



KTH Tillämpad Fysik

Tentamen i
Teknisk Fotografi, SK2380,
2014-08-19, 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. Ibland behöver du också göra uppskattningar. (Välkommen till livet som ingenjör!)
- You may answer in English if you like.

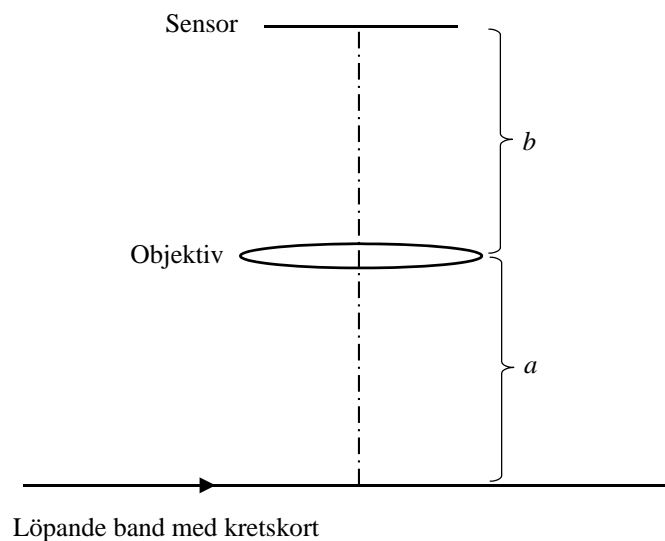
Uppgift 1

Du håller på att fotografera en solig sommardag. Det visar sig att en lämplig exponering erhålls vid bländartal $F = 11$ och en exponeringstid $t = 1/250$ sekund. Du använder ett objektiv med brännvidd $f = 55$ mm, och bländartalet, F , kan varieras mellan 1.8 och 22. Du håller kameran på fri hand (inget stativ), och vet sedan tidigare att du då inte ska använda längre exponeringstid än $1/125$ sekund. Kortaste exponeringstid som kan ställas in på kameran är $1/2000$ sekund.

- Ge en lämplig kombination av bländartal och exponeringstid om du vill ta en bild med så stort skärpedjup som möjligt (dvs objekt i både förgrunden och bakgrunden ska se hyggligt skarpa ut i bilden).
- Ge en lämplig kombination av bländartal och exponeringstid om du vill ta en bild med så litet skärpedjup som möjligt (t.ex. ett porträtt där bakgrunden är oskarp).
- Sent på kvällen är ljusnivån så låg att inget bländartal i kombination med $t = 1/125$ sekund ger tillräcklig exponering. Därför höjer du ISO- (känslighets-) inställningen på kameran. Förklara kortfattat hur det höjda ISO-värdet kommer att påverka bilderna.

Uppgift 2

Ett företag ska bygga ett stort antal digitalkameror för automatisk avsyning av kretskort som åker förbi på ett löpande band. Uppställningen ska se ut som i figuren nedan.



Kamerorna ska vara av så kallad "fixfokus-typ", dvs avståndet b mellan objektivet (som vi kan betrakta som en tunn lins) och sensorn kan inte ändras. När kamerorna installeras vid löpande bandet så justeras deras höjd, a , så att man på sensorn får en skarp bild av kretskorten (dessa är platta, så det behövs praktiskt taget inget skärpedjup).

Man vill att avbildningsskalan, M , ska vara 1.0 (dvs bilden på sensorn ska vara lika stor som motivet) med en tolerans på $\pm 5\%$. Objektiven som ska användas har brännvidden 75 mm, så avståndet b fixeras till 150 mm vid tillverkningen av kamerorna. Detta kan göras med mycket stor noggrannhet, så vi kan anta att avståndet b blir exakt 150 mm. Däremot kan brännvidden variera en

del mellan olika exemplar av objektiven (som köps in utifrån). Objektivtillverkaren kan erbjuda olika noggrannhetsklasser, A, B och C, vad gäller brännvidden. Följande specifikationer gäller:

Klass A: $f = 75 \text{ mm} \pm 2\%$. Pris SEK 9450.

Klass B: $f = 75 \text{ mm} \pm 5\%$. Pris SEK 6320.

Klass C: $f = 75 \text{ mm} \pm 8\%$. Pris SEK 5200.

Man vill naturligtvis inte betala mer för objektiven än vad som är nödvändigt för att uppfylla kravet att $M = 1.0 \pm 5\%$. Ska man köpa in objektiv av klass A, B eller C?

Uppgift 3

Brännviddsangivelser på digitalkamerors zoomobjektiv kan vara lite svåra att tolka. Hur kraftig vidvinkel- och teleeffekt som kan uppnås beror ju både på kortaste respektive längsta brännvidd samt på sensorstorleken (och den sistnämnda brukar inte anges).

Antag att vi har två digitalkameror. Den ena har brännviddsomfånget 4.2 – 52 mm och en sensorstorlek av 4.55 mm x 6.17 mm. Den andra har brännviddsomfånget 18 -140 mm och en sensorstorlek av 15.8 mm x 23.6 mm.

- Wilken av kamerorna kan ge kraftigast vidvinkeleffekt (dvs. att man får med mest av motivet i bilden)
- Wilken av kamerorna kan ge kraftigast teleeffekt (dvs. att man får med minst av motivet i bilden)?

Uppgift 4

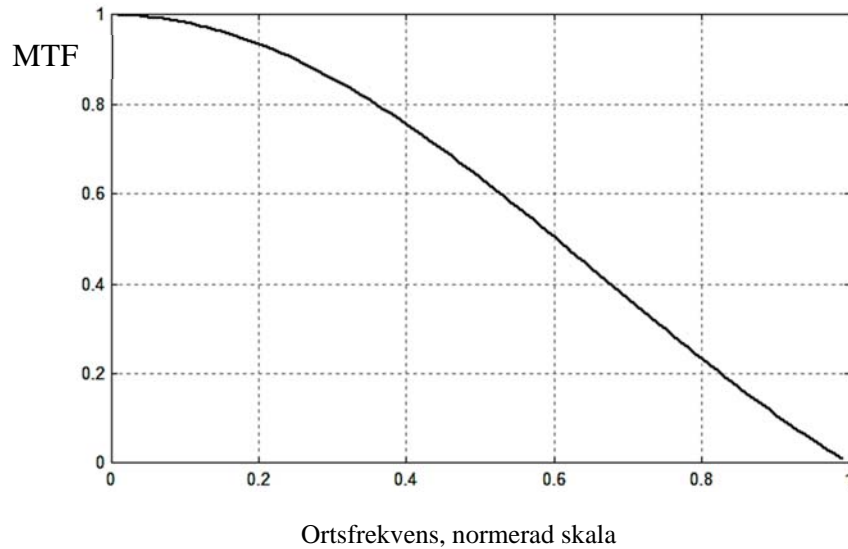
Ett sommarhus i strandnära läge ska bjudas ut till försäljning. Mäklaren som har hand om försäljningen vill ta en bild av huset från sjösidan, men hon har ingen båt tillgänglig. Eftersom huset står bara 15 meter från stranden, så är detta största möjliga fotograferingsavstånd (men man kan stå närmare). Husfasaden som vetter mot sjösidan har bredden 12 meter och höjden 8 meter. I tidningsannonsen vill man att bilden av fasaden ska vara 15 cm x 10 cm. För att ge intryck av att huset är större än vad det är i verkligheten, så vill mäklaren att perspektivet (djupverkan) ska bli överdrivet när man tittar på tidningsbilden från 25 cm avstånd.

Är det möjligt för mäklaren att ta den önskade bilden med en kompaktkamera med sensorstorlek 4.55 mm x 6.17 mm och en objektivbrännvidd av 5.0 mm?

Delförstoring av bilden kan göras, men hela husfasaden ska synas på bilden.

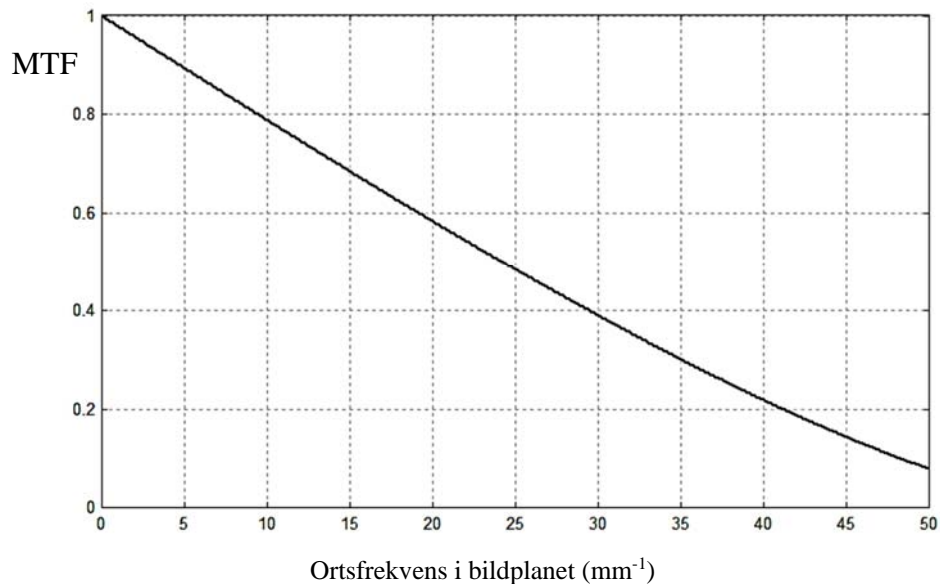
Uppgift 5

En kamera enligt uppgift 2 ska användas vid ett löpande band som rör sig med hastigheten 10 cm per sekund. Rörelseoskärpan som uppstår kan beskrivas med en MTF enligt figuren nedan.



I den normerade skalan svarar ortsfrekvensen 1 mot $\frac{1}{s}$, där s = sträckan som löpande bandet förflyttar sig under exponeringstiden. (Exponeringstiden 1/1000 sekund skulle alltså medföra att 1 på ortsfrekvensaxeln svarar mot 10 mm^{-1} .)

Kamerans MTF, inkluderande optik och sensor, ges av figuren nedan.



Vilken är den längsta exponeringstid som kan tillåtas om vi vill att total MTF, inkluderande både kamera och rörelseoskärpa måste ha ett värde av minst 0.40 vid ortsfrekvensen 20 mm^{-1} i bildplanet?

(Det blir en kort tid, och troligen måste en ganska snabb blyxt användas för att belysa kretskorten.)

Uppgift 6

En miljövänlig fotograf arbetar i en källarstudio utan fönster. För att belysa sitt motiv vid porträttfotografering tänker han montera solceller på husets tak, och använda strömmen från dessa till att driva en energieffektiv LED-lampa. Man kan räkna med att solens instrålade effekt mot taket (dagtid) ligger mellan 100 och 1000 W/m² beroende på årstid, molnighet och tid på dagen. Verkningsgraden på solcellerna är ca. 10%, och de matar en LED-lampa med ljusutbytet 85 lumen/W. Lampan kan antas sprida sitt ljusflöde likformigt över halvsfär (rymdvinkel 2π steradianer), och är placerad ca. 1.5 meter från motivet. Den önskade belysningen på motivet är 500 lux.

Ungefär hur stor area av taket behöver täckas med solceller för att fylla fotografens behov? (Vi antar att fotografen bara kommer att arbeta dagtid.)

Uppgift 7

En CCD-sensor har en pixelstorlek av 4.5 μm . Den är svartvit, dvs saknar färgmosaik-filter. För att undvika moiré-effekter (aliasing) vill man utrusta den med ett antialiasing-filter.

- Rita en lämplig MTF-kurva för ett filter som helt undertrycker moiré-effekter. (Skalan på ortsfrekvensaxeln måste anges tydligt.)
- I praktiken tar ett antialiasing-filter inte bara bort moiré-effekter, utan det försämrar även bildkvalitén. På vilket sett försämras bildkvalitén, och vilken egenskap hos filtret är det som ger denna försämring?

Uppgift 8

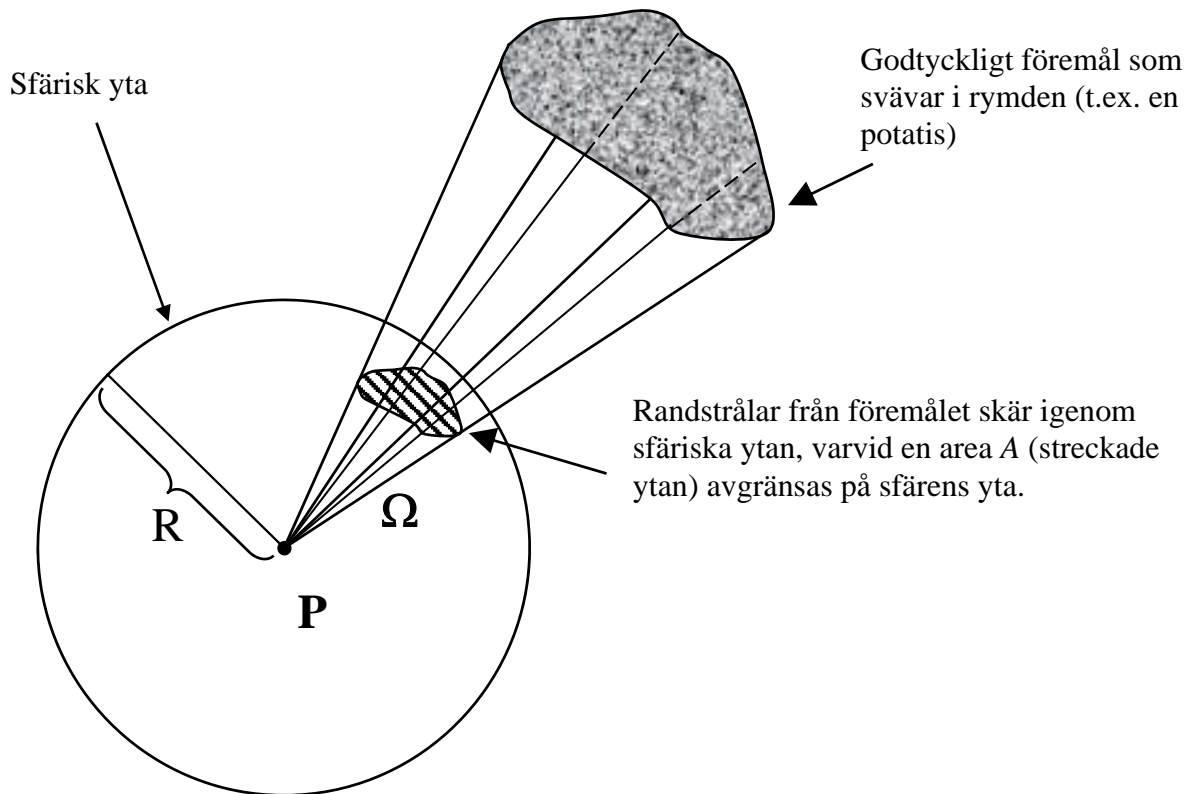
En kamera utrustad med sensorn i Uppgift 7 ska användas för att framställa samma typ av bilder som man får från en IR-färgkamera. Detta ska åstadkommas genom att göra tre exponeringar med olika färgfilter monterade på objektivet (motivet är stillastående och kameran är monterad på stativ). De tre resulterande svartvita bilderna ska sedan kombineras till en färgbild med t.ex. Photoshop.

Rita upp lite schematiskt lämpliga transmissionskurvor för de filter som ska användas för att ta de tre delbilderna, samt förklara vilka bilder som ska läggas i röd-, grön- respektive blå-kanalerna i Photoshop för att åstadkomma IR-färgbilden.

Graderingen på axlarna behöver inte vara så exakt, men ungefärliga våglängder eller färgintervall ska vara angivna.

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

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

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**, 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, 2014-08-19

(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

- För att få stort skärpedjup ska man använda minsta möjliga bländaröppning, dvs högsta möjliga bländartal. Men vi kan inte förlänga exponeringstiden med mer än en faktor 2, dvs till 1/125 sekund. Därför kan vi öka bländartalet bara ett steg (faktor $\sqrt{2}$) till 16, vilket kommer att halvera belysningen på sensorn. Detta kommer att ge samma exponering som $F = 11$ och $t = 1/250$ s.
- Här ska vi ha så lågt bländartal som möjligt. Men kortaste tiden är 1/2000 s, alltså 8 gånger kortare än 1/250 s. Belysningen ska då vara 8 gånger högre än vid $F = 11$ (3 bländarsteg), vilket vi erhåller vid $F = 4$.
- När man höjer ISO-talet ökar man förstärkningen efter sensorn, vilket kommer att resultera i mera brus i bilderna. Detta brukar vara mest störande i mörka delar av motivet.

Uppgift 2

$M = \frac{b}{a}$, där $b = 150$ mm (exakt), och a ställs in för bästa fokus enligt linsformeln $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$.

Detta ger $M = \frac{150}{f} - 1$, som beskriver hur variationer i f påverkar M .

$$M_{max} = 1.05 = \frac{150}{f_{min}} - 1 \rightarrow f_{min} = 73.2 \text{ mm} (= 2.44\% \text{ mindre än } 75 \text{ mm})$$

$$M_{min} = 0.95 = \frac{150}{f_{max}} - 1 \rightarrow f_{max} = 76.9 \text{ mm} (= 2.56\% \text{ större än } 75 \text{ mm})$$

Dvs 2% noggrannhet behövs (klass A).

(Kan också lösas genom att derivera uttrycket för M med avseende på f , vilket resulterar i $\left| \frac{dM}{M} \right| = 2 \left| \frac{df}{f} \right|$ vid förstoringen $M = 1$. Procentuella felet i M blir alltså dubbelt så stort som felet i f , vilket ger en brännviddstolerans på $\pm 2.5\%$ vilket ju stämmer bra med lösningen ovan.)

Uppgift 3

Sensorns diagonalmått, d , är för de respektive kamerorna är 7.67 mm respektive 28.4 mm.

- Kraftigast vidvinkeleffekt erhålls om $\frac{f}{d}$ är så litet som möjligt. Lilla kameran har $\frac{f_{min}}{d} = 0.55$, och stora kameran har $\frac{f_{min}}{d} = 0.63$. Lilla kameran ger alltså kraftigast vidvinkeleffekt.
- Kraftigast teleeffekt erhålls om $\frac{f}{d}$ är så stort som möjligt. Lilla kameran har $\frac{f_{max}}{d} = 6.8$ och stora kameran har 4.9. Lilla kameran ger alltså även kraftigast teleeffekt.

Uppgift 4

Överdrivet perspektiv (djupverkan) får man när bilden betraktas på för stort avstånd, dvs när synvinkeln blir mindre än när man stod på fotograferingsplatsen och tittade direkt på motivet. Beträktningsituationen är given och förhållandet bildbredd/avstånd = 0.60. Vid fotografering på maxavstånd (15 m) blir förhållandet husbredd/avstånd = 0.80 (vid mindre avstånd ännu större). Synvinkeln blir alltså alltid mindre vid betraktandet av bilden, vilket medför att perspektivet alltid blir överdrivet (stor djupverkan).

Återstår att kolla att hela huset kommer med på bilden. Vid avstånd 15 m har vi en avbildningsskala $M = \frac{f}{a} = \frac{5 \times 10^{-3}}{15} = 3.3 \times 10^{-4}$. Husets bild på sensorn får då storleken 4.0 mm x 2.7 mm. Detta rymms ju lätt på sensorn.

Så svaret är ja, det går.

(Hon kan gå ännu närmare än 15 meter och få ännu mer överdrivet perspektiv.)

Uppgift 5

Vi kan först konstatera att eftersom avbildningsskalan är ett, så kommer alla ortsfrekvenser att vara desamma både i motivrymden och i bildrymden.

$MTF_{total} = MTF_{kamera} \times MTF_{rörelse}$. Detta tillämpat på vårt speciella fall ger $MTF_{total}(20 \text{ mm}^{-1}) = MTF_{kamera}(20 \text{ mm}^{-1}) \times MTF_{rörelse}(20 \text{ mm}^{-1}) > 0.40$.

$MTF_{kamera}(20 \text{ mm}^{-1}) \approx 0.58 \rightarrow MTF_{rörelse}(20 \text{ mm}^{-1}) > \frac{0.40}{0.58} = 0.69$.

Detta värde erhålls vid frekvensen ≈ 0.45 på normerade skalan, dvs $\frac{0.45}{s} = 20 \times 10^3 \text{ m}^{-1} \rightarrow s = 2.25 \times$

$10^{-5} \text{ m} = v \times t_{max}$. Detta ger $t_{max} = \frac{2.25 \times 10^{-5}}{0.10} = 2.25 \times 10^{-4} \text{ s} \approx \frac{1}{4500}$ sekund.

Ganska kort, men möjligt med en (inte alltför extrem) blyxt.

Uppgift 6

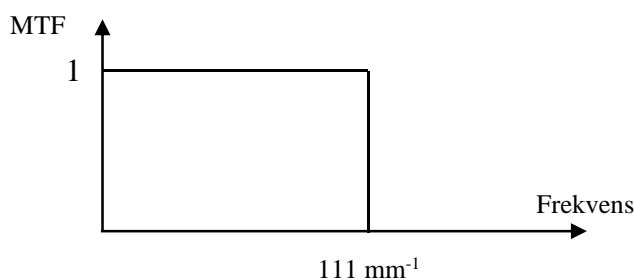
Räkna först ut erforderligt ljusflöde för att kunna uppskatta effektbehovet. Ljuset sprids jämnt över en halvsfär med radien 1.5 m. $E = \frac{\phi}{2\pi r^2} \rightarrow \phi = 2\pi r^2 E = 2\pi(1.5)^2 \times 500 = 7069$ lumen.

Med 85 lumen/W blir effektbehovet $\frac{7069}{85} = 83$ W. Solcellerna har verkningsgraden 10%, vilket medför att instrålad effekt måste vara 830 W. Med det lägre värdet på instrålningen, 100 W/m², skulle det då behövas lite drygt 8 m² solceller för att fylla fotografens behov.

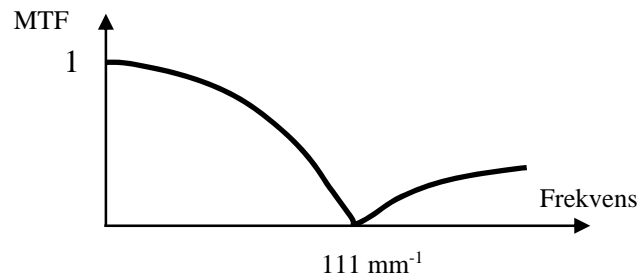
(Genom att använda ett ackumulator-batteri som laddas av solcellerna, skulle antagligen en mycket mindre area av solceller räcka.)

Uppgift 7

- a) Samplingfrekvensen $= \frac{1}{4.5 \times 10^{-6}} = 2.22 \times 10^5 \text{ m}^{-1} = 222 \text{ mm}^{-1}$. Detta medför att den högsta ortsfrekvens som kan korrekt registreras är hälften så hög = 111 mm⁻¹. Detta kallas Nyquistfrekvensen. Ett idealt filter skulle alltså släppa fram alla ortsfrekvenser under Nyquistgränsen utan kontrastförlust (MTF-värde = 1), och blockera alla högre frekvenser (MTF-värde = 0).



- b) I verkligheten ser inte filterkurvor ut som i a) (det är t.o.m. teoretiskt omöjligt), utan ett mer realistiskt utseende är enligt figuren nedan.



Detta medför att frekvenser över Nyquistgränsen kommer med, även om dom försvagas, vilket gör att svaga moiré-effekter kan vara synliga även med anti-aliasing filter. Dessutom så dämpas frekvenser under Nyquistgränsen vilket gör att bilderna ser suddigare ut.

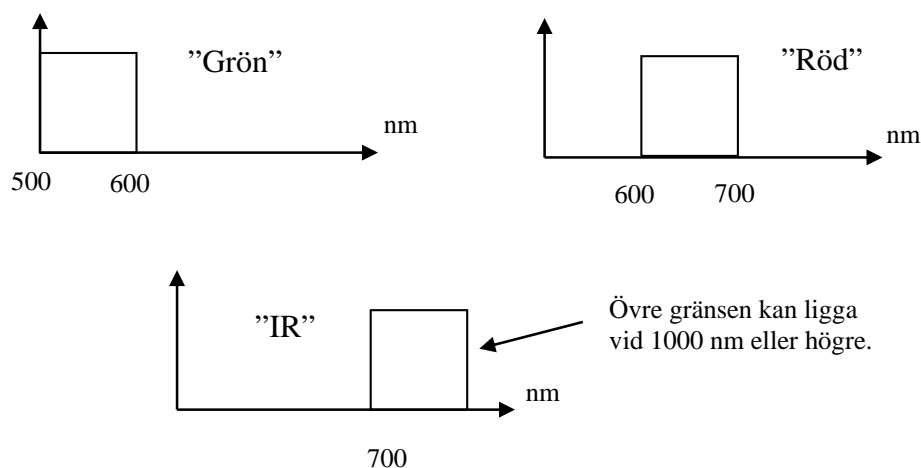
(Det kan nämnas som överkurs att även ett filter enligt a) skulle kunna ge vissa "osnygga" effekter i bilderna, särskilt vid skarpa kanter. Detta benämns Gibbs fenomen. Därför kan det vara fördelaktigt att inte ha så brant lutning på MTF-kurvan när man passerar Nyquistgränsen.)

Uppgift 8

I en IR-färgbild gäller följande:

- Motivets blå färgkomponent finns inte med.
- Motivets gröna färgkomponent återges blå i bilden.
- Motivets röda färgkomponent återges grön i bilden.
- Motivets IR-strålning återges röd i bilden.

Vi behöver alltså fotografera motivet med gröntfilter, rödfilter och IR (transmissions)filter. Ungefärliga transmissionskurvor ges i figurerna medan.



Vid sammanläggning i Photoshop läggs bilden tagen med gröntfilter i B-kanalen, bilden tagen med rödfilter i G-kanalen och bilden tagen med IR-filter i R-kanalen.