

Räkneövning i fotografi

Uppgift 1.

Beskriv det matematiska sambandet (ex.vis proportionellt eller omvänt proportionellt) mellan belysningen i kamerans sensorplan och

- Bländartalet
- Exponeringstiden
- Motivavståndet, om det är \gg brännvidden

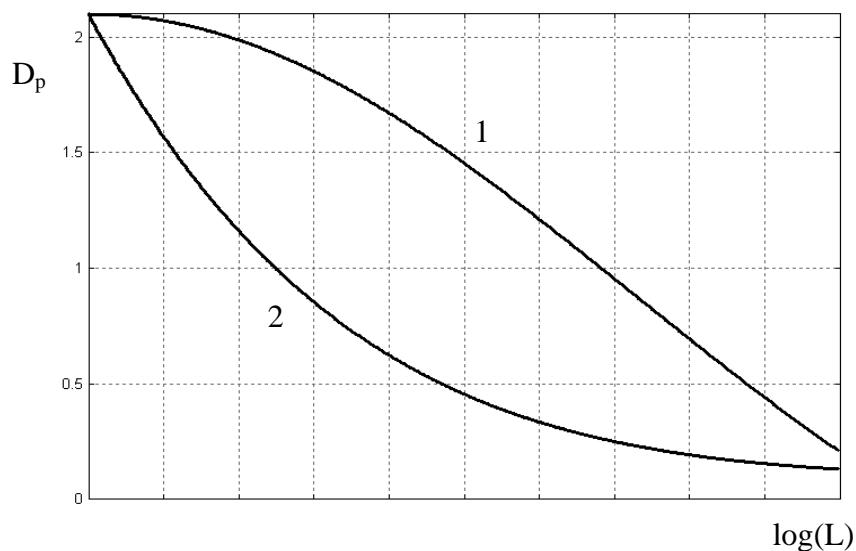
Uppgift 2.

En digitalkamera har ett objektiv med brännvidden 25 mm och ljusstyrkan 2.0. Bländartalet kan varieras mellan 2.0 och 11, och exponeringstiden kan varieras från 10 s till 1/1000 s.

- Med hur stor faktor kan belysningen i sensorplanet förändras genom att variera bländarinställningen?
- Hur mycket kan man variera exponeringen genom att variera både bländarinställning och exponeringstid (ange förhållandet mellan högsta och lägsta exponering)?
- Det finns en stor mängd kombinationer av bländarinställning och exponeringstid som ger samma exponering. Ange minst tre olika kombinationer av bländarinställning och exponeringstid som ger samma exponering.
- Samma exponering kan erhållas genom att använda en stor bländaröppning och kort exponeringstid, eller liten bländaröppning och lång tid. Ge ett exempel på när det kan vara fördelaktigt att använda den första varianten, och ett exempel på när det är fördelaktigt att använda den andra varianten.

Uppgift 3.

Du har tagit en bild med digitalkamera som du sedan har manipulerat på två olika sätt med Photoshop. Därefter har du skrivit ut de bägge bilderna på en bläckstråleskrivare. Med hjälp av en gråskala som fanns med i originalbilden lyckas du framställa tonreproduktionskurvorna för de bägge fallen (betecknade 1 och 2), se figuren nedan. D_p betecknar svärtningsvärdet i bläckstrålepapperet, och L betecknar motivluminans.

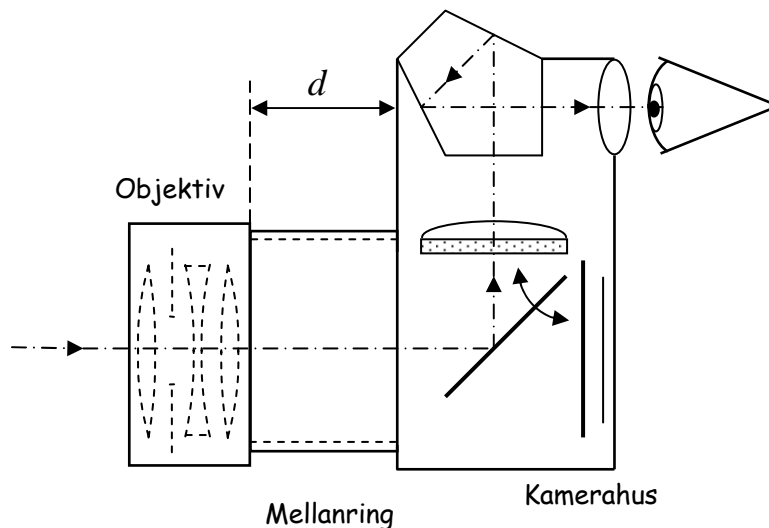


Besvara med hjälp av kurvorna 1 och 2 följande frågor (med motiveringar):

- Visar bläckstrålebilderna en positiv eller negativ bild av motivet?
- Betrakta mörka motivpartier. Jämför bilderna 1 och 2 vad gäller gråton (hur mörka bilderna är), kontrast och möjlighet att se strukturer* (se fotnot)
- Samma fråga som b), men för medelljusa partier.
- Samma fråga som b), men för ljusa partier.

Uppgift 4.

Vid närbildsfotografering med en spegelreflexkamera kan man använda en så kallad mellanring, dvs en tom hylsa som monteras mellan objektivet och kamerahuset, se figuren. Detta innebär att objektivet flyttas sträckan d längre bort från sensorplanet än utan mellanring.



I samband med närbildsfoto talar man ofta om vilken "förstoringsfaktor" man får. Den anges som t.ex. $0.35\times$, vilket innebär att den optiska bilden på sensorn är 35% av motivets verkliga storlek. Ju högre förstoringsfaktor desto mer extrema närbilder får man alltså.

Antag att du har en mellanring med längden $d = 65$ mm, och två objektiv märkta 35 mm/2.0 och 90 mm/2.8 (brännvidd/ljusstyrka).

Vilka förstoringsfaktorer kommer dessa objektiv att ge tillsammans med mellanringen?

Antag att objektivens manuella avståndsställning är inställd på oändligheten, och att man vid fotograferingen går så nära motivet att man får en skarp bild i sökaren.

* Med möjlighet att se strukturer avses om t.ex. mörka och ljusa partier bara blir vita och svarta ytor, eller om man ser t.ex. katten som ligger i skuggan under trädets grenar och fräknarna på flickans solbelysta ansikte.

Uppgift 5.

Ett kameraobjektiv anses ha "normalbrännvidd" om brännvidden är ungefär lika med diagonalen på sensorformatet.

Påstående: Vid fotografering med normalbrännvidd kommer en förstora bild i formatet 10 cm x 15 cm, och betraktad på 18 cm avstånd, att ge ett perspektivistiskt korrekt intryck när man betraktar den.

Visa att påståendet stämmer för alla sensorstorlekar!

Anta att hela bildytan finns med på pappersbilden (ingen beskärning), och att de aktuella sensorerna alla har bredd/höjd förhållandet 3:2.

Uppgift 6.

Vid racerbiltävlingar (t.ex. formel-1) sänds ofta TV-bilder direkt från små kameror som sitter monterade i bilarna. Dessa visar vad föraren ser när han/hon (det är nästan alltid en han) sitter och kör sin bil. Frågan är emellertid om den upplevelse av fart som man får när man tittar på TV motsvarar hur det ser ut när man sitter i bilen och tittar ut genom vindrutan. Betrakta följande exempel:

Videokameran har en sensor med 800 x 600 pixlar som upptar en yta av 8.0 mm x 6.0 mm. Objektivet har brännvidden 8.0 mm. TV-tittaren sitter i sin favoritsoffa på 2.0 m avstånd från TV-rutan, som har dimensionerna 60 cm x 45 cm.

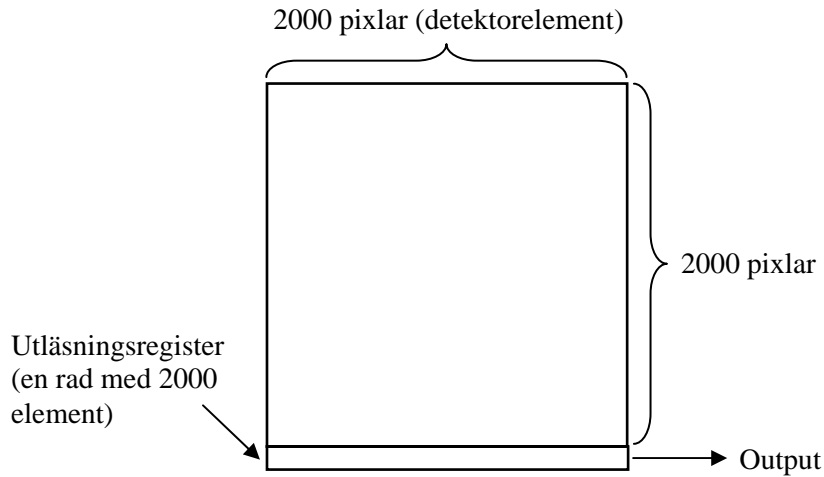
Kommer detta att ge ett korrekt fartintryck, dvs som föraren i bilen upplever det? (Med andra ord, blir det perspektivistiskt korrekt?)

Uppgift 7.

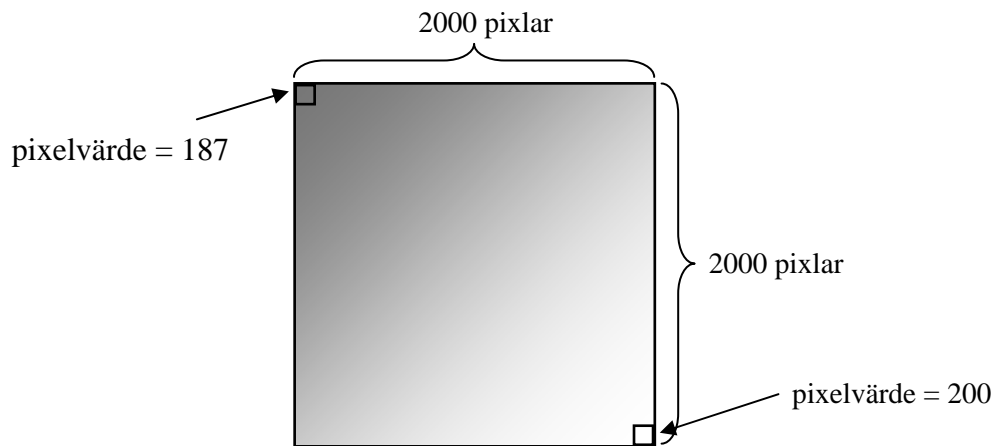
Du arbetar som frilansande fotograf i Mexiko och har fått i uppdrag av en firma som tillverkar tequila att fotografera en uppretad skallerorm för deras nya reklambild. Reklambilden ska tryckas i tidningar så att skallerormen, som i verkligheten har en storlek av ca. en meter (ihoprullad!), på tidningsbilden blir 15 cm stor. Firman kräver att när man tittar på tidningsbilden på 25 cm avstånd så skall ormen synas perspektivistiskt (ungefär) riktigt. Du får låna en mycket avancerad kamerautrustning av företaget (utrustningen användes tidigare av deras egen fotograf, vilken aldrig återvände från en liknande expedition förra året). I utrustningen ingår en digital spegelreflexkamera (sensorformat 24x36 mm och 21 Mpixlar) och massor med objektiv som har brännvidder från 24 mm upp till 1000 mm. Utrustningen ger emellertid inte möjlighet till fjärrstyrning, eller att montera kameran på något som sträcks ut mot ormen. Kort sagt, du måste befinna dej på samma plats som kameran. Du hyser emellertid en viss respekt för uppretade skallerormar och har bestämt dej för att under inga omständigheter gå närmare än fem meter. Kan du acceptera uppdraget?

Uppgift 8.

En "full-frame" CCD är uppbyggd enligt nedanstående figur.



För att testa sensorns "charge transfer efficiency", så exponeras den perfekt jämnt över hela ytan i en experimentuppställning. Den resulterande digitala bilden fick då nedanstående utseende.



Bestäm sensorns "charge transfer efficiency" (cte), dvs hur stor andel av laddningen som (i medeltal) överförs mellan två intilliggande detektorelement under utläsningen av data (ex: cte = 0.99 innebär att i medeltal 99 % av elektronerna överförs från ett element till nästa). Antag att ett pixelvärde i den digitala bilden är proportionellt mot den laddningsmängd som läses från motsvarande detektorelement.

(OBS! Detta är en av få tentauppgifter där man måste ange många siffror i svaret)

Uppgift 9.

För att kunna fotografera i färg så behöver man i varje punkt i film/sensor planet kunna registrera hur mycket av det infallande ljuset som ligger i det blå, gröna resp. röda spektralområdet.

- a) Berätta kortfattat hur denna spektrala uppdelning görs i fotografisk film. (Bara detektionsfasen behöver beskrivas i denna deluppgift)
- b) Berätta kortfattat hur spektrala uppdelningen görs i CCD-sensorn i en digitalkamera. (Bara detektionsfasen behöver beskrivas i denna deluppgift)
- c) Du lägger en framkallad negativfilm på en ljuslåda som avger vitt ljus. På ett ställe av filmen ser du ett rött område, på ett annat ett blått. Hur uppstår dessa två färger vid ljusets passage genom färgfilmen? (Vilka typer av färgade skikt passerar ljuset på sin väg genom filmen)
- d) Vilka verkliga färger hade motivet på de ställen som avbildas röda och blåa på negativfilmen?
- e) Berätta om någon nackdel med CCD-sensorns sätt att registrera färg. (Finns risk för några felaktigheter i bilderna?)

Uppgift 10.

Digitalkameror kan ställas om mellan flera olika färgtemperaturer (eller "White Balance" som det ofta kallas).

- a) Vilken av inställningarna "Sol", "Glödlampa", "Sol med moln" och "Lysrör" väljer du om du vill fotografera en scen där enda ljuskällan är ett stearinljus? Varför?
- b) Beskriv hur kan du förvänta dig att färgåtergivningen blir i uppgift a)?

Uppgift 11.

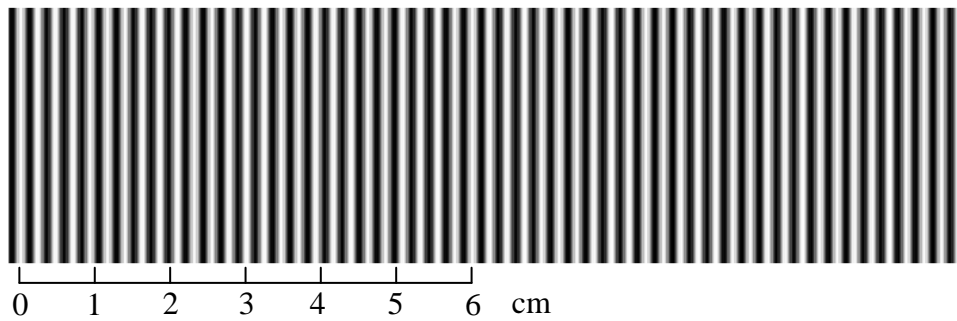
Du håller på med att ta några bilder av samer för tidskriften Nostalgica Retrospect. För att få en äkta gammaldags prägel arbetar du med en "analog" kamera och svartvit film istället för en digitalkamera. Lite synd kanske, eftersom samedräkterna innehåller mättade röda och blå färger förutom olika grånyanser. Du använder olika ljuskällor, alltifrån lappkåtans öppna eld (färgtemperatur 1800 K) vid inomhusfotografering, till det blå himmelsljuset i skuggan utanför kåtan (färgtemperatur 15000 K) vid utefotografering.

Eftersom det är fråga om svartvita bilder kommer du inte att få några färgfel på grund av den kraftigt varierande färgtemperaturen. Men kommer variationen i färgtemperatur ändå att märkas på något sätt, så att inomhus- och utomhusbilderna ser olika ut?

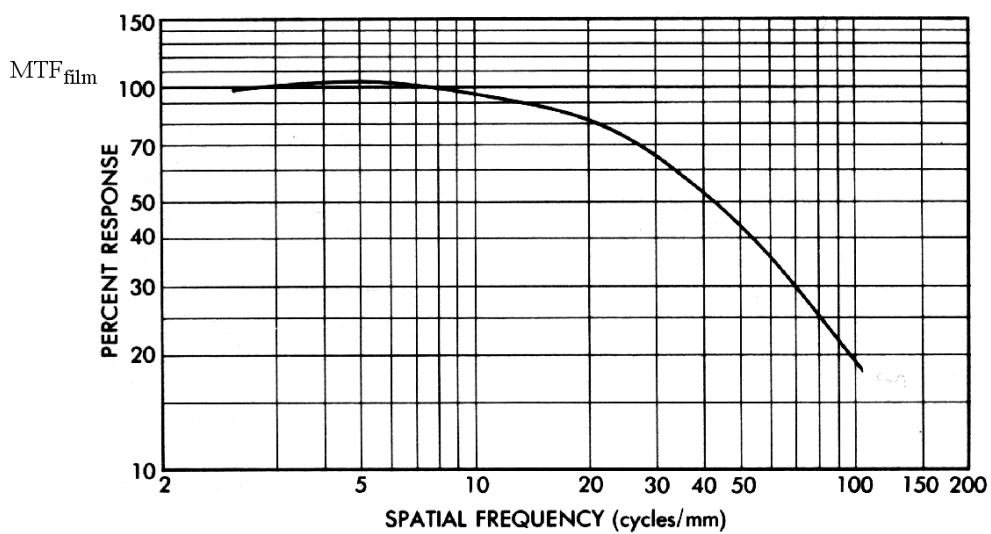
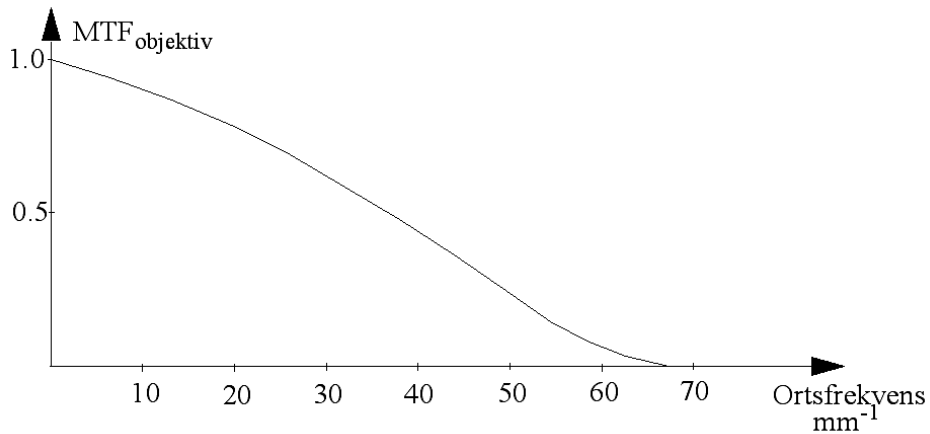
Tänk efter och beskriv med kortfattad motivering om, och i så fall hur, bilderna tagna vid olika färgtemperatur kommer att skilja sig åt vad gäller återgivningen av samedräkternas blå- och rödfärgade partier. Besvara också samma fråga för de dräktpartier som har olika gråa nyanser.

(Filmen som används är pankromatisk, dvs känslig för alla synliga våglängder.)

Uppgift 12.



Ovanstående linjemönster avfotograferas på 2.0, 5.0 och 9.0 meters avstånd med ett 50 mm objektiv och med användande av bländartal 2.8. Objektivets MTF vid bländartal 2.8 samt den använda filmens MTF ges av figurerna nedan. Efter framkallningen tittar du i stark förstoring på filmen. För vilket/vilka av de tre fotograferingsavstånden kan man förvänta sig se linjemönstret på filmen?

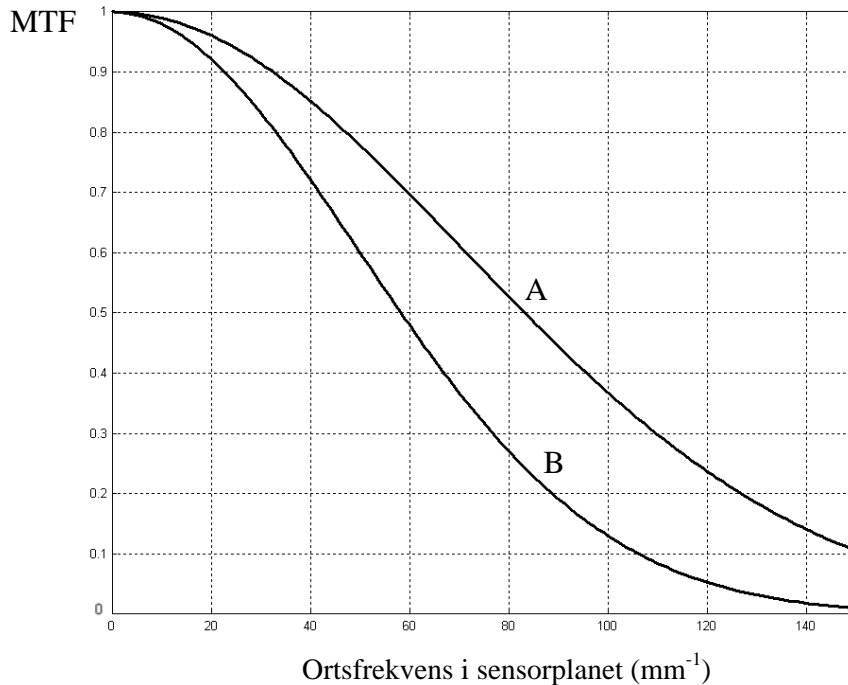


Spatial frequency = ortsfrekvens. Cycles/mm = mm⁻¹. Percent response = MTF i procent.

Uppgift 13

Nedanstående diagram visar uppmätta MTF-kurvor för två olika digitalkameror. Det som visas är MTF_{total} inbegripande optik, sensor och allt annat som påverkar kamerans bildkvalitet.

Kurva A gäller för en kamera som har en sensorstorlek av 7.2 mm x 10.8 mm. Kurva B gäller för en kamera med en sensorstorlek av 14.4 mm x 21.6 mm.



Man fotograferar samma motiv med bägge kamerorna, så att precis lika mycket av motivet kommer med på sensorn i bägge fallen. Sedan printar man ut stora affischer av de bägge bilderna i samma storlek. Därefter granskar man affischbilderna och bedömer skärpan på små detaljer i motivet. Vilken av bilderna kan förväntas se skarpast ut? Varför?

Vi antar i bägge fallen att antalet pixlar är mycket stort, så att pixeleringen inte påverkar detaljrikedomen i bilderna.

Ledning: Observera att ortsfrekvenserna i diagrammet gäller för sensorplanet.

Uppgift 14.

Du använder ett 55 mm/f:1.8 objektiv som du vet har försumbara avbildningsfel för bländartal > 5.6 . För dessa höga bländatal kan objektivets MTF approximeras med

$$MTF(v) = \begin{cases} 1 - v \cdot \frac{\lambda f}{D}, & v \leq \frac{D}{\lambda f} \\ 0, & v > \frac{D}{\lambda f} \end{cases}$$

där v är ortsfrekvensen, λ är våglängden (vilken kan sättas till 550 nm i denna uppgift), f är brännvidden och D är diametern på bländaröppningen. Kameran är utrustad med en CCD matrissensor, vilken har detektorelement (pixlar) med kantlängden 5.0 μm och centrum-till-centrum avstånd 6.0 μm . MTF för en sådan matrissensor kan approximeras med $\left| \frac{\sin(\pi v L)}{\pi v L} \right|$, där L är

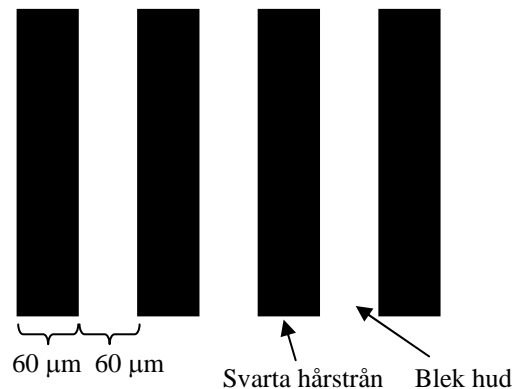
kantlängden på ett detektorelement. Vilket bländartal ska vi ställa in objektivet på för att inte riskera att få några moiré-effekter (aliasing, vinkningsdistorsion)?

Uppgift 15.

En fotomodell med välkammad svart lugg och blek hy (se figuren nedan) ska fotograferas. En digitalkamera utrustad med ett 60 mm objektiv används. Sensorstorleken är 14.4 mm x 21.5 mm, och centrum-till-centrum avståndet mellan pixlarna är 5.5 μm .

På vilket fotograferingsavstånd börjar det bli risk att få moiré-effekter (aliasing) i bilderna av håret?

Du får anta att motivavståndet \gg brännvidden.



Uppgift 16

Efter en livlig festnatt i glada vänners lag faller du i en orolig sömn och drömmer att du utrustats med "IR-ögon", dvs du uppfattar omgivningen i samma färgskala som man får vid fotografering med infrarödkänslig färgfilm eller med en digital IR-kamera. I drömmen befinner du dig inne i en stad och går längs en gata som kantas av vackra vita rosor. Du kommer fram till en gatukorsning, och eftersom ljussignalen för gående visar grönt sken kliver du glatt ut i gatan. Du blir då genast överkörd av en svart bil som körs av en dam med blåa ögon. Du vaknar kallsvettig och går ut i köket och dricker lite vatten, varefter du lyckas somna om. I en ny dröm (eller är det verklighet?) befinner du dig på en tentamen i fotografi och berättar vilka verkliga färger följande objekt ur den tidigare drömmen kan tänkas ha haft:

- Rosorna (ge två möjligheter).
- Den gröna ljussignalen.
- Bilen (ge två möjligheter).
- Damens ögon.

Berätta vad du svarar i denna andra dröm (du vaknar väl inte kallsvettig igen?).

Uppgift 17

Lantbruksverket har gjort en flygfotografering under dessa förutsättningar:

- Flyghöjd 2000 meter.
- Objektiv med 50 mm brännvidd.
- CCD sensor med 4000×4000 pixlar. Varje pixel har storleken $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$, och pixlarna ligger kant i kant (inget dött utrymme emellan).

Utgående från färganalys av en flygbild över Per Persas bondgård så finner man att:

- 1.2×10^6 pixlar utgörs av råg.
- 6.3×10^5 pixlar utgörs av raps.
- 1.2×10^3 pixlar utgörs av hampa (hmm, misstänkt!)

Hjälp Per Persa att räkna ut hur många hektar ($1 \text{ ha} = 1.0 \times 10^4 \text{ m}^2$) som är bevuxen med de olika grödorna.

Uppgift 18.

Solens totala ljusflöde är 2.9×10^{28} lumen, och den befinner sig på avståndet 1.5×10^{11} m från jorden. Hur hög blir belysningen på en horisontell markyta på jorden som funktion av solhöjden (mätt som vinkel) över horisonten? Försumma ljusabsorption i atmosfären och rymden, samt ljusbrytning i atmosfären.

Uppgift 19.

När fullmånen står i zenit (rakt upp på himlen) så ger den en belysning på en horisontell markyta av 0.27 lux.

- a) Hur hög blir belysningen på samma markyta när fullmånen står i en vinkel av 45° över horisonten? Försumma atmosfärens inverkan.
- b) Den enda ljuskällan i en stor hangar utgörs av en 60 W naken glödlampa som hänger i taket. Totala ljusflödet från lampan är 800 lumen, som strålas ut isotropt i alla riktningar. Hur långt från golvet ska lampan hänga för att belysningen på golvet rakt under lampan ska vara lika stor som från fullmånen när den står i zenit? Försumma reflexer i väggar, golv och tak.
- c) Hangaren i uppgift b) har golvytan $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$. 60 W glödlampan hänger i centrum av taket (dvs lika långt från alla väggar) och på den höjd som räknats fram i uppgift b). Vilken blir den lägsta belysningen på golvytan i hangaren?

Uppgift 20.

Du ska spela in ett snabbt förlopp med en höghastighetsvideo som kan ge bildfrekvenser från 25 bilder/s till 2500 bilder/s. Objektivets brännvidd är 30 mm och ljusstyrka 1.4.

Vid ett första försök använder du 25 bilder/s, bländartal 5.6 och en 60 W glödlampa till belysning. Detta ger lagom exponerade bilder. Sedan vill du gå upp till 2500 bilder/s för att se förloppet mera i detalj. Då blir bilderna underexponerade oavsett bländarinställning. Du måste helt enkelt ha mera ljus. På kartongen till 60 W glödlampan står 710 lm (lumen).

I elaffären som du besöker finns lampor märkta 150 W/1800 lm, 250 W/3000 lm och 500 W/6500 lm. Vilken/vilka av dessa lampor är användbara för ditt syfte? (Eller kommer inte någon att fungera?)

Du får anta att exponeringstiden per bild är omvänt proportionell mot bildfrekvensen (antal bilder per sekund). Du får använda valfritt bländartal vid inspelningen.

Uppgift 21.

Solens totala ljusflöde är 2.9×10^{28} lumen, dess radie är 7.0×10^8 m och den befinner sig på avståndet 1.5×10^{11} m från jorden. Du vill fotografera solskivan med en kamera utrustad med ett jättelångt teleobjektiv som har brännvidden 1000 mm, och linsdiametern 100 mm.

- Beräkna hur stort ljusflöde som kommer in genom objektivet om du riktar det rakt mot solen.
- Beräkna hur stor belysningen blir i sensorplanet om vi kan försumma absorptions- och reflektionsförluster inne i objektivet.
- En lämplig exponering för sensorn är 0.10 luxsekunder (exponering är produkten av belysning och exponeringstid). Klarar du detta om kamerans kortaste slutartid är 1/1000 s, eller måste belysningen dämpas med t.ex. gråfilter?

Jordatmosfärens påverkan på ljuset försummas.

Lösningar till talen

1.

- a) Belysningen i sensorplanet är omvänt proportionell mot bländartalet i kvadrat.
- b) Belysningen beror inte på exponeringstiden. Exponeringstiden är den tid sensorn utsätts för belysning.
- c) Belysningen i sensorplanet beror (för motivavstånd \gg brännvidden) bara på luminansen och bländartalet, alltså inte på motivavståndet.

2.

- a) Vid bländartal 2.0 har vi $\left(\frac{11}{2.0}\right)^2 = 30$ gånger större ljusflöde in genom objektivet än vid bländartal 11, vilket innebär att belysningen blir så många gånger högre. Faktorn som efterfrågas är alltså 30. (Är man van att räkna i bländarsteg får man 5 steg mellan 2.0 och 11, vilket innebär en faktor $2^5 = 32$ i belysning. Skillnaden mellan 30 och 32 beror på att bländartalen som anges på kameran är avrundade till 2 siffrors noggrannhet.)
- b) Genom bländaren kan belysningen varieras med en faktor 32. Exponeringstiden kan varieras med en faktor 10 000. Totalt kan alltså exponeringen (produkten av belysning och tid) varieras med en faktor $32 \times 10000 = 3.2 \times 10^5$.
- c) Exempelvis: 1/100 sek. och bländartal 8, 1/50 sek. och bländartal 11, 1/200 sek. och bländartal 5.6.
- d) Stor bländaröppning och kort tid är bra när man vill undvika rörelseoskärpa, t.ex. om man vill fotografera bilar som kör på en motorväg utan att dom ser suddiga ut. Liten bländaröppning och lång tid är bra för att få stort skärpedjup, t.ex. för att fotografera en vacker liten blomma i förgrunden och samtidigt få med de avlägsna bergen i bakgrunden (och allt ska se skarpt ut).

3.

Luminansen är ett mått på motivets ljushet. Höga luminansvärden, dvs långt åt höger på x-axeln, motsvarar ljusa partier (flickans ansikte), och låga värden, långt åt vänster, motsvarar mörka partier (katten i skuggan). Höga D_p -värden svarar mot en mörk pappersbild, och låga värden svarar mot en ljus bild. Lutningen på kurvorna är ett mått på kontrasten, dvs hur väl man kan se små luminansskillnader i motivet.

a) Papperskopiorna visar en positiv bild av motivet. Hög motivluminans (ljus motiv) ger nämligen låg svärtning på papperet (ljus bild).

b-d) Det första vi kan konstatera är att fallet 1 ger högre svärtningsvärden, dvs mörkare bild, rent generell. Speciellt stor är skillnaden i mellanljusa motivdelar där fallet 1 ger en betydligt mörkare bild.

Kontrasten är ungefär lika hög i kurvornas mittpartier (ungefär samma lutning), vilket innebär att i mellanljusa motivdelar så framträder små luminansvariationer ungefär lika tydligt (men, som sagt, bilden 1 är betydligt mörkare).

I mörka partier har kurva 1 betydligt lägre kontrast än kurva 2. Man kommer därför att kunna urskilja katten betydligt tydligare i bilden 2 än i bilden 1.

Motsatta förhållandet gäller i ljusa partier. Här har kurva 1 betydligt högre kontrast än kurva 2. Vi kan därför förvänta oss att flickans fräknar framträder tydligast i bilden 1.

4.

Beteckningar: a = motivavstånd, b = bildavstånd, f = brännvidd.

Linsformeln: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$

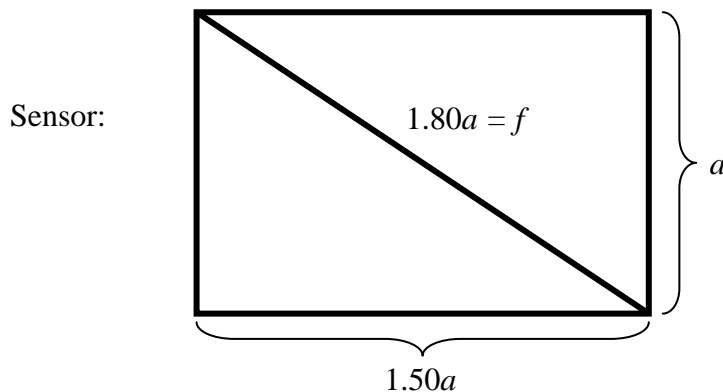
Med mellanring och, objektiv inställt på ∞ motivavstånd, så gäller att $b = f + d$.

Avbildningsskalan, $M = \frac{b}{a} = \frac{b}{f} - 1 = \{b = f + d\} = \frac{d}{f}$

$f = 35 \text{ mm}$ ger $M = \frac{65 \times 10^{-3}}{35 \times 10^{-3}} = 1.9$, dvs. förstoringfaktor $1.9\times$.

$f = 90 \text{ mm}$ ger $M = \frac{65 \times 10^{-3}}{90 \times 10^{-3}} = 0.72$, dvs. förstoringfaktor $0.72\times$.

5.



Förstoringsgraden från sensor till pappersbild, $M = \frac{0.10}{a}$.

Korrekt betraktningssavstånd, $s = M \times f = \frac{0.10}{a} \times 1.80a = 0.18 \text{ m} = 18 \text{ cm}$.

Vi har alltså visat att perspektivistiskt korrekt betraktningssavstånd är 18 cm om vi väljer en brännvidd som är lika med sensorns diagonal (oberoende av sensorstorlek).

6.

Betraktningssavståndet, s , ska vara $M \cdot f$, där M är förstoringen sensor-till-slutbild och f är kameraobjektivets brännvidd.

Vi får $s = \frac{0.60}{8.0 \times 10^{-3}} \cdot 8.0 \times 10^{-3} = 0.60 \text{ m}$.

Soffan står alltså för långt från TV-skärmen, vilket ger en överdriven djupverkan och därmed också ett överdrivet intryck av fart.

7.

För att få rätt perspektiv ska ormen på tidningsbilden synas under samma synvinkel som när man betraktar den från fotograferingsplatsen. Inför följande beteckningar: H = ormens storlek i verkligheten (1 meter), a = motivavståndet (får inte bli mindre än 5 meter!), h = storleken på tidningsbilden (15 cm), s = avståndet vid betraktning av tidningsbilden (25 cm). Villkoret om samma synvinklar ger direkt att $\frac{H}{a} = \frac{h}{s}$. Med insatta värden på H , h och s får vi direkt $a = 1.7$ meter. Du kan alltså inte acceptera uppdraget oberoende av vilken utrustning du använder.

8.

Efter x skiftsteg har ursprungliga laddningsmängden minskat till $(cte)^x$. För en 2000×2000 matris kommer det pixelvärde, s_1 , som läses ut först att ha skiftats 2 steg, och det som läses ut sist, s_2 , att ha skiftats 4000 steg. I bägge fallen var ursprungsvärdet, s_0 , detsamma. Vi får följande ekvationer:

$$s_1 = s_0 \cdot (cte)^2; \quad s_2 = s_0 \cdot (cte)^{4000}; \quad \frac{s_2}{s_1} = (cte)^{3998} = \frac{187}{200} = 0.935 \Rightarrow cte = 0.999983$$

9.

- I fotografiska filmen finns tre emulsionsskikt lagda på varandra som en sandwich. Dessa skikt registrerar (uppifrån och ned) blått, grönt och rött ljus. Detta uppnås genom olika spektral sensitivering av skikten plus ett gulfilter mellan blå- och grönkänsliga skikten (all film är av naturen blåkänslig).
- I CCD-sensorn täcks olika detektorelement av olika färgade filter. Sålunda detekterar vissa pixlar bara blått ljus, medan andra bara detekterar grönt eller rött ljus.
- I en framkallad färgfilm har vi tre färgfilterskikt lagda på varandra. Dessa har (uppifrån och ned) färgerna gult, magenta och cyan. Beroende på hur mycket färgämne som bildas i de olika skikten vid framkallningen får man olika färgtoner. Ett område i filmen kommer i genomlysning att se rött ut om blått och grönt ljus absorberas. Denna absorption sker i gult respektive magenta färgämne. På motsvarande sätt får man blått genom att grönt och rött absorberas i magenta och cyan färgämnen.
- Negativfilmen återger motivets komplementfärger. Detta innebär att de röda och blå områdena i filmen motsvarar motivdelar som är cyanfärgade (blågröna) och gula.
- I CCD-sensorn kommer man i varje detektorelement (pixel) bara att detektera en färgkomponent (blått, grönt eller rött). Övriga färgkomponenter interpoleras fram ur grannpixlarnas värden, vilket naturligtvis innebär en approximation. Speciellt vid kanter kan detta bli synligt som felaktigt färgade pixlar om man förstör upp bilden.

10.

- Lågan på ett stearinljus har en låg temperatur (betydligt lägre än glödlampans tråd) och har alltså en ännu större snedfördelning mellan styrkan på röda och blå våglängder. Av de alternativ som anges ligger "Glödlampan" närmast stearinljusets färgtemperatur, och den kommer alltså att ge bäst färgåtergivning.
- Även om man använder "glödlampsinställning" kan man förvänta sig att färgskalan kommer att vara ganska kraftigt förskjuten mot röd-orange eftersom stearinljuset har en lägre färgtemperatur än glödlampan. Men detta kan vara önskvärt för att få rätt "stämning" i bilden.

11.

Fotografier tagna i eldsken: Ljuset från elden innehåller lite av blått ljus, men däremot mycket rött ljus. Blåfärgade partier reflekterar bara (det svaga) blå ljuset, och kommer därför att återges som en mörk gråton på den slutliga bilden. Röda dräktpartier reflekterar (det starka) röda ljuset, och kommer därför att återges som en ljus gråton på den slutliga bilden.

Fotografier tagna i utomhusskuggan: Här blir förhållandena de omvända. Ljuset innehåller mycket blått (som reflekteras av blå partier) och lite rött (som reflekteras av röda partier). Därför kommer blå dräktpartier att se ljusa ut medan röda ser mörka ut.

Gråa partier kommer däremot att återges likadant oberoende av ljuskällans färgtemperatur. Detta eftersom alla våglängder reflekteras lika mycket av en grå yta.

12.

Av figuren framgår att vi har 26 mönsterperioder på 6.0 cm, vilket ger en ortsfrekvens $v_{\text{mönster}} = \frac{26}{60} = 0.433 \text{ mm}^{-1}$. Mönstertätheterna i filmplanet vid fotografering på olika avstånd ges av.

$$2.0 \text{ m avstånd: } v_{\text{film}} = 0.433 \times \frac{2.0}{0.050} = 17 \text{ mm}^{-1}.$$

$$5.0 \text{ m avstånd: } v_{\text{film}} = 0.433 \times \frac{5.0}{0.050} = 43 \text{ mm}^{-1}.$$

$$9.0 \text{ m avstånd: } v_{\text{film}} = 0.433 \times \frac{9.0}{0.050} = 78 \text{ mm}^{-1}.$$

(Eftersom motivavståndet är \gg brännvidden kan vi anta att bildavståndet \approx brännvidden.)

Total $MTF = MTF_{\text{optik}} \times MTF_{\text{film}}$. Om vi gör en grov uppskattning ur figurerna får vi att

$$MTF(17 \text{ mm}^{-1}) \approx 0.7, MTF(43 \text{ mm}^{-1}) \approx 0.2 \text{ och } MTF(78 \text{ mm}^{-1}) = 0.$$

Detta betyder att vi för ortsfrekvenserna 17 och 43 mm^{-1} (svarande mot fotograferingsavstånden 2.0 och 5.0 m) kan förvänta oss att se linjemönstret (men kontrasten blir lägre för 5 meters fotograferingsavstånd). Vid MTF -värde noll syns naturligtvis inget alls, så på 9-metersfotot syns inget linjemönster.

13.

I fall B är sensorstorleken precis dubbelt så stora som i fall A. När man fotograferar ett motiv så att det upptar precis hela sensorytan i de bägge fallen, så kommer ett linjemönster i motivet att få precis dubbelt så hög ortsfrekvens i sensorplanet i fall A som i fall B. Detta betyder att när man tittar på MTF -kurvorna så ska man jämföra B-kurvans MTF -värden med A-kurvans värden vid dubbelt så hög ortsfrekvens i sensorplanet.

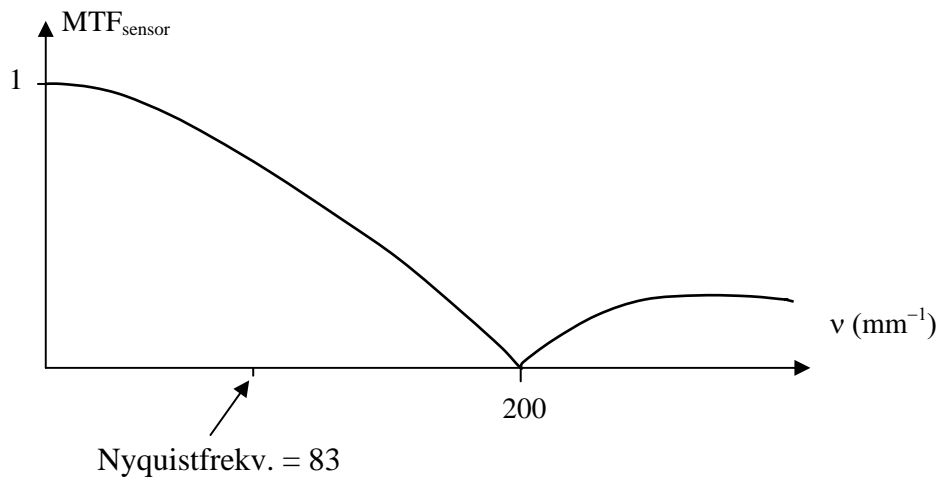
En hastig blick på kurvorna vid 3 ortsfrekvenser ger då resultat enl. nedan:

Ortsfrekv. (mm^{-1})	MTF_A	MTF_B
A:40/B:20	0.85	0.92
A:80/B:40	0.53	0.72
A:120/B:60	0.24	0.48

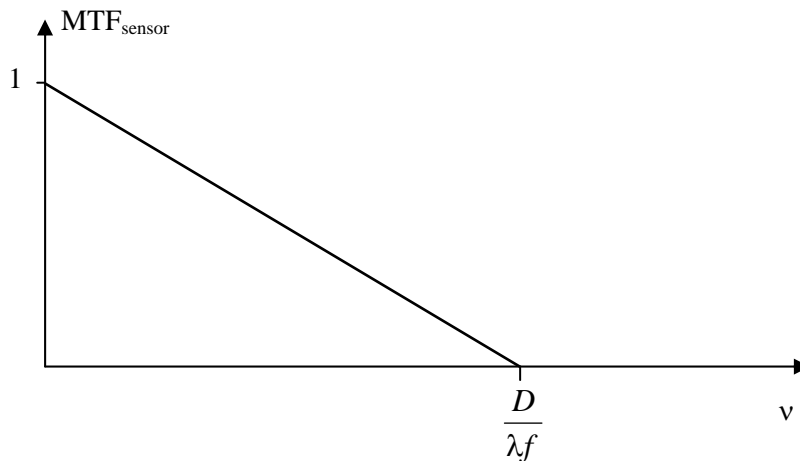
Man ser att fallet B hela tiden ger klart högre MTF -värden, och kommer därför att ge bilder som visar motivets delar med bättre skärpa.

14.

Den högsta ortsfrekvensen som korrekt kan registreras (Nyquistfrekvensen) är lika med halva samplingfrekvensen (dvs. antalet samplingpunkter per längdenhet). Centrum-till-centrum avstånd $6.0 \mu\text{m}$ innebär en samplingfrekvens av $\frac{1}{6.0 \times 10^{-6}} = 1.67 \times 10^5 \text{ m}^{-1}$, vilket ger en Nyquistfrekvens av $\frac{1.67 \times 10^5}{2} = 8.3 \times 10^4 \text{ m}^{-1}$. För att inte få aliasing krävs att systemets totala MTF är noll för ortsfrekvenser $> 8.3 \times 10^4 \text{ m}^{-1} = 83 \text{ mm}^{-1}$. $\text{MTF}_{\text{total}} = \text{MTF}_{\text{optik}} \cdot \text{MTF}_{\text{sensor}} \cdot \text{MTF}_{\text{sensor}}$ ges av $\left| \frac{\sin(\pi v \cdot 5.0 \times 10^{-6})}{\pi v \cdot 5.0 \times 10^{-6}} \right|$, vilket finns schematiskt illustrerat i figuren nedan



Som synes sträcker sig $\text{MTF}_{\text{sensor}}$ upp till betydligt högre frekvenser än Nyquistgränsen. Vi måste alltså se till att $\text{MTF}_{\text{optik}}$ har en gränshfrekvens som är lägre än Nyquistfrekvensen. $\text{MTF}_{\text{optik}}$ ges enligt formeln i talet av kurvan nedan



För att inte få aliasing krävs alltså att $\frac{D}{\lambda f} < 8.3 \times 10^4$, vilket för $\lambda = 550 \text{ nm}$ ger att $\frac{f}{D} =$ bländartalet ska vara ≥ 22 . Detta innebär att vi har bländat ner kraftigt så att diffraktionen ger en så suddig bild att inga ortsfrekvenser över Nyquistgränsen finns med i bilden.

15.

För korrekt registrering måste vi ha > 2 sensorpixlar per period av mönstret som avbildas på sensorn. Detta innebär en periodlängd (= svart + vit linje) $> 2 \cdot 5.5 \times 10^{-6} = 1.1 \times 10^{-5}$ m.

Motivets mönsterperiod = $120 \mu\text{m} = 1.2 \times 10^{-4}$ m. Avbildningsskalan blir således,

$$M > \frac{1.1 \times 10^{-5}}{1.2 \times 10^{-4}} = 0.092.$$

För stora motivavstånd gäller approximativt $M = \frac{f}{a} > 0.092$, vilket ger

$$a < \frac{f}{M} = \frac{60 \times 10^{-3}}{0.092} = 0.65 \text{ m. Vid } a \approx 0.65 \text{ m kan vi alltså börja förvänta oss moiré-effekter.}$$

(Om man använder exakta formeln $M = \frac{b}{a}$ så blir villkoret istället att $a < 71$ cm.)

16.

IR-bilderna visar alla ”färger” förskjutna ”ett snäpp” åt kortare våglängder.

- Vitt = blått + grönt + rött motsvarar grönt + rött + IR, dvs gul färg. Men eftersom en eventuell blåkomponent inte registreras kan det istället ha varit blått + grönt + rött + IR, dvs. vitt.
- Grönt i bilden svarar mot rött i verkligheten (Aj, aj!)
- Svart medför att varken grönt, rött eller IR fanns med i motivet. Bilen kan ha varit svart eller (rent) blå.
- Blått svarar mot grön färg i motivet (eller det kan ha varit cyan eftersom blått inte registreras).

17.

Avbildningsskalan $M = \frac{f}{a} = \frac{50 \times 10^{-3}}{2000} = 2.5 \times 10^{-5}$. En pixel ($10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$) motsvarar då

en fyrkant på marken med kantlängden $\frac{10 \times 10^{-6}}{2.5 \times 10^{-5}} = 0.40$ m, dvs med arean 0.16 m^2 . Vi får:

$$\text{Råg-arealen} = 1.2 \times 10^6 \times 0.16 = 1.92 \times 10^5 \text{ m}^2 = 19 \text{ ha.}$$

$$\text{Raps-arealen} = 6.3 \times 10^5 \times 0.16 = 1.01 \times 10^5 \text{ m}^2 = 10 \text{ ha.}$$

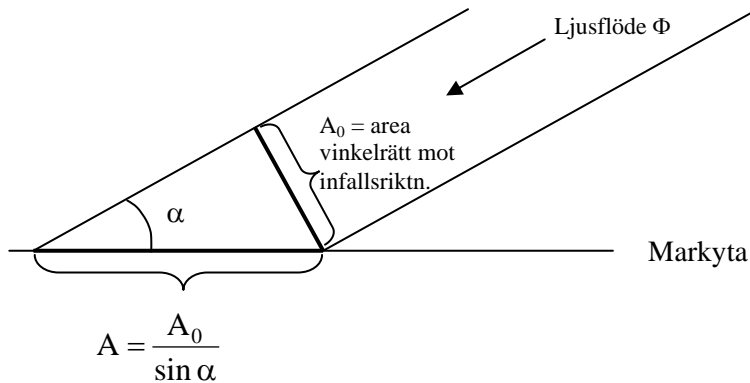
$$\text{Hampa-arealen} = 1.2 \times 10^3 \times 0.16 = 192 \text{ m}^2 = 0.019 \text{ ha.}$$

Uppgift 18.

När det utsända ljusflödet, Φ_0 , fördelar sig jämnt över en sfärisk yta vars radie är lika med avståndet

till jorden blir belysningen $E_0 = \frac{\Phi_0}{4\pi r^2} = \frac{2.9 \times 10^{28}}{4\pi(1.5 \times 10^{11})^2} = 1.03 \times 10^5$ lux. Detta blir alltså

belysningen på jordytan vid vinkelrätt infall, dvs när solen står i zenit. När solen istället står vinkeln α över horisonten kommer ljusflödet att fördela sig över en större yta enl. figuren.



Vi får för godtycklig solvinkel över horisonten en belysning:

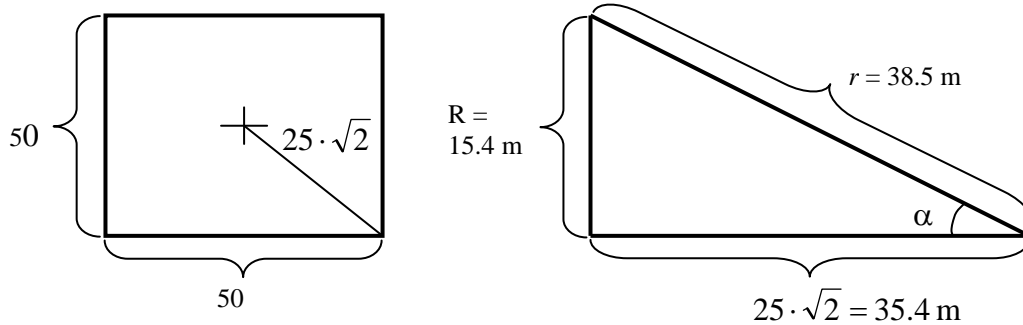
$$E = \frac{\Phi}{A} = \frac{\Phi \sin \alpha}{A_0} = E_0 \sin \alpha = 1.0 \times 10^5 \cdot \sin \alpha \text{ [lux]}$$

Uppgift 19.

- a) När månen står 45° över horisonten så sprids ljusflödet ut över en $\sqrt{2}$ gånger så stor yta som när den står i zenit. Belysningen, dvs ljusflöde per ytenhet, blir därför $1/\sqrt{2}$ gånger så stort, dvs $E = \frac{0.27}{\sqrt{2}} = 0.19$ lux.

- b) Antag att lampans avstånd från golvet är R . Ljusflödet $\Phi = 800$ lumen utspritt jämnt över en sfär med radien R ska då ge en belysning av 0.27 lux. Vi får $E = \frac{\Phi}{4\pi R^2} \Rightarrow R = \sqrt{\frac{\Phi}{4\pi E}} = \sqrt{\frac{800}{4\pi \cdot 0.27}} = 15.355$ meter. Lampan ska alltså hänga 15 meter över golvet.

- c) Lägsta belysningen får man längst ut i hörnen av golvet. En lodlinje från lampan träffar golvet på avståndet $25 \cdot \sqrt{2} = 35.355$ m från från hörnet, se figur. En rät linje från lampan till hörnet får längden $r = \sqrt{(15.355)^2 + (35.355)^2} = 38.55$ m, se figur. Belysningen på en yta på detta avstånd, och vinkelrät mot en sammanbindningslinje till lampan, blir $E_0 = \frac{\Phi}{4\pi r^2} = \frac{800}{4\pi(38.55)^2} = 0.0428$ lux. Nu är inte golvytan vinkelrät mot sammanbindningslinjen med lampan, utan bildar en vinkel α , se figur. Vi får då en belysning på golvet av $E = E_0 \cdot \sin \alpha = 0.0428 \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{15.355}{35.355}\right)\right) = 0.017$ lux.



Uppgift 20.

När man ökar bildfrekvensen från 25 till 2500 bilder/s kommer exponeringstiden att minska till en hundradel av det tidigare värdet. För att få samma exponering måste därför belysningen på sensorn öka hundra gånger. Genom att minska bländartalet från 5.6 till 1.4 (4 steg) ökar belysningen 16 gånger. Återstår en faktor $\frac{100}{16} = 6.25$ som måste fixas genom kraftigare belysning av motivet.

Belysningen i sensorplanet kan förväntas vara proportionellt mot lampans ljusflöde*. Vi behöver därför en glödlampa som ger minst 6.25 gånger högre ljusflöde än den ursprungliga, dvs. minst $6.25 \cdot 710 = 4400$ lumen. Detta är uppfyllt för (och endast för) 500 W lampan.

Uppgift 21.

- a) Inför följande beteckningar: Φ_0 = Solens ljusflöde, Φ = Ljusflödet genom linsen, R = Avståndet till solen, R_0 = Solradien och r = Linsradien. På jordens avstånd blir belysningen på en yta vars normal pekar mot solen $E = \frac{\Phi_0}{4\pi R^2}$ lumen/m². Ljusflödet genom linsen blir då

$$\Phi = E \cdot \pi r^2 = \frac{\Phi_0 r^2}{4R^2} = \frac{2.9 \times 10^{28} \cdot (0.050)^2}{4 \cdot (1.5 \times 10^{11})^2} = 806 \text{ lumen. Avrundat till lämpligt antal siffror}$$

får vi, Svar: 8.1×10^2 lumen.

- b) Ljusflödet Φ i a-uppgiften kommer att fördela sig över den optiska bilden av solen i filmplanet. För att veta belysningen måste vi beräkna arean av denna solbild.

Avbildningsskalan från solen till filmplanet ges av $M = \frac{f}{R}$, där f = linsens brännvidd. Radien

i solbilden blir därmed lika med $\frac{R_0 f}{R}$, och dess area blir $\pi \left(\frac{R_0 f}{R} \right)^2$. Belysningen i filmplanet

$$\text{blir därför } E_f = \frac{\Phi}{\pi \left(\frac{R_0 f}{R} \right)^2} = \frac{\Phi_0 r^2}{4\pi R_0^2 f^2} = \frac{2.9 \times 10^{28} \cdot (0.050)^2}{4\pi \cdot (7.0 \times 10^8)^2 \cdot (1.0)^2} = 1.18 \times 10^7 \text{ lux.}$$

Svar: 1.2×10^7 lux.

* Följande resonemang behöver inte ges i lösningen, men tas med för den intresserade:

Belysningsgeometri etc. är konstant eftersom vi bara byter ut glödlampan. Belysningen på motivet blir då direkt prop. mot lampans ljusflöde. Även det reflekterade ljusflödet från motivet blir direkt prop. mot lampans ljusflöde, och därmed kommer också motivluminansen att uppvisa detta beteende. Belysningen i sensorplanet blir i sin tur direkt prop. mot motivluminansen.

- c) Exponeringen, $H = E_f t = 0.10$ luxsekunder. Med $E_f = 1.18 \times 10^7$ lux så får vi $t = 8.5$ ns. Vi måste därför dämpa ljuset med minst en faktor av ca. 10^5 !