

Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo
Izbirni predmet - 10142

Svetlobna tehnika

Svetloba in barve

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

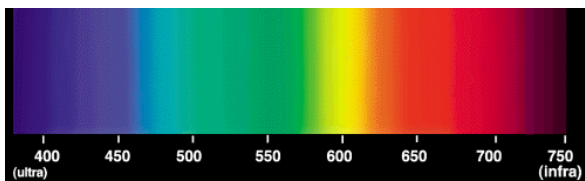
Svetloba kot del EM spektra

Vidno svetlobo lahko obravnavamo
kot del elektromagnetnega sevanja.

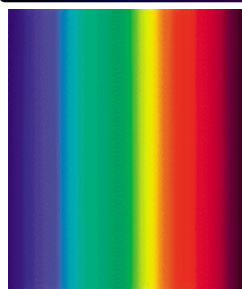


Svetloba kot del EM spektra

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

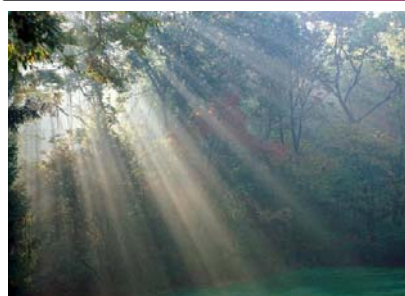


Svetloba kot del EM spektra



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

Bela svetloba



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

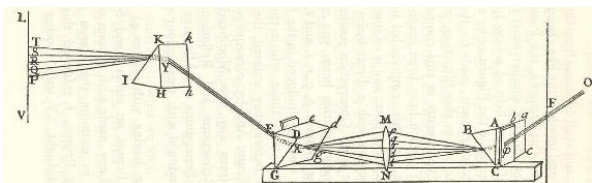
Bela svetloba

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



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.

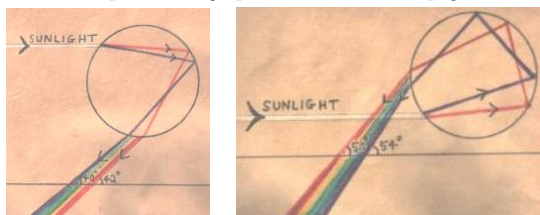
Razklon svetlobe v naravi

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

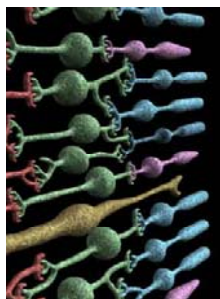


Razklon svetlobe v naravi

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



Svetloba, barve in človeške oči



Samo čepnice ločijo barve.

Čepnice

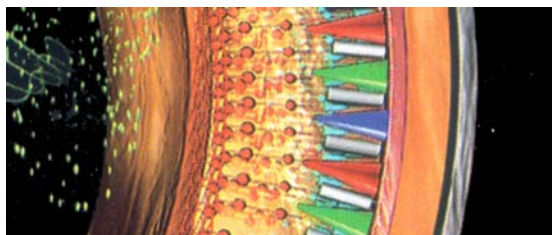
- 7.000.000 čepnic v povprečnem očesu.
- Manj občutljive na svetlobo
- **Ločijo barve.**
- Razporejene so predvsem okoli rumene pege.
- Z njimi gledamo, ko je svetlobe dovolj - **fotopski vid.**

Svetloba, barve in človeške oči

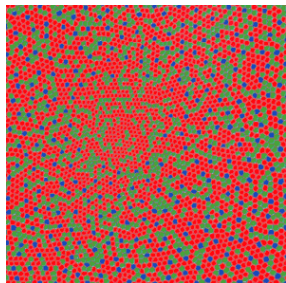
- Svetlobe različnih barv je praktično neskončno (kot je valovnih dolžin med 340 in 830 nm)
 - Človeške oči barve zaznavajo s čepnicami.
- **Obstaja za vsako barvo svetlobe svoja vrsta čepnic?**

Svetloba, barve in človeške oči

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

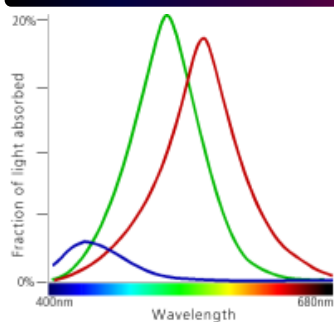


Svetloba, barve in človeške oči



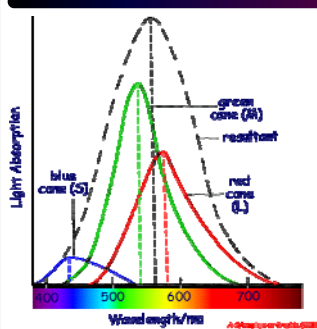
Število posameznih vrst čepnic na mrežnici je različno. V centralnem delu je samo 7% "modrih", "zelene" in "rdeče" pa so v razmerju 1:1,5. Čisto v sredini "modrih" sploh ni. Na celotni mrežnici pa jih je le 1%.

Svetloba, barve in človeške oči



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

Svetloba, barve in človeške oči



Vse tri vrste čepnic skupaj dajo spektralno občutljivost človeškega očesa.

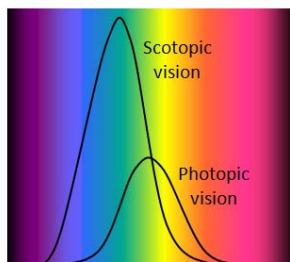
Največji dražljaj povzroči svetloba s 555 nm

Svetloba, barve in človeške oči



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

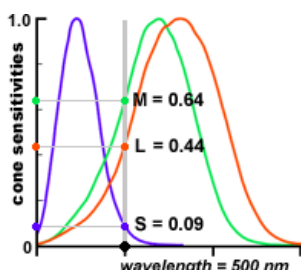
Svetloba, barve in človeške oči



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

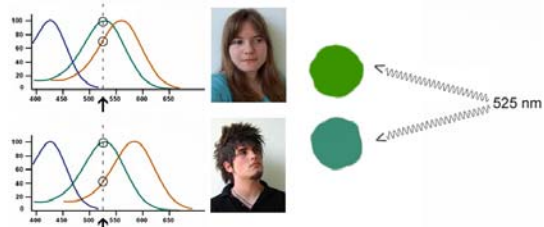
Svetloba, barve in človeške oči



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

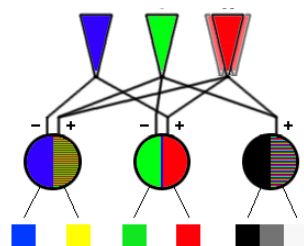
Svetloba, barve in človeške oči

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



Svetloba, barve in človeške oči

In kako informacija o barvah pride v možgane?

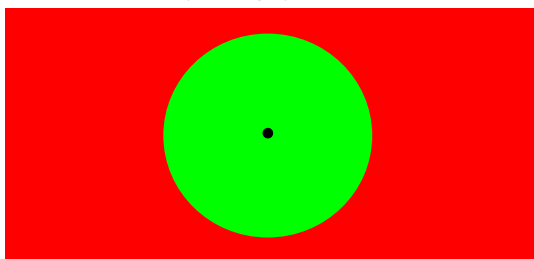


Ni še točno znano, vendar se predvideva, da obstajajo tri živčne povezave:

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

Svetloba, barve in človeške oči

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

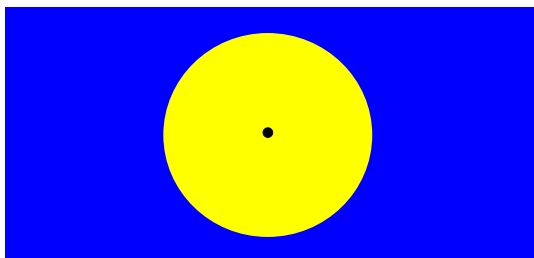


Svetloba, barve in človeške oči

... poglejte tole.

Svetloba, barve in človeške oči

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



Svetloba, barve in človeške oči

... v tem primeru.

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**.



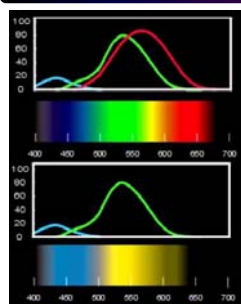
Možne težave: barvna slepota

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.

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.

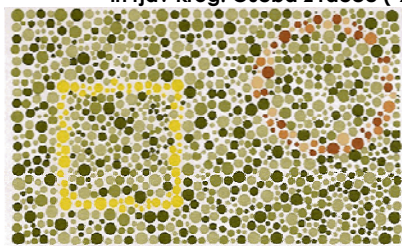
Možne težave: barvna slepota

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.



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.



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**.



Barva predmetov

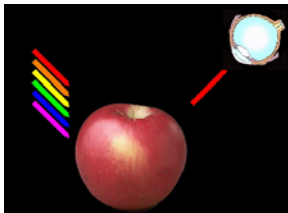
Predmeti okoli nas so barvni. Od česa je odvisna njihova barva?



Barva predmetov

Kaj določa barvo predmeta:

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

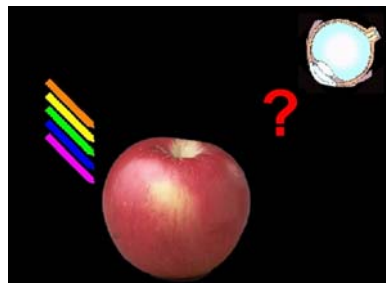


Barva predmetov

Če:

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

...

Barva predmetov

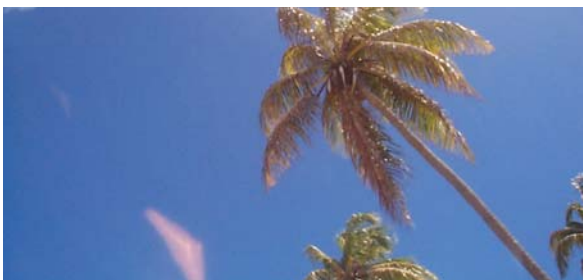
...
predmeta
oziroma
njegove
barve ne
vidimo.

Barva predmetov

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

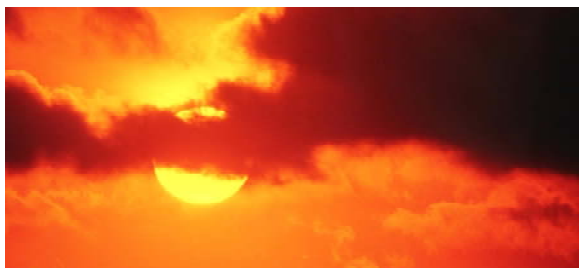
Barva predmetov

Kaj pa določa barvo neba?



Barva predmetov

Kaj pa določa barvo sonca ko zahaja?



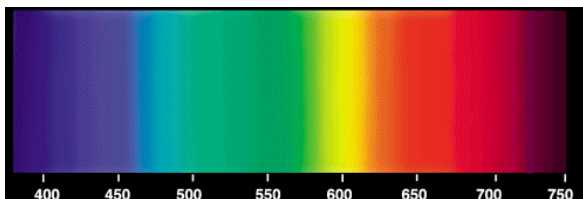
Barva predmetov

In zakaj so oblaki beli?



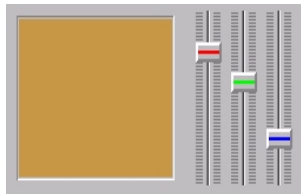
Kako opisati barvo?

Določeno barvo lahko opišemo z valovno dolžino ustrezne svetlobe.



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.

Kako opisati barvo?

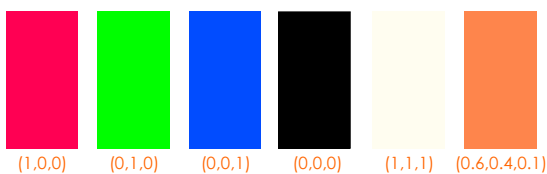
Delež osnovnih treh barv: rdeče (R), zelene (G) in modre (B) predstavimo z X (za rdečo), Y (za zeleno) in Z (za modro).

Poljubno barvo torej lahko zapišemo:

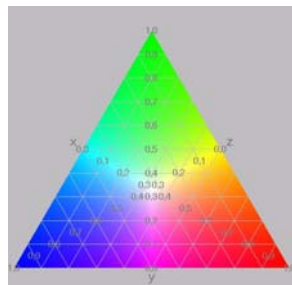
$$C = X \cdot R + Y \cdot G + Z \cdot B$$

Kako opisati barvo?

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



Kako opisati barvo?



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



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:

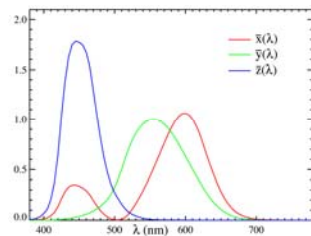
X=0,10 Y=0,80 Z=0,60 oziroma x=0,0667 y=0,5333

Kako opisati barvo?



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.

Kako opisati barvo?



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

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

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

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

Kako opisati barvo?

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



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



Temperatura barve

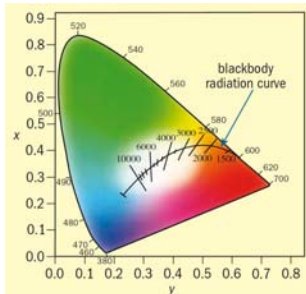
Barvo termičnih seval lahko opišemo tudi s pomočjo "Temperature barve".



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.

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.

Temperatura barve

sneg, voda
modra nebo

povprečna dnevna
svetloba (ekvator)

opoldanska sončna
svetloba

povprečna dnevna
svetloba (sev, hemisf.)

sončna svetloba
ob vzhodu ali
zahodu sonca



xenonska sijalke za
bliskavice

"blue bulb" bliskavice

fluorescentne cevi
"Warm white"

fotografski reflektorji

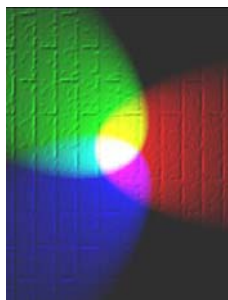
navadne žarnice:
150-200W
40-60W
25 W

sveča

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.

Barve svetlobe lahko mešamo



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

Rdeča+Modra=Vijolična

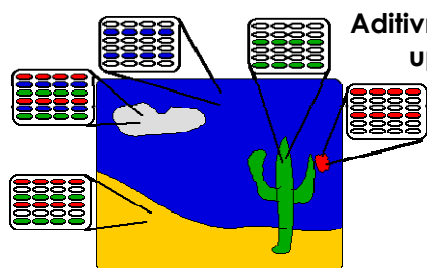
Modra+Zelena=Turkizna

Rdeča+Zelena=Rumena

Rdeča+Zelena+Modra=Bela

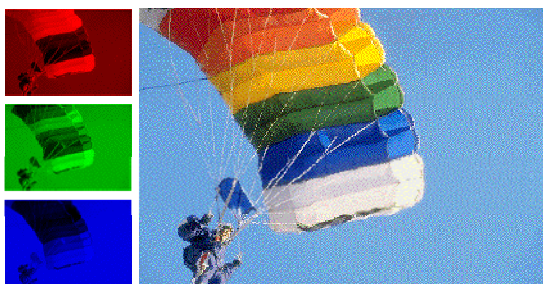
Tako mešanje svetlobe imenujemo aditivno mešanje.

Barve svetlobe lahko mešamo



Aditivno mešanje
uporabljamo
npr. pri
slikovnih
zaslonih
(televizija)

Barve svetlobe lahko mešamo

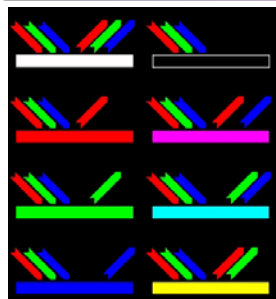


Kaj so to pigmenti

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



Kako delujejo pigmenti

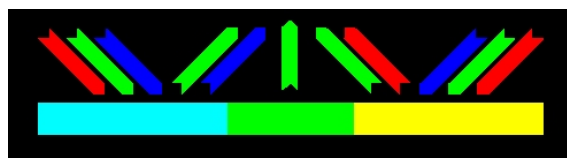


Barva odbite svetlobe definira barvni videz pigmenta.

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

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.



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

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



Cyan



Yellow



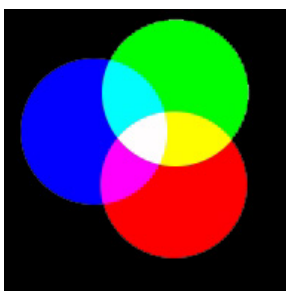
Magenta



Black



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.

245 255 255	255 245 245
255 245 255	245 255 245
255 255 245	245 245 255

Spektralna vsebina svetlobe

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

	255 255 255
245 255 255	255 245 245
255 245 255	245 255 245
255 255 245	245 245 255

Spektralna vsebina svetlobe

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

	255 255 255
245 255 255	255 245 245
255 245 255	245 255 245
255 255 245	245 245 255

Spektralna vsebina svetlobe

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



bela sončna svetloba



bela "RGB" svetloba

Spektralna vsebina svetlobe

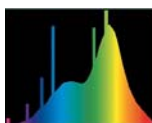
Lahko pa taki "beli svetlobi" dodamo še druge barve.



Sončna svetloba na severnem nebu.



Svetloba navadne žarnice.

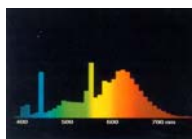


Svetloba fluorescenčne sijalke.

Indeks barvnega videza

Spektralna vsebina svetlobe določa barvni videz predmetov.

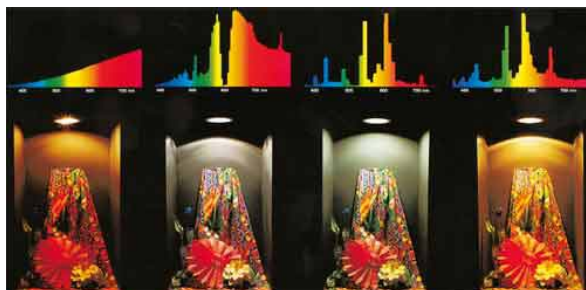
Svetloba z večjo vsebino rdeče poudari rdečo barvo predmetov.



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

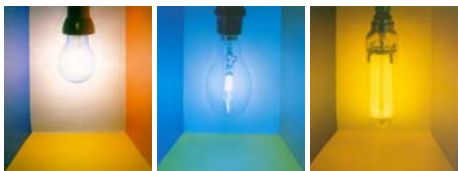


Indeks barvnega videza



Indeks barvnega videza

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



Indeks barvnega videza

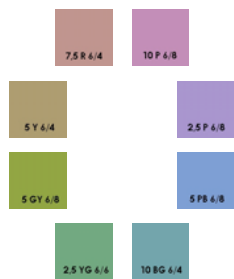
Odgovor je: **indeks barvnega videza** ali **faktor primerljivosti barve (Ra)**.

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.

Faktor primerljivosti barv



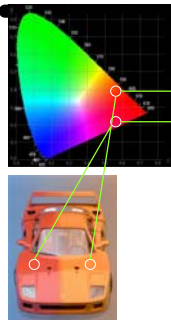
Določitev Ra temelji na 8 izbranih testnih barvah. Za vsako barvo se najprej izračuna barvni premik ΔE_i v CIE barvnem trikotniku, nato pa faktor primerljivosti (R_i):

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

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

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

Faktor primerljivosti barv



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

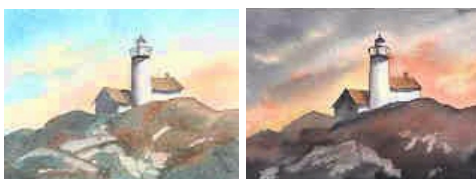
$$Ra = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i$$

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



Barve in psiha

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



Barve in psiha



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

Tople barve učinkujejo bolj čustveno in pritegnejo pozornost



Barve in psiha



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

Hladne barve delujejo pomirjajoče in spominjajo na naravo.



Barve in psiha

Barve lahko delujejo stimulativno 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 vzpodbuja odprtost duha in smisel za detajle. Pogosto jo nosijo intelektualci, razumniki in listi, ki želijo imeti v družbi višji položaj. V listih, ki jo nosijo, vzpodbuja optimistične občutke.

Zelena ustvarja atmosfero, ki je umirjena in uravnotežena. Harmonija in uravnoteženost 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 vzpodbuja zaupanje.

Roza 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.

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.

... in še:

Vprašanja?
