



KTH Tillämpad Fysik

**Tentamen i**  
**Teknisk Fotografi, SK2380,**  
**2013-08-20, 9-13, FB51**

Uppgifterna är lika mycket värda poängmässigt. För godkänt krävs 50 % av max. poängtalet.

Hjälpmedel: Formelblad "Radiometriska och fotometriska storheter." (bifogad med tentamen)  
Miniräknare

**Observera:** Skriv namn på ALLA papper som lämnas in.  
Skriv ALDRIG mer än EN lösning per papper.  
Rita gärna figurer som förklarar vad införda beteckningar står för.

**OBS!**

**Såvida inte annat sägs, motivera alla svar  
och förklara alla införda beteckningar!**

- Talen är inte ordnade i svårighetsgrad.
- Det kan hända att data ges som du inte behöver använda för problemets lösande. Du får alltså välja ut de data du behöver. (Välkommen till livet som ingenjör!)
- You may answer in English if you like.

### Uppgift 1

- a) Skulle man ur något förbrukat bad som ingår i framkallningsprocessen för fotografisk film kunna utvinna något värdefullt grundämne? I så fall vilket bad och vilket grundämne? (4p)
- b) Vad menas med ett fotografiskt negativ respektive positiv? (Vad är det som är negativt resp. positivt?) (3p)
- c) När man tittar i mikroskop på en framkallad svartvit film ser man små svarta prickar. Vad består dessa prickar av kemiskt? (3p)

### Uppgift 2

När man jobbar med höghastighetsvideo blir exponeringstiden per bild ofta väldigt kort. Detta fordrar att man har en mycket hög belysning på motivet. Ute i dagsljus en klar sommardag kan man få en belysning av ca.  $1.0 \times 10^5$  lux (på en yta vinkelrätt mot inkommande solstrålning). Antag att vi skulle behöva ca. 30 gånger högre belysning än så över en liten cirkulär motivyta med en diameter på ca. 1 cm (vi håller på med närbildstagningar av små föremål, och under kort tid så att motivet inte hinner brinna upp!).

Ett sätt att åstadkomma den önskade belysningen är att koncentrera ljuset med en lins (brännglas). Antag att vi med linsen helt enkelt avbildar solskivan på motivet. Du har till ditt förfogande ett antal linser A-D med diametrar och brännvidder enligt tabellen nedan. Kommer någon av linserna att vara användbar för att erhålla (ungefär) den önskade belysningen? Solens diameter är  $1.4 \times 10^9$  m, och dess avstånd från jorden är  $1.5 \times 10^{11}$  m.

Lins	Diameter (mm)	Brännvidd (mm)
A	50	100
B	50	250
C	50	500
D	50	1000

### Uppgift 3

Du har köpt en digitalkamera med ett zoomobjektiv som har brännviddsomfånget 18-85 mm och ljusstyrka 4.0. Högsta bländartal som kan ställas in är 22, och exponeringstiden kan varieras mellan 5 sekunder och  $\frac{1}{2000}$  sekund. Första dagen du använder din nya kamera utomhus är en mulen sommardag. Du har läst någonstans att belysningen utomhus då är typiskt ca. 1000 lux. En lämplig kombination av bländartal och exponeringstid för att få korrekt exponering visar sig denna mulna dag vara  $F = 5.6$  och  $t = \frac{1}{100}$  sekund.

- a) Vid klart solsken är belysningen utomhus ca. ca.  $1.0 \times 10^5$  lux. Ange en lämplig kombination av bländartal och exponeringstid för att få korrekt exponering vid klart solsken. (5p)
- b) På natten då fullmånen lyser är markbelysningen ca. 0.2 lux. Är din kamera överhuvudtaget användbar för fotografering med endast månen som ljuskälla. (5p)

(Vi bortser från möjligheten att ändra kamerans ISO-tal i denna uppgift. Du har ett litet behändigt stativ, så långa exponeringstider är inget problem.)

### Uppgift 4

Lantbruksverket planerar att göra flygfotograferingar (lodbilder) med digitalkameror för att sedan ur bildmaterialet bestämma hur stora arealer som är bevuxna med olika grödor. För att räkna ut hur stor area på marken som en pixel motsvarar behöver man, förutom verkliga pixelstorleken, veta objektivbrännvidd och flyghöjd. Antag att kameraobjektiven har en brännviddstolerans (osäkerhet) på  $\pm 3\%$ , och att noggrannheten i höjdangivelsen är  $\pm 2\%$ . Vilken maximal osäkerhet kommer detta att ge i de framräknade arealerna?

### Uppgift 5

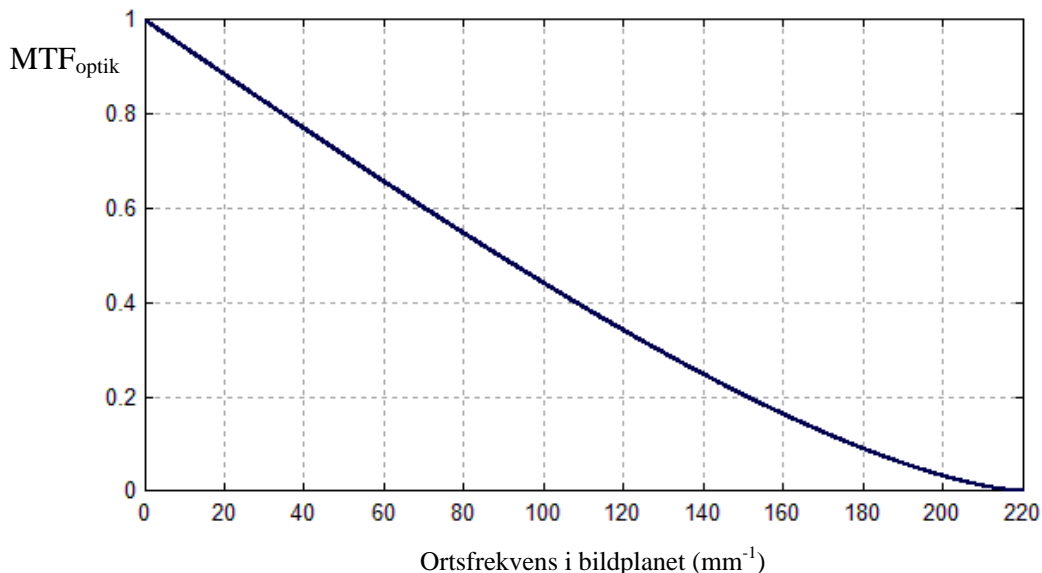
När den store landskapsmålaren X gjorde sin berömda målning ”Arkadiska förlustelser” i strandlandskapet i Bretagne, så lade han ner mycken möda på att målningen skulle återge motivet perspektivistiskt rätt när han stod på armlängds (= 60 cm) avstånd från duken. Nu hänger målningen, som har en storlek av 55 cm x 36 cm, sedan många år på galleri Y.

Du fått i uppgift att fotografera av målningen och printa ut en bild, som betraktad på 25 cm avstånd ska återge det ursprungliga motivet perspektivistiskt korrekt (dvs precis som X såg det när han målade). Din kamera har en CMOS-sensor i storleken 16 mm x 24 mm, och ett zoomobjektiv 18-85 mm. Det finns inga restriktioner vad gäller fotograferingsavståndet. Den utprintade bilden får vara max i format A4 (21 cm x 30 cm).

Berätta hur du gör för att lösa uppgiften.

### Uppgift 6

Den bästa MTF man till rimlig kostnad kan få med ett fotografiskt objektiv ges approximativt i figuren nedan (en kompromiss mellan avbildningsfel och diffraktion).



För att välja en sensor med lagom pixelstorlek kan man resonera så här:

Vi vill att pixeltätheten ska vara så hög att vi inte riskerar att få moiré-effekter. Men samtidigt vill vi att varje pixel ska ha en så stor area som möjligt, därför att då samlas många fotoner in och vi får lågt brus i bilderna.

Välj med dessa utgångspunkter ett lämpligt antal pixlar i en sensor som ska användas med ovanstående optik, om sensorn har storleken 1/1.7” (7.44 x 5.58 mm).

### Uppgift 7

Subtraktiv färgsyntes används vid analog fotografi (film), bläckstråleutskrifter, tryckning av tidningar och böcker med mera. Principen bygger på att man lägger tre färgade skikt på varandra. Färgmättnaden i varje skikt kan styras genom koncentrationen färgämne (t.ex. i film) eller genom ett rasteringsförfarande (t.ex. bläckstråleprinter, tryckpress).

- a) Berätta vilka tre färger som används vid subtraktiv färgsyntes. Rita också enkla kurvor som visar vilka våglängdsintervall som transmitteras av respektive delfärg. (3p)
- b) Vilken färg får bilden om alla tre skikten har maximal färgmättnad? (2p)
- c) Vilken färg får bilden om man låter alla tre skikten vara halvmättade? (2p)
- d) När man som barn experimenterar med vattenfärger, märker man snart att en blandning av gul och blå vattenfärg ger grönt. Hur stämmer det överens med teorin för subtraktiv färgsyntes? Förklara vad resultatet beror på. (3p)

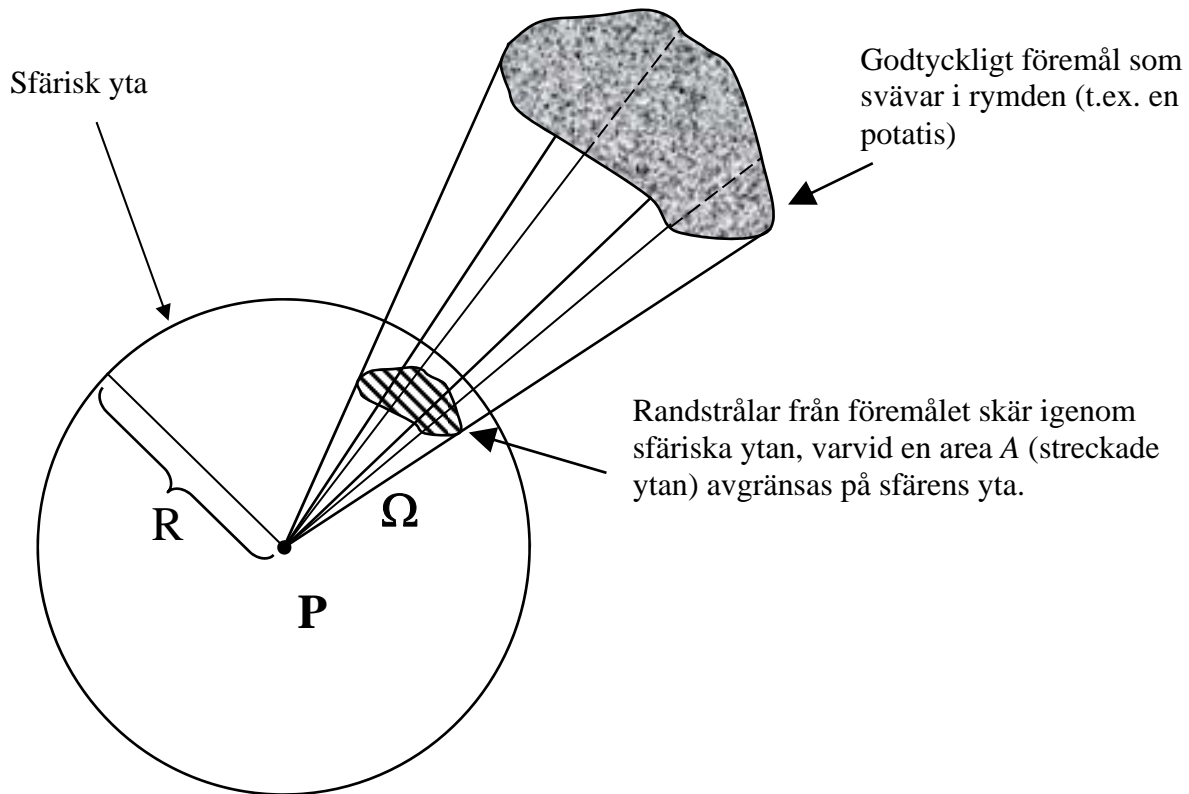
### Uppgift 8

Röntgenfotografering skiljer sig en del från vanlig fotografi med synligt ljus. Här kommer några frågor som handlar om röntgen:

- a) Vid nästan all röntgenfotografering arbetar man med en avbildningsskala som är nära 1:1 (100%), dvs bilden på sensorn är ungefär lika stor som motivet. Berätta, gärna illustrerat med en figur, varför. (4p)
- b) Vid vanlig fotografi är bildskärpan begränsad av avbildningsfel och diffraktion. Detta är sällan fallet vid röntgenfoto. Berätta varför. (3p)
- c) Vid röntgenfotografering kan man ofta variera accelerationsspänningen för elektronerna och därmed påverka vilken våglängd som erhålls. Varför är det intressant att kunna påverka våglängden på röntgenstrålningen? (3p)

**Lycka till!**

*Kjell Carlsson*

**Formelblad: Radiometriska och fotometriska storheter**Begreppet rymdvinkel

Den rymdvinkel,  $\Omega$ , under vilken vi från punkten P ser föremålet definieras genom formeln  $\Omega = \frac{A}{R^2}$ . Största möjliga rymdvinkel är  $4\pi$ . Enhet: steradian (sr).

**Radiometri**Utstrålning:

$$\text{Radians, } R = \frac{d^2P}{dA d\Omega \cos \vartheta} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{sr}} \right].$$

För svartkroppsstrålare är  $R = 1.80 \times 10^{-8} \times T^4$ , där  $T$  = temperaturen i Kelvin.

Instrålning:

$$\text{Irradians, } I = \frac{dP}{dA} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

**Forts. på nästa sida!**

## Fotometri

Handlar om hur starkt ögat uppfattar strålningen (t.ex. så uppfattar vi synligt ljus, men inte ultraviolett, röntgen och infrarött). Därför omvandlas strålningseffekten med hjälp av ögats spektrala känslighetskurva. Istället för strålningseffekt, får vi då en storhet som kallas **ljusflöde**,  $\Phi$ , och som har sorten **lumen** (förkortas lm).

### Utstrålning:

$$\text{Luminans, } L = \frac{d^2\Phi}{dAd\Omega \cos \vartheta} \left[ \frac{\text{lm}}{\text{m}^2 \text{sr}} \right].$$

För en svartkroppsstrålare beror  $L$  bara på temperaturen. För en perfekt matt reflekterande yta beror  $L$  på reflektionsförmågan och hur kraftigt den belyses.

### Instrålning:

$$\text{Belysning, } E = \frac{d\Phi}{dA} \left[ \frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lux} \right]$$

## Lösningar till tentamen i Teknisk fotografi, SK2380, 2013-08-20

(Observera att lösningarna och resonemangen inte alltid behöver vara som de nedanstående. Vissa tal kan gå ut på att göra intelligenta gissningar och slutledningar. Alla lösningar som uppfyller dessa krav belönas med hög poäng. Jag har ibland också lagt till lite extra kommentarer som inte behövs för full poäng på tentalösningarna.)

### Uppgift 1

- I fixerbadet löses icke framkallade silversalter ut och går i lösning. Det innebär att förbrukat fixerbad innehåller silversalter ur vilka man kan utvinna silvermetall.
- I ett negativ är gråskalan omkastad jämfört med motivet. Ljusa motivdelar återges alltså mörka på negativet och vice versa. Ett positiv återger motivets gråtoner korrekt, dvs ljusa motivdelar blir ljusa i bilden.
- De små svarta prickarna utgörs av metalliskt silver som fälls ut i framkallningsprocessen i de delar av filmen som exponerats för ljus.

### Uppgift 2

Låt oss först kolla vilken brännvidd som behövs för att ge en ca. 1 cm stor solbild.

Vi behöver en avbildningsskala  $M \approx \frac{1.0 \times 10^{-2}}{1.4 \times 10^9} = 7.1 \times 10^{-12} \approx \frac{f}{a}$ .  $a = 1.5 \times 10^{11} \text{ m} \rightarrow f \approx 1.07 \text{ m}$ . Enda linsen som ger ungefär rätt storlek på solbilden är D (den ger ett upplyst fält med diametern 9.3 mm). Men ger den lagom belysning?

Ljusflödet som faller in mot linsytan (diameter 50 mm) koncentreras på en yta med diametern 9.3 mm (vi bortser från reflexer i linsytorna), vilket medför att belysningen (ljusflöde/ytenhet) ökar med en faktor  $\left(\frac{50}{9.3}\right)^2 = 29$ . Vilket ju är nära 30 gånger. Det bör alltså gå bra med lins D.

### Uppgift 3

- Belysningen i solsken är 100 gånger högre än i mulet väder. För att få samma exponering som tidigare genom att förkorta tiden skulle man behöva använda  $\frac{1}{10000}$  sekund, vilket inte går eftersom kortaste tiden är  $\frac{1}{2000}$  sekund. Vid  $F = 5.6$  skulle vi då få 5 gånger för hög exponering. Vi måste alltså även ändra bländartalet, så att vi minskar belysningen på sensorn till en femtedel. Eftersom belysningen på sensorn är omvänt proportionell mot bländartalet i kvadrat, får vi  $\frac{F^2}{5.6^2} = 5 \rightarrow F = 12.6$ . Det är inte säkert att exakt detta bländartal går att ställa in. Grundtalen på skalan är 5.6, 8, 11, 16, 22, men man brukar även kunna ställa in halvsteg eller tredjedelssteg så något i närheten av 12.6 borde gå att hitta (t.ex. är 12.7 ett tredjedels steg över 11). Man kan naturligtvis också använda en längre tid än  $\frac{1}{2000}$  s och ett ännu högre bländartal.
- Fullmånen ger en markbelysning som är  $\frac{0.2}{1000} = 2.0 \times 10^{-4}$  av belysningen en mulen sommardag. Jämfört med "mulen-dag inställningarna" ska vi alltså öka på exponeringen med en faktor 5000. Exponeringstiden kan ökas från  $\frac{1}{100}$  s till 5 s, vilket gör en faktor 500. Det

fattas alltså en faktor 10 fortfarande. Bländartalet kan minskas till 4.0 (= ljusstyrkan) vilket bara gör en faktor 2 i sensorbelysningen. Det fattas alltså fortfarande en faktor 5, så bilderna blir underexponerade hur vi än gör. (I verkligheten har man också ISO att spela med, och det hade nog räckt till i detta fall för att möjliggöra fotografering i månens sken, men bilderna blir brusigare).

#### Uppgift 4

Vid flygfoto kan vi nog lugnt utgå ifrån att brännvidden,  $f$ , är mycket mindre än flyghöjden,  $h$ . Då har vi att avbildningsskalan kan skrivas  $M = \frac{f}{h}$ . Om arean av en pixel i sensorn är  $A_s$ , så gäller att en pixel svarar mot en markarea  $A_m = \frac{A_s}{M^2} = \frac{A_s h^2}{f^2}$ . Om nominella värden är  $h_0$  och  $f_0$ , så gäller:

$$h_{\max} = h_0 + 0.02h_0, \text{ och } h_{\min} = h_0 - 0.02h_0$$

$$f_{\max} = f_0 + 0.03f_0, \text{ och } f_{\min} = f_0 - 0.03f_0$$

Övre gränsen för  $A_m$  ges av  $A_m(\max) = A_s \frac{h_0^2(1.02)^2}{f_0^2(0.97)^2} = 1.11 \times \frac{A_s h_0^2}{f_0^2}$ , dvs 11% större än nominellt värde.

Undre gränsen för  $A_m$  ges av  $A_m(\min) = A_s \frac{h_0^2(0.98)^2}{f_0^2(1.03)^2} = 0.91 \times \frac{A_s h_0^2}{f_0^2}$ , dvs 9% mindre än nominellt värde.

Osäkerheten i framräknade markarealer blir alltså ca.  $\pm 10\%$ .

#### Uppgift 5

När X stod på 60 cm avstånd framför den 55 cm x 36 cm stora målningen, såg han motivets alla delar under samma synvinklar som när han tittade direkt på förlustelserna på stranden. Dessa synvinklar ska vi återskapa när vi tittar på vår slutbild på 25 cm avstånd. Detta innebär att tavlan måste återges förminskad med en faktor  $\frac{25}{60}$  både på bredden och höjden. Slutbildens storlek ska alltså vara  $\frac{25}{60} \cdot 55 \text{ cm} \times \frac{25}{60} \cdot 36 \text{ cm} = 22.9 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ . Hur vi fotograferar tavlan, dvs brännvidd, avstånd etc. spelar ingen roll (motivet vi fotograferar är helt platt).

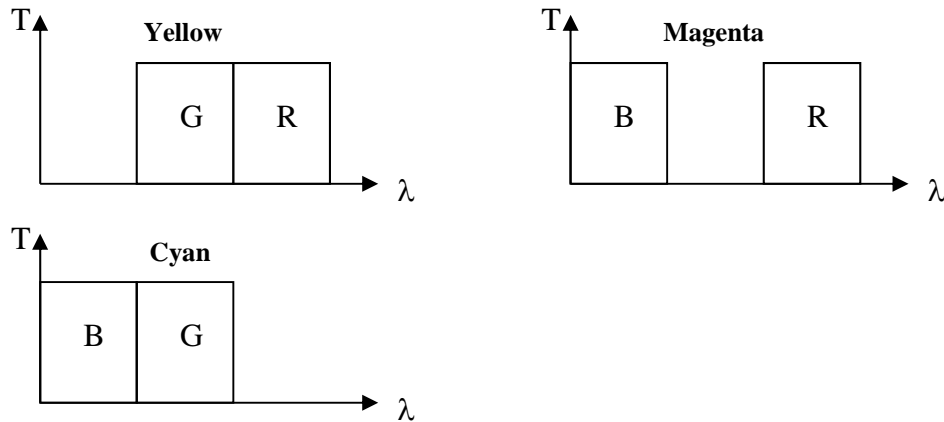
#### Uppgift 6

MTF går ner till noll vid ca.  $220 \text{ mm}^{-1}$ . Vi undviker helt moiré om vi har en dubbelt så hög samplingfrekvens, dvs  $440 \text{ mm}^{-1}$ . Pixlarnas centrum-till-centrum avstånd blir då  $\frac{1}{4.4 \times 10^5} = 2.3 \times 10^{-6} \text{ m} = 2.3 \text{ } \mu\text{m}$ . Glesare pixellering än så kan ge moiré. Och vi vill inte heller ha tätare pixellering eftersom detta ger mindre area för varje pixel, vilket ger färre detekterade fotoner och mera brus. Välj alltså ett centrum-till-centrum avstånd av  $2.3 \text{ } \mu\text{m}$ . Detta ger totalt antal pixlar  $= \frac{7.44}{0.0023} \times \frac{5.58}{0.0023} = 8.0 \times 10^6 = 8.0 \text{ megapixlar}$ .

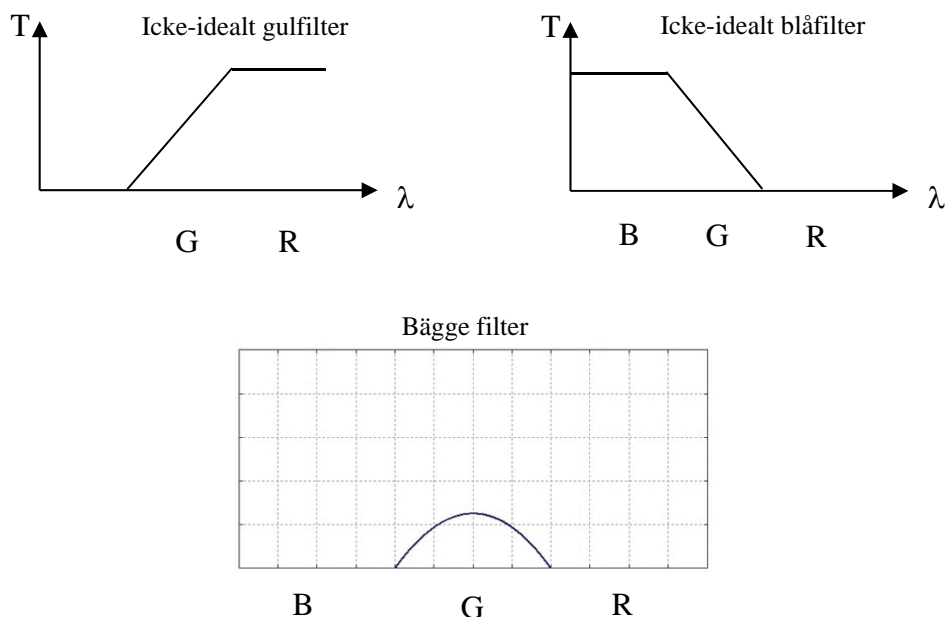


## Uppgift 7

- a) Färgerna som används är gult (Y), magenta (M) och cyan (C). Spektrala transmissionen för dessa färgämnen är (idealt) ungefär som nedanstående kurvor (för mättade färger).



- b) Vid helt mättade färger så absorberar Y-skiktet allt blått ljus, M-skiktet absorberar allt grönt ljus och C-skiktet allt rött ljus. Inget ljus kommer alltså igenom, dvs det blir svart (i verkligheten mycket mörkt grått).
- c) Halvmättade färgämnen gör att Y-skiktet släpper igenom kanske hälften av det blå ljuset (och nära 100% av grönt och rött). M-skiktet släpper igenom hälften av grönt (och nära 100% av blått och rött). C-skiktet släpper igenom hälften av rött (och nära 100% av blått och grönt). Detta ger alltså sammantaget att ca. hälften av inkommande ljuset transmittteras, och ungefär lika mycket av samtliga våglängder. Det uppfattas som mellangrått.
- d) Ett mättat blåfilter absorberar allt grönt och rött ljus, och ett mättat gulfilter absorberar allt blått ljus. B- plus Y-filter tillsammans släpper alltså inte igenom något ljus alls. Omättat B- och Y-filter tillsammans borde på samma sätt som diskuterats i c-uppgiften ge grått. Om inte mätnaden i B- och Y-filter är lika stor, borde man få omättat blå eller gul färg (inte grön). Om man får grönt vid blandning av gult och blått så måste alltså spektrala transmissionskurvorna avvika från de ideala som gavs i a-uppgiften. Det måste finnas ett gemensamt transmissionsområde för filterna i det gröna spektralområdet. Ett förenklat fall som skulle ge grön färg visas nedan.



**Uppgift 8**

- a) Vid röntgenfotografering projiceras vanligen en skuggbild av föremålet på sensorn med hjälp av en punktförmig strålkälla, se fig. 35.3 i kompendiet. Bilden blir då ungefär lika stor som föremålet om sensorn ligger nära föremålet. Med ökat avstånd sensor-föremål blir avbildningsskalan allt större; den kan aldrig bli  $< 1$ .
- b) Som framgick av svaret till a-uppgiften används vanligen ingen optik. Detta innebär att vi inte behöver bekymra oss om avbildningsfel och diffraktion i optiken. Och diffraktionen när röntgenstrålarna träffar bländare och motivets strukturer blir mycket liten på grund av den korta våglängden.
- c) Penetrationsförmågan ökar vid kortare våglängd (som erhålls med högre spänning). Ska vi studera tjocka och/eller massiva strukturer, ska vi alltså använda korta våglängder. Vid tunna och transparenta strukturer ska vi använda längre våglängder (om vi använder för kort våglängd blir absorptionen för liten, all strålning går igenom och vi får ingen kontrast i bilderna).