



KTH Tillämpad Fysik

## Tentamen i

**SK1140, Fotografi för medieteknik**

**SK2380, Teknisk fotografi**

**2015-08-18, 8-13, FA32**

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 bara på en sida av papperet. (Tentorna kommer att scannas)  
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!)

## Uppgift 1



På gamla ihopfällbara resekameror, typ den på bilden ovan, var det svårt att ordna mekanik som förflyttar objektivet när man ändrar avståndsställningen. Istället utnyttjade man samma princip som ögat, dvs avståndet mellan lins och sensor (näthinnan i fallet öga) är konstant, och istället ändrar man linsens brännvidd för att kunna fokusera på olika avstånd. För kameran på bilden så är avståndet mellan objektiv och film 75 mm. Motivavstånd mellan oändligheten och 0.50 meter kan ställas in genom att ändra brännvidden.

Räkna ut vilket brännviddsintervall som objektivet arbetar inom.

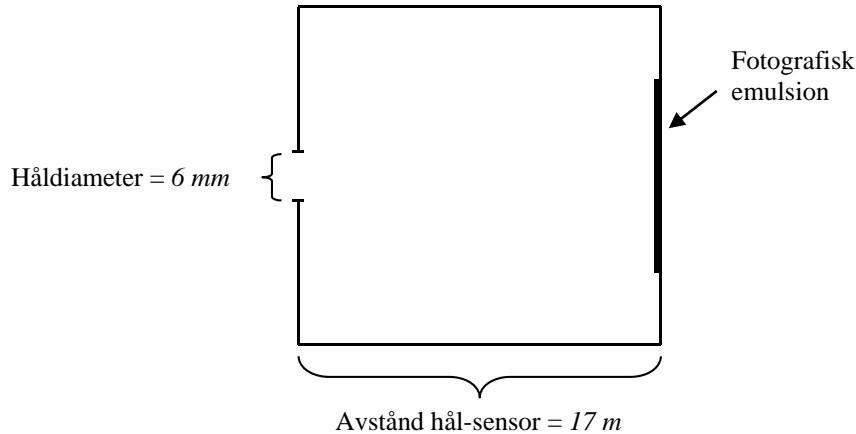
Objektivet har så liten tjocklek att du kan betrakta det som en enda (tunn) lins.

## Uppgift 2

Vid ett besök hos en gammal släkting får du syn på ett antal mycket gamla fotografier, i storlek 10 x 15 cm, av dina förfäder. Du skulle mycket gärna vilja fotografera av dessa gamla bilder med en modern digitalkamera. Vid denna avfotografering vill du få högsta möjliga bildkvalitet, eftersom de gamla bilderna är mycket skarpa och detaljrika. Eftersom du själv saknar lämplig utrustning, så ringer du till en kamrat som du vet har en bra kamera. Kamraten säger att hon har en fullformatskamera (sensor 24 x 36 mm) med 32 megapixlar. Till kameran har hon ett mycket bra objektiv med brännvidd 50 mm och ljusstyrka 1.8. Närgränsen (kortaste avstånd mellan motiv och lins som man klarar att fokusera på) är 0.35 meter. Är denna kamera användbar för ditt syfte, om du vill kunna fotografera på så nära avstånd att de gamla fotografierna kommer att ta upp hela sensorytan i digitalkameran (för bästa kvalitet)?

## Uppgift 3

Världens största fotografi togs 2006. Sensorn, med storleken 9.8 x 34 meter, utgjordes av tyg indränkt med svartvit fotografisk emulsion (silversalter). Kamerahuset utgjordes av en tom flyghangar som var ljustät förutom ett litet hål med diametern 6 mm i en av väggarna. Sensorn var placerad 17 meter från hålet. Man fick då en så kallad hålkamera, som fungerar ungefär på samma sätt som en kamera med en lins som har 6 mm diameter och brännvidden 17 meter, se figur.

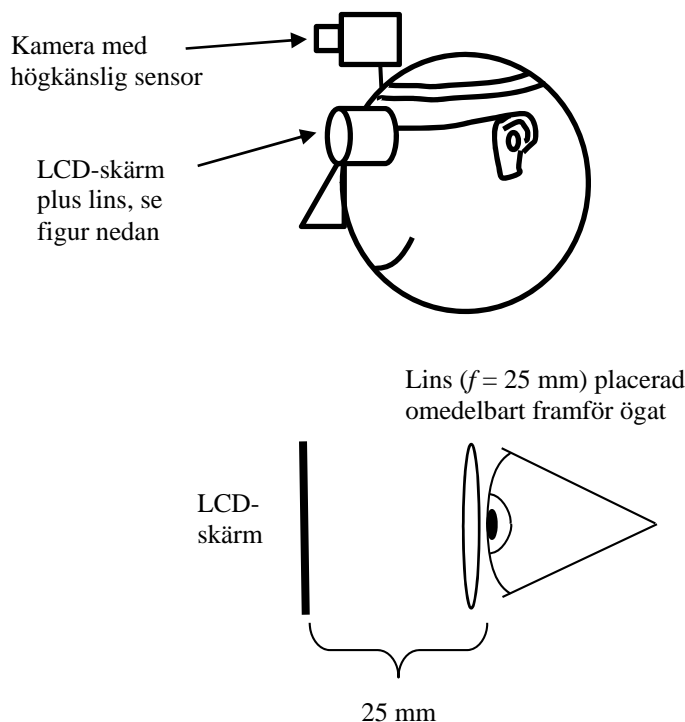


Ett problem vid experimentet var att bestämma en lämplig exponeringstid. Man skulle fotografera ett solbelyst landskap med en kamera som hade sensorstorlek 9.8 x 34 meter, och med en lens som hade brännvidden 17 meter och diametern 6 mm. Ett sätt att bestämma lagom exponeringstid, är att ställa sig utanför hangaren med en vanlig digitalkamera, och se efter vad digitalkamerans exponeringsmätare säger är lagom exponering. Sedan kan man räkna om detta värde med hänsyn till "hangarkamerans" prestanda.

Låt oss anta att digitalkamerans exponeringsmätare säger att  $\frac{1}{60}$  sekund vid bländartal 8 är lagom vid ISO-tal 100. Räkna ut en lämplig exponeringstid för "hangarkameran", om vi antar att den fotografiska emulsionen också har en känslighet som motsvarar ISO-talet 100.

#### Uppgift 4

Så kallade "night goggles" används i många sammanhang (t.ex. militära) när personer behöver röra sig i miljöer med extremt låga ljusnivåer. Night goggles fungerar så att man har en kamera med mycket ljuskänslig sensor vars bild visas (kraftigt ljusförstärkt) på en liten skärm framför personens öga.

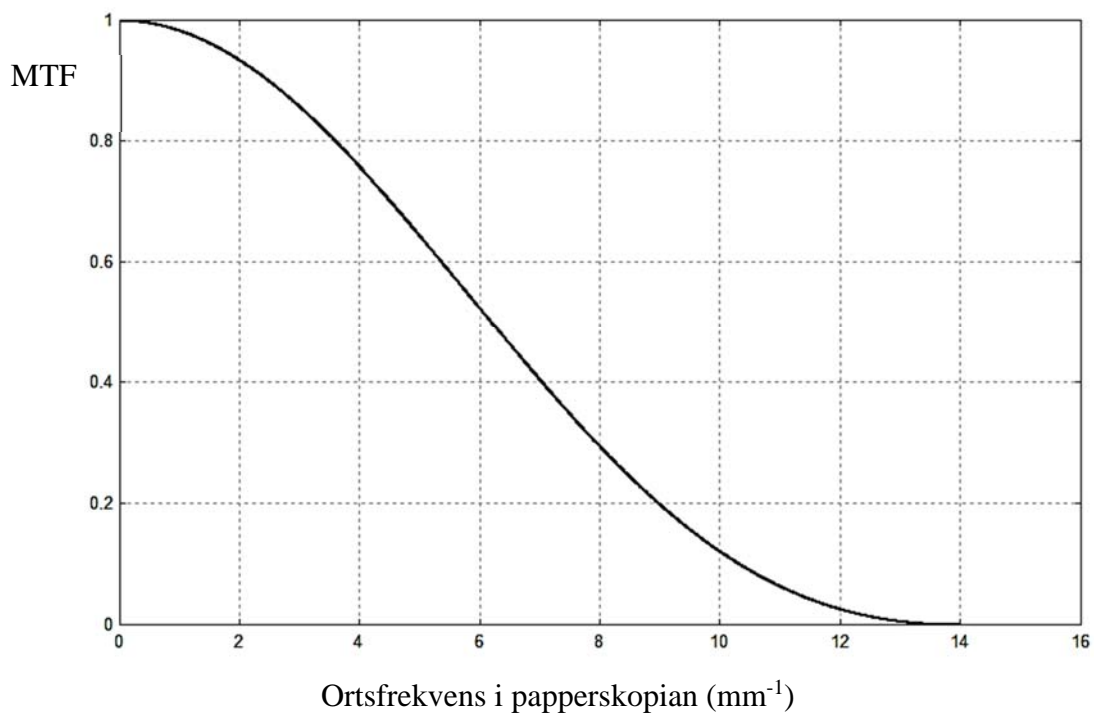


Kamerasensorns dimensioner är 15.5 mm x 15.5 mm, och LCD-skärmens dimensioner är 35 mm x 35 mm.

För att kunna röra sig på ett bra sätt med Night Goggles vill man att bilden som visas för ögat ska återge ett korrekt perspektiv så att man kan bedöma avstånd. Bestäm en lämplig brännvidd på kamerans objektiv.

### Uppgift 5

Stockholms Stadsmuseum har en mycket stor samling av svartvita fotografier. Nu önskar man digitalisera delar av samlingen, och ska därför beställa en lämplig scanner för detta syfte. Genom en tidigare utförd studie vet man ungefär hur MTF ser ut för hela avbildningskedjan som ledde fram till dessa gamla fotografiska papperskopior, se figuren nedan.



Nu vill muséet veta vilket ppi-tal (pixels per inch, där 1 inch = 25.4 mm) som behövs i scannern för att undvika moiré-effekter i de inlästa bilderna. Du har anlåtats som konsult och förväntas komma fram till ett svar.

### Uppgift 6

Solens belysning på jordytan är ca.  $1.0 \times 10^5$  lux vid vinkelrätt infall. Antag att du har en digitalkamera med sensorstorlek av 16 x 24 mm, och med ett objektiv som har brännvidden 35 mm och ljusstyrkan 2.8. Kameran riktas rakt mot solen med full bländaröppning och avståndsställningen är på oändligheten.

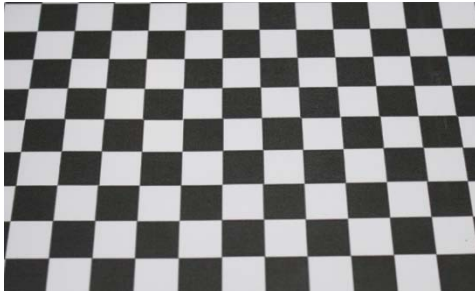
- a) Räkna ut hur stort ljusflödet (antal lumen) in genom objektivet blir.

- b) Beräkna hur stor belysningen på sensorn blir, och jämför värdet med solens belysning på jordytan vid vinkelrätt infall. Hur många gånger högre blir belysningen på sensorn?

Solens diameter är  $1.4 \times 10^9$  m, och dess avstånd från jorden är  $1.5 \times 10^{11}$  m.

### Uppgift 7

- a) Nedan visas 4 bilder, 1-4, samt deras histogram, A-D. Para ihop bilderna med korrekt histogram, samt motivera lite kort dina val.



1.



2.



3.



4.



A.



B.

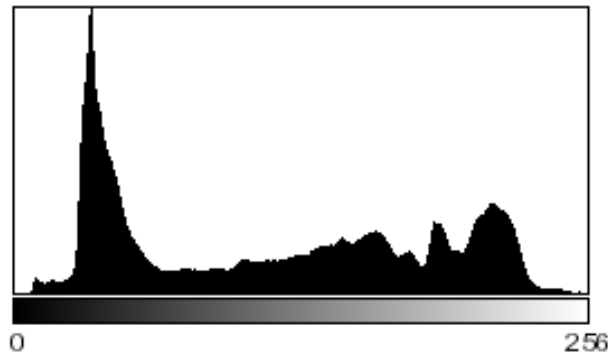


C.



D.

- b) Bilden nedan visar histogrammet för en korrekt exponerad bild. Berätta kortfattat hur man i histogrammet kan se att exponeringen är korrekt.



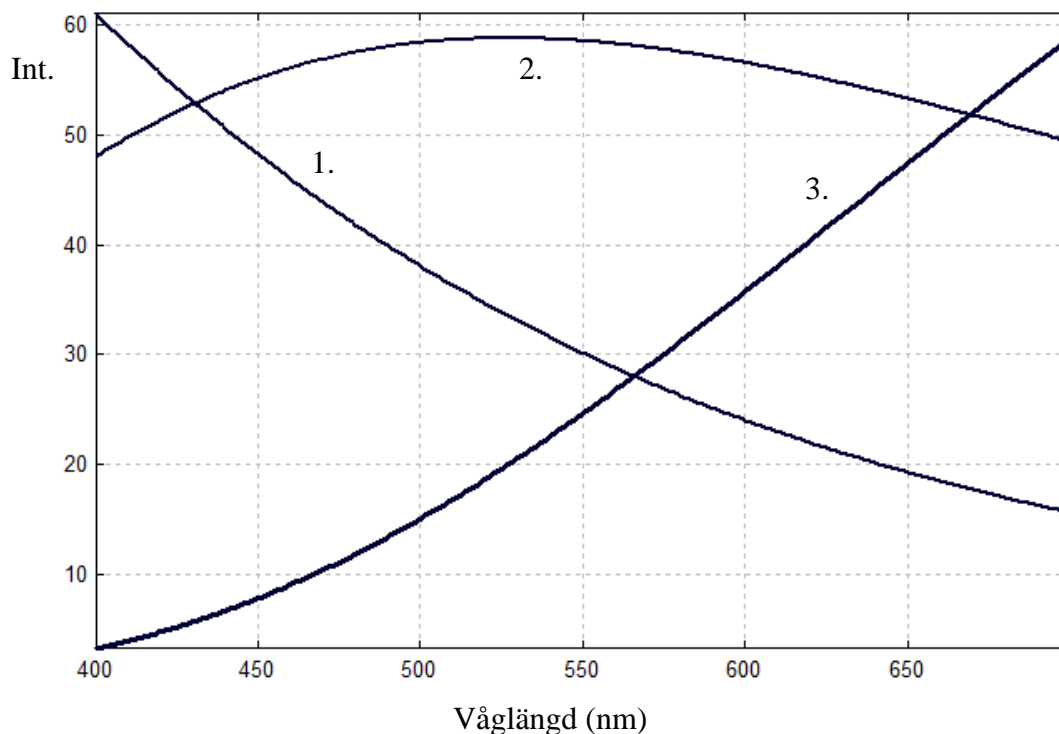
- c) Antag att man vid fotograferingen ställer in bländartal och exponeringstid så att histogrammet indikerar att det blir en korrekt exponerad bild (enligt kriterierna du angivit i b-uppgiften). Om man då tittar på exponeringsmätarens värde så kanske den visar att bilden kommer att bli kraftigt över- eller underexponerad. Vilket är i allmänhet bäst att lita på i ett sådant läge, histogram eller exponeringsmätare, och varför?

### Uppgift 8

- a) Nedanstående figur visar våglängdsfördelningen för dagsljus under tre olika betingelser:  
 A) Direkt solljus mitt på dagen.  
 B) Direkt solljus på kvällen när solen är nära horisonten  
 C) Det blåaktiga himmelsljuset som träffar ett motiv i skuggan (mitt på dagen)

Vilken kurva 1-3 hör till alternativen A-C ovan? (Motivera)

(6p)



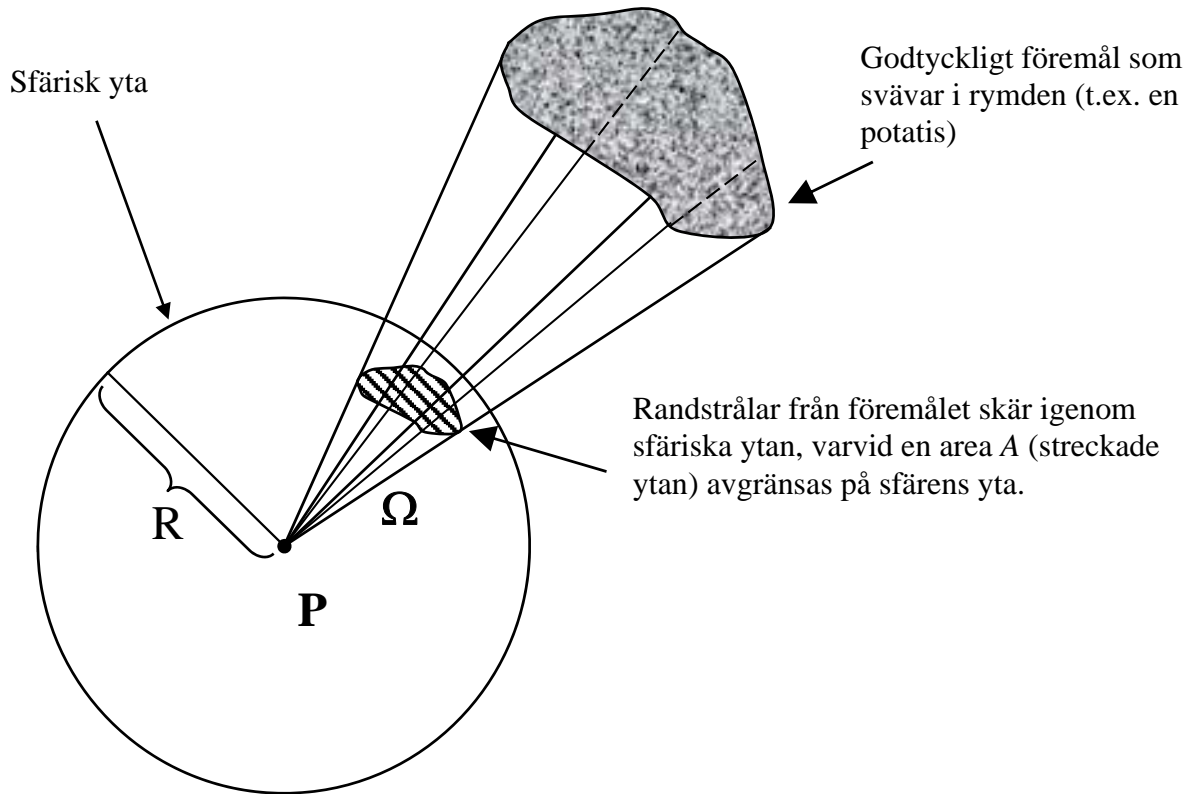
- b) Om man efter att ha tagit en bild ser att den ser alltför blåaktig ut, åt vilket håll (uppåt eller neråt) ska man ändra färgtemperaturinställningen på kameran? (Motivera) (4p)

**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 fototal för tentamen i kurs SK1140, 2015-08-18

(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.

Utnyttja linsformeln som ger sambandet mellan motivavstånd,  $a$ , bildavstånd,  $b$ , och brännvidd,  $f$ :  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ . I det aktuella fallet är  $b = 75$  mm,  $a_{max} = \infty$  och  $a_{min} = 0.50$  m.

$a_{max}$  ger  $f = 75$  mm.

$a_{min}$  ger  $\frac{1}{0.50} + \frac{1}{0.075} = \frac{1}{f} \rightarrow f = 65$  mm.

Objektivet arbetar alltså inom brännviddsområdet 65-75 mm.

### Uppgift 2.

Låt oss räkna ut vilken avbildningsskala som krävs. 100 mm kantlängd i motivet ska avbildas som 24 mm på sensorn om motivet ska fylla sensorn helt. Detta ger en avbildningsskala av  $M = \frac{24}{100} = 0.24$ . Vidare har vi att  $M = \frac{b}{a}$ , där  $a$  = motivavståndet och  $b$  = bildavståndet.

Klarar vi av att fotografera på så nära avstånd att  $M = 0.24$ ? Närgränsen 0.35 m ger följande uttryck för beräkning av största möjliga bildavstånd:  $\frac{1}{0.35} + \frac{1}{b_{max}} = \frac{1}{0.050} \rightarrow b_{max} = 58$  mm,

vilket ger  $M_{max} = \frac{0.058}{0.35} = 0.167$ . Detta är bara ca. 70% Av den önskade avbildningsskalan (0.24). Det innebär att kameran inte klarar uppgiften.

### Uppgift 3.

Samma ISO-tal innebär att sensorn behöver lika hög exponering i de bågge fallen.

Exponering,  $H = E \times t$ , där  $E$  är belysningen på sensorn och  $t$  är exponeringstiden. För att bestämma lämplig exponeringstid, måste vi först beräkna hur mycket mindre belysningen blir i hålkamerafallet jämfört med digitalkameran. Belysningen på sensorn är omvänt

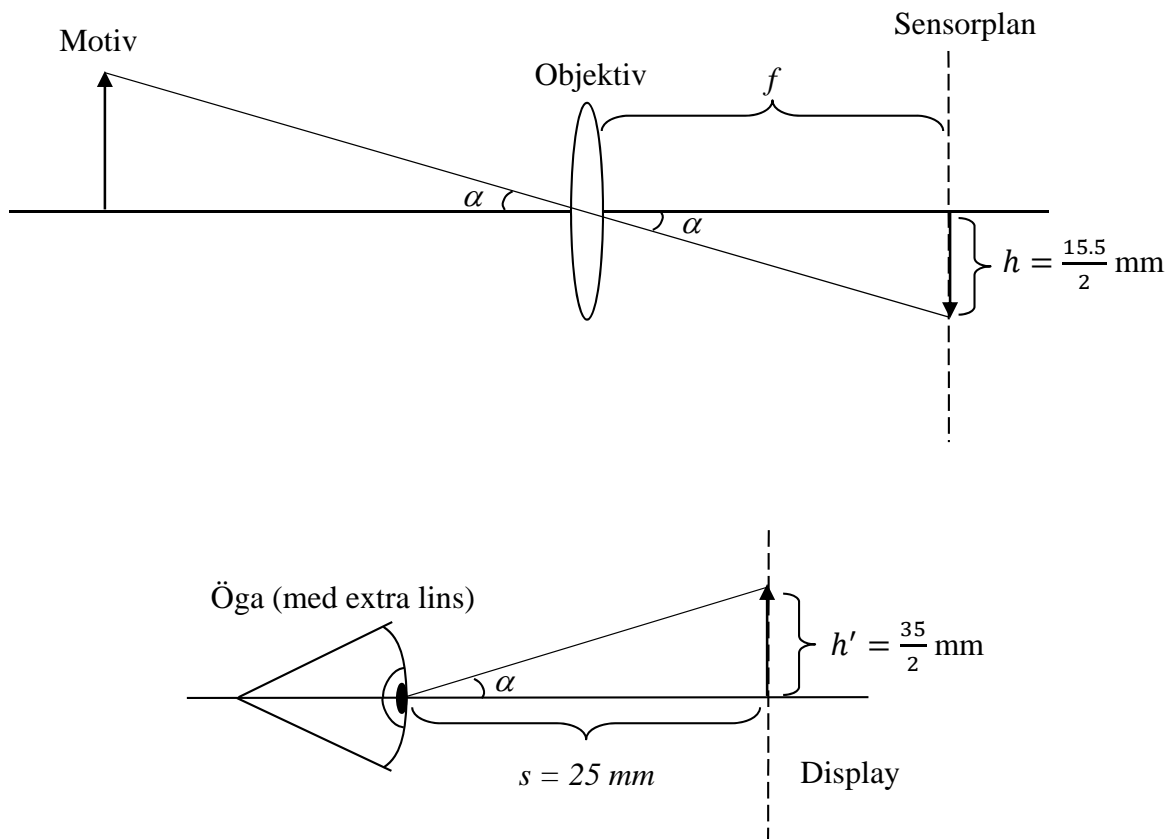
proportionell mot  $F^2$ , där  $F = \text{bländartalet} = \frac{f}{D}$ ,  $f$  är brännvidden och  $D$  är

bländaröppningens diameter. För hålkameran får vi  $F_{hål} = \frac{17}{6 \times 10^{-3}} = 2833$ .  $F_{digital} = 8$ . Vi

får  $\frac{E_{hål}}{E_{digital}} = \left(\frac{8}{2833}\right)^2 = 7.97 \times 10^{-6}$ . För att få samma exponering krävs  $\frac{t_{hål}}{t_{digital}} = \frac{1}{7.97 \times 10^{-6}} =$

$1.25 \times 10^5$ . Med  $t_{digital} = \frac{1}{60}$  sekund får vi  $t_{hål} = 2091$  sek = 35 minuter.

## Uppgift 4.



Samma vinkel  $\alpha$  betyder att  $\frac{h}{f} = \frac{h'}{s} \rightarrow f = \frac{sh}{h'} = \frac{0.025 \times \frac{0.0155}{2}}{\frac{0.035}{2}} = 0.011 \text{ m} = 11 \text{ mm}$ .

## Uppgift 5.

MTF går ner till noll vid ca.  $14 \text{ mm}^{-1}$ . För att säkert undvika moiré, behöver vi en scanner som har en samplingtätet i bilden som är minst dubbelt så hög, dvs  $28 \text{ mm}^{-1}$ . På en tum behövs då  $28 \times 25.4 = 711$  samples. Detta innebär att det behövs lite drygt 700 ppi för att klara uppgiften (inget problem med en vanlig standard-scanner).

## Uppgift 6.

- Solljuset kommer att falla in vinkelrätt mot kamerans bländaröppning. Ljusflödet,  $\Phi$  (lumen), ges av belysningen (lux = lumen/m<sup>2</sup>) multiplicerad med bländarens area. För att få fram bländarens area räknar vi fram dess diameter ur bländartalet  $F$  (lika med ljusstyrkan eftersom vi arbetar vid full öppning).  $F = \frac{f}{D} \rightarrow D = \frac{f}{F} = \frac{0.035}{2.8} = 0.0125 \text{ m}$ , vilket ger bländarean  $A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 = 1.23 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ . Vi får  $\Phi = 1.0 \times 10^5 \times 1.23 \times 10^{-4} = 12 \text{ lumen}$ .
- Det ljusflöde som kommer in genom bländaröppningen fördelar sig över den optiska bilden av solskivan, vars area vi ska beteckna  $A'$ . För att beräkna  $A'$  behöver vi veta hur stor optiska bilden av solen blir. Avbildningsskalan  $M = \frac{\text{brännvidd}}{\text{solavstånd}} = \frac{0.035}{1.5 \times 10^{11}} = 2.33 \times 10^{-13}$ .

Diametern på solbilden blir då  $1.4 \times 10^9 \times 2.33 \times 10^{-13} = 3.27 \times 10^{-4} \text{ m} \rightarrow A' = \pi \left( \frac{3.27 \times 10^{-4}}{2} \right)^2 = 8.38 \times 10^{-8} \text{ m}^2$ , vilket ger en belysning av  $E = \frac{\phi}{A'} = \frac{12.3}{8.38 \times 10^{-8}} = 1.47 \times 10^8 \text{ lux}$ , vilket är ca. 1500 gånger högre än solens belysning på jordytan. Objektivet verkar som ett brännglas, och sensorn riskerar att överhettas och förstöras om kameran rikts för länge mot solen med öppen slutare.

### Uppgift 7.

Histogrammens horisontella axel representerar pixelvärden, och vertikala axeln hur många pixlar som har ett visst värde.

- 1  $\rightarrow C$ . I stort sett finns bara höga eller låga pixelvärden i bilden. Därför får vi bara höjd på staplarna i två smala regioner av pixelvärden.  
 3  $\rightarrow B$  Samma resonemang som ovan, men nu har vi pixelvärden inom sex smala regioner svarande mot de sex gråfälten.  
 4  $\rightarrow D$  Vi har i stort sett bara ljusa pixlar i bilden, och därför har vi höga staplar bara för höga pixelvärden, dvs långt åt höger.  
 2  $\rightarrow A$  Har ganska jämn fördelning av grånivåer i bilden, och uppvisar därför histogrammet med jämnast stapelhöjd för olika pixelvärden.
- Inga (eller ytterst få) pixlar har uppnått maxvärde (bottning), men ganska många ligger precis under botteningsnivån (dvs är kraftigt exponerade, men inte bottenade). Inga pixlar ligger alldeles nere vid noll, vilket medför att vi kan se detaljer även i motivets skuggpartier.
- Histogrammet ger mycket mer information till fotografen, och är därför bättre för att bestämma korrekt exponering. Exponeringsmätaren mäter bara medelvärdet över en viss yta eller ytor, och försöker sedan få detta värde att passa för ett hypotetiskt medelmotiv.

### Uppgift 8.

- $A \rightarrow 2$  Direkt solljus på dagen är "vitt" till färgen, dvs har ungefär jämn intensitetsfördelning inom synliga våglängdsområdet.  
 $B \rightarrow 3$  När ljus färdas genom atmosfären sprids korta våglängder mer än långa. Rött transmitteras alltså mer än blått. Vid solnedgången färdas ljuset längre sträcka genom atmosfären, vilket innebär att korta våglängder blir kraftigt undertryckta i spektrum.  
 $C \rightarrow 1$  Ett motiv i skuggan träffas inte av direkt solljus, utan bara av det spridda blåaktiga himmelsljuset. Det bör därför innehålla mer blått och mindre rött än direkt solljus.
- Beroende på färgtemperaturinställningen kommer kameran att vikta signalerna från RGB-kanalerna olika. I det aktuella fallet är tydligen förstärkningen för hög i blåkanalen och för låg i rödkanalen. Det betyder att kameran förväntade sig ett mera rödaktigt ljus än vad som verkligen var fallet. Det betyder att inställningen var satt till ett för lågt Kelvinantal. Färgtemperaturen ska alltså justeras uppåt till ett högre värde.