Marcin Jachowicz

Nowe rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe w środkach ochrony głowy

CIOP PIB

Materiały informacyjne CIOP-PIB
Nowe rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe w środkach ochrony głowy

Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy", sfinansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Projekt III.N.09: Zastosowanie materiałów amortyzacyjnych o cechach cieczy nienewtonowskiej w konstrukcji środków ochrony głowy

Autor:
dr inż. Marcin Jachowicz – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Ochron Osobistych, Pracownia Ochron Głowy i Sprzętu Zabezpieczającego przed Upadkiem z Wysokości

Zdjęcie na okładce: bigstock-Many-Colored-Hardhats-Gloves--4414695

© Copyright by
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2019

CIOP PIB
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (48-22) 623 36 98, www.ciop.pl

Wstęp

Jedną z najczęściej stosowanych metod zabezpieczenia głowy w czasie pracy jest używanie odpowiednio zaprojektowanych środków ochrony indywidualnej, np. hełmów ochronnych. Podobne środki zabezpieczające stosuje się podczas uprawiania sportów. Ciągły rozwój metod projektowania i sposobów symulacji zachowania się opracowanych modeli hełmów podczas amortyzacji uderzenia oraz postęp w dziedzinie materiałoznawstwa umożliwiają podniesienie stopnia ochrony głowy i zwiększenie efektywności nowoczesnych środków ochrony głowy. Dla zwiększenia zakresu ich ochrony producenci wyposażają te środki np. w specjalne wkładki amortyzacyjne. Podstawowym parametrem charakteryzującym takie elementy jest zdolność do pochłaniania energii uderzenia, czyli amortyzacji siły przekazanej na ciało człowieka. Do budowy elementów amortyzacyjnych najczęściej stosuje się polistyren, poliuretan spieniony, gumę mikroporowatą, gumę spienioną, mieszankę PVC i nitrylu itp. Podniesienie stopnia zabezpieczenia głowy często wiąże się ze zwiększeniem masy i gabarytów sprzętu, ograniczeniem wentylacji i zmniejszeniem komfortu użytkowania.

Wykorzystywanie nowoczesnych materiałów amortyzacyjnych, np. o charakterystyce cieczy nienewtonowskiej, pozwala na połączenie takich cech jak odpowiedni stopień amortyzacji i wysoki komfort użytkowania. Jest to możliwe dzięki nieliniowej zależności naprężenia stycznego do szybkości ścinania takich materiałów. Gwarantują one użytkownikowi wygodę podczas normalnego użytkowania, kiedy naciski na materiał amortyzacyjny są niewielkie i zachowuje on duże ugięcie i miękkość w kontakcie z głową użytkownika. Natomiast w przypadku dynamicznego uderzenia w skorupę hełmu wykładzina amortyzacyjna znacznie zwiększa swoją sztywność i amortyzuje uderzenie, zapewniając bezpieczeństwo. Kolejną cechą materiałów o charakterystyce cieczy nienewtonowskiej jest to, że mogą się one zachowywać jak ciała stałe (nazywamy je wtedy materiałami spienionymi), odkształcając się i pękając, lub płynąć jak ciecze.

Materiały (płyny) amortyzacyjne o charakterystyce cieczy nienewtonowskiej

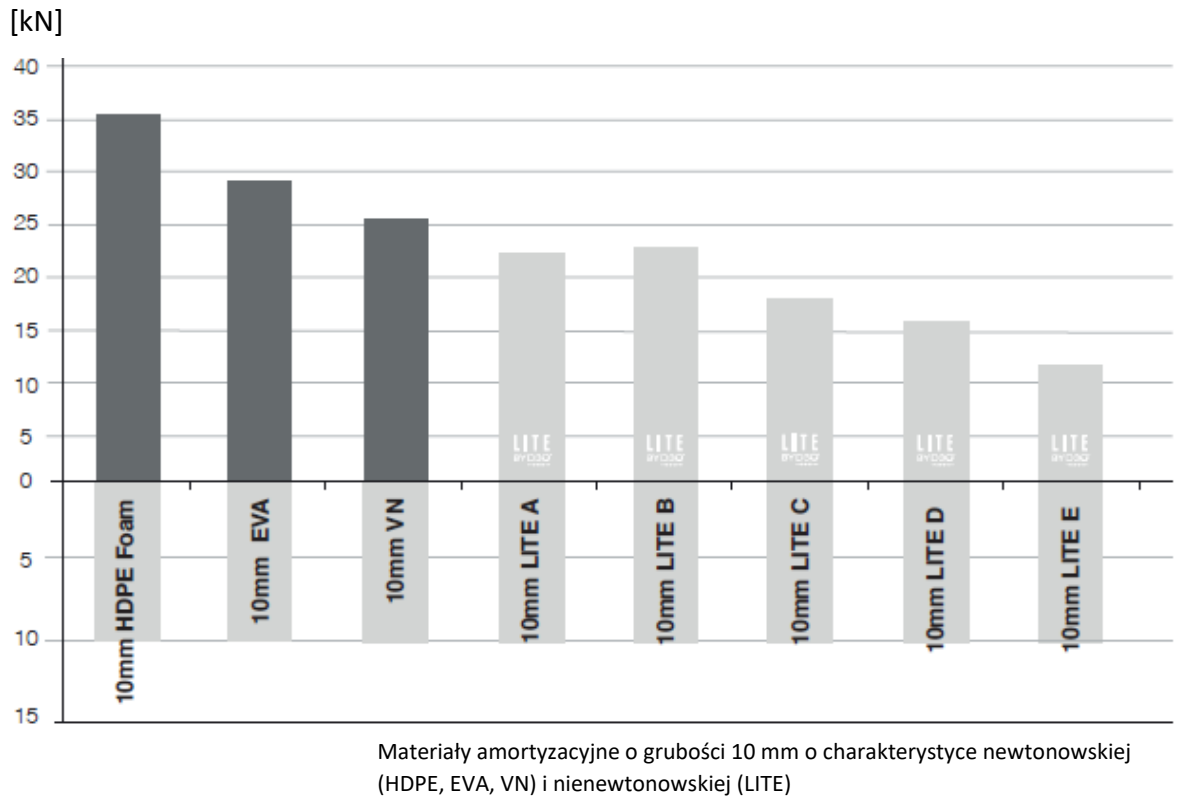
Materiały tego typu w pierwszej kolejności zastosowano w celach wojskowych i w sporcie. Już pod koniec XX oraz na początku XXI wieku zaczęto stosować rozwiązania technologiczne oparte na technologii inteligentnych molekuł. Najczęściej bazą nowoczesnych materiałów o charakterystyce

cieczy nienewtonowskiej, stosowanych w inżynierii, są polimery. Tworzą je molekuły, które pod działaniem niewielkich sił i obciążeń swobodnie się poruszają, a w wyniku gwałtownego uderzenia zbliżają się do siebie i łączą się (rys. 1).

Rys. 1. Mechanizm działania materiału o charakterystyce cieczy nienewtonowskiej (Źródło: M. Gierzyńska-Dolna, *Biotribologia*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2002)

Powoduje to, że element amortyzacyjny zbudowany z takiego materiału zachowuje elastyczność podczas noszenia, gdy zaś uderzymy w niego, twardnieje, tworząc warstwę ochronną. Ponadto materiały amortyzacyjne o charakterystyce cieczy nienewtonowskiej odznaczają się znacznie lepszym parametrem absorpcji wstrząsów niż dwa razy grubsza pianka poliuretanowa czy EVA (kopolimer etylenu i octanu winylu) (rys. 2). Dzięki temu dyskomfort podczas ich użytkowania jest niewielki – wkładki amortyzacyjne dobrze dopasowują się do ciała użytkownika, a przy tym są dość lekkie. Wśród produktów oferowanych na rynku już teraz można spotkać wykonane z materiałów o charakterystyce cieczy nienewtonowskiej wkładki dla służb mundurowych w postaci np. ochraniaczy kolan i łokci. Wykorzystuje się je także w medycynie, np. do ochrony kości biodrowych.

Tego typu materiały są najczęściej miękkie, elastyczne i lekkie. Można je formować w zależności od ich końcowego zastosowania, a po użyciu bez uszkodzeń wielokrotnie powracać do ich pierwotnej postaci. Występują w dwóch podstawowych postaciach: piankowej i plastycznej.



Rys. 2. Porównanie siły przeniesionej na kowadło dla materiałów amortyzacyjnych o grubości 10 mm o charakterystyce newtonowskiej (HDPE, EVA, VN) i nienewtonowskiej (LITE) (Źródło: www.d3o.com)

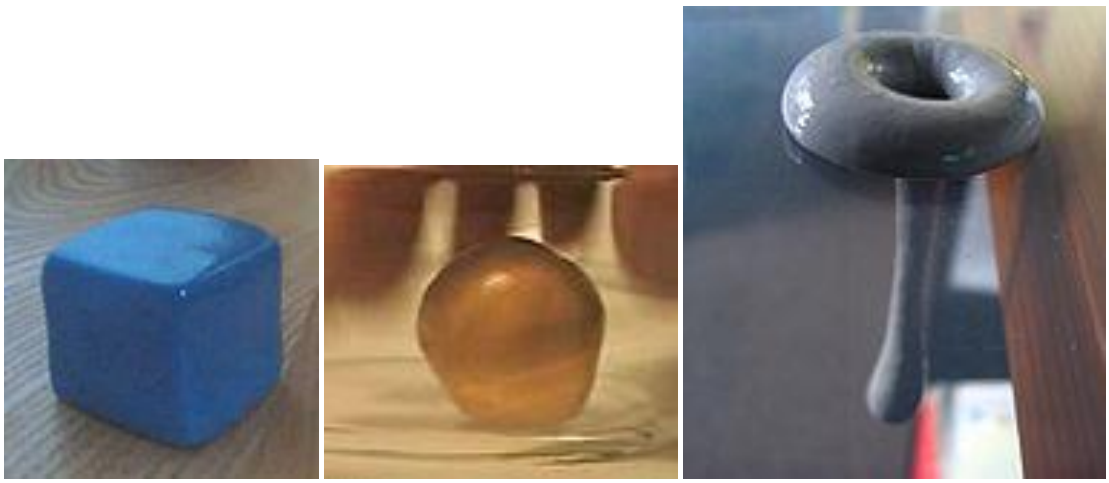
Materiały o budowie piankowej doskonale nadają się na elementy chroniące przed uderzeniem. Wiele z nich ma dobre właściwości amortyzacyjne, a powietrze zamknięte w komorach znacząco zmniejsza gęstość materiału. Najbardziej znanym materiałem tego typu jest D3O. Powstał on na bazie poliuretanu wzbogaconego o dodatki wspomagające pochłanianie energii, głównie poliborododimetylsiloksan (PBDMS). Poliborododimetylosiloksan to substancja zwana dylatantem, która w stanie niepoddanym wymuszeniom zewnętrznym przepływa swobodnie, ale po tym, jak zostanie uderzona, blokuje się, aby absorbować energię i rozpraszać ją w postaci ciepła. D3O jest więc kompozytem z pianki poliuretanowej o zamkniętych komórkach z poliborododimetylosiloksanem jako dylatantem zdyspergowanym przez matrycę piankową, co powoduje, że przy określonych poziomach energii rozprasza on więcej energii niż zwykły poliuretan.

Technologia D3O znajduje już zastosowanie w wielu dziedzinach, takich jak wojsko, sport, motoryzacja, medycyna. Powstają zarówno gotowe wyroby w postaci ochraniaczy, jak i półwyroby (rys. 3).

a) b) c)

Rys. 3. Gotowe wyroby i półprodukty z materiału D3O: a – ochraniacz kolana, b – płyty sztywne, c – płyty miękkie (Źródło: www.d3o.com)

Pierwszy **materiał o budowie plastycznej** opracowano już podczas II wojny światowej. Głównymi jego składnikami były kwas borowy i olej silikonowy. Powstały wówczas nietoksyczny syntetyczny kauczuk mógł się rozciągać jak guma, a po odbiciu odskakiwał, był odporny na pleśń i miał bardzo wysoką temperaturę topnienia. Jednak dopiero pod koniec XX wieku dostrzeżono w tym materiale potencjał i w związku z tym, że podobnie jak materiały piankowe ma on charakterystykę cieczy nienewtonowskiej, zaczęto go stosować jako materiał amortyzacyjny. Umożliwia to fakt, że jest on zbudowany z molekuł, które poddane niewielkim (o małej dynamice) naciskom zachowują się jak plastelina i dają się dowolnie kształtować (rys. 4). Jednak w wyniku gwałtownego uderzenia poszczególne molekuły zbliżają się do siebie i łączą się, tworząc twardy, sprężysty materiał, który zachowuje się jak kauczuk.



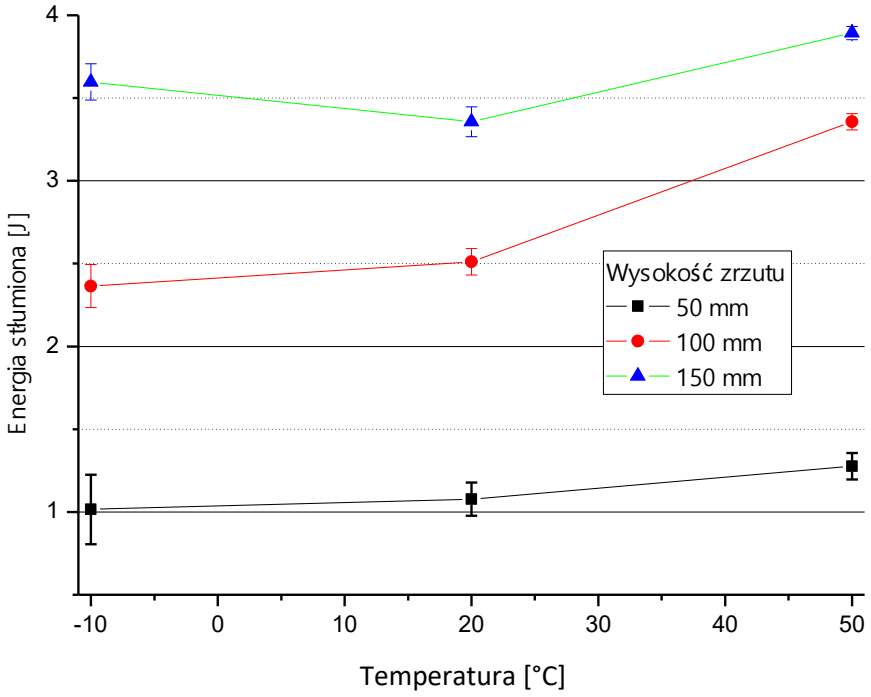
a) b) c)

Rys. 4. Różne formy materiału plastycznego: a, b – dowolnie uformowany, c – pozostawiony bez ruchu wypływa przez otwór (Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Silly_Putty)

Hełm przemysłowy wyposażony we wkładki z materiałów amortyzacyjnych o charakterystyce cieczy nienewtonowskiej

W ramach prac prowadzonych w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym został opracowany model hełmu przemysłowego wyposażonego w elementy amortyzacyjne wykonane z materiałów o charakterystyce cieczy nienewtonowskiej. Elementy te były dodatkowym wyposażeniem wspomagającym klasyczną więźbę.

Zgodnie z wymaganiami normatywnymi dotyczącymi badań przemysłowych hełmów ochronnych temperatury kondycjonowania próbek powinny obejmować przynajmniej zakres od 10°C do 50°C. W związku z tym materiał amortyzacyjny został tak dobrany, aby jego właściwości nie były zależne od temperatury użytkowania hełmu. Zależność energii stłumionej w badanych elementach amortyzacyjnych od temperatury dla różnych wysokości zrzutu bijaka (symulującego uderzenie) przedstawiono na rysunku 5. Podobnie porównanie charakterystyk siła – odkształcenie przy temperaturach kondycjonowania T_1 = -10°C, T_2 = 20°C i T_3 = 50°C nie wykazało znaczących różnic. Materiały te zachowywały swoje właściwości w szerokim zakresie temperatur, zapewniając jednocześnie bezpieczeństwo i komfort użytkowania.



Rys. 5. Energia stłumiona w elementach amortyzacyjnych w zależności od temperatury dla różnych wysokości zrzutu

Podsumowanie

Na rynku powszechnie są dostępne środki ochrony głowy przeznaczone do stosowania w zróżnicowanych warunkach środowiska pracy. Obecnie do produkcji sprzętu ochronnego mającego bezpośredni kontakt z ciałem człowieka coraz chętniej stosuje się specjalnie dobrane materiały amortyzacyjne o charakterystyce cieczy nienewtonowskiej. Wykorzystanie nowoczesnych technologii z zakresu projektowania, symulacji komputerowych oraz inteligentnych materiałów amortyzacyjnych pozwala na zastosowanie opisanych powyżej materiałów w przemysłowych hełmach ochronnych. Oprócz zachowania wysokich parametrów ochronnych rozszerzonych o możliwości amortyzacji uderzenia w głowę z kierunków innych niż tylko pionowe i jednoczesnego zapewnienia odpowiedniej amortyzacji z kierunku pionowego taka praktyka zaoferuje również wysoki komfort użytkowania tych środków ochrony.