



KTH Tillämpad Fysik

**Tentamen i**  
**Teknisk Fotografi, SK2380,**  
**2016-05-31, 14-19, FB53**

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

I många fotografiska situationer kan man erhålla en korrekt exponerad bild för många olika kombinationer av bländartall och exponeringstid (t.ex. lång tid och liten bländaröppning kan ge samma exponering som kort tid och stor bländaröppning). Berätta kortfattat hur (och varför) du väljer bländartall (högt/medel/lågt) och exponeringstid (lång/medel/kort) i nedanstående situationer. Du har ett stativ som du vid behov kan använda.

- Du vill fånga en höjdhoppare i språnget så att hon ser skarp och bra ut.
- Du ska ta en porträttbild, och vill att ansiktet ska vara skarpt men bakgrunden så utsuddad som möjligt.
- Du fotograferar ett stillastående motiv med stor utsträckning i djupled, och du vill att föremål både nära och långt bort ska återges med god skärpa.
- Du ska fotografera en mycket detaljrik (helt plan) ritning, och du vill att alla små detaljer ska återges så kontrastrikt som möjligt.
- Du ska i svagt ljus fotografera människor som promenerar. Berätta lite om vilka kompromisser som kan behöva göras. (Kamerans ISO-tal kan också ändras.)

## Uppgift 2

Förra sommaren flög rymdsonden New Horizons förbi planeten Pluto och tog ett antal bilder. Låt oss titta lite på vilka speciella krav Pluto-fotografering ställer jämfört med att ta bilder här nere på jorden. Låt oss anta att vi vill använda följande kamera i en rymdsond som skickas till Pluto för att ta bilder:

Sensorstorlek 36 mm x 48 mm, med 48 megapixlar med RGB-färgmosaik. ISO-tal 100-6400. Objektiv med 250 mm brännvidd. Bländartal  $F = 4-32$ . Objektivet är mycket bra korriberat för avbildningsfel vid alla bländartal  $F$ .

På grund av risken för rörelseoskärpa vill vi inte använda längre exponeringstid än  $\frac{1}{10}$  sekund, och för minimalt brus vill vi dessutom använda så lågt ISO-tal som möjligt (utan att överskrida exp. tiden  $\frac{1}{10}$  sekund).

### Uppskatta en lämplig kombination av bländartal, exponeringstid och ISO-tal för Pluto-fotograferingen.

Som jämförelse gäller att en solig sommardag på jorden så kan en lämplig utomhusexponering vara  $F = 16$ ,  $t = \frac{1}{100}$  sekund vid ISO = 100. Pluto ligger ca. 45 gånger längre bort från solen än vad jorden gör.

## Uppgift 3

Du blir inspirerad av den annalkande sommaren, och planerar att skaffa ett bra makro-objektiv för att fotografera diverse småkryp med din systemkamera (som har sensorbredd 36 mm och sensorhöjd 24 mm). Du vill kunna fotografera på så kort avstånd att en fjäril med vingbredden 50 mm fyller ut ca. 75% av sensorbredden. Av en kamrat har du fått rådet att skaffa ett objektiv med lite längre

brännvidd, så att man inte behöver komma så nära att man skrämmer krypen. Inte närmare än 15 cm är rådet.

Vid en marknadsundersökning finner du att det finns tre olika makro-objektiv som ligger i en rimlig prisklass. Du får räkna på objektiven som om de vore tunna linser.

- $f = 45$  mm, ljusstyrka 2.8. Närgräns (= kortaste motivavstånd) 120 mm från linsen.
- $f = 75$  mm, ljusstyrka 4. Närgräns 250 mm från linsen.
- $f = 150$  mm, ljusstyrka 5.6. Närgräns 400 mm från linsen.

Vilket/vilka av objektiven uppfyller dina uppsatta krav på att fylla ut sensorformatet, och att samtidigt inte behöva komma närmare motivet än 15 cm.

#### Uppgift 4

Arkivarien Rudolf som är konservativ till läggningen fotograferar fortfarande med svartvit film (pankromatisk, alltså känslig för alla synliga våglängder) som han framkallar och kopierar i sitt eget mörkrum. För att få önskat resultat så använder han ibland färgfilter som han sätter framför objektivet. Vilken färg bör filtren ha för att ge önskat resultat i följande fall:

- a) Fotografering av en blå himmel med vita ulliga moln. Molnen ska på bilden synas vita mot en mörk himmelsbakgrund.
- b) Samma motiv som ovan, men molnen ska synas så lite som möjligt. Himlen ska ha en så jämn ljusgrå ton som möjligt på bilden (men inte vara överexponerad och kritvit).
- c) Fotografering av ett svartvitt dokument som blivit nedkladdat med gula och röda saftfläckar. Fläckarna ska synas så lite som möjligt på bilden.

#### Uppgift 5

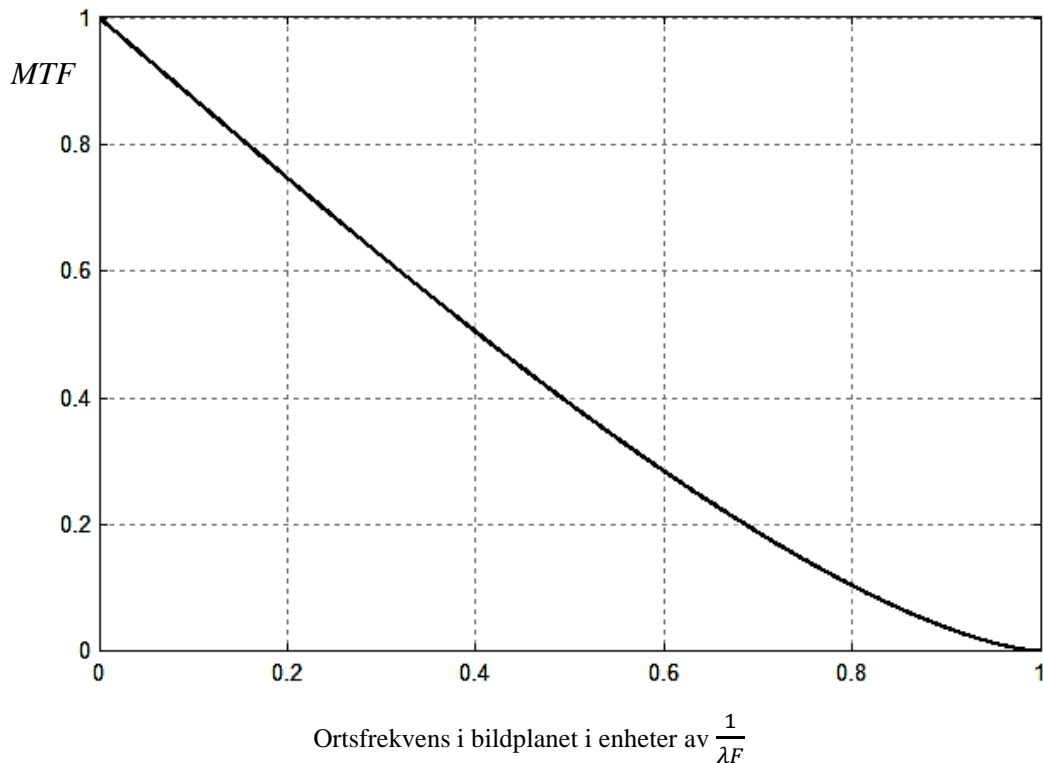
Läkarstudenten Margot är besatt av ånglok, och nu vill hon gärna ha ett roligt ånglok som bakgrundsmotiv på skrivbordet på sin laptop. Hon har hittat ett lämpligt ånglok på ett museum, men eftersom hon inte har gått någon kurs i fotografi är hon lite osäker på hur hon på bästa sätt ska ta en bild av loket. Hon tycker inte om bilder med överdriven djupverkan, och inte heller när bilder ser för ”platta” ut. Hon vill ha korrekt perspektiv, helt enkel. Eftersom Margot känner till att du läser en fotokurs, så kontaktar hon dig.

Kravet Margot ställer upp är att perspektivet ska vara korrekt när man tittar på laptopskärmen på 40 cm avstånd. Laptopen har en skärmstorlek av 200 mm x 350 mm. Margot vill vid fotograferingen fylla ut bildformatet nästan helt, för att minimera beskärning av bilden och därmed få maximal kvalitet. Kameran hon använder är en ”fullformatare” (sensorstorlek 24 mm x 36 mm) utrustad med ett 28-70 mm zoomobjektiv. På grund av lokalens utformning måste hon vid fotograferingen stå mellan 3 och 25 meter från loket. Loket är 14.5 meter långt och 4.5 meter högt, och kortet ska tas rakt från sidan.

Hjälp Margot att bestämma en lämplig brännvidd och ett lämpligt avstånd när hon ska fotografera ångloket.

## Uppgift 6

Vi är vana vid att termovisionskameror (värmekameror) ger bilder med lägre detaljrikedom än vanliga fotografier – dom ser lite suddiga ut helt enkelt. Detta är inte så förvånande eftersom vi vet att upplösningsförmågan hos optiken beror på våglängden,  $\lambda$ , och vid termovision jobbar man med ca.  $10\ \mu\text{m}$  våglängd medan synligt ljus ligger på ca.  $0.5\ \mu\text{m}$ . Om vi antar att optiken har små avbildningsfel, så kommer dess MTF-kurva att ligga nära figuren nedan.



Ur figuren kan vi se att prestanda för ett diffraktionsbegränsat objektiv kommer att bero kraftigt på våglängden. Men måste detta innebära att termovisionsbilder ser suddigare ut än motsvarande fotografier tagna i synligt ljus? Vi har ju under kursens gång betonat sensorstorleken betydelse. Skulle man med sensorstorleken kunna kompensera för den längre våglängden?

Undersök om det skulle vara möjligt att med en termovisionskamera ta bilder som ger samma skärpa som med synligt ljus. Utgå från att man i synligt ljus använder en fullformatsensor (24 mm x 36 mm) och att optiken i bägge fallen (synligt ljus och termovision) är praktiskt taget diffraktionsbegränsad. Skulle man kunna bygga en termovisionskamera som ger samma skärpa, och hur skulle den i så fall behöva vara beskaffad vad gäller sensor och optik?

(Med samma skärpa avses att om man tar bilder med de bägge kamerorna, så att lika mycket av motivet kommer med, så återges motivets alla detaljer, stora som små, lika tydligt, dvs med samma kontrast, i de bägge bilderna.)

Vi antar i bägge fallen att optiken används vid samma bländartal,  $F$ , och att sensorn påverkar bildskärpan i mycket mindre utsträckning än optiken.

## Uppgift 7

Digitalkameror har vanligtvis färgfilter enligt ett s.k. Bayer mosaikmönster lagda över pixlarna. Figuren nedan visar hur röda, gröna och blå filter är placerade.

R	G	R	G
G	B	G	B
R	G	R	G
G	B	G	B

Hälften av elementen täcks av grönsfilter, återstoden täcks av blå- och rödfilter. Anledningen till denna övervikt för gröna element, är att synsinnet inhämtar mest information i det gröna våglängdsområdet.

För att undvika moiré-effekter (kallas också aliasing, vikning) måste samplingkriteriet vara uppfyllt för samtliga delfärger RGB. Beräkna hur hög ortsfrekvens (räknat i sensorplanet) som en fullformatsensor (24 mm x 36 mm) med 24 megapixel klarar av att garanterat moiré-fritt registrera. Du får anta att de linjemönster som avbildas på sensorn är horisontella eller vertikala (inga sneda vinklar).

## Uppgift 8

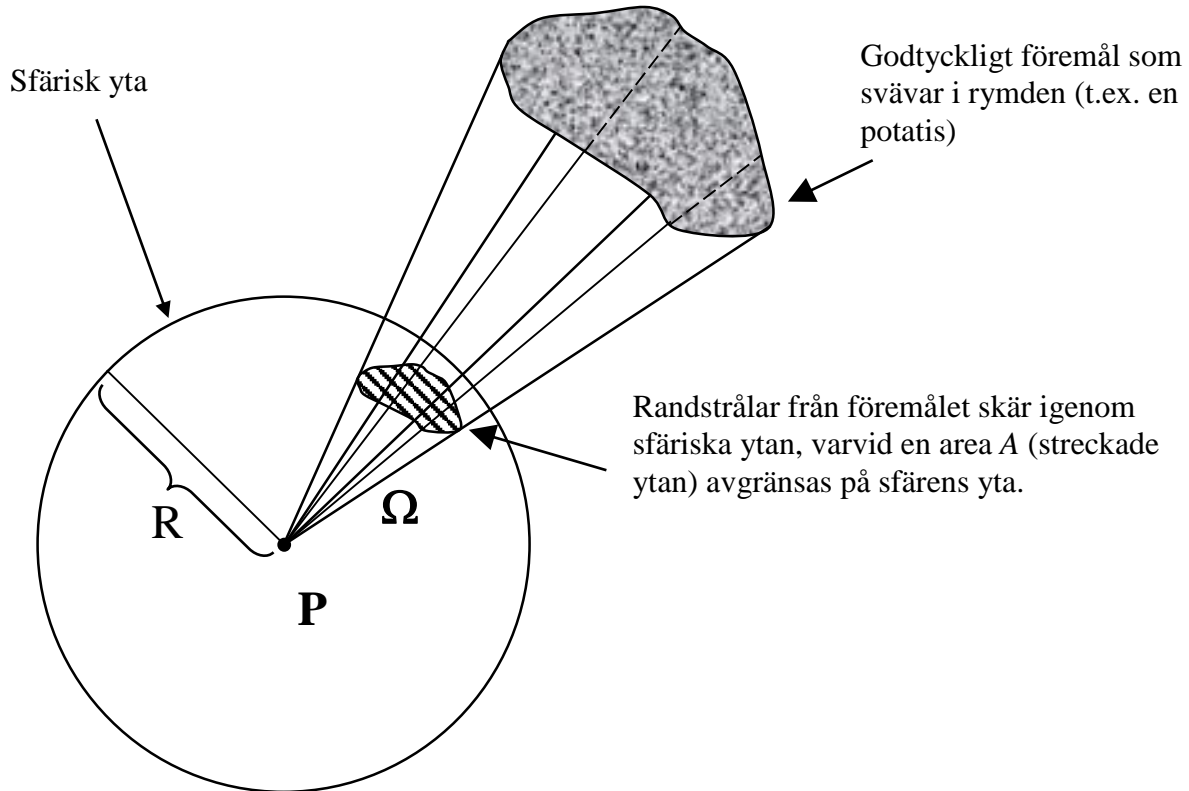
Läkarstudenten Margot (känd från uppgift 5) har en pojkvän som heter Efraim och som är mycket fotointresserad (men inte så teknisk). Till skillnad från Margot är Efraim mer intresserad av insekter än av ånglok (men han håller god min när Margot livfullt berättar om "sina" ånglok). Efraim har läst någonstans att man kan ta färgbilder med osynlig infrarödstrålning (IR). Ja, det vill säga färgbilderna innehåller både IR-strålning (ca. 0.7–1.0  $\mu\text{m}$  våglängd) och vissa färger av synligt ljus, enligt en standardiserad färgskala som infördes redan på den tiden när man använde fotografisk film. Efraim är ambitiös, och har läst lite i vetenskapliga tidskrifter att IR-reflektionen varierar en hel del för olika insekter. Vissa insekter reflekterar IR kraftigt, andra inte alls. Innan han investerar pengar i utrustning för IR-foto, vill därför Efraim veta vilka färger man skulle kunna få vid fotografering av några typiska insekter. Margot berättar då att hon vet en person som kanske kan svara på detta. Du vet vem, eller hur? Just det, du!

Hjälp därför Efraim att bestämma hur följande insekter kan komma att se ut färgmässigt på IR-färgbilderna (ta med både fallen att IR reflekteras, och att det inte reflekteras.)

- En geting med svarta och gula ränder.
- En klarröd skalbagge.
- En blågrön (cyanfärgad) skalbagge.
- En vit fjäril.
- Grönt frodigt gräs (visserligen inte insekt, men ofta bakgrund i bilderna)

**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 tentamen i Teknisk fotografi, SK2380, 2016-05-31

(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

- Kort exponeringstid för att "frysa" rörelsen. Använd lågt bländartal för att få hög belysning på sensorn.
- Vi vill ha kort skärpedjup, vilket fås med lågt bländartal. Exponeringstiden blir då kort. (alltså samma inställning som i a-uppgiften, men av annan anledning.)
- Här krävs ett stort skärpedjup, vilket erhålls med högt bländartal. Då blir belysningen låg, vilket kräver lång exponeringstid.
- Här krävs inget stort skärpedjup eller kort tid. Välj alltså inställningar som ger optimal skärpa i bästa fokusläget. Vi bör då undvika stora bländaröppningar som ger mer optiska avbildningsfel (aberrationer). Undvik också väldigt små bländaröppningar som ger mycket diffraktion som suddar till bilden. Välj alltså ett medelhögt bländartal, vilket brukar ge bästa kompromiss mellan aberrationer och diffraktion. Detta innebär då också en "medellång" exponeringstid.
- Detta är ett knepigt fall som kan kräva kompromisser. Vi vill undvika alltför lång exponeringstid, eftersom det kan ge rörelseoskärpa. Ganska stor bländaröppning med andra ord. Men en stor bländaröppning kanske ger för litet skärpedjup, eller så blir tiden för lång även med största bländaröppning. I så fall kanske man behöver öka ISO-talet, vilket innebär en högre brusnivå i bilderna. Beroende på syftet med bilderna kan man alltså behöva göra lite olika kompromisser mellan bländartal, exponeringstid och ISO-tal.

### Uppgift 2

Solen strålar likformigt i alla riktningar. Därför kommer den att ge en belysning som avtar med kvadraten på avståndet. Att Pluto ligger ca. 45 gånger längre bort från solen än jorden innebär att belysningen är ungefär  $\frac{1}{45^2}$  gånger så hög på Plutos yta. Om vi antar att Plutos yta har ungefär samma reflektionsförmåga som jordytan så kommer, vid samma bländartal, belysningen på sensorn att bli ca.  $\frac{1}{45^2} \approx \frac{1}{2000}$  gånger så hög. Genom att minska bländartalet från 16 till 4 kan vi öka belysningen på sensorn med en faktor 16, och genom att förlänga exponeringstiden till maximala  $\frac{1}{10}$  sekund så ökar exponeringen ytterligare med en faktor 10. Men detta räcker ändå inte. Vid största bländaröppning och längsta tid blir bilderna ändå underexponerade med en faktor  $\frac{160}{2000} \approx \frac{1}{13}$ . Vi blir alltså tvungna att öka ISO-talet från 100 till ca. 1300 (antagligen är närmaste värde som kan väljas 1600).

Uppskattade lämpliga inställningar blir då: ISO 1600,  $t = \frac{1}{10}$  s, och i stort sett full bländaröppning (den kan behöva finjusteras för optimal exponering).



### Uppgift 3

Avbildningsskalan som krävs är,  $M = \frac{0.75 \times 36}{50} = \frac{27}{50}$ . Med motivavstånd  $a$ , och bildavstånd  $b$ , gäller att  $M = \frac{b}{a} = \{ \text{Med utnyttjande av linsformeln} \} = \frac{f}{a-f}$ . Låt oss räkna fram vilket motivavstånd,  $a$ , som krävs för de tre objektiven. Vi får ur ovanstående formel att  $a = f \left( 1 + \frac{1}{M} \right) = \frac{77}{27} \times f$ . Detta ger:

$f = 45$  mm:  $a = 128$  mm. Detta är för nära. Inte närmare än 15 cm var ett krav.

$f = 75$  mm:  $a = 214$  mm. På så kort avstånd kan inte objektivet fokusera korrekt. Närgränsen är ju 250 mm. Går ej.

$f = 150$  mm:  $a = 428$  mm. Detta fungerar! Det är större än 15 cm, och objektivet närgrens är 400 mm.

Endast 150 mm objektivet uppfyller alltså kraven.

### Uppgift 4

- Rudolf bör använda ett filter som absorberar det blå himmelsljuset, dvs gulfilter, för att få himlen mörk på bilderna. Molnen är ju vita, dvs sänder ut alla synliga våglängder, och deras R- och G-komponenter exponerar filmen. (I praktiken får man ännu bättre effekt med ett rödfilter, eftersom det "blå" himmelsljuset även innehåller en del grönt, men mycket lite rött.)
- Här ska Rudolf istället använda ett blåfilter. Då blir skillnaden i ljushet minimal mellan moln och himmel, eftersom himlen sänder ut företrädesvis blått ljus medan molnen sänder ut alla färger. Kontrasten mellan moln och himmel blir då minimal.
- Svarta dokumentdelar reflekterar inget ljus (i verkligheten mycket lite) och blir svarta i slutbilden oberoende av saftfläckar och filter. Vita dokumentdelar ska dock ha så lika ljushet som möjligt både med och utan saftfläckar. Gula fläckar absorberar blått ljus, och röda fläckar absorberar blått och grönt ljus. Rött ljus transmitteras av bägge fläcktyperna. I rött ljus blir alltså fläckarna osynliga (eller nästan i alla fall). Rudolf ska alltså använda ett rödfilter på kameran.

### Uppgift 5

För korrekt perspektiv ska loket synas under samma synvinkel när man tittar på skärmen som när man står på fotograferingsplatsen. Säg att loket på laptop-skärmen har längden 300 mm (höjden blir då drygt 90 mm, dvs det får gott och väl plats på höjden). Samma synvinkel ger då villkoret  $\frac{0.30}{0.40} = \frac{14.5}{a}$ , där  $a =$  fotograferingsavståndet. Vi får  $a = \frac{14.5 \times 0.40}{0.30} = 19.3$  m.

Låt oss säga att bilden på loket ska ha längden 30 mm på sensorn, vilket fyller ut drygt 80% av sensorbredden. Avbildningsskalan vid fotograferingen blir då  $M = \frac{0.030}{14.5} = \frac{f}{a}$ . Insättning av  $a$ -värdet ovan ger  $f = 40$  mm.

Svar: Margot ska stå ca. 19 meter från loket och använda en brännvidd av ca. 40 mm vid fotograferingen.

### Uppgift 6

Våglängden vid termovision är ca. 20 gånger längre än för synligt ljus. För att ett avbildat linjemönster i motivet ska avbildas med samma MTF-värde (dvs samma kontrast), måste det i värmekamerans fall ha en ortsfrekvens i bildplanet som är  $\frac{1}{20}$  av vad den är för synligt ljus. Bilden i värmekamerans bildplan måste alltså vara 20 gånger större. Om man vill täcka in lika mycket av motivet i bägge fallen, måste alltså värmekamerans sensor vara 20 gånger bredare och 20 gånger högre än för vanliga kameran. Detta innebär en sensorstorlek av 480 mm x 720 mm!

Både opraktiskt och dyrt, men rent teoretiskt möjligt. Objektivet kommer att behöva ha en lång brännvidd, ca. 900 mm för normalbrännvidd. För att få en hygglig ljusstyrka måste då linsdiametrarna bli mycket stora.

Svar: Det är teoretiskt möjligt, men opraktiskt. Kameran blir jättestor, jättedyr och antagligen jätteting.

### Uppgift 7

Sensorn har bredd/höjd-förhållandet 1.5. Om vi antar att vi har  $n$  pixlar på höjden, så har vi  $1.5n$  pixlar på bredden. Totala antalet pixlar,  $24 \times 10^6 = 1.5n^2 \rightarrow n = 4000$ . Detta ger en samplingtätethet av  $\frac{4000}{24 \times 10^{-3}} = 1.67 \times 10^5 \text{ m}^{-1}$ .

Men alla pixlar detekterar inte alla färger. Glesast sampling har vi i rött och blått. Där detekterar bara varannan pixel i x- och y-led respektive färg. Detta ger halva ovanstående samplingtätethet, dvs  $\frac{2000}{24 \times 10^{-3}} = 8.33 \times 10^4 \text{ m}^{-1}$ . Ortsfrekvenser upp till halva samplingtätetheten, dvs  $\frac{1000}{24 \times 10^{-3}} = 4.2 \times 10^4 \text{ m}^{-1}$  (= 42 mm<sup>-1</sup>), kommer att registreras korrekt, vilket är svaret på uppgiften.

Kameraoptiken kan vanligen återge tätare linjemönster än så, vilket medför stor risk för moiré om man har en 24 megapixel fullformatsensor. Dessa är därför ofta utrustade med antialiasing-filter.

### Uppgift 8

Färgerna återges ”ett snäpp” åt det kortare hållet i IR-bilder. IR blir rött, rött blir grönt, grönt blir blått, medan blått inte återges alls. Vi gör en sammanställning av möjliga resultat i tabellform.

	<u>Motiv</u>	<u>Bild</u>
Geting	svart	svart
	svart + IR	R
	gul = G + R	B + G = cyan
	gul + IR = G + R + IR	B + G + R = vit
Skalbagge (röd)	R	G
	R + IR	G + R = gul
Skalbagge (cyan)	B + G	B
	B + G + IR	B + R = magenta
Fjäril	B + G + R	B + G = cyan
	B + G + R + IR	B + G + R = vit
Gräs	G	B
	G + IR	B + R = magenta

Svar: Getingens ränder kan återges: svart/cyan, svart/vit, röd/cyan, röd/vit  
 Röd skalbagge kan återges: grön eller gul  
 Blågrön skalbagge kan återges: blå eller magenta  
 Vit fjäril kan återges: cyan eller vit  
 Grönt gräs kan återges: blått eller magenta (vi vet att vegetation reflekterar mycket IR, så magenta eller snarare rött med inslag av lite blått är troligast)