

OLED-y w oświetlaniu wnętrz muzealnych

Zbigniew PORADA

Wprowadzenie

Oświetlenie w muzeum ma decydujące znaczenie dla właściwej prezentacji wystawianych eksponatów, tworzy nastrój i klimat we wnętrzu oraz umożliwia skupienie uwagi na oglądanych przedmiotach. Światło nie tylko eksponuje obiekt, ale również prowadzi zwiedzającego przez wystawę, zwiększa jego gotowość do estetycznych przeżyć oraz podkreśla architekturę wnętrza. Muzea i galerie obrazów były wcześniej oświetlane niemal wyłącznie światłem naturalnym. Dziś natomiast oświetlenie sztuczne stwarza dużo lepsze warunki ekspozycji i daje większą możliwość wykorzystania istniejącej przestrzeni.

Stosowane światło powinno współgrać z prezentowanymi eksponatami, ale w taki sposób, aby nie pełniąc funkcji dominującej być ich uzupełnieniem, zwiększającym też odczuwanie przeżyć estetycznych przez widza. Przy projektowaniu oświetlenia należy kierować się nie tylko normatywnymi zasadami oświetlenia [1-3], ale konieczne jest również uwzględnienie zagadnień konserwatorskich (wrażliwość obiektów na promieniowanie optyczne), a także z zakresu estetyki. Zasady dotyczące oświetlenia w obiektach muzealnych i galeriach wynikają przede wszystkim z uwarunkowań fizjologicznych i estetycznych człowieka – widza. Wyróżnia się tutaj zasadę wystarczającej luminancji, równomiernej luminancji otoczenia, dostatecznego kontrastu oraz unikania zbyt małych rozmiarów kątowych szczegółów.

Promieniowanie elektromagnetyczne naturalnego źródła światła, jakim jest Słońce, a także elektrycznych źródeł światła, oprócz promieniowania widzialnego, posiada także w swoim spektrum fale, które oddziałują niszcząco w wyniku kontaktu z oświetlanymi powierzchniami. Szczególnie niebezpieczne jest promieniowanie podczerwone (IR) oraz ultrafioletowe (UV), zwłaszcza w zakresie tzw. średniego i dalekiego nadfioletu. Szkodliwość ich działania jest tym większa, im: obiekty są bardziej wrażliwe na światło, czas wystawiania na promieniowanie jest dłuższy, moc źródła światła jest większa, równomierność natężenia promieniowania jest mniejsza, temperatura, wilgotność i zanieczyszczenie otoczenia są większe od dopuszczalnych.

Promieniowanie nadfioletowe może wywołać w oświetlanym obiekcie reakcje fotochemiczne, które zachodzą szybciej przy mniejszej długości fali. Natomiast promieniowanie podczerwone, o mniejszej energii, może wpływać na zwiększenie temperatury obiektów ponad panującą we wnętrzu. Proces ten jest tym silniejszy, im ciemniejsze są barwy eksponatów. Zarówno promieniowanie IR jak i UV jest niewidzialne, więc staje się bezużyteczne do oświetlania zbiorów. Mając na uwadze powyższe zagrożenia należy dążyć do eliminacji lub ograniczania szkodliwych wpływów promieniowania optycznego.

Można to osiągnąć między innymi, przez zastosowanie specjalistycznych opraw LED jak również paneli ze strukturami OLED, które charakteryzują się brakiem emisji szkodliwych długości fal (IR oraz UV).

Właściwe rozróżnianie przedmiotów w znacznym stopniu jest zależne od natężenia oświetlenia, a wartość tego parametru należy określać indywidualnie dla każdego dzieła sztuki. Dolna granica natężenia oświetlenia jest wyznaczana dla możliwie dobrego rozróżniania szczegółów, a górna wynika ze skutków działania światła na eksponat. Ponadto ważna jest też równomierność oświetlenia dotycząca płaszczyzny oświetlanej, jak również całego pomieszczenia. W przypadku muzeów i galerii w niektórych wnętrzach odchodzi się jednak od równomierności oświetlenia otoczenia w celu osiągnięcia swobodnego nastroju w wybranym pomieszczeniu.

Jednym z istotniejszych problemów oświetlenia w obiektach muzealnych jest stopień oddawania barw oraz barwa światła, od której zależy właściwe odtworzenie barw na powierzchni prezentowanych eksponatów. Wrażenie barwne powstające w trakcie oglądania eksponatów zależy zarówno od charakterystyki widmowej światła padającego na eksponat, jak również od parametrów odbiciowych samego eksponatu.

Ponieważ każde muzeum, w zależności od prezentowanych zbiorów, wymaga innego rodzaju oświetlenia, nie powinno się stosować szablonowych projektów oświetlenia. Najpierw należy dobrać oświetlenie dla konkretnych eksponatów, a następnie dopasować je do całej sali [2].

Stosowane źródła światła powinny być możliwie wysokiej jakości, najlepiej pozbawione ultrafioletu, nie wydzielające gazów (ozonu), nie nagrzewające się i dające stabilne światło.

Ponadto, w odniesieniu do źródeł, w wielu przypadkach konieczna jest kontrola i rejestracja tzw. luksogodzin przypadających w ciągu roku na konkretny eksponat.

Współczynnik oddawania barw

Jednym z najważniejszych czynników wpływających na jakość oświetlenia muzealnego jest zdolność właściwego oddawania barw oświetlanych obiektów, a w pewnych przypadkach również uwypuklenia charakterystycznych dla danego obiektu kolorów.

Ponieważ pojęcie „właściwego oddawania barw” jest parametrem subiektywnym, już w 1965 roku Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa (CIE) zdefiniowała sposób określania jakości oddawania barw przez źródło światła jako indeks CRI (Color Rendering Index). W uproszczeniu, przywołany parametr bazuje na subiektywnej ocenie jakości oddawania barw dla zdefiniowanej próbki 8 pastelowych kolorów w porównaniu z idealnym źródłem światła za jakie przyjęto słońce.

W związku z wprowadzanymi w ciągu kolejnych lat na rynek nowymi źródłami światła, ilość próbek została rozszerzona do 14, a w roku 1991 definicję zmieniono dodając 5 kolejnych wzorcowych źródeł światła o różnych temperaturach barwowych (CCT) i zmniejszając jednocześnie do 10 ilość zdefiniowanych próbek. Pomimo tych zmian indeks CRI nie pozwala obecnie na obiektywną ocenę wszystkich źródeł światła i budzi coraz więcej wątpliwości. Jedną z przyczyn jest brak możliwości porównywania źródeł o różnych CCT, czy też oceny źródeł emitujących światło nie znajdujące się na ścieżce Plankiana. Dlatego w miejscu tak szczególnym jak muzeum, przy doborze oświetlenia nie należy kierować się indeksem CRI, ale przede wszystkim subiektywnym odbiorem przez zwiedzających.[2, 3].

W muzeum zadaniem światła jest skierowanie uwagi na konkretne obiekty poprzez jego odpowiednie ukierunkowanie i wprowadzenie (dla podniesienia atrakcyjności oświetlanego obiektu) odpowiednich kolorów.

Sposoby iluminacji ekspozycji

Poprawna realizacja iluminacji ekspozycji muzealnych powinna umożliwiać stosowanie minimum trzech poziomów oświetlenia w tym do oświetlania eksponatów – najwyższą jasność, dla ciągów komunikacyjnych – średni poziom jasności oraz dla tła (ściany pomieszczeń) – najniższą jasność. Poza tym dla każdego źródła światła powinna istnieć możliwość doboru jasności i kąta rozsyłu jak również doboru charakterystyki spektralnej oraz równomiernego rozkładu luminacji oświetlanego obiektu.

Oświetlenie muzealne powinno stanowić kompromis pomiędzy wrażeniem wizualnym a wymogami konserwacji. Światło musi mieć wystarczającą moc i jakość, aby odwiedzający mógł w odpowiedni sposób zapoznać się z wystawą. Z drugiej strony, energia świetlna jaka pada na obiekty powinna być ograniczona do minimum, aby wyrządzane przez nią szkody

były jak najmniejsze. Żeby osiągnąć tę równowagę, ustalono międzynarodowe wytyczne dla oświetlenia muzeów.

Dla bardzo wrażliwych materiałów, takich jak papier, akwarele, farbowane pióra czy bursztyn, poziom światła nie powinien przekraczać 50 lx. Dla bardziej odpornych, do których zaliczane są m.in. obrazy olejne, skóra czy przedmioty z drewna – poziom oświetlenia ograniczony jest do 200 lx. Wartości te odnoszą się do czasu 40-45 godzin tygodniowo, lecz jeśli wartości natężenia oświetlenia wzrastają, to należy zredukować czas ekspozycji tak aby uniknąć szkód fotochemicznych.

Poza tym, aby uzyskać najlepsze możliwe odwzorowanie kolorów wystawianych obiektów wymagane jest aby wskaźnik CRI (wskaźnik oddawania barw) wynosił powyżej 90.

Dopuszczalna zawartość ultrafioletu w stosowanym świetle nie może przekraczać 75 mikrowatów/lumen. Rekomendowany poziom jest jednak znacznie niższy, ponieważ tego rodzaju promieniowanie jest bardzo szkodliwe. Także promieniowanie podczerwone w świetle musi być ograniczone do absolutnego minimum, ponieważ powoduje ono wzrost temperatury, a w rezultacie wysuszenie obiektów. Jeśli można minimalizować wzrost ciepła, pozwala to również drastycznie ograniczać konieczność korzystania z wyjątkowo energochłonnych urządzeń klimatyzacyjnych.

Należy również brać pod uwagę, że dobre oświetlenie nie powinno wywoływać nieprzyjemnych czy oślepiających refleksów. Odnosi się to zarówno do refleksów ze źródeł światła, jak i bezpośrednich bądź pośrednich refleksów światła dziennego. Należy przy tym pamiętać, iż goście zwiedzający muzeum mają różny wzrost, tak więc oglądają obiekty i ekspozyty pod różnymi kątami [4-8].

Istotnym zagadnieniem jest takie rozplanowanie wystaw muzealnych, aby osoba odwiedzająca ekspozycję nie doświadczała drastycznych zmian kontrastu przy przejściu z jednej sali do następnej. Jeśli to tylko możliwe, odwiedzający powinien doświadczać stopniowej zmiany poziomu światła w drodze do wystawy, gdyż oko człowieka potrzebuje więcej czasu aby dostosować się od światła do mroku, niż w odwrotną stronę.

Oświetlenie ekspozycji w gablotach może być realizowane poprzez oświetlenie wewnętrzne lub zewnętrzne. Wyklucza się stosowanie lamp żarowych oraz halogenowych ponieważ oba źródła światła powodują nagrzewanie oświetlanych obiektów. Nie wolno również stosować lamp emitujących promieniowanie UV (lamp fluorescencyjnych). Z uwagi na powyższe preferowane jest oświetlenie LED lub światłowodowe, a także w niektórych przypadkach oświetlenie wykorzystujące struktury OLED. Z uwagi na wrażliwość oświetlanych przedmiotów zalecane jest zastosowanie czujników ruchu, które załączają światło tylko w momencie, w którym obserwator zbliży się do gabloty. Zalecane jest ograniczenie wpływu światła dziennego na obiekty muzealne poprzez zastosowanie zasłonięcia okien roletami nieprzepuszczającymi światła, lub zasłonami okiennymi.

Przyjęte są następujące normy natężenia oświetlenia dla poszczególnych rodzajów zbiorów muzealnych:

- dla zbiorów mało wrażliwych na światło takich jak metal, kamień, gips, szkło – natężenie oświetlenia powinno być w granicach 300 – 500 lx przy nieograniczonym czasie ekspozycji;
- dla zbiorów średnio wrażliwych takich jak obrazy olejne, tempera, laka, kości – natężenie oświetlenia powinno być w granicach 150 – 300 lx przy czasie ekspozycji 3000 h/rok (8h dziennie przez 7 dni w tygodniu).
- dla zbiorów bardzo wrażliwych takich jak papier, fotografia, tkaniny, skóra – natężenie oświetlenia nie powinno przekraczać wartości 50 lx przy czasie ekspozycji 300 h/rok.

Obecnie ogromną popularnością w oświetleniu obiektów muzealnych cieszą się oprawy LED. W zależności od koncepcji oświetlenia dostępne są projektory LED o skupionym rozsyłu światła (o zróżnicowanej rozwartości wiązki, z możliwością uzyskania bardzo małych kątów wypromieniowania), o rozsyłu szerokim, lub specjalnie zaprojektowane projektory do

równomiernego oświetlenia płaszczyzn pionowych. W przypadku zalecanego równomiernego oświetlenia można również stosować panele ze strukturami OLED, które mają znacznie prostszą konstrukcję, a zapewniają bardzo dobrą równomierność emitowanego światła jak również bardzo wysoki współczynnik oddawania barw [6-10].

Oświetlenie obrazów, rzeźb i gablot

Obrazy są najczęściej prezentowanymi eksponatami. Dla ich właściwego odbioru artystycznego niezbędne jest równomierne oświetlenie oraz odpowiednie oddawanie barw. Sposób oświetlania obrazów zależy od ich wielkości, rozmieszczenia jak i architektury wnętrza. Ważne jest wtedy unikanie odbić kierunkowych, przeszkadzających oglądającym wystawę. Niekiedy, z uwagi na szczególne wymagania konserwatorskie, do oświetlenia obrazów stosuje się jedynie oświetlenie ogólne. Można je uzyskać za pomocą opraw oświetlających sufit, w tym także paneli OLED dających równomierne oświetlenie rozproszone.



Sala muzeum w Sukiennicach w Krakowie z wyraźnie nierównomiernym oświetleniem sufitu (oświetlenie zrealizowano z wykorzystaniem świetlówek, a nierównomierność można zlikwidować stosując panele OLED).

Oświetlenie obiektów przestrzennych takich jak rzeźby, powinno skupiać się na pokazaniu plastyki eksponatu. Podkreślenie kształtu obiektów trójwymiarowych uzyskuje się przez silne, jednostronne oświetlenie i wywołanie ostrych cieni własnych, łagodzonych przez źródło światła umieszczone z drugiej strony obiektu. Oświetlenie boczne powinno mieć różną intensywność z obu kierunków, ponieważ w przeciwnym razie wypukłości mogłyby ulec spłaszczeniu, a nawet całkowicie zaniknąć.

Oprawy oświetlające eksponaty znajdujące się w gablotach, mogą być umieszczane zarówno wewnątrz nich, jak i na zewnątrz. Duże znaczenie ma tutaj ograniczenie przeszkadzających refleksów od pionowych i poziomych powierzchni szklanych. Można to osiągnąć przez odpowiedni dobór opraw i kierunku ich świecenia. Oprawy umieszczone w gablotach

powinny wydzielać jak najmniej ciepła. W przypadku oświetlania szczególnie wrażliwych na temperaturę eksponatów, np. okazów przyrodniczych, druków, stosuje się coraz częściej systemy światłowodowe, ale w odpowiedniej konfiguracji można też stosować OLEDy.

Właściwe rozróżnianie przedmiotów w znacznym stopniu jest zależne od natężenia oświetlenia, a wartość tego parametru należy określać indywidualnie dla każdego dzieła sztuki. Dolna granica natężenia oświetlenia jest wyznaczana dla możliwie dobrego rozróżniania szczegółów, a górna wynika ze skutków działania światła na eksponat. Ponadto ważna jest też równomierność oświetlenia dotycząca płaszczyzny oświetlanej, jak również całego pomieszczenia. W przypadku muzeów i galerii w niektórych wnętrzach odchodzi się jednak od równomierności oświetlenia otoczenia w celu osiągnięcia swoistego nastroju w wybranym pomieszczeniu.

Wrażenie barwne powstające w trakcie oglądania eksponatów zależy zarówno od charakterystyki widmowej światła padającego na eksponat, jak również od parametrów odbiciowych samego eksponatu. Ponieważ każde muzeum, w zależności od prezentowanych zbiorów, wymaga innego rodzaju oświetlenia, nie powinno się stosować szablonowych projektów oświetlenia.

Najpierw należy dobrać oświetlenie dla konkretnych eksponatów, a następnie dopasować je do całej sali [2, 10]. Ponadto, w odniesieniu do źródeł, w wielu przypadkach konieczna jest kontrola i rejestracja tzw. luksogodzin przypadających w ciągu roku na konkretny eksponat.

Panele ze strukturami OLED

Pierwszy raz w materiałach organicznych zjawisko elektroluminescencji (świecenie pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego) zostało zaobserwowane w 1950 r. przez Francuza André Bernanose, ale wówczas nie dostrzegano jego interesującego zastosowania..

W roku 1989 w Laboratorium Cavendisha w Cambridge odkryto, że organiczne diody elektroluminescencyjne (OLED - *Organic Light Emitting Diode*) można wytworzyć przy wykorzystaniu polimerów o układach sprzężonych (polimery przewodzące) [10] i to zapoczątkowało dynamiczny rozwój struktur OLED.

W praktyce do budowy struktur OLED wykorzystać można dwa rodzaje materiałów. Pierwszym z nich są tzw. "świejące" polimery LEP (ang. *Light Emitting Polymers*). Te materiały organiczne (o stosunkowo długich łańcuchach) używane są do produkcji ekranów o przekątnych większych niż dziesięć cali. Do produkcji mniejszych ekranów, takich, które montowane są w telefonach komórkowych i smartfonach, używa się materiałów organicznych o stosunkowo krótkich łańcuchach.

Organiczne diody elektroluminescencyjne zwykle wytwarza się w ten sposób, że na podłoże przezroczyste (folia lub szkło) nanosi się przezroczystą elektrodę przewodzącą - anodę (warstwa ITO - Indium Tin Oxide), na której z kolei wytwarza się specjalną warstwę transportową dla dziur; kolejna warstwa to półprzewodnik organiczny typu *n* (polipropylowinylen) i na nią nanosi się drugą warstwę polimerową - półprzewodnik organiczny typu *p* (warstwa emisyjna - cyjanopolipropylowinylen). Następną warstwą jest specjalną warstwą transportową dla elektronów, a ostatnią warstwę stanowi górna elektroda (katoda; zwykle Al + Ca).

Przyłożenie napięcia do takiej struktury powoduje przepływ elektronów od katody do anody. W momencie spolaryzowania złącza w kierunku przewodzenia, warstwa emisyjna jest naładowana ujemnie, jednocześnie warstwa przewodząca staje się dodatnia, gdyż ma nadmiar dodatnio naładowanych dziur. Oddziaływanie elektrostatyczne przyciąga elektrony i dziury, które ze sobą rekombinują, czemu towarzyszy emisja promieniowania elektromagnetycznego w zakresie widma widzialnego, a jego luminancja jest proporcjonalna do natężenia prądu płynącego przez strukturę OLED [8-11].

Struktura OLED nie świeci przy zaporowym spolaryzowaniu złącza, ponieważ dziury elektronowe przemieszczają się do anody, a elektrony do katody, tak więc oddalają się od siebie i nie rekombinują.

Warstwy złożone z cząstek organicznych polimerów przewodzących mają poziom przewodzenia prądu elektrycznego w zakresie między izolatorami, a przewodnikami, z tego względu nazywane są one półprzewodnikami organicznymi.

Najczęściej podkreślaną zaletą struktur OLED jest ich bardzo dobre odwzorowanie barw, które jest wynikiem konstrukcji pojedynczego punktu obrazowego, czyli piksela. Oprócz trzech tradycyjnych subpikseli świecących w podstawowych barwach RGB (czerwonym, zielonym i niebieskim), dodatkowo w pikselu umieszcza się subpiksel świecący na białą. Element obrazowy świecący na białą w znaczący sposób poprawia właśnie odwzorowanie kolorów. Co więcej, jego wyprodukowanie w technologii OLED nie stanowi żadnego problemu, gdyż wystarczy dobrać odpowiedni polimer LEP emitujący światło białe o żądanej temperaturze barwowej. Ponadto takie światło białe nie zawiera promieniowania nadfioletowego ani podczerwonego.

Warto również zauważyć, że warstwy polimerów, w stanie nieaktywnym, gdy nie emitują światła, stają się przezroczyste, a ich przepuszczalność jest na poziomie 70% lub więcej.

Współczesne zastosowania struktur OLED

Pierwszym produkowanym seryjnie urządzeniem wyposażonym w wyświetlacz typu OLED był komputer kieszonkowy – palmtop (PDA, Personal Digital Assistant) firmy *Sony* o symbolu CLIE PEG-VZ90 (produkowany od 2004 r.), którego ekran miał przekątną 3,8 cala, rozdzielczość 480×320 pikseli oraz luminancję 150 cd/m^2 .

W październiku 2007 r. firma *Sony* pokazała prototyp telewizora wykonanego w technologii OLED. Telewizor ten o symbolu XEL-1, miał przekątną 11 cali, rozdzielczość 960×540 pikseli, kontrast 1000000:1 oraz grubość 3 mm [10].

W ostatnich kilku latach czołowe firmy światowe pokazały wchodzące do produkcji, lekkie i o dużych rozmiarach telewizory o doskonałej jakości obrazu. W roku 2013 firma LG rozpoczęła sprzedaż pierwszego na świecie telewizora OLED o dużym, 55-calowym ekranie i o rozdzielczości Full HD (1920×1080 pikseli), a także zaprezentowano pierwszego OLED-a z zakrzywionym ekranem. W roku 2016 firma LG pokazała telewizor LG OLED 65EG 960V o przekątnej ekranu 65 cali oraz o rozdzielczości 4K (3840×2160 pikseli). Ta sama firma w roku 2018 zaprezentowała telewizor LG OLED E8 dostępny jest w dwóch rozmiarach – 55 oraz 65 cali, o rozdzielczości 4K, odświeżanie na poziomie 120 Hz, z nowym procesorem Alpha 9. W różnego rodzaju zastosowaniach istotną rolę pełnią także białe diody OLED.

Zastosowanie technologii OLED ma szereg zalet w porównaniu z powszechnie stosowanymi innymi technologiami. Przede wszystkim charakteryzuje się małym poborem energii przy wyświetlaniu ciemnego obrazu jak również krótkim czasem reakcji (dla OLED ok. 0,01 ms [10-12]). Poza tym, dzięki prostocie budowy i braku podświetlania, szacuje się, że koszty produkcji wkrótce będą wyraźnie niższe.

Najistotniejszą wadą wyświetlaczy wytwarzanych w technologii OLED (poza jeszcze wysoką ceną) jest to, że trwałość takich materiałów organicznych jest ograniczona, i w związku z tym szacowany obecnie czas pracy wyświetlaczy jest od około 10000 do 20000 godzin. Ostatnio pojawiły się jednak doniesienia o uzyskaniu w warunkach laboratoryjnych OLED, dla których szacuje się ten czas nawet na poziomie stu tysięcy godzin [10, 13].

Jak już wspomniano, OLED jest powierzchniowym źródłem światła, którego luminancja może już osiągać wartości 1000 - 3000 cd/m^2 (dotyczy to prototypów wytwarzanych w warunkach laboratoryjnych). Może również emitować światło białe o wysokim wskaźniku oddawania barw, jak też o dość dużej skuteczności świetlnej około 80 lm/W , przy czym przewiduje się w najbliższym czasie zwiększenie tej wartości [14, 15].

Tym samym panele OLED mogą stać się wkrótce atrakcyjnymi źródłami światła, zarówno pod względem konstrukcji jak i obniżenia kosztów eksploatacyjnych oświetlenia. Mogą być stosowane także w galeriach i muzeach, zwłaszcza przy wymogach dużej równomierności oświetlenia..

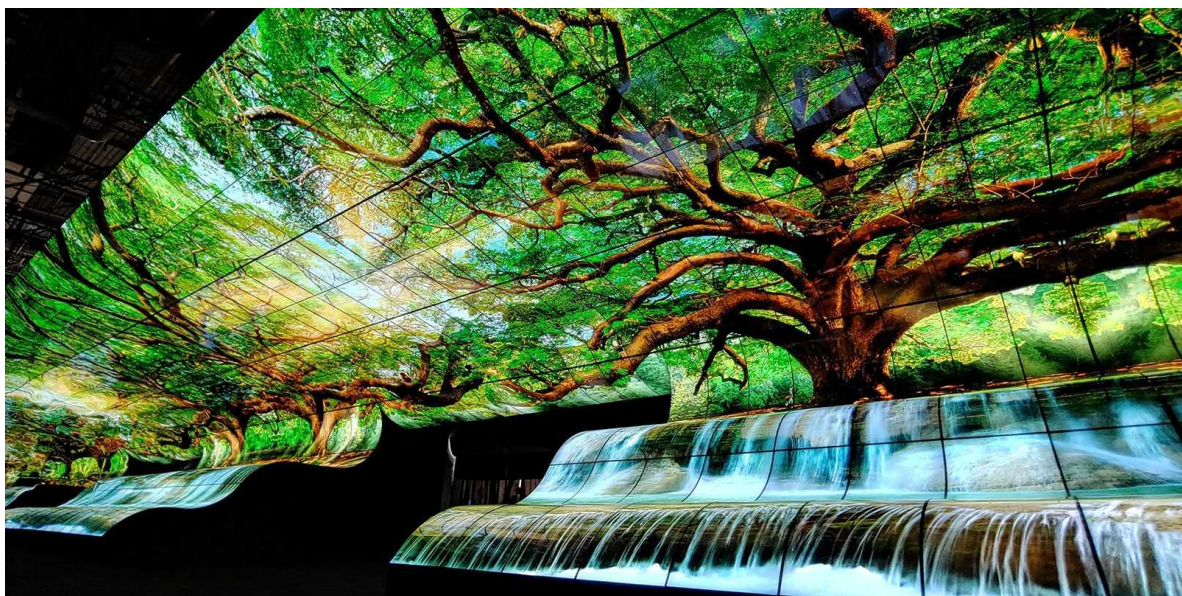
Źródła światła, które do tej pory były znane wymagały formowania bryły fotometrycznej przy pomocy oprawy, bo same nie dawały odpowiednich parametrów (powodowały olśnienie, niepotrzebną emisję światła itp.). Światło zazwyczaj emitowane było z punktów świetlnych o różnych wielkościach (np. w przypadku źródeł światła LED z pojedynczych diod).

W panelach OLED proponuje się zupełnie inne rozwiązanie, gdyż świecą one całą swoją powierzchnią, a równomierność i rozproszenie emitowanego światła jest korzystne dla oświetlenia ogólnego. Obiekty oświetlane światłem z paneli OLED nie rzucają wyraźnych cieni, a oprawy z zastosowaniem źródeł OLED najlepiej nadają się do miejsc wymagających miękkiego oświetlenia, takich jak wnętrza muzeów czy galerii.

W matrycach OLED bardzo precyzyjnie można odwzorować przejścia tonalne między poszczególnymi barwami. Wynika to z tego, że w OLED-ach łatwo steruje się natężeniem światła emitowanym przez poszczególne subpiksele. W tym celu wystarczy tylko zmniejszyć lub zwiększyć natężenie prądu przepływającego przez diodę OLED tworzącą subpiksel, aby świecił on jaśniej lub ciemniej. Ta łatwość sterowania natężeniem światła sprawia, że obserwowane na ekranie OLED barwy są wyjątkowo żywe i naturalne. Charakteryzuje ich też bardzo szeroki kąt widzenia w każdej płaszczyźnie, wynoszący praktycznie 180 stopni [9-11].

W ostatnich kilku latach postęp technologiczny jaki dokonuje się w wytwarzaniu struktur OLED obejmuje dwa bardzo istotne zagadnienia, a mianowicie technologię materiałową oraz procesy produkcyjne. Materiały do wyświetlaczy organicznych są stale unowocześniane, dzięki czemu rośnie ich trwałość. W ostatnim czasie, oprócz materiałów fluorescencyjnych i fosforyzujących, zaczęto także stosować materiały TADF (Thermally Activated Delayed Fluorescent), które pozwalają na tworzenie wydajnych, małych, a także wielkoformatowych paneli OLED.

Bardzo znaczący postęp odbywa się również w dziedzinie procesów produkcji struktur OLED. Materiały organiczne już obecnie rzadziej są naparowywane na podłoże, a coraz częściej są drukowane na nim, co jest procesem znacznie tańszym, a do tego umożliwia to łatwe tworzenie matryc o dużych rozmiarach.



Instalacja LG SIGNATURE OLED W8 prezentowana w Las Vegas w 2018 r.

W 2018 r., podczas trwających w Las Vegas targów, firma LG Electronics zaprezentowała wyjątkową instalację wykonaną z elastycznych paneli OLED do zastosowań komercyjnych. Ta instalacja, nazwana „Kręty kanion”, o długości 28 metrów została wykonana z 246 wyświetlaczy LG OLED typu „Open Frame”, tworzących wypukłe oraz wklęsłe płaszczyzny. Dzięki tej oledowej instalacji, dziesiątki tysięcy osób zwiedzających targi CES miały jedyną w swoim rodzaju możliwość podziwiania cudów natury [13, 14].

Prezentowana w Las Vegas matryca OLED z pikselami emitującymi światło pozwala na precyzyjną kontrolę jasności oraz jakości oświetlenia. Co więcej, matryce organiczne są niezwykle lekkie, cienkie i elastyczne. Kształt wykonanych w tej technologii paneli LG OLED Open Frame może być zmieniany w zależności od potrzeby – oryginalny dla rozwiązań artystycznych lub bardziej funkcjonalny dla innych zastosowań.

Gdy w 2018 i 2019 roku telewizor ze zwijanym ekranem został pokazany na targach CES, uznano go za jedno z najbardziej futurystycznych urządzeń prezentowanych podczas imprezy. W 2020 roku ten niesamowity telewizor powrócił na targi CES i to w udoskonalonej wersji. LG SIGNATURE OLED TV R zajmuje centralne miejsce w Las Vegas, a na tle różnych dzieł sztuki pokazuje, jak niesamowite są jego możliwości. Oprócz tej niemal cienkiej jak papier technologii, LG ma również nowy telewizor OLED z funkcją rolowania na wyświetlaczu, który wychodzi z sufitu.

Zaprezentowana w Vegas Convention Center najnowsza koncepcja LG Rollable TV to kolejny krok w kierunku wykorzystania elastycznej mocy OLED. Telewizor ma 65 cali i obraca się w razie potrzeby, oraz chowa pod sufitem, gdy nie jest używany - prawie jak ekran projektora, ale z nieporównywalnie lepszą technologią. Na razie jest to tylko koncepcja, ale telewizor LG SIGNATURE OLED R jest znacznie bliżej konsumenta. Funkcje są równie ekscytujące, jak oglądanie samej technologii w akcji. Regulując wysunięcie ekranu można dostosować jego proporcje do formatu wyświetlanych treści. Ponadto, przy lekko wysuniętym ekranie, telewizor może służyć do wyświetlania różnorodnych informacji. Ekran można też całkowicie wsunąć do obudowy, która nie rzuca się w oczy i zupełnie nie kojarzy się z telewizorem [15].

W czasie wystawy telewizory z rolowanym ekranem stały w rzędzie, prezentując budzące podziw możliwości, wyświetlając zdjęcia dzieł sztuki oraz minimalistyczne grafiki, a telewizory na oczach widzów zmieniały wielkość swoich ekranów.

Dzięki telewizorom dostępnym już na rynku poznaliśmy wiele zalet matrycy OLED, która ze względu na brak podświetlenia pozwala na uzyskanie idealnej czerni, nieskończonego kontrastu, a tym samym na wierne odwzorowanie obrazu o niesamowitej jakości. Brak podświetlenia pozwolił też na skonstruowanie elastycznej matrycy, która jest na tyle cienka, że daje się zwinąć w rolkę. Co więcej, matryce OLED są tak lekkie, cienkie i trwałe, że idealnie nadają się do stosowania w telewizorach, jak również do specjalnych zastosowań we wnętrzach muzealnych i galeriach.

Telewizory LG z rolowanym ekranem zdobyły uznanie odwiedzających targi CES oraz branżowych ekspertów – nie tylko ze względu na nowoczesną technologię. Możliwość całkowitego ukrycia ekranu telewizora jest zgodna z najnowszymi koncepcjami wzornictwa, według których telewizor nie powinien być dużym, centralnym elementem aranżacji wnętrza, lecz powinien zlewać się z otoczeniem. Przykładem takiego podejścia projektantów jest telewizor LG SIGNATURE OLED W9, który dzięki połączeniu znakomitego designu z nowoczesną technologią bardziej przypomina dzieło sztuki niż urządzenie [15].

Podsumowanie

Zasadniczą różnicą w konstrukcji organicznych diod elektroluminescencyjnych (OLED) w porównaniu z diodami nieorganicznymi LED jest to, że struktury OLED są powierzchniowymi źródłami światła o niewielkiej grubości, w których emisja światła

następuje w półprzewodniku organicznym, natomiast diody LED są punktowymi źródłami emitującymi światło w obszarze złącza $p - n$ wytworzonego na bazie krystalicznej struktury półprzewodników nieorganicznych.

W związku z tym, że diody LED mają bardzo małą powierzchnię z której emitowane jest światło ich luminancja jest bardzo duża i może wynosić nawet do 10 Mcd/m^2 . Tak wysoka luminancja diody LED jest niebezpieczna dla oczu i nieprawidłowe stosowanie LED może powodować efekt ośnienia lub nawet oślepienia.

OLED-y, charakteryzują się dużo niższą luminancją ($1000 - 3000 \text{ cd/m}^2$) i jest to ich niewątpliwą zaletą w stosunku do technologii LED. Ponadto technologia produkcji OLED umożliwia uzyskiwanie warstw emitujących światło o dużej powierzchni i o bardzo dobrej równomierności promieniowania.

Największym problemem technologii OLED jest jeszcze trwałość diod organicznych, szacowana obecnie na 20000 godzin (w opracowaniach laboratoryjnych uzyskuje się już większe wartości około 100 000 h).

W ostatnich kilku latach postęp technologiczny jaki ma miejsce w wytwarzaniu struktur OLED obejmuje istotne zagadnienia, związane z technologią materiałową oraz procesami produkcyjnymi. Materiały do wyświetlaczy organicznych są stale unowocześniane, dzięki czemu rośnie ich trwałość, a ponadto materiały organiczne obecnie rzadziej są naparowywane na podłoże, a coraz częściej drukowane na nim, co jest procesem znacznie tańszym.

Bibliografia

- [1] Norma PN-EN 12464-1
- [2] Ł. Anikiej, Oświetlenie obiektów muzealnych, część I, „Oświetlenie INFO”Nr 2(30) /2010, str. 56-63
- [3] Ł. Anikiej, Oświetlenie obiektów muzealnych, część II, „Oświetlenie INFO”Nr 4(32) /2010, str. 68-77
- [4] Joao Linhares, Paulo Pinto, Sergio Nascimento, “Color rendering of art paintings under CIE illuminants for normal and color deficient observers” Journal of the Optical Society of America A, 1.06.2009, 105427
- [5] Light Emitting Diodes (LEDs) for General Illumination” An Oida Technology Roadmap Update 2002,
- [6] Witryna internetowa: www.pxm.pl
- [7] Wojciech Grzesiak, Tomasz Maj, Jerzy Początek, Elektronika, 11/2008.pp.230-233
- [8] Porada Z., "Elektroluminescencja wewnętrzna - wybrane zagadnienia związane z zastosowaniami", Politechnika Krakowska, Kraków 2013.
- [9] Porada Z., *Wiadomości elektrotechniczne* (2014) Nr. 4, 3-11..
- [10] Porada Z., “Diody LED, struktury Destriau i OLED w źródłach światła” (2018) GlobeEdit, Berlin.
- [11] Blankenbach K., “Organic Light Emitting Diodes (OLED)”, www.displaylabor.de / OLEDs / WS 2014 (7 styczeń 2016).
- [12] Porada Z. *International Journal of Science and Research*, Volume 8 (2019), 1557-1559.
- [13] <https://www.lg.com/pl/lg-magazine/inspiracje/rollable-tv-ces-2019> (20 wrzesień 2019)
- [14] <https://hdtvpolska.com/lg-otwiera-nowa-fabryke-oled-firma-chce-produkowac-10-mln-paneli-rocznie/> (20 wrzesień 2019)
- [15] <https://www.lg.com/pl/lg-magazine/inspiracje/zwijany-ekran-tv-ces-2020>