



# Wyświetlacze

## Najnowsze technologie

*Pomimo nieustannego rozwoju nauki i techniki, telepatia, transfer myśli oraz inne pozazmysłowe sposoby komunikacji maszyny z użytkownikiem nie rozwinęły się dostatecznie. Od lat najpopularniejsze pozostaje przekazywanie informacji za pośrednictwem ludzkiego wzroku. Nie ma powodów do zdziwienia, ponieważ wzrok jest najdoskonalszym z naszych zmysłów i odpowiada za prawie 80% odbieranych ze świata informacji.*

Zaczynamy od porannego spojrzenia na niewielki segmentowy wyświetlacz LED budzika. Podczas nerwowego miotania się po domu przed wyjściem do pracy cyklicznie zerkamy na zegarek, a raczej smartwatcha z matrycowym ekranem OLED, który o tej porze jest jak smart-watch-dog odliczający, zdecydowanie zbyt szybko upływający czas. Przed zamknięciem drzwi uzbrajamy alarm korzystając z panelu z klawiaturą i nieśmiertelnym tekstowym wyświetlaczem LCD 2×16 znaków. Teraz jesteśmy gotowi na starcie z inteligentnym miastem (smartcity) atakującym nas kolejnymi technologiami wyświetlania obrazu. Poranne zakupy, oczywiście w markecie z inteligentnymi metkami w technologii e-paper, zakończone w kasie fiskalnej z wyświetlaczem VFD i płatnością smartfonem z ekranem IPS. Dalsza wędrówka to przystanek komunikacji miejskiej z systemem informacji pasażerskiej z matrycowym LED lub kolorowym EPD, dla zmotoryzowanych wizyta na stacji paliw z cennikiem zbudowanym w oparciu

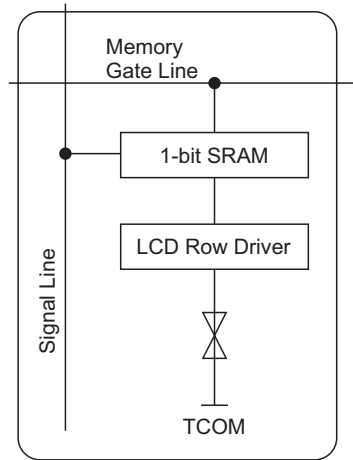
o wyświetlacze elektromechaniczne, a dla cyklistów wyświetlacz MIP w komputerku rowerowym. Mijamy po drodze gigantycznych telebimów reklamowych RGB LED. Poranną gonitwę kończymy przed ekranem służbowego laptopa z ekranem TN lub IPS.

Wyświetlacze stosowane są wszędzie, nawet, gdy nie zwracamy na nie uwagi. Mnogość technologii jest duża, część z nich zakończyła już służbę bezpowrotnie, tak jak magiczne oczka, ekrany kineskopowe, wyświetlacze Nixie oraz ekrany plazmowe, niektóre znalazły swoją niszę jak VFD, a pozostałe czyli LCD, LED i EPD toczą nieustanny bój w dynamicznym segmencie rynku. Warto przynajmniej w skrócie zapoznać się z bieżącymi trendami, aby wybór odpowiedniej technologii wyświetlania nie stanowił problemu, a osiągnięte efekty sprostały oczekiwaniom.

### LCD MIP

Technologia ciekłokrystaliczna LCD jest najpopularniejszym sposobem prezentacji obrazu, konstrukcja i zasada działania nie jest chyba nikomu obca. Wyświetlacze LCD poczynając od segmentowych, poprzez monochromatyczne matryce znakowe, aż do kolorowych ekranów graficznych, są powszechne, tanie i łatwe w aplikacji. Rozwój technologii ze względu na rosnącą liczbę zastosowań mobilnych podąża w kierunku minimalizacji poboru mocy. Wyświetlacze LCD wymagają nieustannego odświeżania ekranu, co wiąże się z ciągłym poborem przez układ sterujący. Aby wyeliminować odświeżanie opracowano dwie konkurencyjne technologie, MIP (*Memory In Pixel*, pamięć piksela wbudowana w ekran) i LCD Bistable (dwustanowy).

Pierwszą z nich, promowaną głównie przez firmę Sharp, jest konkurująca bezpośrednio z elektronicznym papierem EPD technologia MIP (pamięć wbudowana w piksel). Budowa matrycy wyświetlającej jest identyczna jak LCD, każdy sterowany piksel znajduje się w przecięciu układu kolumn i wierszy, stan ciekłego kryształu nie jest jednak zmieniany bezpośrednio z kontrolera, lecz jest zapamiętywany w komórce pamięci sterującej driverem piksela. Dzięki integracji pamięci z driverem



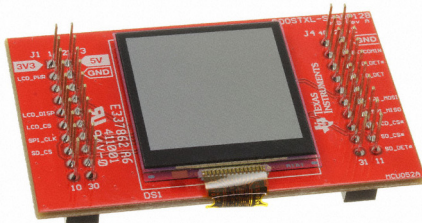
Rysunek 1. Budowa komórki wyświetlacza MIP (za notą Sharp)

nie ma potrzeby ciągłego odświeżania ekranu, gdyż stan piksela przechowywany jest w pamięci „podręcznej” samego wyświetlacza. Schematyczną budowę komórki pokazano na **rysunku 1**. **Zaletą technologii MIP jest niewielka pobierana moc, wysoki kontrast i kąty obserwacji, dobra widzialność w oświetleniu naturalnym, niski czas odświeżania obrazu, proste sterowanie poprzez magistralę szeregową i co najważniejsze w urządzeniach przenośnych – szeroki zakres temperatur pracy od  $-20$  do  $+70^{\circ}\text{C}$ .**

Jednym z szerzej znanych zastosowań MIP, był zestaw uruchomieniowy Texas Instruments Sharp Memory LCD BoosterPack dla Launchpada. Zastosowano w nim wyświetlacz LS013B4DN04 o rozdzielczości  $96 \times 96$  i przekątnej  $1,3''$ , który dzisiaj nie jest już dostępny. Technologia MIP doskonale współpracuje z energooszczędnymi procesorami MSP430, więc pojawił się odświeżony Sharp  $128 \times 128$  Memory LCD and microSD Card TI BoosterPack z wyświetlaczem LS013B7DH03 o rozdzielczości  $128 \times 128$  i przekątnej  $1,28''$ , którego wygląd pokazano na **fotografii 1**. Wyświetlacz Boosterpacka cechuje się statycznym poborem mocy  $12 \mu\text{W}$  oraz dynamicznym nie przekraczającym  $50 \mu\text{W}$  przy zasilaniu  $3 \text{ V}$ . Komunikacja odbywa się poprzez trójprzewodową magistralę szeregową, a aplikacja wyświetlacza wymaga tylko trzech kondensatorów. Komercyjny przykład zastosowania wyświetlacza MIP można ocenić w liczniku rowerowym Garmin Edge 130.

Technologia MIP rozwija się w dalszym ciągu, w handlu dostępne są nie tylko wyświetlacze produkowane przez firmę Sharp, ale także innych producentów np. JDI (Japan Display Inc) o zakresie przekątnych od  $1,1''$  do  $4,4''$ . Dostępne są modele kolorowe RGB z MIP np. JDI LP-M044M141A o przekątnej  $4,4''$ , rozdzielczości  $640 \times 480$  (183 ppi). Skrót RGB, nie odnosi się do rodzaju interfejsu komunikacyjnego, jak można to błędnie zinterpretować, ale do faktu posiadania pamięci przez każdy piksel matrycy RGB, co bezpośrednio odpowiada ilości możliwych do wyświetlenia kolorów. Wyświetlacz przy odświeżaniu  $2 \text{ Hz}$  pobiera  $250 \mu\text{W}$ , charakteryzuje się kontrastem  $40:1$ , wyświetla 8 kolorów i ma rozmiary ok.  $93 \times 73 \times 1,4 \text{ mm}$ . Zmieniając liczbę komórek pamięci obsługujących piksel można zwiększyć liczbę wyświetlanych kombinacji kolorów.

Wygląd kolorowego wyświetlacza MIP LS012B7DD06 o przekątnej  $1,2''$  i rozdzielczości  $240 \times 240$ , z 64-bitowym oddaniem koloru, znajdujący zastosowanie w elektronice noszonej pokazano na **fotografii 2**.



Fotografia 1. Wyświetlacz monochromatyczny MIP LS013B7DH03 w zestawie Booster-pack (z noty TI)

Rozmiar wyświetlacza to  $33 \times 34 \times 0,8 \text{ mm}$ , dopuszczalna temperatura pracy mieści się w przedziale  $-20 \dots +70^{\circ}\text{C}$ , a statyczny pobór mocy wynosi  $11 \mu\text{W}$ .

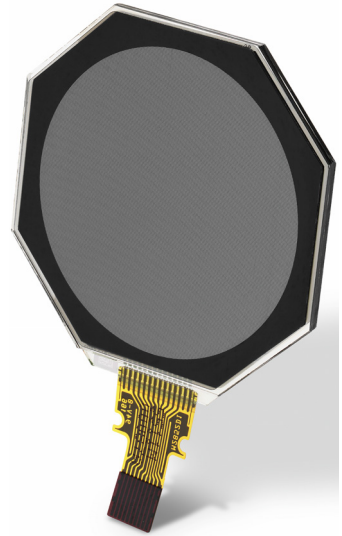
Stosując wyświetlacze MIP, warto częściej sprawdzać ich dostępność, gdyż ich docelowe aplikacje IoT oraz Wearable cechują się mocnym wpływem mody i silną konkurencją w postaci atrakcyjnych wizualnie OLED. Powoduje to sporą rotację dostępnych produktów, a proponowane zamienniki nie zawsze pasują w  $100\%$ .

### LCD Bistabilne

Dalsze poszukiwania wyświetlacza LCD o minimalnym poborze mocy, prowadzą do wyświetlaczy wykonanych w technologii bistabilnej (Bistable LCD), czasem nazywanych ChLCD (cholesteric LCD) lub Zero-Power LCD. Wyświetlacz taki w przeciwieństwie do LCD pasywnego lub aktywnego nie wymaga energii potrzebnej do odświeżania treści. Zapamiętanie stanu piksela nie odbywa się w wewnętrznej komórce pamięci jak w przypadku MIP, lecz wynika z cech zastosowanego materiału, zbliżając zasadę działania do wyświetlaczy e-ink. Wyświetlacz ChLCD pracuje ze światłem odbitym, nie wymagając podświetlenia, co czyni go doskonale czytelnym przy oświetleniu naturalnym (słonecznym) tym bardziej, że zachowuje szeroki kąt obserwacji zbliżony do  $80^{\circ}$  i to bez uprzywilejowania kierunku. Przykładowy ChLCD z matrycą graficzną o niskiej rozdzielczości pokazano na **fotografii 3**.

Brak konieczności ciągłego odświeżania niweluje zmęczenie wzroku przy długotrwałym korzystaniu z wyświetlacza np. w czytnikach ebook. Wyświetlacze w technologii ChLCD odwzorowują skalę szarości, nie wymagają polaryzatorów i filtrów koloru. Odpowiednio przygotowany ChLCD może wyświetlać obraz nie tylko w skali szarości, ale także w kombinacjach kolorów, w zakresie temperatur ok.  $-10 \dots +60^{\circ}\text{C}$ , szerszym niż konkurencyjny EPD. Najczęściej spotykane są zestawienia kolorów białego z niebieskim, czarnego z żółtym lub zielonym. Możliwy jest podział ekranu na fragmenty o różnym zestawieniu kolorów. Czas odświeżania ekranu zależy od wielkości i porównywalny jest z EPD. **Poważną wadą wyświetlaczy ChLCD jest duża wrażliwość na promieniowanie UV, wymagająca zastosowania przed ekranem dodatkowego filtra ochronnego oraz wysokie napięcie polaryzacji  $30 \dots 40 \text{ V}$  wymagające użycia przetwornicy podwyższającej.**

W handlu dostępne są monochromatyczne wyświetlacze graficzne o rozdzielczości od  $128 \times 64$ , np. STG12864BCD z kontrolerem SSD1603 znanym z wyświetlaczy OLED i komunikacji poprzez magistralę SPI, mogące zastąpić moduły STN LCD. Większe wyświetlacze produkowane są w zasadzie tylko na zamówienie i nie są dostępne jednostkowo. Przykładowy ekran  $18''$  o rozdzielczości  $800 \times 600$  pokazano na **fotografii 4**. ChLCD usiłują konkurować z wyświetlaczami EPD w inteligentnych metkach cenowych

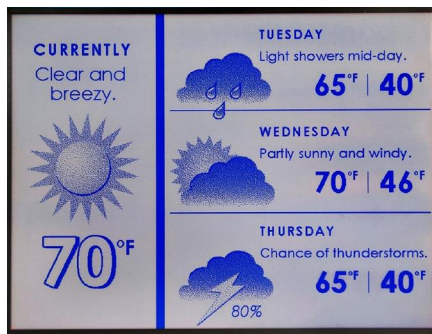


Fotografia 2. Wyświetlacz RGB MIP LS012B7DD06 (z noty Sharp)



Fotografia 3. ChLCD o niskiej rozdzielczości (za notą Tricomtek)





Fotografia 4. ChLCD o wysokiej rozdzielczości (za focuslcd.com)

prawdopodobnie uczyni z ChLCD produkt niszowy nie wytrzymujący konkurencji z EPD.

Z rozwiązań nietypowych warto wspomnieć o pracach nad wyświetlaczem hybrydowym, łączącym zalety EPD i LCD TFT, prace zapoczątkowane przez Apple nie zaskutkowały rewolucją w wyświetlaczach. Wyświetlacze hybrydowe produkuje m.in. Av-display, dostępne są ekrany o przekątnych 3,5...10,1", pracujące w trybie Color TFT, a w trybie oszczędnościowym w skali szarości. Przykładowy wyświetlacz hybrydowy pokazano na **fotografii 5**. Uzupełnieniem wyświetlacza hybrydowego może być klawiatura dotykowa lub wbudowany kontroler, szczególnie przydatny w aplikacjach Smart Home, gdzie wyświetlacz stanowi gotowe urządzenie sterujące.

### Wyświetlacze EPD

Dosyć ciekawie rozwija się technologia elektronicznego papieru EPD (*Electronic Paper Display*), zwana także e-paper, a czasem także technologią atramentu elektronicznego e-ink. Została opracowana i wdrożona komercyjnie przez firmę E Ink, która do dziś jest wiodącym producentem szerokiego spektrum wyświetlaczy i w zasadzie zdominowała rynek. Sam EPD jest jedną z młodszych metod wyświetlania obrazu.

Podstawy technologii opracowano w latach siedemdziesiątych, ale komercyjnych aplikacji doczekała się dopiero na początku dwudziestego pierwszego wieku. Powodem prac nad EPD, była chęć minimalizacji pobieranej mocy przez sam wyświetlacz jak i przez sterownik odświeżający jego treść oraz chęć eliminacji zmęczenia oczu jaka występowała podczas długotrwałej pracy z ówczesnie używanymi monitorami kineskopowymi i LCD. Zalety te miały być osiągnięte dodatkowo przy zachowaniu szerokich kątów obserwacji, dużej czytelności w świetle dziennym i zachowaniu niewielkiej grubości ekranu dla ułatwienia konstruowania urządzeń mobilnych.

W momencie udostępnienia pierwszych wyświetlaczy e-papierowych ekrany LCD były jeszcze podświetlane świetłówkami, co wymagało zastosowania regulowanej przetwornicy podwyższającej napięcie, wiązało się to oczywiście ze stratami energii oraz zmniejszeniem niezawodności podświetlenia. Układ podświetlenia niezbędny dla odczytu wyświetlacza LCD wymagał sporej przestrzeni, zarówno w samej matrycy na ukrycie świetłówek i elementów rozpraszających światło, tak aby podświetlenie ekranu było równomierne, jak i zajmował sporo miejsca w samym urządzeniu na pomieszczenie sporych transformatorów podwyższających i kondensatorów obwodów wysokiego napięcia. Te wady utrudniały projektowanie niewielkich urządzeń przenośnych i zostały skutecznie wyeliminowane po wprowadzeniu EPD, np. w pierwszym czytniku książek elektronicznych e-book.

Wyświetlacze EPD wykorzystują do wyświetlenia obrazu naturalne światło otoczenia oraz zjawisko elektroforezy. Zjawisko polega na zmianie ruchu cząstek fazy ciekłej

czy systemach informacji pasażerskiej, chociaż w tym zastosowaniu dostępny maksymalny rozmiar pojedynczego wyświetlacza EPD jest aktualnie kilkukrotnie większy (18" vs 42"). Niewielki wybór dostępnych typów, brak wyświetlaczy kolorowych w najbliższym czasie

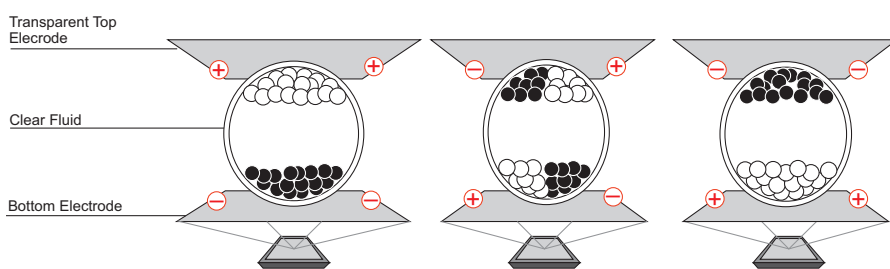


Fotografia 5. Wyświetlacz hybrydowy (za Av-Display)

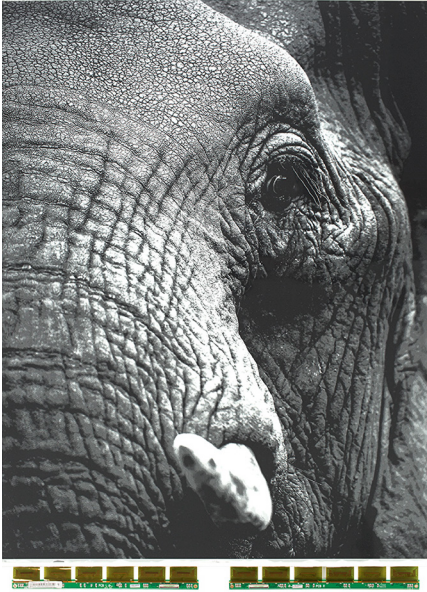
atramentu umieszczonego w mikrokapsułkach pomiędzy elektrodami. W zależności od wytworzonego przez elektrody pola elektrycznego, cząsteczki atramentu zmieniają swoje położenie. Przykładowy sposób wyświetlania obrazu pokazano na **rysunku 2**, w tym przypadku jest to EPD składający się z dwóch pigmentów umieszczonych w przezroczystym płynie. W uproszczeniu zasada działania jest następująca, gdy do elektrod pomiędzy którymi znajduje się mikrokapsułka wypełniona cząsteczkami pigmentu białego (naładowanego ujemnie) i czarnego (naładowanego dodatnio) przyłożymy napięcie, wytworzone pole elektryczne spowoduje zmianę orientacji kapsułek. Wpływając na rozkład tego pola możemy ustawić pigment biały od strony użytkownika, wtedy zobaczy on biały ekran. Zmieniając kolejno rozkład pola możemy zorientować w kierunku użytkownika kapsułki z czarnym atramentem czyniąc ekran czarnym lub odpowiednio sterując polem uzyskać stopniowane wymieszanie kapsułek obserwowane jako gradacja szarości.

Ze względu na bistabilny charakter zachowania się atramentu elektronicznego, nie jest wymagane ciągłe odświeżanie zawartości ekranu, a sam obraz pozostaje na ekranie do czasu kolejnej zmiany wyświetlanej treści. Z odświeżaniem EPD wiąże się jedna z większych wad utrudniających ich szerokie zastosowanie, szczególnie w aplikacjach zastępujących LCD. Jest to stosunkowo długi czas konieczny do zmiany położenia pigmentów, czyli przejścia od białego do czarnego koloru ekranu. W pierwszych wyświetlaczach komercyjnych zastosowanych w czytnikach książek elektronicznych cały ekran potrafił odświeżać się nawet kilka sekund przy rozdzielczościach nie przekraczających 800x600. Częściowym rozwiązaniem problemu powolnego odświeżania, było zastosowanie techniki podziału ekranu na mniejsze fragmenty, tj. polaryzacji podlegały tylko te piksele, które musiały zmienić barwę. Niestety takie fragmentaryczne odświeżanie powodowało pojawianie się cieni na ekranie i co kilka odświeżeń częściowych i tak konieczna była czasochłonna regeneracja całego ekranu.

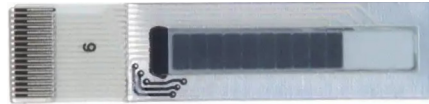
Pomimo rozwoju technologii EPD w dalszym ciągu nie spełniają wymagań płynnej prezentacji materiału video więc wyświetlacze LCD i LED w tym zakresie obecnie nie mają realnego zagrożenia. Naturalną drogą rozwoju wyświetlaczy EPD, jest zwiększanie gęstości pikseli dla uzyskania lepszego oddania szczegółów, zwiększenie rozmiarów samego ekranu oraz uzyskanie kolorów w wyświetlanym obrazie. Pierwsze dwie cechy zaimplementowane zostały bez większych problemów i w handlu dostępny jest wyświetlacz o przekątnej 42" typu VA3200-RBA (E Ink) którego wygląd pokazano na **fotografii 6**. Rozdzielczość ekranu to 2160x2880 pikseli (format 3:4) z możliwością wyświetlania do 16 stopni szarości. Pewnym problemem w aplikacji i upowszechnieniu się tak dużych wyświetlaczy może być cena wynosząca ok. 2500\$ (sam ekran bez kontrolera). Specjalnej uwagi



Rysunek 2. Zasada działania ekranu EPD z dwoma pigmentami (za notą E Ink)



Fotografia 6. VA3200-RBA o przekątnej 42" (za notą E Ink)



Fotografia 7. Prosty wyświetlacz 14 punktowy SC002221 (za notą E Ink)



Fotografia 8. Prosty wyświetlacz 6 cyfrowy SC005221 (za notą E Ink)



Fotografia 9. Wyświetlacz o okrągłym polu odczytowym ET011TJ2 (za notą E Ink)

wymagają też transport i montaż. Ekran VA3200-RBA wykonany na podłożu szklanym ma grubość zaledwie 0,8 mm, co przy tafli o rozmiarze 650×875 mm czyni go wyjątkowo podatnym na uszkodzenia.

Na przeciwnym biegunie mamy dostępne wyświetlacze dla urządzeń noszonych i IoT o przekątnych nie przekraczających 2". Dostępne są zarówno bardzo proste wskaźniki wielopunktowe dla realizacji odczytu typu bargraph np. SC009221, SC002221, których wygląd pokazano na **fotografii 7**, jak i siedmiosegmentowe matryce znakowe zawierające do kilku cyfr np. SC005221. Wygląd SC005221 pokazano na **fotografii 8**.

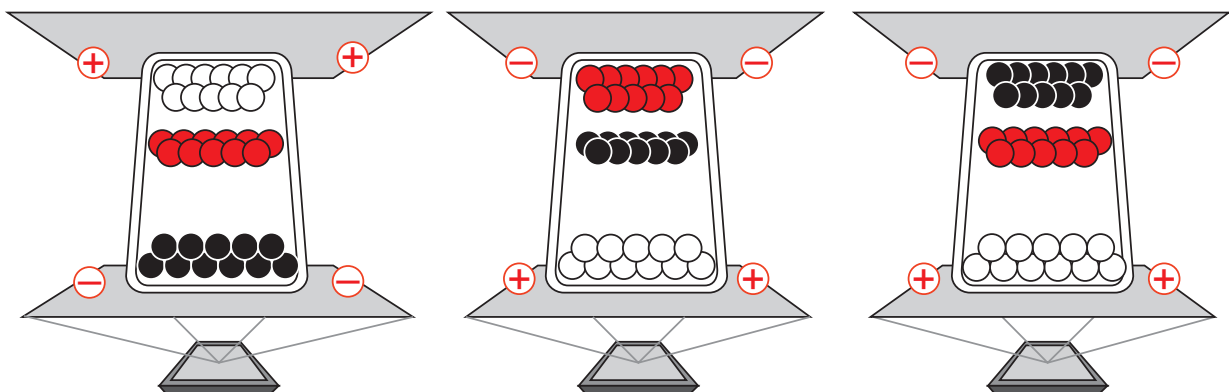
Oczywiście oprócz powszechnych wyświetlaczy o prostokątnym kształcie ekranu coraz popularniejsze stają się wyświetlacze graficzne o okrągłym polu odczytowym. Te ostatnie zaprojektowane są do użycia w monitorach parametrów medycznych, przyrządach pomiarowych lub inteligentnych zegarkach gdzie mogą konkurować z bardziej energochłonnymi wyświetlaczami OLED. Średnica pola odczytowego wyświetlacza ET011TT2 to 1,1" przy rozdzielczości 240×240 pikseli (218 dpi) i czterech stopniach szarości, całkowita grubość wyświetlacza to 0,53 mm przy wadze 0,72 g. Czas odświeżania ekranu wynosi 0,8 s. Ciekawostką jest wyświetlacz ET011TJ2 pokazany na **fotografii 9**, podobny do ET011TT2, ale posiadający otwór pod mocowanie klasycznego wskazówkowego mechanizmu zegarka – czyli z przymrużeniem oka, pierwszy wyświetlacz hybrydowy łączący EPD z wyświetlaczem elektromechanicznym.

### EPD kolorowe

Cechą, nad którą prowadzono intensywne prace rozwojowe, było uzyskanie na EPD obrazu kolorowego. Pierwszą grupą wprowadzającą kolor

do wyświetlaczy EPD jest seria E Ink Spectra, opracowana na potrzeby systemów etykiet elektronicznych ESL (*Electronic Shelf Label*). Doskonale sprawdzają się w tych zastosowaniach wyświetlacze o niewielkich przekątnych ekranu z dodatkowym wyróżniającym pigmentem kolorowym, mieszczące się na krawędzi półki magazynowej. Nie obsługują one oczywiście pełnej palety RGB, ale czasem takie proste wyróżnienie wystarczająco podnosi czytelność i atrakcyjność wyświetlacza. Kontrastowy kolor działa na nas jak odbłaskowy gruby marker, a jak wiadomo przykucie uwagi to połowa sukcesu w handlu. Najczęściej, oprócz standardowego pigmentu białego i czarnego, jako wyróżniaczy stosowany jest pigment czerwony lub żółty. Zasada pracy wyświetlacza jest podobna do dwubarwnego, dwa pigmenty czarny i biały, zostają uzupełnione pigmentem w kolorze czerwonym lub żółtym (zapowiadane są także inne kolory). Pigmenty zamykane są w pojemnikach nazywanych przez producenta Microcups (**rysunek 3**). Barwnik czerwony podobnie jak biały naładowany jest dodatnio, a sterowanie polem elektrycznym o nieco większej komplikacji w porównaniu z wyświetlaczem monochromatycznym umożliwia ustawianie pigmentów w odpowiedniej kolejności dla uzyskania trójkolorowego obrazu.

Przykładem wyświetlaczy trójpigmentowych mogą być EA2220-BJA (E Ink) o rozdzielczości 296×128 pikseli, przekątnej 2,9" i pigmentcie czerwonym, którego wygląd pokazano na **fotografii 10** lub większy EA2220-EGA o rozdzielczości 600×448 pikseli, przekątnej 5,65" i pigmentcie żółtym (**fotografia 11**). EA2220-EGA posiada także wersję z czerwonym kolorem oznaczoną EA2220-EGB o identycznych parametrach. Mniejszy z wyświetlaczy kosztuje jednostkowo 99\$, większy 149\$ za samą matrycę bez kontrolera obrazu.



Rysunek 3. Budowa wyświetlacza z trzecim pigmentem wyróżniającym (za notą E Ink)





Fotografia 10. Wyświetlacz EA2220-BJA z pigmentem czerwonym (za notą E Ink)



Fotografia 11. Wyświetlacz EA2220-EGA z pigmentem żółtym (za notą E Ink)

ciło poprzednie kolory. Nie jest to może jakiś miarodajny i autorytarny test, ale jeżeli przez dłuższy czas wyświetlacz nie będzie miał zmienianej treści polecam sprawdzić, czy nie wymaga odświeżenia treści co kilka dni. Niestety kolorowe pigmenty ograniczają i tak już dosyć wąski zakres temperatur pracy wyświetlaczy EPD.

Dalsze prace rozwojowe doprowadziły do uzyskania wyświetlacza o większej liczbie kolorów. Do produkcji wyświetlaczy kolorowych, stosowane są dwie technologie: pierwsza to CFA (*Color Filter Array*) z dodatkową warstwą filtrów kolorowych umieszczonych przed ekranem EPD, druga to ACeP (*Advanced Color ePaper*) używająca tylko barwnych pigmentów, bez dodatkowej warstwy filtra, która zmniejsza jasność wyświetlanego obrazu (filtr tłumi światło) i zwiększa grubość ekranu.

Wyświetlacze w technologii CFA nazwanej przez E Ink Triton, np. SB1452-QAA o przekątnej 31,2" i rozdzielczości 1280×720 (47 dpi) wyświetlają do 4096 kolorów, nie jest to jakość fotograficzna, lecz do prezentacji, znaków zmiennej treści i tablic reklamowych i informacyjnych jest wystarczająca. Czas odświeżania ekranu wynosi ok. 980 ms. Ze względu na filtr wyświetlacze są nieco grubsze od wykonań standardowych i całkowita grubość SB1452-QAA wynosi 1,35 mm.

Kolorowe wyświetlacze są nieco droższe od odpowiedników monochromatycznych, mają też praktycznie stwierdzoną niższą trwałość zapisanego obrazu, szczególnie dotyczy to wyróżniającego pigmentu. Kilka testowanych w temperaturze pokojowej wyświetlaczy z dodatkowym kolorem czerwonym, po około miesiącu zaczęło się odbarwiać, w efekcie białe tło zrobiło się różowe. Test polegał na zapisaniu treści wyświetlacza i odłączeniu zasilania sterownika. Całkowite odświeżenie ekranu przywróciło poprzednie kolory.

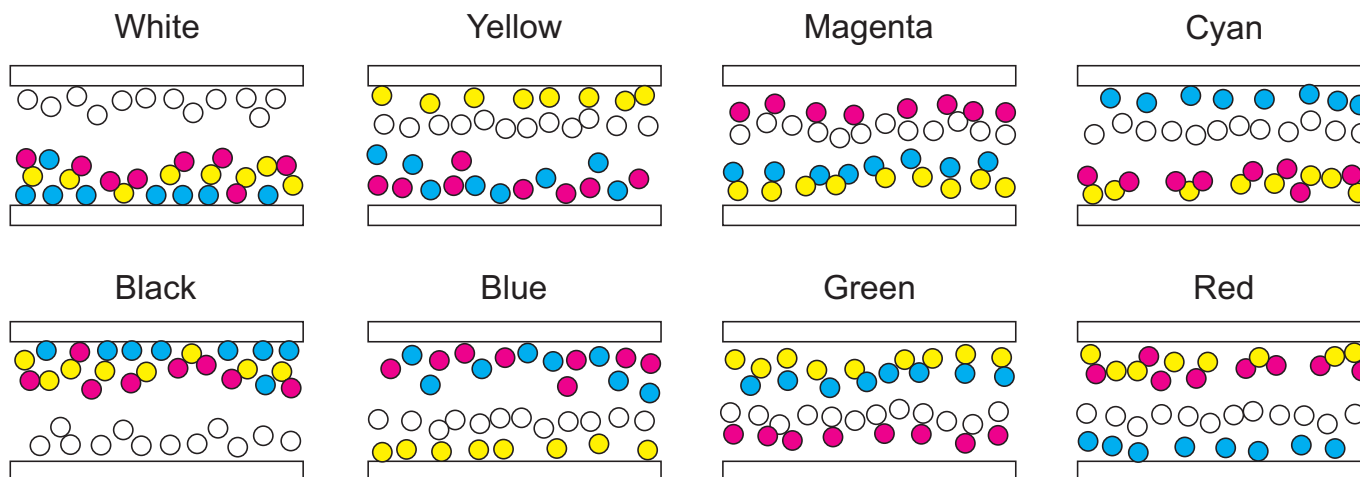


Fotografia 12. Wyświetlacz AC133UT1 w technologii ACeP (za notą E Ink)

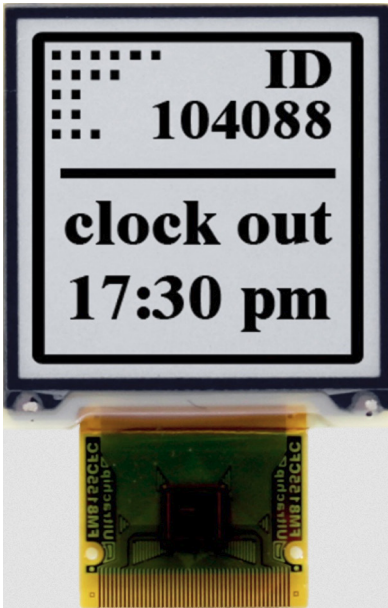
Technologia AceP wykorzystuje cztery pigmenty w kolorach CMYW, zasadę działania przedstawiono na rysunku 4. Zaprezentowany niedawno w postaci próbek inżynierskich wyświetlacz AC133UT1 w cenie 799\$, posiada rozdzielczość 1600×1200 (150 dpi) przy przekątnej 13,3", umożliwia wyświetlenie 32 tys. kolorów. Ze względu na ograniczony zakres temperatur pracy +15...35°C przeznaczony jest do zastosowań wewnętrznych, a prezentowana treść nie powinna zmieniać się zbyt szybko, gdyż czas odświeżenia ekranu to 25 s (tak to nie literówka, więc jeszcze raz słownie, dwadzieścia pięć sekund, szybkość prawie jak w SSTV). Wygląd wyświetlacza AC133UT1 pokazano na fotografii 12. Wraz z nim dostępny jest sterownik T1000 Board zapewniający sterowanie matrycy. Sterownik współpracuje z Raspberry Pi poprzez interfejs USB. Dla Pi w celach testowych przygotowano obraz systemu.

Czy wyświetlacze o tak ograniczonych zakresach temperatur pracy i niemiłosiernie wolnym odświeżaniu znajdą szersze komercyjne zastosowania pokaże czas. Ciekawe czy parametry ulegną poprawie w zapowiadanych ekranie ACeP™ o przekątnej 26,6". Pomimo tych wad, oba wyświetlacze dalej zachowują zalety EPD, pobierają niewiele energii, nie wymagają podświetlania, są czytelne nawet w silnym oświetleniu słonecznym, a zwarta budowa matrycy umożliwia projektowanie ekranów o małej grubości, łatwych do umieszczenia w witrynach, na ścianach itp.

Wyświetlacze EPD wykonywane są na podłożach z tworzyw sztucznych, co jest dobrym punktem wyjścia do stworzenia wyświetlacza



Rysunek 4. Zasada działania wyświetlacza w technologii ACeP (za notą E Ink)



Fotografia 13. Elastyczny wyświetlacz AC133UT1 (za notą Eink)

elastycznego. Komercyjnie dostępne są ekrany o przekątnych od 1,1" do 13,3". Przykładem ekranu elastycznego dedykowanego dla urządzeń IoT jest ET013TT1 o rozdzielczości 252×256 przy przekątnej 1,3". Całkowita grubość ekranu to 0,4 mm, a waga 0,2 g. Wygląd ET013TT1 pokazano na **fotografii 13**.

### EPD nie-energooszczędne

Czasem zaleta jaką jest brak wymaganego podświetlenia, staje się wadą. Ekran EPD wymaga do pracy oświetlenia zewnętrznego, doskonale radząc sobie w oświetle-

niu naturalnym. Podświetlenie staje się problemem w aplikacjach np.: informacji pasażerskiej, info-kioskach, które funkcjonują całą dobę, a nie zawsze stoją w miejscach w których dostępne jest oświetlenie. Takie ekrany wymagają zaprojektowania dedykowanego układu podświetlenia, zapewniającego widoczność treści także po zmroku. Podświetlenie EPD nie jest sprawą trywialną, o czym świadczy niewielka ilość dostępnych ekranów z wbudowanym układem podświetlenia. Problem staje się poważny, gdy do podświetlenia mamy przykładowo matrycę o przekątnej 32...42".

W wyświetlaczu e-paper trudno zastosować podświetlenie tylne, gdyż matryca przepuszcza tylko niewielkie ilości światła, konieczne jest podświetlenie krawędziowe lub przednie, przy grubości matrycy, w większości przypadków, znacznie poniżej 1 mm. Zapewnienie odpowiedniej jasności i równomierności podświetlenia jest sporym wyzwaniem inżynierskim, nie wspominając o problemach z podświetleniem matryc elastycznych. Oczywiście układ podświetlenia pobiera określoną moc i tak skonstruowany ekran raczej mistrzem energooszczędności nie zostanie. A w aplikacjach zewnętrznych, także wąski zakres temperatury pracy EPD, może wygenerować sporo problemów i to nie tylko w wyświetlaczach kolorowych. Przeważnie EPD specyfikowane są na temperatury pracy z zakresu 0...50°C, co przy zastosowaniach zewnętrznych w naszych warunkach wymaga, co najmniej systemu podgrzewania. **Ekran EPD poniżej 0°C nie odmówi natychmiast współpracy, ale obniżenie temperatury spowalnia ruch pigmentów, co rodzi problemy z prawidłowym odświeżeniem ekranu.** Przy niższych temperaturach odświeżenie ekranu staje się niemożliwe, pomimo sterowania elektrod, kapsułki pigmentu nie zmieniają swojego położenia – niestety nie mamy tutaj mechanizmu sprawdzającego poprawność ich położenia.

Przy projektowaniu urządzenia należy zastanowić się kompleksowo, czy reklamowana energooszczędność EPD, po dołożeniu podświetlenia i ogrzewania (i/lub chłodzenia) dalej będzie faktyczna. Problem ten znany jest producentom i dostawcom paneli EPD, każda kolejna generacja wyświetlaczy poszerza zakres temperatur pracy, jednak w dalszym ciągu nie jest to pełen przedział na jaki narażone są urządzenia zewnętrzne, czyli minimum -25...+55°C, nie wspominając o -40...+85°C.

### Sterownik dla EPD

Przy projektowaniu urządzenia należy przeanalizować sposób sterowania wyświetlaczem. W przeciwieństwie do matryc LCD, nie ma standardowego interfejsu takiego jak LVDS, DSI, MIPI. Ekrany EPD ze względu na bardzo wolny proces odświeżania nie wymagają super

szybkich magistral komunikacyjnych. Samo sterowanie EPD, wykonywane jest najczęściej przed dwa układy TCON (*EPD Timing Controller*) i sterownik elektrod (*EPD Driver*) uzupełniany przetwornicą generującą napięcia polaryzacji. Większość układów opracowywana jest dla producentów EPD i nie jest dostępna powszechnie, a dostęp do materiałów obwarowany jest co najmniej licencją NDA. Często spotykanymi sterownikami TCON są: układy serii IT8951xx firmy ITE, S1D13521, S1C17F13 Epson, HX8705 Himax, UC8156 UltraChip, LC79451 ON Semi. Jeżeli TCON nie posiada zintegrowanego drivera często wykorzystywane są układy HT16E07 Holtek. Większość tych układów w obudowach COG montowana jest bezpośrednio na elastycznych taśmach wyświetlacza EPD, a sterowana jest w zależności od typu poprzez SPI lub I<sup>2</sup>C.

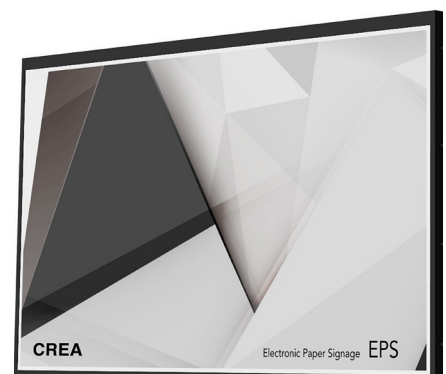
Dla większych wyświetlaczy dostępne są gotowe płytki sterowników, zapewniające komunikacje poprzez USB, sterowanie polega na wykorzystaniu udostępnionego API lub ograniczone jest do pokazu przygotowanych pod kątem EPD obrazów wgrywanych do pamięci sterownika. Gotowy moduł sterujący jest najszybszym rozwiązaniem przy prototypowaniu urządzenia, należy jednak dokładnie zapoznać się z jego możliwościami i ograniczeniami. Uważnie należy też dobrać dostawcę sterownika, aby nie okazało się, że po zakupie produkt jest wycofany lub nagle urywa się wsparcie. **Samodzielne opracowanie sterownika ma sens chyba tylko wtedy, gdy stosujemy najmniejsze wyświetlacze lub mamy zamiar produkować duże serie urządzeń i koszty na projekt mają szansę się zwrócić.** Sterownik jest dopiero początkiem drogi do gotowego produktu, czeka nas jeszcze bonding optyczny, czyli sklejenie wyświetlacza z szybą ochronną, integracja z panelem dotykowym, hermetyzacja całości (wilgoć nie jest sprzymierzeńcem EPD) i wykonanie estetycznej ramki. Oczywiście podobne problemy spotkamy przy LCD, ale tam wybór gotowych rozwiązań jest znacznie szerszy.

Jeżeli zajmujemy się integracją systemów, a nie projektowaniem urządzeń można wykorzystać gotowe panele serii CREA np. 32" EPS2-C07 (2560×1440) lub 42" EPS2-C06 (2160×2880) z interfejsami HDMI i 16 stopniową skalą szarości. Wygląd panelu EPS2-C07 pokazano na **fotografii 14**. EPD to technologia, która rozwija się systematycznie, warto śledzić ten proces, bo wszystko wskazuje na stały wzrost ilości jej aplikacji.

### OLED

Dzięki rozwojowi technologii LED, powstały wyświetlacze OLED (*Organic LED*), które już na dobre zadomowiły się w urządzeniach elektronicznych. Spotykane są zarówno w urządzeniach przenośnych takich jak smartwatche i smartfony, gdzie przekątne nie przekraczają kilku cali, jak i w ekranach telewizorów sięgających kilkudziesięciu cali (np. 88" LG Z9). Wyświetlacze OLED zbudowane są z diod elektroluminescencyjnych, które do emisji światła wykorzystują właściwości polimerów organicznych (półprzewodniki organiczne). Zaletami wyświetlaczy OLED są: wysoka jasność, brak podświetlenia, wysoki kontrast i odwzorowanie barw zachowane, także przy szerokim kącie obserwacji oraz krótki czas reakcji. **Największymi wadami OLED, nad których usunięciem w dalszym ciągu pracują producenci, są: ograniczona trwałość oraz nierównomierne zużywanie się kolorów składowych.**

Pomimo szerszego niż w EPD zakresu temperatur pracy (ok. -20...+40°C)

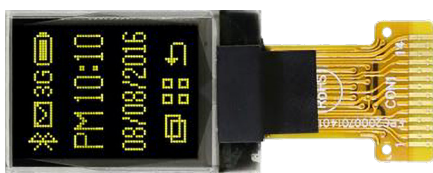


Fotografia 14. Panel Crea EPD typu EPS2-C07 (za notą Eink)





Fotografia 15. Winstar WEH001602ABPP5N0 (z materiałów Unisystem)



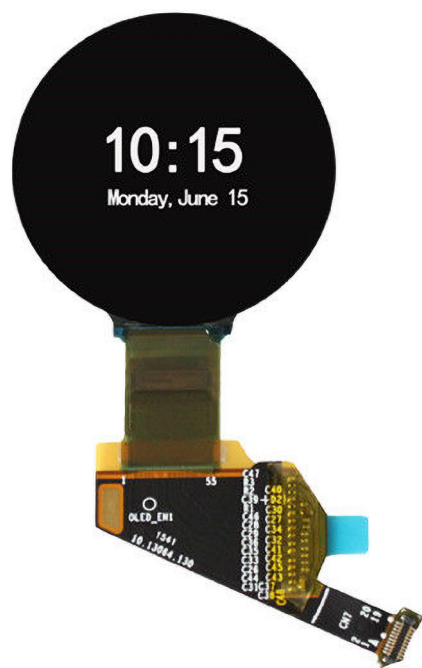
Fotografia 16. Winstar WEO-004864ALPP3N00000 (z materiałów Unisystem)

OLED jest także wrażliwy na warunki środowiskowe i pobiera większą moc w porównaniu do LCD (jak z każdym porównaniem marketingowym trzeba być ostrożnym, można udowodnić, że jest odwrotnie, tylko trzeba odpowiednio dopasować warunki pomiaru...). Podobnie jak w przypadku budowy LCD, dostępne są wyświetlacze pasywne PMOLED (*Passive Matrix OLED*) i aktywne AMOLED (*Active Matrix OLED*). Na rynku od dłuższego czasu obecne są wyświetlacze OLED będące zamiennikami typowych modułów znakowych LCD np. Winstar WEH001602ABPP5N00000 (fotografia 15) lub miniaturowe matryce graficzne np. Winstar WEO004864ALPP3N00000 o przekątnej 0,71" i rozdzielczości 48×64 (fotografia 16), które ze względu na przyszłą cenę i prostotę aplikacji chętnie stosowane są nie tylko w urządzeniach profesjonalnych.

W technologii OLED, możliwe jest wykonanie wyświetlaczy na podłożach elastycznych, które często znajdują zastosowania w opaskach Smartband i zegarkach Smartwatch. Dostępne są OLED na podłożu przezroczystym służące do wyświetlania informacji np. przed szybą pojazdu. Przykładowy wyświetlacz elastyczny PMOLED Futaba FT-180-16032FL posiada rozdzielczość 160×32, przekątną 1,81" i wyświetla grafikę w kolorze białym, a wykonany w technologii AMOLED elastyczny wyświetlacz o okrągłym polu odczytowym typu Innolux INX140RF-400400 (fotografia 17), posiada rozdzielczość 400×400 pikseli, średnicę 1,39" i 16,7 mln. kolorów (interfejs MIPI DSI). Pewnej ostrożności w przypadku wyświetlaczy elastycznych wymaga ich aplikacja. Wyświetlacz może pracować odkształcony, ale nie oznacza to, że będzie można wyginać go w nieskończoność.

Producenci określają ilość możliwych do wykonania wygięć ekranu, najczęściej jest to kilka – do kilkunastu, co całkowicie wystarcza do montażu i serwisu ekranu w docelowym urządzeniu. Wymienione modele pracują poprawnie w zakresie temperatur -20...+60°C.

Przykładem modelu z ekranem transparentnym PMOLED, może być Wisechip Wc151-12856Tr o 50% przejrzystości, rozdzielczości 128×56 pikseli przy przekątnej 1,5". Wyświetlacz wyposażony jest w interfejs



Fotografia 17. Elastyczny wyświetlacz AMOLED (z materiałów Innolux)



Fotografia 18. Zestaw uruchomieniowy LC15079 PMOLED (z materiałów Sparkfun)

SPI lub I<sup>2</sup>C i posiada szeroki zakres temperatury pracy, od -40 do +70°C. Zestaw uruchomieniowy oparty o przezroczysty PMOLED udostępnił Sparkfun w wersji z wyświetlaczem graficznym 1,51" LCD-15173 lub segmentowym 4,1" LCD-15079 4.1 (fotografia 18).

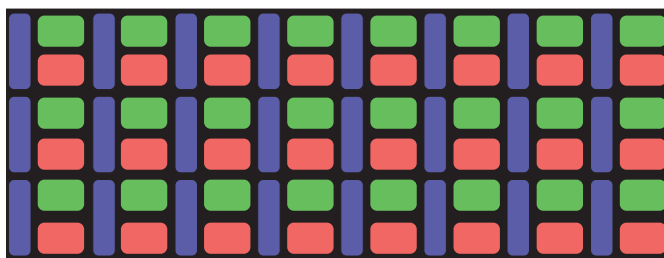
W przypadku wyświetlaczy kolorowych dla uzyskania obrazu o wysokiej jakości, ze względu na zróżnicowaną sprawność emisji kolorów składowych RGB, stosuje się różne kształty i powierzchnie struktur pikseli (np. S-Stripe Samsung, rysunek 5). Następnym etapem dynamicznego rozwoju wyświetlaczy LED, będą najprawdopodobniej układy Micro-Led i QD (*Quantum Dot Display*), napędzane rozwojem telewizji wysokiej rozdzielczości i zwiększeniem wymagań dotyczących wyświetlaczy urządzeń przenośnych.



Fotografia 19. Wygląd prototypowego wyświetlacza Micro-Led (za JDI)

### Wyświetlacze Micro-Led

Jak sugeruje nazwa, wykorzystują mikroskopijnych rozmiarów diody LED, wykonane w konwencjonalnej technologii GaN, składające się na matrycę obrazową RGB. Micro-Led oferują zgodnie z zapewnieniami z materiałów informacyjnych, nieskończony kontrast, 30-krotnie wyższą wydajność, szerokie kąty obserwacji, pozbawione są także wady OLED polegającej na „wypalaniu” ekranu w trakcie użytkowania. Przykładowy prototypowy wyświetlacz o przekątnej 1,6" i rozdzielczości 300×300 opracowany został w 2019 roku przez JDI. Wygląd wyświetlacza pokazano na fotografii 19.



Rysunek 5. Struktura ułożenia pikseli S-Stripe Samsunga

Samsung przygotowuje się do rozpoczęcia masowej produkcji ekranów w technologii Micro-Led, ale o przekątnych sięgających 150", w domyśle mających zastąpić tradycyjne ekrany LCD/OLED w telewizorach oraz stanowić silną konkurencję dla ekranów LED wykorzystywanych dzisiaj w aplikacjach reklamowych (*Wall-Size*). Rekordowy wyświetlacz The Wall jaki został zaprezentowany przez Samsunga ma 292".

## Wyświetlacze QD

Wyświetlacze *Quantum Dot Display* wykorzystują „nano-kropki” kwantowe, które są zdolne do generowania światła o ściśle określonej długości fali. Dobierając rozmiar kropki, co pokazano na **rysunku 6**, możemy generować składowe RGB konieczne do uzyskania obrazu kolorowego. Ze względu na fakt, że zmiana koloru świecenia nie wymaga zmiany materiału nano-kropki, tak jak ma to miejsce w przypadku klasycznych LED, uproszczony został proces produkcji. Komercyjnie wyświetlacze QD znalazły się w telewizorach 8K. Zaletą QD jest bardzo wierne oddanie koloru, wysoki kontrast i sprawność energetyczna, a także niższe koszty produkcji w porównaniu z OLED.

Ekran wykonany w technologii QD znalazły już zastosowanie komercyjne min. w monitorach ASUS ROG SWIFT PG35VQ o rozdzielczości 3440×1440 i przekątnej 35" lub w HP Pavilion 27 o rozdzielczości 2560×1440 i przekątnej 27", którego wygląd pokazano na **fotografii 20**. Zapowiada się więc bardzo ciekawa rywalizacja pomiędzy technologiami „ledowymi”.

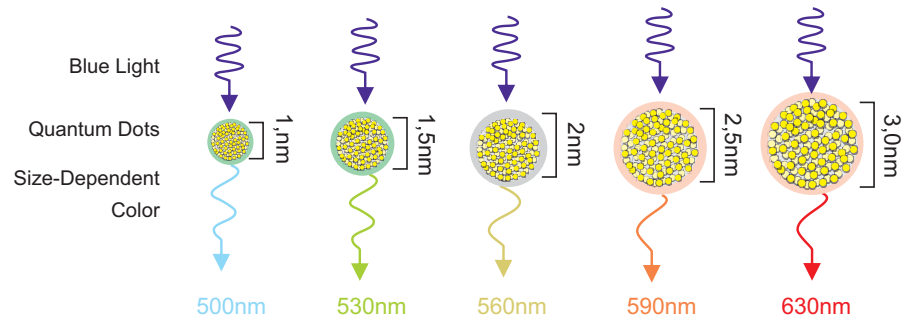
## Wyświetlacze VFD

Mogło by się wydawać, że lampowa technologia z połowy ubiegłego wieku nie znajdzie miejsca w nowoczesnej elektronice. Wyświetlacze VFD przeczą takiej tezie i w dalszym ciągu są produkowane i stosowane. Ze względu na pobór mocy nie znajdują one zastosowań w urządzeniach przenośnych, ale szeroki zakres temperatur pracy  $-40...+85^{\circ}\text{C}$ , wysoka trwałość (wbrew pozorom) i niezawodność, czyni je bezkonkurencyjne w urządzeniach przemysłowych lub pracujących w niskich temperaturach. Wyświetlacze VFD cechują się doskonałą czytelnością w zmiennych warunkach otoczenia.

Wiodącym producentem jest Noritake-Itron oferujący moduły wyświetlaczy tekstowych, graficznych, zgodnych mechanicznie i mogących zastąpić o ile pozwoli na to źródło zasilania, klasyczne znakowe wyświetlacze LCD. Aby nadążyć za potrzebami rynku, wyświetlacze



Fotografia 20. Monitor HP Pavilion 27 wykorzystujący ekran QD (z materiałów HP)



Rysunek 6. Wpływ rozmiaru nano-kropki na generowany kolor (z materiałów Nanosysinc)

oferowane są z nakładkami klawiatury dotykowej np. seria GU-D oferując rozdzielczość 128×32 dla najmniejszego GU128×32D-D903S, aż do 256×128 dla GU256×128D-D903M pokazanego na **fotografii 21**. Dla ułatwienia integracji wyświetlacze wyposażone są w interfejsy I<sup>2</sup>C, SPI oraz port szeregowy UART, szczególnie w przydatny w aplikacjach kasowych POS (*Point Of Sale*), gdzie wyświetlacz może być podłączony bezpośrednio do terminala kasowego.

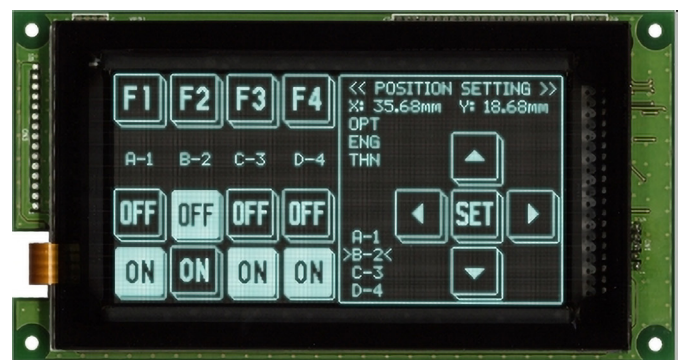
Sterowniki VFD w większości przypadków posiadają tryby zgodności w typowymi kontrolerami znakowych lub graficznych LCD (np. HD44780, KS0108 itp.). Ciekawostką jest wyświetlacz GU512×32H-3940B, który oprócz nietypowej rozdzielczości 512×32 piksele posiada podświetlane diodami LED RGB tło o zmiennym kolorze zwiększające atrakcyjność wyświetlanej treści. Wygląd wyświetlacza pokazano na **fotografii 22**. Alternatywą dla kolorowego podświetlenia mogą być filtry nakładane na wyświetlacz zmieniające jego podstawowy kolor świecenia dostępne w kolorach szarym, zielonym, różowym i niebieskim (pozostałe po uzgodnieniu).

W dalszym ciągu produkowane są wyświetlacze OEM o strukturze segmentowej wg specyfikacji klienta, znajdujące zastosowanie w sprzęcie AV i AGD. Dosyć istotną cechą VFD jest ich określona dostępność czasowa, Noritake zapewnia produkcję wybranych modeli z głównej linii produktowej przez 10 lat.

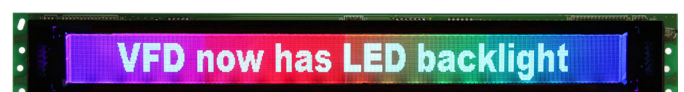
## Podsumowanie

W którym kierunku rozwinie się rynek? Czy QD lub Micro-Led zdominują wyświetlacze? Czy EPD doczeka się wreszcie „prawdziwego” koloru? Do jakiego poziomu zostanie ograniczony pobór mocy wyświetlaczy? Czy może zostanie udostępniona zupełnie inna technologia wyświetlania? Czas pokaże.

Adam Tatuś, EP  
adam.tatus@ep.com.pl



Fotografia 21. Wyświetlacz graficzny VFD GU256x128D-D903M (z materiałów Noritake-Itron)



Fotografia 22. Wyświetlacz graficzny VFD GU512x32H-3940B z kolorowym podświetleniem (z materiałów Noritake-Itron)