

Kako določimo barvne koordinate dekorativnih (trdih) prevlek?

Dekoratívne prevleke so najstarejši primer uporabe tankih plasti. Uporabljamo jih za dekoracijo in zaščito površine predmetov pred korozijo, oksidacijo in abrazijo. Pripravimo jih lahko z najrazličnejšimi elektrokemijskimi in vakuumskimi postopki. Barve prevlek so odvisne od vrste materiala in parametrov nanašanja plasti. V splošnem jih lahko pripravimo v kakršnikoli barvi. Najzanimivejše so tiste, ki jih lahko uporabimo kot nadomestek za zlato. Po barvi so zlatu še najbližje tanke plasti nitridov titana, cirkonija in hafnija, ki spadajo v skupino keramičnih materialov, zato so zelo trde in odporne proti razenju. Z delno nadomestitvijo kovinskih in nekovinskih atomov pa se njihova barva spreminja v zelo širokem delu spektra. Značilen primer je (Ti,Al)N, ki spremeni barvo od srebrne do zlate in temno modre, če spreminjamo vsebnost aluminija in dušika.

Barva predmetov, kot jo vidi človek, je subjektiven občutek, ki je najprej rezultat zapletenih interakcij med svetlobo in snovjo, nato pa še fotokemijskih procesov v očeh, možganih ter od psihološkega odziva. Zato so si raziskovalci dolgo časa prizadevali najti način, kako barvo ovrednotiti kvantitativno. Izhodišče sta postavila Helmholtz in Young v začetku prejšnjega stoletja, ko sta ugotovila, da lahko poljubno barvo (B) sestavimo iz določenih deležev modre (M), zelene (Z) in rdeče (R) barve, kar je posledica treh vrst čepkov v očesu:

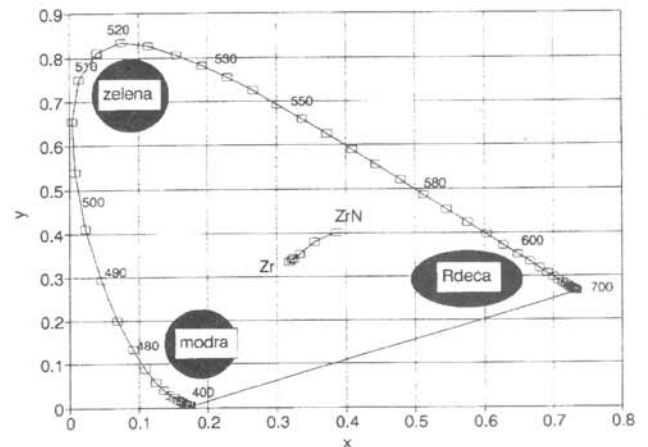
$$B(\lambda) = \bar{x}(\lambda)M + \bar{y}(\lambda)Z + \bar{z}(\lambda)R$$

Vsaki barvi lahko torej priredimo vektor, katerega dolžina določa intenziteto barve, koordinate x , y in z pa barvo. Barvne koordinate x , y in z določimo eksperimentalno tako, da na del belega zaslona projiciramo monokromatsko svetlobo z izbrano valovno dolžino, na drugi del zaslona pa hkrati projiciramo modro, zeleno in rdečo svetlobo. Moč posameznih izvirov in s tem intenziteto svetlobe spreminjamo tako dolgo, dokler opazovalec ne presodi, da sta barvi obeh delov zaslona identični. Takšne meritve so bile narejene za monokromatsko svetlobo iz celotnega spektra vidne svetlobe z

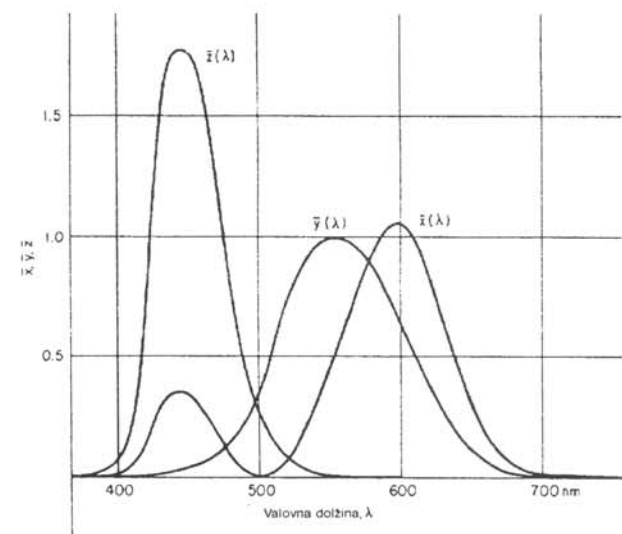
velikim številom opazovalcev. Vrednosti barvnih koeficientov v odvisnosti od valovne dolžine so bile leta 1931 standardizirane, prikazane pa so na sliki 1.

Z barvnimi koeficienti \bar{x} , \bar{y} in \bar{z} je torej barva enolično določena. Če njihove vrednosti normaliziramo ($x = \bar{x}/(\bar{x} + \bar{y} + \bar{z})$, $y = \bar{y}/(\bar{x} + \bar{y} + \bar{z})$, $z = \bar{z}/(\bar{x} + \bar{y} + \bar{z})$), preidemo na dve spremenljivki, kar nam omogoča prikaz barve v dvodimenzionalnem diagramu, tj. v ravnini. Na tak način priredimo trem krivuljam na sliki 1, ki ustrezajo čisti monokromatski svetlobi, barvni trikotnik (slika 2).

In kako določimo barvne koordinate svetlobe z

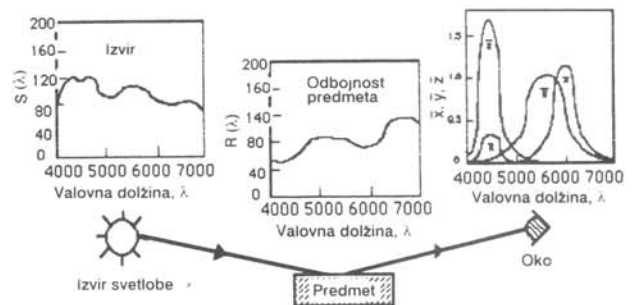


Slika 2. Barvni trikotnik z barvnimi koordinatami Zr-N plasti z različno sestavo



Slika 1. Vrednosti barvnih koeficientov \bar{x} , \bar{y} in \bar{z} v odvisnosti od valovne dolžine

zveznim spektrom? Spekter zvezne svetlobe najprej razdelimo na intervale s širino $\Delta\lambda$. Delež svetlobe z izbrano valovno dolžino λ_n , ki prispe v oko, je enak $\varphi(\lambda_n)\Delta\lambda$ in je odvisen od (slika 3): (a) vrste izvira svetlobe (spektralno porazdelitev svetlobe, ki jo oddaja izvir naj določa funkcija $S(\lambda)$), (b) od prepustnosti $T(\lambda)$ morebitnih filtrov, skozi katere gre svetloba na svoji poti od izvira do predmeta, (c) od odbojnosti površine predmeta, $R(\lambda)$, ki je seveda za svetlobo z različnimi



Slika 3. Shema sistema svetlobni izvir-predmet-ok, spektralna porazdelitev svetlobe, ki jo oddaja izvir, odbojnost predmeta v odvisnosti od valovne dolžine svetlobe in spektralna občutljivost očesa.

valovnimi dolžinami različna, in končno od (d) občutljivosti očesa za svetlobo različnih valovnih dolžin; le-ta je podana s prej omenjenimi barvnimi koordinatami $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ in $\bar{z}(\lambda)$. Intenziteta svetlobe izbrane valovne dolžine, ki prispe v oko $\varphi(\lambda)$, je zato enaka produktu:

$$\varphi(\lambda) = S(\lambda)T(\lambda)R(\lambda)$$

Porazdelitveno funkcijo $\varphi(\lambda)$ imenujemo barvno funkcijo. Barvo svetlobe z valovno dolžina λ_n lahko, tako kot vsako monokromatsko svetlobo, zapišemo z barvnimi koordinatami \bar{x} , \bar{y} in \bar{z} :

$$B(\lambda_n) = \bar{x}(\lambda_n)M + \bar{y}(\lambda_n)Z + \bar{z}(\lambda_n)R$$

Delež te svetlobe je enak $\varphi(\lambda_n)\Delta\lambda$. Barvni vtis, ki ga v očesu ustvari svetloba z zveznim spektrom, je enak:

$$B = B(\lambda_1)\varphi(\lambda_1)\Delta\lambda + B(\lambda_2)\varphi(\lambda_2)\Delta\lambda + \dots$$

$$\dots + B(\lambda_n)\varphi(\lambda_n)\Delta\lambda = \sum_n B(\lambda_n)\varphi(\lambda_n)\Delta\lambda$$

Če zberemo skupaj vse člene, kjer nastopa modra, zelena oz. rdeča barva, dobimo naslednjo enačbo:

$$B = [\varphi(\lambda_1)\bar{x}(\lambda_1)\Delta\lambda + \varphi(\lambda_2)\bar{x}(\lambda_2)\Delta\lambda + \dots + \varphi(\lambda_n)\bar{x}(\lambda_n)\Delta\lambda]M +$$

$$+ [\varphi(\lambda_1)\bar{y}(\lambda_1)\Delta\lambda + \varphi(\lambda_2)\bar{y}(\lambda_2)\Delta\lambda + \dots + \varphi(\lambda_n)\bar{y}(\lambda_n)\Delta\lambda]Z +$$

$$+ [\varphi(\lambda_1)\bar{z}(\lambda_1)\Delta\lambda + \varphi(\lambda_2)\bar{z}(\lambda_2)\Delta\lambda + \dots + \varphi(\lambda_n)\bar{z}(\lambda_n)\Delta\lambda]R$$

Vsote členov v oglatih oklepajih označimo z \bar{X} , \bar{Y} in \bar{Z} in dobili smo enačbo, ki je podobna tisti za monokromatsko svetlobo, pri čemer so koeficienti \bar{X} , \bar{Y} in \bar{Z} enaki:

$$\bar{X} = \sum_n \bar{x}(\lambda_n)\varphi(\lambda_n)\Delta\lambda$$

$$\bar{Y} = \sum_n \bar{y}(\lambda_n)\varphi(\lambda_n)\Delta\lambda$$

$$\bar{Z} = \sum_n \bar{z}(\lambda_n)\varphi(\lambda_n)\Delta\lambda$$

Če \bar{X} , \bar{Y} in \bar{Z} normaliziramo ($X = \bar{X}/(\bar{X} + \bar{Y} + \bar{Z})$, $Y = \bar{Y}/(\bar{X} + \bar{Y} + \bar{Z})$, $Z = \bar{Z}/(\bar{X} + \bar{Y} + \bar{Z})$), velja zveza $X + Y + Z = 1$, zato lahko barvni vtis, ki ga v očesu ustvari svetloba z zveznim spektrom, prikažemo s točko v barvnem trikotniku (slika 2). Vse barve, ki jih zazna človeško oko so znotraj barvnega trikotnika. Spektralno čiste barve pa so na njegovih robovih: v ogliščih so modra, zelena in rdeča. V barvnem trikotniku na sliki 2 so prikazane koordinate Zr-N plasti z različno sestavo. Pri tem smo za izvir svetlobe uporabili dnevno svetlobo z znano spektralno porazdelitvijo, odbojnost plasti smo izmerili s fotospektrometrom v podjetju Fotona v Ljubljani, barvni koeficienti pa so, kot je bilo že omenjeno, standardizirani.

Dr. Peter Panjan
Institut Jožef Stefan, Jamova 39
1001 Ljubljana, p.p 3000

Kemis

RAZISKAVE IN RAZVOJ, KEMIČNI IZDELKI, EKOTEHNOLOGIJA
SLO 61235 RADOMLJE, p.p. 58, TEL.:061/728-007, 727-547, 727-149, FAX:061/728-005

