



KTH Tillämpad Fysik

Tentamen i
Teknisk Fotografi, SK2380,
2011-05-24, 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

En objektivtillverkare vill rationalisera sin tillverkning, och använder därför samma fokuseringsmekanik för alla sina objektiv. Mekaniken tillåter att objektivet flyttas en sträcka av maximalt 12 mm utåt från kamerahuset när man ändrar avståndsställningen från oändligheten till objektivets närgräns.

Hur kommer objektivets närgräns att bero på brännvidden? Exemplifiera genom att räkna ut närgränserna för brännvidderna 28 mm, 55 mm och 135 mm.

(Du får betrakta objektiven som tunna linser, och vi räknar närgränsen som minsta avstånd mellan motiv och lins som kan ge en skarp bild.)

Uppgift 2

Bländartalet på en digitalkamera kan varieras mellan 2.8 och 16. Exponeringstiden kan varieras från 30s till 1/2000s.

- Med hur stor faktor kan belysningen i sensorplanet förändras genom att variera bländarinställningen? (2p)
- Hur mycket kan man variera exponeringen H (sort luxsekunder) genom att variera både bländarinställning och exponeringstid (ange förhållandet $\frac{H_{\max}}{H_{\min}}$)? (2p)
- Det finns en stor mängd kombinationer av bländarinställning och exponeringstid som ger samma exponering. Ange tre olika kombinationer av bländarinställning och exponeringstid som ger samma exponering. (2p)
- Du fotograferar ett litet propellerflygplan som står på marken med motorn gående på tomgång. Fotograferingen sker rakt framifrån och från kort avstånd. Skärpeinställningen lägger du på propellern. Du gör ett stort antal exponeringar med olika kombinationer av bländarinställning och exponeringstid, men som alla ger samma exponering. Hur kommer bilderna att skilja sig från varandra? (4p)

Uppgift 3

Du vill fotografera stjärnhimlen med en digitalkamera (24 Mpixlar, sensorstorlek 24 mm x 36 mm, brännviddsomfång 28-85 mm). Du sätter kameran på ett stativ och riktar optiska axeln rakt mot norra himmelspolen. Uppskatta hur lång exponeringstid du kan använda utan att få märkbar rörelseoskärpa på grund av stjärnornas rörelse över himlavalvet. Slutbilden ska bli en 10 x 15 cm papperskopia som betraktas på "normalt" avstånd (ca. 25 cm).

Uppgift 4

Du står på en höjd och tittar ut över Silicon Valley i Kalifornien. En mängd byggnader syns, och en amerikansk flagga vajar på en flaggstång i bakgrunden. Detta måste fotograferas! Du önskar få ett överdrivet perspektiv när du tittar på den slutliga bilden, alltså större djupverkan än när man står på fotograferingsplatsen. Samtidigt vill du att ränderna i amerikanska flaggan ska synas när man betraktar bilden med det överdrivna perspektivet. Från fotograferingsplatsen kan man nätt och jämnt urskilja ränderna med ögat. Kameran är

densamma som i problem 3, och antas vara så bra att den inte begränsar skärpan alls. Ögats gräns för upplösningen motsvarar ungefär att ett linjepar upptar en synvinkel av 2 bågminuter (1 bågminut = $1/60$ grad). Utred om den önskade bilden är möjlig att ta, och vilka inställningar etc. som i så fall är att rekommendera.

Uppgift 5

Belysningen utomhus varierar mycket kraftigt. I fullt dagsljus kan man komma upp i cirka 1.0×10^5 lux, medan man en mulen natt (utan måne och långt från bebyggelse) kan hamna på cirka 1.0×10^{-4} lux. Uppskatta om en mulen natt utomhus är ett tillräckligt bra "mörkrum". Skulle man kunna ladda en framkallningsdosa med en ISO 400 film ute i det fria utan att det svaga ströljuset från himlen påverkar filmen märkbart?

Uppgift 6

Du vill komma ner till mycket korta exponeringstider, men du har ingen tillräckligt stark lampa att belysa motivet med inne i din studio. Därför testar du n st olika lampor som du lyckas låna upp vid olika tillfällen. Lämplig exponeringstid när man använder en av dessa lampor i taget blev t_1, t_2, \dots, t_n . Vilken exponeringstid skulle du kunna komma ner i om du lyckas låna alla dessa lampor vid samma tillfälle, och riggar upp dom så att dom samtidigt belyser motivet? Fotograferingsuppställningen ser likadan ut vid samtliga fotograferingstillfällen, och kameran används hela tiden med maximal bländaröppning.

Uppgift 7

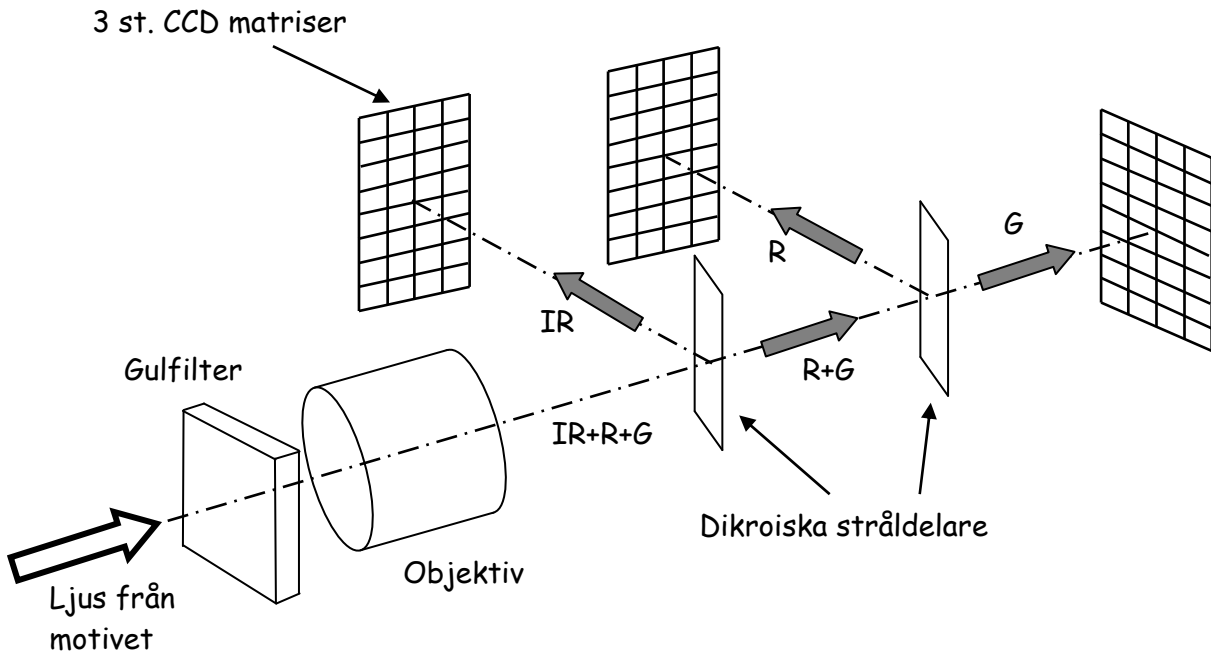
Du har fått i uppdrag att ta en landskapsbild som täcker en motivbredd av 500 meter. Eftersom motivet innehåller rörliga föremål kan man inte skarva ihop flera delbilder, allt måste täckas av en exponering. Ett krav är att när man förstorar upp bilden så ska man kunna se motivdetaljer som är ca. 5 centimeter stora (dvs. man ska se ett linjemönster med den periodlängden i motivet).

Denna uppgift klarar man inte med en digitalkamera, och därför funderar du på att använda en gammal ateljékamera och bladfilm. Objektivet har en brännvidd av 180 mm, och du har tidigare mätt upp att det har en upplösningförmåga av 130 linjepar/mm (i bildplanet). Filmen som du planerar att använda har en upplösningförmåga av 110 linjepar/mm. (Ett linjepar är lika med en period, dvs en svart och en vit linje.)

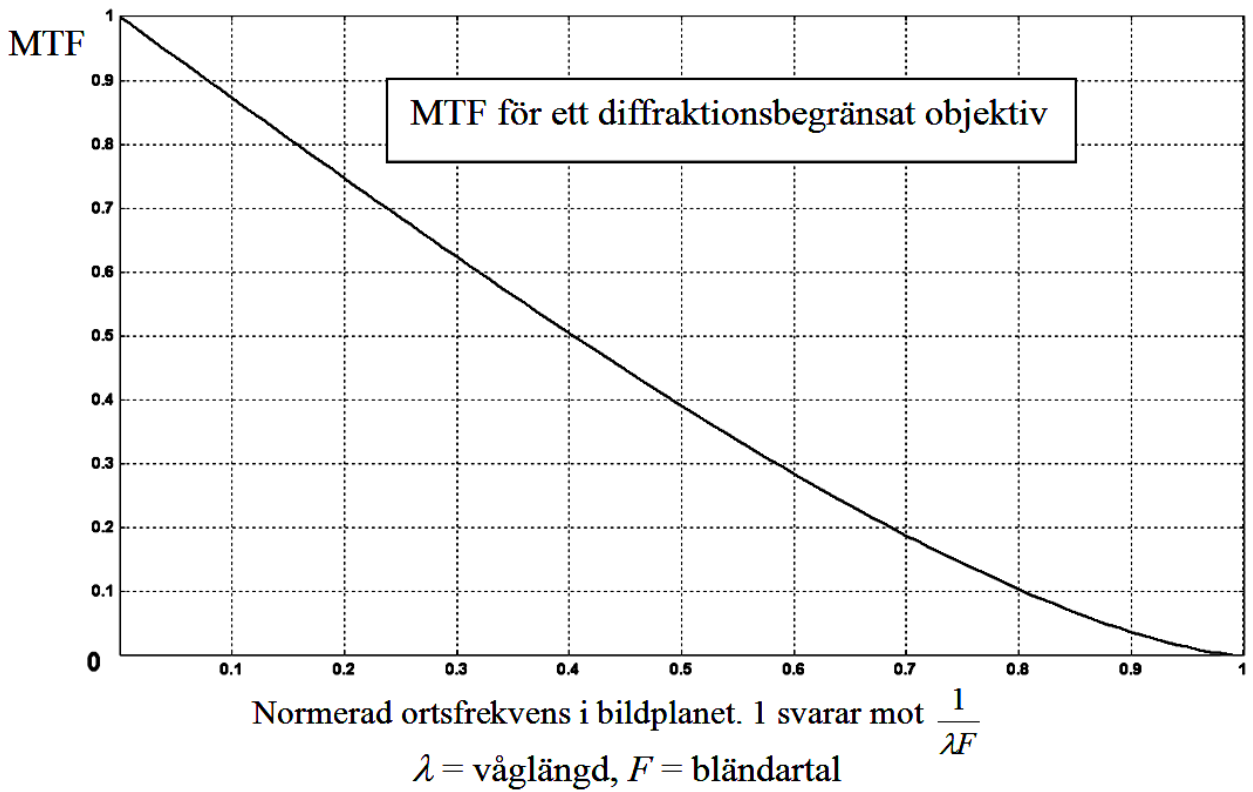
Till kameran finns kassetter både för 9 x 12 cm bladfilm och för 13 x 18 cm bladfilm. Utred om kameran klarar av uppgiften, och i så fall vilken typ av bladfilm du behöver använda. (Det mindre formatet är billigare, så använd det om det går.)

Uppgift 8

En kamera för infraröd flygfotografering är uppbyggd enligt figuren på nästa sida. Signalerna från de tre CCD-sensorerna färgkodas så att pixlarna i slutbilden erhåller den färgskala som standardmässigt används i IR-färgbilder. CCD-matriserna har ett centrum-till-centrum avstånd mellan pixlarna av $4.3 \mu\text{m}$ i både horisontell och vertikal riktning, och innehåller 3000×4500 pixlar. Objektivet har brännvidden 45 mm och ljusstyrkan 2.8.



Objektivet har så god kvalitet att det kan anses diffraktionsbegränsat (dvs avbildningsfelen är försumbara) för bländartal ≥ 5.6 . Objektivet MTF-kurva kan då illustreras med figuren nedan.



Antag att bländartalet ursprungligen är inställt på ett mycket högt värde, och att man sedan successivt minskar det (exponeringstiden anpassas så att bilderna blir korrekt exponerade).

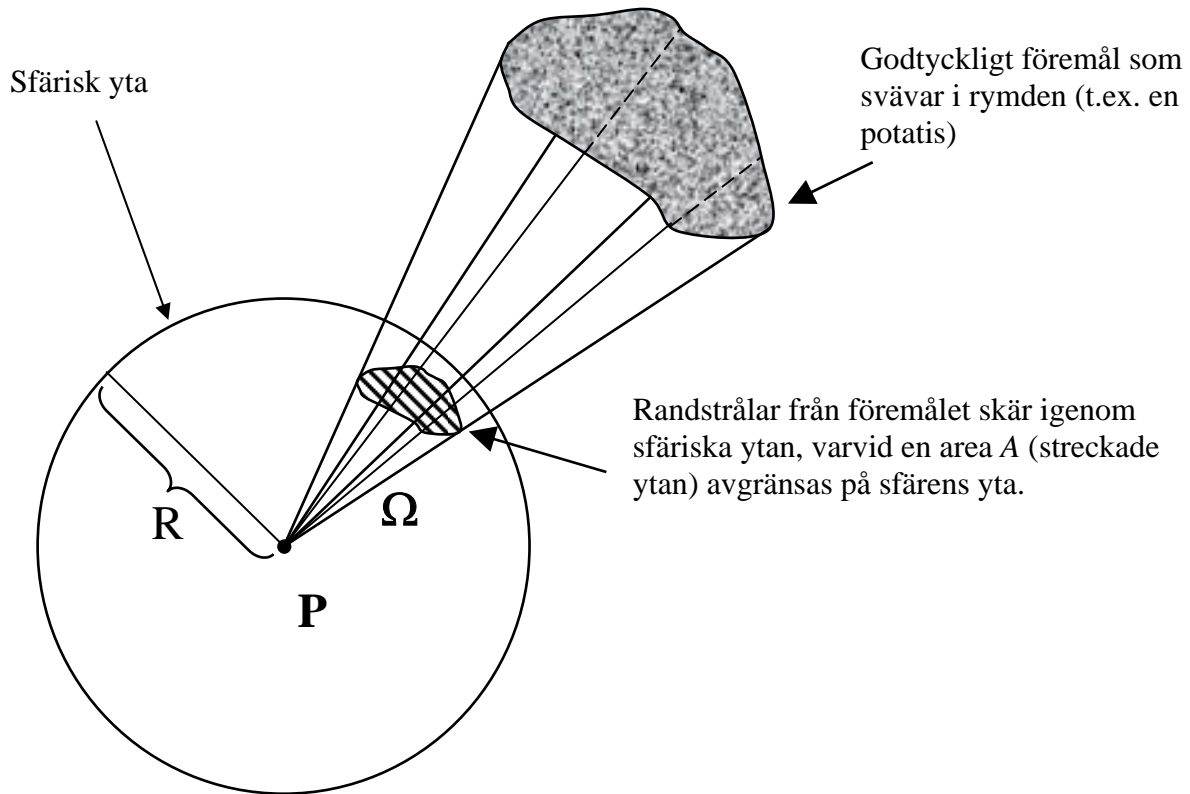
- a) Vid vilket bländartal finns det risk att moiré-effekter på grund av för gles sampling börjar dyka upp i bilderna? (5p)
- b) Vilken färg kan man förvänta sig att moiré-effekterna har när de först dyker upp? Tänk dig att motivet innehåller ett svart/vitt linjemönster som är nätt och jämnt så tätt att det ger moiré. Hur kommer det att se ut färgmässigt i bilden? (Med "svart/vitt" linjemönster menas att vita linjer reflekterar alla aktuella våglängder medan svarta absorberar alla våglängder) (5p)

Du får anta att linjemönstret i motivet är parallellt med sensormatrisernas rader eller kolumner (inga sneda vinklar alltså).

Du kan räkna med följande våglängder för de tre banden: 850 nm (IR), 650 nm (rött) och 550 nm (grönt).

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:**

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

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, 2011-05-24

(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, $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$, där a = objektavstånd, b = bildavstånd och f = brännvidd. Kortast möjliga a -värde, dvs närgränsen, får vi för största möjliga b -värde. Låt oss införa $b_{\max} = f + d$, där d är fokuseringsmekanikens rörelseomfång (12 mm i vårt fall). Vi får

$$\frac{1}{a_{\min}} = \frac{1}{f} - \frac{1}{f+d} \Rightarrow a_{\min} = f \left(1 + \frac{f}{d} \right). \text{ Med } d = 12 \text{ mm får vi följande } a_{\min}\text{-värden:}$$

$$f = 28 \text{ mm} \Rightarrow a_{\min} = 93 \text{ mm}$$

$$f = 55 \text{ mm} \Rightarrow a_{\min} = 0.31 \text{ m}$$

$$f = 135 \text{ mm} \Rightarrow a_{\min} = 1.7 \text{ m}$$

Uppgift 2

- a) Belysningen, E , i sensorplanet är omvänt proportionell mot bländartalet i kvadrat. Vi får

$$\frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \left(\frac{16}{2.8} \right)^2 = 32.$$

b)
$$\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = \frac{E_{\max} \cdot t_{\max}}{E_{\min} \cdot t_{\min}} = 32 \cdot \frac{30}{1/2000} = 1.9 \times 10^6$$

- c) Med utgångspunkt från det som sägs i a-uppgiften så får vi att t.ex. följande kombinationer ger samma exponering: $F = 4, t = \frac{1}{1000} \text{ s}; F = 8, t = \frac{1}{250} \text{ s}; F = 11, t = \frac{1}{125} \text{ s}.$

- d) Stor bländaröppning (lågt F -värde) och kort exponeringstid ger litet skärpedjup (stjärten på flygplanet blir oskarp), men man får inte så stor rörelseoskärpa på propellern. Liten bländaröppning (høgt F -värde) och lång exponeringstid innebär motsatsen, dvs stort skärpedjup (stjärten på flygplanet blir mycket skarp), men propellern ser suddigare ut på grund av rörelseoskärpa.

Uppgift 3

Här räcker det uppenbarligen med en ganska grov överslagsberäkning. Säg att stjärnan får vara utdragen maximalt 0.1 mm i rörelseriktningen på pappersbilden. (Rimligt med utgångspunkt från ögats upplösningsförmåga i uppgift 4.) Om vi refererar allt till pappersbilden så kommer stjärnorna att under exponeringen röra sig i cirkelbågar vars centrum ligger mitt i pappersbilden. Med ett dygns exponeringstid* skulle varje stjärna avbildas som en hel cirkel. Längsta sträckan rör sig en stjärna som

* Egentligen ett "stjärndygn" dvs. 23h 56m 4.1s. Men sådant finlir kan vi bortse ifrån i detta tal.

avbildas ute i bildhörnet. Eftersom bilddiagonalen är $\sqrt{100^2 + 150^2} = 180$ mm rör sig en stjärna i hörnet sträckan $\pi \cdot 180 = 566$ mm på ett dygn. Med längsta tillåtna sträcka, 0.1 mm, blir exponeringstiden $\frac{0.1}{566} = 1.8 \times 10^{-4}$ dygn ≈ 15 sekunder. Detta gäller oberoende av vilken fotografisk utrustning som används.

Beräkningarna som gjorts bygger på en grov uppskattning. Stora variationer i svaren är tillåtna, men de bör hamna i samma storleksordning.

Uppgift 4

Om man tar en bild och betraktar den så att perspektivet blir korrekt, så ser man motivets alla delar under samma synvinklar som när man stod på fotograferingsplatsen. Det vill säga man kan nätt och jämnt med blotta ögat urskilja ränderna i flaggan på bilden.

För att få en överdriven djupverkan ska bilden betraktas på ett större avstånd. Då kommer flaggans ränder att uppta en mindre synvinkel, dvs dom kommer knappast att synas. Tyvärr kan man alltså inte få den önskade bilden. Detta gäller oberoende av vilken utrustning som används.

Uppgift 5

ISO-talet för filmkänslighet, i detta fall 400, definieras som $\frac{0.8}{H_m}$, där H_m är den exponering som efter

framkallning ger ett svärtningsvärde som ligger 0.10 enheter över bas+slöja nivån. Mer än H_m bör vi nog inte tillåta som exponering av himmelsljuset, annars kommer filmen att bli ganska kraftigt slöjad. Sätter vi gränsen till H_m får vi $H_{\max} = H_m = E \cdot t_{\max}$, där t_{\max} är den längsta tid filmen får exponeras för himmelsljuset.

Med $H_m = \frac{0.8}{400} = 2.0 \times 10^{-3}$ luxs, och $E = 1.0 \times 10^{-4}$ lux, får vi $t_{\max} = 20$ sekunder. Så snabbt är det

nog svårt att hinna ladda upp filmen i spiralen och stänga locket på framkallningsdosan. En mycket tränad person skulle möjligtvis kunna göra det, men ingenting får då hänga upp sig. Dessutom vill man helst slippa den extra slöjan på 0.10 svärtningsenheter.

Ett mörkrum under bar himmel är alltså aldrig att rekommendera, i alla fall inte för en så pass ljuskänslig film som det är fråga om här.

Uppgift 6

Exponeringen $H = E \cdot t$, där E är belysningen på sensorn och t är exponeringstiden. Låt oss kalla korrekt exponering för H_0 . Denna är densamma i samtliga fall. Vi får $H_0 = E_1 t_1 = E_2 t_2 = \dots = E_n t_n$, där E_1 är belysningsnivån på sensorn med enbart lampa 1 etc. Med samtliga lampor påslagna samtidigt blir belysningen

$E_{tot} = E_1 + E_2 + \dots + E_n = H_0 \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \dots + \frac{1}{t_n} \right)$. Lämplig exponeringstid, t_{tot} , i detta fall fås ur

$$H_0 = E_{tot} \cdot t_{tot} \Rightarrow t_{tot} = \frac{H_0}{E_{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \dots + \frac{1}{t_n}}.$$

Uppgift 7

Kombinationen objektiv och film kommer att ha en upplösningsförmåga, R , som ges av $\frac{1}{R} \approx \frac{1}{R_{optik}} + \frac{1}{R_{film}} = \frac{1}{130} + \frac{1}{110} \Rightarrow R \approx 60$ linjepar/mm. Ett linjepar motsvarar då en sträcka av

$\frac{1}{60}$ mm = 16.7 μ m i filmplanet. En motivdetalj på 5 cm får alltså inte avbildas mindre än så.

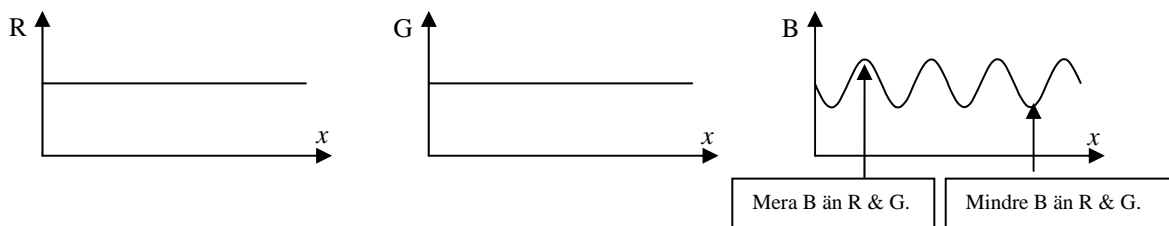
Detta ger att avbildningsskalan $M > \frac{16.7 \times 10^{-6}}{5.0 \times 10^{-2}} = 3.36 \times 10^{-4}$.

$M = \frac{\text{Filmbredd}}{\text{Motivbredd}} \Rightarrow \text{Filmbredden} > 3.36 \times 10^{-4} \cdot 500 = 0.17$ m.

Detta innebär att 13 x 18 cm bladfilm bör fungera, men inte 9 x 12 cm.

Uppgift 8

- a) Samplingfrekvensen är lika med $\frac{1}{4.3 \times 10^{-6}} = 2.33 \times 10^5$ m⁻¹, vilket innebär att maximal ortsfrekvens som kan samplas korrekt är hälften så hög, dvs 1.16×10^5 m⁻¹ = 116 mm⁻¹. För att få moiré-effekter måste optikens gränshfrekvens, $\frac{1}{\lambda F}$, vara högre än 116 mm⁻¹. Vid minskande F -värde kommer denna gräns att överskridas först för den kortaste våglängden, dvs 550 nm i grönkanalen. Det inträffar vid bländartalet $F = \frac{1}{550 \times 10^{-9} \cdot 1.16 \times 10^5} = 15.6 \approx 16$. (Motsvarande bländartal för röd- och IR-kanalerna är 13 och 10).
- b) Vi tänker oss att vi har ett så tätt linjemönster att det inte syns alls i IR- och rödkanalerna, men att det avbildas med svag kontrast i grönkanalen. IR kommer att återges i bildens rödkanal, rött återges i bildens grönkanal och grönt återges i bildens blåkanal. Bildens röd- och grönkanaler kommer då bara att ligga på ett konstant värde, medan blåkanalen uppvisar en viss modulation. Låt oss för enkelhets skull anta samma medelnivå i bildens tre kanaler.



I svängningstopparna (ljusa linjer) dominerar blåkomponenten i pixlarna, vilket innebär att vi får en omättat blå färg. I dalgångarna (mörka linjer) är röd- och grönkomponenterna större än blåkomponenten, vilket innebär att vi får en omättat gul färg.