

Osvetljenost podnevi, ponoči, v sobi

dr. Mitja Rosina

Zaslužni profesor Fakultete za matematiko in fiziko
Univerze v Ljubljani

Povzetek

Da bi bralci dobili kvantitativno predstavo, sem zbral nekaj preglednih tabel, kakšne osvetljenosti srečamo v naravi ali v sobi in kakšne svetilnosti imajo tipična svetila. Predlagal sem tudi dva poskusa, ki naj vzpodbudita preproste meritve.

Abstract

In order to encourage quantitative observations, a review of the types of illuminance outdoors and indoors is presented, as well as the luminous intensity of typical lamps. Two experiments are described for conducting several simple measurements.

Uvod

Čeprav poglavja o svetilnosti in osvetljenosti ni v osnovnem učnem načrtu, je koristno ta pojma razčistiti, saj sicer učenci ne bodo razumeli, kakšne svetilke bodo nekoč kupovali. Pa tudi sicer je dobro imeti nek kvantitativen občutek pri opazovanju narave in bivalnih prostorov. Pri tem je treba upoštevati, da se fizikalni in pogovorni jezik zelo prepletata in je površna raba pojmov dvoumna.

Energijski tok svetlobe (P) nam običajno pomeni vso energijo, ki jo nosi elektromagnetno valovanje v vidnem območju, medtem ko svetlobni tok (Φ) izraža fiziološki učinek te svetlobe. Ker je fiziološki učinek odvisen od valovne dolžine svetlobe (za rdečo in modro je manjši kot za rumeno-zeleno), lahko svetlobni tok obravnavamo kot nekakšen »efektivni energijski tok svetlobe« ali »občuteni energijski tok svetlobe« in zapišemo:

$$\Phi = \int \frac{dP}{d\lambda}(\lambda) \cdot u(\lambda) d\lambda.$$

Pri tem je $u(\lambda)$ učinkovitost svetlobe pri dani valovni dolžini. Raje recimo učinkovitost kot izkoristek. Izkoristek namreč pomeni razmerje med energijskim tokom svetlobe P in močjo P_p , ki jo troši svetilka (tudi za toploto).

Energijski tok in svetlobni tok sta dve različni fizikalni količini, imata pa isto dimenzijo in bi ju lahko izražali z istimi enotami. Razvada pa je, da izražamo energijski tok z vati in svetlobni tok z lumini ($1 \text{ W} = 683 \text{ lm}$). Mi se bomo seveda držali te razvade, da se bomo lažje pogovarjali z »inženirji« in da ne bo nesporazumov.



Grda pa je trditev, da sta energijski tok svetlobe (P) in svetlobni tok (Φ) isti količini, samo da prvo izražamo s »fizikalnimi enotami«, vati (W), drugo pa s »fiziološkimi enotami«, lumini (lm). Inženirji imajo navado, da izbira enote namiguje na njeno uporabo, npr. herz (Hz) namiguje na nihala ali nihajne kroge, medtem ko bekerel (Bq) namiguje na radioaktivnost. Za fizika pa so to sinonimi, $1 \text{ Hz} = 1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$. Tako sta za fizika sinonima tudi vat in 683 lm.

Osvetljenost

Osvetljenost je svetlobni tok na enoto plosčine, $j = \frac{\Phi}{S}$. Izražamo jo z luksii ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$). Koristna količina je tudi svetilnost, to je svetlobni tok na enoto prostorskega kota, $I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$. Svetilnost je odličen podatek o tem, kakšna je osvetljenost v različnih razdaljah, saj osvetljenost pojema s kvadratom razdalje r :

$$j = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{d\Phi}{r^2 d\Omega} = \frac{I}{r^2}.$$

Če je porazdelitev svetlobe v vse smeri enaka, seva svetilo v prostorski kot $\Omega = 4\pi$ in velja $I = \frac{\Phi}{4\pi}$.

Z osvetljenostjo lahko izrazimo, koliko je v naravi ali v sobi svetlo ali temno. V tabeli 1 podajam nekaj zgledov. Dodajte še svoje meritve.

Pravilna osvetljenost je pomembna za naše aktivnosti, zlasti za branje.

Tabela 1: Osvetljenost v različnih okoliščinah [1].

Osvetljenost (lx)	Primer
10^{-5}	svetloba zvezde Sirij, najsvetlejše zvezde na nočnem nebu
10^{-4}	skupna svetloba zvezd
0,002	jasno nebo brez Lune
0,01	prvi in zadnji krajec Lune
0,27	polna Luna v jasnem vremenu
1	polna Luna v zenitu v tropskih krajih
3,4	pričetek mraka pri jasnem nebu
50	običajna dnevna soba
80	hodnik/stranišče
100	zelo temen in oblačen dan
320–500	osvetljenost v pisarni
400	sončni vzhod ali zahod ob jasnem vremenu
1000	oblačen dan; običajna osvetljenost v TV-studiu
10.000–25.000	polna dnevna svetloba brez neposredne sončne osvetlitve
32.000–130.000	neposredna sončna osvetlitev

Pravilna osvetljenost je pomembna za naše aktivnosti, zlasti za branje. Pri neposredni sončni osvetlitvi (10^5 lx) se preveč blešči, oči preveč trpijo, da bi lahko brali. Nasprotno pa je ob polni Luni pretemno (0,27 lx) in tudi ne moremo brati, kvečjemu zelo velike črke.

PRVI POSKUS

Napravil sem zanimiv poskus [2], s katerim sem ocenil ti dve osvetljenosti. Primerjal sem ju z osvetlitvijo, ki prihaja od žarnice. Stovatno žarnico sem čisto približal časopisu; bilo je zelo svetlo, toda bral sem še udobno. Žarnica je imela svetilnost $I \approx 100$ cd, oddaljenost žareče nitke R je bila kakih 10 cm, kar ustreza osvetljenosti $j = \frac{I}{R^2} = 10\,000$ lx.

Sklepam, da je osvetljenost od Sonca precej večja, kar je v skladu s podatkom $j = 100\,000$ lx za ploskev, ki gleda pravokotno na Sonce (glej tabelo 1).

Enovatno žepno svetilko pa sem smel oddaljiti največ 2 m, da sem še lahko s trudom bral navadni tisk v časopisu. Podoben rezultat sem dobil s svečo, ki naj bi tudi svetiła z 1 cd (»eno svečo«). Temu ustreza osvetljenost 0,25 lx; polna Luna torej sveti v običajnih okoliščinah še nekoliko manj, recimo $j = 0,2$ lx = 0,2 luksa = 0,2 lumen/m², kar približno ustreza podatkom v tabeli 1.

ALI JE MOGOČE NA PLUTONU BRATI?

To je zanimiv zgled za razmislek [3]. Pluton je 40-krat dlje od Sonca kot Zemlja. Ker je svetiło (Sonce) isto, osvetljenost pa pojema s kvadratom razdalje ($j = \frac{I}{R^2}$), je osvetljenost na Plutonu $40^2 = 1600$ -krat manjša kot na Zemlji, torej $j = \left(\frac{100\,000}{1600}\right)$ lx = 60 lx. To pa je večerno branje ob luči.

Varčne žarnice

Ali so »varčne žarnice« (varčne fluorescentne sijalke) zares varčne? Na reklami piše, da osemvatna varčna sijalka sveti enakovredno kot 40-vatna navadna žarnica z volframovo nitko. Predlagam, da to preverimo.

Navadna žarnica z žarečo nitko ima slab izkoristek, ker se večji del energije pretvori v toploto s sevanjem in prevajanjem. Varčne sijalke (fluorescentne sijalke) pa običajno vsebujejo živosrebrne pare, ki sevajo ultravijolično, toda na steni se ultravijolična svetloba pretvori v »belo«. Izkoristek je nekajkrat boljši kot pri navadnih žarnicah, vendar svetloba ni tako prijetna in še dražje so. Do 30-odstotno učinkovitost pa imajo svetleče diode (LED – angl. *light-emitting diodes*).

Najprej si oglejmo učinkovitost žarnice z žarečo nitko in jo primerjajmo z učinkovitostjo vročega črnega telesa pri temperaturi T ter z učinkovitostjo idealnega monokromatskega svetila zelene barve z valovno dolžino 555 nm, pri kateri je oko najbolj občutljivo (tabela 2). Učinkovitosti primerjamo z idealnim svetilom, ki mu pripišemo učinkovitost 100 % (683 lm/W).

V tabeli 3 primerjamo še učinkovitosti žarnice z žarečo nitko, fluorescentne sijalke in svetleče diode. Kot vidimo, potrebuje kompaktna fluorescentna sijalka približno petkrat manjšo moč za enak svetlobni učinek kot žarnica z žarečo nitko (sodobna elektronsko kontrolirana fluorescentna sijalka ima učinkovitost okrog 60 lm/W). Svetleča dioda pa potrebuje desetkrat manjšo moč kot žarnica z žarečo nitko.

Ali so »varčne žarnice« zares varčne?

Tabela 2: Učinkovitost volframove žarnice z žarečo nitko, črnega telesa pri temperaturi T in idealnega zelenega svetila [4].

Moč (W) / T (°C) / idealno	Učinkovitost (%)	Cd (sveč)	lm / W
40 W	1,9	40	12,6
60 W	2,1	69	14,5
100 W	2,6	139	17,5
4000 °C	7		47
7000 °C	14		95
zelena	100		683

Tabela 3: Moč porabe svetleče diode (LED) in klasične žarnice z žarečo nitko [5]. Moč kompaktne (varčne) fluorescentne sijalke pa sem ocenil iz podatkov v [6, 7].

Svetlobni tok (lm)	LED (W)	Fluorescentna (W)	Žareča nitka (W)
50–150	1		8–10
150–250	2		18–20
250–350	3	5	20–30
350–450	4	7	30–40
450–550	5		40–50
550–650	6	11	50–60
650–750	7		60–70
750–900	8	15	70–80
950–1050	9		80–90
1050–1200	10	20	90–100

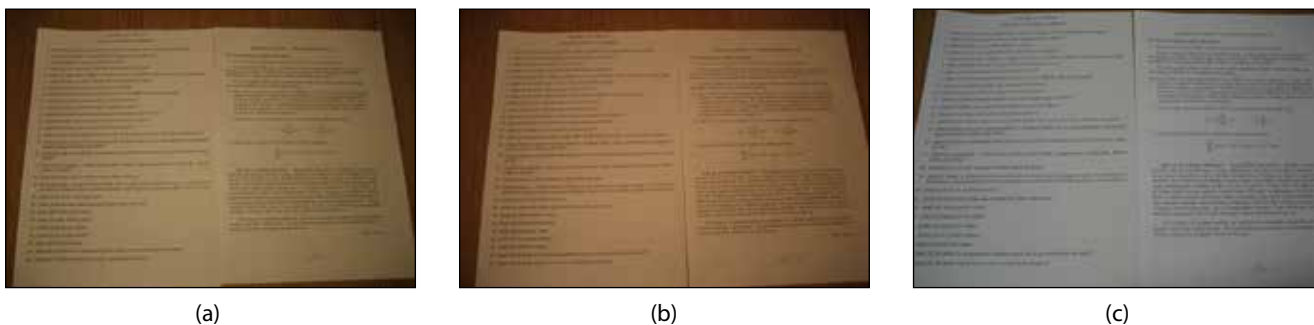
Rad bi opozoril, da je pri iskanju podatkov z interneta potrebno nekaj previdnosti. V prispevku [5] so podatki za moč fluorescentne sijalke zelo blizu moči žarnice z žarečo nitko; ne vem, ali so podatki zastareli ali jih proizvajalec svetlečih diod navaja za bolj-šo konkurenčnost ali pa so tam pomotoma navedeni podatki za halogensko žarnico.

DRUGI POSKUS

Svetilnost žarnic sem primerjal z digitalnim fotoaparatom [8]. Na mizo sem položil bel papir z besedilom in slikal. Avtomatski fotoaparati se sam prilagodi osvetljenosti in sporoči podatke o slikanju. Svetlobni tok, ki ga fotoaparati sprejme, je sorazmeren z osvetljenostjo papirja, s časom ekspozicije in kvadratom premera zaslonke.

Vzel sem navadno žarnico (40 W, 415 lumnov) in »varčno sijalko« (8 W, 400 lm). Pri prvi je fotoaparati sporočil osvetlitev $1/40$ s in premer odprtine 2.8, pri varčni pa osvetlitev $1/50$ s in premer odprtine 2.8. Torej imata res približno isto svetilnost (tako kot piše v reklamah). Tudi vidni vtis je podoben, le da je pri navadni žarnici svetloba bolj rdečkasta, pri varčni pa bolj bela. Obe žarnici sem postavil 60 cm nad papir, torej je bila osvetljenost po podatkih za navadno žarnico $\frac{\Phi}{4\pi r^2} = 92$ lx, če predpostavim izotropno porazdelitev. Podobno velja za varčno žarnico (slika 1a in b).

Primerjal sem tudi s svetilko LED (18 W, 2000 lm), le takšno sem imel pri roki, vendar sem jo postavil na 172 cm namesto na 60 cm. Osvetljenost naj bi torej bila $\frac{\Phi}{4\pi r^2} = 54 \text{ lx}$. In res je fotoaparatus pri zaslonki 2.8 potreboval dvakrat več časa (1/25 s) za podoben vidni vtis kot zgoraj, le da je svetloba še bolj bela (slika 1c). Sklepanje je seveda zelo približno, saj svetilka LED sveti pretežno navzdol, vendar jo prosojna »buča« precej razprši, porazdelitve pa nisem preveril.



Slika 1. Primerjava osvetljenosti z žarnico z žarečo nitko (a), z varčno fluorescentno sijalko (b) in s svetlečo diodo (LED) (c).

Zaključek

Osvetljenost običajno merimo s primernim svetlometerom (fotocelico). Predlagal sem dva preprosta poskusa, kako lahko ocenimo osvetljenost s priročnimi sredstvi. Pri prvem poskusu jo primerjamo kar s prostim očesom z neko znano osvetljenostjo. Namen drugega poskusa pa je pokazati, da je mogoče osvetljenost oceniti kar s fotografiranjem z digitalnim fotoaparatom, ki ga ima vsak pri roki.

Rad bi še omenil, da se na internetu najdejo marsikatero domiselne meritve, npr. merjenje osvetljenosti šolskih prostorov in telovadnice v okviru dijaškega projekta [9]. Pri takih projektih bi bilo dobro opisati delovanje svetlomera in kritično primerjati rezultate, pridobljene z dvema različnima svetlometeroma.

Viri in literatura

- [1] <https://sl.wikipedia.org/wiki/Osvetljenost> (oktober, 2015).
- [2] M. Rosina, Presek 33#5, 9.
- [3] M. Rosina, Presek 33#5, 9.
- [4] <https://sl.wikipedia.org/wiki/Žarnica> (oktober, 2015).
- [5] <http://www.superstrela.com/kratice-pojmi.html> (oktober, 2015).
- [6] <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT408.htm> (oktober, 2015).
- [7] <http://www.energyneighbourhoods.eu/en/node/133136> (oktober, 2015).
- [8] M. Rosina, Presek 38#6, 19.
- [9] http://www.gimb.org/docs/Dejavnosti/2011S_Osvetljenost_sportnih_objektov.pdf (oktober, 2015).