

Žarnice in sijalke

↓↓↓

PETER LEGIŠA

→

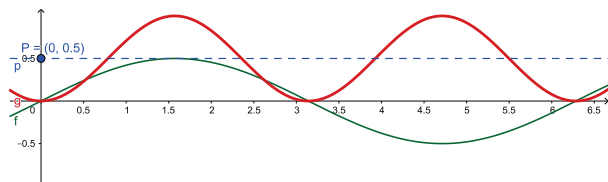
Izmenični tok in utripanje svetlobe

Skozi upornik, priključen na izmenično sinusno napetost $U(t) = U_0 \sin(\omega t)$ s frekvenco ν in krožno frekvenco $\omega = 2\pi\nu$, teče tok $I = U/R$, kjer je R upor. Moč na uporniku je

$$\blacksquare P = UI = U^2/R = (1/R)U_0^2 \sin^2(\omega t)$$

in zato se upornik greje. Vemo, da je $2 \sin^2 x = 1 - \cos(2x)$. Če pišemo $x = \omega t = 2\pi\nu t$, je $\sin^2(\omega t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos(2\omega t)$ in tako

$$\blacksquare P = \frac{U_0^2}{2R} (1 - \cos(4\pi\nu t)). \quad (1)$$



SLIKA 1.

Graf funkcij $f(t) = 0,5 \sin t$ (zeleno) in $g(t) = \sin^2 t$ (rdeče).

Tako moč niha s frekvenco 2ν . Ker ima funkcija $t \mapsto \cos(4\pi\nu t)$ (kot vsako kosinusno nihanje) povprečno vrednost 0, vidimo, da je povprečna vrednost moči enaka $(1/2R)U_0^2$. Oglejmo si to še bolj nazorno. Na sliki 1 je zeleno narisana graf funkcije $f(t) = 1/2 \sin t$. Vidimo, ko sinus napravi en poln nihaj, napravi njegov kvadrat dva. Vidimo tudi, da je v enem polnem nihaju povprečna vrednost funkcije $g(t) = \sin^2 t$ enaka $1/2$. Če si namreč ogledamo ploščine med modro črtkano črto in rdečim grafom za g , imajo deli pod črto enako ploščino kot deli nad

to modro črto. Enako velja za povprečno vrednost funkcije $t \mapsto \sin^2(\omega t)$, saj njen graf dobimo tako, da graf za g razegnemo ali skrčimo v vodoravni smeri. Torej je povprečna vrednost moči enaka

$$\blacksquare \frac{1}{2R}U_0^2 = \frac{1}{R} \frac{U_0^2}{2} = \frac{1}{R} \left(\frac{U_0}{\sqrt{2}} \right)^2.$$

To pa je enaka moč, kot če bi bil upornik priključen na enosmerno napetost $U_{ef} = U_0/\sqrt{2}$. Napetosti U_{ef} pravimo *efektivna napetost*. V našem omrežju U_{ef} znaša 230 V.

Žarnica je upornik, čeprav se njen upor lahko nekoliko spreminja s temperaturo. Še zmeraj pa velja, da moč niha z dvakratnikom frekvence ν priključne napetosti. Zato tudi njen svetlobni tok niha s frekvenco 2ν .

Ker imamo v Sloveniji napetost s frekvenco 50 Hz, torej 50 polnih nihajev na sekundo, svetlobni tok žarnice niha s frekvenco 100 Hz ali 100 s^{-1} . En celoten nihaj moči traja torej 10 milisekund. To mi je v času, ko sem bil še osnovnošolec, pokazal prijatelj Andrej Detela. Fotocelico je povezal s slušalko. Priblížal je žarnico in zaslišal sem nizkotonsko brnenje. Svetlobni tok žarnice se sicer ne spreminja dosti, po [1] le za kakih 5 do 15 %, saj se žarilna nitka v obdobju nekaj milisekund, ko je dovedena električna moč blizu nič, ne more kaj prida ohladiti. Halogenske žarnice so izboljšana varienta klasičnih žarnic. (Slednje so zaradi evropskih predpisov o varčni porabi energije praktično izginile s tržišča.) Halogenke imajo kakih 20–40 odstotkov večji izkoristek in dvakrat daljšo življenjsko dobo, so pa tudi dražje. Halogenke z navojem E27 dajejo okrog 10–15 lumnov svetlobe na watt dovedene moči.

Fluorescenčna razsvetljava

Po drugi svetovni vojni se je začela uveljavljati precej učinkovitejša razsvetljava s fluorescenčnimi cevmi. Že v devetnajstem stoletju so ugotovili, da razredčen plin ob primernih pogojih prevaja električni tok



SLIKA 2.

V preizkuševalniku napetosti imamo tlivko in močan upornik.

in pri tem sveti. Direktna priključitev na električno omrežje ni mogoča: ko plin začne prevajati, nastane *plazma*, ki vse lažje prevaja in tok bi tako hitro narasel, da bi nam pregorela varovalka.

V staromodnem preizkuševalniku napetosti (slika 2) in indikatorskih lučkah večkrat uporabljamo **tlivko**. Napolnjena je z zelo razredčenim neonom (tlak približno 1 milibar), elektrodi sta nekaj milimetrov narazen. Tlivka je torej primer neonke ali neonske cevi. Zaporedno je vezana na močan ohmski upornik, ki omejuje tok. V preizkuševalniku ta upor tudi iz varnostnih razlogov znaša okrog 1 MΩ. Tlivka, kot vse prave neonske cevi, oddaja oranžno svetlobo.

Za močnejše sijalke je taka rešitev nepraktična, saj se upor greje in je to velika izguba energije. Zato je v take sijalke potrebno vgraditi *dušilko* (*balast*). Klasična magnetna dušilka je tuljava, navita na železno jedro. Taka težka dušilka predstavlja induktivni upor za izmenični tok. Za učinkovit tok skozi idealno dušilko velja

$$\blacksquare I_{ef} = \frac{U_{ef}}{L\omega} = \frac{U_{ef}}{2\pi L\nu}, \quad (2)$$

kjer je L induktivnost dušilke in U_{ef} efektivna napetost na dušilki. Dušilka se torej za izmenični tok obnaša kot induktivni upor (*induktanca*, *impedanca*) velikosti $2\pi L\nu$. Upor je torej premo sorazmeren frekvenci izmenične napetosti. Izgube energije v idealni dušilki so nič. V resnici pa imajo navoji tuljave tudi določen ohmski upor. V železnem jedru nastajajo vrtnični tokovi, ki grejejo dušilko. (Na tem načelu delujejo indukcijske plošče na štedilniku.) Zato taka dušilka še zmeraj predstavlja določeno izgubo energije. Evropski predpis zdaj omejuje te izgube.

Nihanje toka skozi dušilko zaostaja za nihanjem priključne napetosti.

Fluorescenčna cev je tudi sicer precej bolj zapletena kot tlivka. Elektrodi sta decimetre narazen, zato je težje doseči prevajanje. Klasična fluorescenčna svetilka poleg magnetne dušilke potrebuje še *starter*, ki ga je potrebno večkrat zamenjati. Pogosto starter – majhen valj z dvema kontaktoma – za vsak primer menjamo hkrati s cevjo, še posebno pri težko dostopnih svetilkah. V cevi so poleg razredčenega žlahtnega plina (navadno argona), ki prevaja, še živosrebrne pare. Te v ioniziranem stanju oddajajo veliko kratkovalovne ultravijolične (v nadaljevanju UV) svetlobe. Cev je na notranji strani prekrita z belkastim fluorescenčnim premazom – *fosforjem*, ki vzbujen z UV sevanjem oddaja vidno svetlobo (in infrardeče sevanje), prepušča pa tudi nekaj UV svetlobe. Premaz se sicer ne odziva trenutno, a svetlobni tok klasičnih fluorescenčnih sijalk vseeno močno utripa, s frekvenco 100 Hz. V vsakem nihaju po [1] kar za nekaj milisekund pade na 60–75 odstotkov maksimalne vrednosti. Večina ljudi tega neposredno ne opazi. Človeško oko ima namreč nekaj spomina. Če svetloba migota s frekvenco nad 60 hertzov, večina tega neposredno ne opazi in vidi le povprečno vrednost. Občutljive ljudje pa moti tudi močnejše utripanje s 100 Hz. Zaznajo ga predvsem v koticu očesa. Periferni vid je namreč občutljivejši na hitre spremembe. (Naši predniki so morali opaziti zver, ki se je od strani pognala v napad.)

Nihanje običajnih in halogenskih žarnic je tako šibko, da ne predstavlja težave. Klasična fluorescenčna razsvetljava pa zaradi močnejšega utripanja in, kot bomo videli, spreminjanja barv lahko pri določenem delu populacije povzroča nelagodje, glavobole. Raziskave so pokazale, da taka razsvetljava vpliva na možgane in da pisarniški delavci zaradi utripanja delajo več napak. Človeški organizem zazna utripanje s frekvencami nekako do 200 Hz in to tem bolj, čim močnejše je ([1]). Utripanje je problem tudi za fotografe in snemalce. Navadno smo na varnem, če je frekvenca utripanja nad 400 Hz.

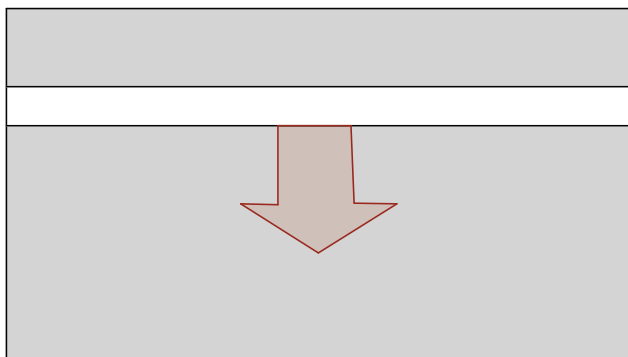
Sam sem utripanje klasične fluorescenčne razsvetljave večkrat opazil s koticom očesa na svetilkah s t. i. prizmatičnim pokrovom. Pri rahlem premikanju glave je verjetno prišlo do interakcije med nihanjem svetlobe in nazobčanim vzorcem na pokrovu, ki služi razpršitvi svetlobe.

Kamera v telefonu vidi utripanje

Za bralce imam **domačo nalogo**. Vzemite zvečer pametni telefon in ga vklopite v način foto/video, kot bi hoteli fotografirati. Potrebujete še bel karton ali bel kos papirja. Zdaj v prostoru pustite prižgano le eno svetilo. Po možnosti začnite s halogensko ali klasično žarnico kot referenčno točko. Približajte karton svetilu, kolikor se le da. Objektiv telefona usmerite na karton in malce počakajte. Če vidite na zaslonu telefona temne in svetle proge, svetilo utripa. Fotografirajte. Intenziteta prog na fotografiji pove, kako hudo je utripanje. Če izvori svetlobe niso majhni in intenzivni, lahko seveda telefon usmerite neposredno na svetilo.

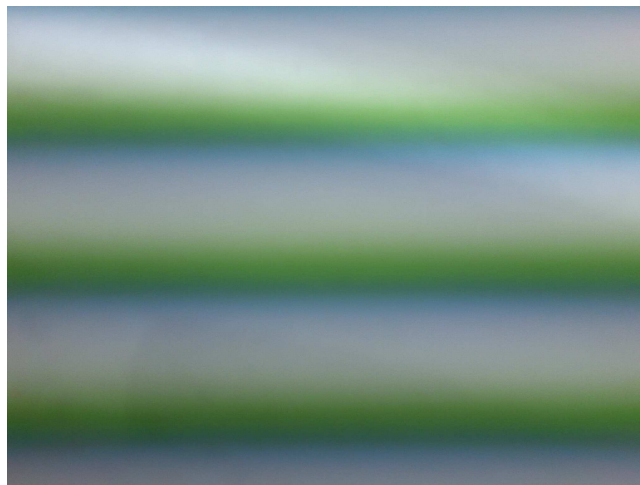
Telefon s senzorjem tipa CMOS slika tako kot kamera z zavesnim zaklopom. Lahko si mislimo, da pri posnetku potuje čez tipalo reža, in to vzporedno daljšemu robu senzorja, kot na sliki 3. Čim svetlejša je scena, tem ožja je reža. Tako na tipalo zmeraj pade primerna količina svetlobe. Ker smo naš karton zelo približali svetilu, je reža ozka. Reža ponazarja ekspozicijo in zaporedno branje eksponiranih vrstic na tipalu. Preberite si tudi, kaj je o zavesnem zaklopu nedavno povedal dr. Aleš Mohorič v Preseku [2, str. 30–31].

Pri telefonih reža potuje sorazmerno počasi. Kot prvi primer prikazujemo na fotografiji 4 svetlobo majhne in lahke fluorescenčne svetilke znane znamke (13 W, hladno bela barva). Vidimo, da je v času



SLIKA 3.

Pri zavesnem zaklopu reža potuje čez tipalo, tako da je vsak piksel enako dolgo osvetljen.



SLIKA 4.

Utripanje fluorescenčne sijalke, 13 W, 4000 K

prehoda reže njena svetloba naredila nekaj več kot tri utripe. Ker vsak utrip traja 10 milisekund, potrebuje reža za prehod tipala nekaj več kot 30 milisekund.

Svetel pas na fotografiji pomeni, da je tistih nekaj milisekund sijalka močno svetila. Ko se je reža premaknila navzdol, je zaradi časovnega zamika jakost osvetlitve že pojenjala in tam smo dobili temnejši pas. Čim večje so razlike med svetlimi in temnimi deli, tem močnejše je utripanje. Na sliki 4 vidimo poleg precej močnega utripanja še eno zanimivost: ko ta fluorescenčna cev za nekaj milisekund potemni, se njena barva spremeni, iz bele na zeleno in nato modro! Domači ljubljenci (psi, kanarčki) so sposobni videti utripanje z višjimi frekvencami. Zanje je taka svetilka morda nekaj takega kot razsvetljava v disko klubu.

Ko gledamo na zaslon, reža kar naprej potuje čez zaslon. Vsak naslednji prehod (ki traja dobrih 30 ms) pomeni osvežitev slike. Sklepamo lahko, da se na našem telefonu slika osvežuje okrog 30 krat na sekundo. Ker osvežitve niso ravno sinhronizirane z utripanjem sijalke, na zaslonu temni in svetli trakovi plešejo.

Za primerjavo je na fotografiji 5 utripanje svetlobe klasične žarnice s 60 W. Oddaja približno enako količino svetlobe kot prej omenjena »flu« cev s 13 W, vendar žarnica utripa le minimalno.





SLIKA 5.

Utripanje klasične žarnice 60 W

Visokofrekvenčne elektronske predstikalne naprave

Zadnje čase so se v svetilkah za fluorescenčne cevi uveljavile ([3, str. 106]) **visokofrekvenčne elektronske predstikalne naprave** (nemško: Elektronisches Vorschaltgerät, EVG), ki so postale tudi dovolj zanesljive. Dobre naprave tega tipa omrežno napetost usmerijo, zgladijo (tako da je dobljena enosmerna napetost skoraj konstantna) in nato razsmerijo na izmenično napetost z visoko frekvenco (20–100 kHz). Fluorescenčni plašč skorajda ne more slediti tako hitrim spremembam. Tako oddajajo praktično konstanten svetlobni tok - fluktuacije znašajo največ pet odstotkov. Taka razsvetljava je neproblematična in nima negativnih učinkov, ki smo jih opisali pri razsvetljavi z magnetnimi dušilkami. (Opozorilo: nekatere cenejše elektronske predstikalne naprave – kot v mali svetilki (katere svetloba je) na sliki 4 – izpuštijo drugi korak, glajenje. Njihova svetloba pošteno utripa s 100 Hz.)

Take naprave vsebujejo tudi balast. V formuli (1) imamo pri klasični dušilki frekvenco $\nu = 50$ Hz, pri elektronski napravi pa $\nu \geq 20000$ Hz. Upoštevajmo, da morata biti za dano cev efektivna napetost in tok v obeh primerih približno enaka. Zato mora biti produkt $L\nu$ v obeh primerih približno enak. Torej mora biti induktivnost L v visokofrekvenčnem primeru ne-

primerno manjša. Tako je pri elektronski napravi dušilka lahko majhna in lahka, izgube v njej pa so mnogo manjše kot pri klasičnem balastu. Po isti formuli lahko z večanjem frekvence v zmanjšujemo tok skozi cev in jo tako zatemnjujemo. Visokofrekvenčne predstikalne naprave pomenijo precej manjše izgube. Fluorescenčna cev, priključena na elektronsko predstikalno napravo, danes daje do 105 lumnov na watt. Elektronika omogoča tudi hitrejši start, brez večkratnih poskusov kot pri klasičnih *starterjih*. To pomeni daljšo življensko dobo cevi. Elektromagnetni smog, ki nastane zaradi visoke frekvence, je omembe vreden le nekaj decimetrov stran od svetilke in ga lahko z ustrežno elektronikou zmanjšamo.



SLIKA 6.

Obročasta »varčna žarnica« ima fluorescenčno cev zvito v torus ali svitek.

Kompaktne fluorescenčne sijalke (CFL, po domače tudi »varčne žarnice«) so nastale z miniaturizacijo fluorescenčnih cevi, ki so jih upognili v razne oblike. Mnoge imajo vgrajeno elektronsko predstikalno napravo, tako da jih lahko privijemo v običajne navoje. (Ob vsaki menjavi nastane zato znatno več elektronskega odpada kot pri ceveh.) Dajejo od 40 do 70 lumnov na watt. Imajo pa nekaj slabosti: ko jih

prižgemo, se pogosto ne odzovejo takoj in mnoge v začetku svetijo zelo šibko. Potrebujejo kako minuto ali dve, da dosežejo polno svetilnost. Navadno slabo svetijo pri nizkih temperaturah. Pogosto štrlijo iz obstoječih svetilk. Daleč najboljša taka naprava med mojimi nakupi je precej velika sijalka v obliki obroča na sliki 5. Daje 1700 lumnov pri 24 W in takoj po vključitvi sveti s polovico moči. Utripanja svetlobe praktično ni.

Kompaktne fluorescenčne sijalke so danes tako rekoč zgodovina. V ZDA je že pred par leti njihova cena strmoglavila: proizvajalci in trgovci so se hoteli le še znebiti zalog. Nadomestile so jih boljše in učinkovitejše LED sijalke.

Barvna vernost

Utripanje svetilk s težkimi balasti je le eden od razlogov, zakaj mnogi niso bili navdušeni nad fluorescenčno razsvetljavo. Drugi razlog je spektralna sestava svetlobe. Medtem ko žarnica oddaja svetlobo, ki zvezno pokriva celotni spekter, je svetloba fluorescenčnih sijalk večinoma koncentrirana okrog nekaj malega točk v spektru. V mnogih trgovinah so do nedavnega prodajali le najcenejše cevi, ki so slabo podajale barve (in obenem imele slabši izkoristek in krajšo življenjsko dobo). **Indeks barvne vernosti** ali **Indeks barvnega videza R_a** , natančneje R_a , tudi **CRI, Color Rendering Index** je bil 55–65, medtem ko je pri žarnicah (klasičnih in halogenskih) enak 95–100. Moja mama je pri nakupovanju tekstila zmeraj prosila prodajalko, naj ji stvari pokaže na dnevni svetlobi, kjer je blago pogosto imelo precej drugačen videz kot pod fluorescenčno razsvetljavo v notranjosti trgovine.

Danes zaradi evropskih predpisov nekakovostnih cevi ni več na tržišču. Fluorescenčne cevi z $R_a > 80$ lahko dobimo za ugodno ceno. V specializiranih trgovinah dobimo cevi z $R_a > 90$. Te imajo dražje obloge, ki sevajo v več delih spektra. Ker je fluorescenčni plašč debelejši, imajo nekaj manjši izkoristek.

Fluo svetilke s klasično težko elektromagnetno dušilko lahko posodobimo tako, da izrabljeno fluorescenčno cev zamenjamo z LED cevjo, ki vsebuje, kot ime pove, svetleče diode. Pri tem moramo zamenjati starter s priloženim elektronskim starterjem. Za zdaj (2018) so te LED cevi dražje, oddajajo ne-

kaj manj svetlobe, a imajo vsaj izdelki znanih znamk boljši izkoristek, boljšo barvno vernost, daljšo življenjsko dobo in večinoma manj utripajo. (Nekateri pa imajo slabe izkušnje s tovrstnimi LED izdelki manj znanih proizvajalcev.) Taka zamenjava za zdaj ni mogoča pri sodobnejših svetilkah z visokofrekvenčno elektronsko predstikalno napravo.

Pri nakupu moramo paziti tudi na barvno temperaturo cevi.

Barvna temperatura

LED sijalke in fluorescenčne cevi imajo razne barvne odtenke. Oznaka 2700 K pomeni, da svetilka oddaja približno tako svetlobo kot črno telo, segreto na 2700 Kelvinov. Pravimo, da ima svetloba **barvno temperaturo 2700 Kelvinov, tako kot klasična žarnica s 60 W**. Po DIN normi je svetloba z barvno temperaturo pod 3300 K toplo bela (warm white).

Višja barvna temperatura pomeni večji delež modre in nižji delež rdeče svetlobe. Nad 3300 K in pod 5000 K imamo hladno belo ali nevtrarno belo ali naravno belo (cool white). Za delovne prostore in učilnice navadno uporabljamo nevtrarno belo svetlobo s 4000 K. Tudi zato, ker se toplo bela slabo meša s svetlobo, ki prehaja čez dan skozi okna.

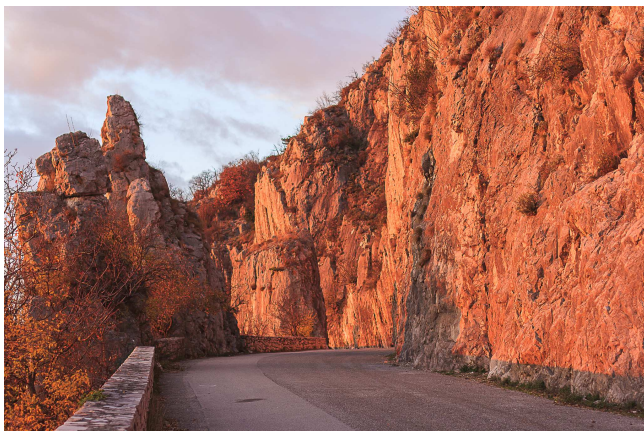
Nad 5000 K imamo dnevno belo svetlobo (daylight), ki je ob halogenskih žarnicah videti modrika-sta. (Ali pa so halogenke, če so v manjšini, videti rumeno-oranžne.) Taka svetloba naj bi nas še bolj zbudila kot hladno bela.

Fluorescenčna cev z oznako 827 ima $R_a > 80$ in barvno temperaturo 2700 K (toplo bela).

Za občutek dobre osvetljenosti potrebujemo pri višji barvni temperaturi več svetlobe. Sredi dneva, ob visoki barvni temperaturi, smo namreč navajeni na mnogo svetlobe.

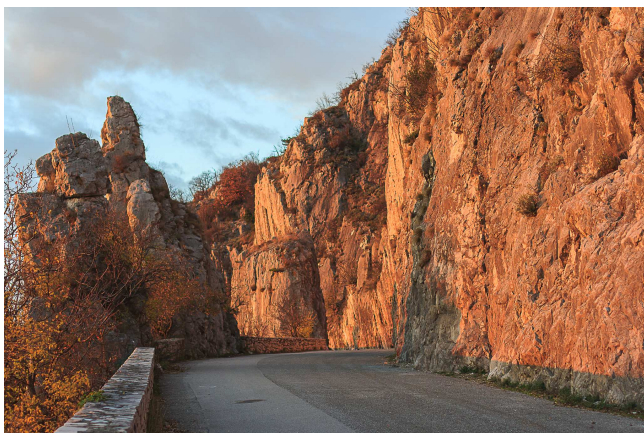
V večernih urah svetujejo uporabo toplo bele svetlobe, ker izpostavljenost modri svetlobi dokazano moti prehod v spanec. Zastonski programček *f.lux* nam zvečer samodejno zniža barvno temperaturo na računalniškem zaslonu. Za delo z vizualnimi vsebinami (fotografije, video, risbe) pa moramo na zaslonu uporabljati eno samo barvno temperaturo, in to dnevno (5200–5500 K). Program *f.lux* lahko v ta namen hitro izključimo.





SLIKA 7.

Kamera je ocenila, da sceno nad Kontovelom osvetljuje svetloba s temperaturo 5100 K.



SLIKA 8.

Sliko smo predelali, tako da je zid levo spodaj resnično siv.

Barvna temperatura in fotografija

Včasih smo fotografirali za najlepše slike iz narave uporabljali diafilm, kalibriran za dnevno svetlobo s temperaturo 5500 K. Pri tej temperaturi je tak film dajal najboljše rezultate. Če pa smo slikali s takim filmom prizor ob sveči, je bila slika bolj ali manj rdeča. Sveča ima barvno temperaturo okrog 1500 K. Mi svetlobo sveče ali tabornega ognja občutimo kot rumenkasto. Zasnežena pokrajina je na oblačen dan dala diapozitiv z modrikastim snegom. Barvna temperatura

dnevne svetlobe pod oblačnim pokrovom je okrog 7000 K.

Naši možgani preoblikujejo informacijo tako, da videz scene približajo videzu pri neposredni dopoldanski sončni svetlobi: papir v zvezku vidimo – ne glede na izvor svetlobe – kot približno bel.

V času filma smo temperaturo in sestavo svetlobe, ki je prihajala v kamero, spreminjali z uporabo barvnih filtrov.

Piksel na tipalu digitalne kamere registrira intenzivnost rdeče, zelene in modre barve. Programska oprema nato te podatke predela tako, da na računalniškem zaslonu dobimo sliko, ki je videti naravno in privlačno. Procesor lahko (bolj ali manj uspešno) kompenzira vpliv barvne temperature (in drugih pomankljivosti) svetlobe na sceni, tako da so na koncu bele površine fotografiranega objekta na zaslonu računalnika videti bele. Vkllopiti moramo le *popravek ravnovesja beline* ali angleško Automatic White Balance (AWB).

Če imamo s sabo nevtralnno siv objekt, lahko naredimo tudi *uporabniško ravnovesje beline* ali Custom White Balance, tako da najprej slikamo ta sivi predmet in kamera določi sestavo svetlobe, ki osvetljuje sceno. To da pravi rezultat pri svetlobi z odličnim barvnim videzom.

Tretja možnost je izbira ravnovesja beline iz možnosti v meniju:

- sončna svetloba – 5200 K;
- senca – 7000 K;
- klasična ali halogenska žarnica (tungsten = volfram) – 3200 K;
- hladno bela fluorescenčna svetloba – 4000 K itd.

Vendar moramo potem ob spremenjenih pogojih nastavitev spremeniti sami. Ko smo v naravi imeli po pomoti vključeno ravnovesje beline za fluorescenčno razsvetljavo, smo dobili JPEG datoteke z resnično nemogočimi barvami!

Če slikamo v RAW načinu, se nam ni treba vznemirjati zaradi izravnavne beline. To lahko naredimo naknadno s programom za obdelavo slik. Z drsniki spreminjamo barvno temperaturo in ton, dokler nismo zadovoljni. Najhitreje pa gre, če imamo na sceni kako sivo (ali šibko osvetljeno belo) površino. S posebno kapalko kliknemo na tako barvno nevtralnno površino in poprava je tu.

Polzenje na potujoče valove

↓↓↓

ANDREJ LIKAR

→ Najprej se spomnimo nekaj osnov iz valovanja. Ravno potujoče valovanje opišemo z odmikom y delca sredstva, po katerem se valovanje širi, z enačbo

$$y = y_0 \cos(\omega t - kx).$$

Odmik y je odvisen od lege delca x in časa t . V poljubno izbranem izhodišču pri $x = 0$ odmik harmonično niha s krožno frekvenco ω tako, da je na začetku štetja časa amplitudni y_0 , potem pa se odmik manjša, po polovici periode pa je najbolj negativen $-y_0$. Argument pri kosinusni funkciji imenujemo faza. Fazni zaostanek kx od izhodišča določa valovno dolžino $x = \lambda$, kjer se odmik ponovi, torej pri

$$k\lambda = 2\pi.$$

Ko opazujemo val, navadno spremljamo njegov amplitudni odmik y_0 , torej valovni vrh. Tam je faza enaka nič, torej velja

$$kx = \omega t.$$

Drugače zapisano

$$x = \frac{\omega}{k} t = ct.$$

Hitrost valovanja c je ravno hitrost valovnega vrha, torej

$$c = \frac{\omega}{k}.$$

Vemo še, da je valovanje transverzalno ali longitudinalno. Pri prvem so odmiki pravokotni na širjenje, pri drugem pa v smeri širjenja. Tako je valovanje na vrvi transverzalno, zvok pa je longitudinalno valovanje.

Naša kamera je ob sončnem zahodu na slikoviti cesti nad Trstom ocenila, da je scena osvetljena z dnevno svetlobo z barvno temperaturo 5100 K in dala sliko 7. Rdeči ton je močnejši, kot se ga spomnimo s scene. Je pa tak, kot bi ga občutili, če bi na sceno stopili iz sobe, razsvetljene s 5100 K. Ker pa smo bili na cesti že dalj časa, smo se deloma prilagodili in sceno občutili drugače. V programu za obdelavo slik smo s kapalko kliknili na sivi zid levo spodaj. Program je z analizo izbranega delčka slike ocenil barvno temperaturo na 4400 K in ustrezno popravil sliko. Tako smo dobili sliko 8. Katera verzija vam je bolj všeč? Morda bi bilo najbolje nekaj vmes?

Pri fluorescenčni razsvetljavi so tudi po zgoraj opisanih metodah poprave večkrat težave (zaradi nizke barvne vernosti). Tako je bilo tudi s sliko 6. Takrat poskusimo rezultat izboljšati s spreminjanjem odtenka ali intenzivnosti rdeče barve, ki je najbolj problematična.

Zadovoljivo lahko navadno popravimo tudi barve JPEG datotek. Težko pa je izboljšati sceno, ki so jo osvetljevali viri z različno barvno temperaturo. Bliiskavico, ki oddaja svetlobo z barvno temperaturo okrog 5200–5500 K, lahko opremimo s filtrom, ki temperaturo njene svetlobe približa ambientni.

Naši možgani, kot smo že rekli, izravnavo (=popravo ravnovesja) beline naredijo avtomatično. Pri prehodu iz ene osvetlitve v drugo za to potrebujejo le nekaj sekund.

Literatura

- [1] Utripanje žarnic in sijalk, Flickern (Flackern oder Flimmern) von Glühbirnen und Lampen, Energie-Umwelt.ch, dostopno na www.energie-umwelt.ch/beleuchtungundbatterien/gluehbirnen-und-lampen/1425, ogled 15. 2. 2018.
- [2] A. Mohorič, *Zavesni zaklop*, Presek **44** (2016/17) 2, 30–31.
- [3] G. Bizjak, M. B. Kobav in M. Prelovšek, *Razsvetljava*, dostopno na lrf.fe.uni-lj.si/razsvetljava.pdf, ogled 15. 2. 2018.

× × ×

18

nadaljevanje
na strani

