

Kompatybilność elektromagnetyczna opraw oświetleniowych HCL

Streszczenie. Odkrycia w medycynie dotyczące wpływu światła na fizjologię człowieka stały się inspiracją do stworzenia podejścia oświetlenia antropocentrycznego (ang. *Human Centric Lighting, HCL*). Takie podejście prowadzi do projektowania coraz bardziej złożonych układów stosowanych w oświetleniu, co zwiększa ryzyko niewłaściwego przygotowania obiektu do badań kompatybilności elektromagnetycznej (EMC). Niniejszy artykuł odnosi się do badań emisji promieniowanej takiego oświetlenia.

Abstract. Discovery of the light impact on human physiology became the inspiration for the Human Centric Lighting approach (HCL). This approach leads to the design of more complex lighting systems, which increases the risk of improperly preparing the object for electromagnetic compatibility (EMC) testing. The paper focuses on radiated emission tests. (**Human centric lighting luminaires electromagnetic compatibility**).

Słowa kluczowe: kompatybilność elektromagnetyczna, oświetlenie antropocentryczne, oprawa oświetleniowa, dioda LED.

Keywords: electromagnetic compatibility, human centric lighting, luminaire, LED.

Wstęp

Rozwój nauki sprzyja pojawieniu się nowych rozwiązań technologicznych. Odkrycie komórek ipRGC (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells) skutkowało powstaniem wielu badań w zakresie wpływu światła na człowieka, nie związanego z formowaniem obrazu [1],[2],[3],[4],[5],[6]. Wyniki tych badań przyczyniły się do powstania podejścia oświetlenia antropocentrycznego (ang. *Human Centric Lighting, HCL*), czyli projektowania oświetlenia ukierunkowanego na potrzeby człowieka [7]. Odpowiednio zaprojektowane oświetlenie może poprawić wydajność, samopoczucie psychiczne i fizyczne oraz przyspieszyć powrót do zdrowia [2],[6],[8].

Technologia LED daje ogromne możliwości w tworzeniu odpowiedniej jakości oświetlenia, w tym oświetlenia antropocentrycznego. Producenci diod LED proponują rozmaite rozwiązania skierowane na oświetlenie HCL [9]. Światło o pożądanej charakterystyce, zgodnej z koncepcją HCL, jest tematem wielu współczesnych prac naukowych związanych ze sterowaniem parametrami światła [10],[11],[12],[13],[14]. Jednak rozbudowa systemu sterowania światłem niesie ze sobą zwiększone ryzyko niespełnienia obecnych wymagań kompatybilności elektromagnetycznej (EMC).

Rynek oświetlenia HCL w ostatnim czasie intensywnie rośnie. Zgodnie z artykułem G. Zissis, P. Bertoldi i T. Serrenho rynek oświetlenia HCL w 2017 był oceniany na 445,9 milionów USD, a w 2024 r może osiągnąć 3,91 miliardów USD [15]. Zwiększenie zainteresowania oświetleniem HCL może doprowadzić do pojawienia się na rynku produktów niskiej jakości. W przypadku nowych inwestycji liczba zamontowanych opraw oświetleniowych może wynosić od kilkudziesięciu do ponad tysiąca punktów świetlnych. Nawet nieznaczne przekroczenie poziomów dopuszczalnych emisji w którymś z wielu trybów pracy opraw może skutkować problemami w funkcjonowaniu urządzeń i systemów.

Przykładowe rozwiązanie HCL opracowane w LUG Light Factory Sp. z o.o. zawiera 52 programy liniowej zmiany temperatury barwowej w czasie dla wszystkich 52-óch tygodni w roku dla konkretnej lokalizacji. Odczytując godziny wschodów i zachodów słońca dla konkretnej lokalizacji w uśrednieniu na każdy z tych tygodni estymuje się krzywą temperatury barwowej narastającą do godziny 12:00 (6000K) od wschodu (2700K), a następnie opadającą od godziny 12:00 do zachodu (2700K). Istotne jest, żeby we wszystkich trybach pracy zostały spełnione wymagania nie

tylko dotyczące jakości światła, ale i wymagania kompatybilności elektromagnetycznej.

Kompatybilność elektromagnetyczna oznacza zdolność urządzeń do działania w sposób zadowalający w określonym środowisku elektromagnetycznym bez wprowadzenia do niego niedopuszczalnych dla innych urządzeń elektromagnetycznych zakłóceń. Niespełnienie wymagań dotyczących odporności z reguły prowadzi do niewłaściwego działania urządzeń, albo całkowitego uszkodzenia, co skutkuje reklamacjami klientów. Natomiast przekroczenie poziomów dopuszczalnych emisji może skutkować zakłóceniem pracy systemów. Niniejsza praca poświęcona jest wymaganiom związanym z emisją promieniowaną, ponieważ jest to jeden z bardziej wymagających i bazowych testów dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej.

Wymagania prawne

Oprawy oświetleniowe wprowadzane na rynek Unii Europejskiej muszą posiadać oznakowanie CE i spełniać wymagania stosownych dyrektyw. W przypadku opraw oświetleniowych nie zawierających nadajnika lub odbiornika radiowego muszą być spełniane wymagania dyrektywy LVD [16], dyrektywy ROHS [17], dyrektywy ekoprojekt [18] oraz dyrektywy EMC [19]. W niniejszym artykule skupiono się na wymaganiach dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej, z ograniczeniem zakresu rozważań jedynie do badań emisji zaburzeń promieniowanych w zakresie częstotliwości 30 MHz – 1000 MHz.

Dyrektywa EMC ogranicza się do określenia zasadniczych wymagań. W celu ułatwienia oceny zgodności, w z tymi wymaganiami zasadniczymi, należy przeprowadzić domniemanie zgodności urządzeń np. zgodnie z normami zharmonizowanymi. Normy zharmonizowane odzwierciedlają powszechny stan techniki w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej w Unii [19]. Wymagania dla opraw oświetleniowych określono w normach zharmonizowanych [20]: PN-EN IEC 55015:2019 [21], PN-EN 61547:2009 [22], EN 61000-3-2:2014 [23], EN 61000-3-3:2013 [24]. Warto zauważyć, że normy zharmonizowane nie zawsze odnoszą się do najnowszych wydań norm, np. w 2019 r. została wydana EN IEC 61000-3-2:2019, jednak nie została ona jeszcze zharmonizowana (tj. zawarta w dzienniku urzędowym).

Norma PN-EN IEC 55015:2019 [21] określa poziomy dopuszczalne emisji dla urządzeń oświetleniowych oraz metody pomiarowe zaburzeń radioelektrycznych. W przypadku złożonych urządzeń ważnym czynnikiem,

decydującym często o kosztach badań, jest właściwe przygotowanie urządzenia do testów.

Zgodnie z punktem 7.5 normy PN-EN IEC 55015:2019 [21] jeśli urządzenie posiada różne tryby pracy, badanie należy przeprowadzić w najgorszym, pod kątem kompatybilności elektromagnetycznej, trybie pracy. Najgorszy tryb pracy należy ustalić na podstawie wyników uzyskanych przy wstępnym skanowaniu każdego potencjalnie najgorszego trybu pracy.

Jako przykład trybu pracy w punkcie 7.5 [21] został wymieniony tryb „zmiana koloru”, co wywołało wiele pytań przy interpretacji wymagań normy. W arkuszu interpretacyjnym 1 [21] została wyjaśniona kwestia trybu „zmiana koloru”. Zgodnie z tym arkuszem tryb „zmiana koloru” jest trybem w którym, kolory są ciągle przełączane. Jeśli jest emitowany jeden stabilny kolor lub stała temperatura barwowa, nie uznaje się takiego trybu za tryb „zmiana koloru”. Jednak nadal pozostaje pytanie w jakiej nastawie należy wykonać badanie oprawy. W arkuszu interpretacyjnym 1 [21] stwierdzono, że ryzyko nieuchwycenia maksymalnego poziomu zaburzeń elektromagnetycznych na skutek różnych ustawień kolorów lub temperatury barwowej jest bardzo małe, pod warunkiem, że działają wszystkie kanały sterownika LED służące do zmiany koloru. Dodatkowo, jeśli oprawa ma funkcje ściemniania, to ma zastosowanie punkt 7.4 [21], czyli należy również wykonać badania dla maksymalnego i minimalnego poziomu świecenia.

W przypadku zmiany barwy cieplnej, co najczęściej stosuje się w oprawach HCL, dla różnych temperatur barwowych kanały mogą być obciążone w różnym stopniu, co może wpływać na wyniki pomiarów. Szczególnie może być to istotne jeśli uzyskany wynik jest bardzo blisko poziomu dopuszczalnego. W artykule przeanalizowano różnice w poziomach emisji zaburzeń promieniowanych dla kilku ustawień obciążenia kanałów, generowanych przez przykładowy prototyp oprawy HCL.

Źródła światła stosowane w oprawach HCL

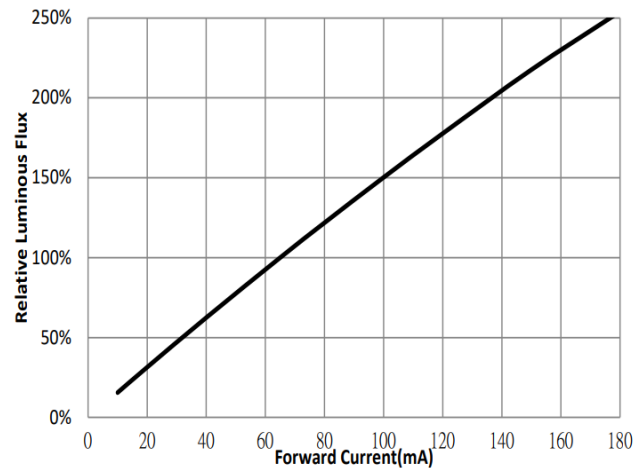
Najczęściej spotykane źródła światła w oprawach HCL, to moduły LED, które zawierają diody LED ciepłej i zimnej barwy [9]. Takie podejście jest nazywane Tunable White (TW) [9]. Producenci diod LED proponują specjalne diody do takich rozwiązań, np. Nichia w swojej ofercie ma zestaw dwóch diod Dynasolis [26].

Wadą rozwiązania TW z użyciem tylko dwóch rodzajów diod jest słabe dopasowanie do krzywej Plancka w układzie CIE (black body locus). Przy stosowaniu dwóch białych diod o ciepłej (np. 2700 K) i zimnej (np. 6500 K) temperaturze barwowej poruszamy się po prostej na palecie kolorów CIE1931 między współrzędnymi xy diod. Niekiedy pojawia się różowe światło w okolicach środka zakresu świecenia oprawy. Z tego powodu powstają liczne rozwiązania z trzema i więcej rodzajami diod użytymi w źródle światła. W celu uzyskania spektrum o zadanej charakterystyce mogą być używane kolorowe diody [27],[28]. Również są stosowane 5-kanałowe źródła światła składające się z czerwonych, zielonych, niebieskich diod oraz diod białych o ciepłej i zimnej barwie. Takie systemy pozwalają zachować wysoki współczynnik oddawania barw oraz zbieżność z krzywą Plancka w układzie CIE (black body locus) [29].

Układy sterowania w oprawach HCL

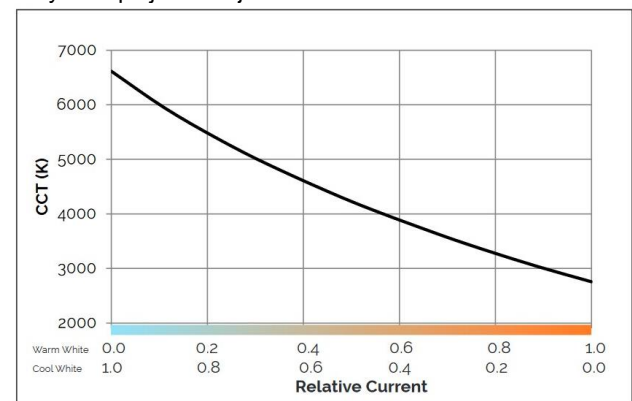
Wadą rozwiązań ze zwiększoną liczbą rodzajów diod w źródle światła jest złożony algorytm sterowania [12], [33]. W przypadku rozwiązań TW z użyciem tylko diod o ciepłej i zimnej barwie sterowanie kolorem jest stosunkowo proste. Barwa cieplna zależy od proporcji strumienia z diod o ciepłej i zimnej barwie, które następnie przez system optyczny oprawy miesza się. Jak wiadomo poziom

świecenia diody zależy w przybliżeniu liniowo od prądu. Na Rys. 1 pokazano zależność poziomu świecenia od prądu dla diody Bridgelux BXFN.



Rys.1. Zależność strumienia z diody od prądu na przykładzie diody Bridgilux BXFN [34]

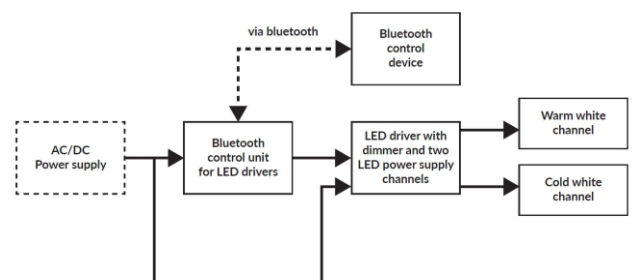
Na Rys. 2 pokazana została przykładowa zależność temperatury barwowej światła od prądu podawanego na diody o ciepłej i zimnej barwie.



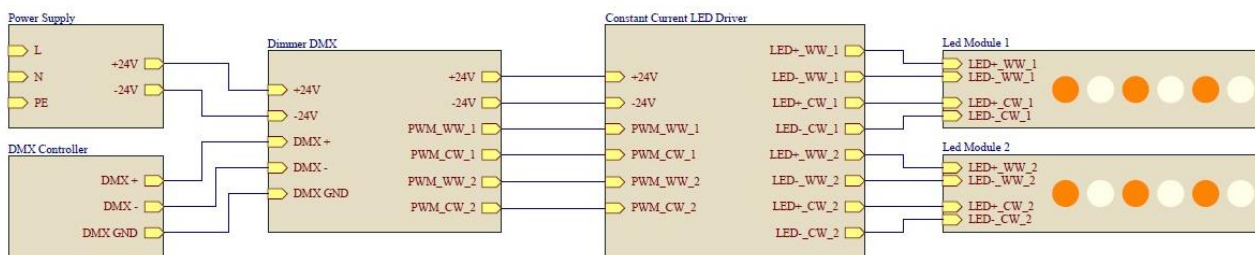
Rys.2. Zależność temperatury barwowej od prądu podawanego na diodę o ciepłej lub zimnej barwie na przykładzie diody Bridgilux Vesta SE Series Tunable White [35]

W pracy skupiono się na oprawach typu TW realizowanych przy użyciu źródeł światła z diodami LED o ciepłej i zimnej barwie. Popularność takich rozwiązań w dużym stopniu jest związana z otrzymaniem światła akceptowalnej jakości (rozbieżność z krzywą Plancka z reguły jest akceptowalna przez użytkownika), prostotą układu sterowania i niższą ceną w porównaniu do bardziej złożonych systemów.

Przykładowy system TW (Rys. 3) oferowany przez LUG Light Factory Sp z o.o. składa się z zasilacza AC/DC, urządzenia sterującego, jednostki sterującej pracą dwukanałowego zasilacza LED oraz źródeł światła.



Rys.3. Schemat blokowy systemu sterowania oświetleniem TW



Rys.4. Schemat blokowy systemu sterowania oświetleniem TW przy użyciu technologii DMX

Przedstawiony system sterowania używa bezprzewodowej technologii Bluetooth do sterowania oprawami TW. W zależności od preferencji klienta system może być zrealizowany przy użyciu technologii DMX.

Na Rys. 4 przedstawiono system sterowania oświetleniem TW z użyciem technologii DMX. Użycie czterokanałowego zasilacza stałoprądowego pozwala stworzyć oprawę z najprostszym wariantem TW (dwa rodzaje diod, Rys. 4), tak i z bardziej złożonym układem optycznym.

W ramach projektu naukowo-badawczego pt. „Prace rozwojowe w zakresie badań przemysłowych i eksperymentalnych w sprawie rozwoju rozwiązań oświetleniowych w zakresie personalizacji oświetlenia, z uwzględnieniem chronobiologii – możliwe implikacje w zakresie innowacyjności opraw oświetleniowych” (Umowa nr RPLB.01.01.00-08.0023/19-01), Osi Priorytetowej 1. Gospodarka i innowacje, Działanie 1.1 Badania i innowacje Regionalnego Programu Operacyjnego – Lubuskie 2020, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, z różnych rodzin LUG Light Factory Sp. z o.o. zostały opracowane oprawy i są dostępne w wersjach TW przystosowanych do HCL [30], [31], [32]. Jako przykład możliwych trudności związanych ze spełnieniem wymagań dotyczących emisji promieniowanej, będą przedstawione badania systemu sterowania TW wykorzystanego w tych oprawach i przedstawione na Rys.4.

Opis badanego obiektu

Badania zostały wykonane po implementacji dimmera DMX, zasilacza stałoprądowego DC/DC oraz modułów LED do oprawy Volica [30]. Dwa kanały zostały użyte do sterowania diodami o barwie 2700 K i dwa kolejne kanały do sterowania diodami o barwie 6500 K.

Maksymalny prąd na kanał dla modułów w tej oprawie wynosi 180 mA. System pozwala na ściemnienie oprawy. W zastosowanym zasilaczu stałoprądowym DC/DC używany jest wyłącznie liniowy sposób zmniejszenia poziomu świecenia (bez użycia PWM).

Do testów zostały wybrane nastawy opisane w Tabeli 1. I zdefiniowane jako tryby pracy badanego urządzenia, tak aby umożliwić zbadanie oprawy przy symetrycznym i asymetrycznym obciążeniu kanałów, dla trzech poziomów świecenia (100%, 50%, 10%).

Niniejsza praca nie skupia się na takich aspektach jak dokładne ustalenie pożądanej temperatury barwowej oraz strumienia światła (lm). Dla wygody posługiwano się prądami względnymi podawanym na diody ciepłej lub zimnej barwy. Na przykład, tryb P1 definiuje świecenie oprawy wyłącznie barwą ciepłą. Przy takiej konfiguracji prąd na kanałach sterujących barwą ciepłą wynosi 180 mA (maksimum), poziom świecenia jest równy 100%. W przypadku trybu P4, nadal włączone są tylko diody o ciepłej barwie, jednak prąd na kanałach dla tych diod wynosi 18 mA (10% maksimum), poziom świecenia jest więc równy 10%. W przypadku mieszania barw, np. tryb P3,

gdy aktywne są oba kanały sterujące diodami i poziom świecenia wynosi 100%, żeby zachować porównywalny poziom świecenia do trybu P1, na każdy kanał diod o ciepłej i zimnej barwie jest podawany prąd 90 mA.

Tabela 1. Tryby pracy oprawy wybrane do testu emisji promieniowanej

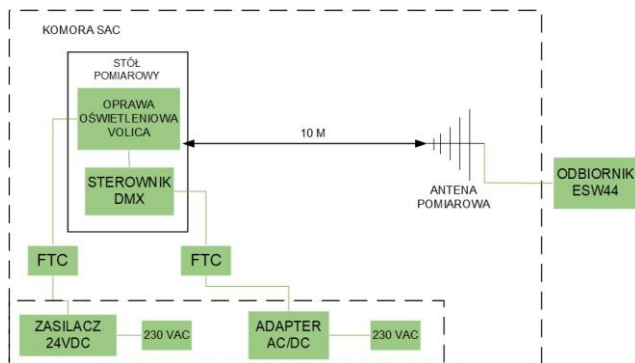
| Tryb | Prąd względny [%] Barwa ciepła | Prąd względny [%] Barwa zimna | Poziom świecenia [%] |
|------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| P1 | 100 % | 0 % | 100 % |
| P2 | 0 % | 100 % | 100 % |
| P3 | 50 % | 50 % | 100 % |
| P4 | 100 % | 0 % | 10 % |
| P5 | 0 % | 100 % | 10 % |
| P6 | 50 % | 50 % | 10 % |
| P7 | 80 % | 20 % | 100 % |
| P8 | 80 % | 20 % | 50 % |
| P9 | 80 % | 20 % | 10 % |

Stanowisko pomiarowe

Badania wykonano w komorze SAC (semi – anechoic chamber) w Laboratorium Kompatybilności Elektromagnetycznej Politechniki Wrocławskiej, bazując na wymaganiach norm PN-EN 55015 [21] oraz PN-EN 55016-2-3 [25]. Antena pomiarowa znajdowała się w odległości 10 m od badanego obiektu, wysokość anteny w pomiarach wstępnych była zmieniana od 1 m do 4 m, z krokiem 1 m. Podczas testów oprawa Volica oraz sterownik DMX zostały umieszczone na dielektrycznej podstawie, na wysokości 0,8 m. Wpływ zasilaczy, które zasilają sterownik DMX oraz oprawę Volica, na wyniki pomiarów został zminimalizowany poprzez umieszczenie ich w panelach penetrujących, znajdujących się w podłodze komory SAC. W celu filtracji zaburzeń pochodzących od wyżej wymienionych zasilaczy zastosowano klamry FTC (Ferrite Tube Clamp). EUT (Equipment Under Test - badane urządzenie) badano w jednej pozycji. Element świecący oprawy był skierowany do góry (Rys. 5) – zgodnie z wymaganiami normy dotyczącymi ułożenia oprawy i skierowania jej strumienia świetlnego zawartych w załączniku C normy PN-EN 55015 [21]. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego zaprezentowano na Rys. 6.



Rys.5. Stanowisko pomiarowe w komorze SAC



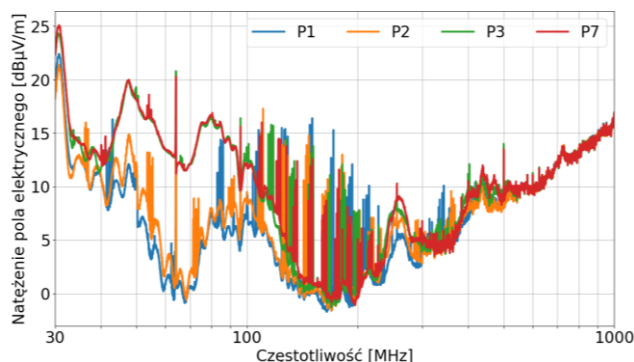
Rys.6. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego

Analiza wyników

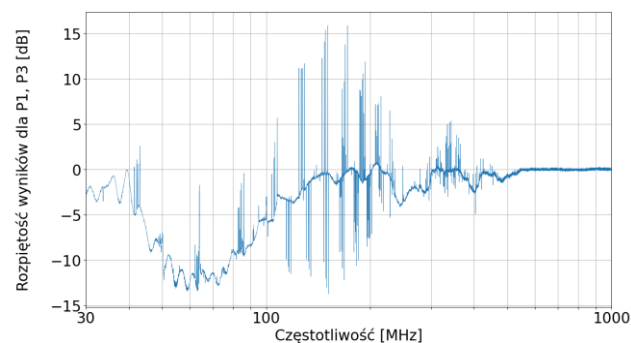
Na Rys.7 i Rys.9 przedstawiono wyniki otrzymane dla różnych nastaw temperatury barwowej i dla poziomów świecenia odpowiednio 100% i 10%. Tryby pracy z aktywnymi wszystkimi kanałami charakteryzują się wyższym poziomem mierzonych zaburzeń, w stosunku do trybów pracy, w których aktywna jest część kanałów (włączona jedna barwa diod), zarówno przy poziomie świecenia 100% jak i 10%. Różnice między trybem P1 (tylko jeden rodzaj diod - barwa ciepła) i P3 (równy prąd względny w obu kanałach), czyli dla poziomu świecenia 100%, wyniosły nawet 13,4 dB dla częstotliwości 63,09 MHz (Rys.8.). Największe różnice w wynikach są widoczne w zakresie częstotliwości od 30 MHz do 300 MHz. W Tabeli 2 dla wybranych częstotliwości zaprezentowano wartości natężenia pola zmierzone detektorem wartości quasi-szczytowych. Różnica pomiędzy poszczególnymi trybami może wynosić nawet 15,4 dB. Co oznacza ponad 4-ro krotną zmianę mierzonego natężenia pola. Dla wyższych częstotliwości, z zakresu od 300 MHz do 1000 MHz, nie zaobserwowano znaczących różnic w mierzonych wartościach natężenia pola elektromagnetycznego, dlatego w niniejszym artykule pominięto dyskusję dotyczącą rozbieżności w tym zakresie częstotliwości.

Na Rys.10. przedstawiono wyniki dla poziomów świecenia 100% (P3) oraz 10% (P6) i dla nastawy 50% prądu względnego dla kanałów ciepłej i zimnej barwy. Otrzymane wyniki są bardzo zbliżone, bez względu na zmianę poziomu świecenia. Pozornie istotne różnice, rzędu 10 dB, można zaobserwować dla częstotliwości z zakresu 95 MHz – 280 MHz (Rys.11), jednak są one głównie spowodowane przesunięciem częstotliwości rezonansowej, dla których zaobserwowano wystąpienie ekstremów (maksimum i minimum) poziomu zaburzenia. Dla pozostałych częstotliwości, tj. z zakresu do 300 MHz, różnice względne nie przekraczają 5 dB. Warto zaznaczyć, że niepewność pomiarowa dla stanowiska, na którym był wykonywany pomiar, wynosi 4,25 dB. Różnice względne

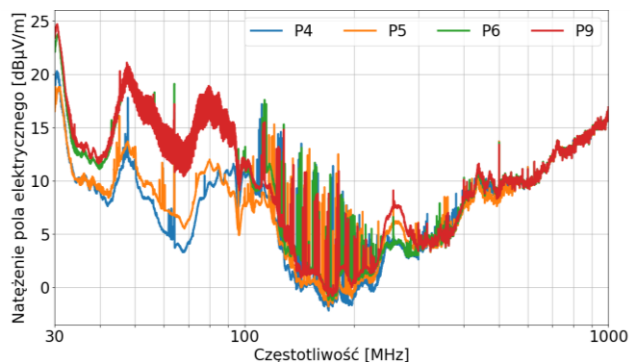
poniżej tej wartości należy traktować jako przypadkowy rozrzut, a nie efekt zmiany trybu świecenia.



Rys.7. Wyniki pomiarów emisji zaburzeń promieniowanych dla różnych nastaw temperatury barwowej z poziomem świecenia 100%



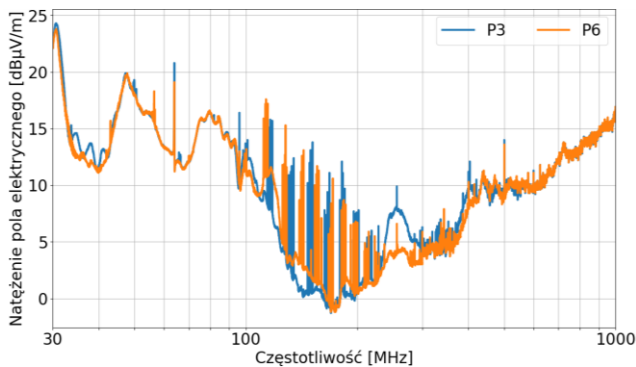
Rys.8. Rozpiętość wyników dla poziomu świecenia 100% i aktywnego kanału barwy ciepłej (P1) oraz symetrycznego obciążenia obu kanałów (P3)



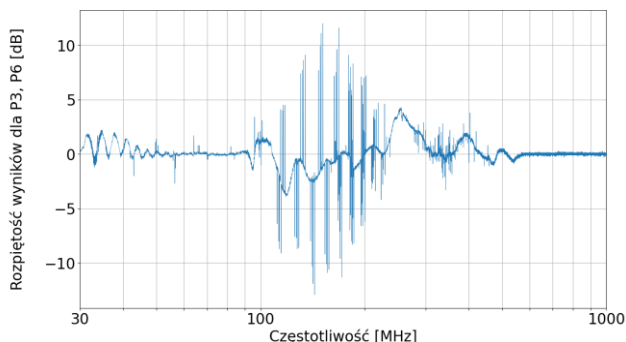
Rys.9. Wyniki pomiarów emisji zaburzeń promieniowanych dla różnych nastaw temperatury barwowej z poziomem świecenia 10%

Tabela 2. Poziomy emisji zaburzeń zarejestrowane detektorem wartości quasi-szczytowej (wyniki dla badań końcowych) dla wybranych częstotliwości

| Częstotliwość [MHz] | Poziom natężenia pola zarejestrowanego detektorem wartości quasi-szczytowej dla poszczególnych trybów pracy [dB(μV/m)] | | | | | | | | Rozpiętość wyników pomiędzy trybami [dB] |
|---------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P9 | |
| 30,48 | 22,1 | 20,5 | 24,2 | 20 | 18,2 | 23,6 | 24,9 | 24,7 | 6,7 |
| 47,88 | 12 | 14,4 | 19,6 | 12,2 | 13,4 | 19,7 | 19,8 | 20,7 | 8,7 |
| 63,30 | -0,6 | 0,8 | 12,7 | 4,5 | 6,8 | 12,8 | 12,9 | 14,8 | 15,4 |
| 80,31 | 7,5 | 7,9 | 16,3 | 9,9 | 11,8 | 16,3 | 16,7 | 18,8 | 11,3 |
| 265,05 | 7,4 | 8,9 | 9,9 | 6,7 | 8,3 | 6,6 | 10,3 | 9,1 | 3,7 |



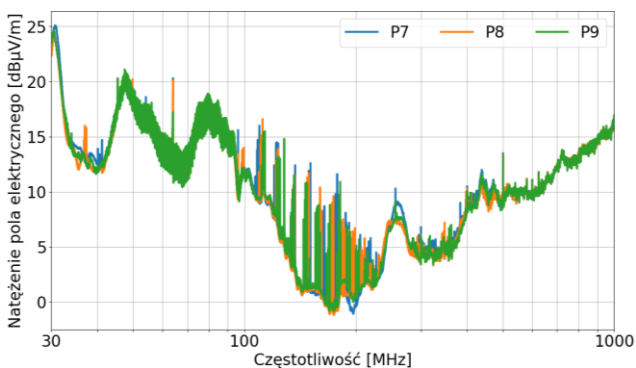
Rys.10. Wyniki pomiarów emisji zaburzeń promieniowanych dla wybranej temperatury barwowej oraz poziomów świecenia 100% (P3) i 10% (P6)



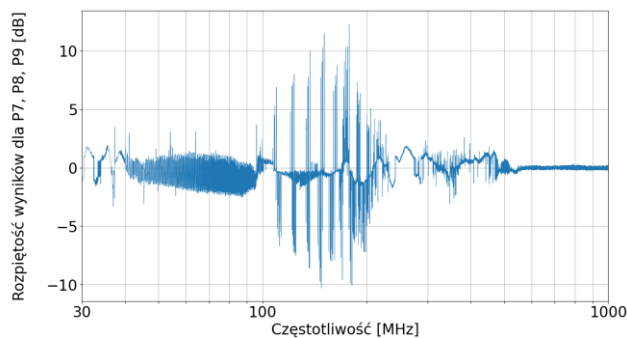
Rys.11. Rozpiętość wyników dla wybranej temperatury barwowej oraz poziomów świecenia 100% (P3) i 10% (P6)

Na Rys.12. przedstawiono wyniki dla poziomów świecenia 100% (P7), 50% (P8), 10% (P9) oraz ustawień prądu względnego w kanałach 80% dla ciepłej barwy i 20% dla barwy zimnej. Dla tego przypadku rozkładu prądów względnych w kanałach, rozpiętość zmierzonych poziomów zaburzeń (Rys.13.) wygląda podobnie do analizowanego wcześniej przykładu (Rys.11.). Oznacza to, że zmiana stosunku rozkładów prądów względnych w kanałach nie wpływa w sposób istotny na poziom emitowanych zaburzeń w rozważanym zakresie częstotliwości. Ze wskazaniem na większe różnice w rozpiętości wyników przy równomiernym rozkładzie prądów.

Należy zwrócić uwagę, że dla EUT pracującego w trybie P9, w zakresie częstotliwości od 40 MHz do 100 MHz, uzyskany wynik pomiaru wykazuje charakter harmoniczny, tworząc widmo grzebieniowe z krokiem około 22 kHz. Może to wynikać z niestabilności pracy układu zasilającego moduły LED, z powodu zbyt niskich prądów na obciążeniu. Projekt oprawy jest wersją prototypową, dla finalnej wersji produktu nastawy brzegowe, powodujące niestabilną pracę urządzenia są niedostępne dla użytkownika.



Rys.12. Wyniki pomiarów emisji zaburzeń promieniowanych dla wybranej temperatury barwowej i poziomów świecenia 100% (P7), 50% (P8) oraz 10% (P9)



Rys.13. Rozpiętość wyników dla wybranej temperatury barwowej i poziomów świecenia 100% (P7), 50% (P8) oraz 10% (P9)

Wnioski

W pracy przedstawiono wyniki badań emisji promieniowanej (30 MHz – 1 GHz) oprawy HCL, dla której istnieje możliwość regulacji temperatury barwowej oraz poziomu świecenia z wykorzystaniem metody TW. Na podstawie wyników pomiarów stwierdzono, że największe poziomy zaburzeń otrzymano dla trybów pracy, w których aktywne były wszystkie kanały sterownika LED służące do zmiany koloru. Bazując na uzyskiwanych wynikach można zatem stwierdzić, że badanie emisji urządzeń oświetleniowych niezgodnie z wymaganiami normy [21], a więc bez włączenia wszystkich kanałów sterujących modułami oświetleniowymi, może doprowadzić do uzyskania wyniku fałszywie pozytywnego.

Różnice w mierzonych poziomach natężenia pola elektrycznego pomiędzy trybami z aktywnymi wszystkimi kanałami i przy zmianie poziomu świecenia (np. pomiędzy P3, a P7 oraz P6, a P9) okazały się niewielkie (około 3 dB). Należy podkreślić, że dokładne sprawdzenie i wytypowanie najgorszego przypadku może być istotne, jeśli uzyskane wyniki pomiarów wstępnych osiągają poziom stosunkowo niewiele poniżej poziomów dopuszczalnych emisji określonych dla urządzeń oświetleniowych w rozważanym zakresie częstotliwości.

W badanym przypadku dla maksymalnego i minimalnego poziomu świecenia zaobserwowano w poziomie mierzonych zaburzeń różnice wynoszące maksymalnie 5 dB. Obserwowane maksymalne zaburzenia uzyskano dla poziomu świecenia 100%.

Zbadanie EUT zgodnie z wymaganiami, w tym znalezienie najgorszego trybu pracy urządzenia pod kątem emitowanych zaburzeń jest czasochłonne i często kosztowne. Możliwe jest zastosowanie podejścia bazującego na ocenie ryzyka, np. takiego jak opisane w normie medycznej PN-EN 60601-1-2, w celu ograniczenia końcowej liczby konfiguracji (nastaw dla różnych poziomów świecenia i ściemniania) przewidzianej do badań wstępnych pozwalających na wytypowanie najgorszego przypadku.

Autorzy chcieli podziękować za udzielenie do badań aparatury zakupionej przez Politechnikę Wrocławską w ramach EMC-LabNet (POIR.04.02.00-02-A007/16) oraz udostępnienie przez firmę LUG sp. z o.o. prototypu oprawy HCL powstałego w ramach realizacji projektu RPLB.01.01.00-08.0023/19-01

Autorzy: dr inż. Olena Hebda, LUG Light Factory Sp. z o.o., Laboratorium, ul. Gorzowska 11, 65-127 Zielona Góra, E-mail: olena.hebda@lug.com.pl; mgr inż. Damian Kaliszuk, Politechnika Wrocławska, Wydział Informatyki i Telekomunikacji, Laboratorium Kompatybilności Elektromagnetycznej, ul. Janiszewskiego 11A, 50-370 Wrocław, E-mail: damian.kaliszuk@pwr.edu.pl; mgr inż. Maciej Macko, Politechnika Wrocławska, Wydział Informatyki i Telekomunikacji, Laboratorium Kompatybilności Elektromagnetycznej, ul. Janiszewskiego 11A, 50-370 Wrocław, E-mail: maciej.macko@pwr.edu.pl

LITERATURA

- [1] Tähkämö L., Sustainable residential lighting practices and light pollution. *In Proceedings of the 9th international conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting (EEDAL '17)*, Part III (2017), 1147-1160
- [2] Salgado-Delgado R., Osorio A. T., Saderi N., Escobar C., Disruption of Circadian Rhythms: A Crucial Factor in the Etiology of Depression, *Corporation Depression Research and Treatment*, 1 (2011), 1-9
- [3] Gale J.E., Cox H.I., Qian J., Block G.D., Colwell C.S., Matveyenko A.V., Disruption of circadian rhythms accelerates development of diabetes through pancreatic beta-cell loss and dysfunction, *Journal of Biological Rhythms*, 26(5) (2011), 423-433
- [4] Shanmugam V., Wafi A., Al-Taweel N., Büsselberg D., Disruption of circadian rhythm increases the risk of cancer, metabolic syndrome and cardiovascular disease, *Journal of Local and Global Health Science*, 2013(1), 1-42
- [5] Berson D. M., Dunn F. A., Takao M., Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock, *Science*, 295(5557) (2022), 1070-1073
- [6] Bedrosian T. A., Nelson R. J., Influence of the modern light environment on mood, *Molecular Psychiatry*, 18 (2013), 751-757
- [7] van Bommel, W., Human-Centric Lighting, *Encyclopedia of Color Science and Technology*, Springer, Berlin, Heidelberg, (2022)
- [8] Glotzbach S. F., Rowlett E. A., Edgar D. M., Moffat R. J., Ariagno R. L., Light variability in the modern neonatal nursery: Chronobiologic issues, *Medical Hypotheses*, 41(3) (1993), 217-224
- [9] Sobol M., Hebda O., Rybski Ł., Human centric lighting luminaires: practical design, *Technical Transactions*, 121 (2024), no. 1, 1-17
- [10] Lee A., Huanting Ch., Siew-Chong T., Hui S.Y., Precise Dimming and Color Control of LED Systems Based on Color Mixing. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31 (2015), 65-80
- [11] Gilman J, Miller M, Grimaila M., A simplified control system for a daylight-matched LED lamp, *Lighting Research & Technology*, 45(5) (2013), 614-629
- [12] Malik R., Ray K., Mazumdar S. A Low-Cost, Wide-Range, CCT-Tunable, Variable-Illuminance LED Lighting System, *LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America*, 16(12) (2019), 1-20
- [13] Maiti Pr. Kr., Roy B. Development of Dynamic Light Controller for Variable CCT White LED Light Source, *LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America*, 11(4) (2014), 209-222
- [14] Das B., Mazumdar S. Low cost, high color rendition, CCT variable lighting system based on W-G-B LED, *Optik*, 231 (2021), 1-13
- [15] Zissis G., Bertoldi P., Serrenho T., Update on the status of LED-lighting world market since 2018, JRC technical report, *European Commission, Joint Research Centre*, (2021)
- [16] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/35/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku sprzętu elektrycznego przewidzianego do stosowania w określonych granicach napięcia
- [17] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2011/65/UE z dnia 8 czerwca 2011 r. w sprawie ograniczenia stosowania niektórych niebezpiecznych substancji w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym
- [18] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią
- [19] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/30/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej (wersja przekształcona)
- [20] Summary of references of harmonised standards published in the Official Journal – Directive 2014/30/EU1 of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility, Brussels, 19.9.2022
- [21] PN-EN IEC 55015:2019 Poziomy dopuszczalne i metody pomiaru zaburzeń radioelektrycznych wytwarzanych przez elektryczne urządzenia oświetleniowe i urządzenia podobne
- [22] PN-EN-61547:2009 – Sprzęt do ogólnych celów oświetleniowych – Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej
- [23] PN-EN 61000-3-2:2014-10, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 3-2: Poziomy dopuszczalne – Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznego prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika 16 A)
- [24] PN-EN 61000-3-3:2013-10, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 3-3: Poziomy dopuszczalne – Ograniczanie zmian napięcia, wahań napięcia i migotania światła w publicznych sieciach zasilających niskiego napięcia, powodowanych przez odbiorniki o fazowym prądzie znamionowym 16 A przyłączone bezwarunkowo
- [25] PN-EN 55016-2-3:2017 - Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia -- Część 2-3: Metody pomiaru zaburzeń i badania odporności -- Pomiar zaburzeń promieniowanych
- [26] Nichia Dynasolis White Paper. Dynasolis as a Tre Human Centric Lighting Solution. Nichia corporation. https://led-ld.nichia.co.jp/api/docs/Nichia_Dynasolis_White_Paper_E.pdf data dostępu: 15.06.2024
- [27] Yoon S., Cha J., Mariappan V., Lee M., Kim J., Woo G., Lee S., Indoor Surveillance Camera based Human Centric Lighting Control for Smart Building Lighting Management, *International Journal of Advanced Culture Technology*, 8 (2020), no. 1, 207-212
- [28] Cupkova D., Kajáti E., Mocnej J., Papcun P., Koziorek J., Zolotová I., *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 15 (2019) is. 9, 1-9
- [29] Nie J., Zhou T., Chen Zh., Dang W., Jiao F., Zhan J., Chen Y., Chen Y., Pan Z., Kang X., Wang Y., Wang Q., Dong W., Zhou Sh., Yu X., Zhang G., Shen B., Investigation on entraining and enhancing human circadian rhythm in closed environments using daylight-like LED mixed lighting, *Science of The Total Environment*, 732 (2020), 1-11
- [30] Volica 2.0, <https://www.lug.com.pl/pl/produkty/oprawy-i-systemy-liniowe/volica/volica-2-0-tunable-white-led> data dostępu: 15.06.2024
- [31] Softielight tunable white <https://www.lug.com.pl/pl/produkty/oprawy-rastrowe-i-modulowe/softielight/softielight-tunable-white-owe-i-modulowe> data dostępu: 15.06.2024
- [32] Tlon 2.0 <https://www.lug.com.pl/pl/produkty/oprawy-dekoracyjne/tlon/tlon-2-0-tunable-white>, data dostępu: 15.06.2024
- [33] Tanaka M., Horiuchi T., Tominaga Sh., Color control of a lighting system using RGBW LEDs, *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. (2011), 1-9
- [34] Karta katalogowa Bridgelux https://www.bridgelux.com/sites/default/files/resource_media/D_S502%20SMD%202835%200.2W%203V%2065mA%20%20C-R190%20BXXFN-XXG-11L-3C3%20Data%20sheet%20Rev%20A%2020210610.pdf data dostępu: 15.06.2024
- [35] Karta katalogowa Bridgelux Vesta SE Series Tunable White https://www.bridgelux.com/sites/default/files/resource_media/D_S363%20Bridgelux%20Vesta%20S2%20Series%20Tunable%20White%2015mm%20Array%20Gen%202%20Data%20Sheet%2020210831%20Rev%20B.pdf data dostępu: 15.06.2024