

dr inż. KRZYSZTOF BASZCZYŃSKI
Centralny Instytut Ochrony Pracy

Przemysłowe hełmy ochronne a zabezpieczenie głowy przed uderzeniami bocznymi

Praca wykonana w ramach programu wieloletniego (b. SPR-1) pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych

Materiały statystyczne opracowywane corocznie przez GUS wskazują, że skutkiem wielu wypadków w środowisku pracy są urazy głowy. Przykładowo w latach 1996-99 zarejestrowano następujące liczby wypadków, których skutkiem były urazy głowy:

- w górnictwie i kopalnictwie – 1706
- w budownictwie – 1618
- w transporcie, gospodarce magazynowej i łączności – 1127
- w zaopatrzeniu w energię elektryczną, gaz i wodę – 370
- w handlu hurtowym i detalicznym, naprawach pojazdów, sprzętu domowego – 922.

Urazy te dotyczyły skóry głowy, kości czaszki, mózgu oraz kręgow szyi i charakteryzowały się różnym stopniem ciężkości.

Podstawowym środkiem ochrony indywidualnej zabezpieczającym pracowników przed urazami głowy są przemysłowe hełmy ochronne, których głównym zadaniem jest ochrona głowy użytkownika przed urazami mechanicznymi pochodzącymi zarówno od spadających przedmiotów, jak i uderzeń o wystające elementy stanowiska pracy. Dostępne polskie dane statystyczne nie precyzują niestety dostatecznie dokładnie, jaka część głowy jest najczęściej narażona na działanie czynnika mechanicznego podczas wypadku.

Z dostępnych danych literaturowych pochodzenia zagranicznego wynika, że większość uderzeń w głowę człowieka podczas wypadków w środowisku pracy następuje z kierunków bocznych.

Badania przeprowadzone w latach osiemdziesiątych w Wielkiej Brytanii [1] i Stanach Zjednoczonych [2] pozwoliły na opracowanie statystycznego rozkładu uderzeń w hełm ochronny podczas wypadków przy pracy. Dane te przedstawiono w tabeli.

Tabela
MIEJSCE UDERZENIA W HEŁM OCHRONNY
PODCZAS WYPADKÓW PRZY PRACY

Miejsce uderzenia w hełm	Źródło danych	
	Hickling E. M. [1], %	U.S. Department of Labour [2], %
Część wierzchołkowa	28	26
Przód	38	46
Boki	14	15
Tył	20	13

Rozważając ten problem należy dodatkowo wziąć pod uwagę fakt, że odporność głowy człowieka na urazy mechaniczne, będące następstwem sił i przyspieszeń działających z kierunków bocznych, jest mniejsza niż z kierunku pionowego (wzdłuż osi kręgosłupa) [3–10].

Rozważane zagadnienia znalazły praktyczne odbicie w normie PN-EN 443:1999 *Hełmy strażackie* [13]. Norma ta wymaga, aby zdolność amortyzacji hełmu była określana w pięciu punktach skorupy. Pierwszy punkt pokrywa się z wierzchołkiem hełmu, a cztery następne są usytuowane z przodu, z tyłu i na obydwu bokach skorupy hełmu.

Obowiązująca obecnie w Polsce i stosowana w krajach Unii Europejskiej norma PN-EN 397:1997 *Przemysłowe hełmy ochronne* [11] wymaga jedynie określania podstawowych parametrów ochronnych hełmów, którymi są zdolność amortyzacji i odporność na przebicie, w przypadku uderzenia centralnego, czyli następującego wzdłuż pionowej osi przechodzącej przez wierzchołek hełmu i zawartej w płaszczyźnie symetrii makiety głowy. Badania takie nie dostarczają informacji na temat parametrów ochronnych hełmu podczas uderzeń bocznych, czyli niecentralnych.

W związku z tym rodzi się pytanie, jak zmieniają się parametry przemysłowych hełmów ochronnych, stosowanych powszechnie w Polsce, w przypadku przesuwania uderzenia w kierunku obrzeża skorupy. W celu udzielenia odpowiedzi na tak postawione pytanie w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy podjęto w 1999 r. odpowiednie badania laboratoryjne. Prezentowany artykuł stanowi fragment uzyskanych wyników.

Metody badań

W celu oceny własności ochronnych hełmów poddawanych uderzeniom następującym z różnych kierunków, wytypowano dwa podstawowe parametry:

- zdolność amortyzacji
- odporność na przebicie.

Parametry te najlepiej określają cechy ochronne hełmów z punktu widzenia bezpieczeństwa użytkowników, a zarazem stanowią podstawę oceny własności mechanicznych (w przypadku uderzeń centralnych) według obowiązującej normy PN-EN 397:1997 [11].

W celu określenia tych wielkości w odniesieniu do różnych kierunków uderzeń, opracowano metodę wyznaczania punktów pomiarowych na skorupach hełmów przeznaczonych do badań. Założono, że uderzenia w hełm będą realizowane w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach:

- płaszczyźnie symetrii głowy z nałożonym hełmem
- płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny symetrii głowy z nałożonym hełmem, przechodzącej przez wierzchołek skorupy, które przecinając skorupę hełmu wyznaczają dwie krzywe. Przecięcie obu krzywych wyznacza punkt wierzchołkowy skorupy, a uderzenie w nie-

go skierowane jest uderzeniem centralnym. Stosując kryterium równego podziału długości fragmentów krzywych pomiędzy punktem wierzchołkowym 1. a brzegiem skorupy hełmu, dzielono je następnie na pięć odcinków, wyznaczając punkty pomiarowe od 2. do 5. Przykład wyznaczenia punktów pomiarowych na skorupie hełmu przedstawiono na rys. 1.

Wprowadzony system wyznaczania punktów pomiarowych zmniejszył przypadkowość pomiarów i umożliwił ich jednolite prowadzenie w odniesieniu do tych samych typów hełmów ochronnych.

W prowadzonych badaniach zdolności amortyzacji i odporności na przebicie hełmów podczas uderzeń bocznych przyjęto założenie o zastosowaniu identycznych parametrów wymuszenia, jak ma to miejsce w przypadku uderzeń centralnych wymaganych przez normę PN-EN 397:1997 [11]. Założenie takie pozwoliło na prześledzenie zmian parametrów ochronnych hełmów wraz ze zmianą punktu uderzenia. W badaniach przyjęto następujące szczegółowe założenia odnoszące się do metodyki pomiarów:

- zdolność amortyzacji:

- zdolność amortyzacji jest określona przez maksymalną wartość siły działającej na makietę głowy podczas uderzenia bijakiem w hełm

- maksymalna wartość siły działającej na makietę głowy jest określana na podstawie zarejestrowanego przebiegu czasowego przyspieszenia bijaka

- uderzenie bijaka w hełm następuje w kierunku normalnym do powierzchni skorupy w danym punkcie

- bijak uderzający w hełm ma masę 5 kg, a jego droga swobodnego spadania przed uderzeniem wynosi 1m

- kształt bijaka spełnia wymagania normy PN-EN 397:1997 [11]

- w badaniach jest stosowana makietka głowy typ „G”, według normy PN-EN 960:1998 [12];

- odporność na przebicie:

- odporność na przebicie jest określana na podstawie oceny skutku uderzenia przebijaka w hełm założony na makietę głowy; jest sprawdzane czy nastąpiło zeknięcie przebijaka z makietą głowy

- uderzenie przebijaka w hełm następuje w kierunku normalnym do powierzchni skorupy w danym punkcie

- przebijak uderzający w hełm ma masę 3 kg, a jego droga swobodnego spadania przed uderzeniem wynosi 1m

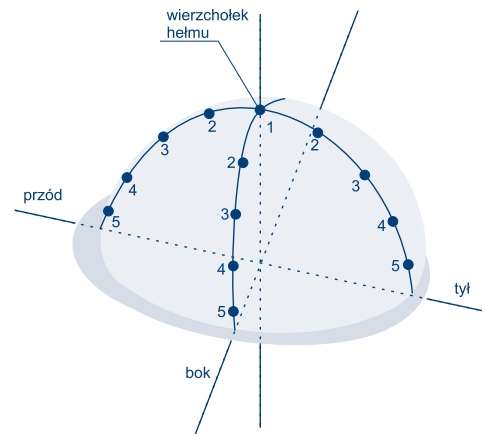
- konstrukcja przebijaka spełnia wymagania normy PN-EN 397:1997 [11]

- w badaniach jest stosowana makietka głowy typ „G”, według normy PN-EN 960:1998 [12].

Powyższe założenia zrealizowano w praktyce, wykorzystując stanowisko badawcze do badań dynamicznych przemysłowych hełmów ochronnych, spełniające wymagania normy PN-EN 397:1997 [11], istniejące w Zakładzie Ochrony Osobistych Centralnego Instytutu Ochrony Pracy. Najważniejszymi modyfikacjami wprowadzonymi do istniejącego stanowiska były: przystawka umożliwiająca pochylanie makiety głowy o zadany kąt, w celu umożliwienia uderzenia w punkt pomiarowy z kierunku normalnego do powierzchni skorupy oraz system pomiarowy umożliwiający określanie zdolności amortyzacji hełmu na podstawie przebiegu czasowego przyspieszenia bijaka.

Wyniki badań zdolności amortyzacji i odporności na przebicie

Obiektami przeprowadzonych badań zdolności amortyzacji i odporności na przebicie były przemysłowe hełmy ochronne powszechnie używane w Polsce w 1999 r. Wszystkie hełmy posiadały ważne certyfikaty na znak bezpieczeństwa B i pochodziły zarówno od polskich jak i zagranicznych producentów. Badaniom



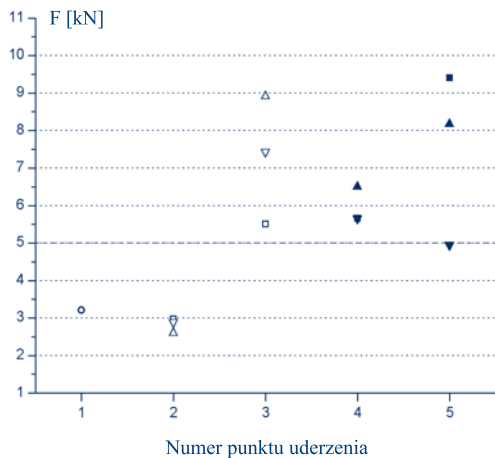
Rys. 1. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych na skorupie hełmu

poddano siedem typów przemysłowych hełmów ochronnych, które charakteryzowały się różnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi, a ich skorupy były wykonane z polietylenu, ABS-u lub laminatów poliestrowo-szkłanych. Wspólną cechą konstrukcyjną przebadanych hełmów, co miało bardzo duże znaczenie z punktu widzenia uzyskanych wyników, było mocowanie do skorupy, w pobliżu jej obrzeża, cztero- lub sześciopunktowej więzby.

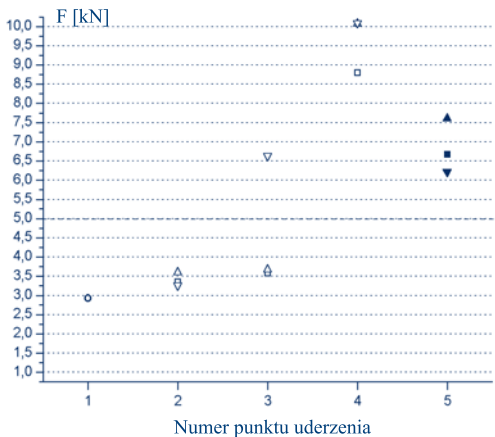
Wstępne badania zdolności amortyzacji wykazały, że uderzenia w najniższej położone punkty pomiarowe, to znaczy 4. i 5., wywołuje generowanie sił działających na makietę głowy o znacznych wartościach zagrażających stosowanej aparaturze pomiarowej. Z tego względu w niektórych przypadkach zdecydowano o odstępstwie od przyjętej metody badawczej i zmniejszeniu o połowę energii uderzającego w te punkty bijaka.

Przykładowe wyniki badań zdolności amortyzacji przedstawiono w formie graficznej na rys. 2, 3 i 4. Na rysunkach tych zastosowano następujące oznaczenia:

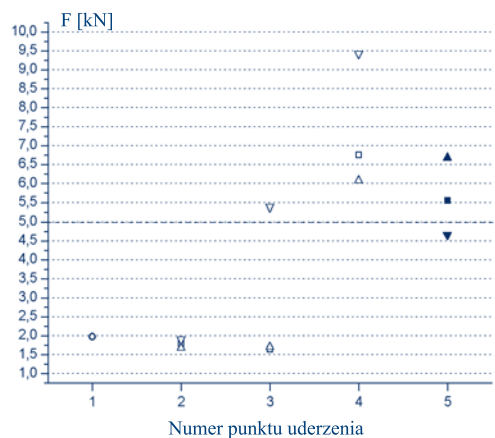
- punkt na wierzchołku skorupy hełmu
- punkt z przodu skorupy hełmu (energia uderzenia $E = 49 \text{ J}$)
- punkt z przodu skorupy hełmu (energia uderzenia $E = 24,5 \text{ J}$)
- ▽ punkt na boku skorupy hełmu (energia uderzenia $E = 49 \text{ J}$)
- ▼ punkt na boku skorupy hełmu (energia uderzenia $E = 24,5 \text{ J}$)
- △ punkt z tyłu skorupy hełmu (energia uderzenia $E = 49 \text{ J}$)
- ▲ punkt z tyłu skorupy hełmu (energia uderzenia $E = 24,5 \text{ J}$)
- F [kN] – maksymalna wartość siły przekazana podczas uderzenia na makietę głowy



Rys. 2. Wyniki badań zdolności amortyzacji hełmu ochronnego pochodzenia zagranicznego wyposażonego w skorupę wykonaną z ABS-u



Rys. 3. Wyniki badań zdolności amortyzacji hełmu ochronnego polskiej produkcji wyposażonego w skorupę wykonaną z laminatu poliestrowo-szklanego



Rys. 4. Wyniki badań zdolności amortyzacji hełmu ochronnego polskiej produkcji wyposażonego w skorupę wykonaną z polietylenu

Analizując przedstawione wyniki, można zauważyć, że:

- wszystkie przebadane hełmy wykazały wymaganą amortyzację podczas uderzenia w punkt pomiarowy 1. (maksymalna wartość siły przekazanej na makiętę głowy jest mniejsza od 5 kN, co jest zgodne z wymaganiami normy PN-EN 397:1997 [11])

- zdolność amortyzacji przebadanych hełmów w punkcie pomiarowym 2. nie różni się w istotny sposób od wyników w punkcie 1. (z wyjątkiem jednego typu hełmu)

- w miarę obniżania, punktu uderzenia na skorupach przebadanych hełmów obserwowany jest istotny wzrost siły przekazywanej na makiętę głowy

- w przypadku punktu pomiarowego 3., w większości przebadanych hełmów najlepsza zdolność amortyzacji występuje w odniesieniu do uderzeń z przodu skorupy

- w przypadku uderzeń w punkty pomiarowe 4. i 5., niezależnie od tego czy następują w przód, tył, czy bok skorupy, wszystkie przebadane hełmy wykazują bardzo niską zdolność amortyzacji.

Stosując przedstawioną wcześniej metodykę, przeprowadzono badania przemysłowych hełmów ochronnych w zakresie odporności na przebicie. Analizując uzyskane wyniki, można zauważyć następujące zależności:

- wszystkie przebadane hełmy wykazały prawidłową odporność na przebicie w przypadku uderzenia w punkt pomiarowy 1. (nie nastąpiło zetknięcie przebijającego z makiętą głowy co jest zgodne z wymaganiami normy PN-EN 397:1997 [11])

- uderzenia w punkt pomiarowy 2. nie wywołały również zetknięcia przebijającego z makiętą głowy w przypadku wszystkich przebadanych hełmów

- uderzenia w punkt pomiarowy 3., tylko w przypadku trzech typów hełmów (spośród siedmiu), nie wywołały zetknięcia przebijającego z makiętą głowy

- w przypadku wszystkich przebadanych typów hełmów (z wyjątkiem jednego typu hełmu uderzanego w punkt 4. położony z przodu skorupy) uderzenia w punkty pomiarowe 4. i 5. wywołały zetknięcie przebijającego z makiętą głowy.

Podsumowanie wyników

Wyniki przeprowadzonych badań wykazują, że skuteczność ochrony przebadanych hełmów, charakteryzowana przez zdolność amortyzacji i odporność na przebicie, maleje wraz z obniżaniem punktu uderzenia w kierunku brzegu skorupy. Główną przyczyną tego zjawiska jest konstrukcja omawianych przemysłowych hełmów ochronnych, to znaczy mocowanie cztero- lub sześciopunktowej więźby w okolicach brzegu skorupy. Konstrukcja taka, w przypadku uderzeń następujących z kierunków zbliżonych do osi przechodzącej przez wierzchołek hełmu i zawartej w płaszczyźnie symetrii makiety głowy i hełmu (punkty pomiarowe 1. i 2.), umożliwia rozłożenie działającej siły na taśmy więźby oraz skuteczne ograniczenie jej wartości maksymalnej. W przypadku uderzeń w niżej zlokalizowane punkty pomiarowe, taśmy więźby przestają przenosić obciążenie, a skorupa hełmów zostaje „dobita” do makiety głowy, co powoduje gwałtowny wzrost siły w badaniu zdolności amortyzacji oraz zetknięcie przebijającego z makiętą głowy podczas badania odporności na przebicie. Dodatkową przyczyną obserwowanego zjawiska, wynikającą również z cech konstrukcyjnych, jest zmniejszanie się – w miarę obniżania punktu uderzenia – odległości między wewnętrzną powierzchnią skorupy hełmu a makiętą głowy. Odległość ta charakteryzuje wolną przestrzeń niezbędną do wydłużenia więźby oraz deformacji skorupy pod wpływem uderzenia. Przedstawione zjawisko tłumaczy również pogarszanie się odporności na przebicie, gdyż w przypadku niewystarczającej zdolności amortyzacji materiał skorupy hełmu nie jest w stanie zapobiec jej przebiciu.

Przedstawione wyniki badań wykazują, że dotychczas stosowane przemysłowe hełmy ochronne nie we wszystkich niebezpiecznych sytuacjach, mogących wystąpić w środowisku pracy, stanowią wystarczającą ochronę dla ich użytkowników.

Niebezpiecznymi sytuacjami, z tego punktu widzenia, mogą być uderzenia

w pochyloną głowę, boczne uderzenia przez poruszające się obiekty materialne (szczególnie o ostrych krawędziach) oraz uderzenia głową o wystające elementy konstrukcyjne stanowiska pracy.

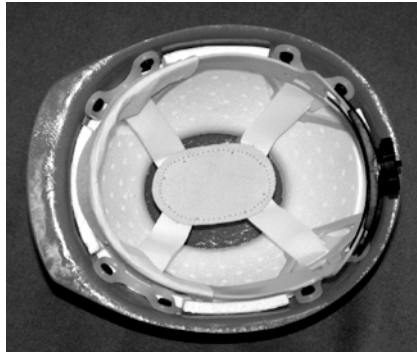
Propozycja nowej konstrukcji hełmu

Jednym z możliwych rozwiązań przedstawionego problemu jest zastosowanie w hełmach ochronnych dodatkowych elementów tłumiących energię uderzenia, wspomagających swym działaniem układ skorupa-więźba. Elementy te mogą mieć postać wykładzin o odpowiednich kształtach i charakterystykach siła-odkształcenie, gwarantujących skuteczne pochłanianie energii uderzenia.

W 2000 r. w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy opracowano teoretyczny model konstrukcji hełmu o podwyższonych parametrach ochronnych w zakresie uderzeń bocznych. Model ten opierał się na założeniu wprowadzenia między więźbę a skorupę hełmu, wykładziny pochłaniającej energię uderzenia. Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały, że jednym z najlepszych materiałów na tak pomyślaną wykładzinę jest styropian o wysokiej gęstości. Charakteryzuje się on małą masą właściwą oraz odpowiednią charakterystyką siła-odkształcenie podczas ściskania. Z tego też powodu jest podstawowym surowcem do produkcji kasków dla rowerzystów. Bazując na modelu teoretycznym, zaprojektowano nową konstrukcję wykorzystującą skorupę i więźbę hełmu typ PROSNA produkowanego dotychczas przez Kaliskie Zakłady Przemysłu Terenowego. W konsekwencji tych działań doprowadzono do wyprodukowania serii prototypowej nowego hełmu, który przedstawiono na rys. 5.

W hełmie tym, za tłumienie energii uderzenia centralnego odpowiada skorupa i więźba, a w przypadku uderzenia niecentralnego (bocznego) skorupa i wykładzina styropianowa.

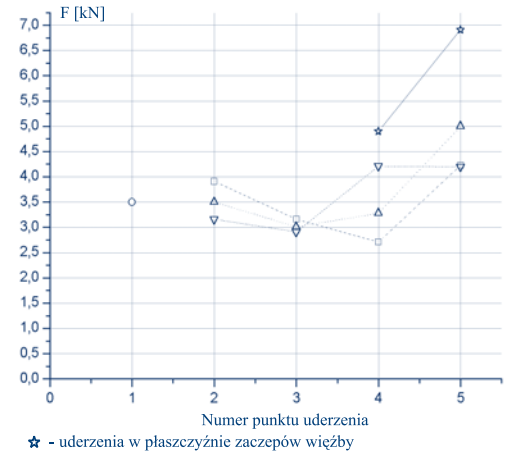
Zgodnie z wcześniej przedstawioną metodyką przeprowadzono badania zdolności amortyzacji i odporności na przebicie. Wyniki badań zdolności amortyzacji przedstawiono na rys. 6.



Rys. 5. Widok hełmu ochronnego typ PROSNA wyposażonego w styropianową wykładzinę amortyzującą

Wskazują one na znaczne obniżenie wartości siły przekazywanej na makietę głowy podczas uderzeń bocznych, co było głównym celem modyfikacji konstrukcji hełmu. Z omawianego wykresu wynika również, że najłabsza zdolność amortyzacji dotyczy uderzeń następujących w płaszczyźnie zaczepów mocujących więźbę do skorupy hełmu. Zjawisko to jest wywołane, wymuszoną przez konstrukcję hełmu, mniejszą grubością wykładziny styropianowej w miejscach połączenia skorupy z więźbą. Badania odporności na przebicie wykazały, że tylko w jednym przypadku uderzenia w punkt nr 5 położony na boku skorupy nastąpiło zetknięcie przebijaaka z makietą głowy, co należy odnotować jako znaczącą poprawę w stosunku do wyników osiąganych w odniesieniu do standardowych hełmów.

Hełmy PROSNA z amortyzującą wykładziną styropianową poddano również badaniom na zgodność z podstawowymi wymaganiami normy PN-EN 397:1997 [11], które zakończyły się pozytywnym wynikiem. Efekty te upoważniły do wyprodukowania serii informacyjnej hełmów i przekazania ich do badań użytkowych, które są obecnie prowadzone. Planowane jest, że po zakończeniu badań użytkowych hełmy wejdą do seryjnej produkcji w Kaliskich Zakładach Przemysłu Terenowego. Hełmy Prosna z wykładziną amortyzującą powinny stanowić uzupełnienie dotychczasowego asortymentu hełmów obecnych na polskim rynku i znaleźć zastosowanie na stanowiskach pracy, gdzie ludzie są szczególnie narażeni na urazy mechaniczne głowy.



Rys. 6. Wyniki badań zdolności amortyzacji hełmu ochronnego typ PROSNA wyposażonego w styropianową wykładzinę amortyzującą

PIŚMIENNICTWO

- [1] Hickling E. M. *An investigation on construction sites of factors affected the acceptability and wear of safety helmets*. Institute for Consumer Ergonomics, University of Technology, Loughborough, England, 1985
- [2] U.S. Department of Labour. *Accidents involving head injuries*. Bureau of Labour Statistics, Report 605, 1980
- [3] Barnes K., Bell N., Vassiliou D., Firth J.L. *Medical aspects of head protection at work*. Journal of Occupational Accidents, 8, November 1986
- [4] Coleman V. P. *Occupational head injury accidents in Great Britain*. Journal of Occupational Accidents, 8, November 1986
- [5] Gilchrist A., Mills N. J. *Improved side, front and back impact protection for industrial helmets*. School of Metallurgy and Materials, University of Birmingham, bez daty
- [6] Mills N. J., Gilchrist A. *Proposals for side-impact and retention tests for industrial helmets*. School of Metallurgy and Materials, University of Birmingham, 1990
- [7] Proctor T. D. *A review of research relating to industrial helmet design*. Journal of Occupational Accidents, 8, November 1986
- [8] Proctor T. D., Rowland F. J. *Development of standards for industrial safety helmets – the state of art*. Journal of Occupational Accidents, 8, November 1986
- [9] Rowland F. J. *Research on safety helmets at the health and safety executive of the United Kingdom*. Health and Safety Executive, Research and Laboratory Services Division, bez daty
- [10] *Development of criteria for industrial and firefighter's head protective devices*. NIOSH Research Report, Januar 1975
- [11] PN-EN 397:1997 *Przemysłowe hełmy ochronne*
- [12] PN-EN 960:1998 *Makiety głowy do badań hełmów ochronnych*
- [13] PN-EN 443:1999 *Hełmy strażackie*