



KTH Tillämpad Fysik

Tentamen i

SK1140, Fotografi för medieteknik

SK2380, Teknisk fotografi

2018-05-30, 14-19, FA32, FB53-FB55

Uppgifterna är lika mycket värda poängmässigt och är inte ordnade i svårighetsgrad.
För godkänt krävs 55 % av max. poängtalet.

Det kan hända att data ges som du inte behöver använda för problemets lösande.
Det kan också hända att någon nödvändig data saknas och att du måste anta rimligt värde.

Hjälpmedel: Formelblad "Radiometriska och fotometriska storheter." (bifogad med tentamen)
Miniräknare, Linjal

Observera: Skriv namn på ALLA papper som lämnas in.
Skriv bara på en sida av papperet. (Tentorna kommer att scannas)
Skriv ALDRIG mer än EN lösning per papper.

**Såvida inte annat sägs, motivera alla svar
och förklara alla införda beteckningar,
gärna genom att rita figurer!**

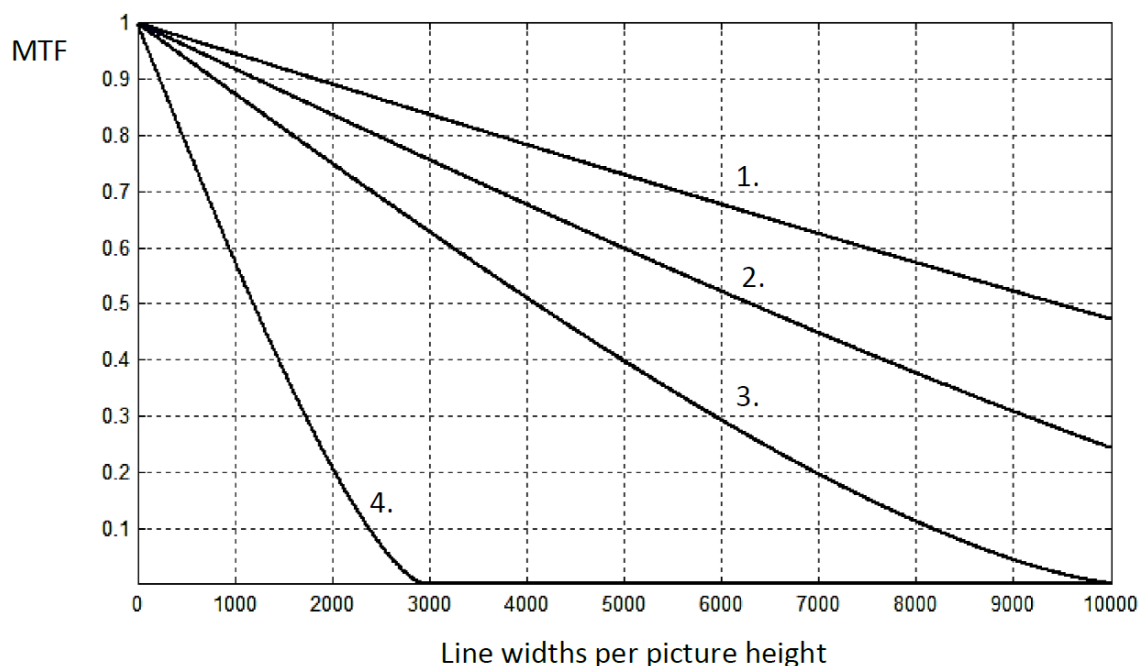
Uppgift 1

Storleken på sensorn är ett intressant mått när man ska utvärdera bildkvalitet för digitala kameror. I figuren nedan visas MTF-kurvor för fyra kameror:

brännvidd	9,0	32	50	60	[mm]
sensorstorlek (höjd x bredd)	4,55 x 6,17	15,6 x 23,5	24 x 36	36 x 48	[mm]

Alla fyra kurvor är uppmätta med diffraktionsbegränsade normalobjektiv vid bländartal 5,6 och motivavstånd 5,0 m. Enheten för ortsfrekvensen i sensorplanet är "line widths per picture height" vilket betyder att den är dubbel så hög jämfört med enheten "linjepar per sensorhöjd".

- Vilken sensorstorlek ger upphov till vilken kurva? Motivera ditt svar!
- Hur ändras ortsfrekvensaxeln om vi istället använder linjepar per mm i sensorplanet? Ange vid vilken ortsfrekvens uttryckt i "linjepar per mm i sensorplanet" som kamerorna motsvarande kurva 1 och 4 har MTF=0,5. Är detta ett bra mått?
- Hur ändras ortsfrekvensaxeln om vi istället använder linjepar per mm i motivplanet? Ange vid vilken ortsfrekvens uttryckt i "linjepar per mm i motivplanet" som kamerorna motsvarande kurva 1 och 4 har MTF=0,5. Är detta ett bra mått?



Uppgift 2

Kameran med störst sensorstorlek (36 mm x 48 mm och brännvidden 60 mm) i uppgiften ovan heter Sinar och har 48 Mpix.

- Utred om det föreligger någon risk för Moiré-effekter för vardera av de fyra MTF-kurvorna ovan, d.v.s. under antagande att just den MTF-kurvan hörde ihop med Sinar kamera.
- Sinar kameran erbjuder möjlighet till mikrostegning, d.v.s. att flera bilder av samma motiv tas i snabb följd med sensorn förflyttad motsvarande en halv pixelkantlängd. Bilderna läggs sedan samman till en bild. Förklara vilken fördel detta har.

Uppgift 3

En tillverkare av led-belysning har nedanstående bilder på sin hemsida för att förklara en viss egenskap hos olika ljuskällor (alla bilderna är alltså tagna med samma kamerainställningar).

- Vilken egenskap hos ljuskällan är det som har ändrats mellan de tre bilderna? Ange enhet och vilken av bild som har högst respektive lägst värde.
- Du har fått i uppdrag av en arkitektbyrå att ta tre liknande fotografier av ett rum för att visa hur det kan se ut med olika belysning (ljuskällor). Problemet är att ljuskällan i detta fall inte går att justera. Vilka inställningar kan du göra på kameran för att simulera samma effekt?
- Hur kommer R, G och B histogrammen att se ut för dessa tre bilder?



ledochled.se

Uppgift 4

Samma bolag som ovan tillverkar även trafikljus. Tabellen nedan anger specifikationer för två trafikljus med olika storlek. Här anges lampornas ”intensitet” (heter egentligen ljusstyrka) i $\text{cd} = \text{candela} = \text{lm/sr}$, d.v.s. ljusflöde per rymdvinkel. Du fotograferar nu de två olika lamporna med en kamera med fullformatssensor tillsammans med ett normal objektiv (50 mm, $F/2 - F/22$). Vid fotograferingstillfället var motivavståndet 4,0 m, bländartalet 8, ISO 800 och exponeringstiden $1/100$ sekunder.

- Hur stor blir belysningen som träffar kameraobjektivets öppning från respektive lampa?
- Vilken lampa ger högst exponering av sensorn? Hur många gånger högre?

Modell	TP100x3	TP300x3
Strålning	Ingen UV eller IR	Ingen UV eller IR
Intensitet	300 cd	800 cd
Diameter lampa	Ø110 mm	Ø302 mm



Uppgift 5

Du har som mål att båda trafikljusen i uppgiften ovan ska se lika ljusa ut i bilden, men det ena är just nu underexponerat. Du väljer därför att istället ta två fotografier, ett på vardera trafikljus. Ge förslag på vilka inställningar du i så fall kan göra. Diskutera vilka skillnader i bildkvalitet de olika inställningarna kan ge! (Saknas svar från 4b kan du anta 2,5 ggr högre exponering.)

Uppgift 6

Du har fått i uppdrag att ta ett foto till en reklambroschyr för Stockholms skärgård. Fotot ska ha en glass i förgrunden och skärgårdsöar i bakgrunden. I broschyren kommer bilden att uppta 12 x 18 cm och temat är ”en närmare skärgård”. Uppdragsgivaren vill därför att det ska se ut som om öarna ligger nära glassen. Du åker ut med färjan en solig dag och har med din fullformatskamera (sensorstorlek 24 mm x 36 mm, 16 megapixlar) och fyra olika objektiv med brännvidderna 36, 50, 80 och 100 mm (alla med bländartalsinställningar från 2,8-22).



- Vilket objektiv ska du välja för att åstadkomma ”en närmare skärgård” i bilden? Motivera!
- För vilka betraktningsavstånd kommer man att uppleva den ”närmare” effekten i bilden i broschyren?

Uppgift 7

Under ditt fotograferingsuppdrag i uppgiften ovan upptäcker du att det är möjligt att få en ännu ”närmare skärgård” effekt om skärpan i bilden är bra både för glassen och för öarna.

- Vilken inställning ska du använda för att få god skärpa över hela bilden? Rita och förklara varför.
- Diskutera och förklara vilka effekter denna inställning kommer att ha på bildkvalitén.

Uppgift 8

Figurerna på nästa sida är ritade i verklig storlek och visar ett zoomobjektiv i sina två extremlägen inklusive strålkonstruktion för ett avlägset motiv med en punkt på optiska axeln och en punkt 20° utanför. Objektivet är konstruerad för en fullformatssensorn (inte utsatt i figurerna).

- Vilken inställning är det som ändras mellan de två extremlägena och vilka värden har den storheten?
- Vad kallas de två extremlägena?
- Vilka för- och nackdelar har ett zoomobjektiv? Beskriv minst en fördel och en nackdel.

Rita i figurerna och ta loss denna sista sida och lämna in tillsammans med dina lösningar (glöm inte att skriva ditt namn och personnummer).

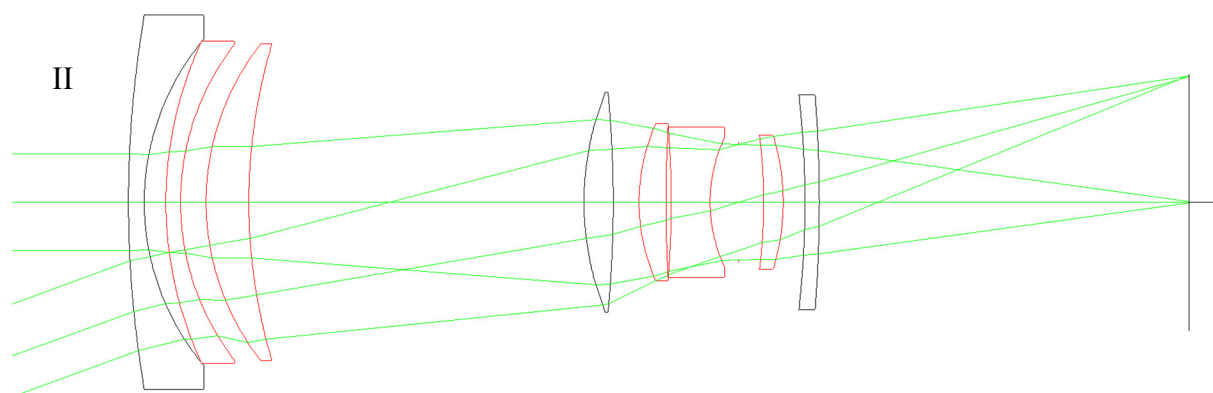
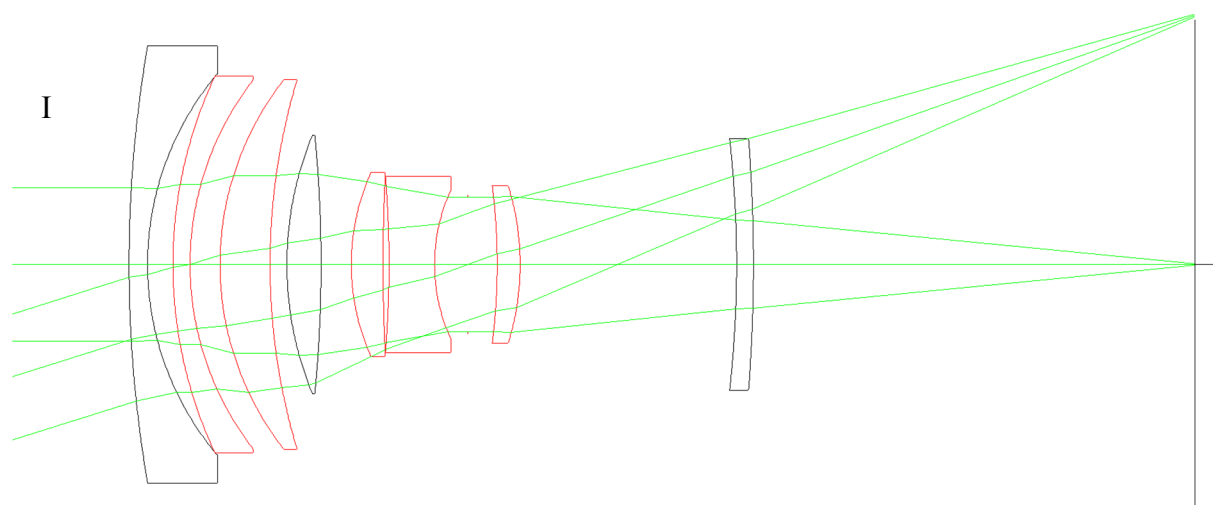
Lycka till!

Linda Lundström

NAMN:

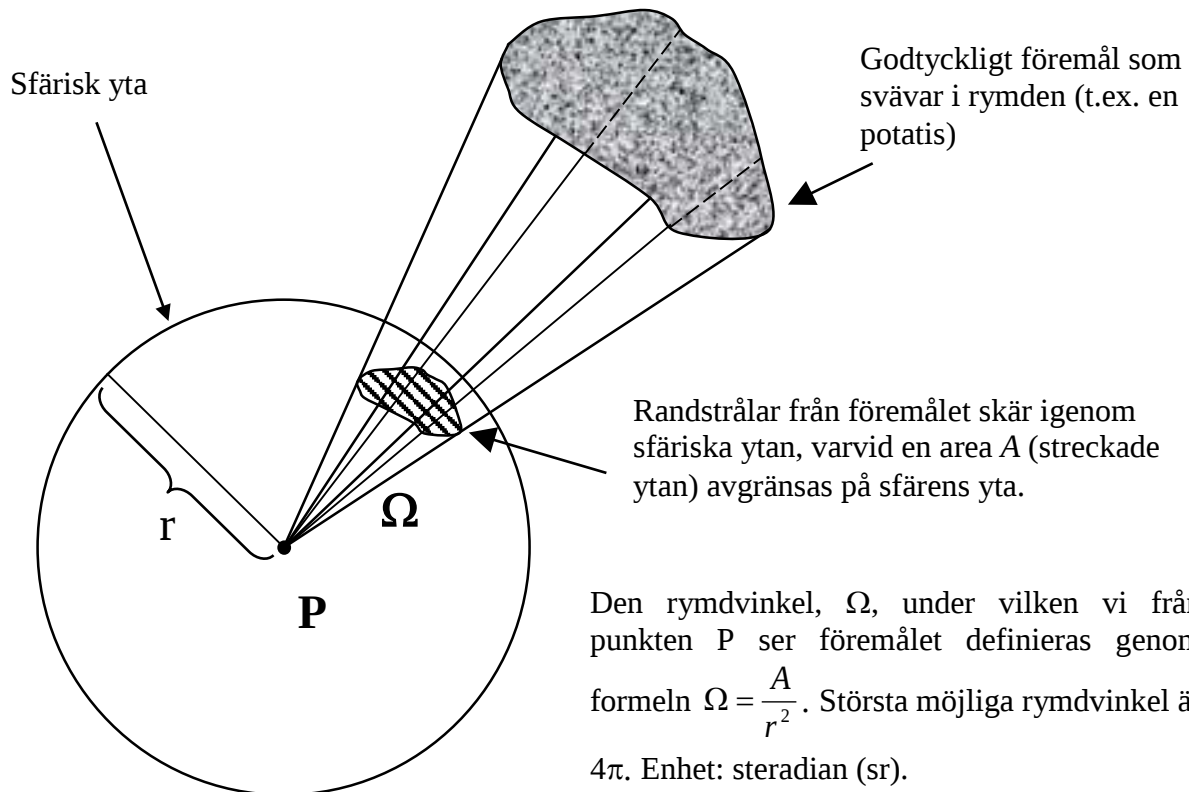
PERSONNUMMER:

Figurer till uppgift 8:



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:

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

För svartkroppsstrålare är

$$R = 1.80 \times 10^{-8} \times T^4, \text{ där } T = \text{temperaturen i Kelvin.}$$

Instrålning:

$$\text{Irradians, } I = \frac{dP}{dA} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

Fotometri

Handlar om hur starkt ögat uppfattar strålningen. Därför omvandlas strålningseffekten med hjälp av ögats spektrala känslighetskurva. Istället för strålningseffekt, får vi då **ljusflöde, Φ** , som har sorten **lumen (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 tentan i SK1140, 180530:

Uppgift 1

- a) Jämför med upplösningsbestämningen i lab 2: stor sensor ger generellt bättre bildkvalitet än en liten sensor, eftersom detaljerna inte behöver förminskas ned lika mycket, och därmed bättre MTF så länge som ortsfrekvensen anges i linjepar per sensorhöjd eller linjepar per mm i motivet (för ett och samma motiv). Alltså är kurva 1=36 x 48 mm, kurva 2=24 x 36 mm, kurva 3=15,6 x 23,5 mm, kurva 4=4,55 x 6,17 mm. (0.4 poäng)
- b) "linjepar per mm i sensorplanet" = "linjepar per sensorhöjd" / "sensorhöjd i mm" och eftersom "line widths per picture height" = 2 * "linjepar per sensorhöjd" blir sambandet: "linjepar per mm i sensorplanet" = "line widths per picture height" / (2 * "sensorhöjd i mm"). Se femte raden i tabellen nedan, med ortsfrekvensen i "linjepar per mm i sensorplanet" ser det ut som om kameran med den minsta sensorn är nästan lika bra som den stora, vilket inte stämmer, så svar: Nej, linjepar per mm i sensorplanet är inte ett bra mått när sensorerna har olika storlek. (0.3 poäng)
- c) "linjepar per mm i motivplanet" = "linjepar per mm i sensorplanet" * M, där avbildningsskalan $M=b/a \approx f/a$ (eftersom $a \gg f$) med $a=5,0$ m och f =brännvidden för respektive kamera. Se sista raden i tabellen nedan, med ortsfrekvensen i "linjepar per mm i motivplanet", ordningen mellan kamerorna stämmer men ortsfrekvensen är beroende av motivavstånd, så svar: Nja, linjepar per mm i motivplanet går att använda som jämförelse mellan kamerorna men är inte lika bra som "linjepar per sensorhöjd". (0.3 poäng)

brännvidd	9,0	32	50	60	[mm]
sensorstorlek	4,55 x 6,17	15,6 x 23,5	24 x 36	36 x 48	[mm]
MTF-kurva	4	3	2	1	
Ortsfrekv för MTF=0,5	1200	4000	6200	9400	[lines/pict height]
Ortsfrekv för MTF=0,5	1200/2/4,55 = 130	4000/2/15,6 = 128	6200/2/24 = 129	9400/2/36 = 131	[mm ⁻¹] på sensor
$M=b/a \approx f/a$	0,0090/5,0	0,032/5,0	0,050/5,0	0,060/5,0	ggr
Ortsfrekv för MTF=0,5	0,24	0,82	1,3	1,6	[mm ⁻¹] i motivet

Uppgift 2

- a) Moiré-effekter kan uppkomma om samplingskriteriet $v_s > 2v$ inte är uppfyllt för alla ortsfrekvenser v där $MTF \neq 0$, d.v.s. ingen risk för Moiré om $MTF = 0$ vid och över Nyquistfrekvensen. Alltså Nyquistfrekvensen = $v_s/2 = 0,5/\text{pixlarnas storlek}$. Pixelstorlek (= centrum-centrum avstånd = pixelkantlängd) fås från $\sqrt{36 \text{ mm} \cdot 48 \text{ mm}/48000000} = 0,006$ mm och samplingsfrekvensen $v_s = 166,7$ pixlar/mm. Alltså är Nyquistfrekvensen = 83,333 linjepar per mm i sensorplanet = $83,333 \cdot 36 = 3000$ linjepar per sensorhöjd = 2 * 3000 line widths per picture height. Vid 6000 line widths per picture height är MTF kurvorna 1-3 $\neq 0$ så där föreligger risk för Moiré, bara kurva 4 har redan gått ner till 0 och löper därmed ingen risk. (Denna utredning gäller svart-vit Moiré, gränsen för att undvika färg-Moiré blir hälften, d.v.s. 3000 line widths per picture height.) (0.6 poäng)
- b) Att flytta sensorn en halv pixelkantlängd för samma bild innebär att bilden samplas dubbelt så tätt. Alltså blir Nyquistfrekvensen dubbelt så hög, 12000 line widths per picture height, vilket minskar risken för Moiré-effekter. (0.4 poäng)

Uppgift 3

- a) Ljuskällans färgtemperatur har ändrats. Färgtemperatur mäts i Kelvin och motsvarar temperaturen hos en svartkroppsstrålare för att ge liknande spektrum. Bild 1 är blåaktig (mest energirik strålning) och har därmed högst färgtemperatur (kanske runt 5000-6000 K). Bild 3 är rödaktig och har därmed lägst färgtemperatur (kanske ner mot 1500 K). (0.4 poäng)
- b) Ändra kamerans vitbalans inställning: Om vi antar att belysningen är lysrör, så kan man få bild 1 genom att ställa in en vitbalans med lägre färgtemperatur (t.ex. glödlampa), så att blåkanalen förstärks mer. På motsvarande sätt kan bild 3 fås genom att ställa in en vitbalans med högre färgtemperatur (t.ex. dagsljus), så att rödkanalen förstärks mer. Bild 2 kan antingen vara rätt vitbalans eller bara lite högre färgtemperatur (ser gul ut). (0.3 poäng)
- c) Bild 1 har låga pixelvärden i rött och höga i blått:

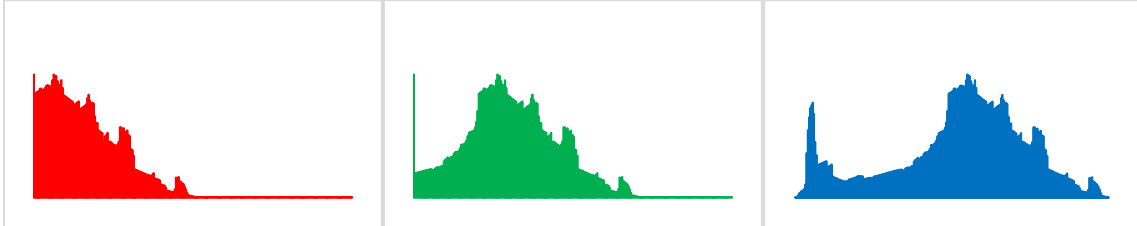


Bild 2 ganska lika i alla tre kanaler:

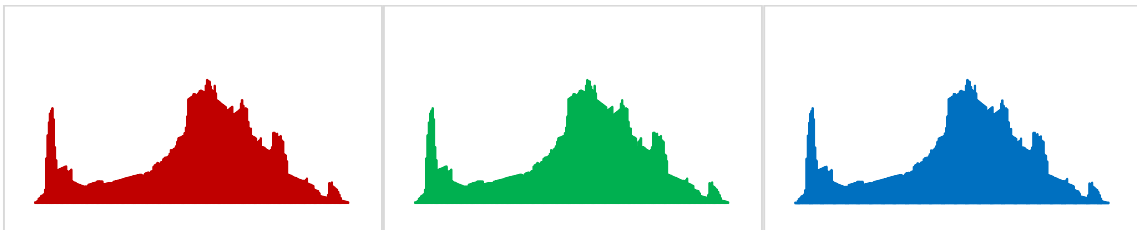
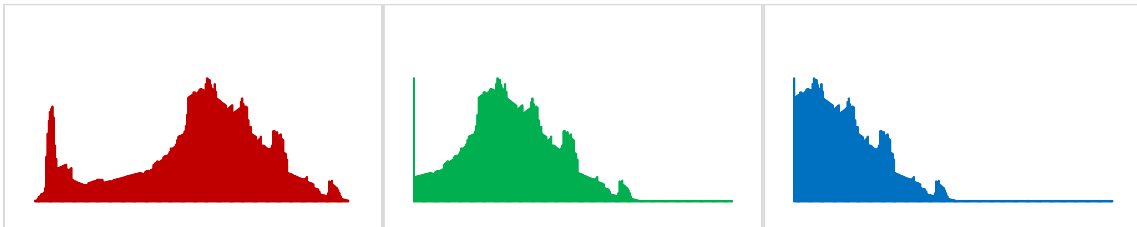


Bild 3 har höga pixelvärden i rött och låga i blått:



Det är även ok att visa en överexponering av blått i Bild 1 och av rött i Bild 3. (0.3 poäng)

Uppgift 4

Lösningen nedan antar att diametern och ljusstyrkan är given för 1 lampa och att endast 1 lampa (t.ex. grönt) är tänd i taget på vardera trafikljus (andra antaganden är också ok).

- a) Söker belysningen från trafikljuset mot kamerobjektivet $E_{\text{objektiv}} = d\Phi / A_{\text{objektiv}}$. $d\Phi$ är det antal lumen som träffar objektivet och kan fås fram ur ljusstyrkan I eftersom $I = d\Phi / \Omega_{\text{objektiv}}$. Utifrån trafikljuset utgör kameraobjektivet en rymdvinkel av $\Omega_{\text{objektiv}} = A_{\text{objektiv}} / a^2$ (med a =motivavstånd). Alltså blir $E_{\text{objektiv}} = d\Phi / A_{\text{objektiv}} = I * \Omega_{\text{objektiv}} / A_{\text{objektiv}} = I * A_{\text{objektiv}} / (a^2 * A_{\text{objektiv}}) = I / a^2$. Med $a=4,0$ och $I=300$ cd ger TP100x3 $E_{\text{objektiv}} = 19$ lux och TP300x3 med $I=800$ cd ger $E_{\text{objektiv}} = 50$ lux. (Se tabell på nästa sida) (0.5 poäng)
- b) Exponeringen $H = E_{\text{sensor}} * t$ där t är samma för båda lamporna. **Alt 1:** $E_{\text{sensor}} = d\Phi / A_{\text{bild}}$. Eftersom lamp-diametrarna är olika stora med en faktor 110/302 så blir $A_{\text{bild100}} / A_{\text{bild300}}$

$= (110/302)^2$. Från a-uppgiften vet vi att $d\Phi = I * \Omega_{\text{objektiv}}$ och $d\Phi_{100} / d\Phi_{300} = 300/800$ (samma Ω_{objektiv}). Alltså blir $E_{\text{sensor100}} / E_{\text{sensor300}} = 300/800 / ((110/302)^2) = 2,8$ och TP100x3 lampen ger 2,8 ggr högre exponering än TP300x3. **Alt 2:** E_{sensor} är proportionell mot luminansen L i enheten $\text{lm}/(\text{m}^2\text{sr})$, I är i lm/sr så $L = I/\text{lampans area}$. Så $E_{\text{sensor100}} / E_{\text{sensor300}} = L_{\text{sensor100}} / L_{\text{sensor300}} = 300/800 / ((110/302)^2) = 2,8$. (0.5 poäng)

Modell	TP100x3	TP300x3
Ljusstyrka I	300 cd	800 cd
Diameter lampa	Ø110 mm	Ø302 mm
Objektivets diameter	$50 \text{ mm} / 8 = 6,25 \text{ mm}$	
A_{objektiv}	$\pi * (0,00625/2)^2 = 3,07 * 10^{-5} \text{ m}^2$	
Ω_{objektiv}	$3,07 * 10^{-5} \text{ m}^2 / 4^2 = 1,92 * 10^{-6} \text{ sr}$	
$d\Phi = I * \Omega_{\text{objektiv}}$	$5,76 * 10^{-4} \text{ lm}$	$1,54 * 10^{-3} \text{ lm}$
$E_{\text{objektiv}} = d\Phi / A_{\text{objektiv}}$	19 lux	50 lux
Lamp area	$0,0095 \text{ m}^2$	$0,072 \text{ m}^2$
Avbildningsskala	$M = b/a \approx f/a = 0,050 \text{ m} / 4,0 \text{ m} = 0,0125$	
$E_{\text{sensor}} = d\Phi / (M^2 * \text{lamp area})$	388 lux	137 lux
$L_{\text{sensor100}}$	$32000 \text{ lm}/(\text{m}^2\text{sr})$	$11000 \text{ lm}/(\text{m}^2\text{sr})$

Uppgift 5

Den ena bilden behöver bli 2,8 (2,5) ggr ljusare. Tre möjligheter finns som påverkar exponeringen av sensorn, $H = E * t$ (bländartal och exponeringstid) eller den elektroniska förstärkningen (ISO):

Bländartal (F): kan minskas från 8 till 5,6 vilket skulle öka belysningen (E) på sensorn med en faktor 2 ggr (1 steg , $8^2/5,6^2$). Detta lär inte påverka bildkvaliteten nämnvärt eftersom bra objektiv är nästintill diffraktionsbegränsade för både $F=5,6$ och 8. Däremot kommer skärpedjupet att bli något kortare med $F=5,6$, men om lamporna befinner sig i samma plan kan detta accepteras.

Exponeringstid (t): kan förlängas, dock bör man inte överstiga 1/50 sekunder (1/brännvidden) på grund av skakningsoskärpa i fall kameran hålls för hand. En ökning med $2,8/2=1,4$ (1,25) ggr d.v.s. från 1/100 till ca 1/70 (1/80) går bra.

ISO: Bör helst inte höjas mer för att undvika brus och lågt SNR i de mörka delarna av bilden. Bättre att ändra F och t så som beskrivits ovan (om istället enbart ISO ändras skulle det behövs $\text{ISO} \geq 2\,000$, eftersom ISO skalan är linjär).

Uppgift 6

a) "ska se ut som om öarna ligger nära glassen" innebär att perspektivet ska vara så platt som möjligt. Ett platt perspektiv i den utskrivna bilden fås med längsta brännvidden, d.v.s. 100 mm objektiv, detta gäller för alla betraktningsskäl. (0.4 poäng)

b) Djupintrycket i bilden blir plattare än i verkligheten om bilden betraktas ifrån ett avstånd som är kortare än avståndet s för korrekt perspektiv. Avståndet s är det avstånd som ger samma synvinkel från bild till öga som från motiv till kamera och från kamerans objektiv till sensorn: $\text{synvinkel} = \text{sensorhöjd} / f = 24 \text{ mm} / 100 \text{ mm} = \text{bildhöjd} / s = (12 \text{ cm}) / s$ ger $s = 50 \text{ cm}$ (funkar lika bra att räkna på sensorbredd och bildbredd). Betraktningsskäl kortare än 50 cm ger alltså plattare och "närmare" intryck i bilden än vad det var i verkligheten, vilket verkar praktiskt användbart eftersom normalt läsavstånd oftast är kortare än så. (0.6 poäng)

Uppgift 7

- a) Bra skärpa både i förgrunden (glassen) och i den avlägsna bakgrunden (öarna) innebär att ett stort skärpedjup behövs. Skärpedjupet regleras med bländartalet och ett högt bländartal (liten öppning) ger stort skärpedjup. Alltså $F=22$ och hyperfokalinställning används med fördel. Figur liknande fig. 10.3 i kompendiet för att visa effekten av bländartal på skärpedjup. (0.5 poäng)
- b) Förutom skärpedjupet så påverkar bländartalet skärpan och exponeringen. **Bildskärpan** ändras genom att suddigheten p.g.a. avbildningsfel minskar samtidigt som suddigheten p.g.a. diffraktion ökar och blir helt dominerande vid $F=22$ (se avsnitt 15.10 i kompendiet). Detta sänker upplösningen och MTF-kurvan jämfört med mer normala bländartal som t.ex. $F=5,6$. **Exponeringen** av bilden blir lägre eftersom belysning på sensorn blir lägre för högre F (se ekv. 9.9 i kompendiet). Om man ändrar från $F=5,6$ till $F=22$ kommer belysningen bli ca 16 ggr (4 steg, $22^2/5,6^2$) lägre. Detta måste kompenseras antingen genom att förlänga exponeringstiden = risk för rörelseoskärpa (16 ggr längre tid) eller höja ISO = risk för lägre SNR och mer brus (höja ISO 16 ggr minskar antalet fotoner med en faktor $1/16$ och SNR med en faktor $1/\sqrt{16} = 0,25$). (0.5 poäng)

Uppgift 8

- a) Objektivets brännvidd f ändras. **Alt 1:** Brännvidden anges från objektivets bakre huvudplan till bakre fokuspunkt. Huvudplanet fås fram genom att se var inkommande och utgående strålar ser ut att ha brutits och fokuspunkten är där utgående strålar samlas till en bild (fig 6.3 i kompendiet). Genom att rita och mäta i figuren fås brännvidden i figur I till ca 100 mm och i figur II till ca 45 mm. **Alt 2:** Bildstorleken (B) för det avlägsna motivet kan fås från vinkeln på det infallande ljuset eftersom $\tan(20^\circ) = B/f$. Genom att mäta i figuren fås $B \approx 32$ mm och $f \approx 90$ mm i figur I och $B \approx 16$ mm och $f \approx 44$ mm i figur II. (0.4 poäng)
- b) Jämför brännvidd med sensors diagonalmått $D = 43,3$ mm för en fullformatssensor. Figur I har $f/D > 2$ och agerar därmed teleobjektiv ("Tele-läge"). Figur II har $f/D \approx 1$ och agerar därmed normalobjektiv ("Normal-läge"). (0.2 poäng)
- c) Fördelar jämfört med objektiv med fast brännvidd: Behöver ej byta objektiv för att ändra brännvidd och har därmed möjlighet att enkelt variera avbildningsskala och perspektiv i många olika steg. Nackdelar jämfört med objektiv med fast brännvidd: Zoomobjektivet är svårare att designa optiskt eftersom den ska fungera i så många olika konfigurationer, vilket gör att det består av fler linser (=dyrare, tyngre, mer ströljus) och inte kan ge lika bra bildkvalitet eller erbjuda lika låga bländartal. Se avsnitt 6.5 i kompendiet för mer utförlig förklaring. (0.4 poäng)