

dr inż. Marcin Jachowicz¹

Przyjęty/Accepted/Принят: 06.02.2015;

Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 13.02.2016;

Opublikowany/Published/Опубликована: 31.03.2016;

Metody badań odporności hełmów ochronnych na działanie promieniowania podczerwonego

Techniques to Test Infrared Radiation Resistance of Protective Helmets

Методы исследований устойчивости защитных шлемов на воздействие инфракрасного излучения

ABSTRAKT

Cel: W artykule przedstawiono opracowane metody badań i wyniki pomiarów przeprowadzonych z ich użyciem w zakresie temperatury powierzchni i zdolności odbijania promieniowania ciepłego przez hełmy ochronne dostępne aktualnie na rynku. Przedstawiono również wyniki pomiarów wartości mocy promieniowania ciepłego za pomocą radiometru na stanowiskach pracy, gdzie występuje podwyższony stopień promieniowania podczerwonego.

Wprowadzenie: Środki ochrony głowy i twarzy są jednymi z najbardziej rozpowszechnionych rodzajów sprzętu ochronnego. Często pracownicy są zobowiązani do stosowania ich na tzw. gorących stanowiskach pracy. W takich miejscach poza źródłami intensywnego promieniowania podczerwonego występują także: iskry, możliwość kontaktu z płomieniem oraz zagrożenia mechaniczne. Stanowiska gorące znajdują się m.in. w hutach, odlewniach, oraz podczas gaszenia pożarów. Poza bezpośrednim zagrożeniem dla głowy człowieka oraz skutkami jego długotrwałego narażenia na ciepło występuje także niebezpieczeństwo utarty przez hełm podstawowych właściwości mechanicznych takich jak zdolność amortyzacji czy odporność na przebicie.

Metody: W hełmach ochronnych w tej chwili rzadko wykorzystuje się specjalne zabezpieczenia przed promieniowaniem ciepłym. Jedynie hełmy strażackie wykazują się odpornością w tym zakresie, ale uzyskana ona jest min. poprzez użycie warstw izolujących, co znacznie podnosi masę i środek ciężkości. W przypadku środków ochrony oczu i twarzy stosuje się między innymi filtry w postaci pojedynczych warstw metalicznych odbijających promieniowanie. Są one wytwarzane bardzo często metodami PVD (Physical Vapour Deposition). Istnieje także możliwość naniesienia powłoki refleksyjnej składającej się z wielu składników, która może mieć charakter gradientowy lub warstwowy. Aby zastosować podobny sposób zabezpieczenia przed promieniowaniem ciepłym do intensywnie użytkowanych ochron głowy stosowanych np. przez strażaków i służby ratownicze niezbędne jest opracowanie metod badań, które pozwolą na ocenę ich właściwości ochronnych. Konieczna jest także ocena parametrów środowiska pracy.

Wnioski i znaczenie dla praktyki: Należy się spodziewać, że zastosowanie powłok tego typu zmniejszy znacząco wzrost temperatury zarówno wewnątrz hełmu, jak i na jego powierzchni. Umożliwi to dłuższe przebywanie człowieka w środowisku zagrożenia, a także nie będzie powodowało zmniejszenia parametrów ochronnych w zakresie odporności mechanicznej sprzętu, który traci swoje właściwości wraz ze wzrostem temperatury materiałów użytych w jego konstrukcji.

Słowa kluczowe: hełm ochronny, hełm strażacki, promieniowanie ciepłe, parametry środowiska pracy, moc promieniowania podczerwonego

Typ artykułu: doniesienie wstępne

ABSTRACT

Aim: The paper identifies developed research methods and results from measurements performed to assess the surface temperature and thermal radiation reflectivity of protective helmets, currently available on the market, as well as the determination of thermal radiation strength values using a radiometer in workplaces where the level of infrared radiation is heightened.

Introduction: Head and face protection affords some of the most widespread type of protective equipment available. Use of such equipment by employees is mandatory in so-called "hot workplaces". In such places, apart from sources of intense infrared radiation, the presence of hazards includes; sparks, possibility of contact with flame and danger from mechanical equipment. Hot workplaces are found in steel mills, foundries and encountered during firefighting operations. Apart from a direct threat to the human head and consequence of prolonged exposure to heat, the helmet is also at risk of losing its basic mechanical properties such as shock absorption or resistance to puncture.

Methods: Present day protective helmets are rarely safeguarded against thermal radiation. Only helmets designed for use by firefighters exhibit such safeguards. This is achieved, among others, through the use of insulating layers, which considerably increase the mass and centre of gravity. In the case of eye and face protection, among other things, filters are used in the form of a single metallic layer, which reflect radiation and

¹ Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Ochron Osobistych, Łódź / Central Institute for Labour Protection - National Research Institute, Personal Protective Equipment Department in Lodz, Poland; majac@ciop.lodz.pl;

are very often produced by Physical Vapor Deposition (PVD) methods. It is also possible to apply a reflective coating made up from multiple ingredients, which may be layered or inclined in character. In order to provide similar protection against thermal radiation for intensively used headgear, utilized by firefighters and emergency rescue services, it is necessary to develop testing methods, which will enable the evaluation of protective properties. It is also necessary to evaluate parameters of the working environment.

Conclusions and relevance to practice: It is expected that the use of above mentioned coatings will significantly reduce the rising temperature, both inside the helmet and on its surface. Untreated equipment exposed to an increase in temperature tends to lose protective mechanical qualities. Coating treatment of helmets will mitigate the deterioration of protective attributes and will make it possible for humans to endure a hazardous environment for longer periods.

Keywords: protective helmet, helmet for firefighters, heat radiation, characteristics of the work environment, the power of infrared radiation

Type of article: short scientific report

АННОТАЦИЯ

Цель: В статье представлены разработанные методы исследований и результаты измерений, проведенных с их использованием, относительно температуры поверхности и способности отражать тепловое излучение имеющихся на рынке защитных шлемов. Представлены также результаты измерений мощности теплового излучения с помощью радиометра на рабочих местах с повышенной степенью инфракрасного излучения.

Введение: Средства защиты головы и лица - это одни из наиболее распространенных видов защиты. Часто работники вынуждены использовать их на так называемых горячих рабочих местах. В таких местах, кроме источников интенсивного инфракрасного излучения, присутствуют также: искры, возможность контакта с пламенем, механические угрозы. Горячие места находятся в частности на металлургических и литейных заводах, и во время тушения пожаров. Кроме непосредственной опасности для головы человека и последствий длительного воздействия тепла, такие места связаны также с опасностью потери шлемом, подверженного излучению, основных механических свойств, таких как способность амортизации или устойчивость к удару.

Методы: В защитных шлемах сейчас редко используются специальные элементы защиты от теплового излучения. Только пожарные шлемы характеризуются такой устойчивостью, но она достигается благодаря использованию изолирующих слоев, что повышает вес и центр тяжести. В качестве средств защиты глаз и лица используются, среди прочих, фильтры как отдельные металлические слои, которые отражают излучение. Они изготавливаются с помощью методов вакуумного напыления (англ. physical vapour deposition, PVD). Существует также возможность нанесения отражающего покрытия, состоящего из множества элементов, градиентного или слоистого характера.

Чтобы применить подобный способ защиты от теплового излучения для интенсивно используемых защитных элементов головы, применяемых, например, у пожарных или спасателей, необходимо разработать методы исследований, которые позволят оценить их защитные свойства. Необходимо также оценка параметров рабочей среды.

Выводы и значение для практики: Ожидается, что использование такого рода покрытий значительно снизит рост температуры как внутри, так и на поверхности шлема. Это позволит человеку находиться на месте угрозы дольше, при чем это не будет влиять на снижение защитных параметров относительно механической устойчивости оборудования, которое теряет свои свойства при повышении температуры материалов, использованных в его конструкции.

Ключевые слова: защитный шлем, пожарный шлем, тепловое излучение, параметры рабочей среды, мощность инфракрасного излучения

Вид статьи: предварительный отчет

1. Wprowadzenie

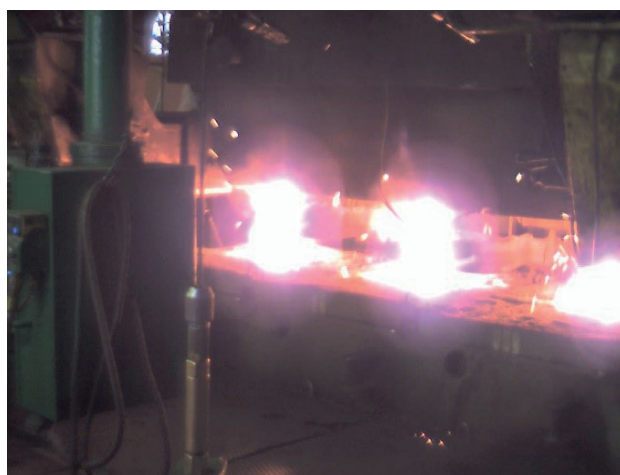
Na wielu stanowiskach pracy szczególnie w sektorach hutniczym, energetycznym i odlewniczym, ale także w rolnictwie oraz podczas gaszenia pożarów, występuje zagrożenie w postaci promieniowania ciepłego o dużym natężeniu. Używane obecnie w takich miejscach środki ochrony głowy bardzo często nie zapewniają wystarczającej ochrony przed takim promieniowaniem. Ponadto hełmy ochronne poddane promieniowaniu podczerwonemu tracą swoje podstawowe właściwości mechaniczne takie jak zdolność amortyzacji, czy odporność na przebicie. Na takich stanowiskach pracownik szybciej odczuwa zmęczenie i pracuje krócej.

W chwili obecnej nie ma hełmów przemysłowych, które w szczególny sposób chroniłyby użytkownika przed promieniowaniem ciepłym, zaś hełmy strażackie wykazujące odporność w tym zakresie, mają znacznie podniesioną masę, ponieważ są wyposażone w specjalne warstwy izolujące. Pozwalają one spełnić wymagania objęte normą PN-EN 443:2008 [1] dotyczące odporności na promieniowanie ciepłe. Badania w tym zakresie polegają na ekspozycji hełmu na działanie promieniowania ciepłego na poziomie 14 kW/m^2 w czasie 8 minut. Po tym czasie temperatura wewnątrz hełmu nie może wzrosnąć o więcej niż 25°C , a sam hełm powinien zachować swoje właściwości ochronne w zakresie amortyzacji i odporności na przebicie.

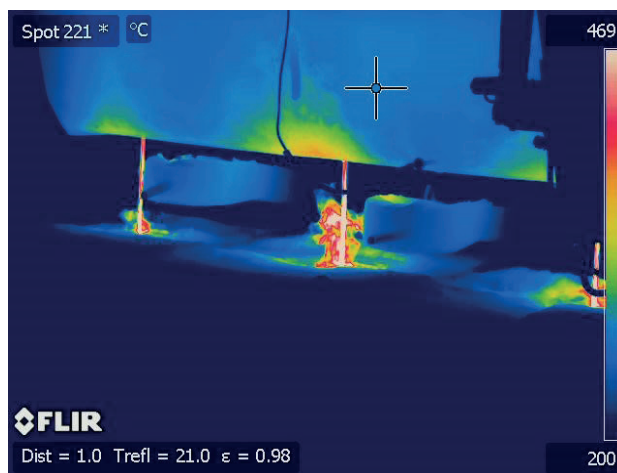
Technologia wytwarzania cienkich powłok metodami PVD [2-4] pozwala na zastosowanie specjalnych warstw (filtrów) ochronnych nanoszonych na powierzchnie skorup kasków.

Istnieje także możliwość naniesienia wielowarstwowej powłoki refleksyjnej o charakterze gradientowym [5-9]. Nie ma jednak w tej chwili opracowanych metod badań odporności na promieniowanie podczerwone materiałów stosowanych na środki ochrony głowy, które pokryto powłokami zmniejszającymi wpływ tego typu promieniowania. W związku z tym zaistniała potrzeba opracowania metodyki, która pozwoli odpowiedzieć na pytania dotyczące stopnia ochrony przed promieniowaniem ciepłym nie tylko dla gotowych hełmów ochronnych, ale także dla próbek. W tym celu w Zakładzie Ochron Osobistych CIOP-PIB podjęto projekt badawczy, w ramach którego poddano analizie stanowiska pracy o podwyższonym stopniu promieniowania ciepłego (ryc. 1) i wyznaczono wartości mocy tego promieniowania. Następnie wybrano aparaturę i sprzęt badawczy oraz opracowano metody badań, które posłużyły do oceny środków ochrony indywidualnej chroniących głowę pracownika przed promieniowaniem ciepłym. Metodę zweryfikowano poprzez wykonanie badań, w których wyznaczono stopień odbicia promieniowania podczerwonego, temperaturę powierzchni oraz wartości średniego widmowego współczynnika odbicia dla próbek wykonanych z aktualnie stosowanych środków ochrony głowy.

Opracowane metody mogą służyć do badań skorup hełmów bez powłok ochronnych, jak również skorup ze specjalnymi powłokami chroniącymi przed promieniowaniem ciepłym. Zostaną one wykorzystane w kolejnym etapie projektu do oceny hełmów z naniesionymi powłokami chroniącymi przed promieniowaniem podczerwonym.



a)



b)

Ryc. 1. Stanowisko pracy w hucie przy kadzi pośredniej linii ciągłego odlewu stali: a) widok bezpośredni, b) obraz z kamery termowizyjnej FLIR

Fig. 1. Work area in an ironworks – the tundish line of continuous casting of steel: a) direct view, b) image of the FLIR thermal imaging camera

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

2. Ocena zagrożeń promieniowaniem cieplnym na rzeczywistych stanowiskach pracy

Na potrzeby przygotowania założeń teoretycznych przeprowadzono ocenę zagrożeń pod kątem promieniowania cieplnego na rzeczywistych stanowiskach pracy. Wykonano pomiary temperatury źródła i mocy promieniowania w wybranych, najbardziej narażonych pod tym względem obszarach. Do tego celu w hucie stali wybrano następujące miejsca: nadzoru wylewania ciągłego z kadzi pośredniej, napełniania kadzi pośredniej, ciągłego odlewania stali, kontroli składu chemicznego w pieco-kadzi oraz transportu kadzi głównej. Promieniowanie ciepłe w tych miejscach charakteryzowało się wartościami niezmiennymi w czasie wykonywania pomiarów. W każdym z nich z wykorzystaniem kamery termalnej typu Flir 620PM zarejestrowano temperaturę oraz dokonano pomiarów wartości mocy promieniowania. Do tego celu wykorzystano miernik promieniowania optycznego HD 2404 przedstawiony na ryc. 2. Rejestrował on w czasie rzeczywistym wartość strumienia dla wybranych zakresów promieniowania. Uzyskane wyniki pozwoliły na określenie mocy promienio-

wania, która będzie stosowana podczas badań przenikania ciepła. Wykonanie pomiarów podczas akcji gaśniczych nie było możliwe ze względów bezpieczeństwa oraz braku możliwości uzyskania stabilnych warunków pomiarowych. Dla potrzeb realizacji celów postawionego sobie zadania, czyli opracowania metod badań służących do oceny powłok ochronnych naniesionych na skorupy hełmów powtarzalność i stabilność mierzonych wartości promieniowania cieplnego była ważniejsza niż wartości tego parametru.

Na rycinach 3-5 przedstawiono zarejestrowane termogramy wybranych stanowisk pracy. Obiekty na zarejestrowanych termogramach charakteryzują się wysoką temperaturą i stanowią źródła emisji niebezpiecznego promieniowania podczerwonego. Maksymalne temperatury rejestrowanych powierzchni zestawiono w tabeli 1.

Wyniki pomiarów wartości mocy promieniowania rejestrowano po „ustabilizowaniu” się odczytów miernika. Pomiary wykonywano pięciokrotnie zarówno w stosunku do mocy promieniowania, jak i temperatur. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 2 oraz na ryc. 6 i 7.

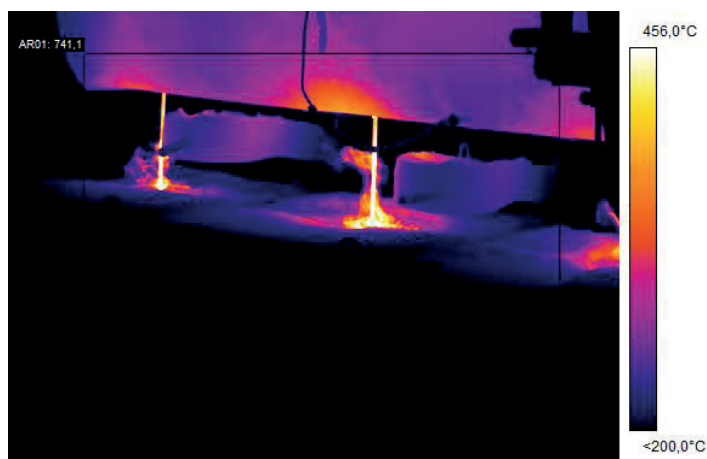


Ryc. 2. Miernik promieniowania optycznego HD 2404

Fig. 2. Measuring device for optical radiation HD 2404

Źródło: Opracowanie własne.

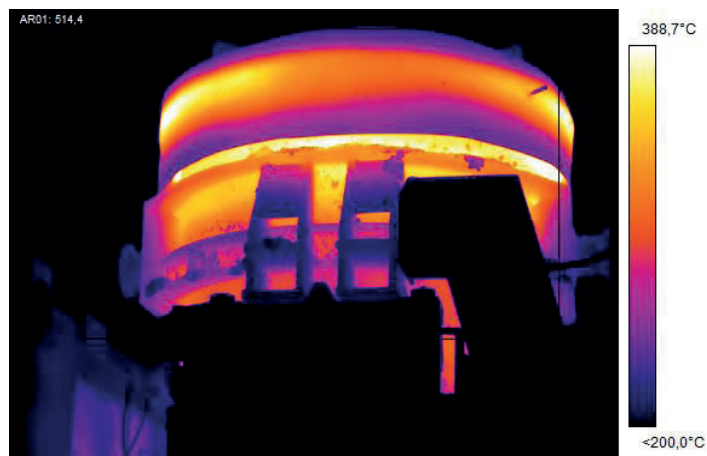
Source: Own elaboration.



Ryc. 3. Termogram przedstawiający wylanie ciągle z kadzi pośredniej. Maksymalna temperatura zarejestrowana na elementach objętych rejestracją wynosi około 740°C

Fig. 3. Thermogram showing the continuous casting from a tundish. Maximum temperature recorded for the elements exposed to temperature measurement is approximately 740°C

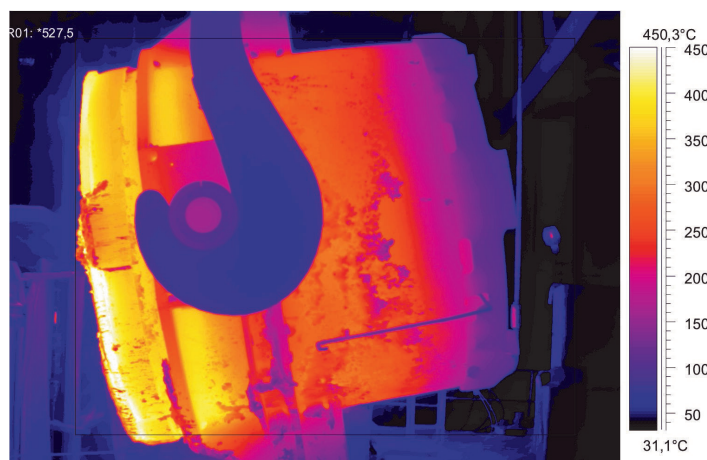
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 4. Termogram przedstawiający napełnianie kadzi pośredniej. Maksymalna temperatura zarejestrowana na elementach objętych rejestracją wynosi około 514°C

Fig. 4. Thermogram showing the refilling of the tundish. Maximum temperature recorded for the elements exposed to temperature measurement is approximately 514°C

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 5. Termogram przedstawiający transport kadzi głównej. Maksymalna temperatura zarejestrowana na elementach objętych rejestracją wynosi około 527°C

Fig. 5. Thermogram showing the main transport ladle. Maximum temperature recorded for the elements exposed to temperature measurement is approximately 527°C

Tabela 1. Średnie wartości maksymalnej temperatury obserwowanych obiektów

L.p.	Nazwa obserwowanego obiektu	Zarejestrowana średnia temperatura maksymalna T_z [°C]	Odchylenie standardowe temperatury
1	wylwanie ciągłe z kadzi pośredniej	741	9,58
2	napełnianie kadzi pośredniej	514	10,26
3	ciągłe odlewanie stali	981	14,65
4	miejsce kontroli składu chemicznego w pieco-kadzi	1122	25,3
5	transport kadzi głównej	527	7,86

Źródło: Opracowanie własne.

Table 1. Average maximum temperature values of the observed objects

No.	Name of observed item	Registered average maximum temperature T_z [°C]	Standard deviation of temperature
1	continuous outflow from the tundish	741	9,58
2	refilling the tundish	514	10,26
3	continuous casting of steel	981	14,65
4	location of the chemical composition control in the furnace ladle	1122	25,3
5	transport of the main ladle	527	7,86

Source: Own elaboration.

Tabela 2. Wartości maksymalnej temperatury obserwowanych obiektów oraz maksymalna długość fali emitowanego promieniowania

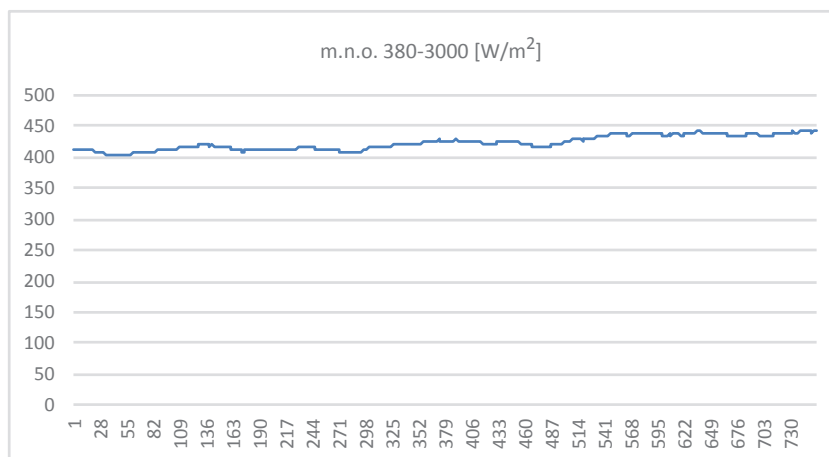
L.p.	Nazwa obserwowanego obiektu	Odległość od źródła ciepła [m]	Średnia maksymalna zmierzona wartość strumienia cieplnego [W/m ²]	Odchylenie standardowe strumienia cieplnego
1	wylwanie ciągłe z kadzi pośredniej	1,0	1288	15,22
		1,4	862	14,57
2	napełnianie kadzi pośredniej	7,0	440	18,91
		10,0	300	10,24
3	ciągłe odlewanie stali	1,5	1670	19,60
		2,5	752	14,88
4	miejsce kontroli składu chemicznego w pieco-kadzi	1,5	2640	13,13
		2,0	1841	9,79
5	transport kadzi głównej	7,0	410	9,99
		10,0	270	10,26

Źródło: Opracowanie własne.

Table 2. Maximum temperature values for observed objects and maximum wavelength of the emitted radiation

No.	Name of observed event	Distance from heat source [m]	Ave maximum measured value of heat flux [W/m ²]	Standard deviation of heat flux
1	continuous outflow from the tundish	1,0	1288	15,22
		1,4	862	14,57
2	refilling the tundish	7,0	440	18,91
		10,0	300	10,24
3	continuous casting of steel	1,5	1670	19,60
		2,5	752	14,88
4	location of the chemical composition control in the furnace ladle	1,5	2640	13,13
		2,0	1841	9,79
5	transport of the main ladle	7,0	410	9,99
		10,0	270	10,26

Source: Own elaboration.

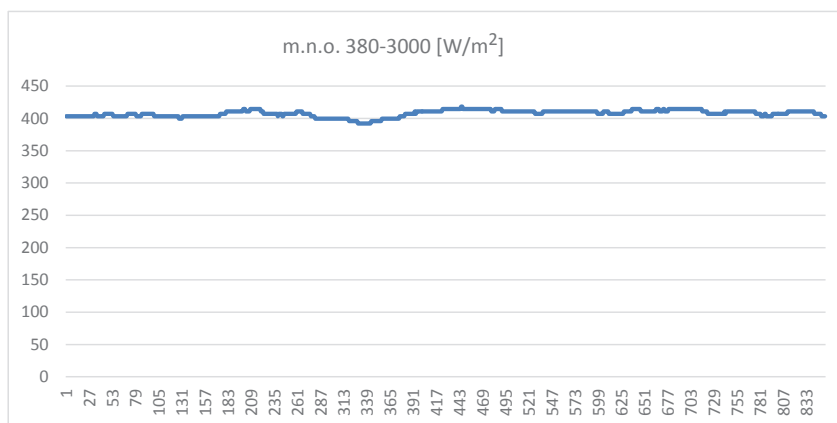


Ryc. 6. Natężenie promieniowania względem czasu dla zakresu (380-3000) nm podczas pomiarów z odległości 7,0 m podczas napełniania kadzi pośredniej.

Fig. 6. Irradiance in relation to time for the range (380-3000) nm. Distance during measurement - 7.0 m from the tundish

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Ryc. 7. Natężenie promieniowania względem czasu dla zakresu (380-3000) nm podczas pomiarów z odległości 7,0 m w trakcie transportu kadzi głównej.

Fig. 7. Radiation strength in relation to time for the range (380-3000) nm. Distance during measurement - 7.0 m from the main ladle during transportation

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

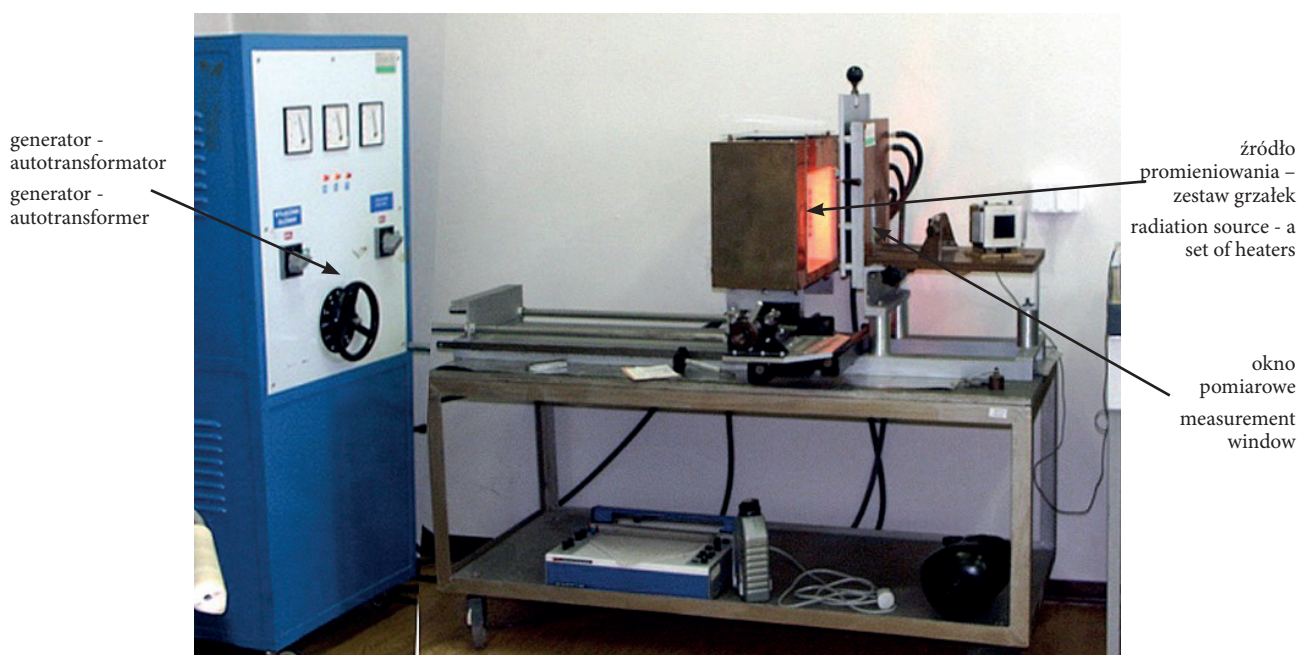
Aktualnie na stanowiskach, które poddano analizie długość czasu pracy ograniczona była od kilku minut (w miejscu kontroli składu chemicznego w pieco-kadzi) do kilku godzin. Temperatura i moc promieniowania powoduje, że dłuższa praca jest uciążliwa i sprawia duży dyskomfort. Pracownicy posiadają środki ochrony twarzy oraz odzież ochronną dopasowaną do pracy w takich warunkach, lecz sprzęt zabezpieczający głowę nie zapewnia podwyższonej ochrony. Poza bezpośrednimi zagrożeniami promieniowaniem cieplnym na takich stanowiskach pracy mogą występować zagrożenia związane ze znacznym obniżeniem parametrów ochronnych hełmów stosowanych przez pracowników. Podobnych obserwacji można dokonać, analizując pracę strażaka, pracownika elektrociepłowni, czy odlewnika. Wcześniejsze badania prowadzone w CIOP-PIB wykazały, że hełmy, które zostały narażone na działanie wysokich temperatur nie utrzymują swoich parametrów ochronnych w zakresie stopnia amortyzacji i odporności na przebicie. Ponadto tworzywa sztuczne, z których wykonano skorupy kasków, poddane wielokrotnemu procesowi nagrzewania i studzenia podlegają szybszemu starzeniu, co również niekorzyst-

nie wpływa na ich właściwości mechaniczne, które nawet w temperaturach pokojowych mogą być niższe o kilkadziesiąt procent.

3. Metody badań

Na potrzeby opracowania nowych metod badań przeanalizowano opracowania normatywne dotyczące odzieży ochronnej dla strażaków. Opisanie w nich metody wykorzystano i zmodyfikowano dla potrzeb badania hełmów.

Wymagania dotyczące przenikania ciepła przy działaniu promieniowania podczerwonego dla odzieży ochronnej strażaków objęte są normą PN-EN 469:2006(U), która odwołuje się do metody badania wg normy PN-EN 6942:2005. Na potrzeby badania próbkę nakłada się na kalorymetr, który następnie umieszcza się na podstawie urządzenia pomiarowego (ryc. 8) naprzeciwko elementów grzejnych – źródła promieniowania. Po odsłonięciu otworu ekspozycyjnego i uruchomieniu programu rozpoczyna się pomiar, podczas którego rejestrowane są zmiany temperatury w czasie. Pomiar jest kończony w momencie uzyskania liniowego wzrostu temperatury w czasie.



Ryc. 8. Zestaw pomiarowy do wyznaczania przenikania ciepła przy działaniu promieniowania ciepłego
 Fig. 8. Measuring equipment for identification of heat transfer by thermal radiation

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Materiały, z których zbudowane są środki ochrony głowy, różnią się od tych stosowanych do konstrukcji odzieży. Ponadto parametry strumienia ciepłego, który jest emitowany na stanowiskach pracy w obszarze głowy pracownika różnią się od tych określonych dla odzieży. W związku z tym metoda zaproponowana do oceny hełmów ochronnych musiała zostać zmodyfikowana. Polega ona na określeniu stosunku strumienia mocy promieniowania podczerwonego przechodzącego przez badaną próbkę do mocy strumienia promieniowania podczerwonego wychodzącego bezpośrednio z testowego źródła promieniowania. Podobna metoda jest wykorzystywana w ocenie parametru określanego, jako ochrona przed ciepłem promieniowania, który stosowany jest w badaniach osłon twarzy chroniących przed promieniowaniem podczerwonym (m.in. osłony stosowane w hełmach strażackich) [10]. W metodzie tej strumień promieniowania podczerwonego skierowany jest bezpośrednio na zewnętrzną stronę badanej próbki. Jest ona możliwa do realizacji na stanowisku pomiarowym przedstawionym na ryc. 8 w skład którego wchodzi zestaw grzałek i autotransformator oraz za oknem pomiarowym miernik HD 2404 (ryc. 2).

Opracowana metoda pomiarowa zakładająca wykorzystanie stanowiska pomiarowego przedstawionego na ryc. 8 przebiegała w następujący sposób:

1. Zestaw grzałek ustawiono w odległości 45 cm od miejsca mocowania próbek, a autotransformator na 1 poziom mocy. Pozwoliło to uzyskać moc promieniowania na poziomie 1200 W/m^2 . Wartość mocy promieniowania dobrano do wartości uzyskiwanych podczas pomiarów na stanowiskach pracy.
2. Do pomiarów mocy promieniowania zastosowano miernik promieniowania optycznego HD 2404 ustawiony w odległości 50 cm od źródła promieniowania.
3. Pomiaru dokonywano po umieszczeniu badanej próbki na drodze promieniowania w oknie pomiarowym poprzez rejestrację wartości promieniowania w czasie aż do ustabilizowania się wyniku.

4. Ocenie został poddany spadek wartości mocy promieniowania ciepłego za próbką w stosunku do wartości mocy promieniowania wyjściowego.

Zaproponowane zmiany pozwalają na wyznaczenie wartości izolacyjności cieplnej, której miarą jest wielkość strumienia ciepłego rejestrowanego po drugiej stronie próbki. Tak zmodyfikowana metoda pozwoli określić:

- wielkość natężenia strumienia ciepłego (wyrażaną w W/m^2) po drugiej stronie próbki,
- zakres długości fali promieniowania emitowanego przez ten strumień,
- czas oddziaływania strumienia ciepłego z osłoną.

Rejestrację prowadzono z wykorzystaniem zestawu pomiarowego przedstawionego na ryc. 9.

Ponadto aby dokładniej scharakteryzować badane próbki, wyznaczono wartości średniego widmowego współczynnika odbicia. Badanie przeprowadzono z wykorzystaniem spektrofotometru Carry 5000 z kulą całkującą do pomiarów całkowitego współczynnika odbicia z użyciem tego samego wzorca.

4. Wyniki badań

W celu weryfikacji zaproponowanej metody wykonano badania próbek wyciętych ze skorup obecnie produkowanych hełmów ochronnych, w tym dwie pokryte powłokami ochronnymi. Wykorzystano opracowaną metodykę, aparaturę przedstawioną na ryc. 8 (zestaw grzałek i autotransformator) oraz zestaw pomiarowy zbudowany z miernika promieniowania optycznego HD 2404 i komputera ze specjalnym oprogramowaniem do rejestracji (ryc. 9) wartości strumienia mocy dla wybranych zakresów promieniowania w czasie rzeczywistym. Wykonano po pięć pomiarów dla każdego typu próbki.

Próbkami do badań przedstawionymi w tabeli 3 były fragmenty ośmiu typów wyprzepracowanych skorup hełmów ochronnych.

Wyniki badań przedstawiono w tabeli 4. Przykładowe wykresy charakterystyk czasowych mierzonego promieniowania przedstawiono na rycinach 10 i 11.

Komputer z zainstalowanym oprogramowaniem do obsługi miernika HD 2404

PC with installed software to use meter HD 2404



Głowica pomiarowa miernika HD 2404

Measuring head meter HD 2404

Ryc. 9. Zestaw pomiarowy do rejestracji mocy promieniowania cieplnego
Fig. 9. Measuring equipment for identification of thermal radiation intensity

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Tabela 3. Próbkki do badań odporności na promieniowanie cieplne

Table 3. Samples for testing resistance to thermal radiation

L.p. /No.	Oznaczenie próbki /Name of sample	Materiał podłoża/kolor /Substrate material/colour
1.	P1	HDPE/żółty/yellow
2.	P2	HDPE/biały/white
3.	P3	PE/niebieski/blue
4.	P4	Poliamid/żółty Polyamide/yellow
5.	P5	Tworzywo kompozytowe - wtryskowe/czerwony /Composite material - injection/red
6.	P6	Żywica-wł. szklane/biały /Resin-glass fibre/white
7.	P7	Powłoka z aluminium/srebrny /Aluminum coating/silver
8.	P8	Powłoka z miedzi/złoty /Copper coating/gold

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

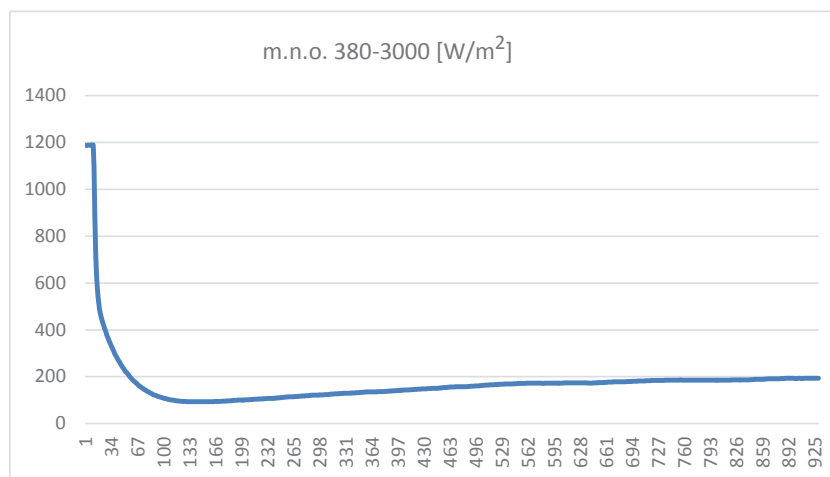
Tabela 4. Wyniki pomiarów mocy promieniowania i temperatury powierzchni próbek

Table 4. Measurement results for radiation strength and surface temperature of samples

L.p. No.	Oznaczenie próbki /Name of sample	Średnia maksymalna moc promieniowania w zakresie 380 – 3000 nm [W/m ²] /Average maximum radiated strength in the range 380 – 3000 nm [W/m ²]	Odchylenie standardowe mocy promieniowania /Standard deviation of radiation strength	Stosunek mocy promieniowania emitowanego do mierzonego /Ratio of emitted radiation strength to measured	Średnia temperatura powierzchni próbki [°C] /Ave surface temperature of sample [°C]	Odchylenie standardowe temperatury powierzchni /Standard deviation of surface temperature
1.	P1	214	12,4	5,6	140	2,8
2.	P2	229	14,5	5,2	145	3,2
3.	P3	301	13,8	4,0	155	2,9
4.	P4	293	10,2	4,1	160	2,5
5.	P5	150	9,6	8,0	160	2,8
6.	P6	115	9,8	10,4	155	2,7
7.	P7	101	4,9	11,9	60	1,7
8.	P8	111	5,3	10,8	70	2,1

Źródło: Opracowanie własne.

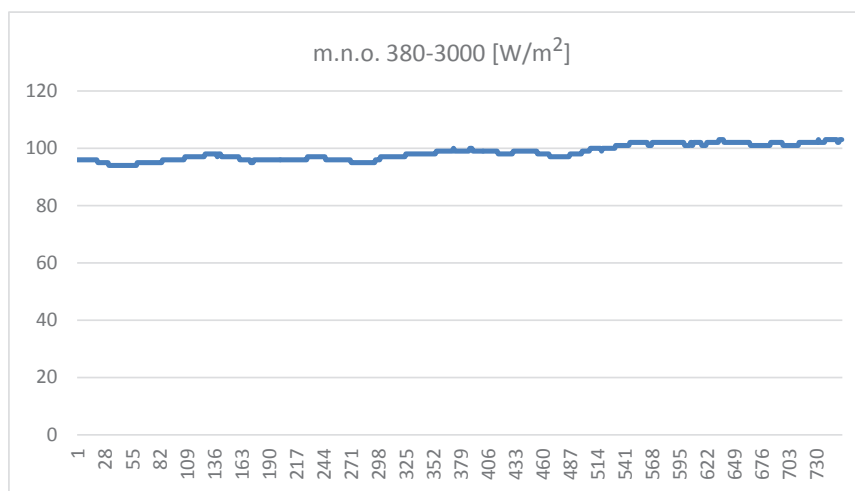
Source: Own elaboration.



Ryc. 10. Przykładowy wykres natężenia promieniowania względem czasu dla zakresu (380-3000) nm podczas pomiarów mocy promieniowania mierzonego za próbka P4

Fig. 10. Sample graph of radiation intensity in relation to time for the range (380-3000) nm during the measurement of radiation strength by the sample P4

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 11. Przykładowy wykres natężenia promieniowania względem czasu dla zakresu (380-3000) nm podczas pomiarów mocy promieniowania mierzonego za próbka P7

Fig. 11. Sample graph of radiation intensity in relation to time for the range (380-3000) nm during the measurement of radiation strength by the sample P7

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Wartości natężenia promieniowania rejestrowano aż do momentu ustabilizowania się wyników. Na ryc. 10 miernik zarejestrował wartości promieniowania padającego bezpośrednio na detektor jeszcze przed zamontowaniem próbki. Z tego powodu początkowe wskazania wynosiły 1200 W/m². Rycina 11 przedstawia część wykresu, gdzie następowała stabilizacja uzyskiwanych wartości.

W celu zbadania właściwości optycznych próbek zmierzono współczynnik odbicia podczerwieni ($R(\lambda)$). Badania wykonano z wykorzystaniem spektrofotometru Carry 5000 z kulą całkującą do pomiarów całkowitego współczynnika odbicia z użyciem tego samego wzorca. Dla całego mierzonego zakresu długości fali (od 780 do 2000 nm) wyznaczono średni widmowy współczynnik przepuszczania podczerwieni. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Wartości średniego widmowego współczynnika odbicia
Table 5. The average value of spectral reflectance

L.p. /No.	Współczynnik odbicia podczerwieni od 780 do 2000 nm R [%] /Infrared reflectance factor from 780 to 2000 nm R [%]
1	41,0
2	59,5
3	40,9
4	51,7
5	53,3
6	54,1
7	114,9
8	118,6

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Na podstawie analizy przedstawionych powyżej wyników badań zebranych w zakładzie pracy zdecydowano, że wybrana do pomiarów próbek w laboratorium moc promieniowania 1200 W/m² jest uśrednioną, wystarczającą wartością. Stosunek mocy promieniowania emitowanego przez generator i padającego na próbkę do mocy promieniowania mierzonego za próbką wynosił od ok. 4 dla próbek P3 i P4 do ok. 12 dla próbek P7 i P8. Największą skuteczność (najniższe wartości mocy promieniowania po drugiej stronie próbki) wykazały próbki pokryte powłoką z aluminium i miedzi. Podobnie było z temperaturą powierzchni. Rejestrowano wartości w zakresie od 60°C dla próbki P7 do 160°C dla próbek P4 i P5, przy czym najniższe wartości uzyskiwano dla próbek z powłokami. Tak wysokie temperatury skorup hełmów mogą wpłynąć na właściwości tworzyw, z których są wykonane oraz znacząco obniżyć parametry ochronne całego hełmu.

Analiza odchylen standardowych wartości mocy promieniowania, jak również temperatur wskazuje na to, że najbardziej stabilne i powtarzalne wyniki uzyskano dla powłok aluminiowej i miedzianej. Wyniki pokazały, że nawet najprostsze jednoatomowe metaliczne powłoki znacznie podnoszą stopień ochrony przed promieniowaniem cieplnym i nie powodują znacznego nagrzewania powierzchni.

Najniższy współczynnik odbicia podczerwieni uzyskano dla próbek P1 i P3. Największe wartości dla próbek z powłokami aluminiową i miedzianą. W przypadku próbek P7 i P8 uzyskano wynik ponad 100% w stosunku do użytego wzorca. Wynik ten nie jest błędny – pokazuje tylko, że próbki miały wyższy współczynnik odbicia niż zastosowany wzorzec.

5. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano wyniki oceny zagrożeń promieniowaniem cieplnym na stanowiskach pracy, a także metody badań środków ochrony głowy narażonych na to promieniowanie. Zdefiniowano, jaka aparatura badawcza może być wykorzystana do ich oceny. Wykonano badania i wyznaczono stopień odbicia promieniowania podczerwonego, temperaturę powierzchni oraz wartości średniego widmowego współczynnika odbicia dla aktualnie stosowanych środków ochrony głowy.

Dzięki wykonanym termogramom oraz pomiarom mocy promieniowania uzyskano informacje o warunkach panujących na „gorących” stanowiskach pracy. Wybrano miejsca, w których występowała najwyższa temperatura obserwowanych obiektów. Notowano wartości od 527°C do ponad 1100°C. Moce strumieni cieplnych na tych stanowiskach wahały się w zależności od odległości, z których dokonywano pomiaru od 270 W/m² do 1670 W/m², a w jednym przypadku nawet ponad 2600 W/m².

Na podstawie analizy otrzymanych wyników zdecydowano, że do badań próbek będzie stosowana moc promieniowania 1200 W/m². Promieniowanie o takiej mocy było emitowane przez generator podczas wyznaczania przenikania ciepła na stanowisku badawczym.

Opracowana metoda badań została wykorzystana do przeprowadzenia badań próbek skorup hełmów ochronnych. Badania przenikania ciepła wykazały, że stosunek mocy promieniowania emitowanego przez generator i padającego na próbkę do mocy promieniowania mierzonego za próbką wynosił od 4 do 11,9. Największą skutecznością wykazały się próbki pokryte powłoką z aluminium i miedzi. Podobnie było z temperaturą powierzchni. Rejestrowano wartości w zakresie od 60°C do 160°C przy czym najniższe wartości uzyskiwano dla próbek z powłokami. Ponadto analiza odchyleń standardowych wartości mocy promieniowania, jak i temperatur wskazuje na to, że najbardziej stabilne i powtarzalne wyniki uzyskano dla powłok aluminiowej i miedzianej. Uzyskane wartości średniego widmowego współczynnika odbicia w granicach od ok. 40% do ponad 100% dla elementów z powłokami aluminiową i miedzianą pokazują, że nawet najprostsze jednoatomowe metaliczne powłoki znacznie podnoszą stopień ochrony przed promieniowaniem cieplnym.

Na stanowiskach pracy, które poddano analizie czas przebywania w obszarze zagrożonym promieniowaniem wynosił od kilku minut (w miejscu kontroli składu chemicznego w pieco-kadzi) do kilku godzin. Temperatura i moc promieniowania powoduje, że dłuższa praca jest niebezpieczna. Pracownik narażony jest na jego działanie bezpośrednio lub pośrednio poprzez obniżanie się właściwości ochronnych środków ochrony indywidualnej narażonych na długotrwałe działanie wysokich temperatur. Pracownicy posiadają środki ochrony twarzy oraz odzież ochronną dopasowaną do pracy w takich warunkach, lecz środki ochrony głowy nie zapewniają podwyższonej ochrony. Sytuacja taka wymaga zmian. Wyposażenie w bardziej efektywny sprzęt wydłuży bezpieczny czas pracy i podniesie jej bezpieczeństwo.

Przedstawiona metoda badań dotycząca wyznaczania przenikania ciepła przy działaniu promieniowania podczerwonego może posłużyć do oceny nie tylko gotowych wyrobów, ale również układów powłoka ochronna – podłoże, które mogą zostać wykorzystane do budowy np. hełmów ochronnych. W zależności od wymagań danego środowiska pracy oraz typu hełmu wartości promieniowania cieplnego, przy jakim prowadzone będą badania mogą być zmieniane przy zachowaniu opracowanej metodyki badań. Pozwoli to na ocenę tych układów pod kątem odporności na promieniowanie cieplne jeszcze przed podjęciem produkcji końcowego wyrobu. Taka możliwość spowoduje znaczne obniżenie kosztów i skrócenie czasu przygotowań nowego typu hełmu ochronnego.

Prace w zakresie parametrów osadzania powłok, możliwość ich aplikacji na podłożach z tworzyw sztucznych oraz badań właściwości tych układów będą kontynuowane w CIOP-PIB.

Publikacja została opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Literatura

- [1] PN-EN 443:2008 Hełmy stosowane podczas walki z ogniem w budynkach i innych obiektach.
- [2] Miernik K., *Podstawy fizyczne rozpylania magnetronowego*, „Inżynieria Powierzchni” Issue 1, 1996, pp. 66-74.
- [3] Kula P., *Inżynieria warstwy wierzchniej*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2000.
- [4] Ledermann N., Baborowski J., Muralt P., Xantopoulos N., Tellenbach J.M., *Sputtered silicon carbide thin films as protective coating for MEMS applications*, “Surface and Coatings Technology” Vol. 125, 2000, pp. 246-250.
- [5] Wendler B., Danielewski M., Jachowicz M., Kaczmarek Ł., Ryłski A., *Proc. Int. Conf. Advances in Mechanics and Materials Engineering AMME-2003 in Zakopane, Poland, 07-10.12.2003*, L. Dobrzański (red.), Silesian University of Technology, Gliwice, 1033-1040.
- [6] Wendler B., Jachowicz M., Karolus M., Adamczyk L., Ryłski A., *Powłoki ochronne SiC, SiCN i SiN na stopach metali osadzone reakcyjną metodą magnetronową przy niskich temperaturach*, „Inżynieria Materiałowa” Vol. 27 Issue 3, 2006, pp. 551-553.
- [7] Wendler B., Ryłska D., Ryłski A., Jachowicz M., Kaczmarek Ł., Pawlak W., Liśkiewicz T., *Powłoki ochronne na stopach metali osadzone metodami PVD*, „Inżynieria Powierzchni” Issue 2, 2005, pp. 14-18.
- [8] Wendler B., Jachowicz M., Ryłska D., Danielewski M., Bieliński D., Wróbel A.M., Kaczmarek Ł., Ryłski A., Liśkiewicz T., *Si-based protective coatings on Si and steel substrates*, „Inżynieria Materiałowa” Issue 3, 2004, pp. 673-675.
- [9] Wendler B., Kaczmarek Ł., Jachowicz M., Ryłski A., *Oxidation resistant coatings on gamma -TiAl alloy*, „Inżynieria Materiałowa” Issue 3, 2004, pp. 676-680.
- [10] Romankov S.E., Suleeva S., Volkova T.V., Ermakov E., *Influence of thermal treatment on the structure of Ti-Al films*, “Crystal Engineering” Issue 5, 2002, pp. 255-263.

* * *

dr inż. Marcin Jachowicz – adiunkt w Zakładzie Ochron Osobistych Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego. Absolwent Instytutu Inżynierii Materiałowej Politechniki Łódzkiej. Obszary zainteresowań naukowych: środki ochrony głowy, sprzęt zabezpieczający przed upadkiem z wysokości, inżynieria materiałowa, inżynieria cienkich powłok.

