

ELŻBIETA JANOSIK, STANISŁAW MARZEC

Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego, Zakład Szkodliwości Fizycznych, Fizjologii Pracy i Ergonomii, 41-200 Sosnowiec, ul. Kościelna 13
e-mail: e.janosik@imp.sosnowiec.pl, e-mail: s.marzec@imp.sosnowiec.pl

WŁAŚCIWOŚCI ŚWIATŁA NIEBIESKIEGO

Światło niebieskie stanowi składową widma promieniowania słonecznego oraz widm wielu źródeł sztucznych. Oprócz generowania wrażeń wzrokowych, ma zdolność oddziaływania na organizm człowieka jeszcze w innym charakterze. Doniesienia naukowe stwierdzają możliwość wpływu światła niebieskiego m.in. na przebieg rytmu biologicznego, na samopoczucie osób starszych, na proces leczenia zmian skórnych. Jednak najlepiej rozpoznany aspekt oddziaływania światła niebieskiego na człowieka jest jego zdolność do wywoływania uszkodzeń siatkówki oka. W środowisku pracy, domowym i komunalnym stosuje się liczne źródła technologiczne czy źródła oświetleniowe nowej generacji, które w swoim widmie zawierają światło niebieskie, dlatego światło to można uznać za powszechnie występujący czynnik, mogący zagrażać zdrowiu człowieka. W artykule przytoczono wyniki przeglądu literatury oraz informacji w mediach o oddziaływaniu światła niebieskiego na człowieka, celem przybliżenia tego tematu szerszej grupie społeczeństwa.

Słowa kluczowe: światło niebieskie, czujność, melatonina, sen, regeneracja skóry, uszkodzenie siatkówki, olśnienie

I. WSTĘP

Oddziaływanie promieniowania widzialnego (światła) na człowieka kojarzone jest przede wszystkim w kontekście jego udziału w procesie widzenia, jednak jego wpływ na organizm ludzki jest o wiele szerszy, czego źródłem jest trwający od zarania ludzkości regulacyjny wpływ światła słonecznego, w tym promieniowania widzialnego, na funkcje fizjologiczne człowieka. Udział promieniowania widzialnego w stymulacji i regulacji szeregu procesów fizjologicznych w organizmie człowieka odbywa się m.in. na drodze hormonalnej. Szczególnie szyszynka wykazuje znaczną wrażliwość na bodźce świetlne. Klasyczna droga wywołującego wrażenie wzrokowe bodźca świetlnego to: oko → siatkówka → nerw wzrokowy → skrzyżowanie wzrokowe → pasmo wzrokowe → ciało kolankowate boczne (część wzgórza) → promienistość wzrokowa → kora wzrokowa płata potylicznego. Część aksonów opuszcza skrzyżowanie wzrokowe, biegnąc do jąder nadskrzyżowania (SCN – suprachiasmatic nucleus of the hypothalamus) w podwzgórzu, gdzie tworzy połączenia z szyszynką [Ganong 1994]. Niewizualna informacja z SCN dociera do szyszynki, która z kolei wydziela hormony – serotoninę i melatoninę. Noc (ciemność) powoduje wzrost wydzielania neuroprzekaźnika – melatoniny, podczas gdy światło hamuje jej sekrecję, uruchamiając produkcję i wydzielanie

serotoniny - drugiego neuroprzekaźnika, odpowiedzialnego za uspokojenie i poprawę nastroju. Równowaga między cyklami wydzielania melatoniny i serotoniny jest niezbędna dla utrzymania równowagi snu i czuwania oraz dla podtrzymania prawidłowości działania tzw. zegara biologicznego/cyklu okołodobowego czyli 24-godzinne go cyklu aktywności i spoczynku [Michalik i Ramotowski 1994].

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie podzakresem światła widzialnego jakim jest światło niebieskie czyli promieniowanie widzialne o długościach fal 400-500 nm. Liczne doniesienia naukowe stwierdzają możliwość dobroczynnego oddziaływania światła niebieskiego na człowieka, m.in. wpływu na przebieg cyklu okołodobowego, na samopoczucie osób cierpiących na SAD (sezonowe zaburzenia afektywne, ang. seasonal affective disorder), na poprawę jakości snu u osób starszych. Jednak najlepiej rozpoznany aspekt oddziaływania światła niebieskiego na człowieka, niestety niekorzystnym, jest jego zdolność do wywoływania uszkodzeń siatkówki oka. Ponieważ w środowisku pracy, domowym i komunalnym stosuje się liczne źródła technologiczne, medyczne czy źródła oświetleniowe nowej generacji, które zawierają w swoim widmie znaczną komponentę światła niebieskiego, światło to można uznać za powszechnie występujący czynnik mogący zagrażać zdrowiu człowieka, czego on często nie jest świadomy.

Wobec powyższego, za cel pracy przyjęto przegląd ogólnie dostępnej wiedzy w literaturze przedmiotu, a nawet mediach, na temat mechanizmów i skutków oddziaływania światła niebieskiego na człowieka, mając na uwadze konieczność informowania społeczeństwa o możliwości niekorzystnego oddziaływania światła niebieskiego na zdrowie człowieka.

II. MOŻLIWE POZYTYWNE ODDZIAŁYWANIE ŚWIATŁA NIEBIESKIEGO NA CZŁOWIEKA

Coraz częściej można spotkać reklamy, które zachęcają do korzystania z dobrodziejstw oddziaływania na człowieka światła niebieskiego. Przykładem może być reklama jednego z producentów lamp solaryjnych, zachęcająca do „zanurzenia się w nowym (niebieskim) świetle” [Blue Wonder ...].

Producent przypomina, że barwa niebieska to kolor nieba i wody, symbol harmonii, zaufania, sympatii i zadowolenia oraz stwierdza, że technologia niebieskiego światła oferuje nowe możliwości i nową jakość w dziedzinie naświetlania. Wymienia, że niebieskie światło emitowane przez produkowaną lampę m.in.:

- działa pobudzająco, podnosi witalność, zdolność koncentracji i wydolność organizmu,
- przeciwdziała nastrojom depresyjnym (szczególnie sezonowym),
- pomaga w uzyskaniu lepszego samopoczucia i w odprężeniu, pozwala na głębszy sen,
- zapobiega stanom zapalnym, leczy atopowe zapalenie skóry i łuszczycę,
- zwalcza trądzik, regeneruje zniszczoną skórę, poprawia wygląd skóry.

Jak deklaruje producent, pozytywna energia niebieskiego światła dostępna jest w trzech wariantach: niemal bez promieni ultrafioletowych, z bardzo znikomą ich zawartością lub ze zwiększoną ich porcją. Dopiero ta informacja wyjaśnia, że oferowane lampy są lampami solaryjnymi czyli do opalania, ale z dodatkowym, szerokim spektrum innych oddziaływań na organizm człowieka. Zawarty w ofercie ww lamp opis poszczególnych, dobroczynnych właściwości światła niebieskiego, znajduje potwierdzenie w doniesieniach naukowych, jednak skuteczność stosowania przedstawianych lamp w uzyskiwaniu oczekiwanych efektów należałoby potwierdzić, określając sposób i czas ekspozycji potrzebny dla osiągnięcia danego efektu oraz podając informacje o zabezpieczeniach przed nadmierną ekspozycją UV na skórę i oczy oraz nadmierną ekspozycją światła niebieskiego na oczy pacjenta/klienta.

Wg Behard-Cohen i in. [2011] oraz Sasseville i Hebert [2010], możliwy jest wpływ fal krótkich w widmie oświetleniowych źródeł LED na przebieg cyklu okołodobowego u człowieka, ponieważ fale 450-480 nm wykazują maksimum skuteczności w hamowaniu produkcji melatoniny. Także West i in. [2011] oraz Brainard i in. [2001] potwierdzają to maksimum skuteczności, przy czym należy pamiętać, że jeszcze do niedawna mechanizm „pozawzrokowego oddziaływania światła na organizm człowieka”, od którego zależy samopoczucie, zdrowie, przedstawiany był w ogólny sposób, opisany we wstępie artykułu. Dopiero odkrycie w 2001 r. nowego receptora w ludzkim oku – ipRGC (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells - samoistnie światłoczuła komórka zwojowa siatkówki) zmieniło podejście do tematu hamowania wydzielania melatoniny i jego wpływu na rytm biologiczny. Ten nowo odkryty „system” tworzy mała populacja komórek zwojowych siatkówki oka (do kilkunastu procent ogółu komórek zwojowych), posiadające liczne wypustki dendrytyczne oraz ich połączenia neuronalne z jądrami skrzyżowania, a także ich bezpośrednie i pośrednie połączenia neuronalne z okolicami mózgu związanymi z regulacją poziomu pobudzenia. Pigmentem odbierającym i przekazującym informację świetlną jest wydzielana przez komórki zwojowe melanopsyna (występująca głównie w błonie komórkowej dendrytów w/w komórek zwojowych), która jest najbardziej wrażliwa na fale widma świetlnego o długości około 480 nm [Brainard i in. 2001, Zawilska i Czarniecka 2006]. Aksony ipRGC docierają do struktur mózgowych, odpowiedzialnych za wytwarzanie i regulację rytmów okołodobowych [Zawilska i Czarniecka 2006].

Hamowanie wydzielania melatoniny czyli spadek jej stężenia w organizmie pobudza człowieka do działania, uzyskiwany jest tzw. efekt „świtu”, człowiek odbiera sygnał do rozpoczęcia aktywności życiowej [Zawilska i Nowak 2002, Wichniak i Jernajczyk 2009]. Według Surrey Sleep Research Centre [Viola i in. 2008], gdzie badano samopoczucie 104 pracowników biurowych przy oświetleniu ich miejsc pracy za pomocą: a) światła białego ($T_b=4000$ K), a następnie: b) światła białego wzbogaconego niebieskim ($T_b=17000$ K), przy oświetleniu z większą zawartością światła niebieskiego (warian b) ludzie deklarowali większą czujność, koncentrację i wydajność pracy, mniejszą senność.

Beaven i Ekström [2013] porównali działanie niebieskiego światła z działaniem kofeiny. W obu przypadkach osoby biorące udział w badaniach odczuwały pobudzenie, ale osoby poddane ekspozycji na niebieskie światło wypadły lepiej w testach mierzących poziom koncentracji. Zarówno kofeina jak i światło niebieskie pobudzały organizm, ale kofeina nie usprawniała funkcjonowania mózgu, ponieważ utrudniała skupienie się. Autorzy wykazali, że światło niebieskie ma pozytywny wpływ na wykonywanie zadań wymagających koncentracji i sprawności umysłowej.

Kolejnym pozytywnym efektem oddziaływania światła niebieskiego na człowieka, jaki stwierdzono jest korzystny wpływ światła niebieskiego diod ledowych na samopoczucie osób cierpiących na SAD (depresję sezonową) oraz na poprawę jakości snu u osób starszych. Podczas leczenia SAD Glickman i in. [1991] wykazali większą skuteczność emitowanego przez diody LED światła niebieskiego o długości fali 468 nm w porównaniu ze skutecznością światła czerwonego. Według Anderson i in. [2009], podczas leczenia depresji sezonowej światłem, poza natężeniem światła ważnym parametrem jest długość fali, przy czym stosowanie fal krótszych pozwala na wyraźne ograniczanie natężenia światła bez zmniejszenia skuteczności jego działania.

Z kolei Puternicki [2008] stwierdza, że efektywnym sposobem poprawiającym jakość snu u starszych osób z objawami demencji/chorobą Alzheimera, w stosunku do oświetlenia białym światłem, jest poddanie ich terapii przy użyciu niebieskiego światła przy poziomie natężenia oświetlenia ~30 lx na płaszczyźnie rogówki oka. Naświetlenie światłem w godzinach

wieczornych oraz zapewnienie ciemności w ciągu nocy powoduje poprawę snu, wpływając na poprawę samopoczucia w ciągu dnia.

Optymistycznie brzmią doniesienia Koreańskiego Instytutu Zaawansowanych Nauk i Technologii (KAIST) o możliwości zastosowania światła niebieskiego LED do leczenia choroby Alzheimera [Niebieskie światło ...]. Przewidują one, że możliwe będzie zapobieganie gromadzeniu się w mózgu białka związanego z chorobą Alzheimera, przy zastosowaniu fotosensybilizatorów i niebieskiego światła diody LED. Dotychczas fotosensybilizatory organiczne stosowane były w leczeniu chorób nowotworowych (pacjentowi w miejsce chorobowo zmienione podaje się substancję fotouczulającą, następnie zostaje ono wystawione na działanie światła). Naukowcy z KAIST odkryli, że niebieskie światło i fotosensybilizatory zatrzymują powstawanie złogów amyloidowych, z powodu których pojawiają się objawy demencji.

Obecnie światło niebieskie znalazło także zastosowanie w terapii chorób skóry, ponieważ ma ono pewne właściwości bakteriobójcze. Niebieskie światło (415 nm) okazało się skuteczne w leczeniu zmian trądzikowych. Stwierdzono także działanie przeciwgrzybicze diod LED (380 nm) w stosunku do drożdżaków z gatunków *Malassezia* oraz działanie przeciwbakteryjne (405 nm). Terapia światłem niebieskim LED jest metodą bezpieczną, a do chwili obecnej nie ma w piśmiennictwie doniesień o efektach ubocznych związanych z jej stosowaniem [Batory i in. 2015]. Papageorgiou i in. [2000] wykonali badania, wykorzystujące fototerapię za pomocą światła niebieskiego w leczeniu trądziku łagodnego i umiarkowanego. Zarówno badacze, jak i pacjenci są zgodni, że w porównaniu z innymi rodzajami terapii, leczenie światłem niebieskim daje wyższy udział przypadków, w których doszło do znacznej poprawy lub całkowitego wyleczenia. Jeszcze lepsze rezultaty osiąga się przy zastosowaniu fototerapii kombinowanej, podczas której oprócz światła niebieskiego wykorzystywane jest światło czerwone (660 nm), które wykazuje działanie przeciwwzapalne [Pei i in. 2015].

Duże nadzieje wiąże się z badaniami Rosengarda [Bathing in blue light ...], który chce stosować światło niebieskie u pacjentów przed operacjami narządowymi. Podczas operacji niektóre tkanki są niedotlenione z powodu ograniczonego lub zablokowanego na pewien czas dopływu krwi. Przywrócenie ukrwienia tkanek powoduje, że znajdujące się w nich komórki są nadaktywne, co z kolei wywołuje atak komórek odpornościowych, takich jak neutrofile. Z badań na myszach wynika, że światło niebieskie poprzez siatkówkę oka działa na układ współczulny, a za jego pośrednictwem na układ odpornościowy, hamując jego nadmierną reakcję w razie powstania niedokrwienia w narządach. Przygotowywane są kolejne badania, w których ww. zespół naukowy chce wyjaśnić, czy gogle ze światłem niebieskim mogą pomóc pacjentom zakażonym sepsą, u których także dochodzi do nadmiernej reakcji układu immunologicznego wywołanej rozsiewem bakterii w układzie krwionośnym. Światło niebieskie może ją wyciszyć, zwiększając szanse przeżycia chorego [Niebieskie światło ...].

III. MOŻLIWE NEGATYWNE ODDZIAŁYWANIE ŚWIATŁA NIEBIESKIEGO NA CZŁOWIEKA

Negatywne oddziaływanie światła niebieskiego udokumentowane jest przede wszystkim w aspekcie zagrożeń dla oczu człowieka. Zgodnie z zapisem w Dyrektywie 2006/25/WE Parlamentu Europejskiego i Rady [Dz. Urz. UE L 114/38 2006], przez zagrożenie „światłem niebieskim” rozumie się zagrożenie promieniowaniem z zakresu 300-700 nm, obejmującym część promieniowania nadfioletowego i większość promieniowania widzialnego. Promieniowanie to jest przepuszczane przez rogówkę i soczewkę oczną, dociera do dna oka, gdzie zostaje pochłonięte, głównie przez cząsteczki pigmentu –

melaniny - w warstwie barwnikowej siatkówki oraz przez melanocyty w naczyniówce i hemoglobinę w naczyniach krwionośnych. W zależności od długości fali, pochłonięte promieniowanie może ogrzać tkankę lub zainicjować reakcje fotochemiczne, a to z kolei skutkować uszkodzeniem siatkówki. Światło niebieskie może wywoływać w oku zarówno reakcje termiczne jak i fotochemiczne, w zależności od czasu jego działania na siatkówkę i długości fali. Uszkodzenia termiczne przeważają dla ekspozycji krótszych niż 10 s lub dla fal dłuższych niż 700 nm, natomiast gdy jednorazowa ekspozycja na fale krótsze niż 700 nm przekracza 10 s, wówczas przeważają uszkodzenia o charakterze fotochemicznym [Sliney 1983, Sliney i Freasier 1973]. Powstałe uszkodzenia są zazwyczaj trwałe, niekiedy jednak może nastąpić regeneracja uszkodzonych tkanek w bardzo ograniczonym zakresie. Skutki ekspozycji na światło niebieskie zależą od rodzaju długości fali promieniowania, narażonej tkanki, natężenia napromienienia tkanki, czasu ekspozycji. W celu określenia narażenia siatkówki należy znać też: rozmiar obrazu (naświetlonego obszaru siatkówki), wielkość źrenicy, widmo pochłaniania i rozpraszania promieniowania przez elementy optyczne gałki ocznej, widmo odbicia światła od dna oka oraz pochłanianie i rozpraszanie promieniowania w rozmaitych warstwach siatkówki. Średnica źrenicy oka reguluje ilość energii promienistej dochodzącej do siatkówki. W prawidłowym oku przystosowanym do ciemności średnica źrenicy wynosi około 7-8 mm; pod wpływem światła źrenica ulega zwężeniu do około 1,6-2,0 mm. Stosunek powierzchni źrenicy o średnicy 2 mm i 8 mm wynosi 1:16, stąd więc źrenica o średnicy 2 mm przepuszcza 1/16 światła przepuszczanego przez źrenicę o średnicy 8 mm. Źródło światła określonej wielkości i luminancji wpływa więc na zmianę wielkości źrenicy, zależnie od odległości patrzenia i od luminancji otoczenia źródła. Ponadto zagrożenie oka światłem niebieskim zależy od zdolności absorpcyjnych poszczególnych warstw gałki ocznej i ich własności termicznych. Badania wykazały, że parametry termiczne tkanek oka są zbliżone do parametrów termicznych wody, natomiast własności optyczne są zróżnicowane [Sliney i Freasier 1973], np. rogówka praktycznie całkowicie przepuszcza światło, natomiast przepuszczalność światła niebieskiego przez soczewkę zależy od jej wieku i w miarę starzenia się ulega znacznemu pogorszeniu. Warstwą siatkówki najbardziej pochłaniającą promieniowanie jest nabłonek barwnikowy, który pochłania około 60-70% światła niebieskiego. Dodatkowo rogówka i soczewka silnie skupiają promieniowanie na dnie oka, zwiększając jego natężenie kilkaset razy w stosunku do natężenia napromienienia na powierzchni rogówki. Możliwość termicznego uszkodzenia siatkówki wynika z faktu, że energia pochłoniętego promieniowania zwiększa temperaturę tkanki bezpośrednio pochłaniającej promieniowanie a następnie, w wyniku przewodnictwa, również temperaturę tkanek sąsiednich. Gdy temperatura tkanki przekroczy 48°C, może nastąpić jej uszkodzenie termiczne. Bezpośredniego uszkodzenia podczerwienią fotorceptorów siatkówki nie spotyka się, ponieważ pochłaniają one nie więcej niż 5% promieniowania docierającego do dna oka, może natomiast dojść do uszkodzenia pośredniego, przez ogrzaną do wysokiej temperatury warstwę barwnikową. Jednak z doniesień literaturowych wynika mała możliwość uszkodzenia siatkówki na drodze termicznej promieniowaniem źródeł nielaserowych, uszkodzenia takie mogą natomiast zostać spowodowane działaniem fotochemicznym światła niebieskiego [Sliney 1983].

Uważa się, że narażenie w ciągu całego życia na światło niebieskie przyspiesza objawy starzenia się siatkówki. Opinia taka wynika z dużego podobieństwa zmian histologicznych i strukturalnych w siatkówkach oczu starczych i zmian w siatkówkach narażonych na silne światło, obejmujących uszkodzenie receptorów zewnętrznych, depigmentację nabłonka barwnikowego siatkówki i zmniejszenie ogólnej liczby receptorów. Istnieje nawet hipoteza, że zachodzące z upływem lat żółknięcie soczewki w oku jest naturalnym procesem, który ma ochronić oko/siatkówkę przed degeneracją [Niebieskie światło, bursztynowe gogle ...].

Pierwsze oficjalne wartości dopuszczalnego narażenia oczu na nielaserowe światło niebieskie zostały określone przez ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) w 1970 roku (zaakceptowane w 1992 r.) [Sliney i Bitran 1998]. Według ACGIH rozróżnia się dwa rodzaje zagrożenia oka światłem niebieskim: fotochemiczne i termiczne. Zagrożenie fotochemiczne powoduje promieniowanie z zakresu 305-700 nm, natomiast zagrożenie termiczne - promieniowanie z zakresu 385-1 400 nm. Ustalono, że źródło światła o luminancji mniejszej niż 1 cd/m^2 nie przekroczy wartości dozwolonej. Dla źródeł o większej luminancji, określono wartości dopuszczalne skutecznych luminancji energetycznych. Widmową skuteczność uszkodzenia fotochemicznego siatkówki określa tzw. krzywa B_{λ} , natomiast uszkodzenia termicznego – krzywa R_{λ} . W 1997 roku ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) opublikowała normy dla promieniowania widzialnego i podczerwonego [Hietanen 1998]. Zasady ochrony siatkówki przed światłem niebieskim wg ICNIRP są bardzo podobne do zasad ACGIH. Większość krajów europejskich dokonuje oceny zagrożenia oczu promieniowaniem widzialnym zgodnie z zasadami ACGIH lub ICNIRP. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego [Dz. Urz. UE L 114/38 2006] i przepisy obowiązujące w Polsce [Rozporządzenie 2010] przyjmują zasady oceny zagrożenia oczu światłem niebieskim zgodne z kryteriami ICNIRP.

Powstało określenie BLH (blue light hazard) definiowane, jako możliwość uszkodzenia siatkówki światłem niebieskim [Optical safety of LED Lighting 2011]. Istnieją doniesienia, że światło niebieskie może przyczyniać się do rozwoju AMD (age-related macular degeneration) – zwyrodnienia plamki żółtej. Wg ANSES (French Agency for Food, Environmental and Occupational Health and Safety [Report of ANSES 2010] szczególnie narażone są dzieci, osoby odznaczające się fotowrażliwością oraz pracownicy długotrwale narażeni zawodowo na intensywne oświetlenie. Ocenę potencjalnych zagrożeń fotobiologicznych, jakie mogą stwarzać np. źródła oświetleniowe LED ich producent powinien przeprowadzać wg normy EN 62471 (PN-EN 62471 [PN-EN 62471:2010]). Większość doniesień literaturowych, a nawet oficjalne stanowisko CELMA (European Lamp Companies Federation) [Optical safety of LED Lighting 2011] kwalifikuje LED światła białego do grupy nie stwarzającej zagrożeń dla oka (jeśli są stosowane prawidłowo), wyjątkiem są niektóre LED barwy chłodno-białej, u których zagrożenie światłem niebieskim może być zaliczane do grupy o umiarkowanym ryzyku. Stwierdzono [Narendran i in. 2004], że w miarę eksploatacji źródeł ledowych dochodzi do degradacji ich luminoforów, przy czym stopień degradacji zależy od ilości wytwarzanego ciepła oraz zawartości fal krótkich w promieniowaniu światła pobudzającego luminofor. Zatem istnieje możliwość zmiany stopnia narażenia użytkowników źródeł LED na światło niebieskie po pewnym czasie eksploatacji (przejście do grupy o wyższym ryzyku).

Źródłem światła niebieskiego są nie tylko źródła oświetleniowe LED. Światło niebieskie jest składową promieniowania słonecznego docierającego do Ziemi. Promieniowanie takie występuje także podczas procesów technologicznych jak np. spawanie oraz jest emitowane przez promienniki elektryczne, np. lampy do naświetlania warstw światłoczułych, monitory LED, podświetlacze LED i CCFL [Światło niebieskie i życie człowieka...]. Rozpowszechnienie omawianego spektrum fali świetlnej jest zatem niezwykle szerokie. W przypadku każdego z wymienionych wcześniej źródeł można mówić o ryzyku wiążącym się z emitowaniem szkodliwego dla wzroku niebieskiego światła [Szkodliwe światło niebieskie i jego znaczenie ...], które może przyczyniać się do:

a) co najmniej przyspieszenia procesu starzenia się siatkówki oka,

- b) rozwoju choroby AMD (wśród czynników wpływających na rozwój AMD wymienia się przy tym nie tylko wiek i uwarunkowania genetyczne, ale i nadmierną ekspozycję na światło niebieskie),
- c) nagłych, trwałych uszkodzeń siatkówki, wywołanych ekspozycją na intensywne światło niebieskie na stanowiskach pracy.

Nawet liczne artykuły prasowe przestrzegają, że jeśli kontakt ze światłem niebieskim jest długi (a np. w chwili obecnej blisko osiemdziesiąt pięć procent przedstawicieli naszego społeczeństwa korzysta codziennie z przynajmniej jednego urządzenia wyposażonego w ekran LED), oczy sprawiają wrażenie zmęczonych, pojawia się nieprzyjemne pieczenie oczu, ból głowy, depresja [Bedrosian i in. 2011], bezsenność. Pojawiająca się bezsenność ma związek z omówionym wcześniej wpływem światła niebieskiego na przebieg cyklu okołodobowego. Źródłem problemów ze snem może być światło niebieskie emitowane przez ekrany urządzeń, z których korzysta się wieczorem (komputery, tablety, smartfony, telewizja). Mózg interpretuje niebieskie światło emitowane przez urządzenie, za sygnał, że trwa dzień i należy pozostawać w trybie czujności. Ograniczona zostaje możliwość zaśnięcia i regenerującego snu [Wichniak i Jernajczyk 2009].

Najprostszym sposobem na uniknięcie szkodliwego działania niebieskiego światła jest unikanie korzystania z komputerów, tabletów, smartfonów na dwie czy trzy godziny przed pójściem spać, rezygnacja z telewizji i gier komputerowych. Pomocne mogą być też okulary (soczewki okularowe) z powłoką antyrefleksyjną „Blue Control”, która neutralizuje niebieskie światło, zapobiegając powstawaniu powyższych objawów [Co z tym niebieskim światłem? ...]. Grupa szwajcarskich badaczy sprawdzała wpływ blokujących niebieskie światło okularów na samopoczucie nastolatków w wieku od 15 do 17 lat, zalecając badanym nosić je wieczorami podczas siedzenia przed ledowymi monitorami komputerów. Okulary okazały się skuteczne, a nastolatki noszące okulary raportowały znacznie wyższą senność, niż nastolatki bez okularów. Osoby w okularach miały także wyższy poziom melatoniny [Van der Lely i in. 2015].

Według Gooley’a i in. [2011] w porównaniu ze światłem przyćmionym, ekspozycja na jasne światło pokojowe przed pójściem spać skraca czas, przez który działa melatonina o około 90 minut i hamuje produkcję melatoniny o ponad 50%. Wydzielana melatonina obniża ciśnienie krwi, poziom glukozy i temperaturę ciała – istotne czynniki odpowiedzialne za spokojny sen. Z kolei zahamowanie produkcji melatoniny ma z czasem wpływ na termoregulację, ciśnienie krwi, homeostazę glukozy, produkcję kortyzolu [Optical safety of LED Lighting 2011, Gooley i in. 2011, Skalba i in. 2006]. Oprócz niedoboru snu mogą pojawić się problemy z poziomem tkanki tłuszczowej, insulinoopornością i zapaleniem ogólnoustrojowym. Zakłócenia hormonalne i biochemiczne mogą być niebezpieczne w skutkach. 10-letnie badania prowadzone na grupie 1670 kobiet, które wystawiane były na światło o większym nasileniu w miejscu spania wykazały, że miały one o 22% większe prawdopodobieństwo rozwoju raka piersi, niż kobiety śpiące w całkowitej ciemności [Report of ANSES 2010]. Groźne następstwa mogą dotyczyć także pracowników zmianowych. Badania kliniczno-kontrolne wykazały, że kobiety (pielęgniarki) pracujące na nocnej zmianie są znacznie bardziej narażone na ryzyko zachorowania na nowotwór piersi, niż koleżanki wykonujące stałą pracę dzienną [Schernhammer i in. 2001].

Odnosząc opis właściwości światła niebieskiego do tematyki zanieczyszczenia światłem, należy wspomnieć, że stosowane coraz powszechniej we wnętrzach i w środowisku zewnętrznym ledowe źródła oświetleniowe, zawierające w swoim widmie znaczącą ilość światła niebieskiego, mogą być bardziej skuteczne w wywoływaniu, wspomnianych wcześniej, negatywnych skutków m.in. zdrowotnych u człowieka, niż źródła oświetleniowe żarowe czy

fluorescencyjne. Znaczna zawartość podzakresu fal krótkich w widmie promieniowania źródeł LED może mieć też znaczenie w mezopowych warunkach widzenia (czyli przy niskich poziomach natężenia oświetlenia). W warunkach takich oczy są wrażliwsze na krótsze długości fal, dlatego światło LED – przede wszystkim emitujących światło o barwie chłodno-białej może stanowić źródło ośnienia dla oczu. Ten aspekt światła emitowanego przez diody LED badano w kontekście pracy górników dołowych, wykonujących swą pracę w warunkach mezopowych [Sammarco i in. 2010].

IV. WNIOSKI

1. Światło niebieskie, przy nadmiernych ekspozycjach, może wywoływać u człowieka negatywne skutki zdrowotne, do których zalicza się przede wszystkim uszkodzenia siatkówki i zaburzenia procesów funkcjonowania organizmu, wynikające z hamowania wydzielania melatoniny.
2. Światło niebieskie działa też korzystnie na człowieka, zwiększa jego witalność i zdolność koncentracji, przeciwdziała nastrojom depresyjnym. Ponadto może być stosowane do leczenia stanów zapalnych i chorobowych skóry.
3. Należy korzystać z pozytywnych efektów działania światła niebieskiego, ale jednocześnie unikać nadmiernych ekspozycji na to promieniowanie, aby zapobiegać jego szkodliwemu działaniu.

BIBLIOGRAFIA

1. Anderson J.L., Glod C.A., Dai J. 2009. Lux vs. wavelength in light treatment of Seasonal Affective Disorder. *Acta Psychiatr. Scand.* 120. 203-212.
2. Bathing in blue light before surgery may prevent organ damage. [dok. elektr.: <https://www.newscientist.com/article/2085779-bathing-in-blue-light-before-surgery-may-prevent-organ-damage/>. data wejścia 7.11.2016].
3. Batory M., Dana A., Ekiert-Polguj A., Augustyniak A.M., Rotsztejn H. 2015. Oddziaływanie światła LED na skórę – co nowego w badaniach z ostatnich lat? Część I: W chorobach skóry. *Przegl. Dermatol.* 102. 558-563.
4. Beaven M., Ekström J. 2013. A Comparison of Blue Light and Caffeine Effects on Cognitive Function and Alertness in Humans. [dok. elektr.: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0076707>. data wejścia 7.11.2016].
5. Bedrosian T.A., Fonken, L.K., Walton, J.C., Haim, A., Nelson, R.J. 2011. Dim light at night provokes depression-like behaviors and reduces CA1 dendritic spine density in female hamsters. *Psychoneuroendocrinology*. 36. 1062-1069.
6. Behard-Cohen F., Martinsons C., Viénot F., Zissis G., Barlier-Salsi A., Cesarini J.P., Enouf O., Garcia M., Picaud S., Attia D. 2011. Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risk for the eye? *Progress in Retinal and Eye Research*. 30. 239-257.
7. Blue Wonder – niebieskie światło [dok. elektr.: http://www.luxura.com.pl/news/16-blue_wonder_niebieskie_swiatlo. data wejścia 7.11.2016].
8. Brainard G.C., Hanifin J.P., Greeson J.M., Byrne B., Glickman G., Gerner E., Rollag M.D. 2001. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *The Journal of Neuroscience*. 21(16). 6405-12.
9. Co z tym niebieskim światłem? [dok. elektr.: <http://www.chip.pl/news/wydarzenia/nauka-i-technika/2015/05/komfort-widzenia-w-cyfrowym-swiecie>. data wejścia 7.11.2016].

10. 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). 2006. Dz. Urz. UE L 114/38.
11. Ganong W.F. 1994. Fizjologia. Podstawy fizjologii lekarskiej. Wyd. PZWL. Warszawa.
12. Glickman G., Byrne B., Pineda C. 1991. Light therapy for seasonal affective disorder with blue narrow-band-light-emitting diodes (LEDs). *Biol. Psychiatry*. 29. 117-126.
13. Gooley J.J., Chamberlain K., Smith K.A., Khalsa S.S., Rajaratnam, S.M.W., Van Reen E., Zeitzer J.Z., Czeisler Ch.A., Lockley S.W. 2011. Exposure to Room Light before Bedtime Suppresses Melatonin Onset and Shortens Melatonin Duration in Humans. *Clin Endocrinol Metab*. 96 (3). 463-472.
14. Hietanen M. 1998. ICNIRP Action spectra and Guidelines. [In:] *Measurements of Optical Radiation Hazards*, ICNIRP 6/98. 261-268.
15. Michalik A., Ramotowski W. 1994. Anatomia i fizjologia człowieka. Wyd. PZWL, Warszawa.
16. Narendran N., GuY., Freyssinier J.P., Yu H., Deng L. 2004. Solid state lighting failure analysis of white Leds. *Journal of Crystal Growth*. 268. 449-456.
17. Niebieskie światło, bursztynowe gogle [dok. elektr.: <http://www.polskieradio.pl/7/179/Artykul/922801,Niebieskie-swiatlo-bursztynowe-gogle>. data wejścia 7.11.2016].
18. Niebieskie światło lekiem na chorobę Alzheimera [dok. elektr.: <http://tylkomedycyna.pl/wiadomosc/niebieskie-swiatlo-lekiem-chorobe-alzheimera>. data wejścia 7.11.2016]
19. Optical safety of LED Lighting. 2011. EL/CELMA2011. [dok. elektr.: [http://www.lightingeurope.org/uploads/files/CELMA-ELC_LED_WG\(SM\)011_ELC_CELMA_position_paper_optical_safety_LED_lighting_Final_1st_Edition_July2011.pdf](http://www.lightingeurope.org/uploads/files/CELMA-ELC_LED_WG(SM)011_ELC_CELMA_position_paper_optical_safety_LED_lighting_Final_1st_Edition_July2011.pdf). data wejścia 7.11.2016].
20. Papageorgiou P., Katsambas A., Chu A. 2000. Phototherapy with blue (415 nm) and red (660 nm) light in the treatment of acne vulgaris. *British Journal of Dermatology*. 142. 973-978.
21. Pei S., Inamadar A.C., Adya K.A., Tsoukas M. 2015. Light-based therapies in acne treatment. *Indian Dermatol Online J*. 6(3). 145-157.
22. PN-EN 62471. 2010. Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych.
23. Puternicki A. 2008. Przegląd zagadnień z zakresu oświetlenia i demencji. *Prace Instytutu Elektrotechniki*. Warszawa. 234. 253-271.
24. Report of ANSES. 2010 Lighting systems using light-emitting diodes: health issues to be considered. [dok. elektr.: <https://www.anses.fr/.../lighting-systems-using-light-emitting-diodes-leds-health-issues-be-considered>. data wejścia 7.11.2016].
25. 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. Dz.U. 2010 nr 100 poz. 643.
26. Sammarco J.J., Gallagher S., Reyes M. 2010. Visual performance for trip hazard detection when using incandescent and LED miner cap lamps. *Journal of Safety Research*. 41. 85-91.
27. Sasseville A., Hebert M. 2010. Using blue-green light at night and blue-blockers during the day to improves adaptation to night work: a pilot study. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*. 34. 1236-1242.
28. Schernhammer E.S., Laden F., Speizer F.E., Willett W.C., Hunter D.J., Kawachi I., Colditz G.A. 2001. Rotating night shifts and risk of breast cancer in women participating in the nurses' health study. *J. Natl. Cancer. Inst*. 93(20). 1563-1568.

29. Skalba P., Szanecki W., Cieřlik K. 2006. Melatonina – stale odkrywany hormon. *Ginekologia Praktyczna*. 4. 22-25.
30. Sliney D.H. 1983. Standards for use of visible and nonvisible radiation on the eye. *Am. J. Optom. Phys. Optics*. 60 (4). 278-286.
31. Sliney D.H., Bitran M. 1998. The ACGIH Action Spectra for Hazard Assessment: The TLV's. [In:] *Measurements of Optical Radiation Hazards*. ICNIRP 6/98. 241-259.
32. Sliney D.H., Freasier B.C. 1973. Evaluation of optical radiation hazards. *Appl. Optics*. 12 (1). 1-24.
33. Szkodliwe światło niebieskie i jego znaczenie [dok. elektr.: <http://iscbreeding.pl/>. data wejřcia 7.11.2016].
34. Światło niebieskie i życie człowieka [dok. elektr.: <http://foropter.pl/2014/11/swiatlo-niebieskie-i-zycie-czlowieka>. data wejřcia 7.11.2016].
35. West K.E., Jablonski M.R., Warfield B., Cecil K.S., James M., Ayers M.A., Maida J., Bowen C., Sliney D.H., Rollag M.D., Hanifin J.P., Brainard G.C. 2011. Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. *J Appl Physiol*. 110(3). 619-626. doi: 10.1152/japplphysiol.01413.2009.
36. Wichniak A., Jernajczyk W. 2009. Bezsenność, jak się jej pozbyć krok po kroku. Poradnik dla pacjentów cierpiących na bezsenność [dok. elektr.: http://www.sen-institut.pl/PDF/CIR_poradnik_2_2009_1.pdf. data wejřcia 18.07.2017].
37. Van der Lely S., Frey S., Garbaza C., Wirz-Justice A., Jenni O.G., Steiner R., Wolf S., Cajochen Ch., Bromundt V., Schmidt Ch. 2015. Blue Blocker Glasses as a Countermeasure for Alerting Effects of Evening Light-Emitting Diode Screen Exposure in Male Teenagers. *Journal of Adolescent Health*. 56. 113-119.
38. Viola A.U., James L.M., Schlangen L.J.M., Dijk D.J. 2008. Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scand. J. Work Environ. Health*. 34(4). 297-306.
39. Zawilska J.B., Czarnecka K. 2006. Melanopsyna – nowo odkryty chronobiologiczny receptor światła. *Postępy Biologii Komórki*. 33 (2). 229-246.
40. Zawilska J.B., Nowak J.Z. 2002. Rytmika okołodobowa i zegar biologiczny. *Sen*. 2 (4). 127-136.

CHARACTERISTICS OF BLUE LIGHT

Summary

Blue light is a component of the sun and many artificial sources' radiation spectrum. This light has capacity for not only creation of visual impression but also affecting the human organism otherwise. In accordance with scientific reports, the blue light may have effect on biological rhythm, elderly persons condition, treatment of skin diseases. But its capacity for retina's injury is recognized in the best way. There are many technological or modern lighting sources at work, domestic and municipal environment, which emit blue light. We can therefore say that blue light is a common existing factor and unexpectedly may pose a threat to human health. In this article, the review of literature and media information about blue light are reported, to acquaint the society with this subject.

Key words: blue light, alertness, melatonin, sleep, skin regeneration, retina injury, glare