

---

## Od CIE kolorimetrije do modelov barvnega zaznavanja

### *From CIE Colourimetry to Colour Appearance Models*

#### **Pregledni znanstveni članek/Scientific Review**

Prispelo/Received 05-2012 • Sprejeto/Accepted 07-2012

---

#### Izvleček

Nastanek barvnega vtisa je povezan s tremi dejavniki: predmetom opazovanja, svetlobnim virom in z opazovalcem, na katerega vplivajo psihofizične lastnosti, izkušnje, čustva, kulturni vplivi in okolje z drugimi barvami, svetlostjo in kontrasti. CIE kolorimetrija ovrednoti barvni dražljaj s številkami, ki so sorazmerne občutljivosti človeškega vizualnega sistema na kratke, srednje in dolge valovne dolžine, neodvisno od načina nastanka barvnega dražljaja. Z nastankom digitalnih upodobitvenih sistemov je postala izjemno pomembna tudi pri barvnem upravljanju. Vendar se na tem področju ne srečujemo več z izoliranim barvnim dražljajem, temveč z različnimi mediji in pogoji opazovanja. V ta namen so za napoved barve pri spremembi medija in spremembi pogojev opazovanja razvili in vpeljali modele barvnega zaznavanja.

Ključne besede: kolorimetrija, model barvne prilagoditve, barvna konstanca, metamerija, indeks barvnega videza, modeli barvnega zaznavanja

#### *Abstract*

*The three factors, indispensable for the colour perception, are the light source, an object and an observer with their psychophysical properties, experiences, emotions, culture and environment influence with other colours, illuminations and contrasts. The CIE colourimetry specifies a colour stimulus with numbers proportional to the stimulation of the human visual system, independent of how colour stimuli was produced.*

*The CIE colourimetry became much more prevalent with the development of digital imaging systems also in the field of colour management, where the colour stimulus is not isolated but depends on different media and viewing conditions.*

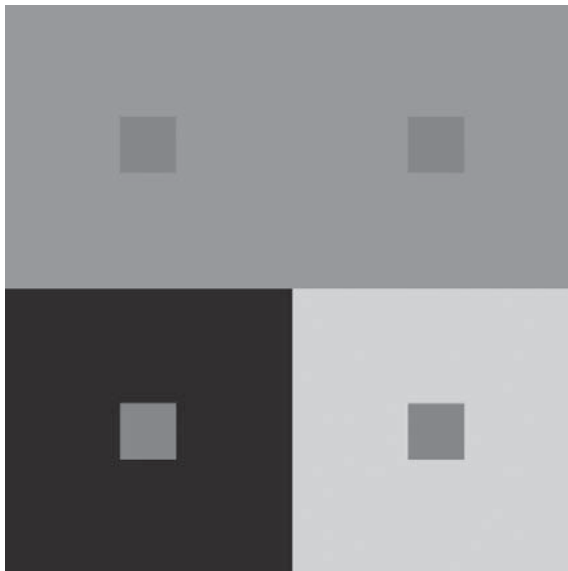
*For that purpose, colour appearance models for the prediction of colour appearance across the changes in media and viewing conditions were developed.*

*Keywords: colourimetry, chromatic adaptation, colour constancy, metamery, colour rendering index, colour appearance models*

## 1 Pojavi, povezani z zaznavanjem barve

CIE kolorimetrija upošteva standardizirane pogoje (standardnega 2° in 10° opazovalca in standardne tipe svetlobe), hkrati pa upošteva samo izoliran barvni dražljaj, kar pomeni, da ne upošteva vplivov okolja. Poleg tega nastajajo pri zaznavanju barv nekateri posebni pojavi, ki jih klasične metode barvnih predvidevanj ne upoštevajo. Nekateri izmed teh pojavov so: sočasni kontrast, sprememba izrazitosti, Huntov pojav in Stevensov pojav [1, 2].

Sočasni ali simultani kontrast je pojav, ki pri spremembi ozadja objekta povzroči barvni zamik zaznavanja v smeri, ki je komplementarna ozadju, npr. svetlo ozadje povzroči temnejšo zaznavo objekta, rdeče ozadje pa povzroči zaznavo predmeta bolj zeleno.



Slika 1: Primer sočasnega ali simultaneega kontrasta

Koncept simultaneega kontrasta sega v leto 1839, ko je francoski kemik Michel Eugène Chevreul delal raziskave na tapiserijah [3], pri čemer je želel kljub spremembi barv v okolju in kljub prostorski razporeditvi barvnih vzorcev na tapiserijah ohraniti barvno zaznavo vzorcev. Takrat je bila velik problem sprememba odtenkov črne barve preje tik ob odtenkih modre.

Pojav, podoben simultanemu kontrastu, je sprememba izrazitosti (angl. *Crispening*), pri katerem se navidezno poveča razlika med podobnima barvama, če ti dve ležita na ozadju, ki jima je podobno (slika 2).



Slika 2: Primer spremembe izrazitosti

Sočasni kontrast in sprememba izrazitosti sta pojava, povezana s prostorsko razporeditvijo barvnega dražljaja, medtem ko sta Huntov in Stevensov pojav povezana s spremembo svetlosti v prostoru. Huntov pojav (angl. *Hunt effect*) opiše povečanje barvitosti (angl. *colourfulness*) z naraščanjem svetlosti, medtem ko Stevensov pojav (angl. *Stevens effect*) opiše naraščanje kontrasta z naraščajočo svetlostjo. To pomeni, da bodo predmeti, opazovani v svetlem okolju, videti bolj barviti in kontrastni, kot če bi jih opazovali v temnem okolju.

## 2 Numerično vrednotenje barve

Ko merimo barve, jih številčno ovrednotimo in omogočimo objektivno identifikacijo posamezne barve, hkrati pa tako omogočimo tudi nadzor kakovosti obarvanih oziroma potiskanih izdelkov. Merjenje barve omogoča, da vsako barvo postavimo v enega od barvnih prostorov CIE.

Mednarodna komisija za razsvetljavo CIE (fr. *Commission Internationale de l'Éclairage*) je predpisala in standardizirala več vrst svetlob za vrednotenje barve osvetljenega predmeta (npr. standardne svetlobe A, D50, D65, F) ter opredelila dva idealna opazovalca [4, 5]:

1. CIE 1931 – idealni barvnometrični opazovalec za vidno polje, ki ga določa kot opazovanja 2° (2° opazovalec) in
2. CIE 1964 – idealni barvnometrični opazovalec, ki ga določa kot opazovanja 10° (10° opazovalec).

S pomočjo emisije svetlobnega vira, svetlobe, odbite od predmeta, in s funkcijami spektralnih vrednosti

oziroma krivuljami barvnega ujemanja za 2- ali 10-stopinjskega opazovalca izračunamo standardizirane barvne vrednosti CIEXYZ, ki številčno opišejo barvo. Pri tem za izračune uporabimo enačbe, opisane v standardu ISO 13655:1996(E) (Grafična tehnologija – Spektrometrija in kolorimetrični izračuni za grafične upodobitve) [6].

Na podlagi standardiziranih barvnih vrednosti CIEXYZ ne dobimo nikakršnih informacij o samem zaznavanju barve, saj vrednosti opišejo izoliran barvni dražljaj, na katerega je opazovalec prilagojen in na katerega okolje ne vpliva.

Za lažjo ponazoritev barvnega prostora CIEXYZ je CIE razvila dvodimenzionalni barvni diagram CIE 1931  $x, y$ , ki ga sestavljata spektralna krivulja, ki zajema barve vidnega dela spektra, in črta škrлата, ki povezuje visoko in nizko valovno območje. Težišče prostora je točka nepeprostoti.

Zaradi zaznavne neenakomernosti izračunane barvne razlike, prikazane v kromatičnem diagramu CIE 1931  $x, y$ , ne ustrezajo vizualno zaznamim barvnim razlikam, kar je pokazal že MacAdam s pomočjo ponjem imenovanih elips [7]. V ta namen je CIE leta 1976 vpeljala bolj zaznavno enakomeren barvni prostor CIE (1976)  $L^*a^*b^*$ , ki je najbolj izpopolnjen in najpogosteje uporabljen sistem za vrednotenje barve, v katerem so MacAdamove elipse v diagramu CIE  $a^*, b^*$  po obliki bolj podobne krogom z enakimi polmeri in se bolj ujemajo s človeškim vizualnim sistemom zaznavanja kot pri elipsah v kromatičnem diagramu CIE 1931  $x, y$ .

Medtem ko za izračun vrednosti CIEXYZ potrebujemo svetlobo, odbito od predmeta, svetlobni vir in opazovalca, za izračun vrednosti CIELAB potrebujemo zgolj standardizirane barvne vrednosti barve predmeta – CIEXYZ – in standardizirane barvne vrednosti idealno bele površine, opazovane pod enakimi pogoji osvetlitve, oziroma standardizirane barvne vrednosti svetlobnega vira –  $CIEX_0Y_0Z_0$ .

Barvni prostor CIELAB se v industriji uporablja za oceno kakovosti obarvanja izdelkov oziroma odtisov in pri barvnem upravljanju ICC, kjer sta skupaj s CIEXYZ definirana kot neodvisna barvna prostora, prek katerih potekajo vse barvne preslikave oziroma pretvorbe iz vhodnih v izhodne barvne prostore naprav.

Barvni prostor CIELAB se uporablja za vrednotenje barvnih razlik z naslednjimi enačbami: CIELAB ( $\Delta E_{ab}^*$ ), CMC 1: c ( $\Delta E_{CMC(1:c)}^*$ ), CIE 94 ( $\Delta E_{94}^*$ ) in CIEDE2000 ( $\Delta E_{00}$ ).

S popolnoma vizualno enakomernim barvnim prostorom bi enačbo za barvne razlike razumeli kot preprosto meritev evklidske razdalje med dvema barvama v prostoru, kot je enačba CIELAB za izračun barvnih razlik  $\Delta E_{ab}^*$  [8]. Že leta 1976 je CIE priporočila dva taka prostora, in sicer CIELAB in CIELUV. Oba sta bila ovrednotena kot začasna z zavedanjem, da sta daleč od končnega in idealnega barvnega prostora. Več kot 35 let pozneje pa ju CIE še vedno priporoča, čeprav CIELUV ni več tako zelo priljubljen. CIELUV se uporablja za vrednotenje kakovosti virov svetlobe.

Zaradi neenakomernosti prostora CIELAB je CIE vpeljala naprednejšo enačbo CIE 94. Raziskave na področju barvnih razlik pa so dosegle vrh z objavo enačbe CIEDE2000.

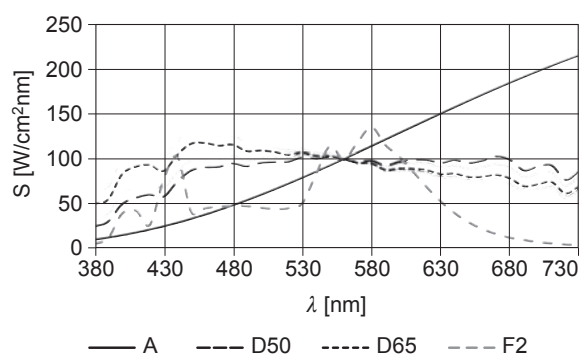
### 3 Pomen svetlobnega vira

Eden pomembnih dejavnikov za nastanek barvnega vtisa je svetlobni vir [4]. Leta 1931 je CIE standardizirala svetlobo A (z barvno temperaturo 2856 K), B (z barvno temperaturo 4874 K) in C (z barvno temperaturo 6774 K). Leta 1966 je predlagala uporabo standardne dnevne svetlobe D (D50, D55, D65 in D75). Leta 1972 je priporočila nekaj fluorescenčnih svetlobnih virov (F1, F2, F3, F4 ter F10, F11 in F12). Med najpogosteje uporabljanimi standardiziranimi vrstami svetlobe so:

1. standardna svetloba A, ki ponazarja večerno svetlobo, njeno sevanje pa simulira žarnica z volframovo nitko, z barvno temperaturo 2856 K,
2. standardni dnevni svetlobi D50 in D65, ki ponazarjata povprečno dnevno svetlobo z vključenim UV-delom spektra, z barvno temperaturo 5000 K (D50) in 6500 K (D65) ter
3. fluorescenčna svetloba F2, ki jo najpogosteje uporabljajo za razsvetljavo poslovnih prostorov.

Skenerji pri zajemanju barv pogosto uporabljajo fluorescenčne svetlobne vire z barvno temperaturo med 4200 in 4800 K. Bela točka (angl. *white point*) zaslonov pa je navadno nastavljena na standardno belo svetlobo D50 (5000 K), t. i. toplejšo belo ali D65 (6500 K), ki je nekoliko hladnejša (modrika-sta) bela. D50 se uporablja pri zaslonih, ki so namenjeni profesionalni barvni korekciji fotografij za tisk, in jo predpisuje standard ISO 12646 [9]. D65 pa se uporablja pri pripravi fotografij, namenjenih

za objavo na spletu in v drugih elektronskih medijih, po standardu ISO 3664 [10]. Specifikacija ICC predvideva belo točko veznega barvnega prostora za profile (angl. *Profile Connection Space, PCS*), definirano na podlagi standardne osvetlitve D50 [11]. D50 se uporablja tudi kot standardna svetloba za merjenje barv v grafiki, medtem ko se standardna svetloba D65 uporablja v tekstilstvu, papirništvu in industriji barv. Svetloba A pa je svetloba, ki jo oddajajo še vedno precej pogoste žarnice z volframovo nitko. Razlike v spektralni porazdelitvi sevanja med svetlobami D50, D65, A in F2 so prikazane na sliki 3.



Slika 3: Emisijski spektri standardnih vrst svetlobe A, D50, D65 in F2

V povezavi s svetlobnimi viri so v nadaljevanju opisani in opredeljeni pojmi:

- pojav metamerije,
- barvna konstanca,
- indeks barvnega videza in
- barvna oziroma kromatična prilagoditev.

### 3.1 Metamerija pri spremembi osvetlitve

Metamerija pri spremembi osvetlitve je pojav, pri katerem pod določenimi svetlobnimi pogoji opazovanja zaznamo barvi dveh vzorcev z različnima spektralnima porazdelitvama kot enaki, pod drugačnimi svetlobnimi pogoji pa sta barvi vzorcev različni [12]. Kadar barvi delujeta enako, se njuni spektralni krivulji sekata v vsaj treh točkah, pri tem pa imata barvi podobne standardizirane barvne vrednosti – CIEXYZ.

Problem metamerije se po navadi pokaže, ko se barvi vzorcev ujemata pri standardnih svetlobnih pogojih opazovanja, npr. primerjava odtisov ali obarvanih izdelkov v osvetljevalni komori, ne ujemata pa se pri pogojih realne osvetlitve.

Za vrednotenje tega pojava se uporablja indeks metamerije, v tem primeru posebni indeks metamerije pri spremembi osvetlitve. Za izračun tega se navadno kot referenčna svetloba uporabi standardizirana svetloba D65, kot testna svetloba pa ena od standardiziranih vrst svetlobe, npr. A, D50, F2. Pri referenčni svetlobi (D65) sta vzorca v metamernem paru videti enaka, kar pomeni, da je barvna razlika med njima enaka nič.

### 3.2 Barvna konstanca

Človeški vizualni sistem je sposoben določiti in ločiti barve predmetov neodvisno od svetlobnega vira. To sposobnost imenujemo barvna konstanca [13, 14]. Mehanizem barvne konstance imajo tudi nekatere živalske vrste, npr. zlate ribice in čebele. Brez te sposobnosti bi predmete zelo težko razpoznavali po njihovi barvi.

Na področju fotografije ta pojav opiše oziroma definira avtomatsko ravnovesje bele točke. Digitalne kamere lahko na ta način delno upoštevajo svetlobne razmere, v katerih zajemajo sliko, vendar kljub omejenemu avtomatskemu ravnovesju bele digitalne kamere niso v celoti sposobne takšne prilagoditve na svetlobni vir kot naš vizualni sistem.

Barvno konstanco lahko numerično ovrednotimo z indeksom barvne nekonstance CMCCON02, ki opiše spremembo barve pod različnimi svetlobnimi viri [14]. CMCCON02 v izračunu vključuje model barvne prilagoditve CIECAT02 in enačbo za izračun barvnih razlik. V tekstilstvu je po standardu ISO 105-J05:2007 [15] predpisana enačba za izračun barvnih razlik CMC (1 : 1), medtem ko na področju grafike ni predpisanega standarda.

### 3.3 Indeks barvnega videza

Medtem ko indeks barvne nekonstance opiše spremembo barve pod različnimi svetlobnimi viri, se za določitev barvnega videza pod različnimi svetlobnimi viri z enako barvno temperaturo uporablja indeks barvnega videza CRI (angl. *Color Rendering Index*) ali Ra [16, 17]. CRI matematično ovrednoti spremembo lokacije osmih pastelnih barv v diagramu 1960 UCS pri zamenjavi referenčnega svetlobnega vira s testnim svetlobnim virom z enako barvno temperaturo. Če se videz barve ne spremeni, bo imel testni svetlobni vir CRI enak 100. Za barvne temperature od 2000 K do 5000 K je referenčni svetlobni vir segreto Planckovo črno telo, nad 5000 K pa dnevna svetloba z različnimi spektralnimi

porazdelitvami. V ta namen se kot referenčni svetlobni vir lahko uporabi eden od CIE standardiziranih svetlobnih virov.

### 3.4 Model barvne oziroma kromatične prilagoditve

Iz napisanega je razvidno, da je človeški vizualni sistem zmožen prilagoditve pri zaznavanju barv v širokem spektru svetlobnih pogojev. Vendar večina naprav, s katerimi zajemamo barve, kot so skenerji, digitalne kamere in fotoaparati, ni zmožna tolikšne prilagoditve na svetlobni vir kot človeški vizualni sistem. Preslikava med barvami, zajetimi pod eno vrsto osvetlitve (vhodnimi barvami), in barvami, prikazanimi pod drugo vrsto osvetlitve (ciljnimi barvami), je pri barvni reprodukciji pomembna. Omenjeno preslikavo imenujemo model barvne oziroma kromatične prilagoditve (angl. *Chromatic Adaptation Transform – CAT*). Pri preslikavi so prilagojene standardizirane barvne vrednosti CIEXYZ produkt standardiziranih barvnih vrednosti pod vhodno svetlobo in matrike  $[M]$  (enačba (1)), ki je poenostavljen zapis občutljivosti človeškega očesa.

$$[X_D Y_D Z_D] = [X_S Y_S Z_S] [M] \quad (1)$$

Pri tem so  $D$  ciljne barve (*destination colour*) in  $S$  vhodne barve (*source colour*).

Model barvne prilagoditve je uporaben pri:

- modelih barvnega zaznavanja,
- barvnih preslikavah, pri katerih sta bela točka vhodnega in ciljnega barvnega prostora različni, npr. bela točka sRGB barvnega prostora je definirana kot D65, medtem ko npr. Beta RGB barvni prostor uporablja belo točko, ki je definirana kot D50. To pomeni, da je treba uporabiti model barvne prilagoditve pri pretvorbi iz CIEXYZ (pod D65) v CIEXYZ (pod D50).
- izračunu indeksa barvne nekonstance CMCCO-N02, kjer se uporablja model barvne prilagoditve CIECAT02.

## 4 Model barvnega zaznavanja

Različne naprave za zajem in prikaz barve uporabljajo različne svetlobne vire. Slike so torej lahko zajete z različnimi napravami pri različnih pogojih opazovanja, prikazane na računalniškem zaslonu v mračnem okolju ali upodobljene na odtisu

ter opazovane pri različnih svetlobnih pogojih. Za take primere so kot razširitev CIE kolorimetrije razvili in vpeljali modele barvnega zaznavanja (angl. *Color Appearance Models*) za napoved zaznave barve pri spremembi medija in spremembi pogojev opazovanja – ne samo pri konstantnih pogojih.

Raziskave modelov barvnega zaznavanja pri digitalnih upodobitvenih sistemih, ki so potekale v devetdesetih letih, so dosegle vrh z modelom CIECAM97s leta 1997 (CIE, 1998) in njegovo revizijo CIECAM02 leta 2002 [18]. Model barvnega zaznavanja CIECAM02, ki ga je objavila CIE tehnična komisija za preverjanje modelov barvnega zaznavanja za sisteme barvnega upravljanja TC 8-01, je še vedno najbolj aktualen. Nastal je kot izboljšava modela barvnega zaznavanja CIECAM97s.

Podrobnosti razvoja in uporabe modelov barvnega zaznavanja so razložene v knjigi *Color Appearance Models* (2005) [1]. Razvoj teh modelov so omogočili vizualni eksperimenti za testiranje objavljenih modelov barvnega zaznavanja na realnih reprodukcijah [19].

### 4.1 CIELAB in CIELUV kot modela barvnega zaznavanja

CIELAB se uporablja kot barvni prostor za določanje barvnih razlik s pomočjo enačbe  $\Delta E_{ab}^*$ . Leta 1986 je CIE dosegla, da je bil barvni prostor CIELAB opredeljen kot enoten barvni prostor in ne kot model barvnega zaznavanja [1], saj ne opisuje nekaterih parametrov, ki pomembno vplivajo na zaznavanje barve, kot so vpliv svetlosti, okolja, simultane kontrasta, ter ne opiše spremembe kontrasta slike pri spremembi relativne svetlosti (Stevensov pojav) itd. Njegovi vhodni podatki so standardizirane barvne vrednosti CIEXYZ, izhodni pa  $L^*$ ,  $C_{ab}^*$ ,  $h_{ab}$  ali  $L^*a^*b^*$ . Zato ni primeren kot model barvnega zaznavanja.

Barvni prostor CIELUV ima enake lastnosti kot CIELAB, zato ga obravnavamo enako. Njegova enačba ima nekoliko drugačno obliko kromatične prilagoditve. Namesto normalizacije standardiziranih barvnih vrednosti ( $X/X_0$ ,  $Y/Y_0$ ,  $Z/Z_0$ ) uporablja subtraktivni premik kromatičnih koordinat ( $u'-u_0'$ ,  $v'-v_0'$ ). Ta tip prilagoditve v barvnem prostoru CIELUV lahko povzroči premik barve zunaj barvnega obsega realnih barv, zato CIELUV ni primeren za opis vizualnih podatkov, kar ga izključuje kot model barvnega zaznavanja.



#### 4.2 Prostorska opredelitev barvnega polja pri modelih barvnega zaznavanja

Večina modelov barvnega zaznavanja upošteva časovno konstantne dražljaje in popolno prilagoditev opazovalca, pri čemer je prostor glede na center pozornosti razdeljen na štiri območja (slika 4) [1, 2]:

- *center pozornosti oziroma dražljaj*, ki je po navadi definiran kot območje z zornim kotom  $2^\circ$  (v skladu z idealnim barvnometričnim opazovalcem CIE 1931), enako pa se obravnava celotno polje z zornim kotom med  $1^\circ$  in  $4^\circ$ ; pri večjih dražljajih je območje definirano v skladu z idealnim barvnometričnim opazovalcem CIE 1964, torej  $10^\circ$ .
- *neposredna okolica*, ki sega približno  $2^\circ$  čez robove centra pozornosti, večina modelov barvnega zaznavanja (vključno s CIECAM97s in CIECAM02) je ne loči od ozadja, saj jo je težko definirati.
- *ozadje*, ki sega do  $10^\circ$  od meja centra pozornosti, in
- *okolica*, ki je definirana kot celoten prostor okoli opazovanega objekta, pri čemer ločimo več tipov okolja, in sicer: povprečno svetlo okolje (angl. *average surround*), temno okolje (angl. *dark surround*) in mračno okolje (angl. *dim surround*).



Slika 4: Prostorska opredelitev barvnega polja po Huntu

#### 4.3 Določitev izhodiščnih podatkov

Pri modelih barvnega zaznavanja je treba določiti izhodiščne podatke [1]:

- standardizirane barvne vrednosti vzorca: CIEXYZ
- standardizirane barvne vrednosti bele točke:  $CIEX_wY_wZ_w$

- standardizirana barvna vrednost svetlosti ozadja:  $CIEX_b$
- svetlost v okolju prilagoditve ( $cd/m^2$ ):  $L_A$  (pogosto 20 % svetlosti bele v prilagojenem okolju)
- stopnja prilagoditve D, ki je pri popolno prilagojenem opazovalcu enaka 1, pri neprilagojenem pa je enaka 0.

Glede na svetlost v prostoru, npr. pri modelu barvnega zaznavanja CIECAM02, ločimo tri tipe okolice: povprečno svetlo okolje, temno okolje in mračno okolje. Pri tem sodelujejo naslednji parametri: faktor stopnje prilagoditve, stopnja vpliva okolice in faktor kromatične indukcije, ki opiše vpliv barve na kromatičnost druge barve.

#### 4.4 Model barvne prilagoditve, uporabljen pri modelu barvnega zaznavanja

Prvi korak pri uporabi modelov barvnega zaznavanja je preračun modela barvne prilagoditve. Večina današnjih modelov barvnih prilagoditev izhaja iz von Kriesovega modela [20, 21, 22], ki predvideva preprosto linearno pretvorbo med standardiziranimi barvnimi vrednostmi CIEXYZ barve, opazovane pod različnimi svetlobnimi viri. Temelji na posamezni prilagoditvi prirastka ali primanjkljaja pri treh senzorjih v človeškem vizualnem sistemu (v kratkem (S – short), srednjem (M – medium) in dolgem (L – long) valovnem območju) [1]. Bradfordski model barvne prilagoditve je razvil in leta 1985 objavil Lam [23], temelji na empiričnih podatkih. Ta model omogoča preslikavo vrednosti CIEXYZ iz referenčnega v ciljni svetlobni vir, pri čemer se barvna zaznava ohranja. Po mnenju večine strokovnjakov je bradfordski model barvne prilagoditve eden najnatančnejših [24, 25]. Pri CMCCAT97 (modificirana verzija bradfordskega modela, ki se uporablja v modelu barvnega zaznavanja CIECAM97s) je bilo ugotovljeno, da je reverzibilnost modela nezanesljiva in da je bil dobljen na podlagi ujemanja razmeroma majhnega števila vzorcev. Zato je bil razvit model CMCCAT2000, ki ga je sprejel Colour Measurement Committee (CMC) [26, 27]. Ta model nima potenčne funkcije, tako da je bil v celoti reverzibilen in ustrezen za večino primernih oziroma razpoložljivih vzorcev. CMCCAT2000 v stopnji prilagoditve upošteva še  $L_{AR}$  – svetlost referenčnega prilagojenega polja, ki pri CMCCAT97 ni upoštevana. Manjša revizija CMCCAT2000, znana kot CAT02, je bila opravljena s pomočjo matrike CMCCAT02,

optimizirana za večje število podatkov, ki so se našli na najpogosteje uporabljene slike. Vključena je v model barvnega zaznavanja CIECAM02 in uporabljena pri izračunu indeksa barvne nekonstance CMCCON02.

Na splošno za uporabo modela barvne prilagoditve potrebujemo vhodne podatke:

- standardizirane barvne vrednosti vzorca pod referenčno svetlobo:  $CIEXYZ$ ,
- standardizirane barvne vrednosti bele točke pod referenčno svetlobo:  $CIEX_{w_r} Y_{w_r} Z_{w_r}$ ,
- standardizirane barvne vrednosti bele točke pod prilagojeno svetlobo:  $CIEX_w Y_w Z_w$  in
- svetlost v okolju prilagoditve ( $cd/m^2$ ):  $L_A$ .

Rezultat končnega izračuna modela barvne prilagoditve so ciljne vrednosti, ki so prilagojene (angl. *adapted* – A) standardizirane barvne vrednosti pod prilagojeno svetlobo:  $CIEX_A Y_A Z_A$ .

#### 4.5 Izračun zaznavnih lastnosti barve

Modelu barvne prilagoditve sledi izračun zaznavnih lastnosti barve, kot so: sijavost (angl. *brightness*, Q), svetlost (angl. *lightness*, J), barvitost (angl. *colorfulness*, M), kroma (angl. *chroma*, C), nasičenost (angl. *saturation*, s) in barvni ton (angl. *hue*, h). Od teh se največ uporabljajo svetlost (J), kroma (C) in barvni ton (h).

#### 4.6 Kaj lahko napove model barvnega zaznavanja

Model barvnega zaznavanja vključuje povezavo med pomembnimi dimenzijami barvnega videza, kot so: sijavost, svetlost, barvitost, kroma, nasičenost in barvni ton, in lahko napove široko območje prilagoditvenih, okoliških in od svetlobe odvisnih učinkov. Model ni uporaben pri skrajno visokih ali nizkih stopnjah osvetlitve (ekstremno svetlo ali temno okolje), ki so atipične za povprečno opazovanje barv, oziroma takrat, ko se aktivirajo paličice (nočno gledanje), ali v ekstremno osvetljenih scenah, v katerih se lahko zasičijo čepki – pojav bleščanja (angl. *cone bleaching*).

## 5 Sklep

V nasprotju s CIE kolorimetrijo, ki je v proizvodnem procesu uporabna za vrednotenje barvnega ujemanja odtisov ali obarvanih izdelkov, so modele

barvnega zaznavanja razvili in vpeljali kot razširitev CIE kolorimetrije za napovedovanje barve pri spremembi medija in pogojev opazovanja, ne samo za določanje barvnega ujemanja.

Pomanjkljivost modelov barvnega zaznavanja je ta, da ne upoštevajo prostorskih lastnosti objekta in začasnih lastnosti človeškega gledanja in zaznavanja objektov. Medtem ko so uspešni pri odpravljanju težav pri barvnem upodabljanju, neodvisnem od naprav, in so vpleteni v sodobne sisteme barvnega upravljanja, je na tem področju potrebnih še veliko izboljšav. Prihodnost modelov barvnega zaznavanja so modeli barvnega zaznavanja slik, iCAM (angl. *image colour appearance models*), ki upoštevajo zaznavanje v zelo kompleksnem oziroma barvno pisanem okolju.

## 6 Viri

1. FAIRCHILD, MD. *Color appearance models. Second Edition*. Chichester, West Sussex, England : John Wiley & Sons, 2005, p. 23–24, 134–138, 160–164, 252–277.
2. JAVORŠEK, A. *Preizkus modela barvnega zaznavanja CIECAM97s v standardnih pogojih : diplomsko delo*, 2004, str. 7–16.
3. Michel Eugène Chevreul [citirano 20. 1. 2012] Dostopno na svetovnem spletu: [http://en.wikipedia.org/wiki/Michel\\_Eugène\\_Chevreul](http://en.wikipedia.org/wiki/Michel_Eugène_Chevreul).
4. KLANJŠEK GUNDE, M. Svetloba in barve – Fizikalni vidik. V *Interdisciplinarnost barve : 1. del v znanosti*. Maribor : Društvo koloristov Slovenije, 2001, str. 31–32.
5. BRAČKO, S. in JAVORŠEK, D. *Merjenje barv : vaje*. Ljubljana : Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, 2009, str. 1–3.
6. ISO 13655:1996(E), Graphic technology – Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images, p. 3–4.
7. GOLOB, V. in GOLOB, D. Teorija barvne metrike. V *Interdisciplinarnost barve : 1. del v znanosti*. Maribor : Društvo koloristov Slovenije, 2001, str. 21–22.
8. FAIRCHILD MD. in JOHNSON, GM. The iCAM Framework for Image Appearance, Image Differences, and Image Quality. *Journal of Electronic Imaging*, 2004, vol. 13, no. 1, p. 126–138.
9. ISO 12646:2008, Graphic technology – Displays for colour proofing – Characteristics and viewing conditions, p. 5–6.

10. ISO 3664:2009, Graphic technology and photography – Viewing conditions, p. 5.
11. Specification ICC.1:2010-12 (Profile version 4.3.0.0), Image technology colour management – Architecture, profile format, and data structure, p. ix.
12. HUNT, RWG. in POINTER, MR. *Measuring color*, 4th Edition, John Wiley and Sons, 2011, p. 121–122.
13. LUO, MR., RIGG, B. in SMITH, KJ. CMC 2002 colour inconstancy index; CMCCON02. *Coloration Technology*, 2003, vol. 119, no. 5, pp. 280–285.
14. LUO, MR., LI, CJ., HUNT, RWG., RIGG, B. in SMITH, KJ. CMC 2002 color inconstancy index: CMCCON02. *Coloration Technology*, 2003, vol. 119, p. 280–285.
15. ISO 105-J05:2007, Textiles – Tests for colour fastness – Part J05: Method for the instrumental assessment of the colour inconstancy of a specimen with change in illuminant (CMCCON02), p. 1–2.
16. *Learn about light, Color rendering* [citirano 20. 1. 2012], Dostopno na svetovnem spletu: [http://www.gelighting.com/na/business\\_lighting/education\\_resources/learn\\_about\\_light/color\\_rendering.htm](http://www.gelighting.com/na/business_lighting/education_resources/learn_about_light/color_rendering.htm).
17. CIE13.3:1995: Colour rendering – Method of measuring and specifying colour rendering of light source, p. 4–8.
18. MORONEY, N., FAIRCHILD, MD., HUNT, RWG., LI, CJ., LUO, MR. in NEWMAN, T. The CIECAM02 color appearance model. *IS&T/SID 10th Color Imaging Conference*, Scottsdale, 2002, p. 23–27.
19. BRAUN, KM. in FAIRCHILD, MD. Testing five color appearance models for changes in viewing conditions. *Color Research and Application*, 1997, vol. 22, p. 165–174.
20. VON KRIES, J. Influence of adaptation on the effects produced by luminous stimuli. In D. L. MacAdam, editor, *Sources of Color Science*, The MIT Press, Cambridge MA, 1970, p. 109–119.
21. LUO, MR. in HUNT, RWG. A chromatic adaptation transform and a colour inconstancy index. *Color Research and Application*, 1998, vol. 23, p. 154–158.
22. SÜSSTRUNK, S., HOLM, J. in FINLAYSON, GD. *Chromatic Adaptation Performance of Different RGB Sensors* [citirano: 20. 1. 2011]. *IS&T/SPIE Electronic Imaging*, 2011, SPIE vol. 4300, p. 1–12. Dostopno na svetovnem spletu: <http://infoscience.epfl.ch/record/34049/files/SusstrunkFH01.pdf>.
23. FINLAYSON, GD. in SÜSSTRUNK, S. *Spectral Sharpening and the Bradford Transform* [citirano: 20. 1. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://infoscience.epfl.ch/record/34077/files/FinlaysonS00.pdf>.
24. LINDBLOOM, B. *Chromatic Adaptation* [citirano: 20. 1. 2011]. Dostopno na svetovnem spletu: [http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn\\_ChromAdapt.html](http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn_ChromAdapt.html).
25. JAVORŠEK, D., JAVORŠEK, A. in HLADNIK, A. Comparison of chromatic adaptation transforms used in textile printing sample preparation. *Coloration technology*, 2010, vol. 126, no. 5, p. 275–281.
26. WESTLAND, S. in RIPAMONTI, C. *Computational Colour Science using MATLAB*. England : John Wiley & Sons, Ltd, 2004, p. 81–109.
27. LI, CJ., LUO, MR. in HUNT, RWG. Revision of the CIECAM97s model. *Colour Research and Application*, 2000, vol. 25, p. 260–266.