

Bezpieczeństwo optyczne oświetlenia LED

*stanowisko CELMA-ELC w sprawie bezpieczeństwa optycznego oświetlenia LED
31 maja . 2011*

1. Wprowadzenie

Wraz z wycofaniem lamp żarowych w Unii Europejskiej i wielu krajach spoza UE, a także wprowadzeniem wielu nowych źródeł światła i opraw oświetleniowych wykorzystujących diody LED (lampy, moduły) powstaje pytanie o to, czy charakterystyka spektralna diod LED oraz energooszczędnych lamp fluorescencyjnych (zintegrowanych CFL) umożliwia zastąpienie tradycyjnych lamp żarowych. Obawy te są podnoszone przede wszystkim przez osoby o wysokiej wrażliwości skóry i oczu na określony rodzaj promieniowania, w szczególności na promieniowanie w ultrafioletowym i niebieskim paśmie widma. Niniejsza publikacja koncentruje się na źródłach światła białego oraz ich wykorzystaniu w gospodarstwach domowych.

2. Streszczenie

Często podkreśla się, że źródła światła wykorzystujące LED są inne od lamp tradycyjnych, ponieważ odznaczają się większym udziałem światła niebieskiego i dlatego mogą częściej wywoływać dolegliwości takie jak uszkodzenie siatkówki (blue light hazard). W odpowiedzi na te wątpliwości ELC prezentuje szczegółową ocenę bezpieczeństwa fotobiologicznego powszechnie stosowanych lamp LED przeznaczonych do użytku domowego i porównuje je z lampami tradycyjnymi. W opracowaniu skupiono się na źródłach światła białego stosowanych w gospodarstwach domowych.

Podsumowując, najważniejsze wnioski tego porównania wskazują, że **źródła światła LED** (lampy jak i układy) **oraz oprawy oświetleniowe są bezpieczne dla konsumenta**, przy wykorzystaniu zgodnie ich przeznaczeniem. Pod względem bezpieczeństwa fotobiologicznego lampy LED nie różnią się od technologii tradycyjnych, takich jak lampy żarowe i fluorescencyjne. Dla danej temperatury barwowej udział światła niebieskiego w diodach LED nie różni się od udziału światła niebieskiego w lampach wykorzystujących inne technologie. Porównanie diod LED instalowanych w ramach wymiany z urządzeniami tradycyjnymi, które podlegają wymianie pokazuje, że ryzyko negatywnego oddziaływania jest w obu przypadkach bardzo podobne i zawiera się w bezpiecznym zakresie.

Mimo tego, należy unikać patrzenia bezpośrednio na jasne, punktowe źródła światła (LED jak i inne silne punktowe źródła światła, na przykład przezroczyste lampy żarowe czy lampy wyładowcze, a także słońce). Jednakże w razie przypadkowego spojrzenia na jasne źródło światła pojawia się naturalny odruch (oddechowe zamknięcie oczu lub odwrócenie wzroku).

Należy wspomnieć, że ekspozycja na światło niebieskie jest nam potrzebna. Światło niebieskie, o szczycie w zakresie 460-480 nm reguluje zegar biologiczny, koncentrację oraz procesy metaboliczne. W warunkach naturalnych funkcję tę pełni światło zewnętrzne. Ludzie spędzają jednak większość dnia w pomieszczeniach (biurach itp.) i często nie otrzymują wystarczającej dawki światła niebieskiego. Źródła światła niebieskiego i chłodnobiałego można wykorzystywać do tworzenia warunków oświetlenia dostarczających dzienną dawkę światła niebieskiego, co umożliwi

dostosowanie procesów fizjologicznych do naturalnego rytmu dobowego. Ze względu na dużą elastyczność stosowania do tego celu szczególnie dobrze nadają się źródła światła LED. Ponieważ diody LED nie emitują promieniowania w paśmie ultrafioletu, szczególnie dobrze nadają się **dla osób, które są bardzo wrażliwe na promieniowanie UV.**

3. LED a bezpieczeństwo optyczne

Termin bezpieczeństwo optyczne odnosi się do zapobiegania¹ zagrożeniom spowodowanym przez promieniowanie świetlne (promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie długości fali od 100 nm do 1 mm). Zagrożenia te wiążą się z wpływem na oczy jak i skórę, również u osób o podwyższonej wrażliwości na światło. Dla tej grupy osób w załączniku 1 zamieszczono bardziej szczegółowe informacje.

Powszechnie omawiane zagrożenia dla oczu to ryzyko uszkodzenia siatkówki światłem niebieskim, (*blue light hazard*, BLH), oraz zwyrodnienie plamki związane z wiekiem (*age-related macular degeneration*, AMD), które może być wywołane lub zaostrzone przez światło niebieskie o wysokim natężeniu. Zależnie od natężenia światła i czasu ekspozycji patrzenie bezpośrednio na jasne źródło światła może prowadzić do fotochemicznego uszkodzenia siatkówki (BLH). To zjawisko jest nam znane z patrzenia na słońce. Aby zapobiec uszkodzeniu siatkówki, podczas obserwacji np. zaćmienia słońca należy zakładać odpowiednie okulary. W jasne, słoneczne dni oko jest chronione przed uszkodzeniem dzięki naszemu naturalnemu odruchowi (zamykanie powiek, odwracanie wzroku). Ponadto oko może być uszkodzone przez światło UV (nadfioletowe), mogące wywoływać zaćmę lub świetlne zapalenie rogówki; promieniowanie IR (podczerwone) może wywoływać zaćmę podczerwienną (nazywaną także zaćmą hutniczą); z kolei promieniowanie fal każdej długości, przy skrajnie wysokim natężeniu światła może prowadzić do poparzeń siatkówki.

Promieniowanie świetlne może także mieć niekorzystny wpływ na skórę, na przykład powodując oparzenia słoneczne, bądź w skrajnych przypadkach nowotwory, wywołane długotrwałą ekspozycją na światło UV. Istnieją pewne grupy pacjentów, np. osoby chore na toczeń lub fotodermatozę, którzy są szczególnie wrażliwi na promieniowanie UV (a czasami także światło niebieskie). Należy pamiętać, że wymienione wyżej dolegliwości są wywołane przede wszystkim przez naturalne światło słoneczne; niektóre z nich nigdy nie są powodowane przez światło sztuczne. Bezpieczeństwo optyczne sztucznych źródeł światła powinno być jednak zagwarantowane, a pacjenci z nadwrażliwością na światło powinni mieć do dyspozycji specjalne, bezpieczne w użytku lampy będące alternatywą dla lamp żarowych .

4. Ocena ryzyka fotobiologicznego i wnioski

Ryzyko uszkodzenia siatkówki przez światło niebieskie można ocenić w oparciu o normę EN 62471. Dzieli ona źródła światła na grupy ryzyka: 0,1, 2 oraz 3 (0 = brak ryzyka, 3 = wysokie ryzyko). Światło słoneczne zostałoby według tego podziału zaklasyfikowane do najwyższej grupy ryzyka. Firmy członkowskie ELC zapewniają zgodność swoich produktów z normą bezpieczeństwa fotobiologicznego.

Zagrożenia można przyporządkować do grup ryzyka według różnych kryteriów pomiaru:

Jedna z metod opiera się na pomiarze odległości, dla której osiągnięto natężenie oświetlenia **500 lx** (typowa wartość natężenia w oświetleniu o zastosowaniu ogólnym). Zgodnie z normą EN 62471 kryterium **500 lx** należy stosować w przypadku lamp przeznaczonych **do oświetlenia ogólnego** (w tym lamp stosowanych w biurach, szkołach, domach, fabrykach, na jezdniach oraz w pojazdach).

Drugie kryterium opiera się na pomiarze bezpieczeństwa fotobiologicznego w odległości **200 milimetrów** od źródła światła. Kryterium **200 milimetrów** powinno być stosowane **dla wszystkich pozostałych lamp** (w tym lamp do takich zastosowań specjalnych jak wyświetlanie filmów, procesy reprograficzne, solaria, procesy przemysłowe, zabiegi medyczne oraz działania poszukiwawcze).

¹ Limity ekspozycji są określone przez normę EN-62471

Takie rozróżnienie jest niezwykle istotne – w biurze nikt nie patrzy na oprawę oświetleniową znajdującą się na suficie z odległości 200 milimetrów, ale w niektórych zastosowaniach przemysłowych, np. podczas kontroli jakości pracownicy mogą spotkać się z koniecznością patrzenia na źródła światła z tak niewielkiej odległości. W takich przypadkach niezbędne są dodatkowe instrukcje zapobiegające uszkodzeniu wzroku.

Należy wspomnieć, że gdy źródła światła są umieszczone w oprawie oświetleniowej, klasyfikacja RG może zostać zmieniona przez optykę oprawy. Dlatego jeśli oprawa w jakikolwiek sposób modyfikuje pierwotne parametry źródła światła, niezbędny jest nowy pomiar w celu ponownej klasyfikacji oprawy.

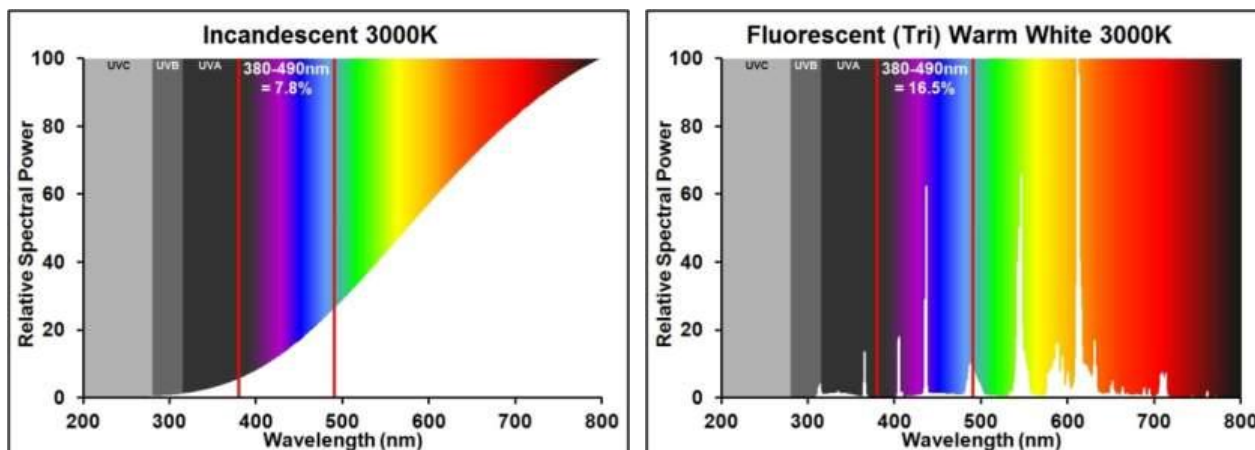
4.1 Wnioski dotyczące emisji światła niebieskiego

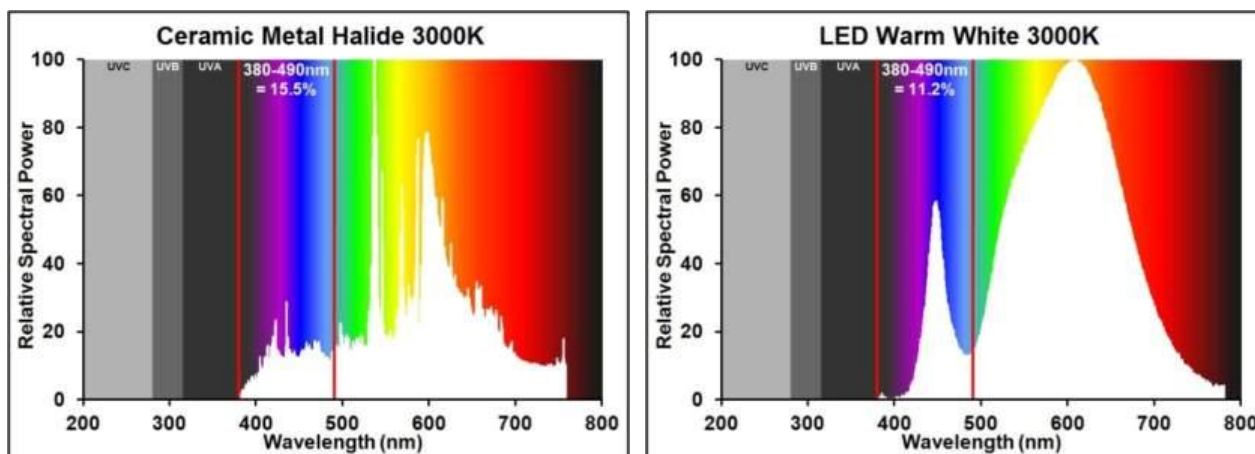
Ocena w odległości, dla której natężenie oświetlenia wynosi 500 lx:

Według kryterium 500 lx żaden z produktów LED nie należy do grupy ryzyka 2. Zostało to także potwierdzone przez wykonane w r. 2010 badanie francuskiej agencji ds. zdrowia i bezpieczeństwa żywności, środowiska i pracy (ANSES), w którym wykazano, że w przypadku kryterium 500 lx nawet diody LED o silnym, nieciąglym świetle są zaliczane do grupy ryzyka 0 lub 1.

Diody LED w porównaniu z innymi źródłami światła

Pod względem bezpieczeństwa fotobiologicznego diody LED nie różnią się w sposób znaczący od lamp wykorzystujących technologie tradycyjne, takich jak oświetlenie żarowe lub fluorescencyjne. Udział światła niebieskiego w diodach LED nie jest większy niż udział światła niebieskiego w lampach wykorzystujących inne technologie, dla danej temperatury barwowej (patrz. wykres 2 w zał. 3, przedstawiający wartości irradiancji BLH E_B dla różnych produktów o podobnych temperaturach barwowych). Zestawienie produktów LED stosowanych w ramach zamiany z produktami, które mają zastąpić (np. LED MR16 z Halogen MR16 lub LED retrofit z trzonkiem gwintowym z żarówką żarową mleczną) pokazuje, że klasyfikacja do grupy ryzyka jest w obu przypadkach podobna.





Ryc. 1: Względna moc spektralna różnych źródeł światła

Środki zapobiegawcze w przypadku dzieci

Soczewka oka dziecka filtruje światło niebieskie mniej skutecznie niż u osoby dorosłej. Dlatego dzieci są bardziej narażone na BLH. W miejscach, w których przebywają dzieci należy zatem dochować szczególnych starań, by lampy i oprawy były wybierane i montowane w sposób, który zapobiega patrzeniu bezpośrednio na źródło światła. Nie ma przeciwwskazań dla stosowania diod LED (i światła niebieskiego w ogóle) w miejscach, w których przebywają dzieci, co uzasadniono powyżej. Nawet „czyste” światło niebieskie jest zupełnie nieszkodliwe, o ile stosowane jest na dużej powierzchni, w sposób, który nie powoduje olśnienia. Nie ma znaczenia, czy pochodzi ono ze światła dziennego, LED czy też innego źródła światła.

Wskazówki dla osób o wysokiej wrażliwości na światło niebieskie

Powyższe stwierdzenia dotyczą osób zdrowych. W przypadku osób o wysokiej wrażliwości skóry lub oczu na światło niebieskie konieczne może być użycie alternatywnych źródeł światła, wykorzystujących określony zakres promieniowania, nieuwzględniony w zastosowanych widmach działania, które obejmują szeroki zakres spektralny. Dane porównawcze, przedstawione w załącznikach do niniejszej publikacji ułatwiają wybór najlepszego dostępnego rodzaju źródła światła dla danego typu nadwrażliwości.

Biologiczne znaczenie światła niebieskiego

Należy wspomnieć, że ekspozycja na światło niebieskie jest niezbędna w życiu człowieka. Światło niebieskie, o szczycie w zakresie 460-480 nm reguluje zegar biologiczny, uwagę oraz procesy metaboliczne. ELC-CELMA utworzyło specjalną grupę roboczą, która wprowadzi te fakty do praktyki tworząc nowe normy. W warunkach naturalnych funkcję tę pełni światło zewnętrzne. Ludzie spędzają jednak większość dnia w pomieszczeniach (biurach itp.) i często nie otrzymują wystarczającej dawki światła niebieskiego. Źródła światła niebieskiego i chłodnobiałego można wykorzystywać do tworzenia warunków oświetlenia dostarczających dzienną dawkę światła niebieskiego, co umożliwi dostosowanie procesów fizjologicznych do naturalnego rytmu dobowego. Ze względu na dużą elastyczność stosowania do tego celu szczególnie dobrze nadają się źródła światła LED.

4.2 Wnioski dotyczące promieniowania nadfioletowego (UV)

Źródła światła wykorzystujące LED nie emitują promieniowania UV (chyba, że zostały zaprojektowane specjalnie w tym celu). Nie są zatem szkodliwe dla osób z nadwrażliwością na określone promieniowanie UV i mogą być wykorzystane do leczenia niektórych grup pacjentów. Pod tym względem źródła światła wykorzystujące LED są korzystniejsze od tradycyjnych lamp żarowych i halogenowych, a także świetlówek kompaktowych. Więcej informacji na ten temat zawiera załącznik 2.

4.3 Wnioski dotyczące promieniowania podczerwonego (IR)

W przeciwieństwie do większości innych źródeł światła, np. lamp halogenowych i żarowych, diody LED w zasadzie nie emitują promieniowania IR (o ile nie zostały zaprojektowane w celu emisji określonego typu światła IR). W przypadku dostępnych na rynku źródeł światła przeznaczonych do użytku we wnętrzach promieniowanie IR nie jest na tyle silne, by stanowiło jakiegokolwiek zagrożenie dla ludzi.

Załącznik 1 Wpływ promieniowania optycznego na oczy i skórę

Potencjalny wpływ na oczy

Powszechnie wymieniane zagrożenia dla wzroku to ryzyko uszkodzenia siatkówki światłem niebieskim (BLH) oraz zwyrodnienie plamki związane z wiekiem (AMD), która może być wywołana lub zaostrzona przez światło niebieskie o wysokim natężeniu. Ponadto na oko może wpłynąć światło UV (nadfioletowe), powodując zacmę lub świetlną zapalenie rogówki (poparzenie rogówki przez światło słoneczne); promieniowanie IR (podczerwone) może wywoływać zacmę podczerwienną (nazywaną także zacmą hutniczą); z kolei promieniowanie fal każdej długości, przy skrajnie wysokim natężeniu światła może prowadzić do poparzeń siatkówki.

Wymienione schorzenia opisano bardziej szczegółowo poniżej:

- Ryzyko uszkodzenia siatkówki światłem niebieskim (BLH) określa się jako ryzyko uszkodzenia siatkówki w wyniku działania światła o wysokiej energii i krótkich falach. Przy bardzo dużym natężeniu światło niebieskie (długość fal 400-500 nm) może prowadzić do fotochemicznego zniszczenia fotopigmentów - substancji światłoczułych (jak i innych substancji), co powoduje powstanie wolnych rodników i nieodwracalnych uszkodzeń oksydacyjnych w komórkach siatkówki (prowadzących nawet do ślepoty). Do wystąpienia takich szkodliwych zmian niezbędne są trzy czynniki: *rozkład widma irradiancji* (istotny jest ten udział promieniowania, który przypada na widmo oddziaływania dla BLH, w terminologii matematycznej: zintegrowany rozkład widma irradiancji, ważony widmem oddziaływania); *radiancja* (przy wyższej radiancji więcej fotonów dociera do fotopigmentów); oraz *czas trwania* ekspozycji (przy dłuższej ekspozycji szkodliwy wpływ wzrasta). Na przykład patrzenie bezpośrednio na słońce może bardzo szybko uszkodzić siatkówkę, ze względu na bardzo silną radiancję. Z kolei nawet jeśli dla nieba względny udział światła niebieskiego jest dużo wyższy, nie ma ryzyka uszkodzenia siatkówki przez światło, ponieważ zbyt słaba jest radiancja.
- Zwyrodnienie plamki związane z wiekiem (AMD) to choroba polegająca na uszkodzeniu centralnego pola widzenia (plamki żółtej), występująca przede wszystkim u osób starszych. Światło niebieskie może przyspieszyć postęp AMD. Według najnowszej literatury naukowej, lipofuscyna, substancja odkładająca się z wiekiem w komórkach siatkówki, jest niszczone przez światło niebieskie, co prowadzi do uszkodzeń oksydacyjnych. Należy pamiętać, że w młodym wieku występowanie AMD nie rośnie wraz ze stopniem ekspozycji na światło niebieskie (np. u osób pracujących głównie na powietrzu – marynarzy, rolników). Tak jak w przypadku BLD, *rozkład widma irradiancji* oraz *radiancja* to najistotniejsze czynniki decydujące o AMD. Inaczej niż w przypadku BLD, AMD nie może być wywołane przez jednorazową, gwałtowną i przekraczającą granice tolerancji ekspozycję na światło. Powodowane jest przez długotrwałą ekspozycję na światło niebieskie (a także zielone i żółte), nawet przy niskich wartościach natężenia. Światło niebieskie nie jest jednak głównym czynnikiem ryzyka. Wśród czynników powiązanych z AMD najnowsza literatura medyczna wymienia czynniki genetyczne (obecność genu ERCC6) oraz środowiskowe, takie jak wiek, palenie papierosów, nadciśnienie oraz dieta.
- Zacma to schorzenie, które rozwija się z wiekiem. U człowieka tuż po narodzinach soczewki oka są w pełni przepuszczalne dla światła. W wyniku naturalnych procesów starzenia i działania promieniowania UV soczewki stają się mętne i żółkną, co utrudnia przenikanie światła. Ciężką postacią tego schorzenia, związanego z wiekiem, jest zacma. Żółknięcie soczewki powoduje także powstanie filtra światła niebieskiego, a więc pewnego rodzaju naturalnej ochrony siatkówki w starszym wieku. W ciężkich przypadkach konieczne może być operacyjne usunięcie soczewki lub wszczępienie sztucznej soczewki. Pacjenci po takich zabiegach jak również dzieci są często bardziej wrażliwi na światło niebieskie niż zdrowe osoby dorosłe.

Potencjalny wpływ na skórę

Promieniowanie optyczne, a w szczególności UV, może być szkodliwe dla skóry. Z pewnością najbardziej niebezpiecznym źródłem tego promieniowania jest słońce. Oparzenia słoneczne (rumień fotochemiczny) oraz nowotwory skóry, wywołane długotrwałą ekspozycją na światło słoneczne to dobrze znane choroby powodowane przez promieniowanie świetlne. Ponadto pacjenci cierpiący na choroby autoimmunologiczne, takie jak toczeń lub fotodermatoza, mogą wykazywać silną nadwrażliwość na promieniowanie UV, a czasami także światło niebieskie. Niektóre z tych osób obawiają się, że wycofanie dotychczasowych lamp żarowych pozostawi je bez źródeł światła (do użytku w pomieszczeniach) charakteryzujących się niską emisją promieniowania UV i niebieskiego.

Załącznik 2 Ogólne porównanie spektralne źródeł światła wykorzystywanych w gospodarstwach domowych

W tej części przedstawiono graficznie dane spektralne dla różnych rodzajów źródeł światła (LED, CFL-i, halogenowe) i dokonano ich oceny jakościowej (ocena ilościowa znajduje się w **załączniku 3**). Skupiono się na irradiancji spektralnej w paśmie niebieskim i ultrafioletowym dla różnych rodzajów źródeł światła, w porównaniu z dwoma „złotymi” standardami oświetlenia dla większości konsumentów: światłem dziennym oraz lampami żarowymi.

Pomiary irradiancji spektralnej wykonano tak, by otrzymać widma szeregu popularnych źródeł światła, przy poziomie natężenia oświetlenia zbliżonym do 500 lx i w zgodności z międzynarodową normą EN 62471. Wartość natężenia oświetlenia 500 lx jest równa natężeniu oświetlenia stosowanemu w miejscach pracy, na przykład w oświetleniu biurowym; w oświetleniu domowym wartość ta waha się od 50 lx (oświetlenie podczas oglądania telewizji) do 500 lx (stół kuchenny, kuchnia). Zewnętrzne warunki oświetleniowe to wielokrotność wartości dla oświetlenia wewnętrznego: 5 000 lx (zachmurzone niebo) do 50 000 lx (słoneczny dzień).

Uwaga 1: Pomierzone źródła światła przedstawiono posługując się skalą logarytmiczną, ponieważ skala liniowa nie przedstawiłaby w odpowiedni sposób różnic między różnymi krzywymi.

Uwaga 2: Powierzchnia pod krzywymi charakterystyki widmowej źródeł światła stanowi miarę energii określonej części widma (np. światła niebieskiego). W przypadku określonego zagrożenia, na przykład BLH lub aktywnego promieniowania UV, wartość ta musi być ważona, odpowiednio, wykresem oddziaływania BLH lub aktywnego światła UV (więcej informacji o charakterystyce oddziaływania BLH i aktywnego światła UV znajduje się w **załączniku 4**).

Charakterystyka rozkładu widma LED

Na wykresie 1 (góra) porównano różne źródła światła LED z lampą żarową i światłem dziennym. Białe diody LED mają zwykle szczyt promieniowania w paśmie niebieskim (około 450 nm w przypadku niebieskiej – royal blue – diody LED) i bardziej szerokopasmową emisję w paśmie zielonym/żółtym. Obok niebieskiego szczytu widoczne jest obniżenie, przy wartości ok. 490 nm, które także wchodzi w zakres krzywej oddziaływania BLH (pokazanej tu jako niebieski poziomy pasek). Obniżenie to „kompensuje” niebieski szczyt lamp LED, dlatego całkowita emisja światła niebieskiego (zobrazowana jako powierzchnia pod krzywą) diody LED 2700K jest porównywalna z emisją lampy żarowej 2700K.

Charakterystyka rozkładu widma świetlówek energooszczędnych (kompaktowych zintegrowanych)

W środkowej części wykresu 1 przedstawiono rozkłady widma dwóch popularnych typów świetlówek energooszczędnych (CFLi, świetłówki fluorescencyjne zintegrowane) i porównano je z lampą żarową oraz światłem dziennym. Typowe widmo świetłówki energooszczędnej zawiera liczne ostre szczyty i obniżenia. Przy określaniu pola powierzchni pod krzywą, w celu określenia promieniowania niebieskiego, szczyty i obniżenia wzajemnie się znoszą. Należy zauważyć, że wysokie szczyty są bardzo wąskie i dlatego nie przyczyniają się w dużym stopniu do wzrostu emisji światła niebieskiego (jak mogłoby wydawać się na pierwszy rzut oka). Po lewej stronie krzywe rozkładu widma zachodzą nieznacznie na widmo oddziaływania aktywnego UV. Należy jednak zwrócić uwagę, że ponieważ dane przedstawiono na skali logarytmicznej, energia aktywnego UV jest bardzo niska (!) i wyraźnie niższa od emisji naturalnego światła dziennego.

Charakterystyka rozkładu widma lamp halogenowych

Na dolnej części wykresu 2 przedstawiono porównanie różnych rodzajów lamp halogenowych z lampami żarowymi oraz światłem dziennym. Krzywe rozkładu widma lamp halogenowych mają podobny kształt jak w przypadku lamp żarowych: rosną równomiernie wraz ze wzrostem długości fali i opadają ponownie w paśmie IR. Lampy halogenowe mogą zatem stanowić dobrą alternatywę dla lamp żarowych.

Zielona linia oznacza lampę halogenową z powłoką na podczerwień (krzywa IRC wyraźnie opada w paśmie IR). Linia różowa pokazuje, że filtr kwarcowy UV rzeczywiście skutecznie pochłania promieniowanie UV, dzięki czemu wykres zbliża się do krzywej dla lampy żarowej. Inne typy lamp

charakteryzują się wyższą emisją UV niż lampy żarowe, szczególnie dwustronkowe 500W, które jednak powinny być zawsze stosowane z odpowiednią okrywą szklaną (reflektor) lub rękawem (w lampach typu uplighter); razem z okrywą szklaną charakterystyka lampy jest zbliżona do charakterystyki lampy żarowej.

Należy zauważyć, że w porównaniu ze światłem dziennym, wartość promieniowania UV wszystkich lamp jest raczej niska, ponieważ skala jest logarytmiczna, a nie liniowa.

Podsumowanie

Mimo że widma LED, CFLi, lamp halogenowych i żarowych mają różne „kształty typowe”, udział światła niebieskiego nie różni się w dużym stopniu między lampami wykonanymi w różnych technologiach (o podobnej temperaturze barwowej) i jest zawsze znacząco niższy niż udział promieniowania niebieskiego (lub UV) w świetle dziennym.

We wszystkich lampach przeznaczonych do oświetlenia ogólnego wysokość emisji UV jest znacznie niższa od limitów ekspozycji określonych w normie EN 62471. Diody LED wykorzystywane w oświetleniu ogólnym nie emitują UV (za wyjątkiem lamp specjalnych, które są zaprojektowane dla celów emisji UV).

Legenda dla różnych rodzajów lamp przedstawionych na wykresie 1 (bardziej szczegółowy opis znajduje się w załączniku 5):

- **Halo:** lampy halogenowe, niskonapięciowe (12V, 3000K) lub wykorzystujące napięcie zasilania sieci (230V, 2800K). Lampy halogenowe mogą znajdować się w kapsule (caps) lub reflektorze (MR16), obsługiwany za pomocą specjalnej halogenowej oprawy oświetleniowej, albo mogą być zintegrowane z oprawą lamp żarowych, w ramach lampy na wymianę (E27 MV).
- **Fluo-ES:** żarówka energooszczędna (nazwa potoczna) lub zintegrowana świetlówka fluorescencyjna kompaktowa (CFL-i, nazwa techniczna), może mieć postać rury fluorescencyjnej (burner) albo posiadać drugą okrywę (żarówka)
- **Incand:** lampa żarowa, przez rynek uznawana jako złoty standard.
- **LED:** do porównania wzięto zamienniki: dla lamp żarowych, halogenowych lamp reflektorowych (MR16) lub świetlówek rurowych T8
- **Światło dzienne:** na wykresie pokazano oficjalną krzywą CIE 6500K dla światła dziennego

Załącznik 3 Dane dotyczące promieniowania niebieskiego dla różnych źródeł światła

Przy ocenie zagrożenia światłem niebieskim, stwarzanego przez źródła światła LED (i inne) należy uwzględnić dwa odmienne przypadki:

Przypadek A Spoglądanie na oświetlone przedmioty

W ogromnej większości przypadków ludzie patrzą na oświetlone przedmioty: są one zwykle oświetlone światłem dziennym, przez co nie patrzymy bezpośrednio na jego źródło. W oświetleniu pomieszczeń oświetlenie realizowane jest przez sztuczne źródła światła, a oprawy zapobiegają bezpośredniemu kontaktowi wzroku ze źródłem światła - głównie w celu uniknięcia olśnienia.

W przypadku spoglądania na oświetlone przedmioty (geometryczne) takie właściwości źródła światła jak wielkość powierzchni, z której emitowane jest promieniowanie (miara gęstości promieniowania \sim radiancja) nie są istotne. Istotnym parametrem jest **irradiancja**, określająca strumień promieniowania padający na jednostkę powierzchni.

Przypadek A można uznać za bezpieczny. Na przykład, spoglądanie na niebieskie niebo (wysoka irradiancja niebieska, ale niska radiancja) jest całkowicie nieszkodliwe, podobnie jak patrzenie na sztuczne źródła światła, o znacznie niższej irradiancji niebieskiej niż światło dzienne.

Przypadek B: Spoglądanie na źródło światła

Przy ocenie zagrożenia fotobiologicznego (w oparciu o EN 62471) uwzględnia się potencjalnie bardziej szkodliwą sytuację – spoglądanie bezpośrednio na źródło światła. W codziennych sytuacjach zdarza się to rzadko. Należy jednak zauważyć, że norma EN 62471 pierwotnie została stworzona w celu ochrony osób pracujących w szczególności w branży oświetleniowej, na przykład podczas instalacji urządzeń. Może się zdarzyć, że osoby te będą spoglądać na źródła światła kilkakrotnie w ciągu dnia roboczego, przez co sumaryczna ekspozycja wzrośnie do kilku sekund. W takiej sytuacji **radiancja** niebieska jest czynnikiem krytycznym dla BLH (im jest większa w odpowiedniej części widma oddziaływania, tym wyższe prawdopodobieństwo, że światło będzie oddziaływało na fotopigmenty (wystarczająco silnie) i spowoduje uszkodzenia.

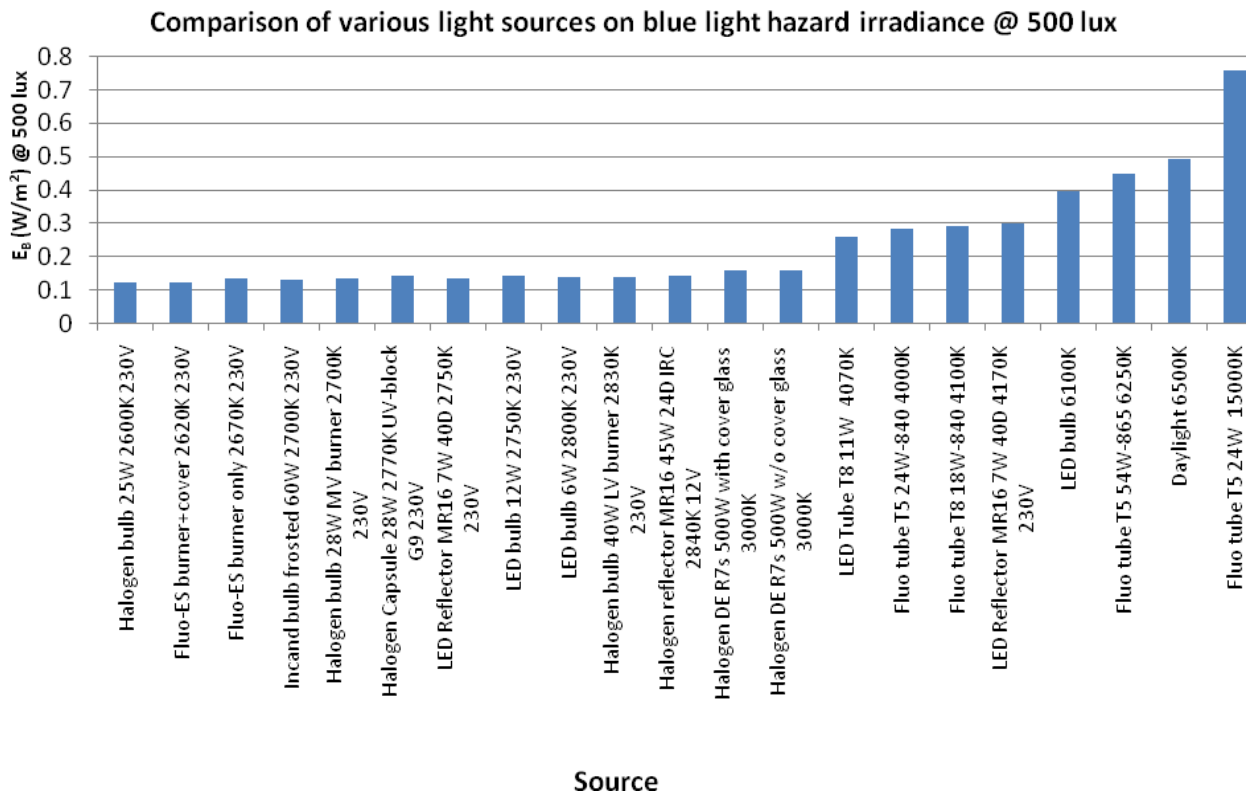
Patrzenie prosto na źródło światła (przypadek B) jest na ogół także bezpieczne w przypadku źródeł światła rozproszonego oraz ciepłobiałego, na przykład lamp mlecznych lub białych lamp dyfuzyjnych. Należy jednak zachować ostrożność w przypadku źródła światła zimnobiałego lub światła niebieskiego, silnego (o wysokiej intensywności) i punktowego, na przykład lampy żarowej, lampy łukowej, a nawet matrycy LED ukrytego za soczewką lampy kierunkowej. Takie punktowe źródła światła padają na siatkówkę w postaci skupionej wiązki świetlnej i mogą ją uszkodzić jeśli przekroczona zostanie tolerowana intensywność, a widmo światła zawiera promieniowanie niebieskie, pokrywające się z charakterystyką widma oddziaływania BLH.

Poniżej omówiono szczegółowo oba przypadki.

Przypadek A: Spoglądanie na oświetlone przedmioty (irradiancja)

W załączniku 2 podano dane oraz porównanie dotyczące widma różnych źródeł światła. Na podstawie tych rozkładów widm obliczono wartości E_B irradiancji BLH, posługując się standardową krzywą oddziaływania BLH.

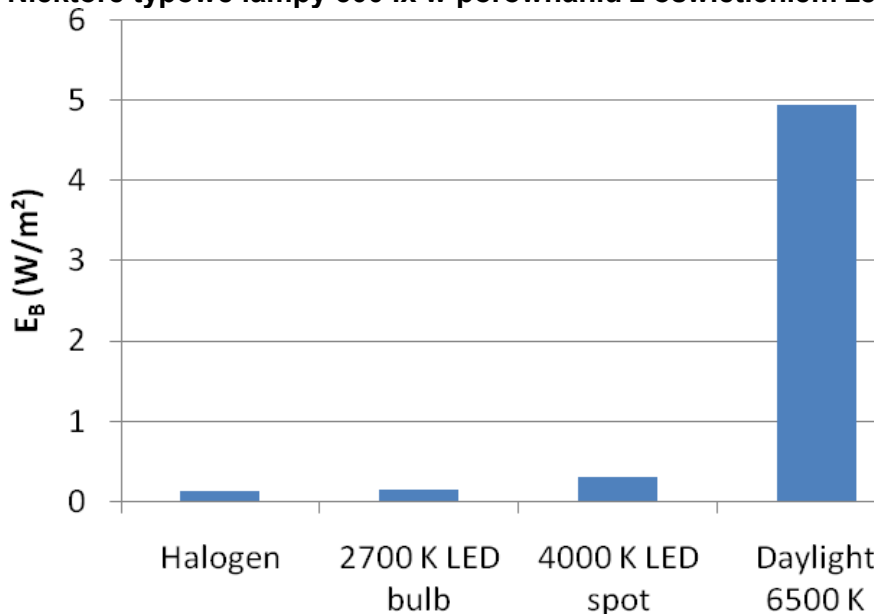
Na wykresie 2 zestawiono wartości E_B różnych typów lamp. Wyraźnie widać, że wszystkie źródła światła o podobnej temperaturze barwowej (T_c w kelwinach) mają podobne wartości E_B .



Wykres 3: Porównanie wartości E_B różnych rodzajów lamp oraz światła dziennego.

W celu lepszego porównania z efektem światła dziennego należy pamiętać, że zwykle charakteryzuje się ono natężeniem oświetlenia znacznie wyższym niż 500 lx. Wykres 3 przedstawia porównanie wartości E_B szeregu źródeł światła dla 500 lx, względem światła dziennego 5 000 lx, co stanowi wartość średnią dla umiarkowanych szerokości geograficznych.

Niektóre typowe lampy 500 lx w porównaniu z oświetleniem zewnętrznym 5 000 lx.



Wykres 4: porównanie wartości irradancji niektórych typów lamp przy 500 lx (typowa wartość dla oświetlenia wewnętrznego) ze światłem zewnętrznym 5 000 lx (typowa wartość dla oświetlenia zewnętrznego); 2700 K LED bulb – lampa LED 2700 K z bańką, 4000 K LED spot – lampa 4000 K LED punktowa, daylight 6500 K – światło dzienne 6500 K.

Rzeczywista wartość iluminacji w oświetleniu zewnętrznym może przyjmować szeroki zakres wartości, do 50 000 lx w słoneczny letni dzień w umiarkowanych szerokościach geograficznych, a nawet 100 000 lx w tropikach. Pokazuje to, że ilość światła niebieskiego każdego źródła światła przeznaczonego do oświetlenia ogólnego w pomieszczeniach jest niska lub bardzo niska w porównaniu z warunkami zewnętrznymi.

Przypadek B: Spoglądanie na źródło światła (radiancja)

Porównanie źródeł światła dla przypadku B wykonano w oparciu o normę (EN 62471), tak jak opisano wyżej. W normie tej rozróżnia się między dużymi i małymi źródłami światła. Obraz małego źródła (< 11 mrad) rozmywa się na większej powierzchni siatkówki, ze względu na kontrolowane i niekontrolowane ruchy oka, co ogranicza liczbę fotonów padających na dany punkt (receptor) siatkówki i zmniejsza ryzyko jej uszkodzenia. Co więcej, metoda testowania jest różna dla źródeł światła przeznaczonych do oświetlenia ogólnego oraz źródeł przeznaczonych dla innych celów (zastosowania specjalistyczne). W poniższym porównaniu zastosowano bardziej rygorystyczną metodę, stosowaną dla pozostałych źródeł światła. Pomiar źródła światła przeprowadzono w odległości 200 mm, a więc krótszej niż odległość mająca znaczenie dla GLS (odległość, przy której natężenie światła wynosi 500 lx). W odległości 200 mm większość lamp to według normy źródła „duże”, dlatego do ich zaklasyfikowania należy oprzeć się na radiancji światła niebieskiego (L_B), która jest wielkością pochodną wobec gęstości promieniowania dla danego widma oddziaływania BLH (patrz niżej). W normie EN 62471 wartość L_B stosowana jest do obliczenia maksymalnego czasu ekspozycji (tzn. maksymalnego bezpiecznego czasu trwania ekspozycji na źródło światła) oraz określenia podziału na grupy ryzyka (RG). Zostało to przedstawione w tabeli 1.

wartość L_B ($W/m^2 sr$)	maksymalny czas ekspozycji (s)	klasyfikacja
0-100	nie określono czasu maksymalnego	RG 0 brak ryzyka
100-10 000	100-10 000	RG 1 niskie
10 000-4 000 000	0,25-100	RG 2 umiarkowane
$>4 000 000$	$<0,25$ (odruch odwrócenia wzroku)	RG 3 wysokie

Tabela 1: Klasyfikacja RG według normy EN 62471

Radiancja to miara gęstości promieniowania, które pada na oko (wyrażona w $W/m^2 sr$). Jeśli uwzględnić tylko światło w paśmie widzialnym, mamy do czynienia z luminancją (wyrażoną w cd/m^2).

Wartości radiancji oraz luminancji różnych źródeł światła, w tym słońca, podaje tabela 2:

nazwa produktu	luminancja [cd/m^2]	główne miejsca wykorzystania
CFL-I z bańką zewnętrzną	23 000	dom
CFL-I z rurką	50 000	dom
LED dyfuzyjna	150 000	dom
żarówka przezroczysta 60W 230V	7 000 000	dom
żarówka przezroczysta halogenowa 42W 230V	8 000 000	dom
lampa halogenowa 230W DE R7s 230V	13 000 000	dom
lampa halogenowa 12V (także z powłoką IR)	15 000 000	sklepy/dom
SŁOŃCE	160 000 000	na zewnątrz

Tabela 2: Wyliczone wartości luminancji dla różnych źródeł światła

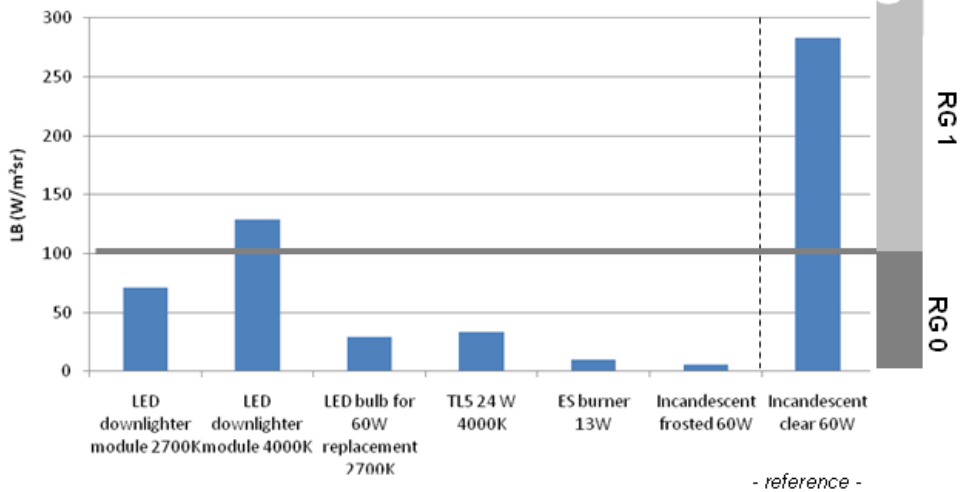
Świetlówki liniowe wytwarzają dużo światła, ale na dużą powierzchnię lampy, dlatego mają niską luminancję, zwykle około kilkudziesięciu tysięcy cd/m^2 . Z drugiej strony włókno halogenowe emituje światło z bardzo niewielkiego pola powierzchni i ma wysoką luminancję, zwykle o wartości kilku milionów cd/m^2 . Obecnie na rynku luminancja najjaśniejszej diody LED (komponentu) wynosi około dziesięciu milionów cd/m^2 .

Luminancja słońca wynosi około 1 miliard cd/m^2 .

Luminancję szeregu źródeł światła określono za pomocą metody opisanej w normie EN 62471, sekcja 5.2.2.2. Wartości parametrów widma zostały wyznaczone jednocześnie, co umożliwiło obliczenie radiancji światła niebieskiego L_B (radiancja ważona widmem oddziaływania dla BLH).

Wyniki przedstawiono na poniższych dwóch wykresach:

Radiancja światła niebieskiego L_B źródeł światła rozproszonego



Wykres 5: Radiancja światła niebieskiego L_B dla kilku popularnych źródeł światła o niskiej luminancji: lamp żarowych, świetlówek oraz ich zamienników LED. LED downlighter module 2700K (4000K) - moduł LED typu downlighter 2700 K (4000 K), LED bulb for 60W replacement 2700 K – dioda LED z bańką na zamianę żarówki 60 W 2700 K, incandescent frosted 60W – żarówka mleczna 60W, incandescent clear 60W – żarówka przezroczysta 60W (podana jako punkt odniesienia).

Radiancja światła niebieskiego L_B niektórych typowych źródeł światła punktowego

Wykres 6: Radiancja światła niebieskiego L_B dla kilku źródeł światła o wysokiej luminancji: lamp halogenowych, lamp wyładowczych wysokiej intensywności oraz ich zamienników LED. (uwaga: skala jest inna niż na wykresie 4)


Wnioski płynące z wykresów radiancji światła niebieskiego

- Radiancja światła niebieskiego L_B **źródeł światła rozproszonego** jest stosunkowo niska. Przyporządkowanie źródła światła do grup ryzyka (EN 62471) w oparciu o wartości L_B pokazuje, że większość z nich znajduje się w grupie RG 0; przy wyższej temperaturze barwowej (4 000 K) niektóre z nich mogą zostać zaklasyfikowane do RG 1, przy maksymalnych czasach ekspozycji o długości ponad godzinę. Należy zauważyć, że ten czas ekspozycji odnosi się do bezpośredniego patrzenia na źródło światła z bliskiej odległości. W normalnych warunkach użytkowania, kiedy odległość oka od źródła jest znacznie większa niż wzięta do pomiarów wartość 200 mm, jest to całkowicie bezpieczne. Ponadto człowiek odruchowo odwraca wzrok od jasnego źródła światła, zatem tak wysoki czas ekspozycji jest nie do osiągnięcia.
- Wszystkie ocenione tutaj **punktowe źródła światła** zaliczono do kategorii RG 1, wobec czego można je uznać jako bezpieczne według zastosowanej normy, i niewymagające dodatkowego oznakowania ostrzegawczego; należy jednak unikać dłuższego patrzenia bezpośrednio na te źródła, szczególnie z krótkiej odległości. Maksymalne czasy ekspozycji dla przedstawionych tu lamp wynoszą 200 s lub więcej, ale jak wspomniano wcześniej, w takich przypadkach człowiek odruchowo zamyka oczy lub odwraca wzrok (instynktowna reakcja awersji). Powyższe tyczy się tak samo źródeł światła LED o wysokiej luminancji jak i źródeł światła o wysokiej luminancji, które są od dłuższego czasu obecne na rynku.

Załącznik 4 Wyjaśnienie terminów

termin	symbol	jednostka	wyjaśnienie
irradiancja	E_{rad}	W/m_ζ	strumień promieniowania padający na jednostkę powierzchni
iluminancja	E	lx	irradiancja ważona spektralnie krzywą wrażliwości oka na światło dzienne
irradiancja BLH	E_B	W/m_ζ	irradiancja ważona spektralnie krzywą BLH
radiancja	L_{rad}	$\text{W}/\text{m}_\zeta \text{sr}$	strumień promieniowania emitowanego ze źródła na jednostkę powierzchni
luminancja	L	cd/m_ζ	radiancja ważona spektralnie krzywą wrażliwości oka na światło dzienne
radiancja BLH	L_B	$\text{W}/\text{m}_\zeta \text{sr}$	radiancja ważona spektralnie krzywą BLH


Tabela 3: Zestawienie jednostek miary wymienionych w artykule



całkowita energia promieniowania elektromagnetycznego / światła widzialnego (emitowana ze źródła)

strumień promieniowania Φ_e w [W]

strumień świetlny Φ_v w [lm]




strumień promieniowania / strumień świetlny padający na powierzchnię (na jednostkę powierzchni)

$$\frac{\Phi}{\partial A}$$

irradiancja E_e w [W/m^2]

iluminancja E_v w [lm/m^2] = [lx]

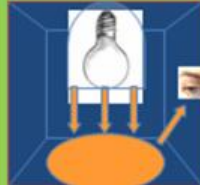


strumień promieniowania / strumień świetlny emitowany w określonym kierunku (na jednostkę kąta bryłowego)

$$\frac{\Phi}{\partial \Omega}$$

intensywność promieniowania I_e w [W/sr]

światłość I_v w [lm/sr] = [cd]



intensywność promieniowania / światłość na jednostkę powierzchni promieniowania / światła padającego w danym kierunku

$$\frac{\Phi}{\partial A \partial \Omega} = \frac{E}{\partial \Omega} = \frac{I}{\partial A}$$

radiacja L_e w [$\text{W}/\text{sr}/\text{m}^2$]

luminancja L_v w [$\text{lm}/\text{sr}/\text{m}^2$] = [cd/m^2]

Strumień promieniowania, irradiancja, intensywność promieniowania oraz radiacja odnoszą się do promieniowania fal każdej długości. Strumień świetlny, iluminancja, natężenie oświetlenia oraz luminancja dają wartości analogiczne, ale ograniczone do pasma widzialnego (ważonego spektralnie krzywą wrażliwości oka ludzkiego na światło o różnej długości fal).

Tabela 6.1 Limity emisji dla grup ryzyka lamp o widmie ciągłym

źródło zagrożenia	widmo oddziaływania	symbol	limity emisji			jednostka
			brak	niewielkie zagrożenie	umiarkowane zagrożenie	
aktyczne światło UV	$S_{UV}(\lambda)$	E_S	0,001	0,003	0,03	W/m^2
bliskie UV		E_{UVA}	10	33	100	W/m^2
światło niebieskie	$B(\lambda)$	L_B	100	10 000	4 000 000	W/m^2sr
światło niebieskie – małe źródło*	$B(\lambda)$	E_B	1.0*	1.0	400	W/m^2
poparzenie siatkówki	$R(\lambda)$	L_R	28 000/ α	28 000/ α	71 000/ α	W/m^2sr
poparzenie siatkówki – słaby bodziec świetlny **	$R(\lambda)$	L_{IR}	6 000/ α	6 000/ α	6 000/ α	W/m^2sr
promieniowanie IR		E_{IR}	100	570	3 200	W/m^2

* Źródło małe to takie, dla którego $\alpha < 0,011$ radiana. Średnio pole widzenia dla 10000 s wynosi 0,1 radiana

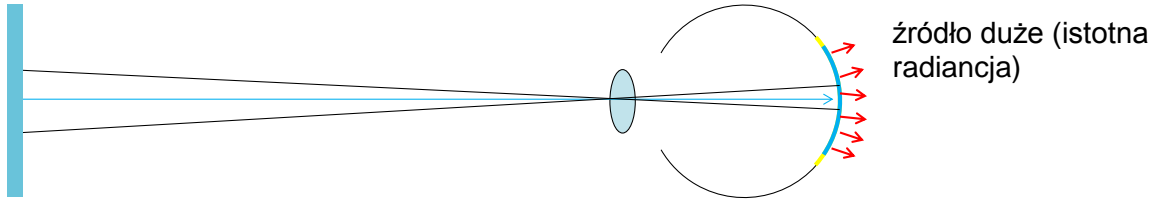
** Wiąże się z oceną źródła światła innego niż GLS

Tabela 4: Zestawienie grup ryzyka (za normą EN 62471:2006)

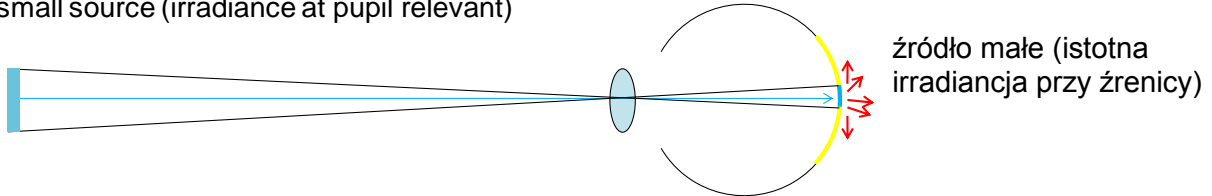
Zasady wykonywania pomiarów

EN 62471: duże i małe źródła:

- large source (radiance of source relevant)

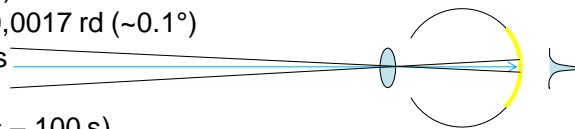


- small source (irradiance at pupil relevant)



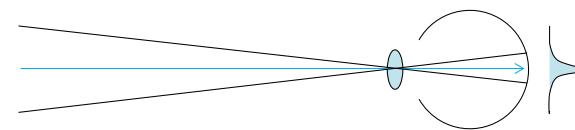
EN 62471: różne metody pomiaru dla małych i dużych źródeł

- very short exposure (< .25 s)
small (point) source $\alpha_{min} = 0,0017 \text{ rd}$ ($\sim 0.1^\circ$)
due to intrinsic unsharpness



bardzo krótka ekspozycja (< 0,25 s)
małe (punktowe) źródło $\alpha_{min} = 0,0017 \text{ rd}$
($\sim 0,1^\circ$)
ze względu na wewnętrzny brak ostrości

- intermediate exposure (10 s – 100 s)
small source $\alpha_{eff} = 0,011 \text{ rd}$ ($\sim 0.63^\circ$)
due to rapid eye movement



umiarkowana ekspozycja (10 s – 100 s)
małe źródło $\alpha_{eff} = 0,011 \text{ rd}$ ($\sim 0,63^\circ$)
ze względu na szybki ruch oka

- long exposure (> 10000 s)
small source $\alpha_{eff} = 0,1 \text{ rd}$ ($\sim 5.7^\circ$)
due to task oriented eye movement



długa ekspozycja (>10000 s)
małe źródło $\alpha_{eff} = 0,1 \text{ rd}$ ($\sim 5,7^\circ$)
ze względu na ruch oka śledzący wykonywaną czynność

Eye movements & angular subtense

1 1,7mrad

- the smallest image that can be formed on the retina of a **still eye** is limited to a minimum value, $\alpha_{\min} = 1,7 \text{ mrad}$ (at exposure $< 0,25$ seconds = blink reflex time)

pure source radiance
"worst case"

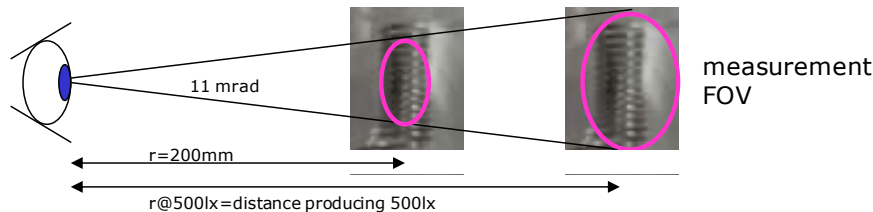
2 11 mrad @ 200mm 3 11 mrad @ 500lx

- at times greater than about 0,25 seconds, **rapid eye movements** begin to **smear** the image of point-like source over a larger angle, called $\alpha_{\text{eff}} = 11 \text{ mrad}$
- a light source subtending an angle less than 11mrad is defined as a "small source"

4 100 mrad

- at > 100 seconds, the image is further spread due to **task depended eye movements**, resulting in an maximal angular subtense $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$ (taken at exposure times $> 10000 \text{ s}$)

Measurement Field of View @ 200mm & @ distance producing 500 lx



Ruchy gałki ocznej i wymiar kątowy

1) 1,7 mrad

Najmniejszy obraz, który może powstać na siatkówce **nieruchomego oka** ograniczony jest do wartości minimalnej $\alpha_{\min} = 1,7 \text{ mrad}$ (przy ekspozycji $< 0,25 \text{ s}$ = czas trwania odruchu mrugania) – **promieniowanie z samego źródła**, „**najgorszy scenariusz**”

2) 11 mrad przy 200 mm i 3) 11 mrad przy 500 lx

Przy czasie dłuższym niż ok. 0,25 s **szybkie ruchy gałki ocznej** zaczynają **rozmazywać** obraz źródła punktowego na szerszym kącie, $\alpha_{\text{eff}} = 11 \text{ mrad}$. Źródło światła znajdujące się naprzeciwko kąta mniejszego niż 11 mrad określane jest jako „**źródło małe**”.

4) 100 mrad

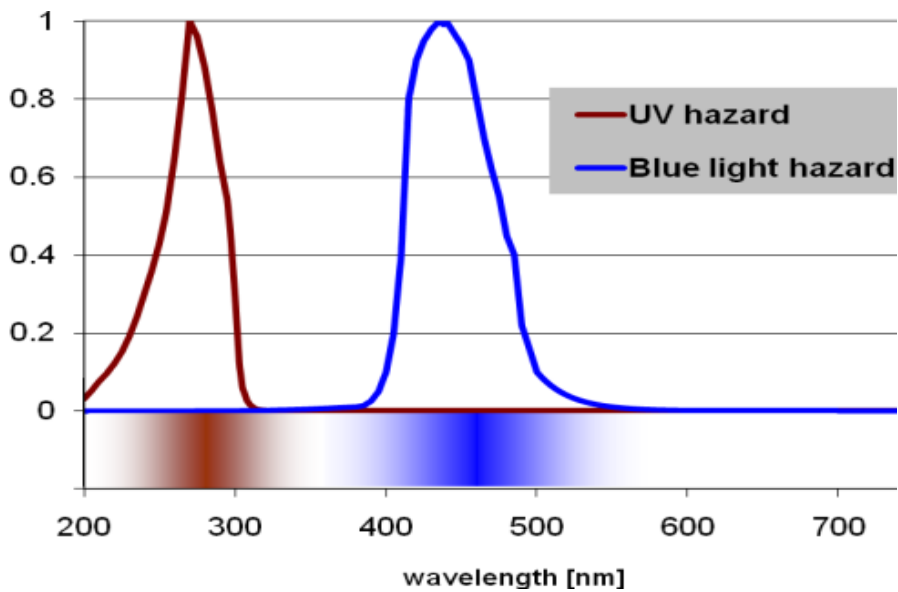
Przy czasie $> 100 \text{ s}$ obraz zostaje jeszcze bardziej zniekształcony ze względu na **ruchy oka związane z wykonywaną czynnością**, czego wynikiem jest maksymalny wymiar kątowy $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$ (przy czasach ekspozycji $> 10\,000 \text{ s}$)

Pomiar pola widzenia przy 200 mm oraz dla odległości dającej 500 lx

$r @ 500 \text{ lx}$ = odległość od źródła dla 500 lx

Widmo działania aktywnego światła UV i BLH

Widma oddziaływania UV i BLH pozwalają określić współczynnik korekcji promieniowania spektralnego w odpowiedniej części widma:



Pomnożenie wartości z wykresów oddziaływania przez (znormalizowane) wartości spektralne UV i (lub) źródeł światła pozwala otrzymać współczynniki do porównania tych źródeł światła pod względem omawianych zagrożeń.

Załącznik 5 Zestawienie lamp omówionych w publikacji

Dane dotyczące lamp zamieszczone w niniejszej publikacji są reprezentatywne dla oferty spółek ELC

nazwa produktu	technologia	kształt	moc	temperatura barwowa Tc [K]
Halo A60 28W MV burner 2700K E27 MV	halogen 230V	bańka A60	28	2700
Halo A60 40W LV burner 2830K E27 MV	halogen 12V	bańka A60	40	2830
Halo MR16 45W 24D IRC 2850K GU5.3 LV	halogen 12V z powłoką IR	reflektor MR16	45	2850
Halo Caps 28W 2800K UV-block G9 MV	halogen 230V redukcja UV	kapsuła	28	2800
Halo A60 25W 2600K E27 MV	halogen 230V	bańka A60	25	2600
ES bulb T60 827 2620K E27 MV	światłówka kompaktowa	bańka T60	11	2620
ES burner 8W 827 2700K E27 MV	światłówka kompaktowa	zagięte rurki	8	2700
Incand A60 60W 2700K mleczna E27 MV	żarowa	bańka A60	60	2700
LED A60 6W 2700K E27 MV	LED	bańka A60	6	2700
LED MR16 7W 40D 2700K GU10 MV	LED	reflektor MR16	7	2700
LED MR16 7W 40D 4200K GU10 MV	LED	reflektor MR16	7	4200
LED K60 12W 2700K E27 MV	LED osobny luminofor	bańka K60	12	2700
TLD 18W/840	światłówka 26mm	rura	18	4000
T5 54W/6500K	Światłówka 16mm	rura	54	6500
T5 24W/4000K	Światłówka 16mm	rura	54	4000
T5 24W/17000K	Światłówka 16mm	rura	24	15000
TLED 11W/4000K	LED rurka 26mm	rura	11	4000
LED 6500K 350lm	LED	bańka A60	6	6500
R7s halogen 500W	halogen 230V	dwustronkowa	500	2700

Wyłączenie odpowiedzialności: ELC/CELMA dokonały wszelkich starań by zapewnić dokładność informacji zawartej w niniejszej publikacji, jednak nie ponoszą odpowiedzialności za jej wykorzystanie.