

EVALUAREA MODIFICĂRILOR DE CULOARE

Culoarea este o senzație percepută ca rezultat al acțiunii luminii de diferite lungimi de undă asupra ochiului. Alături de proprietățile fizice, chimice și mecanice ale materialului textil, culoarea definește valoarea de utilizare a materialului textil atât din punct de vedere al producătorilor și beneficiarilor. Culoarea reprezintă o caracteristică fundamentală a unui material textil, a cărei pondere în aprecierea lui globală este de multe ori de cea mai mare importanță. În acest context, s-a încercat mereu o apreciere obiectivă culorii, trecerea de la aspectele calitative ale descrierii unei culori la evaluări de ordin cantitativ, precis. În plus, culoarea în textile s-a adaptat la noile cerințe impuse de tehnica de vârf, când numeroase faze ale proceselor de obținere de textile colorate – vopsire și imprimare – sunt conduse prin sisteme computerizate. În primul domeniu cele mai importante realizări sunt legate de tehnicile instrumentale de măsurare a culorii și de stabilire a compoziției băilor de vopsire ce produc o anumită culoare. În ceea ce privește imprimarea, tehnica digitală a preluat majoritatea fazelor premergătoare imprimării propriu-zise, și, prin intermediul imprimării cu jet de coloranți, tinde să controleze în totalitatea procesul de imprimare textilă. În acest context, măsurarea culorii, care are în vedere suma tehnicilor de reproducere a unei culori, reprezintă un laborios și costisitor proces, ce constituie de multă vreme o problemă pentru industria imprimării pe hârtie și industria filmului și care a început să devină o problemă și pentru domeniul textil.

III.1. Fundamentele culorii

Senzația de culoare este determinată de acțiunea luminii asupra ochiului omenesc. Între lumină și culoare există o strânsă legătură, în sensul că oricărei radiații luminoase îi corespunde și o senzație de culoare. Numai radiațiile din spectrul vizibil produc senzația de culoare. Pe scara undelor electromagnetice spectru vizibil este delimitat de valorile 380 - 780 nm (nm), la stânga acestei zone situându-se radiațiile ultraviolete, iar la dreapta cele infraroșii.

Lumina albă (spectrul vizibil) poate fi descompusă în grupe de radiații care apar ochiului colorate. Fiecare radiație din spectru vizibil, având o anumită lungime de undă, corespunde unei culori spectrale, de exemplu:

violet	400 - 430 nm
albastru	430 - 485 nm
verde	485 - 575 nm
galben	575 - 585 nm
portocaliu	585 - 610 nm
roșu	610 - 750 nm

O radiație care corespunde unei lungimi de undă determinate se numește monocromatică.

Factorii care contribuie la formarea culorii sunt:

- distribuția energiei în iluminarea sub care culoarea este percepută;
- modul în care obiectul colorat modifică această distribuție;
- mecanismul de transformare a acestei iluminări, transpuse în culoare de către ochiul normal.

Sursa de lumină sau **iluminanții** reprezintă corpurile care emit lumină prin natura lor. Pentru definirea și măsurarea culorii se folosesc iluminanți standardizați dintre care cei mai importanți sunt:

- *iluminantul standard A* este desemnat ca reprezentativ pentru iluminarea artificială din interior și este obținut de lămpile cu filament de wolfram în gaz inert. Acesta posedă o culoare relativ gălbuie având putere scăzută în domeniul albastru al spectrului vizibil și putere mai mare pentru lungimile de undă din domeniul roșu;
- *iluminantul standard B* reprezintă lumina zilei în condiții însorite;
- *iluminantul C*, corespunzător luminii diurne medii a zilei;

- *iluminantul D*, notat cu D65, este un iluminant standard des folosit și reprezintă o bună aproximare a luminii diurne luând în considerație variația luminii de dimineață în zori până seara târziu, variația luminii de la un cer albastru până la unul complet acoperit precum și variația de latitudine.

Energia luminoasă primită de obiect pentru o lungime de undă dată se notează cu $E(\lambda)$.

Corpul colorat modifică lumina pe care o primește printr-un proces de absorbție selectivă. În ceea ce privește culoarea, nu interesează lumina absorbită, ci cea emisă, sau lăsată de corpul colorat să treacă, lucru notabil și pentru materialele textile, considerate drept corpuri opace. De exemplu un material textil apare roșu dacă absoarbe toate radiațiile spectrului vizibil și le remite numai pe cele roșii.

Gradul de remisie este raportul dintre fluxul luminos remis ($R(\lambda)$) și cel primit ($E(\lambda)$) la o lungime de undă dată și se exprimă printr-o fracție zecimală, cu valori între 0 și 1, sau în procente. Dacă gradul de remisie este egal cu zero, corpul colorat este negru, iar dacă valoarea gradului de remisie este egală cu unitatea, corpul colorat este alb.

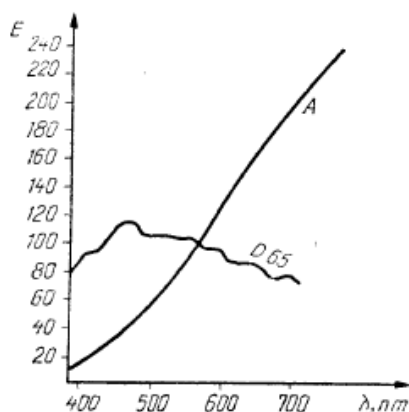


Fig.6.1. Distribuția energiei spectrale pentru doi iluminanți

Ochiul omenesc prezintă în retină mai multe tipuri de celule, dintre care bastonașele intervin la iluminări de mică intensitate și nu contribuie la senzația de culoare, pe când conurile intră în acțiune atunci când ochiul distinge culorile.

În concordanță cu concepția a trei mecanisme de recepție diferite, sunt definite trei funcții $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ care reprezintă curbele de distribuție spectrală pentru un ochi cu vedere normală, în sistemul CIE (Comission Internationale de l'Eclairage).

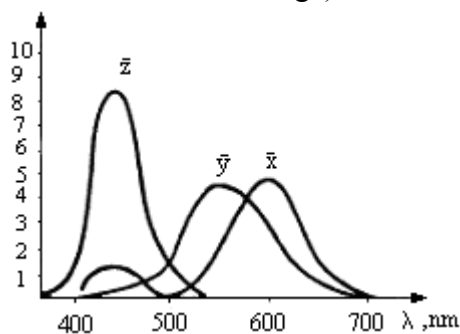


Fig.6.2. Curbe de distribuție spectrală normale în sistemul CIE

În figura 6.2 sunt redată cele trei curbe din care se observă că funcția $\bar{z}(\lambda)$ corespunde centrului de recepție excitabil la lumina albastră, funcția $\bar{y}(\lambda)$ - centrului de excitabil la lumina verde, iar funcția $\bar{x}(\lambda)$ - celui excitabil la lumina roșie (curba corespunzătoare acestei funcții are și un al doilea maxim secundar, în zona albastră a spectrului).

Ochiul omenesc nu este impresionat identic de toate lungimile de undă, sensibilitatea maximă a ochiului normal corespunzând lungimii de undă în jurul valorii de 550 nm.

Culori acromatice- dacă fracțiunea de radiații absorbite este foarte mică sau nulă și remisia se apropie de 100%, corpul apare alb. Dacă, dimpotrivă, fracțiunea absorbită se apropie de unitate (100%), adică remisia este nulă, corpul apare negru. Practic culorile gri pot fi considerate ca rezultând din amestec de alb și negru. Albul, negrul și griul (cenușul) se numesc culori necolorate (acromatice). Culorile acromatice se caracterizează doar prin luminozitate, ceea ce corespunde cu intensitatea în cazul culorilor colorate.

Culori cromatice - culorile obținute prin absorbția selectivă a luminii se numesc culori colorate sau culori cromatice și sunt caracterizate prin nuanță, intensitate și strălucire.

Amestecuri de culori aditive

Teoria tricromatică a culorii arată că orice culoare poate fi obținută din trei culori de bază (primare). Culorile primare pentru culorile spectrale sunt: roșu, verde și albastru. Suprapunând culoarea roșie cu verde se obține galben, cea verde cu albastru ia naștere un albastru-verzui, cea albastră cu cea roșie se obține violet deschis. Suprapunerea tuturor celor trei culori primare duce la obținerea culorii albe

Această amestecare prin însumare tinde deci întotdeauna spre alb, adică se poate spune că amestecul culorilor spectrale este **aditiv**.

Amestecuri de culori substructive

Pentru corpurile (substanțele) colorate cele trei culori de bază sunt: roșu, galben și albastru. La suprapunerea acestor culori are loc o apropiere de negru, rezultând totodată o nuanță mai închisă decât culorile din amestec. Explicația este simplă: o țesătură albă va absorbi toate radiațiile complementare roșului, deci a sustras o parte din lumina albă pe care țesătura albă ar fi reflectat-o integral. Vopsind în continuare țesătura cu un al doilea colorant, albastru de această dată, acesta va absorbi din lumina albă o altă parte din radiații, rezultând o culoare mai închisă, mai apropiată de negru. La trecerea pe material și a unui colorant galben vor fi absorbite și restul de radiații, obținându-se o culoare foarte apropiată de negru.

Acest amestec care are loc prin scăderea cantității de lumină albă se numește **amestec substractiv** și se întâlnește la coloranți.

VI.2.Caracterizarea culorii

Sisteme monocromatice

Sistemele monocromatice sunt cele mai folosite în practica vopsirii. Pentru caracterizarea culorii se folosesc trei noțiuni de bază, dar care diferă ca terminologie. Astfel, sub raport fizic se folosesc noțiunile de:

- lungime de undă dominantă;
- puritate de excitație;
- luminozitate.

Sub aspect psihologic, noțiunile relative la culoare cu care se lucrează sunt:

- nuanța;
- saturația
- luminozitate.

Iar în practica tinctorială se utilizează noțiunile de:

- nuanță;
- strălucire (claritate);
- intensitatea vopsirii.

Saturația sau puritatea de excitație a unei culori reprezintă cantitatea de culoare pură (culoare spectrală) conținută în aceasta. Astfel, un anumit roșu saturat conține numai radiații de o singură lungime de undă. Prin amestecare cu alte lungimi de undă sau cu lumina albă, culoarea spectrală suferă o denaturare. Culoarea albă are o saturație nulă.

Luminozitatea ca proprietate a culorii corpurilor care nu emit lumină proprie, reprezintă senzația vizuală conform căreia o suprafață colorată pare să emită mai mult sau mai puțină lumină. Luminozitatea este singura caracteristică a culorilor acromatice și variază de la o valoare maximă notată cu 100 pentru alb și valoarea zero pentru negru. Între aceste valori sunt situate culorile gri cu diferite valori intermediare ale luminozității. În funcție de luminozitate, culorile cromatice pot fi clasificate în serii echivalente cu seria culorilor acromatice. Pentru culoarea surselor luminoase se utilizează noțiunea de strălucire situată între nivelul "întunecat" și "foarte strălucitor."

Nuanța reprezintă însușirea culorii care permite ochiului să distingă diferitele componente ale spectrului luminii albe (lumina zilei) și este dată de poziția în spectru a lungimii de undă. Nuanța unei culori oarecare este dată de poziția în spectrul luminii vizibile a lungimii de undă dominantă.

Strălucirea (claritatea) reprezintă o însușire a culorii determinată de cantitatea de negru conținută de aceasta și depinde de puritatea sa tinctorială. O culoare este cu atât mai strălucitoare cu cât este mai pură, adică prezintă un spectru de absorbție limitat la o zonă îngustă de lungimi de undă.

Intensitatea reprezintă o însușire a culorii determinată de cantitatea de lumină albă neabsorbită selectiv de un material colorat. Pentru un material textil vopsit, intensitatea culorii, definită ca un raport dintre cantitatea de lumină albă modificată prin absorbție selectivă și cantitatea de lumină albă remisă ca atare, este determinată de cantitatea de colorant fixată pe fibră. În funcție de cantitatea de colorant folosită se pot obține tonuri mai închise sau mai deschise, deși colorantul este același.

În esență cele trei mărimi definite pentru un sistem monocromatic caracterizează:

- nuanța – aspectul calitativ al culorii;
- strălucirea – puritatea senzației vizuale;
- intensitatea – aspectul cantitativ.

Sisteme tricromatice

Sistemele tricromatice au la bază trei culori fundamentale. Culorile fundamentale sunt astfel alese încât nici una să nu poată fi reprodusă prin amestecul celorlalte două. Sistemul tricromatic adoptat de CIE are la bază trei culori spectrale: roșu, verde și indigo. Folosirea acestora la măsurarea culorii prezintă unele inconveniente în sensul că în unele cazuri culoarea poate fi obținută din cele trei componente numai dacă se folosesc și coeficienți negativi. În acest sens s-a păstrat etalonarea, pe baza culorilor fundamentale reale și s-au calculat trei culori virtuale care nu mai prezintă inconvenientul menționat. Cele trei valori calculate se notează cu X, Y, Z și constituie valorile fundamentale ale culorii, denumite și coordonate tricromatice în sistemul CIE. Cele trei coordonate corespund culorilor roșu, verde și albastru, precum și cele trei funcții ale valorilor spectrale normale $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$.

O culoare este deci caracterizată prin trei cifre X, Y, Z. Un asemenea triplet cifric poate fi reprezentat într-un sistem tridimensional de coordonate printr-un punct. Totalitatea punctelor ce corespund tuturor culorilor posibile, constituie corpul sau spațiul culorilor și poate fi reprezentat astfel (fig.6.3).

Coordonatele X, Y, Z determină deci un loc în spațiul culorilor. Valorile numerice ale acestor coordonate corespund cu valorile fundamentale ale culorii. La origine (punctul O) luminozitatea este nulă corespunzător negrului; pe măsură ce o secțiune (un triunghi al culorilor) este mai depărtată de origine, luminozitatea crește și devine maximă. Linia care unește punctul negru cu punctul corespunzător albului etalon, W, (placă de oxid de magneziu) este denumită axa de gri.

Prin reprezentarea bidimensională se obține tabelul culorilor, care reprezintă o secțiune în spațiul culorilor și cuprinde numai puncte care diferă prin natura culorii, dar nu prin luminozitate. Pentru reprezentarea bidimensională, nu se folosesc cele trei coordonate tricromatice, ci numai fracțiunile acestora obținute din relațiile:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}; y = \frac{Y}{X+Y+Z}; z = \frac{Z}{X+Y+Z}, \text{ unde } x, y, z \text{ sunt denumiți coeficienți tricromatici.}$$

Deoarece $x + y + z = 1$, culoarea este definită numai de doi coeficienți: x și y. Aceștia definesc culoarea din punct de vedere al cromaticității (a conținutului de culoare). Pentru $x = y = z = 0,33$, în triunghiul culorilor se găsește un punct situat pe scara de gri care corespunde unei culori necolorate sau acromatice.

Un inconvenient important al sistemului CIE de reprezentare grafică a culorii constă în repartitia inegală a culorii în raport cu percepția vizuală. Din figura 6.4 se poate observa că mai mult de jumătate din suprafața totală a diagramei revine culorilor verzi și celor adiacente (verde-albastru, și verde-gălbui).

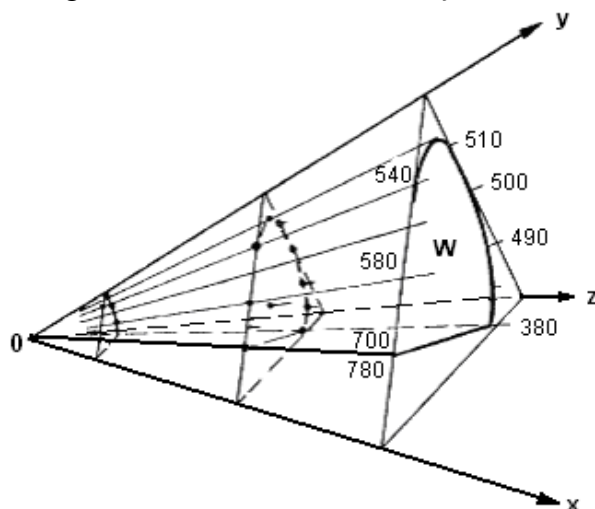


Figura.6.3. Spațiul culorilor în coordonate tricromatice X, Y, Z.

Practic, pentru un colorist, două perechi de eșantioane cu nuanțe diferite, dar cu același interval în diagrama de cromaticitate (adică având aceleași diferențe între coeficienții respectivi x și z, notate cu Δx și Δy) nu prezintă aceeași diferență la aprecierea vizuală, deci spațiul culorii în sistemul CIE nu este constituit din intervale sensibil egale. Pentru remedierea acestui inconvenient, Mac Adam a trasat diagrame CIE elipse stabilind că ochiul nu poate discerna culorile situate în interiorul aceleiași elipse. Culorile care nu pot fi distinse de o culoare de comparație dată sunt situate în diagrama CIE pe elipsa din jurul cromaticităților diferite, în funcție de culoarea de referință. Dacă se consideră și diferențele de luminozitate Y, se obțin elipsoizi în spațiul cromatic X, Y, Y.

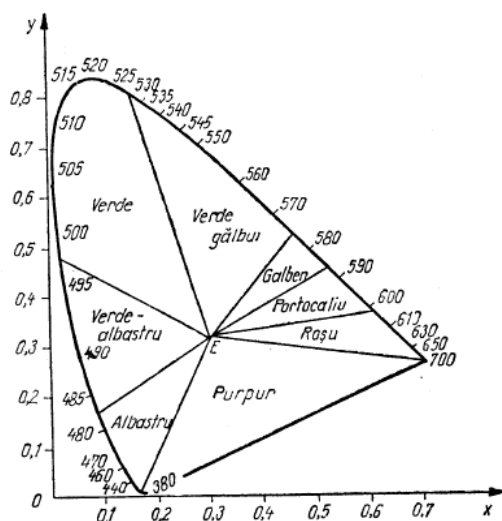


Figura 6.4. Diagrama de cromaticitate CIE

Măsurarea culorii constă efectiv în determinarea valorilor X,Y,Z și în acest scop trebuie să se considere trei factori care caracterizează culoarea și anume (fig.6.5):

- iluminantul reprezentat prin curba de distribuție a energiei $E(\lambda)$;
- corpul colorat reprezentat prin curbele de remisiune $R(\lambda)$;
- ochiul omenesc caracterizat prin curbele de distribuție spectrale pentru observatorul normal $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$;

Interacțiunea iluminant - corp colorat - ochi, conduce la calcularea valorilor X, Y, Z:

$$X = \int_{400}^{700} E(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot d(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Y = \int_{400}^{700} E(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot d(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Z = \int_{400}^{700} E(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot d(\lambda) \cdot d\lambda$$

Pentru calcul, mărimile $E(\lambda)$, $\bar{x}(\lambda)$, $E(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ și $E(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ sunt normate și înscrise în tabele, încât rămâne de determinat pentru o măsurare dată, numai curba de remisiune $R(\lambda)$. Curba de remisiune constituie astfel, caracteristica fizică măsurabilă în timp ce cele trei coordonate tricromatice X, Y, Z sunt măsura senzației de culoare mijlocită de ochi.

Culorii, ca senzație vizuală i s-au atribuit următoarele caracteristici intrinseci: nuanță, saturație și luminozitate.

Nuanța culorii permite ochiului distingerea diferitelor componente ale spectrului luminii albe, funcție de poziția în spectru a lungimii de undă dominante.

Saturația (C*) sau puritatea unei culori reprezintă cantitatea de culoare pură conținută de aceasta.

Luminozitatea (L*), ca proprietate a culorii corpurilor care nu emit lumină proprie, reprezintă senzația vizuală conform căreia o suprafață colorată pare să emită mai multă sau mai puțină lumină.

Culoarea poate fi apreciată cantitativ cu ajutorul colorimetriei utilizând iluminanți standard.

III.3. SISTEME DE MASURARE A CULORII

Sistemul ANLAB

Luminozitatea notată în sistemul CIE cu Y și luminozitatea percepută nu sunt corelate liniar. Aceasta din urmă notată în sistemul Munsell cu V (Value) este figurată pe axa alb-negru împărțită în zece părți. Pentru corelarea coordonatelor tricromatice Z cu V s-au propus diferite ecuații. Mac Adam a precizat că senzațiile vizuale provenite din excitarea numai a conurilor sensibil la roșu sau numai celor sensibil la albastru sunt în aceeași relație cu coordonatele X și Z. Ele pot fi notate cu V_x și V_y . În vederea corelării coordonatelor tricromatice cu variabila de luminozitate V, Adams a introdus mărimile $(V_x - V_y)$ și $(V_y - V_z)$ pe care le-a denumit valori cromatice.

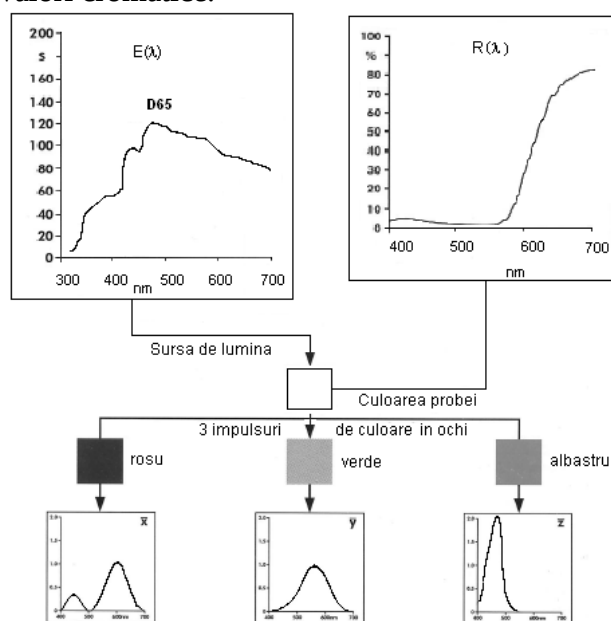


Figura 5. Mecanismul măsurării culorii probelor

Cordonatele spațiului uniform al culorii Adam - Nickerson sunt:

$$L^* = 42 \times 0,23 V_y = 9,66 V_y; \quad a^* = 42(V_x - V_y) \quad \text{și} \quad b^* = 16,8(V_y - V_z)$$

În spațiul ANLAB (sau AN $L^* a^* b^*$), L^* reprezintă luminozitatea iar a^* și b^* împreună semnifică nuanța și saturația deci cromacitatea culorii considerată.

Sistemul CIELAB

Acest sistem elaborat de CIE în 1976 și îmbunătățit continuu introduce relații mai simple între variabilele culorii și variabilele spațiului ANLAB. Sistemul CIELAB se bazează pe valorile tristimulilor de culoare X, Y, Z care pot fi reprezentate în coordonate carteziane sau cilindrice.

-în coordonate carteziane:

$$L^* = 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}]$$

$$b^* = 200[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}]$$

unde: X, Y și Z sunt valorile tristimulilor probei de analizat iar X_0, Y_0 , și Z_0 sunt valorile tristimulilor iluminantului.

Relațiile de mai sus sunt aplicabile numai dacă: $X/X_0, Y/Y_0$ și $Z/Z_0 > 0,01$.

- în coordonate cilindrice parametrii de culoare se calculează cu relațiile:

$$L^* = L^*$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})$$

$$H^* = \arctg(b^*/a^*) \quad \text{și este exprimat în scara } 0^\circ - 360^\circ,$$

unde: L^* - este luminozitatea; C^* - croma, saturația, intensitatea vioiciunii, puritatea, strălucirea sau intensitatea culorii; H^* - nuanța

În spațiul CIELAB de reprezentare a culorilor, culorile de aceeași nuanță se plasează pe liniile de nuanță ce pornesc din originea spațiului (intersecția coordonatelor plane a^* și b^*), unghiul H^0 fiind o măsură a nuanței. El variază în sens contrar acelor de ceasornic, de la roșu la galben, spre verde și albastru. Astfel, de exemplu, $H^0 = 0$ ($H^0 = 360^\circ$) corespunde culorii roșu, $H^0 = 90^\circ$ corespunde culorii galbene, $H^0 = 270^\circ$ corespunde culorii albastre (figura 6.6).

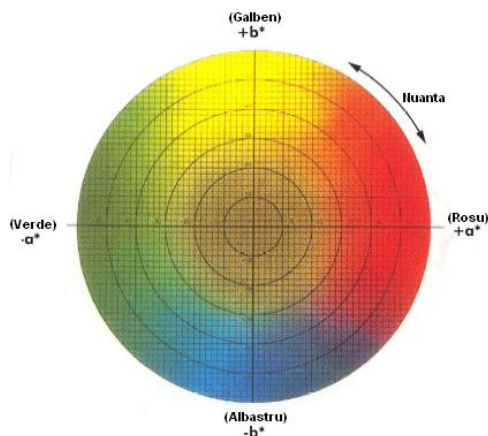


Figura 6. Diagrama de cromaticitate în sistemul CIE, a^*, b^*

Analizând spațiul culorii CIELAB se pot face următoarele observații:

- dacă a^* și b^* sunt pozitive (cadranul I trigonometric), culoarea probei va fi cuprinsă în intervalul roșu-portocaliu-galben;
- dacă a^* este negativ iar b^* este pozitiv (cadranul II trigonometric), culoarea probei va fi cuprinsă în intervalul galben-galben verzui-verde;
- dacă b^* este negativ și a^* este negativ (cadranul III trigonometric), culoarea probei va fi cuprinsă în intervalul verde-turquoise-albastru;
- dacă b^* este negativ și a^* este pozitiv (cadranul IV trigonometric), culoarea probei va fi cuprinsă în intervalul albastru- purpuriu-roșu;

În spațiul CIELAB culoarea poate fi perfect determinată de parametrii cartezieni (L^*, a^*, b^*) sau cilindrici (L^*, C^*, H^0) (figura 6.7)

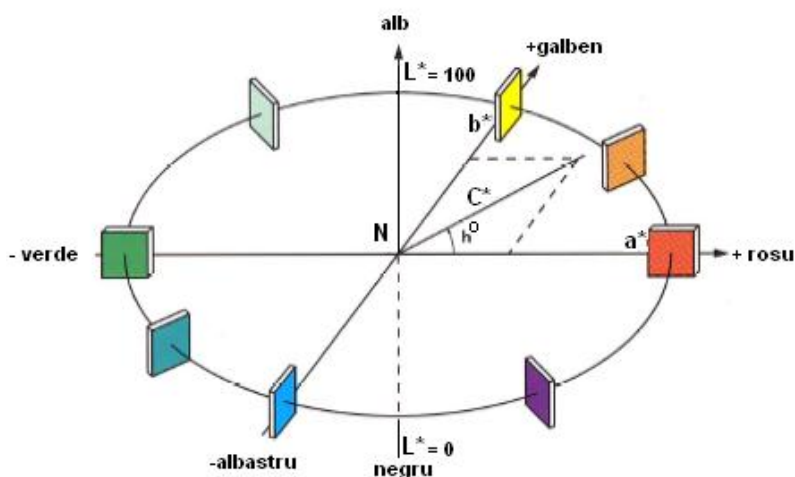


Figura 7. Coordonatele rectangulare și cilindrice ale spațiului CIELAB

Axa luminozității L^* , este perpendiculară pe axele a^* (verde/roșu) și b^* (albastru/galben) (planul a^*b^*) și se întinde de la domeniul negru ideal ($L^* = 0$) trecând prin punctul neutru (gri) (N), (acromatic), până la albul ideal ($L^* = 100$). C^* este croma și este o măsură pentru distanță de la L^* pe axa centrală. Valoarea lui C^* este zero la centru și crește cu distanța de la centru. Punctele situate pe o linie care se intersectează cu un punct de pe axa acromatică au aceeași nuanță. Distanța din punctul considerat prin raportare la punctul acromatic indică gradul de saturație a culorii. Unghiul h^0 format în sens invers acelor de ceasornic de către această linie cu axa a^* este o măsură a tipului de nuanță.

Intensitatea culorii

Pentru reproducerea unei culori dorite, se folosesc metode de calcul care pleacă de la măsurarea coordonatelor tricromatice X,Y,Z, sau a curbelor de remisiune, atât pentru culoarea etalon, cât și pentru cei doi sau mai mulți coloranți care pot produce această mostră. Cunoscând aceste mărimi, se pot calcula concentrațiile de colorant necesare din fiecare componentă.

Dependența remisiei unei culori de concentrația de colorant este ilustrată în figura 6.8, care redă o familie de curbe de remisiune ale unui colorant albastru, la care s-au făcut vopsiri în concentrații de la 0,05% până la 5%.

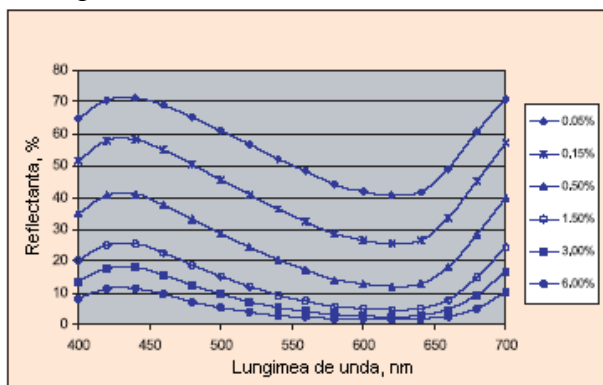


Figura 8. Curbe de remisiune funcție de cromaticitate

Faptul că remisiunea minimă coincide cu absorbția maximă ilustrează și caracterul substractiv al vopsirii.

Corelația dintre concentrația de colorant și remisii vopsirii respective poate fi redată de relația :

$$A \cdot c = f(R)$$

unde :

- c reprezintă concentrația colorantului în materialul vopsit (%);
- A reprezintă o constantă dependentă de colorant, de lungimea de undă, de suportul textil și de condițiile în care se efectuează vopsirea;
- $f(R)$ reprezintă funcția remisiei vopsirii.

O astfel de funcție se poate determina pe principii pur teoretice sau pe cale empirică. Cea mai utilizată este funcția $f(R)$ dedusă teoretic de Kubelka și Munk.

Funcția $f(R)$ dedusă de Kubelka și Munk, este dată de relația:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R}$$

unde:

- K - coeficientul de absorbție;
- S - coeficient de difuzie;
- R - remisia procentuală.

Relația a fost obținută teoretic de Kubelka și Munk prin analiza cantitativă a unui flux luminos care suferă fenomenul de reflexie la întâlnirea unui strat dintr-un anumit material, relație care a fost apoi verificată experimental de mai mulți cercetători.

În cazul materialelor textile vopsite, K depinde în cea mai mare măsură de colorant, iar S depinde numai de materialul textil. Deoarece coeficientul de adsorbție K, conform legii lui Beer, este proporțional cu concentrația se poate scrie relația:

$$A \cdot c = \frac{(1-R)^2}{2R}$$

În constanta A din relație, este inclus și coeficientul S care este independent de concentrația de colorant din material. În acest caz A este o constantă de proporționalitate care trebuie determinată empiric și care depinde de lungimea de undă la care se face determinarea lui R, de suportul textil pe care este efectuată vopsirea și de condițiile de vopsire, dar nu depinde de concentrația colorantului în materialul vopsit.

Constanta A poate fi determinată prin măsurarea lui R pentru o vopsire etalon cu o concentrație cunoscută c și după ce A este stabilit se poate calcula concentrația necesară de colorant pentru o vopsire conform unei mostre date măsurând remisia. Funcțiile $\frac{(1-R)^2}{2R} = f\left(\frac{K}{S}\right)$ se găsesc tabelate.

Relația de mai sus este valabilă numai în cazurile în care suportul textil nu absoarbe lumina. În realitate însă, fiecare material are o anumită absorbție proprie K_t care se adăunează absorbției colorantului K_c , suma celor două absorbții determinând remisia conform formulei:

$$G = \frac{K}{S_{col}} - \frac{K}{S_{etalon}} = A \cdot c$$

Valoarea K/S poate fi calculată pentru valoarea maximă a absorbției colorantului, iar pentru o lungime de undă dată, aceasta crește cu concentrația colorantului utilizat la vopsire (figura 6.9).

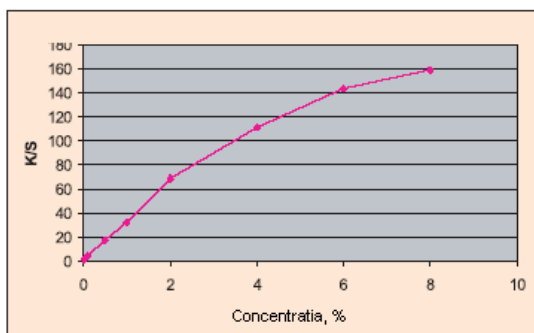


Figura 9. Variația lui K/S funcție de concentrația de colorant utilizată la vopsire

Se poate defini, intensitatea relativă a culorii $I_r(\%)$ utilizând relația:

$$I_r = \frac{G_{reproducee}}{G_{etalon}} \times 100$$

III.4. DIFERENȚA DE CULOARE.

Pe lângă necesitatea caracterizării culorilor prin indici apare, în practica coloristică și aceea a exprimării diferențelor de culoare, în unități de măsură adecvate. Este foarte important ca o metodă de determinare a diferențelor de culoare să permită obținerea de indici corelabili cu impresiile senzoriale. Pe de altă parte este necesar ca aplicarea unor asemenea metode să nu fie greoaie, să nu implice cheltuieli neraționale de timp și muncă. Trebuie precizat că găsirea de metode pentru calcularea diferențelor de culoare sunt de mult în atenția cercetătorilor din domeniul măsurării culorii, înregistrându-se în literatura de specialitate un număr mare de formule.

Formulele pentru calcularea diferenței de culoare se bazează, în toate cazurile, pe determinarea distanței geometrice între două locuri **a culorii** într-un spațiu al culorilor echidistant senzorial. Dacă spațiul este uniform din punct de vedere al percepției culorii, atunci asemenea distanțe vor fi proporționale cu diferența minimă de culoare percepută și este reprezentată convențional prin simbolul ΔE .

Una din formulele cele mai utilizate pentru calculul diferenței de culoare a cărei rezultate dau o corelare bună cu diferențele de culoare apreciate vizual este relația **ANLAB**, care definește diferența de culoare ΔE dintre două mostre, denumite convențional etalon și probă, ca fiind distanța dintre pozițiile lor în spațiul uniform al culorii numit spațiul ANLAB.

Formula pentru diferențele de culoare corespunzătoare spațiului ANLAB este:

$$\Delta E = \sqrt{(0,23 \cdot \Delta V_y)^2 + [\Delta(V_x - V_y)]^2 + [0,4 \cdot \Delta(V_z - V_y)]^2}$$

Valorile sensimetrice V_x , V_y , V_z se găsesc în tabele în funcție de coordonatele tricromatice X, Y, Z. Valorile numerice pentru ΔE minim apreciat și din punct de vedere vizual, sunt prea mici pentru a se putea lucra comod cu ele. Diferența minimă de culoare sesizabilă ar fi de ordinul a 0,01 unități, astfel că a fost necesar să fie multiplicată. Sunt larg utilizați factorii: 40, 41, 46, și 50. Unul din cel mai folosit factor de multiplicare este 42.

Autoritatea internațională pentru măsurarea culorii CIE a stabilit o variantă simplificată a spațiului ANLAB numit **CIELAB**, și implicit o formulă simplificată a diferenței de culoare. Criteriile care au stat la baza căutării unei ecuații mai simple pentru măsurarea diferențelor de culoare sunt următoarele:

- stabilirea unei relații mai simple între coordonatele culorii și parametri vizuali de apreciere subiectivă, astfel că viteza de calcul să fie ridicată. Aprecierea vizuală a luminozității nu este niciodată suficientă de precisă pentru a justifica utilizarea unei ecuații mai complexe;
- factorii care vor determina relațiile dintre ΔL^* , Δa^* , și Δb^* în ecuația CIELAB vor avea o precizie mai bună decât în ecuația ANLAB;
- relația Y/L^* (respectiv Y/V) este determinată de faptul că pentru etalonul de referință valoarea $Y_0 = 100,0$ va corespunde cu $L^* = 100,0$. Această condiție poate fi îndeplinită ținând seama de faptul că etalonul de referință (standardul de referință) a unui sistem de măsurare a culorii nu este reprezentat de o suprafață formată din MgO ci de o suprafață teoretică care reflectă perfect lumina incidentă pe ea. În aceste condiții valoarea parametrului Y pentru MgO obținut prin ardere este de 98.

Denumirea inițială a spațiului CIELAB, adică CIE($L^*a^*b^*$) în care asteriscul indică transformarea neliniară a valorilor tricromatice X,Y,Z în L^*, a^*, b^* , a fost schimbată în CIELAB din cauza rezultatelor echivalente cu cele obținute considerând spațiul ANLAB.

În acest sens, diferența de culoare, în coordonate carteziane este:

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

în care:

$$\begin{aligned}\Delta L^* &= L^*_{\text{probă}} - L^*_{\text{etalon}} \\ \Delta a^* &= a^*_{\text{probă}} - a^*_{\text{etalon}} \\ \Delta b^* &= b^*_{\text{probă}} - b^*_{\text{etalon}}\end{aligned}$$

unde:

- ΔL^* indică orice diferență de luminozitate și reprezintă:

$$\Delta L^* > 0 \text{ proba este mai luminoasă decât etalonul (mai deschisă);}$$

$\Delta L^* < 0$ proba este mai închisă decât etalonul.

- Δa^* și Δb^* indică diferențele între poziția mostrelor (probă și etalon) în diagrama de cromaticitate a^*b^* :

Δa^* - diferența roșu-verde:

- $\Delta a^* > 0$, proba este mai roșie decât etalonul;

- $\Delta a^* < 0$, proba este mai verde decât etalonul;

Δb^* diferența galben- albastru

- $\Delta b^* > 0$, proba este mai galbenă decât etalonul;

- $\Delta b^* < 0$, proba este mai albastră decât etalonul;

Diferența de culoare, în coordonate cilindrice este dată de relația:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*)^2 + (\Delta H^*)^2]^{1/2}$$

unde:

$$\Delta L^* = L^*_{\text{probă}} - L^*_{\text{etalon}}$$

$$\Delta C^* = C^*_{\text{probă}} - C^*_{\text{etalon}}$$

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2}$$

unde:

- ΔL^* - indică orice diferență de luminozitate și este notată cu “+” dacă proba este mai deschisă decât etalonul (mai luminoasă), este notată cu „-”, dacă este mai închisă;

- ΔC^* - indică o diferență de saturație (croma)(stălucire) notată cu “+” dacă proba are o saturație mai înaltă (mare) decât etalonul și cu „-” dacă saturația probei este mai coborâtă;

- ΔH^* - indică orice diferență de nuanță. S-a convenit să se noteze cu “+ ΔH^* ” ($\Delta H^* > 0$) cazul în care proba se găsește în direcția inversă acelor de ceasornic față de etalon și “- ΔH^* ” ($\Delta H^* < 0$) în cazul în care proba se găsește în direcția acelor de ceasornic față de etalon.

Astfel se poate deduce natura oricărei diferențe de culoare, conform datelor prezentate în tabelul VI.1.

Tabel nr.1. Natura diferenței de culoare funcție de semnul diferență de nuanță ΔH^*

Nuanța etalonului	Semnul pentru “ ΔH^* ”	Natura diferenței de nuanță
roșu	$\Delta H^* > 0$	proba este mai galbenă decât etalonul
roșu	$\Delta H^* < 0$	proba este mai albastră decât etalonul
galben	$\Delta H^* > 0$	proba este mai verde decât etalonul
galben	$\Delta H^* < 0$	proba este mai roșie decât etalonul
verde	$\Delta H^* > 0$	proba este mai albastră decât etalonul
verde	$\Delta H^* < 0$	proba este mai galbenă decât etalonul
albastru	$\Delta H^* > 0$	proba este mai roșie decât etalonul
albastru	$\Delta H^* < 0$	proba este mai verde decât etalonul

Calcularea diferenței totale de culoare cu relația **CMC** a fost realizată de Comitetul de Măsurare a Culorii (CMC) a Societății Vopsitorilor și Coloriștilor (SDC) din Marea Britanie. Formula se bazează pe luminozitate, croma și nuanță și permite calculul toleranței elipsoidelor din jurul etalonului. Toleranțele diferenței de nuanță este egală cu unitatea iar toleranțele diferenței de luminozitate și cromă se exprimă prin indicii I și c . Relația CMC redă diferența totală de culoare în funcție de raportul $L:C$:

$$\Delta E = \left[\left(\frac{\Delta L}{I \cdot S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{c \cdot S_c} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{S_H} \right)^2 \right]^{1/2}$$

unde:

- S_L, S_C, S_H - constante algebrice definite matematic;

- I, c - reprezintă toleranțele diferențelor de luminozitate și croma și semnifică termenii de acceptabilitate-perceptibilitate:

- $I=2, c=1$ - acceptabilitate- iar diferența de culoare se notează ($\Delta E_{\text{cmc}} 2:1$)(toleranța de 2 unități pentru luminozitate și de o unitate pentru cromă).

- $I=1, c=1$ - perceptibilitate- iar diferența de culoare se notează ($\Delta E_{\text{cmc}} 1:1$)

Măsurătorile de culoare pentru două probe de culoare albastră (mostră și etalon) sunt trecute în tabelul VI.2 iar semnificația valorilor obținute sunt:

Tabelul nr.2. Date experimentale ale măsurătorilor de culoare

Proba de analizat	Proba etalon	Diferența de culoare	
		Parametri	Comentarii (față de etalon)
L* = 57,7	L* = 55,0	$\Delta L^* = 2,7$	mai luminoasă
a* = -1,1	a* = 2,4	$\Delta a^* = - 3,5$	mai verde
b* = - 29,5	b* = -32,3	$\Delta b^* = 2,8$	mai galbenă
C* = 29,5	a* = 32,4	$\Delta C^* = -2,9$	aspect învechit
h= 267,9	h= 274,3	$\Delta H^* = -3,4$	mai verde
		$\Delta E^* = 2,7$	
		$\Delta E_{cmc}(2:1) = 3,4$	

Semnificatia diferentei de culoare este reprezentată grafic în spatiul culorilor din figura 6.10.

Pentru calcularea diferenței de culoare s-au elaborat modele matematice care au fost transformate în programe pe calculator și care permit ca după măsurarea parametrilor culorii, orice diferență de culoare să fie descompusă în componentele: nuanță, strălucire și intensitate după cum urmează:

- se determină poziția etalonului în spațiul culorilor;
- se identifică direcțiile: mai deschis/mai intens, mai strălucitor/mai tern și direcțiile a două variații posibile a nuanței;
- se determină direcția probei de la etalon, iar distanța ΔE este descompusă corespunzător cu mărimea vectorială nuanță, strălucire și intensitate.

Trebuie subliniat ca valorile pentru diferența de culoare (ΔE) determinate după diferite formule nu coincid. De aceea nu se poate compara diferența de culoare decât dacă rezultă din aplicarea aceleași formule. Când se indică diferențe de culoare, trebuie întotdeauna indicată și formula după care a fost calculată.

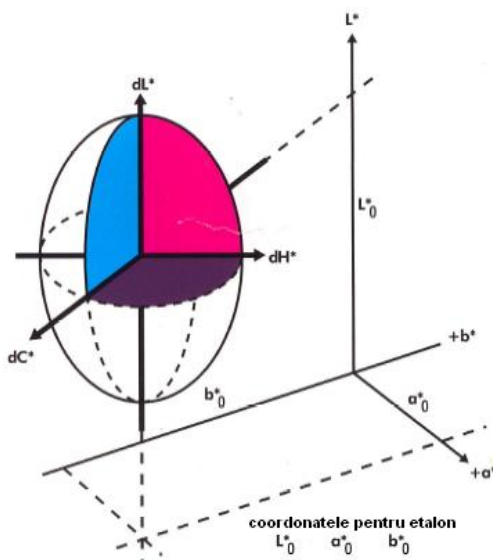
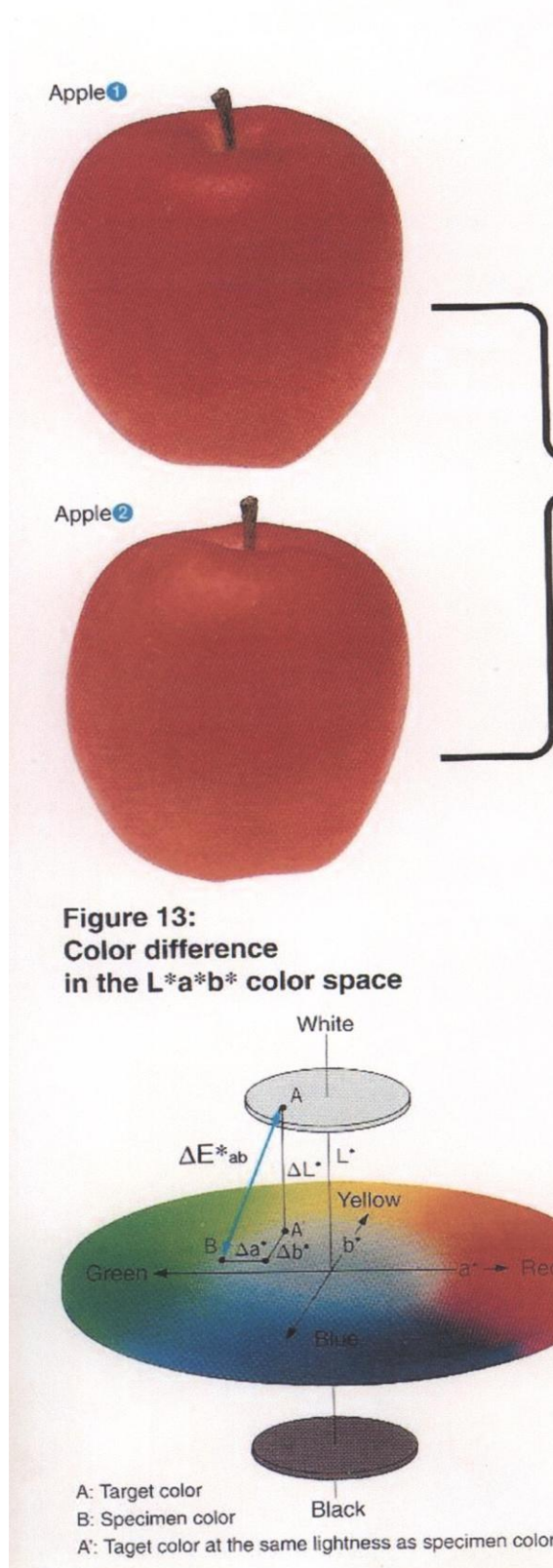


Figura 10. Semnificatia distantelor geometrice dintre două culori.

Pentru a evalua diferențele între valorile ΔE calculate cu formula CIELAB respectiv ANLAB, s-au folosit rezultatele măsurătorilor făcute pe circa 1800 perechi etalon-probă. Rezultatele au arătat că raportul CIELAB/ANLAB nu are valori prea mari pentru componentele diferenței de culoare ΔE când una sau alta se apropie de zero; diferența CIELAB-ANLAB are totuși valori semnificative. Valorile ΔE CIELAB sunt în medie cu 10% mai mari decât valorile diferenței de culoare (ΔE) calculată prin formula ANLAB 40.

Pentru măsurarea culorii sunt folosite spectrofotometre și colorimetre.



Numerical values show the difference.

Minute color differences are the biggest headache anywhere that color is used. But with a colorimeter, even minute color differences can be expressed numerically and easily understood. Let's use the L*a*b* and L*C*h color spaces to look at the color difference between two apples. Using apple ①'s color ($L^*=43.31$, $a^*=+47.63$, $b^*=+14.12$) as the standard, if we measure the difference of apple ②'s color ($L^*=47.34$, $a^*=+44.58$, $b^*=+15.16$) from apple ①'s color, we get the results shown in display A below. The difference is also shown on the graph in Figure 14.

A: L*a*b* color difference

E	5.16	L	+4.03
a	-3.05	b	+1.04

B: L*C*h color difference

E	5.16	L	+4.03
C	-2.59	H	+1.92

The diagram of Figure 13 should make color difference in the L*a*b* color spaces easier to understand. In the L*a*b* color space, color difference can be expressed as a single numerical value, ΔE^*_{ab} , which indicates the size of the color difference but not in what way the colors are different. ΔE^*_{ab} is defined by the following equation

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

If we put the values $\Delta L^*=+4.03$, $\Delta a^*=-3.05$, and $\Delta b^*=+1.04$ from display A above into this equation, we get $\Delta E^*_{ab}=5.16$, which is the value shown in the upper left corner of display A. If we measure the color difference between the two apples using the L*C*h color space, we get the results shown in display B above. The value of ΔL^* is the same as the value measured in the L*a*b* color space. $\Delta C^*=-2.59$, indicating that apple ②'s color is less saturated. The hue difference between the two apples, ΔH^* (defined by the equation $\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2}$), is +1.92, which if we look at Figure 14, means that the color of apple ② is closer to the +b* axis, and so is more yellow.

• "Δ" (delta) indicates difference.

Spectrofotometre care permit măsurarea remisiei spectrale la orice lungime de undă. Spectrofotometrele sunt prevăzute, în multe cazuri, cu integroare care, pe baza curbelor de remisie,

permit calcularea automată a valorilor X , Y , Z , respectiv L^* , a^* , b^* . Aparatele de calculat reprezintă în general calculatoare electronice care rezolvă ecuațiile pe baza datelor obținute la spectrofotometre sau colorimetre.

Colorimetre tricromatice –sunt cele mai răspândite din considerente legate de factorii operativi, ușurința de corelare a rezultatelor și a interpretării lor, cum și a costului. Colorimetrele măsoară remisia în domeniul spectrului în care vopsirea manifestă absorbție maximă. Acestea permit măsurarea valorilor X , Y , Z . Rezultatele obținute sunt mai puțin precise decât cele stabilite cu spectrofotometrul, dar determinările sunt mai rapide.

Limite de toleranță

O problemă importantă legată de introducerea metodelor instrumentale de măsurare a culorii este stabilirea și acceptarea toleranțelor de culoare definite numeric, adică stabilirea valorilor numerice pentru diferențele de culoare maxime între etalon și proba vopsită, acceptate ca fiind admise. Valorile numerice ale toleranțelor de culoare sunt diferite de la culoare la culoare și depind de sensibilitatea diferită a ochiului față de diferențele de culoare a culorilor situate în diferite regiuni a diagramei culorii și deci în ultima instanță de înțelegere între producătorul și beneficiarul materialului vopsit.

Formulele pentru calculul diferențelor de culoare uniforme sunt strâns legate de capacitatea ochiului de a deosebi culorile, dar nu stabilesc limitele de toleranță a diferențelor de culoare din diferite domenii ale diagramei de culoare.

Diferența de culoare tolerată între etalon și probă este de obicei de același ordin de mărime ca și precizia estimărilor vizuale ale diferenței de culoare dar în multe cazuri aprecierile vizuale pot fi imprecise. Aprecierile vizuale pot fi îmbunătățite într-o anumită măsură printr-un control atent asupra condițiilor în care sunt efectuate, prin folosirea unor limite standard sau prin acceptarea rezultatelor medii deduse din observațiile mai multor colorişti experimentați, dar precizia atinsă este limitată în mod deosebit de proprietățile ochiului.

Ca urmare a numeroaselor cercetări efectuate pentru stabilirea relației între mărimea valorii numerice ΔE și decizia vizuală corespunzător-necorespunzător exprimată în procente de accesibilitate vizuală pentru perechile de probe, s-au stabilit că valoarea ΔE depinde nu numai de limitele impuse în fiecare caz, ci și de:

- culoarea implicată (regiunea din spațiul culorii unde este situată culoarea considerată);
- natura diferenței de culoare (diferența de luminozitate, saturație sau nuanță).

Cu alte cuvinte, decizia corespunzător-necorespunzător, nu poate fi dată dacă se utilizează numai valoarea numerică a diferenței de culoare ΔE care depinde de gradul de apropiere a celor două culori (numită aprecierea diferenței de culoare printr-un singur număr), deoarece metoda nu este suficient de precisă. Exprimarea diferenței de culoare corespunzătoare toleranței impuse, prin mai multe numere, adică prin toleranțe pentru luminozitate, saturație și nuanță are o corespondență mai bună cu datele vizuale. Astfel, s-a stabilit că seria de valori pe care o poate lua ΔE exprimat "prin mai multe cifre" corespunzătoare unor toleranțe admise, se situează într-un domeniu foarte larg. Raportul între valorile cele mai mari și cele mai mici admise este de cel puțin 5:1 sau 6:1 funcție de poziția culorii în spațiul culorii, iar seria maximă găsită pentru aceeași toleranță vizuală a fost de 15:1, extremele corespunzând unor culori cu saturație ridicată (valori mari pentru ΔE) și culori pastel, care se deosebesc numai prin nuanță.

În cele mai multe cazuri, dacă $\Delta E < 1$, culoarea se consideră acceptabilă; dacă $\Delta E > 2$ se respinge. Totuși diferențe de culoare mai mici de 5 unități nu sunt relevante pentru ochiul observatorului. De aceea, se consideră că importanța componentelor individuale din formulele de calcul ale lui ΔE variază funcție de circumstanțele de lucru.

În afară de ecuația ANLAB, respectiv CIELAB (dedusă din prima) pentru stabilirea diferențelor de culoare, pe plan mondial, sunt utilizate și alte relații de calcul, dar primele sunt cele mai des folosite.

În concordanță cu caracteristicile ale scării de gri pentru evaluarea rezistențelor culorii stabilite în standardul ISO (Organizația Internațională pentru Standardizare) diferențele de culoare sunt:

- pentru notația 5, valoarea teoretică a diferenței de culoare ΔE este o unitate NBS cu toleranța de o unitate NBS;

- pentru notația 4 valoarea teoretică a lui ΔE este 1,5 unități NBS cu toleranța $\pm 0,2$ unități NBS;
- pentru notația 3 valoarea teoretică a lui ΔE este 3 unități NBS cu toleranța $\pm 0,2$ unități NBS;
- pentru notația 2 valoarea teoretică a lui ΔE este 6 unități NBS cu toleranța $\pm 0,5$ unități NBS;
- pentru notația 1 valoarea teoretică a lui ΔE este 12 unități NBS cu toleranța $\pm 1,0$ unități NBS

În concordanță cu utilizarea scării de gri pentru corelarea diferenței a două culori în aprecierea coloristică se considera:

- sub 0,5 unități NBS – abia perceptibil;
- 0,5-1 unități NBS, ușor perceptibil;
- 1,5-3 unități NBS diferență sensibilă;
- 3-6 unități NBS diferențe nete;
- 6-12 unități NBS, diferență mare;
- peste 12 unități NBS diferențe foarte mari.

În concluzie, se poate spune ca este dificil să se stabilească un criteriu de decizie universal pentru acceptabilitatea diferențelor de culoare și să se fixeze valori acceptat/respins ale mostrelor pe baza rezultatelor măsurătorilor bazate pe spațiile de culoare.

Calcularea diferenței de culoare are diverse aplicații în industria culorii, dintre care amintim:

- vopsirea la mostră- prin evaluarea diferenței de culoare dintre etalon și proba vopsită;
- controlul calității – prin compararea nuanței coloranților din șarje diferite cu un etalon;
- evaluarea rezistențelor vopsirilor în industria textilă;
- evaluarea modificărilor de culoare în urma diverselor tratamente la care sunt supuse materialele colorate.

BIBLIOGRAFIE

1. Grindea M., Forst T., Hanganu A., Tehnologia vopsirii și imprimării textilelor, Ed. Tehnică, București, 1983
2. Pușcas E.L., Teoria și măsurarea culorii, Rotaprint, Iași, 1983
3. Pușcas E.L., Cezar D., R., Introducere în teoria cunoașterii și măsurării culorii, Ed. Dosoftei, Iași, 1997
4. Wardam R.H., Rev.Prog. Coloration, 1994, vol.24, p.55-75
5. Cezar D., R, Măsurarea culorii, Tipografia Universității tehnice "Gh. Asachi", Iași, 2004
6. * * * Clariant Colour Chronicle, Color Science, 26, p.8-24, January 2005,