



BARVE



- Bitna slika je 2D tabela **slikovnih elementov – pikslov** (*picture element – pixel*)
  - imenujemo jo tudi rasterska slika
- **Piksel** je najmanjši element slike
  - vsebuje zapis **barve**
  - glede na zapis barve imamo črno-bele, sivinske, barvne, večspektralne .... slike
  - glede na število bitov za zapis barve imamo 8, 16, 24, 32.... bitno globino slike

## Bitna slika



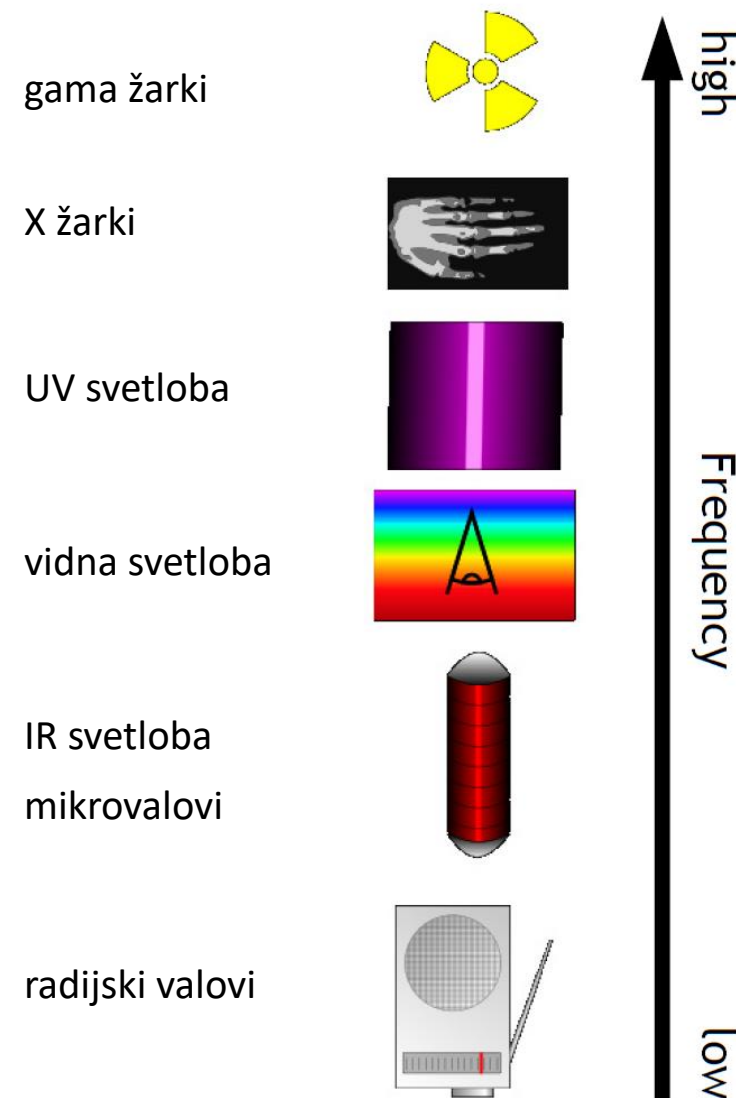
Delta Tracing, Mental Ray Renderer



- Vidna svetloba
  - elektromagnetno valovanje
  - vidimo val. dolžine od nekje 390-750 nm
- Fotoni “nosijo” optično informacijo
  - energija fotona je linearno povezana z valovno dolžino:
$$\lambda E = hc \cong 1,2398 * 10^{-26}$$



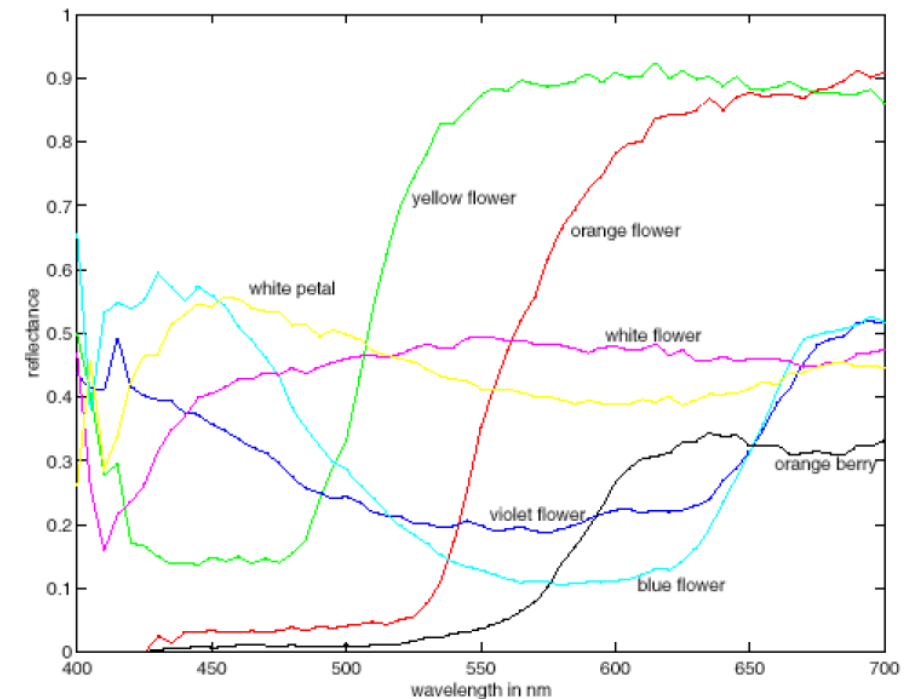
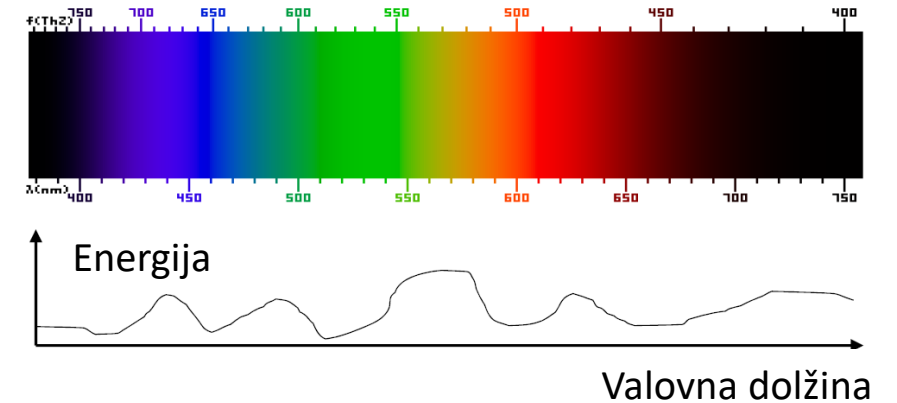
## Zaznavanje barve





- Oko zazna množico fotonov, ki nanj „padejo“
  - ne zaznamo vsakega fotona posebej ampak presek skozi čas
  - histogram energij fotonov predstavlja svetlobni **spekter**
    - spekter zaznamo kot barvo

## Svetloba in barva

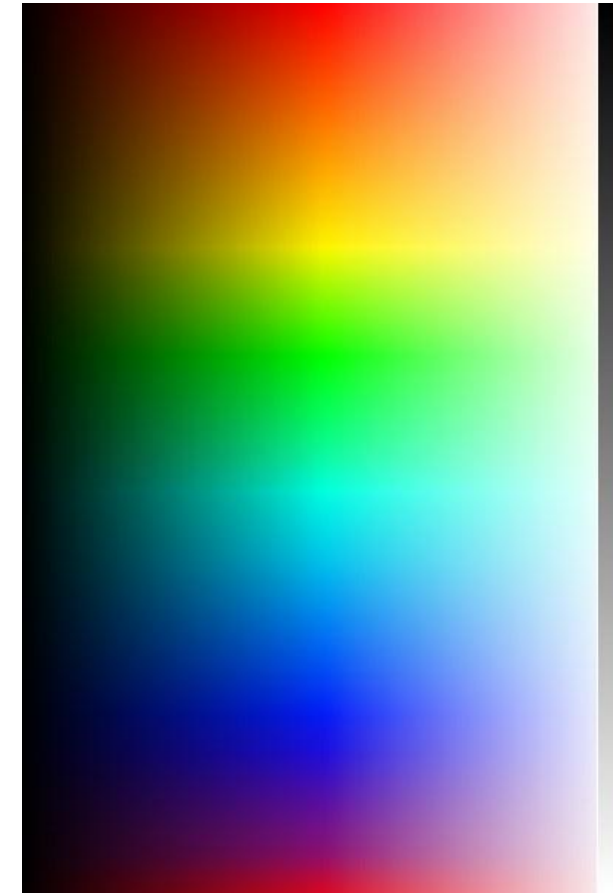




- **Poenostavljen pogled**
  - “žarki” svetlobe imajo neko smer in nosijo celoten spekter elektromagnetne energije - barvo
- Barvo bi lahko zapisali kot **celoten spekter** in ga reproducirali
  - **potratno**
- **Tridražljajska teorija**
  - katerokoli barvo lahko predstavimo s kombinacijo **treh osnovnih barv**
    - prvič postavil že Young (1801)
  - tako naj bi s tremi vrednostmi znali reproducirati vse barvne odtenke, ki jih lahko zaznamo



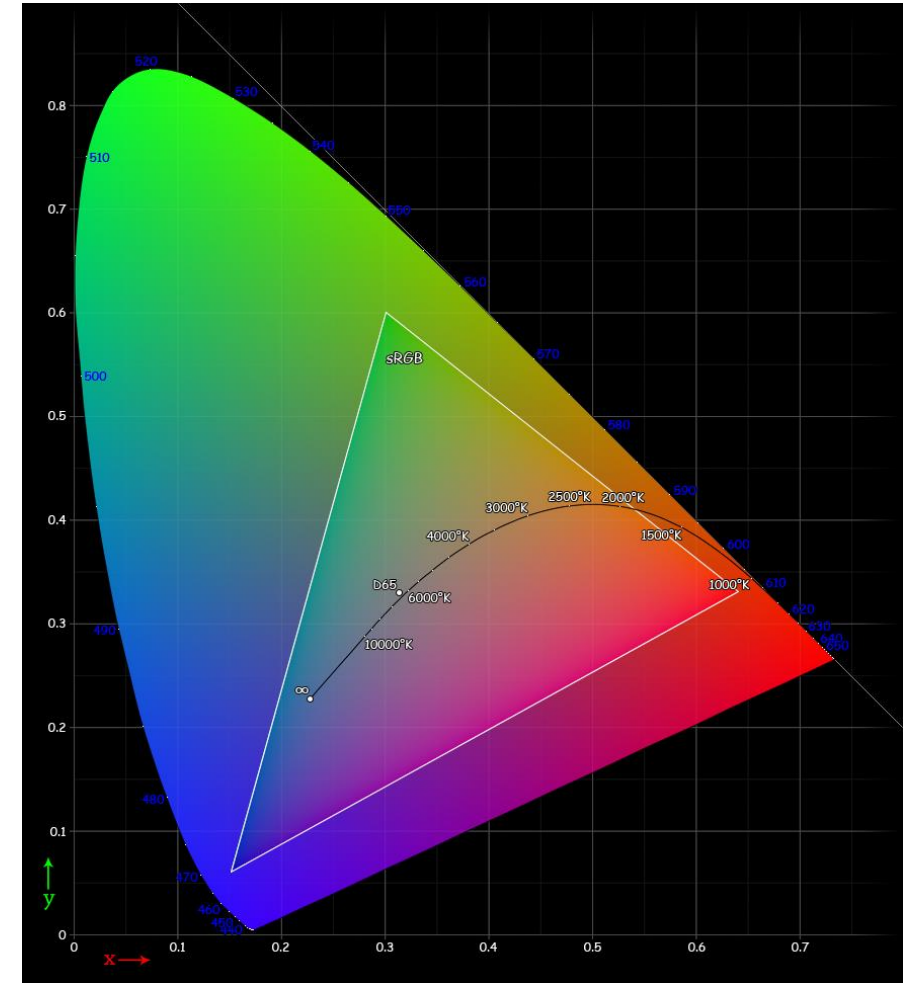
## Reprodukcija barve v RG





- Nabor parametrov, ki določajo kako prikažemo poljubno barvo, imenujemo **barvni prostor**
  - tipično določa katere osnovne barve uporabljamo
    - in tudi kako jih sestavimo
- Primeri so: sRGB, Adobe RGB, CIELAB, XYZ itn.

## Barvni prostor

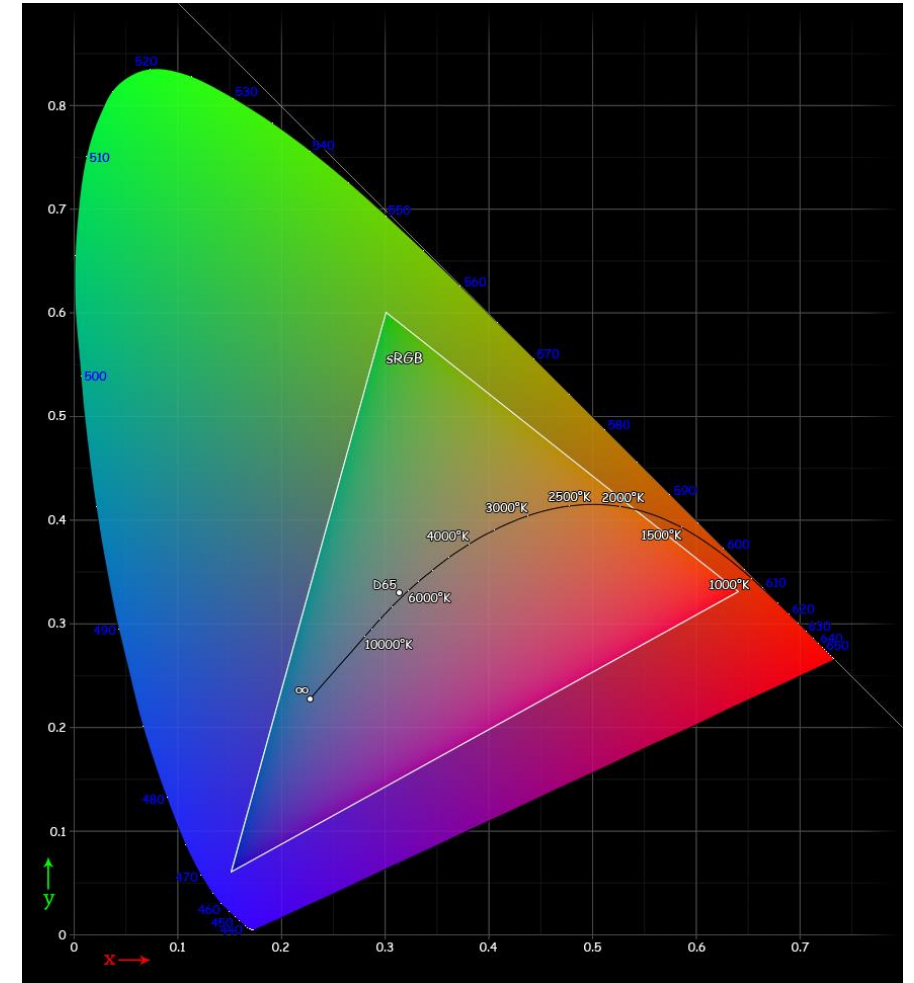


[sRGB - wiki](#)



- Barvni prostor **sRGB**
  - najpogostejši RGB prostor,
  - monitorji, praktično vsi neprofesionalni fotoaparati, OpenGL 2.1
  - pokrije cca. 1/3 vidnih barv
- Osnovne barve so definirane kot:

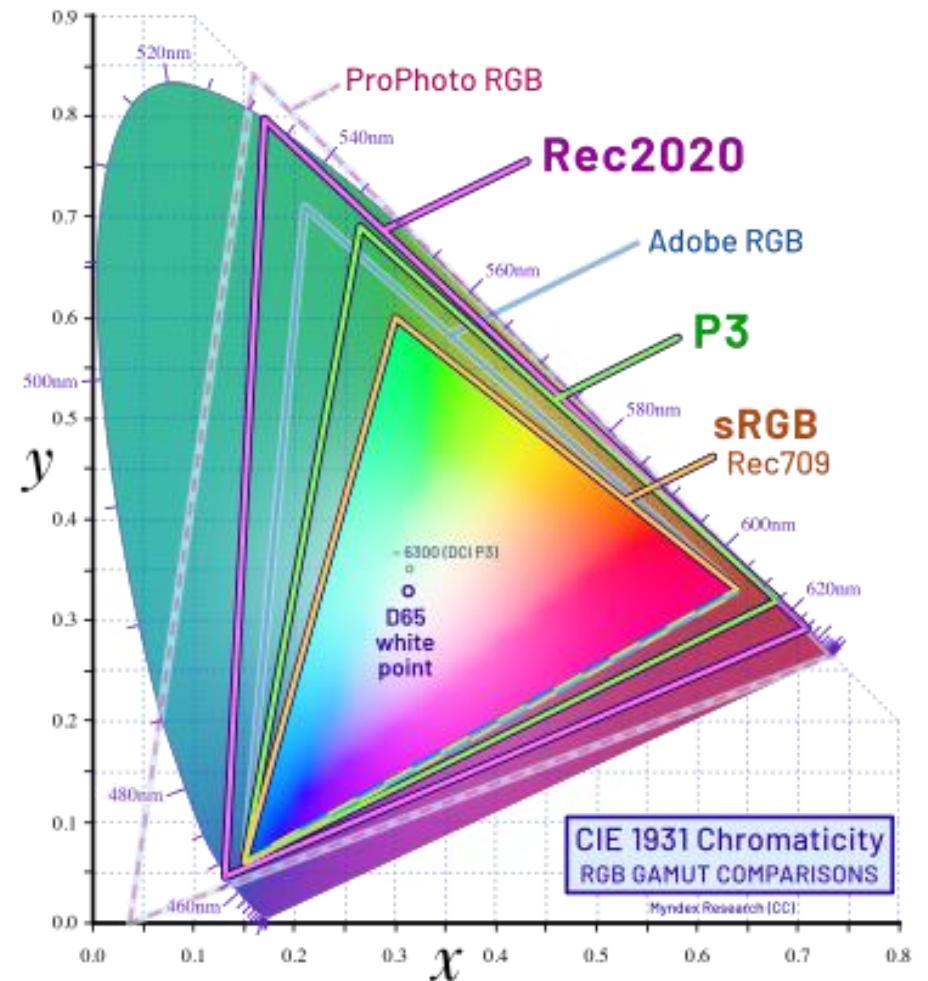
	Red	Green	Blue	White point
x	0.6400	0.3000	0.1500	0.3127
y	0.3300	0.6000	0.0600	0.3290
Y	0.2126	0.7152	0.0722	1.0000





- **sRGB (1996)**
  - najbolj pogost
  - 1/3 vidnih barv
- **AdobeRGB (1998)**
  - razširitev sRGB – cca. 50% vidnih barv
- **DCI-P3 / Display-P3 (2005)**
  - tudi cca. 50% vidnih barv (10 bitov na kanal)
- **Rec. 2020 (2020) – UHTV**
  - cca 75% vidnih barv (10 bitov na kanal)
- **PhotoPro (2003)**
  - ima imaginarni (nevidni) modri in zeleni komponenti
  - cca. 90% vidnih barv, vendar je nekoliko redundanten, saj nekatere kombinacije niso vidne
  - za dovolj natančen zapis potrebujemo 16 bitov na barvni kanal

## Nekateri standardni prostori

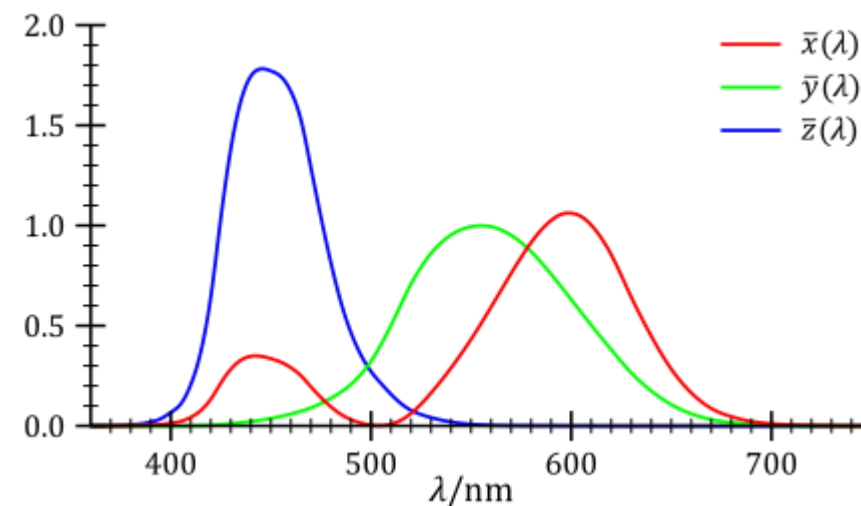






# Pretvarjanje med prostori - XYZ

- Barvni prostor CIE XYZ (1931)
- Predstavi lahko **vse vidne barve**
- **Umetno** ustvarjen prostor
  - tri “barvne” vrednosti:  
X, Y in Z
    - Y je bolj povezan s svetlostjo kot konkretno barvo
  - del XYZ vrednosti ne predstavlja vidne svetlobe
- Uporabljamo ga za **pretvarjanje** med barvnimi prostori



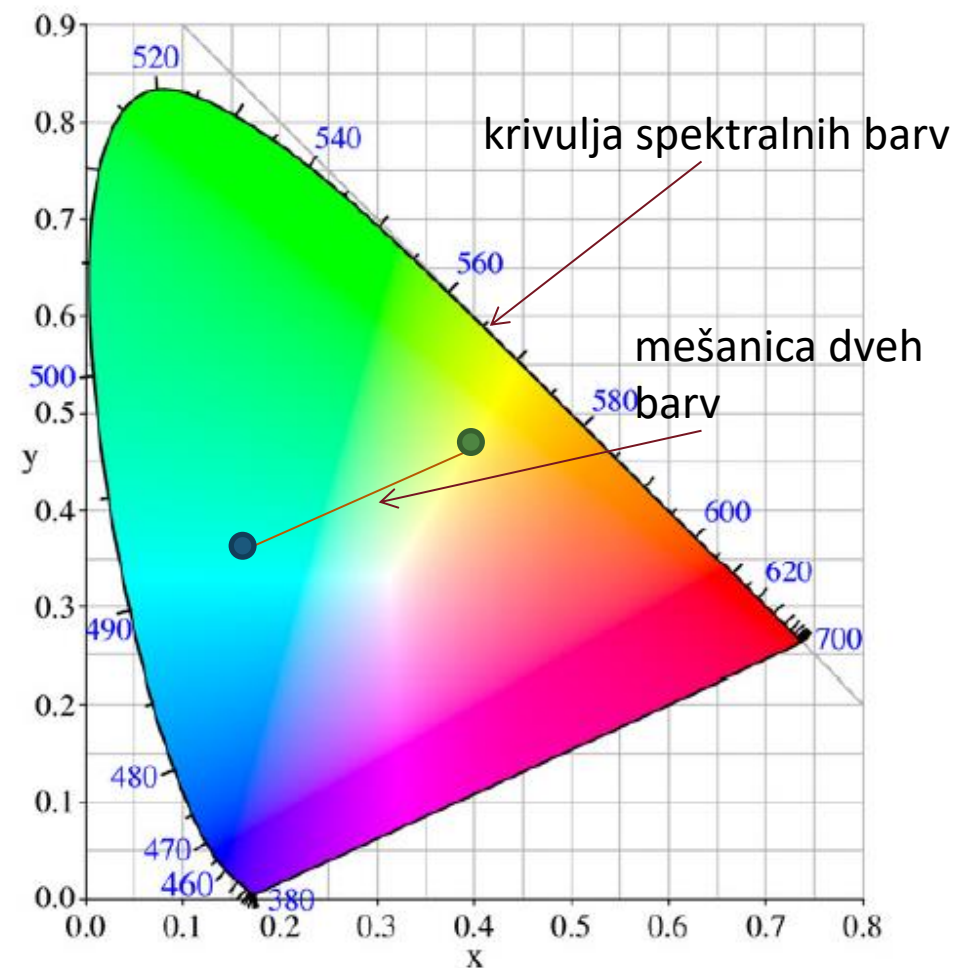
CIE XYZ funkcije





- Za lažjo vizualizacijo XYZ prostora so uvedli prostor  $xyY$ 
  - $Y$  je svetlost
  - $xy$  sta deleža barvnih vrednosti
    - $x = \frac{X}{X+Y+Z}, y = \frac{Y}{X+Y+Z}$
- Barvni diagram CIE: **izrišemo prostor  $xy$** 
  - vidne barve so v podkvasti obliki
  - obodu rečemo krivulja spektralnih (monokromatskih) barv in predstavlja enobarvne svetlobe
  - mešanica dveh barv na diagramu leži na črti, ki povezuje barvi

## Barvni diagram CIE

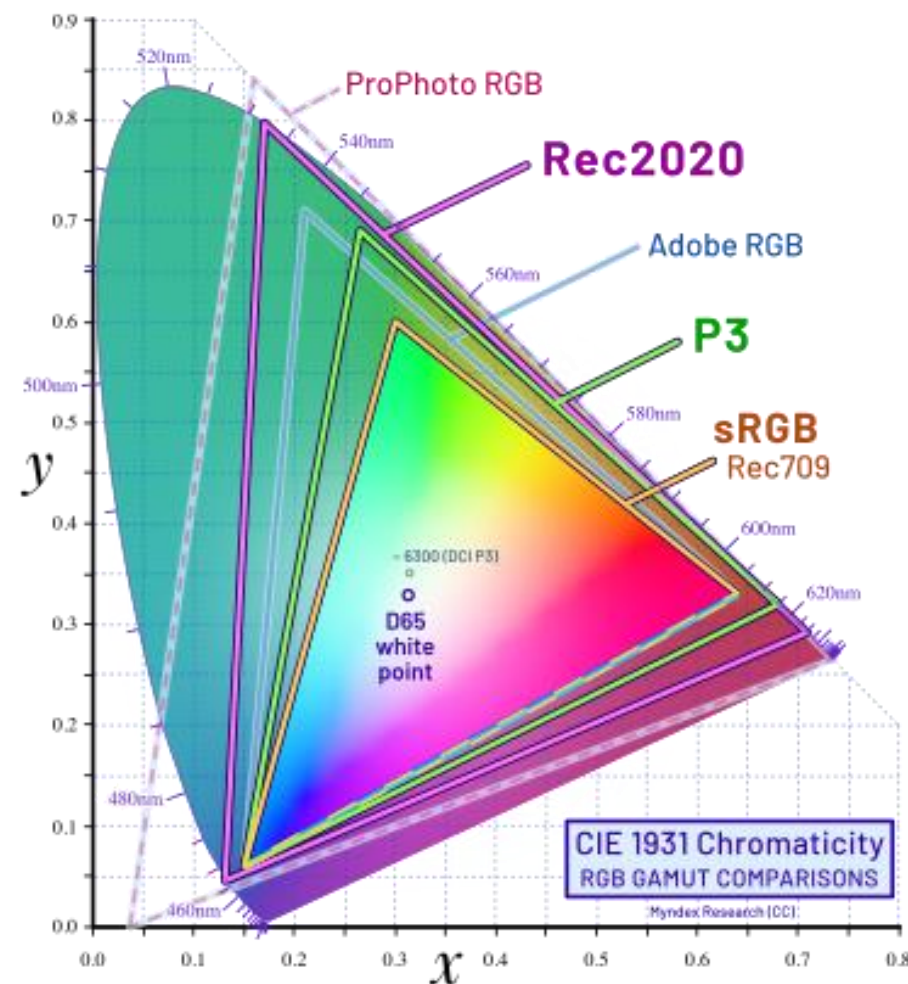




- **Barvni obseg** (*color gamut*) vsake naprave, ki deluje na mešanju primarnih barv, je nabor vseh barv, ki jih naprava lahko reproducira
- Velja, da z mešanjem osnovnih barv lahko ustvarimo le barve, ki ležijo znotraj **konveksne ovojnice** osnovnih barv na barvnem diagramu CIE
- Točke izven konveksne ovojnice bi ustrezale negativnim vrednostim



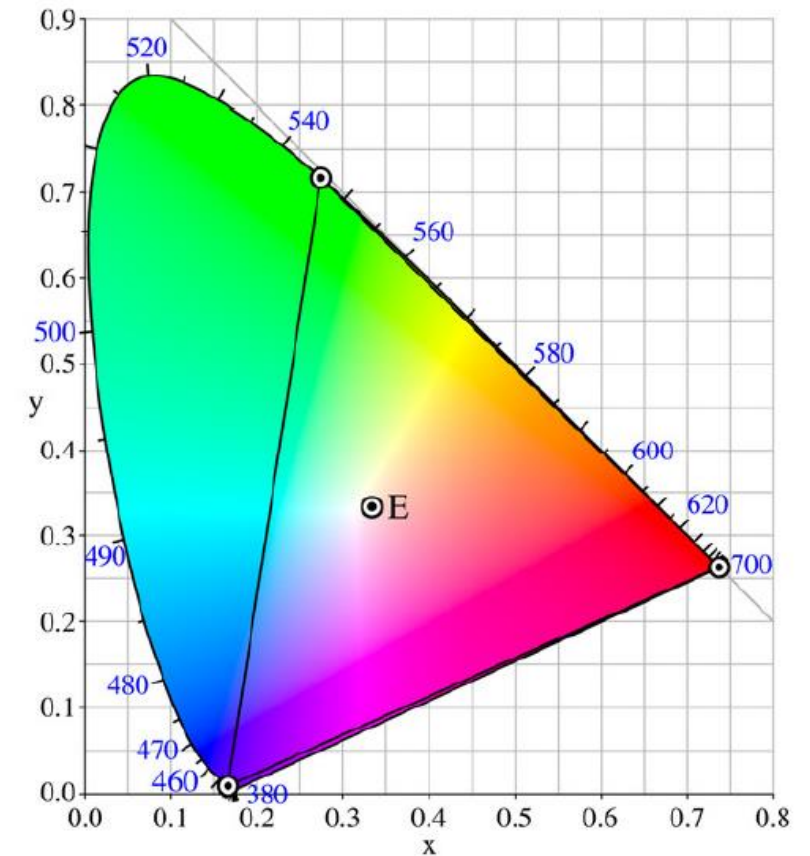
## Barvni obseg





# Zakaj XYZ

- XYZ prostor je umeten – nima fizikalnega ekvivalenta
  - veliko vrednosti v tem prostoru ne predstavlja nobene vidne barve, torej je tudi prostorsko potraten
- XYZ se uporablja za **pretvorbe med prostori**
  - je neodvisen od reprodukcijskih naprav
  - predstavi lahko vse vidne barve

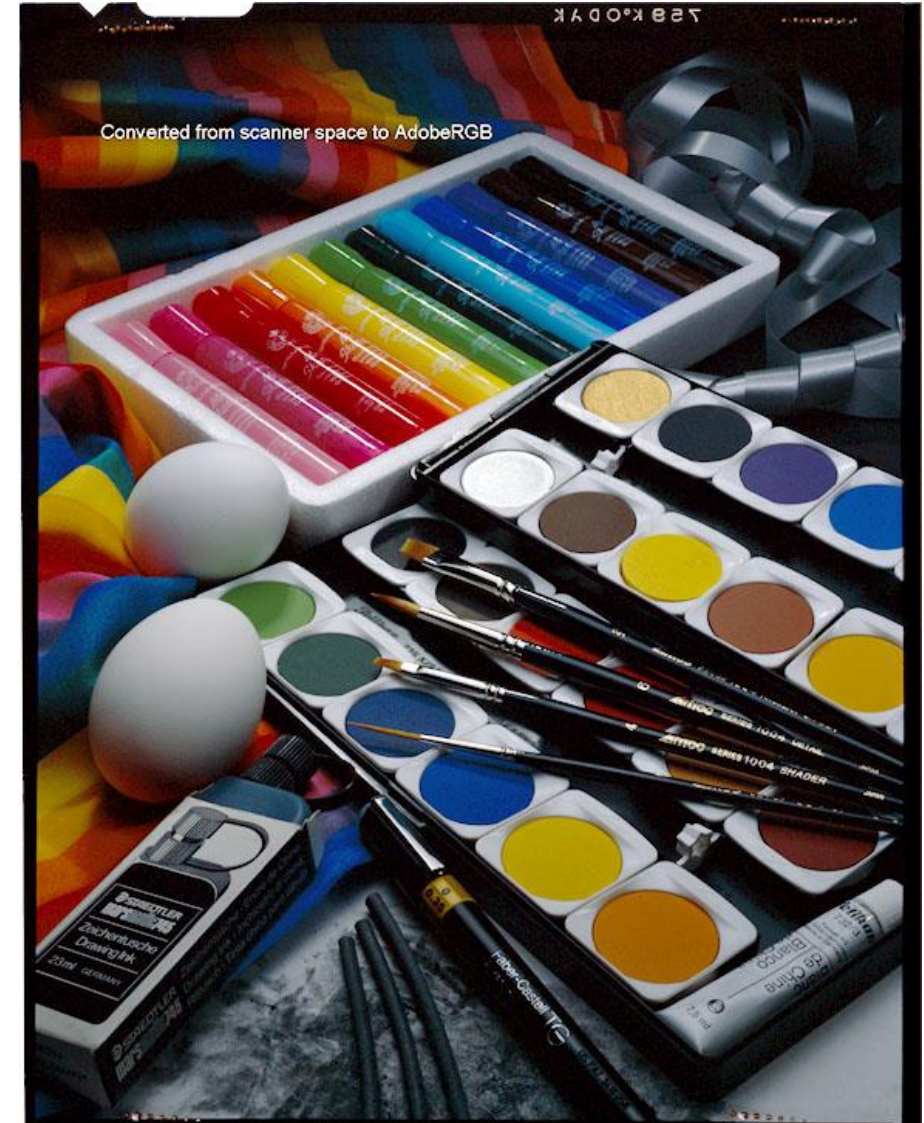






# Pretvorbe

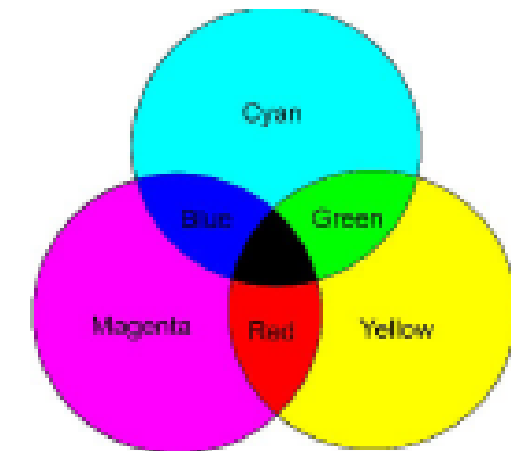
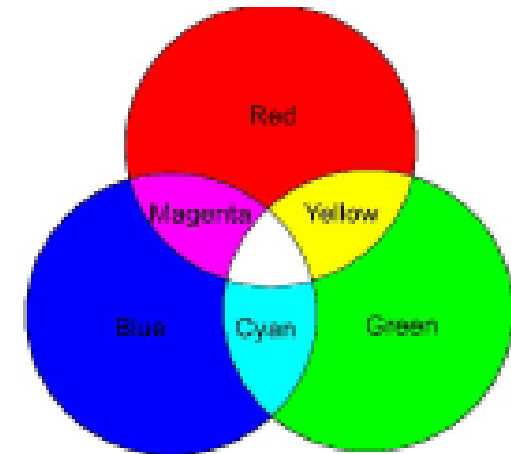
- **Pretvorbe** med prostori gredo preko XYZ
  - matematično so pretvorbe množenje matrik
- Primer: slika v AdobeRGB, prikaz v sRGB
  - AdobeRGB => XYZ
  - $$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5767 & 0.1856 & 0.1882 \\ 0.2973 & 0.6274 & 0.0753 \\ 0.0270 & 0.0707 & 0.9913 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$
  - XYZ => sRGB
  - $$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2406 & -0.537 & -0.499 \\ -0.969 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.204 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$
- Barve, ki zaradi omejitev naprav pri konverziji padejo izven barvnega obsega naprave, se preslikajo glede na t.i. *rendering intent*
  - npr. perceptual, relative itn.





- RGB barvni **model** temelji na **seštevanju** barv
  - npr. žarka svetlobe različnih barv se seštejeta, da dobimo neko novo barvo
- Za tiskalnike/črnilo rabimo drug barvni model, saj črnilo **odštev**a
  - rumeno črnilo na belem listu “odšteje” modro, odbije rdečo in zeleno
  - rabimo torej osnovne barve, ki odštevajo – CMY
- CMY ne morejo dobro reproducirati temnih delov
  - zato dodana še K - black

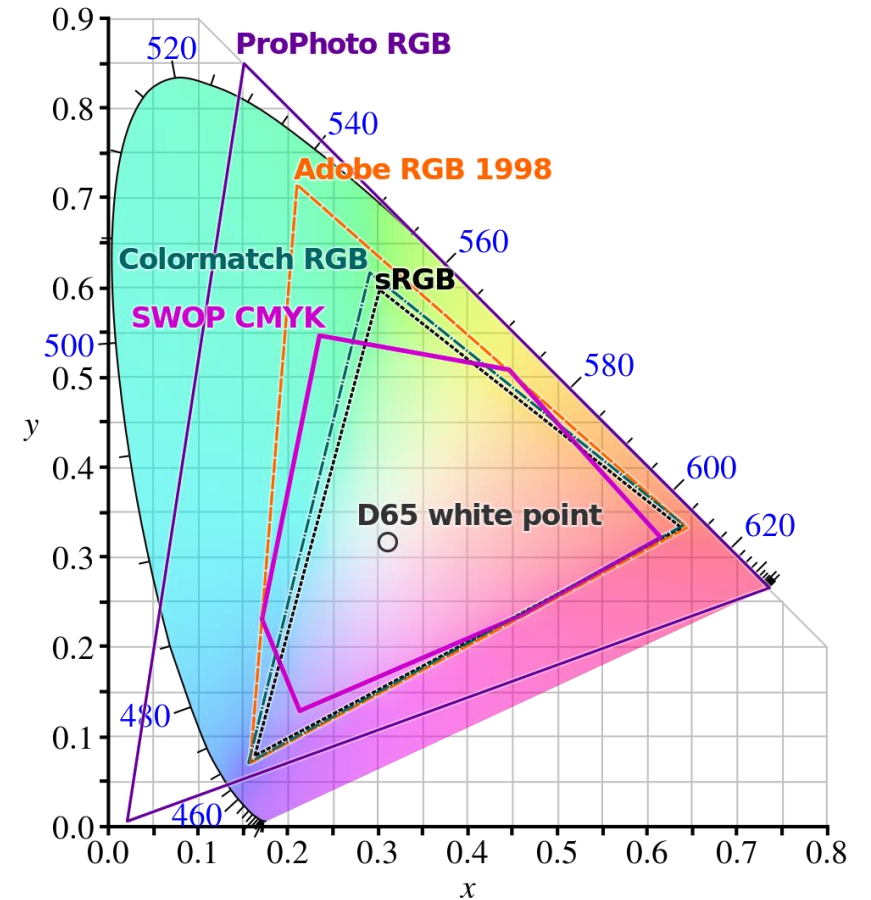
CMY(K)





- Barvni obseg naprave, ki uporablja CMYK barvni model, lahko prav tako predstavimo na barvnem diagramu CIE
- Navadno imajo tiskalniki svoje specifične prostore glede na uporabljena črnila
  - lahko jih specificiramo z ICC profilom
- Pretvorba iz drugega prostora (npr. sRGB) gre preko XYZ, torej
  - sRGB => XYZ => prostor tiskalnika

CMY(K)



Obseg SWOP CMYK ([wiki](#))

# Sistem za upravljanje z barvami

- OS in aplikacije (npr. Photoshop) za konverzije med barvnimi prostori uporabljajo **sistem za upravljanje z barvami (Color Management System)**
  - dela konverzije med prostori naprav, bodisi standardnimi (sRGB) ali posebej specificiranimi z ICC profili naprav (International Color Consortium)
- Če želimo recimo natisniti sRGB sliko posneto z mobilnim fotoaparatom:
  - CMS pretvori sliko iz sRGB prostora v XYZ prostor
  - za tisk pretvori XYZ v CMYK s tiskalnikovim ICC profilom

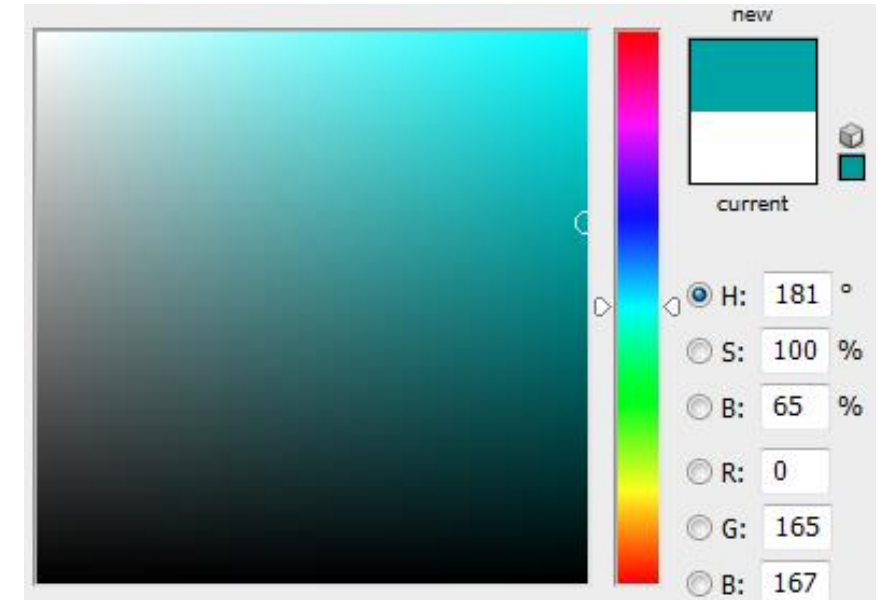






- RGB barvni model ni intuitiven za določanje barv v risarskih programih
  - npr. kako narediti svetlejši odtenek neke barve?
- **HSL in HSB** sta alternativni predstavitvi RGB modela
  - hue-barvni odtenek,
  - saturation-nasičenost,
  - lightness/brightness-svetlost
- **Bolj intuitivno** upravljanje z barvami
- To **nista barvna prostora**, ampak le drug zapis barve v RGB modelu
  - Iz HLS/HSB lahko pretvorimo v RGB in obratno

## HSL, HSB?



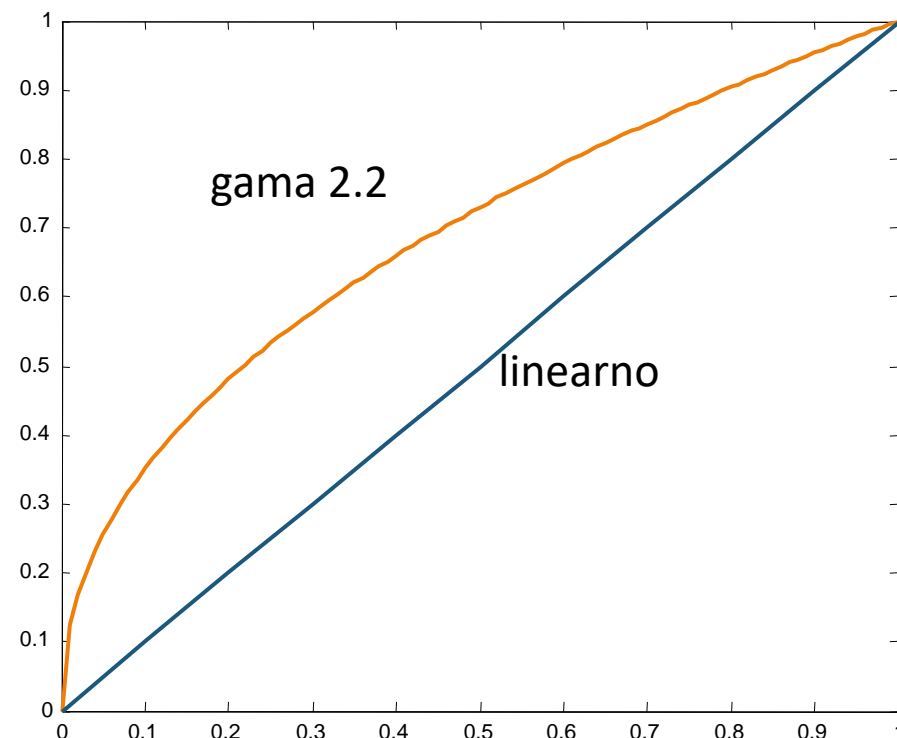


- Za percepcijo svetlosti (kot za veliko drugih čutil) velja **Webrov** zakon:

- $\frac{\Delta I}{I} = k$
- razmerje med obstoječo energijo ( $I$ ) in energijo ( $\Delta I$ ), ki jo moramo obstoječi energiji dodati, da **zaznamo razliko**, je konstantno ( $k$ )
- ali: pri majhnih intenzitetah ( $I$ ) smo bolj občutljivi na majhne spremembe ( $\Delta I$ ) kot pri velikih
- oz. percepcija svetlosti se obnaša cca. logaritmično

- Posledično svetlosti oz. barv **ni smiselno kodirati linearno** in porabiti enako bitov za vse intenzitete

## Gama korekcija

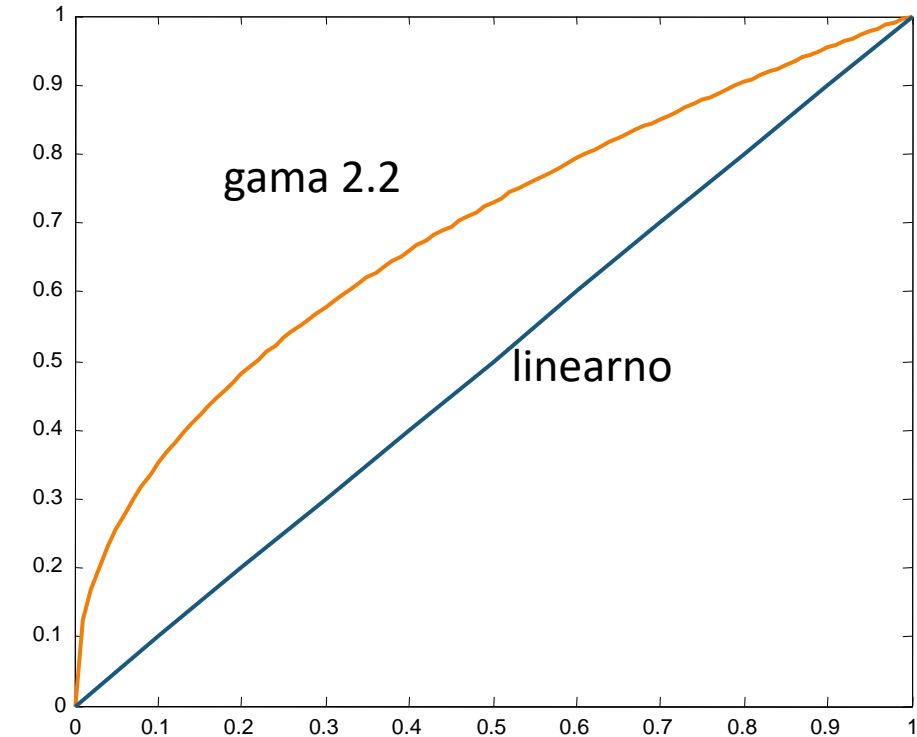




- **Gama korekcija** pomanjkljivost odpravlja s tem, da sliko ob zajemu zakodiramo ( $1/\gamma$ )
  - $s = cr^{1/\gamma}$
  - porabimo več bitov za nižje intenzitete
  - tipična gama je 2.2
- Digitalni fotoaparati, kamere zajeto sliko že gama zakodirajo ( $1/\gamma$ )
  - jpg, mpeg, dvd ... vsebujejo gama zakodirane vrednosti
- Z gama korekcijo v računalnikih upravlja sistem za upravljanje z barvami
  - ob prikazu se slika ustrezno dekodira glede na napravo, ki jo prikazuje
- Barvni prostori lahko definirajo svoje načine gama kodiranja, npr. sRGB



## Gama korekcija



$$C_{\text{srgb}} = \begin{cases} 12.92C_{\text{linear}}, & C_{\text{linear}} \leq 0.0031308 \\ (1 + a)C_{\text{linear}}^{1/2.4} - a, & C_{\text{linear}} > 0.0031308 \end{cases}$$



## REFERENCE

- wiki: [CIE 1931 color space](#)
  - J.P. Schulze: [Introduction to Computer Graphics](#) (slides)
  - N. Guid: Računalniška grafika, FERl Maribor
- 