

Analiza parametrów kolorymetrycznych wybranych urządzeń z wyświetlaczami LCD/OLED w funkcji kąta obserwacji

Streszczenie. Urządzenia z wyświetlaczami LCD lub OLED są coraz bardziej powszechne. Smartfony, tablety, notebooki, telewizory, infokioski wykorzystują dynamiczną prezentację treści poprzez ekrany wykorzystujące technologię diod organicznych lub ciekłokrystaliczną. Niezależnie od technologii istotne jest, aby urządzenie właściwie prezentowało treści barwne, niezależnie od sposobu obserwacji ekranu. W artykule zaprezentowano badania wybranych urządzeń przenośnych z ekranami w technologii LCD i OLED pod względem analizy rozkładu widmowego i parametrów kolorymetrycznych w funkcji kąta obserwacji ekranu. Analiza uzyskanych wyników pozwoli ocenić, czy tego typu urządzenia można zastosować do opracowania nowoczesnych opraw oświetlenia awaryjnego o zmiennej treści.

Abstract. Nowadays devices with LCD or OLED displays are becoming more common. Smartphones, tablets, notebooks, TVs, kiosks utilize a dynamic presentation of content through the screens using the technology of organic diodes or liquid crystal. Regardless of the technology, it is important that the device correctly presented color content, independently of the observation of screen. The paper presents a study of selected mobile devices with screens in the LCD and OLED technology in terms of the analysis of the spectral distribution and colorimetric parameters as a function of angle of observation of the screen. Analysis of the results will allow assessing whether this type of device can be used to develop a modern emergency lighting with variable content. (Analysis of colorimetric parameters of selected LCD/OLED displays as a function of angle of observation)

Słowa kluczowe: LCD, OLED, LED, wyświetlacz, kolorymetria, oświetlenie awaryjne.

Keywords: LCD, OLED, LED, display, colorimetry, emergency lighting

Wstęp

Oprawy awaryjne i ewakuacyjne, dopuszczone do użytku w Polsce, powinny być zbudowane zgodnie z wymaganiami określonymi w stosownych przepisach i regulacjach prawnych. Obecnie produkowany sprzęt oświetleniowy nie pozwala na dynamiczną zmianę treści znaku bezpieczeństwa. W związku z ogólną dostępnością i coraz niższymi cenami urządzeń z wyświetlaczami LCD/OLED zaproponowano [1] opracowanie oprawy oświetlenia ewakuacyjnego, która pozwoli wyeliminować ten mankament.

Aktualnie dostępne urządzenia (wyświetlacze) mogą być wykonane w kilku technologiach. W technologii LCD wykorzystuje się ciekłe kryształy, które współpracują dodatkowo z systemami podświetlającymi wykorzystującymi diody LED [2]. Od sposobu realizacji podświetlenia zależy równomierność rozkładu luminancji oraz tzw. "jasność" wyświetlacza. Technika emisji strumienia świetlnego z wykorzystaniem elementów OLED pozwala na osiągnięcie prawie dwa razy większej efektywności energetycznej urządzenia (skuteczność świetlna) niż ekrany typu LCD, ponieważ emisja światła w wyświetlaczach OLED jest bezpośrednia i nie wymaga stosowania tzw. "backlight", z drugiej zaś strony wyświetlacze OLED charakteryzują się prawie dwa razy mniejszą luminancją.

Moduły i wyświetlacze LCD oraz OLED zwykle opisuje się technicznie za pomocą dwóch parametrów: luminancji średniej i kontrastu dynamicznego. Podobne parametry odnoszą się do opisu opraw ewakuacyjnych, zatem możliwe jest wykorzystanie tego typu emitera do pracy jako sprzęt oświetleniowy. W typowych urządzeniach posiadających wyświetlacze LCD, średnia wartość luminancji przyjmuje wartości od około 100 cd/m² do ok. 300 cd/m². Kontrast ANSI (biały do czarnego) osiąga wartości 1:1000 i więcej (typowo 1:800). Zakładając, że minimalna wartość luminancji ekranu ze znakiem bezpieczeństwa wynosić będzie 200 cd/m², wówczas zielone tło powinno charakteryzować się luminancją w przedziale od 13,33 cd/m² do 40 cd/m². Na podstawie prowadzonych badań stwierdzono [3], że równomierność rozkładu luminancji nie spada poniżej wartości 0,7.

W celu dokonania wstępnej oceny przydatności omawianych urządzeń do budowy oprawy oświetlenia

awaryjnego przeprowadzono serię pomiarów spektralnych przykładowych modeli urządzeń multimedialnych (tablety) o przekątnej matrycy ok. 7", dla wyświetlanej barwy białej, czerwonej, zielonej oraz niebieskiej. Po przeprowadzeniu niezbędnych obliczeń dokonano analizy zmian współrzędnych trójchromatycznych i temperatury barwowej oraz przesunięcia maksymalnej długości fali (dla barwy czerwonej, zielonej i niebieskiej) w funkcji kąta obserwacji wyświetlacza.

Wymagania stawiane oprawom ewakuacyjnym i znakom bezpieczeństwa

Znaki bezpieczeństwa, w tym znaki kierunkowe, powinny spełniać wymagania odnośnie zasad projektowania. Ważne jest spełnienie wymagań normy PN-ISO 3864-1:2006P "Symbole graficzne. Barwy bezpieczeństwa i znaki bezpieczeństwa", a także wymagań ISO 3864-4, dotyczącej właściwości kolorymetrycznych i fotometrycznych znaków bezpieczeństwa. Norma PN-EN ISO 7010:2012 reguluje dodatkowo międzynarodowy charakter i rozpoznawalność znaków ewakuacyjnych i ochrony przeciwpożarowej oraz wprowadza szereg nowych oznakowań służących ratowaniu życia ludzkiego. W normie PN-EN 1838:2013-11 określono minimalne wymagania oświetleniowe, jakie powinny spełnić znaki bezpieczeństwa oświetlane zewnętrznie lub wewnętrznie. Piktogramy i znaki bezpieczeństwa, zgodnie z normą ISO 3864-4, powinny mieć tło o barwie zielonej (RAL 6032) i znak barwy białej, przy czym tło powinno zajmować minimum 50% powierzchni znaku bezpieczeństwa.

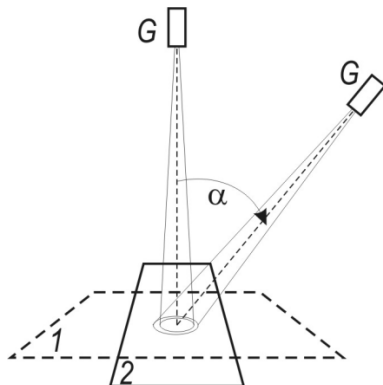
Luminancja dowolnej części znaku barwy białej i zielonej nie może być mniejsza niż 2 cd/m². Równomierność barwnych części znaku, opisywana jako stosunek luminancji maksymalnej do minimalnej powierzchni jednobarwnej, nie może być większa niż 10:1. Wymagania normy PN-EN 1838:2013-11 regulują również poziom kontrastu powierzchni białej i zielonej znaku bezpieczeństwa. Stosunek luminancji białej części znaku do luminancji tła powinien być nie mniejszy niż 5:1 i nie większy niż 15:1.

Biorąc pod uwagę minimalną wartość luminancji znaku w całym okresie jego eksploatacji okazuje się, że maksymalna jej wartość nie powinna przekraczać 30 cd/m².

Oczywiście takie założenie jest prawdziwe w sytuacji, gdy bierze się pod uwagę najniższą z możliwych wartości luminancji znaku bezpieczeństwa, która musi spełnić wymagania normatywne i nie uwzględnia się spadku strumienia świetlnego w okresie eksploatacji oprawy. W innych sytuacjach należy przestrzegać zakresu kontrastu oraz stosować zabiegi projektowe, pozwalające osiągnąć zadowalającą równomierność rozkładu luminancji.

Metodyka badania właściwości spektralnych wybranych modeli urządzeń mobilnych

Przedmiotem badań były urządzenia wykonane w technologiach TFT oraz AMOLED. Eksperyment polegał na wyświetleniu kolejno barwy białej, czerwonej, zielonej oraz niebieskiej używając do tego celu aplikacji ScreenRGB. Przy ustalonej, stałej odległości głowicy spektrometru światłowodowego StellarNet Blue Wave dokonywano rejestracji rozkładu spektralnego emitowanego promieniowania wyświetlanych kolejno barw, zmieniając ustawienie głowicy spektrometru co 10 stopni w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach (rysunek 1). W trakcie wykonywania pomiarów urządzenia były zasilane z sieci. Jasność wyświetlacza była ustawiona na maksymalną wartość.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego (1 – poziome ułożenie badanego wyświetlacza tzn. głowica spektrometru przesuwna w płaszczyźnie zawierającej dłuższą oś wyświetlacza, 2 – pionowe ułożenie badanego wyświetlacza tzn. głowica spektrometru przesuwna w płaszczyźnie zawierającej krótszą oś wyświetlacza, G – głowica spektrometru)

Temperaturę barwową najbliższą stanowi temperatura ciała czarnego wytwarzającego promieniowanie o chromatyczności najmniej różniącej się od chromatyczności badanego źródła. Oznacza to, że przed ustaleniem temperatury barwowej najbliższej badanego źródła o rozkładzie spektralnym promieniowania $S(\lambda)$ należy określić jego współrzędne trójchromatyczne:

$$(1) \quad \begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z &= \frac{Z}{X+Y+Z} \end{aligned}$$

gdzie:
$$X = \sum_K^L s(\lambda) \tilde{x}(\lambda) \Delta\lambda$$

$$(2) \quad Y = \sum_K^L s(\lambda) \tilde{y}(\lambda) \Delta\lambda$$

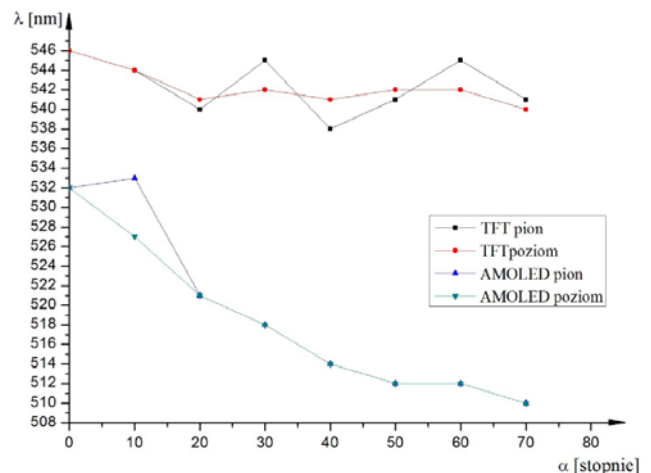
$$Z = \sum_K^L s(\lambda) \tilde{z}(\lambda) \Delta\lambda$$

Współrzędne trójchromatyczne oraz wskaźnik oddawania barwy Ra obliczone zostały zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami [4]. Wyniki obliczeń zestawione zostały na wykresach.

Znając rozkłady spektralne promieniowanie emitowanego przez wyświetlacze (zarówno przy wyświetlaniu barwy monochromatycznej czerwonej, zielonej i niebieskiej jak i bieli) [5], można ocenić badane urządzenie pod względem kolorymetrycznym z ukierunkowaniem na możliwość aplikacji wyświetlacza w oświetleniu awaryjnym. W tym celu wyznaczone zostały takie parametry, jak: długość fali, dla której ma miejsce maksimum emisji barwy zielonej, współrzędne trójchromatyczne, temperatura barwowa najbliższa oraz wskaźnik oddawania barw. Określono zmiany wymienionych parametrów w funkcji kąta obserwacji. Przeanalizowano także zmiany luminancji urządzeń w funkcji kąta obserwacji.

Wyniki badań i ich analiza

Na rysunku 2 przedstawione są krzywe ukazujące zależność długości fali, dla której w spektrum promieniowania występuje maksimum emisji dla monochromatycznej barwy zielonej, w zależności od kąta obserwacji powierzchni urządzenia (kąt α wyznaczony zgodnie z rysunkiem 1).



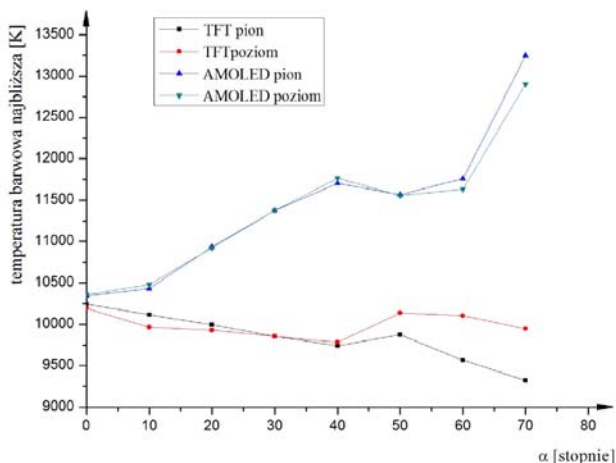
Rys. 2. Zależności długości fali, dla których występuje maksimum emisji promieniowania przy wyświetlaniu monochromatycznej barwy zielonej, w zależności od kąta obserwacji α

Analiza krzywych przedstawionych na rysunku 2 wskazuje znaczące zmiany długości fali, dla której występuje maksimum emisji barwy zielonej, w przypadku matrycy typu AMOLED. Niezależnie od orientacji wyświetlacza dla obserwacji z kierunku normalnego największa ilość energii emitowanego promieniowania przypada na długość fali 532nm. Dla orientacji poziomej maksimum te przesuwa się w kierunku fal krótszych w sposób monotoniczny, by dla obserwacji pod kątem 70° osiągnąć 510 nm. W przypadku pionowej orientacji wyświetlacza długość fali, dla której emitowana jest największa ilość energii najpierw nieznacznie wzrasta (dla 10° - 533nm), by następnie zacząć spadać. W zakresie kąta obserwacji od 20° do 70° obie krzywe pokrywają się.

W przypadku wyświetlacza typu TFT nie występują tak znaczące zmiany długości fali, na którą przypada maksymalna wartość spektralnej gęstości emitowanego strumienia. Zmiany te wahają się w zakresie długości fal od 539nm do 546 nm (dla orientacji poziomej zakres zmian jest jeszcze mniejszy). Oznacza to, że w przypadku matrycy TFT można powiedzieć o większej stabilności barwy w funkcji kąta obserwacji niż w przypadku urządzenia typu

AMOLED. Ponadto dla urządzenia typu AMOLED barwie zielonej odpowiadają długości fal krótsze niż w przypadku urządzeń TFT.

Przedmiotem kolejnych analiz była temperatura barwowa. Wyniki przeprowadzonych obliczeń przedstawione są w formie graficznej na rysunku 3. Analiza otrzymanych zależności pozwala stwierdzić, że temperatura barwowa najbliższa nie jest stała w funkcji kąta obserwacji dla żadnego z analizowanych urządzeń. W przypadku wyświetlacza typu AMOLED wzrasta ona w sposób monotoniczny wraz ze zwiększaniem kąta obserwacji od wartości ok. 10350K do około 13000K, przy czym dla orientacji poziomej osiągnięta wartość maksymalna jest większa o około 350K niż dla orientacji pionowej.

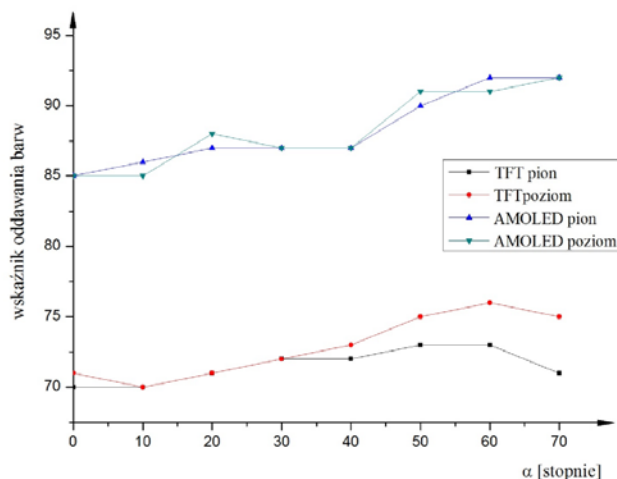


Rys. 3. Wykres zależności temperatury barwowej najbliższej wyświetlacza przy różnych kątach obserwacji α .

W przypadku wyświetlacza typu TFT zależność temperatury barwowej najbliższej w funkcji kąta obserwacji urządzenia jest odwrotna, tzn. temperatura barwowa spada wraz ze wzrostem kąta α aż do wartości 40° . Następnie nieznacznie wzrasta dla kąta 50° , by dla większych kątów obserwacji ponownie spadać. Jest to wynikiem ułożenia skośnego dipoli ciekłego kryształu (charakterystyczne w technologii MVA). Dla pionowej orientacji urządzenia temperatura barwowa najbliższa przy obserwacji z kierunku normalnego wynosi ok. 10200K, natomiast dla orientacji poziomej jest o około 50K większa. Temperatury barwowe dla obu orientacji urządzenia zrównują się dla kąta obserwacji 35° , po czym dla orientacji pionowej temperatura rośnie szybciej niż dla orientacji poziomej. Maksymalne osiągnięte dalej wartości wynoszą około 10150K (pionowo) i niespełna 9900K (poziomo), a dalszy spadek temperatury barwowej jest większy dla orientacji poziomej - dla kąta obserwacji wynoszącego 70° temperatura barwowa wynosi nieco ponad 9300K, podczas gdy dla orientacji pionowej niespełna 10000K.

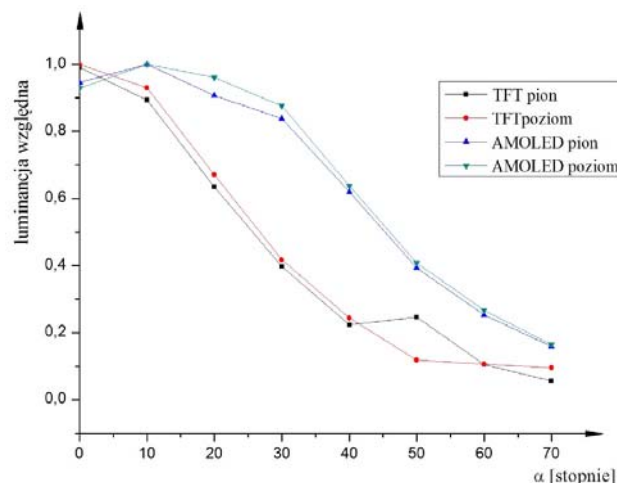
Reasumując, wyświetlacz typu AMOLED charakteryzuje się około 15% wzrostem temperatury barwowej wraz ze wzrostem kąta obserwacji wyświetlacza, a jej wartości są niezależne od orientacji wyświetlacza. W przypadku urządzenia TFT ustawienie urządzenia wpływa na osiągnięte wartości temperatury barwowej. Dla orientacji poziomej wartość maksymalna jest osiągnięta przy obserwacji z kierunku normalnego, podczas gdy dla orientacji pionowej największe temperatury barwowe są obserwowane dla kierunku normalnego i około 50° . Różnica pomiędzy wartością maksymalną a minimalną w drugim przypadku (pionowo) wynosi ok. 350K, natomiast w pierwszym (poziomo) ponad 900K, a zatem jest rozróżniana przez oko.

Kolejnym analizowanym parametrem był wskaźnik oddawania barw. Wykresy zmian wskaźnika w funkcji kąta obserwacji oraz orientacji urządzenia przedstawione są na rysunku 4. W przypadku matrycy TFT obliczony wskaźnik oddawania barwy dla obserwacji z kierunku normalnego wnosi ok. 70, a następnie wzrasta, by dla obserwacji pod kątem 60° osiągnąć wartość maksymalną (ok. 75, dla orientacji pionowej R_a wyższe niż dla poziomej), po czym nieznacznie spada. Wyświetlacz typu AMOLED charakteryzuje znacznie wyższą wartość wskaźnika oddawania barw – dla obserwacji z kierunku normalnego jest to 85 i wraz ze wzrostem kąta obserwacji rośnie do ponad 90 dla kąta 70° .



Rys. 4. Wykres zależności wskaźnika oddawania barw przy różnych kątach obserwacji α .

Oprócz wymienionych powyżej wyników obliczeń warto nadmienić, że badane wyświetlacze charakteryzowały się również zróżnicowanym rozsyłem strumienia świetlnego. Na rysunku 5 przedstawione zostały charakterystyki względne luminancji wyświetlacza w funkcji kąta.



Rys. 5. Zależność względnej luminancji wyświetlacza w funkcji kąta α .

Uzyskane charakterystyki pozwalają stwierdzić, że sposób rozsyłu obu typów wyświetlaczy różni się od siebie. Zasadnicza różnica pomiędzy nimi polega na tym, że dla urządzenia typu AMOLED spadek luminancji o 50% uzyskiwany jest dla kąta obserwacji około 45° , podczas gdy w przypadku urządzenia typu TFT przypada on na około 25° . Innymi słowy urządzenia typu AMOLED charakteryzują się znacznie szerszą bryłą fotometryczną, a jej kształt jest

właściwie obrotowo-symetryczny. Dla kąta obserwacji 60° luminancja wyświetlacza AMOLED spada do około 20% wartości maksymalnej. Taki spadek w przypadku wyświetlacza typu TFT ma miejsce już przy obserwacji pod kątem 40°. Dalej dla orientacji poziomej luminancja nieznacznie wrasta, natomiast dla orientacji pionowej kontynuowany jest monotoniczny jej spadek do poziomu 10% dla 50°.

Podsumowanie

Moduły i wyświetlacze LCD oraz OLED zwykle opisuje się technicznie za pomocą dwóch parametrów: luminancji średniej i kontrastu dynamicznego. Podobne parametry odnosi się do opisu opraw ewakuacyjnych, zatem możliwe jest wykorzystanie tego typu emitera do pracy jako sprzętu oświetleniowego. W typowych urządzeniach posiadających wyświetlacze LCD, średnia wartość luminancji przyjmuje wartości od około 100 cd/m² do ok. 300 cd/m². Producenci urządzeń nie podają – poza wymienionymi wartościami – interesujących z punktu widzenia techniki świetlnej parametrów swoich wyrobów. Oświetlenie awaryjne jest nieodzownym i wymaganym elementem budynku użyteczności publicznej i powinien być realizowany w oparciu o najnowocześniejszy sprzęt oświetleniowy, np. wykorzystujący półprzewodnikowe emiter promieniowania. W referacie zostały przedstawione wybrane wyniki badań mających na celu wykazanie możliwości zastosowania wyświetlaczy LCD/OLED do budowy opraw oświetlenia awaryjnego z punktu widzenia możliwości spełnienia wymagań fotometrycznych i kolorymetrycznych.

"Opracowano na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego "Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy", finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/narodowego Centrum Badań i Rozwoju" - PW/BWP/WE/1/2014

*Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy
Wykonawca projektu: Politechnika Białostocka*

LITERATURA

- [1] U. Błaszczak, M. Zajkowski, Ł. Budzyński „The analysis of the possibilities of liquid crystal displays application in variable content emergency lighting luminaires”, LUMEN V4, Wyszehrad, 2014
- [2] M. Zajkowski: Właściwości fotometryczne wyświetlaczy LCD, Przegląd Elektrotechniczny, nr 08/2008, 210-213
- [3] T. Stalowski, M. Zajkowski: Planarna oprawa oświetleniowa typu LCD, DLP, Przegląd Elektrotechniczny, nr 08/2008, 105-107
- [4] K. Mielicki: Zarys wiadomości o barwie, Fundacja Rozwoju Polskiej Kolorystyki, Łódź, 1997
- [5] M.I. Suero, P.J. Pardo, A.L. Perez: Colour characterization of handheld game console displays, Displays, No 31, 2010

Autorzy: dr inż. **Urszula J. Błaszczak**, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok, E-mail: u.blaszczak@pb.edu.pl; mgr inż. **Łukasz Budzyński**, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok, E-mail: l.budzyński@pb.edu.pl. dr hab. inż. **Maciej Zajkowski**, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok, E-mail: m.zajkowski@pb.edu.pl;