



KTH Tillämpad Fysik

Tentamen i
Teknisk Fotografi, SK2380,
2013-05-22, 9-13, FB52

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.

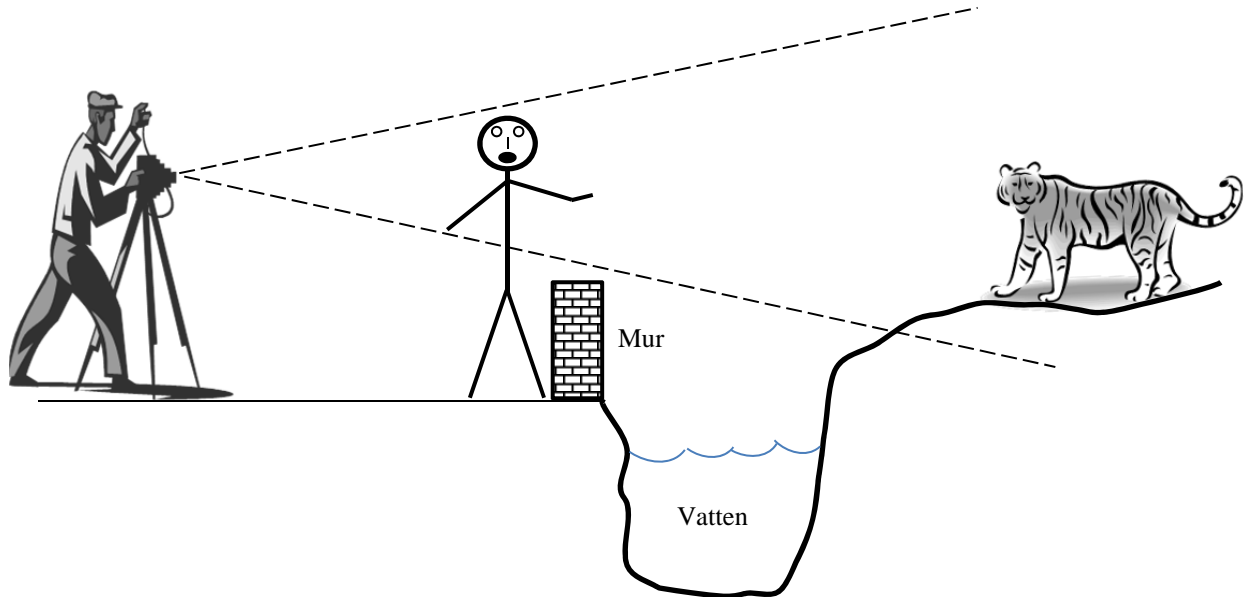
OBS!

**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

Under ett besök på zoo kommer du på idén att fotografera en kamrat på samma bild som en tiger. Du vill att det på bilden ska se ut som om kamraten står alldeles bredvid tigern och klappar den på huvudet. Problemet är att tigrarna befinner sig bakom en låg mur och en vattengrav, ganska långt bort alltså. Genom lämplig kameravinkling (se figuren) kan man undvika att muren syns i bilden, men det gäller att ta bilden på ett sådant sätt att tigern inte ser för liten ut i förhållande till kamraten. Tigern kommer på bilden aldrig att kunna se lika stor ut som om den i verkligheten stod alldeles intill din kamrat, men du vill komma så nära detta som möjligt.



Tigern befinner sig ca. 10 meter bakom muren, och kamraten står alldeles intill muren. Du kan befinna dig på avståndet 0-30 meter från kamraten vid fotograferingen (en husvägg förhindrar större avstånd). Din kamera har ett 18-85 mm zoomobjektiv, och sensorn har storleken 16 mm x 24 mm.

- Du vill alltså att tigern ska se så stor ut som möjligt i förhållande till kamraten på bilden. Berätta hur fotograferingen ska ske för att detta ska uppfyllas. Ange också hur stor tigern då blir på bilden jämfört med hur stor den skulle ha blivit på bilden om den hade befunnit sig alldeles bredvid kamraten. (7p)
- Kan du få motivet att fylla ut bildformatet väl med den givna kameran och fotografering enligt a)-uppgiften (du kan utgå från kamratens överkropp)? Eller blir kamraten så liten att du kan behöva beskära (crop) och göra en delförstoring för att få den önskade slutbilden? (3p)

Uppgift 2

- Många olika kombinationer av bländaröppning och exponeringstid kan ge samma exponering på sensorn. Vi kan tänka oss följande tre fall:

 - Liten bländaröppning + Lång tid
 - Medelstor bländaröppning + Medellång tid
 - Stor bländaröppning + Kort tid

Saker att beakta när man väljer en lämplig kombination av bländaröppning och tid är:

- Skärpedjup
- Aberrationer (avbildningsfel i optiken)
- Diffraction
- Rörelseoskärpa

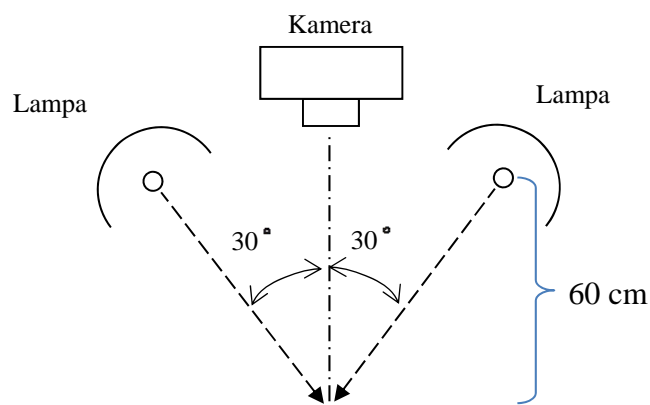
Berätta hur du tar hänsyn till fyra ovanstående punkter när du väljer en lämplig kombination av bländaröppning och exponeringstid. (5p)

b) När man fotograferar utomhus i solsken så brukar det oftast fungera bra med vitbalansinställningen "solsymbol" (dvs färgtemperatur 5500 K). I vissa situationer kan man emellertid behöva justera vitbalansen till högre eller lägre Kelvintal. Berätta om du bör göra någon sådan justering, och i så fall vilken typ av justering, i följande fall:

- Utomhusfoto där man förutom direkt solljus på motivet även får in en hel del ljus som reflekteras från en blå husvägg in närheten.
- Som ovan, men husväggen är grön.
- Som ovan, men husväggen är röd.

(5p)

Uppgift 3



Vid reprofotografering (fotografering av dokument) används ofta en uppställning liknande den i figuren för att få en jämn belysning av motivets yta. Dokumentet belyses av två lampor, vardera med ljusflödet 715 lumen som sprids likformigt över en halvsfär (rymdvinkeln 2π).

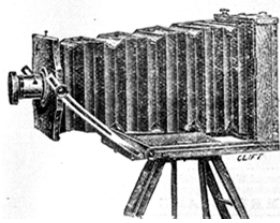
- Beräkna hur hög belysningen blir i en punkt i dokumentets centrum (indikerat med streckade pilarna). (5p)
- Beräkna belysningen i kanten på ett A4-papper, dvs ca. 15 cm från dokumentets centrum. Vi antar att vi rör oss ut från centrum längs en linje parallell med sammanbindningslinjen mellan lamporna. (5p)

Uppgift 4

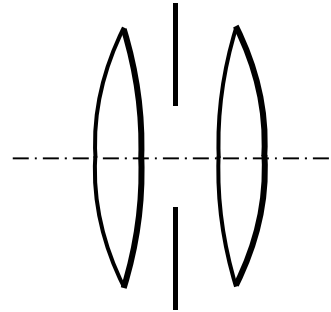
En av dina vänner arbetar med att bygga en robust digitalkamera som ska kunna monteras i ett flygplan för att fotografera marken. En sådan kamera kommer att utsättas för stora temperaturvariationer, vilket gör att avståndet mellan objektiv och sensor kan variera lite beroende på termisk utvidgning i materialet. Nu undrar din vän ungefär hur mycket avståndet mellan sensor och objektiv kan tillåtas variera utan att man upplever bilderna som oskarpa när dom detaljstuderas. Kameran kan utrustas med ett flertal objektiv som har olika brännvidder, och objektivens ljusstyrka (= lägsta bländartal) varierar mellan 1.8 och 4.5. Sensorn är en CCD med 36 megapixel och storleken 35 mm x 50 mm.

Gör en ingenjörsmässig överslagsberäkning, vi är ute efter storleksordningen!

Uppgift 5



Loppisfynd!



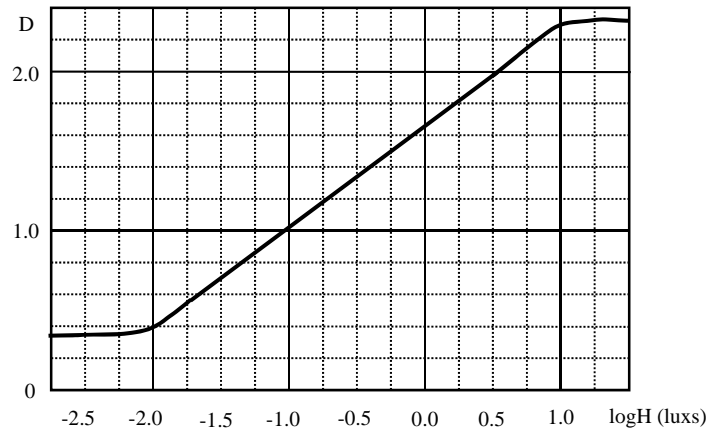
*Objektivets principiella uppbyggnad.
Halvorna är identiska och ligger nära
varandra med bländaren och slutaren i
mitten.*

Du har varit på loppmarknad och köpt en gammal ateljékamera. Med kameran följer ett objektiv som består av två halvkor som kan skruvas isär, och mellan de två objektiv-halvorna sitter bländaren och slutaren, se figur. Kameran kan användas med antingen bägge objektiv-halvorna monterade, eller med endast ena delen på plats. I det senare fallet får vi ungefär dubbelt så lång brännvidd som i det första fallet (många gamla kameror var utrustade med denna typ av delbara objektiv). Objektivet är märkt med brännvidd och ljusstyrka på följande sätt 18 cm/5.6, och bländarspaken har markeringar för bländartalen 5.6, 8, 11, 16, 22, 32. Märkningarna gäller uppenbarligen för fallet att bägge objektivhalvorna är monterade.

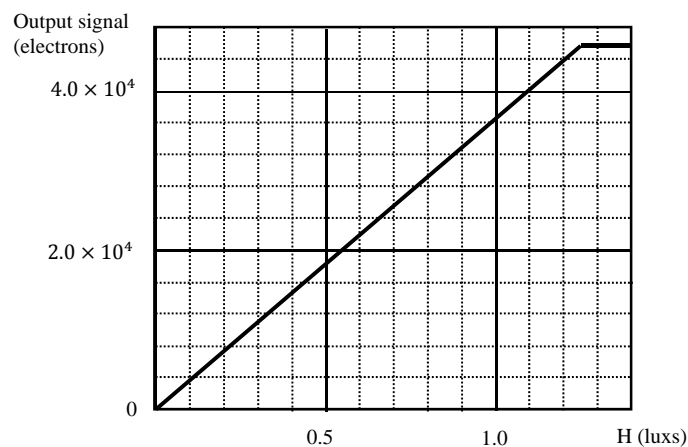
- När bara ena objektivhalvan används behöver bländartalen räknas om för att stämma med verkligheten. Berätta hur vi ska räkna om dem. (2p)
- I en gammal instruktionsbok som följde med kameran står att om denna utrustas med ett objektiv med 24 cm brännvidd så klarar den vid maximalt bälgutdrag en avbildningsskala av 1:1, dvs bilden blir lika stor som motivet. Vilka maximala avbildningsskalor klarar kameran av med det medföljande objektivet, om det används vid 18 respektive 36 cm brännvidd (räkna på bägge fallen)? (8p)

Uppgift 6

Nedanstående kurvor visar karakteristiken för en fotografisk film respektive en CCD-sensor för en digitalkamera. Din uppgift är att uppskatta ungefär hur stort exponeringsomfång (dvs $\frac{H_{max}}{H_{min}}$) som respektive sensor klarar av utan att vissa delar blir överexponerade medan andra blir underexponerade.



Svärtning i filmen (D) efter framkallning som funktion av exponering (i logaritmisk skala)



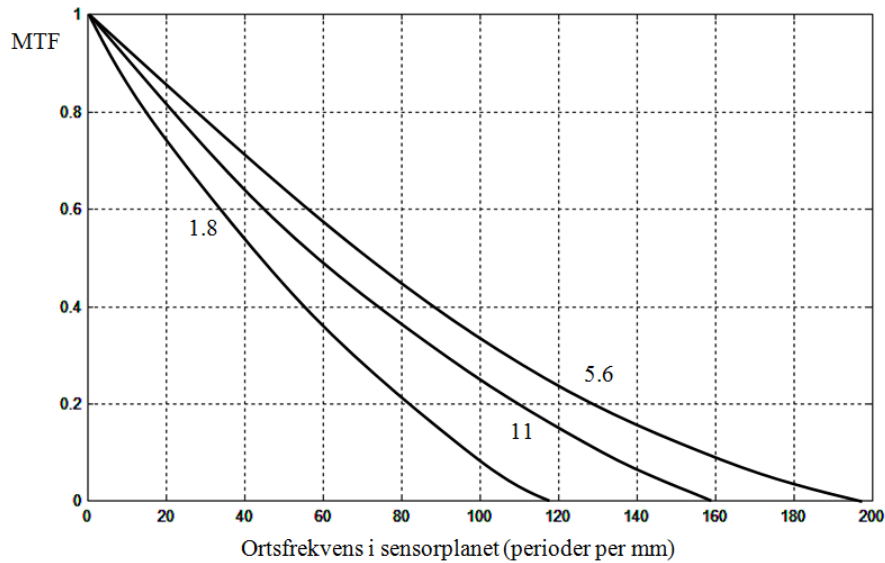
*Utsignal som funktion av exponeringen för elektronisk sensor.
OBS, exponering i linjär skala.*

För filmens del betyder överexponering och underexponering att kontrasten blir så låg i mörka respektive ljusa partier att dessa försvinner praktiskt taget helt.

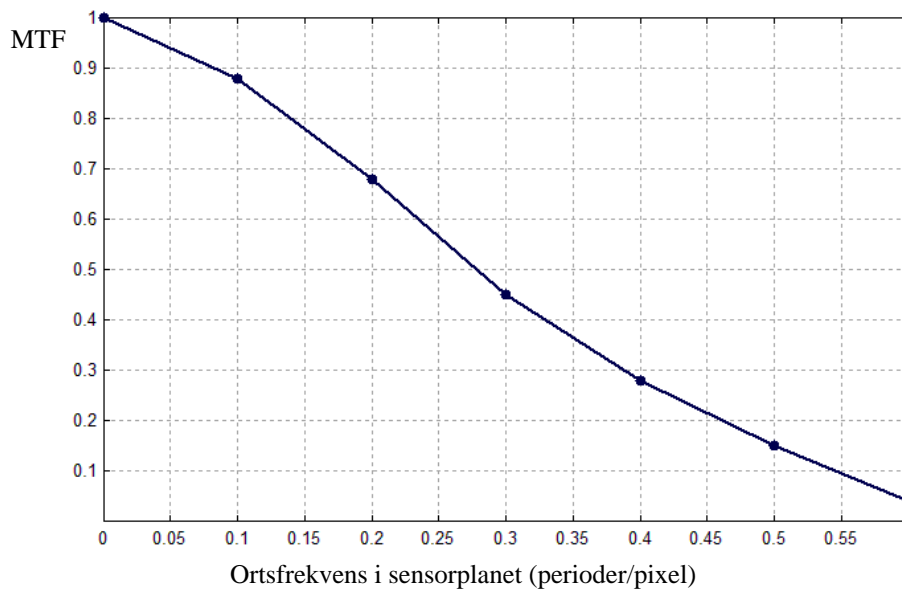
För elektroniska sensorn betyder överexponering också förlust av kontrast, medan man som underexponering brukar räkna att signal/brus-förhållandet blir mindre än 1. Bruset har mätts upp i en mörk del av bilden till "12.3 electrons RMS", där RMS (= Root Mean Square) avser standardavvikelse.

Uppgift 7

Vännen från uppgift 4 återkommer nu med en ny fråga angående samma kamera. Beställaren vill inte att det ska finnas risk att få störande moiré-effekter (aliasing) vid fotograferingen. Störande definieras av beställaren som moiré-ränder med mer än 10% modulationsgrad. Måste man då använda ett anti-aliasing filter (vilket kostar pengar, och ger lite sämre bildkvalitet) eller klarar man moiré-kravet ändå? Du får nedanstående MTF-kurvor som vännen hämtat från datablad.



MTF vid olika bländartal för ett typiskt kameraobjektiv som kommer att användas med flygkameran.



Uppmätta MTF-värden för den aktuella sensorn.

Uppgift 8

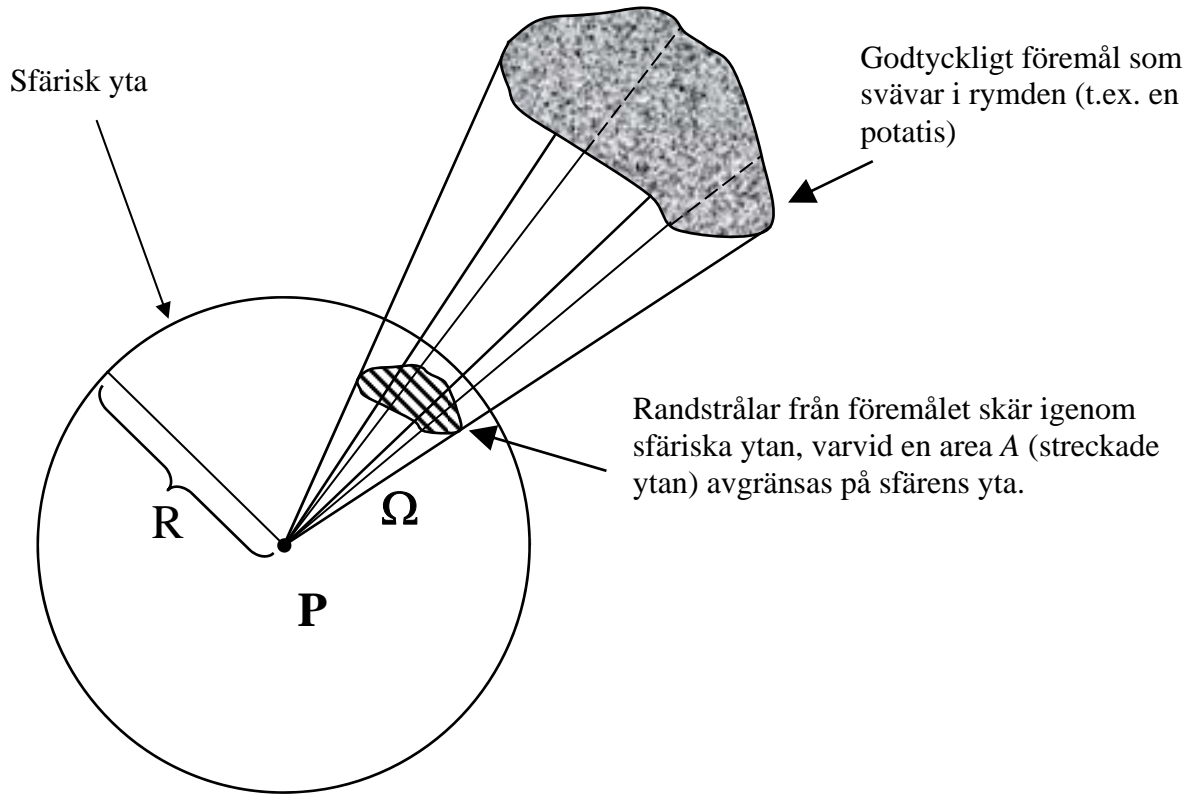
En randig tapet består av omväxlande gröna och magentafärgade (blå-röda) ränder. Tapeten belyses av en glödlampa, och fotograferas med en kamera som tar infraröda färgbilder. På IR-bilden visar det sig att tapetens ränder återges med sina komplementfärger, dvs gröna ränder återges magenta, och magenta ränder återges gröna.

Förklara hur detta fenomen uppstår, samt berätta om tapetens (verkliga) gröna och magenta färger reflekterar IR-strålning.

Du får anta att samtliga färger är mättade.

Lycka till!

Kjell Carlsson

Formelblad: Radiometriska och fotometriska storheterBegreppet rymdvinkel

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

RadiometriUtstrålning:

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

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**, Φ , och som har sorten **lumen** (förkortas lm).

Utstrålning:

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

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

Instrålning:

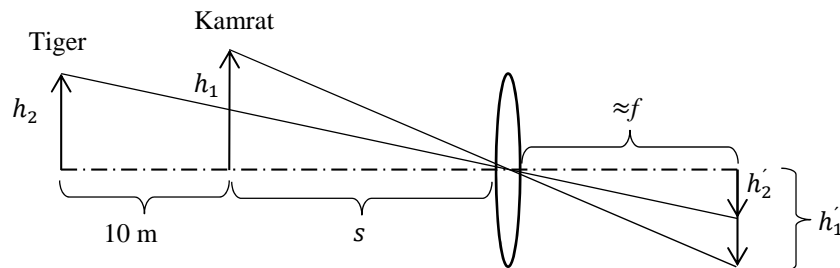
$$\text{Belysning, } E = \frac{d\Phi}{dA} \left[\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lux} \right]$$

Lösningar till tentamen i Teknisk fotografi, SK2380, 2013-05-22

(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)



$\frac{h'_2}{h_2}$ ska maximeras. Från figuren får vi sambanden $\frac{h_1}{s} = \frac{h'_1}{f}$ och $\frac{h_2}{s+10} = \frac{h'_2}{f}$. Genom att kombinera dessa uttryck får vi $\frac{h'_2}{h_2} = \frac{h_2}{h_1} \times \frac{1}{1+\frac{10}{s}} \cdot \frac{h_2}{h_1}$ är förhållandet mellan tigerns och kamratens verkliga storlekar (inte mycket att göra åt). Vi ser emellertid att ju större avståndet s är desto större blir kvoten $\frac{h'_2}{h_2}$. Nu är det givet att $s_{\max} = 30$ m, vilket medför $\frac{h'_2}{h_2} = 0.75 \times \frac{h_2}{h_1}$, dvs 75% så stort som om dom befann sig på samma ställe.

b)

Säg att kamratens överkropp har storleken 1 meter. Maximal avbildningsskala erhålls med längsta brännvidden, och vi får då $M_{\max} \approx \frac{f_{\max}}{30} = \frac{85 \times 10^{-3}}{30} = 2.8 \times 10^{-3}$, vilket innebär att överkroppen blir ca. 3 mm på sensorn. Detta är bara ungefär 20% av sensorhöjden, dvs vi fyller ut bildformatet dåligt. En delförstoring kommer att behövas.

Uppgift 2

- a) Skärpedjupet beror på bländartalet. Önskas stort skärpedjup ska högt bländartal användas, och om man vill ha litet skärpedjup ska lågt bländartal användas. Aberrationerna är störst vid låga bländartal, och är försumbara vid riktigt höga bländartal. Vid låga bländartal kan man därför inte förvänta sig optimal skärpa. Diffraction suddar till bilderna mera ju högre bländartal (mindre bländaröppning) man använder. Vid höga bländartal kan man därför inte förvänta sig optimal skärpa. Bästa skärpa får man i allmänhet vid medelhöga bländartal. Då är aberrationerna reducerade, men diffractionen ännu inte så stor att den ruinerar skärpan. ("Lagom är bäst".)
- Rörelseoskärpa kan uppstå både genom att motivet rör sig, och att fotografen inte kan hålla kameran tillräckligt stilla. Detta måste man beakta så att man inte använder för lång exponeringstid.

- b) Reflexer från blå väggen ger mera blått i belysande ljuset än från solen enbart. Detta motsvarar en ljuskälla med högre färgtemperatur än dagsljus. Ställ in på högre Kelvintal än 5500.

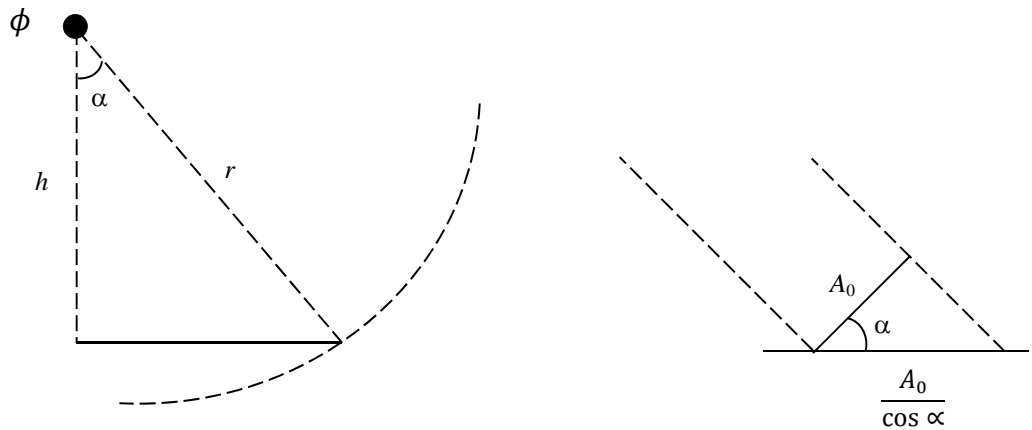
Röd husvägg ger precis omvända situationen, dvs vi får ett ljus som motsvarar en ljuskälla med lägre Kelvintal, så vi ska sänka Kelvintalet under 5500.

Grön husvägg ger mera intensitet mitt i synliga spektrum, men inte någon skevhet mellan blå/röd-komponenterna. Detta liknar inte någon temperaturstrålare, oavsett temperatur. Vi kan inte korrigera för detta, utan bör behålla 5500 K (och rätta till färgerna efteråt med t.ex. Photoshop).

Uppgift 3

a)

Lamporna ger lika stort bidrag till belysningen. Låt oss först beräkna bidraget från en lampa.

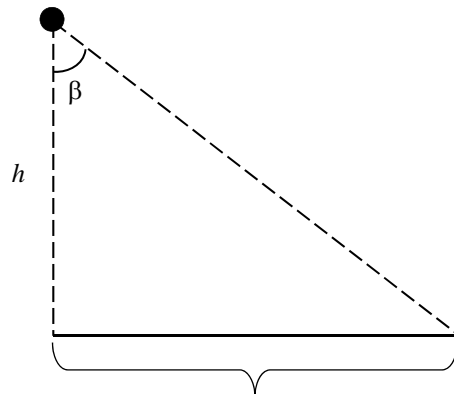


$\phi = 715 \text{ lm}$, $h = 0.60 \text{ m}$, $\alpha = 30^\circ$, $r = \frac{h}{\cos \alpha}$. Belysningen på en sfärisk yta med radie r blir $E_0 = \frac{\phi}{2\pi\left(\frac{h}{\cos \alpha}\right)^2}$. På grund av snett infall mot bordsytan, se högra figuren, får vi att belysningen där blir

$E = E_0 \times \cos \alpha = \frac{\phi(\cos \alpha)^3}{2\pi h^2} = \frac{715 \times (\cos 30^\circ)^3}{2\pi(0.60)^2} = 205 \text{ lux}$. När bägge lamporna lyser blir belysningen dubbelt så stor, dvs. ca. 410 lux.

b)

Låt oss titta på vänstra lampans bidrag först:

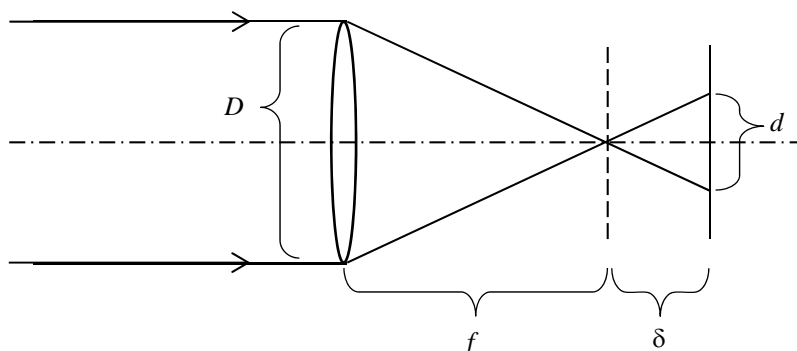


0.15 m längre sträcka än i fall a) medför att $\beta = 39.6$ grader.

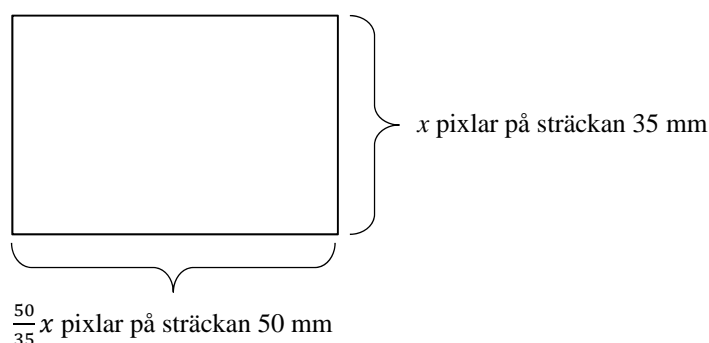
Belysningsbidraget från vänstra lampan blir lika med uttrycket i a), men med α utbytt mot β : $E_1 = \frac{\phi(\cos \beta)^3}{2\pi h^2} = \frac{715 \times (\cos 39.6^\circ)^3}{2\pi(0.60)^2} = 145 \text{ lux}$.

Bidraget från högra lampan erhålls om bottensträckan i triangeln ovan är 0.15 m kortare än i a)-uppgiften. Då får vi vinkeln $\beta = 18.1$ grader, vilket insatt i ekvationen ovan (istället för 39.6 grader) ger $E_2 = 271 \text{ lux}$. Total belysning blir då 416 lux, dvs praktiskt taget identiskt med fallet a). Belysningen blir således mycket jämn.

Uppgift 4



En ingenjörsmässig uppskattning kan vara att oskärpecirkeln, d , på grund av termisk utvidgningen δ , max. får vara ca. en pixelstorlek. Pixelstorleken kan beräknas ur:



$$\frac{50}{35}x^2 = 36 \times 10^6 \rightarrow x = 5020 \text{ pixlar på } 35 \text{ mm} \rightarrow \text{pixelstorlek } \frac{35 \times 10^{-3}}{5020} = 7.0 \times 10^{-6} \text{ m.}$$

Ur övre figuren får vi: $\frac{d}{\delta} = \frac{D}{f} \rightarrow \delta_{max} = \frac{d_{max}f}{D} = 7.0 \times 10^{-6} \times F$ meter, där F = bländartalet. Lägsta bländartal, 1.8, ger den minsta toleransen $7.0 \times 1.8 = 13 \mu\text{m}$. Dvs. förskjutningen bör vara maximalt av storleksordningen $\frac{1}{100}$ mm.

Uppgift 5

- a) Bländartalet, $F = \frac{f}{D}$, där D är bländardiametern. När bländarspaken står i ett visst läge har vi en viss bestämd bländardiameter. Om man då fördubblar brännvidden så fördubblas också bländartalet, dvs $5.6 \rightarrow 11$, $8 \rightarrow 16$, $11 \rightarrow 22$ etc.

b) Vi har att jobba med linsformeln $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ och att avbildningsskalan ges av $M = \frac{b}{a}$.

Vid 0.24 m brännvidd så ger maximalt bälgutdrag, dvs. b_{\max} att $M = 1.0$. Vi har då $a = b \rightarrow \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{b} = \frac{1}{f} \rightarrow b = 2f = 0.48$ m. Detta är alltså kamerans b_{\max} .

$$M = \frac{b}{a} = \left\{ \frac{1}{a} = \frac{1}{f} - \frac{1}{b} = \frac{b-f}{bf} \right\} = \frac{b-f}{f} = \frac{b}{f} - 1 \rightarrow M_{\max} = \frac{b_{\max}}{f} - 1.$$

$$\text{För } f = 0.18 \text{ m blir } M_{\max} = \frac{0.48}{0.18} - 1 = 1.7.$$

$$\text{För } f = 0.36 \text{ m blir } M_{\max} = \frac{0.48}{0.36} - 1 = 0.33.$$

Uppgift 6

För filmen har vi att $\log H < -2.0$ ger underexponering (praktiskt taget ingen lutning) och $\log H > 1.0$ ger överexponering. Detta ger $(\Delta \log H)_{\max} = 1.0 - (-2.0) = 3.0 = \log H_{\max} - \log H_{\min} = \log \left(\frac{H_{\max}}{H_{\min}} \right) \rightarrow \frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 10^{3.0} = 1000$.

Elektroniska sensorn klarar $H_{\max} \approx 1.25$ lux, vilket motsvarar ca. 4.5×10^4 elektroner utsignal. Lägsta exponering som sensorn kan registrera ger en utsignal = 12.3 elektroner, vilket motsvarar $H_{\min} = \frac{12.3}{4.5 \times 10^4} \times H_{\max} = 3.42 \times 10^{-4}$ lux (vi har ett linjärt samband mellan exponering och utsignal). $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = \frac{1.25}{3.42 \times 10^{-4}} \approx 3600$, dvs klart bättre än filmen.

Uppgift 7

I uppgift 4 såg vi att centrum-till-centrum avståndet mellan pixlarna är $7.0 \mu\text{m}$. Detta ger en samplingfrekvens i sensorplanet av $\frac{1}{7.0 \times 10^{-6}} = 1.43 \times 10^5 \text{ m}^{-1} = 143 \text{ mm}^{-1}$. Nyquistfrekvensen, dvs den högsta som kan registreras utan moiré, ges av halva samplingfrekvensen = 72 mm^{-1} . $\text{MTF}_{\text{optik}}$ kan vara max ca. 0.50 vid denna frekvens (vid bländartal 5.6).

Sensorn har ett MTF-värde av ca. 0.15 vid Nyquistfrekvensen (0.5 perioder/pixel). $\text{MTF}_{\text{total}}$ vid Nyquistgränsen blir alltså ca. $0.50 \times 0.15 = 0.075$, vilket medför att max. modulation för ortsfrekvenser över Nyquistfrekvensen är < 0.10 vilket var vårt krav.

Alltså behövs inget anti-aliasing filter.

Uppgift 8

Färgskala i IR-bild:

| <u>Motiv</u> | <u>Bild</u> |
|--------------|------------------|
| IR | Rött |
| Rött | Grönt |
| Grönt | Blått |
| Blått | - Registreras ej |

Magenta = R + B i bilden motsvaras av IR + G i verkligheten, alltså en grön rand som dessutom reflekterar IR. (Vi vet inte från bilden om randen är grön eller grön/blå = cyan, men vi vet från talets lydelse att den inte var cyan.)

Grönt i bilden motsvarar rött i verkligheten. Vi vet att verklighetens ränder var gröna och magenta. Den enda av dom färgerna som innehåller rött är magenta, så ränderna måste vara magenta (den

verkliga blå-komponenten kommer ju inte med i bilden). Eftersom ingen rödkomponent var med i IR-bilden reflekterar de (i verkligheten) magenta ränderna inte IR.