

# Wpływ mikroklimatu pod kaskiem integralnym na sprawność psychofizyczną motocyklisty – badania pilotażowe

W artykule przedstawiono wyniki badań prowadzonych w celu określenia wpływu środowiska ograniczonej przestrzeni wokół głowy pod kaskiem integralnym, na funkcje fizjologiczne i poznawcze motocyklisty. Określono, iż używanie kasku prowadziło do obniżenia dopuszczalnej normy stężenia tlenu (20%), chwilowego przekroczenia dopuszczalnej normy stężenia dwutlenku węgla (3%), co łącznie z panującymi warunkami środowiska ciepłego może wpływać na obniżenie poziomu uwagi motocyklisty.

## The effect of the microclimate underneath the helmet on a motorcyclist's performance

This paper presents the results of a study the influence of the limited-space environment around the head, appeared during wearing integral helmet, on human physiological and cognitive functions. It was defined that utilizing the helmet conducted to decrease admissible value of oxygen (20%), temporary increase of admissible value of carbon dioxide (3%), that including ambient thermal conditions may influence on decreasing level of motorcyclist attention.

dr hab. med. IWONA SUDOŁ-SZOPIŃSKA  
dr inż. ANNA BOGDAN  
dr ANNA ŁUCZAK  
dr inż. PIOTR PIETROWSKI  
Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy

## Wstęp

Według szacunków prowadzonych w Unii Europejskiej, ok. 14% śmiertelnych wypadków drogowych dotyczy motocyklistów. W wypadkach tych ginie ponad 6 tys. osób rocznie; w 70-80% przypadków przyczyną zgonów są urazy głowy. Kaski, w szczególności tzw. kaski integralne, w istotny sposób przyczyniają się do zmniejszenia urazów głowy, w związku z tym są obligatoryjne we wszystkich krajach Unii Europejskiej.

Stosowanie kasków ochronnych ma chronić pracowników przed urazami mechanicznymi, które mogą wystąpić w czasie pracy. Niektóre grupy zawodowe, np. policjanci pełniący służbę na motocyklach, stosują kaski integralne osłaniające całą głowę, zabezpieczające przed urazami powstałymi w czasie wypadku na motocyklu. W przypadku policjantów – motocyklistów bezpieczeństwo pracy zależy również od zachowania ich zdolności poznawczych. Motocykle są bowiem pojazdami bardzo niestabilnymi i wymagają znacznie wyższego poziomu koncentracji i szybkiej reakcji w porównaniu do pojazdów czterokołowych. Jednocześnie motocyklista jest bardziej niż kierowca samochodowy ekspozowany na czynniki pogodowe oraz hałas uliczny, mogące dodatkowo pogarszać koncentrację. Projektując zatem konstrukcję kasku oraz wykorzystane materiały należy zwrócić uwagę, nie tylko na wytrzymałość mechaniczną kasku, ale również na komfort i związaną z nim sprawność psychomotoryczną użytkowników.

W roku 2005 pojawiły się doniesienia naukowe, w których wysunięto hipotezę, iż na wypadkowość z udziałem motocyklistów

może wpływać oddziaływanie środowiska pod kaskiem, tzn. takich czynników jak: nadmiernej wilgotności i temperatury powietrza oraz wysokich stężeń dwutlenku węgla. W związku z tym, ośrodek szwajcarski EMPA podjął realizację projektu – Akcji COST 357 pn. *Accident prevention options with motorcycle helmets* („Kaski motocyklowe jako element zapobiegania wypadkom wśród motocyklistów”, akronim „Prohelm”) celem poszerzenia wiedzy nt. wpływu kasków motocyklowych na bezpieczeństwo jazdy. Projekt ten, w którym uczestniczy Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, rozpoczął się w lipcu 2005 r. i będzie realizowany do lipca 2009 r. Uczestnikami Akcji COST 357 są specjaliści reprezentujący wiele dyscyplin naukowych i technicznych z 22 instytutów oraz instytucji europejskich znajdujących się w: Szwajcarii, Polsce, Bułgarii, Wielkiej Brytanii, Francji, Niemczech, Irlandii, Izraelu, Włoszech, Norwegii, Portugalii, Hiszpanii, Turcji i Grecji.

## Wpływ wybranych czynników na funkcje poznawcze użytkowników kasków

Na bezpieczeństwo motocyklistów na drodze wpływa m.in. sprawność określonych funkcji poznawczych, np. umiejętność zachowania stałej czujności, koncentracji uwagi i szybkiego refleksu. Pozwalają one na bezpieczne prowadzenie motocykla, jak również w znacznej mierze na uniknięcie kolizji z innymi pojazdami, których kierowcy często nie zauważają motocyklistów na drodze [1].

W dalszej części artykułu scharakteryzowano wpływ niektórych czynników środowiskowych, mogących zakłócić prawidłowość reakcji motocyklisty:

**Temperatura otoczenia**, będąca parametrem oddziałującym bezpośrednio na odczucie komfortu cieplnego, jednocześnie wpływa na sprawności psychomotoryczne, przebieg procesów poznawczych oraz na procesy fizjologiczne człowieka. Szczególnie negatywny wpływ w zakresie psychomotoryki oraz przebiegu procesów poznawczych człowieka jest przypisywany podwyższonej temperaturze otoczenia (powyżej 24 °C). W badaniach laboratoryjnych prowadzonych przez Pilchera, Nadlera i Buscha [2] wykazano, że gorąco ( $\geq 26,67$  °C WBGT) w najwyższym stopniu powoduje obniżenie poziomu uwagi, spostrzegawczości, sprawności w rozwiązywaniu zadań matematycznych i pogorszenie refleksu. Potwierdzenie negatywnego wpływu gorąca na procesy poznawcze w zakresie czujności i uwagi uzyskano również, podczas eksperymentu przeprowadzonego wśród kierowców, w warunkach ruchu ulicznego [4]. W przedziale 33 ÷ 35 °C WBGT obserwuje się największe obniżenie jakości wykonanych zadań motorycznych, zaś w temperaturze 35 °C WBGT istotnie wzrasta liczba niebezpiecznych zachowań.

**Stężenie gazów oddechowych pod kaskiem** – pomiary przeprowadzone z udziałem ochotników stosujących kaski integralne wykazały, iż w czasie postoju stężenie dwutlenku węgla pod kaskiem wynosiło aż 2% (dopuszczalny limit <3%). Część powietrza wydychana przez

motocyklistę jest ponownie wprowadzana do organizmu w czasie wdechu. Z tego powodu często w czasie jazdy motocyklem kierowcy otwierają wizjery, aby oddychać swobodniej. Wdychanie powietrza o wyższym niż 3-procentowym stężeniu CO<sub>2</sub> może wpływać znacząco na zdolności poznawcze człowieka. Przy stężeniu CO<sub>2</sub> wynoszącym 1,2% (zbliżonym do poziomu obserwowanego w warunkach jazdy na motocyklu w kasku integralnym z prędkością 50 km/godz.) osoby badane odczuwają zmniejszenie [1]. Liczba subiektywnych dolegliwości wzrasta przy poziomie CO<sub>2</sub> wynoszącym 6 ÷ 8%. Występują wówczas objawy ucisku w klatce piersiowej, palpacje serca, skrócenie oddechu oraz uczucie ogólnego osłabienia [5]. Przy poziomie CO<sub>2</sub> sięgającym 7,5% dochodzi do wydłużenia czasu realizacji zadań wymagających logicznego myślenia, przy zachowanej poprawności ich wykonania. Po zaprzestaniu eksperymentu w warunkach laboratoryjnych, sprawność w tym zakresie powraca do poziomu wyjściowego po 5 minutach.

Bardziej negatywny – w porównaniu z ditlenkiem węgla – wpływ na sprawność psychomotoryczną i procesy poznawcze człowieka ma stężenie tlenu węgla (CO) w powietrzu wdychanym. Przy poziomach COHb (tj. hemoglobiny tlenowęglowej) uznanych za bezpieczne z punktu widzenia procesów fizjologicznych, obserwowane jest istotne pogorszenie sprawności psychomotorycznych i funkcji poznawczych człowieka, co może stanowić istotne zagrożenie dla osób narażonych na działanie CO, a więc także motocyklistów. Przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych badania [6] nie wykazały niepokojących reakcji fizjologicznych oraz zaburzeń zdrowotnych przy stężeniu COHb dochodzącym do poziomu 20%, podczas gdy sprawności takie, jak refleks i spostrzegawczość ulegały istotnemu pogorszeniu już przy stężeniu COHb wynoszącym 5%. Autor konkludował, iż bardziej złożone funkcje poznawcze, związane np. z podejmowaniem decyzji, mogą być o wiele bardziej podatne na stężenia COHb w zakresie 5 ÷ 20%. Słuszność tego wniosku potwierdzają badania [7], w których istotny spadek czujności i pogorszenie umiejętności oceny prędkości pojazdu kierowanego przez motocyklistę odnotowano już przy 2,5-procentowym stężeniu COHb. Dalszy wzrost stężenia COHb może w znaczący sposób zmniejszyć bezpieczeństwo jazdy. Przy poziomie 6,3% COHb obserwuje się bowiem utratę samokrytycyzmu oraz pogorszenie umiejętności oceny sytuacji, co jest wczesnym wskaźnikiem niedotlenienia mózgu. Stężenie COHb w zakresie 10 ÷ 12%, wywołuje u kierowców rajdowych, w warunkach gorącego mikroklimatu (50 °C) istotne obniżenie sprawności kierowania pojazdem, co manifestuje się większą liczbą zderzeń i problemami z utrzymaniem się na torze jazdy.

Tlenek węgla ma również niekorzystny wpływ na sprawność narządu wzroku – wykazano [8], że przy dużej prędkości jazdy, motocykliści w warunkach podwyższonego poziomu CO w hemoglobinie (17%) potrzebowali więcej informacji wizualnych, niż przy tych samych prędkościach i bez oddziaływania CO.

Z kolei przy podwyższonym stężeniu COHb, wykazano obniżenie sprawności motorycznej rąk kierowców [9]. Uzyskane wyniki nie były znamienne, niemniej jednak przy stężeniu COHb sięgającym 28% motocykliści zgłaszali uczucie znacznego zmęczenia rąk i palców. Z jednej strony pod kaskiem dochodzi do nadmiernej koncentracji CO<sub>2</sub> i CO, z drugiej strony – nieodpowiednia wymiana powietrza powoduje spadek stężenia O<sub>2</sub> w powietrzu wdychanym przez motocyklistę. Tlen w powietrzu występuje w stężeniu równym 20%, natomiast w powietrzu wydychanym około 16%. Stężenie tlenu w powietrzu wdychanym zmniejszone do 13% nie powoduje zagrożeń w zdrowiu, jednak obserwuje się zwiększenie częstości skurczów serca. W badaniach z motocyklistami w czasie postoju, które były prowadzone w laboratoriach, średnie wartości O<sub>2</sub> pod kaskiem obserwowano na poziomie 17 ÷ 20% [10].

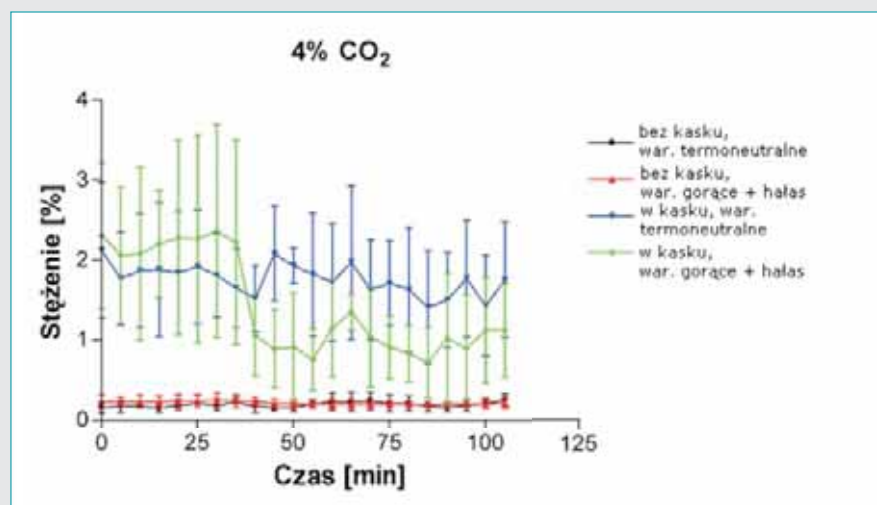
**Hałas** jest kolejnym czynnikiem wpływającym w sposób istotny na samopoczucie i sprawność kierującego, co więcej może – być podstawowym źródłem zmęczenia odczuwanego przez motocyklistę, a w związku z tym stanowić przyczynę popełnianych błędów, prowadzących do wypadków drogowych [11]. Jest to szczególnie istotny problem zważywszy na fakt, iż kierowanie pojazdem w warunkach zatłoczonej drogi jest nieodłącznie związane z narażeniem kierującego na zwiększony poziom hałasu: zarówno hałasu środowiskowego, jak i wynikającego z obecności turbulencji powietrza wokół kasku (wyraźnie odczuwanych przy prędkościach przekraczających 50 km/h), oraz hałasu generowanego przez pracę silnika

motocykla. Szkodliwy jest również wpływ hałasu na narząd słuchu, który odgrywa znaczącą rolę w prawidłowej percepcji sygnałów akustycznych przez uczestnika ruchu drogowego. Długoletnie narażenie motocyklisty na hałas może prowadzić do upośledzenia słyszenia i trwałych ubytków słuchu. Zgodnie z przepisami [12, 13] poziom hałasu zewnętrznego motocykli generowanego podczas jazdy nie powinien przekraczać dopuszczalnych wartości (75 ÷ 80 dB w zależności od pojemności silnika). Między progiem słyszenia, hałasem i współczynnikiem wypadkowości istnieją wyraźne zależności [14]. Wysoki poziom hałasu może w sposób bezpośredni prowadzić do zwiększonej wypadkowości, co potwierdzają niekorzystne interakcje pomiędzy sygnałami ostrzegawczymi, odbieranymi komunikatami słownymi a maskującym hałasem tła, który wynosi ponad 85 dB w czasie postoju i od 95 do 119 dB [15] podczas jazdy, jak i negatywne efekty oddziaływania wysokiego poziomu hałasu na reakcje psychomotoryczne oraz procesy fizjologiczne kierowców.

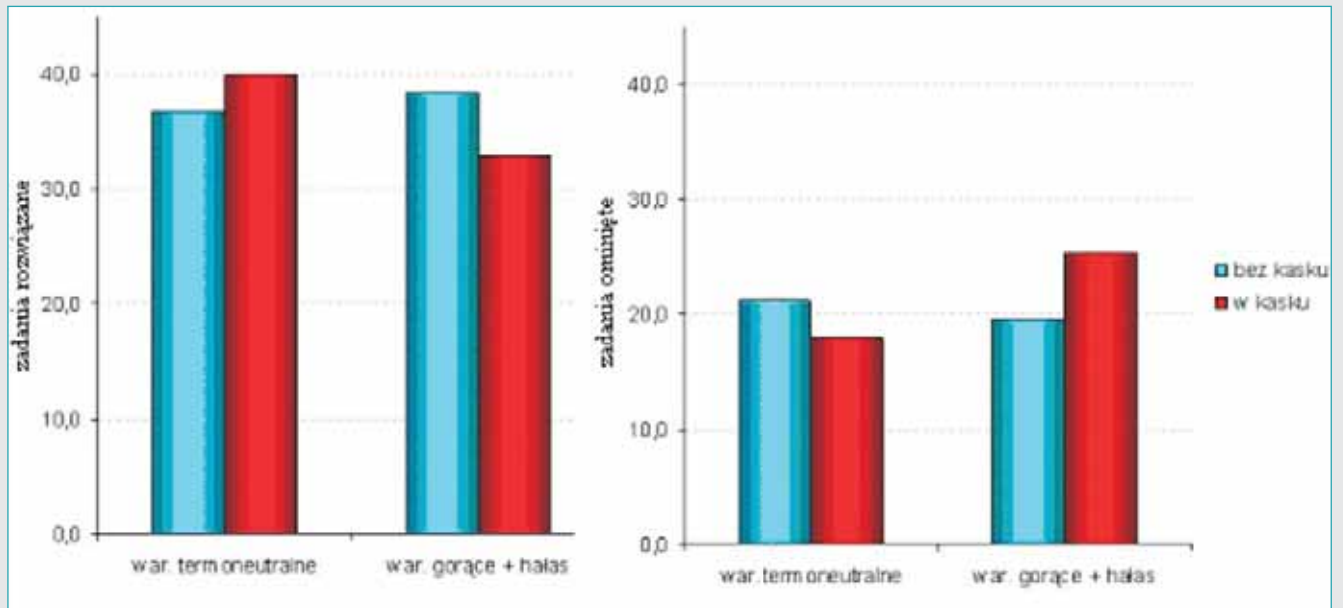
## Badania pilotażowe

Badania przeprowadzone w CIOP-PIB obejmowały zbadanie reakcji fizjologicznych, funkcji psychomotorycznych oraz procesów poznawczych użytkowników kasków pod kątem wyjaśnienia, czy ulegają one modyfikacji w warunkach dyskomfortu termicznego, hałasu środowiskowego czy niedostatecznej wymiany powietrza pod kaskiem. W badaniach wzięło udział 5 zdrowych i sprawnych fizycznie policjantów pełniących służbę na motocyklach od ok. 11 lat. Badania z udziałem ochotników – policjantów prowadzone były w laboratorium w dwóch wariantach środowiskowych:

- mikroklimat gorący i hałas o poziomie hałasu panującego w aglomeracji miejskiej (88 dB) (A)
- mikroklimat umiarkowany.



Rys. 1. Średnie w odniesieniu do 5 policjantów wartości stężenia ditlenku węgla w przestrzeni pod kaskiem  
Fig.1. Mean values of carbon dioxide in the space underneath the helmet



Rys. 2. Wpływ zastosowania kasku na uwagę motocyklisty (test SIGNAL)  
 Fig. 2. The effect of using a helmet on a motorcyclist's attention (SIGNAL test)

Każdy wariant powtarzany był dwukrotnie: w kasku i bez kasku. Przeprowadzone badania wykazały, iż ograniczona przestrzeń pod kaskiem może wpływać na funkcje fizjologiczne i procesy poznawcze osób stosujących tego rodzaju ochrony głowy. Wykazano, że podczas stosowania kasku dochodzi do zwiększenia temperatury skóry średnio o ok. 0,5 °C w warunkach środowiska umiarkowanego, zwiększenia temperatury wewnętrznej o ok. 0,7 °C w warunkach umiarkowanych i ok. 0,3 °C w warunkach symulowanego gorąca i hałasu. Stężenie CO<sub>2</sub> w przestrzeni pod kaskiem wynosiło średnio 1% (w warunkach gorąca i hałasu) oraz 2% (w warunkach termoneutralnych) – różnice jakie zmierzono związane były z prędkością powietrza w przestrzeni badania, która dla wariantu gorąca i hałasu wynosiła 2 m/s (podczas gdy w środowisku umiarkowanym 0,5 m/s), (rys.1., str. 15.).

Analogicznie stężenie tlenu w przestrzeni oddechowej badanych było niższe od wartości dopuszczalnych i wynosiło średnio 18% (warunki umiarkowane) i 19% (warunki gorąca i hałasu). W zakresie funkcji psychomotorycznych okazało się, że w warunkach łącznego oddziaływania hałasu i gorąca, zarówno w badaniu bez kasku, jak i w wariacie z założonym kaskiem, obniżył się poziom sprawności osób badanych w zakresie uwagi (rys. 2.).

Natomiast obecność w środowisku coraz większej liczby czynników obciążających człowieka, takich jak hałas, wysoka temperatura, założenie kasku motocyklowego, powodowała wzrost odczuwanego zmęczenia, ale zjawisku temu nie towarzyszyła istotna zmiana nastroju. W mikroklimacie umiarkowanym kask nie wpływał na pogorszenie odczuć cieplnych

i wilgotności. W mikroklimacie gorącym badani w kasku zgłaszali dyskomfort wynikający z nadmiernego ogrzania głowy oraz wilgotności skóry i akumulacji potu w odzieży.

**Podsumowanie**

Przeprowadzone badania miały charakter pilotażowy, niemniej wykazano, iż stosowanie kasku integralnego tworzy pod nim mikroklimat, który może wpływać negatywnie na funkcje poznawcze motocyklisty. Istnieje więc potrzeba dalszych badań większej liczby osób. W przypadku potwierdzenia wyników badań pilotażowych powinny nastąpić odpowiednie zmiany w konstrukcji kasków pod względem m.in., poprawy wentylacji oraz zmniejszenia wilgotności w przestrzeni pod kaskiem, np. przez zastosowanie materiałów absorbujących wilgoć w przestrzeni między kaskiem a głową użytkownika.

**PIŚMIENNICTWO**

[1] Brühwiler P.A., Stämpfli R., Huber R., Camenzind M. CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> concentrations in integral motorcycle helmets. "Applied Ergonomics". 36/2005, 625-633  
 [2] Pilcher J.J., Nadler E., Busch C. Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. "Ergonomics", Vol. 45, No. 10/2002, 682-698  
 [3] Grether W.F. Human performance at elevated environmental temperatures. "Aerospace Medicine" 44/1973, 747-55  
 [4] Wyon D.P., Wyon I., Norin F. Effect of moderate heat stress on driver vigilance in a moving vehicle. "Ergonomics", Vol. 39, No. 1/1996, 66-75  
 [5] Maresh C.M., Armstrong L.E., Kavouras S.A., Allen G.J., Casa D.J., Whittlesey M., LaGasse K.E. Physiological and psychological effects associated with high carbon dioxide levels in healthy men. "Aviation, Space and Environmental Medicine", Vol. 68, No.1/1997, 41-45

[6] Schulte J.H. Effects of mild carbon monoxide intoxication. "Archives of Environmental Health". Vol. 7/1963, 30-36  
 [7] Putz V.R. The effect of carbon monoxide on dual-task performance. "Human Factors", 21/1979/1, 13-24  
 [8] McFarland, R.A. (1973). Low level exposure to carbon monoxide and driving performance. Archives of Environmental Health, Vol. 27, 355-359  
 [9] Stewart R.D., Peterson J.E., Baretta E.D., Bachand R.T. Experimental human exposure to carbon monoxide. "Archives of Environmental Health", Vol. 21/1970, 154-164  
 [10] Iho L., Jonasson H., Petersson J.I., Stridh G., Ljung C., 1980. Measurement of aerodynamically generated noise and concentrations of carbon dioxide and oxygen in protective helmets for motorcycle riders, Report no SP-RAPP 1980:31, Statens Provningsanstalt, Sweden  
 [11] McKnight A. J., McKnight A. S. The effects of motorcycle helmets upon seeing and hearing. "Accident Analysis & Prevention" 27/1995, 493-501  
 [12] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 97/24/WE z dnia 17 czerwca 1997 r. w sprawie niektórych części i właściwości dwu- lub trzykołowych pojazdów silnikowych (Dz. Urz. WE L 226 z 18.08.1997 r. ze zm.)  
 [13] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 28 lipca 2005 r. w sprawie homologacji typu pojazdów samochodowych mających dwa lub trzy koła, niektórych pojazdów samochodowych mających cztery koła oraz motorowerów (DzU nr 162, poz. 1360 ze zm.)  
 [14] FHWA. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of motor carriers. Role of Driver Hearing in Commercial Motor Vehicle Operation: An Evaluation of the FHWA Hearing Requirement. Publication No. FHWA-MCRT 1998-99-001  
 [15] Binnigton J.D., McCombe A.W., Harris M. (1993) Warning signal detection and the acoustic environment of the motorcyclist. "British Journal of Audiology", Vol. 27: pp 415 – 422

Publikacja opracowana na podstawie wyników badań uzyskanych w ramach projektu specjalnego pn. „Wpływ środowiska ograniczonej przestrzeni wokół głowy na funkcje fizjologiczne i poznawcze człowieka” finansowanego ze środków finansowych na naukę w latach 2007-2008.