

mgr inż. MARIUSZ WISŁKA (ORCID: 0000-0002-7145-6457)

dr hab. inż. AGNIESZKA WOLSKA, prof. CIOP-PIB (ORCID: 0000-0003-3912-605X)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: marwi@ciop.pl

DOI: 10.54215/BP.2021.9.1

Czy promieniowanie optyczne pochodzące z urządzeń rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej może stanowić zagrożenie dla zdrowia?

Fot. World Image/Bigstockphoto



Urządzenia rzeczywistości wirtualnej (VR) i rozszerzonej (AR) coraz częściej są stosowane nie tylko do celów rozrywkowych, lecz także jako elementy wspomagające szkolenia czy rehabilitację. Biorąc pod uwagę rozwój tej technologii w ostatnich latach, można sądzić, że w najbliższej przyszłości te urządzenia staną się częścią niektórych miejsc pracy. W celu zapewnienia bezpieczeństwa pracowników używających urządzeń wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości należy się jednak upewnić, że nie stworzą one zagrożenia dla ludzkiego zdrowia, a zwłaszcza nie spowodują uszkodzeń oczu lub zaburzeń rytmu okołodobowego, związanych z promieniowaniem optycznym emitowanym przez wyświetlacze.

Słowa kluczowe: promieniowanie optyczne, urządzenia rzeczywistości wirtualnej, urządzenia rzeczywistości rozszerzonej

Can optical radiation originating from virtual and augmented reality devices pose a health risk?

Virtual reality (VR) and originating augmented reality (AR) devices are increasingly used not only for entertainment purposes, but also as elements supporting training or rehabilitation. Considering the development of this technology in recent years, it can be assumed that in the near future these devices will become part of some workplaces. However, in order to ensure the safety of employees using virtual and augmented reality devices, make sure that they do not pose a threat to human health, and in particular they do not cause eye damage or circadian rhythm disturbances related to optical radiation emitted by displays.

Keywords: optical radiation, virtual reality devices, augmented reality devices

ze sobą, np. przez wyświetlanie ruchu obu postaci w jednym wirtualnym obszarze, oraz na interakcje ze wspólnymi wirtualnymi obiektami [1, 2]. W kolejnych latach technologia była ulepszana, modyfikowana i przystosowywana do różnych celów, np. do rozrywki (gogle BOOM) czy nauki (Virtual Wind Tunnel, CAVE) [3-5]. Zainteresowanie tą technologią wyrażały siły zbrojne różnych krajów. Przykładowo, w USA w 1955 r. rozpoczęto pracę nad systemem HUD (ang. *head-up display*) – prekursorem technologii rzeczywistości rozszerzonej. W pierwszej kolejności systemy typu HUD miały stanowić wsparcie dla pilotów samolotów odrzutowych marynarki wojennej i lotnictwa USA, jednak w krótkim czasie znalazły zastosowanie w wielu innych miejscach, m.in. w samochodach i samolotach lotnictwa cywilnego [6]. Kolejną dziedziną, w której wykorzystano rzeczywistość wirtualną, jest rozrywka, a konkretnie branża gier komputerowych (np. system PS2 VR) [3].

Obecnie rynek oferuje przenośne urządzenia VR o bardzo różnym przeznaczeniu, m.in. wykorzystywane w: edukacji, przemyśle, turystyce, szeroko pojętej rozrywce, badaniach naukowych, służbie zdrowia czy wojskowości [7]. Coraz większa część społeczeństwa zauważa tę technologię i coraz częściej postrzega ją jako strategiczną [8].

Z technologią AR oraz VR związane są pewne zagrożenia, wynikające z jej specyfiki. Ich lista obejmuje kilka zagadnień z różnych dyscyplin nauki. Wyniki dotychczasowych badań wskazują na niezaprzeczalny związek pomiędzy stosowaniem tych urządzeń a występowaniem zagrożeń dla zdrowia użytkowników. Najczęściej wymieniane są:

- choroba lokomocyjna – dotyczy urządzeń HMD (ang. *head mounted displays*)
- nudności i zawroty głowy
- zaburzenia równowagi
- lęk i niepokój [10, 11].

Oczywiście nie w każdym analizowanym przypadku dochodziło do przekroczenia dopuszczalnych norm, jednak ze względu na charakter działania urządzeń VR i AR (blisko głowy i oczu człowieka) ważne jest badanie potencjalnych

Wstęp

Historia urządzeń rzeczywistości wirtualnej (ang. *virtual reality* – VR) i rozszerzonej (ang. *augmented reality* – AR) rozpoczęła się wraz z opracowaniem przez Mortona Heiliga pierwszych zakładanych na głowę gogli wirtualnej rzeczywistości. Niedługo po tym, w 1961 r., gogle

zostały wyposażone w system śledzenia ruchu głowy. Technologia rozwijała się dalej i w latach 70. XX w. zaczęły się pojawiać systemy komercyjne. Myron Krueger założył laboratorium Videoplace, w którym został stworzony system pozwalający dwóm osobom przebywającym w różnych pomieszczeniach na interakcję



Rys. 1. Gogle VR Oculus Rift podczas pomiarów wraz z podglądem wyświetlanego obrazu na ekranie monitora

Fig. 1. Oculus Rift VR goggles during measurements along with a preview of the displayed image on the monitor screen

zagrożeń związanych z ich używaniem. Mimo że badania są prowadzone w szerokim zakresie, to jednak nadal istnieją obszary pomijane lub wymagające bardziej szczegółowej obserwacji. Dotyczy to np.:

- promieniowania optycznego
- zmęczenia oczu
- prawdopodobnego wpływu na rozwój krótkowzroczności
- zaburzeń poczucia przestrzeni lub odległości (zwłaszcza u młodych osób)
- bezsenności lub problemów z zasypianiem (zakłóceń rytmu okołodobowego).

W ramach pracy skupiono się na przybliżeniu i analizie zagadnień związanych z zagrożeniami mogącymi wynikać z ekspozycji człowieka na promieniowanie optyczne, emitowane przez urządzenia AR i VR.

Rodzaje urządzeń wirtualnej rzeczywistości

Rzeczywistość wirtualna jest pojęciem, które na wczesnym etapie rozwoju urządzeń do jej tworzenia było uniwersalnie stosowane do wszelkiego typu sprzętu, łącznie z tym przeznaczonym do rzeczywistości rozszerzonej i mieszanej. Dopiero później doprecyzowano definicje poszczególnych akcesoriów i wyznaczono ramy ich podziału na różne rodzaje.

Urządzeniem wirtualnej rzeczywistości nazywamy każde urządzenie pozwalające na generowanie komputerowej wizji przedmiotów, przestrzeni i zdarzeń oraz prezentację treści poprzez wyświetlacz (wyświetlacze) lub projekcję obrazu. Wyświetlana treść może być dowolna i może zarówno symulować rzeczywistość, jak i kreować świat całkowicie abstrakcyjny. Najbardziej znane urządzenia wirtualnej rzeczywistości to:

- gogle Oculus (rys. 1.)
- gogle HTC
- system Videoplace
- CAVE (rzeczywistość wirtualna, niebędąca urządzeniem przenośnym).

Drugą popularną metodą służącą do interakcji z rzeczywistością wirtualną jest technologia rzeczywistości rozszerzonej AR. Jest ona

efektem rozwoju technologii VR, polegającym na nałożeniu na rzeczywisty obraz dodatkowych informacji (cyfrowych, generowanych przez ekran wbudowany w urządzenie). Okulary lub gogle mogą pokazywać użytkownikowi rozszerzone informacje na temat rzeczywistych obiektów lub tworzyć nowe obiekty. Technologia ta na ogół daje pewną swobodę w interakcji z wirtualnymi obiektami, a zakres tej interakcji jest ograniczony przez urządzenie. Jedne z pierwszych tego typu urządzeń powstały dla inżynierów korporacji Boeing, którzy w latach 90. XX w. zajmowali się kontrolą okablowania samolotów [9].

System AR można definiować przez komponenty niezbędne do jego działania. Należy do nich kamera, której głównym zadaniem jest nagrywanie (obserwacja) świata rzeczywistego, a następnie wyświetlanie tego obrazu na ekranie. Sposób projekcji zależy od okularów. Występują dwa główne typy wyświetlania: VST (ang. *video see-through*) oraz OST (ang. *optical see-through*). Różnica między tymi systemami widoczna jest głównie w czasie ich działania. Systemy VST łączą obraz świata nagrany kamerą z obiektami wirtualnymi i mają mniejsze opóźnienie w zakresie wyświetlanego obrazu w porównaniu z systemami OST. W przypadku tych drugich uruchomienie zajmuje trochę więcej czasu, ale za to można oglądać świat przez półprzezroczysty ekran [12]. Wraz z rozwojem technologii AR pojawiła się jej nowa odmiana, coraz bardziej zaznaczająca swoją odmienność – technologia rzeczywistości mieszanej (ang. *mixed reality* – MR), w której silnie zaakcentowaną rolę użytkownika z urządzeniem. Wyraźna granica między systemem AR i MR nie została jednak określona.

Zagrożenia związane z oddziaływaniem promieniowania optycznego podczas stosowania urządzeń VR i AR

Obszarem znajdującym się w fazie wczesnych badań jest oddziaływanie promieniowania optycznego pochodzącego od ekranów i wyświetlaczy urządzeń wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości. Przegląd dostępnych informacji dotyczących źródeł światła stosowanych w wyświetlaczach urządzeń VR i AR wskazuje, że najczęściej wykorzystywane są źródła LED (białe lub dobierane według modelu przestrzeni barw RGB – *red, green, blue*) i OLED. Według najnowszych doniesień opracowano już technologię wyświetlaczy do okularów AR podświetlanych źródłem laserowym (diodą laserową), której liderem jest koncern TDK Global [12]. Nie została ona jeszcze zastosowana w żadnym urządzeniu komercyjnym, lecz zainteresowanie nią rośnie i sytuacja może się wkrótce zmienić.

Ze względu na rodzaje stosowanych źródeł światła można wyróżnić następujące potencjalne zagrożenia promieniowaniem optycznym dla zdrowia użytkowników urządzeń VR i AR:

- zagrożenie oczu – oceniane zgodnie z kryteriami zawartymi w dyrektywie 2006/25/WE w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (sztucznym promieniowaniem optycznym) [14] oraz zgodnie z rozporządzeniami dotyczącymi bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne [15] oraz najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [16] – a zwłaszcza:
 - zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka związane z ekspozycją na promieniowanie z zakresu 300-700 nm, tzw. zagrożenie światłem niebieskim
 - zagrożenie fotochemiczne oczu związane z ekspozycją na promieniowanie UV (aktywnicne – z zakresu 200-400 nm, soczewki oka – z zakresu 315-400 nm)
 - zagrożenie termiczne i fotochemiczne siatkówki oka związane z ekspozycją na promieniowanie laserowe z zakresu 400-780 nm
- zagrożenia związane z wpływem światła niebieskiego na hamowanie wydzielania melatoniny i w konsekwencji – na zaburzenia cyklu okołodobowego i pogorszenie zdrowia człowieka [15].
Badanie zagrożenia oczu promieniowaniem optycznym z zakresu 200-780 nm jest szczególnie ważne ze względu na sposób, w jaki urządzenia VR i AR są używane. Pozornie nieduże mierzone wartości natężenia napromienienia nadal mogą stanowić zagrożenie, ponieważ źródło światła jest umiejscowione w niewielkiej odległości od oczu człowieka. Groźne wydaje się zwłaszcza promieniowanie nadfioletowe, którego nawet niewielkie dawki mogą powodować przekroczenie maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE).

Światło słoneczne jest jednym z najważniejszych regulatorów fizjologicznych funkcji człowieka związanych z rytmem okołodobowym. Ma ono ogromny wpływ na funkcje wzrokowe, a także na tzw. pozawzrokową odpowiedź organizmu, która decyduje o psychofizjologicznym funkcjonowaniu człowieka, jego zachowaniu i sprawności. Światło przyczynia się do zmiany rytmów okołodobowych, tj. zmieniania pór czasowych w cyklach okołodobowych, co może skutkować przesunięciem faz cyklu fizjologicznych. Odkrycie w 2001 r. nowego typu receptora w ludzkim oku – ipRGC (ang. *intrinsically photosensitive retinal ganglion cells*) – zapoczątkowało szereg badań poświęconych oddziaływaniu światła na hamowanie wydzielania melatoniny. Ten hormon, wydzielany przez szyszynkę do krwiobiegu, informuje organizm o rozpoczynaniu procesów przypadających na porę nocną, takich jak sen czy obniżenie temperatury głębokiej ciała i spowolnienie rytmu serca. To oznacza, że rytmy w organizmie człowieka – np. cykl snu

i czuwania, dzienne zmiany koncentracji, wydajności i nastroju (zmiany okołodobowe) oraz reakcje na zmiany sezonowe – są uzależnione od określonych warunków świetlnych. Poziom czujności człowieka podlega zatem wahaniom okołodobowym, sterowanym przez zegar biologiczny. W ostatnich latach wiele uwagi poświęca się właściwemu stosowaniu światła, którego widmo zawiera znaczącą składową w paśmie niebieskim. W celu zapobiegania niepożądanemu przesuwaniu się fazy cyklu okołodobowego zaleca się stosowanie takiego światła najpóźniej do godziny 12.00 lub 13.00, natomiast później należy stosować światło o znacznie mniejszej zawartości składowej niebieskiej. Na potrzeby ilościowej oceny światła pod względem jego skuteczności w hamowaniu wydzielania melatoniny opracowano wiele różnych miar cyrkadialnych (okołodobowych), a w przypadku niektórych z nich podano również kryteria stosowania w praktyce oświetleniowej.

Badanie parametrów promieniowania optycznego pochodzącego od urządzeń VR i AR

W ramach prac Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego powstała metoda badania urządzeń wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości. Tą metodą wykonano pomiary natężenia promieniowania optycznego, emitowanego przez wyświetlacze urządzeń VR i AR podczas wyświetlania kilku obrazów na specjalnie zbudowanym stanowisku badawczym. Były to m.in. obrazy emitujące światło o długościach fal, które mogą powodować największe potencjalne zagrożenia dla oczu, a zwłaszcza obrazy: o barwie niebieskiej (maksymalne występowanie), o barwie cyjanowej (maksymalne występowanie), o barwie białej (maksymalna jaskrawość) oraz niebiesko-zielonej i zielonej. Ponadto wybrano charakterystyczne dla każdego urządzenia obrazy menu oraz szachownicę czarno-białą i biało-cyjanową. Schemat badania był następujący:

1. Załączenie urządzenia VR lub AR i wyświetlenie obrazu o barwie cyjan lub niebieski.

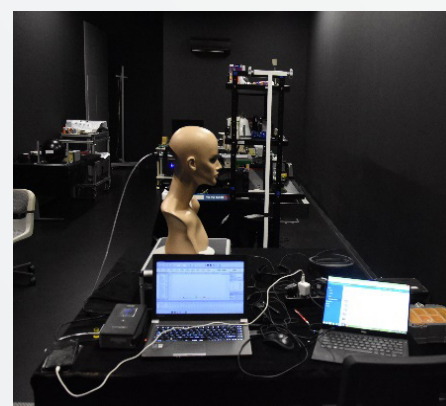
2. Wykonanie pomiaru powierzchni wyświetlania.
3. Nałożenie gogli/okularów na głowę manekina w taki sposób, aby promieniowanie od wyświetlanego obrazu padało na źrenice pomiarowe manekina.
4. Wykonanie pomiarów odległości obserwacji (źrenica manekina – środek wyświetlacza).
5. Wyświetlanie kolejnych siedmiu obrazów i pomiarów spektrometrycznych (co najmniej po trzy serie pomiarów) w warunkach ciemni fotometrycznej za wyjątkiem dwóch urządzeń, które nie pracują w warunkach całkowitej ciemności (Microsoft HoloLens oraz Oculus Rift).
6. Sprawdzenie, czy wyświetlacze nie emitują promieniowania UV (nieznane są rodzaje źródeł światła i badanie ma na celu wykluczenie tego ewentualnego zagrożenia UV):
 - umieszczenie okularów/gogli na ławie fotometrycznej
 - ustawienie sondy pomiarowej w wyznaczonej odległości oka od środka wyświetlacza
 - wyświetlanie kolejnych obrazów i pomiarów spektrometrycznych w zakresie 200-400 nm.
7. W przypadku gdy jako źródła do wyświetlania stosowane są diody laserowe, wykonywana jest następująca procedura:
 - wykonanie czynności wymienionych w pkt 1.-4.
 - umieszczenie okularów/gogli na ławie fotometrycznej
 - ustawienie sondy pomiarowej w wyznaczonej odległości oka od środka wyświetlacza
 - wyświetlanie kolejnych obrazów i pomiar mocy promieniowania laserowego.

W tab. 1. przedstawiono współrzędne RGB wyświetlanych obrazów, w przypadku których wykonano pomiary natężenia napromienienia promieniowaniem optycznym (bez obrazu menu, które było inne dla każdego z badanych urządzeń). Obrazy wyświetlano tak, że wypełniały cały obszar wyświetlacza. Wyświetlacz urządzenia VR lub AR umieszczany był w odległości 1,5-8 cm w przypadku urządzeń zakładanych na głowę (okularów oraz systemów HMD).

a)



b)



Rys. 2. Widok zestawionych elementów stanowiska do badań: a) okulary AR podczas badania na głowie manekina, b) stanowisko pomiarowe bez założonych urządzeń VR i AR

Fig. 2. Picture of assembled test stand components: a) AR goggles during test on mannequin head, b) test stand without VR and AR devices applied

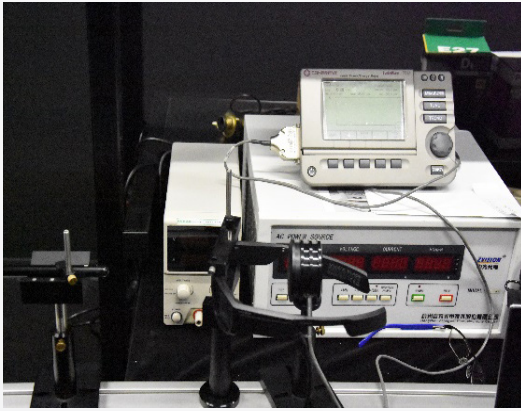
Wszystkie elementy stanowiska pomiarowego do badania urządzeń VR i AR z wykorzystaniem głowy manekina przedstawiono na rys. 2. W praktyce okazało się, że do obsługi urządzeń VR i AR należy wykorzystać osobny komputer, niezależny od komputera współpracującego ze spektrometrem. Stanowisko do badań parametrów promieniowania optycznego urządzeń VR i AR zgodnie z opracowanymi założeniami wykorzystywało:

- wykonaną na zamówienie sondę do pomiaru natężenia napromienienia promieniowaniem w zakresie 340-800 nm, umożliwiającą pomiar w aperturze 8 mm (maksymalne rozszerzenie źrenicy); usytuowanie sondy – w prawym lub lewym oku manekina
 - dane zebrane przez sondę przekazywane światłowodem do urządzenia pomiarowego (spektrometr) i wysyłane z niego poprzez interfejs USB do komputera PC
 - urządzenia do pomiaru mocy i energii promieniowania laserowego wraz z zestawem głowic pomiarowych dostosowanych do różnych parametrów emitowanej wiązki; urządzenie połączone z komputerem PC poprzez interfejs USB.
- Na rys. 3 i 4. pokazano stanowiska do pomiarów promieniowania UV i promieniowania laserowego.

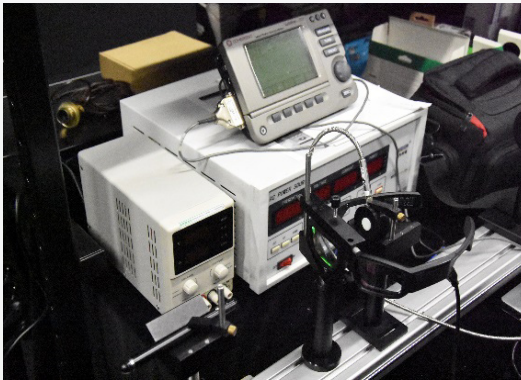
Tabela 1. Wyświetlane barwy obrazu i odpowiadające im współrzędne RGB

Table 1. Displayed image colors and their corresponding RGB coordinates

Barwa obrazu	Współrzędne RGB (red/green/blue)
biała	(255/255/255)
niebieska	(0/0/255)
zielona	(0/255/0)
cyjanowa	(0/255/255)
niebiesko-zielona	(0/74/255)
szachownica czarno-biała	(0/0/0)-(255/255/255)
szachownica cyjanowo-biała	(0/255/255)-(255/255/255)
menu	brak



Rys. 3. Widok stanowiska do pomiaru promieniowania UV
Fig. 3. View of measuring station for UV radiation measurements



Rys. 4. Widok stanowiska do pomiaru promieniowania laserowego
Fig. 4. View of measuring station for laser radiation

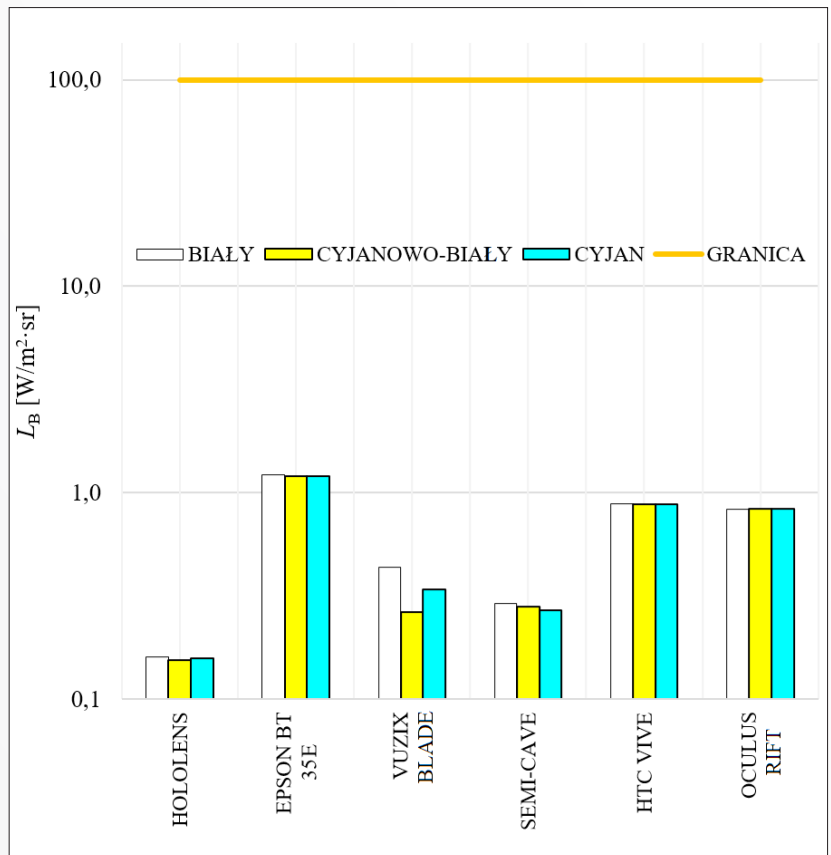
Wyniki badań wybranych urządzeń VR i AR pod kątem oceny zagrożenia promieniowaniem optycznym

W trakcie eksperymentów nie stwierdzono występowania promieniowania nadfioletowego w przypadku żadnego z badanych urządzeń. Mierzone wartości były co prawda na zbyt

niskim poziomie, aby można było zidentyfikować niskim promieniowanie, jednak z całą pewnością nie zostały przekroczone wartości MDE.

Ze względu na wielkość kątową źródeł promieniowania (ponad 11 mrad) wyniki pomiarów dotyczących zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka należało porównywać z wartością luminancji energetycznej. Ten parametr można

wyliczyć na podstawie wyników pomiarów natężenia napromienienia skutecznego w wywołyaniu uszkodzeń fotochemicznych siatkówki oka (E_b) oraz wielkości kątowej źródła. Wartości luminancji energetycznej skutecznej w wywołyaniu uszkodzeń fotochemicznych siatkówki oka L_B są znacznie poniżej wartości MDE dotyczącej zagrożenia fotochemicznego oczu



Rys. 5. Wykres wartości luminancji energetycznej L_B wraz z zaznaczoną wartością graniczną MDE (skala logarytmiczna)
Fig. 5. Plot of L_B energy luminance values with the MDE cutoff value marked (logarithmic scale)

Tabela 2. Wartości bodźca cyrkadialnego CS dotyczące badanych urządzeń podczas wyświetlania różnych obrazów
Table 2. Circadian CS stimulus values for the tested devices at different image displays

Urządzenie \ Wyświetlany obraz	HoloLens	Epson BT 35E	Vuzix Blade	Semi-Cave	HTC VIVE	Oculus Rift
Obraz biały (255/255/255)	0,12	0,14	0,31	0,16	0,18	0,16
Obraz niebieski (0/0/255)	0,14	0,14	0,28	0,19	0,21	0,18
Obraz cyjanowy (0/255/255)	0,14	0,15	0,26	0,16	0,19	0,17
Obraz zielono-niebieski (0/74/255)	0,13	0,14	0,19	0,19	0,21	0,18
Szachownica czarno-biała (0/0/0)-(255/255/255)	0,06	0,08	0,08	0,09	0,10	0,09
Szachownica cyjanowo-biała (0/255/255)-(255/255/255)	0,13	0,14	0,21	0,16	0,19	0,17
Menu	0,02	0,003	0,03	0,17	0,03	0,003
Zielony(0/255/0)	0,08	0,07	0,10	0,08	0,11	0,09

światłem niebieskim w całkowitym czasie ekspozycji w ciągu zmiany roboczej przekraczającej 10 000 s, tj. poniżej 100 W/(m²·sr) – graficznie zaprezentowano to na rys. 5. Dla krótszego czasu całkowitej ekspozycji MDE przyjmują wyższe wartości, a więc są mniej restrykcyjne.

Podczas wyświetlania obrazu białego na ogół występują najwyższe wartości L_b (wyjątkiem było urządzenie Oculus Rift – w tym przypadku najwyższe wartości L_b zarejestrowano podczas wyświetlania obrazu cyjanowego). Na drugim miejscu pod względem wartości L_b były obrazy: szachownicy cyjanowo-białej (cztery urządzenia), cyjanowy (jedno urządzenie) i niebieski (jedno urządzenie). We wszystkich badanych przypadkach wartości wyznaczone z pomiarów były wielokrotnie mniejsze od wartości MDE, co świadczy o braku zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka promieniowaniem optycznym emitowanym przez te urządzenia. Niemniej jednak można stwierdzić, że najbezpieczniejsze pod względem wywołania potencjalnych zagrożeń dla siatkówki oka są okulary HoloLens.

Jako miarę potencjalnego zagrożenia promieniowaniem pochodzącym z urządzeń wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości wybrano miarę bodźca cyrkadialnego – CS (ang. *circadian stimulus*). Największe wartości CS podczas wyświetlania obrazu białego, niebieskiego i cyjanowego oraz szachownicy cyjanowo-białej uzyskano w odniesieniu do urządzenia Vuzix Blade. W przypadku obrazu zielono-niebieskiego i zielonego oraz szachownicy czarno-białej maksimum osiągnięto dla urządzenia HTC Vive, a w przypadku wyświetlania menu – dla urządzenia Semi-Cave.

Przyjmuje się, że wartości $CS \geq 0,3$ mogą występować bez konsekwencji w postaci zaburzeń cyklu okołodobowego, ale tylko w godzinach przedpołudniowych (okulary Vuzix Blade podczas wyświetlania obrazu białego, niebieskiego lub cyjanowego osiągają wartości CS zbliżone do 0,3). Zgodnie z zaleceniami wartości $CS \geq 0,15$ nie powinny występować w godzinach wieczornych i nocnych (po godzinie 18.00) – inaczej może dojść do hamowania wydzielania melatoniny, a w efekcie do zaburzenia snu i cyklu okołodobowego. W tab. 2. na niebiesko zaznaczono te kombinacje urządzeń i wyświetlanych obrazów, które nie powinny być stosowane po godzinie 18.00, ale można je stosować w godzinach przedpołudniowych, natomiast na żółto zaznaczono przypadki, gdy badane urządzenia mogą być używane bez względu na porę – bez konsekwencji dla cyklu okołodobowego i bez wpływu na poprawę czujności w godzinach porannych.

Podsumowanie

W przypadku urządzeń przebadanych na potrzeby projektu nie stwierdzono występowania takich zagrożeń, jak:

- zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka promieniowaniem z zakresu 340-700 nm; wyznaczone dozwolone czasy ekspozycji wskazują

na brak ograniczeń dotyczących pory stosowania tych urządzeń w ciągu doby

- zagrożenie fotochemiczne promieniowaniem nadfioletowym w zakresie 200-400 nm; żadne z badanych urządzeń nie emitowało promieniowania nadfioletowego, wykrywalnego dla przyrządu pomiarowego
- termiczne i fotochemiczne zagrożenie siatkówki oka promieniowaniem laserowym z zakresu 400-780 nm.

Dodatkowo należy zaznaczyć, że badane urządzenia są bardzo zróżnicowane pod względem sposobu wyświetlania, widma promieniowania oraz wielkości kątowej wyświetlanego obrazu, a te cechy decydują o mierzonych parametrach oceny zagrożenia promieniowaniem optycznym.

Należy jednak podejrzewać, że niektóre z urządzeń mogą mieć negatywny wpływ na cykl okołodobowy człowieka i tym samym na jego samopoczucie oraz zdrowie. Badania potwierdziły, że każdy z ekranów emituje promieniowanie w inny sposób (a więc do oczu dociera promieniowanie o różnych parametrach). Te różnice bezpośrednio wpływają na mierzone parametry cyrkadialne – w efekcie każde urządzenie może się okazać niezalecane do używania w określonej porze dnia. Istnieje potencjalne ryzyko zaburzeń rytmu okołodobowego w przypadku stosowania niektórych z badanych urządzeń w godzinach wieczornych i nocnych.

Biorąc pod uwagę ograniczoną liczbę przebadanych urządzeń VR i AR oraz rozwijającą się nieprzerwanie technologię wyświetlania obrazów, uzasadnione jest prowadzenie dalszych badań w zakresie oceny zagrożenia promieniowaniem optycznym. Można przypuszczać, że te urządzenia nie uszkadzają siatkówki oka (inaczej zostałyby w trybie natychmiastowym wycofane z rynku), lecz gdy są stosowane w dowolnej porze dnia lub nocy, bez uwzględnienia miar cyrkadialnych, wtedy ich promieniowanie optyczne może zakłócać rytm okołodobowy człowieka.

BIBLIOGRAFIA

- [1] KALAWSKY, R.S. The science of virtual reality and virtual environments: a technical, scientific and engineering reference on virtual environments. Wokingham, England: Addison-Wesley, 1993.
- [2] RHEINGOLD, H. Virtual reality. New York: Simon & Schuster, 1992.
- [3] ONEYESOLU, M.O., EZE, U.F. Understanding Virtual Reality Technology: Advances and Applications. Advances in Computer Science and Engineering. 22.03.2011: 53-71, doi: 10.5772/15529.
- [4] BRYSON, S., LEVIT, C. The virtual wind tunnel. IEEE Computer Graphics and Applications. 1992, 12(4): 25-34.
- [5] CRUZ-NEIRA, C., SANDIN, D.J., DeFANTI, T. Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE. In: Proceedings of the 20th Annual Conference on

Computer Graphics and Interactive Techniques. 1993, pp. 135-142.

[6] KUMAR, V.B. Head-Up Display (HUD). Computer Science, International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2017, 5(3): 1222-1225, doi: 10.22214/ijraset.2017.3225.

[7] FLAVIAN, C. The impact of virtual, augmented and mixed reality technologies on the customer experience. Journal of Business Research. 2019, 100: 547-560.

[8] CEARLEY, D., et al. Top 10 Strategic Technology Trends for 2018 [online]. <https://www.gartner.com/en/doc/3811368-top-10-strategic-technology-trends-for-2018> [viewed 18.05.2020].

[9] CARMIGNIANI, J., et al. Augmented reality technologies, systems and applications. Multimedia Tools and Applications. 2011, 51: 341-377.

[10] CHATTHA, A. UMER, et al. Motion Sickness in Virtual Reality: An Empirical Evaluation. IEEE Explore 130486-130499. 3.07.2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3007076.

[11] GORINI, A, RIVA, G., Virtual reality in anxiety disorders: the past and the future. Expert Review of Neurotherapeutics. 2008, 8(2): 215-233, doi: 10.1586/14737175.8.2.215.

[12] CIPRESSO, P., et al. The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature. Frontiers in Psychology. 6.11.2018, doi: 10.3389/fpsyg.2018.02086.

[13] https://www.tdk.com/en/featured_stories/entry_022.html?utm_source=twitter_eu&utm_medium=ad_022_pc&utm_campaign=featured_stories [viewed: 17.11.2020].

[14] Dyrektywa 2006/25/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (sztucznym promieniowaniem optycznym) (dziewiętnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG) (Dz. Urz. UE L 114 z 27 kwietnia 2006 r., s. 38).

[15] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne (t.j. Dz.U. z 2013 r., poz. 1619).

[16] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. poz. 1286 z późn. zm.).

Publikacja opracowana na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2021-2022 w zakresie zadań służb państwowych ze środków ministra właściwego ds. pracy.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.