

Dr inż. Rafał GOŁĘBSKI
Politechnika Częstochowska
Instytut Technologii Mechanicznych

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.234

ANALIZA AMORTYZACJI I ODPORNOŚCI NA PRZEBICIE KASKU OCHRONNEGO Z WYKORZYSTANIEM TECHNIK BADAWCZYCH MES

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę z zakresu przygotowania modelu bryłowego kasku ochronnego oraz opracowania metodyki badawczej MES. Zaprojektowano dwa modele kasku ochronnego, drugi model zmodyfikowano, dodając żebro wzmacniające. Do analizy MES zostało wykorzystane oprogramowanie Ansys 14.0 Workbench. Model bryłowy opracowano w środowisku Autodesk Inventor, symulacja uderzeń w kask została przeprowadzona w module Explicit Dynamics, środowiska Ansys. W konsekwencji przeprowadzonych obliczeń otrzymano graficzny obraz deformacji kasku, jako materiał kasku użyte zostały odpowiednio: aluminium, polietylen dużej gęstości oraz stal. Symulacje przeprowadzono zgodnie z warunkami oraz metodami badań wytrzymałości kasków ochronnych według normy EN 397:1995 „Przemysłowe kaski ochronne”.

ANALYSIS OF DEPRECIATION AND PUNCTURE RESISTANCE OF SAFETY HELMET WITH USE OF FEM TESTING TECHNIQUES

Abstract: Paper presents analysis of the preparation body model of safety helmet and the development of research methodology MES. Two models of the helmet are designed, the second model was modified by adding a reinforcing rib. Was used for the analysis software Ansys Workbench 14.0. Solid model was developed in the environment of Autodesk Inventor. Impacts simulation was carried out in a helmet in the module Explicit Dynamics, of Ansys environment. As a result of the calculations gave the graphic image of the deformation of the helmet. As a material of the helmet were used aluminum, high densities polyethylene, and structural steel. Simulations were carried out in accordance with the conditions and methods of testing the strength of safety helmets according to EN 397: 1995 „Industrial safety helmets”.

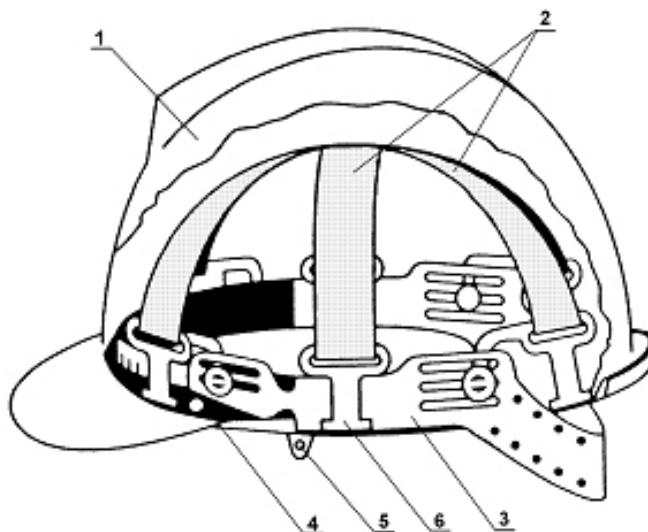
Słowa kluczowe: kask ochronny, analiza MES, dyskretyzacja modelu, uderzenie, deformacja

Keywords: safety helmet, FEM analysis, model discretization, impact, deformation

1. WPROWADZENIE

Warunki oraz metody badań wytrzymałości kasków ochronnych są zawarte w normie EN 397:1995 „Przemysłowe kaski ochronne”. Norma szczegółowo określa parametry próbek oraz rodzaje metod pomiaru, jak również dopuszczalne granice wyniku badań, jakie musi spełnić

kask, aby mógł zostać przeznaczony do użytkowania. W normie zdefiniowano nie tylko warunki wytrzymałościowe, jakie powinien spełnić kask, ale również określono, z jakich elementów powinien być zbudowany. Na rysunku 1 przedstawiono budowę typowego kasku ochronnego [5].



Rys. 1. Elementy budowy kasku ochronnego [2]

Kask ochronny zgodnie z normą określającą warunki dopuszczenia go do użytkowania powinien być zbudowany z następujących elementów:

1. skorupa,
2. więźba,
3. pas górny,
4. potnik,
5. zaczep paska podbródkowego,
6. zaczep pasa więźby.

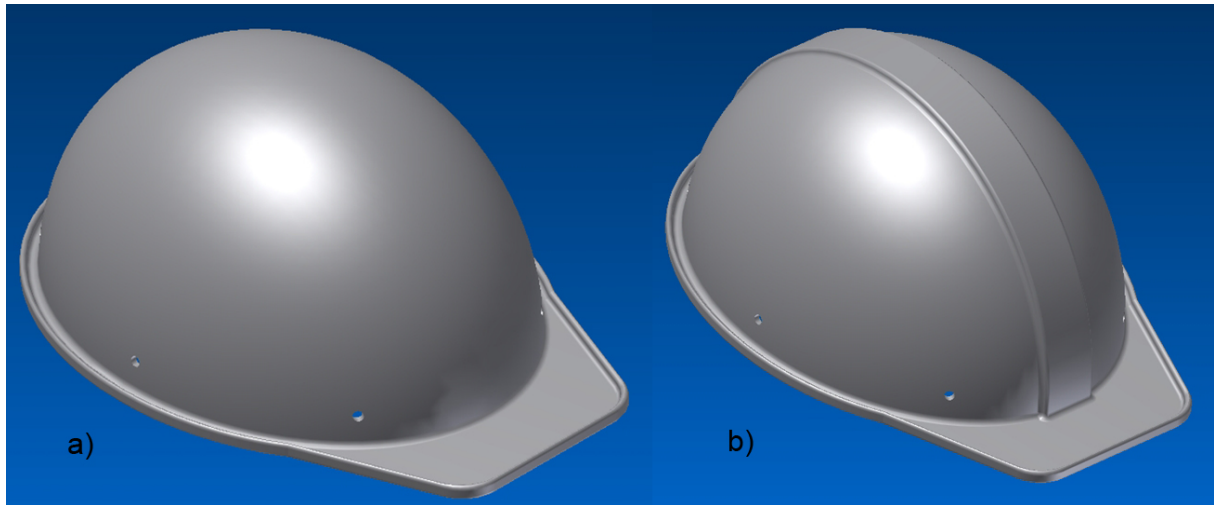
Badanie kasku powinno zostać przeprowadzone dla próby przebicia i amortyzacji skorupy. Element wykorzystywany podczas badania amortyzacji posiada powierzchnię kulistą $\phi 100$ oraz wagę 5 kg, natomiast w przypadku próby przebicia to stożek o kącie wierzchołkowym 60° i wadze 3 kg. Energia emitowana podczas uderzenia powinna wynosić 49 J, a wysokość z jakiej będzie spadał element uderzający, to 1 m. W przypadku próby amortyzacji dla elementu kulistego określono także maksymalną siłę uderzenia 5 kN. Po wykonaniu badań amortyzacji oraz przebicia, aby kaski zostały dopuszczone do sprzedaży, muszą spełnić następujące kryteria:

- powierzchnia kasku nie może zostać przerwana,
- odkształcenie kasku nie może przekroczyć odległości od skorupy do więźby, gdyż powyżej tej wartości następuje zetknięcie zagłębionej skorupy kasku z głową.

2. BUDOWA MODELI KASKÓW ORAZ PRZYGOTOWANIE WARUNKÓW SYMULACJI MES – ANSYS 14.0 WORKBENCH

Modele bryłowe kasków wykonano w środowisku Autodesk Inventor, kształt oraz wymiary przyjęto, dokonując pomiarów rzeczywistego kasku wykonanego z polietylenu o dużej gęstości. Grubość skorupy kasku określono na poziomie 1,7 mm. Pierwszy model kasku oddaje obraz kasku rzeczywistego – rys. 2a, natomiast drugi model jest modyfikacją

poprzedniego wyposażoną w żebro wzmacniające o szerokości 30 mm rozmieszczone centralnie – rys. 2b.

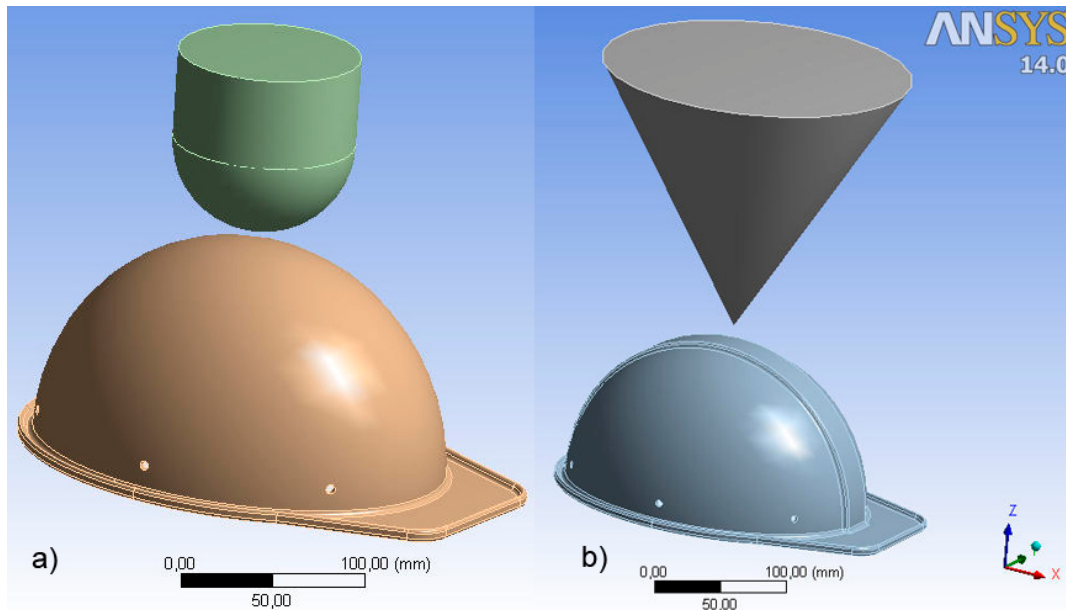


Rys. 2. Modele kasku ochronnego: a) model rzeczywisty, b) model zmodyfikowany

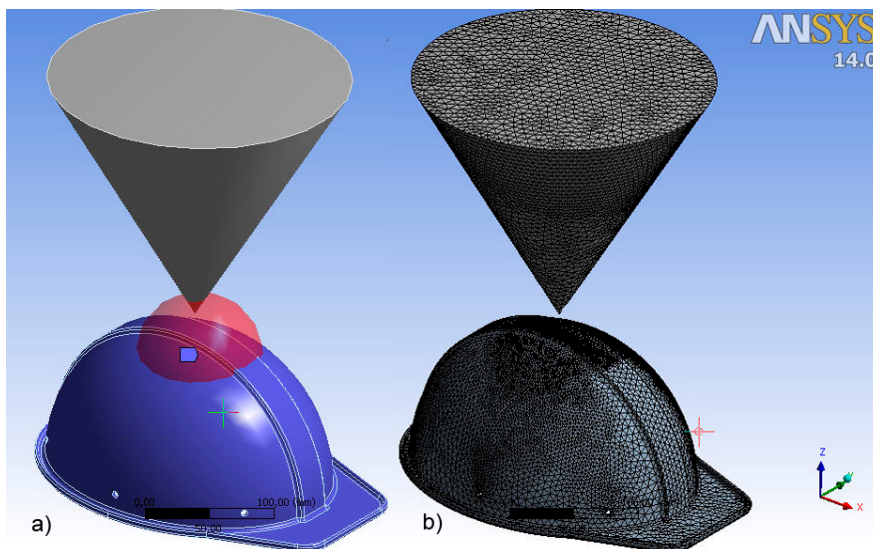
W prezentowanych modelach wykonano otwory, w rzeczywistości spełniają one funkcje zaczepów pasa wiązby, w przypadku symulacji będą one spełniać funkcje podpór. Uderzenie elementu wykonanego z materiału wykazującego większą sztywność w powierzchnię materiału o innych właściwościach materiałowych może dostarczyć informacji o występowaniu dynamicznych naprężeń materiałów oraz ich zmian na skutek gwałtownego działania z zewnątrz. Badanie to zostało opracowane pod koniec lat 40. XX w. i znane jest jako test Taylora [3, 6]. W trakcie badania można zaobserwować skutki zderzenia, takie jak: odkształcenia plastyczne, duże szybkości odkształcenia, deformacje oraz wzrosty naprężeń.

Test ten jest często wykorzystywany po to, aby zweryfikować właściwości badanego modelu lub materiału, z jakiego jest wykonany. Do symulacji zostało wykorzystane środowisko Ansys Workbench z modułem Explicit Dynamics, pozwoliło to na przeprowadzenie obliczeń z bardzo dużą ilością kroków przy jednoczesnym bardzo małym przebiegu czasowym eksperymentu [1]. Zapisany uprzednio w pliku *.iges model kasku został zaimportowany, w module „Design Modeller” został skonstruowany element uderzający – bijak – rys. 3, czynności zostały powtórzone odpowiednio dla kasku bez i z przetłoczeniem dla elementów uderzających – stożka i kuli. Jako materiał kasku do symulacji zostały przyjęte: polietylen, stal konstrukcyjna oraz aluminium 6061-T6 [4]. W kolejnym etapie po zaznaczeniu powierzchni wewnętrznych otworów, korzystając z funkcji „Fixed Support”, odbieramy dla zaczepów wszystkie stopnie swobody. W ten sposób podczas symulacji po uderzeniu bijaka w skorupę kask nie przemieści się.

W etapie generowania siatki istotne jest zwrócenie uwagi na jej zagęszczenie w obszarze kontaktu badanych elementów. W tym celu zostało wykorzystane narzędzie „sphere of influence” – 4a promień wpływu kuli oszacowano na 100 mm z punktem zaczepienia 20 mm poniżej górnej części skorupy. Zbyt duże zagęszczenie siatki może doprowadzić do niepotrzebnego wydłużenia czasu obliczeń. Na rysunku 4b przedstawiono prawidłową dyskretyzację modelu z wykorzystaniem funkcji „sizing”, wybrano elementy trójkątne siatki odpowiednio o rozmiarach w obszarze wpływu kuli 1 mm, pozostałe 5 mm.



Rys. 3. Model kasku przygotowany do symulacji: a) gładkiego, b) z przetłoczeniem



Rys. 4. Generowanie siatki MES: a) wykorzystanie narzędzia „sizing”,
b) model powleczony siatką

W kolejnym etapie badań niezbędne jest zadeklarowanie początkowej prędkości bijaka. Norma [5], która określa warunki badań kasków, nie podaje prędkości elementu uderzającego, podczas symulacji niezbędne jest natomiast jej precyzyjne określenie. Korzystając z prostej zależności fizycznej (1), przyjmując dane z normy wyliczamy odpowiednio prędkości początkowe dla bijaka kulistego i stożkowego:

$$\Delta E_p = \Delta E_k \quad (1)$$

$$\frac{mv^2}{2} = m \cdot g \cdot h \quad (2)$$

$$v = \sqrt{\frac{2(m \cdot g \cdot h)}{m}} \quad (3)$$

Dane:

E_k – energia kinetyczna,

E_p – energia potencjalna,

m (masa) = 5 kg,

g (przyśpieszenie ziemskie) = 9,81 m/s,

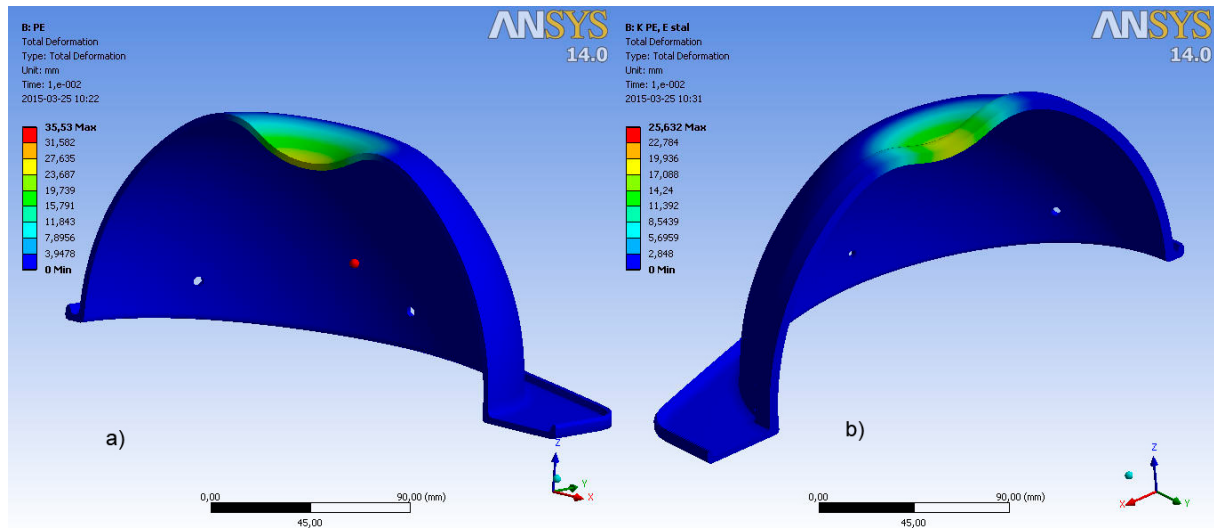
h (wysokość, z jakiej spada element) = 1 m,

v – prędkość [m/s].

Po wykonaniu obliczeń odpowiednio otrzymaliśmy: prędkość bijaka o zakończeniu kulistym: $v = 4,43$ m/s oraz o zakończeniu stożkowym: $v = 4,4$ m/s. Do modelu została przypisana prędkość początkowa zdefiniowana jako wektor prędkości w kierunku ruchu wzdłuż osi Z, ze zwrotem w stronę badanego elementu. Po uwzględnieniu dwóch rodzajów bijaka, trzech materiałów modelu kasku oraz dwóch kształtów skorupy kasku przeprowadzono 12 symulacji zderzeń.

3. SYMULACJA NUMERYCZNA – ANSYS 14.0 WORKBENCH

Na rysunku 5 przedstawiono obraz całkowitej deformacji po uderzeniu w kask elementem kulistym. Materiałami, z jakich wykonany jest kask, są aluminium, polietylen oraz stal [4]. Wyniki symulacji są weryfikowane według kryteriów zawartych w normie EN 397:1995. Istotna przy weryfikacji maksymalnego dopuszczalnego pionowego odkształcenia jest odległość między skorupą kasku a jego więźbą, która wynosi 35 mm i nie może być przekroczona.



Rys. 5. Obraz całkowitej deformacji: a) kask bez żebra wzmacniającego wykonany z polietylenu – uderzenie bijakiem kulistym, b) kask z żebrzem wzmacniającym wykonany z polietylenu – uderzenie bijakiem kulistym

W tabeli 1 zostały zaprezentowane wyniki badań jako wielkość otrzymanej maksymalnej deformacji skorupy kasku. Dla wyników próbek oznaczonych * podczas uderzenia nastąpiło przerwanie skorupy kasku. Interpretując otrzymane wyniki, możemy zauważyć, iż kask wyposażony w żebro wzmacniające ulega znacznie mniejszej deformacji, aczkolwiek w tym

przypadku należałoby zwrócić uwagę na mniejsze możliwości dyssypacji energii podczas uderzenia. Kaski bez przetłoczeń ulegają większym deformacjom, uwolniona wówczas energia będzie na pewno w mniejszy sposób wpływała na użytkownika kasku. Na podstawie przeprowadzonej analizy, uzasadnione wydaje się wyposażenie kasków we wkładki antyprzebiciowe, a dodatkowo projektując konstrukcję kasku pochłaniającą energię, możemy zbudować optymalną konstrukcję.

Tabela 1. Porównawcze wyniki odkształceń dla dwóch typów kasków przy próbie uderzenia elementem o kształcie stożka i kuli

		Głębokość maksymalnej deformacji skorupy kasku [mm]	
		Kask bez przetłoczeń	Kask z przetłoczeniem
Bijak kulisty	Aluminium	3,54	7,17
	Polietylen	35,53	25,63
	Stal	3,32	2,56
Bijak stożkowy	Aluminium	*31,26	22,76
	Polietylen	29,83	*75,38
	Stal	18,9	14,64

4. WNIOSKI

We współczesnych realiach szybkiego projektowania, gdzie dużą rolę odgrywają względy finansowe oraz czas, nieodzowne staje się przeprowadzenie analiz MES w celu weryfikacji opracowanej konstrukcji i jeśli zachodzi konieczność – modyfikacji i budowy alternatywnych rozwiązań. W opisywanym przypadku pomimo możliwości przeprowadzenia szerokiego spektrum analiz MES, należy pamiętać, iż wyniki otrzymanych badań nie mogą stanowić podstawy do dopuszczenia produktu, jakim jest kask ochronny do sprzedaży [5]. Jedynie badania przeprowadzone na rzeczywistych produktach zgodnie z warunkami oraz metodami badań wytrzymałości kasków ochronnych według normy EN 397:1995 „Przemysłowe kaski ochronne” mogą stanowić podstawę dopuszczenia produktu do obrotu handlowego. Niniejsza praca będzie rozwijana, w najbliższym czasie zostanie uzupełniona o badania stacjonarne na rzeczywistych modelach.

LITERATURA

- [1] Dziańok D.: *Wykorzystanie aplikacji CAx w pracach inżynierskich*, Częstochowa 2014.
- [2] Centralny Instytut Ochrony Pracy – Archiwum Państwowego Instytutu Badawczego. Przemysłowe kaski Ochronne, archiwum.ciop.pl.
- [3] Gołębski R., Paszta P.: *Numeryczna symulacja testu zderzeniowego Taylora z wykorzystaniem oprogramowania Ansys Workbench 14.5*, Mechanik, R. 87, s. 189-194.
- [4] Military Handbook, Metallic materials and elements for aerospace vehicle structures, Department of Defense, USA, 1998.
- [5] Przemysłowe kaski ochronne – EN 397:1995.
- [6] Taylor G.: *The Use of Flat-Ended Projectiles for Determining Dynamic Yield Stress*, I. Theoretical Considerations, Proceedings of the Royal Society of London, London 1948.