

Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani
 Oddelek za tehniško varnost
 3. letnik – Univerzitetni študij

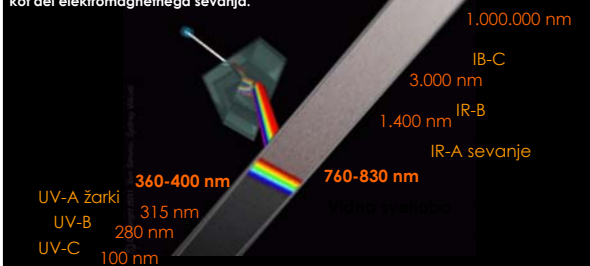
Elektrotehnika in varnost Razsvetljava

Svetloba in barve

predavatelj
 prof. dr. Grega Bizjak, u.d.i.e.

Svetloba kot del EM spektra

Vidno svetlobo lahko obravnavamo
 kot del elektromagnetnega sevanja.

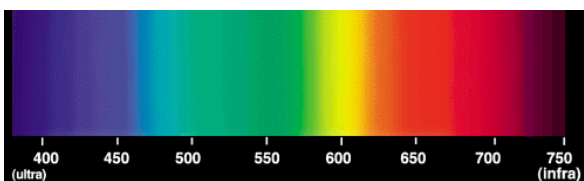


EV R: Svetloba in barve

2

Svetloba kot del EM spektra

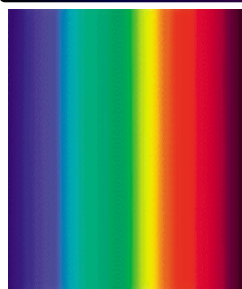
Človeško oko svetlobo posamezne
 valovne dolžine zazna kot svetlobo
 določene barve.



EV R: Svetloba in barve

3

Svetloba kot del EM spektra

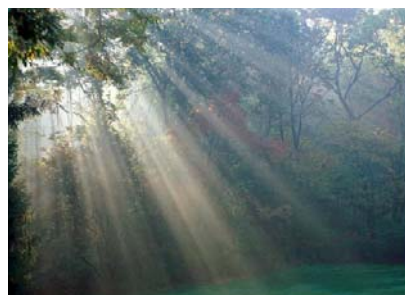


400 - vijolična - 436
 436 - modra - 495
 495 - zelena - 566
 566 - rumena - 589
 589 - oranžna - 627
 627 - rdeča - 700

EV R: Svetloba in barve

4

Bela svetloba



In kje je
 ostala
 bela
 svetloba,
 ki jo daje
 sonce?

EV R: Svetloba in barve

5

Bela svetloba

Iz bele sončeve svetlobe dobimo pri
 razklonu svetlobe na prizmi celoten
 barvni spekter.

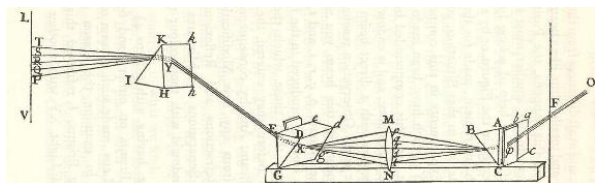


EV R: Svetloba in barve

6

Bela svetloba

Svetloba, ki jo dojemamo kot belo, je v bistvu sestavljena iz vseh barv.



Newtonov eksperiment, s katerim je dokazal, da je bela svetloba res sestavljena iz svetlob posameznih barv.

EV R: Svetloba in barve

7

Razklon svetlobe v naravi

Zelo lep primer razklona svetlobe v naravi je mavrica (dvojna mavrica).

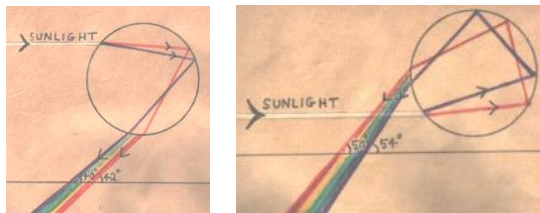


EV R: Svetloba in barve

8

Razklon svetlobe v naravi

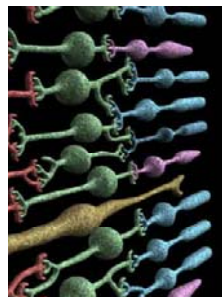
Mavrica nastane, ko se svetloba lomi (razklanja) na vodnih kapljicah.



EV R: Svetloba in barve

9

Svetloba, barve in človeške oči



Samo čepnice ločijo barve.

Čepnice

- 7.000.000 čepnic v povprečnem očesu.
- Manj občutljive na svetlobo
- **Ločijo barve.**
- Razporejene so predvsem okoli rumene pege.
- Z njimi gledamo, ko je svetlobe dovolj - **fotopski vid.**

EV R: Svetloba in barve

10

Svetloba, barve in človeške oči

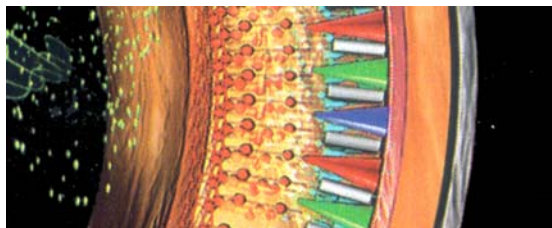
- Svetlobe različnih barv je praktično neskončno (kot je valovnih dolžin med 340 in 830 nm)
- Človeške oči barve zaznavajo s čepnicami.
- **Obstaja za vsako barvo svetlobe svoja vrsta čepnic?**

EV R: Svetloba in barve

11

Svetloba, barve in človeške oči

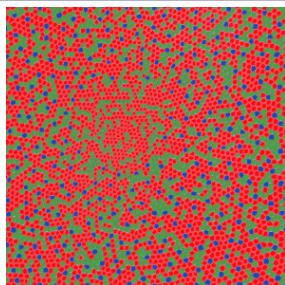
Oči ločijo samo tri osnovne barve: rdečo, zeleno in modro.



EV R: Svetloba in barve

12

Svetloba, barve in človeške oči

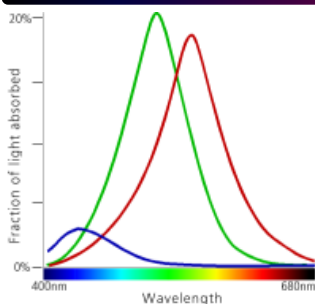


Število posameznih vrst čepnic na mrežnici je različno. V centralnem delu je samo 7% "modrih", "zelene" in "rdeče" pa so v razmerju 1:1,5. Čisto v sredini "modrih" sploh ni. Na celotni mrežnici pa jih je le 1%.

EV R: Svetloba in barve

13

Svetloba, barve in človeške oči

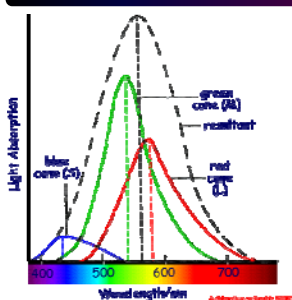


Občutljivosti posamezne vrste čepnice so različne. Vrhovi so pri približno 420 nm, 534 nm in 564 nm.

EV R: Svetloba in barve

14

Svetloba, barve in človeške oči



Vse tri vrste čepnic skupaj dajo spektralno občutljivost človeškega očesa.

Največji dražljaj povzroči svetloba s 555 nm

EV R: Svetloba in barve

15

Svetloba, barve in človeške oči

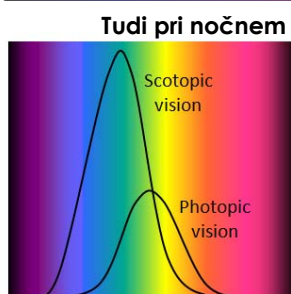


Pri svetlobi določene valovne dolžine (rumeno zelena, 555 nm) torej vidimo bolj (bolj svetlo), kot pri drugih.

EV R: Svetloba in barve

16

Svetloba, barve in človeške oči



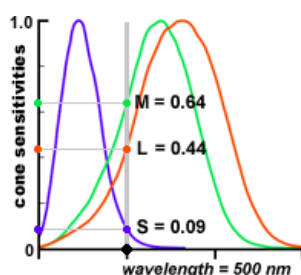
Tudi pri nočnem vidu (s paličnicami) je podobno.

Tu smo najbolj občutljivi na svetlobo s 507 (498) nm.
K=683 lm/W
K'=1700 lm/W

EV R: Svetloba in barve

17

Svetloba, barve in človeške oči



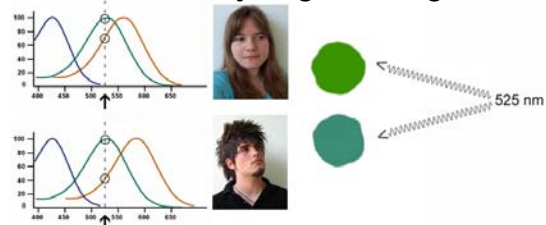
Zaznana barva je odvisna od stopnje vzdraženosti posamezne vrste čepnic:
modra=0,09
zelena=0,64
rdeča=0,44
Skupen vtis: zelena

EV R: Svetloba in barve

18

Svetloba, barve in človeške oči

Zaznana barva je odvisna tudi od osebe in njenega živčnega sistema.

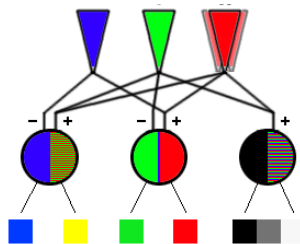


EV R: Svetloba in barve

19

Svetloba, barve in človeške oči

In kako informacija o barvah pride v možgane?



Ni še točno znano, vendar se predvideva, da obstajajo tri živčne povezave:

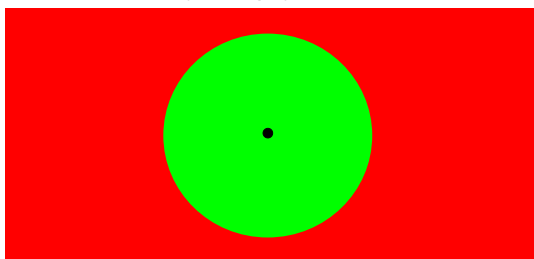
- rumeno-modra
- rdeče-zelena
- povezava za svetlost.

EV R: Svetloba in barve

20

Svetloba, barve in človeške oči

Poskus: nekaj časa glejte tole sliko, nato pa ...!



EV R: Svetloba in barve

21


Svetloba, barve in človeške oči



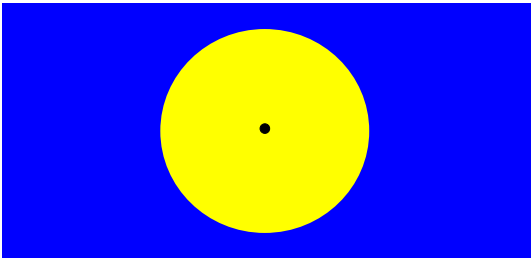
... poglejte tole.

EV R: Svetloba in barve 22

Svetloba, barve in človeške oči




Poskus 2: podobno se nam zgodi tudi ...!



EV R: Svetloba in barve 23

Svetloba, barve in človeške oči



... v tem primeru.

EV R: Svetloba in barve 24

Možne težave: barvna slepota

V kolikor čepnice niso občutljive na vse tri osnovne barve, govorimo o barvni slepoti.

Če je normalen vid **trikromatski**, je okvarjeni vid lahko **dvokromatski** ali samo **monokromatski**.



EV R: Svetloba in barve

25

Možne težave: barvna slepota



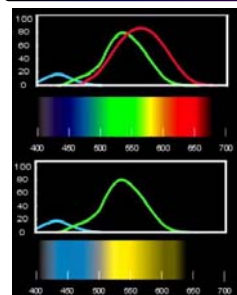
Barvno slep je približno vsak 12 moški (8%), barvno slepih žensk pa je bistveno manj (okoli 0,5%). Popolnoma barvno slepih je približno 0,00001%

Vzrok barvne slepote je slaba občutljivost ali celo neobčutljivost določene vrste čepnic za ustrezno osnovno barvo oziroma občutljivost za "napačno" barvo.

EV R: Svetloba in barve

26

Možne težave: barvna slepota



Najpogostejša je rdeče-zelena barvna slepota obe vrsti čepnic reagirata na enaki (podobni) osnovni barvi!

(4 do 5% populacije).
Poznamo pa tudi modro-rumeno.

EV R: Svetloba in barve

27

Možne težave: barvna slepota

Pri rdeče (-zeleni) barvni slepoti človek loči samo dve "barvi": modro in rumeno. Tako ne more ločiti zelene in rdeče, saj oboje vidi kot rumeno. Zeleno-modri in vijolični odtenki pa so sivi.

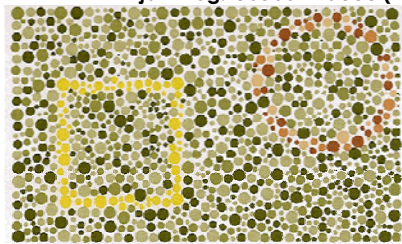


EV R: Svetloba in barve

28

Možne težave: barvna slepota

Oseba z normalnim vidom vidi na sliki rumen kvadrat in rjav krog. Oseba z rdeče (-zeleno) barvno slepoto vidi samo rumen kvadrat.



EV R: Svetloba in barve

29

Možne težave: nočna slepota

Seveda se lahko zgodi tudi, da paličnice ne opravljajo svojega dela – **nočna slepota**.

Nočna slepota je lahko prisotna od rojstva, lahko pa nastopi tudi zaradi poškodbe ali pomanjkanja **vitamina A**.



EV R: Svetloba in barve

30

Barva predmetov

Predmeti okoli nas so barvni. Od česa



EV R: Svetloba in barve

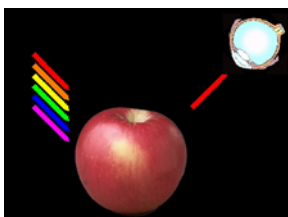
31

je
odvisna
njihova
barva?

Barva predmetov

Kaj določa barvo predmeta:

- svetloba s katero je osvetljen
 - površina predmeta
 - vidni sistem opazovalca



EV R: Svetloba in barve

32

Barva predmetov

Če:

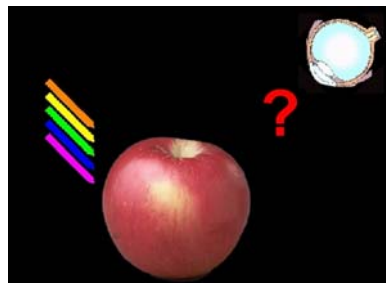
- ni prave barve v svetlobi, ki pada na predmet
- predmet ne odbija svetlobe, ki pada nanj
- naše oči ne zaznajo odbite svetlobe

...

EV R: Svetloba in barve

33

Barva predmetov



...
predmeta
oziroma
njegove
barve ne
vidimo.

EV R: Svetloba in barve

34

Barva predmetov



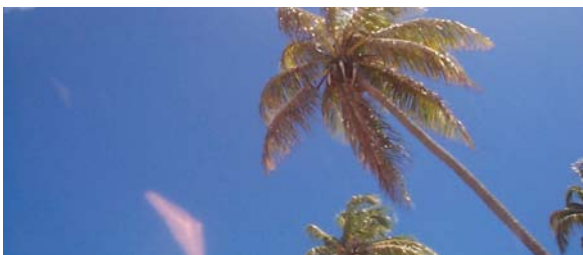
Čeprav so
predmeti pod
različno
svetlobo
različnih barv,
jih običajno
vidimo enake.

EV R: Svetloba in barve

35

Barva predmetov

Kaj pa določa barvo neba?

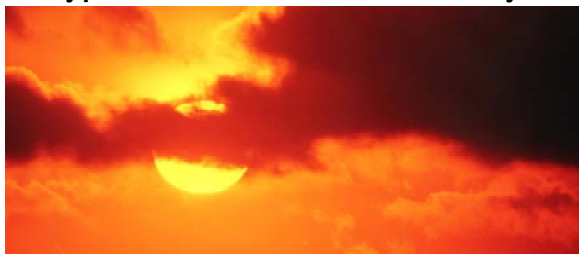


EV R: Svetloba in barve

36

Barva predmetov

Kaj pa določa barvo sonca ko zahaja?



EV R: Svetloba in barve

37

Barva predmetov

In zakaj so oblaki beli?

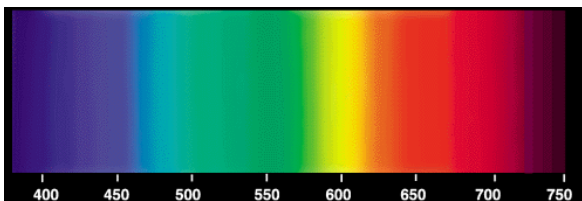


EV R: Svetloba in barve

38

Kako opisati barvo?

Določeno barvo lahko opišemo z valovno dolžino ustrezne svetlobe.

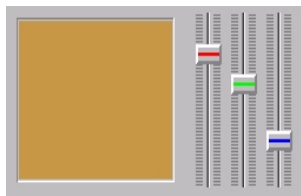


EV R: Svetloba in barve

39

Kako opisati barvo?

Barvo lahko podamo tudi s pomočjo kombinacije treh osnovnih barv. Tri osnovne barve morajo biti izbrane tako, da z mešanjem dveh od njih ni možno dobiti tretje. Običajno so izbrane tri barve na katere so občutljive naše oči: rdeča, zelena in modra.



EV R: Svetloba in barve

40

Kako opisati barvo?

Delež osnovnih treh barv: rdeče (R), zelene (G) in modre (B) predstavimo z X (za rdečo), Y (za zeleno) in Z (za modro).

Poljubno barvo torej lahko zapišemo:

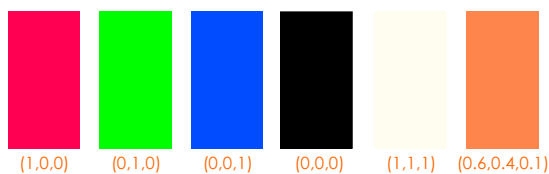
$$C = X \cdot R + Y \cdot G + Z \cdot B$$

EV R: Svetloba in barve

41

Kako opisati barvo?

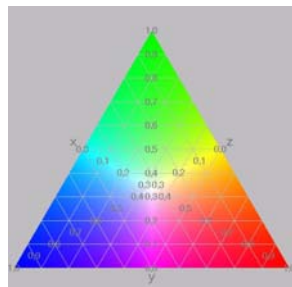
Vsako barvo torej lahko podamo s kombinacijo treh števil X, Y in Z.



EV R: Svetloba in barve

42

Kako opisati barvo?



Prvi je ta princip uporabil Maxwell v svojem barvnem trikotniku. Sledili so različni raziskovalci.



EV R: Svetloba in barve

Kako opisati barvo?

Barvne deleže lahko tudi normiramo, tako, da je njihova vsota vedno 1.

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

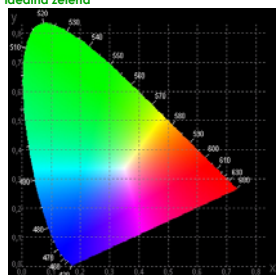
Ker pa je njihova vsota vedno 1, je dovolj da podamo samo dva: x in y:

X=0,10 Y=0,80 Z=0,60 oziroma x=0,0667 y=0,5333

EV R: Svetloba in barve

Kako opisati barvo?

idealna zelena



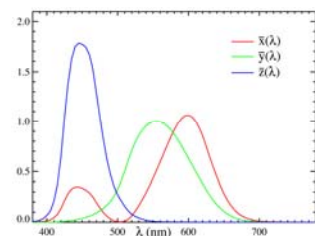
Ker se z Guildovim in še nekaterimi drugimi barvnimi sistemi ni dalo opisati vseh vidnih barv, je CIE (mednarodna komisija za razsvetljavo) sprejela tri "idealne" osnovne barve, s katerimi je možno opisati celoten viden spekter.

idealna modra

idealna rdeča

EV R: Svetloba in barve

Kako opisati barvo?



Določene so bile tudi občutljivosti "standardnega opazovalca" na te tri barve.

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

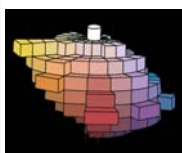
$$Y = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

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

EV R: Svetloba in barve

46

Kako opisati barvo?



Obstajajo pa tudi drugi načini za opis barve kot na primer:

- Munsellov barvni sistem
- NCS barvni sistem,
- Pantone
- RAL,
-

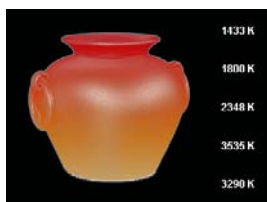


EV R: Svetloba in barve

47

Temperatura barve

Barvo termičnih seval lahko opišemo tudi s pomočjo "Temperature barve".



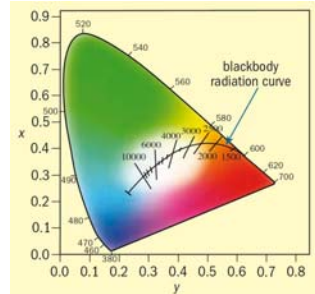
Če (kovinski) predmet segrevamo, začne oddajati energijo v obliki vidne svetlobe. Najprej je temno rdeč, nato njegova barva prehaja preko oranžne in rumene v belo in na koncu v modro.

Torej lahko določene barve opišemo s temperaturo, ki jo ima predmet, ko žari v določeni barvi.

EV R: Svetloba in barve

48

Temperatura barve



Barve termičnih seval, ki jih lahko opišemo s temperaturo barve, se nahajajo v CIE barvnem trikotniku na "Planckovem loku", ki poteka od rdečega mimo belega v modro področje.

EV R: Svetloba in barve

Temperatura barve

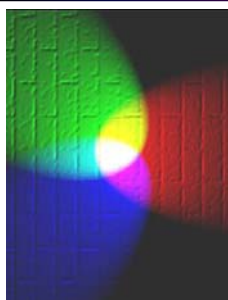


S temperaturo barve se da opisati le določene barve in ne vseh.

Različni viri svetlobe (naravne ali umetne) imajo različno barvo svetlobe, ki jo (večinoma) lahko opišemo s temperaturo barve, ker je ta svetloba zelo blizu bele svetlobe.

EV R: Svetloba in barve

Barve svetlobe lahko mešamo



Svetlobe različnih (osnovnih) barv lahko mešamo in dobimo druge barve.

- Rdeča+Modra=Vijolična
- Modra+Zelena=Turkizna
- Rdeča+Zelena=Rumena
- Rdeča+Zelena+Modra=Bela

Tako mešanje svetlobe imenujemo aditivno mešanje.

EV R: Svetloba in barve

Barve svetlobe lahko mešamo

Aditivno mešanje uporabljamo npr. pri slikovnih zaslonih (televizija)

EV R: Svetloba in barve 52

Barve svetlobe lahko mešamo

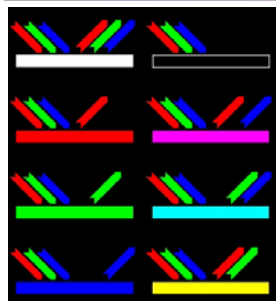
EV R: Svetloba in barve 53

Kaj so to pigmenti

Pigmenti so snovi, ki odbijajo samo določeno barvo svetlobe (in jih običajno imenujemo kar barve).

EV R: Svetloba in barve 54

Kako delujejo pigmenti



Barva odbite svetlobe definira barvni videz pigmenta.

Rdeč pigment odbija samo rdečo svetlobo. Vijoličen pigment pa odbija tako rdečo kot modro. Obe barvi svetlobe skupaj pa dasta vijolično.

EV R: Svetloba in barve

55

Kako deluje mešanje pigmentov

Turkizen pigment odbija zeleno in modro svetlobo, rumen pa zeleno in rdečo. Če jih zmešamo skupaj, mešanica odbija samo še zeleno svetlobo.



EV R: Svetloba in barve

56

Pigmente lahko mešamo



Subtraktivno mešanje barv je torej mešanje pigmentov, ki del spektra vpijejo. Nastala "barva" je vedno temnejša od komponent.



Rumena + Turkizna = Zelena
 Turkizna + Vijolična = Modra
 Vijolična + Rumena = Rdeča

Rumena + Turkizna + Vijolična = Črna

EV R: Svetloba in barve

57

Pigmente lahko mešamo



Cyan



Yellow



Magenta



Black



Mešanje barvil uporabljamo npr. pri barvnem tisku.

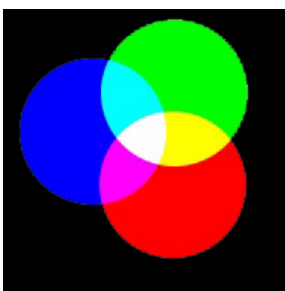
Uporabljajo se tri sekundarne barve: rumena, turkizna in vijolična. Tiska pa se še s četrto: črno - štiri-barvni-tisk

CYMK

Pigmente lahko mešamo



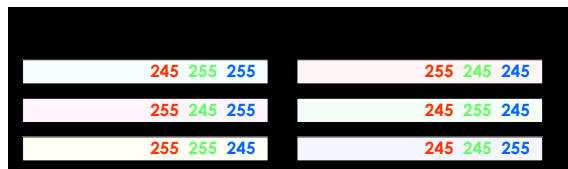
Spektralna vsebina svetlobe



Tri osnovne barve dajo vtis bele svetlobe. Vendar je bela svetloba lahko bolj ali manj "bela", pač glede na deleže posameznih osnovnih barv.

Spektralna vsebina svetlobe

Bela svetloba je lahko bolj ali manj "bela", pač glede na deleže posameznih osnovnih barv.

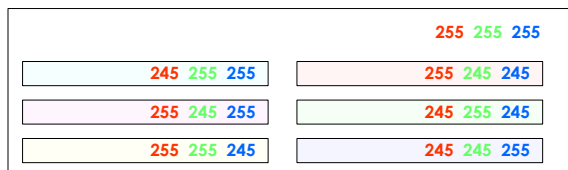


EV R: Svetloba in barve

61

Spektralna vsebina svetlobe

Na beli podlagi je razlike v "belini" nekoliko lažje opaziti.

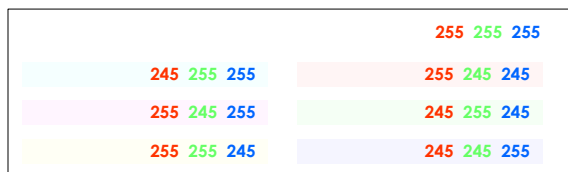


EV R: Svetloba in barve

62

Spektralna vsebina svetlobe

Na beli podlagi je razlike v "belini" nekoliko lažje opaziti.



EV R: Svetloba in barve

63

Spektralna vsebina svetlobe

Spektralna vsebina svetlobe podaja valovne dolžine, ki so zastopane v določeni svetlobi.



EV R: Svetloba in barve

64

Spektralna vsebina svetlobe

Lahko pa taki "beli svetlobi" dodamo še druge barve.



Sončna svetloba na severnem nebu.

Svetloba navadne žarnice.

Svetloba fluorescenčne sijalke.

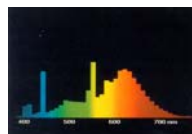
EV R: Svetloba in barve

65

Indeks barvnega videza

Spektralna vsebina svetlobe določa barvni videz predmetov.

Svetloba z večjo vsebino rdeče poudari rdečo barvo predmetov.



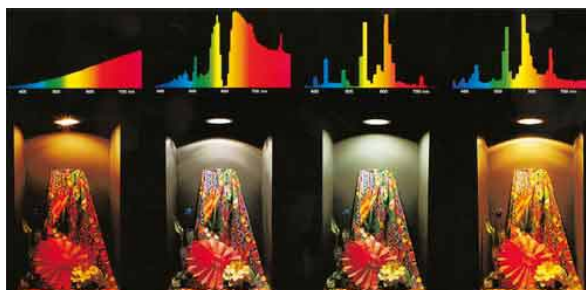
Pri manjši vsebnosti rdeče svetlobe so rdeče barve predmetov bolj medle.



EV R: Svetloba in barve

66

Indeks barvnega videza

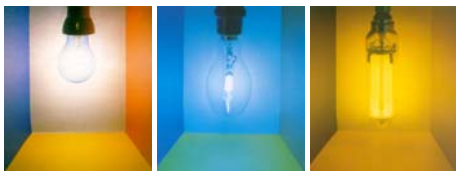


EV R: Svetloba in barve

67

Indeks barvnega videza

Kako torej opisati sposobnost svetlobe (vira) za verno podajanje barv predmeta?



EV R: Svetloba in barve

68

Indeks barvnega videza

Odgovor je: **indeks barvnega videza ali faktor primerljivosti barve (Ra).**

Angleško: **Color Rendering Index**

Nemško: **Farbwiedergabeindex**

Podaja se v številčni vrednosti od 0 do 100.

100 pomeni, da se barve vidijo tako, kot

pri sončni svetlobi. Manjši indeks pa

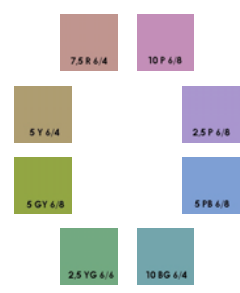
pomeni, da so v barvnem izgledu

prisotna odstopanja.

EV R: Svetloba in barve

69

Faktor primerljivosti barv



Določitev Ra temelji na 8 izbranih testnih barvah. Za vsako barvo se najprej izračuna barvni premik ΔE_i v CIE barvnem trikotniku, nato pa faktor primerljivosti (R_i):

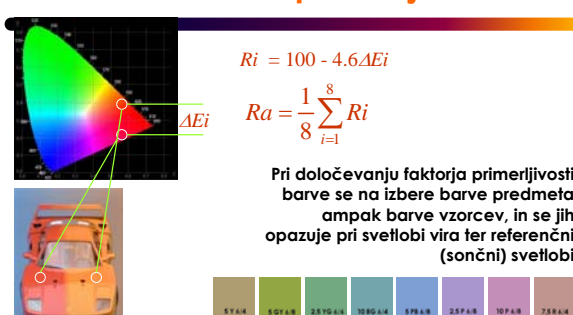
$$R_i = 100 - 4.6\Delta E_i$$

Na podlagi R_i vseh osmih barv se nato izračuna še skupen faktor primerljivosti barve Ra:

$$Ra = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i$$

EV R: Svetloba in barve 70

Faktor primerljivosti barv



$R_i = 100 - 4.6\Delta E_i$

$$Ra = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i$$

Pri določevanju faktorja primerljivosti barve se na izbere barve predmeta ampak barve vzorcev, in se jih opazuje pri svetlobi vira ter referenčni (sončni) svetlobi

EV R: Svetloba in barve 71

Barve in psiha

Barve vplivajo na počutje ljudi. Svetle, bolj žive barve pričarajo boljše vzdušje, kot temne, zamolkle barve.



EV R: Svetloba in barve 72

Barve in psiha



Tople barve: rumena, oranžna, rdeča, rjava, črna, ...

Tople barve učinkujejo bolj čustveno in pritegnejo pozornost



EV R: Svelloba in barve 73

Barve in psiha



Hladne barve: zelena, modra, bela, ...

Hladne barve delujejo pomirjajoče in spominjajo na naravo.



EV R: Svelloba in barve 74

Barve in psiha

Barve lahko delujejo stimulatивно ali pa ravno nasprotno.

Rdeča barva nam daje občutek moči, pripravljenosti za dejanja. V splošnem vzbuja pozornost. Z njo povezujemo moč, strast, dramatičnost, ...

Oranžna barva stimulira pozitivno. Vzpodbuja entuzijazem in gorečnost, družabnost in smisel za humor. Ljudje, ki nosijo oranžno se radi smejejo in zabavajo druge.

Rumena barva vzbudja odprtost duha in smisel za detajle. Pogosto jo nosijo intelektualci, razumniki in filsi. ki želijo imeti v družbi višji položaj. V filsih, ki jo nosijo, vzbudjuje optimistične občutke.

Zelena ustvarja atmosfero, ki je umirjena in uravnovežena. Harmonija in uravnoveženost sta odliki zelene. Nošenja zelene odseva konvencionalnost, varnost in čut za naravo.

Modra je nenasilna barva in poudarja vrline kot sta lojalnost in iskrenost. Kdor jo nosi poudarja željo po miru, tihoti in spokojnosti. Modra vzbudjuje zaupanje.

Rosa je barva usmiljenja in sočutja. Ustvarja občutek mehkości, nežnosti, prijaznosti in ljubezni. Njena energija se ujema z željo po obvladovanju lastnega življenja in uresničevanja svojih sanj.

EV R: Svelloba in barve 75

Za konec

- Bela svetloba je sestavljena iz velikega števila barv.
- Človeške oči ločijo tri osnovne barve: rdečo, zeleno in modro.
- Barvo lahko opišemo na več načinov, "belo" barvo pa najlaže s temperaturo barve.
 - Barvni videz predmeta določajo: spektralna vsebina svetlobe, lastnost površine predmeta in oči opazovalca.

EV R: Svetloba in barve

76

... in še:

Vprašanja?

EV R: Svetloba in barve

77
