

Cap. 2 Utilizarea managementului de culoare

Managementul de culoare, "Color management", exprimă conceptul potrivit căruia descrierile de culoare dependente de echipamentele și programele de editare dintr-un flux de reproducere a imaginilor, cunoscute cu precizie, sunt transformate într-o descriere generică utilizată pentru controlul reproducerii corecte, cu acuratețe, a culorilor.

Managementul de culoare este termenul utilizat în domeniul tehnologiei digitale și al calculatoarelor pentru descrierea conversiei controlate a culorii între diferitele echipamente de reproducere a acesteia, ca de exemplu scannere, camere digitale, monitoare TV, imprimante, prese offset și mediile de reproducere corespunzătoare.

Obiectivul managementului de culoare este asigurarea transferului imaginilor color între diferitele tipuri de echipamente de intrare (de captare) și de ieșire (de afișare și de imprimare) dintr-un flux de reproducere, minimizând, pe cât posibil, diferențele perceptibile dintre culorile captate, afișate sau imprimate de echipamentele respective. Managementul de culoare are ca obiectiv transformarea descrierilor de culoare dependenți de echipament, denumite în mod uzual parametri de culoare sau date de culoare, într-o descriere generică, care poate fi interpretată de toate echipamentele de procesare a culorii, astfel încât imaginile color obținute să semene cât mai mult cu imaginile originale.

Importanța managementului de culoare în reproducerea predictibilă și consistentă a culorilor într-un flux de lucru digital este dată de faptul că asigură compatibilitatea între diferitele echipamente de intrare și ieșire, diferitele sisteme de operare și diferitele aplicații de procesare (producere și editare) a imaginilor color. Managementul de culoare este important pentru că permite integrarea într-un singur flux tehnologic continuu a diferitelor tipuri de echipamente de procesare a imaginilor color, de la echipamente de captare, la echipamente de afișare, până la echipamente de imprimare, fără necesitatea efectuării unor conversii de imagine intermediare sau a unor corecții de culoare la nivel de operare (de către utilizator). Culoarea reală este menținută automat de hardware- ul, sistemele de operare și software- ul dedicat de scanare, editare, compoziție, proofing și distribuție a imaginilor color.

Elementul cheie în reproducerea corectă, cu precizie, a imaginilor color, folosind o gamă largă de echipamente și programe de la diferiți producători, este sistemul de management al culorii cunoscut în literatura de specialitate sub numele de **CMS (Color Management System)**.

Reproducerea unor imagini color, dacă nu identice, aproape identice cu imaginile originale, necesită cunoașterea managementului de culoare ca știință și aplicarea sa de-a lungul întregului flux de lucru. În acest scop, specialiștii în domeniu trebuie să înțeleagă atât procesele de reproducere a culorilor cât și modul în care funcționează și descriu culoarea echipamentele de reproducere și programele de editare a imaginilor disponibile. De asemenea, trebuie să înțeleagă natura și modul în care se comportă diversele medii de reproducere a culorii în raport cu aceasta. Și pentru asta e necesar să cunoască conceptul de lumină și teoria de bază a culorii, modul de percepție al culorii la nivelul sistemului vizual uman și complexitatea factorilor care îl afectează, modul de descriere (reprezentare sau specificare) și de măsurare a culorilor, complexitatea conceptului de reproducere a imaginilor color. Și, nu în ultimul rând, trebuie să cunoască, la nivel conceptual, părțile componente ale unui sistem de management de culoare și modul lor de funcționare, în ansamblu, pentru atingerea scopului propus: obținerea imaginilor color reale folosind tehnologia digitală.

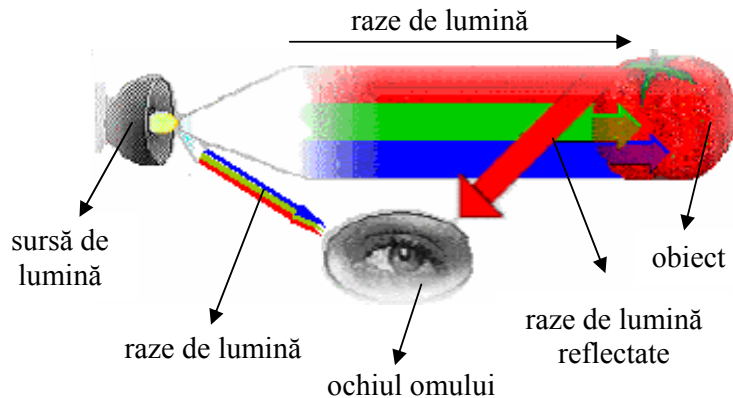
Industria tipografică și publicistică, arta grafică și comunicațiile multimedia sunt principalii beneficiari ai managementului de culoare și ai avantajului major pe care îl oferă societății globale de astăzi utilizarea sistemelor de management de culoare: posibilitatea de comunicare, fără bariere geografice, a informațiilor din orice domeniu de activitate, exprimate prin imagini color complexe, mai sugestive și mai ușor de înțeles.

2.1. Noțiuni de teorie a culorii

Senzația de culoare

Senzația de culoare, denumită simplu culoare, reprezintă senzația vizuală produsă de lumina care atinge retina ochiului uman. Ea este determinată de variația sensibilității sistemului vizual uman la lumina din mediul înconjurător. Razele de lumină care ating ochiul generează culoarea văzută de om. Soarele, sursa primordială de lumină, *emite* raze de lumină. Obiectele din mediul înconjurător, naturale sau construite de om, care produc și emit, ca și soarele, raze de lumină sunt numite *surse de lumină* sau *iluminanți*. Culoarea obiectelor sau materialelor din mediul înconjurător care nu produc și nu emit raze de lumină, este vizibilă numai dacă sunt iluminate de o sursă de lumină.

Crearea senzației de culoare implică **lumina** emisă de o sursă către **obiectul** de vizualizat, care reflectă o parte din această lumină pe direcția **ochiului** uman și, ca reacție, acesta transmite către **creier** stimulii interpretați drept culoare la acest nivel.



Prin urmare, senzația de culoare a omului este determinată de următorii factori:

- proprietățile fizice ale luminii și caracteristicile surselor care-o generează;
- proprietățile optice ale materialelor care formează obiectele luminate;
- construcția fiziologică a ochiului și psihologia creierului uman.

Având în vedere complexitatea factorilor care afectează senzația de culoare, reproducerea culorilor din natură necesită înțelegerea conceptelor de lumină, a modului de comportare a materialelor din natură în contact cu lumina și a mecanismelor de creare a culorii la nivelul creierului uman, lucru care implică cunoștințe aprofundate cu privire la:

- fizica culorii: lumină, spectru vizibil, culoare;
- conceptele care exprimă cantitatea de lumină emisă de o sursă: flux luminos, emitanță, iluminanță, intensitate luminoasă exprimată prin temperatura culorii, luminanță;
- proprietățile optice ale materialelor: reflexia, transmisia, absorția;
- interpretarea culorii: indexul de interpretare CRI (Colour Rendering Index)
- percepția vizuală a culorii: percepție fizică, fiziologică și psihologică;
- culoarea obiectelor din natură: surse de lumină și obiecte colorate;
- caracteristicile culorilor: nuanța, saturația, strălucirea
- tipuri de culori: culori acromatice/ monocromatice/ policromatice, primare/secundare, aditive / substructive.

Fizica culorii

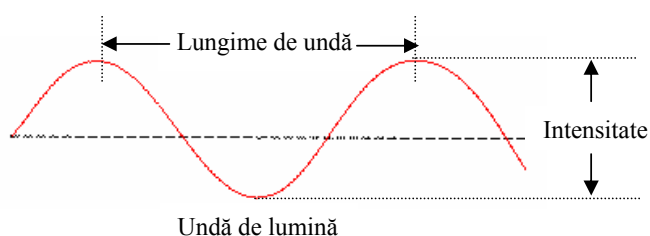
Lumina este o formă de energie radiantă, numită radiație electromagnetică. Maxwell (1831-1879) a definit lumina ca fiind o undă electromagnetică care se propagă cu viteza de 300.000 Km / secundă. Domeniul undelor de radiație electromagnetică formează *spectrul de*

radiație electromagnetică. Diferitele tipuri de radiații electromagnetice creează unde de lungimi diferite, unele foarte scurte, altele foarte lungi.

Lumina este radiația electromagnetică caracterizată prin:

- *lungime de undă* sau frecvență (numărul de oscilații realizate/ secundă), percepută de om ca fiind culoarea luminii;
- *intensitate* sau amplitudine, care este asociată percepției umane de strălucire (brightness) a culorii.

Lungimea unei unde de lumină se măsoară în metri, cu multiplii și submultiplii acestuia, iar frecvența sa se măsoară în Hertz (Hz). Unitatea de măsură pentru intensitatea unei unde de lumină este candela (cd).



$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{c}{f \times n} \quad , \quad \lambda_0 = \frac{c}{f}$$

unde:

- λ = lungimea undei de lumină, măsurată în metri;
- λ_0 = lungimea undei de lumină, măsurată în metri;
- n = indexul de refracție al mediului de propagare a undei de lumină;
- $c = 3 \times 10^8$ metri/secundă, viteza de propagare a undei de lumină în vid;
- f = frecvența undei de lumină măsurată în hertzi, $1 \text{ Hz} = 1/1 \text{ secundă}$.

Culoarea este proprietatea luminii determinată de:

- lungimea sa de undă, care-i definește *parametrii de cromaticitate*, percepuți de om drept culoare;
- intensitatea sa, care- i definește parametrul *luminanță*, perceput de om ca strălucire a culorii.

Cele două proprietăți fizice ale luminii definesc culoarea prin parametri de culoare independenți, cromaticitatea unei culori fiind determinată numai de lungimea de undă, iar luminanța numai de intensitatea acesteia.

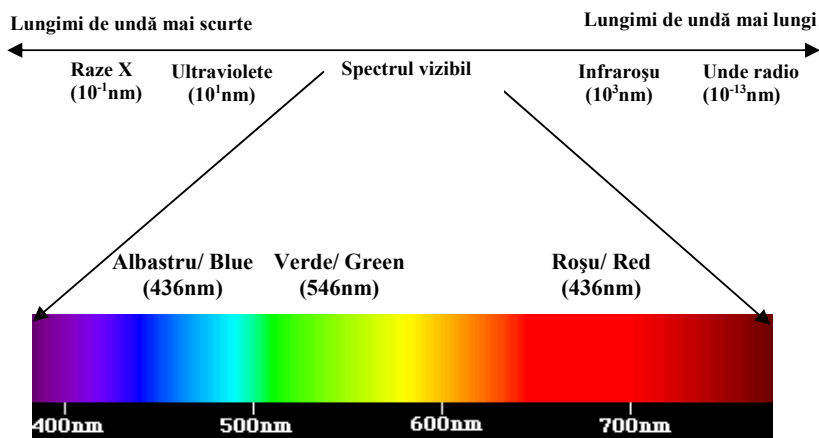
Generic vorbind, orice combinație de unde de energie electromagnetică care impresionează, în mod specific, retina ochiului uman, definește o culoare care este mai întunecată sau mai strălucitoare, în funcție de intensitatea lungimilor de undă componente.

Spectrul vizibil reprezintă domeniul lungimilor de unde electromagnetice care poate fi detectat de ochiul omului. Este format din undele de lumină vizibile, cu lungimi cuprinse aproximativ între 380 nm (lumină ultravioletă) și 760 nm (lumină infraroșu).

Spectrul vizibil este inclus în spectrul de radiație electromagnetică deoarece ochiul omului nu poate detecta decât o mică parte din undele radiației electromagnetice pe care creierul le interpretează ca lumină colorată care poate fi:

- monocromatică, dacă este formată dintr-o singură lungime de undă vizibilă;
- policromatică, dacă este o combinație de mai multe lungimi de undă vizibile.

Spectrul vizibil, văzut ca lungimi de undă separate, se întâlnește în natură, sub formă de curcubeu. Lumina albă, compusă din toate culorile spectrului vizibil, se poate descompune în toate componentele sale, culorile curcubeului.



Lungimile de undă din spectrul vizibil (nm)

Culoarea violet, cea mai scurtă lungime de undă vizibilă, se află la o extremitate a spectrului vizibil, iar culoarea roșu, cea mai lungă lungime de undă vizibilă, se află la cealaltă extremitate a sa. Dacă se reprezintă pe o axă, în funcție de lungimea lor de undă, ordinea culorilor spectrului vizibil este Violet, Albastru (Blue), Verde (Green), Galben (Yellow), Orange și Roșu (Red). Cea mai scurtă lungime de undă situată în exteriorul spectrului vizibil este UltraViolet- UV, iar cea mai lungă InfraRed- IR. Deși nu sunt direct percepute de om, undele ultraviolete pot determina unele materiale să emită lumină vizibilă, iar undele infraroșii pot fi detectate de unele echipamente (camere) și convertite în lumină vizibilă.

Cu ajutorul unei prisme, orice rază de lumină emisă de o sursă se descompune în componentele sale color, culorile curcubeului, cunoscute sub denumirea de culori spectrale sau monocromatice. Cunoscând compoziția spectrală a luminii astfel determinată, se pot afla parametrii de cromaticitate care definesc culoarea suprafețelor iluminate de aceasta.

Concepte care exprimă cantitatea de lumină emisă de o sursă

Fluxul luminos (Φ sau F), denumit și putere luminoasă sau simplu lumină, reprezintă partea puterii radiante generată de o sursă pe care omul o percepe drept lumină.

Sensibilitatea ochiului uman transformă fluxul radiant, care definește puterea totală radiată de o sursă exprimată în watts (W), în flux luminos, exprimat în lumens (lm). Definiția standard pentru fluxul luminos este următoarea:

$$\text{Flux luminos- lumens} = (\text{Flux radiant- watts}) \times (683 \text{ lumens/ watt}) \times \\ \times (\text{Eficiența luminoasă a sursei de lumină})$$

Unitatea de măsură pentru fluxul luminos emis de o sursă este lumenul (lm). Un lumen este egal cu fluxul luminos emis de o sursă punctiformă cu intensitatea de o candelă, care radiază uniform, în toate direcțiile. Lumenul a fost derivat din candela, unitatea standard de măsură pentru intensitatea luminoasă, o candelă reprezentând fluxul luminos emis de o sursă punctiformă într-o anumită direcție, în timp ce un lumen reprezintă fluxul luminos emis de aceasta în toate direcțiile.

Fluxul luminos reprezintă o măsură a puterii luminoase radiate de o sursă deoarece cantitatea de lumină dintr-o rază este aceeași, indiferent de suprafața iluminată de aceasta, nu reprezintă însă o măsură a strălucirii suprafeței iluminate deoarece:

- ochiul uman nu este uniform sensibil la toate lungimile de undă vizibile;
- o sursă de lumină nu emite o putere egală pentru toate lungimile de undă vizibile.

Sensibilitatea ochiului uman la diferitele lungimi de undă din spectrul vizibil definește eficiența luminoasă a unei surse de lumină, exprimată prin raportul dintre puterea echivalentă a luminii emise de sursă și puterea electrică a sursei respective. Practic, eficiența luminoasă se definește prin raportul dintre “watts de lumină” și ”watts” Se exprimă prin relația:

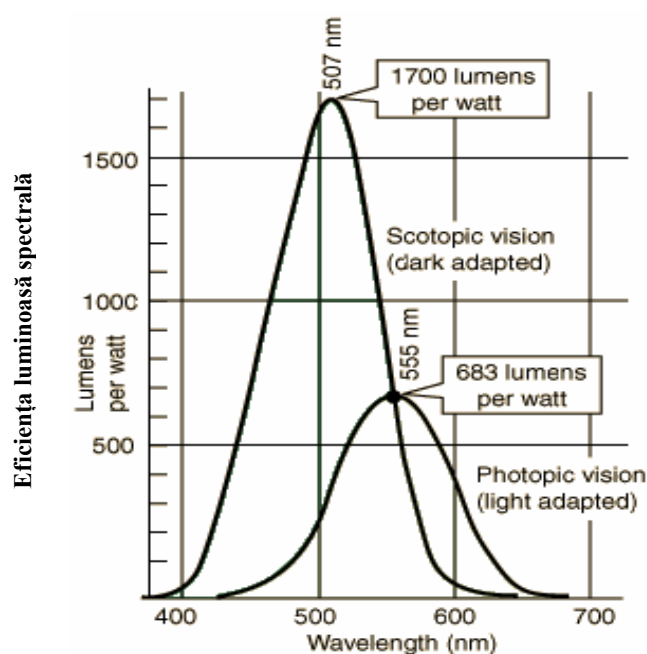
$$\text{Eficiența luminoasă} = (\text{Flux luminos- lumen}) / [(\text{Flux radiant-watt}) \times (683 \text{ lumens/ watt})]$$

Spre exemplu, pentru un bec incandescent cu flux luminos de 1700 lumeni și putere de 100W:

$$\text{Eficiența luminoasă} = (1700 \text{ lumeni}) / 683 \text{ lumens} / \text{Watts} \times 100 \text{ Watts} = 1700 / 683 \times 100 = 2,49\%.$$

Eficiența luminoasă permite conversia fluxului radiant emis de o sursă de lumină în flux luminos, pentru orice lungime de undă. Constanta *683 lumens/ watt* face conversia de la unitatea de măsură a fluxului radiant (watt) la unitatea de măsură a fluxului luminos (lumen), ambele în fond puteri radiante, lucru necesar pentru că lumenul a fost definit cu mult înainte de sistemul internațional de unități de măsură.

Curbele eficienței luminoase spectrale, ridicate experimental de Comision Internationale de l’Eclairage/ International Commission on Illumination- CIE exprimă sensibilitatea ochiului uman la orice lungime de undă, atât în starea de adaptat la lumină (photopic) cât și la starea de adaptat la întuneric(scotopic), relativ la sensibilitatea maximă corespunzătoare lungimilor de undă de 555nm și respectiv 507nm.



Curbele de eficiență luminoasă spectrală determinate experimental de CIE (CIE 1931)

Curba pentru viziune photonică definește funcția vizibilității (V_{λ}) folosită în practică pentru vizualizarea imaginilor color la lumina zilei.

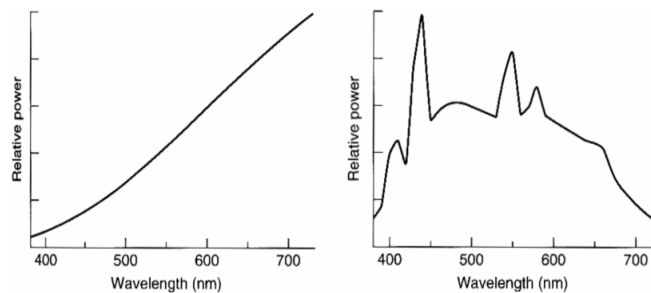
Curbele eficienței luminoase spectrale sunt stabilite pentru “observatorul standard” definit de CIE, ca medie statistică a populației care vizualizează culoarea normal. În practică există însă multe deviații de la observatorul standard și este puțin probabil ca orice individ să vizualizeze culoarea la fel ca observatorul standard sau ca doi indivizi diferiți să vizualizeze culoarea în mod identic.

Ochiul uman lucrează în mod integrativ, însumând efectul tuturor stimulilor pe care îi recepționează de la lumina cu diferite lungimi de undă. Din acest motiv, fluxul luminos, care exprimă efectul produs asupra ochiului uman de puterea unei raze de lumină emisă de o sursă, se determină prin însumarea efectelor produse asupra ochiului de puterea fiecărei lungimi de undă din raza de lumină respectivă. Ca urmare a acestui lucru, fluxul luminos radiat de o sursă de lumină se poate determina pe baza uneia din următoarele relații:

- pentru sursele care emit un spectru de lumină liniar (sursa cu vapori de mercur):
fluxul luminos total = \sum (flux luminos pentru fiecare lungime de undă emisă de sursă)
- pentru sursele care emit un spectru continuu de lumină- neliniar (sursa cu lumină incandescentă):

fluxul luminos total = \sum (flux luminos pentru intervale regulate de lungimi de undă emise de sursă)

Fluxul luminos se exprimă în funcție de distribuția puterii spectrale- SPD (Spectral Power Distribution) care caracterizează complet puterea luminii pe care o emite o sursă pentru fiecare lungime de undă din spectrul vizibil. SPD variază mult în funcție de tipul sursei de lumină. Spre exemplu, sursele de lumină incandescente și soarele, prin lumina naturală a zilei, produc un spectru de lumină continuu și neted. Sursele de lumină fluorescentă produc un spectru de lumină combinat, format dintr-un un spectru continuu, foarte întins, produs de particulele de fosfor și dintr-un spectru liniar, produs de descărcarea mercurului.



Distribuția puterii spectrale relativ la lungimea de undă:
sursă incandescentă (stânga) și sursă fluorescentă (dreapta)

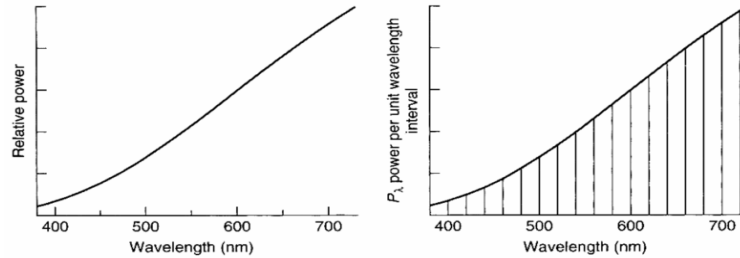
(Colour engineering SID 2002- ArturTarrant)

Distribuția puterii spectrale a unei surse se poate măsura cu un aparat de măsură dedicat, numit spectrofotometru. Însă de regulă, pentru fiecare sursă de lumină, fabricantul determină și specifică fluxul luminos pe corpul sursei de lumină. Spre exemplu, fluxul luminos pentru un bec cu lumină incandescentă de 100 W este de 1.700 lumeni.

Dacă distribuția puterii spectrale a sursei de lumină se împarte în intervale înguste de lungimi de undă, fluxul luminos, ca efect total produs asupra ochiului uman de puterea unei raze de lumină emisă de o sursă, este egal cu suma efectelor produse de toate intervalele de lungime de undă din raza respectivă și se exprimă prin relația:

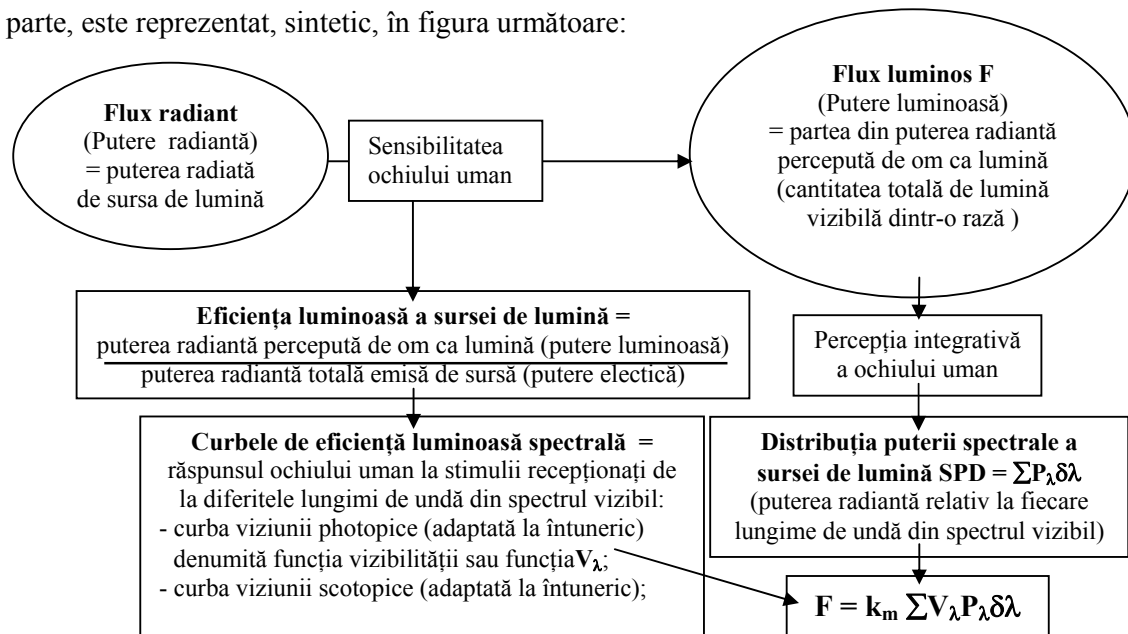
$$F = k_m \sum P_\lambda V_\lambda \delta\lambda, \quad k_m = 683 \text{ lumens/watt}$$

unde F reprezintă fluxul luminos, P_λ puterea intervalului unitate de lungime de undă de lăţime $\delta\lambda$, iar k_m este constanta care transformă fluxul de energie radiantă emis de o sursă în flux luminos.



Distribuţia puterii spectrale a unei surse de lumină incandescentă relativ la lungimea de undă. Împărţirea în intervale de lungimi de undă $\delta\lambda$,

Modul de determinare a fluxului luminos emis de o sursă de lumină, în funcţie de sensibilitatea ochiului uman la diferitele lungimi de undă din spectrul vizibil și de percepția luminii la nivelul creierului uman ca sumă a efectelor produse de fiecare lungime de undă în parte, este reprezentat, sintetic, în figura următoare:



Rezultă că, fluxul luminos emis de o sursă de lumină se determină în funcție de:

- funcția vizibilității ($V = \sum V_\lambda \delta\lambda$), care exprimă răspunsul ochiului uman la stimulii recepționați de la diferitele lungimi de undă luminoasă, determinată experimental de CIE;

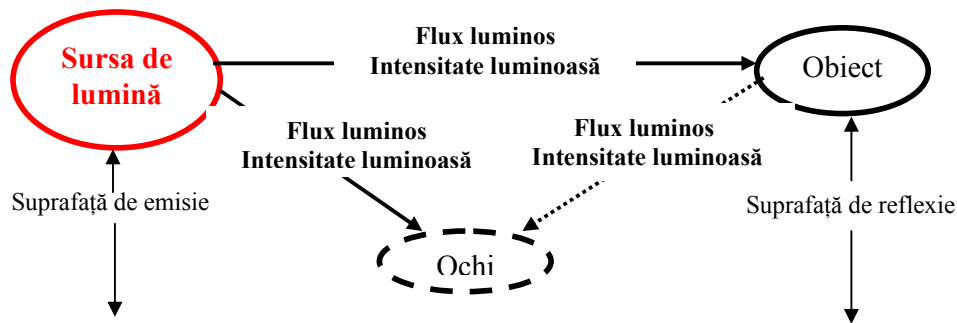
- distribuția puterii spectrale a sursei de lumină ($SPD = \sum P_{\lambda} \delta \lambda$), care exprimă puterea radiantă de o sursă de lumină pentru fiecare lungime de undă din spectrul vizibil, indicată de fabricantul sursei respective.

Fluxul luminos reprezintă o măsură a luminii care trece dintr-un loc în altul și anume de la suprafața unui obiect care emite lumină, numit sursă de lumină, la suprafețele altor obiecte care, fie emit la rândul lor altă lumină (obiectele fluorescente sau fosforescente), fie reflectă, mai mult sau mai puțin, lumina incidentă către ochiul omului, care o percepe drept culoare, sau către alte obiecte. Din acest punct de vedere, suprafețele obiectelor din natură se împart în două mari categorii:

- suprafață de emisie: este suprafața unei surse de lumină care emite un flux luminos către suprafețele altor obiecte (chiar și surse de lumină) pentru a le ilumina;
- suprafață de reflexie: este suprafața unui obiect care reflectă, sub formă de flux luminos, o parte din fluxul luminos incident care o iluminează.

Prin urmare, compoziția spectrală și puterea unui flux luminos depind de capacitatea suprafețelor obiectelor din natură de a emite lumină sau de a fi iluminate de aceasta.

Conceptele care caracterizează un flux luminos în raport cu suprafața sursei de lumină care-l radiază și cu suprafețele obiectelor pe care le iluminează sunt prezentate schematic în figura următoare:



Emitanța (M)= fluxul luminos care pleacă de pe unitatea de suprafață (1lux= 1lumen/m²)

Iluminanța (E)= flux luminos incident (care cade) pe unitatea de suprafață (1lux= 1lumen/m²)

Intensitatea luminoasă (I)= fluxul luminos radiat de o sursă într-o anumită direcție (candela)

Luminanța (L)= intensitatea luminoasă eliberată de unitatea de suprafață s (candela/m²)

Dintre acestea, în reproducerea culorii interesează *luminanța*, caracteristica luminii care este percepută de om drept strălucire a culorii, pentru determinarea căreia se folosește *intensitatea luminoasă* exprimată în funcție de *iluminanță*, care descrie iluminarea unei suprafețe de către un flux emis de o sursă.

Iluminanța (E) unei surse de lumină caracterizează lumina care sosește (ajunge) pe suprafața unui obiect. Reprezintă o măsură a cantității de lumină care iluminează o suprafață (suprafața unui obiect). Se definește ca fiind fluxul luminos care cade pe o unitate de suprafață.

Unitatea de măsură a iluminanței este lux-ul, definit ca iluminanța produsă de fluxul luminos de un lumen care cade pe o suprafață de un metru pătrat.

Iluminanța este egală cu fluxul luminos emis de o sursă de lumină punctiformă, care iluminează unitatea de suprafață de arie s , reprezentată de conul cu vârful în sursa respectivă și baza s , care acoperă un spațiu foarte mic.

Matematic, iluminanța se exprimă prin formula:

$$E = \lim_{s \rightarrow 0} F/s$$

În practică interesează iluminanța pentru suprafețele iluminate din toate direcțiile, nu dintr-un singur punct, pentru determinarea căreia se aplică același principiu.

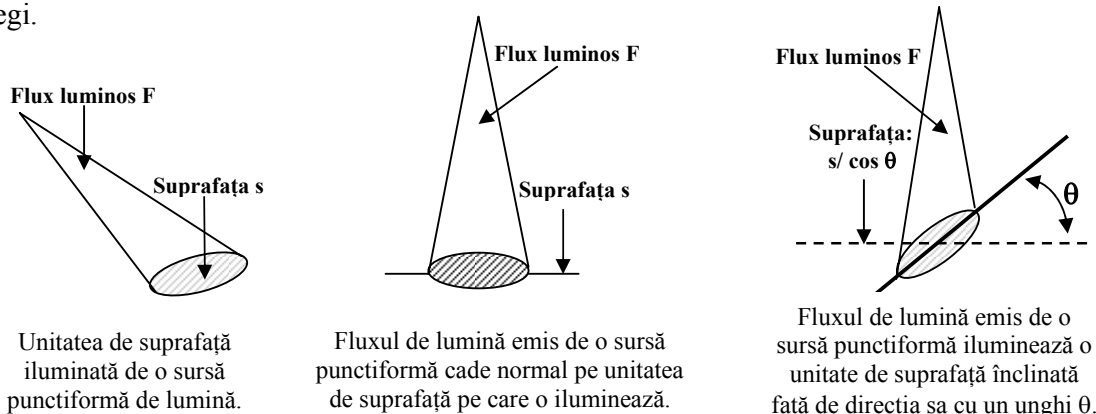
Iluminanța se specifică pentru un punct de pe suprafața iluminată de o sursă de lumină. Valoarea iluminanței variază considerabil de la un punct la altul al suprafeței iluminate de sursă. Practic, este foarte greu de obținut, chiar și cu aproximație, o iluminanță uniformă pentru o suprafață mai mare de câțiva centimetri pătrați. Spre exemplu, o sursă de lumină, care iluminează o încăpere, poate produce pe suprafața de lucru a unui birou o iluminanță cuprinsă în intervalul [150 lux, 500 lux]. Într-o zonă cu climă temperată, iluminanța produsă de soare pe suprafața pământului poate varia în intervalul [5000 lux, 50.000 lux], de la o zi înnoțată la o zi cu soare strălucitor.

Experimentele au demonstrat că la nivele de iluminare ridicate sau scăzute, ochiul uman distorsionează percepția vizuală a culorii. Astfel, la nivele de iluminare scăzute viziunea culorii nu mai este normală deoarece viziunea photopică începe să fie înlocuită cu viziunea scotopică. Starea de tranziție de la viziunea photopică la viziunea scotopică, cunoscută sub denumirea de viziune mesopică, se produce la nivelul de iluminare de adaptare care produce pe suprafețele din jur o iluminanță cuprinsă în intervalul [10lux (amurg), 0,1lux (lumina lunii)]. Nivelul de iluminare normal, necesar pentru a asigura viziunea normală a culorii, este produs de surse de iluminare cu iluminanța cuprinsă în intervalul [50lux, 10.000lux].

Valoarea iluminanței unei surse variază considerabil de la un punct la altul al unei suprafețe deoarece iluminarea suprafeței variază în funcție de poziția sa în spațiu iluminat. Spre exemplu, iluminanța în colțurile unei încăperi este mai mică decât în centrul acesteia deoarece fluxul luminos care pătrunde în aceste locuri este mai redus. Din acest motiv, pentru

fiecare tip de sursă se determină iluminanța ambiantă a unei încăperi ca medie a valorilor iluminanței pe planul orizontal al încăperii, la înălțimea băncii sau partea de sus a biroului. Deși conceptul de iluminanță ambiantă al unei surse în raport cu un tip de încăpere nu este agreat pe plan internațional, valorile iluminanței recomandate pentru sursele de lumină se calculează ca medie a valorilor iluminanței pentru fiecare tip de încăpere și sunt publicate de specialiștii în domeniu pentru a fi utilizate de cei interesați.

Pentru determinarea mediei iluminanței unei surse de lumină într-un spațiu dat se folosesc diferite metode. Dacă fluxul de lumină emis de o sursă punctuală într-un con îngust cade pe o suprafață normală s , perpendiculară pe direcția razei de lumină, atunci iluminanța $E_0 = F/s$. Dacă se înclină suprafața astfel încât poziția sa normală formează un unghi θ față de direcția razei de lumină, același con de lumină acoperă o suprafață mai mare ($s / \cos \theta$) și iluminanța devine $E_0 = F \cos \theta / s$, adică $E_0 = E_0 \cos \theta$. Rezultă că, dacă lumina cade pe o suprafață oblică, iluminanța produsă de un flux luminos depinde de cosinusul unghiului de incidență. Această relație este numită legea cosinusului iluminanței. Photometrele, instrumentele folosite pentru măsurarea iluminanței, sunt proiectate cu respectarea acestei legi.



Trebuie luată în considerare și distanța între sursa de lumină și suprafața pe care cade aceasta. Dacă fluxul luminos F produs de o sursă de lumină punctiformă iluminează suprafața s_1 dintr-o zonă a conului situată la distanța d_1 de sursa respectivă, atunci iluminanța este:

$$E_1 = F / s_1.$$

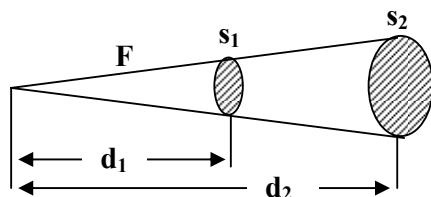
Dacă se mută suprafața de recepție a fluxului luminos mai departe de sursă, la distanța $d_2 > d_1$, în care aria suprafeței este s_2 , iluminanța devine:

$$E_2 = F / s_2.$$

În aceste condiții:

$$E_1 / E_2 = s_2 / s_1 \text{ și } E_2 / E_1 = (d_1 / d_2)^2.$$

Această relație este numită în mod uzual “legea pătratului invers”. Potrivit acestei legi, iluminanța unei surse de lumină punctiformă care iluminează o suprafață este invers proporțională cu pătratul distanței de la sursa de lumină la suprafața iluminată. Altfel spus, dacă distanța se dublează, iluminanța scade la un sfert din valoarea inițială.



Legea pătratului invers:

$$E_1/E_2 = s_2/s_1 \text{ și } E_2/E_1 = (d_1/d_2)^2.$$

Intensitatea luminoasă (I) caracterizează lumina radiată de o sursă de lumină. Reprezintă o măsură a cantității de lumină emisă de o sursă într-o anumită direcție. Se definește ca fiind fluxul luminos radiat de o sursă de lumină pe o direcție dată.

Intensitatea luminoasă a unei surse variază mult în funcție de direcția în care se măsoară lumina emisă, motiv pentru care se specifică numai împreună cu direcția respectivă. Spre exemplu, becul incandescent cu difuzie prin lustră emite cantități de lumină semnificativ diferite pe direcțiile orizontală și în jos, dar nu emite în direcția verticală în sus deoarece nu permite lustra. Un proiector emite numai printr-un con îngust cu o deschidere foarte mică și nimic în orice altă direcție.

Intensitatea luminoasă eliberată de o sursă de lumină punctiformă, care emite un flux luminos F într-un con îngust, pe direcția care formează un unghi ω cu direcția normală, se exprimă matematic prin relația:

$$I = \lim_{\omega \rightarrow 0} F/\omega$$

Unitatea de măsură standard a intensității luminoase este candela. Intensitatea luminoasă de 1 candelă reprezintă un flux luminos de un lumen emis de o sursă de lumină punctiformă într-un unghi solid de un steradian. Sursele de lumină uzuale au intensitatea luminoasă cuprinsă în mod tipic între 80 și 100 candela.

De regulă, intensitatea tuturor lungimilor de undă din spectrul vizibil se exprimă prin temperatura sursei care le emite. Altfel spus, temperatura culorii este măsura intensității luminii radiate de o sursă. În fond, este o măsură a intensității relative a tuturor lungimilor de undă din spectrul vizibil deoarece este determinată prin comparație cu temperatura la care este încălzită o sursă de lumină de referință (radiator cu corp negru).

Temperatura culorii unei surse de lumină se definește ca fiind temperatura la care se încălzește radiatorul cu corp negru etalon pentru a obține nuanța de culoare a luminii emisă de sursa respectivă. Prin definiție, temperatura culorii radiatorului cu corp negru etalon este egală cu temperatura suprafeței sale, exprimată în grade Kelvin (K°).

Unitatea de măsură standard pentru temperatura culorii este gradul Kelvin (K°).

O rază de lumină cu intensitatea de o candelă are temperatura culorii de $1800 K^{\circ}$.

Experimentele efectuate de CIE au demonstrat că temperatura culorii poate fi reprezentată simbolic sub următoarea formă:



Această reprezentare arată că intensitatea luminii, exprimată prin temperatura culorii sursei care o emite, variază în funcție de lungimea sa de undă. Se observă că intensitatea culorilor spectrale crește de la Red către Blue, roșu fiind cea mai rece culoare vizibilă, iar albastru cea mai fierbinte, lucru total opus asocierilor tradiționale făcute de om pentru aceste culori. Roșu este considerată culoare fierbinte deoarece metalele încinse radiază roșu și focul este roșiatic, dar roșeața acestor surse considerate calde este dată de faptul că roșu este prima culoare emisă de sursă atunci când căldura crește. Drept dovadă, becurile incandescente radiază o culoare roșiatică spre gălbui pe toată durata lor de viață. Albastru este considerată culoare rece deoarece gheața reflectă culoarea luminii zilei făcând-o să apară albastră, iar gerul apare uneori tot albastru.

Temperatura culorii, ca măsură a intensității luminii, definește condițiile de iluminare specifice unei surse de lumină. Experimentele efectuate de CIE au demonstrat că temperatura culorii variază considerabil de la o sursă de lumină la alta, prin urmare condițiile de iluminare variază corespunzător, cu implicații majore în interpretarea culorilor la nivelul creierului uman. Spre exemplu, pentru o sursă de lumină incandescentă, temperatura culorii este aproape egală cu cea a radiatorului cu corp negru etalon, în timp ce temperatura culorii unei surse de lumină fluorescentă este mult diferită de cea a sursei de referință și de aceea cele două definesc condiții de iluminare mult diferite.

Pentru a defini clar condițiile de iluminare determinate de diferite surse de lumină, CIE a definit pentru acele surse care diferă mult de sursa de referință așa numita temperatură color corelată- CCT (**C**orrelated **C**olor **T**emperature). CCT este egală cu temperatura culorii sursei de referință cea mai apropiată de temperatura culorii sursei de iluminare.

Condițiile de iluminare variază mult în funcție de tipul sursei de lumină care le definește, deoarece temperatura culorii acestora variază mult de la una la alta. În consecință, pentru descrierea corectă a culorilor majoritatea producătorilor de echipamente care reproduc digital culorile (Adobe, Scitex) spectrului vizibil au adoptat ca temperatură color pentru cele mai uzuale surse de lumină următoarele valori:

Lumina soarelui	de la 4,300 până la 6,500 °K
Cer albastru- senin	de la 12.000°K până la 27.000 °K
Cer acoperit- înnorat	7,000 °K
Sursa fluorescentă cu lumină albă	6,500 °K
Sursa cu arc electric	5,000 °K
Bec incandescent	de la 2,400 °K până la 2,700 °K
Blitz de culoare albastră	6,000 °K

Pentru a evita interpretarea greșită a culorilor, CIE a standardizat intensitatea luminoasă pentru vizualizarea culorilor la temperatura culorii de 5000 K⁰, iar sursa care o emite a fost denumită generic D50. A aproximat lumina albă la lumina soarelui la intensitatea luminoasă de 6774K⁰, iar sursa care o radiază, soarele, a denumit-o generic iluminant C. Pentru interpretarea corectă a culorilor reproduse pe monitoarele calculatoarelor sau camerelor video, intensitatea luminoasă a surselor de lumină utilizate de acestea a fost stabilită la 5500K⁰ (D55), 6500K⁰ (D65), 7500K⁰ (D75) și 9300K⁰.

Luminanța (L) reprezintă intensitatea luminoasă eliberată de unitatea de suprafață. Dacă unitatea de suprafață emite un flux luminos de intensitate luminoasă I pe o direcție dată, atunci luminanța L este dată de raportul I/s. Într-un singur punct al sursei :

$$L = \lim_{s \rightarrow 0} F/s$$

Unitatea de măsură standard pentru luminanța unei suprafețe este candela/ metru pătrat, abreviată în mod uzual la cd/m².

Luminanța se specificată pentru un punct al suprafeței care radiază lumina și variază mult, ca valoare, în funcție de:

- poziția fiecărui punct pe suprafața care radiază lumina;
- unghiul de vizualizare al fiecărui punct de pe suprafața care radiază lumina.

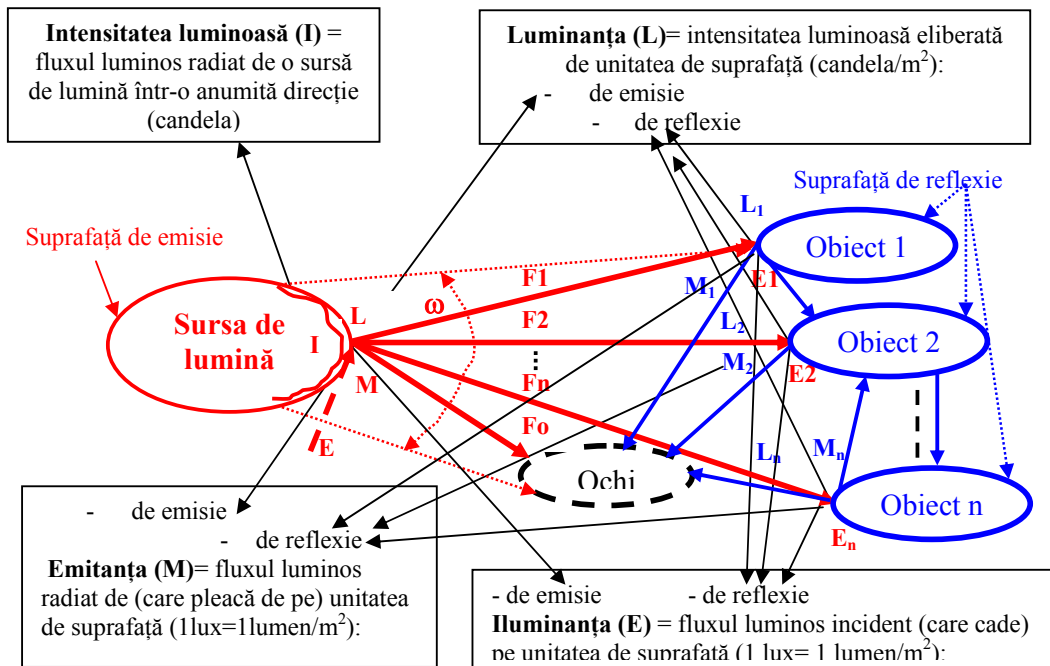
Valoarea luminanței unui punct de pe o suprafață care radiază un flux luminos variază considerabil în funcție de poziția punctului respectiv pe suprafața de emisie sau de reflexie. De aceea, pentru determinarea luminanței trebuie specificate atât poziția punctului pe suprafața care emite sau reflectă o intensitate luminoasă, cât și direcția în care suprafața

respectivă radiază lumina. În mod evident, luminanța oricărei suprafețe de reflecție depinde de iluminanța sursei de lumină care luminează suprafața respectivă. Deoarece iluminanța unei surse variază mult de la un punct la altul al suprafeței pe care o luminează, luminanța unei suprafețe de reflexie variază și ea considerabil de la un punct la altul al său. Potrivit măsurărilor efectuate de CIE valoarea luminanței pereților variază, pentru majoritatea încăperilor, în intervalul $[30 \text{ cd/m}^2, 100 \text{ cd/m}^2]$. Un monitor de calculator poate avea luminanța de aproximativ 100 cd/m^2 , iar suprafața unui tub fluorescent 1.800 cd/m^2 . Filamentul unui bec incandescent poate avea luminanța de 50.000 cd/m^2 etc.

Luminanța suprafețelor iluminate, ca suprafețe de reflexie, variază mult în funcție de unghiul de vizualizare. Spre exemplu, majoritatea suprafețelor reale nu reflectă lumina uniform, în toate direcțiile, iar suprafețele lucioase reflectă foarte puternic în direcții speculative. O suprafață care asigură o difuzie uniformă a unei radiații incidente, așa fel încât luminanța sa să fie aceeași în toate direcțiile din care poate fi măsurată, poartă denumirea de suprafață lambertiană. Reflexia unei suprafețe lambertiene respectă legea cosinusului de distribuție a energiei reflectate potrivit căreia acesta este proporțional cu cosinusul unghiului de reflexie. Potrivit acestei legi, o suprafață lambertiană de arie A și luminanță de 1 cd/m^2 radiază un total de πA lumen într-o emisferă de 2π steradian. Reciproc, dacă se iluminează uniform o suprafață lambertiană cu o iluminanță de π lux, atunci luminanța acestei suprafețe este de 1 cd/m^2 , dacă aceasta este 100% reflexivă.

Luminanța suprafețelor reprezintă o măsură a strălucirii luminii, fiind interpretată de creier drept strălucire a culorii, parametru determinat de intensitatea luminii independent de lungimea sa de undă, care determină cromaticitatea culorii. Luminanța suprafețelor de emisie sau reflexie este o măsură fizică a luminii, fiind determinată de intensitatea fluxului de lumină emis sau reflectat de o suprafață, în timp ce strălucirea culorii suprafeței respective are o semnificație determinată de capacitatea de reacție a ochiului uman la stimuli de lumină.

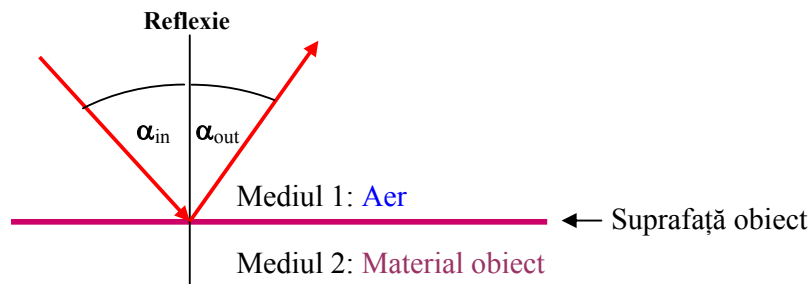
În figura următoare este reprezentat, sintetic, modul în care iluminanța unei surse, care exprimă capacitatea sa de iluminare a suprafețelor obiectelor, și intensitatea luminoasă radiată de această, conduc la determinarea *luminanțe*, parametru de lumină care exprimă strălucirea culorilor spectrului vizibil.



Specificarea caracteristicilor fluxului luminos pentru un punct al suprafeței, de emisie sau de reflexie, care radiază lumina

Proprietățile optice ale materialelor

Reflexia este procesul prin care undele luminoase sunt întoarse la trecerea dintre două medii materiale, mai precis sunt întoarse de suprafețele obiectelor.



Reflexia însoțită de *difuzie* (*împrăștiere*), proces de refracție (deviere) a unei raze unidirecționale în mai multe direcții, atunci se numește reflexie difuză.

Reflexia unei raze unidirecționale într-o rază unidirecțională, conform legilor optice, care nu este însoțită de *difuzie* (*împrăștiere*), se numește reflexie normală sau speculară.

Reflexia normală sau speculară exprimă strălucirea suprafețelor netede la exterior, lucioase și vopsite, care seamănă cu un lichid. Este o reflexie de tip oglindă, potrivit căreia lumina reflectată părăsește suprafața sub un unghi egal cu unghiul de incidență și compoziția spectrală a luminii nu este alterată.

Reflexia difuză exprimă culoarea suprafețelor vopsite la exterior. Este reflexia luminii în diferite direcții produsă de particulele de formă neregulată care formează pigmentii din vopsea. Deoarece particulele de pigment absorb o parte din lungimile de undă mai mult decât pe altele, compoziția spectrală a luminii se alterează, determinând astfel o schimbare a culorii suprafețelor incidente.

O suprafață vopsită ideală ar trebui să aibă numai reflexie difuză. Dar majoritatea suprafețelor vopsite prezintă atât reflexie speculară cât și difuză, în funcție de gradul luciului său, în timp ce o oglindă prezintă numai reflexie speculară, nu și difuză.

Suprafețele structurale, care au o textură la exterior formată din linii paralele așezate în mai multe straturi subțiri, paralele și ele, prezintă reflexii diferite în direcții diferite. Aceste suprafețe se comportă ca o grilă de difracție care reflectă anumite lungimi de undă mai mult decât pe altele datorită fenomenului de interferență, modificând astfel caracteristicile luminii incidente, cu implicații vizuale.

Reflexia, normală sau difuză, lasă lungimea de undă a radiației luminoase neschimbată, cu excepția efectului Doppler care determină o schimbare a lungimii de undă atunci când suprafața reflectantă este în mișcare.

Pentru a măsura corect cantitatea de lumină reflectată de o suprafață trebuie specificate cu grijă condițiile de iluminare și de vizualizare. În acest sens, CIE a stabilit o serie de standarde geometrice pentru măsurătorile reflexiei.

Reflectanța (ρ) unei suprafețe caracterizează capacitatea sa de a reflecta lumina incidentă și reprezintă o măsură a proprietății de reflexie a acestei suprafețe.

Reflectanța se definește ca raport între fluxul luminos reflectat de o suprafață și fluxul luminos incident pe aceasta. Dacă fluxul luminos reflectat de unitatea de suprafață dA se exprimă în funcție de emitanța suprafeței M , iar cel incident în funcție de iluminanța sursei de lumină E , atunci:

$$\rho = (d\Phi_{\text{reflectat}}) / (d\Phi_{\text{incident}}) = M dA / E dA = M / E \text{ sau } M = \rho E$$

Rezultă că emitanța, proprietatea de emisie a unei suprafețe, este egală cu produsul dintre reflectanța sa și iluminanța sursei de lumină incidentă.

Reflectanța totală a unei suprafețe este egală cu suma dintre reflectanța sa normală (ρ_n) și reflectanța sa difuză (ρ_d), determinate ca raport între fluxul reflectat normal sau difuz de suprafața respectivă și fluxul luminos incident pe acea suprafață, ceea ce matematic se exprimă prin relația:

$$\rho = \rho_n + \rho_d \quad \text{și rezultă că } M = (\rho_n + \rho_d)E$$

Reflectanța unei suprafețe depinde de:

- lungimea de undă a luminii incidente;
- polarizarea și distribuția geometrică a luminii incidente.

Dacă este determinată de o singură lungime de undă, reflectanța unei suprafețe este monocromatică sau spectrală. Pentru o anumită combinație de lungimi de undă, reflectanța unei suprafețe depinde de distribuția spectrală a luminii incidente care trebuie specificată și se cheamă reflectanță policromatică.

Raportul dintre reflectanța unei suprafețe iluminate și lungimea de undă definește distribuția reflectanței spectrale a suprafeței respective. Acest factor este folosit în mod uzual pentru caracterizarea proprietății de reflexie a suprafețelor.

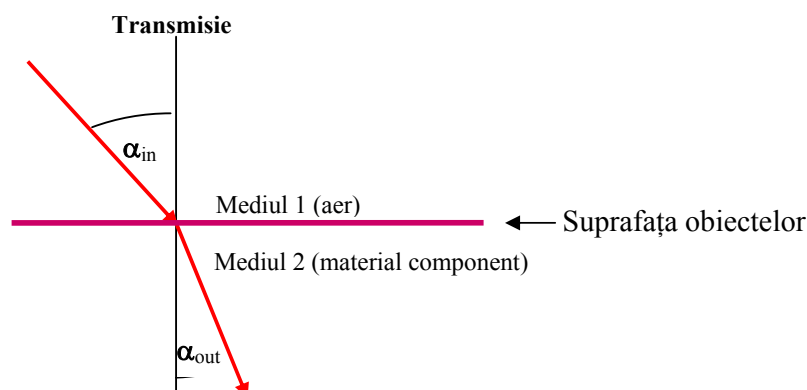
Distribuția puterii spectrale a luminii provenite de la suprafața unui obiect când este iluminată de o sursă de lumină se numește distribuția puterii spectrale a luminii reflectate și este definită de produsul dintre reflectanța suprafeței respective și SPD aferentă sursei care emite lumina ce cade pe această suprafață.

În practică, reflectanța unei suprafețe se determină prin comparație cu reflectanța unei suprafețe ideale, care reflectă toată lumina, respectiv toate lungimile de undă care cad pe ea, la fel de puternic, în toate direcțiile. În acest context, reflectanța oricărei suprafețe se calculează ca raport între lumina pe care o reflectată ea și lumina reflectată de o suprafață ideală, în condiții geometrice definite.

Reflectanța spectrală este proprietatea unui material care reflectă o singură lungime de undă din spectrul vizibil, și anume pe cea care-i definește culoarea. Reflectanța unui material alb pur, care reflectă în mod egal toate lungimile de undă din spectrul vizibil, este 100%. Experimentele au demonstrat însă că în realitate un material alb, ca de exemplu hârtia, are reflectanța de aproximativ 80%- 90%. În practică se folosesc eșantioane albe cu reflectanță de 80%- 90% ca standarde de reflexie.

Experimentele efectuate de CIE au demonstrat că suprafețele puternic colorate prezintă o variație mare a reflectanței în raport cu lungimea de undă, în timp ce suprafețele acromatice prezintă o variație mai mică acestui factor. Reflectanța culorilor gri și negru sunt mult mai mici decât reflectanța culorii alb, tipic 20%- 60 % pentru gri și 3%-5% pentru negru. Trebuie subliniat că este foarte greu de produs o suprafață total absorbantă, un negru ideal. Practic negru ideal, cu factor de reflectanță 0% nu există.

Transmisia este procesul prin care undele de lumină străpung suprafețele obiectelor și trec prin materialul din care sunt făcute acestea.



Transmisia însoțită de difuzie (împrăștiere), proces de refracție (deviere) a unei raze unidirecționale în mai multe direcții, se numește transmisie difuză.

Transmisia unei raze unidirecționale într-o rază unidirecțională, conform legilor optice, care nu este însoțită de difuzie (împrăștiere), se numește transmisie normală sau directă.

Transmisia normală sau directă se produce printr-o suprafață de sticlă perfect transparentă, caz ideal care nu se regăsește în practică. O suprafață de sticlă lustruită reflectată numai o mică parte din lumina incidentă, marea parte pătrunzând prin sticlă, conform legii fizice a refracției. Dacă bucata de sticlă are două fețe, două suprafețe lucioase- paralele prin care trece lumina, la prima suprafață o mică parte din lumină este reflectată, iar restul trece prin sticlă. La a doua suprafață, o mică parte din lumina refractată inițial este reflectată, iar restul trece prin suprafață și este refractată din nou, pe o direcție paralelă cu cea inițială. La trecerea prin sticlă, o parte din lumină este absorbită, dimensiunea acestei absorbții fiind dependentă de lungimea de undă a luminii. Multe sticle au o culoare cu tentă de verde deoarece o parte a lungimilor de undă lungi (rosu) și scurte (albastru) sunt absorbite în trecerea lor prin sticlă.

Pentru lumina care trece prin sticlă normal intensitatea de lumină reflectată este dată de ecuația:

$$I_r = I_0 \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}, \text{ unde } I_r = \text{intensitatea reflectată și } I_0 \text{ intensitatea incidentă.}$$

Considerând că pentru majoritatea materialelor solide transparente n este aproximativ 1.5, conform experimentelor efectuate de CIE, intensitatea luminii reflectate de o suprafață transparentă este dată de relația:

$$I_r = \text{aproximativ } 4\% I_0$$

Prin urmare, la trecerea prin orice material solid transparent ca sticla, 4% din lumină este reflectată de suprafață. Prin urmare, cantitatea de lumină transmisă printr-o foaie de sticlă nu poate depăși 92% din cantitatea de lumină incidentă. Trebuie notat că proporția luminii reflectate de o suprafață crește considerabil dacă unghiul de incidență nu este normal și devine mai oblic.

Transmisia difuză se produce pentru materialele transparente care împrăștie lumina, adică o parte din lumina transmisă străpunge în direcții total diferite de lumina incidentă.

Împrăștierea luminii se produce pe suprafețele plane deoarece:

- a. procesul de lustruire produce zgârieturi pe suprafața materialului transparent;
- b. textura suprafeței conține materiale cu diferiți indici de refracție.

În cazul materialelor transparente de tip foiță de hârtie, se produce o împrăștiere a luminii care conduce la o transmisie difuză.

Transmisia normală sau difuză lasă lungimea de undă a radiației luminoase neschimbată.

Transmitanța (τ) unui mediu (obiect făcut dintr-un anumit material) exprimă proprietatea acestuia de a transmite o parte din lumina incidentă. Se definește ca raport dintre fluxul luminos transmis prin mediul respectiv și fluxul luminos incident pe suprafața acestuia sau raportul dintre intensitatea totală a luminii transmise, în toate direcțiile, și intensitatea totală a luminii incidente pe suprafața acestuia.

Transmitanța totală a unei suprafețe este dată de suma dintre transmitanța sa normală și transmitanța sa difuză, determinate ca raport între fluxul transmis normal sau difuz, ceea ce matematic se exprimă prin relația:

$$\tau = \tau_n + \tau_d$$

Transmitanța unei suprafețe depinde de:

- lungimea de undă a luminii incidente;
- polarizarea și distribuția geometrică a luminii incidente.

Dacă este determinată de o singură lungime de undă transmitanța unei suprafețe este monocromatică sau spectrală. Pentru o anumită combinație de lungimi de undă este policromatică și depinde de distribuția spectrală a luminii incidente care trebuie specificată.

La trecerea printr-o substanță transparentă, lumina transmisă va suferi pierderi atât prin absorbție cât și prin reflexie. Pentru orice material, transmitanța variază mult în funcție de lungimea de undă incidentă pe suprafața sa. Transmitanța unei singure lungimi de undă se numește transmitanță spectrală.

Absorția este procesul de transformare a energiei radiante percepută de om drept lumină într-un alt tip de energie, în mod uzual energia termică (căldura) care se produce la interacțiunea lungimilor de undă luminoase cu suprafața obiectelor (materia).

Absorbanța (α) unui material (obiect făcut dintr-un anumit material) exprimă proprietatea suprafețelor de a absorbi o parte din lumina incidentă. Se definește ca raport dintre fluxul luminos absorbit de mediul respectiv și fluxul luminos incident pe suprafața acestuia.

Potrivit legii Beer- Lambert, absorbanța fiecărei lungimi de undă este proporțională cu numărul moleculelor absorbante pe care le întâlnește raza de lumină în calea sa. Prin urmare, depinde de absorția intrinsecă a materialului în raport cu lungimea de undă respectivă λ , de lungimea b traseului parcurs prin material și de concentrația c a acestuia:

$$A(\lambda) = \log_{10}(I_0 / I(\lambda)) = a(\lambda)bc$$

Legea Beer- Lambert e folosită pe scară largă atât în analiza chimică, cât și în multe alte aplicații din industria vopselelor, coloranților și tipografică.

Absorbanța unei suprafețe depinde de:

- lungimea de undă a luminii incidente;
- polarizarea și distribuția geometrică a luminii incidente.

Dacă este determinată de o singură lungime de undă absorbanța unei suprafețe este monocromatică sau spectrală. Pentru o anumită combinație de lungimi de undă este policromatică și depinde de distribuția spectrală a luminii incidente care trebuie specificată.

Fiind definite ca raport între valori ale fluxului luminos sau intensității luminoase reflectanța, transmitanța și absorbanța unei suprafețe nu au unitate de măsură, motiv pentru care se mai numesc și factori de reflectanță, transmitanță și absorbanță.

Reflectanța, transmitanța și absorbanța unei suprafețe exprimă proprietățile optice ale materialelor și de aceea caracterizează comportarea acestora în raport cu lumina incidentă care le determină culoarea. Aceste proprietăți nu sunt însă constante, deoarece depind de mulți alți parametri, ca de exemplu: grosimea materialului, natura suprafețelor, unghiul de incidență, temperatură, distribuția spectrală a luminii, efectele de polarizare etc.

Modul de determinare a proprietăților optice ale materialelor, în vederea exprimării comportării acestora în raport cu lumina incidentă pentru descrierea culorilor acestor materiale este descris în documentația CIE 1930-1998.

Culoarea obiectelor din natură

Culoarea este efectul produs asupra ochiului uman de undele electromagnetice emise sau reflectate de corpurile din mediul înconjurător pe direcția acestuia. După cum emit sau nu unde electromagnetice, corpurile din natură se împart în surse de lumină și obiecte colorate.

Sursele de lumină sunt corpuri sau obiecte care emit unde electromagnetice, respectiv lumină. În funcție de compoziția undelor de lumină pe care le pot genera și emite către alte obiecte din mediul înconjurător acestea pot fi:

- c. monocromatice, dacă generează și emit o singură lungime de undă;
- d. policromatice, dacă generează o combinație de lungimi de undă.

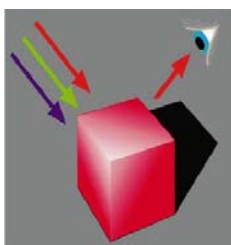
Culoarea emisă de o sursă de lumină este dată de *lungimea de undă dominantă* care produce senzația de culoare și de *intensitatea* lungimii respective de undă care produce senzația de strălucire sau luminozitate. Deoarece intensitatea luminii pe care o emit sursele este de regulă ridicată, ochiul uman distinge cu greu culoarea acestora, multe fiind percepute ca monocromatice, deși în realitate nu sunt.

Spectrul unei surse de lumină reprezintă domeniul radiațiilor electromagnetice produs și emis de sursa respectivă ca lumină vizibilă, domeniul lungimilor de undă pe care le poate produce și emite ea fiind, de regulă, mult mai larg.

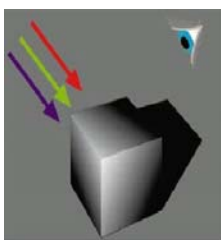
Spectrul unei surse de lumină este inclus sau cel mult egal cu spectrul vizibil.

Obiectele colorate sunt corpuri din natură sau create de om care vin în contact cu lumina emisă de sursele de lumină.

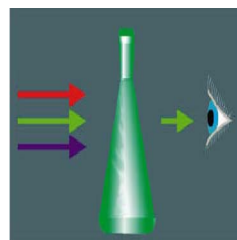
Lumina se comportă diferit în raport cu obiectele cu care vine în contact, undele de lumină fiind absorbite, reflectate, transmise sau emise de suprafețele acestor obiecte. Astfel, lumina reflectată este lumina care se lovește și se îndepărtează de obiectul către care a fost emisă pe direcția ochiului uman. Lumina absorbită este cea care nu a fost nici reflectată și nici nu a trecut prin obiectul către care a fost emisă. Lumina transmisă este cea care a trecut prin obiectul către care a fost emisă.



Lumina reflectată



Lumina absorbită



Lumina transmisă

Culorile obiectelor sunt determinate nu numai de caracteristicile optice ale suprafețelor lor, ci și de orientarea acestora în spațiu, care afectează compoziția luminii care ajunge la suprafața obiectului respectiv pe direcția ochiului uman.

Obiectele opace au culoarea determinată de lungimile undelor de lumină pe care le reflectă, restul undelor de lumină fiind absorbite de acestea. Obiectele care reflectă toate lungimile de undă au culoarea alb, iar cele care le absorb pe toate au culoarea negru. Obiectele care reflectă, absorb, transmit și eventual emit lungimile de undă în proporții diferite au nuanța de culoare din spectrul vizibil determinată de combinația undelor de lumină reflectate

Obiectele translucide sau transparente teoretic nu au culoare deoarece transmit, împrăștiat sau nu, toate undele de lumină emise către ele. În realitate însă, ele tind să aibă culoarea puținelor lungimi de undă pe care le reflectă, absorb o mică parte și transmit marea majoritate a lungimilor de undă care cad pe suprafața lor.

Obiectele incandescente, care generează și emit lungimi de unde luminoase datorită temperaturii lor ridicate, au culoarea determinată de natura particulelor solide emise pe direcția ochiului uman. În mod uzual, această culoare este percepută ca fiind roșu încins sau alb încins. Obiectele incandescente reprezintă surse de lumină termale care emit o mică parte din energia lor (aproximativ 10%), sub formă de particule solide încinse, ca lumină vizibilă, iar restul ca lumină infraroșu sau ultravioletă.

Obiectele fluorescente și fosforescente, care absorb undele de lumină emise către ele și, ca o consecință, emit alte unde de lumină cu caracteristici diferite, au culoarea determinată de lungimile de unde pe care le emit pe direcția ochiului uman. Pentru că emit lumină, obiectele fluorescente, care emit alte lungimi de unde pe întreaga durată a procesului de absorbție, și cele fosforescente, care continuă emisia chiar și după ce procesul de absorbție încetează, reprezintă surse de lumină.

Interpretarea culorii. Indexul de interpretare a culorii

Culoarea unui obiect vizualizat este determinată în principal de distribuția puterii spectrale (SPD) a luminii care trece de la obiect la ochiul uman, lumina reflectată de suprafața obiectului când este iluminată de o sursă de lumină.

SPD-ul luminii reflectate de suprafața unui obiect când este iluminată de o sursă de lumină este dat de produsul între SPD-ului sursei de lumină și reflectanța spectrală pe fiecare punct al suprafeței pe care o iluminează sursa respectivă, care definește distribuția reflectanței spectrale a suprafeței iluminate.

La modul general, CRI este folosit pentru descrierea și evaluarea surselor de lumină prin determinarea calității luminii emise. În mod special, CRI se folosește pentru a caracteriza lumina emisă de sursele cu SPD diferit, culorile vizualizate la surse de lumină cu SPD diferit fiind percepute diferit de sistemul vizual uman. Fenomenul este denumit metamerism iar sursele respective se numesc surse metamerice.

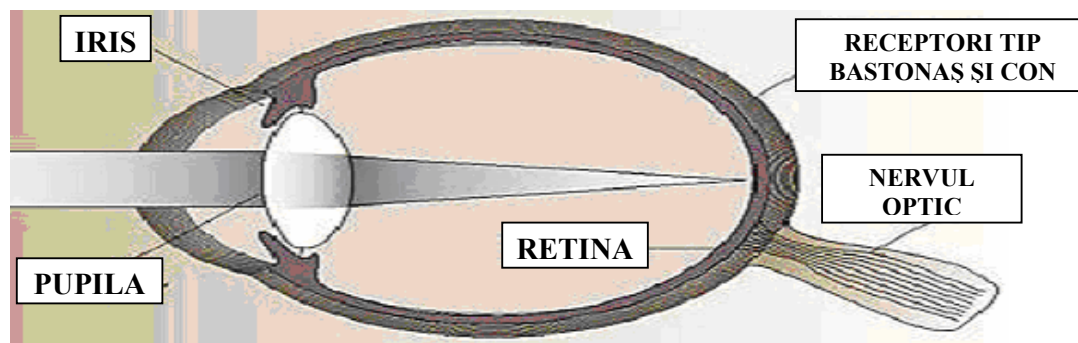
Percepția vizuală a culorii

Percepția culorii este definită de modul în care ochiul, prin construcția sa fiziologică, interpretează și deosebește culorile din spectrul vizibil.

Culoarea este senzația dată de undele de lumină reflectate de un obiect luminat sau emise de o sursă de lumină către ochiul uman. La nivelul ochiului, irisul reglează cantitatea de lumină care pătrunde prin pupile (lentile), către retină. Pupilele focalizează lumina către retină, funcție de lungimea sa de undă.

Retina, considerată parte a creierului, este o structură nervoasă complexă, care conține două tipuri de receptori sensibili la lumină, numiți bastonașe (rods) și conuri (cones), datorită formei lor fizice. Acești receptori transformă lumina în impulsuri nervoase care creează senzația de culoare pe creierul uman.

Receptorii de tip bastonaș, sensibili la intensitatea luminoasă, disting între întuneric și lumină. Structural, ei sunt activi la nivele scăzute de lumină, au timp redus de răspuns la stimuli luminoși și conțin substanțe care absorb lumina. Din acest motiv ei nu deosebesc culoarea, fiind responsabili cu vederea pe timpul nopții. Receptorii de tip con, sensibili la diferitele lungimi de undă pe care creierul le interpretează drept culori, sunt activi la nivele ridicate de lumină și permit percepția culorii pe timpul zilei. Structural, ei conțin niște substanțe chimice numite pigmenți, care contribuie la crearea senzației de culoare și au timp rapid de răspuns la stimuli de lumină.



Experimentele efectuate de Newton și confirmate de teoria Young-Helmholtz au demonstrat că retina ochiului uman conține trei categorii de receptori tip con, fiecare categorie fiind sensibilă la o anumită gamă de unde luminoase:

- receptori Long sau **Red**, sensibili la lumina roșie, cu lungimi de undă lungi, 500nm- 700nm;
- receptori Middle sau **Green**, sensibili la lumina verde, cu lungimi de undă medii, 450nm- 630nm;
- receptori Short sau **Blue**, sensibili la lumina albastră cu lungimi de undă scurte, 400nm- 500nm.

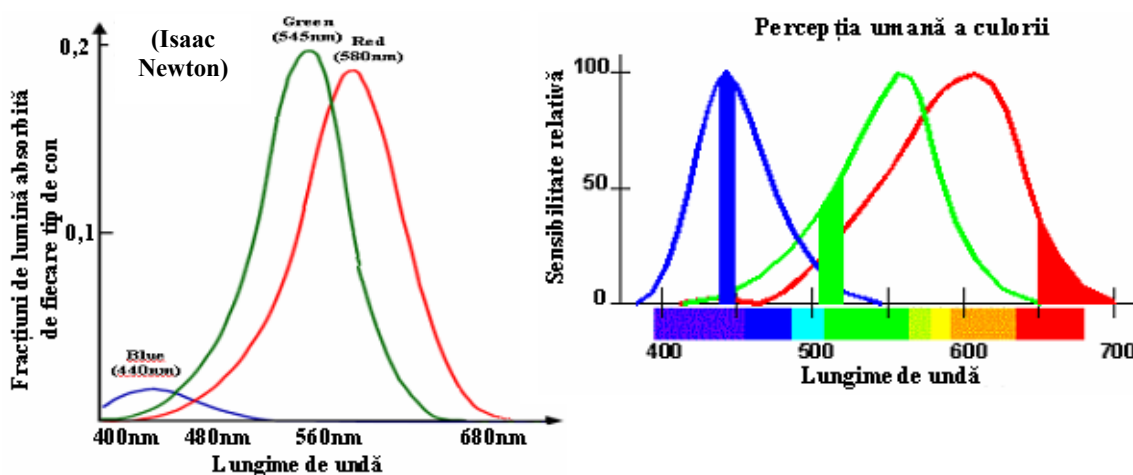
Percepția culorii la nivelul creierului uman trebuie definită ținând cont că:

- este rezultatul stimulării simultane a celor trei categorii de receptori din retină;
- este afectată de lumina mediului înconjurător și de adaptarea ochiului la această lumină;
- diferite combinații de lungimi de undă pot fi percepute ca senzații de culoare identice (metamerism).

Oricum, în reproducerea culorilor din mediul înconjurător, trebuie avut în vedere că lumina vizibilă percepută drept culoare de sistemul vizual uman este mai mult psiho-fiziologică decât fizică.

Percepția fizică a culorii se bazează pe pigmenții de culoare din retină, fiecare categorie de receptori tip con conținând câte un pigment care reflectă una din cele trei categorii de unde luminoase și le absoarbe pe celelalte două. Practic, culoarea percepută de sistemul vizual uman poate fi descrisă prin combinația aditivă a lungimilor de undă LMS, corespunzătoare culorilor RGB, pe care le reflectă pigmenții din structura receptorilor tip con. Aceștia absorb, selectiv, o parte din lumină pentru a reflecta numai lungimile de undă care definesc o anumită culoare.

Răspunsul receptorilor din retină la diferiți stimuli de lumină are, în principiu, forma curbelor de răspuns ridicate pe baza experimentelor lui Newton.



Curbele de răspuns spectral pentru fiecare tip de con din retina ochiului uman

Pe baza acestor curbe de răspuns au fost determinate curbele de combinare a culorilor folosite pentru reprezentarea acestora în vederea descrierii, captării, sau reproducerii.

Cele trei categorii de receptori tip con răspund în mod diferit la diferitele lungimi de undă din lumina vizibilă și, prin urmare, au curbe de răspuns diferite. Diferența între semnalele recepționate de la cele trei categorii de receptori tip con permite creierului să perceapă o gamă largă de culori diferite.

Nervul optic interpretează impulsurile nervoase primite de la retină, prin intermediul receptorilor sensibili la lumină și creează, la nivelul creierului uman, senzația de culoare. Și astfel, omul poate percepe și distinge milioane de culori și nuanțe de gri.

Percepția fiziologică a culorii este determinată de particularitățile fiziologice ale indivizilor. Ca orice senzație fiziologică, culoarea nu este percepută la fel de toate persoanele, după cum nici vederea aceleiași persoane nu este la fel pe tot parcursul vieții sale. Practic, nu există culoare absolută deoarece particularitățile fiziologie sau afecțiunile ochiului uman pot produce anomalii de interpretare a culorilor. Din acest motiv, doi indivizi pot percepe culori diferite pentru același obiect. Unii indivizi se pot naște cu defecțiuni de vedere. De exemplu, daltoniștii nu disting culoarea roșie, ei văd de culoare verde tot ceea ce oamenii normali consideră a fi de culoare roșu.

Percepția psihologică a culorii este determinată de factorii emoționali specifici mediului social în care trăiește fiecare persoană și determină, la rândul ei, efectele socio-economice ale culorilor. Culoarea poate fi considerată un fenomen psihologic deoarece exprimă numai caracteristicile luminii detectate de ochiul omului care sunt afectate de factori emoționali pasați la nivelul subconștientului uman. În acest context unele culori creează emoții diferite, uneori chiar opuse. Spre exemplu, în cultura multor popoare, negrul este asociat cu moartea și durerea, iar albul semnifică viață și puritate. În Orient însă, albul este culoarea tradițională pentru doliu și durere.

Caracteristicile culorii

La nivel conceptual, culoarea este caracterizată prin cromaticitatea sa, determinată de lungimea de undă sau de mulțimea lungimilor de undă care o definește, și de strălucirea sau luminozitatea sa, determinată de intensitatea undei de lumină. Lungimea de undă și intensitatea culorii fiind determinate de energia electromagnetică, reprezintă cantități fizice, în timp ce cromaticitatea și strălucirea acesteia, fiind determinate de percepția umană a culorii, sunt psihologice. Percepția umană despre intensitatea culorii este neliniară, la schimbări de intensitate diferite ochiul uman putând percepe aceeași schimbare în strălucirea culorii.

Caracteristicile pe baza cărora ochiul uman deosebește culorile sunt nuanța (hue), saturația și strălucirea (brightness). Sistemele de măsurare și reprezentare a culorilor folosesc pentru descrierea culorilor spectrului vizibil parametri (de culoare) care se referă la aceste trei caracteristici intrinseci ale culorii.

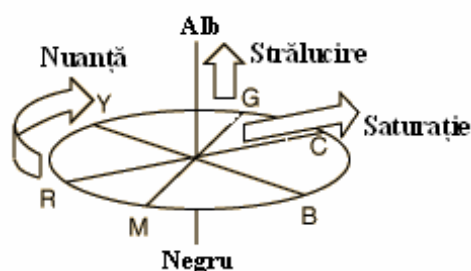
Cromaticitatea unei culori este definită de nuanța și saturația acesteia, luate împreună.

Nuanța culorii (hue) este parametrul de culoare determinant de lungimea de undă dominantă din mulțimea lungimilor de undă care formează culoarea respectivă. Este definită de gradația unei culori în interiorul spectrului vizibil.

Saturația culorii este parametrul de culoare determinant de puritatea culorii, adică de lungimile de undă care se combină cu lungimea de undă dominantă ce definește nuanța culorii. Reprezintă intensitatea unei nuanțe de culoare. O nuanță pură, fiind definită de o singură lungime de undă, este complet saturată.

Strălucirea (brightness) sau **luminozitatea** (luminance) **culorii** este parametrul de culoare determinant de intensitatea undelor de lumină care o definesc. Mai multă lumină înseamnă unde de lumină de intensitate mai mare care determină culori mai intense sau mai strălucitoare. Intensitatea luminii se exprimă prin temperatura culorii sursei care o emite.

Pentru a obține o descriere formală, nu și foarte precisă, a culorilor spectrului vizibil care să indice, generic, relațiile dintre aceste culori s-a reprezentat nuanța culorii pe circumferința Cercului color al lui Newton, iar saturația acesteia pe rază. Strălucirea culorii a fost reprezentată pe linia acromatică care trece prin centrul cercului, de la negru, prin diferite nuanțe de gri, către alb, fiind considerată constantă în raport cu cromaticitatea unei suprafețe.



Reprezentarea caracteristicilor de culoare pe Cercul color al lui Newton

Culorile complet saturate (o singură lungime de undă) sunt plasate pe circumferința cercului, iar lumina acromatică (combinație a tuturor lungimilor de undă în proporții egale), în centrul acestuia. Pornind, pe Cercul lui Newton, de la **Red** către **Blue** și de la origine către circumferință, se trece de la lungimi de undă lungi la cele scurte și de la combinații în proporții egale de lungimi de undă către o singură lungime de undă, parcurgând astfel toate

culorile vizibile. Strălucirea culorilor, considerată constantă în raport cu cromaticitatea lor, este reprezentată în originea cercului.

O culoare spectrală este complet saturată, prin urmare este situată pe cerc. Newton a demonstrat experimental că nu toate culorile pot fi reprezentate prin culori spectrale. Spre exemplu, **Magenta** nu este culoare spectrală deoarece nu este formată dintr-o singură lungime de undă, ci din amestecul de **Red** și **Blue**, în cantități egale, dar este o culoare complet saturată

Experiențele lui Newton au arătat că mai multe amestecuri de lungimi de undă diferite pot produce aceeași nuanță de culoare și că, din punct de vedere al saturației, unele culori spectrale sunt percepute ca fiind mai saturate decât altele. Spre exemplu, **Red** este perceput ca fiind mai saturat decât **Yellow**. În plus, pentru aceeași nuanță de culoare pot fi percepute mai multe nivele diferite de saturație.

Strălucirea sau luminozitatea unei culori se raportează la proprietățile suprafeței pe care cade lumina și la caracteristicile sursei de iluminare. Experimental s-a stabilit că strălucirea culorii percepută de om nu este proporțională cu reflexivitatea suprafeței de incidență, ci se află într-o relație logaritmică. Totodată s-a observat că suprafețe diferite, iluminate diferit, pot fi percepute ca având aceeași strălucire și că nuanța și saturația culorii sunt aceleași pentru o valoare dată a acesteia. Experimentele lui Maxwell au demonstrat că strălucirea unei suprafețe colorate este constantă. Teoria lui Maxwell stă la baza colorimetriei moderne.

Tipuri de culori

Ochiul uman poate distinge aproximativ 16,7 milioane de culori diferite, care pot fi grupate pe baza următoarelor trei criterii:

a. În funcție de caracteristicile fizice ale luminii care definește culoarea se deosebesc culori acromatice, culori spectrale sau monocromatice și culori policromatice.

Culorile acromatice sunt produse de lumina acromatică, care nu are culoare, fiind caracterizată numai de intensitatea sa. Obiectele din mediul înconjurător vizualizate de om la lumină acromatică sunt percepute de acesta ca având culoarea gri. Variind intensitatea luminii, teoretic de la zero la infinit, se obține axa acromatică sau scala de gri, de la negru (absența luminii), până la alb (combinație a tuturor lungimilor de undă din spectrul vizibil în proporții egale).

Culorile spectrale sau monocromatice sunt produse de o singură lungime de undă din spectrul vizibil. Sunt culorile curcubeului din spectrul vizibil. Există tabele de culoare care arată lungimile de undă pentru diferite culori spectrale, care însă nu trebuie interpretate ca

fiind definitive deoarece culorile spectrale și împărțirea acestora în culori distincte reprezintă o problemă de cultură, gust și limbaj. Mai mult chiar, intensitatea unei culori spectrale poate fi alterată considerabil de percepția sa, motiv pentru care o sursă de lumină nu trebuie să producă întocmai o anumită lungime de undă pentru ca aceasta să fie percepută ca fiind o culoare spectrală.

Culorile policromatice sunt culorile care pot fi produse prin combinarea mai multor lungimi de undă din spectrul vizibil, în diferite proporții. Majoritatea obiectelor sau imaginilor din mediul înconjurător sunt percepute de om de culori policromatice sau policromii.

b. **În funcție de proprietatea anumitor lungimi de undă de a se combina (amesteca sau mixa) în diferite proporții pentru obținerea culorilor spectrului vizibil** se deosebesc culori primare și culori secundare.

Culorile primare sunt seturi de trei culori prin combinarea cărora, în diferite proporții, se pot obține, teoretic, toate culorile spectrului vizibil. Practic însă, s-a demonstrat că gama de culori obținute prin combinarea oricărui set de culori primare este mai restrânsă decât gama de culori posibil a fi distinsă de om.

Culorile secundare se obțin prin combinarea, în proporții egale, a două culori primare. Practic, sunt culori complementare culorilor primare.

Potrivit teoriei lui Newton, culorile **RGB**- roșu (**Red**), verde (**Green**) și albastru (**Blue**)- sunt culori primare, deoarece corespund lungimilor de undă LMS- lungi (**Long**), medii (**Middle**) și scurte (**Short**)- la care sunt sensibili receptorii ochiului uman, prin combinarea cărora în diferite proporții se pot obține diferite culori din spectrul vizibil. Experimentele lui Newton, efectuate prin dispersia luminii cu ajutorul unei prisme de sticlă, au demonstrat că lumina albă este o combinație a tuturor culorilor din spectrul vizibil și conține cele trei culori primare în proporții egale. Culorile CMY, complementare culorilor primare RGB, sunt culori secundare, deoarece:

Cyan	=	Blue (albastru)	+	Green (verde)
Magenta	=	Red (roșu)	+	Blue (albastru)
Yellow (galben)	=	Red (roșu)	+	Green (verde).

Absența luminii produce culoarea negru. Prin combinarea culorilor primare în proporții inegale, se obțin culori diferite de culorile spectrale, proporția, în sine, determinând culoarea.

Maxwell a demonstrat că setul de culori primare nu este unic, că de fapt orice set de culori care pot fi combinate pentru a produce culoarea alb formează un set de culori primare. Cele mai uzuale seturi de culori primare folosite pentru specificarea culorilor pe care le poate

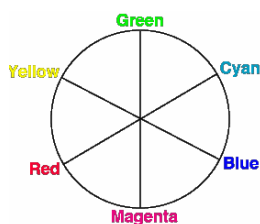
percepe sistemul vizual uman, sunt derivate însă din culorile primare RGB definite de Newton.

Pornind de la setul de culori primare RGB, determinat pe baza corelației între fizica și percepția culorii, s-au definit mai multe seturi de culori primare, cu scopul de a lărgi gama de culori din spectrul vizibil care pot fi descrise și reprezentate în vederea reproducerii cu ajutorul tehnologiei disponibile.

c. În funcție de modul de combinare (de amestec sau de mixare) a undelor de lumină folosit pentru obținerea unei culori vizibile se deosebesc culori aditive și culori substructive

Culorile aditive se obțin prin combinarea (adunarea) undelor de lumină de diferite lungimi care cad direct pe ochiul uman. Altfel spus, culorile prezente în lumină, ca lungimi diferite de undă, se *adună* pentru a forma o nouă culoare pe care o poate distinge sistemul vizual uman.

Cercul color al lui Newton reprezintă, în mod intuitiv, proprietatea de combinare aditivă a culorilor.

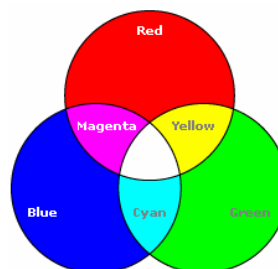


Cercul lui Newton

Culorile primare RGB sunt numite culori aditive primare deoarece lungimile de undă care le definesc se combină aditiv, în diferite proporții, pentru a forma culoarea corespunzătoare undelor de lumină care ating ochiul. Experiențele au demonstrat că toate culorile întâlnite în natură pot fi reproduse prin combinarea acestor trei lungimi de undă de diferite intensități.

Culorile secundare CMY, obținute prin combinarea aditivă a culorilor primare RGB, sunt numite culori aditive secundare.

Cyan	=	Green	+	Blue
Magenta	=	Red	+	Blue
Yellow	=	Red	+	Green



Combinarea aditivă a culorilor primare RGB

Combinarea aditivă a culorilor primare RGB stă la baza definirii sistemului aditiv de reprezentare a culorilor RGB în care culoarea alb se obține prin proiectarea simultană a trei fascicule identice de lumină RGB.

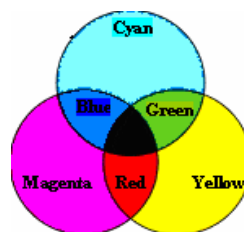
Culorile substructive se obțin prin extragerea unor lungimi de undă din lumină pe baza proprietății unor substanțe de a absorbi anumite lungimi de undă. Practic, se extrag (se scad) din lumină selectiv, prin absorbție, anumite lungimi de undă pentru a fi reflectate pe direcția ochiului uman numai cele care determină culoarea dorită. Se spune că diferitele lungimi de undă se combină substractiv pentru a obține alte culori pe care le poate distinge sistemul vizual uman. Substanțele naturale sau produse de om care, aplicate pe suprafețele obiectelor iluminate, reflectă numai lungimile de undă care corespund culorii dorite, absorbind restul, se numesc pigmenți.

Maxwell a stabilit experimental că în spectrul vizibil există nuanțe de culoare care nu pot fi obținute prin combinarea aditivă a culorilor primare RGB. Potrivit teoriei lui Maxwell, prin combinarea substractivă, în diferite proporții, a culorilor secundare CMY se poate descrie o gamă mai largă de nuanțe de culori din spectrul vizibil. Din acest motiv, culorile secundare CMY au fost denumite *culori substructive primare CMY*, iar culorile obținute prin combinarea substractivă, în părți egale, a două dintre acestea au fost numite *culori substructive secundare RGB*.

Red = Magenta + Yellow

Green = Yellow + Cyan

Blue = Cyan + Magenta



Combinarea substractivă a culorilor secundare

Întrucât culorile substructive, deși obținute prin absorbția selectivă a anumitor lungimi de undă din lumină, sunt determinate, în fond, de lungimile de undă RGB reflectate care se combină aditiv și cad direct pe ochiul uman pentru a forma culoarea dorită, culorile aditive primare RGB formează un set culori primare general valabil, căruia îi corespunde setul de culori secundare format din culorile substructive primare CMY. Culorile substructive CMY formează un set de culori primare numai pentru reproducerea culorilor în procesul de tipărire sau imprimare.

Combinarea substractivă a culorilor primare CMY stă la baza definirii sistemului substractiv de reprezentare a culorilor CMYK în care culoarea negru se obține teoretic prin amestecul a trei cantități egale de cerneală CMY, dar practic prin adăugarea unei cantități suplimentare de cerneală neagră.

2.2. Sisteme de reprezentare și măsurare a culorilor

Problema reprezentării și măsurării culorilor datează încă din antichitate dar, odată cu apariția și dezvoltarea tehnologiilor de reproducere a imaginilor color, s-a impus necesitatea utilizării unor sisteme unitare de descriere a culorilor la nivel internațional, care să asigure comunicarea cu fidelitate a acestora dintr-un loc în altul și de la un echipament la altul.

Pentru descrierea culorii, ca formă de comunicare, trebuie adoptat inițial un limbaj de reprezentare (notare) a acesteia. Sistemul de reprezentare a culorii reprezintă un model de specificare a stimulilor de culoare în funcție de trei parametri care constituie coordonatele unui spațiu de culoare tridimensional definit pe modelul viziunii color tristimulus proprie omului. În acest context, s-au dezvoltat mai multe standarde de reprezentare și măsurare a culorilor bazate, fiecare, pe anumite principii, care rezolvă problemele de culoare într-o manieră proprie și oferă soluții specifice de notare și descriere a acestora.

Pentru integrarea unor fluxuri tehnologice folosind echipamente și programe de la mai mulți fabricanți, specialiștii în domeniu au dezvoltat diverse soluții de interconectare și implementare a diferitelor sisteme de culoare utilizate în procesul de prelucrare computerizată a imaginilor color. Pentru aplicarea acestor soluții, toți cei implicați într-un proces de reproducere a imaginilor color trebuie să aibă cunoștințe despre:

- descrierea culorii: notarea, reprezentarea sau specificarea sa;
- modele de culoare și gama de culori asociată fiecăruia: RGB, CMY(K), CUBUL COLOR, CIE;
- spații de culoare: RGB, CMYK, CIEXYZ, CIEL*a*b*;
- interconectarea spațiilor de culoare;
- măsurarea culorii: standardul CIE, indexul de interpretare a culorii, parametri de culoare specifici echipamentelor de reproducere, sistem de culori de referință; sistem de culori bazat pe calculator;
- instrumente de măsurare a parametrilor de culoare: colorimetrul, spectroradiometrul, spectrofotometrul, densitometrul;
- procedura de determinare a parametrilor de culoare;
- conversia de culoare;
- sisteme tehnologice de reprezentare a culorilor: comparație.

Descrierea culorii. Notarea, reprezentarea sau specificarea sa

Descrierea oricărei culori din spectrul vizibil constă în notarea, reprezentarea sau specificarea sa prin trei parametri de culoare numerici care definesc *un set de valori tristimulus* deoarece percepția culorii la nivelul creierului uman este determinată de trei categorii de receptori sensibili la lumină, care transmit către creier trei semnale pentru fiecare culoare din câmpul vizual. O valoare tristimulus exprimă, direct sau indirect, proporțiile în care se combină culorile primare RGB pentru formarea unei noi culori și, implicit, caracteristicile stimulilor de culoare sensibili la lungimile de undă LMS corespunzătoare acestor componente primare de culoare.

Fiecare set de culori primare definește un set de valori tristimulus care este folosit pentru reprezentarea culorilor spectrului vizibil în funcție de culorile primare respective. Fiecare set de valori tristimulus reprezintă, în fond, o măsură a culorii exprimată prin trei parametri de culoare care definesc, fiecare, o valoare tristimulus din setul respectiv.

Cele mai uzuale seturi de valori tristimulus folosite pentru reprezentarea directă a culorilor spectrului vizibil sunt:

- (R, G, B)- asociat culorilor primare RGB, care se combină aditiv pentru obținerea unei culori din spectrul vizibil;
- (C, M, Y)- asociat culorilor secundare CMY, care se combină substractiv pentru obținerea unei culori din spectrul vizibil.

Setul de valori tristimulus RGB, definit de culorile aditive primare RGB, permite reprezentarea generică a culorilor printr-o relație de forma:

$$C = RR + GG + BB, \text{ unde } \begin{cases} C = \text{culoarea descrisă sau reprezentată (specificată)} \\ R, G, B = \text{valori tristimulus care exprimă intensitățile relative} \\ \text{ale culorilor primare, } 0 \leq R, G, B \leq 1 \\ R, G, B = \text{culorile primare, ca lungimi de undă.} \end{cases}$$

Sensibilitatea ochiului fiind diferită pentru diferitele culori primare RGB, coeficienții de culoare R, G, B, care au valori diferite de unități de putere fizică (watts), sunt considerați valori unitate, pentru simplificarea calculelor.

Culoarea alb, combinația aditivă de culori primare RGB în proporții egale, poate fi reprezentată, generic, prin relația:

$$\text{Alb} = 1R + 1G + 1B$$

În mod similar, setul de valori tristimulus CMY, definit de culorile subtractive primare CMY, permite reprezentarea generică a culorilor folosind următoarea relație:

$$C = CC + MM + YY, \text{ unde } \begin{cases} C = \text{culoarea descrisă sau reprezentată (specificată)} \\ C, M, Y = \text{valori tristimulus care exprimă intensitățile relative} \\ \text{ale culorilor primare prin valori unitare } 0 \leq C, M, Y \leq 1; \\ C, M, Y = \text{culorile primare, ca lungimi de undă.} \end{cases}$$

Culoarea neagră, combinația substractivă de culori primare **CMY** în proporții egale, poate fi reprezentată, generic, prin relația:

$$\text{Negru} = 1\text{C} + 1\text{M} + 1\text{Y}$$

Setul de culori primare **RGB** și valorile tristimulus asociate lui reprezintă punctul de plecare pentru definirea altor seturi de culori primare și valori tristimulus asociate, deoarece sunt definite pe baza percepției fizice a culorii la nivelul ochiului uman, care creează senzația de culoare în contact direct cu diferite combinații aditive de lungimi de undă **RGB**.

Pentru reprezentarea unică a tuturor culorilor spectrului vizibil folosind trei valori numerice, Comission Internationale de l'Eclairage/ International Commission on Illumination-CIE a definit experimental următoarele două seturi de valori tristimulus:

- (X, Y, Z)- asociat culorilor primare virtuale CIEXYZ (fără reprezentare în domeniul vizibil), derivate din setul de culori primare **RGB**;
- (L*, a*, b*)- asociat culorilor primare virtuale CIEL*a*b*, derivate din setul de culori primare virtuale CIEXYZ.

Orice culoare a spectrului vizibil, care poate fi obținută prin combinarea în proporții diferite a culorilor dintr-un set de culori primare, poate fi exprimată printr-o relație folosind setul de valori tristimulus asociat, cu precizarea că valorile unitate trebuie reevaluate.

Reprezentarea sau specificarea culorilor din natură prin valori numerice permite memorarea simplă a specificațiilor de culoare folosind tehnologia digitală și eliminarea ambiguităților de descriere a acestora generate de faptul că există o mulțime de culori vizibile în natură cărora oamenii nu le cunosc denumirea și există nuanțe de culoare pe care anumiți indivizi nu le deosebesc.

Modelul de culoare și gama de culori reprezentată pe baza lui

La modul general, modelul de culoare este un sistem tridimensional (trei coordonate-3D) de reprezentare numerică a culorilor spectrului vizibil prin parametri de culoare care descriu complet orice culoare percepută de om. Este un model matematic abstract care permite reprezentarea sau specificarea numerică a culorilor din spectrul vizibil pe baza unui set de valori tristimulus asociat unui set de culori primare care, prin combinare în anumite proporții, conduc la obținerea unei noi culori.

Un model de culoare se definește în concordanță cu principiul percepției vizuale a omului, pe baza proprietății lungimilor de undă care cad direct pe ochiul omului de a se combina aditiv pentru obținerea altei culori și a caracteristicilor suprafețelor obiectelor din mediul înconjurător de a absorbi anumite lungimi de undă din lumină. Un model de culoare se

definiște pentru o tehnică de reproducere a culorilor folosită de o anumită tehnologie, deoarece culorile specificate folosind modelul respectiv există numai dacă sunt detectate de ochiul omului. De regulă, un model de culoare este orientat către un hardware specific (RGB, CMY, YIQ) sau către o anumită aplicație de prelucrare a imaginilor (HSI).

Din punct de vedere matematic, orice model de culoare construit pe baza construcției fiziologice a sistemului vizual uman este tridimensional și se poate reprezenta numai într-un spațiu tridimensional, definirea oricărui punct de culoare în acest spațiu făcându-se cu ajutorul a trei parametri de culoare care reprezintă valoarea tristimulus corespunzătoare unei culori din spectrul vizibil. Dacă fiecare parametru de culoare se reprezintă pe o axă, se obține o poziție unică în spațiu de culoare tridimensional pentru fiecare culoare posibil a fi detectată de ochiul omului.

Vederea umană fiind trichromatică, pentru a descrie complet senzația de culoare a omului sunt necesari, în principiu trei parametri, dar pentru reprezentarea acestora în vederea reproducerii pot fi necesari mai mulți, în funcție de tehnologia de reprezentare a culorii folosită. Majoritatea modelelor de culoare definite sunt tridimensionale (CIEXYZ, CIELAB, RGB, CMY) sau extensii ale acestora (CMYK sau RGBA).

Un model de culoare generic oferă o modalitate standard de a descrie culorile spectrului vizibil folosind trei parametri de culoare (valori tristimulus), corespunzători celor trei tipuri de receptori sensibili la lumină din retină. De aceea, se reprezintă ca un subspațiu al unui spațiu tridimensional (3D) care conține toate culorile ce se pot reprezenta în interiorul modelului respectiv. Orice culoare care poate fi specificată folosind un model de culoare corespunde unui singur punct în interiorul acestuia.

În funcție de modul de obținere a culorilor dintr-un set de culori primare, există trei tipuri de modele de culoare:

- modelul de culoare aditiv RGB;
- modelul de culoare substractiv CMY;
- modelul de culoare CIExyz.

Modul de combinare a setului de culori primare pe baza căruia este construit fiecare tip de model de culoare este reprezentat grafic sub una din următoarele forme:



Modelul color
RGB

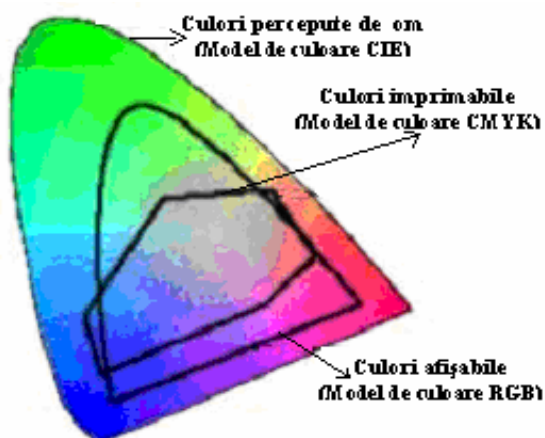


Modelul color
CMYK



Modelul color
CIExyz

Fiecare model de culoare poate reprezenta o anumită gamă de culori care se definește ca fiind mulțimea de culori din spectrul vizibil care pot fi descrise (specificate) pe baza unui asemenea model. La modul general, gama de culori (color gamut) care poate fi reprezentată pe baza unui model de culoare este determinată, ca număr de culori reproductibile, de metoda folosită pentru obținerea unei noi culori, de percepția umană a culorii, de modul de implementare al modelului respectiv și de tehnologia folosită pentru implementarea acestuia.



Reprezentarea geometrică a gamei de culori (CIE1931)

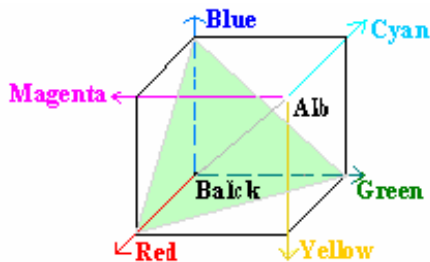
Un model de culoare oferă fie o descriere exactă, fie o rețetă standard de combinare a culorilor dintr-un set de culori primare pe baza căreia se poate obține o gamă de culori mai largă sau mai puțin largă care însă este inclusă în gama de culori perceptibile de sistemul vizual uman.

În procesul digital de reproducere a culorilor, modelele de culoare se folosesc pentru reprezentarea sau specificarea culorilor spectrului vizibil prin valori numerice asociate senzației psihice de culoare folosind combinarea aditivă a culorilor primare **RGB**, combinarea substractivă a complementarelor acestora **CMY(K)** sau combinarea culorilor primare virtuale **CIEXYZ** sau **CIEL*a*b*** determinate pe baza culorilor primare **RGB** prin măsurători experimentale.

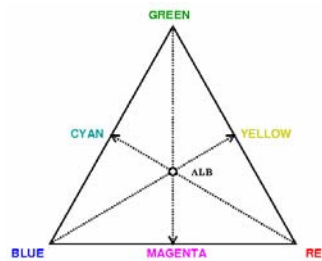
a. Modelul de culoare aditiv RGB este definit pe baza proprietății undelor de lumină de diferite lungimi de a se combina aditiv pentru a forma o nouă culoare, motiv pentru care este denumit model de culoare aditiv. Acest model indică componența pe care trebuie să aibă lumina emisă în întuneric pentru a crea o anumită culoare. Utilizarea acestui model permite determinarea *cantităților din fiecare culoare aditivă primară R, G și B care trebuie adunate la culoarea aditivă negru pentru a obține o culoare vizibilă dată.*

Culorile percepute în modelul aditiv sunt rezultatul luminii transmise pe direcția ochiului uman și prin urmare sunt determinate de sursa de lumină.

Modelul de culoare RGB folosește valorile tristimulus (RGB) pentru reprezentarea culorilor din spectrul vizibil. Acest model descrie o culoare prin indicarea directă a valorilor componentelor sale primare RGB. Dacă fiecare valoare tristimulus se reprezintă pe cele trei axe ale sistemului cartezian 3D, se obține cubul color RGB. Culorile acromatice, formate din cantități egale de culori primare RGB, cad pe linia care unește punctele negru- alb. Culorile aditive secundare CMY, obținute fiecare prin combinarea, în cantități egale, a două culori aditive primare, cad în colțul planului format de axele pe care sunt reprezentate componentele sale. Fiecărui punct definit pe baza acestui model îi corespunde o singură culoare vizibilă.



Cubul color RGB



Triunghiul lui Maxwell folosit pentru reprezentarea culorilor modelului RGB

Subspațiul cuprins între origine și planul în formă de triunghi echilateral care unește colțurile RGB ale cubului, definește gama de culori care poate fi descrisă folosind acest model de culoare. Triunghiul echilateral format de punctele de culoare corespunzătoare culorilor primare RGB, denumit triunghiul lui Maxwell, este folosit pentru reprezentarea culorilor în acest model, deoarece coordonatele unui punct de culoare situat în interiorul unui triunghi echilateral se pot determina ușor.

Prin plasarea a trei surse de lumină primară RGB în vârfurile acestui triunghi echilateral, astfel încât să lumineze în interiorul său, Maxwell a observat că intensitatea fiecărei unde de lumină primară scade uniform, până ce întâlnește latura opusă, unde are valoarea zero. Prin urmare, în modelul de culoare RGB culorile sunt reprezentate prin intensități variate de culori RGB. Practic, culorile aditive descrise pe baza unui model de culoare RGB se obțin prin emiterea a trei fascicule de lumină către un suport fluorescent negru. Acest suport este acoperit cu grupuri de trei celule, numite pixeli, care reflectă, fiecare, una din cele trei culori primare aditive RGB. În absența luminii, celulele de pe suprafața suportului negru nu au ce reflecta, rezultând culoarea negru. Dacă cele trei fascicule de lumină sunt identice, fiecare grup de celule reflectă, în mod egal, cele trei culori aditive

primare, rezultatul fiind culoarea alb. Dacă se emit către suportul fluorescent numai două fascicule de lumină identice, se obțin culorile aditive secundare Cyan, Magenta și Yellow. Prin controlarea celor trei fascicule de lumină emise pe suportul fosforescent acoperit cu pixeli, se pot obține diferite culori din spectrul vizibil.

Negru (0,0,0)	= 0R + 0G + 0B	> nu se reflectă R, G, B (fără lumină)
Alb (1/3, 1/3, 1/3)	= 1/3R + 1/3G + 1/3B	> 3 fascicule identice care reflectă R, G, B
Cyan (0, 1/2, 1/2)	= 0R + 1/2G + 1/2B	> 2 fascicule identice care reflectă G, B și absoarbe R
Magenta (1/2, 0, 1/2)	= 1/2R + 0G + 1/2B	> 2 fascicule identice care reflectă R, B și absoarbe G
Yellow (1/2, 1/2, 0)	= 1/2R + 1/2G + 0B	> 2 fascicule identice care reflectă R, G și absoarbe B
Culoare (x, y, z)	= xR + yG + zB	> 3 fascicule controlate care reflectă R, G, B

Reprezentarea culorilor în modelul de culoare RGB se face sub forma unui vector:

$$\mathbf{v}_{\text{RGB}} = \{\mathbf{R}, \mathbf{G}, \mathbf{B}\}, \text{ unde } \mathbf{R}, \mathbf{G}, \mathbf{B} \in [0, 1]$$

Orice combinație de unde luminoase, care cad direct pe ochiul omului, poate fi descrisă pe baza modelului aditiv de culoare RGB, motiv pentru care este utilizat de majoritatea echipamentelor care emit lumină pentru determinarea valorilor (R, G, B) care compun fiecare culoare pe care o reproduc. Astfel scannerile citesc cantitățile de lumină RGB reflectată de o imagine și le convertesc în valori tristimulus (digitale), iar monitoarele recepționează valorile tristimulus (digitale) și le convertesc în lumina RGB vizibilă pe ecranul fluorescent.

Modelul de culoare RGB poate fi implementat în diferite moduri, gama de culori posibil a fi descrisă pe baza acestui model fiind determinată, ca dimensiune, de numărul de biți folosiți pentru descrierea fiecărei componente de culoare. Cel mai uzual mod de implementare, utilizat începând cu anul 2006 pentru monitoarele calculatoarelor, folosește 24 de biți de culoare, respectiv 8 biți color/ pixel sau 256 nivele digitale/ canal ($2^8 = 256$), motiv pentru care numărul de culori posibil a fi reprezentate pe baza acestui model este limitat la $256\mathbf{R} \times 256\mathbf{G} \times 256\mathbf{B} = 16,7$ milioane de culori, aproximativ cât poate distinge omul. Unele implementări utilizează 16 biți/ componentă de culoare, rezultând o densitate mai mare de culori distincte.

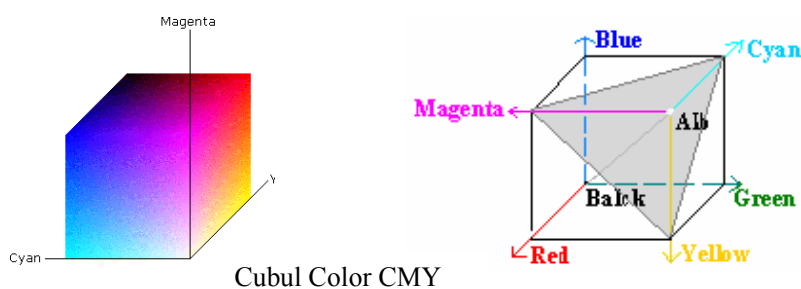
Modelul de culoare RGB definește sistemul aditiv de reprezentare a culorilor RGB devenit standard de culoare folosit de scanner, camere video, monitoare de calculator sau ecrane de televizor. Trebuie însă avut în vedere că ecranul fluorescent sau fosforescent nu emite culorile primare RGB pure și că lumina reflectată de imaginea scanată sau fotografiată (filmată) depinde de proprietățile sale de reflexie. Potrivit experimentelor efectuate, culorile

astfel generate variază în funcție de echipamentul care folosește pentru reprezentarea lor sistemul de culoare RGB.

b. Modelul de culoare CMY este definit pe baza proprietății pigmentilor de a absorbi anumite lungimi de undă pentru a forma o nouă culoare, motiv pentru care este denumit model de culoare substractiv. În fond, se bazează pe amestecul substractiv al pigmentilor de culori CMY care absorb o parte din lumina emisă către o suprafață pentru a forma culoarea corespunzătoare luminii care nu a fost absorbită, ci reflectată. Utilizarea acestui model permite determinarea *cantităților din fiecare culoare substractivă primară C, M și Y care trebuie scăzute din culoarea substractivă alb pentru a obține o culoare vizibilă dată*. Altfel spus, indică componența pigmentilor care se aplică pe o suprafață albă pentru a crea o anumită culoare. Culorile percepute în modelul substractiv sunt deci rezultatul luminii reflectate de pigmenti pe direcția ochiului uman.

Modelul de culoare CMY folosește valorile tristimulus (**C**, **M**, **Y**) pentru reprezentarea culorilor din spectrul vizibil. Acest model descrie o culoare prin indicarea valorilor componentelor sale primare **CMY** (culori subtractive primare) care sunt formate, fiecare, prin combinarea, în cantități egale, a două culori subtractive secundare **RGB**.

Forma geometrică a modelului de culoare **CMY** este cubul color obținut prin reprezentarea culorilor primare subtractive normalizate, pe axele sistemului euclidian 3D.



Modelul de culoare CMY este folosit, în principal, în tipărirea sau imprimarea imaginilor color, motiv pentru care pigmentii folosiți pentru obținerea substractivă a culorilor sunt cerneluri de tipărire, iar acest model descrie ce tipuri de cerneluri trebuie aplicate pe o suprafață pentru ca lumina reflectată de aceasta, prin cerneluri, să producă o culoare dată.

Culorile subtractive descrise pe baza unui model de culoare **CMY** se obțin prin aplicarea pe un suport alb, iluminat cu lumină albă, a trei tipuri de cerneluri corespunzătoare culorilor secundare **C**, **M** și **Y** care reflectă, fiecare, două treimi din spectrul vizibil și absorb una. Suportul alb reflectă aproape 100% culorile roșu (**R**), verde (**G**) și albastru (**B**). În absența cernelurilor, lumina albă nu este absorbită, ci reflectată de suportul alb, culoarea

obținută fiind alb. Deoarece fiecare tip de cerneală absoarbe o treime din spectrul vizibil, pentru a absorbi toată lumina sunt necesare toate trei, în cantități egale, ca să rezulte negru. Prin imprimarea a două culori secundare, în cantități egale, se obțin substractiv cele trei culori primare **R**, **G** și **B**, numite și *culori substructive secundare*. Prin supraimprimarea unor cantități controlate de **C**, **M** și **Y** se poate obține cel mai larg domeniu de culori, ținând cont, bineînțeles, de limitările date de nuanța suportului și de puritatea pigmentilor.

Alb (0, 0, 0) = 0**C**+ 0**M**+ 0**Y** > nu absorpție (nu cerneală), suportul alb reflectă **R**, **G**, **B**
 Negru (1/3, 1/3, 1/3) = 1/3**C**+ 1/3**M**+ 1/3**Y** > absorpție completă, suportul alb nu se reflectă **R**, **G**, **B**
 Red (0, 1/2, 1/2) = 0**C**+ 1/2**M**+ 1/2**Y** > absoarbe **C** = **GB**, reflectă **R**
 Green (1/2, 0, 1/2) = 1/2**C**+ 0**M**+ 1/2**Y** > absoarbe **M** = **RB**, reflectă **G**
 Blue (1/2, 1/2, 0) = 1/2**C**+ 1/2**M**+ 0**Y** > absoarbe **Y** = **RG**, reflectă **B**
 Culoare (x, y, z) = x**C**+ y**M**+ z**Y** > absoarbe controlat **C**= **GB**, **M**= **RB**, **Y**= **RG**, reflectă **R**, **G**, **B**

Reprezentarea culorilor în modelul de culoare CMY se face sub forma unui vector:

$$V_{\text{CMY}} = \{\text{C}, \text{M}, \text{Y}\}, \text{ unde } \text{C}, \text{M}, \text{Y} \in [0, 1]$$

Pentru a tipări o anumită culoare trebuie eliminată, selectiv, o parte din lumina care iluminează suportul alb. Deci trebuie filtrate, în diferite proporții, luminile **R**, **G** și **B** cu scopul de a produce toată gama de culori din spectrul vizibil, suportul de tipărire, de culoare albă, fiind cel care reflectă cele două componente de culoare transmise prin filtru.

Cernelurile folosite în procesul de tipărire, numite cerneluri de proces, sunt substanțe transparente care acționează ca filtre de culoare, respectiv filtrează propria-i culoare și le transmite pe celelalte două, lucru care, matematic, se poate exprima prin relațiile:

$$\begin{aligned} \text{C} &= 1 - \text{R} \\ \text{M} &= 1 - \text{G} \\ \text{Y} &= 1 - \text{B} \end{aligned}$$

Prin supraimprimarea unor cantități controlate de cerneluri **C**, **M** și **Y** se poate reproduce, în mod substractiv, un domeniu larg de culori din spectrul vizibil, ținând cont, bineînțeles, de limitările date de nuanța suportului și de calitatea cernelurilor care, teoretic, trebuie să fie pure.

Modelul de culoare substractiv CMYK, utilizat în practică pentru reproducerea culorilor pe diferite medii de imprimare, este modelul de culoare substractiv CMY care folosește, suplimentar, cerneală neagră (blac**K**) pentru accentuarea detaliilor și îmbunătățirea contrastului, compensând astfel imperfecțiunile mediului de imprimare și impuritățile. Practic, modelul de culoare CMYK acoperă golurile dintre teorie și practică. Teoretic componenta

suplimentară de negru nu este necesară, dar practica demonstrează că amestecul în cantități egale de cerneluri CMY conduce la maro închis, nu la negru. Pentru corecție, se adaugă negru. În aceste condiții, funcțiile de amestec sunt următoarele:

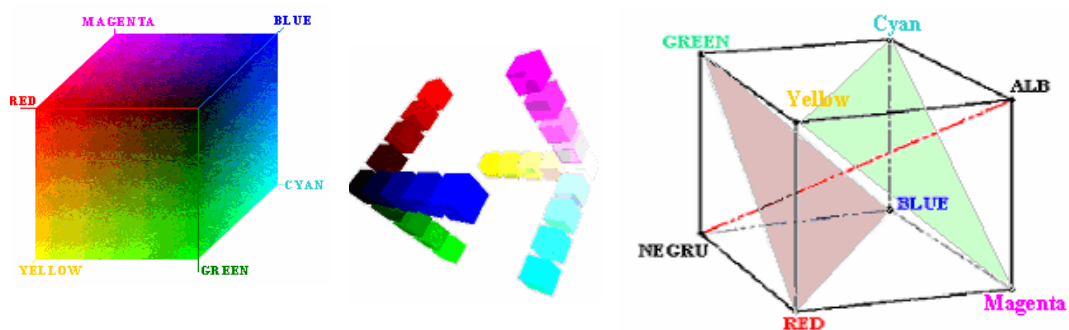
$$\begin{aligned} \mathbf{K} &= \min(\mathbf{C}, \mathbf{M}, \mathbf{Y}) \\ \mathbf{C} &= \mathbf{C} - \mathbf{K} \\ \mathbf{M} &= \mathbf{M} - \mathbf{K} \\ \mathbf{Y} &= \mathbf{Y} - \mathbf{K} \end{aligned}$$

Reprezentarea culorilor în modelul de culoare CMY(K) se face sub forma unui vector:

$$\mathbf{V}_{\text{CMYK}} = \{\mathbf{C}, \mathbf{M}, \mathbf{Y}, (\mathbf{K})\}, \text{ unde } \mathbf{C}, \mathbf{M}, \mathbf{Y}, (\mathbf{K}) \in [0, 1]$$

Modelul de culoare CMYK definește sistemul substractiv de reprezentare a culorilor CMYK devenit standard de culoare folosit de presele offset, imagesettere și imprimante color. Indică cantitățile de cerneluri prin supraimprimarea cărora se obține culoarea dorită, culorile fiind reprezentate ca procente de cerneluri CMYK. Culorile obținute astfel variază însă atât în funcție de cernelurile de proces și mediile de imprimare care sunt pure numai teoretic, cât și în funcție de echipamentul care folosește pentru reprezentarea lor sistemul de culoare CMYK.

c. *Cubul color* este modelul de culoare care integrează ambele sisteme standardizate de reprezentare a culorilor, RGB și CMYK, într-un singur model, acest lucru fiind posibil deoarece cele două seturi de culori primare folosite de aceste sisteme pentru generarea culorilor spectrului vizibil sunt complementare. Cubul color reprezintă geometric ambele modele de culoare, cel aditiv (RGB) și cel substractiv (CMY).



Cubul color (Adobe publication)

Reprezentarea modelelor de culoare RGB și CMY pe cubul color

Comutarea între sistemele de reprezentare a culorilor RGB și CMY se face prin întoarcerea cubului color.

Reprezentarea culorilor folosind cubul color se face sub forma unui vector:

$V_{RGB} = \{R,G,B\}$, unde $R,G,B \in [0,255]$ sau

$V_{CMY(K)} = \{C,M,Y,(K)\}$, unde $C,M,Y,(K) \in [0,255]$

Cubul color definește reprezentarea digitală a culorilor spectrului vizibil, potrivit căreia fiecare culoare primară ia valori numerice întregi, cuprinse în intervalul $[0, 255]$. Prin urmare, numărul culorilor vizibile care pot fi astfel reprezentate este $256R \times 256G \times 256B = 16.777.216$, aproximativ egal cu numărul culorilor care pot fi percepute de sistemul vizual uman. Practic, fiecărei culori din spectrul vizibil îi corespunde un punct în cubul color de coordonate egale cu un set de trei numere cuprinse între 0 și 255. Spre exemplu, valoarea tristimulus $(255, 0, 0)$ corespunde culorii Red în sistemul RGB și culorii Cyan în sistemul CMY.

Cubul color descrie culorile spectrului vizibil pe bază de cantități de intrare măsurate (ce cantități de lumină primară sau de cerneluri sunt necesare pentru a obține o anumită culoare), nu pe valori de ieșire măsurate (cum arată culoarea obținută).

Calculatoarele și echipamentele periferice digitale descriu culorile pe baza cubului color deoarece reprezentarea digitală a culorilor este ușor accesibilă acestui gen de echipamente.

d. Modelele de culoare CIE sunt modelele de culoare definite de Comision Internationale de l'Eclairage/ International Commission on Illumination- CIE pe baza proprietăților fizice ale luminii și a construcției fiziologice a ochiului uman.

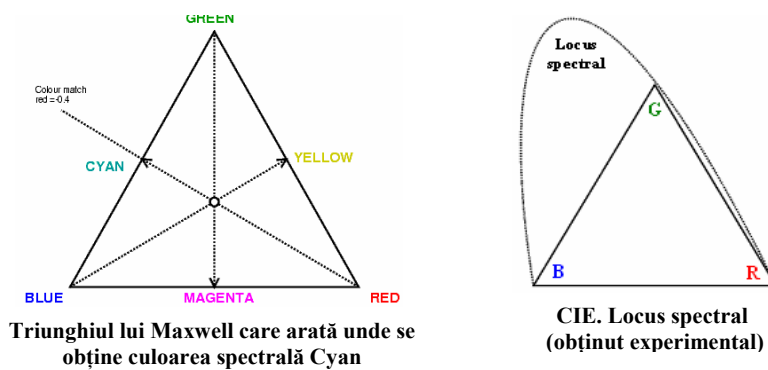
Modelele de culoare CIE utilizate cel mai uzual în procesul de reproducere digitală a culorilor sunt:

- CIERGB, obținut experimental;
- CIEXYZ, definit pe baza modelului CIERGB, cu scopul de a acoperi gama de culori reprezentabile din spectrul vizibil;
- CIE*La*b, derivat din CIEXYZ, cu scopul de a lărgi gama de culori reprezentabile din spectrul vizibil.

Modelul de culoare CIERGB este modelul de culoare RGB obținut experimental, pe baza percepției fizice a culorii la nivelul creierului uman. CIERGB reprezintă prima metodă de descriere a culorilor spectrului vizibil bazată pe măsurători efectuate direct asupra ochiului uman. Practic, observatorul, prin încercări repetate, potrivește culoarea fiecărei lungimi de undă dată, prin combinarea aditivă a trei lungimi de undă considerate pure, care corespund culorilor primare RGB. Rezultatele experimentelor, concretizate în specificațiile de culoare

CIERGB, au condus la definirea modelelor standard de măsurare și reprezentare a culorii CIEXYZ și CIE*La*b.

Prin plasarea a trei surse, considerate ideale, de lumină primară RGB în vârfurile triunghiului lui Maxwell, astfel încât să lumineze în interiorul său, s-a observat că cele mai saturate culori, reprezentate prin definiție pe laturi, nu corespund culorilor spectrale pure decât ca nuanță, nu și ca saturație și că singurul mod de corecție constă în desaturarea acestora prin combinare cu cea de-a treia culoare primară. Astfel, punctul de culoare Cyan nu este suficient de saturat pentru a reprezenta culoarea spectrală Cyan, singura cale de a obține această culoare fiind desaturarea sa prin adăugare de culoare primară Red. În termeni matematici, acest lucru se traduce prin adăugarea unei valori negative de Red la culoarea spectrală, ceea ce are ca efect mutarea punctului de culoare în exteriorul triunghiului. Continuându-se procesul pentru fiecare culoare spectrală, s-a obținut curba denumită locus spectral care arată că există culori ce cad în exteriorul triunghiului RGB. Latura BR nu este spectrală și, de aceea, rămâne dreaptă.

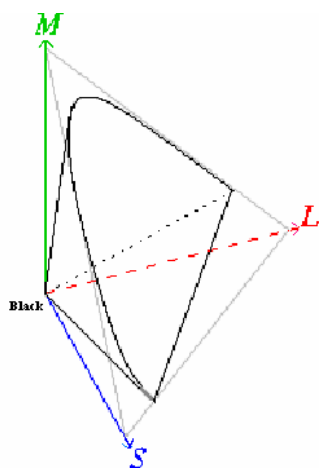


Rezultatul obținut prin adăugarea unei cantități suplimentare de culoare Red la combinația RGB corespunzătoare unei culori spectrale, pentru a acoperi întreaga gamă de culori a spectrului vizibil, se exprimă tot în termeni de valori tristimulus (R, G, B), dar este necesară admiterea valorilor negative pentru parametrul de culoare Red, fără corespondent în domeniul vizibil.

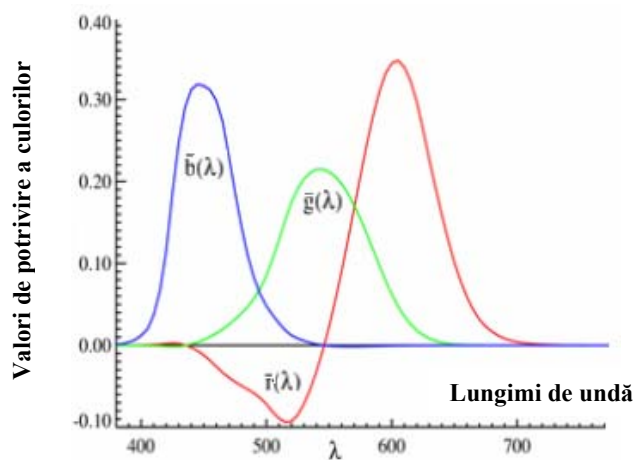
Modelul de culoare care folosește pentru crearea tuturor culorilor din spectrul vizibil combinarea aditivă a culorilor primare (R, G, B) modificate prin adăugare de Red, este modelul de culoare RGB experimental, denumit și CIERGB.

Experimentele efectuate direct asupra ochiului uman prin care CIE a urmărit reacția receptorilor din retină, sensibili la lumină, la trei fascicule de culoare RGB, au condus la concluzia că modelul de culoare CIERGB poate fi reprezentat pe baza stimulilor de culoare ai

ochiului uman (L, M, S), care permit descrierea tuturor culorilor din spectrul vizibil prin valori pozitive sau negative ale culorilor primare RGB pe care le definesc. Geometric, acest model reprezintă o zonă a spațiului euclidian 3D, de forma unui con cu baza în formă de potcoavă și vârful în origine care, teoretic, se extinde până la infinit dar care, practic, este limitat de faptul că ochiul uman distorsionează culorile la nivele de lumină foarte ridicate sau foarte scăzute. S-a observat că răspunsul receptorilor din retină la diferitele lungimi de undă din lumina vizibilă este aproximativ de forma curbelor de răspuns spectral determinate de Newton, cu deosebirea că pentru descrierea întregului spectru vizibil pe curba Red sunt reprezentate și valori negative.



CIE RGB. Modelul de culoare tristimulus
Gama de culori a ochiului uman



CIE 1931. Funcțiile de potrivire a culorilor
CIE RGB (obținute experimental)

Pentru construirea modelului de culoare CIE RGB s-au reprezentat stimulii de culoare ai ochiului uman L, M și S, determinați direct de lungimile undelor de lumină care definesc culorile primare R, G și B modificate corespunzător, pe axele x, y și z ale spațiului euclidian 3D, ca valori tristimulus (L, M, S).

Curbele de răspuns spectral ridicate experimental, denumite curbele de potrivire a culorilor RGB deoarece se obțin ca soluții a funcțiilor de potrivire a culorilor RGB, indică cantitățile (intensități) de lungimi de undă RGB necesare pentru obținerea culorilor spectrale.

Subspațiul cuprins între origine și planul în formă de locus spectral definește gama de culori care poate fi descrisă folosind acest model de culoare. Triunghiul care include locusul spectral, situat cu vârfurile pe cele trei axe ale spațiului euclidian 3D, poate fi folosit pentru reprezentarea culorilor în acest model, deoarece coordonatele unui punct de culoare situat în interiorul unui triunghi se pot determina mai ușor. Și pentru că lungimile de undă L, M și S vin în contact direct cu receptorii sensibili la lumină din ochiul omului determinând culorile

primare RGB care se combină aditiv pentru a produce culoarea percepută, rezultă că sistemul vizual uman generează culorile aditiv.

Forma de potcoavă a locusului spectral și curbele de potrivire a culorilor CIERGB arată că, deși sunt cele mai intense, culorile primare RGB nu se pot combina aditiv pentru a forma întregul spectru vizibil. Experimentele au demonstrat că, pentru a reproduce echivalentul perceptual, culoarea, pentru orice lungime de undă din spectrul vizibil, este necesară o cantitate suplimentară de lumină Red. Acest lucru arată că nu există un set de culori în spectrul vizibil care să se combine aditiv pentru a crea toate culorile posibile, prin amestecul de culori primare RGB neputându-se obține lungimi de undă în jur de 500nm. În schimb, s-a demonstrat că stimulii de culoare ai ochiului uman (L, M, S), activați de lungimile undelor de lumină obținute prin combinarea aditivă a unor cantități adaptate de culori primare (R, G, B), creează senzația de culoare la nivelul creierului uman corespunzătoare tuturor culorilor din natură.

Modelul de culoare CIERGB permite reprezentarea gamei de culori a ochiului uman corespunzătoare spectrului vizibil, mai extinsă decât gama de culori aferentă modelului teoretic RGB obținut pe baza unor reguli de aproximare și normalizare impuse de simplificarea calculelor pentru determinarea valorilor parametrilor de culoare.

Modelul de culoare CIERGB, obținut experimental, este denumit model de culoare uman absolut sau model de culoare tristimulus, deoarece folosește pentru reprezentarea culorilor setul de valori tristimulus RGB modificat, determinat pe baza percepției fizice a culorii la nivelul sistemului vizual uman.

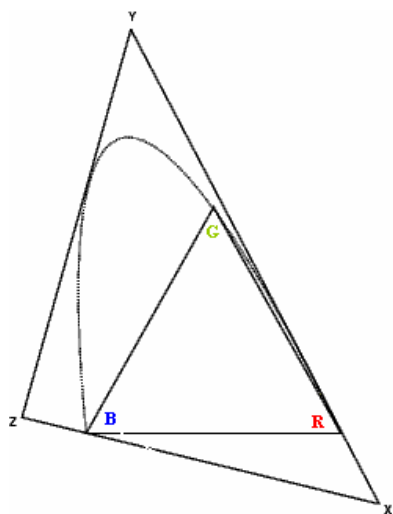
Modelul de culoare CIEXYZ este modelul standard de măsurare și reprezentare a culorilor definit de CIE în funcție de percepția fizică a culorii la nivelul creierului uman și de semnificația conceptuală a acesteia, exprimată prin cromaticitatea și luminozitatea sa. Construit pe baza rezultatelor experimentelor concretizate în modelul de culoare CIERGB, acest model de culoare folosește setul de culori primare virtuale XYZ, definit teoretic de CIE, pentru crearea gamei de culori vizibile.

Setul de culori XYZ este format din culori suprasaturate, de lungimi de undă care sensibilizează cel mai mult receptorii ochiului uman, aflate în afara spectrului vizibil și în consecință poziționate în exteriorul locusului spectral, prin combinarea aditivă a cărora se pot obține toate culorile posibile.

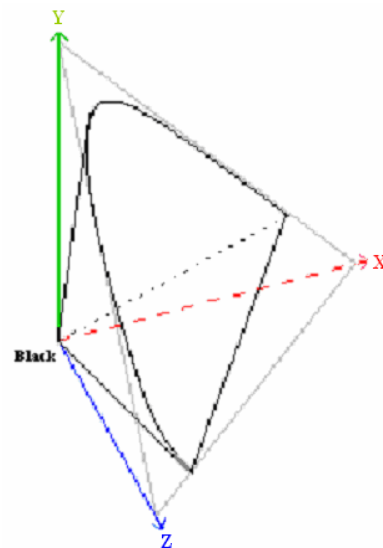
Setul de culori primare XYZ imaginat de CIE pe baza combinațiilor culorilor primare RGB de valori pozitive și negative, are următoarele proprietăți:

- produce numai valori tristimulus pozitive;
- permite reprezentarea oricărei culori vizibile în termeni de trei culori primare;
- amestecul de culori primare X, Y și Z în proporții egale determină culoarea alb;
- sunt generate astfel încât parametrul Y determină singur strălucirea unei culori, fiind soluția funcției de eficiență luminoasă a ochiului uman;
- sunt asociate sensibilității ochiului uman la lungimile de undă L, M și S corespunzătoare culorilor R, G și B prin funcțiile de potrivire a culorilor definit de CIE în 1931.

Prin definiție, culorile primare X, Y și Z au fost plasate pe laturile triunghiului care include locusul spectral, baza spațiului de culoare uman absolut determinat experimental de CIE. Vârfurile triunghiului astfel definit se află pe axele L, M și S ale spațiului uman absolut, prin urmare culorile primare imaginare X, Y și Z reprezintă o măsură a stimulilor de culoare ai ochiului uman.



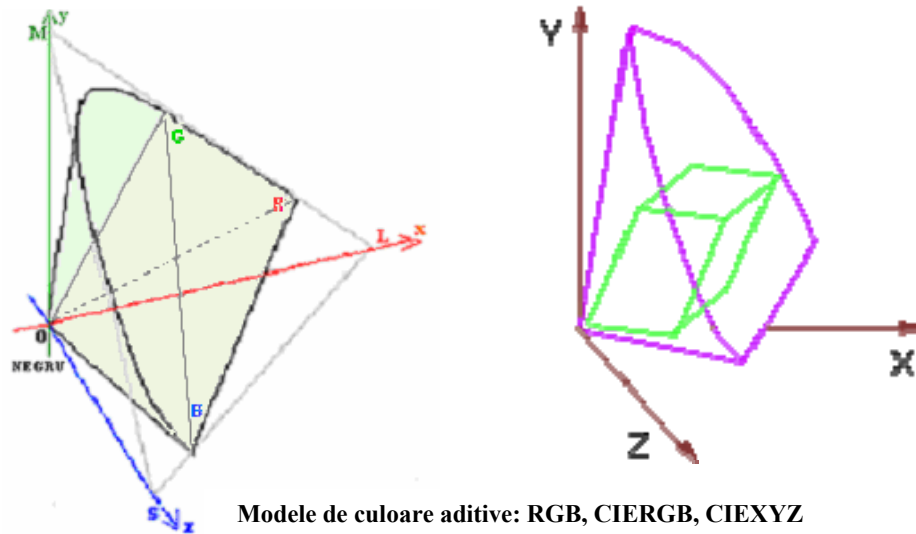
Setul de valori tristimulus CIE XYZ și relația lor cu locusul spectral



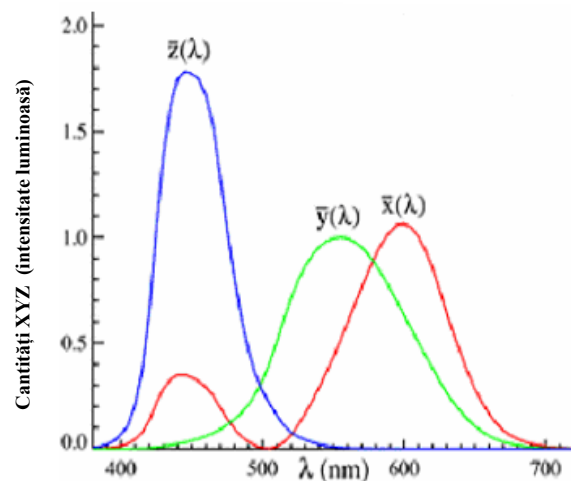
Modelul de culoare CIEXYZ
Gama de culori XYZ

Subspațiul cuprins între origine și planul format de triunghiul cu vârfurile pe axele LMS ale spațiului euclidian 3D definește gama de culori care poate fi descrisă folosind modelul de culoare CIEXYZ. Acesta include conul obținut în sistem de coordonate LMS ce reprezintă gama de culori a ochiului uman care, la rândul lui, include piramida obținută în

sistem de coordonate RGB ce reprezintă gama de culori RGB. Prin normalizarea piramidei RGB se obține cubul color RGB folosit ca model aditiv de culoare în grafica pe calculator.



Utilizarea culorilor primare imaginare CIEXYZ pentru reprezentarea tuturor culorilor posibile în termeni de valori tristimulus pozitive, conduce la curbe de potrivire a culorilor pozitive. Pe bază de măsurători psiho-fizice, CIE a definit observatorul și sursele de lumină primară standard și a adaptat funcțiile de potrivire a culorilor CIERGB la sensibilitatea celor trei categorii de receptori din retina umană standard, obținând astfel funcțiile de potrivire a culorilor standardizate $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$



Funcțiile de potrivire a culorilor CIEXYZ

Orice culoare din spectrul vizibil poate fi reprezentată printr-un punct de culoare din interiorul acestui model și se poate descrie prin componentele sale primare (X, Y, Z), lucru care matematic se exprimă prin următoarea relație vectorială:

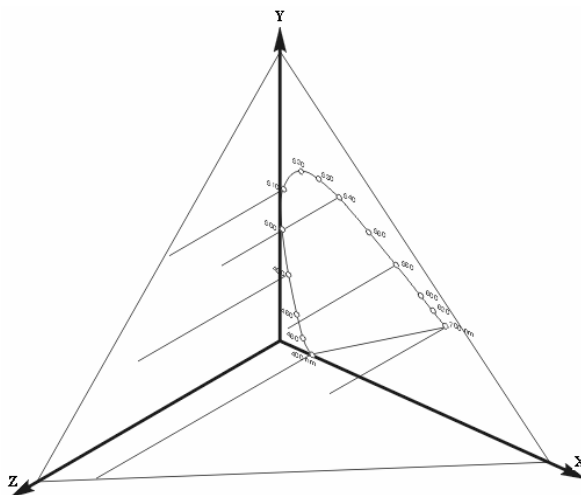
$$C_{\lambda} = X\bar{x} + Y\bar{y} + Z\bar{z}, \text{ unde } X, Y, Z = \text{cantitățile din fiecare culoare primară } \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}.$$

Valorile tristimulus XYZ au fost astfel stabilite de CIE încât parametrii X și Z să reprezinte cromaticitatea unei culori, iar parametrul Y strălucirea sau luminozitatea acesteia, determinată de sensibilitatea ochiului uman normal la intensitatea luminii.

$$(X, Y, Z) = (\text{nuanța de culoare- hue, luminozitatea culorii- luminance, saturația})$$

Parametri de culoare X, Y și Z s-au obținut pe bază de experimente efectuate direct asupra observatorilor umani. Pentru a determina cromaticitatea culorilor din spectrul vizibil, exprimată prin parametri de culoare X și Z, CIE a asociat fiecărei lungimi de undă culoarea percepută de observatorul uman pentru aceasta, potrivit prin încercări succesive. Rezultatul a fost concretizat în funcțiile de potrivire a culorilor $\bar{x}(\lambda)$ și $\bar{z}(\lambda)$ (color matching function). Pentru a stabili sensibilitatea ochiului uman la radiația produsă de diferite lungimi de undă, exprimată prin parametrul de culoare Y, CIE a convertit energia radiantă de o sursă în energie luminoasă, pe baza funcției de eficiență luminoasă a ochiului uman determinată experimental, pe care a aproximat-o ca fiind combinația liniară a funcțiilor de potrivire a culorilor CIERGB. Parametrul de culoare Y a fost astfel definit încât funcția de potrivire a culorii $\bar{y}(\lambda)$ să fie egală cu funcția de eficiență luminoasă a ochiului uman determinată experimental de CIE

Pentru ca sistemul de reprezentare a culorilor prin componente de culoare XYZ să fie simplu, modelul tridimensional CIEXYZ s-a normalizat și s-a proiectat într-un plan bidirecțional, obținându-se astfel Diagrama CIExy.



Proiecția modelului tridimensional CIEXYZ în plan (coordonatele Z sunt proiectate în planul XY)

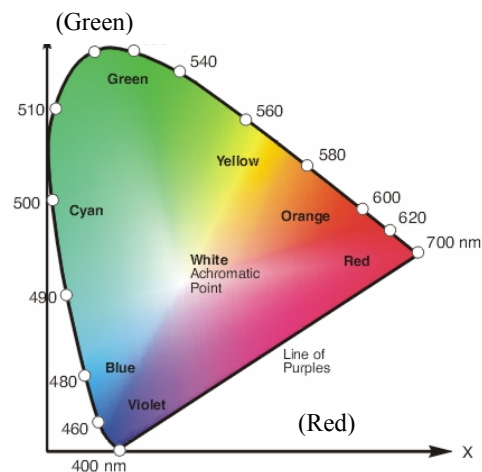


Diagrama CIEXYZ (planul CIExy)

Coordonatele (x, y, z) au fost exprimate în funcție de valorile tristimulus (X, Y, Z) determinate experimenta, pe baza următoarelor relații:

$$x = X / (X+Y+Z)$$

$$y = Y / (X+Y+Z)$$

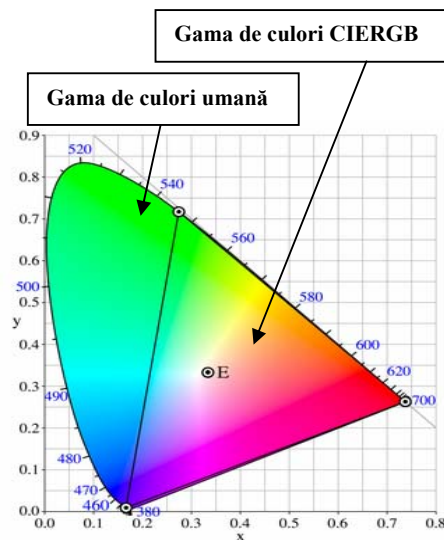
$$z = Z / (X+Y+Z) = 1 - (x+y).$$

Culoarea alb este reprezentată în punctul de coordonate $x = y = z = 1/3$, locul în care toate lungimile de undă se combină în mod egal. Culorile spectrale sunt reprezentate prin coordonatele punctelor de pe curba în formă de potcoavă. Toate celelalte culori ale spectrului vizibil sunt reprezentate prin coordonatele punctelor poziționate în interiorul locusului spectral inclus în triunghiul cu coordonatele vârfurilor $(0, 1)$, $(0, 0)$, $(1, 0)$.

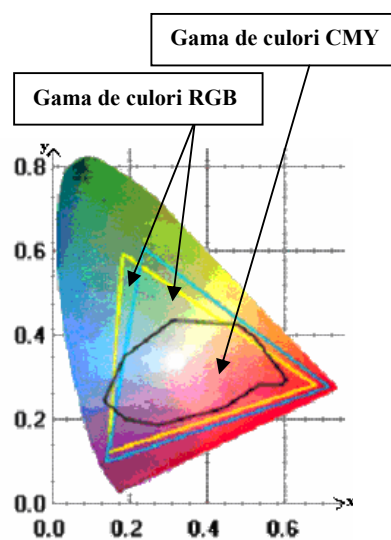
Coordonatele x și y , obținute prin normalizarea parametrilor X și Z sunt cunoscute sub denumirea de coordonate de cromaticitate, deoarece conțin numai informația despre nuanța și saturația culorii. Coordonata z , care reprezintă cel de-al treilea parametru necesar pentru descrierea culorii fără ambiguități, se determină în funcție de celelalte două.

Pe diagrama de cromaticitate CIE, curba în formă de potcoavă reprezintă culorile spectrale, de la violet, situat la o extremitate a potcoavei, la Red, situat la cealaltă extremitate a potcoavei. Linia dreaptă, care unește cele două extremități, cuprinde culorile non- spectrale, combinații de Blue și Red. Culorile mai puțin saturate apar în interiorul figurii, de jur împrejurul unui punctului acromatic, alb. O linie de la acest punct la orice punct de pe curbă reprezintă culorile cu aceeași nuanță, dar de saturație diferită. Saturația culorilor crește de la punctul alb către curba în formă de potcoavă, atingând maximul pe curbă. Culorile saturate sunt poziționate în mod crescător către exteriorul zonei, iar cele strălucitoare dispar către punctul alb.

Diagrama de cromaticitate este astfel definită încât mulțimea culorilor obținută prin combinarea oricărui set de culori se află în interiorul poligonului cu unghiurile poziționate în punctele de culoare asociate și de-a lungul liniei care-l formează, iar punctul alb este poziționat în interiorul acestui poligon, fiind combinația în proporții egale a setului de culori care-l formează. În consecință, toate combinațiile aditive posibile a trei culori se găsesc în interiorul triunghiului format de punctele a căror coordonate (x, y) corespund celor trei culori, iar în reprezentare bidirecțională (x, y) , toate combinațiile aditive posibile a două culori formează o linie dreaptă. Punctul alb se află în interiorul triunghiului fiind combinația în proporții egale $(1/3)$ a culorilor care-l formează, pe segmentul de dreaptă care trece prin acest punct, de o parte și de alta a sa, fiind situate culorile complementare.



**Diagrama de cromaticitate CIE xy 1931
Localizare model de culoare CIE RGB**



**Diagrama de cromaticitate CIE xy 1931
Localizare modele de culoare RGB și CMY**

Se observă că triunghiul CIERGB, gama de culori a monitorului PC mediu definit de CIE, nu acoperă toată gama de culori posibile ceea ce întărește afirmația că prin amestecul aditiv al acestora nu pot reprezenta toate culorile spectrului vizibil.

Pentru a reconstrui parametrii de culoare X, Y și Z din valorile (x, y) măsurate pe diagrama de cromaticitate CIE obținută experimental, este nevoie de al trei-lea parametru de culoare, strălucirea sau luminanța Y, care exprimă intensitatea lungimilor de undă din spectrul vizibil. În aceste condiții, relațiile pe baza cărora se determină valorile tristimulus XYZ care descriu complet o culoare din spectrul vizibil sunt următoarele:

$$z = 1 - x - y$$

$$X = (x/y) * Y$$

$$Z = (z/y) * Y = ((1 - x - y) / y) * Y$$

Prin reprezentarea culorilor spectrului vizibil pe baza parametrilor de culoare (X, Y, Z) astfel aleși încât orice culoare să fie definită complet de un amestec unic al acestora și efectuarea aproximațiilor necesare pentru simplificarea modului de determinare a lor, CIE convertește lumina provenită de la un obiect în două coordonate de cromaticitate (x, y) și într-un parametru de strălucire sau luminozitate Y. Datorită acestui lucru, spațiul de culoare CIEXYZ se mai notează și sub forma CIExyY.

Diagrama de cromaticitate CIE se folosește în principal pentru determinarea, prin măsurători directe, a coordonatelor de cromaticitate (x, y) necesare pentru determinarea valorilor tristimulus X și Z care descriu unic o culoare în modelul de culoare XYZ. De asemenea se folosește pentru identificarea lungimii de undă dominantă care determină fiecare culoare și a culorilor complementare. Totodată joacă un rol important în compararea gamelor

de culori proprii diferitelor modele generice de culoare între ele și cu gamele de culori reprezentate pe baza modelelor de culoare absolute definite experimental de CIE.

Pe diagrama de cromaticitate sunt reprezentate, prin două coordonate, toate culorile percepute de om, toate culorile vizibile care diferă numai prin strălucire sau luminanță fiind reprezentate în același punct. Prin urmare, această diagramă descrie toate culorile spectrului vizibil percepute de om în raport cu un spectru de lumină ideal. Nu specifică culorile obiectelor vizualizate de om, deoarece acestea sunt influențate nu numai de fiziologia ochiului uman, ci și de caracteristicile sursei de lumină (iluminant), determinate de compoziția spectrală și intensitatea luminii radiate.

Din punct de vedere al percepției culorii, modelul de culoare CIEXYZ răspunde la întrebarea *Ce culoare este aceasta?* prin dezvoltarea unui spațiu tridimensional în care fiecare culoare vizibilă este reprezentată unic prin trei parametri de culoare care o descriu complet. Setul de culori primare (X, Y, Z) este virtual deoarece nu este format din culori reale, ci din construcții matematice, convenabil alese, pentru descrierea unică a culorilor din spectrul vizibil. Practic, fiecare valoare tristimulus descrie în mod unic o singură nuanță perceptibilă de culoare asociată unui punct pe diagrama de cromaticitate.

*Modelul de culoare CIE L*a*b**, derivat din modelul de culoare CIEXYZ, liniarizează percepția diferențelor de culoare la nivelul creierului uman, astfel încât o schimbare a valorilor parametrilor de culoare să producă o schimbare proporțională în percepția vizuală a acesteia. CIE L*a*b* (CIELAB) folosește pentru descrierea culorilor valorile tristimulus neliniare L*, a* și b* care reprezintă răspunsul logaritmic al ochiului la stimuli de lumină:

- **L*** = steaua: exprimă luminozitatea culorii obiectului – reprezentată pe **axa Y**;

L* = 0 indică culoarea Negru (Black)

L* = 100 indică culoarea Alb (White)

- **a*** - exprimă valorile de culoare pe axa cromatică roșu-verde- **axa x**;

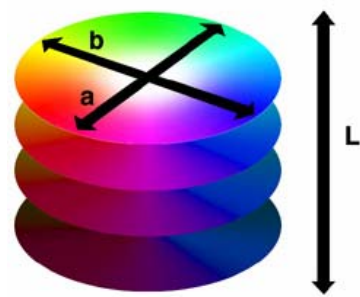
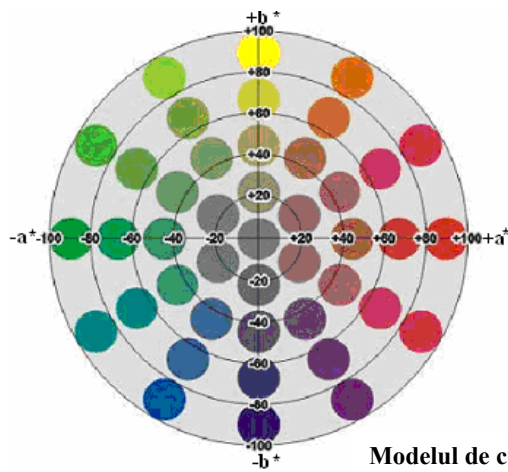
a* < 0 indică culoarea verde

a* ≥ 0 indică culoarea magenta

- **b*** - exprimă valorile de culoare pe axa cromatică albastru- galben- **axa y**;

b* < 0 indică culoarea albastru

b* ≥ 0 indică culoarea galben

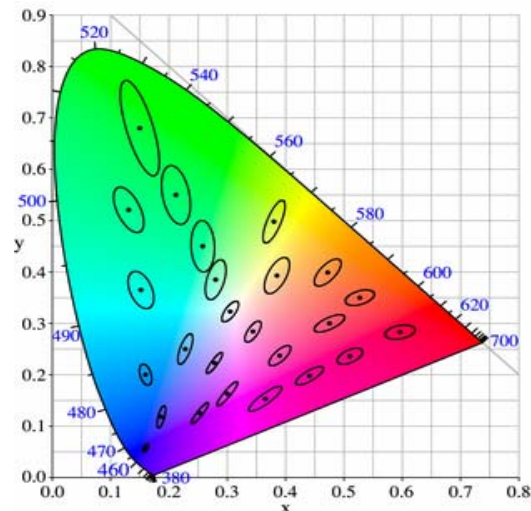


L = luminanța culorii
 a = axa Green \rightarrow Red
 b = axa Blue \rightarrow Yellow

Modelul de culoare CIELAB sau CIEL*a*b* (CIE 1968)

CIEL*a*b*, care se bazează direct pe CIEXYZ, liniariză percepția vizuală a culorii folosind diferențele de culoare descrise metric prin elipsa MacAdam, zona de pe diagrama de cromaticitate CIExy formată din toate culorile derivate din culoarea aflată în centrul unei elipse, care nu pot fi distinse de observator.

Experimentele efectuate de CIE au demonstrat că nuanțele unei culori se află în interiorul elipsei din diagrama de cromaticitate CIExy cu centrul în culoarea respectivă și că dimensiunile elipselor variază mult, în funcție de culoare.



Elipse MacAdam reprezentate pe Diagrama de cromaticitate CIExy

Elipsele MacAdam definesc conceptul de distanță în spațiul de culoare și reprezintă o metodă de măsurare a distanței dintre două culori în spațiul de culoare.

Pe diagrama de cromaticitate CIE, pe care distanțele măsurate între diferitele puncte exprimă distanțele dintre culorile vizibile asignate punctelor respective la nivel de percepție

umană, temperatura culorii pentru orice punct este estimată la temperatura culorii punctului cel mai apropiat de punctul respectiv din Planckian locus.

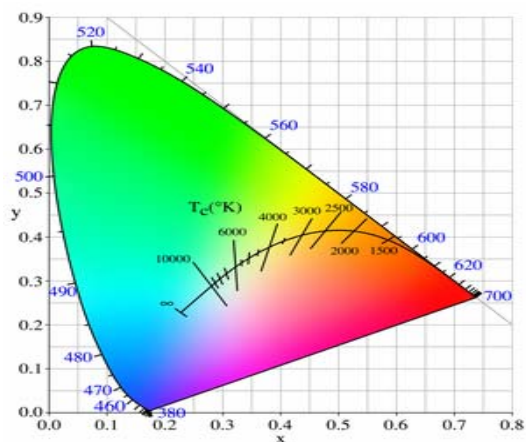


Diagrama de cromaticitate CIExy 1931.
Temperatura culorii (Planckian locus)

Planckian locus este zona de pe diagrama de cromaticitate CIExy1931 care indică temperaturile culorilor, determinate experimental de CIE. Liniile care traversează Planckian locus sunt linii care indică temperatura culorilor vizibile care, teoretic, variază de la aproximativ 1500K⁰ și tinde către infinit. Practic însă, aceasta este limitată de caracteristicile receptorilor sensibili la lumină din retina umană, care distorsionează percepția de strălucire a culorii la intensități de lumină foarte ridicate sau foarte scăzute.

În modelul de culoare CIEL*a*b*, diferențele de culoare percepute de om corespund distanțelor dintre punctele pe diagrama de cromaticitate CIE asignate culorilor spectrului vizibil. Practic, acest model răspunde la întrebarea *Cât de mult diferă două culori? Cât de departe se află o culoare de alta în spațiul de culoare tridimensional definit?*

Modelul de culoare CIEL*a*b* este cel mai complet model de culoare folosit pentru descrierea culorilor spectrului vizibil deoarece permite specificarea celui mai mare număr de nuanțe de culoare pe care le poate percepe omul prin valori tristimulus CIEL*a*b*. Prin urmare, gama de culori descrisă pe baza acestui model este cea mai largă gamă de culori reproductibile din spectrul vizual.

Spațiu de culoare

Spațiul de culoare se definește ca fiind mulțimea punctelor dintr-un spațiu, definit printr-un model matematic abstract, cărora li s-au asociat descrierile tuturor culorilor din spectrul vizibil care pot fi reprezentate și reproduse pe baza modelului respectiv. Un spațiu de culoare dezvoltat pe baza unui model de culoare este definit de funcții matematice care asociază fiecărui punct din spațiu o descriere unică care exprimă, prin parametri de culoare, modul în care creierul uman sau un anumit tip de echipament, interpretează o culoare din spectrul vizibil. Suplimentar, fiecărui spațiu de culoare i se poate asocia o funcție care exprimă particularitățile fizio- psihologice proprii fiecărui individ, particularitățile tehnologice proprii fiecărui echipament de procesare și condițiile specifice de vizualizare.

Deoarece încă nu s-a putut construi un model matematic care să descrie toate culorile pe care le poate reprezenta și reproduce sistemul vizual uman, toate spațiile de culoare definite sunt limitate și, prin urmare, gama de culori specifică fiecăruia este inclusă în spectrul vizibil. Un spațiu de culoare este cu atât mai bun cu cât reproduce mai multe culori distincte din spectrul vizibil, deci cu cât are gama de culori mai largă.

Percepția vizuală a culorii la nivelul creierului uman fiind tricromatică, pentru dezvoltarea de spații de culoare s-au definit diferite modele de culoare tridimensionale (cub, sferă sau piramidă), fiecare cu avantajele și dezavantajele sale. Deoarece există echipamente care, din rațiuni tehnico- tehnologice, au nevoie de mai mulți parametri pentru a descrie în mod unic un punct de culoare, s-au definit și spații de culoare cu mai multe dimensiuni (4,6 sau chiar 8). Există tendința ca denumirea unui spațiu de culoare să fie atribuită și modelului de culoare care stă la baza definirii lui. Acest lucru nu este corect deoarece pe baza aceluiași model de culoare se pot dezvolta mai multe spații de culoare dependente de echipament, fiecare descriind culoarea în modul specific tehnologiei de reproducere folosită de echipamentul de procesare pentru care a fost definit.

În funcție de principiile care stau la baza definirii lor, spațiile de culoare pot fi absolute sau non- absolute, un spațiu de culoare fiind considerat absolut dacă reprezintă culorile din gama sa de culori exact, fără ambiguități și independent de factori externi.

Spațiile de culoare absolute pot fi independente sau dependente de tehnologia folosită de echipamentul care captează, produce sau reproduce culoarea. Spațiile de culoare non- absolute sunt puternic dependente de caracteristicile echipamentului de reproducere folosit. Un spațiu de culoare non- absolut poate fi transformat într-un spațiu de culoare absolut prin definirea precisă a componentelor de culoare folosite (RGB sau CMYK).

Spațiile de culoare independente de echipament sunt spații de culoare umane deoarece descriu culoarea pe principiul percepției vizuale a ochiului uman, independent de caracteristicile echipamentelor de procesare a acestora sau de condițiile de vizualizare. Spațiul de culoare uman este un spațiu de culoare absolut format dintr-un model de culoare (metoda de reprezentare a culorilor) uman, definit de CIE în funcție de fiziologia ochiului, împreună cu mulțimea culorilor din spectrul vizibil descrise pe baza acestui model, denumită gamă de culori a ochiului uman. Practic, gama de culori a ochiului uman este formată din mulțimea culorilor din spectrul vizibil posibil a fi reprezentate în vederea captării, producerii sau reproducerii. Pentru că descrierea completă a unui punct de culoare în acest spațiu necesită trei parametri, pentru reprezentarea culorilor folosindu-se valorile tristimulus care le descriu, spațiul de culoare uman absolut este numit și spațiu de culoare tristimulus. Deoarece receptorii ochiului uman distorsionează percepția culorii la nivele de lumină foarte ridicate sau foarte scăzute, gama de culori a spațiului de culoare uman este limitată, dar rămâne cel mai larg spațiu de culoare definit deoarece nici un echipament nu poate capta, produce sau reproduce toată gama de culori din spectrul vizibil.

Cele mai uzuale spații de culoare independente de echipament sunt spațiul de culoare de bază CIEXYZ și spațiul său derivat CIEL*a*b*, utilizate ca spații standard de referință, fiind special proiectate pentru a reprezenta în mod unic cât mai multe din culorile spectrului vizibil. Sunt spații de culoare absolute care definesc exact și corect toate culorile din gama lor de culori, inclusă în gama de culori percepută de ochiul omului (spectrul vizibil). Altfel spus, fiecare set de valori tristimulus XYZ sau L*a*b* reprezintă o culoare precisă în spațiul de culoare CIE corespunzător, exprimată ca procente de culori primare virtuale cuprinse în intervalul [0%, 100%]. Sunt însă prea complexe și, din acest motiv, prea dificil de utilizat de către producătorii de echipamente și programe care procesează culoarea în mod uzual.

Spațiul de culoare dependent de echipament, este format dintr-un model de culoare generic (metodă de reprezentare a culorilor) definit pe baza unei tehnici de redare a culorilor (RGB sau CMY) care oferă rețeta de descriere a acestora, împreună cu mulțimea culorilor din spectrul vizibil descrise de pe baza acestui model de un anumit echipament, care-i definește gama de culori specifică. Altfel spus, RGB sau CMYK sunt rețete de obținere a culorii, rezultatul depinzând de componentele de culoare folosite. Spre exemplu, spațiile de culoare aferente a două monitoare PC nu sunt absolute deoarece modelul de culoare generic RGB folosit nu definește precis culorile, ci oferă numai rețeta de obținere a acestora prin combinarea culorilor primare RGB a căror puritate depinde de caracteristicile ecranului

fluorescent care variază de la un monitor la altul. În consecință, aceeași combinație de culori primare RGB poate produce două culori diferite pentru cele două monitoare.

Spațiul de culoare dependent de echipament absolut este spațiul de culoare dependent de echipamentul considerat reprezentativ pentru o anumită tehnologie de reproducere a cărei gamă de culori a fost standardizată la valorile specifice acestui echipament. Se mai numește și spațiul de culoare de editare deoarece determină gama de culori care pot fi editate folosind diverse aplicații software, care pot fi vizualizate de majoritatea monitoarelor sau pot fi imprimate pe majoritatea echipamentelor de imprimare. Practic, fiecare culoare din gama de culori aferentă unui asemenea spațiu este descrisă concret pe baza unui model de culoare generic (RGB sau CMY) care oferă rețeta de descriere, în funcție de caracteristicile unui echipament considerat tipic pentru o anumită tehnologie de reproducere a culorilor vizibile. Spre exemplu, spațiul de culoare absolut sRGB (folosit pe internet) este spațiul de culoare specific monitorului PC mediu, adoptat ca standard în domeniu de mulți fabricanți.

Un spațiu de editare este definit simetric față de axa gri- culorile obținute din cantități egale de RGB considerate acromatice- și uniform din punct de vedere perceptual- distanțele între două culori în spațiul de culoare sunt proporționale cu diferența de culoare percepută de om. Nici un spațiu de editare a culorilor cu care se lucrează în mod uzual nu acoperă în întregime spațiile de culoare specifice echipamentelor de reproducere și sunt mai înguste decât spațiile de culoare CIE care, la rândul lor, sunt mai înguste decât spațiul de culoare uman.

Pentru spațiile de culoare dependente de echipament absolute s-au stabilit tehnici standard de conversie la și de la un spațiu de culoare absolut, independent de echipament (CIEXYZ sau CIEL *a*b*), ca spațiu de culoare de referință. Aceste tehnici se asociază oricărui spațiu de culoare dependent de echipament ca funcții de mapare la și de la un spațiu de culoare de referință, pentru a le face aplicabile.

În funcție de modelul de culoare pe baza căruia au fost definite, spațiile de culoare dependente de echipament absolute se împart în trei mari categorii:

- spațiul de culoare monocrom GRAY;
- spațiul de culoare de bază aditiv RGB, din care derivă spațiile de culoare HLS și HSV;
- spațiul de culoare de bază substractiv CMY, din care derivă spațiul de culoare CMYK.

O altă metodă de a defini spații de culoare absolute constă în descrierea unui set de culori din spectrul vizibil folosind nu un model de culoare, ci un *swatch card*. Un *swatch card* asociază unui set de culori din spectrul vizibil un set de nume sau un set de numere care reprezintă rețeta de combinare a componentelor de culoare pentru obținerea fiecărei culori din

set. Cea mai standardizată este metoda Pantone care definește un set de culori absolute și rețeta de combinare a cernelurilor necesară pentru reproducerea acestor culori în procesul de tipărire. Reprezintă o cale de a selecta culoarea dorită dintr-un set de culori.

Spațiul de culoare RGB este definit de gama de culori din spectrul vizibil descrisă pe baza modelului de culoare RGB. Este determinat, ca dimensiune, de tehnologia utilizată pentru implementarea modelului de culoare RGB care poate folosi pentru reprezentarea culorii un număr diferit de biți de culoare. Un spațiu de culoare bazat pe modelul RGB este cu atât mai larg cu cât este implementat într-un număr mai mare de biți de culoare, deoarece numărul de culori distincte crește odată cu acest parametru.

Spațiul de culoare RGBA este RGB cu un canal adițional, alfa, care indică transparența culorii.

În spațiul de culoare RGB culorile pot fi specificate în câteva moduri diferite:

- sub formă de numere zecimale: în intervalul [0,0 (minim);1,0 (maxim)]; în teoria culorii multe formule de culoare folosesc acest mod de reprezentare; exemplu Red intensitate maximă = (1.0, 0.0, 0.0);
- sub formă de procente: în intervalul [0% (minim);100% (maxim)]; conversia de la reprezentarea sub formă de numere zecimale la procente se face prin înmulțirea cu 100; exemplu Red intensitate maximă = (100%, 0%, 0%);
- sub formă de numere întregi: în intervalul [0 (minim);255 (maxim)]; în teoria calculatoarelor (digitală) în care fiecare valoare de culoare este memorată într-o celulă de memorie de un byte (opt biți); exemplu Red intensitate maximă = (255, 0, 0); setul de culori astfel reprezentat se cheamă Truecolor; permite reprezentarea a 255 nuanțe pentru aceeași culoare; numai RGB pure și Grey au întreaga gamă de nuanțe;
- sub formă de numere hexazecimale, cu prefixul #; exemplu Red intensitate maximă = (#FF, #00, #00) = #FF0000.

Spațiul de culoare RGB, ca spațiu de culoare puternic dependent de tehnologia și de echipamentul de reproducere a culorilor, poate fi absolut sau non- absolut. Spațiile de culoare RGB non- absolute variază în funcție de caracteristicile monitorului sau scannerului, caz în care intervin și proprietățile de reflexie ale imaginii scanate. Cele mai comune spații de culoare absolute bazate pe modelul RGB sunt spațiile de editare sRGB, AdobeRGB și AdobeWideGamutRGB.

Spațiul de culoare CMYK este definit de gama de culori din spectrul vizibil descrisă pe baza modelului de culoare CMYK. Spațiul standard de culoare CMYK este un spațiu de culoare dependent de echipament, care variază în funcție de caracteristicile imprimantei, cernelurilor și hârtiei folosite în procesul de tipărire.

În spațiul de culoare CMYK culorile pot fi specificate în câteva moduri diferite:

- sub formă de numere zecimale: în intervalul [0,0 (minim);1,0 (maxim)]; în teoria culorii multe formule de culoare folosesc acest mod de reprezentare; exemplu Cyan intensitate maximă = (1.0, 0.0, 0.0);
- sub formă de procente: în intervalul [0% (minim);100% (maxim)]; conversia de la reprezentarea sub formă de numere zecimale la procente se face prin înmulțirea cu 100; exemplu Cyan intensitate maximă = (100%, 0%, 0%).

Spațiul de culoare absolut definit să acopere gama de culori disponibilă pentru majoritatea imprimantelor CMYK utilizate în mod uzual este spațiul de editare AdobeRGB, care definește cea mai largă gamă de culori ce pot fi văzute pe ecranele calculatoarelor și pot fi tipărite.

Spațiul de culoare CIEXYZ este spațiul de culoare independent de echipament definit de gama de culori din spectrul vizibil descrisă pe baza modelului de culoare CIEXYZ. Este un spațiu de culoare neuniform din punct de vedere perceptual deoarece distanța între două culori în acest spațiu și pe diagrama de cromaticitate CIE nu este proporțională cu diferența percepută de sistemul vizual uman între cele două culori.

CIEXYZ a devenit spațiul de culoare standard de referință utilizat, la nivel industrial, în întreaga lume, deoarece descrie culoarea independent de echipamentele care o procesează și este suficient de larg pentru a reprezenta, în mod unic, toate culorile care pot fi captate de un scanner sau de o cameră video, pe care le poate afișa un monitor sau un televizor, care pot fi tipărite de imprimante sau prese tipografice.

Spațiile de culoare independente de echipament, numite și spații de culoare interschimb, se folosesc pentru a converti datele de la un spațiu de culoare propriu unui echipament la spațiul de culoare propriu altui echipament.

Spațiul de culoare CIEL*a*b* este spațiul de culoare independent de echipament definit de gama de culori din spectrul vizibil descrisă pe baza modelului de culoare CIEL*a*b*. Este un spațiu de culoare uniform din punct de vedere perceptual, în care distanțele dintre două culori, măsurate colorimetric, sunt apreciate ca fiind proporționale cu diferențele percepute de sistemul vizual uman între cele două culori. Altfel spus, este un spațiu de culoare corelat cu apariția vizuală a culorilor. Fiind derivat din standardul de culoare

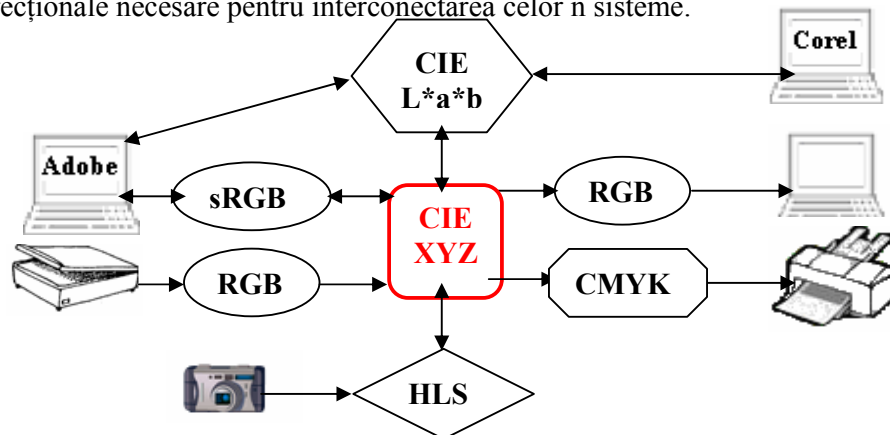
CIE1931 XYZ, CIE L*a*b* definește un spațiu de culoare absolut, în care culorile sunt reprezentate exact, nu oferă numai o rețetă de combinare a luminii sau pigmentilor pentru producerea culorii dorite. De aceea, este folosit ca standard de descriere a culorilor de către majoritatea aplicațiilor software de procesare a imaginilor color, cum sunt AdobePhotoshop, ICC Profiles, TIFF files, PDF files etc.

Interconectarea spațiilor de culoare

Utilizarea spațiilor de culoare ușurează specificarea comunicării informațiilor despre culoare între diferitele tipuri de echipamente și programe folosite în procesul de reproducere digitală a culorilor. Există diferite modalități de a descrie culoarea care nu sunt incompatibile unele cu altele. Se pun deci întrebările *de ce se utilizează așa de multe spații de culoare și de ce nu se folosește numai unul?* În principal din următoarele motive:

- diferitele spații de culoare au fost deja adoptate ca standarde naționale sau industriale;
- mulți utilizatori au experiență în folosirea unui anumit spațiu de culoare, iar instruirea lor în utilizarea altor spații costă timp și bani;
- din punct de vedere istoric, datele acumulate folosind un anumit sistem de reprezentare a culorilor sunt dificil, dacă nu chiar imposibil, de transferat într-un alt sistem de reprezentare.

Deoarece adoptarea unui singur sistem de reprezentare a culorii nu este posibilă, soluția imediată de rezolvare a problemei comunicării culorii este interconectarea spațiilor de culoare existente. Pentru aceasta s-au publicat tabele de echivalențe între cele mai uzuale sisteme de reprezentare a culorilor. Problema interconectării între n sisteme diferite de reprezentare a culorilor s-a simplificat mult prin utilizarea sistemului de culoare CIEXYZ, ca nod central de comunicație, soluție cu siguranță mai simplă decât implementarea a n² mapări bidirecționale necesare pentru interconectarea celor n sisteme.



Interconectarea spațiilor de culoare utilizate prin intermediul CIEXYZ

Acest mod de rezolvare al problemei comunicării informațiilor despre culoare are două limitări:

- pentru multe sisteme de culoare definite în mod necesar cu ajutorul a trei parametri de reprezentați pe cele trei coordonate ale unui spațiu tridimensional, nu este ușor să se facă maparea inversă a culorilor deoarece calculul valorilor tristimulus XYZ pentru o specificație de culoare dată utilizează tehnici de interpolare, conversia inversă fiind practic imposibil de realizat în condiții de acuratețe a culorii;
- măsurarea informațiilor de culoare pentru diferitele sisteme de reprezentare se face în condiții diferite, folosind instrumente de măsură diferite și surse de iluminare diferite, lucru care conduce la diferențe de culoare care generează erori de comunicare a acestora între diferitele sisteme.

Pentru a diminua pe cât posibil aceste limitări, diferențele de condiții de iluminare și mediu de reproducere sunt compensate prin folosirea unui model de culoare, a aceluiași tip de sursă de iluminare și măsurarea reflectanței mediului de reproducere folosind același tip de instrument. Informațiile de culoare astfel obținute se folosesc pentru calcularea valorilor tristimulus XYZ pe baza cărora fie se determină valorile tristimulus RGB necesare afișării culorii pe baza modelului de culoare RGB, fie se efectuează transformările inverse impuse de folosirea unui set alternativ de parametri de culoare pentru a găsi reprezentarea corespunzătoare într-un alt sistem de culoare, rezultând astfel interconectarea acestor două sisteme.

Măsurarea culorii

Măsurarea culorii constă în determinarea valorilor parametrilor folosiți pentru descrierea culorilor obiectelor, inclusiv a reproducerilor color (imagini tipărite).

Parametri de culoare variază în funcție de modelul utilizat pentru reprezentarea tehnologică a culorilor, valorile lor fiind exprimate prin coordonatele punctelor de culoare din modelul respectiv. Practic, orice model de culoare, RGB, CMY, CIEXYZ sau CIEL*a*b*, care asociază fiecărui punct din interiorul său o culoare din spectrul vizibil, permite măsurarea culorilor prin determinarea coordonatelor punctelor de culoare din interiorul său.

Pentru determinarea valorilor tristimulus care exprimă măsura culorilor obiectelor reprezentată prin parametri de culoare se folosesc:

- standardul CIE de reprezentare și măsurare a culorilor;
- indexul de interpretare a culorii;
- parametri de culoare specifici diferitelor tipuri de echipamente;

- instrumente de măsură a parametrilor de culoare;
- sisteme de culori de referință.

Standardul CIE de reprezentare și măsurare a culorilor utilizează pentru descrierea culorilor spectrului vizibil valorile tristimulus XYZ și $L^*a^*b^*$ definite de CIE, care specifică culorile în mod obiectiv, independent de echipamentele de procesare dintr-un flux de reproducere și de condițiile de vizualizare a imaginilor color.

Modelele de culoare CIE, pe care se bazează standardul CIE de reprezentare și de măsurare a culorilor spectrului vizibil, au fost definite pe baza proprietăților fizice ale luminii care afectează culoarea percepută de om- lungimea de undă și intensitatea și pe baza percepției vizuale umane determinată experimental.

Modelul de culoare CIEXYZ, care reprezintă primul standard de descriere a culorilor spectrului vizibil, este rezultatul măsurărilor efectuate de CIE direct asupra ochiului uman. CIE a testat viziunea color a unui grup de oameni în raport cu trei fascicule de lumină primară pe care le-a standardizat și a creat un model pentru percepția vizuală umană pe care l-a denumit Observatorul standard CIE. Practic, observatorul standard, prin încercări succesive, *potrivește* fiecărei lungimi de undă din spectrul vizibil culoarea pe care CIE o specifică printr-un set de valori tristimulus XYZ. Rezultatul a fost concretizat în funcțiile de potrivire a culorilor (color matching function) și în specificațiile de culoare CIEXYZ standardizate.

Cele trei culori primare monocromatice au fost standardizate de CIE la lungimile de undă de 700nm (Red), 546,1nm (Green) și 435,8nm (Blue), în funcție de ușurința de a fi reproduse ca raze monocromatice (Green, Blue) sau astfel încât micile variații de lungimi de undă să producă efecte minime asupra ochiului (Red).

Standardul de culoare CIE a fost determinat pe baza rezultatelor experimentelor efectuate de CIE care au fost concretizate în specificațiile de culoare CIERGB standardizate prin aplicarea unor reguli de simplificare a calculelor necesare determinării ușoare a parametrilor de culoare exprimați prin trei valori numerice.

Pentru că CIE a considerat percepția ochiului uman liniară, combinația a două culori se exprimă prin relațiile:

$$R = R_1 + R_2$$

$$G = G_1 + G_2$$

$$B = B_1 + B_2$$

Coordonatele (R, G, B) se exprimă în funcție de intensitățile $I(\lambda)$ aferente lungimilor de undă care definesc culorile primare (R, G, B) prin relațiile:

$$R = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda$$

$$G = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

Modelul de culoare CIERGB este utilizat pentru a defini cromaticitatea folosind coordonatele de cromaticitate (r, g) =(nuanța de culoare- hue, intensitatea culorii- saturația) care pot fi determinate pe baza relațiilor:

$$\mathbf{r} = \mathbf{R}/(\mathbf{R} + \mathbf{G} + \mathbf{B})$$

$$\mathbf{g} = \mathbf{G}/(\mathbf{R} + \mathbf{G} + \mathbf{B})$$

$$\mathbf{b} = \mathbf{B}/(\mathbf{R} + \mathbf{G} + \mathbf{B}) = 1 - (\mathbf{r} + \mathbf{g})$$

Triunghiul $\Delta C_r C_g C_b$ din diagrama de cromaticitate CIERG este triunghiul din diagrama de cromaticitate CIE xy cu vârfurile în punctele de coordonate (x, y) prin care curba spectrală trece la lungimile de undă standardizate de CIE, exprimate în nanometri:

$$(r, g) = (0, 0) \text{ la } \lambda = 435,8 \text{ nm}$$

$$(r, g) = (0, 1) \text{ la } \lambda = 546,1 \text{ nm}$$

$$(r, g) = (1, 0) \text{ la } \lambda = 700,0 \text{ nm}$$

Punctul alb are coordonatele (r, g) = (x, y) = (1/3, 1/3).

În termeni geometrici, definirea modelului de culoare CIEXYZ presupune definirea unui triunghi XZY pe diagrama de cromaticitate CIERG. Coordonatele de cromaticitate rg sunt reprezentate în conformitate cu gama de culori specifică observatorului standard CIE1931. Poziția axelor pe care sunt reprezentate coordonatele de cromaticitate CIExy este determinată de condițiile pe care trebuie să le îndeplinească modelul de culoare CIEXYZ. Pentru a acoperi întreaga gamă de culori a observatorului standard și a respecta condiția ca valorile (x, y) să fie pozitive, gama de culori specifică modelului CIEXYZ este inclusă în interiorul triunghiului cu coordonatele vârfurilor (x, y) = [(0, 0), (0, 1), (1, 0)].

Poziția punctului acromatic alb este aproximată la coordonatele $x = y = z = 1/3$.

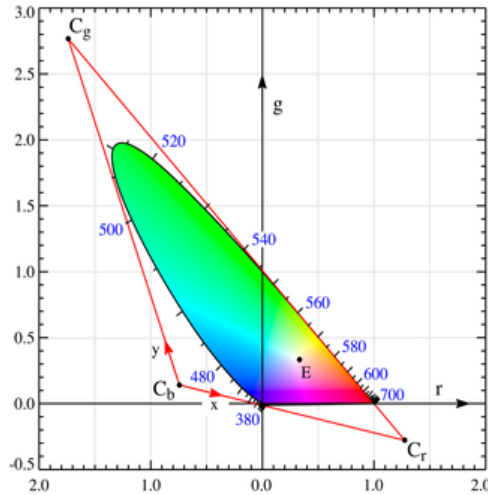


Diagrama de cromaticitate CIERG care specifică construcția triunghiului spațiului de culoare CIEXYZ

Valorile tristimulus corespondente, (X, Y, Z) de determină în funcție de intensitățile $I(\lambda)$ aferente lungimilor de undă care definesc culorile primare (X, Y, Z) prin relațiile:

$$X = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

Modelul de culoare CIEXYZ, standardizat de CIE sub numele de CIE1931 XYZ, a fost dezvoltat din modelul CIERGB, prin aplicarea unor transformări liniare asupra funcțiilor de potrivire a culorilor $r(\lambda)$, $g(\lambda)$, $b(\lambda)$ și a unor aproximații pentru simplificarea calculelor, care au condus la funcțiile de potrivire a culorilor $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ cu valori pozitive (≥ 0). Funcția $y(\lambda)$ a fost aproximată la funcția de eficiență luminoasă a observatorului standard $V(\lambda)$, considerată combinația liniară a funcțiilor de potrivire a culorilor CIERGB datorită vederii umane naturale care este aproape liniară. Funcția $z(\lambda)$ ia valori numai în intervalul [0nm, 650nm] pentru a nu depăși marja de eroare determinată experimental.

Pe baza aproximațiilor impuse de simplificarea calculelor, CIE a stabilit transformările liniare de la modelul de culoare determinat experimental CIERGB la modelul de culoare CIEXYZ pe care le-a standardizat. Apoi, prin aplicarea aproximațiilor necesare pentru liniarizarea percepției umane a diferențelor de culoare, a stabilit transformările de la modelul de culoare CIEXYZ la modelul de culoare CIE L*a*b* derivat, pe care de asemenea le-a standardizat.

Potrivit standardului definit de CIE, orice culoare se poate reprezenta pe baza coordonatelor sale de cromaticitate (x , y) și a parametrului Y care- i exprimă strălucirea sau luminozitatea. Prin standardizarea funcțiilor de potrivire a culorilor și a lungimilor de undă care definesc culorile primare CIE a stabilit un sistem internațional obiectiv de notare (descriere și reprezentare) a culorilor. Necesitatea unui standard de reprezentare a culorilor a fost determinată de nevoia de a compara și de a converti optim, de la una la alta, gamele de culori reprezentate pe baza diverselor modele de culoare definite pentru tehnologia de reproducere existentă.

Modelul de culoare standardizat CIEXYZ reprezintă baza pentru definirea conceptelor fundamentale de management de culoare, calibrare, conversii între spațiile de culoare și potrivirea culorilor, deoarece:

- definește radiația luminii așa cum este percepută de observatorul standard CIE;
- este limitat la spectrul de radiații luminoase vizibil pentru ochiul uman mediu;
- reprezintă o măsură a senzației de culoare a ochiului uman mediu, asociat observatorului standard;
- este reprezentat într-un spațiu tridimensional care simulează percepția vizuală umană pe care o consideră liniară.

Indexul de interpretare a culorii se folosește în mod uzual pentru descrierea luminii emise de sursele metamerice care se definesc ca fiind surse diferite, cu aceeași temperatură a culorii sau CCT, care emit lumină de aceeași culoare, localizată în același punct pe diagrama de cromaticitate CIE (aceleași coordonate de cromaticitate), dar cu compoziție spectrală diferită. Sursele metamerice emit lumină de culori metamerice, culori percepute de sistemul vizual uman ca având aceeași nuanță, care sunt reprezentate prin aceleași valori tristimulus (X , Y , Z), dar care pot fi obținute prin mai multe combinații de lungimi de undă. Spre exemplu, lumina albă poate fi obținută prin mai multe combinații de culori complementare, în proporții corespunzătoare.

Parametri (coordonate) de culoare specifici echipamentelor de reproducere sunt determinați, în principal, de tehnologia de reproducere utilizată și de caracteristicile surselor de lumină folosite.

Tehnologia de reproducere determină modelul de culoare utilizat pentru descrierea culorilor spectrului vizibil, care poate reprezenta o gamă mai largă sau mai puțin largă de culori din spectrul vizibil folosind anumiți parametri de culoare, specifici modelului respectiv.

Având în vedere că gama de culori reprezentată pe baza oricărui model folosit în procesul de reproducere tehnologică a culorilor este inclusă în gama de culori umană reprezentată pe diagrama de cromaticitate CIE_xyY obținută experimental, coordonatele de cromaticitate corespunzătoare se determină prin măsurare directă pe această diagramă. Spre exemplu, coordonatele de cromaticitate rgB se determină prin măsurare directă pe diagrama de cromaticitate CIE_xyY deoarece diagrama de cromaticitate rgB este reprezentată de triunghiul situat pe diagrama de cromaticitate CIE_xyY cu vârfurile în punctele de coordonate (x, y) corespunzătoare lungimilor de undă RGB. Coordonatele vârfurilor triunghiului RGB depind de compoziția spectrală a luminii primare RGB care, în practică, nu este pură (formată dintr-o singură lungime de undă).

Parametrul care exprimă strălucirea sau luminozitatea culorii într-un model de culoare se determină prin măsurarea temperaturii culorii surselor de lumină folosite de diferitele echipamente pentru generarea culorilor. Dacă sursele respective de lumină au coordonatele (x,y) pe Planckian locus de pe diagrama de cromaticitate CIE_xyY, atunci parametrul de luminozitate se măsoară direct pe această diagramă, în caz contrar se determină separat prin măsurarea temperaturii culorii aferente surselor de lumină utilizate în procesul de reproducere a culorilor, care variază destul de mult de la un tip de sursă la altul.

Valorile parametrilor de culoare determinate pe baza unui model generic de culoare RGB sau CMYK, care oferă doar o rețetă de combinare a culorilor primare pentru obținerea culorilor spectrului vizibil, variază în limite largi, în funcție de caracteristicile echipamentelor de reproducere. În consecință, percepția umană a culorii variază de la un tip de echipament la altul și chiar între echipamente de același tip. Din acest motiv, reproducerea culorilor într-un flux digital, format din diferite echipamente de la diferiți producători, este foarte dificil de realizat.

Sistemul de culori de referință constă dintr-un set de culori tipărite sub formă de atlas care atribuie fiecărei culori un cod numeric de identificare unică și proporțiile în care trebuie combinate cernelurile de proces pentru a obține culoarea respectivă. Acest sistem este bun pentru descrierea culorilor în sine, nu pentru măsurarea culorii dintr-o imagine policromă sau o copie a acesteia.

Specialiștii în domeniu folosesc sisteme de culori de referință pentru descrierea culorilor spectrului vizibil deoarece ochiul uman este foarte sensibil la culoare, în special la micile diferențe de nuanță. Percepția culorii este însă calitativă, nu cantitativă, și diferă de la individ la individ, depinde de condițiile de iluminare, de materialele și echipamentele folosite pentru reproducere, etc. În acest context, cuvintele folosite pentru descrierea culorilor precum

albastru, portocaliu, purpuriu, roz, etc. sunt prea puține pentru a surprinde toate nuanțele acestora. Putem descrie o imagine color în cuvinte, însă nu putem reproduce cu acuratețe o asemenea imagine folosind descrierea în cuvinte a culorilor acesteia.

Sistemul de culori bazat pe calculator a înlocuit, treptat, sistemul de culori de referință publicat sub formă de atlas care, deși portabil și ușor de înțeles, a fost depășit în principal din următoarele motive:

- *cost*: un sistem bazat pe calculator a devenit o alternativă cost-eficientă la sistemele fizice de culori de referință deoarece, pe de-o parte costul echipamentelor hardware scade continuu în timp ce costul atlaselor de referință nu, iar pe de altă parte sistemele de comunicare a culorilor bazate pe calculator sunt module software ușor de distribuit și care nu necesită spațiu de depozitare;
- *gamă de culori*: numărul eșantioanelor de culoare dintr-un atlas fizic este limitat atât din motive de costuri cât și de limitări practice, un atlas de 16 milioane de culori fiind greu de fabricat și de manevrat; prin comparație, un atlas electronic de culoare, bazat pe tehnica interpolării, nu are această limitare, putând reprezenta chiar și nuanțe de culoare care cad în exteriorul gamei de culori a spațiului de culoare;
- *intercorelare*: programele software permit conversia instantanee a culorilor între diferitele spații de culoare, în timp ce simpla căutare a unei nuanțe de culoare într-un atlas poate lua chiar și câteva minute;
- *acuratețe*: eșantioanele de culoare dintr-un atlas au o durată de viață limitată, în timp ce reprezentarea culorilor pe calculator se face permanent cu aceeași acuratețe, dacă monitorul acestuia se recalibrează periodic;
- *portabilitate*: atlasele fizice sunt cel puțin la fel de greu de transportat ca și un calculator portabil, dar pentru a evita metamerismul atlasele fizice necesită o sursă de iluminare care poate să nu fie portabilă, în timp ce ecranul calculatorului se iluminează singur, evitându-se această problemă;
- *comunicare*: sistemele de culoare bazate pe calculator prezintă marele avantaj al comunicării globale a informațiilor despre culoare prin rețele (internet) care permit transmiterea unei culori practic instantaneu oriunde în lume.

Există o mulțime de aplicații software care implementează sisteme de notare a culorilor individuale, ca de exemplu AdobePhotoshop (include sistemul de culoare de referință Pantone). Aceste aplicații includ atât un spațiu de culoare de vizualizare pe ecran (RGB) cât și un modul de conversie a informațiilor despre culoare între diversele spații de culoare utilizate în mod uzual.

Treptat, atlasele de culoare de referință au fost înlocuite cu spațiile de culoare bazate pe calculator, utilizatorii reproducțiilor color alegându-și din natură culoarea pe care doresc să o reproducă cu ajutorul tehnologiei. Sistemele de culoare bazate pe calculator elimină limitările sistemelor fizice de culoare (atlase) și permit conversia rapidă a informațiilor despre culoare între sisteme de culoare incompatibile folosind module software dedicate.

Instrumente de măsurare a parametrilor de culoare

Colorimetrul este instrumentul de măsură a parametrilor de culoare bazat pe tehnologia cunoscută sub numele de colorimetrie. Colorimetria este tehnologia care descrie, în mod obiectiv, percepția vizuală a luminii emisă de surse sau reflectată de imaginile colorate cu scopul de a comunica culoarea sau diferențele de culoare dintr-un loc în altul și la diferite momente de timp la același nivel de estetică și fidelitate. Toate aplicațiile de inginerie a culorii, inclusiv comunicarea digitală și reproducerea imaginilor color, se bazează pe colorimetrie.

Principial, colorimetria este tehnologia de potrivire a culorilor care răspunde la întrebarea *testul color se potrivește cu culoarea de referință?* Este tehnologia care nu descrie culoarea percepută de ochiul omului, ci face conversia de la culoarea care se vede la cuantificarea specificată a culorii care se potrivește.

Colorimetria vizuală este metoda cea mai directă și mai precisă de reprezentare obiectivă a culorii. Ea se bazează pe combinarea diferitelor lungimi de undă din spectrul vizibil prin încercări succesive, efectuate direct de om, până ce combinația de lungimi de undă obținută este „potrivită” la culoarea dorită. Principiul colorimetrului vizual este cunoscut artiștilor sau tehnologilor care amestecă în proporții corespunzătoare, determinate prin încercări succesive, coloranți, cerneluri și, mai nou, lungimi de undă luminoasă, pentru a potrivi culoarea obiectelor naturale într-un mediu vopsit sau pentru a reproduce culoarea acestora cu ajutorul tehnologiei.

Tehnologic vorbind, principiul colorimetrului vizual este asemănător generării semnalelor de culoare pe ecranul televizorului sau pe monitorul calculatorului.

Toate colorimetrele sunt formate dintr-o sursă de lumină, o sursă de lumină primară și o optică de vizualizare. Observatorul, prin încercări repetate, combină lumina primară până ce-i potrivește culoarea la culoarea țintei de test. Aparatul înregistrează proporțiile în care se combină culorile primare pentru a obține fiecare culoare din spectrul vizibil. Parametri de culoare astfel obținuți depind de caracteristicile constructive ale aparatului și de particularitățile individuale ale observatorului.

Pentru a reprezenta culorile spectrului vizibil independent de acești factori CIE a definit observatorul standard și a construit un colorimetru vizual folosind pentru generarea culorilor primare prisme monocrome. Cu acest colorimetru a determinat cantitățile din fiecare culoare primară RGB care pot fi amestecate pentru a potrivi culoarea unei lungimi de undă dată și a ridicat curbele de potrivire a culorilor din spectrul vizibil care descriu cantitățile de lungimi de undă primare RGB necesare pentru potrivirea culorilor spectrului vizibil, standardizate și ele. Curbele de potrivire a culorilor ridicate experimental au condus la funcțiile de potrivire a culorilor CIERGB standardizate. Acestea au fost modificate ulterior în funcțiile de potrivire a culorilor CIEXYZ prin aplicarea unor transformări liniare asupra amestecul real de culori primare RGB obținându-se setul imaginar de culori primare XYZ, format din culori teoretice din exteriorul gamei culorilor spectrale adoptat de CIE în 1931. Transformarea rezultatelor în curbe de amestec al culorilor care sunt toate pozitive, după ce culorile primare au fost luate din puncte exterioare gamei de culori reale, a condus la funcțiile de potrivire a culorilor CIEXYZ cu soluții specificate prin valori la intervale de lungimi de undă finite, care sunt cunoscute sub denumirea de coeficienți de potrivire a culorii sau valori tristimulus spectrale. Aceste valori au fost întabulate și constituie specificațiile de culoare sau observatorul colorimetric standard adoptat de CIE în 1931. CIE numește culorile primare teoretice (X , Y , Z) și numește funcțiile de potrivire a culorilor $X(\lambda)$, $Y(\lambda)$, $Z(\lambda)$ iar soluțiile lor valori tristimulus spectrale. Deoarece întregul sistem este liniar prin definiție, înregistrările oricărui colorimetru vizual sunt convertite în citiri echivalente CIE și întregul proces a fost astfel standardizat. Având lungimea de undă medie egală cu funcția potometrică, pot fi estimate atât coordonatele de cromaticitate cât și luminanța unei culori dintr-o singură citire. Întregul proces a fost repetat pentru domenii ale funcțiilor de potrivire a culorilor mai mari, de până la 10^0 , și s-a stabilit că funcția $Y_{10}(\lambda)$ cu un domeniu mai larg care se corelează foarte bine cu luminanța suprafețelor colorate.

Tot pentru a reprezenta culorile spectrului vizibil independent de factori externi, CIE a caracterizat și standardizat sursele de lumină utilizate în colorimetrie. Pentru aceasta a definit termenul de iluminant ca fiind un tabel de numere care reprezintă distribuția puterii spectrale a radiației solare la diferite momente de timp. În fond, termenul *iluminant* descrie afișarea grafică sau tabelară al distribuției puterii spectrale a fluxului luminos, în timp ce termenul *sursă* este rezervat pentru a descrie echipamentul fizic sau materialul care produce fluxul luminos. Practic, CIE a standardizat două distribuții de putere spectrală ale luminii. Prima, numită *iluminant A*, care, teoretic, are cromaticitatea echivalentă cu un corp negru încălzit la temperatura de $6500K^0$. A doua, cunoscută sub numele de *D65*, reprezintă media luminii

incidente produsă pe suprafața pământului de un cer înnorat și are temperatura color echivalentă sau corelată de aproximativ 6500 K^0 . CIE a definit temperatura culorii pentru diferite faze ale zilei ca fiind cuprinsă în intervalul [4000 K^0 , 40000 K^0]. Standardul iluminant A- sursa A corespunde unei surse de lumină incandescentă cu filament. Standardului iluminant D65 nu îi corespunde o sursă reală. CIE a dezvoltat și o metodă de testare a calității simulatorilor luminii zilei- surse care aproximează distribuția radiantă spectrală a lui D65. CIE a standardizat numai doi iluminanți, dar a recomandat mulți alții. Astfel, pentru vizualizarea imaginilor color reproduse recomandă iluminantul D50, care s-a impus ca standard în arta grafică. Acesta este similar lui iluminantului D65, dar are o temperatură a culorii de 5000 K^0 și un răspuns spectral mai mare care- l face mult mai potrivit pentru evaluarea vizuală a tonurilor de culoare. Un iluminant folosit uzual în arta grafică este iluminantul C, nerecomandat de CIE pentru colorimetrie, care reprezintă lumina zilei fără componenta ultravioletă prezentă în D65 cu o temperatură a culorii corelată de 6774 K^0 .

Colorimetria vizuală, împreună cu iluminanții standardizați și sursele sau simulatori de surse asociați, la care se adaugă funcțiile de potrivire a culorilor corespunzătoare observatorului standard, poate fi aplicată pentru descrierea obiectivă a culorilor spectrului vizibil în toate aplicațiile de inginerie a culorii.

Ca avantaj major, colorimetria vizuală permite reprezentarea obiectivă a tuturor culorilor spectrului vizibil prin valori CIE standard obținute pe baza citirilor valorilor RGB la un colorimetru standard. Compararea acestor valori cu cele obținute folosind altă tehnologie de reproducere este foarte greoaie, gama de culori reprezentate fiind condiționată de cromaticitatea și luminanța celor trei culori primare.

Dezavantajul major al colorimetriei vizuale este dat de gradul mare de dificultate pe care îl implică procesul de potrivire a culorilor de către observatorul uman. Chiar și cu multă experiență și cu cele mai bune instrumente, fiecare potrivire de culoare este o luptă în urma căreia precizia variază de la o zi la alta, de la un laborator la altul și de la persoană la alta. Din acest motiv în practică s-a apelat inițial la simularea analogică a colorimetriei vizuale și, mai nou, la cea digitală, efectuate prin înlocuirea ochiului uman cu un senzor optoelectronic care citește intensitatea luminii printr-un filtru și stabilirea unei echivalențe între citirile senzorului respectiv și valorile observate vizual. Dezavantajele colorimetrelor cu filtru, analogice sau digitale, implică costuri mari pentru obținerea acurateții culorii.

În concluzie, colorimetrul este cel mai precis dispozitiv de măsură a culorilor care generează valori tristimulus pentru fiecare mostră de culoare. Aceste valori nu sunt roșu, verde și albastru, ci trei valori calculate care se bazează pe citiri făcute de-a lungul întregului

spectru de culori. Colorimetrele nu sunt însă folosite pentru controlul culorii zi de zi deoarece sunt scumpe și complicat de utilizat, ci numai pentru crearea profilelor de culoare pentru fiecare tip de echipament dintr-un flux tehnologic de reproducere.

Spectroradiometrul este instrumentul folosit pentru a măsura intensitatea luminii în funcție de lungimea sa de undă, denumită în literatura de specialitate distribuție a puterii spectrale. Este echipamentul care furnizează valorile tristimulus CIExyz aferente oricărei surse de lumină. Majoritatea producătorilor de spectroradiometre măsoară intensitatea luminoasă a unei surse pentru lungimi de undă incrementate din 10 în 10 nanometri, rezultatul obținut fiind distribuția puterii spectrale corespunzătoare sursei respective. Pentru a obține rezultate corecte sunt necesare spectroradiometre foarte precise, care de regulă sunt și foarte scumpe, motiv pentru care nu se folosesc în mod uzual pentru controlul culorii reproducerilor.

Spectrofotometrul măsoară reflectanța sau transmitanța relativă a luminii de la o mostră de culoare, în mai multe puncte ale spectrului vizibil. Rezultatul este cunoscut sub numele de curba spectrofotometrică și reprezintă cel mai precis mod de a măsura culoarea.

Practic, spectrofotometrul împarte spectrul vizibil în trei componente de culoare: roșu, verde și albastru. Dacă sunt asociate numere pentru intensitățile relative ale fiecărei componente de culoare, atunci ele pot fi referite ca valori tristimulus. Ca și colorimetrele, spectrofotometrele nu sunt folosite pentru controlul culorii zi de zi deoarece sunt scumpe și complicat de utilizat, ci numai pentru crearea profilelor de culoare pentru fiecare tip de echipament dintr-un flux tehnologic de reproducere.

Densitometrul este instrumentul de măsură a parametrilor de culoare bazat pe tehnologia cunoscută sub numele de densitometrie care permite măsurarea directă a valorilor tristimulus RGB pentru scanner sau monitor și CMYK pentru film, imprimantă sau presă.

Un densitometru poate fi de transmisie sau de reflexie, după cum măsoară lumina transmisă sau lumina reflectată de o mostră de culoare.

Densitometrul de transmisie se folosește pentru măsurarea valorilor transmitanței unui film tipografic. Întrucât noile tehnologii de tipărire au eliminat aproape total filmul tipografic, acest tip de densitometru se folosește mai rar. În practică, densitometrul de reflexie este folosit pentru măsurarea reflectanței materialelor tipărite.

Ochiul uman nu este la fel de sensibil la schimbări egale de lumină sau la schimbări de la lumină la întuneric, fiind mult mai sensibil la schimbările de intensitate ale luminii în zonele cu lumină mai multă, decât în zonele mai puțin luminate. Din acest motiv, densitometrul convertește valorile procentuale obținute în urma măsurării într-o scară logaritmică, numită densitate. Valorile densității, astfel calculate, corespund mai bine

sensibilității ochiului uman. Legătura între transmisie sau reflectantă și densitate este dată în tabelul de mai jos:

<i>Transmisia sau Reflexia</i>	<i>Densitatea</i>
100.000%	0.00
50.000%	0.30
10.000%	1.00
1.000%	2.00
0.100%	3.00
0.010%	4.00
0.001%	5.00

Pentru măsurarea culorii cu densitometrul, în sistem optic, sunt introduse filtre colorate. Se folosesc aceleași filtre de culoare roșu, verde și albastru, folosite și pentru separația de culori analogică.

Pentru presă, se folosește filtrul de culoare complementară culorii măsurate, Astfel:

- pentru măsurarea cernelii galbene se folosește un filtru de culoare albastru;
- pentru măsurarea cernelii cyan se folosește un filtru de culoare roșu;
- pentru măsurarea cernelii magenta se folosește un filtru de culoare verde.

În procesul de reproducere digitală a culorii prin tipărire, se folosește un proces numit “half-tone”, procesul de tipărire fiind un proces binar. Culorile sunt reproduse și pot fi privite ca fiind combinații de “arii de puncte” (dot area) măsurate în procente. Culoarea rezultantă a oricărei “arii de puncte” va fi consistentă (aceeași dacă se repetă după un timp) atâta timp cât cantitatea de cerneală folosită la imprimare este menținută și nu există variații în distorsiunea punctelor pe durata tipăririi. Pentru măsurarea ariei de puncte, prin aplicarea de formule speciale pentru citirile de densitate, se folosesc densitometre moderne, care au aceste formule implementate constructiv, astfel încât citirile de densitate se pot face în mod direct.

Pentru a măsura și defini orice culoare în spațiul de culori, sunt făcute măsurători prin toate cele trei filtre.

Procedura de determinare a parametrilor de culoare

Procedura folosită pentru determinarea parametrilor de culoare urmărește determinarea coordonatelor de cromaticitate (x, y) și a luminanței Y pentru un obiect colorat, în cazul nostru o imagine color sau reproducerea acesteia realizată folosind tehnologia digitală. Pentru măsurarea acestora se efectuează, succesiv, următorii pași:

- se măsoară intensitatea fiecărei lungimi de undă (distribuția puterii spectrale);

- se multiplică folosind cele trei funcții de potrivire a culorilor;
- se însumează pentru a obține valorile tristimulus X, Y, Z (Y dă strălucirea); se normalizează valorile tristimulus obținute.

Conversia de culoare

Conversia de culoare este procedura de transfer a gamei de culori reprezentată pe baza unui model de culoare în gama de culori reprezentată pe baza altui model de culoare. Dacă se ține cont de faptul că fiecare model de culoare reprezintă o metodă standard de specificare a culorilor în funcție de parametri de culoare care- l definesc, conversia de culoare este definită de relațiile care transformă parametri de culoare aferenți modelului de culoare sursă în parametri de culoare aferenți modelului de culoare destinație.

Deoarece gama de culori care se reprezintă într-un model de culoare definește un spațiu de culoare, conversia de culoare constă în transferul informațiilor despre culoare între diferitele spații de culoare, pe baza unor reguli de transformare a specificațiilor aferente unui spațiu de culoare în specificații aferente altui spațiu de culoare. S-au definit astfel tehnici de conversie de la spațiu de culoare absolut la absolut și absolut la non- absolut sau invers.

Conversia între spațiile de culoare non- absolut la non- absolut se face prin intermediul unor spații de culoare absolute.

De regulă, transferul informațiilor despre culoare între diferitele spații de culoare dependente de echipament se face prin intermediul mediului colorimetric standardizat de CIE. Pentru aceasta s-au definit tehnici de conversie care s-au standardizat, fiecare tehnică fiind reprezentată de un model de relație între parametri de culoare proprii fiecărui tip de echipament de reproducere a culorii și mediul colorimetric CIE corespondent. Pentru determinarea regulilor de transformare a parametrilor de culoare de la un spațiu de culoare dependent de echipament la un spațiu de culoare absolut CIE coordonatele echipamentului de reproducere a culorii sunt înregistrate fie la ieșirea unui echipament de captură a imaginii (scanner sau cameră digitală), fie reprezintă cantități de cerneluri colorate destinate unui echipament de imprimare a imaginilor color (imprimantă sau presă). Pentru echipamentele de intrare ,coordonatele furnizate de echipamentul respectiv se pun în corespondență cu măsurătorile colorimetrice ale valorilor tristimulus sau coordonatele CIEL*a*b aferente culorilor de pe mediul original (imaginea originală). Pentru echipamentele de ieșire măsurătorile colorimetrice ale valorilor tristimulus sau coordonatele CIEL*a*b se pun în corespondență cu coordonatele culorilor reproduse de echipament.

Majoritatea tehnicilor de conversie între spațiile de culoare proprii echipamentelor și spațiile de culoare CIE au fost definite prin efectuarea de măsurători colorimetrice asupra unor mostre de culoare de pe diverse medii. Nici o tehnică de conversie nu conduce la rezultate optime pentru toate tipurile de echipamente, motiv pentru care s-a dezvoltat o gamă largă de asemenea tehnici.

Tehnicile de conversie specifice diferitelor tipuri de echipamente pot fi:

- *modele fizice* sau modele de combinare a culorilor, definite în funcție de caracteristicile fizice ale echipamentelor, ca de exemplu absorbanță, difuzie și reflectanță a cernelurilor sau substraturilor folosite;

- *modele numerice* bazate pe determinarea unor coeficienți pe bază de măsurători directe efectuate asupra unor mostre de culoare cunoscute, fără a face nici o presupunere despre comportarea fizică a echipamentului sau a mediului de reproducere asociat;

- *modele tabelare (tabele)* care definesc conversia între un spațiu de culoare și spațiul de culoare CIE pentru coordonatele din interiorul spațiului de culoare respectiv și interpolarea valorilor pentru coordonate intermediare; informațiile de culoare dintr-un asemenea tabel pot fi determinate fie prin măsurători directe, fie pe baza unui model numeric sau fizic.

În domeniul reproducerii digitale a culorilor bazată pe calculator, se folosesc tehnici de conversie definite de modele numerice pe baza cărora se determină tabele de conversie devenite standarde de referință în domeniu. Pentru crearea modelelor numerice se determină relația dintre scala de valori proprie fiecărui tip de echipament și valorile tristimulus CIE obținute prin măsurători colorimetrice efectuate asupra unui set reprezentativ de culori pentru întregul spațiu de culoare aferent echipamentului respectiv. Valorile astfel obținute se folosesc ca model numeric în relația dintre spațiul de culoare aferent aceluiași tip de echipament și spațiul de culoare CIE.

Relația dintre măsurătorile CIE pentru o culoare și coordonatele de culoare proprii unui tip de echipament se poate exprima generic printr-o matrice 3 x 3 de următoarea formă:

$$C_{CIE} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{31} & a_{33} \end{bmatrix} C_{Echipament} \quad \text{sau} \quad C_{CIE} = A C_{Echipament}$$

unde
 C= vectorul valorilor spațiului de culoare CIE (XYZ sau L*a*b);
 D= vectorul valorilor spațiului de culoare propriu unui tip de echipament de reproducere (RGB sau CMY);
 A= matricea coeficient

Spre exemplu, conversia de la spațiul de culoare CIEXYZ la spațiul de culoare RGB se poate exprima prin relația:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Dacă relația dintre spațiul de culoare propriu tipului de echipament și spațiul de culoare CIE este constantă (spre exemplu, dacă sensibilitatea spectrală a unui scanner este liniar corelată cu funcțiile de potrivire a culorilor pentru observatorul standard definit de CIE) valorile coeficienților din matricea A sunt constante pentru toate combinațiile de coordonate proprii unui tip de echipament și pot fi determinate prin trei măsurători și rezolvarea a trei ecuații simultan. Dar, de cele mai multe ori această relație nu este constantă și prin urmare valorile coeficienților din matricea A sunt diferite pentru fiecare pereche coordonate echipament- valori CIE corespunzătoare. Pentru a determina o singură matrice coeficient care să aproximeze cel mai bine toate matricile reale A se folosește de regulă metoda pătratului minim bazată pe următorul sistem de ecuații lineare:

$$X_n = \text{Echipament}_{n \times 3} A_{3 \times 1} + E_n \quad \text{unde}$$

X_n = vectorul a n valori măsurate pentru X

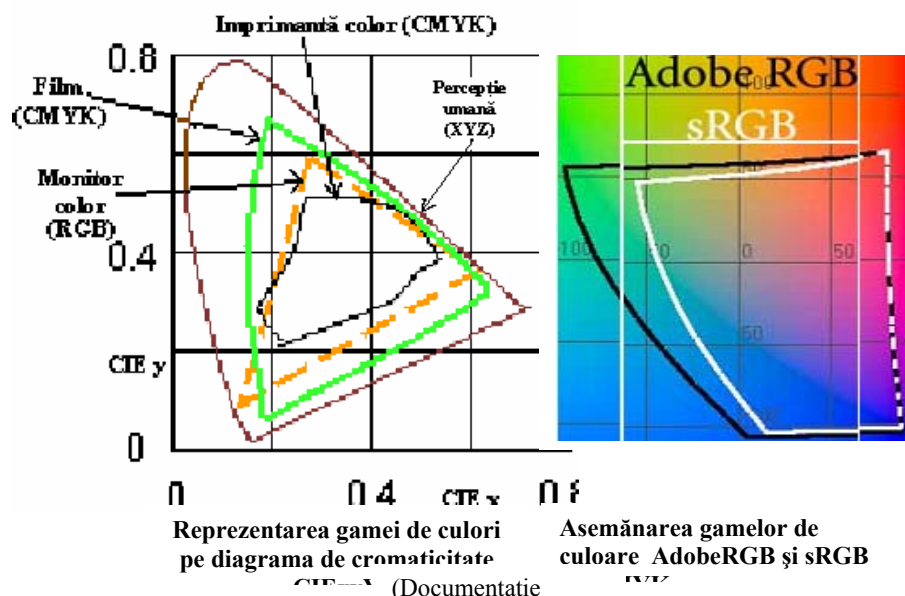
$\text{Echipament}_{n \times 3}$ = matricea coeficient pentru n valori ale ale echipamentului

$A_{3 \times 1}$ = trei coeficienți care corespund rândului unui al matricii coeficient A

E_n = vectorul erorilor reziduale

Transferul imaginilor color între diferitele echipamente de reproducere bazate pe modelele de culoare non- absolute RGB sau CMYK se face prin intermediul modelelor absolute independente de echipament definite de CIE care, din acest motiv, se numesc spații de culoare de referință. Deoarece nu sunt absolute, adică nu specifică exact culorile din gama lor de culoare, modelele generice RGB sau CMYK nu pot avea o relație directă cu modelele absolute de culoare CIERGB sau CIEL*a*b*. De aceea, pentru conversiile RGB – CIEXYZ sau CIEL*a*b*- CMYK se folosesc spațiile de editare culoare absolute sRGB și AdobeRGB pentru care s-au creat tehnici standard de conversie la și de la un spațiu de culoare absolut CIE. Spre exemplu, conversia RGB - CMYK se face sRGB sau AdobeRGB - CIEXYZ sau CIEL*a*b*- CMYK.

Experimentele efectuate de CIE au demonstrat că diferitele tipuri de echipamente de procesare a culorilor reproduc numai o parte din culorile pe care le poate percepe sistemul vizual uman. Totodată, s-a observat că gamele de culori pe care le pot reprezenta cele mai uzuale echipamente de prelucrare a imaginilor color variază în limite foarte largi.



Conversia culorilor între diferitele spații de culoare uzual folosite în procesul de reproducere a imaginilor color din natură este dificilă și se face cu aproximație deoarece fiecare spațiu de culoare are propria-i gamă de culori care, de regulă, nu se suprapune peste gama de culori aferentă altui spațiu. Practic, conversia culorilor care cad în exteriorul gamei spațiului de culoare destinație nu se poate face. Din acest motiv, maparea culorilor între spații diferite de culoare se face pe baza unor aproximații astfel stabilite încât distorsionarea culorilor să fie cât mai mică.

Conversia cea mai uzual folosită, de la gama de culori a unui monitor la gama de culori a unei imprimante, este dificilă deoarece cele două au game de culori fiind diferite, există multe puncte de culoare în modelul RGB care nu au corespondent în modelul CMYK. Din acest motiv, la care se mai adaugă impuritățile cernelurilor și suportului de imprimat, aceeași imagine color poate arăta diferit pe monitor și listată la imprimantă.

Ca primă aproximare, conversia RGB- CMY și invers este dată de relațiile:

- dacă se cunosc RGB = (R, G, B), atunci CMY = (1.0 - R, 1.0 - G, 1.0 - B);
- dacă se cunosc CMY = (C, M, Y), atunci RGB = (1.0 - C, 1.0 - M, 1.0 - Y).

Transformarea CMY – CMYK este dată de relațiile:

$$K = \min(C, M, Y), \text{ CMYK} = (C - K, M - K, Y - K).$$

Spațiul de culoare RGB variind mult de la un echipament la altul, producătorii aplicațiilor software de editare a culorilor au adoptat ca standard RGB spațiile de culoare sRGB, care acoperă gama de culori specifică pentru majoritatea monitoarelor de calculator, și AdobeRGB/ AdobeWideGamutRGB, care acoperă gama de culori pentru cel mai mare număr de monitoare și cel mai mare număr de echipamente de imprimare de la diferiți fabricanți. Acestea, ca spații de culoare absolute, se pot pune în corespondență directă cu spațiile de culoare de referință CIE, prin tehnici standardizate de conversie.

În principiu, conversia de la o gamă de culori la alta este simplă, dacă se respectă condițiile impuse la definirea modelelor de culoare pe baza cărora se determină cele două game de culori, sursă și destinație. Astfel, fără a ține seama că proprietățile unui ecran fluorescent diferă de la un monitor la altul, fiecare punct de culoare din modelul RGB poate fi transferat într- un punct de culoare în modelul CIEXYZ pe baza următoarei relații:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Conversia între două spații de culoare se definește de regulă, ca o procedură standard concretizată într-un set de formule matematice care pun în corespondență parametri care descriu culoarea în spațiul de culoare sursă cu cei din spațiul de culoare destinație și invers. Altfel spus, pun în corespondență reprezentarea fiecărei culori dintr-un spațiu de culoare cu reprezentarea sa din alt spațiu de culoare. Tabelul următor conține lista conversiilor standard definite pentru cele mai uzuale spații de culoare:

Spațiu de culoare	Descriere	Conversii suportate
XYZ	Standardul CIE1931 original. Specificațiile spațiului de culoare CIE	xyY, L*a*b*
xyY	Specificațiile CIE care conțin valori de cromaticitate normalizate. Y reprezintă luminanța care este aceeași ca în XYZ	XYZ
L*a*b*	Specificațiile CIE care conțin o scală de iluminanță uniformă din punct de vedere perceptual. L* reprezintă o scală neliniară a lui L normalizată la punctul alb ca referință.	XYZ
sRGB	Standardul adoptat de majoritatea fabricanților pentru a caracteriza monitorul PC mediu.	XYZ, L*a*b*
AdobeRGB/ WhiteGamutRGB	Standardul adoptat de majoritatea fabricanților pentru a caracteriza monitorul PC mediu și imprimanta medie.	XYZ, L*a*b*

Procesul de translatare a unui spațiu de culoare în alt spațiu de culoare pe baza unor tehnici standardizate de conversie se numește proces de potrivire a culorilor (color matching).

Tendința producătorilor și utilizatorilor este de a fabrica și de a utiliza echipamente și programe cu cea mai largă gamă de culori posibilă, știut fiind că nici o tehnologie nu poate reproduce toate culorile pe care le poate percepe sistemul vizual uman. Gama de culori cea mai apropiată de spectrul vizibil este cea generată de modelele CIE care însă sunt dificil de implementat și dificil de înțeles, motiv pentru care nu sunt utilizate de producătorii de echipamente și programe, fiind folosite numai ca spații de culoare de referință. Astfel, CIEXYZ este modelul de referință de bază pentru conversia între spațiile de culoare RGB și CMYK, puternic dependente de echipamentele de reproducere, iar CIEL*a*b* este modelul de referință de bază pe care au fost dezvoltate cele mai uzuale aplicații software de procesare a imaginilor color (exemplu AdobePhotoshop).

Conversia de culoare și procesul de potrivire a culorilor stau la baza sistemelor de management al culorii care asigură reproducerea consistentă a imaginilor color de-a lungul unui flux digital de prelucrare distribuit sau nu, format din echipamente de la diferiți producători, prin transformarea spațiilor de culoare dependente de echipament într-un spațiu de culoare independent de echipament și invers. Managementul de culoare face posibil transferul unei culori cât mai precis posibil de la un monitor la o imprimantă și invers.

2.3 Reproducerea imaginilor color

În contextul acestei lucrări, reproducerea imaginilor color reprezintă procesul de redare tehnologică a imaginilor din natură care se definesc fie direct ca scene sau obiecte din mediul înconjurător percepute la nivelul creierului uman, fie ca imagini realizate de om pentru aceste scene și obiecte, denumite de acesta imagini originale.

Reproducerea sau reprezentarea tehnologică a imaginilor color se concretizează în următoarele două aspecte:

- interpretarea corectă a culorii reale din imaginea originală pe diferite monitoare de calculator (soft copy);
- interpretarea corectă a culorii afișate pe monitoarele calculatoarelor (soft copy) de către tehnologiile de imprimare disponibile (hard copy).

Generic vorbind, procesul de reproducere tehnologică a imaginilor color presupune:

- folosirea culorilor aditive în reproducerea digitală a imaginilor color, pentru reproducerea culorilor captate de scannere sau camere digitale pe monitoarele calculatoarelor;
- folosirea culorilor substructive în reproducerea digitală a imaginilor color, pentru imprimarea imaginilor afișate pe monitoarele calculatoarelor pe echipamente digitale de tipărire de tipul imprimantelor sau preselor color.

Înțelegerea conceptului de reproducere digitală a imaginilor impune înțelegerea următoarele concepte:

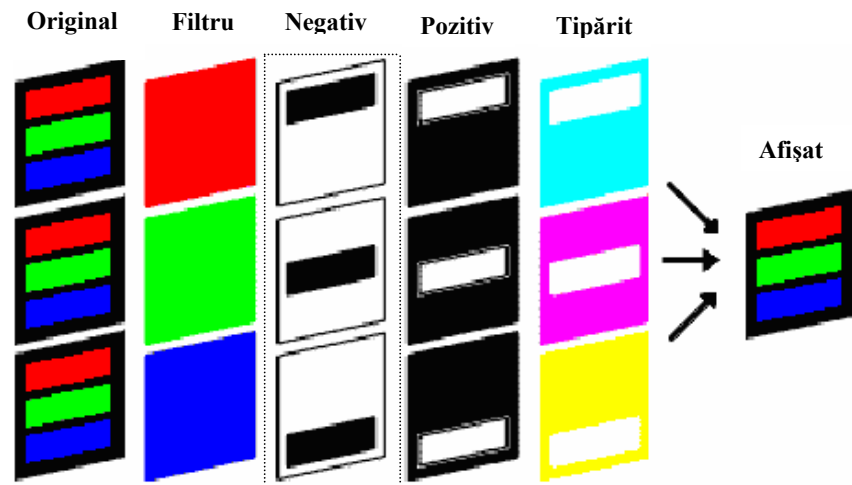
- separarea culorilor;
- reproducerea cu acuratețe a culorii;
- reproducerea consistentă a culorii;
- reproducerea fidelă a culorii.

Separarea culorilor este procesul folosit în reproducerea digitală a culorilor care constă în descompunerea culorii imaginii originale (scenă din natură, fotografie color, imagine digitală realizată de om în calculator etc.) în componentele sale primare **RGB** sau **CMYK**, în vederea afișării pe diferitele tipuri de monitoare sau tipăririi pe diferite medii de imprimare.

Toate procesele de reproducere a imaginilor color, analogice sau digitale, care folosesc conceptele de culori aditive și culori substructive pentru filtrarea componentelor luminii albe, se bazează pe principiul separării culorilor. Dintre acestea, cele mai uzuale sunt reproducerea fotografică, scanarea, afișarea și imprimarea imaginilor color.

De regulă, echipamentele de intrare (cameră digitală sau scanner) captează imaginea color descompusă în componentele sale primare **RGB**. Procesul de captare a imaginii originale, urmat de generarea componentelor de culoare **CMYK** necesare procesului de imprimare, constă în iluminarea imaginii originale cu lumină albă, după care se face separarea în trei imagini prin plasarea de filtre de culoare **RGB** între originalul de reprodus și filmul fotografic, placa tipografică sau direct imaginea reprodusă. Astfel:

- filtru de culoare **R** se folosește pentru generarea componentei **C**;
- filtru de culoare **G** se folosește pentru generarea componentei **M**;
- filtru de culoare **B** se folosește pentru generarea componentei **Y**
- o combinație, în proporții egale a celor trei componente **RGB** se folosește pentru generarea componentei **K**.



Separarea culorilor în procesul de reproducere a imaginilor color
(Negativul și Pozitivul sunt opționale- în funcție de tehnologia de reproducere)

La separația de culoare, când lumina trece prin filtrele de culoare **RGB**, porțiunile de negru ale machetei imaginii (film fotografic, placă tipografică sau master imagine) corespund ariilor din imagine unde lipsește culoarea filtrului folosit (**RGB**). Prin urmare, macheta imaginii de reprodus conține în final culoarea secundară **CMY** obținută prin absența culorii filtrului de culoare utilizat. Astfel, pornind de la originalul color de reprodus, prin folosirea a trei filtre de culoare, corespunzătoare celor trei culori primare **RGB**, se obțin trei filme, plăci sau mastere, câte unul pentru fiecare culoare secundară **CMY**. Prin imprimarea succesivă a celor trei machete, folosind cernelurile aferente culorii separate, se obține reproducerea color a imaginii originale.

În procesele digitale de separație a culorilor informația de culoare, denumită în mod uzual parametri de culoare sau date de culoare, se păstrează tot timpul separat.

Reproducerea cu acuratețe a culorii constă în reproducerea corectă, precisă sau exactă a acesteia folosind diferitele tehnologii, echipamente și programe de editare. Se spune că o culoare este reprodusă corect, precis sau exact, adică cu acuratețe, dacă percepția sa la nivelul sistemului vizual uman este identică cu percepția culorii originale, denumită deseori și culoare reală.

În mod uzual, scannerile, camerele video și monitoarele calculatoarelor folosesc, pentru reprezentarea culorii, spațiul de culoare aditiv RGB a cărei gamă de culori este mult mai largă decât cea aferentă spațiului de culoare CMYK folosit de echipamentele de imprimare. De aceea, se pune, în mod firesc, întrebarea, cum se poate realiza transferul cu acuratețe al culorii între cele două spații de culoare care folosesc parametri de culoare diferiți

pentru reprezentarea a două game de culori care nu se suprapun? Și cum se poate ține cont, suplimentar, de caracteristicile specifice hârtiei, cernelurilor, echipamentelor de procesare folosite, în fine, de toate elementele care afectează reproducerea culorii? Și rezultă că în industria tipografică și publicistică obținerea culorii reale folosind diferitele tipuri de echipamente de reproducere și programe de editare, necesită multe cunoștințe și experiență în acest domeniu.

Ochiul uman percepe un număr foarte mare de culori și nuanțe de gri. Camerele și scannerele pot captura un număr mai mic, iar echipamentele de imprimare pot reproduce un număr și mai mic de culori și nuanțe de gri. Prin urmare, transferul datelor de culoare între diferitele tipuri de echipamente și programe dintr-un flux tehnologic trebuie să fie suficient de performant pentru a asigura reproducerea unei imagini identică perceptual cu originalul sau cel puțin plăcută din punct de vedere estetic, în condițiile în care diferitele componente hardware și software au game de culori de dimensiuni diferite, care nu se suprapun. În multe cazuri, pentru a fi transferată de la un echipament la altul gama de culori trebuie comprimată la o gamă de culori mai mică. Decizia legată de datele care se vor pierde în procesul de compresie (culoare, detalii, umbre, etc) nu e simplă și, în cele mai multe cazuri reprezintă o artă a științei.

Evaluarea acurateții (exactității, preciziei) unui sistem de reproducere a imaginilor color se face în funcție de modelul folosit pentru reprezentarea culorilor. Practic, un sistem care cu eroare mai mică poate produce în fond o vizibilitate mai proastă, în funcție de distribuția erorii de-a lungul țintei de test. Spre exemplu o deplasare de nuanță este mai puțin acceptabilă decât o deplasare de cromaticitate chiar dacă au aceeași marje de eroare. O eroare metrică trebuie uniform perceptuală se exprimă printr-o formulă de diferență de culoare avansată ca de exemplu CIE DE2000.

Unele echipamente de procesare realizează maparea automată a culorilor de la o gamă de culori la alta. Spre exemplu, echipamentele de intrare CreoScitex evaluează caracteristicile fiecărei imagini de intrare, pictură sau fotografie color, și stabilesc gama de culori minim necesară pentru a transporta esența imaginilor. CreoScitex digital front ends și echipamentele de ieșire CreoScitex transportă culoarea automat între diferitele spații de culoare.

Având în vedere complexitatea procesului de reproducere a culorii, obținerea culorii reale este de cele mai multe ori mai mult artă decât știință.

Reproducerea consistentă a culorii constă în obținerea culorii reale a imaginii originale de-a lungul unui flux tehnologic de reproducere format din diferite echipamente de procesare și programe de editare. În acest context, culoarea unei imagini reproduse cu ajutorul

tehnologiei este considerată consistentă dacă percepția sa vizuală, la nivelul creierului uman, este identică cu percepția vizuală produsă de imaginea originală. Practic, consistența culorii constă în potrivirea vizuală a culorii la o mostră de culoare selectată de utilizator (cumpărător, vânzător, tehnician din laborator etc.) dintr-un standard de culoare (sistem de culoare de referință) vizualizat la o sursă de lumină compatibilă cu acest standard.

Ochiul uman poate distinge aproximativ 16 milioane de culori diferite. Echipamente electronice pot captura și afișa un număr limitat de culori (spațiul de culoare RGB) dintre care un număr și mai limitat pot fi reproduse la tipărire (spațiul de culoare CMYK). În aceste condiții, controlarea procesului de reproducere a culorii, în vederea asigurării consistenței acesteia într-un proces de tipărire, necesită cunoștințe aprofundate despre:

- tehnicile de reproducere a culorii;
- toleranțele acceptate în reproducerea culorii;
- iluminarea, culoarea și dimensiunea mediului înconjurător;
- chimia și tehnologiile de fabricare a pigmentilor folosiți;
- tipurile de materiale folosite ca suport pentru imprimare;
- procedurile de calibrare a echipamentelor și programelor de procesare a culorii;
- procedurile de control al procesului de reproducere;
- determinarea culorii de referință și a echipamentului țintă de referință etc.

De regulă, pentru a asigura reproducerea consistentă a culorii se procedează în felul următor:

- se fixează culoarea țintă, respectiv culoarea care trebuie reprodusă;
- se selectează corect culoarea și codul de identificare al acesteia în setul standard de referință (retail color book);
- se stabilește mediul de lumină compatibil cu standardul de culoare folosit;
- se privește produsul final în aceleași condiții de iluminare pentru a stabili dacă reproducerea este identică cu originalul sau plăcută la vedere și acceptată de utilizator.

La stabilirea culorii care trebuie reprodusă sau care se dorește, se tine seama de:

- teoria culorii;
- sursa de lumină folosită;
- factorii care afectează percepția culorii;
- specificul echipamentelor de procesare a culorii;
- specificul aplicațiilor software reproducere și editare a culorii;

- procesele de imprimare;
- chimia pigmentilor;
- materialele de imprimat etc.

Pentru că lumina are un rol hotărâtor în modul de percepție a culorii, asigurarea reproducerii consistente a acesteia necesită efectuarea unor probe de culoare la diferite surse de lumină, ca de exemplu:

- la lumina zilei în interior sau afară, dacă materialele imprimate se folosesc afară (postere de exterior, bannere de exterior, imprimeuri etc);
- la lumină incandescentă caldă, lumină de interior comună, tipică pentru locuințele personale;
- la lumina albă fluorescentă rece, lumină de interior tipică pentru magazine sau birouri.

În toate cazurile se impune respectarea următoarelor reguli:

- nu se stă pe direcția luminii, pentru a nu afecta abilitatea ochiului de a vedea culoarea dincolo de strălucirea materialului;
- se folosesc pigmenți (coloranți) pentru exterior sau pentru interior și tipuri adecvate de procese de imprimare, dacă culorile nu se potrivesc în ambele cazuri;

Pentru a evita diferențele de culoare care pot apare ca urmare a condițiilor diferite de iluminare, se poate simula lumina produsă de diferitele tipuri de surse de lumină în cabine de probă alegându-se astfel pigmenții și procesele de reproducere astfel încât potrivirea culorii să corespundă condițiile de iluminare și vizualizare necesare.

Principalii factorii care afectează culoarea reproducerilor color sunt:

- natura pigmentilor folosiți la imprimare;
- tehnologia de fabricare a pigmentilor, în cazul nostru tonner- e și cerneluri tipografice;
- natura mediului folosit ca suport pentru reproducerea imaginii, diferitele tipuri de materiale (hârtie, bumbac, poliester, nailon etc.) având culori diferite și caracteristici de colorare diferite care influențează culoarea reprodusă;
- procesul tehnologic de imprimare folosit;
- modul specific în care definește culoarea fiecare echipament de procesare din fluxul de reproducere;
- compatibilitatea echipamentelor și aplicațiilor software de pe fluxul de producție, din punct de vedere al transferului parametrilor de definire a culorii.

Specialiștii în domeniu, care luptă permanent cu metamerismul, nu trebuie să uite că, pentru a obține un produs final identic cu originalul, din punctul de vedere al culorii:

- toate culorile se schimbă, mai mult sau mai puțin, la diferite surse de lumină;
- pentru obținerea unei culori trebuie folosiți întotdeauna aceiași coloranți întrucât combinații din diferite tipuri de coloranți conduc la nuanțe diferite de culoare; spre exemplu, auriul sau bronzul se pot obține combinând diferite tipuri de coloranți, însă fiecare combinație produce o nuanță diferită a culorii;
- la stabilirea combinației de coloranți pentru culoarea finală, trebuie avut în vedere că aceasta se schimbă în funcție de sursa de lumină și de materialul folosit pentru confecționarea obiectului;
- fără echipamente performante de procesare color, produse software specializate și educație, nu se poate minimiza metamerismul, fiind necesare multe probe pentru a stabili coloranții potriviți;
- se recomandă folosirea a maxim trei coloranți într-o formulă, lucru care ajută la învățarea schimbărilor produse de metamerism, în vederea aplicării corecțiilor de culoare;
- diferitele materiale (hârtie, bumbac, poliester, nailon, lână etc.) au culori diferite și caracteristici de colorare diferite;
- unele materiale folosite ca suport pentru imprimare au o strălucire optică proprie ce afectează culoarea finală.

În vederea reproducerii consistente a imaginilor color s-au identificat, în mod experimental, următoarele reguli care trebuie respectate la stabilirea culorii finale:

- întotdeauna se compară mostra (culoarea originală) cu standardul (eșantionul de culoare din setul standard de referință) în aceeași condiții de iluminare (sursa de lumină agreată);
- se evită spoturile de lumină, neoanele, ferestrele, lumina soarelui etc. pentru că influențează percepția vizuală a culorii la nivelul creierului uman;
- se evită pereții colorați strălucitor, poster- ele, banner- ele etc. pentru că influențează percepția vizuală a culorii la nivelul creierului uman;
- se acoperă urmele de culoare din mediul înconjurator cu hârtie albă pentru ca alte culori, aflate în câmpul vizual, să nu poată afecta influențează percepția vizuală a culorii la nivelul creierului uman;
- standardul și mostra se țin într-o lumină care vine de peste cap;

- se acceptă că tipăriurile de suprafață mică sunt influențate mult de culoarea standardului sau de culorile din mediul înconjurător;
- nu se privește culoarea prea mult, deoarece creierul compensează diferențele de culoare percepute de ochi după câteva secunde.

Fidelitatea culorii se referă la succesul intercomunicării informațiilor care descriu culoarea, denumite generic date de culoare, între diferitele echipamente și programe dintr-un flux tehnologic folosit pentru crearea unei imagini color la ieșire și presupune:

- reproducerea color de calitate și consistentă, în conformitate cu cerințele utilizatorului;
- intercomunicarea sistemelor color componente, necesare pentru obținerea culorii într-un flux de lucru color;
- eliminarea limitărilor în descrierea culorii pentru orice flux tehnologic de reproducere.

În reproducerea digitală a imaginilor color, fidelitatea culorii impune parcurgerea succesivă a următorilor pași:

- interpretarea spectrală: determinarea datelor spectrale prin atribuirea unui spectrum color fiecărui pixel dintr-o imagine captată (scanner, cameră digitală);
- transformarea datelor spectrale într-un set de valori tristimulus în spațiul de culoare XYZ;
- reproducerea culorii prin determinarea valorilor RGB afișabile pe ecran;
- reproducerea culorii prin determinarea valorilor CMYK imprimabile pe un echipament de tipărire (imprimantă, presă, etc.).

Nevoia de a determina culorile, cu acuratețe, în vederea reproducerii lor folosind tehnologii și/sau medii de reproducere diferite sau în vederea comunicării lor între utilizatori situați la distanță din punct de vedere geografic, furnizează motivația de adoptare a unor standarde pentru specificarea culorilor. Această motivație este justificată, pe de-o parte, de fidelitatea foarte restrânsă a culorilor, ca localizare, în absența unor standarde de culoare, iar pe de altă parte, de fidelitatea limitată a seturilor de culori componente specifice diferitelor sisteme fizice de reproducere. Practic, toleranța reproducerii tehnologice guvernează acuratețea culorii, în timp ce gama de culori specifică tehnologiei de reproducere restricționează culorile disponibile folosind un anumit sistem de reprezentare. Prin urmare, multe sisteme de reprezentare a culorilor sunt proiectate pentru a fi folosite numai în anumite condiții de vizualizare (iluminant sau fond) sau mediu (imprimare mată sau lucioasă).

O soluție pentru asigurarea fidelității culorii o oferă reproducerea color de tipul **ceea ce vezi este ceea ce obții**. Un exemplu îl oferă industria tipografică și publicistică care

necesită potrivirea unei game foarte largi de culori pentru diferite medii de imprimare, unde există o necesitate puternică pentru o comunicare globală a culorii corectă, implicând atât specificarea standard a culorilor cât și în alte condiții de vizualizare. Practic, industria tipografică și publicistică necesită o precizie a culorii de nivel ridicat pe toate nivelele de reproducere a acesteia.

Reproducerea culorilor prin captarea imaginilor color este un proces tehnologic complex care implică:

- combinarea aditivă a culorilor primare RGB;
- folosirea senzorilor de culoare pentru crearea imaginii color;
- folosirea filtrelor de culoare pentru separația culorilor imaginii în componente primare RGB.

În domeniul reproducerii digitale a imaginilor color, captarea scenelor sau imaginilor din natură se realizează cu ajutorul camerelor digitale, iar captarea imaginilor fizice, de tip fotografie, text/imagini listat(e) sau efectuate de mână, se face cu ajutorul scannerului. Toate acestea sunt echipamente de intrare care analizează scene, obiecte sau imagini reale pentru a le converti în imagini digitale. Practic, un asemenea tip de echipament primește la intrare imagini reale și oferă la ieșire imagini digitale necomprimate care, în mod tipic, sunt transferate inițial în memoria RAM a calculatorului, sunt procesate de programe de editare grafică specializate (spre exemplu Adobe Photoshop sau CorelDraw) și sunt apoi salvate, în format grafic digital, pe un tip de memorie externă (hard disk, CD-R/W, stick etc.).

Ca principiu fizic de realizare, echipamentele de captare a imaginilor color sunt dotate cu surse de lumină și filtre sau senzori de culoare care analizează lumina reflectată de obiectele sau imaginile observate, transformând-o în imagini digitale. Fiecare imagine digitală este salvată într-un format digital în vederea editării, afișării și/ sau imprimării.

Echipamentele de intrare de tip cameră digitală sau scanner citesc datele de culoare, în mod tipic, în format RGB, le procesează cu algoritmi proprii care efectuează corecțiile impuse de condițiile diferite de expunere și le trimite către calculator, printr-o interfață de intrare-ieșire (SCSI sau USB).

Calitatea imaginii digitale captate de un echipament digital de intrare este determinată, în principal, de următorii parametri:

- *adâncimea culorii*, definită prin numărul de biți folosiți pentru reprezentarea culorii unui singur pixel sau punct de culoare dintr-o imagine digitală (bitmap= structură de date reprezentată printr-o rețea dreptunghiulară de pixeli); variază în funcție de

caracteristicile senzorului de culoare, dar în mod uzual este minim 24 biți; modelele de calitate ridicată au adâncimea culorii mai mare sau egală cu 48 de biți;

- *rezoluția* echipamentului, măsurată în DPI (**Dots- Per- Inch**), exprimă numărul de puncte de culoare dintr-o suprafață de imagine de dimensiune egală cu un inch (2,54 cm²); acest parametru poate fi de tip *rezoluție optică*, care exprimă rezoluția fizică a echipamentului, sau de tip *rezoluție interpolată*, care exprimă capacitatea de interpolare (de construire puncte de culoare noi dintr-un set de puncte de culoare date) a aplicației software de interpolare care lucrează împreună cu echipamentul respectiv; spre exemplu, un echipament de calitate are rezoluția optică 1600- 3200 DPI , în timp ce rezoluția sa interpolată poate fi mai mare decât 19200 DPI.

Reproducerea culorilor prin tipărire sau imprimare

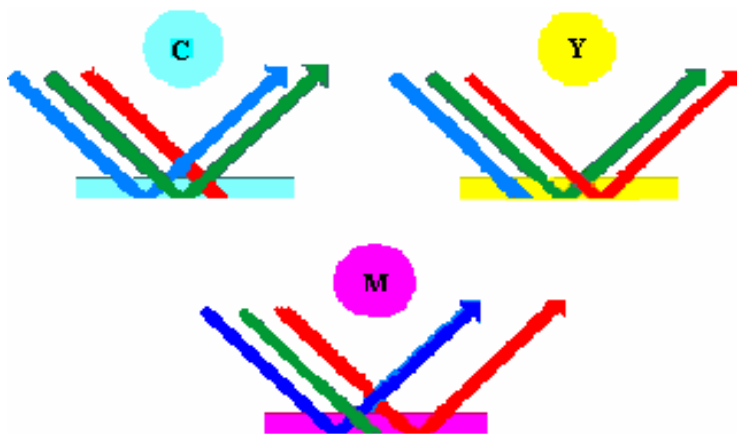
Reproducerea imaginilor color prin tipărire sau imprimare este un proces tehnologic foarte complex care implică folosirea:

- culorilor substructive pentru reproducerea digitală a imaginilor color;
- pigmentilor pentru obținerea culorilor substructive;
- separației culorilor pentru reproducerea digitală a imaginilor.

Folosirea culorilor substructive pentru reproducerea digitală a imaginilor color

permite tipografilor definirea și identificarea culorilor prin utilizarea spațiului de culoare CMYK dezvoltat pe baza modelului matematic de reprezentare a culorilor cu același nume (CMYK). La nivel tehnologic, acest lucru este impus de faptul că majoritatea echipamentelor digitale de tipărire color, (imprimante, imagesettere și prese) utilizează pentru reproducerea digitală a culorii, spațiul de culoare substractiv CMYK.

În procesul tehnologic de tipărire, imaginile color se construiesc pe un suport (hârtie, poliester, material textil etc) care, inițial, are culoarea alb ceea ce înseamnă că, cel puțin teoretic, reflectă în proporție de 100% cele trei culori primare RGB ale spectrului vizibil. Pentru a obține diferite imagini color, folosind toate culorile percepute de om, se eliminată selectiv o parte din lumina care cade pe suportul de imprimat. Pentru aceasta, se aplică pe suportul respectiv patru straturi succesive de cerneluri transparente, numite cerneluri tipografice de proces: **Cyan**, **Magenta**, **Yellow** și **Black** – **CMYK** Cernelurile **CMY** acționează ca filtre de culoare eliminând o culoare primară **RGB**- propria culoare și transmițându- le pe celelalte două (**C=GB**, **M=RB**, **Y=RG**) către suportul care le reflectă apoi pe direcția ochiului uman.



Principiul separației culorilor

Pentru că absorb numai o componentă a luminii albe (o treime) și transmit două (două treimi), cernelurile de proces **CMY** sunt transparente. Cernelurile de proces fiind transparente, hârtia este cea care reflectă lumina colorată, mai puțin componentele pe care le filtrează cerneala.

Teoretic, dacă fiecare dintre cernelurile de proces se imprimă una peste alta, se absoarbe toată lumina vizibilă reflectată de hârtie, rezultatul trebuind să fie culoarea negru. În realitate însă, straturile compacte ale celor trei cerneluri de proces nu absorb toată lumina ce cade pe hârtie și, drept urmare, în loc de culoarea negru se obține o culoare maro spre gri. Acest lucru se datorează impurităților din cernelurile de proces. Spre exemplu, **C**yan nu absoarbe numai roșu, așa cum ar trebui, ci și parte din luminile verde- albastru. **M**agenta ar trebui să absoarbă numai lumina verde, dar ea absoarbe și o parte din luminile albastru - roșu. Cernelura galbenă este aproape ideală.

Cernelura neagră (**black**) este folosită pentru accentuarea detaliilor și îmbunătățirea contrastului, compensând astfel imperfecțiunile hârtiei, care nu e de culoare alb pur, și impuritățile cernelurilor utilizate, care nu au culorile pure **CMY**. Folosirea cernelii **K** suplimentar face ca zonele închise ale unei imagini color să apară mai închise, iar cele mai luminoase mai luminoase, efectul general la nivelul percepției creierului uman fiind o imagine clară, foarte apropiată de imaginea originală.

Prin suprainprimarea unor cantități controlate de **CMYK** se poate obține cel mai larg domeniu de culori, ținând cont, bineînțeles, de limitările date de nuanța hârtiei și de puritatea cernelurilor.

În industria tipografică, procesul de tipărire folosind culorile secundare **CMY**, la care se adaugă culoarea negru, se numește proces de tipărire în patru culori sau **CMYK**. Culoarea negru este abreviată **K** deoarece procesul invers, de asamblare a imaginii color din componentele sale substructive, folosește, în mod tradițional, imaginea negru a separației de culoare drept cheie (“**Key**”), peste care suprapune celelalte trei componente.

Pigmenții sunt substanțe chimice sau organice care absorb numai anumite porțiuni din lumina albă, reflectând restul, motiv pentru care se folosesc pentru obținerea culorilor substructive în procesul de reproducere a imaginilor color, prin imprimare. Toate obiectele colorate conțin pigmenți. Prin urmare, scenele din mediul înconjurător percepute de om drept imagini colorate reprezintă efectul produs asupra sistemului vizual uman de lumina reflectată de pigmenții suprafețelor obiectelor din scenele respective.

Pigmenți naturali există în țesutul tuturor animalelor și plantelor. De exemplu, culoarea unică a unei flori este dată de pigmenți. Ca substanțe chimice, pigmenții se găsesc în cernelurile de proces, care sunt cerneluri tipografice transparente pigmentate **CMYK**, prin suprainprimarea cărora se determină orice culoare percepută de sistemul vizual uman. Spre exemplu, culoarea unei flori imprimate pe un suport este determinată prin suprainprimarea cernelurilor de proces în proporții astfel determinate încât floarea respectivă să fie percepută de ochiul omului ca având culoarea sa naturală.

Modul în care este percepută culoarea unui obiect este dat de acțiunea luminii asupra pigmenților din țesutul său și de reacția ochiului uman la lumina reflectată de acel obiect.

Calitatea imaginii color tipărite prin-un proces de tipărire în patru culori (**CMYK**) este afectată de o mulțime de factori determinați în principal de imposibilitatea de::

- percepție a culorilor **CMYK** pure;
- obținere a cernelurilor de culori **CMYK** pure;
- fabricare senzori de culoare de aceeași sensibilitate cu receptorii ochiului uman;
- fabricare echipamente de reproducere cu același răspuns color (același mod de interpretare a culorilor percepute de om);
- fabricare echipamente care reproduc toată gama de culori percepută de om;
- fabricare echipamente cu aceeași gamă de culori reproductibile.

Practic, nici un amestec de culoare nu poate produce o culoare pură, respectiv o culoare care să fie percepută de om ca fiind complet identică cu o culoare spectrală, pe de-o parte datorită sensibilității diferite a receptorilor din ochiul omului la diferitele lungimi de undă din spectrul vizibil, iar pe de altă parte datorită faptului că nu se pot produce cerneluri tipografice pure. Spre exemplu, culoarea Cyan obținută prin amestecul de lumină verde cu

lumină albastră este mai desaturată decât culoarea Cyan pur de aceeași intensitate cu amestecul de lumină verde- albastru, deoarece răspunsul receptorilor din ochiul omului sensibili la lumina roșie este mai bun decât răspunsul receptorilor sensibili la lumina verde. De asemenea, impuritățile cernelurilor de proces conduc la culori primare care, de regulă, nu sunt culori pure și, în consecință, culorile reproduse de sistemele de imprimare nu sunt niciodată culori perfect saturate. Prin urmare, culorile spectrale nu pot fi potrivite exact. Oricum, scenele din natură rareori conțin culori complet saturate astfel că în mod uzual scenele pot fi approximate bine pentru aceste sisteme.

Calitatea imaginilor color reproduse prin imprimare poate fi afectată caracteristicile echipamentelor de procesare din fluxul tehnologic de producție. Astfel, caracteristicile senzorilor de culoare din echipamentele de captare a imaginilor, adesea foarte diferite de caracteristicile receptorilor sensibili la culoare din ochiul uman, pot avea ca efect reproducerea proastă a culorilor din imaginile captate, lucru care conduce la o calitate scăzută a imaginii tipărite. De asemenea, răspunsul color diferit al diferitelor echipamente de reproducere a imaginilor color poate genera deformații ale culorilor reproduse.

Trebuie subliniat însă că fiecare echipament dintr-un flux tehnologic de reproducere a imaginilor color lucrează corect numai pentru culorile din gama proprie de culori. Spre exemplu, se poate întâmpla ca monitorul să nu poată afișa culori pe care scannerul sau camera pot recepționa și vice versa. Dacă la acest lucru se mai adaugă și faptul că, de regulă, imprimanta nu poate reproduce toate culorile captate și afișate, se poate afirma că imaginea imprimată nu poate fi, practic, niciodată perfect identică cu cea originală.

Reproducerea tehnologică a culorii

Limitările reproducerii tehnologice a culorii sunt rezultatul dificultăților tehnice de producere a luminii monocrome (o singură lungime de undă). Ca efect, gama de culori reprezentabile proprie fiecărui sistem de reproducere a culorii este limitată, fiind determinată de tehnologia folosită pentru generarea culorilor primare RGB și a luminii albe. Cea mai bună sursă tehnologică de lumină monocromă este laserul, prea scump și impracticabil pentru multe sisteme.

Sistemele de reproducere a culorilor care utilizează procesul aditiv au, în mod uzual, o gamă de culori mai largă, de forma unui poligon convex plasat în planul nuanță- saturație, laturile poligonului fiind cele mai saturate culori pe care le poate produce sistemul. Sistemele substructive au, de regulă, o gamă de culori mai îngustă, de formă neregulată.

Comparația între sistemele de reproducere a culorilor, bazată pe rezultatele experimentelor efectuate de marile firme în domeniu, a pus în evidență performanțele realizate în domeniul reproducerii culorii de către fiecare tip de tehnologie folosită în prezent.

Din acest punct de vedere se poate spune că:

- filmul fotografic este unul dintre cele mai bune sisteme disponibile de detectare și reproducere a culorii, gama de culori reproductibile pe film depășind cu mult gama de culori a sistemului TV;
- tehnologiile de reproducere care folosesc laserul pentru a genera o lumină cât mai apropiată de monocrom permit reproducerea de culori cu mult mai saturate decât cele produse de alte tipuri de tehnologii;
- monitoarele CRT au gama de culori reproductibile mai largă decât monitoarele LCD (cu cristale lichide);
- sistemul Tvse bazează pe afișajul CRT sau LCD, dar nu folosește toate avantajele oferite de proprietățile de afișare ale monitoarelor având limitările broadcastingului;
- gama de culori a imprimantelor, care folosesc sistemul de reproducere în patru culori CMYK este mai restrânsă decât a monitoarelor, eforturile făcute pentru a extinde gama de culori a procesului de tipărire fiind îndreptate în direcția adăugării de cerneluri de culori non- primare care, în mod tipic, sunt portocaliu și verde (hexachrome).

Sistemic vorbind, se poate spune că probele de bază care se pun cu privire la reproducerea tehnologică a culorilor sunt legate de:

- descrierea culorilor spectrului vizibil;
- măsurarea parametrilor sau coordonatelor de culoare;
- potrivirea culorilor, respectiv asocierea coordonatelor de reprezentare a unei culori din spectrul vizibil cu percepția sa la nivelul creierului uman;
- calibrarea și caracterizarea echipamentelor de procesare a imaginilor color;

reproducerea unei imagini color și corecțiile necesare pentru asigurarea acurateții și consistenței acestora.

2.4. Sistemul de management al culorii folosit în prelucrarea informațiilor economice

Definiție și concepte fundamentale

Sistemul de management al culorii- **Color Management System (CMS)** se definește ca fiind un set de metode și proceduri de implementare a lor, folosite pentru prelucrarea culorii într-un mod independent de variațiile parametrilor echipamentelor de procesare sau a materialelor (mediilor) de reproducere folosite.

Sistemul de management al culorii este definit pe baza următoarelor concepte fundamentale:

- caracterizarea unui echipament de reproducere a culorii;
- flexibilitate;
- diversitatea comunicării;
- consistența spațiului de culoare;
- maparea gamei de culoare (color gamut mapping).

Caracterizarea unui echipament de reproducere a culorii este procesul matematic complex de a crea o descriere idealizată a culorii pe care o produce echipamentul respectiv, prin raportarea descrierii reale a culorii produse de acesta la un spațiu de culoare standard, ca spațiu de culoare de referință. Această descriere ,denumită generic profil de culoare al echipamentului, se obține prin transformarea gamei de culori de formă neregulată determinată prin măsurarea colorimetrică a datelor de culoare produse de un echipament într-o gamă de culori de formă regulată, utilizabilă de către aplicațiile software de editare a imaginilor color.

Flexibilitatea este conceptul care definește posibilitatea de transformare a datelor de culoare produse de un echipament în date de culoare recunoscute de alte echipamete, prin raportarea acestora la un spațiu de culoare standard, ca spațiu de culoare de referință. Practic, datele de culoare produse de echipamentul sursă sunt convertite, simplu, la un spațiu de culoare standard de unde sunt convertite apoi în date de culoare recunoscute de fiecare echipament destinație. Pentru aceasta este necesar ca gama de culoare a spațiului de culoare standard să acopere un număr cât mai mare din culorile pe care le poate percepe sistemul vizual uman.

Diversitatea comunicării este conceptul care definește posibilitatea de încapsulare a profilelor color aferente echipametelor de procesare împreună cu datele de culoare într-un singur format de fișier imagine (ca de exemplu JPEG sau TIFF. Acest lucru permite folosirea

profilelor color de către toți cei implicați într-un proces de reproducere a culorii bazat pe un flux tehnologic format din echipamente și programe provenite de la mai mulți fabricanți.

Consistența spațiului de culoare este conceptul care asigură obținerea unor imagini color corecte și precise prin definirea unor spații de editare a culorilor pentru compunerea și manipularea acestora. Spațiile de editare a culorilor sunt descrise, de regulă, prin formule matematice simple, ca de exemplu sRGB sau AdobeRGB.

Maparea gamei de culoare (gamut mapping) este conceptul care definește corespondența datelor de culoare produse de echipamente cu game de culori diferite, știut fiind că, de regulă, diferitele echipamente de reproducere nu au aceeași gamă de culori reproductibile. Practic, culorile situate în extremitățile gamei de culori mai extinse, aferente echipamentului sursă, necesită a fi deplasate în interiorul gamei de culori mai restrânse, a echipamentului destinație, pentru a putea fi reprezentate de acesta. Spre exemplu, tipărirea pe hârtie a celui mai saturat albastru afișat pe monitor folosind o imprimantă tipică CMYK cu siguranță este eronată deoarece hârtia albastră nu poate fi la fel de saturată. Reciproc, cyan-ul luminos specific unei imprimante cu jet de cerneală nu se poate reprezenta ușor pe monitorul mediu de calculator. Conceptul de mapare a gamei de culoare cuprinde diverse metode și tehnici standardizate de obținere tehnologică a culorilor care sunt puse la dispoziția utilizatorilor experimentați pentru a controla acest proces.

Necesitatea implementării unui CMS

Implementarea sistemelor de management al culorii în domeniile care implică prelucrarea imaginilor color este determinată, în principal, de necesitatea reproducerii consistente și predictibile a culorilor, în condiții de acoperire maximă a gamei de culori perceptibile la nivelul sistemului vizual uman și abilități de operare minime a diverselor tipuri de echipamente și programe dintr-un flux tehnologic de producție. Publicistica bazată pe imagini digitale, pe comunicații fără limite geografice a datelor de culoare și pe prezentări multimedia, impune crearea unor fluxuri de producție deschise, pe final, care să ofere designerilor posibilitatea de a crea imagini originale, independent de mediul de reproducere și de caracteristicile de interpretare a culorii folosite.

În contextul globalizării vieții socio- economice a omenirii, abilitatea de a captura o imagine o singură dată, de a o memora într-un format digital standard și de a o reproduce cu culoare consistentă, de mai multe ori, pe diferite medii, a devenit esențială. De aceea, marile companii din industria calculatoarelor și din industria reproducerilor color și-au unit forțele și au format consorțiul **International Color Consortium – ICC**, cooperând astfel la definirea

standardului industrial de management de culoare ICC care a fost încapsulat în sistemele de operare ale calculatoarelor pentru a asigura interoperativitatea tuturor aplicațiilor software de procesare a imaginilor color.

Astăzi, fluxurile tehnologice de reproducere imaginilor color complexe includ, în configurațiile lor, echipamente de la mai mulți vânzători. Liniile de producție (Workflows) încep și se termină în diferite site-uri. De multe ori nu se știe către ce tip de echipament se îndreaptă fișierul care conține informația despre culoare. Prin urmare, culoarea trebuie să fie descrisă într-o așa manieră încât toate echipamentele de pe fluxul de producție să o interpreteze corect. Este ceea ce ICC a definit prin *device-independent color -profiles* bazat pe *CIEL*a*b color space*. Tabele specifice de conversie a culorii asigură obținerea celor mai precise (corecte) culori.

Utilizarea tabelor de translatare a informațiilor despre culoare de la echipament la echipament necesită, în primul rând, cunoștințe despre toate componentele care procesează culoarea din fluxul de producție și multă, multă, experiență de lucru în domeniu. Din acest motiv, furnizorii de echipamente și programe de reproducere a imaginilor color oferă soluții complete clienților lor (ex. CreoScitex environment), care reprezintă un mediu ce permite translatarea automată și transparentă perfectă a parametrilor de culoare de la un echipament la altul.

În utilizarea unui CMS trebuie avut în vedere că:

1. Fiecare furnizor de echipamente de procesare a culorii oferă posibilitatea creării de profile ICC pentru echipamentele sale, aflate în diferite puncte ale fluxului de producție, asigurând astfel transferul parametrilor de culoare de-a lungul întregului flux de producție (de exemplu CreoScitex).

2. Utilizarea unui CMS presupune calibrarea echipamentelor de pe fluxul de producție, pentru ca intervenția operatorului să fie cât mai redusă. De exemplu, dacă un echipament nu e calibrat (își schimbă parametrii în timp), se face transferul unor parametri de culoare greșiți, ceea ce conduce la rezultate eronate. Trebuie precizat că toate echipamentele de pe fluxul de producție a imaginilor color trebuie calibrate periodic pentru că își schimbă parametrii de definire a culorii în funcție de temperatura și condițiile de iluminare aferente mediului înconjurător, care se modifică permanent.

3. În general, o producție color complexă și echipamentele color de pe fluxul de producție impun utilizarea CMS. Dacă însă CMS-urile utilizate de aceste echipamentele nu sunt compatibile, va fi dificil de stabilit responsabilul pentru calitatea culorii într-un flux de

producție format din echipamente de la mai mulți fabricanți, și cu atât mai mult într-un flux de producție distribuit.

În general, CMS se exprimă în termeni de software, hardware și workflows care trebuie să explice:

- dependența sau independența parametrilor de culoare de parametrii tehnici ai echipamentelor care o produc;
- principiile de baza ale tehnologiilor de reproducere consistentă a culorii;
- necesitatea calibrării periodice a echipamentelor de pe fluxul de reproducere;
- posibilitățile de descriere completă a unei imagini color și de conversie a parametrilor de definire a culorii între diferitele spații de culoare folosite de echipamentele de pe fluxul de producție;
- posibilitățile de software proofing și hardware (printing și press) proofing;
- performanțele modulelor de procesare a culorii incluse în sistemele de operare folosite de calculatoarele incluse în fluxul de reproducere;
- performanțele aplicațiilor software specializate în procesarea imaginilor color (Adobe Photoshop, Corel Studio, etc), care includ și componente software de color management folosite pentru crearea de profile.

Modalități de implementare

Sistemul de management al culorii poate fi implementat dependent sau independent de echipamentele și aplicațiile software care compun fluxul tehnologic de reproducere a culorilor.

De regulă, componentele unui sistem de management al culorii, constituite pe baza conceptelor fundamentale care-l definesc, sunt implementate integrat în sistemele de operare ale calculatoarelor, în interfețele de comunicare a acestora cu echipamentele periferice de procesare a culorilor (driver-e) și în aplicațiile software de editare a imaginilor color.

Pe platformele Windows, managementul de culoare este implementat prin integrarea modulului de culoare ColorMatch în sistemul de operare și în fiecare driver de echipament de intrare sau de ieșire, care face transformările de culoare de la spațiul de culoare dependent de echipament la spațiul de editare a culorilor sRGB, folosit de aplicațiile care rulează sub sistem de operare Windows, și invers. Acest mod de implementare al managementului de culoare este prietenos și ușor de utilizat deoarece nu necesită configurații la nivel de operator, dar calitatea culorilor obținute este totalmente dependentă de calitatea transformărilor de culoare

care sunt parte componentă a driverelor specifice echipamentelor implicate în procesul de reproducere a imaginilor color.

Platformele deschise, independente de echipamentele și programele implicate în procesul de reproducere a imaginilor color, folosesc pentru managementul culorii într-un flux digital de producție fie sistemul standard de management al culorii creat de ICC, fie sisteme compatibile ICC. ICC este consorțiul industrial care a definit standardul deschis de management al culorii format dintr-un modul de potrivire a culorii- CMM (Color Matching Module) la nivel de sistem de operare și profile de culoare pentru echipamente (profile ICC) și spațiu de lucru- PCS (Profile Connection Space). Potrivit standardului ICC, profilele de culoare specifice echipamentelor implicate într-un proces de reproducere a imaginilor color sunt părți componente ale formatelor de fișiere grafice de tip TIFF, JPEG, PDF etc.

O soluție de implementare flexibilă, folosită pentru asigurarea fidelității culorii, constă în adoptarea paradigmei *ceea ce vezi este ceea ce obții* pe care o oferă sistemul de management al culorii – WCMS (What Color Management System). Prin contrast cu managementul de culoare convențional, care urmărește, în principal, obținerea unei potriviri a culorilor plăcută omului (percepută corect de sistemul vizual uman), WCMS urmărește furnizarea unei potriviri vizuale bune de culoare pentru diferite tehnologii, diferite medii de reproducere și diferite condiții de vizualizare. Acest lucru are următoarele implicații majore:

- potrivirea vizuală a culorii (aproape colorimetric) pentru diferite tehnologii și medii de reproducere, precum și condiții de vizualizare multiple, lucru care implică utilizarea unui model de reprezentare a culorii;
- acceptarea unui domeniu foarte larg de erori potențiale pentru nuanțele și umbrele care cad în exteriorul gamei de culori (out- of- gamut), deoarece nu este posibilă aplicarea tehnicilor de mapare a gamelor de culori cu rezolvarea culorilor out- of- gamut, culorile individuale fiind chiar mai critice decât întreaga imagine.

În industria tipografică și publicistică, în sistemele distribuite bazate pe internet, în televiziune și în studiourile de film există soluții și opinii divergente cu privire la modul de implementare a sistemelor de management al culorii. Cele mai utilizate, în special în arta grafică, aplicațiile multimedia și industria tipografică sunt sistemele de management al culorii standard ICC și WWW.

Cel mai performant sistem de management de culoare se implementează la nivelul interfeței utilizator a sistemului de operare care cuprinde selecții de profile pentru echipamente (drivere de scannere, monitoare sau imprimante) și spațiu de lucru configurabile

în sistem. Acest lucru este consecința evoluției tehnologice și performanțelor obținute în proiectarea de software dedicat.

Analiza implementării actuale a managementului de culoare la nivel de sistem de operare, drivere și aplicații grafice arată că există încă confuzii între realizatorii sistemelor de operare, driverelor și aplicațiilor grafice folosite în procesul de reproducere digitală a imaginilor color.

Sistemul de management al culorii ICC

Sistemul de management al culorii definit de ICC oferă o interfață comună pentru transformarea datelor de culoare între diferitele echipamente și medii de reproducere, considerând arhitectura de management de culoare implicată prin specificațiile formatului de profil ICC și spațiul său de culoare de referință. Practic, ICC raportează caracteristicile de culoare pentru toate echipamentele de intrare și ieșire la o referință sa comună. În acest mod, cu prețul unor transformări individuale pentru fiecare tip de echipament, se crează posibilitatea integrării unor fluxuri de producție folosind diferite tipuri de echipamente, de la diferiți producători, care asigură reproducerea consistentă a imaginilor color. Adăugarea unui nou echipament sau a unui nou produs software într-un flux tehnologic de reproducere digitală a culorii existent, necesită numai legarea acestuia la referința comună.

Standardul ICC de management al culorii permite atât integrarea unor platforme standard de calculatoare, ca de exemplu Apple sau PC, cât și configurarea unor sisteme heterogene, formate din echipamente și programme de la diverși fabricanți, dimensionate în funcție de necesitățile afacerilor. ICC permite fabricanților și utilizatorilor echipamentelor și programelor din domeniul reproducerii color să ofere aceeași consistență și calitate a imaginii color pe care o obțin folosind sistemele închise, tradiționale, bucurându-se de avantajele arhitecturilor de sisteme deschise.

Obiectivul oricărui sistem de management al culorii este furnizarea unei modalități de control și comunicare a culorii în mod consistent de-a lungul unui sistem de producție constituit din componente provenite de la diverși fabricanți. Pentru unii utilizatori, asta presupune adaptarea echipamentelor de capturare a imaginilor (scannere, camere digitale, PhotoCD) astfel încât orice echipament să producă o reprezentare aproape identică a imaginii. Pentru alți utilizatori, presupune procesarea imaginilor color astfel încât să conducă la rezultate aproape identice pe echipamentele de ieșire (monitor, imprimantă sau printers, prese de tipărire, etc.). Obținerea acestor obiective implică rezolvarea următoarelor trei probleme:

- *calibrarea și caracterizarea echipamentelor de intrare* (scannere, camere digitale, PhotoCD) astfel încât datele color să poată fi interpretate într-un spațiu de culoare colorimetric, de referință;
- *calibrarea și caracterizarea echipamentelor de ieșire* (monitor, imprimantă, presă offset, etc.) astfel încât să poată fi generate semnalele care produc orice culoare din gama de culori a echipamentului respectiv;
- furnizarea unei *interfațe* convenabile *pentru configurarea și controlarea procesului*, alături de un mod eficient de procesare a imaginii color de-a lungul unui flux tehnologic, de la echipamentele de intrare la cele de ieșire.

Calibrarea echipamentelor reprezintă primul pas al procesului de reproducere a imaginilor color pentru că setează performanțele echipamentului pentru specificații de culoare cunoscute. După calibrare, caracterizarea echipamentului stabilește relația dintre semnalele trimise la echipament și culoarea produsă de acesta.

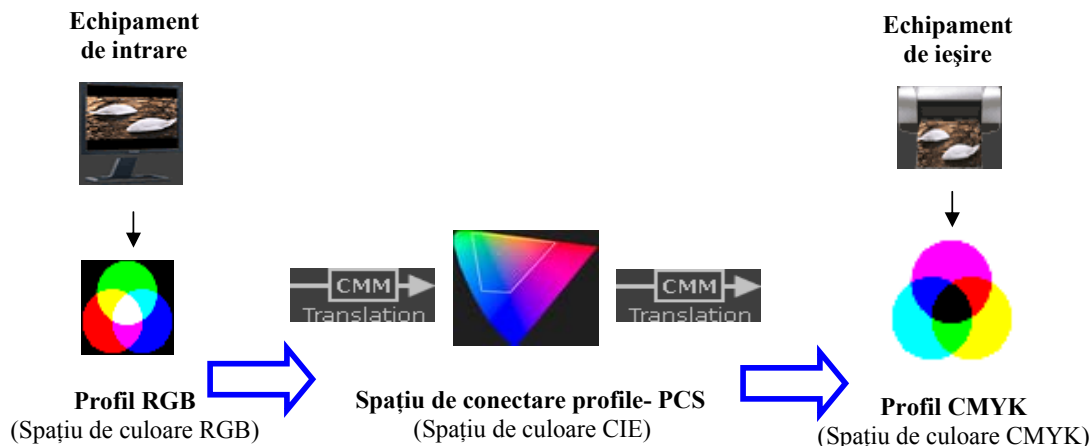
Arhitectura unui sistem de management al culorii ICC include patru elemente principale :

- *interfața management de culoare*, color management framework, care reprezintă extensia sistemului de operare al calculatorului cu rol de mecanism *conectează și expediază* ; practic, acesta activează aplicațiile grafice care rulează pe calculator să acceseze profilele și modulele CMM prin apelarea setului corespunzător de module plug- ins;
- *profilul* definește caracteristicile sau modelul unui echipament de procesare a culorilor, furnizând relația dintre datele de culoare produse de echipament și spațiul de culoare de referință;
- *modulul de procesare a culorilor –CMM* (**C**olor **M**atching **M**odule sau **C**olor **M**anagement **M**odule sau **C**olor **M**atching **M**ethod sau **C**olor **M**anipulation **M**odel) este motorul de transformare dintr-un spațiu de culoare în altul deoarece conectează împreună profilele echipamentelor de procesare a culorilor și efectuează transformările dintre spațiile de culoare aferente echipamentelor sursă și destinație; după caz, efectuează interpolările și corecțiile de culoare necesare;
- *programme de aplicație* care pot apela sistemul de operare pentru manipularea transformărilor de culoare cerute de utilizator.

Elementul cheie ale oricărui CMS este referința comună sau spațiul de culoare de referință, denumit generic spațiu de conectare a profilelor, abreviat în literatura de specialitate PCS (**P**rofile **C**onnection **S**pace), prin intermediul căruia se face conversia datelor de culoare

între echipamentele hardware (**Pofiles**) și modulele software de procesare a culorii (**CMM**) integrate în sistemele de operare sau în aplicațiile de editare a culorilor.

La modul general și simplist, dar foarte sugestiv, un flux de reproducere color cu CMS implementat se poate reprezenta grafic ca în figura următoare:



Profilul de culoare memorează valorile tristimulus RGB sau CMYK produse de un anumit echipament pentru culorile din imaginea care se procesează și le mapează la setul corespunzător de valori tristimulus din PCS. PCS este un spațiu de culoare independent de orice metodă de reproducere a culorii dependentă de echipament și din acest motiv, se folosește ca translator universal. În mod uzual, PCS folosit de ICC reprezintă toată gama de culori vizibile definită de Commission International de l'Eclairage (CIE). Regiunea trapezoidală redusă, desenată în interiorul PCS, reprezintă așa numitul spațiu de lucru folosit de programele de editare imagini (ca Photoshop sau CorelDraw) și definește setul de culori disponibile pentru lucru într-un proces de editare a oricărei imagini color. Fiecare pas dintr-un flux de reproducere color specifică culorile disponibile și definește un spațiu de culoare. Dacă un echipament are gama de culori reproductibile mai largă decât alt echipament de reproducere, anumite culori cad în exteriorul spațiului de culoare aferent celui alt echipament, sunt out- of- gammut. Modul CMM efectuează toate calculele necesare pentru a transla culorile dintr-un spațiu într- altul și face toate aproximațiile de culoare necesare pentru reprezentarea culorilor din exteriorul gamei de culori a unui echipament destinație.

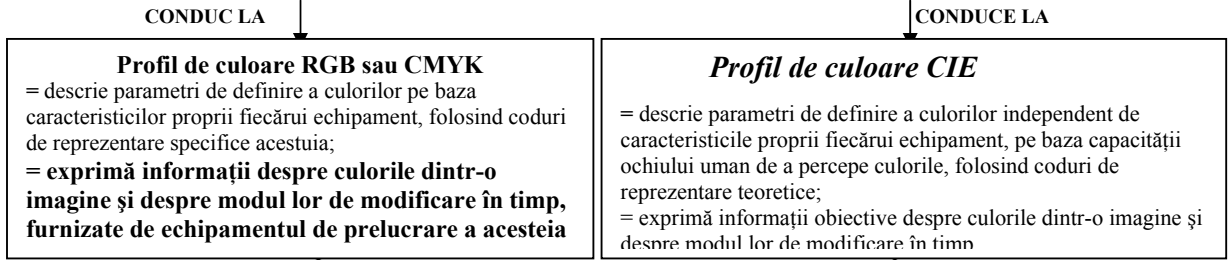
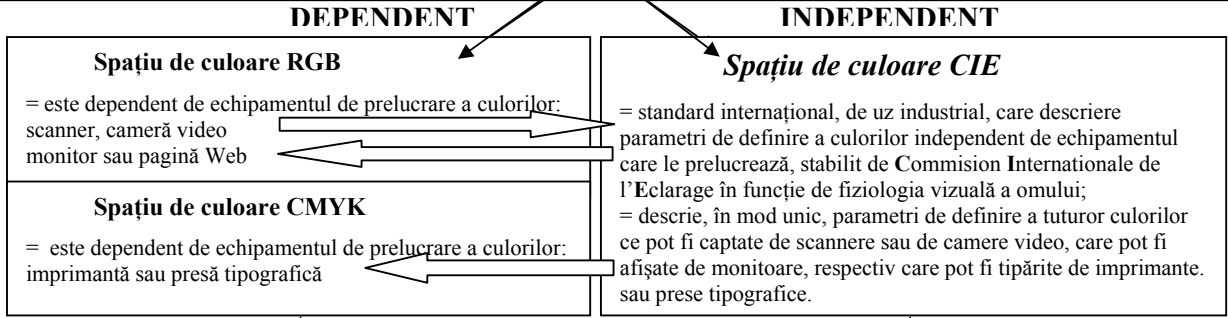
CMS definit de ICC, cu toate componentele sale și rolurile acestora în reproducerea digitală a imaginilor color este prezentat în fig. 1.

Sistem de Management al culorii- CMS (Color Management System)

= set de metode și proceduri de implementare a lor folosite pentru prelucrarea culorilor independent de variațiile parametrilor echipamentelor sau materialelor folosite pentru reproducerea imaginilor color (policromii);
 = permite integrarea de sisteme distribuite și deschise pentru reproducerea consistentă a imaginilor color (policromii) prin conversia descrierilor parametrilor de definire a culorilor dependente de echipamentul care le reproduce în descrieri independente de echipament și invers, de-a lungul fluxului tehnologic digital de reproducere.

FOLOSEȘTE

Spațiu de culoare
 = gama de culori vizibile descrise pe baza unui model matematic tridimensional de reprezentare a parametrilor de culoare



CONDUCE LA

Profil de culoare ICC

= set de echivalențe standardizate, generat de un program specific, între spațiile de culoare specifice echipamentelor de reproducere a acestora și spațiul standard de reprezentare a culorii (CIE), creat de International Color Consortium pentru fiecare echipament care procesează imagini color;
 = **tabele de echivalențe între codurile de reprezentare a culorilor în spațiul de culoare specific unui echipament de reproducere a imaginilor color (RGB sau CMYK), care exprimă modul propriu de definire și de transformare în timp a culorilor (determinate perceptual), și codurile de reprezentare a aceluiași culori în spațiul standard (CIE), independent de echipamentul de reproducere a imaginilor color (determinate colorimetric);**



Fig. 1

Spațiu de legătură a profilului (Profile Connection Space)-PCS

= referința comună, spațiul de culoare CIE independent de echipament, prin intermediul căreia se face conversia informațiilor despre culorile între echipamente hardware (Profile de culoare RGB sau CMYK) și module software (Color Matching Modules- CMM) dintr-un flux tehnologic digital de procesare a imaginilor color.

Profil de intrare: RGB → PCS;
 face toate transformările necesare pentru conversia definițiilor de culoare RGB sau CMYK, corespunzătoare întregii game de culori din imaginea de reprodus, în definiții de culoare PCS;

Profil de ieșire: PCS → CMYK sau RGB;
 a. **perceptual:** convertește definițiile de culoare PCS în definițiile de culoare RGB sau CMYK corespunzătoare acelei game de culori care face ca reproducerea, pe echipamentul de ieșire dat, să fie percepută ca fiind identică cu originalul;
 b. **colorimetric:** convertește definițiile de culoare PCS în definițiile de culoare RGB sau CMYK corespunzătoare gamei de culori specifică echipamentului de ieșire dat; În ambele cazuri realizează separația de culoare.

Spațiul de culoare de referință

Spațiul de culoare de referință este un spațiu de culoare bazat pe standardul CIE de reprezentare și măsurare a culorilor, prin intermediul căruia se corelează orice spațiu de culoare de intrare cu unul sau mai multe spații de culoare de ieșire. Definierea spațiului color de referință reprezintă cheia succesului pentru orice sistem de management de culoare care este mai eficient decât, în loc să furnizeze o conversie adhoc între orice combinație posibilă de echipamente de intrare și ieșire, definește un spațiu de culoare de referință care exprimă atât colorimetria mediului de referință, cât și condițiile de vizualizare pe care și le asumă aceasta.

Spațiul de culoare de referință se definește generic ca fiind *colorimetria CIE cerută de obținerea aspectului dorit al culorii pe un suport de afișare sau de imprimare cu reflexie ideală, văzut într-o cabină standard de vizualizare* (www.color.org). Acest lucru corespunde condițiilor de vizualizare ISO3664 P2, cu o reflectanță înconjurătoare de 20%, cu iliminare adaptată la cromaticitatea iluminantului D50 și nivel de iluminare de 500 lux.

PCS, specificat de ICC ca spațiu de culoare de referință pentru reproducerea digitală a culorilor, este spațiul de culoare CIEXYZ (la nivel hardware) sau CIEL*a*b (la nivel hardware), asociat cu o imprimantă de referință cu gama de culoare (color gamut) foarte largă.

În cazul interpretării perceptuale a culorii, mediul de referință se definește ca având gamă de culori largă și limite dinamice, approximate la limitele tehnologiei actuale de imprimare, știut fiind că spațiul de culoare substractiv CMYK folosit, în mod uzual, de echipamentele de imprimare, este cel mai restrâns spațiu de culoare dintr-un flux de producție color. Acest spațiu de culoare este definit cu punctul alb al substratului de reflectanță neutră 89% și culoarea cea mai întunecată imprimabilă de reflectanța neutră de 0,30911% (corespunzătoare unei limite dinamice de 287,9:1 și unei densități limită de 2,4593).

Interpretarea colorimetrică a culorii nu impune limite de gamă de culori și își asumă condiții de vizualizare ideale.

Generic vorbind, CMS nu salvează datele de culoare în format PCS, deși lucrul acesta este posibil. PCS operează ca un spațiu virtual în cadrul CMS, definind relația dintre diferitele spații de culoare astfel încât, pentru orice pereche de echipamente (spații de culoare asociate acestora) cu profile de culoare disponibile, se poate crea o transformare de culoare unică.

Profilul unui echipament, definit în condiții de vizualizare cu cromaticitate diferită de D50 (ca de exemplu profilul unui monitor sau unei imprimante), trebuie să includă :

- o transformare de adaptare cromatică, care să permită transferul între PCS și colorimetria specifică echipamentului prin intermediul CMM ; practic, profilul de

culoare specific unui echipament trebuie să asigure corelarea colorimetriei PCS cu schimbările de culoare cauzate de diferențele între condițiile de vizualizare asumate de PCS și cele în care a fost definit profilul respectiv care, de regulă, conduc la schimbări în culoarea și lumina percepute de sistemul vizual uman;

- strategii de reproducere preferențiale, ca de exemplu anumite tehnici de mapare a gamei de culori de la un echipament la altul.

Modul de definire a PCS presupune ca CMM să furnizeze o cale simplă de conectare a două sau mai multe profile și, acolo unde este necesar, interpolarea datelor și realizarea adaptării cromatice care se impune.

PCS, profilele de culoare și CMM determină o comportare implicită a unui sistem de reproducere digitală a imaginilor color care poate fi implementată la nivel de sistem de operare. Este posibil ca producătorii de CMM-uri să implementeze transformări mai complexe, dar comportarea implicită asigură ca profilele să fie operate din orice sistem de reproducere, indiferent de sistemul de operare sau CMM-ul folosit.

Profilul de culoare

Profilul de culoare se bazează pe caracteristicile proprii fiecărui echipament, pe relația dintre parametrii de culoare (o imagine originală sau scanată sau produsă de un echipament de ieșire sau de afișare) și codurile de reprezentare a culorii specifice echipamentului (care corespund imaginii color respective).

Profilele extrag informații de ordin colorimetric sau perceptual legate de culorile dintr-o imagine și modul de transformare în timp a acestora. Echipamentele care procesează culoarea pot fi scannere (RGB), camere digitale (RGB), monitoare (RGB) sau echipamente de tipărire (RGB/CMYK).

Generic vorbind, profilele de culore pot fi:

- profile de intrare (spațiu de culoare echipament către) care, în general, încearcă să mențină întreaga gamă de culori existente în imaginea de reprodus, făcând toate transformările necesare pentru a converti originalul în definiții de culoare PCS. Exemplul clasic este color transparency care trebuie văzut într-o cameră înunecată și care necesită contrast și ajustări de culoare pentru a fi transferat în spațiul PCS.
- profile de ieșire (PCS către device) cu cele două opțiuni:
 - perceptuale, care trebuie să exprime, în spațiul de culoare specific echipamentului de ieșire, gama și tonurile de culoare necesare pentru a realiza o reproducere identică cu original, așa cum sunt reflectate în PCS;

- colorimetrice, care trebuie să reproducă imaginea folosind culorile din gama de culori specifică a echipamentului de ieșire.

În ambele cazuri, profilele de ieșire trebuie să realizeze separația de culoare. Sursa de date și profilul de intrare pot fi folosite împreună cu un profil CMYK, pentru imprimare și cu un profil de ieșire Web RGB, pentru pagini web.

Profilul ICC face corelația între spațiul de culoare dependent de echipament (RGB sau CMYK) și PCS, în fond spațiul de culoare independent de echipament CIEYXZ (la nivel hardware) sau CIEL*a*b (la nivel software). Comparând valorile RGB furnizate de scanner/cameră video sau valorile CMYK obținute la tipărire, cu valorile măsurate colorimetric CIEXYZ sau CIEL*a*b dintr-o țintă de test (cu valori calibrate), pot fi stabilite profilele ICC pentru fiecare tip de echipament.

Funcția profilului ICC este de a furniza datele necesare pentru transformarea culorilor dintr-o imagine din date de culoare interpretabile de un echipament (sursă) în date de culoare interpretabile de către alt echipament (destinație). Pentru asta, se folosește un spațiu de culoare de referință, ca mediu intermediar de comunicare între profile. Un exemplu simlificat este profilul care conține informații pentru convertirea datelor de culoare de la caracteristicile specifice scannerului la spațiul de culoare de referință, astfel încât profilul imprimantei să poată converti culorile de aici în caracteristicile de culoare proprii. Spațiul de culoare de referință definit de ICC ca PCS este fie CIEXYZ, fie CIEL*a*b.

Conversiile necesare pentru exemplul dat sunt următoarele:

<i>Profilul scannerului (RGB) furnizează conversia de la</i>	scannerul RGB	→	PCS
<i>Profilul imprimantei (CMYK) furnizează conversia de la</i>	PCS	→	imprimanta CMYK

Profilul de culoare poate fi chiar mai puternic. Presupunând că producătorul de imagine dorește să utilizeze un monitor CRT pentru a previzualiza, într-o imagine, efectele profilului imprimantei înainte de a o tipări, profilul imprimantei poate conține informația care realizează asta într-un alt set de date. Deoarece datele de culoare vor trece către o imprimantă CMYK, vor fi afișate pe monitor numai culorile din gama de culori CMYK.

<i>Profilul scannerului (RGB) furnizează conversia de la</i>	scannerul RGB	→	PCS
<i>Profilul imprimantei (CMYK) furnizează conversia de la</i>	PCS	→	imprimanta CMYK → PCS
<i>Profilul monitorului (RGB) furnizează conversia de la</i>	PCS	→	monitor RGB

Deoarece gama de culori a imprimantei este, de regulă, mult mai îngustă decât gama de culori a scannerului, profilul imprimantei poate cuprinde date care permit identificarea culorilor out- of- gamut care sunt transferate către CMM- ul utilizat, pentru adaptarea cromatică.

În mod frecvent, profilele color trebuie să includă informații care permit conversia datelor de culoare din PCS înapoi la echipamentul color. Această conversie reprezintă, în fond, o transformare inversă, care trebuie conținută de majoritatea profilelor color.

Profilele ICC pot fi folosite în orice flux de reproducere color, fiind în mod uzual necesare pentru efectuarea conversiilor de culoare între diferite echipamente de creare, vizualizare sau tipărire imagini color, pentru menținerea unui anumit nivel de color management.

Tipurile de profile ICC utilizate de CMS sunt definite de specificațiile folosite în managementul de culoare și de rolul lor în procesul de reproducere digitală a imaginilor color.

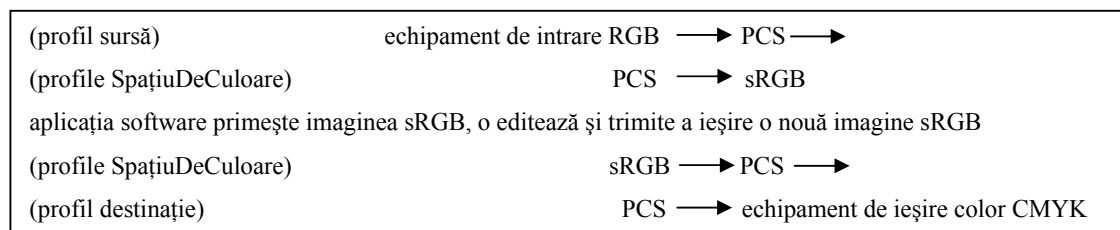
În funcție de locul unde sunt identificate pe fluxul de reproducere digitală a imaginilor color, profilele ICC pot fi:

- profile ICC de intrare, create pentru echipamentele sursă de imagini color (scannere, cameră video, etc.);
- profile de ieșire, create pentru echipamentele destinație a imaginilor color, care, la rândul lor, pot fi:
 - de afișare (pentru monitoare de calculator sau ecrane de televizor) ;
 - de tipărire (pentru imprimante, prese offset etc.).

În funcție de rolul lor în procesul de reproducere a imaginilor color, CMM definit de ICC poate folosi anumite tipuri de profile identificate după alte criterii, ca de exemplu următoarele tipuri de profile de culoare :

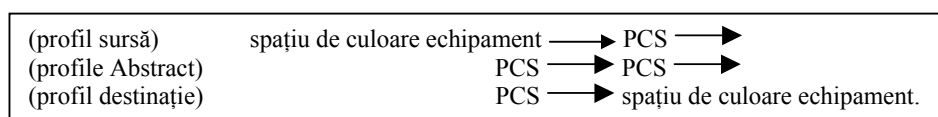
- SpațiuDeCuloare ;
- EchipamentDeLegătură (Device Link);
- Abstract ;
- NumeCuloare.

Profilul *SpațiuDeCuloare* convertește datele de la un spațiu de culoare la PCS. În mod uzual, împreună cu profilul *SpațiuDeCuloare* se folosește un alt profil pentru a primi datele de la un alt spațiu de culoare definit pentru memorare, transport sau către un echipament de ieșire. Spre exemplu dacă se recepționează o imagine în spațiul de culoare RGB și aplicația software dorește să manipuleze imaginea în spațiul de culoare sRGB, se poate realiza următorul set de profile *SpațiuDeCuloare*:



Profilul *EchipamentDeLegătură* este combinația transformărilor a două sau mai multe profile. Un asemenea profil poate fi creat odată și utilizat pentru mai multe imagini în același flux de lucru. Ca mod de operare, anumite CMS creează profilul *EchipamentDeLegătură* din zbor, îl folosesc odată, după care îl distrug. Alte CMS salvează acest profil de creare a legăturii între echipamente, îl memorează și îl folosesc de câte ori este nevoie, salvând astfel timp de procesare. Odată creat, un profil *EchipamentDeLegătură* nu mai poate fi legat, ulterior, la alt profil. Exemplul anterior poate implica două profile *EchipamentDeLegătură*, primul combinația profilului sursă cu profilul *SpațiuDeCuloare* și al doilea combinația dintre profilul *SpațiuDeCuloare* și profilul destinație.

Interesant, dar puțin utilizat, este profilul *Abstract* care furnizează un mod de a edita artistic o imagine. Profilul *Abstract* poate însoți o imagine, după profilul echipamentului sursă, pentru a produce efecte de editare înainte de tipărirea acesteia. Aceste efecte pot fi incorporate chiar în imaginea însăși, dar furnizarea profilului *Abstract* permite mai multă flexibilitate. De exemplu, dacă imaginea sursă se dorește la ieșire odată intactă, iar alteleori cu o interpretare artistică unică (efecte luminoase asupra întregii imagini), efectele speciale pot fi capturate într-un profil *Abstract* care se inserează între profilele sursă și destinație, pentru a realiza transformările solicitate. Profilul *Abstract* este definit de ICC să stea în PCS, rezultând astfel un set de transformări de tipul:



Profilul *NumeCuloare* permite asignarea culorilor dintr-un sistem de culori de referință la culorile spectrului vizibil identificate prin nume și la seturile de valori de culoare CIE. Practic, prin acest profil, fiecărei culori dintr-un sistem de culori de referință i se asociază un nume, de obicei numele atribuit culorii respective de om, și un set de valori tristimulus CIE.

Utilizarea profilelor ICC este necesară ori de câte ori utilizatorul selectează o opțiune care solicită o transformare de culoare, caz în care se adresează profilul ICC și CMM-ul implicat, prin intermediul sistemului de operare. Dacă o aplicație de editare a imaginilor color suportă un management de culoare, documentația acesteia specifică modul de identificare a profilului la care sau prin care utilizatorul poate gestiona datele de culoare. În mod normal, aplicația furnizează o listă cu profilele disponibile. Spre exemplu, dacă se dorește afișarea (pe monitor) unei tipărituri scanate, se selectează profilul care descrie tipul și configurațiile scanner-ului, precum și tipul mediului scanat, apoi se selectează profilul care descrie tipul și

setările monitorului. Aplicația grafică care primește aceste informații, poate procesa datele din profile pentru a obține cea mai bună interpretare posibilă a originalului pe monitor.

De regulă, formatele standard de fișiere grafice permit încapsularea profilelor de echipament, împreună cu imaginea procesată (EPS, TIFF, JFIF GIF etc.). Anexele la specificațiile ICC indică utilizatorului modul cum se accesează sau se adaugă aceste informații în formatele de fișiere grafice, la recepția sau transmisia imaginilor color într-un flux tehnologic de reproducere. Aplicația care suportă management de culoare va extrage și va folosi profilele încapsulate, dacă acestea există. Captarea, afișarea sau tipărirea unei imagini se fac după același scenariu. Se selectează profilul echipamentului care produce datele de culoare (poate un scanner, monitor color sau cameră digitală) și profilul pentru imprimantă și mediul de imprimare.

Dacă profilul unui echipament nu exprimă mediul de reproducere folosit sau condițiile de vizualizare sub care au fost create, vizualizate sau tipărite datele, apar diferențe maim mari saum mai mici de reprezentare a culorilor. Chiar dacă utilizatorul folosește profilul corect, echipamentul de reproducere trebuie calibrat în fluxul de producție și aceste informații de calibrare trebuie reflectate în profilul ales pentru echipament.

Unele aplicații furnizează implicit posibilitatea de calibrare a monitorului, ca fiind cea mai comună. Pentru aceasta, fie se folosește, prin software, țintă de test color (hard copy) pentru a vizualiza mai multe culori pe monitor, fie se folosește un colorimetru pentru a măsura culorile și a le converti într-un spațiu de culoare cunoscut. Rezultatul măsurătorilor poate fie să creeze un profil nou, fie să-l actualizezue pe cel existent exprimând condițiile curente de exploatare a echipamentului.

Monitorul de calculator necesită calibrare regulată, chiar dacă condițiile de vizualizare sunt păstrate constant, deoarece variațiile de temperatură determină variații ale parametrilor fizici ai echipamentului.

Calibrarea scannerului este furnizată de unele aplicații software. Se folosesc în mod normal anumite ținte cunoscute de culoare și date pe scara de gri care pot fi scanate de utilizator pentru ca software-ul să rectifice profilul. Odată cu calibrarea, se crează un nou profil care conține datele actualizate din profilul original.

Calibrarea imprimantei este mult mai dificilă, iar aplicațiile software care să facă asta nu sunt chiar așa de accesibile pentru utilizatorul de rând.

Unii fabricanți oferă aplicații software foarte sofisticate pentru calibrare și creare de profile, inclusiv profile de imprimante. Majoritatea aplicațiilor software oferă posibilitatea de creare sau actualizare profile pentru monitoare și scanner, mai puțin însă pentru imprimante.

Aceste aplicații crează profilul de culoare al echipamentului fără ca utilizatorul să aibă nevoie de cunoștințe despre cum se manipulează datele de culoare pentru realizarea conversiilor de culoare care trebuie incluse în profile. Aplicațiile manipulează toate transformările necesare.

Profilul de ieșire CMYK conține condițiile de tipărire de referință, dar un set complet de condiții de tipărire de referință nu e încă disponibil. Singurele specificații de tipărire standard care există, sunt Specification for Web Offset Publication (SWOP) și Specifications for NonHeat Advertising Printing (SNAP) în PrePress. Parametrii de caracterizare pentru SWOP stabilesc relația dintre spațiul de culoare CMYK și spațiul standard de culoare CIE L*a*b. Utilizarea acestui profil de referință CMYK permite ca o imagini color create folosind profile ICC de la diferiți furnizori, să poată fi listate împreună.

Pentru aplicațiile complexe de reproducere a imaginilor color ar fi utilă folosirea unui profil de ieșire bazat pe condiții de tipărire de referință, dezvoltat la nivel industrial.

Modulul de procesare a culorii

Modulul de procesare a culorii- CMM (Color Matching modules) este modulul software care face legătura între profile ICC specifice echipamentelor de pe fluxul de reproducere, pentru transferarea datelor de culoare de la un tip de echipament la altul (device-to-device color transformations). Aceste profile transferă datele, prin intermediul valorilor CIE, în spațiul de culoare specific fiecărui echipament (ca de exemplu RGB pentru scannere, CMYK pentru imagesettere, etc).

Folosind CMM-urile, culoarea poate fi transportată către orice echipament, indiferent de spațiul de culoare utilizat de acesta. Există două posibilități de lucru:

- activarea tuturor CMM-urilor aferente echipamentelor de pe fluxul de producție, pentru procesarea serială a perechilor de profile, în cazul aplicațiilor grafice complexe, lucru care sporește timpul de procesare;
- concatenarea profilelor aferente tuturor echipamentelor de intrare și ieșire de pe fluxul de reproducere a imaginilor color înainte procesării formând așa numitul Device-ink profile și folosirea acestui profil unic în locul profilelor individuale, pentru a reduce timpul de procesare; acest profil unic variază în funcție de varietatea CMM-urilor .

Diferite CMM pot produce, ca rezultat, culori diferite. Sistemul de operare al calculatorului include un modul CMM implicit și permite producătorilor să modifice sau să extindă funcționalitatea acestui CMM cu propriile plug- ins-uri. Spre exemplu, modulul de culoare integrat în sistemul de operare Apple este denumit ColorSync, iar cel integrat în sistemul de operare Windows se cheamă ColorMarching.

CMM-urile oferă și posibilități de editare a culorii pe flux dar, în general, se pot obține culori rezonabile cu minimul de efort, deoarece corecțiile de culoare se fac automat. Pentru exprimarea subiectivă și artistică a culorii, CMM-urile includ însă tehnici de personalizare a culorii, prin editare, în vederea reproducerii de tonuri și corecții de culoare specifice.

Profilul de culoare al calculatorului

Profilul de culoare al calculatorului- CCP (Computer Color Profile) definește specificațiile de culoare proprii, modul specific în care calculatorul procesează culoarea. Fiecare calculator trebuie să aibă un profil specific, care să descrie, corect și complet, culorile generate pe acesta.

Pentru a distribui, prin rețea sau via internet, imaginile color create într-un calculator, profilul de culoare specific acestuia trebuie împachetat (EMBED) în imaginea grafică și distribuit împreună cu aceasta. Web browser –ul trebuie să fie capabil să transporte imaginea grafică, împreună cu profilul de culoare utilizat la crearea sa, și trebuie să recunoască toate formatele de fișiere grafice care circulă în rețea. Actual, există formate de fișiere grafice care nu sunt complet compatibile și care, din acest motiv, se distribuie în rețea cu anumite limitări, pentru că, deocamdată, web browser-ul nu poate corecta culoarea care se vede pe web.

Necesitatea de a distribui, prin internet, imagini complet color, impune ca fiecare proiectant să aibă pe calculatorul său un CMS și fiecare aplicație software grafică, ca de exemplu Adobe Photoshop sau Corel Studio, să poată încapsula profilul de culoare utilizat în imaginea grafică destinată web.

Vizitatorii paginilor web sau operatorii echipamentelor de tipărire care primesc fișierul cu imaginea color de reprodus via internet, trebuie să poată folosi profilele încapsulate cu imaginea grafică pentru a putea vedea și reproduce o imagine grafică identică cu cea creată de designer. Trebuie să poată descărca din rețea, în timpul cel mai scurt posibil, aplicația software care le permite să vadă culoarea corectă în imaginea descărcată de pe web.

Soluția este să se creeze toate imaginile și graficele care se transportă via internet pe calculatoare care generează cea mai bună culoare: au gamma corectată complet și respectă toate standardele de culoare și deci, de compatibilitate.

Tipuri de CMS

Tipurile sau categoriile de CMS sunt stabilite în funcție de tipurile de fluxuri de reproducere a culorii folosite astăzi în industria artei grafice și în mass media, inclusiv în industria tipografică și publicistică. Aceste fluxuri de reproducere depind, la rândul lor, de posibilitățile firmelor din domeniu de a achiziționa și utiliza echipamentele și produsele software specializate oferite de producători și de necesitatea acestor firme de a comunica între ele pentru realizarea unei reproduceri color de calitate.

CMS bazat pe standardele ICC, este cel mai des întâlnit, fiind utilizat pentru:

- importarea parametrilor de culoare de la echipamentele de intrare, care lucrează în spațiul de culoare RGB (scannere, camere digitale sau alte surse de imagini color) și conversia acestora în spațiile de culoare specifice echipamentelor de ieșire, care pot fi RGB, pentru dispozitivele de afișare, sau CMYK, pentru echipamentele de tipărire ;
- parametrii de culoare obținuți trebuie să respecte atât condițiile de afișare și de tipărire dintr-un atelier local, cât și condițiile standard utilizate la nivel industrial; pentru că prelucrarea (editarea și corectarea) informațiilor despre culoare se face numai în spațiul de culoare al echipamentului destinație (RGB sau CMYK), nu este necesar ca transferul acestora între diferitele echipamente din fluxul de reproducere să fie însoțit de informații despre CMS-ul aferent echipamentului respectiv;
- oferă posibilitatea de emulare, de către echipamentele de proofing, a condițiilor de reproducere cerute, nivel la care CMM-ul este parte a echipamentului de proofing ;
- permite schimbul de informații despre culoare între diferitele tipuri de aplicații sau echipamente de procesare a culorii care lucrează în diferite spații de culoare.

CMS utilizat într-un atelier de tipărire particular, individual, are următoarele particularități:

- toate operațiile impuse de reproducerea unei imagini color se efectuează în interiorul acestui atelier, tot ceea ce se lucrează în interiorul atelierului fiind color-managed;
- datele de intrare sunt preluate însoțite de profilul de intrare potrivit și pot fi editate, asamblate și corectate din punct de vedere color într- un spațiu de culoare individual, care îi convine furnizorului de CMS;
- imaginea de tipărit este convertită în spațiul de culoare specific aplicației pentru care este destinată ;
- nu oferă avantajele importului de imagini color de la surse din exteriorul atelierului sau tipăririi în exteriorul acestui atelier;

- oferă avantaje, ca de exemplu productivitate ridicată, numai în interiorul atelierului respectiv, dacă toate componentele fluxului de producție sunt furnizate de același producător;
- editarea și asamblarea imaginilor color se face, în mod ideal, în spațiul lor nativ de culoare sau într-un spațiu de culoare intermediar, folosit de programele de editare și asamblare utilizate;
- oferă avantajul prezervării imaginilor color, transformările în spații de culoare intermediare pot produce pierderi și, în cazul în care nu se obține calitatea așteptată, se pot face alte prelucrări asupra acestora;
- folosind un spațiu de lucru închis, izolat, oferă posibilitatea unor soluții unice de reproducere a culorii.

CMS utilizat la nivel industrial prezintă următoarele caracteristici:

- componentele fluxului de producție sunt provenite de la mai mulți furnizori;
- realizarea unei lucrări de reproducere implică mai multe organizații;
- datele sursă, imaginile color provenite de la scannere, monitoare, surse de date CMYK, sunt însoțite de profilele de intrare și ieșire care vor fi folosite pentru editare, asamblare, corectie de culoare și schimb de date; aceste date pot fi convertite temporar în spațiul de culoare CMYK, pentru proofing și tipărire ;
- acest flux de producție conservă complet datele și minimizează orice pierdere de date în conversia către spațiul de culoare CMYK, cel mai îngust spațiu de culoare;
- materialele publicitare pot fi pregătite în diferite locuri, folosind profilele de intrare și ieșire specifice echipamentelor de procesare și făcând referire la condițiile de tipărire solicitate; pentru probele de culoare, fiecare loc de prelucrare procesează o imagine în spațiul de culoare CMYK utilizând CMS propriu și cere aprobarea clientului legată de consistența acesteia; apoi, datele însoțite de profilele de intrare și ieșire, sunt trimise editorului pentru editare după care, din nou se cere aprobarea clientului; acestea sunt asamblate apoi, împreună cu profilele de culoare folosite, obținându-se datele CMYK pentru film sau placi tipografice; editorul ajustează datele de culoare pentru un anumit proces de tipărire (imprimantă, presă tipografică, etc.);
- necesită compatibilitate și interoperativitate maxime;
- e soluția cea mai bună pentru CMS și pentru producătorii de CMS;
- în mediu tipografic și publicistic industrial, compatibilitatea CMM este absolut necesară fiind impusă de necesitatea editării de date (imagini color) și modificării de profile pentru obținerea rezultatelor dorite oriunde în proces;

- în mediu tipografic și publicistic industrial, compatibilitatea definirii PCS-urilor este deasemenea importantă, orice incompatibilitate în definirea PCS reflectându-se în creșterea timpului consumat cu probele de culoare necesare pentru obținerea calității dorite și în cererea repetată a aprobărilor clientului;
- toate profilele necesare se trimit cu datele, însoțesc deci imaginea color care se reproduce pe flux ; prin urmare, toate trebuie să aibă licență open, să poată fi utilizate cel puțin pentru afișare și listare.

E greu probabil ca toate elementele de pe fluxul de reproducere color, toate echipamentele, programele și toate modulele CMM, să fie furnizate de același producător. Programele de editare, profilele specifice echipamentelor, modulele de color management, etc sunt provenite, de regulă, din diverse surse. Ele trebuie să fie compatibile și să asigure consistența și predictibilitatea imaginilor color reproduse.

Avantajele utilizării CMS

Utilizarea unui CMS oferă specialiștilor în domeniu și clienților acestora, avantajul major de flexibilitate în integrarea sistemelor de reproducere a culorii dat de posibilitatea de a folosi echipamente și programe de procesare de la diferiți fabricanți. CMS permite începerea unei lucrări tipografice pe un tip de echipamente, continuarea procesării ei în alt loc, folosind alt tip de echipamente și transmiterea ei, via internet, la un atelier dotat cu anumite tipuri de echipamente de tipărire, pentru listare. Și asta pentru că, echipamentele de captare a imaginilor color, scannere și camere video/foto digitale, și programele de procesare a acestora, au ajuns accesibile tuturor celor care au acces la un calculator personal și un minim de cunoștințe despre culoare, în timp ce echipamentele de tipărire, presele digitale color, imagesetterele și imprimantele performante, sunt încă prea scumpe pentru publicul larg.

Deși depind de tipul de CMS folosit, principalele avantaje ale utilizării managementului de culoare în industria artei grafice, mass- media și industria tipografică și publicistică sunt :

- reproducerea optimă a culorilor;
- creșterea calității produselor color;
- sporirea satisfacției clienților;
- reducerea costurilor prin reducerea probelor de culoare și a rebuturilor;
- creșterea productivității ;
- sporirea profitabilității.

Utilizarea unor CMS compatibile de către toți producătorii de echipamente și programe specializate în procesarea culorilor, a condus la reducerea prețului tipăriturilor.

Avantajul oferit de utilizarea CMS constă, în esență, în creșterea eficienței economice în industria artei grafice, mass- media și în industria tipografică și publicistică pentru că, prin asigurarea calității produselor color și reducerea probelor de culoare:

- se reduc costurile materiilor prime și materialelor folosite;
- se reduce timpul de procesare, crescând astfel productivitatea ;
- scade prețul de cost pe unitatea de produs;
- crește volumul lucrărilor efectuate și deci profitabilitatea acestui tip de activități, etc.

Lumea devine din ce în ce mai complicată și prin urmare soluțiile, în toate domeniile de activitate, inclusiv în mass- media și în industria tipografică și publicistică, care comunică cu toate acestea, trebuie să fie din ce în ce mai simple.

La nivel tehnic, culoarea trebuie să fie corectă și precisă, atât cât permite tehnologia actuală și să respecte regulile opticii. Culoarea trebuie să poată fi transportată și transferată între echipamentele și programele care o procesează în vederea realizării unor reproduceri de imagini color identice, pe cât posibil cu originalele: imagini din natură, fotografii, creații ale unor artiști plastici, etc.

International Color Consortium (ICC) a luat ființă în 1993 pentru a crea un sistem de management al culorii (CMS) standardizat (ICC) utilizabil pe majoritatea calculatoarelor, echipamentelor periferice de reproducere a imaginilor color și programelor dedicate de artă grafică integrate în fluxuri de producție distribuite. Sintetizând, acest sistem implică trei concepte cheie: profil de culoare, spațiu de culoare și transfer între spațiile de culoare. Un spațiu de culoare asociază numere la culorile actuale și conține toate combinațiile color realizabile tehnologic. La încercarea de reproducere a culorii captate de un echipament pe un alt echipament, spațiile de culoare arată dacă echipamentul destinație poate reda toate detaliile de saturație culorii, de umbră și lumină reprezentate de echipamentul sursă, permițând evaluarea din start nivelului de alterare a imaginii color în timpul transferului pe fluxul tehnologic de reproducere.

În mod uzual, un flux de reproducere a imaginilor color începe cu un echipament de captare, se termină cu un echipament de tipărire și cuprinde un echipament de afișare între ele. Există multe fluxuri de reproducere a imaginilor color dar, în general, orice echipament care

încearcă să reproducă culoarea provenită de la un alt echipament trebuie să beneficeze de o formă de management de culoare.

CMS definit de ICC s-a impus ca standard în domeniul reproducerii imaginilor color acceptat la nivel industrial global deoarece a definit cea mai eficientă arhitectură de management de culoare care permite comunicarea consistentă a culorilor percepute de sistemul vizual uman între diferitele tipuri de echipamente, aplicații și sisteme de operare disponibile, atât la momentul actual de timp, cât și în viitor (neproiectate încă).

Experiența în domeniul reproducerii tehnologice a imaginilor color a condus, inevitabil, la următoarele concluzii:

- CMS definit de ICC reprezintă ce mai bună cale de comunicare între cel care trimite și cel care primește informații despre culoare, întrucât reproducerea unei imagini color impune transferul informațiilor despre culoare pe fluxul de reproducere; dispozitivul de captare a imaginii color de reprodus trebuie să transfere pe flux toate informațiile posibile despre culoare, fără restricții, în timp ce dispozitivul de tipărire a acestuia trebuie să producă cea mai bună reproducere posibilă a imaginii originale, cu constrângerile impuse de tehnologie; în acest mod, se asigură necesitățile pentru mass-media, inclusiv pentru industria tipografică și publicistică;

- arhitectura ICC, standardele de schimb de date și furnizorii de produse hardware și software dintr-un flux digital de reproducere folosesc, la nivel industrial, un proces de captare și afișare a imaginilor color care suportă sRGB sau AdobeWideRGB și un proces de tipărire /imprimare în patru culori CMYK, care suportă IndustryWide, Multi-vendor, Interoperable Color-Managed Workflow, etc.
- CMYK, cel mai utilizat spațiu de culoare utilizat pentru schimbul de date color în vederea tipăririi/ imprimării, folosește fie CMS definit de ICC, fie soluția unui flux de producție cu propriul CMS;
- în reproducerea consistentă și predictibilă a imaginilor color este importantă obținerea unui set de condiții de reproducere (captare/ afișare/ editare / tipărire) de referință utilizabile la nivel industrial și folosirea unui tip de CMS pentru a transforma datele de culoare de intrare în datele de culoare de ieșire necesare.

Arhitectura ICC va fi extinsă pentru a cuprinde fluxuri de lucru color suplimentare și specificații minime necesare pentru sporirea interoperativității. CMS oferă tuturor celor implicați într-un proces de reproducere digitală a culorilor, posibilitatea utilizării aplicațiilor dedicate care rulează pe platforme hardware diferite, sub sisteme de operare diferite, prin asigurarea compatibilității de-a lungul întregului flux de lucru. Oferă profesioniștilor în

design, artă grafică și procesare de imagini posibilitatea obținerii unor culori consistente de la diferite intrări la diferite ieșiri, productivitate sporită și accesul la un flux de lucru distribuit, format din sisteme deschise, cu arhitectură modulară și extensibilă. Creează posibilitatea utilizării tehnologiilor moderne de comunicație și multimedia pentru procesarea unor imagini color complexe de calitate ridicată care pot fi distribuite către publicul larg on- line sau în format tipărit. Oferă consumatorilor fotografie digitală de calitate, editare personalizată și comerț electronic.