

Određivanje karakteristika suvremene speleološke rasvjete

Marko Budić i Marin Lukas

UVOD

Svi vrlo dobro znamo da danas na tržištu postoji velik broj svjetiljki namijenjenih svima, koji se bave raznim aktivnostima u prirodi, bilo planinarstvom, alpinizmom, ili, u našem slučaju, speleologijom. Proizvođači tih svjetiljki (a gotovo sve se koriste u speleologiji) daju uz svoje proizvode i podatke o njihovim karakteristikama. Tu se nalaze razni podaci o intenzitetu, dometu i autonomiji svjetiljaka. Iskustvo je pokazalo da ti podaci, zbog idealnih uvjeta u kojima su mjereni, redovito odstupaju od onoga što se u stvarnosti događa. U ovom članku pokušava se na temelju provedenih mjerenja utvrditi neke karakteristike rasvjete, koje se ne spominju u specifikacijama proizvođača, a mogu biti veoma korisne.

Prvi dio ovog članka je teoretski, a odnosi se na povijest rasvjete i osnovna fizikalna objašnjenja pojedinog izvora svjetlosti. U drugom, eksperimentalnom dijelu predstavljeni su rezultati mjerenja kutne raspodjele intenziteta svjetla oko izvora, spektralne analize zračenja i procjene dometa, te usporedbe novih High flux svjetlećih dioda s uobičajenim izvorima. Članak se ne bavi određivanjem autonomije izvora svjetlosti zbog toga što ona ovisi o velikom broju vanjskih parametara pa ju je gotovo nemoguće egzaktno odrediti. Osim rasvjete dostupne na tržištu, u ispitivanja smo uključili i eksperimentalnu svjetiljku sa HF svjetlećom diodom »Luxeon LXHL - PW01« koju sklapaju članovi SOŽ-a. U zaključku članka komentirat ćemo dobivene rezultate.

OPĆENITO O IZVORIMA SVJETLOSTI KOJI SE KORISTE U SPELEOLOGIJI

KARBIDNE SVJETILJKE (KARBITKE)

Acetilenska rasvjeta trenutno se još uvijek najčešće koristi u speleologiji, iako njenu upotrebu polako istiskuju električni izvori svjetla. Ona je došla u upotrebu otkrićem plina acetilena (etina) koji kod izgaranja daje vrlo svijetli plamen pogodan za osvjetljavanje većeg prostora. Prva acetilenska svjetiljka patentirana je na samom početku 20. stoljeća u Americi i od tada se upotrebljavala u kućanstvima, kao rasvjeta na prijevoznim sredstvima (automobili, bicikli...), u rudnicima itd. U speleologiji su se u početku koristile rudarske karbitke koje su se nosile u ruci, dok se danas upotrebljavaju karbitke sa suvremenom čeonom instalacijom, nerijetko u kombinaciji s električnom rasvjetom. Većini čitatelja poznat je princip rada karbitke i njezini dijelovi, no ipak ćemo spomenuti neke osnovne podatke.

Sustav za rasvjetu najjednostavnije možemo podijeliti na »generator plina« (karbitku), plastičnu cijev (bužir) i čeon dio (instalacija) na kojemu plin izgara.

Karbidna svjetiljka (popularno zvana **karbitka**) je dio u kojem se proizvodi plin aceten. Sastoji se od dva spremnika smještena jedan iznad drugog i spojena navojem koji dobro brtvi (dihta). U donjem spremniku nalazi se kalcijev karbid (netočno zvan karabit) na koji iz gornjeg spremnika kapa voda. Kemijskom reakcijom, koju ćemo poslije opisati, nastaje plin aceten koji se bužirrom odvodi na instalaciju i tamo sagorijeva.



Izvori svjetlosti koji se najčešće koriste u speleologiji:
kombinirana instalacija Petzl Explorer, Petzl Tikka, Petzl Zoom, TSL Noxys

Na gornjem spremniku nalazi se mali otvor kroz koji se spremnik puni vodom i ventil za reguliranje količine vode koja će kapati na karbid. Time se automatski regulira količina plina koja se stvara u karbitki odnosno jačina plamena na instalaciji.

Plin nastao u karbitki stiže do instalacije **plastičnim crijevom ili bužirrom**. Bužir se na instalaciju učvršćuje **obujmicom (šelnom)** kako uslijed zagrijavanja plastike ne bi došlo do propuštanja plina iz crijeva i požara na kacigi.

Instalacija je dio na kojem izgara plin, a smještena je čeono na kacigu speleologa. Sastoji se od sapnice (brenera), upaljača, čistača brenera i reflektirajuće pločice (širma, sjenila).

Brener (sapnica) je keramički, metalni ili kombinirano metalno-keramički cilindar promjera oko 0.5 cm koji na vrhu ima jednu ili dvije rupice za izlaz plina. O veličini rupica ovisi snaga plamena (intenzitet svjetlosti), a time i potrošnja plina. Prema potrošnji razlikuju se 14, 21 i 28 litarski breneri (npr. oznaka 14 L znači da brener na sat sagori 14 L plina). Smatra se da najbolji odnos osvjetljenje-potrošnja ima 21-litarski brener.

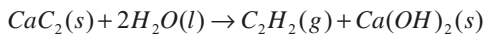
Kao upaljač najčešće se koristi piezoelektrični jer je za ovu prigodu i najjednostavniji. On radi na principu piezoelektričnog efekta kod kristala kvarca tj. tako da se kod pritiska na kristal (u ovom slučaju udarca) generira visok napon, a time i preskakanje iskre kod brenera.

Čistač brenera je komad čelične sajle učvršćene na kućište, koja je na slobodnom kraju raspletena kako bi se tankim nitima moglo očistiti rupice na breneru. To je važno jer nečistoće na rupicama ometaju »uredno« izgaranje plina, zbog čega plamen postaje čađav ili slabijeg intenziteta.

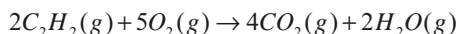
Širm (reflektirajuća pločica, sjenilo) je »polirana« metalna pločica koja u sredini ima konkavno udubljenje za fokusiranje svjetla. Ovisno o zakrivljenosti udubljenja i udaljenosti plamena od pločice, svjetlost će osvjetljivati širi odnosno užji prostor, ali s različitim intenzitetom. Tako kod uskog fokusiranja snop osvjetljuje udaljenije predmete na manjoj površini, dok se kod šireg fokusiranja osvjetljava veća površina, ali sa slabijim intenzitetom i na manjoj udaljenosti.

KEMIJA

Acetilen (etin; C_2H_2) je nezasićeni ugljikovodik, bezbojan, otrovan i eksplozivan plin. Dobiva se reakcijom kalcijevog karbida (CaC_2 ; pravilno karbita) i vode prema kemijskoj jednadžbi:



Pri ovoj reakciji razvija se velika količina topline te se karbitka zbog toga dosta zagrije. Izgaranje plina prikazano je kemijskom reakcijom:



Izgaranje plina daje veoma svijetli, žučkasti plamen visoke temperature, ugodan za oči, koji ravnomjerno osvjetljava i nešto veće podzemne prostore. Kod izgaranja često se može vidjeti čađavi plamen, koji nastaje uslijed nepotpunog izgaranja plina zbog nečistoća na breneru ili nedostatka kisika. Takav plamen često začađi reflektirajuću površinu širma, što uzrokuje smanjenje intenziteta reflektiranog svjetla s kojim speleolog raspolaže.

Poznato ja da kod ulaska u vodu treba karbitku zatvoriti da ne bi došlo do »švasanja« tj. do naglog i jakog povećanja plamena. Zašto? Do »švasanja« dolazi iz dva razloga. Kada se karbitka nalazi pod vodom, na vodu u spremniku djeluje hidrostatski tlak u ovisnosti o dubini na kojoj se karbitka nalazi. To povećanje tlaka uzrokuje pojačano kapanje vode na karbid i zbog toga se stvara veća količina plina. No, isto tako mora se uzeti u obzir i sama kemijska reakcija. Naime, reakcija je egzotermna, što znači da će hlađenje sustava pomaknuti ravnotežu reakcije u desno odnosno reakcija će se ubrzati. To će uzrokovati stvaranje veće količine plina, te će zbog ova dva efekta tlak acetilena u sustavu značajno porasti. Povećanje tlaka dalje će uzrokovati povećan protok plina kroz brener te će plamen automatski jako narasti, uz šuštanje (»švasanje«).

Speleolozima je uvijek važno znati koliko dugo će im trajati jedno punjenje karbitke (npr. masa punjenja karbitke tipa »Fisma« iznosi oko 400 grama). Teoretski se taj podatak može izračunati ako se pozabavimo stehiometrijom. Dakle, iz jednadžbe reakcije slijedi da se iz jednog mola kalcijevog karbida i dva mola vode može dobiti jedan mol plina acetilena. Preračunato u grame, iz 64 g karbida i 36 g (0.036 litre) vode dobiva se 26 g plina. Poznato je da jedan mol idealnog plina pri standardnim uvjetima (tlak 101325 Pa, temperatura 0°C) ima volumen 22.4 L. To se može primijeniti i u ovom slučaju, tako da se u konačnici pri standardnim uvjetima iz 64 g karbida može dobiti oko 22.4 L acetilena (ako se ne računaju gubici zbog eventualnog lošeg brtvljenja bužira ili navoja na karbitki).

Na temelju računa iz stehiometrije može se sastaviti tablica vremena gorenja acetilena s određenim brenerom (14 ili 21 L) i uz određenu količinu karbida u karbitki. Naravno, taj proračun je čisto teoretski i u njega nisu uračunati svi faktori koji utječu na vrijeme gorenja u stvarnoj upotrebi. Tako će npr. smanjivanje dotoka vode uzrokovati smanjenje protoka plina, a time i dulje trajanje jednog punjenja, a suprotno tome, dulje »švasanje« plamena uzrokovat će bržu potrošnju plina i kraće trajanje jednog punjenja. U to se još mora uračunati i činjenica da

karbid nikada nije 100%-tno čist, te da se u njemu nalaze nečistoće koje imaju masu, ali praktično ne služe ničemu. Na količinu potrošene vode nije se potrebno obazirati jer se ona gotovo uvijek može naći u speleološkim objektima u dovoljnim količinama.

Masa karbida (g)	14 L (~sati)	21 L (~sati)
64	1. 5	1
128	3	2
192	4. 5	3
256	6	4
320	7. 5	5
384 (~FISMA)	9	6

Vrijeme gorenja različitih količina karbida

ELEKTRIČNE ŽARULJE

Svima je već poznato da se izum električne žarulje pripisuje američkom znanstveniku T. A. Edisonu. No je li to zaista tako? Prva ispitivanja s električnim svjetiljkama radio je Sir Humphry Davy 1801. u Engleskoj. Davyjevi platinski uzorci mogli su tek bljesnuti pod utjecajem električne struje prije nego što bi izgorjeli, naravno, prebrzo da bi ih se iskoristilo kao izvor svjetla. Davy je ubrzo ustanovio da je svjetlost od struje moguće dobiti samo električnim lukom, pa je tako 1809. predstavio prvu elektrolučnu svjetiljku. Malo poslije, 1820. je britanski znanstvenik Warren de la Rue smjestio malu platinsku zavojnicu u staklenu posudu iz koje je izvukao zrak. On se nadao da će visoko talište platine omogućiti rad na visokim temperaturama, dok će vakuum onemogućiti reakciju platine s molekulama iz zraka. Njegova žarulja je svijetlila, ali zbog previsoke cijene platine nikada nije našla praktičnu primjenu. Godine 1850. J. W. Swan radio je s karboniziranim papirnatim trakama u vakuumskim bocama, dok je 1879. Edison počeo eksperimentirati s ugljičnim uzorcima. Patentni ured SAD-a je 1883. proglasio Edisonove patente nevažećima s objašnjenjem da se temelje na radu W. Sawyera. Nakon spora koji je trajao nekoliko godina patent je ipak dodijeljen Edisonovoj kompaniji. No, papir ili karbonizirani bambus iz uporabe je izbacio W. D. Coolidge 1910. sa svojim volframskim žarnim nitima, kojima se i danas koristimo.

U speleologiji se uglavnom pojavljuju klasične i halogene žarulje, no s razvojem poluvodičkih izvora svjetla žarulje, kao i karbitke, postupno izlaze iz uporabe.

FIZIKALNE OSNOVE RADA ŽARULJE

Kako svijetli žarulja? Žarulja svijetli na principu termalnog zračenja crnog tijela. Naime, kroz volframsku nit u argonu prolazi struja koja je zagrijava

i tu počinje proces inkadescencije. To je proces prijelaza energije zračenjem sa zagrijanog tijela u okolinu. Velik dio te energije otpada na infracrveno (termalno) zračenje, dok se jedan dio zračenja emitira u vidljivom dijelu spektra (vidljiva svjetlost). Inkadescencija se u žaruljama pojavljuje zbog toka elektrona kroz žarnu nit. Taj tok pobuđuje elektrone u niti te oni preskaču u više atomske orbitale i zatim emitiraju fotone prilikom povratka u osnovno stanje. Valna duljina emitiranih fotona kod crnog tijela ne ovisi o razlici energija među orbitalama. Isti proces odvija se kada neki predmet svijetli u vatri (žeravica, usijano željezo...). Kod halogenih žarulja proces je isti, samo što oko volframske zavojnice nije vakuum nego neki halogeni element, npr. pare joda ili broma. Te pare dodatno pospešuju emisiju svjetla i povećavaju iskoristivost.

SVJETLEĆE DIODE (LED)

LED (kratica od eng. Light emitting diode) je poluvodički elektronički element koji emitira nekoherentno svjetlo širokog spektra. Uzrok svjetlosnoj emisiji je jedan oblik elektroluminiscencije na poluvodiču. Valna duljina emitiranog zračenja ovisi o kemijskoj strukturi uporabljenog poluvodičkog elementa, pa tako postoje ultra ljubičaste (UV), infra crvene (IR) i svjetleće diode vidljivog spektra. Prvi rad o infracrvenoj svjetlosnoj emisiji na uzorku GaAs objavio je R. Braunstein 1955., a prvu praktično primjenjivu svjetleću diodu s emisijom u vidljivom dijelu spektra konstruirao je 1962. N. Holonyak. Ubrzo se otkrilo da svjetleće diode, za razliku od dotada poznatih izvora svjetlosti, imaju značajno veću iskoristivost. No, zbog previsoke cijene još dugo vremena nisu ušle u svakodnevnu upotrebu.

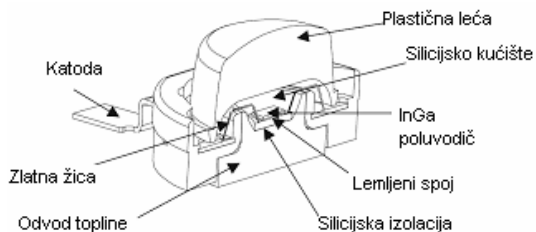
FIZIKALNE OSNOVE RADA SVJETLEĆE DIODE

Kao svaka dioda i LE dioda je sastavljena od pločica poluvodičkog materijala dopiranog nečistoćama kako bi nastala struktura poznata kao P-N spoj. Kod LE dioda polariziranih u propusnom smjeru struja teče od P prema N sloju poluvodiča, dok u nepropusnoj polarizaciji teče zanemariva reversna struja. U takvom spoju nosioci naboja, elektroni i »šupljine«, gibaju se prema mjestu spoja od elektroda na različitim potencijalima. Kada elektron na mjestu rekombinacije dođe do šupljine, on skokovito prelazi u niže energetsko stanje i pri tome otpušta energiju u obliku fotona. Valna duljina emitiranog zračenja ovisi o razlici energija početnog i konačnog stanja elektrona. Materijali korišteni za izradu LE dioda razlikuju se po kristalnoj strukturi od materijala za izradu ostalih dioda: imaju indirektni zabranjeni pojas. Razvoj LE dioda započeo je na diodama izgrađenim od GaAs, a poslije je tehnološkim

napretkom započeo i razvoj LE dioda čije zračenje ima kraću valnu duljinu.

BIJELE LE DIODE

Nama u speleologiji najzanimljivije su bijele LE diode jer pod njihovim svjetlom predmete u mraku vidimo gotovo kao i na danjem svjetlu. Te bijele LE diode razvile su se iz plavih koje je izumio S. Nakamura 1993, a u široku primjenu stupile su tek u kasnim devedesetima. Nove LE diode razlikuju se od prethodnika po kemijskom sastavu. Umjesto GaAs ili GaAsP struktura, u primjenu su ušle nove GaN, ZnSe i InGaN strukture koje se odlikuju emisijom kraće valne duljine (450 - 470 nm). Na već postojeće plave LE diode, kako bi svjetlo ostavljalo dojam bijeloga, dodana je žučkasta fluorescirajuća obloga. Ta je obloga kod većine LE dioda izrađena od praha kristala itrij aluminij granata dopiranog cerijem (Ce³⁺ YAG). (Ce³⁺ YAG) obloga pobuđena plavom emisijom iz GaN poluvodiča fluorescira na oko 580 nm, što odgovara žutoj boji. Žuto u ljudskom oku nadomješta crvenu i zelenu boju, pa se nastalo svjetlo čini plavičasto bijelim. Osim danas već pomalo starih bijelih LE dioda, pojavljuju se i novije »High flux« diode koje su bitno veće snage od klasičnih bijelih dioda. U zadnje vrijeme, zahvaljujući brzom tehnološkom napretku, cijene LE dioda padaju pa nam one postaju sve dostupnije.



Presjek »High flux« LE-diode

EKSPERIMENTALNI DIO

U ovom dijelu članka izložit ćemo rezultate dobivenih mjerenja pojedinih karakteristika. Mjerilo se na sljedećim komercijalnim izvorima svjetlosti: Petzl Duo s tri standardne LE diode, Petzl Tikka, Petzl ZOOM sa standardnom i halogenom žaruljom, Krypton Head Lamp China koja se početkom 2004. pojavila na hrvatskom tržištu kao najjeftinija čeona svjetiljka, TSL Noxys i Petzl Acceto acetilenska svjetiljka s dva različita brenera. Osim navedenih, mjerilo se i eksperimentalne izvore koji koriste LE diode visokog toka (HF) »Luxeon LXHL - PW01«. HF LE diode ugrađivane su u Petzl svjetiljke Duo i ZOOM.

Mjerenja su podijeljena na tri dijela. U prvom dijelu mjerena je ovisnost intenziteta svjetla o položaju na kružnici ispred izvora. Svrha ovog mjerenja bila je odrediti kutnu raspodjelu intenziteta kako bismo mogli znati koje svjetiljke imaju »koncentrirano« odnosno »raspršeno« svjetlo. Intenzitet je mjereno Sharpovim svjetlosnim detektorom IS 474. IS 474 ima spektralnu karakteristiku vrlo sličnu čovjekovu oku (najveća osjetljivost na 570 nm). Signal na izlazu senzora direktno je proporcionalan intenzitetu svjetla u proizvoljnim jedinicama, što omogućava jednostavno mjerenje. Za vrijeme mjerenja senzor je pomican po luku kružnice radijusa 0.5 m, a intenzitet je mjereno svakih pet stupnjeva. Izvor svjetlosti nalazio se u središtu kružnice.

Drugi dio mjerenja odnosio se na spektralnu analizu zračenja iz izvora. Svrha je ovog mjerenja odrediti koje valne duljine su najzastupljenije u izvorima i na temelju toga pokušati objasniti zašto fotografije »vuku na neku boju« ili zašto fotoaparat teže izoštrava pod nekim svjetlom. Analiziralo se »photo diode array« spektrometrom s rezolucijom 0.7 nm.

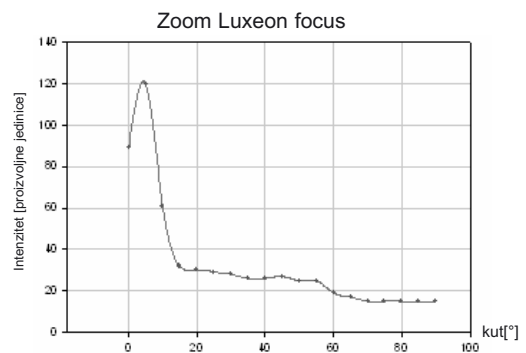
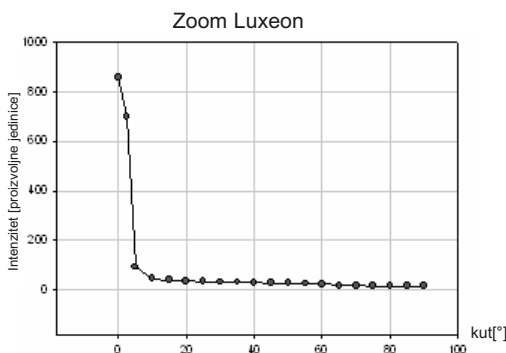
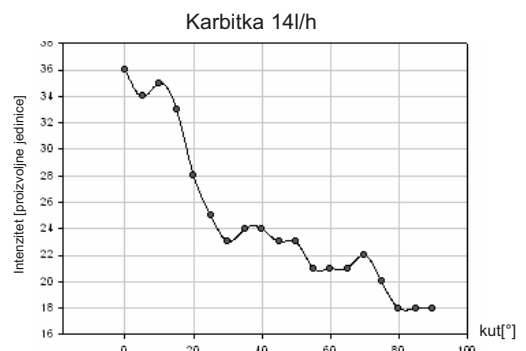
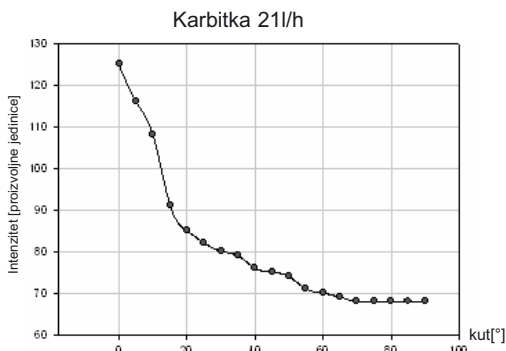
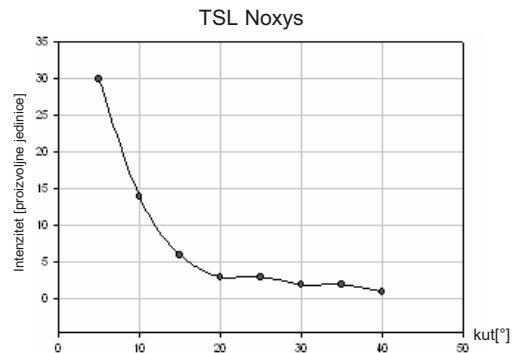
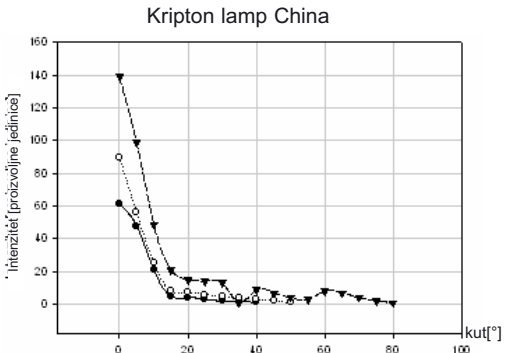
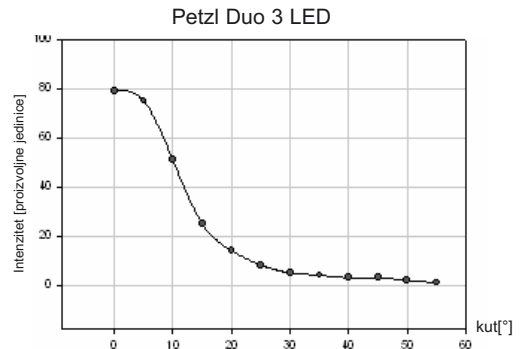
U trećem dijelu mjerenja procjenjivan je domet svjetiljki i određivana ovisnost intenziteta svjetla o udaljenosti od izvora koji otprilike pada s kvadratom udaljenosti. Domet svjetiljke ovdje je definiran kao udaljenost na kojoj prosječna osoba u potpunom mraku može raspoznati slovo R dimenzija 20×15 cm.

ODREĐIVANJE KUTNE RASPODJELE INTENZITETA

Grafovi prikazuju ovisnost intenziteta o položaju senzora ispred izvora za svjetiljke sa standardnim LE diodama. Kao što se vidi, sve svjetiljke imaju relativno mali intenzitet svjetla i »uske« raspodjele. Svjetiljka »Krypton Lamp« ima tri opcije rada: s jednom, tri i sedam LE dioda.

Sljedeća grupa grafova prikazuje kutne raspodjele za karbitku sa dva različita brenera (21 L/h i 14 L/h), dok preostala dva grafa prikazuju kutne raspodjele za adaptirane Petzl ZOOM svjetiljke (ugrađena je LE dioda visokog toka). Graf »Zoom focus« prikazuje ovisnost intenziteta o kutu kada je sjenilo postavljeno za široki kut, dok graf »Zoom Luxeon« prikazuje kutnu raspodjelu za sjenilo namješteno za najuži mogući snop. Oscilacije intenziteta na grafu »Karbitka 14 L/h« između -20 i 20 stupnjeva vjerojatno su posljedica nečistoća na sjenilu ili oscilacija plamena. Kako bismo mogli uspoređivati grafove promatramo aritmetičku sredinu intenziteta svjetla u intervalu [-45, 45°].

Iz tablice se vidi da najveći prosjek ima Zoom Luxeon, no taj rezultat ne smijemo uzeti u obzir kod procjene »širine« snopa zbog ekstremnog intenziteta u sredini. Od ostalih svjetiljki najveći prosjek



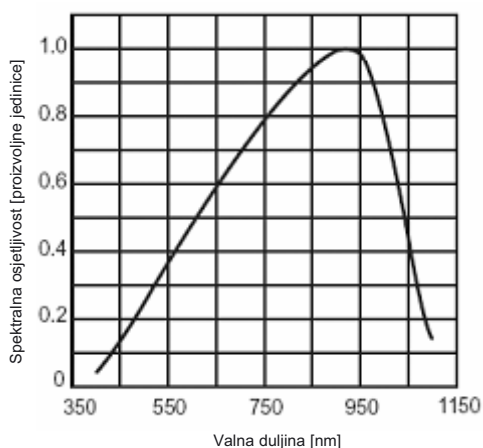
Kutne raspodjele intenziteta za pojedinu svjetiljku

Duo	Krypton	TSL	Tikka	Kar. 14	Kar. 21	Zoom Lx	Zoom F
24	32	9. 2	23	28	90	142	45

ima karbitka s 21 L brenerom, što nam govori da je njezin snop najširi. Odmah zatim slijedi Zoom Luxeon s raširenim snopom. Naposljetku dolaze prosjeci ostalih LED svjetiljki, koje unatoč relativno širokom snopu ne mogu nadmašiti karbitku ili Zoom zbog premalog maksimalnog intenziteta.

REZULTATI SPEKTRALNE ANALIZE

Grafovi prikazuju ovisnost intenziteta emitiranog zračenja o valnoj duljini. Kod karbitke i halogene žarulje vidimo da spektar odgovara spektru zračenja crnog tijela, dok kod spektra LE dioda imamo emisijski spektar. Ako se prisjetimo fizikalnih osnova rada bijelih LE dioda iz prvog dijela rada, vidjet ćemo da postoji potpuno logičan razlog za, na prvi pogled, neobjašnjive maksimume. Naime, prvi maksimum (oko 460 nm) je upravo uzrokovan emisijom InGaN strukture koja pobuđuje Ce3+ YAG ovojnica, a drugi maksimum (oko 540 nm) je posljedica fluorescencije Ce3+ YAG ovojnice. Na grafu »Duo Luxeon« vidimo da su dva maksimuma vrlo blizu po intenzitetu, dok naprimjer kod »Petzl Tikke« vidimo da je prvi maksimum značajno većeg intenziteta od drugoga. Uzrok tome je vrlo precizno postavljena Ce3+ YAG ovojnica kod Luxeon LE diode, odnosno manje precizno kod dioda Tikke. Jeftinije LE diode zahtijevaju manju preciznost u izradi pa zbog toga postižu i manju cijenu. Na grafovima »Karbitka« i »Zoom Halogen« vidimo da se jedan dio zračenja emitira u infracrvenom području (>700 nm) zbog niske temperature zračenja.



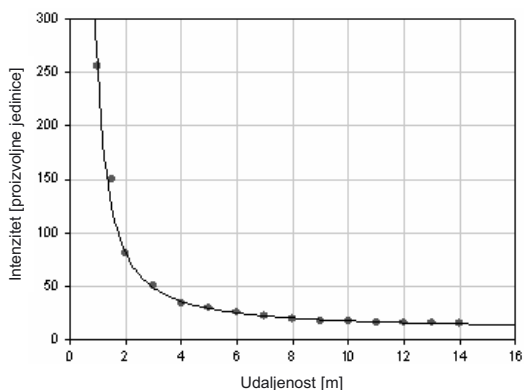
Ovisnost osjetljivosti fotodiode o valnoj duljini

Ako se dobiveni rezultati usporede s grafom koji prikazuje osjetljivost standardnog senzora za izoštravanje na fotoaparatu kao funkciju valne duljine, odmah se uočava zašto automatsko izoštravanje (»autofokus«) ide lakše pod svjetlom karbitke. Naime, senzor je najosjetljiviji u rasponu od 800 do 900 nm, a jedini od ispitanih izvora koji emitiraju u tom području jesu karbitka i halogena žarulja.

PROCJENA DOMETA SVJETILJKE

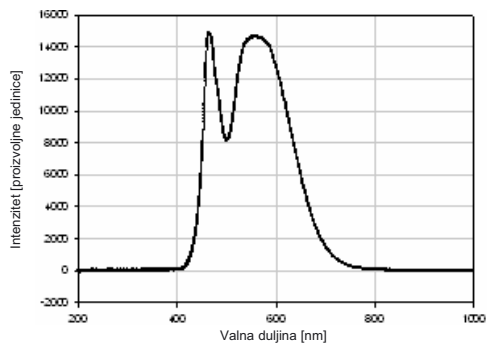
Na početku mjerenja namjeravali smo mjeriti ovisnost intenziteta svjetla o udaljenosti od izvora i tako određivati domet. No pojavio se problem: ako pogledamo graf koji prikazuje ovisnost intenziteta svjetla o udaljenosti, vidjet ćemo da intenzitet pada ispod praga mjerljivosti tek na udaljenosti od nekoliko kilometara. Što je uzrok problema? Je li domet svjetiljke stvarno toliko velik? Ako pokušamo odgovoriti na ova pitanja, zapitat ćemo se najprije što je zapravo domet. Kad bismo domet definirali kao udaljenost s koje je moguće vidjeti prisutnost svjetiljke, tada bi on stvarno bio nekoliko kilometara. To može biti značajno u svjetlosnoj signalizaciji, no nama speleolozima ta veličina ne znači ništa. Nama je važno na kojoj udaljenosti, svjetleći našim izvorom u daljinu, možemo osvijetliti objekt dovoljno da ga raspoznamo. Kao što je već prije spomenuto, u ovom radu domet smo definirali kao udaljenost s koje prosječna osoba svjetleći nekim izvorom može raspoznati slovo R dimenzija 20×15 cm u potpunom mraku.

Na grafu procjene dometa možemo vidjeti da najveći domet ima Zoom Halogen. Odmah zatim slijede svjetiljke Zoom i Duo s ugrađenom LE diodom Luxeon. Kod svjetiljke Krypton vidimo da domet ovisi o broju uključenih LE dioda.

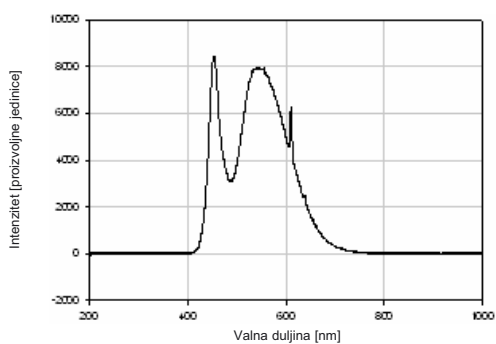


Ovisnost intenziteta o udaljenosti od izvora

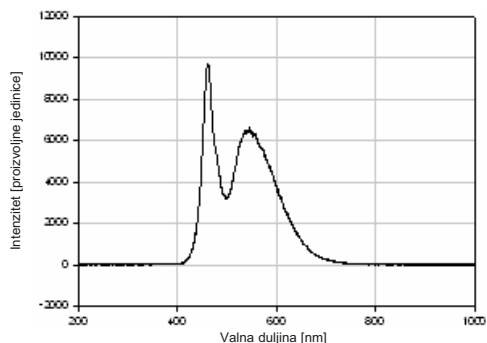
TSL Noxys



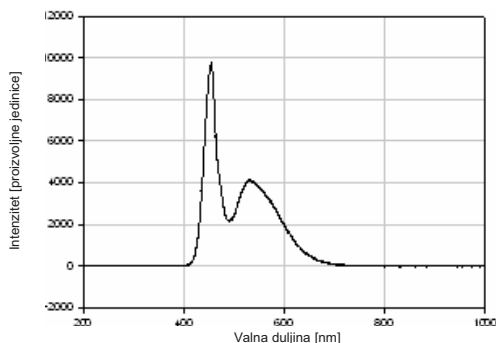
Duo Luxeon



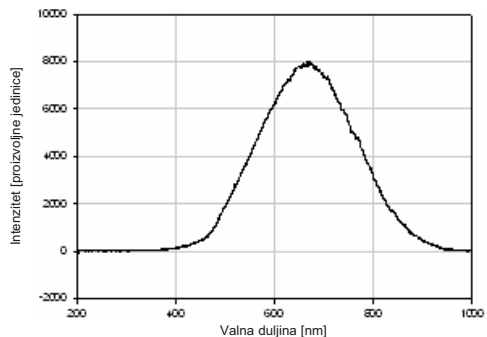
Petzl Tikka



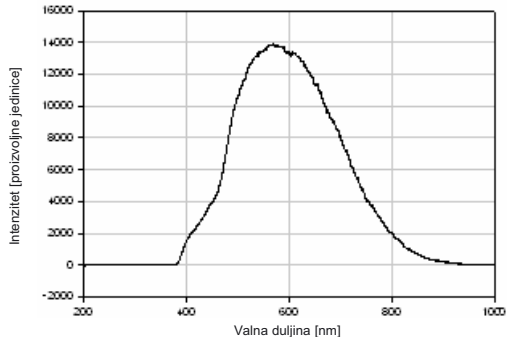
Kripton headlamp



Karbitka



Zoom halogen

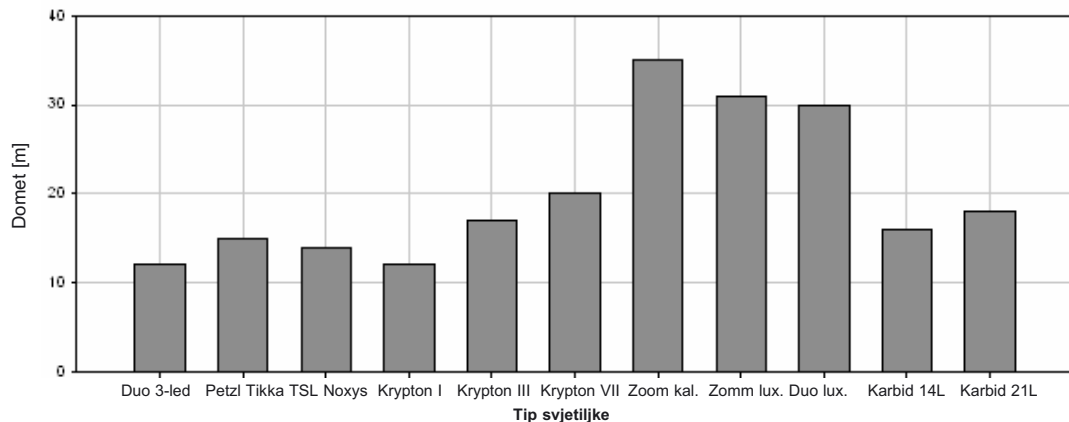


Spektri speleoloških svjetiljki

USPOREDBA ELEKTRIČNIH KARAKTERISTIKA LUXEON LXHL - PW01 I KLASIČNE ŽARULJE

U posljednje vrijeme žarulje se sve više zamjenjuju svjetlećim diodama, kako u svakodnevnom životu, tako i u speleologiji. Prije svega nekoliko godina LED svjetiljke bile su skupe i malog intenziteta, pa su se koristile uglavnom kao sekundarni izvori svjetlosti. Da bismo imali dovoljan intenzitet za primarno svjetlo, trebalo je paralelno spajati velike

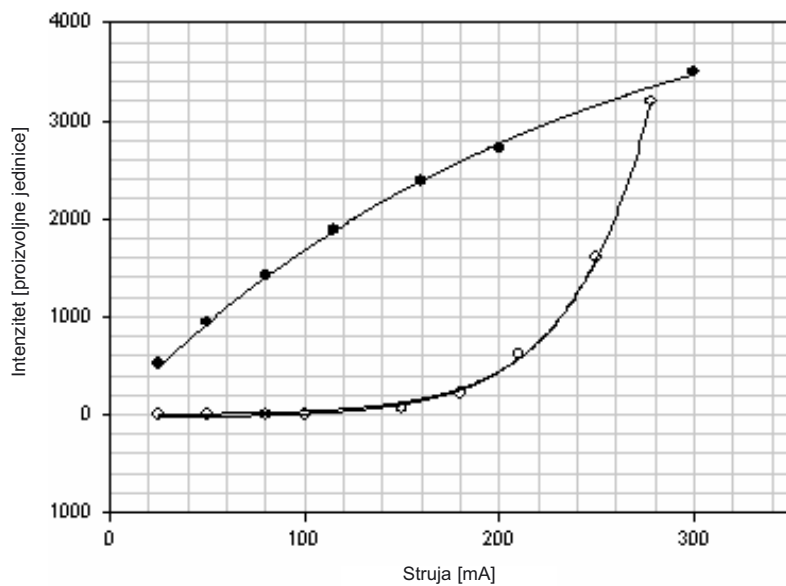
količine LE dioda, što je smanjivalo autonomiju i povećavalo cijenu svjetiljke. Danas se stanje nešto promijenilo. Pojavile su se nove »high flux« svjetleće diode. Izrađuju se raznih snaga od 1 do 5 wata. Cijena im stalno pada pa su nam sve dostupnije i, kao što se može vidjeti iz prethodnih mjerenja, intenzitetom su vrlo blizu halogenih žarulja. Njihova potrošnja je, naravno, značajno niža od potrošnje standardne halogene žarulje. U Speleo-



loškom odsjeku HPD Željezničar »high flux« LE diode pojavile su se početkom 2005. u samogradnji, a Petzl je svoju Tikku XP lansirao u listopadu 2005., čime je LE dioda LXHL - PW01 ušla u širu primjenu.

Graf prikazuje ovisnost intenziteta svjetla o struji kroz izvor. Bijele točke prikazuju karakteristiku klasične žarulje, dok one crne prikazuju karakteristiku LE diode. Na prvi pogled vidimo da LE dioda u svim područjima rada ima veći intenzitet od klasične žarulje. No to nije glavni uzrok superiornosti LE diode. Promatramo ponašanje oba izvora svjetlosti pri struji od 280 mA. Oba izvora svijetlit će približno jednakim intenzitetom i kroz njih će protjecati jednaka struja. U čemu je razlika? Odgovara-

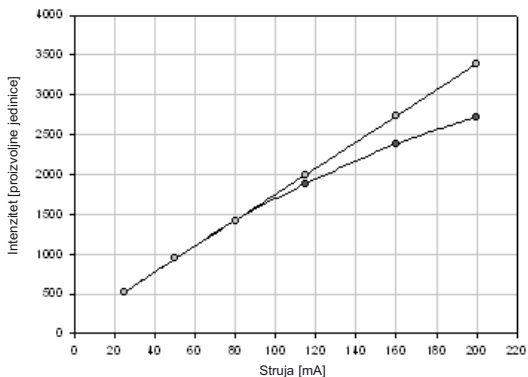
jući na ovo pitanje nikako ne smijemo zaboraviti da su naši izvori u speleologiji priključeni na baterije koje se »troše«, te zbog toga struja kroz izvor s vremenom pada. Promatramo promjenu intenziteta svjetla pri smanjenju struje. Naime, funkcija koja opisuje žarulju prilično je »strmija« od funkcije koja opisuje LE diodu. Iz toga slijedi da će jednaka promjena struje uzrokovati veću promjenu intenziteta svjetla žarulje nego LE diode. Znači, žarulja će prije znatno izgubiti intenzitet nego LE dioda. Karakteristika prikazana na grafu odgovara termički nestabiliziranoj LE diodi. Pogledamo li graf vidjet ćemo da uz termičku stabilizaciju LE dioda ostvaruje još veću iskoristivost.



Usporedba LXHL-PW01 i klasične žarulje

ZAKLJUČAK

U radu smo na temelju mjerenja odredili karakteristike speleoloških svjetiljki. Mjerenja ovisnosti intenziteta o položaju ispred svjetiljke pokazala su da acetilenska rasvjeta (karbitka) još uvijek daje najširi snop svjetlosti i najbolje osvjetljava našu blisku okolinu. Promatramo li maksimalne intenzitete i domete svjetiljki, vidimo da najveće domete postižu svjetiljke s halogenom žaruljom, ali i uz najveću potrošnju električne energije. Većina svjetiljaka s klasičnim bijelim LE diodama ima zadovoljavajuću širinu snopa, no još uvijek premali intenzitet da bi nam poslužile kao primarni izvori svjetlosti. Najbolji omjer intenziteta, širine snopa i potrošnje pokazuju



Utjecaj termičke stabilizacije

svjetiljke s Luxeon LXHL-PW01 svjetlećom diodom, ali je njihova cijena još uvijek visoka. Iz spektralne analize vidimo da halogena žarulja i karbitka emitiraju jedan dio zračenja u infracrvenom području, što omogućava lakši rad fotoaparatom pod njihovim svjetlom. Analiza nam također pokazuje zašto one jeftinije i tehnološki jednostavnije LE diode svijetle slabije od skupih modernih »high flux« LE - dioda. Procjena dometa svjetiljke izrađena je u svrhu usporedbe svjetiljki. Ta procjena vrijedi samo u kontroliranim uvjetima (potpun mrak, čist zrak bez magle koja se često pojavljuje u speleološkim objektima). Iz usporedbe ponovno vidimo da se HF LE dioda ističe dometom. Usporedbom klasične žarulje i LXHL-PW01 objasnili smo zašto LE dioda priključena na iste baterije svijetli duže od klasične žarulje. Iz dobivenih karakteristika možemo zaključiti da su LED svjetiljke sa fizikalnog stajališta pogodnije za uporabu u rasvjeti od klasičnih žarulja i da je samo pitanje vremena kad ćemo sa sigurnošću reći: »Zbogom, gospodine Edison«.

LITERATURA

1. Grupa autora: Speleologija, PDS Velebit, Zagreb, 2000. g.
2. Jelaković, T. : Elektronički elementi i osnovni sklopovi, Školska knjiga, Zagreb, 1995. g.
3. Brezinščak, M. : Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti, Tehnička knjiga, Zagreb, 1966. g.
4. The chemical rubber company: Handbook of chemistry and physics 45. edition, Cleveland, USA, 1964. g.
5. Internet izvori

DEFINING CHARACTERISTICS OF MODERN SPELEOLOGICAL LIGHT

In our work based on the measuring we implemented we defined characteristics of speleological lamps. Measurements of the dependence of the intensity on the position in front of the lamp showed that acetylene light (carbides) still emits the widest light beam and it illuminates out close surrounding in the best possible way. If we observe maximum intensity and range of lamps we can see that lamps with halogen bulbs have the biggest range though with the highest energy consumption. Most lamps with classic white LE - diodes have a satisfactory beam width, but still a too low intensity to be used as primary light sources. The best ratio of intensity, beam width and consumption comes from lamps with Luxeon LXHL-PW01 luminous diode though their price is still high. Spectral analysis shows that halogen bulb and carbide emit a part of radiation in the infrared area which enables easier work with a camera under their light. The analysis also shows why those cheaper and technologically more simple LE - diodes illuminate weaker than modern »high flux« LE - diodes. The estimate of the lamp range was made in order to compare lamps to one another. This estimate is valid only in controlled conditions (complete dark, clean air without fog which frequently occurs in speleological objects). Furthermore, the comparison once again shows that HF LE - diode stands out due to its range. Through the comparison of classical bulb and LXHL-PW01 we explained why LE - diode connected to same batteries illuminates longer than the classical bulb. From the determined characteristics we can conclude that from a physical point of view LED lamps are more adequate to be used for light than classical bulb and now it is only a matter of time when we will be able to say with certainty: »Goodbye, Mr. Edison«.