



KTH Tillämpad Fysik

**Tentamen i**  
**Teknisk Fotografi, SK2380,**  
**2015-06-03, 9-13, FB53**

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. Ibland behöver du också göra uppskattningar. (Välkommen till livet som ingenjör!)
- You may answer in English if you like.

## Uppgift 1

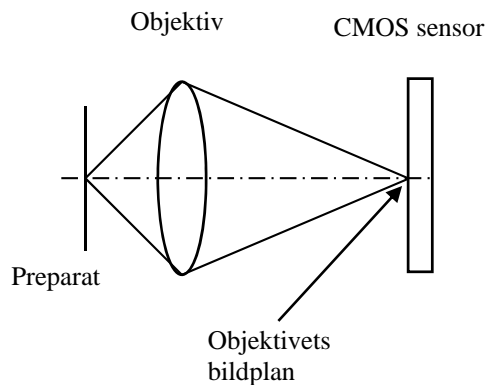
Norrsken är väldigt ljussvagt, och kräver därför långa exponeringstider och att kameran monteras på stativ för att inte få skakningsoskärpa. Du har läst i en fototidning att en fotograf har lyckats få bra norrskensbilder med 13 sekunders exponeringstid. Fotografen använde då ett objektiv med 20 mm brännvidd, bländartal  $F = 2.8$ , och ett ISO-tal av 3200. Sensorn var i fullformat, dvs 24 mm x 36 mm, och innehöll 36 megapixlar.

Du planerar själv att försöka ta några bilder på norrsken, men din kamerautrustning ser lite annorlunda ut. Du har en sensor i APS-format (16 mm x 24 mm) med 24 megapixlar och ett vidvinkelobjektiv med brännvidden 16 mm och ljusstyrka 4.5. För att undvika alltför brusiga bilder tänker du också sikta på att inte använda högre ISO-tal än 3200.

- Vilken är den kortaste exponeringstid som kan förväntas vara användbar om du vill använda din kamera till norrskensfotografering?
- Kommer du att få med mer eller mindre av himlen (större eller mindre bildvinkel) jämfört med fotografen i fototidningen?

## Uppgift 2

Fotoamatören Lisa har modifierat ett gammalt mikroskop så att hon kan montera sitt kamerahus med CMOS-sensor (storlek 16 mm x 24 mm, 18 megapixlar) så att sensorn hamnar i mikroskopobjektivets bildplan. Strålgången i mikroskopet med sensorn på plats visas i figuren nedan.



Objektivets förstoring är 40x, dvs, man får en avbildningsskala  $M = 40$  vid avbildningen. Nu har Lisa tagit ett antal mikroskopbilder på slemsvampar, och skrivit ut bilderna (utan beskärning) i format 10 cm x 15 cm på en bläckstråleskrivare.

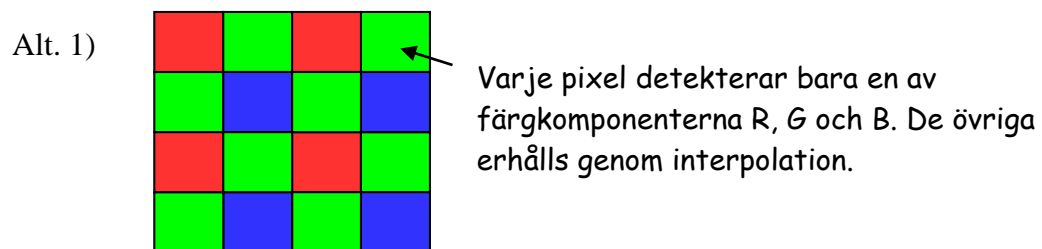
- Lisa vill rita ut ett skalstreck i bilden som markerar en längd av  $100 \mu\text{m}$  i preparatet. Hur långt ska detta skalstreck vara på pappersbilden?
- Mikroskopobjektivets upplösningsförmåga i preparatplanet anges av fabrikanten till 3.6 linjepar per mikrometer. Kan Lisa förvänta sig att bläckstrålebilderna ser mycket skarpa ut för ögat vid betraktning på ca. 25 cm avstånd, eller kommer objektivets begränsade upplösning göra att bilderna ser suddiga ut för ögat. (Lite uppskattning plus intelligent diskussion är vad som förväntas i svaret).

### Uppgift 3

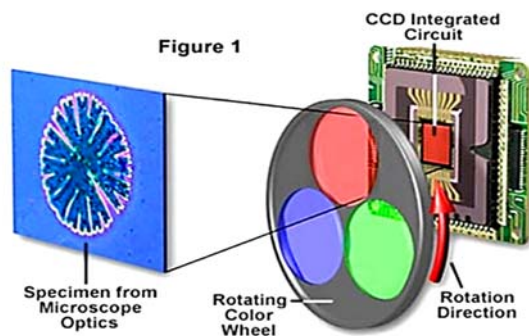
Biologen Bertil jobbar på ett forskningslabb och håller på med lite mer avancerade projekt än Lisa i föregående uppgift. Bertil vill fotografera svagt lysande fluorescenspreparat i sitt mikroskop, men ett krav är att det ska vara färgbilder så att man kan identifiera vilka kemiska ämnen det är som lyser. Bertil funderar på tre olika metoder för att ta sådana färgbilder:

- 1) Att använda en sensor med RGB-färgmosaikmönster på pixlarna
- 2) Att använda en svartvit sensor (utan färgfilter på pixlarna), och ta tre separata bilder i följd med R-, G- och B-filter i strålgången.
- 3) Att använda en kamera med tre matrissensorer (svartvita), och dela upp ljuset mellan dessa med dikroiska stråldelare.

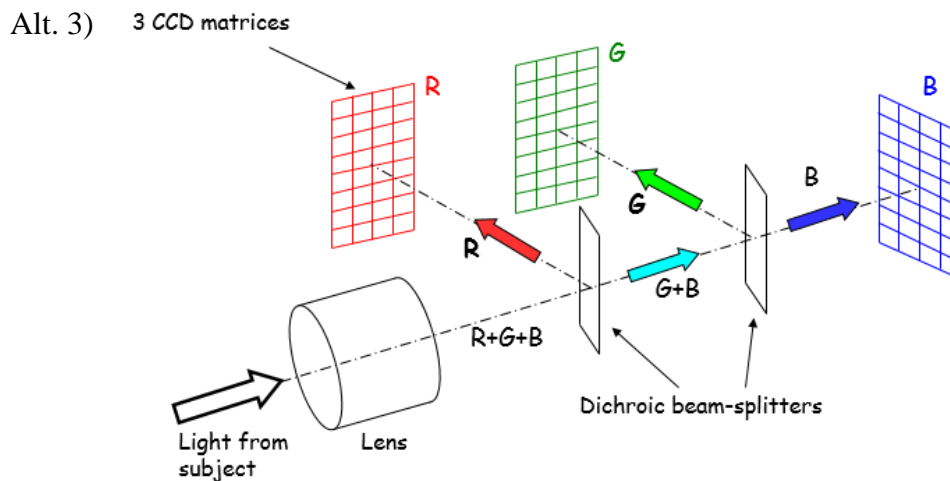
De tre alternativen är illustrerade i figureerna nedan.



Alt. 2) **Sequential Three-Pass Color CCD Imaging**



(Olympus Microscopy Resource center)



De dikroiska stråldelarna i alternativ 3 är filter som antingen reflekterar eller transmittar ljuset beroende på våglängden (väldigt lite ljus absorberas).

Hjälp Bertil att besvara nedanstående frågor:

- Vilken eller vilka av metoderna kan förväntas ge bäst skärpa i bilderna?
- Vilken eller vilka av metoderna kan förväntas ge bäst färgåtergivning på små detaljer i preparatet?
- Vilken eller vilka av metoderna är bäst för att undvika rörelseoskärpa när man tittar på levande preparat?
- Vilken eller vilka av metoderna utnyttjar ljuset på bästa sätt, dvs man kastar bort så lite fotoner som möjligt?

I samtliga fall får du anta att sensormatriserna har samma storlek och innehåller lika många pixlar. *Du måste ge kortfattade motiveringar till alla svar.*

#### Uppgift 4

En astronaut ombord på internationella rymdstationen ISS har riggat upp en vanlig digitalkamera för att ta lite bilder av jordytan. Tanken är att bilderna sedan ska kunna laddas ned i full upplösning från NASAs hemsida. Kameran har en fullformatsensor (24 mm x 36 mm) med 24 megapixlar, och ett objektiv som har brännvidden 50 mm. Kameran är riktad vertikalt ner mot jordytan för att ta så kallade lodbilder. Exponeringstiden som används är kort, runt 1/1000 sekund.

Uppskatta om man kan förvänta sig få problem med rörelseoskärpa på grund av att rymdstationen rör sig över jorden med hastigheten 7700 m/s, på en höjd av 410 km.

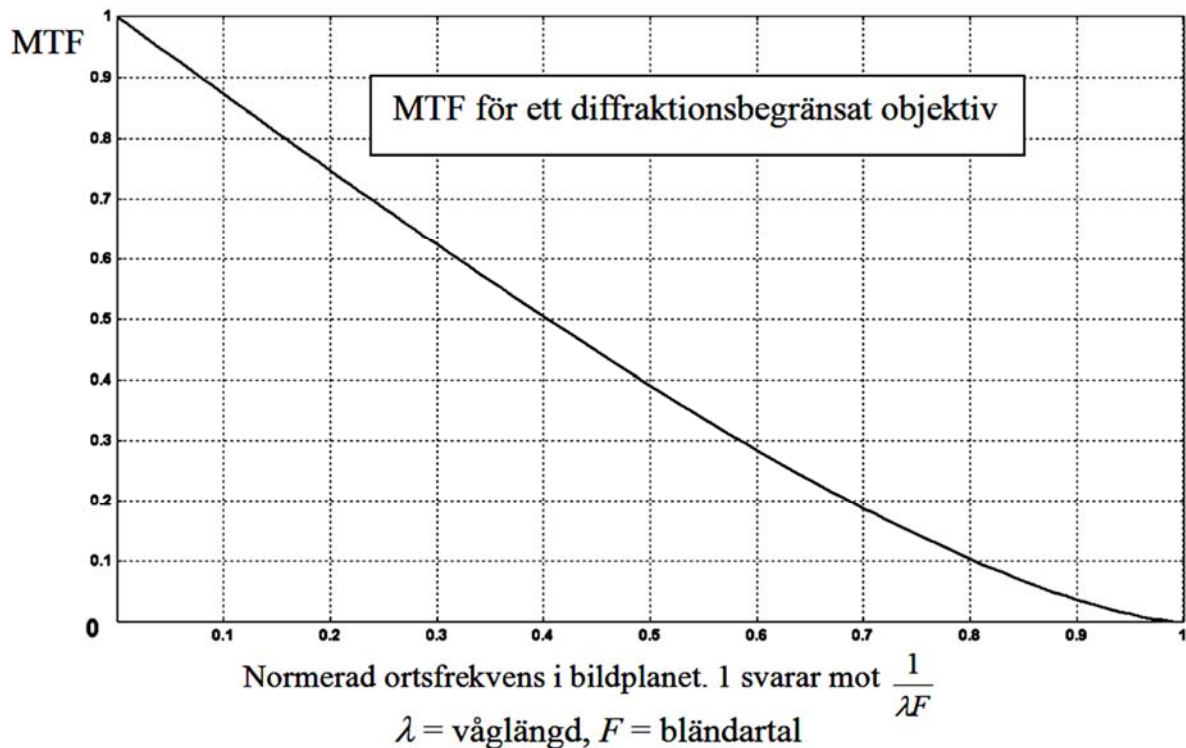
#### Uppgift 5

Du har fått ett sommarjobb på Kungliga Biblioteket (KB) som går ut på att ta svartvita bilder av tidningssidor med hjälp av en digitalkamera. För detta syfte har KB köpt in en speciell svartvit digitalkamera (alltså utan färgfilter över pixlarna). Kameran har en sensor i storleken 24 mm x 36 mm med en pixelstorlek (centrum-till-centrum avstånd) av 4.3  $\mu\text{m}$ . Sensorn är inte utrustad med antialiasing-filter. Objektivet på kameran har brännvidden 75 mm, och ljusstyrkan är 4.0. För att snabba upp processen vill KB att du jobbar med en fix uppställning, som gör att en 40 cm x 60 cm tidningssida kommer med på bilden (även om många sidor är mindre än så). KB är väldigt noga med att inte få några moiré-effekter i bilderna på grund av rasteringen i de tryckta bilderna.

Rastrerade bilder byggs upp av ett mönster av prickar. Rastertätheten (pricktätheten) är maximalt ca. 200 lpi (lpi = lines per inch, där 1 inch = 25.4 mm). Du kan i detta tal behandla prickmönstret på samma sätt som om det vore ett linjemönster med antal perioder/inch = lpi-talet.

Vilket bländartal ska du ställa in på objektivet för att vara helt säker på att inte få några moiré-effekter i bilderna?

Kurvan på nästa sida visar diffraktionsbegränsad MTF för ett objektiv, dvs den kurva man får med försumbara avbildningsfel. Belysningen som används har en våglängd av ca. 550 nm.



### Uppgift 6

Det har blivit populärt att flyga med så kallade drönare utrustade med en kamera för att ta flygbilder av diverse motiv. En ung entusiast, Petter, vill utrusta sin drönare med en kamera för att ta videosekvenser som sedan kan läggas upp på Youtube. Petter planerar att flyga tätt över hustaken med kameran pekande nedåt. Han önskar att när man tittar på bilderna på Youtube så ska man få en läskig höjdkänsla på grund av överdriven djupverkan (perspektiv).

Kameran som Petter planerar använda har en sensor i storleken 4.55 mm x 6.17 mm som ger en videobild med 720 x 1280 pixlar. Zoomobjektivet har brännviddsomfånget 4.6 – 23 mm. Videobilderna kommer (uppskattar Petter) att visas i storlek ca. 13.5 x 18 cm på datorskärmar, och betraktas på ett avstånd av ca. 50 cm.

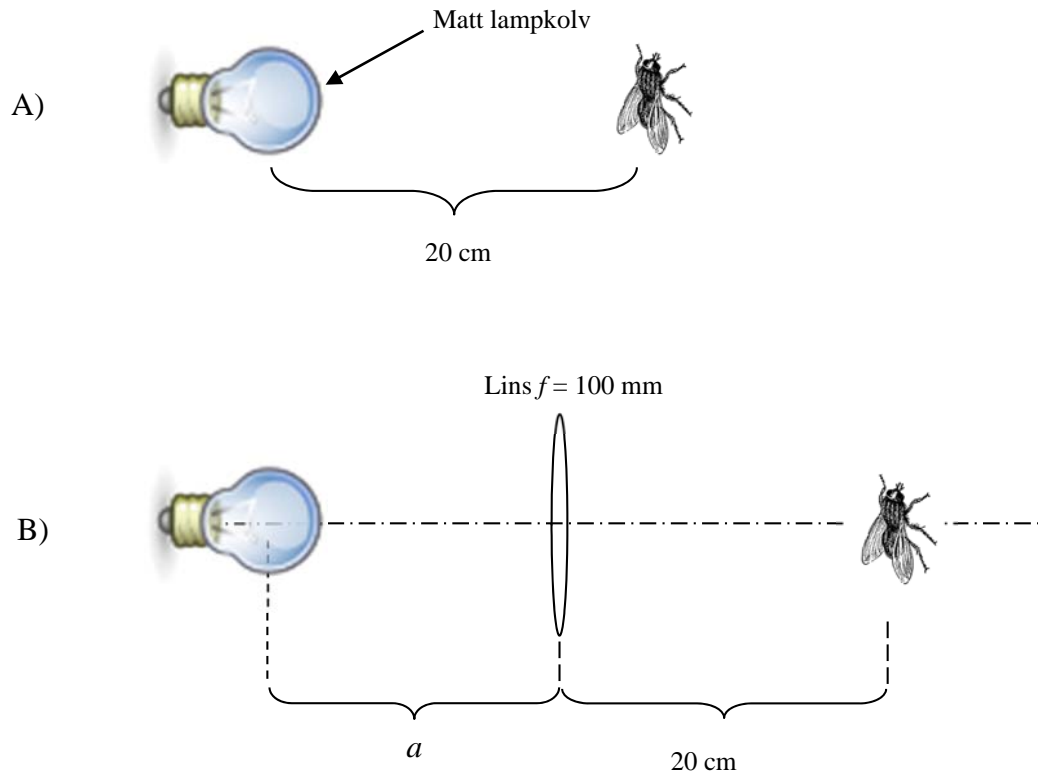
Ge ett förslag till Petter på vilket brännviddsintervall på zoomobjektivet som är användbart.

### Uppgift 7

Biologen Birgit (syster till Bertil i uppgift 3) är mycket intresserad av flugor, och nu vill hon studera hur vingarna rör sig när flugor flyger. För detta syfte vill hon använda en höghastighetsvideo för att ta bilder på en förankrad fluga som slår med vingarna. Vid höghastighetsvideo krävs emellertid en hög belysning av motivet, och nu vill Birgit ha din hjälp för att åstadkomma detta. Följande utrustning finns:

- LED-lampa med matt lampkolv (diameter 40 mm) som sprider ljuset (ungefär) likformigt i alla riktningar. Totala ljusflödet är 820 lumen.
- En lins med diametern 75 mm och brännvidden 100 mm.

Nu kan Birgit antingen låta lampan lysa direkt på motivet utan någon lins emellan, se figur A). Alternativt kan hon med linsen avbilda lampan på motivet, figur B). Ett bivillkor är att varken lampa eller lins får befinna sig närmare motivet än ca. 20 cm för att inte störaflugans beteende.



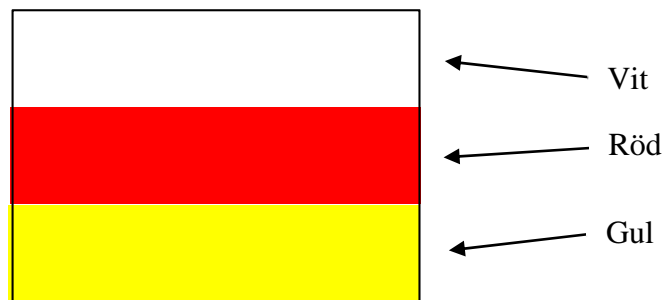
I fallet att lins används, så justeras avståndet  $a$  så att lampans matta kolv avbildas på flugan.

Gör en grov uppskattning av belysningen som Birgit kan få med dessa två belysningsarrangemang, och rekommendera henne vilket alternativ hon bör satsa på för att maximera belysningen.

Du får vid beräkningarna göra lite approximationer typ att lampan kommer att ge en jämn belysning över linsytan, och att belysningen i lampbilden som projiceras på flugan är helt jämn.

### Uppgift 8

CIA har utfört flygspaning med IR-kamera i ett land vars namn vi inte ska nämna här. Färgskalan är den vanliga som man använder vid IR-foto i färg. På en byggnad i ett skogsparti är en flagga hissad, och denna flagga har på IR-bilden det utseende som visas nedan.



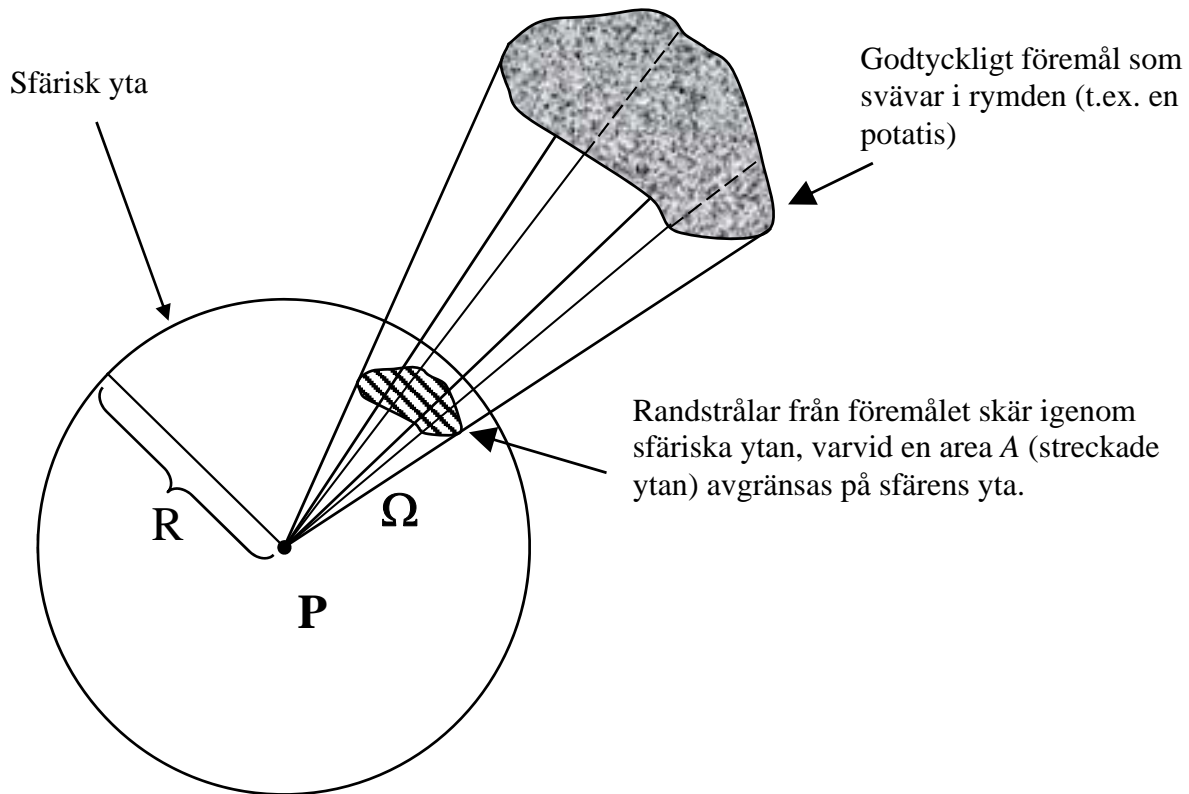
Det finns ett antal länder som har en flagga med tre liggande fält precis som i figuren på föregående sida, se lista nedan. Vilket lands flagga kan det ha varit som CIA fotograferade? (Du vet inte om flaggan reflekterar IR-strålning eller inte.)

Färgerna uppifrån och ner för länder som har flaggor med tre liggande fält:

Armenien: Röd, Blå, Gul  
Bolivia: Röd, Gul, Grön  
Bulgarien: Vit, Grön, Röd  
Colombia: Gul, Blå, Röd  
Estland: Blå, Svart, Vit  
Gabon: Grön, Gul, Blå  
Litauen: Gul, Grön, Röd  
Nederländerna: Röd, Vit, Blå  
Ryssland: Vit, Blå, Röd  
Sierra Leone: Grön, Vit, Blå  
Tyskland: Svart, Röd, Gul  
Ungern: Röd, Vit, Grön  
Yemen: Röd, Vit, Svart  
Österrike: Röd, Vit, Röd

**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

$$\Omega = \frac{A}{R^2}. \text{ Största möjliga rymdvinkel är } 4\pi. \text{ Enhet: steradian (sr).}$$

**Radiometri**Utstrålning:

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

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:

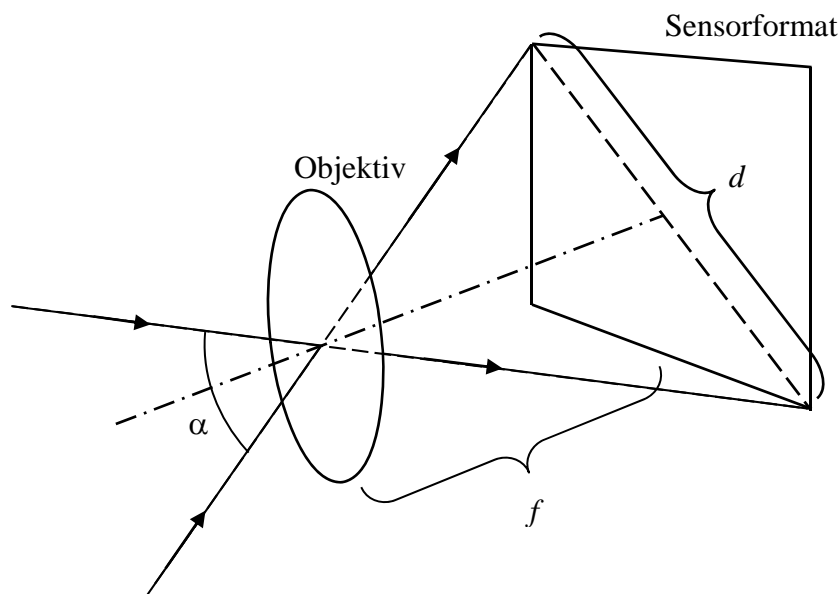
$$\text{Belysning, } E = \frac{d\Phi}{dA} \left[ \frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lux} \right]$$

## Lösningar till tentamen i Teknisk fotografi, SK2380, 2015-06-03

(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

- a) Samma ISO-tal medför att samma exponering krävs i bägge fallen. Exponeringen  $H = E \times t$ , där  $E$  = belysningen på sensorn och  $t$  = exponeringstiden. Vi antar att norrskenet lyser lika starkt i bägge fallen (vilket i och för sig inte är säkert). Belysningen i sensorplanet är proportionell mot  $\frac{1}{F^2}$ . Det innebär att din kamera kommer att ge en belysning på sensorn som är  $\left(\frac{2.8}{4.5}\right)^2 = 0.39$  gånger så hög som för den andra fotografen (om du använder största bländaröppning, annars blir den ännu mindre). Denna minskade belysning måste kompenseras med en förlängning av exponeringstiden med en faktor  $\frac{1}{0.39} = 2.6$  gånger, vilket innebär  $t_{exp} \geq 2.6 \times 13 = 34$  sekunder. Alltså ca. en halv minut.
- b)



Med kännedom om sensors diagonalmått,  $d$ , kan man beräkna bildvinkeln  $\alpha$  ur  $\alpha = 2 \tan^{-1}\left(\frac{d}{2f}\right)$ . Diagonalmåttet för sensorn i din kamera är  $d = 28.8$  mm, vilket med en brännvidd av 16 mm ger  $\alpha = 84^\circ$ . Den andra fotografens diagonalmått är 43.3 mm, vilket med en brännvidd av 20 mm ger  $\alpha = 94^\circ$ . Alltså får du med lite mindre av himlen än den andra fotografen.

### Uppgift 2

- a) Mikroskopobjektivets förstoring,  $M_{obj} = 40$ . Förstoringen från sensor till bläckstrålebild,  $M_{bild} = \frac{100}{16}$ . Total förstoring från preparat till bläckstrålebild,  $M_{tot} =$

$\frac{40 \times 100}{16} = 250$ .  $100 \mu\text{m} = 0.10 \text{ mm}$  i preparatet blir alltså  $0.10 \times 250 = 25 \text{ mm}$  i bläckstrålebilden. Skalstrecket ska alltså vara 25 mm långt.

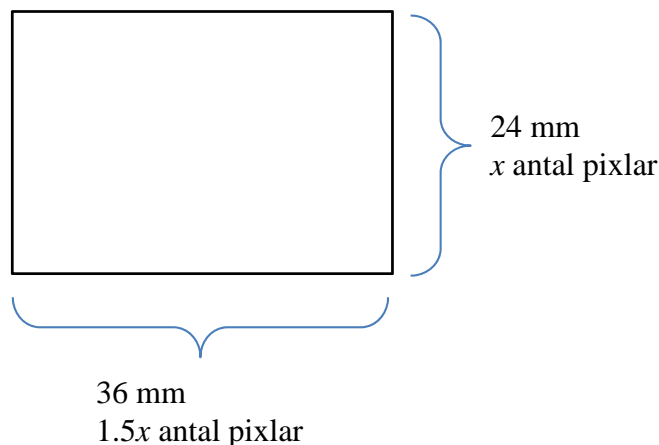
- b)  $3.6 \text{ linjepar}/\mu\text{m}$  betyder att ett linjepar  $= \frac{1}{3.6} = 0.28 \mu\text{m}$  brett. I bläckstrålebilden blir detta linjepar  $0.28 \times 250 = 69 \mu\text{m} = 0.07 \text{ mm}$  brett. Om så små detaljer som  $0.07 \text{ mm}$  ( $\frac{1}{14} \text{ mm}$ ) återges i bilden så bör den se skarp ut för ögat.

### Uppgift 3

- a) Alt. 1 kräver interpolationsräkningar för att få fram alla färgkomponenter i pixlarna. Dessa räkningar kommer att suddas till bilden lite grann. Sådana räkningar behöver inte göras i alternativ 2 & 3, och därför kan dessa alternativ förväntas ge bilder med lite bättre skärpa.
- b) Interpolationsräkningarna i alt. 1 medför ett visst mått av gissning, och därför blir färgerna (speciellt vid kanter i bilderna) mer osäkra än för alt. 2 & 3, där samtliga färgkomponenter mäts upp för varje pixel.
- c) Alt. 2 kräver tre separata exponeringar efter varandra, med filterbyte emellan. Detta tar betydligt längre tid än att göra bara en exponering, vilket räcker i alt. 1 och 3. Alternativ 1 & 3 är alltså bäst vid rörliga preparat.
- d) Alt. 1 & 2 använder färgfilter som bara släpper igenom (i medeltal) cirka en tredjedel av ljuset. Resten av ljuset går till spillo. Alt. 3 däremot utnyttjar praktiskt taget alla fotoner, de slussas via stråldelarna till korrekt sensor. Alt. 3 utnyttjar alltså fotonerna bäst.

### Uppgift 4

Här rör det sig helt klart om fotografering på stora avstånd, och därför blir avbildningsskalan  $M = \frac{f}{a} = \frac{0.050}{410000} = 1.22 \times 10^{-7}$ . Detta medför att den optiska bilden rör sig över sensorn med hastigheten  $v = 7700 \times 1.22 \times 10^{-7} = 9.4 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ . Med en exponeringstid av  $\frac{1}{1000}$  sekund så hinner optiska bilden röra sig sträckan  $9.4 \times 10^{-4} \times \frac{1}{1000} = 9.4 \times 10^{-7} \text{ m} = 0.9 \mu\text{m}$ . Detta kan jämföras med pixelstorleken.



Totalt antal pixlar  $= 1.5x \times x = 24 \times 10^6$ , vilket ger  $x = 4000$ . Alltså går det 4000 pixlar på 24 mm, vilket ger en pixelstorlek (centrum-till-centrum avstånd) av  $6.0 \mu\text{m}$ .

Bilden rör sig alltså knappt  $\frac{1}{6}$  pixelbredd under exponeringen, vilket knappast bör ge upphov till störande oskärpa.

### Uppgift 5

Avbildningsskalan,  $M = \frac{24}{400} = 0.060$ . Maximal ortsfrekvens i tidningsbild  $= \frac{200}{25.4} = 7.87 \text{ mm}^{-1}$ , svarande mot en periodlängd av  $\frac{1}{7.87} = 0.127 \text{ mm}$ , vilket i sensorplanet blir  $0.127 \times 0.060 = 7.6 \times 10^{-3} \text{ mm}$ , och motsvarande ortsfrekvens blir  $\frac{1}{7.6 \times 10^{-3}} = 131 \text{ mm}^{-1}$  i sensorplanet.

Klarar sensorn av att sampla detta korrekt? Pixlarnas centrum-till-centrum avstånd är  $4.3 \mu\text{m}$ , vilket ger en samplingfrekvens av  $\frac{1}{4.3 \times 10^{-6}} = 2.33 \times 10^5 \text{ m}^{-1}$ . Enligt samplingkriteriet klarar man av att korrekt sampla frekvenser upp till halva samplingfrekvensen  $= \frac{2.33 \times 10^5}{2} = 1.16 \times 10^5 \text{ m}^{-1} = 116 \text{ mm}^{-1}$ . Detta räcker alltså inte för det tätaste rastermönstret ( $131 \text{ mm}^{-1}$ ).

För att säkert undvika moiré måste vi alltså begränsa den optiska bildens ortsfrekvensinnehåll till max  $116 \text{ mm}^{-1}$ . Det kan vi göra om vi ser till att gränshfrekvensen för MTF,  $\frac{1}{\lambda F} \leq 116 \text{ mm}^{-1}$ . Med  $\lambda = 550 \text{ nm}$  får vi  $\frac{1}{550 \times 10^{-9} \times F} \leq 1.16 \times 10^5 \rightarrow F \geq 15.6$ .

Det är alltså lämpligt att använda bländartal 16 eller högre för att säkert undvika moiré-effekter.

### Uppgift 6

Bilden på datorskärmen är  $\frac{135}{4.55} \approx 30$  gånger större än kameranens sensor. Det innebär att för korrekt perspektiv så ska betraktningssavståndet (i detta fall 50 cm) vara 30 gånger längre än brännvidden vid fotograferingen. Detta ger oss en brännvidd av ca.  $\frac{500}{30} \text{ mm} = 17 \text{ mm}$ . Kortare brännvidd än så gör att betraktningen sker på "för stort" avstånd, vilket ger överdriven djupverkan (som vi vill). För att få klart överdriven djupverkan vill man kanske använda en brännvidd av hälften, eller ännu kortare, av den som ger korrekt perspektiv. Rekommendationen till Petter skulle kunna vara att prova brännvidder runt 8 mm, eller till och med ännu kortare.

(I detta tal tillåts en hel del variation i svaren.)

### Uppgift 7

Alt. A):

Ljusflödet  $\phi = 820$  lumen sprids ut sfäriskt runt lampan. På avståndet 0.20 m blir belysningen  $E_A = \frac{\phi}{4\pi r^2} = \frac{820}{4\pi(0.20)^2} = 1.63 \times 10^3 \text{ lux} \approx 1600 \text{ lux}$ .

Alt. B)

Lösningsmetod: Beräkna totala ljusflödet genom linsen,  $\phi_{lins}$ . Detta ljusflöde antar vi fördelar sig jämnt över den optiska bilden av lampan (som avbildas på flugan).

Genom att använda linsformeln med  $f = 100 \text{ mm}$  och  $b = 200 \text{ mm}$  får vi att  $a = 200 \text{ mm}$ , och avbildningsskalan  $M = 1.0$ . Den klotformiga lampan avbildas alltså på flugan som en cirkel med en diameter av ca. 40 mm (verklig storlek).

$\phi_{lins}$  kan approximeras med belysningen på 200 mm avstånd från lampan ( $1.63 \times 10^3 \text{ lux}$  enligt Alt.

A) multiplicerad med linsarean. Vi får  $\phi_{lins} = 1.63 \times 10^3 \times \pi \left(\frac{0.075}{2}\right)^2 = 7.21 \text{ lumen}$  som fördelar sig likformigt över lampbilden, vilket ger belysningen  $E_B = \frac{7.21}{\pi(0.020)^2} = 5.7 \times 10^3 \text{ lux} \approx 6000 \text{ lux}$ .

Vi ser att  $E_B$  är ca. 3.5 gånger högre än  $E_A$ , så vi rekommenderar Birgit att använda Alt. B.

(Snabblösningsmetod som dock inte ger några absoluta siffror på belysningen: Eftersom  $a = 200$  mm blir belysningsförhållandet mellan de bägge fallen lika med förhållandet mellan linsarean och lampbildens area =  $\left(\frac{75}{40}\right)^2 = 3.5$ )

### Uppgift 8

IR-bilden återger all strålning ett ”snäpp” åt kortare våglängder, se tabell i kompendiet. Flaggans färger uppifrån och ner är Vit, Röd, Gul. Detta ger oss följande:

Bild	Verklighet
Vit = R + G + B	IR + R + G + ev. B
Röd	IR + ev. B
Gul = R + G	IR + R + ev. B

Detta ger oss följande möjliga verkligheter:

Gul eller Vit
Blå eller Svart
Röd eller Magenta

När vi tittar i listan på möjliga länder så ser vi att det finns två som är möjliga: Colombia och Ryssland. Vi kan inte avgöra vilket av dessa länder det är fråga om, eftersom vitt och gult inte går att särskilja i en IR-bild (eftersom det blå våglängdsbandet inte registreras).