

Roman BARCZYK, Błażej KABZIŃSKI, Danuta JASIŃSKA-CHOROMAŃSKA, Agnieszka STIENSS
POLITECHNIKA WARSZAWSKA, INSTYTUT MIKROMECHANIKI I FOTONIKI
ul. św. A. Boboli 8, 02-525 Warszawa

Pomiary równomierności oświetlenia matryc LCD

Mgr inż. Roman BARCZYK

Ukończył studia na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej w 2004 r. po czym został doktorantem a następnie asystentem na tym wydziale. Pracuje w Instytucie Mikromechaniki i Fotoniki PW, gdzie prowadzi zajęcia m.in. z przedmiotu Urządzenia Multimedialne.



e-mail: R.Barczyk@mchtr.pw.edu.pl

Mgr inż. Błażej KABZIŃSKI

Ukończył studia na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej w 2002. Od 2004 roku jest doktorantem na tym samym Wydziale. Zajmuje się tematyką związaną z komputerowymi urządzeniami peryferyjnymi, ze szczególnym uwzględnieniem urządzeń do obrazowania.



e-mail: b.kabzinski@mchtr.pw.edu.pl

Prof. nzw. dr hab. inż.

Danuta JASIŃSKA-CHOROMAŃSKA

Ukończyła studia na Wydziale Mechaniki Precyzyjnej PW (obecnie Wydział Mechatroniki) w 1975. W 1983 uzyskała stopień doktora (na Wydziale Mechaniki Precyzyjnej PW), a w 2001 stopień doktora habilitowanego. Jest autorką i współautorką ponad 120 prac naukowych, w tym autorką 2 monografii z zakresu projektowania mechatronicznego urządzeń pomiarowych i rehabilitacyjnych w oparciu o modelowanie i symulację komputerową.



e-mail: danuta@mchtr.pw.edu.pl

Mgr inż. Agnieszka STIENSS

Absolwentka Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej, specjalność Techniki Multimedialne. Podczas pisania pracy dyplomowej stworzyła stanowisko pomiarowe umożliwiające badanie parametrów monitorów posiadających matryce ciekłokrystaliczne. Obecnie, w celu połączenia swoich zainteresowań z wiedzą zdobytą na studiach, uczęszcza na studia podyplomowe na kierunku Reklama i Marketing. Obecnie pracuje w Instytucie Edukacji Interaktywnej Estakada.pl



e-mail: a.stienss@gmail.com

Streszczenie

Artykuł porusza kwestie pomiaru równomierności oświetlenia oraz parametrów związanych z tym zjawiskiem: współczynnika kontrastowości, nierównomierności kontrastu, luminancji i jej nierównomierności. Przedstawia powody, dla których te parametry są istotne pod względem użytkowym, oraz opisuje metody, jakimi można badać wymienione powyżej parametry. Przedstawia wyniki badań wykonanych na próbie pięciu monitorów tego samego modelu.

Słowa kluczowe: monitory LCD, luminancja, współczynnik kontrastowości, nierównomierność, kontrast.

Illumination equality measurement of LCD matrices

Abstract

The illumination uniformity in LCD monitors is analyzed in the paper. The phenomenon is described and explained by taking into consideration the following parameters: contrast ratio, luminance, uniformity of display contrast, and luminance. No defined measurement method of these values exists (except partially different standards by ISO, VESA, ANSI). The method which unifies and minimizes measurements is described in the paper. The same measurement points are used to measure all parameters under consideration. Luminance measurements are made in a dark room, on center of a screen surface emitting white color. The same is also used in uniformity measurement (Eq. 1). It describes luminosity difference values in different places of monitor. Contrast ratio (Eq. 2) measurements were made using electronic set of photodiode and transimpedance amplifier in one structure (Fig. 2). Uniformity measurement of display contrast have been made in few points, defined by VESA organization (Figs. 3, 4, 5, 6). 5 monitors of the same model were tested (Tab. 1). Contrast ratio shows significant difference for each monitor and between each other. Similar results are for luminance and luminance uniformity (Tab. 4) where difference in uniformity reached almost 40%. Type of monitor backlight is main cause of poor uniformity, but also quality of LCD matrices may have influence on overall comfort of using such monitors. The results show that luminance and contrast uniformity should be given in technical specification of products.

Keywords: LCD, monitor, luminance, contrast ratio, uniformity.

1. Wstęp

Monitory LCD obecnie są najpopularniejszymi urządzeniami do wyświetlania informacji od tekstu po obraz statyczny lub ruchomy. Jako użytkownicy często jesteśmy pozbawieni dokładnych informacji na temat tego typu technologii i nie zawsze jest to tylko wynik zaniedbań ze strony producentów. Niejednokrotnie brak informacji dotyczących tych produktów jest wynikiem celowych działań firm wytwarzających panele. Teoretycznie wszystkie modele monitorów LCD wydają się mieć parametry pozwalające na używanie ich w każdej dziedzinie. W praktyce jednak okazuje się, że wykazanie różnic w jakości wyświetlanego obrazu pomiędzy różnymi monitorami w większości przypadków nie następuje większego kłopotu.

W artykule tym zajmiemy się zestawem parametrów, które mają wpływ na jakość obserwowanego obrazu – szeroko pojętą równomiernością oświetlenia matrycy. Pomiary parametrów w przeważającej większości przeprowadzane są przez producentów matryc a nie, jak powszechnie się uważa, producentów monitorów. Podczas takich pomiarów matryce umieszczane są na specjalnych platformach, na których podłącza się je do sygnału testowego. Lampy podświetlające są zasilane prądem elektrycznym o ściśle określonej wartości. W gotowym monitorze jednak, elektronika różni się bardzo od generatora sygnału stosowanego w laboratorium, umożliwia użytkownikowi zmienianie niektórych z jej ustawień, takich jak jasność, kontrast, itp. [1]. Jeśli dwie takie same matryce zostaną zamontowane w różnych monitorach, będą one w większości przypadków wyświetlały ten sam obraz w inny sposób. Jest to jedna z wielu przyczyn różnic występujących pomiędzy monitorami o takich samych specyfikacjach technicznych.

2. Luminancja i nierównomierność podświetlenia

Luminancja jest podstawowym parametrem fotometrycznym opisującym emisję lub odbicie światła od danej powierzchni. Jest to główny parametr określający jej jasność, czyli cechę psychofizjologiczną. W zależności od ilości światła docierającego do danej powierzchni jest ona postrzegana, jako bardziej lub mniej jasna. Postrzegana jasność zależy od natężenia oświetlenia oraz od o-

czenia obserwowanej powierzchni, podczas gdy luminancja mówi o strumieniu świetlnym rzeczywiście emitowanym lub odbijanym od jednostkowej powierzchni obserwowanego obiektu. Jasność podawana jest w ANSI lumenach [2]. Aby sprawdzić, jak dużą nierównomiernością podświetlenia charakteryzuje się dany monitor, należy zmierzyć wielopunktowo jego luminancję, ponieważ, kiedy cały ekran emituje (wyświetla) jeden kolor, jego jasność w różnych punktach ekranu może być różna, np. obszar centralny może być jaśniejszy niż narożniki [3].

2.1. ISO 9241-305

Podobnie, jak w przypadku wielu innych parametrów monitorów ciekłokrystalicznych, również i w przypadku luminancji i nierównomierności podświetlenia, norma ISO proponuje metodę pomiaru. Cała procedura sprowadza się do wyświetlenia na całej powierzchni ekranu białej planszy, oraz do pomiaru wartości luminancji w jej centralnym punkcie. Norma podaje następujące warunki pomiaru:

- plansza testowa: pełen ekran 100% biały,
- miejsce pomiaru: centralny punkt ekranu,
- ustawienie urządzenia pomiarowego: prostopadłe do powierzchni ekranu,
- warunki pomiarów: pomiar punktowy, przeprowadzony w zaciemnionym otoczeniu.

Zmierzona wartość jest następnie wykorzystywana przy pomiarze nierównomierności podświetlenia matrycy. Wartość otrzymana w wyniku pomiaru w punkcie centralnym staje się wówczas wartością odniesienia i to z nią porównywane są pomiary w innych punktach ekranu.

Wyniki równomierności podświetlenia podawane są w procentach w stosunku do środka matrycy, gdzie luminancja wynosi 100%. Określenie nierównomierności podświetlenia sprowadza się więc do obliczenia procentowego stosunku luminancji w punktach pomiarowych w stosunku do środka ekranu, czyli

$$L_i(\%) = \frac{L_i}{L_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

gdzie L_i to wynik pomiaru w i -tym punkcie ekranu, a L_0 to wynik pomiaru w punkcie centralnym [9]. Dzięki temu, po wykonaniu wszystkich pomiarów można stworzyć planszę odzwierciedlającą nierównomierność podświetlenia badanego egzemplarza monitora.

3. Kontrast (współczynnik kontrastowości, CR)

W wypadku ekranów ciekłokrystalicznych LCD bardziej poprawną nazwą dla „kontrastu” jest tzw. kontrastowość (lub współczynnik kontrastowości) CR - Contrast Ratio. Jest on zdefiniowany, jako stosunek luminancji maksymalnej L_{\max} (najjaśniejszego punktu ekranu) do minimalnej L_{\min} (najciemniejszego punktu ekranu) [2].

$$CR = \frac{L_{\max}}{L_{\min}}. \quad (2)$$

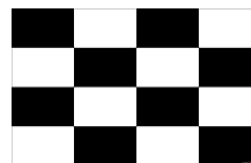
Zakres, w jakim mieszczą się podawane przez producentów wartości współczynników kontrastowości jest niezwykle szeroki. Trudno również określić skąd wzięły się wartości minimalna i maksymalna, które odnoszą się do tego współczynnika.

Spśród metod pomiarowych, które mogą zostać wykorzystane w celu określenia współczynnika kontrastowości danego urządzenia należy wymienić dwie, najczęściej wykorzystywane metody: ANSI oraz VESA.

3.1. Standard ANSI

W roku 1992 grupa ekspertów, pracująca pod patronatem ANSI (American National Standards Institute - instytucja ustalająca

normy techniczne w USA) opracowała dokument zawierający wskazówki dotyczące metod testowania wyświetlaczy i projektorów (ANSI IT7.215-1992). Jednym z popularniejszych osiągnięć tej grupy, było ustalenie standardu ANSI dotyczącego jasności monitorów. Mniej znanym jest standard dotyczący wyznaczania współczynnika kontrastowości. Zgodnie z tym standardem „współczynnik kontrastowości powinien być wyznaczany z wartości luminancji otrzymanych z pomiarów wykonywanych na planszy testowej ‘szachownica’, składającej się z szesnastu, jednakowych, co do wielkości prostokątów. [...] Prostokąty białe powinny być wyświetlane z maksymalną możliwą dla danego urządzenia jasnością, podczas wykonywania pomiarów żadne z ustawień nie powinno być zmieniane. [...] Pomiary winny być wykonywane w centralnym punkcie każdego z prostokątów (zarówno białych, jak i czarnych). Średnia wartość luminancji zmierzona dla prostokątów białych powinna być podzielona przez średnią wartość luminancji prostokątów czarnych, np. 15 luxów dla prostokątów białych, 0,100 luxów dla czarnych, daje wartość CR równą 150:1, [4]. Warto zauważyć, że wyświetlacz musi wyświetlać najjaśniejszą biel i najciemniejszą czerń w tym samym momencie. Wyświetlanie najpierw jednego, a następnie drugiego z nich (lub naprzemiennie) niewątpliwie spowoduje otrzymanie bardziej rozbieżnych wyników.



Rys. 1. Plansza wykorzystywana przy pomiarze zgodnie ze standardem ANSI
Fig. 1. Pattern for ANSI standard measurements

Współczynnik nie będzie odnosił się do tego, co tak naprawdę obserwator widział w danym momencie [5]. W standardzie tym zaznaczono, że pomiar dla punktów białych wykonywany ma być przy maksymalnej możliwej dla danego urządzenia jasności. Jeśli, zgodnie z tym standardem, pomiar czerni zostanie wykonany dla niezmiennych warunków, odczytane wartości będą zaburzone.

3.2. Standard VESA

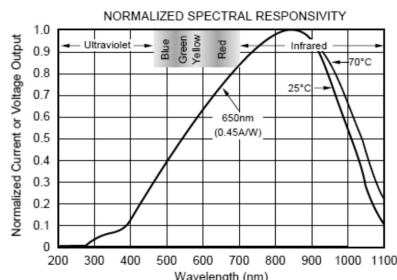
Powszechnie używany jest również standard wprowadzony przez VESA (Video Electronics Standards Association – Konsorcjum dla standaryzacji grafiki komputerowej) o nazwie FPDM (Flat Panel Display Measurements – pomiary płaskich wyświetlaczy) [6]. Różni się on od standardu zaproponowanego przez ANSI jedynie wielkością planszy „szachownicy”. Według tego standardu powinna ona mieć wymiary 5×5 czarnych i białych prostokątów [7].

3.3. Wybór i opis metody pomiaru

Pomiar współczynnika kontrastowości można wykonać również w centralnym punkcie ekranu i to właśnie z tą metodą można spotkać się najczęściej. Punkt ten w dużej większości monitorów odzwierciedla najlepsze wartości tego współczynnika, co wynika bezpośrednio z budowy matrycy ciekłokrystalicznej.

Pomiary zostały wykonane z wykorzystaniem układu OPT101 składającego się z fotodiody ze wzmacniaczem transimpedancyjnym, scalonych w jednej strukturze [8]. Wzmacniacz daje napięcie, które jest wprost proporcjonalne do natężenia strumienia światła wchodzącego w strefę pomiaru. Zakres działania fotodiody pokazano na wykresie zamieszczonym na rys. 2. Ponieważ główną cechą urządzenia jest bardzo szybka zamiana strumienia fotonów na napięcie elektryczne, można pominąć czas, w jakim ma dojść do tej konwersji, a skupić się jedynie na jej efekcie – napięciu prądu. Po podłączeniu sygnału wyjściowego urządzenia do woltomierza uzyskać można wynik, który można wykorzystać do obliczenia współczynnika kontrastowości, jego nierównomierności, luminancji oraz nierównomierności luminancji. Wynika to

z faktu, że podczas zgromadzenia danych potrzebnych do obliczenia jednego parametru (nierównomierności CR) zostaną zgromadzone dane wystarczające do pokazania zmian pozostałych parametrów.



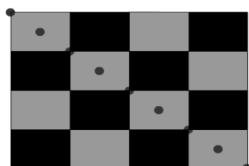
Rys. 2. Charakterystyka spektralna fotodiody w układzie OPT101
Fig. 2. Spectral characteristics of photodiode used in OPT101

4. Nierównomierność współczynnika kontrastowości CR (kontrastu)

Aby zmierzyć nierównomierność współczynnika kontrastowości na powierzchni monitora, należy przeprowadzić pomiar w kilku punktach, a następnie porównać ze sobą otrzymane wartości. Ważnym jest, by tak dobrać punkty podczas pomiaru, by uzyskane dane posłużyły do analizy również innych parametrów.

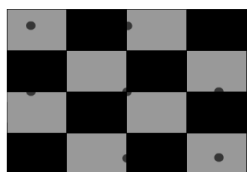
4.1. Norma ISO 9241-305

Norma ta traktuje pomiar nierównomierności kontrastu, jako drugą część pomiaru współczynnika kontrastowości. Należy bowiem zmierzyć ten właśnie współczynnik nie tylko w centralnym punkcie ekranu, ale również w ośmiu innych punktach. Norma odwołuje się tutaj do definicji „9 standardowych punktów pomiarowych”, określa położenie punktów, w których dokonany ma być pomiar. Punkty te zostały określone przez VESA, a normy ISO jedynie wykorzystują stworzone wcześniej definicje.



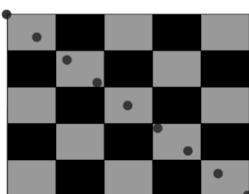
Rys. 3. Standardowe punkty pomiarowe (9 punktów) z szachownicy o wymiarach 4×4

Fig. 3. Standard measurement points (9 points) with 4×4 fields



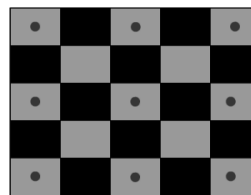
Rys. 4. Alternatywne punkty pomiarowe (9 punktów) z szachownicą o wymiarach 4×4

Fig. 4. Alternative measurement points (9 points) with 4×4 fields



Rys. 5. Standardowe punkty pomiarowe (9 punktów) z szachownicą o wymiarach 5×5

Fig. 5. Standard measurement points (9 points) with 5×5 fields



Rys. 6. Alternatywne punkty pomiarowe (9 punktów) z szachownicą o wymiarach 5×5

Fig. 6. Alternative measurement points (9 points) with 5×5 fields

Nierównomierność kontrastu CU oznaczona będzie liczbą

$$CU = 100\% \frac{C_{\min}}{C_{\max}}, \quad (3)$$

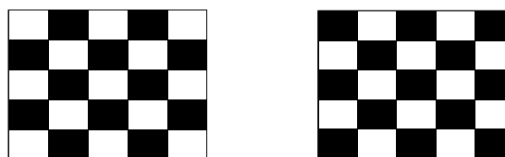
gdzie C_{\min} i C_{\max} są minimalną i maksymalną zmierzoną wartością CR [9]. Warto zauważyć, że w kwestii sposobu badania kontrastu i jego nierównomierności następuje pewien brak konsekwencji. Jeśli do pomiaru CR wykorzystana jest metoda ANSI, stosując planszę szachownicy o wymiarach 4×4 prostokąty, nie będzie można wówczas zbadać tą samą metodą nierównomierności podświetlenia, ponieważ zarówno przy wykorzystaniu „standardowych 9 punktów pomiarowych”, jak i wykorzystując ich „alternatywną” wersję, granice między prostokątami będą nachodziły na punkty pomiarowe. Uniemożliwi to pomiar nierównomierności CR .

Najlepszym rozwiązaniem wydaje się być pomiar zgodny ze standardem VESA, będącym modyfikacją standardu ANSI. To właśnie w tej metodzie wykorzystywana do pomiarów szachownica ma 5 kolumn i 5 wierszy. Dodatkowo wybrana zostanie plansza z „alternatywnym” rozłożeniem 9 punktów pomiarowych, do których dodane zostaną jeszcze cztery punkty po to, by wykres nierównomierności luminancji lub współczynnika kontrastowości bardziej odwzorowywał stan faktyczny.

Wybór ten umożliwi zbadanie za pomocą tej samej metody zarówno współczynnika kontrastowości, jak również jego nierównomierności i, co najważniejsze, dzięki temu możliwe będzie odniesienie do siebie otrzymanych wyników. Zgromadzone podczas tego pomiaru dane dadzą również informację na temat nierównomierności luminancji emitowanej przez monitor.

4.2. Wybór i opis metody pomiaru

Do badania współczynnika kontrastowości oraz jego nierównomierności wykorzystany zostanie zestaw dwóch „szachownic”. W miejscach białych prostokątów, które znajdują się na jednej z nich, umieszczono czarne prostokąty na szachownicy drugiej.



Rys. 7. Plansze testowe

Fig. 7. Test boards

Pomiar nierównomierności współczynnika kontrastowości nie jest skomplikowany, wymaga jednak od badającego dużej dokładności. W pierwszej kolejności należało wyświetlić planszę przedstawioną po lewej stronie powyższego rysunku. Przykładając urządzenie do kolejnych prostokątów w kolorze białym, dokonano odczytu wskazań woltomierza. Pomiar przeprowadzony został w 13 punktach (białych obszarów dla tablicy pierwszej i analogicznie czarnych obszarów dla tablicy drugiej) dla każdej z szachownic. Dla większej dokładności pomiar w każdym punkcie został przeprowadzony pięciokrotnie. Te same kroki zostały powtórzone dla drugiej planszy – po prawej stronie.

5. Wyniki badań

Do wykonania pomiarów wybrano 5 sztuk 19-calowych monitorów – tego samego modelu, tej samej firmy. Parametry, jakie podaje producent znajdują się w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry monitorów
Tab. 1. Monitor parameters

Matryca	Liczba kolorów	Czas reakcji	Rozdz. podst.	Jasność	Kontrast	Kąt widzenia	Złącze
TN	16,7 mln	2 ms	1280×1024 px	300 cd/m ²	1000:1	160/160	DVI-D

5.1. Współczynnik kontrastowości CR i jego nierównomierność

Wyniki procentowe obrazujące nierównomierność współczynnika kontrastowości przy wartości podświetlenia określonej na 100% i na 50% uzyskane dla przebadanej grupy pięciu monitorów zostały zestawione w tabeli 2.

Tab. 2. Wyniki pomiarów współczynnika kontrastowości
Tab. 2. Contrast Ratio measurement results

Parametr	Monitor 1		Monitor 2		Monitor 3		Monitor 4		Monitor 5	
	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%
Min CR	68,9	57,9	67,8	69,9	63,8	64,3	63,7	63,8	58,0	50,0
Max CR	127,9	112,3	105,5	100,0	113,5	105,4	115,3	122,2	110,3	100,6
ACR	59,0	54,4	37,7	30,1	49,7	41,1	51,6	58,4	52,3	50,6
Nierównomierność CU	53,8	51,5	64,3	70,0	56,2	61,0	55,2	52,2	52,6	49,7

Zauważyć można duże rozbieżności pomiędzy skrajnymi wartościami procentowymi dla tego współczynnika. Średnia wartość tych różnic dla 5 monitorów wynosi niemal 50%. Nie sposób jednak omawiać tego parametru bez zwrócenia uwagi na nierównomierność podświetlenia – zarówno luminancji bieli, jak i czerni. Jest bowiem oczywiste, że wszelkie nierównomierności występujące dla tych dwóch parametrów są bezpośrednią przyczyną zarówno nierównomierności współczynnika kontrastowości, jak i zmian jego rozłożenia wynikającego ze zmian natężenia podświetlenia matrycy. Główną przyczyną tak dużych rozbieżności wynika zatem głównie z typu podświetlenia monitora, co sprowadza się do jego nierównomierności podświetlenia.

Po przyjrzeniu się parametrowi opisującemu nierównomierne rozłożenie współczynnika kontrastowości warto zwrócić uwagę na wartości współczynnika kontrastowości liczonego dla całego monitora.

Tab. 3. Zestawienie wartości współczynnika kontrastowości
Tab. 3. Contrast Ratio values

	Monitor 1	Monitor 2	Monitor 3	Monitor 4	Monitor 5
Wartość CR	40:1	43:1	46:1	38:1	38:1

5.2. Luminancja bieli i jej nierównomierność

Głównym powodem nierównomierności luminancji, jest rodzaj podświetlenia, jakie zostało użyte podczas produkcji tych monitorów. Są one wyposażone w podświetlenia typu CCFL -lampy fluorescencyjne z zimną katodą. Przy tego typu lampach różnice jasności między centralnym punktem ekranu a jego krawędziami mogą wynosić nawet 40%.

W tabeli 4 znajdują się minimalne i maksymalne wartości luminancji bieli, podane w procentach, liczone względem środka ekranu). Zgodnie z przewidywaniami widoczne są dość znaczne nierównomierności. Powodów takiej sytuacji może być kilka, począwszy od nierównomierności oświetlenia znajdującego się pod matrycą, a kończąc na niedokładności wykonania samej matrycy (np. występujące niekiedy miejscowe zabrudzenia, które mogą dostać się podczas umieszczania matrycy w obudowie). Wyraźne nierównomierność umieszczenia bieli w podświetleniu matrycy monitorów są głównym źródłem nierównomierności rozłożenia współczynnika

kontrastowości, dużo mniejszy wpływ na te nierównomierności ma nierównomierność wyświetlanych czerni. Pomiar ten dowodzi, że choć nierównomierność podświetlenia matrycy (a co za tym idzie nierównomierność rozłożenia współczynnika kontrastowości) nie są podawane w specyfikacjach, są one widocznym i niejednokrotnie uciążliwym zjawiskiem i warto zdawać sobie sprawę ze skali jego występowania. Posługując się zaproponowaną metodą pomiaru z łatwością można będzie zobrazować te parametry.

Tab. 4. Wyniki pomiarów nierównomierności oświetlenia
Tab. 4. Measurement results of luminance uniformity

		min [%]	max [%]	Δ lum [%]
Monitor 1	100%	75,6	100,0	24,4
	50%	68,0	105,2	37,2
Monitor 2	100%	81,2	100,0	18,8
	50%	67,0	100,0	33,0
Monitor 3	100%	81,3	100,0	18,7
	50%	72,9	100,4	27,5
Monitor 4	100%	78,9	100,0	21,1
	50%	73,4	105,3	31,9
Monitor 5	100%	83,9	100,9	17,0
	50%	81,2	116,6	35,4

6. Wnioski

Wyniki badań pokazują jak bardzo niewłaściwy jest opis techniczny monitorów LCD w stosunku do rzeczywistych właściwości użytkowych tych urządzeń. Przedstawione powyżej parametry luminancji i współczynnika kontrastowości są podawane przez producentów w niewłaściwy sposób, a nierównomierność luminancji i kontrastu nie są nigdy uwzględniane w opisie producentów. Badania wykonane za pomocą przedstawionych metod wykazują jak znaczące rozbieżności opisywanych parametrów występują w obszarze roboczym monitora, oraz co równie ważne pomiędzy teoretycznie identycznymi urządzeniami. Wskazuje to na fakt, iż takie elementy jak rodzaj i jakość podświetlenia, jakość podzespołów sterujących mają równie duży wpływ na sumaryczną jakość obrazu, podobnie jak sama matryca LCD [10]. Artykuł przedstawia metodę, będącą kompilacją wytycznych różnych organizacji oraz samodzielnych przemyśleń, która pozwala w optymalny sposób pod względem szybkości i dokładności zbadać cechy związane z kontrastem i luminancją wyświetlacza LCD.

7. Literatura

- [1] <http://www.xbitlabs.com/articles/monitors/display/lcd-guide.html>. Pobrano z lokalizacji X-bit's Guide: Contemporary LCD Monitor Parameters and Characteristics - X-bit labs.
- [2] <http://www.wemif.pwr.wroc.pl/wslowko/oo/ooow.htm>. Pobrano z lokalizacji Politechnika Wroclawska - Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki.
- [3] http://www.xbitlabs.com/articles/monitors/display/lcd-testmethods_4.html. Pobrano z lokalizacji X-bit's Guide: Contemporary LCD Monitor Parameters and Characteristics - X-bit labs.
- [4] Standard ANSI IT7.215-1992.
- [5] http://www.da-lite.com/education/angles_of_view.php?action=details&issueid=56. Pobrano z lokalizacji Da-Lite.
- [6] <http://gizmodo.com/gadgets/feature/contrast-ratio-shoot+out+everyone-loses-259495.php>. Pobrano z lokalizacji Gizmodo.
- [7] <http://pcworld.about.com/gi/dynamic/offsite.htm?site=http://www.pcworld.com/news/article/0,aid,110483,pg,2,00,asp>
- [8] http://www.cyfronika.com.pl/semi/cz_przetworniki.htm. Pobrano z Przetworniki i przelaczniki optyczne.
- [9] ISO 9241-305, „Optical laboratory test methods for electronic visual displays”.
- [10] <http://www.monitory.mastiff.pl/faq.php?ID=30&PHPSESSID=ce76425eb0e8c05123a1e7348c26934c>