

dr Tomasz WĘSIERSKI

CNBOP-PIB

## WŁAŚCIWE STOSOWANIE OCHRON OSOBISTYCH A BEZPIECZEŃSTWO PRACY

### Proper use of personal protection and safety at work

#### Streszczenie

Praca strażaka wiąże się z szeregiem niebezpieczeństw występujących na miejscu zdarzenia. Jednym z nich jest oddziaływanie bodźca termicznego, który może być przyczyną dyskomfortu pracy, poważnych poparzeń a w skrajnych przypadkach doprowadzić do śmierci ratownika. Celem niniejszego artykułu jest wykazanie, iż właściwe użytkowanie ubrań specjalnych posiadających odpinaną podpinkę znacznie zmniejsza ryzyko doznania uszczerbku zdrowotnego na skutek oddziaływania bodźca termicznego.

#### Summary

Work of firemans is connected with a lot of dangerous situations in place of work. One of them is the impact of the thermal stimulus, which can cause discomfort of work, severe burns and in extreme cases lead to the death. The aim of this paper is to demonstrate that the appropriate use of special clothing with removable lining significantly reduces the risk of suffering health prejudice as a result of the impact of the thermal stimulus.

**Słowa kluczowe:** bodziec termiczny, ubranie specjalne, poparzenia pierwszego stopnia, poparzenia drugiego stopnia, ryzyko pracy strażaka

**Keywords:** thermal stimulus, special clothing, First degree burns, second degree burns, the risk of firefighter jobs

#### Wstęp

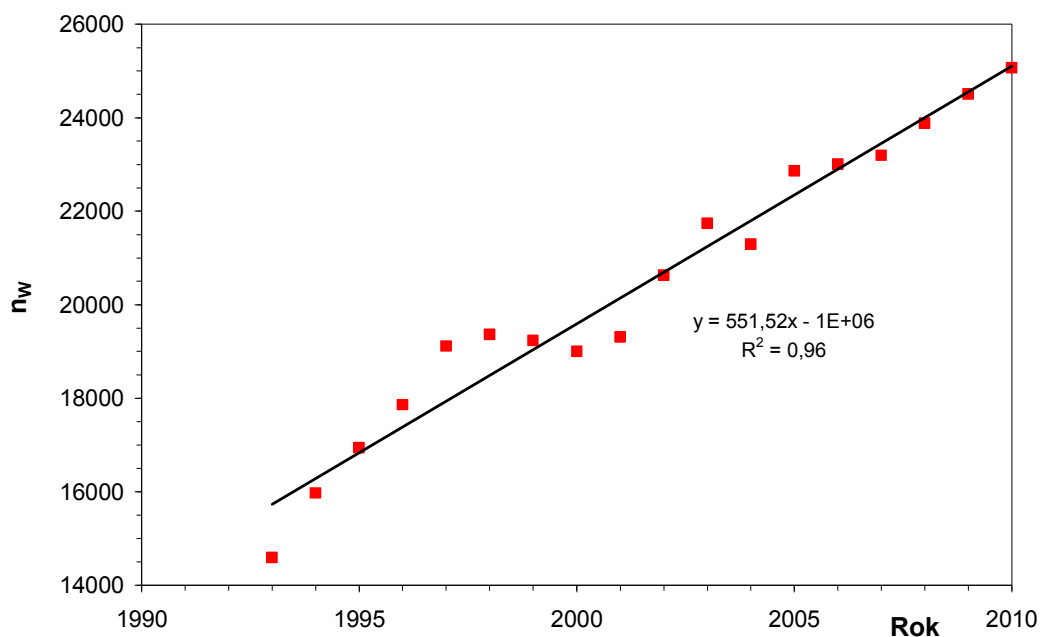
Pomimo, iż % udział pożarów w ostatnich latach w ogólnej liczbie zdarzeń maleje (tabela 1) obserwuje się wyraźny wzrost ilości pożarów obiektów mieszkalnych, które to stanowią największe zagrożenie nie tylko dla poszkodowanych ale i dla ratowników. Liczbę

zdarzeń obejmującą sumę pożarów domków jednorodzinnych, obiektów mieszkalnych wielorodzinnych oraz obiektów mieszkalnych w gospodarstwach rolnych na przestrzeni obejmującej lata 1993-2010 przedstawiono na rysunku 1. Nachylenie prostej regresyjnej wyraźnie wskazuje, iż liczba pożarów obiektów mieszkalnych rośnie rocznie przeciętnie o 552 pozycje. Zatem prosto można wywnioskować, iż ryzyko narażenia ratownika na czynniki termiczne w tego typu pożarach wzrasta. Przyjęte założenia nie są przypadkowe. Wymienione grupy pożarów stanowią przeciętnie około 90% wszystkich pożarów obiektów mieszkalnych i są łatwo definiowalne ze względu na miejsce występowania.

Tabela 1.

**Ilość zdarzeń (F- pożary w tysiącach, M- miejscowe zagrożenia w tysiącach) oraz ich procentowy udział w strukturze (%F – pożarów, %M – miejscowych zagrożeń)**

Rok	F [1000]	M [1000]	%F	%M
2000	135,889	122,983	52,5	47,5
2001	116,602	166,912	41,1	58,9
2002	151,026	197,491	43,3	56,7
2003	220,855	169,221	56,6	43,4
2004	146,728	200,553	42,3	57,7
2005	184,316	201,781	47,7	52,3
2006	165,353	261,344	38,8	61,2
2007	151,069	274,624	35,5	64,5
2008	165,19	280,832	37,0	63,0
2009	159,122	277,887	36,4	63,6



**Wykres 1.** Sumaryczna liczba pożarów w wybranych grupach obiektów mieszkalnych za okres 1993-2010. Sumowaniu podlegały pożary 1. obiektów mieszkalnych wielorodzinnych 2. domków jednorodzinne 3) obiektów mieszkalnych w rolnictwie.

Ciekawych wniosków do analizy dostarczyć nam mogą dane dotyczące śmiertelności oraz ilości osób rannych spośród strażaków (tabela 2). Wartość przedziału ufności  $\Delta x$  oraz współczynnik zmienności  $V_x$  wyraźnie wskazuje na duży rozrzut i nieprzewidywalność statystyki w grupie badanej co potwierdzają dodatkowo bardzo niskie współczynniki korelacji regresji  $R^2$  (tabela 3) pomiędzy ilością zdarzeń (pożary, miejscowe zagrożenia), a skutkami (ofiary śmiertelne, ranni). Ich wielkość wyraźnie wskazuje również na zdecydowanie większą nieprzewidywalność ryzyka podczas przebiegu pożarów ( $R^2 \sim 0,014$ ) niż ma to miejsce w przypadku miejscowych zagrożeń ( $0,2 < R^2 < 0,3$ ). Analiza ryzyka wyrażająca skutki na 1000 zdarzeń wyrażona poprzez  $R_{Ms}$ ,  $R_{Mr}$ ,  $R_{Fs}$ ,  $R_{Fr}$  także wyraźnie wskazuje na wyższą urazowość akcji pożarowych w stosunku do miejscowych zagrożeń ( $R_{Fs}/R_{Ms}=1,47$ ;  $R_{Fr}/R_{Mr}=1,20$ ). A zatem właściwa ochrona ratownika podczas akcji pożarowych wydaje się niezwykle istotna.

Tabela 2.

Ilość rannych oraz ofiar śmiertelnych oraz ryzyko zajścia skutku na 1000 zdarzeń wśród strażaków w okresie pomiędzy 2000 a 2010 rokiem. Oznaczenia:

Rok	Miejscowe zagrożenia		Pożary		$R_{Ms}$	$R_{Mr}$	$R_{Fs}$	$R_{Fr}$
	śmiertelne	ranni	śmiertelne	ranni				
2000	0	153	2	338	0,0000	1,13	0,0163	2,75
2001	2	181	3	238	0,0172	1,55	0,0180	1,43
2002	0	200	2	268	0,0000	1,32	0,0101	1,36
2003	2	175	5	350	0,0091	0,79	0,0295	2,07
2004	4	188	4	304	0,0273	1,28	0,0199	1,52
2005	2	162	0	315	0,0109	0,88	0,0000	1,56
2006	0	162	3	274	0,0000	0,98	0,0115	1,05
2007	0	262	1	238	0,0000	1,73	0,0036	0,87
2008	1	226	0	271	0,0061	1,37	0,0000	0,96
2009	1	183	1	284	0,0063	1,15	0,0036	1,02
$\sum x =$	12	1892	21	2880	-	-	-	-
$x_{sr} =$	1,2	189,2	2,1	288,0	0,0077	1,22	0,0113	1,46
$S_x =$	1,2	31,4	1,6	36,4	0,0085	0,28	0,0092	0,55
$\sigma x =$	0,8	19,5	1,0	22,5	0,0053	0,17	0,0057	0,34
$V_x =$	104	17	75	13	111	23	82	38

$R_{Fs}$ = ilość ofiar śmiertelnych wśród strażaków przypadająca na 1000 pożarów

$R_{Fr}$ = ilość rannych strażaków przypadająca na 1000 pożarów

$R_{Ms}$ = ilość ofiar śmiertelnych wśród strażaków przypadająca na 1000 miejscowych zagrożeń

$R_{Mr}$ = ilość rannych strażaków przypadająca na 1000 miejscowych zagrożeń

$\Sigma x$ = suma;  $x_{sr}$  = wartość średnia;  $S_x$  = odchylenie standardowe w populacji;  $\Delta x$  = przedział ufności na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ ;  $V_x$  = współczynnik zmienności

**Wartość współczynnika korelacji  $R^2$  wyrażająca zależność skutek-zdarzenie dla pożarów i miejscowych zagrożeń. Zakres analizy: 2000 – 2009.**

Współczynnik korelacji pomiędzy;	$R^2$
ilością ofiar śmiertelnych a ilością pożarów	0,014
ilością rannych a ilością pożarów	0,014
ilością ofiar śmiertelnych a ilością miejscowych zagrożeń	0,229
ilością rannych a ilością miejscowych zagrożeń	0,290

### Skutki działania strumienia ciepła

Często stosowanym narzędziem w celu określenia prawdopodobieństwa wystąpienia urazów ponoszonych w skutek działania bodźców zewnętrznych jest wykorzystanie funkcji probitowych [1,2]. Modelowanie tego typu można wykorzystać do obliczenia prawdopodobieństwa nie tylko dla zjawiska strumienia ciepłego ale również dla określenia skutków toksycznych czy też fali ciśnieniowej. Warunkiem stosowania odpowiednich funkcji jest istnienie odpowiedniej bazy literaturowej i doświadczalnej o rozkładach statystycznych wiążących prawdopodobieństwo obrażeń z całkowitą wielkością przyjętej dawki. Należy jednak zauważyć, iż otrzymana wartość określa nam jedynie prawdopodobieństwo wystąpienia co najmniej danego skutku opisanego funkcją, gdyż u organizmów żywych nawet tego samego gatunku ze względu na ich zróżnicowanie osobnicze objawy mogą być stanowczo odmienne. Czas ekspozycji standardowo określany jest dla wartości 10 i 30 sekund zakładając, iż w pierwszym przypadku osoba znajdzie w tym czasie schronienie, natomiast w drugim przypadku osoba nie ewakuuje się natychmiastowo lub też brak jest środków ochrony indywidualnej. Funkcje probitowe wyrażające efekty strumienia ciepłego przedstawione w tym artykule stosuje się dla krótkich czasów ekspozycji.

Równanie probitu (funkcji probitowej) ma ogólną postać:

$$P_r = A + B \ln(L)$$

przy czym;

$P_r$  - funkcja probitowa będąca miarą procentową ludzi, którzy w wyniku ekspozycji na dany typ obciążenia doznają uszkodzenia opisanego daną funkcją probitową

A - stała równania probitowego zależna od typu urazu oraz rodzaju obciążenia

B - stała równania probitowego zależna od typu obciążenia

L - obciążenie (w naszym przypadku cieplny ładunek obciążający).

Opis działania strumienia ciepła możemy poczynić dla dowolnego typu urazu dla którego dysponujemy danymi eksperymentalnymi. I tak przykładowo dla opisanego oddziaływania strumienia ciepłego ze skutkiem śmiertelnym oraz poparzeń pierwszego stopnia parametry A, B oraz L są następujące;

Tabela 4.

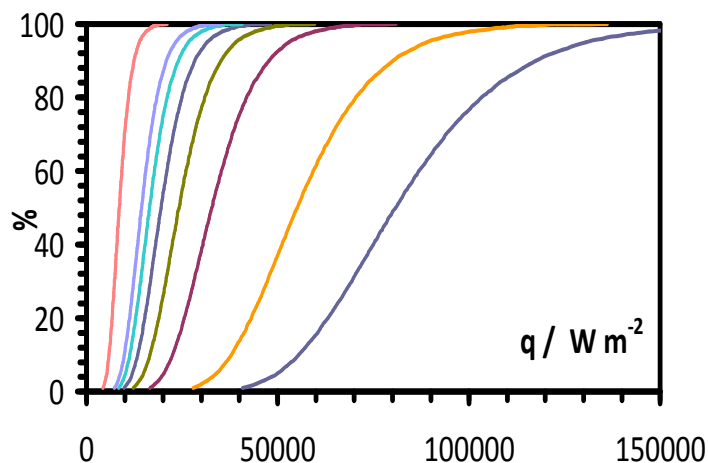
**Wartości parametrów równań probitowych dla skutku a) zgon (ciało niechronione) b) oparzenia I stopnia (ciało niechronione) c) oparzenia II stopnia (ciało niechronione) [3, 4]**

Skutek \ Parametr	A	B	L	Postać funkcji probitowej dla stałego strumienia ciepła
Zgon (nagie ciało)	-36,38	2,56	$tq^{4/3}$	$P_r = -36,38 + 2,56 \ln(tq^{4/3})$
Oparzenia I stopnia	-39,83	3,0186	$tq^{4/3}$	$P_r = -39,83 + 3,0186 \ln(tq^{4/3})$
Oparzenia II stopnia	-43,14	3,0188	$tq^{4/3}$	$P_r = -43,14 + 3,0188 \ln(tq^{4/3})$

Należy jednak zauważyć, iż tak przedstawiony opis charakteryzuje jedynie obrażenia wynikłe z działania stałego co do wartości strumienia ciepła. W sytuacji zmiennej wartości strumienia ciepłego obliczenia ładunku obciążającego należy dokonać przez całkowanie dopasowanej funkcji strumienia ciepła w czasie  $f=q(t)$  podniesionej do potęgi 4/3 według wzoru;

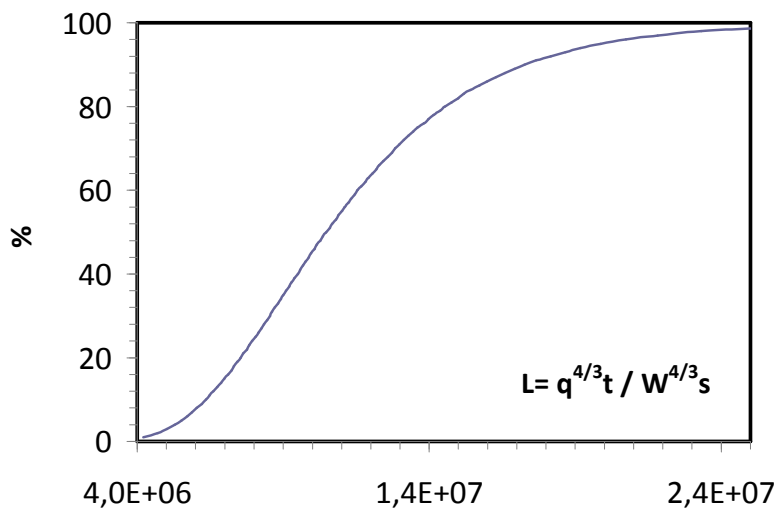
$$L = \int_0^t q(t)^{4/3} dt$$

Przekształcając równanie probitu oraz uwzględniając przelicznik miar procentowych możemy wyrazić procentowy udział danego zjawiska (np. śmiertelności, rys 1) w funkcji strumienia ciepła dla ściśle określonego czasu działania. Taki opis jest łatwy do zastosowania w przypadku gdy rozpatrujemy stały strumień ciepła.



**Ryc. 1.** Wykres zależności procentu zgonów (śmiertelności) w funkcji strumienia ciepła [ $W/m^2$ ] przy jego stałym strumieniu dla czasów ekspozycji równych 1) 3 sekundy 2) 5 sekund 3) 10 sekund 4) 15 sekund 5) 20 sekund 6) 25 sekund 7) 30 sekund 8) 60 sekund. Obliczone wartości dotyczą nieosłoniętego ciała.

W przypadku zmiennego strumienia ciepła poprawny odczyt daje nam wyrażenie procentowego udziału śmiertelności w funkcji dawki promieniowania cieplnego  $L$  (rys 2).



**Ryc. 2.** Wykres zależności procentu zgonów (śmiertelności) w funkcji dawki promieniowania cieplnego. Obliczone wartości dotyczą nieosłoniętego ciała.

Należy jednak przy tym pamiętać, iż stosując akurat wymienione w tym artykule funkcje probitowe otrzymane wartości odnoszą się do nieosłoniętej skóry. Często w literaturze pojawia się słowny opis skutków działania dla danego strumienia ciepła na podstawie obserwacji powstałych w trakcie dużych pożarów. Opisy te są jednak czasami rozbieżne co do działania w porównaniu z funkcjami probitowymi, gdyż obserwacje prowadzono dla ludzi standardowo osłoniętych ubraniami. Przykład takiej analizy przedstawiłem w tabeli 5.

Tabela 5.

**Opis skutków oddziaływania dla ludzi i sprzętu narażonego na oddziaływanie strumienia ciepłego. Dane dla ludzi sporządzono na podstawie obserwacji wielkich pożarów i obejmują osoby będące w ubraniu[4].**

<b>Strumień ciepły kW m<sup>-2</sup></b>	<b>Skutki dla sprzętu</b>	<b>Skutki dla ludzi</b>
1,2		-nie stwarza dyskomfortu dla długich ekspozycji
2,1		- wartość minimalna dla przekroczenia progu bólu po czasie 1 minuty
4,7		- powoduje ból po czasie ekspozycji dłuższym niż 20 sekund - możliwość uszkodzenia ciała w przypadku ekspozycji dłuższej niż 30 sekund
12,6	- minimalna energia zapłonu drewna - topienie się rur z tworzywa sztucznego - cienka stal może osiągnąć poziom naprężeń termicznych mogących spowodować uszkodzenie strukturalne	- możliwość ofiar śmiertelnych w przypadku dłuższej ekspozycji - duże prawdopodobieństwo uszkodzenia ciała - 1% zgonów w ciągu 1 minuty -1 stopień poparzenia
23	- spontaniczne zapalenie się drewna po długim czasie ekspozycji	- możliwość ofiar śmiertelnych natychmiastowo w przypadku



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- stal niezabezpieczona osiągnie temperaturę naprężeń mogącego spowodować uszkodzenia</li> <li>- należy dokonać upustów awaryjnych dla zbiorników znajdujących się pod ciśnieniem</li> </ul>	<p style="text-align: center;">ekspozycji</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 100% zgonów po 1 minucie</li> <li>- znaczne urazy po 10 sekundach</li> </ul>
35	<ul style="list-style-type: none"> <li>- uszkodzenie urządzeń instalacji procesowej</li> <li>-elementy zapalają się w ciągu 1 minuty</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- znaczny odsetek ofiar natychmiast po rozpoczęciu ekspozycji</li> <li>- 100% zgonów po 1 minucie</li> <li>- 1% zgonów po 10 sekundach</li> </ul>

Podczas analizy kilku rodzajów urazów powodowanych przez to samo zjawisko należy uważać aby nie popełnić błędu przy analizie na skutek tzw. efektu podwójnego liczenia. Z takim przypadkiem możemy mieć do czynienia dla opisu działania strumienia ciepła, gdy chcemy oszacować jednocześnie liczbę osób ulegających poparzeniom pierwszego, drugiego, trzeciego stopnia jak i również liczby ofiar śmiertelnych. Ten sam mechanizm szkód powoduje różne typy uszkodzeń w populacji badanej. I tak omawiając uszkodzenia powstałe w wyniku strumienia cieplnego ofiary klasy ulegającej poparzeniu ze skutkiem śmiertelnym są włączeni do klas pozostałych obrażeń. Wynika to z tego, iż dany strumień ciepła u jednej osoby wywoła poparzenia pierwszego stopnia a u innego osobnika może już spowodować śmierć. Zatem np. funkcja probitowa opisująca prawdopodobieństwo zajścia poparzenia pierwszego stopnia mówi nam, iż dany procent osób osiągnie poparzenia przynajmniej tej klasy. Zasymulujmy zdarzenie w którym mamy do czynienia z następującym rozkładem urazów wśród poszkodowanych na skutek działania strumienia cieplnego: 97% poparzeń pierwszego stopnia, 8 % poparzeń drugiego stopnia, 4% poparzeń 3 stopnia oraz 1 % poparzeń ze skutkiem śmiertelnym. Całościowa ilość zdarzeń dałaby nam absurdalny wynik 110%. W rzeczywistości rozkład przedstawiałby się następująco: 97% wszystkich osób ulegających poparzeniu a w tym: 89% poparzeń dotyczących tylko 1 stopnia, 3% poparzeń dotyczących tylko drugiego stopnia, 4% poparzeń dotyczących tylko 3 stopnia oraz 1% ofiar śmiertelnych. Schemat obliczeń funkcjami probitowymi przedstawiony w tym artykule możemy oczywiście zastosować dla dowolnego rodzaju zdarzenia w których chcemy uwzględnić oddziaływanie strumienia ciepła. Warunkiem jest jednak wcześniejsze określenie funkcji strumienia ciepła w czasie.

## Część eksperymentalna

Pomiarów strumienia ciepła dokonano korzystając z zestawu aparaturowego przedstawionego na fotografii 1. Zestaw aparaturowy składał się z czujnika oraz miernika całkowitego strumienia ciepła, zasilacza promiennika ciepła oraz promiennika ciepła. Prawidłową pracę czujnika zapewniało chłodzenie wodą. Materiał badany przykrywający czujnik układany był równomiernie na stelażu. Pomiar przeprowadzono w każdym cyklu pomiarowym dla nieosłoniętej oraz osłoniętej odpowiednim materiałem badanym powierzchni miernika strumienia ciepła. Przed każdym pomiarem oraz po jego wykonaniu sprawdzano, czy strumień ciepła dochodzący do nieosłoniętej powierzchni posiadał tę samą wartość. W czasie całego cyklu badań wahania wartości nie wynosiły więcej niż  $0,2 \text{ kW/m}^2$ . Jako stabilną wartość pomiarową określono natężenie promieniowania cieplnego wynoszące  $11,6 \text{ kW/m}^2$  co odpowiada temperaturze  $400^\circ\text{C}$ . Jest to wartość temperatury panująca w odległości około 2 metrów od otwartych drzwi ( $1 \times 2 \text{ m}$ ) pomieszczenia w którym panują warunki pożaru rozwiniętego [5]. Regulację wyjściowego strumienia ciepła dokonywano za pomocą wskazania zasilacza promiennika podczerwieni. Miernik strumienia posiadał zakres pomiarowy do  $50 \text{ kW/m}^2$  z dokładnością odczytu wynoszącą  $0,1 \text{ kW/m}^2$ . Czas pomiaru określono na 90 s z interwałem odczytu wynoszącym 5 s przez pierwsze 30 s pomiaru a następnie co 10 sekund. Dla każdego materiału wykonano po trzy serie pomiarowe celem sprawdzenia odtwarzalności wskazań. Każda próbka była ważona z dokładnością do 0,1 g oraz wymiarowana z dokładnością do 1 mm.

Jako materiały badane użyto:

- a. koszulkę bawełnianą koloru żółtego o gramaturze  $m \pm \Delta m = 135 \pm 2 \text{ g/m}^2$
- b. ubranie specjalne bez podpinki o gramaturze  $m \pm \Delta m = 564 \pm 5 \text{ g/m}^2$
- c. kompletne ubranie specjalne (z podpinką) o gramaturze  $m \pm \Delta m = 709 \pm 6 \text{ g/m}^2$



**Fot. 1.** Zestaw pomiarowy przeznaczony do określenia strumienia ciepła. 1. Chłodzenie czujnika 2. promiennik ciepła 3. miernik strumienia ciepła 4. zasilacz promiennika ciepła 5. stelaż z otworem na czujnik 6. doprowadzenie czujnika

## Wnioski

Wyniki eksperymentalne dla wartości strumienia ciepła przechodzącego po czasie  $t$  w 90-sekundowym cyklu pomiarowym dla badanych materiałów przedstawiono w tabelach 6-8. Całkowania powierzchni pod krzywą dokonano metodą trapezów. Wartość ładunku cieplnego dochodzącego do nieosłoniętej termopary przy stałym strumieniu ciepła ( $11,6 \text{ kW/m}^2$ ) wynosi  $23633053 \text{ [(W/m}^2)^{4/3}\text{s]}$ . Wartości odpowiadające funkcjom probitowym dla skutku śmiertelnego oraz poparzeniom pierwszego oraz drugiego stopnia zestawiono w tabeli 9. Odczytane wartości przeliczone na % skutku zestawiono natomiast w tabeli 10. Podane w niej wartości zestawione są w sposób wykluczający efekt podwójnego naliczania.

Tabela 6.

**Wartość strumienia ciepła  $q$  [ $W/m^2$ ] dochodzącego pod powierzchnię materiału bawełnianego koloru żółtego o gramaturze  $m \pm \Delta m = 135 \pm 2$   $g/m^2$ . Cykl pomiarowy 90 s.**  
**Sumaryczna wartość docierającego ładunku cieplnego oznaczono jako  $L_{\Sigma}$ .**

t [s]	q [ $W/m^2$ ]	$q^{4/3}$ [ $(W/m^2)^{4/3}$ ]	L [ $(W/m^2)^{4/3}s$ ]
0	400	2947	
5	4667	77985	202330
10	6567	122968	502382
15	7000	133905	642184
20	7100	136462	675917
25	7150	137745	685516
30	7133	137317	687653
40	7167	138173	1377448
50	7167	138173	1381729
60	7133	137317	1377448
70	7100	136462	1368893
80	7167	138173	1373174
90	7133	137317	1377448
$L_{\Sigma} =$			11652123

Tabela 7.

**Wartość strumienia ciepła  $q$  [ $W/m^2$ ] dochodzącego pod powierzchnię materiału ubrania specjalnego bez podpinki (gramatura  $m \pm \Delta m = 564 \pm 5$   $g/m^2$ ). Cykl pomiarowy 90 s.**  
**Sumaryczna wartość docierającego ładunku cieplnego oznaczono jako  $L_{\Sigma}$ .**

t [s]	q [ $W/m^2$ ]	$q^{4/3}$ [ $(W/m^2)^{4/3}$ ]	L [ $(W/m^2)^{4/3}s$ ]
0	400	2947	
5	2067	26330	73194
10	2267	29781	140277
15	2500	33930	159277

**BADANIA I ROZWÓJ**

20	2733	38211	180353
25	2867	40729	197349
30	3233	47805	221335
40	3567	54501	511530
50	3800	59299	568998
60	3933	62082	606903
70	3833	59986	610341
80	3867	60697	603415
90	3900	61388	610426
$L_{\square} =$			4483399

Tabela 8.

**Wartość strumienia ciepła  $q$  [ $W/m^2$ ] dochodzącego pod powierzchnię materiału kompletnego ubrania specjalnego (gramatura  $m \pm \Delta m = 709 \pm 6$  g/ $m^2$ ). Cykl pomiarowy 90 s. Sumaryczna wartość docierającego ładunku cieplnego oznaczono jako  $L_{\Sigma}$ .**

t [s]	q [ $W/m^2$ ]	$q^{4/3}$ [ $(W/m^2)^{4/3}$ ]	L [ $(W/m^2)^{4/3}$ s]
0	400	2947	
5	1233	13222	40422
10	1367	15171	70982
15	1400	15662	77083
20	1767	21362	92560
25	2200	28613	124938
30	2400	32133	151864
40	2433	32723	324280
50	2433	32723	327232
60	2466	33316	330198
70	2433	32723	330198
80	2400	32133	324280
90	2433	32723	324280
$L_{\square} =$			2518318

Tabela 9.

**Wartości strumieni dochodzącego ciepła wraz z odpowiadającą wartością probitu dla skutku śmiertelnego, poparzenia I oraz II stopnia.**

Materiał badany	Gramatura [g/m <sup>2</sup> ]	Strumień $L_{\square} [(W/m^2)^{4/3}s]$	Probit	Probit	Probit
			$P_a$ (zgon)	$P_a$ (II st)	$P_a$ (I st)
Czujnik nieosłonięty	0	23633053	7,1	8,1	11,4
Koszulka bawełniana	135	11652123	5,3	6,0	9,3
Ubranie specjalne bez podpinki	558	4483399	2,8	3,1	6,4
Kompletne ubranie specjalne	708	2518318	1,4	1,4	4,7

Tabela 10.

**Wartości % skutków działania badanego strumienia ciepła dla skutku śmiertelnego, poparzenia I stopnia , poparzenia II stopnia oraz sumarycznej ilości osób poparzonych.**

Materiał badany	% zgonów	% poparzeń II stopnia	% poparzeń I stopnia	Poparzeni sumarycznie
Czujnik nieosłonięty	98,2	1,8	0,0	100,0
Koszulka bawełniana	62,0	22,5	15,5	100,0
Ubranie specjalne bez podpinki	1,5	1,4	88,7	91,6
Kompletne ubranie specjalne	0,0	0,0	38,0	38,0

Otrzymane wartości badań symulacyjnych (dla czasu narażenia 90 s strumieniem ciepła o wartości 11,6 kW/m<sup>2</sup>) wyraźnie wskazują, iż użycie podpinki podczas zdarzenia powinno zredukować ryzyko poparzeń prawie 2,5 krotnie (91,6/38). Tak więc stosowanie kompletnych ubrań specjalnych zwłaszcza w przypadku pożarów obiektów mieszkalnych jest czynnikiem koniecznym zapewniającym właściwą ochronę termiczną.

Potrzeba stosowania właściwych ubrań chroniących przed oddziaływaniem strumienia ciepłego uwidacznia się nie tylko w przypadku działań PSP. 18 września 2009 roku w wyniku wybuchu metanu w kopalni „Wujek-Śląsk” w Rudzie Śląskiej doszło do poparzenia 30 górników z których 20 zmarło na skutek obrażeń termicznych. Analiza wykazała, iż jedną z przyczyn wysokiej śmiertelności był sposób pracy górników, którzy ze względu na wysoką temperaturę i wilgotność często pracują w spodniach lub tylko nawet w samej bieliźnie [6]. Efekt braku stosowania jakichkolwiek ochron osobistych można również zauważyć analizując wyniki otrzymane dla nieosłoniętej czujki i dla osłoniętej materiałem pochodzącym z koszulki bawełnianej o gramaturze 135 g/m<sup>2</sup>. Symulacja wskazuje, iż ubranie zwykłej koszulki bawełnianej zmniejsza ryzyko wystąpienia śmierci w analizowanym przypadku prawie o 30% w porównaniu do ciała nieosłoniętego.

### Literatura

1. Borysiewicz M., Furtek A., Potemski S., *Poradnik metod ocen ryzyka związanego z niebezpiecznymi instalacjami procesowymi*, Instytut Energii Atomowej Otwock – Świerk 2000;
2. Khan F. I., Abbasi S.A., *Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol 11 Issue 4 (1998) 261 – 277;
3. van den Bosch C.J.H., Weterings R.A.P.M., *Methods for the Calculation of Physical Effects*, Committee for the Prevention of Disasters, CPR 14E (TNO “Yellow Book”), The Hague, 2005 (Third edition);
4. Borysiewicz M., Furtek A., Potemski S., *Poradnik metod ocen ryzyka związanego z niebezpiecznymi instalacjami procesowymi*, Instytut Energii Atomowej Otwock – Świerk 2000;
5. Grabski R., Brein D., Pasch U., Neske M, Kunkelman J., Brandschutzforschung der Bundesländer. Bericht Nr. 161. Anforderungen und Prüfmethode für die Persönlichen Schutzausrüstungen der Feuerwehreinsatzkräfte im Brandeinsatz. Abschlussbericht. Teilschritt 1;

6. [http://katowice.gazeta.pl/katowice/1,35063,7163298,Gornicy\\_z\\_holdingu\\_beda\\_testowac\\_zaroodporna\\_bielizne.html](http://katowice.gazeta.pl/katowice/1,35063,7163298,Gornicy_z_holdingu_beda_testowac_zaroodporna_bielizne.html).

**Recenzenci**

**dr hb. Marzena Pólka, prof. SGSP**

**dr inż. Waldemar Jaskółowski**