



KTH Tillämpad Fysik

Tentamen i
Teknisk Fotografi, SK2380,
2011-08-18, 14-18, FB51

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

Hjälpmedel: Formelblad "Radiometrisk och fotometrisk 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!**

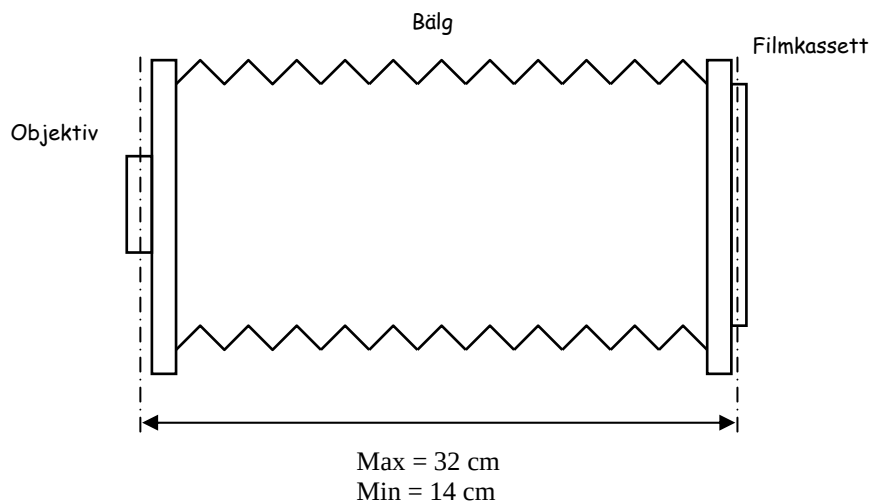
- Talen är inte ordnade i svårighetsgrad.
- Det kan hända att data ges som du inte behöver använda för problemets lösande. Du får alltså välja ut de data du behöver. (Välkommen till livet som ingenjör!)
- You may answer in English if you like.

Uppgift 1

En släkting har vid en vindsröjning hittat en gammal ateljékamera som hon skänker till dej. Tyvärr saknas objektiv, men ett sådant kan man ju köpa begagnat via nätet. När du kollar på webben hittar du följande objektiv (talen representerar brännvidd och ljusstyrka):

90 mm/5.6 90 mm/8 150 mm/5.6 150 mm/8 180 mm/5.6 180 mm/8
210 mm/8 210 mm/11

Du vill kunna fotografera små föremål (närbildsfotografering) med så stor avbildningsskala som möjligt, men samtidigt vill du kunna fotografera avlägsna föremål med kameran. Du vill också att objektivet ska ge så ljusstark bild som möjligt på mattskivan för att underlätta fokusering. (En mattskiva används istället för filmkassett när man ställer in skärpan, och man vill ha hög belysning på mattskivan för att se bilden tydligt.)



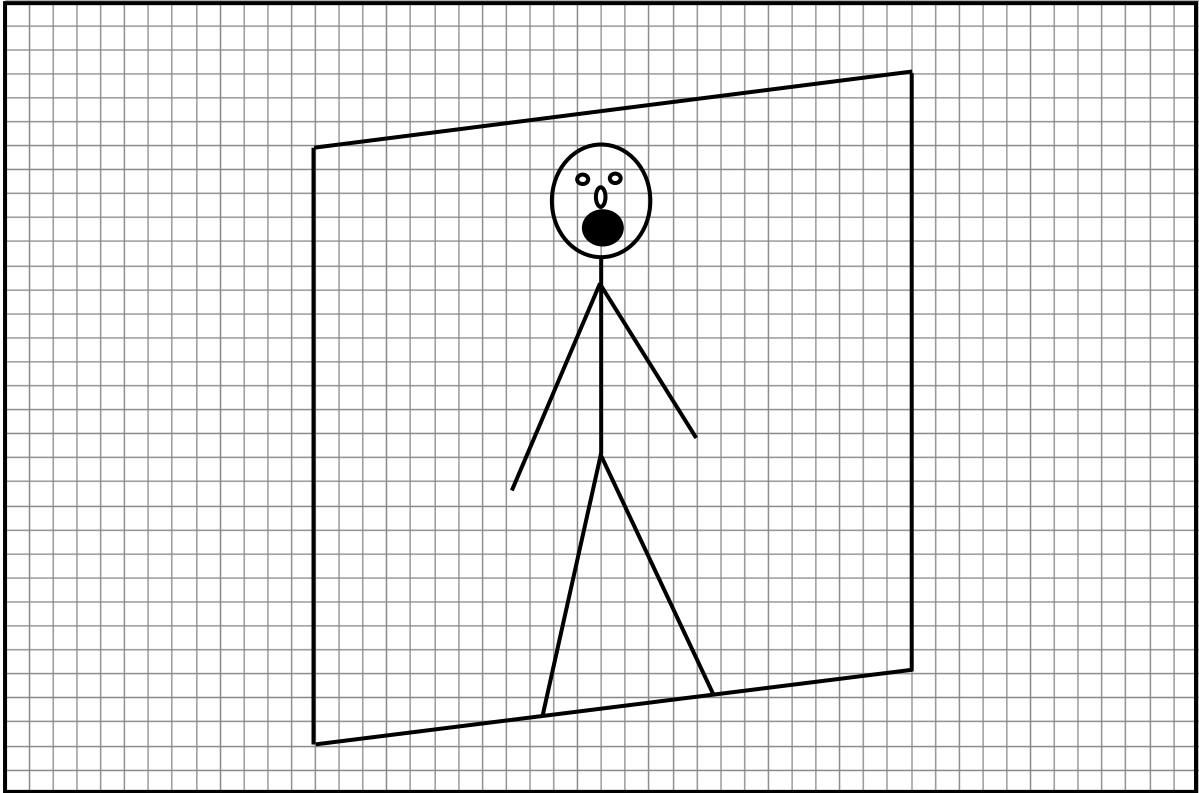
Vid maximalt bälgutdrag är avståndet mellan objektivet (bakre huvudplanet) och filmen 32 cm. När bälgen är så ihopskjuten som möjligt blir motsvarande avstånd 14 cm.

Vilket objektiv ska du välja, och vilken maximal avbildningsskala kommer du att klara av?

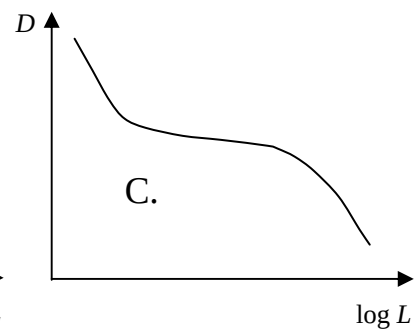
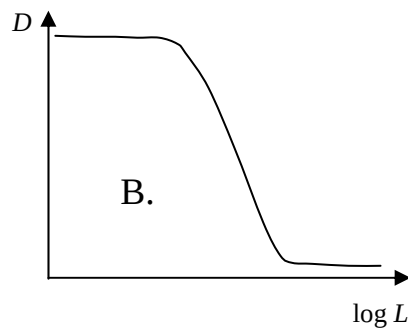
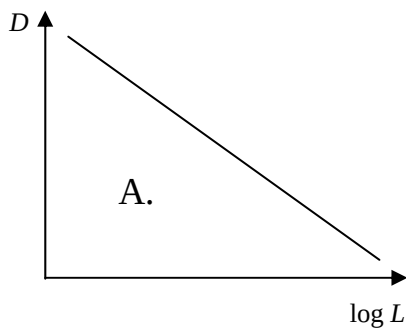
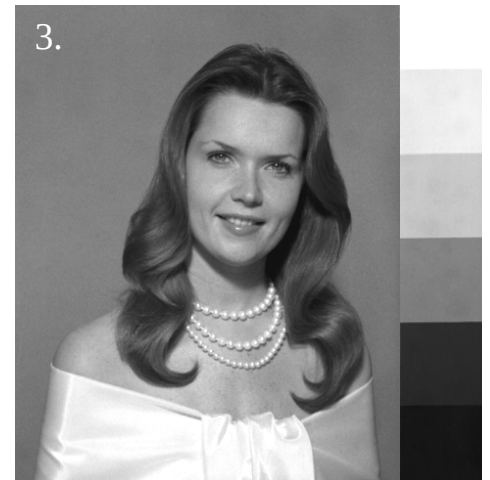
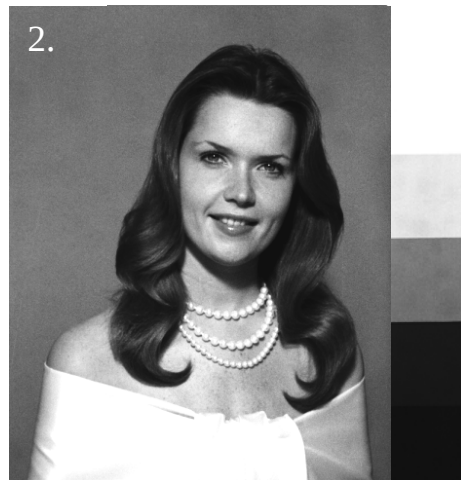
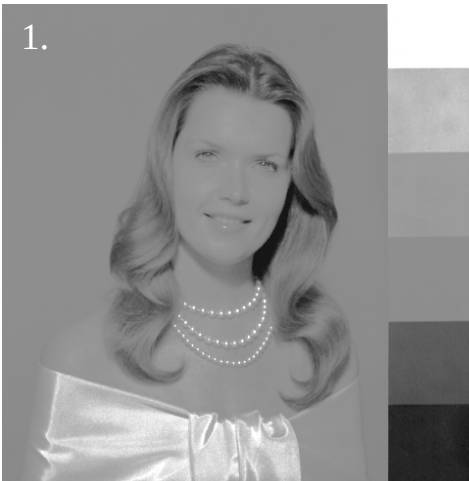
Uppgift 2

Du är ute på promenad och har som vanligt din digitala spegelreflexkamera med dej. Plötsligt hör du ett skrik bortifrån en plats där man håller på att bygga ett höghus. Du tittar dit och får syn på en bygghiss utanpå fasaden på höghuset. Hisskorgen har lossnat och faller fritt tillsammans med en passagerare mot marken. Du tar snabbt fram kameran och tar en bild. När du kommer hem laddar du ned bilden på din dator och visar den på skärmen med ett överlagrat rutnät, se figuren överst på nästa sida.

Kameran är utrustad med ridåslutare. Du vet att slutartiden var $1/1000$ sekund när du tog bilden. Slutarridåerna bildar då en smal vertikal springa som rör sig från bildens högerkant till vänsterkant med konstant hastighet. Du vet att hela exponeringsförloppet, dvs från det att någon del av sensorn börjar exponeras tills den sista delen är färdigexponerad, tar $1/60$ sekund. Uppskatta med hjälp av figuren hastigheten med vilken hissen föll mot marken. (Om du behöver sifferuppgifter som inte är givna i talet, får du göra en rimlig uppskattning)



Uppgift 3



Vilken bild, 1-3, hör till vilken tonreproduktionskurva, A-C? Motivera!
 D = Svärtning i pappersbilden. L = Motivluminans.

Uppgift 4

En fotograf ska ta en serie porträttbilder som ska visas på en utställning. Man kan räkna med att utställningsbesökarna kommer att betrakta bilderna på cirka en meters avstånd. Fotografen vill att man då ska uppleva en lite mindre djupverkan ("plattare" bild) än när man ser den verkliga personen på en halv meters avstånd.

Fotografen har en kamera av märket Hasselblad med en sensorstorlek av 37 mm x 49 mm (50 Mpixlar) och objektiv 80 mm/2.8 och 150 mm/4.0. Han planerar att printa ut sina bilder på en avancerad bläckstråleskrivare som kan ta pappersstorlekar upp till A3, dvs 297 mm x 420 mm. Personerna han ska fotografera har lite olika ansiktsstorlek, men maximalt 18 cm x 25 cm. På bilderna vill man se hela ansiktet plus lite "luft" runtomkring. Klarar han av att ta fram de önskade bilderna med sin utrustning?

Uppgift 5

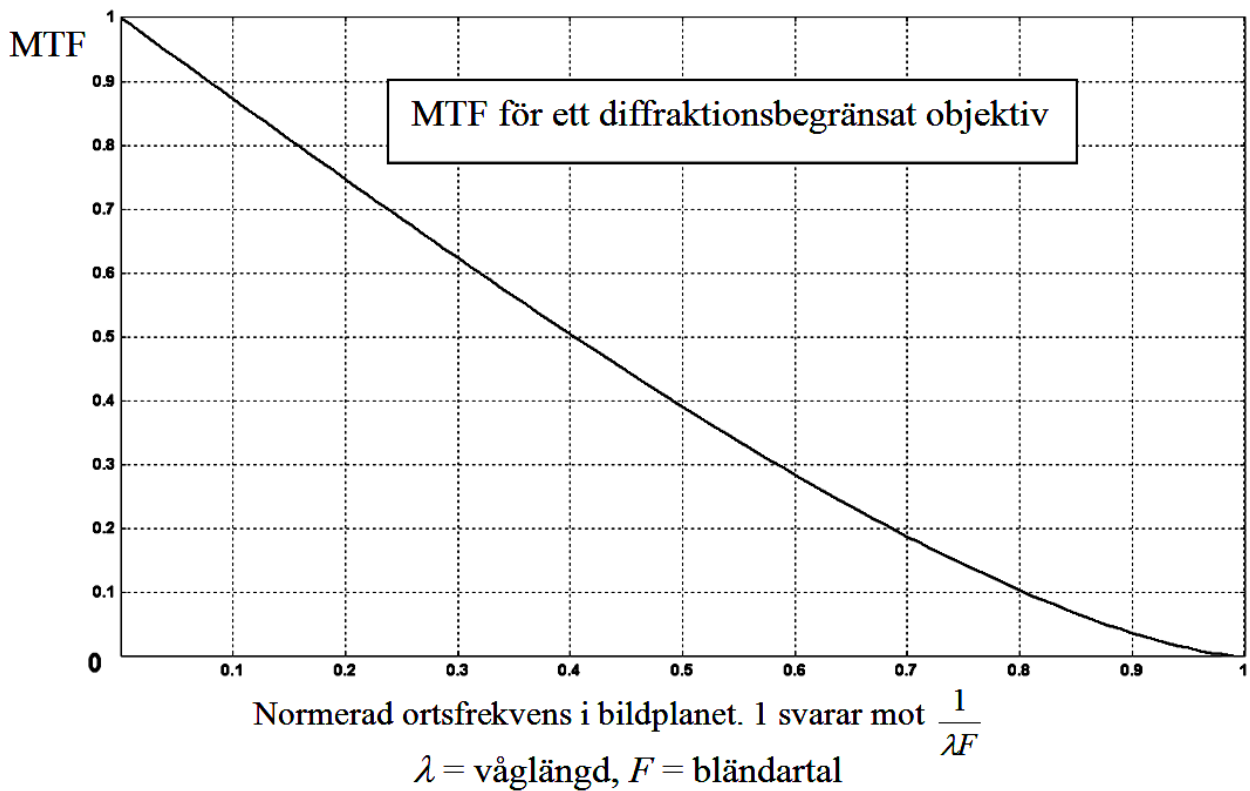
Spionsatelliter uppe i rymden kan betraktas som mycket avancerade digitalkameror. Mycket är naturligtvis hemligt, men man vet att objektiv med diametrar upp till ca. 2.5 meter är rimligt att skjuta upp i omloppsbana (detta motsvarar Hubble-teleskopet). Vidare vet man att omloppsbanorna bör ligga på cirka 300 km höjd.

I denna uppgift ska du utgående från ovanstående data uppskatta hur små detaljer på jordytan dessa satelliter kan avbilda. Kan man urskilja

- a) Ränderna i ett övergångsställe (både svarta och vita ränder antas vara ca. 50 cm breda)?
- b) Ränderna i en amerikansk flagga (både vita och röda ränder antas vara ca 10 cm breda)?
- c) Raderna i en tidningssida?
- d) Kan man till och med läsa texten i tidningen?

Vi antar att optiken är så bra att den är diffraktionsbegränsad, vilket medför att dess MTF ges av kurvan på nästa sida. Vidare antar vi att sensorn är så bra att det helt och hållet är optiken som begränsar bildens detaljrikedom. Våglängden kan sättas till 550 nm.

Ledning: Problemets lösning är oberoende av brännvidden (som ju är okänd). Det är lämpligt att räkna om ortsfrekvensen i kurvan på nästa sida så att den gäller markplanet i stället för bildplanet.



Uppgift 6

Nedan finns två listor, en med olika ljuskällor och en med olika färgtemperaturer.

Ljuskällor:

Solljus (direkt, dvs man står ute i solskenet)
 Blått himmelsljus som belyser ett motiv i skugga från direkt solljus
 Stearinljus
 Glödlampa

Färgtemperaturer:

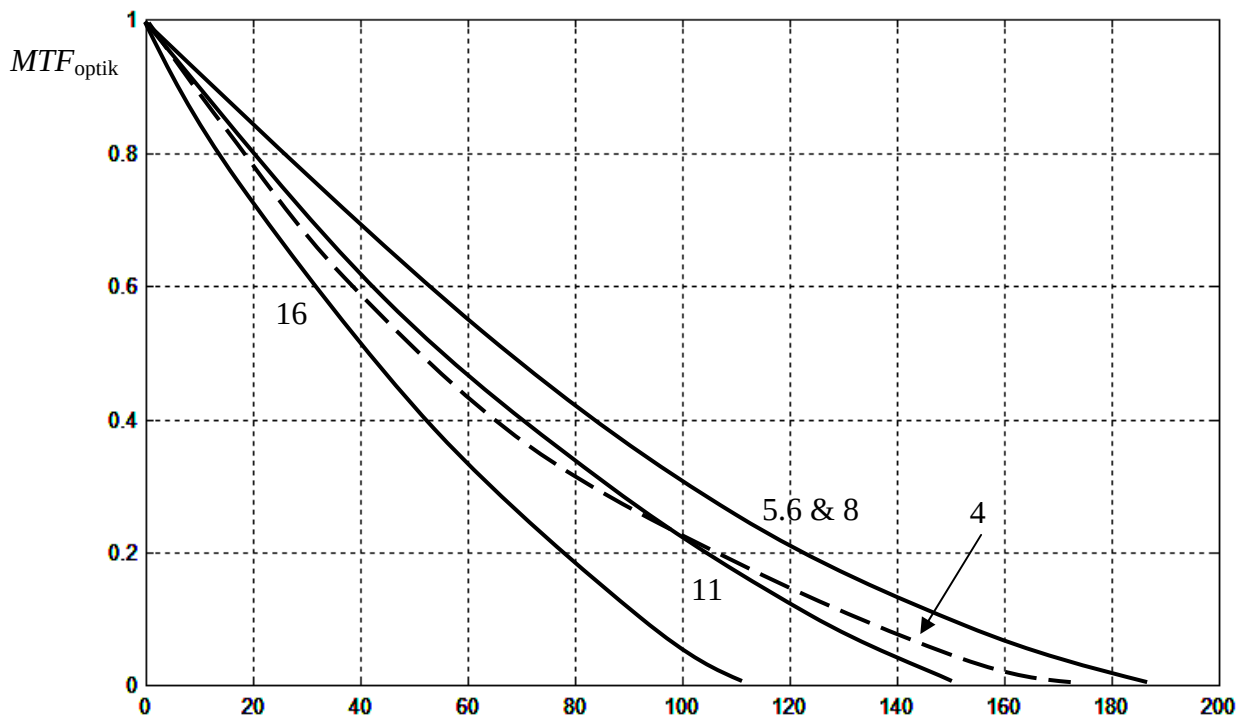
1800 K
 2700 K
 5400 K
 12000K

- Para ihop ljuskällorna med korrekta färgtemperaturer. (3p)
- Hur kommer en färgbild att se ut om den tas i (direkt) solljus, men med kamerans vitbalans inställd på glödlampa? (2p)
- Vilken vitbalansinställning (ungefärligt Kelvintal) bör man ställa in vid fotografering med blix? (2p)
- Spelar ljuskällans temperatur någon som helst roll vid svartvit fotografering? (Det blir ju inga färger överhuvudtaget, så dom kan ju inte bli fel.) (3p)

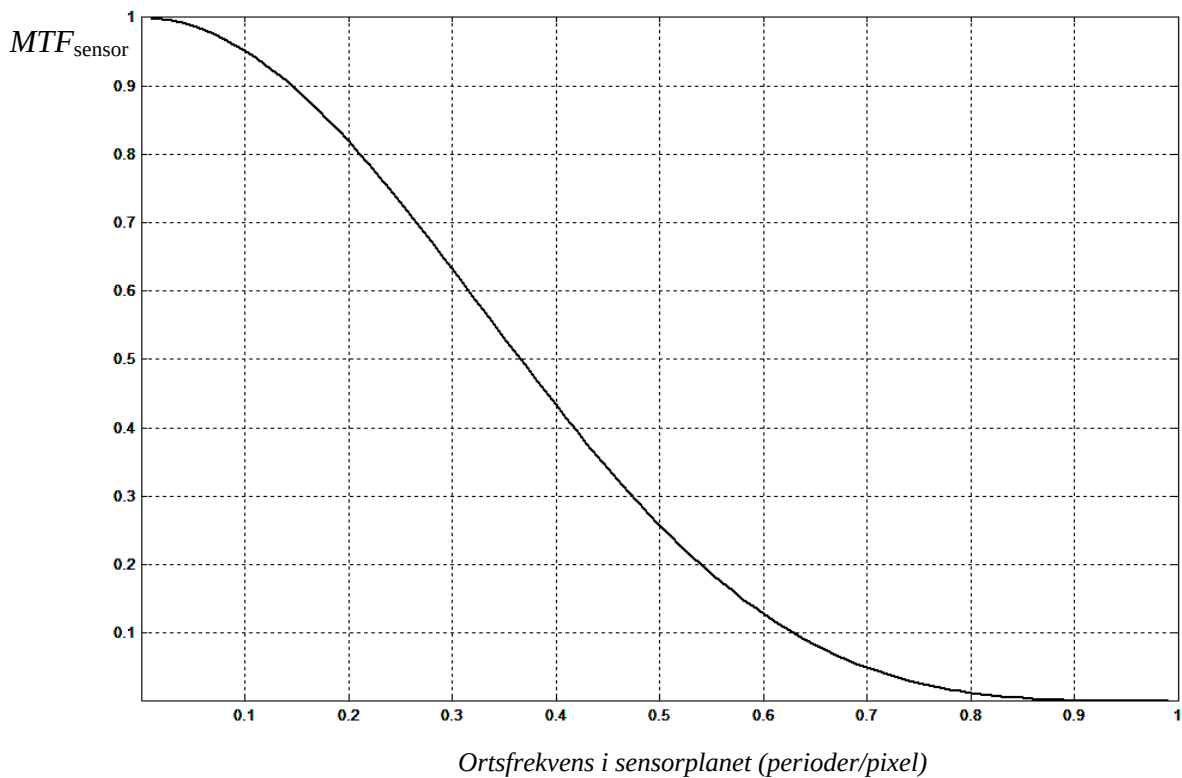
Ingen motivering behövs i uppgifterna a) och c), men a-svaret måste vara helt korrekt för att ge någon poäng. Svaren till uppgifterna b) och d) måste motiveras.

Uppgift 7

Nedanstående kurvor visar MTF för optik och sensor i en digitalkamera utrustad med 25-70mm/4 objektiv och en 16 mm x 24 mm CMOS-sensor på 12 megapixlar. Är det risk att man kan få störande moiré-effekter med denna kamera? ”Störande” definieras som att total MTF > 10% för ett linjemönster som ger moiré.



Ortsfrekvens i sensorplanet (perioder per mm) vid olika bländartal. Kurvorna gäller för samtliga brännvidder.



(1 period/pixel = Bredden av ett svart/vitt linjepar är lika stor som centrum-till-centrum avståndet mellan pixlarna.)

Uppgift 8

I en "blomfabrik" utgörs verksamheten dels av odling av riktiga blommor, dels av tillverkning av konstgjorda blommor. Rationaliseringsexperter har bestämt att alla produkter ska skickas längs ett och samma löpande band, och sedan ska man vid förpackningsstationerna sortera ut varorna så att de förpackas i rätt kartonger. För detta syfte vill man installera infraröda färgkameror som tittar på varorna, och baserat på varans färg i IR-bilden ska den förpackas i rätt kartong.

Vilken färg på IR-bilden ska varan ha för att förpackas som

- a) Konstgjorda röda blommor?
- b) Konstgjorda gula blommor?
- c) Äkta röda blommor?
- d) Äkta gula blommor?

De konstgjorda blommorna reflekterar praktiskt taget ingen IR strålning, medan de äkta blommorna har kraftig IR-reflektion. Bandet belyses av en ljuskälla som ger både vitt ljus och IR-strålning.

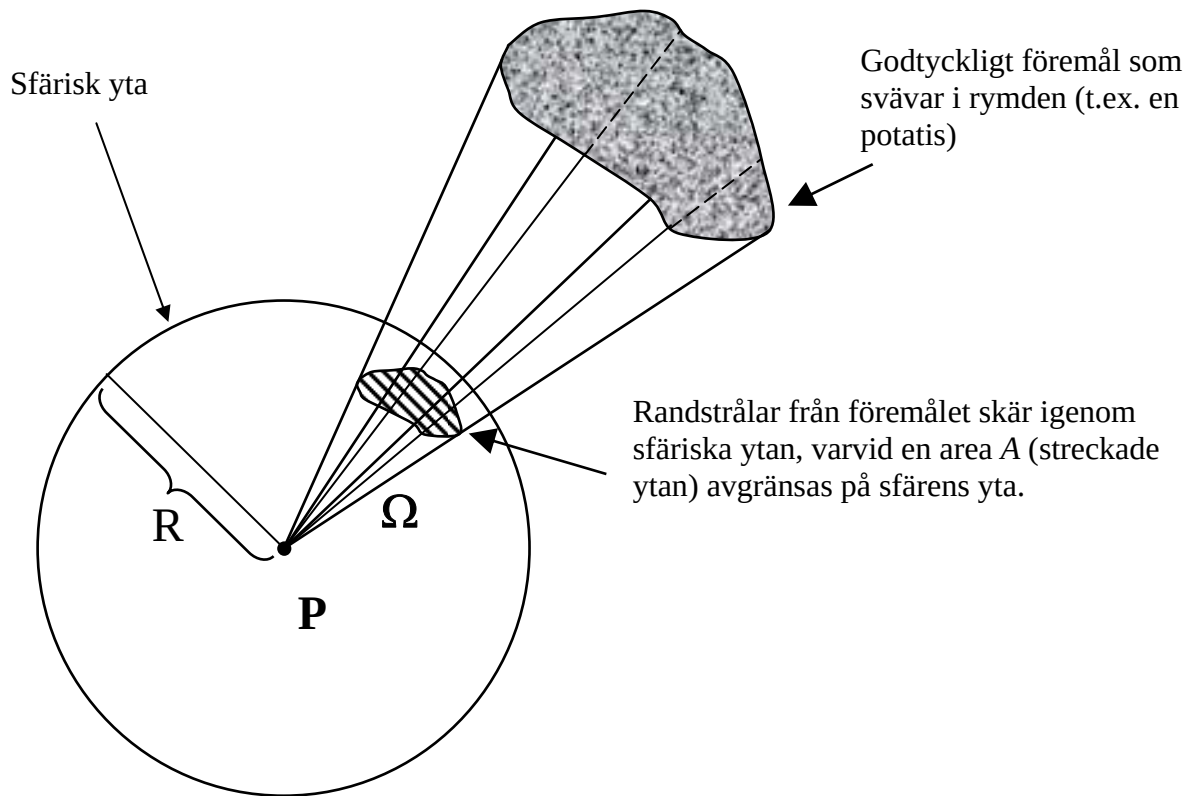
Kom ihåg att svaren måste motiveras!

Lycka till!

Kjell Carlsson

Formelblad: Radiometriska och fotometriska storheter

Begreppet 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).

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, 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, 2011-08-18

(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

Vid fotografering på ∞ avstånd ska bälgens längd vara lika med brännvidden. 90 mm objektiven är alltså inte användbara eftersom minsta bälglängd är 140 mm. Övriga objektiv fungerar för fotografering på ∞ avstånd.

Ett annat önskemål är att avbildningsskalan ska bli så stor som möjligt vid närbildsfotografering. Man kan ur definitionen på avbildningsskala och linsformeln härleda att avbildningsskalan $M = \frac{b}{f} - 1$, där b är bälgens längd. Största möjliga avbildningsskala erhålls alltså vid maximalt bälgutdrag och kortaste möjliga brännvidd. (Man kan också prova sig fram genom att räkna ut max. avbildningsskala för de olika objektiven.) Lämplig brännvidd är alltså 150 mm (90 mm hade vi uteslutit för att den inte fungerar för fotografering på stort avstånd). Vi får då $M_{\max} = \frac{320}{150} - 1 = 1.1$. Bilden blir alltså något större än motivet, vilket innebär att kameran fungerar mycket bra för fotografering av små föremål.

Slutligen vill vi ha en så ljusstark bild som möjligt på mattskivan. Ju lägre bländartal man kan ställa in desto ljusstarkare bild kan man få. Ljusstyrka 5.6 är alltså bäst.

Alla dessa saker sammantagna innebär att 150 mm/5.6 är det objektiv vi ska välja.

Uppgift 2

Hisskorgen täcker halva bildbredden, vilket innebär att högerkanten exponeras $\approx \frac{1}{120}$ sekund tidigare än vänsterkanten. Högerkanten på hisskorgen är 3 rutor högre än vänsterkanten. På $\frac{1}{120}$ sekund har alltså hissen fallit en sträcka motsvarande 3 rutor. Vi kan uppskatta vad en ruta motsvarar storleksmässigt genom att notera att personen är ca. 23 rutor hög. Säg att det motsvarar kanske 1.75 m, vilket medför att en ruta motsvarar ca. 7.5 cm. Alltså föll hissen ungefär med hastigheten $\frac{3 \cdot 0.075}{1/120} = 27$ m/s. Detta är en grov uppskattning, men hastigheten var troligen 25 – 30 m/s. (Ungefär 100 km/h! Detta motsvarar ett fritt fall från ca. 40 meter.)

Uppgift 3

Bild 2 har väldigt låg kontrast i ljusa och mörka partier, medan mellangrå partier har väldigt hög kontrast (se gråskalan). Detta måste motsvara kurva B (lutningen är ett mått på kontrasten). Jämför man bilderna 1 och 3, ser man att 1 har högre kontrast i ljusa och mörka partier medan 3 har högre kontrast i mellangrå partier (jämför gråskalorna). Alltså måste 1 svara mot kurva C, och 3 svarar mot kurva A.

Uppgift 4

Låt oss först undersöka vad som krävs för att få korrekt perspektiv. Då ska synvinkeln under vilken man ser personen på bilden (på en meters avstånd) vara lika med vinkeln när man betraktar personen på 0.5 meters avstånd. Alltså måste bilden på ansiktet vara dubbelt så hög (och bred) som det verkliga ansiktet. Ur måttangivelserna ser man att detta är omöjligt, så stora bilder kan inte printas ut. Alltså måste den (alltför lilla) bilden betraktas på mindre än en meters avstånd för att ge korrekt perspektiv. En meter blir då för stort avstånd, vilket innebär en överdriven djupverkan (jämför bilder tagna med vidvinkelobjektiv). Tvärt emot vad vi vill ha alltså. Nej, det går inte.

Uppgift 5

Låt oss räkna om ortsfrekvensen i figuren så att den motsvarar markplanet istället. Vi ska då multiplicera frekvensen i bildplanet med avbildningsskalan eftersom linjetätheten är mycket lägre i markplanet än i bildplanet. Med avbildningsskala $M = \frac{f}{h}$, där f = brännvidd och h = flyghöjd, får vi

att gränsfrekvensen $\frac{1}{\lambda F}$ i bildplanet svarar mot

$$\frac{1}{\lambda F} \cdot \frac{f}{h} = \frac{D}{\lambda f} \cdot \frac{f}{h} = \frac{D}{\lambda h} = \frac{2.5}{550 \times 10^{-9} \cdot 300 \times 10^3} = 15 \text{ m}^{-1}. \text{ Detta motsvarar en periodlängd av } 6.6 \text{ cm, dvs både mörka och ljusa linjer är } 3.3 \text{ cm breda.}$$

Övergångsställets linjetäthet, 1 m^{-1} , motsvarar ca. 7% av gränsfrekvensen, vilket innebär att $MTF \approx 0.90$. Inga problem alltså, det syns med god kontrast. Amerikanska flaggans linjetäthet, 5 m^{-1} , svarar mot ca. 33% av gränsfrekvensen, vilket ger $MTF \approx 0.60$. Det innebär också hög kontrast och ränderna bör synas bra.

Centrum-till-centrum avståndet mellan raderna i en tidning är ca. 4 mm (här tillåts en viss variation i antagandet utan poängavdrag). Detta ger en linjetäthet av $\frac{1}{4 \times 10^{-3}} = 250 \text{ m}^{-1}$ vilket är långt över gränsfrekvensen. MTF är alltså noll, vilket innebär att radstrukturen på en tidningssida inte är synlig utan den kommer att se jämngrå ut. Om man inte ens kan urskilja raderna, kan man naturligtvis inte läsa enskilda bokstäver som har linjestrukturer med $< 1 \text{ mm}$ bredd. Texten går absolut inte att läsa.

Uppgift 6

- a) Solljus (direkt): 5400 K
Blått himmelsljus: 12000 K
Stearinljus: 1800 K
Glödlampa: 2700 K

(Man ska inte tro att dessa temperaturangivelser är exakta. Solljusets färgtemperatur varierar t.ex. med tid på dagen, årstid och latitud. Men med de givna alternativen så är ovanstående kombinationer korrekta.)

- b) Om kameran är inställd på glödlampa, så förväntar den sig att ljuskällan ger mest rött ljus, mindre grönt och minst blått. Den försöker då kompensera för detta genom att öka förstärkningen i blåkanalen och minska förstärkningen i rödkanalen. Om bilden tas i solljus, så kommer belysningen att innehålla ungefär lika mycket av rött, grönt och blått ljus. Med de kanalförstärkningar man har vid glödlampsinställning, blir blåkanalens signal för stark och rödkanalens för svag. Bilden får alltså en blåaktig färgton.

- c) En fotoblixt har ungefär samma färgsammansättning som direkt solljus. Färgtemperaturen brukar ligga i intervallet 5500 – 6000 K.
- d) Ja, det gör den. Om man fotograferar färgade föremål kommer gråtonerna i slutbilden att bero på ljuskällans färgtemperatur. En blåaktig ljuskälla (hög färgtemperatur) medför att blå föremål ser ljusa ut, och röda föremål ser mörka ut. En rödaktig ljuskälla (låg färgtemperatur) ger omvända resultatet, dvs röda föremål ser ljusa ut och blå föremål blir mörka. (Men ljuskällans färgtemperatur är inte lika viktig vid svartvit fotografering, den kan variera ganska mycket utan att resultatet blir störande.)

Uppgift 7

Låt oss först räkna ut centrum-till-centrum avståndet mellan pixlarna. Om vi kallar antalet pixlar längs kortsidan (16 mm) för n får vi $n \cdot 1.5n = 12 \times 10^6 \Rightarrow n = 2828$ pixlar på 16 mm, vilket ger ett

centrum-till-centrum avstånd $= \frac{16 \times 10^{-3}}{2828} = 5.66 \times 10^{-6} \text{ m} = 5.66 \text{ } \mu\text{m}$. Detta ger en samplingfrekvens

av $\frac{1}{5.66 \times 10^{-6}} = 1.77 \times 10^5 \text{ m}^{-1} = 177 \text{ mm}^{-1}$. Högsta frekvensen vi kan registrera utan moiré är halva denna frekvens, dvs 88 mm^{-1} (=Nyquistfrekvensen). Vi ser ur kurvorna för MTF_{optik} att för 88 mm^{-1} ligger alla kurvor under nivån 0.4.

För sensors del motsvarar Nyquistfrekvensen 0.5 perioder/pixel, och där har vi MTF -värdet 0.25. För frekvenser över Nyquist-gränsen gäller alltså att totalt MTF -värde $< 0.4 \cdot 0.25 = 0.1$.

Alltså blir det inga "störande" moiré-effekter med denna kamera. (Men vi kan förvänta oss att se svaga moiré-effekter, särskilt vid bländartal 5.6 och 8.)

Uppgift 8

I IR-färgbilder återges färgskalan förskjuten "ett snäpp" mot kortare våglängder. IR återges rött, rött återges grönt och grönt återges blått (blått återges inte alls). Låt oss se vilka färger de olika produkterna kommer att ha i IR-bilderna.

Konstgjorda röda blommor: I verkligheten reflekterar dom bara rött ljus, vilket återges grönt.

Konstgjorda gula blommor: I verkligheten reflekterar dom rött + grönt, vilket återges som grönt + blått = cyan.

Äkta röda blommor: I verkligheten reflekterar dom IR + rött, vilket återges som rött + grönt = gult.

Äkta gula blommor: I verkligheten reflekterar dom IR + rött + grönt, vilket återges som rött + grönt + blått = vitt.

Svaren på frågorna a) – d) blir alltså:

- a) Grönt
- b) Cyan (blågrönt)
- c) Gult
- d) Vitt