

POMIARY WIELKOŚCI FOTOMETRYCZNYCH DLA POWIERZCHNI O ZADANEJ BARWIE

Eliza SZCZEPAŃSKA*, Piotr KONCA*, Dariusz HEIM*

* Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mails: eliza.szczepanska@gmail.com, dariusz.heim@p.lodz.pl

Streszczenie: Celem niniejszej pracy jest oszacowanie parametrów fotometrycznych dla wybranych próbek materiałów wykończeniowych przegród wewnętrznych. Do badań wybrano 10 próbek z przedziału szarości różniących się współczynnikami absorpcji i odbicia promieniowania widzialnego. Opracowany zestaw danych jest niezbędny w celu przeprowadzenia dalszych badań w warunkach oświetlenia naturalnego oraz weryfikacji metodyki TDI (ang. *Total Daylight Index*) w warunkach rzeczywistych.

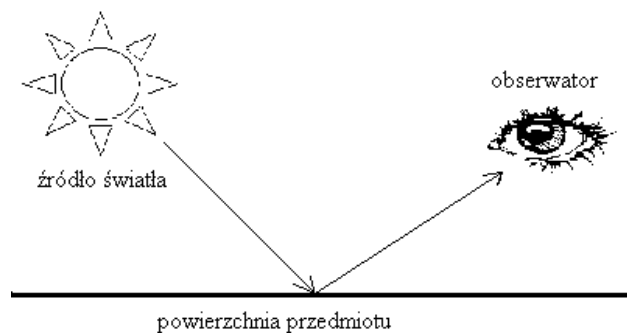
Słowa kluczowe: barwa, oświetlenie, komfort wizualny, natężenie oświetlenia, wskaźnik oświetlenia dziennego.

1. WPROWADZENIE

Barwa jest wrażeniem zmysłowym (wzrokowym) powstałym u obserwatora i wywołanym przez część promieniowania widzialnego (rozproszonego na powierzchni przedmiotu), która dociera do jego receptorów siatkówki (czopków pozwalających na rejestrację wrażeń wzrokowych i rozróżnianie odcieni barwnych), (rys. 1). Barwa jest właściwością nie tylko światła u źródła promieniowania (jego spektrum i natężenia), ale również właściwością światła odbitego od powierzchni. Pewne długości fali padającej na powierzchnię zostają zaabsorbowane przez atomy tej powierzchni, inne zaś odbite – zmienia się obraz spektralny światła odbitego (rys. 2). Na percepcję barwy ma także wpływ system wzrokowy obserwatora, jego zdrowie, samopoczucie jak również obecność innych barw w polu widzenia. Nie zależy ona natomiast od składowych widmowych barwy (barwy postrzegane jako identyczne mogą być otrzymane z różnych składowych widmowych) [1].

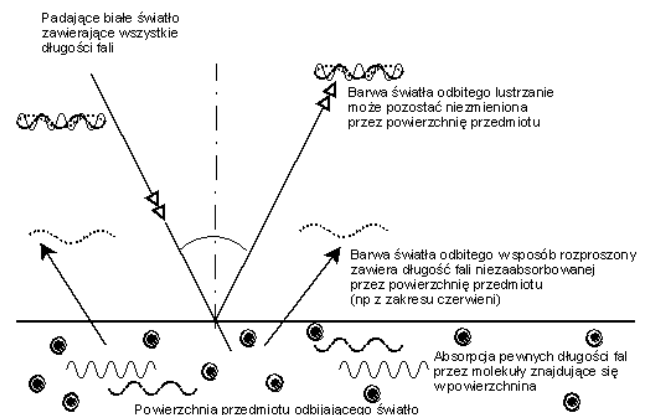
Cechą każdego postrzegania jest jasność, natomiast postrzeganie barw wiąże się dodatkowo z parametrami takimi jak odcień i nasycenie barwy, co graficznie przedstawia rysunek 3. Barwy występujące pomiędzy bielą a czernią nazywane są achromatycznymi (barwy w pełni

nienasycone). Natomiast barwy o nasyceniu większym od zera są barwami chromatycznymi [2].



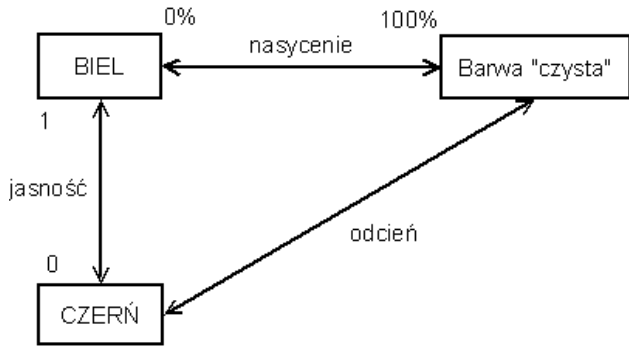
Rys. 1. Zjawisko iluminacji – świecenia powierzchni światłem odbitym.

Fig. 1. Luminance effect of surface – the source of indirect light.



Rys. 2. Zjawisko odbicia światła w powiązaniu z barwą postrzeganą.

Fig. 2. Reflection of light and colour conveying.



Rys. 3. Zależności pomiędzy barwą a odcieniem, nasyceniem oraz jasnością.
Fig. 3. Relation between colour, hue, saturation and brightness.

2. MODELE BARW

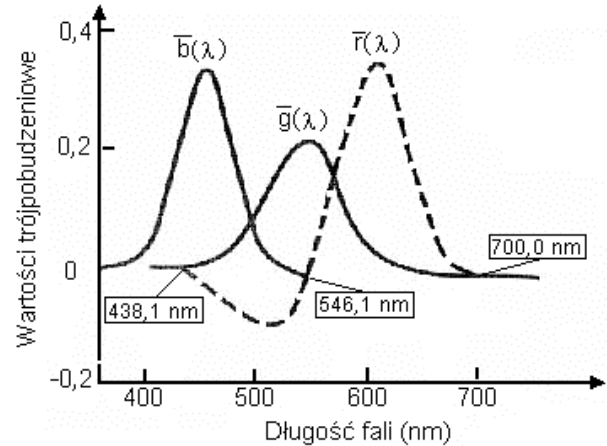
Zakłada się, że w siatkówce oka ludzkiego są trzy rodzaje czopków reagujących na różne zakresy widmowe: czerwony (600-700 nm), zielony (500-600 nm) i niebieski (400-500 nm). Na tej hipotezie opiera się trójpodbudzeniowa teoria postrzegania barwy, która zakłada, że dowolna barwa może być określona przez dodatnio ważoną sumę barwy czerwonej, zielonej i niebieskiej [3]. Okazało się jednak, że w celu uzyskania niektórych barw składowa czerwona musi przyjmować w pewnym zakresie wartość ujemną (brak interpretacji fizycznej takiego warunku) (rys. 4).

Dlatego też w roku 1931 Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa (CIE – *Commission Internationale de l'Eclairage*) stworzyła przestrzeń trójchromatyczną CIEXYZ, w której zdefiniowano teoretyczne (wymagowane – nie odpowiadające rzeczywistemu źródłu światła) trzy barwy określane jako X, Y, Z opisane za pomocą trzech składowych x, y, z , dzięki którym można określić pełen zakres barw widmowych przy użyciu jedynie ich wartości większych od zera (rys. 5):

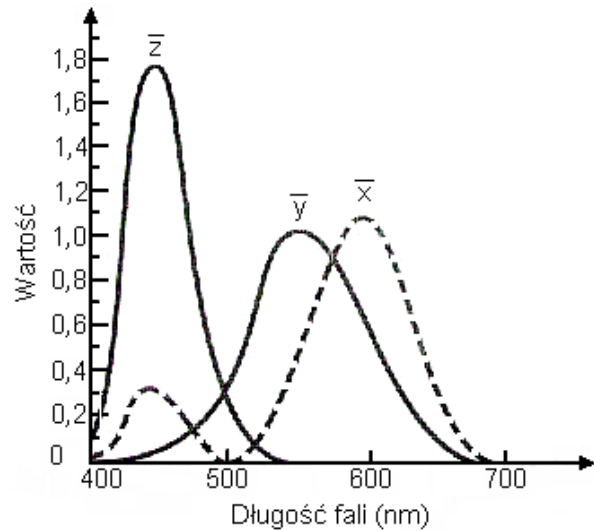
$$\begin{aligned} X &= k \int P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= k \int P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

$P(\lambda)$ - rozkład energetyczny strumienia świetlnego,
 k - współczynnik (dla obiektów odbijających dobierany w taki sposób aby maksymalna wartość Y wyniosła 100).



Rys. 4. Funkcje dopasowania barw.
Fig. 4. Colour matching function.

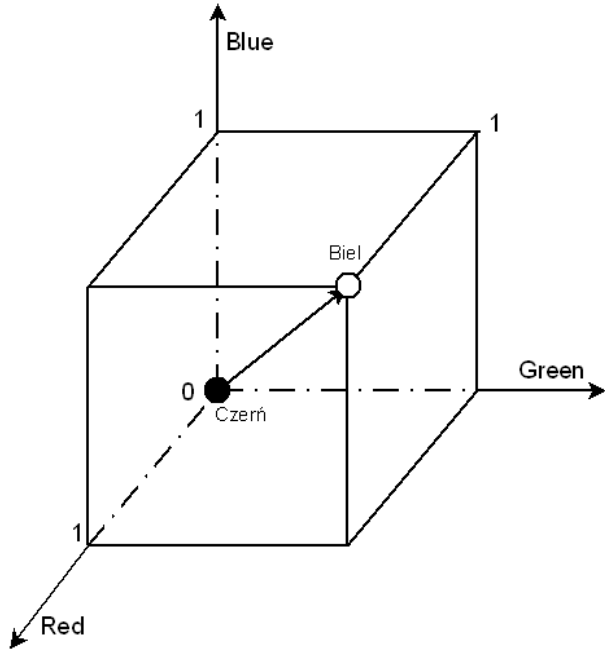


Rys. 5. Funkcje zrównania barw.
Fig. 5. Colour equalization function.

3. MODEL BARW RGB

W modelu RGB przestrzeń barw opisana jest za pomocą sześcianu jednostkowego, któremu poszczególnym wymiarom odpowiadają składowe R (ang. red), G (ang. green), B (ang. blue) (rys. 6). Najczęstsza forma zapisu barw w modelu RGB ma postać 24-bitową (po 8 bitów na każdą składową), w której każda ze składowych może zmieniać wartość (wyłącznie w postaci całkowitej) w zakresie od 0 do 255. Barwa czarna to punkt, w którym wszystkie składowe mają wartość 0, natomiast barwie białej odpowiada punkt (255,255,255). Barwy znajdujące się pomiędzy tymi punktami na przekątnej sześcianu, mają tę samą intensywność i reprezentują poziomy szarości. Spotyka

się również zapis, w którym składowe barwy przyjmują odpowiednio wartości zmiennoprzecinkowe od (0,0,0) do (1,1,1). W takim przypadku na poszczególne składowe może przypadać po 12 lub 16 bitów, dzięki czemu możliwe jest odwzorowanie większej ilości barw. Pozostałe barwy uzyskuje się w wyniku addytywnego mieszania (sumowanie udziału każdej barwy) wszystkich barw podstawowych RGB.



Rys. 6. Schemat modelu RGB.
Fig. 6. RGB colour model.

4. MODEL BARW CIE

Model CIE Lab (czasami oznaczany jako CIE L*,a*,b*) jest modelem, dzięki któremu można określić wszystkie barwy rozpoznawalne przez ludzkie oko. Barwy opisane są w elipsoidzie o trzech prostopadłych osiach (rys. 7): oś pionowa L – określa jasność i przyjmuje wartość od 0 do 100 i odpowiada barwom achromatycznym od bieli do czerni,

$$L = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \quad (2)$$

oś a – określa zakres od czerwieni do zieleni,
oś b – określa zakres od żółtego do niebieskiego.

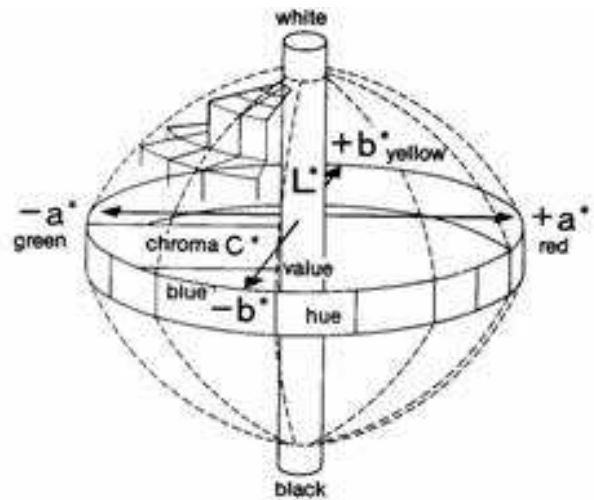
$$\begin{aligned} a &= 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \\ b &= 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie:

$$f = \begin{cases} x^{\frac{1}{3}} & \text{dla } x > 0,008856 \\ 7,787x + \frac{16}{116} & \text{dla pozostałych} \end{cases} \quad (4)$$

X, Y, Z – badany bodziec barwowy,
X_n, Y_n, Z_n – określony biały bodziec achromatyczny.

Model ten jest matematycznym przekształceniem modelu CIEXYZ.



Rys. 7. Schemat modelu CIELab.
Fig. 7. CIELab colour model.

Transformację tę wprowadzono jako wynik badań nad spostrzeganiem przez oko ludzkie różnicy między barwami. Zakładano, że barwy znajdujące się w przestrzeni CIELab w jednakowej odległości ΔE od siebie będą postrzegane jako jednakowo różniące się od siebie. Zatem CIELab miała być równomierną przestrzenią barw. Różnica pomiędzy dwiema barwami w przestrzeni CIELab wynosi:

$$\Delta E = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

Dowodem nierównomierności tej przestrzeni jest fakt, że różnicy percepcyjnej barw nie można jednoznacznie określić za pomocą ΔE .

CIELab jest obecnie najpopularniejszym sposobem opisu barwy i stanowi podstawę współczesnych systemów zarządzania barwą.

5. TRANSFORMACJA MODELU CIE NA RGB

Każdy model barw można przekształcić do współrzędnych Lab. Niestety odwrotna transformacja nie zawsze jest możliwa. Aby z modelu CIELab otrzymać RGB należy najpierw CIELab przekształcić na XYZ za pomocą składowych X_r ; Y_r ; Z_r odnoszonymi się do referencyjnego poziomu bieli D65 ($X_r=0.9505$; $Y_r=1.0000$; $Z_r=1.0891$):

$$\begin{aligned} X &= x_r X_r \\ Y &= y_r Y_r \\ Z &= z_r Z_r \end{aligned} \quad (6)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} x_r &= \begin{cases} f_x^3 & f_x^3 > \varepsilon \\ (116f_x - 16)/\kappa & f_x^3 \leq \varepsilon \end{cases} \\ y_r &= \begin{cases} ((L + 16) = 116)^3 & L > \kappa\varepsilon \\ L/\kappa & L \leq \kappa\varepsilon \end{cases} \\ z_r &= \begin{cases} f_z^3 & f_z^3 > \varepsilon \\ (116f_z - 16)/\kappa & f_z^3 \leq \varepsilon \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} f_x &= \frac{a}{500} + f_y \\ f_z &= f_y - \frac{b}{200} \\ f_y &= \begin{cases} (L + 16)/116 & y_r > \varepsilon \\ (\kappa y_r + 16)/116 & y_r \leq \varepsilon \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0,008856 \\ \kappa &= 903,3 \end{aligned} \quad (9)$$

Następnie XYZ przekształca się na RGB według wzoru poniżej:

$$[R, G, B] = [X, Y, Z][M^{-1}] \quad (10)$$

Ponieważ jednak model RGB jest modelem zależnym od urządzenia pomiarowego to niektóre z nich mogą posiadać "swoje" transformacje. Istnieją jednak transformacje standardowe, które są rekomendowane dla standardowych luminoforów powierzchni emitującej światło typ EBU oraz typ SMPTE (zdefiniowane z iluminantem D65).

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} 3,241755 & -1,537756 & -0,498732 \\ -0,969027 & 1,875548 & 0,041546 \\ 0,055714 & -0,204284 & 1,058564 \end{bmatrix}$$

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} 3,506899 & -1,740235 & -0,544197 \\ -1,068768 & 1,977261 & 0,035162 \\ 0,056391 & -0,197270 & 1,051524 \end{bmatrix}$$

W przypadku transformacji barw z modelu przestrzeni CIE XYZ na barwy RGB, może się zdarzyć, że wynikowe składowe będą miały wartości mniejsze od zera. Takie okoliczności oznaczają, że barwa z CIE XYZ nie ma odpowiednika w RGB.

6. POMIARY BARWY

W chwili obecnej „pomiar barwy” (ze względu na fakt, iż barwa jest wrażeniem subiektywnym) ogranicza się jedynie do pomiaru światła odbitego docierającego do oka obserwatora za pomocą trzech podstawowych przyrządów:

Densytometru – pomiar ilość światła odbitego od powierzchni, bądź przepuszczonego przez powierzchnię, czyli tzw. gęstość optyczną.

Kolorymetru – pomiar barwy światła (kolorymetr wizualny - porównanie badanej barwy z drugą, uzyskaną przez nałożenie 3 barw podstawowych; kolorymetr obiektywny - pomiar prądów fotoelektrycznych),

Spektrofotometru – pomiar przepuszczalności lub absorpcji promieniowania.

Wszystkie te urządzenia wykorzystują do pomiarów światło o znanym składzie widmowym, a ich elementy pomiarowe zliczają ilość fotonów. Instrumenty zaopatrzone są dodatkowo w różną liczbę filtrów, aby możliwe było określenie długości fali fotonów.

W pracy wykorzystano do obliczeń składowych trójkromatycznych przyrząd, jakim jest spektrofotometr. Dzięki niemu możliwe było uzyskanie wyników w postaci wartości L^* , a^* , b^* , które w następnej kolejności pozwoliły na porównanie zmian barwy, jakie nastąpiły pod wpływem działania promieni UV-A, UV-B oraz kondensacji pary wodnej.

Użyto spektrofotometru firmy Konica – Minolta z serii CM-2500d (rys. 8).



Rys. 8. Spektrofotometr CM – 2500d.
Fig. 8. Spectrophotometer CM – 2500d.

Przed wykonaniem badań należało odpowiednio przygotować aparat [4]. Do tych czynności należało skalibrowanie spektrofotometru, czyli ustawienie przy wykorzystaniu wzorca bieli. Ponieważ wykorzystujemy metodę CIELab prawidłowo skalibrowane urządzenie powinno mieć składowe zbliżone do wartości idealnych:

$$L^* = 100 \quad a^* = 0 \quad b^* = 0.$$

W naszym przypadku dla wzorca bieli otrzymaliśmy wartości wskaźnika SCI:

$$L^* = 99,47 \quad a^* = -0,08 \quad b^* = -0,16$$

są to dopuszczalne odchyłki, a o prawidłowości kalibracji wzorca bieli spektrofotometru świadczy odpowiedni certyfikat.

Kolejnym ustawieniem jest wybranie iluminantu oraz obserwatora. Zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej oraz opisywanymi w przedłożonej pracy metodami badań przyjęto iluminant normalny D65 oraz obserwatora normalnego 10° odpowiadający warunkom w jakich dokonywano badań. Przy takim ustawieniu temperatura barwowa w tym urządzeniu wynosi 6504K. Model spektrofotometru, jaki został użyty do badań umożliwiał pomiary przy oświetleniu zawierającym 100% promieniowania UV emitowanego przez lampę ksenonową.

Pomiarów można dokonywać przy użyciu wskaźników SCE (*Specular Component Excluded*) oraz SCI (*Specular Component Included*). Wskaźnik SCI uwzględnia składnik zwierciadlany, czyli gdy do pomiaru włączone jest odbicie. Natomiast wskaźnik SCE wyklucza światło odbite. Z odbiciem zwierciadlanym mamy do czynienia gdy kąta padania światła jest równy kątowi odbicia światła padającego na daną powierzchnię. Gdy światło nie jest odbite zwierciadlanie – rozprasza się w różnych kierunkach, mówimy wtedy o odbiciu rozproszonym. Ma to znaczenie w postrzeganiu koloru, gdy materiał odbija światło, czyli powierzchnia jest połyskliwa. Inaczej odbierany jest kolor powierzchni z połyskiem a inaczej matowy, gdyż zmienia się ilość światła odbitego i rozproszonego. Wskaźnik SCI uwzględnia zatem całkowite wrażenie w zależności od rodzaju powierzchni.

W przypadku wykonywanych badań próbki są matowe zatem różnice pomiędzy wskaźnikiem SCI a SCE są niewielkie. W pomiarach wykorzystano wskaźnik SCE. Pomiaru dokonano na każdej próbce w trzech losowo wybranych (badanych) miejscach. Wyniki powstałe z uśrednienia tych wartości zamieszczono w tabeli 1.

7. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wyniki badań wykonanych dla zestawu próbek materiałów o różnej barwie oraz właściwościach fotometrycznych. Wyznaczone wielkości zestawiono w formie tabelarycznej oraz przeliczono dla potrzeb zaimplementowania do programu symulacyjnego. Dalsze analizy pozwolą na eksperymentalną weryfikację metody szacowania wykorzystania światła dziennego do oświetlenia wnętrza (TDI) [5].

TOTAL DAYLIGHT INDEX – TDI AND REQUIRED SUPPLEMENTARY LIGHTING

Summary: The goal of presented work was to determined the photometrical properties of selected interior finishing linings. 10 grey samples were selected for investigations differs in light absorption and reflection coefficients. Estimated results are going to be use for experimental validation of TDI (Total Daylight Index) methodology in Polish climatic conditions.

Literatura

- [1] Fraser B., Murphy C., Bunting F.; *Profesjonalne zarządzanie barwą*. Wydanie II Helion, 2006.
- [2] Foley J. D., van Dam A., Feiner S.K., Huges J.F., Phillips R. L.; *Wprowadzenie do grafiki komputerowej*. WNT Warszawa 2001.
- [3] Mielicki J.; *Zarys wiadomości o barwie*, Fundacja Rozwoju Polskiej Kolorystyki, Łódź, 1997.
- Sharma G., Wu W., Dalal E.N.; *The CIEDE200 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data and Mathematical Observations; Submitted to colour research and Application*, 2004.
- [5] Praca zbiorowa [Heim D. red]; *Komputerowa analiza oświetlenia dziennego i ocena parametrów komfortu wizualnego w pomieszczeniach*, Politechnika Łódzka, 2007.

Tabela 1. Wyniki badań pomiarów dokonanych dla 10-ciu próbek materiałów o różnym współczynniku odbicia.
Table 1. Measurements results of selected 10 samples of material with different reflectivity.

SCE

	L	a	b		R	G	B		ΔE
0	91,56	-0,2	-0,03		227,24	228	225,78		-
1	84,22	-0,18	-0,35		204,08	205,08	203,72		7,3
2	78,56	-0,04	-0,05		187,58	187,85	186,16		13,0
3	69,93	-0,15	0,24		162,51	162,78	160,72		21,6
4	64,99	-0,16	-0,77		147,81	149,03	148,89		26,6
5	58,2	-0,08	-1,38		129,18	130,69	131,75		33,4
6	51,37	0,22	0,04		113,51	112,81	111,39		40,2
7	43,78	0,01	0,5		94,736	94,377	92,744		47,8
8	34,75	-0,04	0,77		74,275	73,825	72,044		56,8
9	25,58	-0,01	-0,55		54,38	54,799	54,974		66,0