatycznych właściwości środków ochrony osobistej w aspekcie wymagań odnoszonych do warunków pracy w obecności atmosfery wybuchowej, które ukażą się na łamach „Bezpieczeństwa Pracy”.

wodność elektryczną, liczne normy (zwłaszcza serii PN-EN 1149 oraz serii PN-EN 61340 [10-16]) wymagają wykonywania odpowiednich badań przy ekstremalnie niskiej wilgotności powietrza  $\kappa = 12\%$  i/lub  $25\%$ , przy czym próbki materiałów powinny być uprzednio poddawane kondycjonowaniu w określonym klimacie, w czasie co najmniej 48 h.

Utrzymywanie tak niskiej wilgotności powietrza w trakcie badań, ze względu na potrzebę obecności w klimatyzowanym pomieszczeniu pomiarowym co najmniej 2 osób jest jednak technicznie trudno osiągalne, a zarazem kosztowne – nawet w przypadku, gdy można się posłużyć odpowiednią komorą klimatyzacyjną. Przyjęty czas kondycjonowania wydaje się również zbyt długi, co podwyższa koszty i przedłuża okres wykonywania badań.

### Cel pracy

Przytoczone na wstępie względy skłoniły do podjęcia w Instytucie Przemysłu Organicznego pracy [18-19], z zamiarem zweryfikowania konieczności utrzymywania określonych, „zaostrzonych” warunków klimatycznych podczas badania parametrów elektrycznych i potrzeby zachowania 48-godzinnej kondycjonowania wyrobów włókienniczych przed rozpoczęciem tych badań. Założonym celem pracy było w szczególności wyjaśnienie:

- w jakiej mierze warunki klimatyczne otoczenia wpływają na zdolność do elektryzacji różnego typu materiałów włókienniczych i na ile uzasadniona jest potrzeba wykonywania odpowiednich badań w ekstremalnych warunkach klimatycznych, zwłaszcza przy bardzo niskiej wilgotności powietrza rzędu kilkunastu procent, jak tego wymagają niektóre normy
- czy kondycjonowanie wyrobów tekstylnych, poprzedzające ocenę ich zdolności do elektryzacji, powinno istotnie trwać minimum 48 h (wymagania norm).

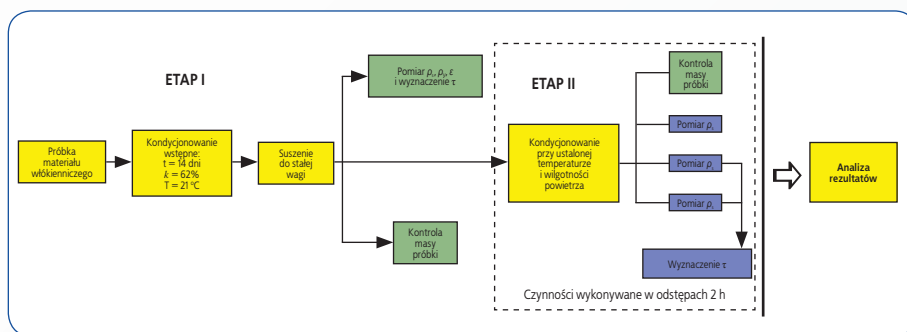
Sformułowanie odpowiednich wniosków umożliwiła określenie zakresu oddziaływania warunków klimatycznych na parametry (rezystywność i przenikalność elektryczna, czas relaksacji ładunku) decydujące o zdolności do elektryzacji rozpatrywanego wyrobu, wyrażonej w danym przypadku czasem utrzymywania przezeń stanu naelektryzowania.

### Procedura badawcza

Do badań wybrano 4 tkaniny, reprezentatywne pod względem składu surowcowego i faktury, o 100% udziale określonego typu włókna:

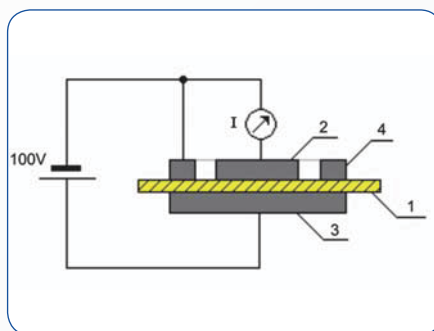
- bawełniana (flanela)
- bawełniana (drelich)
- wełniana
- syntetyczna (poliestrowa).

Z każdej tkaniny przygotowano próbki w postaci 6 kwadratowych wycinków o wy-



Rys. 1. Procedura badania wpływu wilgotności powietrza i czasu kondycjonowania na zdolność materiałów włókienniczych do utrzymywania stanu naelektryzowania

Fig. 1. Test procedure for evaluation of the RH and conditioning time influence on the chargeability of textiles



Rys. 2. Schemat ideowy układu trójelektrodowego do pomiaru rezystancji / rezystywności elektrycznej skrośnej  $R_v/\rho_v$  materiału włókienniczego; 1 – badany materiał, 2 – elektroda pomiarowa (środkowa), 3 – przeciwelektroda, 4 – elektroda ochronna (pierścieniowa)

Fig. 2. Three-electrode system for the volume resistance / resistivity measurements on the textile materials; 1 – tested material, 2 – measuring electrode, 3 – counter electrode, 4 – protective electrode

miarach dostosowanych odpowiednio do dokładności wagi analitycznej oraz do wymiarów używanych elektrod:

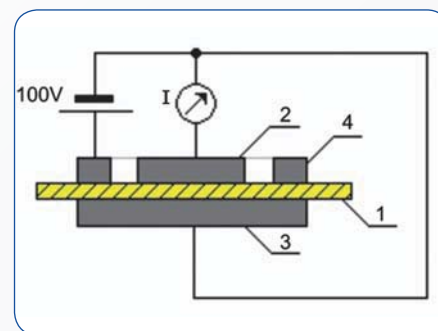
- do analizy wagowej – po 3 wycinki 25 mm x 25 mm
- do pomiaru parametrów elektrycznych – po 3 wycinki 100 mm x 100 mm.

Próbki poszczególnych wyrobów, po każdorazowym doprowadzeniu ich do stanu suchego (brak ubytku masy próbki poniżej 1 mg), klimatyzowano w temperaturze 23 °C, przy wilgotności względnej powietrza, kolejno: 25%, 40%, 50%, 60% i 80%. W odstępach dwugodzinnych kontrolowano masę próbek oraz mierzono parametry określające zdolność do elektryzacji danych wyrobów.

Przyjęty sposób postępowania przedstawiono na rys. 1.

Badania wykonywane w I etapie miały na celu ustalenie szybkości ubytku wody z materiałów włókienniczych poddawanych suszeniu w stałej temperaturze 60 °C, po uprzednim kilkunastodniowym, wstępnym kondycjonowaniu próbek w warunkach stosunkowo wysokiej wilgotności powietrza – ok. 60%.

Po wysuszeniu próbek do stałej masy (brak wyraźnego ubytku masy tkaniny, rzędu wartości



Rys. 3. Schemat ideowy układu trójelektrodowego do pomiaru rezystancji / rezystywności elektrycznej powierzchniowej  $R_s/\rho_s$  materiału włókienniczego; 1 – badany materiał, 2 – elektroda pomiarowa (środkowa), 3 – elektroda ochronna (ekranująca), 4 – elektroda pomiarowa (pierścieniowa)

Fig. 3. Three-electrode system for the surface resistance / resistivity measurements on the textile materials; 1 – tested material, 2 – measuring electrode, 3 – protective (shielding) electrode, 4 – measuring electrode

ułamka miligrama) wykonywano pomiary rezystywności elektrycznej skrośnej  $\rho_v$  i powierzchniowej  $\rho_s$  poszczególnych tkanin w układach przedstawionych na rys. 2. i rys. 3. Wykonano także pomiar przenikalności elektrycznej względnej  $\epsilon$ , w układzie umożliwiającym rejestrowanie zmiany pojemności elektrycznej kondensatora pod wpływem wprowadzonego między jego okładki materiału włókienniczego. Na podstawie rezultatów pomiarów wyznaczano czas relaksacji ładunku elektrostatycznego  $\tau$  z zależności:

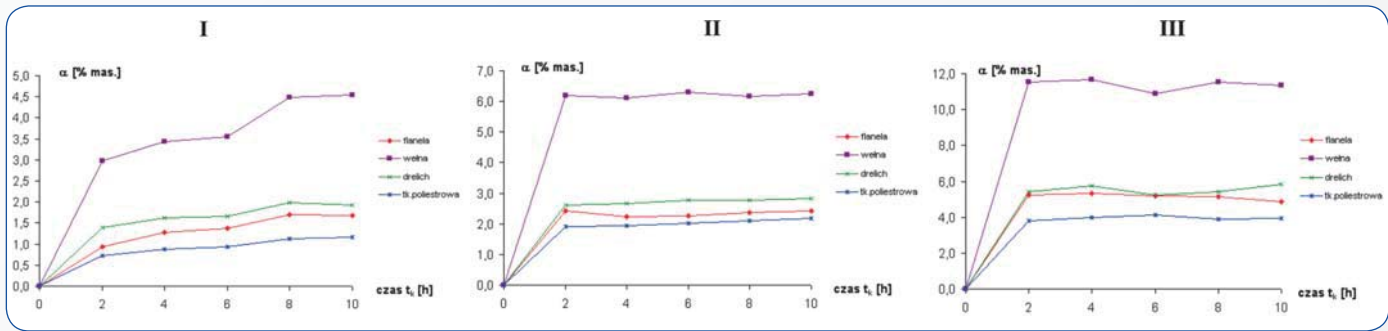
$$\tau = \epsilon_0 \epsilon_r \rho_v$$

( $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  F/m – stała dielektryczna próżni).

Uzyskane w ten sposób wyniki bazowe charakteryzują zdolność do utrzymywania ładunku elektrostatycznego przez materiał włókienniczy, będący w stanie suchym. Stanowią one odniesienie do porównania odpowiednich właściwości materiałów zawierających zaabsorbowaną wodę pod wpływem podwyższonej wilgotności powietrza.

Proces absorbowania wody przez 4 wytypowane tkaniny kontrolowano posługując się analizą wagową, w odstępach dwugodzinnych, do czasu nasycenia, tzn. ustalenia się stanu równowagi między zawartością wody w materiale





Rys. 4. Zmiana (przyrost) zawartości wody ( $\alpha$ ) w określonych materiałach tekstylnych w zależności od czasu ich kondycjonowania ( $t_c$ ) w temperaturze 23°C, przy wilgotności względnej powietrza: I – 25%, II – 50%, III – 80%

Fig. 4. The change (increase) of the water content ( $\alpha$ ) in the textile materials depending on the conditioning time ( $t_c$ ) at 23°C and RH: I – 25%, II – 50%, III – 80%

i wilgotnością otoczenia. Wykonywano zarazem analogiczne jak w etapie I pomiary rezystywności i przenikalności elektrycznej materiału oraz wyznaczano czasy relaksacji ładunku elektrostatycznego. Przeprowadzono 5 cykli takich badań, w warunkach ustalonej wilgotności względnej powietrza: 25%, 40%, 50%, 60% i 80%. W kolejnej fazie pracy rezultaty pomiarów poddane zostały analizie. Uzyskiwane dane i wynikające z nich zależności graficzne umożliwiają zweryfikowanie założeń przyjętych w tej pracy.

## Uzyskane wyniki

*Ocena wpływu wilgotności względnej powietrza i czasu kondycjonowania materiału tekstylnego na zawartość w nim wody i szybkość osiągnięcia stanu równowagi międzyfazowej (stan nasycenia materiału wodą)*

Zależności przedstawione na rys. 4. ilustrują stwierdzony w wyniku przeprowadzonych badań wpływ czasu kondycjonowania wybranych tkanin w warunkach najniższej przyjętej wilgotności względnej powietrza – 25%, wilgotności średniej – 50% oraz wilgotności najwyższej – 80% na zmianę (przyrost) zawartości wody  $\alpha$  w danej tkaninie, wyrażoną w % w stosunku do masy próbki suchej.

Z przebiegu zależności graficznych pokazanych na rys. 4. wynika, że:

1. Największą stosunkowo zdolność absorbowania wody ma użyta w badaniach tkanina wełniana.

2. Im wyższa wilgotność powietrza w otoczeniu, tym większą zawartość wody w tkaninie stwierdza się w stanie równowagi (maksymalne nasycenie materiału wodą).

3. Przy niskiej wilgotności względnej powietrza (25%) stan równowagi ustala się po ok. 8 godzinach, a przy wyższych wilgotnościach (50% i 80%) – już po ok. 2 godzinach kondycjonowania tkanin. Na tej podstawie można konkludować, że do badania zdolności tkanin do elektryzacji wystarczające jest przyjęcie (z pewnym zapasem) 10 godzin, jako minimalnego czasu ich kondycjonowania/klimatyzowania.

*Wpływ czasu kondycjonowania ( $t_c$ ) i zawartości wody ( $\alpha$ ) w materiale tekstylnym na parametry charakteryzujące jego zdolność do elektryzacji w zmiennych warunkach klimatycznych*

W kolejnym cyklu badań starano się wyjaśnić, w jaki sposób zmieniają się wartości parametrów materiałowych (rezystywność i przenikalność elektryczna, czas relaksacji ładunku elektrostatycznego), charakteryzujących zdolność tkaniny do utrzymywania stanu naelektryzowania przy krańcowych zawartościach w niej wody, odpowiadających stanowi suchemu i stanowi nasycenia przy da-

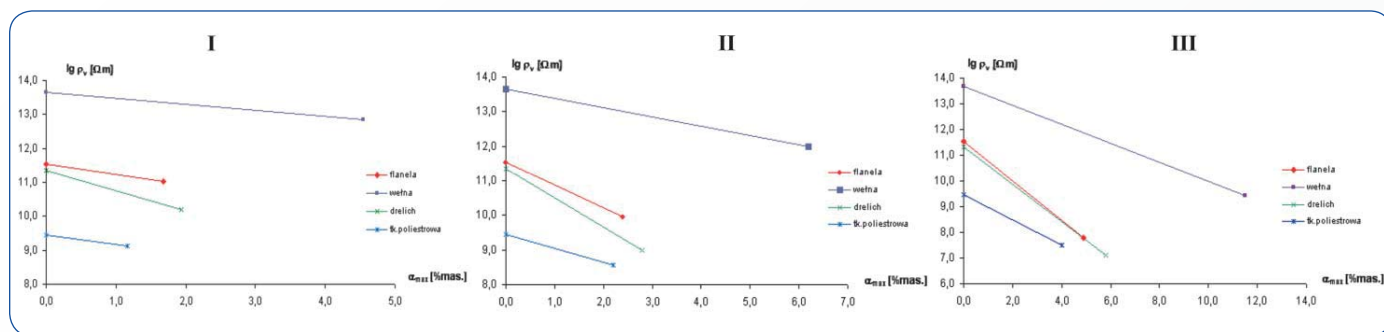
nej wilgotności powietrza (25%, 50% i 80%). Uzyskane wartości rezystywności elektrycznej powierzchniowej tkaniny  $\rho_s$  [18], rezystywności skrośnej tkaniny  $\rho_v$ , jej przenikalności elektrycznej względnej  $\epsilon_r$  i obliczonych czasów relaksacji ładunku  $\tau$  zestawiono w tabeli 1. Odpowiednie diagramy, ilustrujące zmianę rezystywności skrośnej  $\rho_v$  przedstawia rys. 5.

Otrzymane wyniki świadczą o tym, że podstawowy parametr decydujący o możliwości utrzymywania ładunku elektrostatycznego przez tkaninę – jej rezystywność skrośna  $\rho_v$  – zmniejsza się o 2-5 rzędów wielkości przy

Tabela 1. Wpływ zawartości wody w tkaninach (stan suchy i stan nasycenia wodą przy określonej wilgotności względnej powietrza) na ich rezystywność elektryczną powierzchniową ( $\rho_s$ ), skrośną ( $\rho_v$ ), przenikalność elektryczną względną ( $\epsilon_r$ ) i czas relaksacji ładunku elektrostatycznego ( $\tau$ )

Table 1. The influence of the water content in the fabrics (dry state and the water saturated state at defined air RH) on their volume electrical resistivity ( $\rho_v$ ), permittivity ( $\epsilon_r$ ) and static charge decay time ( $\tau$ )

Mierzona wielkość	Tkanina bawełniana (flanela)	Tkanina bawełniana (drelich)	Tkanina wełniana	Tkanina poliestrowa
<b>Stan suchy</b>				
$\rho_v$ [ $\Omega m$ ]	$3,5 \cdot 10^{11}$	$2,2 \cdot 10^{11}$	$4,6 \cdot 10^{13}$	$2,8 \cdot 10^9$
$\rho_s$ [ $\Omega$ ]	$4,8 \cdot 10^{13}$	$3,2 \cdot 10^{13}$	$7,6 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{12}$
$\epsilon_r$	1,3	1,4	1,5	1,8
$\tau$ [s]	4,1	2,7	614	0,04
<b>Stan nasycenia wodą przy wilgotności powietrza (%)</b>				
Czas kondycjonowania [godz.]	25%	8	8	10
	50%	6	6	6
	80%	2	6	2
Maksymalna zawartość wody w stanach nasycenia $\alpha$ [% mas.]	25%	1,7	2,0	4,6
	50%	2,5	2,8	6,2
	80%	5,2	5,8	10,9
$\rho_v$ [ $\Omega m$ ]	25%	$9,0 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{10}$	$5,3 \cdot 10^{12}$
	50%	$8,4 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^9$	$7,0 \cdot 10^{11}$
	80%	$4,5 \cdot 10^7$	$7,4 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^9$
$\rho_s$ [ $\Omega$ ]	25%	$4,5 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^{12}$	$2,1 \cdot 10^{14}$
	50%	$2,1 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{11}$	$3,8 \cdot 10^{13}$
	80%	$7,2 \cdot 10^8$	$4,8 \cdot 10^8$	$9,0 \cdot 10^{10}$
$\epsilon_r$	25%	1,4	1,6	1,6
	50%	1,4	1,7	1,6
	80%	1,8	2,3	1,8
$\tau$ [s]	25%	1,1	0,2	75
	50%	0,1	0,02	9,9
	80%	0,001	0,0002	0,04



Rys. 5. Wpływ krańcowych zawartości wody ( $\alpha$ ) w badanych tkaninach na ich rezystywność skrośną ( $\rho_v$ ) w warunkach kondycjonowania próbek do stanu równowagi międzyfazowej w temperaturze 23 °C, przy wilgotności względnej powietrza: 25% (I), 50% (II) i 80% (III)

Fig. 5. The influence of border values of the water content ( $\alpha$ ) in the textile materials depending on the conditioning time ( $t_c$ ) at 23 °C and RH: I – 25 %, II – 50 %, III – 80 %

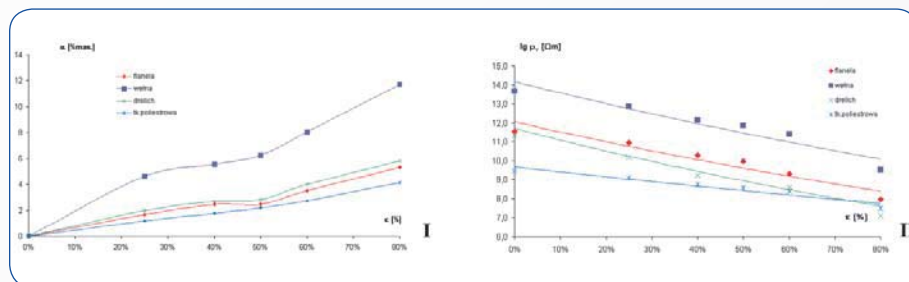
Tabela 2. Maksymalna zawartość wody zaabsorbowanej w materiale włókienniczym ( $\alpha$ ) w stanie równowagi – nasycenia, przy określonej wilgotności powietrza i odpowiadająca temu stanowi rezystywność elektryczna skrośna ( $\rho_v$ ) tkaniny

Table 2. The maximum content of the water ( $\alpha$ ) absorbed in the textile material at equilibrium state of saturation for defined RH and corresponded to this state the volume resistivity of the fabric ( $\rho_v$ .)

Warunki kondycjonowania tkanin: Wilgotność względna powietrza [%]	Flanela		Wełna		Drellich		Tkanina poliestrowa	
	$\alpha$ [% mas.]	$\rho_v$ [ $\Omega \cdot m$ ]	$\alpha$ [% mas.]	$\rho_v$ [ $\Omega \cdot m$ ]	$\alpha$ [% mas.]	$\rho_v$ [ $\Omega \cdot m$ ]	$\alpha$ [% mas.]	$\rho_v$ [ $\Omega \cdot m$ ]
-	-0	$3,5 \cdot 10^{11}$	-0	$4,6 \cdot 10^{13}$	-0	$2,2 \cdot 10^{11}$	-0	$2,8 \cdot 10^9$
25	1,7	$9,0 \cdot 10^{10}$	4,6	$5,3 \cdot 10^{12}$	2,0	$1,5 \cdot 10^{10}$	1,2	$1,3 \cdot 10^9$
40	2,5	$2,0 \cdot 10^{10}$	5,5	$1,4 \cdot 10^{12}$	2,7	$1,7 \cdot 10^9$	1,8	$5,4 \cdot 10^8$
50	2,5	$8,4 \cdot 10^9$	6,2	$7,0 \cdot 10^{11}$	2,8	$1,2 \cdot 10^9$	2,2	$3,9 \cdot 10^8$
60	3,5	$2,1 \cdot 10^9$	8,1	$2,5 \cdot 10^{11}$	4,0	$3,8 \cdot 10^8$	2,8	$2,4 \cdot 10^8$
80	5,2	$4,5 \cdot 10^7$	10,9	$2,4 \cdot 10^9$	5,8	$7,4 \cdot 10^6$	3,8	$2,7 \cdot 10^7$

ziomu dopuszczalnego – przy wilgotnościach wyższych (> 50%÷60%). Odpowiednie kryteria oceny stanowią wymagania najwyższych dopuszczalnych wartości parametrów  $\rho_{st}$ ,  $\rho_v$  i  $\tau$ , podane m.in. w polskich normach serii PN-E-05200÷PN-E-05205 [3-8].

Już pobieżny przegląd wyników tej pracy dowodzi słuszności przyjętych na jej wstępie tez. Z uogólnionych danych wynika, że czas kondycjonowania materiałów tekstylnych, określony w normach dotyczących ochrony przed elektrycznością statyczną – serii PN-EN 1149 i PN-EN 61340 – mógłby zostać wydatnie skrócony, a warunki klimatyczne wstępnego kondycjonowania wyrobów i w czasie prowadzenia badań nie musiałyby być tak ostre, jak tego obecnie wymagają normy.



Rys. 6. Zależność maksymalnej zawartości wody ( $\alpha$ ) w materiale włókienniczym od wilgotności względnej powietrza (I) oraz wywołane w efekcie tego zmniejszenie rezystywności skrośnej ( $\rho_v$ ) danej tkaniny (II)

Fig. 6. The dependence of the maximum water content ( $\alpha$ ) in the textile material on the RH (I) and decreasing of its volume resistivity ( $\rho_v$ ) caused by RH increase (II)

przejściu od stanu suchego do pełnego nasycenia wodą tkaniny w warunkach równowagi międzyfazowej, przy wilgotności powietrza 80%. Największą stosunkową zmianę rezystywności wykazuje drellich, najmniejszą zaś – tkanina poliestrowa. Zmiana (zmniejszenie) rezystywności skrośnej danych tkanin przy przejściu od stanu suchego do stanu nasycenia wodą w klimacie odniesienia (temperatura powietrza  $t = 23 \pm 2$  °C, wilgotność względna powietrza  $\kappa = (50 \pm 5)\%$ , wg PN-ISO 554:1996 i PN-EN 60212:2011) jest niewielka w stosunku do oczekiwań i wynosi do dwóch rzędów wielkości, a w stosunku do 25% – zaledwie 1 rząd.

W tabeli 2. zestawiono dane pokazujące, w jakiej mierze zmiana wilgotności względnej powietrza w granicach 25-80% wpływa

na wzrost zawartości wody w badanych tkaninach oraz towarzyszące temu wzrostowi adekwatne zmniejszenie ich rezystywności elektrycznej (wzrost przewodności elektrycznej), co w efekcie wywołuje szybszy zanik stanu naelektryzowania. Odpowiednie zależności ilustruje rys. 6.

Rezultaty przeprowadzonych badań świadczą o tym, że w przedziale wilgotności względnych powietrza panujących w zmieniających warunkach klimatycznych w ciągu roku kalendarzowego, zdolność do elektryzacji wybranych tkanin, reprezentatywnych dla najczęściej używanej odzieży ochronnej, zmienia się w dość rozległych granicach – od poziomu niedopuszczalnego dla stref zagrożenia wybuchem – przy niskiej wilgotności, do po-

## Wnioski

Z rezultatów przeprowadzonych badań wynika, że:

1. Minimalny czas kondycjonowania/klimatyzowania – 48 h, wymagany w wielu normach zawierających procedury oceny elektrostatycznych właściwości materiałów i wyrobów włókienniczych, jest zbyt długi. Wpływa to na wydłużenie terminów odpowiednich badań oraz zwiększenie kosztów ich realizacji. W świetle wyników przeprowadzonych badań, minimalny czas kondycjonowania wyrobów włókienniczych może zostać skrócony nawet do 12 h (zamiast czasu normatywnego – 48 h).

2. Znajomość faktu, że zmniejszenie rezystywności elektrycznej materiału badanych, reprezentatywnych wyrobów włókienniczych, przy przejściu od stanu suchego do stanu równowagi przy wilgotności względnej powietrza 50%, nie przekracza 2 rzędów wielkości, pozwala na konstatację, iż nie ma potrzeby kondycjonowania/klimatyzacji tego typu materiałów i wyrobów w wymaganej niekiedy ekstremalnie niskiej wilgotności powietrza 12% i/lub 25%. Warunki takie są w praktyce stosunkowo trudno osiągalne i wymagają stosowania kosztownych, złożonych rozwiązań technicznych. Wydaje się, że wystarczające jest wykonywanie badań w warunkach klimatu:



$t = (23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ,  $\kappa = (50 \pm 5)\%$ . Jeżeli na przykład warunkiem koniecznym jest spełnienie w klimacie suchym, przy wilgotności powietrza 25%, wymagania rezystywności elektrycznej powierzchniowej  $\rho_s \leq 2,5 \cdot 10^9 \Omega$  (według PN-EN 1149-5:2009), to w warunkach klimatu  $t = (23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ,  $\kappa = (50 \pm 5)\%$  odpowiednie wymaganie mogłoby zostać „złagodzone”, gdyż w określonym przedziale wilgotności powietrza maksymalna zmiana rezystywności powierzchniowej materiałów włókienniczych obejmuje najwyżej 2 rzędy wielkości [18].

## Podsumowanie

Rezultaty badań opisanych w 1. części cyklu publikacji poświęconych badaniom antyelektrostatycznych właściwości środków ochrony osobistej w aspekcie wymagań odnoszonych do warunków pracy w obecności atmosfery wybuchowej wykazały, że istnieje możliwość znacznego skrócenia czasu i uproszczenia procedur prowadzenia tych badań, a dzięki temu – zmniejszenia ich kosztów. Wyniki badań mogą zarazem stanowić przyczynek do podejmowania działań zmierzających do wprowadzenia odpowiednich korekt w dokumentach normalizacyjnych, dotyczących metod badania rezystancji elektrycznej środków ochrony osobistej pracowników.

W 2. części cyklu zostaną omówione kryteria oceny stanu zagrożenia wywołanego elektryzacją środków ochrony osobistej pracowników w świetle wymagań zawartych w wybranych dokumentach normatywnych, a w części 3. – stosowane obecnie procedury

badania antyelektrostatycznych właściwości środków ochrony osobistej, przeznaczonych do stosowania w strefach zagrożenia wybuchem.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń i systemów przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. DzU nr 263, poz. 2203, 2005 r.
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej. DzU nr 138, poz. 931, 2010 r.
- [3] PN-E-05200:1992 Ochrona przed elektrycznością statyczną – Terminologia
- [4] PN-E-05201:1992 Ochrona przed elektrycznością statyczną – Metody oceny zagrożeń wywołanych elektryzacją materiałów dielektrycznych stałych – Metody oceny zagrożenia pożarowego i/lub wybuchowego
- [5] PN-E-05202:1992 Ochrona przed elektrycznością statyczną – Bezpieczeństwo pożarowe i/lub wybuchowe – Wymagania ogólne
- [6] PN-E-05203:1992 Ochrona przed elektrycznością statyczną – Materiały i wyroby stosowane w obiektach oraz strefach zagrożonych wybuchem – Metody badania oporu elektrycznego właściwego i oporu upływu
- [7] PN-E-05204:1994 Ochrona przed elektrycznością statyczną – Ochrona obiektów, instalacji i urządzeń – Wymagania
- [8] PN-E-05205:1997 Ochrona przed elektrycznością statyczną – Ochrona przed elektrycznością statyczną w produkcji i stosowaniu materiałów wybuchowych – Wymagania
- [9] PN-E-05208:2002 Elektryczność statyczna – Metody pomiaru – Pomiar zdolności do elektryzacji
- [10] PN-EN 1149-1: 2008 Odzież ochronna – Właściwości elektrostatyczne – Cz. 1: Metoda badania rezystywności powierzchniowej
- [11] PN-EN 1149-2:1999 Odzież ochronna – Właściwości elektrostatyczne – Cz. 2: Metoda badania rezystancji skróśnej

[12] PN-EN 1149-3:2007 Odzież ochronna – Właściwości elektrostatyczne – Cz. 3: Metody badań do pomiaru zaniku ładunku

[13] PN-EN 1149-5:2009 Odzież ochronna – Właściwości elektrostatyczne – Cz. 5: Wymagania materiałowe i konstrukcyjne

[14] PN-EN 61340-2-3:2002 Elektryczność statyczna – Cz. 2-3: Metody badań stosowane do wyznaczania rezystancji i rezystywności płaskich materiałów stałych, używanych do zapobiegania gromadzeniu się ładunku elektrostatycznego

[15] PN-EN 61340-4-1:2006 Elektryczność statyczna – Cz. 4-1: Znormalizowane metody badań do określonych zastosowań – Rezystancja elektryczna wykładzin podłogowych i gotowych podłóg

[16] PN-EN 61340-4-3:2003 Elektryczność statyczna – Cz. 4-3: Znormalizowane metody badań do określonych zastosowań – Obuwie

[17] PN-EN 61340-4-5:2006 Elektryczność statyczna – Cz. 4-5: Znormalizowane metody badań do określonych zastosowań – Metody oceny skuteczności ochrony przed elektrycznością statyczną, zapewnianej przez obuwie i podłogę w układzie z udziałem człowieka

[18] Kowalski J.M., Mazik A., Wróblewska M., Brodowski G. *Ocena wpływu wilgotności powietrza oraz zawartości wody w tkaninach na ich zdolność do utrzymywania stanu naelektryzowania, w aspekcie wymagań ochrony przed elektrycznością statyczną*. Sprawozdanie IPO nr EMC 060700012, 2010 r. (praca niepublikowana)

[19] Kowalski J.M., Wróblewska M. *Premises for Practical Evaluation of the Antielectrostatic Properties of Protective Garments*. "FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe", 2006, Vol. 14, No. 5 (59)

*Praca pt. „Ocena wpływu wilgotności powietrza oraz zawartości wody w tkaninach na ich zdolność do utrzymywania stanu naelektryzowania w aspekcie wymagań ochrony przed elektrycznością statyczną” została zrealizowana w Instytucie Przemysłu Organicznego w Warszawie jako działalność statutowa na podstawie Decyzji Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr 429/E-142/S/2010. Nr EMC 060700012*



## Superhełmy ochronne

28 maja 2013 r. w Zakładzie Ochron Osobistych CIOP-PIB odbyło się seminarium na temat wpływu temperatury stosowania na skuteczność pochłaniania energii uderzenia przez hełmy ochronne. Przedstawiono także metody badania i wyniki. Uczestnikom spotkania – głównym krajowym producentom hełmów ochronnych (Kaliskie Zakłady Przemysłu Terenowego w Kaliszu Sp. z o.o., Zakład Tworzyw Sztucznych Metalplast Kalisz Sp. z o.o., «HUBIX» mgr inż. Jerzy Nowikow, Przedsiębiorstwo Sprzętu Ochronnego MASKPOL S.A.) pracownicy Zakładu Ochron Osobistych CIOP-PIB zaprezentowali – opracowaną w Instytucie – nową metodę badania i stanowiska do określenia skuteczności pochłaniania energii uderzenia poruszającego się obiektu przez hełmy ochronne.

Metoda ta opiera się na numerycznym obliczaniu energii pochłanianej przez hełm na podstawie przebiegów czasowych działającej na niego siły oraz deformacji skorupy i więźby. Deformacja hełmu podczas uderzenia jest mierzona za pomocą szybkiej kamery cyfrowej wyposażonej w specjalistyczne oprogramowanie przeznaczone do śledzenia i przetwarzania na postać cyfrową ruchu wybranych obiektów. Przedstawiono również wariant metody,

który umożliwia niezależne określenie energii pochłanianej przez skorupę hełmu oraz przez jego więźbę. Informacje dotyczące nowych możliwości badawczych połączono z wynikami badań najbardziej popularnych polskich hełmów ochronnych.

W wynikach badań wykazano wpływ temperatury stosowania na zdolność pochłaniania energii uderzenia hełmów ochronnych. W większości przypadków przebadanych typów hełmów ich skuteczność pochłaniania energii uderzenia malała wraz ze wzrostem temperatury. W podsumowaniu prezentacji przedstawiono teoretyczne możliwości modyfikacji hełmów umożliwiające podniesienie ich parametrów ochronnych, a szczególnie pochłaniania energii uderzenia.

Podczas dyskusji przedstawiciele polskich producentów hełmów ochronnych docenili nowoczesność opracowanych w CIOP-PIB metod badań oraz stanowiska badawczego. Podkreślili m.in. przydatność zaprezentowanych metod badawczych do doskonalenia wyrobów oraz opracowywania nowych konstrukcji hełmów. (kb)