

**Metoda badania hełmów w zakresie skuteczności ochrony przed  
uderzeniami ruchomych obiektów**

*dr inż. Krzysztof Baszczyński, CIOP-PIB*

*2013 r.*

## **Wprowadzenie**

Podstawowym zadaniem przemysłowych hełmów ochronnych [1] jest zabezpieczenie głowy użytkownika przed uderzeniem poruszających się obiektów. Działanie to jest osiągnięte dzięki pochłanianiu energii poruszającego się obiektu i nie dopuszczeniu do działania na głowę użytkownika siły o wartości mogącej wywoływać negatywne skutki dla jego zdrowia i życia. Pochłanianie energii uderzenia przez hełm ochronny wiąże się z deformacją jego więzby i skorupy. Wartość energii, którą może pochłonąć hełm decyduje o skuteczności jego ochrony przed uderzeniami ruchomych obiektów.

Biorąc pod uwagę istotność tego problemu w Zakładzie Ochron Osobistych CIOP-PIB w ramach II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2011-2013 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej opracowano metodę badań i stanowisko badawcze pozwalające na określanie zdolności pochłaniania energii uderzenia hełmów ochronnych.

## **Założenia teoretyczne do metody badań**

Hełm przemysłowy uderzany przez poruszający się obiekt absorbuje jego energię kinetyczną i ogranicza wartość siły dynamicznej działającej na głowę użytkownika. Absorbowana energia kinetyczna obiektu jest zamieniana na odkształcenia sprężyste i plastyczne skorupy i więzby hełmu. Wraz ze wzrostem odkształcenia hełmu rośnie siła, którą działa on na głowę użytkownika. Zgodnie z kryteriami otwartych obrażeń głowy oraz kręgów szyi [2, 3], będących skutkiem uderzenia centralnego w część ciemieniową głowy jako wartość krytyczną działającej wówczas siły należy przyjąć 5 kN. W związku z tym zdolność pochłaniania energii hełmu ochronnego można zdefiniować jako maksymalną wartość energii, którą może pochłonąć hełm podczas pionowego uderzenia w część ciemieniową przy założeniu, że wartość siły działającej na makietę głowy nie przekroczy 5 kN. Wielkość tą można opisać następującą zależnością:

$$E_5 = \int_0^{\Delta x_m} F(\Delta x) d\Delta x$$

(1)

gdzie:

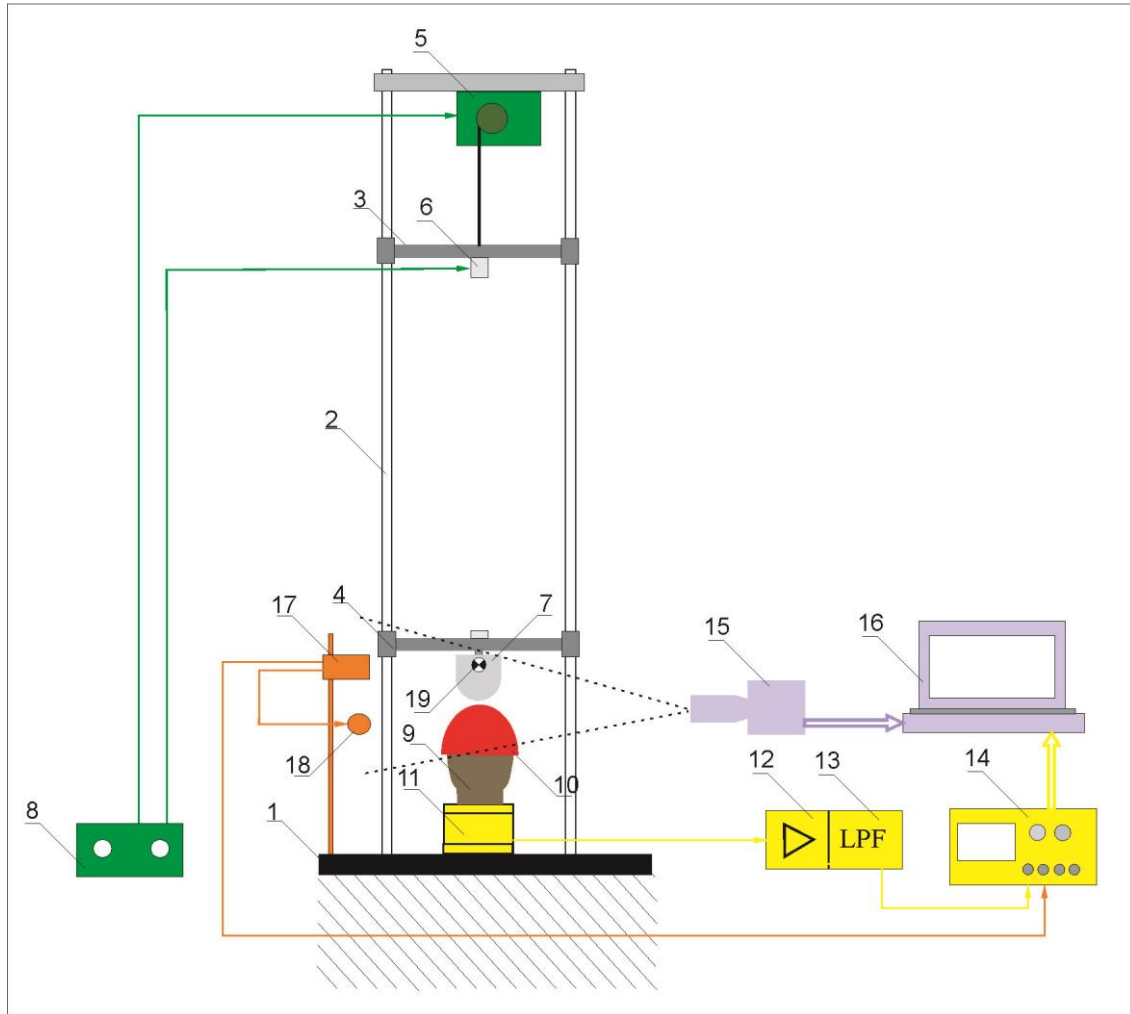
$\Delta x$  - deformacja hełmu,

$\Delta x_m$  - wartość deformacji, dla której wartość siły obciążającej hełm wynosi 5 kN,

$F(\Delta x)$  - charakterystyka siła obciążająca - deformacja hełmu.

## **Stanowisko badawcze**

Wykorzystując sformułowane założenia teoretyczne zbudowano stanowisko badawcze, przedstawione na rys.1, umożliwiające określanie zdolności pochłaniania energii hełmu ochronnego.



Rys. 1. Stanowisko do badania zdolności pochłaniania energii uderzenia przez hełm ochronny.

1 - monolityczny fundament stanowiska, 2 - prowadnice, 3 - wózek podnoszący bijak, 4 - wózek bijaka, 5 - napęd podnoszenia i opuszczania wózka, 6 - zaczepek elektromagnetyczny, 7 - bijak, 8 - sterowanie napędem i zwalnianiem bijaka, 9 - makieta głowy, 10 - badany hełm, 11 - przetwornik pomiarowy siły, 12 - wzmacniacz, 13 - dolnoprzepustowy filtr analogowy, 14 - cyfrowy oscyloskop, 15 - cyfrowa kamera do szybkich zdjęć, 16 - komputer, 17 - układ pomiaru prędkości bijaka i synchronizacji, 18 - dioda laserowa.

Część mechaniczna stanowiska jest zainstalowana na monolitycznym betonowym fundamencie (1) [4]. Do fundamentu są zainstalowane prowadnice stanowiska (2), których drugie końce są związane z sufitem pomieszczenia laboratoryjnego. Po pionowych prowadnicach (2) porusza się wózek podnoszący (3) i wózek bijaka (4). Z wózkiem (4) jest połączony bijak (7) o konstrukcji spełniającej wymagania normy *PN-EN 397:2012* [1]. Bijak w końcowej fazie spadania uderza w badany hełm (10). Wysokość spadania bijaka, a co za tym idzie jego energia kinetyczna, jest ustalana za pomocą ustawiania pionowego [położenia

wózka (3). Wózek bijaka (4) przed przeprowadzeniem badania jest utrzymywany przez elektromagnes (6). Spadanie bijaka jest inicjowane sygnałem z sterownika (8) wyłączającym elektromagnes (6). Badany hełm jest mocowany na makiecie głowy (9) spełniającej, pod względem konstrukcji, wymagania normy *PN-EN 960:2007* [5].

W skład części elektronicznej stanowiska wchodzi:

- układ do pomiaru siły przekazywanej przez hełm na makietę głowy (9) podczas uderzenia bijaka (7)
- kamera cyfrowa do szybkich zdjęć (15) i komputer (16) służące do pomiaru deformacji hełmu,
- układ pomiaru prędkości bijaka i synchronizacji pomiaru (17) oraz dioda laserowa (18).

Układ pomiaru siły tworzą przetwornik pomiarowy (11) zainstalowany na fundamencie stanowiska, wzmacniacz (12), filtr analogowy (13) oraz cyfrowy oscyloskop (14). Zadaniem oscyloskopu jest zapamiętanie w postaci cyfrowej przebiegu czasowego siły, jego wizualizacja i pomiar wybranych parametrów jak np. wartość maksymalna, czas narastania itp. Tor pomiaru siły pod względem charakterystyk elektrycznych spełnia wymagania normy *PN-EN 397:2012* [1].

Kamera cyfrowa do szybkich zdjęć (15) jest wykorzystywana do rejestracji przemieszczenia znacznika (5) naniesionego na powierzchnię bijaka (7), podczas jego uderzenia w hełm. Przemieszczenie to odpowiada sumarycznej deformacji hełmu w kierunku pionowym podczas uderzenia bijaka. Kamera jest ustawiona w taki sposób, że w jej polu widzenia znajduje się badany hełm z bijakiem (7) w chwili ich zetknięcia oraz dioda laserowa (18) służąca do synchronizacji pomiaru siły i deformacji. Komputer (16) połączony z kamerą służy do zaprogramowania jej trybu pracy, zapisania zarejestrowanych przez kamerę obrazów oraz ich przetwarzania po rejestracji.

Układ synchronizacji pomiaru siły i deformacji hełmu, składa się z czujnika prędkości bijaka (17) oraz diody laserowej (18). Mierzy on prędkość bijaka na ostatnich 20 mm drogi spadania przed uderzeniem w hełm oraz generuje sygnały: wyzwalający rejestrację danych w oscyloskopie (14) i włączający diodę laserową (18), której zapalenie się rejestruje kamera (15). Dzięki temu można zidentyfikować początek danych zarejestrowanych przez oscyloskop i kamerę. Ponadto wartość prędkości końcowej bijaka pozwala na precyzyjne określenie jego energii kinetycznej podczas uderzenia w badany hełm.

### **Oprogramowanie**

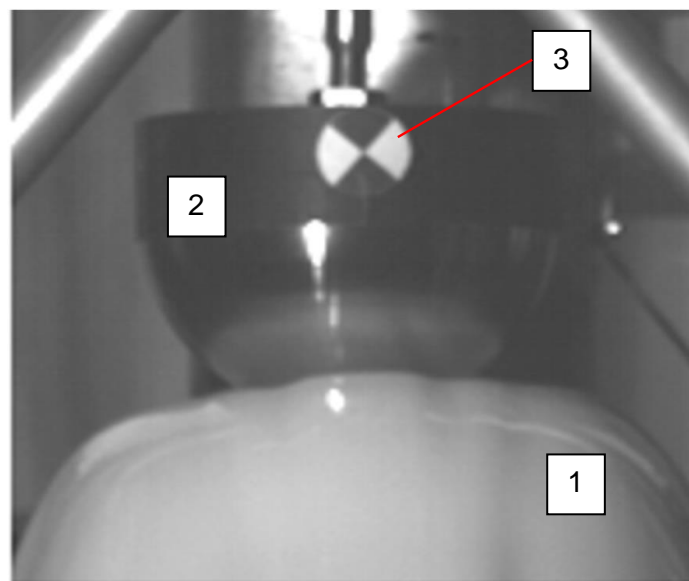
Stanowisko badawcze wyposażono w specjalistyczne oprogramowanie, do którego głównych zadań należą:

- Ustawienie trybu pracy cyfrowej kamery do szybkich zdjęć charakteryzowanego przez następujące główne parametry:
  - prędkość filmowania na 4000 klatek/s;

- wielkość rejestrowanego obrazu: obejmująca cały hełm z bijakiem;
- praca ciągła z ręcznym zatrzymywaniem rejestracji;
- sposób zapisu sekwencji filmowej: zbiór plików bmp.
- Przetwarzanie zarejestrowanego obrazu z kamery, które polega na śledzeniu ruchu znacznika na kolejnych klatkach zarejestrowanego filmu za pomocą algorytmu identyfikacji obrazów i tworzeniu przebiegu przemieszczenia znacznika, czyli deformacji hełmu, w funkcji czasu w postaci wykresu oraz tablicy.
- Obliczanie wartości energii pochłoniętej przez hełm zgodnie z zależnością (1). Danymi wejściowymi dla programu są zarejestrowany w pamięci oscyloskopu przebieg siły działającej na hełm podczas uderzenia oraz otrzymywany za pomocą specjalnego oprogramowania kamery przebieg przemieszczenia znacznika na bijaku odpowiadający sumarycznej deformacji hełmu.

### Przykładowe wyniki badań hełmów ochronnych

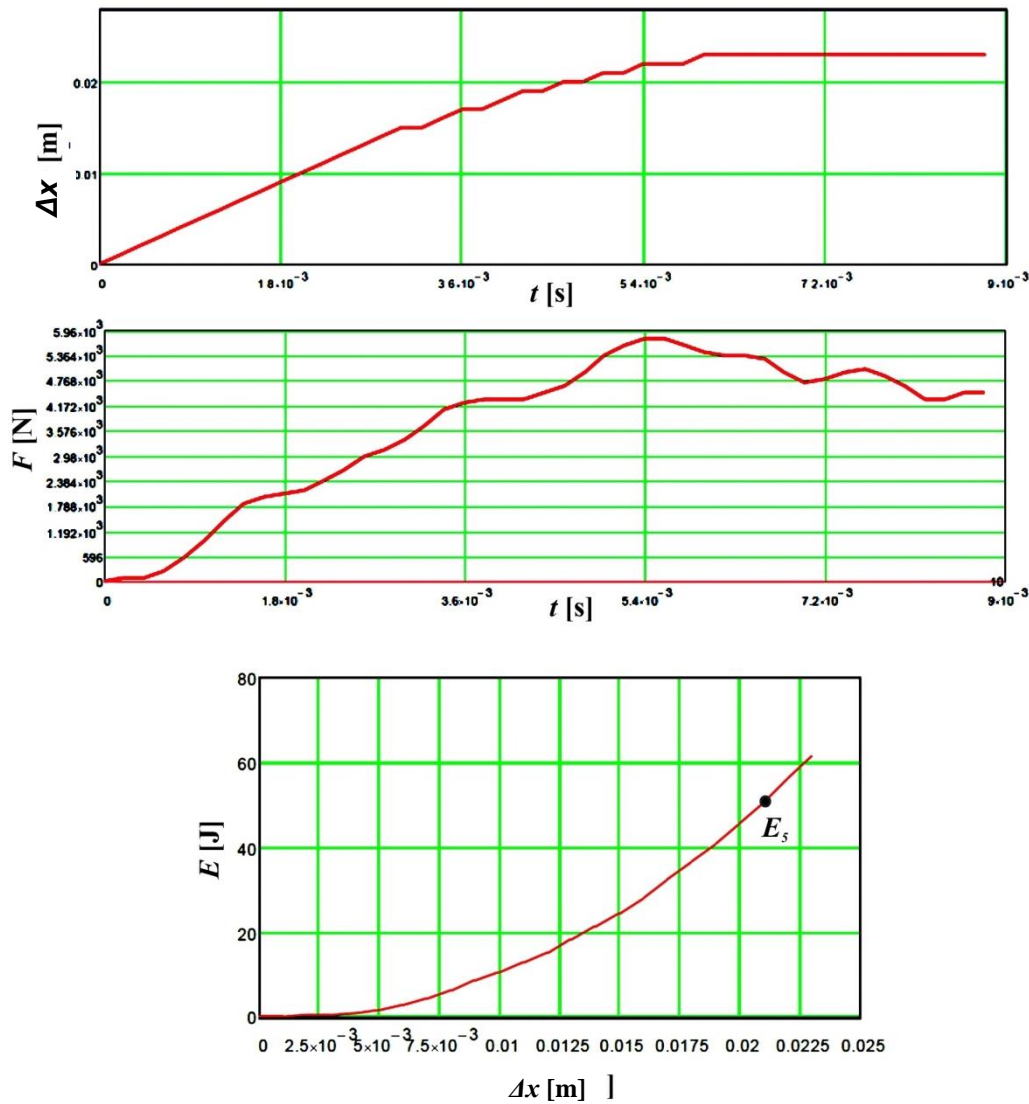
Podczas badań prowadzonych za pomocą zaprezentowanego stanowiska rejestrowany jest pełen przebieg deformacji hełmu podczas uderzenia spadającego bijaka. Na rys. 2 przedstawiono przykładowe zdjęcie maksymalnej deformacji polietylenowego hełmu ochronnego. Dzięki rejestracji za pomocą kamery do szybkich zdjęć jest możliwe przeprowadzenie analizy zachowania hełmu podczas uderzenia, co jest szczególnie cenną informacją na etapie projektowania nowych konstrukcji.



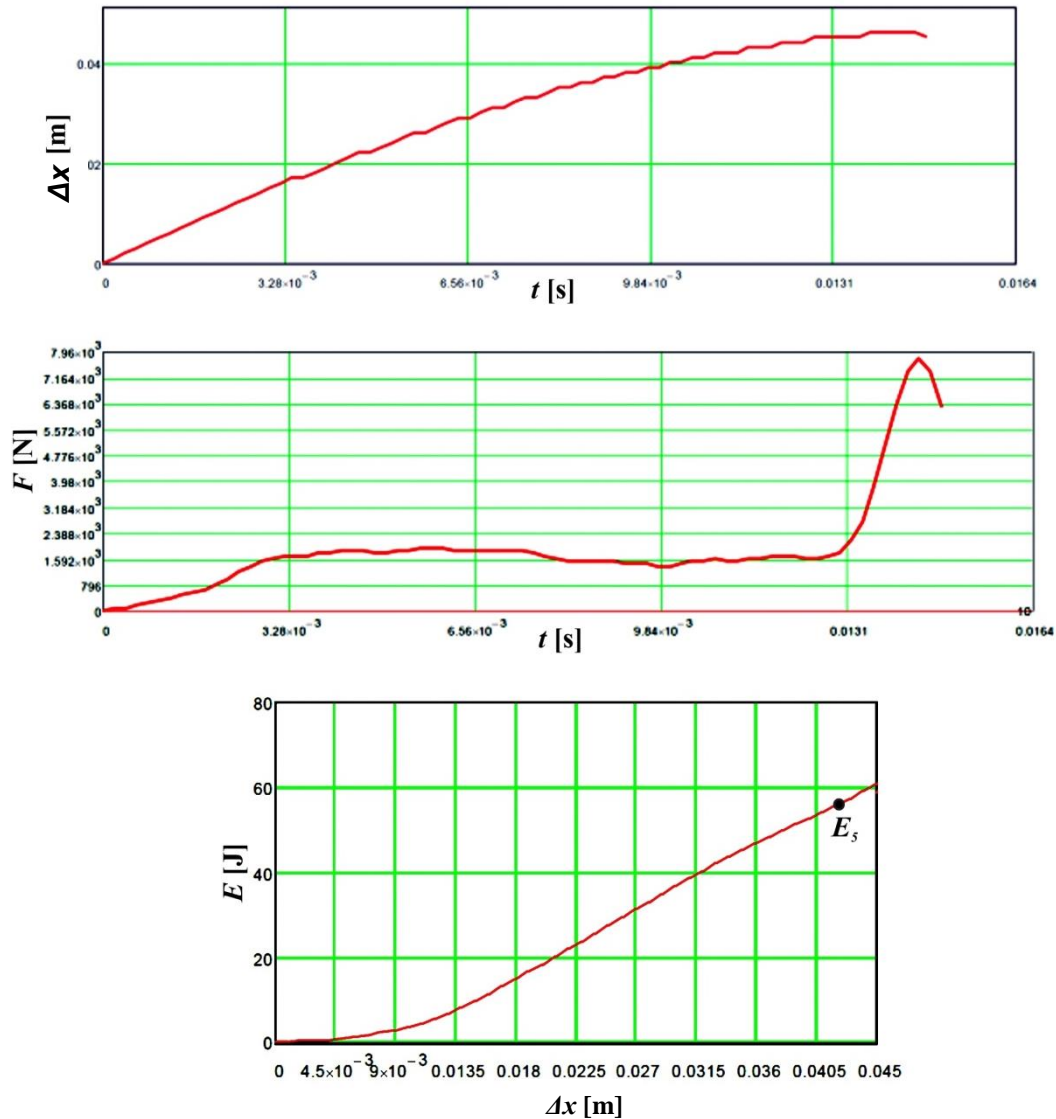
Rys. 2. Maksymalna deformacja hełmu podczas uderzenia bijaka

1 - skorupa hełmu, 2 - bijak, 3 - znacznik

Przykładowe wyniki badań przeprowadzonych na stanowisku badawczym przedstawiono na rys. 3 i 4. Wyniki na rys. 3 dotyczą przemysłowego hełmu ochronnego wyposażonego w skorupę z laminatu poliestrowo-szklanego i więźbę z taśm włókienniczych, a na rys. 4 hełmu o polietylenowej skorupie i więźbie z taśm włókienniczych



Rys. 3. Wyniki badania deformacji hełmu, siły przekazywanej na makietę głowy oraz energii pochłanianej podczas uderzenia spadającego bijaka w przemysłowy hełm ochronny wyposażony w skorupę z laminatu poliestrowo-szklanego i więźbę z taśm włókienniczych



Rys. 4. Wyniki badania deformacji hełmu, siły przekazywanej na makietę głowy oraz energii pochłanianej podczas uderzenia spadającego bijaka w przemysłowy hełm ochronny wyposażony w polietylenową skorupę i więźbę z taśm włókienniczych

### Możliwości wykorzystania metody i stanowiska badawczego

Przedstawiona metoda badań oraz stanowisko badawcze stwarzają nowe możliwości oceny parametrów ochronnych hełmów przeznaczonych zarówno do zastosowań w warunkach przemysłowych jak rekreacyjno - sportowych. Uzyskiwane tą metodą wyniki mogą być szczególnie przydatne dla potrzeb opracowywania nowych rozwiązań konstrukcyjnych hełmów ochronnych o wyższych parametrach ochronnych, a szczególnie optymalizacji wykładzin amortyzujących [6, 7, 8]. Do najważniejszych korzyści wynikających z zastosowania nowej metody badawczej należą:

- możliwość obserwacji zachowania hełmu, rozumianego jako przebiegu deformacji i powodującej jej siły, podczas uderzenia poruszającego się obiektu,
- uzyskanie rzeczywistej wartości energii uderzenia, którą może pochłonąć hełm, przy założeniu, że wartość siły działającej na makietę głowy nie przekracza 5 kN,
- uzyskanie charakterystyki hełmu wiążącej deformację z powodującą ją siłą obciążającą,
- uzyskanie zależności pochłanianej przez hełm energii uderzenia w funkcji jego deformacji,
- możliwość oceny deformacji więźby i skorupy hełmu jako oddzielnych wielkości.

Powyższe wielkości w warunkach laboratorium Zakładu Ochron Osobistych CIOP-PIB mogą być uzyskiwane również dla:

- różnych warunków kondycjonowania wstępnego hełmów obejmującego: utrzymywanie w zadanych temperaturach, wilgotności oraz naświetlania promieniowaniem podczerwonym i ultrafioletowym,
- uderzeń poruszającego się obiektu w części poza ciemieniową hełmu [9, 10].

## **Literatura**

[1] PN-EN 397:2012 Przemysłowe hełmy ochronne

[2] Hulme, A.J., Mills, N.J., 1996. The performance of industrial helmets under impact. An assessment of the British standard BS 5240 PT. 1, 1987. School of Metallurgy and Materials. University of Birmingham. Health & Safety Executive contract research report no. 91/1996

[3] Gilchrist, A., Mills, N.J., 1989. Improved side, front and back impact protection for industrial helmets. School of Metallurgy and Materials. University of Birmingham. Health & Safety Executive contract research report no. 13/1989

[4] PN-EN 13087-2:2012 Hełmy ochronne. Metody badań. Część 2: Zdolność amortyzacji

[5] PN-EN 960:2007 Makiety głowy do badań hełmów ochronnych

[6] Forero Rueda, M.A., Cui, L., Gilchrist, M.D., 2009. Optimisation of energy absorbing liner for equestrian helmets. Part I: Layered foam liner. *Materials and Design* 30 (2009) 3405–3413

[7] Shuaeib, F.M., Hamouda, A.M.S., Hamdan, M.M., Radin Umar, R.S., Hashmi, M.S.J., 2002. Motorcycle helmet. Part II. Materials and design issues. *Journal of Materials Processing Technology* 123 (2002) 422-431.

[8] Shuaeib, F.M., Hamouda, A.M.S., Wong, S.V., Radin Umar, R.S., Megat Ahmed, M.M.H., 2007. A new motorcycle helmet liner material: The finite element simulation and design of experiment optimization. *Materials and Design* 28 (2007) 182–195.



- [9] Korycki R.: The damping of off-central impact for selected industrial safety helmets used in Poland. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE ) 2002, vol. 8, no. 1, 51–70
- [10] Baszczyński K., 2002: Przemysłowe hełmy ochronne a zabezpieczenie głowy przed uderzeniami bocznymi. Bezpieczeństwo Pracy 5, 10-13

*Materiał informacyjny opracowany na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2012-2013 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy-Państwowy Instytut Badawczy. Zadanie nr 03.A.09 pn. „Opracowanie metody badania hełmów ochronnych w zakresie skuteczności ochrony przed uderzeniami poruszających się obiektów”*