

se vodič oslanja na izolaciju, a izvodi se od jednog ili dvaju bakrenih opleta (radi bolje gipkosti) izrađenih na stroju »pletarici« sa 12, 16, 18 ili 24 »figure«, ili od bakrene trake koja se uzdužno formira oko distancijskih kolutica u cijevi i odmah obavija čeličnim trakama, ili od uzdužno varene bakrene trake (sl. 93) koja se naknadno vuče na tačnu mjeru ili valovito oblikuje. Vanjski vodič može biti i od čelične valovite cijevi koja je iznutra pobakrena.

Vanjska zaštita obično je od termoplastičnih materijala (crnog polivinilklorida), otpornog prema atmosferskim i kemijskim utjecajima, ultravioletnim zrakama, ulju, zemljji, pljesni itd. a s malom sposobnošću da apsorbira vodu. Ako se za vanjski vodič upotrijebi čelična cijev, ona se mora prije nego se ogrne plaštom snabdjeti antikorozionom zaštitom.

Koaksijalni se kabeli izrađuju s impedancijama od 50, 60, 75, 100 i 125Ω . Upotrebljavaju se za prenos struja visokih frekvencijskih u radio-, televizijskim, relejnim, radarskim, višekanalnim telefonskim uredajima i drugdje.

Ponekad se u telefonskim kabelima jedna ili više koaksijalnih tuba suče zajedno s paricama i četvorkama u kabel i stavlja pod zajednički plašt (v. sl. 55).

Valovodi (v. str. 232) služe za prijenos signala najviših frekvencija (3,6–10 GHz), a u novije vrijeme se izvode, umjesto od pravokutnih, od okruglih ili ovalnih valovitih cijevi (sl. 94). Cijev se radi s najvećom preciznošću savijanjem bakrene trake debljine $\sim 0,5$ mm kontinuirano šavno varene uz eventualnu naknadnu izradu valovitosti. Time cijev dobiva veliku poprečnu čvrstoću i savitljivost. Jednoliko oblikovanim cijevima postižu se najmanji gubici što ih uzrokuju refleksije. Cijevi moraju biti nepropusne za zrak i vodu jer su u pogonu često napunjene nekim plinom s unutrašnjim natpritskom. Plastična vanjska zaštita potrebna je samo ako se valovod češće premata ili premješta, inače nije potrebna, kao ni zaštita od korozije.



Sl. 94. Valovod izrađen od ovalne valovite bakrene cijevi

Ispitivanje kabala

Kabelski proizvodi i sirovine za njihovu izradu ispituju se prema važećim propisima i standardima. Sve zemlje teže za tim da svoje standarde usklade s preporukama IEC (International Electrotechnical Commission). Uz ove postoje i propisi za izradu i ispitivanje specijalnih tipova kabala za zrakoplovstvo, brodogradnju i druge svrhe (npr. francuski Bureau Veritas, engleski Lloyd's Register, američki Bureau of Shipping i drugi). Za vrijeme proizvodnje kontroliraju se duljina i debljina izolacije i plašta, promjeri, centričnost izolacije i greške u izolaciji.

Na gotovom se proizvodu kontrolira duljina, geometrijske veličine, centričnost, mehanička svojstva, boje žila i redoslijed u sloju, te opći izgled proizvoda.

Električna ispitivanja kabala i vodova jake struje vrše se prema konstrukciji i namjeni proizvoda i to: kratki spoj između vodiča i plašta; prekid vodiča; otpor vodiča (Wheatstonovim ili Thompsonovim mostom); otpor izolacije; pogonski kapacitet; probnoj čvrstoći izolacije (promjenljivim izmjeničnim ili istosmjernim naponom). Električna ispitivanja visokonaponskih kabala obuhvataju još i mjerjenje faktora gubitaka $\tan \delta$ (Sheringovim mostom), mjerjenje napona početka ionizacije, ispitivanje udarnim naponom i ciklička ispitivanja ugrijavanja i hlađenja uz kontrolu faktora gubitaka $\tan \delta$. Zatim se ispituje unutrašnji pritisak u kabelu, eventualne promjene i nepropusnost plašta.

Telefonski i visokonaponski kabeli podvrgavaju se, osim vizuelnoj i geometrijskoj kontroli i nekim gore navedenim ispitivanjima, još i ispitivanju pogonskog kapaciteta i odvoda, kapacitivnog i induktivnog preslušavanja, gušenja preslušavanja, ali se moraju ustanoviti i druge njihove karakteristike, pogotovo ako se radi o novom tipu kabela. To su npr. karakteristična impedancija, specifično gušenje i konstante R' , L' , C' i G' (v. str. 226) uz mjerjenje homogenosti i refleksije po cijeloj njihovoj duljini. Svestrano

se ispituju izmijenjene ili nove konstrukcije kabala i prikladnost novih materijala; na kabelima redovne proizvodnje vrše se samo najvažnija kontrolna ispitivanja.

Pakiranje kabala

Pakiranje tanjih i savitljivih vodova i kabala vrši se prematanjem sa završnog proizvodnog bubnja u komadima od 50, 100 m ili više, a prema standardu tvorničkih duljina. Koturi se namataju na strojevima prematalicama koje imaju rasklopljive kaleme i mjeruč namotane duljine. Isporučuju se vezani trakom, u plastičnim vrećicama ili u kutijama s označom proizvoda i proizvoda.

Teži i krući vodovi i kabeli isporučuju se na drvenim bubenjima u komadima od npr. 150, 300, 500, 750, 1000 m.

Vanjski promjeri bubenjeva iznose 400–3300 mm, a istom promjeru odgovaraju razni promjeri jezgre. Npr. kabeli s armaturom (dozvoljeno savijanje $\sim 20 D$) trebaju bubenj s jezgrom većeg promjera nego savitljiviji kabeli. Tvornice kabala imaju svoje interne norme koje propisuju koji se tip kabala i u kojoj duljini smije namotati u određenu vrstu bubenja. Na bubenju mora biti označena vrsta i tip kabala, presjek i broj žila, napon, duljina, težina i proizvoda.

Kabeli koji se moraju izraditi u jednom vrlo dugom komadu (npr. podmorski kabeli) slažu se izravno, onako kako dolaze sa završnog stroja, u vagone, s time da se kabel između pojedinih vagona ne prekida. Tvornice uz rijeku ili more slažu ovakve kabele u velikim duljinama izravno u posebne brodove za polaganje podmorskih kabala (v. Brodovi, specijalni, TE 2, str. 446).

M. Rajčević

LIT.: H. W. Droste-Neumeyer, Hilfsbuch für Kabel und Leitungen, Nürnberg 1934. — R. King, H. Mimmo, A. Wing, Transmission lines, antennas and wave guides, New York 1945. — Westinghouse, Electrical transmission and distribution, East Pittsburgh 1950. — W. zur Megele, Fortleitung elektrischer Energie längs Leitungen in Starkstrom- und Fernmeldetechnik, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1950. — F. Woodruff, Principi prijenosa električne energije (prijevod s engleskog), Zagreb 1954. — P. V. Hunter, J. Temple-Hazell, Development of power cables, London 1956. — W. Ehlers, H. Lau, Kabel-Herstellung, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1956. — P. Behrens, H. Meyer, J. Neff, Aluminijski nadzemni vodovi (prijevod s njemačkog), Zagreb 1959. — G. Schenkel, Schneckenpressen für Gummi und Kunststoffe, Hannover-Wulffel 1960. — R. Adler, L. J. Chu, R. Fano, Electromagnetic energy transmission and radiation, New York 1960. — J. Artibauer, Kabel und Leitungen, Berlin 1960. — D. Kaiser, Elektrotehnički priručnik, Zagreb 1964. — Извештајно-технический справочник по электросвязи, Москва 1964. — К. Шимонин, Теоретическая электротехника, Москва 1964. — K. Küpfmüller, Einführung in die theoretische Elektrotechnik, Berlin-Heidelberg-New York 1965. — H. Waddicor, The principles of electric power transmission, London 1964. — J. McCombe, F. R. Haigh, Overhead line practice, London 1966. — C. C. Barnes, Power cables, their design and installation, London 1966. — G. A. Boal, Electric power distribution, London 1966. — А. И. Петраико, М. И. Шахнович, Электротехнические материалы, электрические конденсаторы, провода и кабели, Москва 1968. — Р. Wasowski, Sieci elektryczne, Warszawa 1969. — И. И. Гродес, Л. А. Фролова, Коаксиальные кабели связи, Москва 1970. — В. А. Привезенцев, Э. Т. Парина, Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии, Москва 1970. — R. A. Waldron, Theory of guided electromagnetic waves, London-New York 1970. — V. Srb, Kabelska tehnika, Zagreb 1970. — А. И. Белоруссов, Электрические кабели и провода, Москва 1970.

T. Bosanac V. Matković
M. Rajčević V. Srb

ELEKTRIČNO OSVJETLJENJE (ELEKTRIČNA RASVJETA), umjetno osvjetljivanje predmeta i objekata svjetlom električnih izvora kako bi ih čovječe oko moglo vidjeti. Radi postizanja što prikladnije rasvjete električni se izvori svjetla postavljaju u pogodne svjetiljke.

Historijat. Prvi izvori električnog svjetla koji su se i u praksi afirmirali bili su električna lučnica i električna žarulja. Njihov je razvoj tekao usporedno. *Električna lučnica*. Nakon prvog prijedloga da se električni luk upotrijebi kao izvor svjetla (V. V. Petrov, 1803) i prvih pokusa s električnim lukom (Humphry Davy, 1813) mnogi su se istraživali bavili problemom električnog luka. U prvo vrijeme za obje elektrode među kojima bi se pojavljivao električni luk uzimao se drveni uglen natopljen nekom vodljivom tekućinom, zatim retortni uglen (iz plinara), a kasnije umjetni retortni uglen. Radi postizanja boljeg svjetla uglenjima su se elektrodama početkom ovog vijeka dodavale i različne metalne soli. Elektrode lučnica se prilikom gorjenja luka troše i skraćuju. U toku godina izumljeno je više sistema za održavanje stalnog međuelektričnog razmaka, od ručnih do potpuno automatskih. Rus P. N. Jabločkov riješio je uspješno ovaj problem dvjema paralelnim elektrodama koje podjednako izgaraju i time se zadržava među njima stalno isti razmak (tzv. Jabločkovjeva svijeća, 1876). Međutim, do šire primjene lučnica došlo je tek poslije 1879., tj. nakon izuma (1867) i usavršavanja električnog dinamo-stroja koji je bio kadar davati dovoljnu energiju za napajanje lučnica. U unutrašnjoj rasvjeti lučnicu su već vrlo rano zamjenile jednostavnije električne žarulje, ali za vanjsku rasvjetu one su služile do tridesetih godina ovog stoljeća, kad su ih potpisnike žarulje veće snage i specijalne sijalice. Danas se lučnici primjenjuju samo još u nekim projekcionim aparaturama i u jakim reflektorma. One stoga u ovom članku neće biti opisane.

Električne žarulje. Prvi pokušaji da se toplinsko djelovanje električne struje iskoristi i za stvaranje svjetlosti padaju u razdoblje između 1838 i 1845. Strujom užareni ugleni štapići i platinska žica nalazili su se u početku u zraku, ali već

ELEKTRIČNO OSVJETLJENJE

1841 prijavljen je u Engleskoj prvi patent za električnu žarulju sastavljenu od evakuiranog staklenog balona u kome je električnom strujom usijana platinska žica grijala do žarenja ugljeni sloj. Dalji razvoj kretao se u pravcu iznalaženja približnog materijala za žarnu nit, koji bi imao visoko talište i trajno izdržao što više radne temperature. U pogledu mogućnosti zagrijavanja na visoku temperaturu, grafit (u koji prelazi i amorfni ugljik na visokoj temperaturi), sa svojom visokom temperaturom taljenja (iznad 3700 °C) i malim naponom para, predstavljač bi idealan materijal za žarnu nit, ali se ugrijene niti koje se dobivaju karboniziranjem organskog materijala praktički ne mogu trajno zagrijati iznad 3000 °C. Na toj temperaturi električni je otpor grafta razmjerno velik, te žarulje s ugrijenom niti imaju također nedostatak da troše mnogo struje.

Pove žarne niti izradivale su se od retortnog ugrijena, a zatim od ugrijena dobivenog žarenjem celuloznih vlakana u vakuumu (npr. papira, Englez J. W. Swan 1850). Žarulje s grafitskim štapićem, napunjene dušikom (Rus A. N. Lodygin) upotrijebljene su 1872 prvi put za javnu rasvjetu. Koristeći se iskustvima svojih prethodnika, u Americi je T. A. Edison usavršio konstrukciju žarulje, poboljšao postupke njezine proizvodnje i tako (1879) stvorio električnu žarulju s ugrijenom niti u vakuumu, prvu koja je odgovarala zahtjevima tadašnje praktične primjene. Prva instalacija sa 112 takvih žarulja izvedena je na parobrodu "Columbia" 1880.

God. 1897 uveo je W. Nernst žarulju sa žarnim tijelom od poluvodiča (85% ZrO_3 , i 15% Y_2O_3), koje je trebalo radi postizanja potrebe električne vodljivosti predgrijavati platiniskom spiralom. God. 1902 uveo je C. Auer v. Welsbach žarulju s niti od osmijuma (dobivenu istiskivanjem paste od metalnog praha i pogodnog veziva), a 1905 predlaža W. v. Bolton i O. Feuerlein vučeni tantal kao materijal za žarnu nit. Prvu upotrijebljenu žarulju s volframskom niti, proizvedenom na licu mjeseta redukcijom iz pogodnog volframskog spaja oblikovanog u stanju paste, patentirali su 1906 A. Just i F. Hanaman. (Franjo Hanaman, rođen 1878 u Drenovcima u Slavoniji, umro je 1941 kao profesor Tehničkog fakulteta u Zagrebu.) Tako dobivene volframske niti bile su (kao i niti od osmijuma) krte i stoga male trajne. U isto vrijeme bilo je i pokušaja s metaliziranim ugrijenim nitima (I. W. Howell, W. R. Whitney), ali žarulje s metalnim niti mogla se konačno afirmirati tek pošto je W. D. Coolidge 1908 u USA pronašao postupak dobivanja vučene volframske niti velike čvrstoće. Punjenje balona inertnim plinovima (argonom, dušikom; I. Langmuir 1913) povećalo je trajnost žarulje uslijed smanjenog isparavanja volframa; u isto vrijeme povećano je svjetlosno iskorijenje žarulje (svjetlosni tok po utrošenoj jedinici električne snage) spiraliziranjem niti. Poslije tih poboljšanja nestale su sa tržišta sve starije vrste žarulja. God. 1932 uvedena je dvostruko spiralizirana nit, a od 1936 upotrijebljava se (uz argon) kao plin za punjenje žarulja i kripton. Dvostrukim spiraliziranjem niti i punjenjem žarulje plinom male toplinekske vodljivosti dalje je počeo svjetlosno iskorijenje i omogućeno je znatno smanjenje dimenzija žarulje. (Žarulja od 100 W, npr., proizvodila se dugi s balonom promjera 75 mm, a danas se proizvodi s balonom iste veličine kao žarulja od 25 W, tj. 60 mm.) Jedinstveni promjer svih žarulja za opću upotrebu snage od 25 do 100 W omogućio je proizvodnju u velikim serijama automatskim strojevima i time veliko smanjenje troškova proizvodnje. Tabl. 1 prikazuje razvoj žarne niti električnih žarulja.

Tablica 1

RAZVOJ ŽARNIH NITI ELEKTRIČNIH ŽARULJA OD 1881 do 1910

Godina	Vrsta žarne niti, tačka taljenja	Svjetlosno iskorijenje lm/W	Trajnost h
1881	Karbonizirano bambusovo vlakno, > 3700 °C	1,68	600
1884	Karbonizirano celuloza	3,40	400
1888	Asfaltom prevuđeno karbonizirano bambusovo vlakno	3,00	600
1897	Nernst-keramika, oksidi	5,00	300...800
1898	Osmijum, 3045 °C (± 30 °C)	5,5	1000
1902	Tantal, 2995 °C (± 25 °C)	5,0	250...700
1904	Metalizirana ugrijena nit	4,0	600
1904	Nekovni volfram	7,85	800
1910	Kovni volfram, 3410 °C (± 10 °C)	10,0	1000

Posljednjih godina pojavile su se tzv. halogenske ili jodne žarulje, koje daju bijeli svjetlo jer rade na jako visokoj temperaturi (> 3000 °C). One su punjene jodnim parama koje u toku ciklusa kemijskih pretvorbi vraćaju na žarnu nit volfram što se istaložio na stjenke kvarcnog balona. Naročito su prikladne za automobilске reflektore.

Osim lučnica i žarulja počele su se početkom ovog stoljeća postepeno upotrijebljavati i drugi električni izvori svjetlosti kao što su svjetlosne cijevi, tinjalice, sijalice s metalnim parama i fluorescentne cijevi.

Svetlosne cijevi. Iz tzv. Geisslerovih, razrijedjenim plinom napunjениh staklenih cijevi, u kojima je pri priključku na visoki napon svjetlio pozitivni stup tijavog izbijanja, razvila su se postepeno tzv. svjetlosne cijevi. Problemom tih cijevi bavio se D. McF. Moore (1891–1904) i on je razvio svjetlosne cijevi punjene dušikom (žuto svjetlo) i uglijčnim dioksidom (bijelo svjetlo) koje su služile za osvjetljenje izloga (Mooreovo svjetlo). Zbog teškoća s održavanjem pravilnog podtlaka u cijevima, ova svjetla nisu odmah prihvaćena; tek kad su se počele puniti plinovima (neonom itd.) postale su prikladne za široku primjenu (1910) i počele su se upotrijebljavati za reklamne svrhe, za koje se i danas prvenstveno upotrijebljavaju.

Sijalice s metalnim parama. Prvi prijedlozi i pokusi da se između dvije elektrode od žive uspostavi električni luk vršeni su već vrlo rano (J. T. Wey 1860, J. Rappé 1879). Sijalicu sa živinom parama predložio je L. Arons (1892). Ova se sijalica počela proizvoditi 1901, ali zbog nepovoljne boje svjetla nije našla široku primjenu. Stoga njezin proizvođač uvođe dodatni fluorescentni zaslon, koji je donekle nadoknađuje deficitno crveno svjetlo (P. Cooper Hewitt 1903). To je jedino prva živina niskotlačna sijalica (1–2 mmHg) koja se mnogo upotrijebljava. Isti istraživač konstruirao je živinu kvarcnu sijalicu, koja je zbog svog jakog ultraljubičastog zračenja služila za specijalne namjene (ozračivanje, sterilizaciju, stvaranje ozona itd.). Daljnji razvoj živinskih sijalica kreće se u pravcu poboljšanja spektra njihova svjetla. Bolja korekcija boje postiže se pogodnjim fluorescentnim prahom kojim se premazuje balon s unutrašnjim stranama (Hewitt 1938). Kombinacija obične žarulje sa živinom sijalicom (tzv. sijalica za miješano svjetlo) daje meko bijelo svjetlo prikladno i za unutrašnju rasvjetu. S obzirom na to da se povećanjem radnog tlaka spektr postaje povoljniji, prešlo se na razvijanje živinskih sijalica s višim tlakom (u eksperimentima čak i do 280 atm). Rezultat su tih nastojanja današnje sijalice s visokim tlakom (~ 1 atm) koje se u izvedbi s korekturom boje i bez nje mnogo primjenjuju. Za specijalne namjene izrađuju se danas sijalice i s najvišim tlakom (10–1000 atm).

Sijalice s natrijumskim parama, koje se odlikuju visokim stepenom svjetlosnog iskorijenja, počele su se u praksi primjenjivati poslije drugog svjetskog rata. Zbog svog monohromatskog (žutog) svjetla nijihova je primjena ograničena na određene vanjsku rasvjetu.

Visokonaponske ksenonske sijalice razvijene su krajem pedesetih godina ovog stoljeća. Odlikuju se svjetlom sličnim dnevnom svjetlu, a upotrijebljavaju se za specijalne namjene.

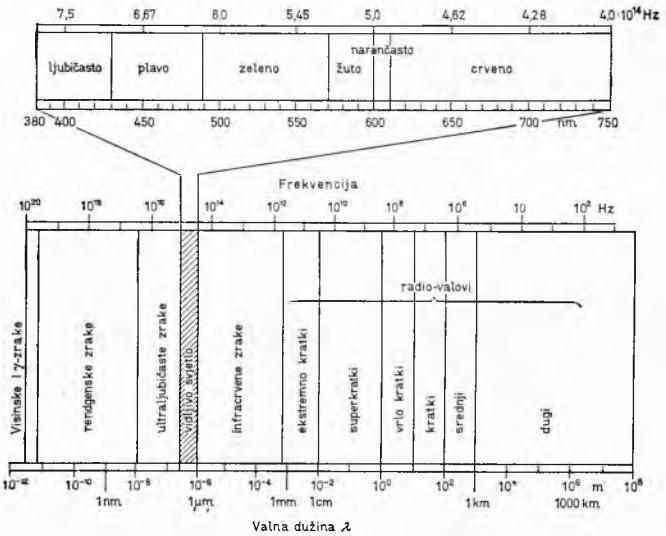
Fluorescentne cijevi razvijene su u Americi i pojavljuju se na tržištu 1938. One su ispočetka služile za dekorativne svrhe (izložbe u New Yorku i San Francisku 1939), zatim su se počele postepeno upotrijebljavati za unutrašnju rasvjetu (1942), a nešto kasnije i za vanjsku rasvjetu (1944). Danas dolaze fluorescentne cijevi prema upotrijebljenoj količini na drugo mjesto, odmah iza žarulja, a primjenjuju se za unutrašnju i vanjsku rasvjetu.

Svjetleće plote, najnovija vrsta svjetlosnih izvora, još su u razvoju.

Kroz sve prethodne vijekove ljudi su mogli razvijati svoju aktivnost uglavnom samo po danu. Nagli razvoj i svestrana primjena električne rasvjete omogućili su da se sve ljudske aktivnosti obavljaju podjednako po noći i po danu. Svjedoci smo kako se s porastom rasvjete pojedinačni i kolektivni život ljudi produžava u noćne sate, kako ljudi zbog toga mijenjaju svoje radne navike, običaje i čak svoj mentalitet. Pored stanova, radionica, škola i svih drugih prostorija u zgradama, pored svih ulica u gradovima i selima, počinju se osvjetljavati i međugradske ceste. Danas se ne postavlja samo pitanje dovoljne rasvjete, nego i o dobre rasvjete, tj. rasvjete koja neće smetati pri radu, vožnji ili odmoru. Potrebe i zahtjevi savremenog čovjeka sve su veći, te nije više dovoljno da bude svjetlo tamo gdje je prije bila tama. Potrebno je stvarati vidni komfor, neophodan za produktivan rad i ugodno osjećanje čovjeka.

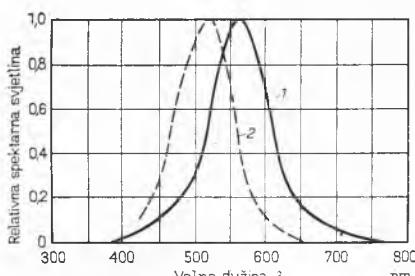
Svjetlost i vid

Svjetlost je elektromagnetsko zračenje koje nadražuje mrežnicu u čovječjem oku i time izaziva u organizmu osjet vida. Od ukupnog toka energije što je zrači neki izvor svjetlosti, samo dio ima sposobnost da posredstvom oka izazove u čovječjem organizmu vizuelni osjet svjetline. Taj se dio zove svjetlosni tok. To su elektromagnetska zračenja na području valnih dužina 380–750 nm, tzv. vidljivog spektra (sl. 1). Vidljiva elektromagnetska zračenja (osim vrlo slabih) izazivaju u organizmu osim osjeta svjetla i doživljaj boje. Spektar vidljivog svjetla dijeli se na više područja od kojih svaki izaziva osjet određene boje (v. članke Boja i Optika). Čovječe oko nije podjednako osjetljivo na sva zračenja u vidljivom spektru. Kad je energija zračenja podjednako raspodijeljena na sve valne dužine vidljivog spektra (izoenergetski spektar), svjetlosni tok na pojedinim valnim dužinama spektra nije jednak. On je najveći u blizini valne dužine 555 nm (zelena svjetlost), a najmanji pri krajevima spektra. Svjetlosni se tok izražava obično relativno, pa pod relativnom spektarnom svjetlinom — ili jarkošću — razumije se omjer između svjetlosnog toka što odgovara ispitivanom svjetlu određene valne dužine i toka monohromatskog svjetla valne dužine 550 nm. Standardnu



krivulju relativne spektarne svjetline, koja je dobivena kao srednja vrijednost iz velikog broja mjerjenja, prikazuje sl. 2. Krivulja I važi za gledanje pri jačem svjetlu (gledanje čunjićima, v. dalje

Optička fiziologija), a krivulja 2 odnosi se na noćno gledanje (štapićima). Ona pokazuje da je pri noćnom gledanju valna dužina za koju je oko najosjetljivije pomjera iz žutozelenog dijela spektra (550 nm) u modrozeleni dio (500 nm). (V. i Boja, TE 2, str. 60).



Sl. 2. Međunarodna standardna krivulja spektralne svjetline ili jarkosti

Tu pojavu otkrio je 1830 češki liječnik J. Purkyně, pa je po njemu taj efekt i dobio ime.

Velik broj suvremenih izvora svjetlosti emitira (kao i Sunce) pored vidljivog zračenja također ultraljubičasto ili infracrveno zračenje, koja se zračenja s obje strane nastavljaju na područje vidljivog dijela spektra. Ultraljubičasto i infracrveno zračenje nevidljiva su za čovječe oko (nazivaju se ponekad i nevidljivim svjetlima, ultraljubičastim i infracrvenim svjetlom). Ultraljubičasto zračenje (duljine vala 10–380 nm) ima jako fotoekscitaciono i fotokemijsko djelovanje na tkože živih bića i na mnoge tvari (npr. unistava mikroorganizme, pigmentacija čovječjeg kožu, izbljeduje bojila), a infracrveno zračenje (duljine vala 780–10 000 nm) predstavlja zračenu toplinu, tj. ono zagrijava tijela u kojima se apsorbira. Zbog tih svojstava ultraljubičasto i infracrveno zračenje upotrebljavaju se za mnoge svrhe u tehnici, medicini, poljoprivredi itd. Ultraljubičasto zračenje upotrebljava se npr. u fotografiji, štamparstvu, tektstilnoj i sanitarnoj tehnici, za terapeutске svrhe, a infracrveno se upotrebljava npr. za grijanje soba, u stambenim prostorijama i vrtnim restauracijama, za sušenje u lakičnicama automobila, u uzgoju biljki i živine, u kemijskoj analizi (infracrvena spektroskopija). Zato se grade izvori jednih i drugih zračenja, često po istim principima po kojima se grade i izvori vidljivog svjetla (npr. kvarcne svjetiljke i infracrveni grijaci koji imaju oblik žarulja). Na ultraljubičastom zračenju se osim toga zasniva rad nekih izvora vidljivog svjetla: fluorescentski cijevi i živinice sijalice.

Svetlosne veličine i jedinice. Električni izvori svjetlosti zrače svjetlosnu energiju u obliku elektromagnetskih valova. Dio tog svjetlosnog toka što stiže u oko, izravno ili nakon refleksije i transmisije, predstavlja stimulus (podražaj) za vidni organ i u njemu izaziva osjet svjetline.

Zračenje svjetlosti i stimulus fizikalne su pojave, pa se stoga sve veličine zračenja mogu mjeriti uobičajenim fizikalnim jedinicama, npr. svjetlosni tok u vatima, količina svjetlosti u vatsekundama, itd. Međutim, pri vrednovanju svjetlosnih veličina za svrhe rasvjete valja poći od čovjeka i njegovih vidnih osjetila pa se zbog toga pri mjerjenju svjetlosnih veličina (u fotometriji) upotrebljava poseban sistem fotometrijskih veličina i poseban sistem fotometrijskih mjernih jedinica u okviru međunarodnog sistema jedinica (SI), s kandelom (cd), jedinicom za jakost svjetla, kao osnovnom fotometrijskom jedinicom.

Osim kandele, u sistem fotometrijskih jedinica ide *lumen* (lm), jedinica svjetlosnog toka; *lumen-sat* (lmh), jedinica količine svjetlosti (svjetlosne energije); *lux* ($lx = lm/m^2$), jedinica osvjetljenonosti (gustoće svjetlosnog toka); *nit* ($nt = cd/m^2$) i *stib* (cd/cm^2), jedinice luminičnosti (jarkosti, intenziteti vizuelnog osjećaja), *lumen po vatu* (lm/W), jedinica svjetlosnog iskorijenja (odnosa svjetlosnog toka i električne snage potrebne za njegovu proizvodnju). Definicije tih jedinica i veličina koje se njima mijere v. u članku *Fotometrija*. Tamo v. i *fotometrijske krivulje*, koje prikazuju raspodjelu svjetlosnog toka nekog izvora svjetlosti u prostoru. Jedinicice fotometrijskog sistema povezane su s fizikalnim jedinicama pomoću *mehaničkog ekvivalenta svjetlosti*, tj. dimenzijske konstante kojom se jedinica (mehaničke ili električne) snage preračunava u jedinicu svjetlosnog toka ($1 W = 682 lm$).

Odbijanje, upijanje i propuštanje svjetlosnog toka. Kad snop svjetlosti padne na površinu nekog predmeta, jedan se dio tog toka od njega odbija (reflektira), drugi dio se upija (apsorbira), a treći dio, ukoliko se radi o prozirnom materijalu, kroz njega prolazi (biva propušten, transmitiran). Zahvaljujući samo

dijelu reflektirane svjetlosti što dopire s raznih predmeta do oka promatrač te predmete vidi i može se prema njima orijentirati.

Tablica 3
OSVIJETLJENOST U NEKIM TIPIČNIM OKOLNOSTIMA

Okolnosti osvjetljenja	Osvjetljenoš lx
u podne na otvorenom prostoru, ljeti, kad je nebo bez oblaka	100 000
zimi, na otvorenom prostoru	10 000
ljeti, u podne, kad je oblačno	2000–5000
ljeti, u podne, iza prozora	1000–3000
u zoru i u sutoru na otvorenom pod punim mjesecom i kada je nebo bez oblaka	5000
na stolu u dnevnom boravku, uz dobru rasvjetu	0,25
u uredskim prostorijama, uz veoma dobru rasvjetu	500
	800

Ukupni upadajući tok svjetlosti Φ može se prema tome podijeliti na odbijeni (reflektirani) tok Φ_r , na upijeni (apsorbirani) tok Φ_a i na propušteni (transmitirani) tok Φ_t . Faktor odbijanja (refleksije) r zove se omjer između dijela svjetlosnog toka koji se odbija od predmeta i ukupnog upadajućeg toka, $r = \Phi_r/\Phi$. Faktor

Tablica 4
SVIJETLODNA JAKOST NEKIH IZVORA SVIJETLA

Izvor svjetlosti	Svetlosna jakost cd
Žarulja za bicikl	1
Žarulja za bicikl s reflektorom	250
Žarulja 150 W/24 V s ugradenim reflektorom	20 000
Pomorski svjetionik, u centru snopa	2 000 000

upijanja (apsorpcije) a je omjer između onog dijela svjetlosnog toka što ga neko tijelo upija i ukupnog upadajućeg toka, $a = \Phi_a/\Phi$. Faktor propuštanja (transmisije) t zove se omjer između onog dijela svjetlosnog toka što ga neko tijelo propušta i ukupnog upadajućeg toka, $t = \Phi_t/\Phi$.

Tablica 5
JARKOST NEKIH IZVORA SVIJETLA I OSVIJETLJENE POVRSINE PAPIRA

Izvor svjetlosti	Jarkost
Sunce	165 000 sb
Mjesec	0,25 "
Zarna nit u žarulji, dobijela usijana	700 "
Žarulja s mlijekočnim stakлом	20 "
Sijalica s natrijumskim parama	19 "
Fluorescentna cijev	8 000 nt
Bijeli papir kod osvjetljenoosti 400 lx, $q = 80\%$	100 "
Sivi papir kod osvjetljenoosti 400 lx, $q = 40\%$	50 "
Crni papir kod osvjetljenoosti 400 lx, $q = 4\%$	5 "

Zbroj ovih triju faktora jednak je jedinici:

$$r + a + t = 1.$$

Ako je materijal neproziran ($t = 0$), onda je

$$r + a = 1.$$

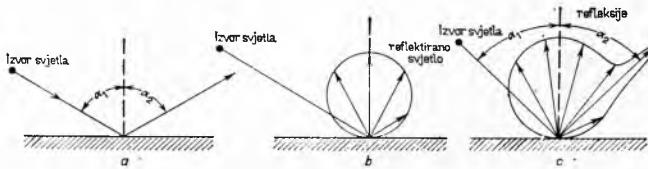
Apsorbirani dio svjetlosnog toka pretvara se u toplinu i druge oblike energije, on je prema tome izgubljen za rasvjetu. Reflektirani i transmitirani dijelovi svjetlosnog toka raspodjeljuju se u prostor, padaju na površine predmeta i čine ih vidljivim ili doprinose povećanoj vidljivosti predmeta koji su već osvjetljeni direktnom svjetlošću.

Refleksija svjetlosnih zraka. Ako svjetlosne zrake padaju na neku visokoizglađenu površinu, dolazi do potpune ili zrcalne refleksije. U tom je slučaju za sve zrake upadni kut α_1 jednak kutu odraza α_2 (sl. 3 a), zrake ostaju paralelne i poslije odbijanja, a reflektirani svjetlosni tok jednak je upadnom svjetlosnom toku

Tablica 2
SVIJETLOSKI TOK NEKIH IZVORA SVIJETLA

Izvor svjetlosti	Svetlosni tok lm
Žarulja za bicikl	10
Žarulja 150 W	1 940
Fluorescentna cijev 40 W, 3500 °K	2 000
Sijalica sa natrijumskim parama 140 W	13 000
Sijalica živila visokotlačna 400 W	20 500

jer je faktor odbijanja $r = 1$. U slučaju da je reflektirajuća površina nekog predmeta hrapava, odbijene se zrake usmjeruju u svim smjerovima pa se takva refleksija naziva *difuznom refleksijom* (sl. 3 b). Između ova dva ekstremna slučaja ima više vrsta refleksije koje se zovu miješana refleksija ili poludifuzna refleksija (sl.



Sl. 3. Refleksija svjetla, razne vrste. *a* Idealna potpuna refleksija, *b* difuzna refleksija, *c* miješana refleksija

3 c). Površine materijala koje daju miješanu refleksiju, kao što je glatki papir, linoleum, polivinil i sl., ne odslikavaju jasnu sliku izvora svjetlosti, već se na njima odražuje svjetleća mrlja, zbog čega je rad na stolovima koji su prekriveni takvim materijalima otežan.

Tablica 6

FAKTORI REFLEKSIJE BIJELOG SVJETLA SA POVRŠINE NEKIH MATERIJALA NEPROPUŠNIH ZA SVJETLOST

Materijal	Faktor odbijanja	Materijal	Faktor odbijanja
Gipsani premaž, bijeli nov i suh star	0,70...0,80 0,30...0,60	Daske od brezovine Daske od hrastovine svijetlo lakirane tamno lakirane	0,55...0,65 0,40...0,50 0,15...0,40
Bijela boja vapnenca uljna	0,65...0,75 0,75...0,85	Daske od orahovine Velur, crni Emajl, bijeli	0,15...0,40 0,005...0,01 0,65...0,75
Boja od aluminijuma Beton	0,60...0,75	Aluminijum poliran matiran	0,005...0,01 0,85...0,95 0,55...0,60
Zid od opeka nov star	0,40...0,50 0,05...0,15	Srebro, polirano Nikal poliran matiran	0,88...0,93 0,53...0,63 0,48...0,52
Ploče od ukočenog drva nove stare	0,10...0,30 0,05...0,15	Bakar Krom poliran matiran	0,48...0,50 0,60...0,70 0,52...0,55

Sastav reflektirane svjetlosti nije uvek jednak sastavu upadne svjetlosti. Ima materijala koji imaju isti faktor refleksije za svjetlost svih valnih dužina. Kad dnevna svjetlost padne npr. na površinu takva materijala i ako je njezin faktor refleksije veći od 0,75, takvu površinu nazivamo bijelom. Ako je faktor refleksije između 0,5 i 0,75 nazivamo je sivom, a ako je ispod 0,5 nazivamo je crnom. Ako materijal svjetlo nekih valnih dužina selektivno apsorbira, s njegove površine, osvijetljene bijelim svjetлом, reflektira se svjetlo različitog spektarnog sastava, pa se ona prikazuje obojena.

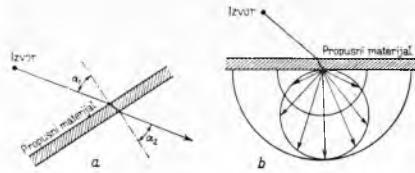
Tablica 7

UTJECAJ BOJE NA FAKTOR ODBIJANJA DIFUZNOREFLEKSNE POVRŠINE

<i>Boja</i>	<i>Svijetla</i>	<i>Srednje svijetla</i>	<i>Tamna</i>
<i>Faktor odbijanja</i>			
žuta	0,70	0,50	0,30
zutosiva (bez)	0,65	0,45	0,25
smeda	0,50	0,25	0,08
crvena	0,35	0,20	0,10
zelena	0,60	0,30	0,12
plava	0,50	0,20	0,05
siva	0,60	0,35	0,20
bijela	0,80	0,70	—
crna	—	0,04	—

Propuštanje svjetlosnih zraka. Kad je materijal proziran, zrake svjetlosti prolaze kroz njega i izlaze s druge strane u prostor. Ta se pojava naziva propuštanje (transmisijsa). Međutim, sve svjetlosne zrake ne produ kroz više ili manje proziran materijal, već se jedan dio reflektira od upadne površine, a drugi dio bude

apsorbiran od materijala. Zrake koje produ kroz materijal u nekim slučajevima ostaju paralelne, a u drugim se raspu u svim smjerovima. Prvi slučaj se naziva *pravilna transmisija* (sl. 4 a), a drugi *difuzna transmisija* (sl. 4 b). Pri pravilnoj transmisiji zrake se svjetla prilikom prelaza iz rjedeg u gušći medij zbog smanje-



Sl. 4. Propuštanje svjetlosti kroz prozirne materijale. *a* Pravilna transmisija, *b* difuzna transmisija

nja brzine širenja lome ka okomici i odstupaju od prvobitnog pravca. Pri izlasku iz gušće materije u rjedu one se lome od okomice i poprimaju ponovo prvobitni smjer.

Tablica 8

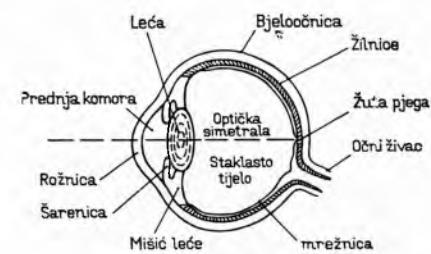
<i>Materijal</i>	<i>Faktor transmisije</i>
Prozirno staklo	0,90...0,93
Matirano staklo	0,55...0,65
Prizmatično staklo	0,65...0,75
Opalno staklo	0,59...0,84
Opalno staklo debelo	0,10...0,38
Ploče od opalnog stakla	0,35...0,65
Svila bijela	0,60...0,70
Svila u boji	0,15...0,55
Dvostruko svileno sjenilo za svjetiljke	0,05...0,35
Voštani papir	0,40...0,45

Svjetlost izvora svjetlosti postavljenog iza opalnog stakla potpuno se rasprši, pa su zbog toga takvi materijali podesni za primjenu u rasvjjetnoj tehnici.

Optička fiziologija

Optička fiziologija je nauka koja proučava optičke pojave i procese u zdravom čovječjem oku i istražuje njegove funkcije. Njen je zadatak da objasni zašto i kako svjetlo djeluje na oko i utvrdi sve zakonitosti u vezi s time. Ove su spoznaje važne za tehniku rasvjete i one se iskorističavaju pri razvoju svjetlosnih izvora (žarulja i sijalica) i rasvjetnih tijela (svjetiljaka); o njima se mora voditi računa pri projektiranju umjetne rasvjete za prostorije i vanjske površine. Umjetna se rasjeta mora naime prilagoditi karakteristikama oka, kako bi čovjek bez naprezanja i uz najmanji zamor mogao i pri umjetnoj rasvjeti promatrati osvjetljene predmete, vidjeti ih čisto i jasno u isto boji kao na dnevnom svjetlu ili u nekoj drugoj boji koja bolje odgovara postojećoj situaciji.

Oko je čovječji organ vida; u presjeku je shematski prikazano na sl. 5. Očnu *jabukou*, koju prikazuje slika i koja je smještena u očnoj supljini, očni mišići usmjeravaju u smjer gledanja. Vanjska se stijenka jabuke sastoji od tri



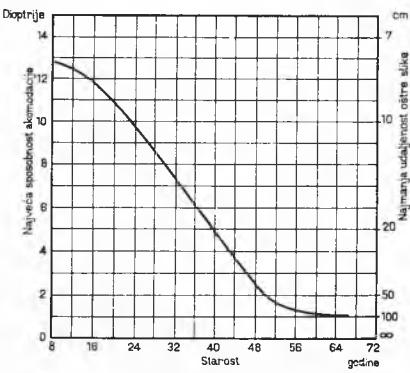
Sl. 5. Shematski prikaz oka

sloja. Vanjska ovojnica zove se *bjeloočnica* i ona prelazi na prednjoj strani jebućice u prozirnu *rožnicu*. Druga, srednja ovojnica, tzv. *žilnica*, bogata je krvnim sudovima; ona u prednjem dijelu prelazi u *šarenicu* (iris). U njezinu sredini nalazi se otvor, tzv. *žljenica* (pupila), koja se, već prema jakosti svjetla, širi ili stže i koja služi kao optička dijafagma (slično као zaslon u fotografatskom aparatu).

Prostor između rožnice i šarenice ispunjen je tekućinom, a zove se *prednja komora*. *Mrežnica* predstavlja treći sloj oka. Na tom unutrašnjem sloju nalaze se ćelije osjetljive prema svjetlu. Na prednjem dijelu mrežnice nalazi se bikonveksna leđa sa svojim mišićem koji je okružuje i po potrebi stiče te time služi za izostavljavanje slike. Simetralni optički sistem oka prolazi kroz mrežnicu na mjestu koje je najosjetljivije prema svjetlu, u tzv. žutoj pjegi. Nešto ispod nje i prema strani nosa ulazi u oko vidni živac koji spaja živčani sistem oka s mozgom. To je mjesto neosjetljivo prema svjetlu i zove se *slijepa pjega*. Unutrašnjost oka ispunjava tzv. *staklovinu* (staklasto tijelo).

Zrake svjetlosti što dolaze od predmeta koji se nalaze ispred oka prolaze kroz rožnicu, prednju komoru, leđu i staklovinu i padaju na mrežnicu. One se na cijelom svom putu kroz oko lome, a naročito u leđi. Cijeli optički sistem oka ima zadatak da projicira oštru sliku osjetljivih predmeta na mrežnicu. Na stražnjoj strani mrežnice, na koju se projicira slika, nalaze se razmještene u obliku mozaika dvije vrste prema svjetlu osjetljivih ćelija. Tzv. štapići su ćelije štapičasta oblike promjera $1,5 \cdots 2 \mu\text{m}$; ukupno ih ima $1,1 \cdots 1,4 \cdot 10^4$. Štapići su vrlo osjetljivi prema svjetlu, a služe za gledanje samo noću i u sumraku kad je luminancija manja od $0,3 \cdot 10^{-4} \text{ sb}$. Pri gledanju štapićima u sumraku ne vide se boje i sve su slike crno-bijele. Čunjici predstavljaju drugu vrstu ćelija. Njihova debljina iznosi $3 \cdots 7 \mu\text{m}$, a u oku ima ih ukupno $4 \cdots 7 \cdot 10^4$. Oni služe za gledanje pri jakoj svjetlosti, dnevnoj i umjetnoj, jačoj od $1,6 \cdot 10^{-8} \text{ sb}$, a osjetljive su i za boje. Ćelije osjetljive prema svjetlu nisu ravnomjerno porazmještene po mrežnici. U sredini, na mjestu najveće osjetljivosti oka, u udubini žute pjegе, nalazi se najviše čunjica i skoro nikakvi štapići. Od žute pjegе prema periferiji broj čunjica po jedinici površine opada, a broj štapića raste. Sve ove ćelije povezane su pojedinačno ili grupno živčanim vlačnjima preko vidnog živca s mozgom. Posebna fotokemijski osjetljiva supstancija koja se nalazi u štapićima (rodopsin) i čunjicima (pigmenti čunjica) omogućuju da se svjetlosna energija fotokemijskim putem pretvara u električnu energiju, tj. da se stvore tzv. akcioni potencijali koji se privode mozgu.

Akomodacija je sposobnost prilagodavanja oka na udaljenost promatrana predmeta. Oko akomodirano na veliku udaljenost vidi jasno i oštro sve predmete koji su od njega udaljeni više od 6 metara, naravno pod uslovom da je ono zdravo i normalno razvijeno. Pri gledanju bližih predmeta očni mišići koji okružuju leđu stisnu je, čime ona postaje izbočenija i to upravo toliko koliko je potrebno da projekcija slike bližeg predmeta na mrežnici bude jasna. Sa starošću gustoća se leće povećava, njezina se elastičnost smanjuje i ona postepeno otvrđene. Zbog toga i sposobnost akomodacije s godinama starosti opada, a oko šezdesetih godina života po pravilu sasvim nestaje. Sl. 6 pokazuje kako se s godinama starosti povećava najmanja udaljenost na kojoj oko, bez korekture, još jasno vidi predmete. Na slici se vidi i opseg sposobnosti akomodacije izražen u dioptrijama. (Broj dioptrija je recipročna vrijednost numeričke vrijednosti žarišne daljine leće u metrima.) Dok se dječe oko može akomodirati na udaljenosti između 60 i svega $7 \cdots 15 \text{ cm}$ ($0 \cdots 14$ dioptria), dote starac vidi bez naočala oštro samo predmete koji su od njega udaljeni više od 1 m.



Sl. 6. Smanjenje sposobnosti akomodacije oka s godinama starosti čovjeka

U oblikovanju i izostavljanju slike učestvuje i šarenica koja djeluje kao promjenjiva diafragma; smanjenjem otvora zjene slike slika postaje oštrena.

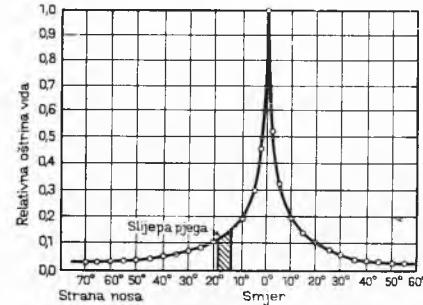
Adaptacija je svojstvo oka da se a stomački prilagodi luminanciji promatranih predmeta. Za ovo prilagodenje služe očni tri sredstva. Širenjem i sžavanjem šarenice oko postiže promjenu svjetlosnog toka u omjeru 1 : 16. Međusobnim prespajanjem vidnih ćelija u vidne elemente (grupe ćelija), njihovim različitim priključivanjem na očne živce i bržim ili polaganijim razlaganjem vidne supstancije postiže se promjena osjetljivosti oka, i to čunjici u omjeru 1 : 50 a štapići u omjeru 1 : 1000. Da se oko prilagodi malim luminancijama i sumraku, potrebno je 30 i više minuta. Nasuprot tome treba oku, poslije tame, za adaptaciju na dnevno svjetlo i na velike luminancije u vidnom polju samo do 8 minuta. Samo zahvaljujući tome da se oko može unutar širokih granica prilagoditi promjenama luminancije moguće je viđenje u tako različitim okolnostima kakve se susreću u prirodi.

Zablještenje je smanjenje vidne sposobnosti koje se javlja kad luminancija predmeta u vidnom polju prekoraci određenu granicu. U tom slučaju dolazi do rasipanja svjetla u oku, zbog čega se vide predmeti kao da su prekriveni bijelim velom. Jako zablještenje pratio je nelagodnošću i bolom u oku.

Adaptacijsko zablještenje nastupa pri jakom i iznenadnom povećanju luminancije predmeta jer se oko ne može dosta brzo prilagoditi novom stanju. O *relativnom zablještenju* govori se kad su razlike luminancije (kontrasti) pojedinih predmeta u vidnom polju vrlo velike. Ako je naime samo dio mrežnice jako osvetljen, naglo se smanjuje osjetljivost cijele mrežnice. *Apsolutno* ili zasljepljuće zablještenje nastupa kad luminancija predmeta pređe određenu granicu ($2 \cdot 10^5 \text{ nt}$), jer sposobnost oka za adaptaciju nije neograničena. Prema tome da li je luminancija veća

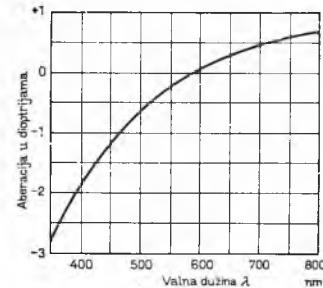
ili manja, dolazi u tom slučaju do simultanog, postupnog ili naknadnog zablještenja. Zablještenje je to jače što se izvor zablještenja nalazi bliže optičkoj osi oka. O *direktnom* se zablještenju govori kad slika izvora zablještenja pada izravno na žutu pjegu, pri *indirektnim zablještenjima* slika se izvora projicira na mrežnicu van žute mrlje. Izvori zablještenja koji se nalaze ispod optičke osi oka djeluju jače od onih koji se nalaze iznad te linije.

Oštrina vida. Ako čovječe oko izbliza promatra dva susjedna detalja na nekom predmetu, npr. neki prorez, dvije crticice ili tačke, i postepeno se od njega udaljava, ono na određenoj udaljenosti te detalje više neće primjećivati kao odvojene. Iz razmaka među bliskim detaljima i udaljenosti predmeta od oka na kojoj se ti detalji upravo još razabiraju kao odvojeni može se izračunati *kut viđenja* koji predstavlja granicu razlučivanja. Kao



Sl. 7. Zavisnost oštrine vida od smjera u kome se s obzirom na simetralu oka nalazi promatrani objekt

mjerilo za oštrinu vida uzima se recipročna vrijednost tog kuta viđenja izraženog u lučnim minutama. Npr., oko koje još razlikuje dvije tačke pod kutom $0,5'$ ima oštrinu vida 2. Oštrina vida nije nepromjenljivo svojstvo čovječjeg oka već na nju utječu različni faktori. Ona ovisi o svojstvima oka kao optičkog instrumenta; oštrina je naime najveća kad se slika projicira na žutu pjegu, a opada prema periferiji mrežnice (sl. 7). Ona je bolja pri monohromatskom svjetlu (tj. svjetlu jedne valne dužine) nego pri kombiniranom svjetlu šireg spektra, npr. pri svjetlu žarulje, jer se zračenja različitih valnih dužina pri prolazu kroz optički sistem oka ne lome jednakom jarkom, te uslijed toga nastaje nešto manje oštra projekcija slike na mrežnici (hromatska aberacija, sl. 8). Oštrina vida raste s osvjetljenošću površine, a na nju utječu osim toga: zablještenje, preveliki kontrasti, kontrasti luminancije, stepen luminancije cijelokupnog vidnog polja i vrijeme promatranja. Od utjecaja je i starost. Čovjeku od 40 godina potrebno je 3 puta veća osvjetljenost, a starcu od 60 godina 15 puta veća osvjetljenost nego djetetu od 10 godina da bi jednako dobro vidjeli detalje istog predmeta, npr. štampani tekst.



Sl. 8. Hromatska aberacija (povećano i smanjeno lomljenje) svjetla pojedinih valnih dužina u oku

Oštrina vida utvrđuje se testovima kao što su: test dviju tačaka, Landoltov presječeni prsten, testovi s brojkama i slovima. Iz udaljenosti na kojoj se još vide razdvojene tačke, presjek u prstenu, ili razabiru slova i brojke utvrđuje se kut viđenja i oštrina vida.

Vidno polje i vidno područje. Vidno polje je dio promatranog prostora koji se nalazi oko optičke osi oka, tj. koji se vidi kada su nepomični oko i glava. Veličinu vidnog polja određuju: položaj očiju u glavi, stanje očiju i struktura mrežnice. Vidno polje jednog oka iznosi prema strani nosa $\sim 60^\circ$, prema

ELEKTRIČNO OSVJETLJENJE

vanjskoj strani $\sim 90^\circ$, prema gore $\sim 60^\circ$, a prema dolje $\sim 70^\circ$. Vidno se polje može podijeliti na tri područja: na centralno vidno polje ili polje direktnog gledanja (unutar konusa od $\sim 10^\circ$), na osnovno vidno polje (između konusa od 10° i konusa od $\sim 40^\circ$) i na periferno vidno polje (od konusa od 40° do vanjske granice). Predmeti se jasno raspoznavaju jedino u centralnom vidnom polju, jer u tom području zrake svjetlosti padaju na žutu pjeagu. U osnovnom se vidnom polju boje i detalji predmeta ne raspoznavaju više jasno, a u perifernom vidnom polju oni se samo još naziru, jer oštRNA vida pada prema periferiji (v. sl. 7). Pri čitanju se npr. riječ koju upravo projicira kao jedinstvena slika na žutu pjeagu, tako da oko jednim pogledom obuhvaća otprilike 12 štampanih slova. Pri čitanju knjige čovjek mora stoga miciati i oči i glavu. Dio neposredne okoline koja se može vidjeti kad se pomiču samo oči a glava ostane nepokretna, zove se vidno područje. Ono je prema tome uvijek veće od vidnog polja.

Djelovanje rasvjete na čovječji organizam. Ako lumanacija pojedinih ploha predmeta u vidnom polju nije dovoljna, ono ne može raspoznavati sitne detalje i slika nije dovoljno jasna. Kad oko duže vrijeme gleda nejasne detalje i napreže vid, npr. pri čitanju u polutami, dolazi do zamora ne samo oka nego i čitavog tijela, pa i do glavobolje i sličnih neugoda. Isto se dogada kad osvjetljenost radnog mjestra nije dovoljna u odnosu na težinu rada i dob zaposlenih. Slične se pojave javljaju i ako je sama rasvjeta izvedena na pogrešan način, tj. ako se u vidnom polju nalaze izvori direktnog ili indirektnog zablještenja. Neupućeni najčešće pripisuju različne neugode, kao što su glavobolja, očne smetnje i slično, samoj vrsti rasvjete, npr. rasveti fluorescentnim cijevima. U stvari uzroke treba tražiti u nestručnoj izvedbi takve rasvjete, izvedbi pri kojoj nisu dovoljno zasjenjeni izvori direktnog zablještenja ili nisu sprječene pojave indirektnog zablještenja. S druge strane postoje osobe koje su supersenzibilne na svako svjetlo, pa i na fluorescentno. Njima podjednako smeta i sunčev svjetlo i svjetlo fluorescentnih cijevi, pa stoga moraju izbjegavati duži boravak na suncu i u prostorijama koje su osvjetljene fluorescentnim cijevima, ili drugim izvorima svjetlosti s pražnjenjem u plinu, ili jakim normalnim žaruljama koje zrače infracrvene zrake.

Odnos čovjeka prema boji svjetla. Boja, u strogom smislu te riječi, nije svojstvo svjetla nego psihički doživljaj što ga određeno svjetlo može u čovječjem organizmu izazvati. Ipak se u tehniči, kao i u običnom životu, govori o boji svjetla (i predmeta) razumijevajući pod time spektarne sastave svjetla (i sposobnosti selektivne refleksije predmeta) koji pod određenim (normalnim) okolnostima izazivaju dotični osjet boje. Tako definirana boja svjetla izražava se *temperaturom boje* (bojenom temperaturom). To je temperatura na kojoj crno tijelo isijava zračenje koje u čovječjem organizmu izaziva isti (ili vrlo sličan) osjet boje kao svjetlo kojemu se pripisuje ta temperatura boje. Tako iznosi npr. temperatura boje obične žarulje $2400\cdots3000\text{ }^\circ\text{K}$, fluorescentne sijalice $4200\text{ }^\circ\text{K}$, plavog neba $10\ 000\text{ }^\circ\text{K}$. (V. *Boja*, TE 2, str. 63).

Ugodno ili neugodno djelovanje neke prostorije čovječji vidni organ ocjenjuje na osnovi njezine osvjetljenosti i (temperatura) boje upotrijebljenih izvora svjetlosti. Pri slaboj rasveti

prostorija izaziva dojam mračnosti i hladnoće; jednak neugodno djeluje i prevelika osvjetljenost. Da bi prostorija u čovjeku izazivala osjećaj udobnosti i ugodnosti, treba da postoji određen odnos između osvjetljenosti i temperature boje izvora svjetlosti. Na osnovi mnogobrojnih studija i promatranja sačinjen je tzv. *Kruithofov dijagram* (v. sl. 34). Iz njega se vidi da treba radi postizanja ugodne rasvjete s povećanjem osvjetljenosti povisivati i temperaturu boje izvora svjetlosti, tj. da treba izbjegavati područja koja su u dijagramu osjećana.

Vjernost reprodukcije boja pod umjetnom rasvetom dobra je ako obojeni predmeti ne mijenjaju boju kad se iznesu na dnevno svjetlo. Nijedan do sada ostvareni izvor umjetne svjetlosti ne zadovoljava u potpunosti ovaj uvjet. Vrlo često to praktički ne predstavlja nedostatak jer najveći broj poslova koji se obavlja u pogonima i uredima pod umjetnom rasvetom zahtjeva samo dovoljnu osvjetljenost, a vjernost reprodukcije boja nije od naročita značaja. Međutim, pri obradi ili promatranju npr. u slikarskim ateljeima, bojadisaonama, galerijama slika, vjernost reprodukcije boja ima veliku važnost. U tim se slučajevima moraju upotrijebiti specijalni izvori svjetlosti, na primjer fluorescentne cijevi sa različnim nijansama boje svjetlosti. Ali ni na taj način nije moguće ostvariti sasvim vjernu reprodukciju boja onakvih kakve daje dnevno svjetlo. Ali ako se neka vrsta proizvoda, na primjer tekstil, izrađuje uvijek pod istom umjetnom rasvetom, moguće je izradivati proizvode stalno jednake boje.

Električni izvori svjetlosti

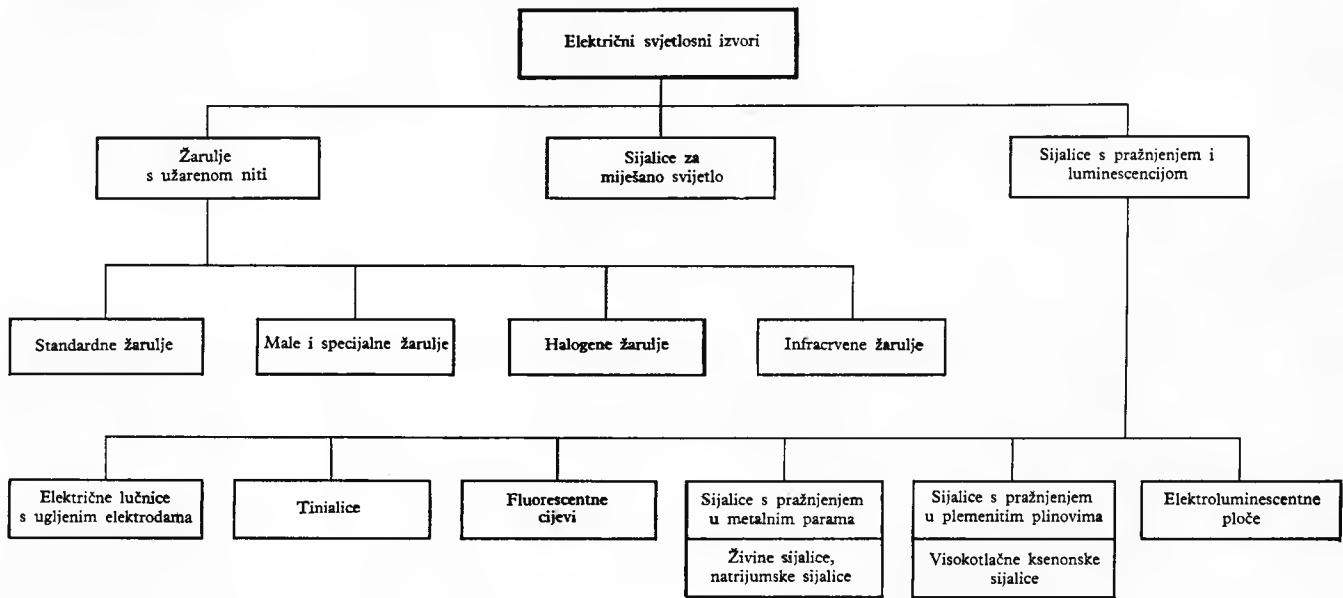
Suvremeni su električni izvori svjetlosti naprave koje pretvaraju električnu energiju u svjetlosnu energiju na jedan ili više načina i zrače je u obliku elektromagnetskih valova (svjetlosnog toka) valne dužine $380\cdots780\text{ nm}$ koje čovječji organ vida osjeća kao svjetlost.

Pretvaranje električne energije u svjetlosnu energiju vrši se u izvorima svjetlosti bilo na principu temperaturnog zračenja bilo na principu luminescencije.

Na principu temperaturnog zračenja (zagrijavanja do bijelog usijanja) rade žarulje sa žarnom niti, na principu luminescencije u plinovima svjetleće cijevi i ostale sijalice koje rade na principu pražnjenja u plinovima, na principu fotoluminescencije u luminoforima (fluoroforima) sve fluorescentne sijalice, a na principu elektroluminescencije svjetleće ploče (v. *Električna pražnjenja u plinovima*).

Svetlost koja se dobiva luminescencijom »hladna« je svjetlost, pa je zbog toga mnogo ekonomičnija nego svjetlost koja se dobija zagrijavanjem.

U nekim se sijalicama primjenjuju i dva načina pretvaranja električne energije u svjetlosnu. U fluorescentnim živim sija-



Sl. 9. Shematski pregled električnih izvora svjetlosti

licama, npr., pražnjenjem u plinovima (luminescencijom uzrokovanim udarnom eksitacijom elektronima) dobivaju se ultravioletne zrake koje zatim u fluorescentnom sloju služe za stvaranje svjetla fotoluminescencijom. Na taj način savremena rasvjetna tehnika raspolaže nizom različitih izvora svjetlosti koji se razlikuju ne samo po električnim i fotometričkim karakteristikama već i po spektralnom sastavu emitiranog svjetla: mogu biti izvori bijele svjetlosti, monohromatske svjetlosti i kombinirane svjetlosti.

Stepen djelovanja koji se u električnim izvorima svjetlosti postiže pri pretvaranju električne energije u svjetlosnu energiju vrlo je mali. U zamišljenom idealnom slučaju, kad bi se sva električna energija pretvorila u svjetlo valne dužine 555 nm na koje je čovječe oko najosjetljivije, svjetlosno iskorišćenje iznosilo bi 682 lm/W. U praksi je iskorišćenje znatno manje: iznosi, ovisno o vrsti izvora, 8 do 60 (iznimno 150) lm/W, što je samo nekoliko procenata od idealnog iskorišćenja.

Električni izvori svjetla mogu se podijeliti na nekoliko grupa, kao što je to prikazano na sl. 9. U ovom će članku biti opisani samo najznačajniji i najsvremeniji električni izvori svjetlosti.

Žarulje s žarnom niti električni su izvori svjetlosti koji rade na principu temperaturnog isijavanja. One predstavljaju najviše upotrebljavani izvor svjetlosti (~ 70%).

Konstrukcija žarulje (sl. 10). Žarulja se sastoji od žarne spirale izrađene od spiralizirane volframske žice 1 poduprte tankim nosačima od molibdenске žice učvršćenim na stakleni štapić 3 koji ih drži u visini najšireg promjera vanjskog omotača, tzv. staklenog balona. Za dovod struje služe dvije metalne elektrode 5, koje su unutar balona od nikla, u staklu od legure koja ima isti koeficijent toplinskog rastezanja kao staklo, a izvan balona od bakra. Stanjeni dio jedne elektrode služi kao osigurač koji, ako nastane u žarulji kratki spoj, pregori i time spriječi eksploziju žarulje i pregaranje kućnog osigurača. Stakleni tanjurici 6 drži žarni sistem sa štapićem i obje elektrode. On povezuje stalak i balon žarulje u jednu cijelinu. Podnožak 7 služi za pričvršćenje žarulje i povezuje je električki s grlom u svjetiljci. Unutrašnjost balona je evakuirana, a u žaruljama sa snagom većom od 40 W napunjena nekim inertnim plinom, najčešće argonom uz dodatak dušika. Ovi plinovi smanjuju isparavanje volframa, sprečavaju prekomjerno zagrijavanje i tako omogućuju postizanje većeg svjetlosnog toka.

Stakleni balon može, već prema namjeni žarulje, imati različite oblike (kruške, kugle, svijeće, glijive itd.). Baloni mogu biti bistri, tj. od prozirnog stakla koje direktno propušta zrake, matirani, tj. s unutrašnje strane tako obradeni da transmitiraju svjetlost u raznim smjerovima, ili opalizirani, tj. izrađeni od mlječnog stakla koje ima s unutrašnje strane bijeli nanos. Baloni žarulja za dnevno svjetlo obojeni su svijetloplavo, tako da apsorbiraju dio crvenih zraka pa takve žarulje daju svjetlost koja se temperaturom boje približava svjetlosti dnevnog svjetla. Za dekorativne i signalne svrhe postoje obojeni baloni. Baloni s metalnom kapom reflektiraju svjetlo prema gore radi dobivanja indirektnog osvjetljenja, a baloni sa zrcalom na gornjem dijelu reflektiraju svjetlo prema dolje.

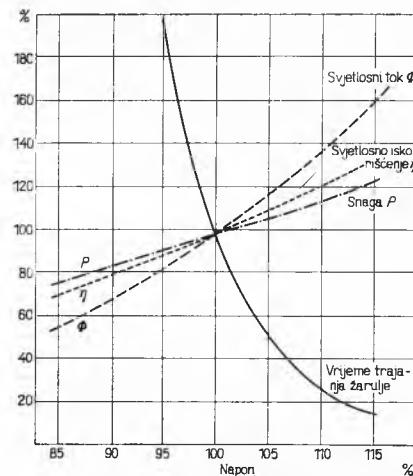
Snage žarulja sa žarnom niti kreću se od 15 do 2000 W. Žarulje velikih snaga upotrebljavaju se kad je broj rasvjetnih mesta mali, a treba postići visoke vrijednosti osvjetljenosti ili kad se svjetiljke moraju postavljati visoko, odnosno daleko od površina koje treba osvjetljavati.

S obzirom na to da žarna nit žarulja ima rastuću naponsko-strujnu karakteristiku i prema tome pozitivan otpor, žarulje se mogu priključiti izravno na napon gradske mreže.

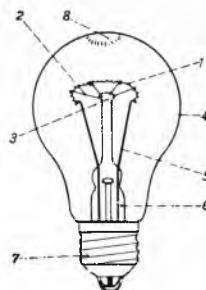
Svetlosno iskorišćenje žarulja sa žarnom niti relativno je malo, ali je to veće što je veća snaga i što je niži nazivni napon žarulje, a kreće se između 19 i 20 lm/W.

Trajanje žarulja sa žarnom niti iznosi u normalnim uvjetima 1000 sati. Ono se znatno smanjuje kad se žarulja priključi na mrežni

napon veći od nominalnog. Na sl. 11 prikazano je kako se procenito mijenjaju vrijeme trajanja, svjetlosni tok Φ , svjetlosno iskorišćenje η i utrošena električna snaga P pri promjenama mrežnog napona (nominalni napon označen je sa 100%). Iz slike se vidi,

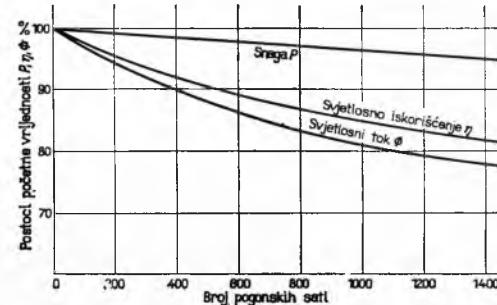


Sl. 11. Zavisnost svjetlosnog toka, snage, svjetlosnog iskorišćenja i trajnosti žarulje sa žarnom niti od napona napajanja (sve nazivne vrijednosti označene su na dijagramu sa 100%)



Sl. 10. Konstrukcija normalne žarulje sa žarnom niti. 1 Žarna nit (spirala), 2 držaći spirale, 3 stakleni štapić, 4 stakleni balon, 5 metalne elektrode za dovodenje struje, 6 stakleni stalak, 7 podnožak, 8 pečat s oznakom napona i snage

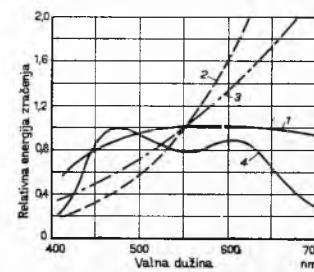
npr., da već trajno povišenje napona od svega 5% ima za posljedicu 50-procentno skraćenje trajanja žarulje. Upotreba žarulja pod naponom nižim od nominalnoga produžava trajanje žarulje, ali se ne može preporučiti jer se time znatno smanjuje njeno svjetlosno iskorišćenje, pa je svaki lumen svjetlosti koji žarulja daje znatno skuplji. Na primjer, kad je žarulja sa žarnom niti priključena na napon koji je za 10% niži od nominalnoga, svjetlosno iskorišćenje se smanjuje za 22% a svjetlosni tok za 32%. Svjetlosno iskorišćenje se progresivno smanjuje i tokom gorenja u normalnim uvjetima (sl. 12), pa je ekonomičnije žarulju poslijepodne.



Sl. 12. Smanjenje snage, svjetlosnog iskorišćenja i svjetlosnog toka s povećanjem broja pogonskih sati u žaruljama sa žarnom niti

1000 sati gorenja zamijeniti novom nego ostaviti je da gori dok ne pregori.

Žarulje sa žarnom niti imaju niz značajnih prednosti. One predstavljaju veoma jake izvore

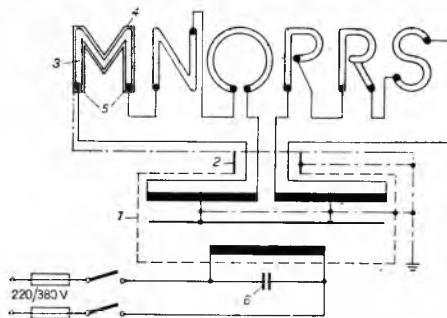


Sl. 13. Spektarna raspodjela svjetlosne energije što je zrači žarulja sa žarnom niti. 1 Dnevno svjetlo, 2 vakuumska žarulja, 3 plinom punjena žarulja, 4 fluorescentna cijev

Žarulje sa žarnom niti imaju ove nedostatke: relativno malo traju, a zrače pretežno crvene i infracrvene zrake (sl. 13), što smanjuje njihovo svjetlosno iskorišćenje.

Visokonaponske svjetleće cijevi iskoriščavaju pozitivni stup tinjavog pražnjenja za stvaranje svjetla (v. *Električna pražnjenja u plinovima*). One se sastoje od tankih staklenih cijevi dužine do 2 m, promjera 10–35 mm s po jednom utaljenom metalnom elektrodom 5 sa svake strane (sl. 14). One su punjene nekim razrijeđenim plemenitim plinom (npr. neonom, odakle i naziv neonke cijevi). U cijevima vlada tlak od 1–10 mmHg. Promjer i dužina cijevi zavisi od snage fluorescentne cijevi; ta se snaga danas kreće između 8 i 180 W.

Priličan katodni pad i veliki naponski gradijent duž cijevi traže pogonski napon od više hiljada volti (max. 15 kV). Najviše energije troši se na difuziju nosilaca elektriciteta. Oni se heterogeno rekombiniraju, pa njihovo nadoknadivanje zahtijeva dosta velika reducirana polja; stoga je i potrebna snaga velika. Utrošena



Sl. 14. Priključna shema visokonaponskih svjetlećih cijevi. 1 Transformator u zaštitnoj kutiji, 2 zaštitna čelična cijev, 3 od svjetleće cijevi oblikovano slovo, 4 metalno okuće slova, 5 elektrode svjetleće cijevi, 6 kondenzator za kompenzaciju faktora snage

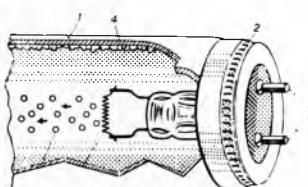
energija zavisi od promjera cijevi, te vrsti i tlaku plina. Transformator koji cijevi napaja iz mreže visokim naponom ima znatno rasipanje. Zbog toga on pri paljenju (uspostavljanju tinjajućeg pražnjenja, tj. u praznom hodu) daje viši napon nego za vrijeme pogona. Osim toga transformator i ograničava struju, a to je i potrebno zbog toga što ove cijevi imaju padajuću naponsko-strujnu karakteristiku (negativni otpor).

Različite boje mogu se postići u svjetlećim cijevima na više načina: punjenjem plinovima koji pri pražnjenju zrače svjetlo različnih boja, primjenom obojenih cijevi ili premazivanjem cijevi s unutrašnje strane fluorescentnim slojem. Takvim fluorescentnim svjetlećim cijevima dodaje se nekoliko kapi žive. Živine pare pri pražnjenju zrače ultraljubičaste zrake koje pobuđuju fluorescentni sloj na svijetljenje.

Kondenzatorom 6 poboljšava se faktor snage i kompenzira jalova struja. Svjetleće cijevi primjenjuju se prvenstveno za svjetlosne reklame, ali i za dekorativno, efektno i indirektno osvjetljenje.

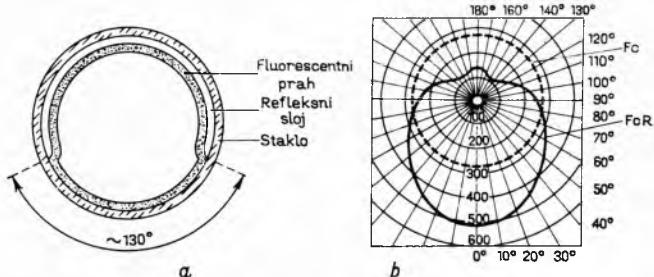
Fluorescentne cijevi ili sijalice električni su izvori svjetla koji rade na principu pražnjenja u plinovima i luminescencije.

Konstrukcija fluorescentne cijevi s užarenom katodom prikazana je na slici 15. U staklenoj cijevi 1 promjera 16–38 mm i dužine 0,4–2,4 m, koja je s unutrašnje strane premazana slojem fluorescentnog praha 4 (luminoforom), utaljena su sa svake strane po dva metalna nosača za dovod struje i držanje vruće elektrode (žarne niti) 5, priključena na kontaktne stupice 3 podnožaka 2. Postoje i cijevi s ugrađenim refleksnim slojem (sl. 16 a). Ovim se slojem postiže pojačanje svjetlosnog toka u jednom sektoru i u vezi s time povećanje svjetlosne jakosti kao što se to vidi iz



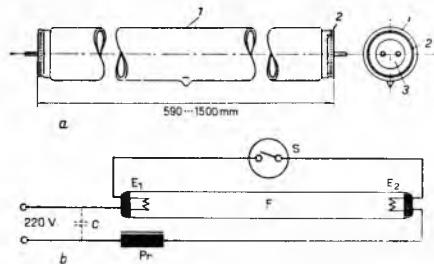
Sl. 15. Fluorescentna cijev, unutrašnji izgled jednog kraja. 1 Staklena cijev, 2 podnožak, 3 kontaktne stupice, 4 fluorescentni sloj, 5 vruća elektroda, 6 shematski prikazani elektroni koji izlaze iz elektrode (katode)

fotometrijskog dijagrama sl. 16 b. Fluorescentne cijevi napunjene su razrijedjenim plemenitim plinom (obično argonom) uz dodatak kapljice žive. U njima vlada tlak od 1–5 mmHg. Promjer i dužina cijevi zavisi od snage fluorescentne cijevi; ta se snaga danas kreće između 8 i 180 W.



Sl. 16. Fluorescentna cijev s refleksnim slojem: a presjek, b polarni fotometrijski dijagram; Fc cijev bez refleksnog sloja, FcR cijev s refleksnim slojem

Rad fluorescentnih cijevi. Zbog svoje padajuće naponsko-strujne karakteristike (negativnog otpora) fluorescentne cijevi ne smiju se izravno priključiti na mrežu. Struja kroz cijev u tom bi slučaju brzo narasla i razorila cijev. Tako je u svim sijalicama koje iskoriščavaju pražnjenje u plinu ili pari. Zbog toga se fluorescentne cijevi niskog napona priključuju na mrežu preko posebne predspojne naprave koja se zove *prigušnica* ili *balast* i koja, s jedne strane, ograničava porast struje preko dozvoljene granice i, s druge strane, sama troši električnu energiju i pogoršava tzv. faktor snage. Fluorescentne sijalice mogu se priključiti na mrežu npr. prema shemi na sl. 17. Prilikom uključenja sijalice kontakt tzv. »startera« S je zatvoren. Stoga u strujnom krugu u kome se nalaze prigušnica Pr, starter S i obje elektrode E₁ i E₂ teče struja koja užari žarnu žicu elektrode, što omogućuje paljenje i pri nizem naponu. Nakon nekoliko sekundi bimetalični prekidač startera prekida strujni krug. Protuelektromotorna sila što je u prigušnicu Pr izazove prekid struje stvara između obje elektrode naponski udar dovoljno velik za paljenje cijevi, tj. za uspostavljanje tinjajućeg izbijanja između obje već prethodno užarene elektrode.



Sl. 17. Fluorescentna cijev: a vanjski izgled, b električna priključna shema; 1 staklena cijev, 2 kontaktni stupici, 3 podnožak, E₁ i E₂ elektrode, F fluorescentna cijev, S starter, Pr prigušnica, C kondenzator za kompenzaciju faktora snage

Tinjajući plin emitira, osim zelenkastog vidljivog svjetla, dvije intenzivne linije u ultraljubičastom dijelu spektra (185 i 253,7 nm) uslijed uzbude atoma žive direktnim sudarima i rekombinacijom iona. Do ionizacije žive dolazi direktnim procesom i putem Penningova efekta. Uzbudeni atomi argona s velikom vjerojatnošću ioniziraju živu, tako da su njezine pare usprkos slabom reduciranim polju (dakle i malom utrošku snage) u znatnoj mjeri ionizirane. Relativno niska temperatura elektronâ, ipak, favorizira rekombinaciju. Ultraljubičaste zrake pretvaraju se s pomoću fluorescentnog sloja u vidljivo svjetlo time što valentne elektrone atomâ u sloju podižu u uzbudena stanja, s kojih oni sukcesivno padaju na niže energetske nivoje, pri čemu se emitira vidljivo svjetlo. Njegova boja zavisi od sastava fluorescentnog materijala, naročito od prirode aktivirajućih onečišćenja. Izborom odgovarajućeg fluorescirajućeg materijala mogu se postići vrlo različite boje svjetla, pa i posve bijelo svjetlo i svjetlo slično danjem.

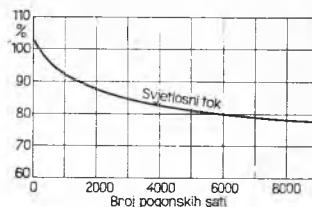
Zbog zнатне reaktancije prigušnice Pr, koja je spojena u seriji sa sijalicom, faktor učinka fluorescentnih cijevi je mali: kreće se oko 0,5. Radi njegova poboljšanja može se upotrijebiti kompenzacioni kondenzator C.

Svaka se sijalica s izbijanjem u plinovima pri frekvenciji mreže 50 Hz pali i gasi sto puta u sekundi. Pri promatranju mirujućih predmeta oko ne primjećuje te promjene. Međutim, pri promatranju predmeta u gibanju, oko osjeća neugodno titranje svjetlosti (tzv. »stroboskopski efekt«). To se sprečava time što se na istom mjestu upotrijebe 2 ili 3 sijalice i svaka od njih priključi na drugu fazu električne mreže. Zbog pomaka faza ukupna je svjetlost približno stalna. Ako je na raspolažanju samo jedna faza, može se primijeniti tzv. duo-spoj. U tom se spoju razlika faza postiže time što se jednoj od dvije sijalice dade induktivni predotpor (prigušnicu), a drugoj kapacitivni predotpor (prigušnicu i kondenzator). Tim se spojem postiže i poboljšanje faktora snage. Gubici u prigušnicama smanjuju svjetlosno iskorišćenje fluorescentnih cijevi za ~20%.

Fluorescentne cijevi mogu svijetliti 5000 i više sati. Manje promjene napona u mreži nemaju veći utjecaj na trajanje fluorescentnih cijevi. Poslije 3000 sati svijetljenja, svjetlosni tok se smanjuje za 15% (sl. 18). Kad je napon mreže veći za 10%, na skupini »cijev-balast« svjetlosno iskorišćenje je manje za 7%, obrnuto nego kod normalnih žarulja. Ali iako je svjetlosno iskorišćenje manje, proizvedeni svjetlosni tok povećava se za 5%, jer se snaga cijevi povećava za 14%. Kad se napon u mreži smanjuje za 10%, svjetlosno iskorišćenje se povećava za 7%, ali se svjetlosni tok smanjuje za 10%, a snaga cijevi za 16%. Ako se ove brojke usporede s onima koje su navedene za normalne žarulje, vidi se da su fluorescentne cijevi manje osjetljive prema promjenama napona nego normalne žarulje. Smanjeni napon, međutim, predstavlja veliku nezgodu za sve izvore svjetlosti s pražnjenjem u plinu, jer se one ne mogu upaliti ako je napon manji od neke određene granične vrijednosti, ili se same od sebe ugase kad napon padne ispod neke granice.

Glavna je prednost fluorescentnih cijevi njihovo veliko svjetlosno iskorišćenje. I pored gubitaka u prigušnicama (balastu), cijena lumen-sata proizvedenog u fluorescentnoj cijevi jedna je trećina cijene lumen-sata proizvedenog u normalnoj žarulji. Druga je prednost, veoma značajna u industriji, što imaju dugo trajanje pa se zbog toga moraju rjeđe zamjenjivati. Zbog manje ovisnosti svjetlosnog toka o promjenama mrežnog napona, zbog veće površine koja isijava svjetlost (manje jarkosti), pomoću fluorescentnih cijevi moguće je lakše ostvariti jednolikost osvijetljenosti u nekoj prostoriji nego normalnim žaruljama. Fluorescentne cijevi se proizvode u raznim temperaturama boje, pa se za svaki pojedini slučaj može odabratи ona temperatura boje svjetlosti cijevi koja najbolje odgovara baš tom slučaju.

Glavni nedostatak je relativno veća cijena fluorescentnih cijevi i njihovih svjetiljaka. Međutim, veći troškovi pri instalaciji brzo se kompenziraju smanjenjem troškova eksploatacije. To naročito vrijedi za prostorije i pogone u kojima se umjetna rasvjeta dugo upotrebljava. Dalji je nedostatak fluorescentnih cijevi što se izrađuju samo za relativno male i ograničene snage i što im jakost svjetla opada na višim i nižim temperaturama (sl. 19).

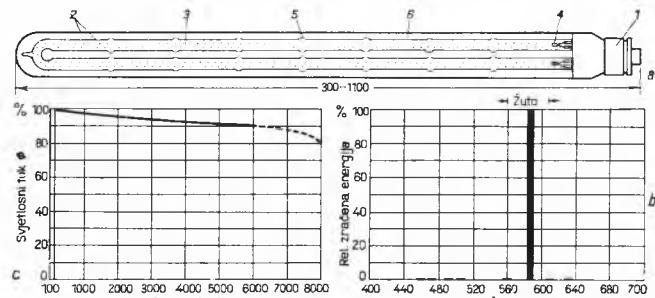


Sl. 18. Smanjenje svjetlosnog toka fluorescentne cijevi s povećanjem broja pogonskih sati (sa 100 % označen je svjetlosni tok nakon 100 sati pogona)

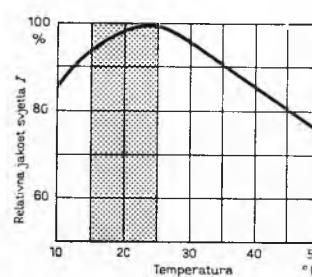
Sijalice s parama natrijuma izrađuju se u niskotlačnoj i visokotlačnoj izvedbi.

Niskotlačne natrijumske sijalice (sl. 20 a). U tanku cijev 3 izrađenu od specijalnog stakla (zbog agresivnosti natrijuma), obično savinuta u obliku ukojnica i snabdjevena poprečnim podebljanjima ili užljeblijenjima 5 radi sprečavanja oticanja tekućeg natriuma, utaljene su s oba kraja žične elektrode 4. Da se sprijeći konvekcija topline sa stijenke te cijevi prema okolnom zraku, ona je okružena jednom ili dvjema staklenim cijevima 2 među kojima (u meduprostoru 6) vlada dobar vakuum. Toplina koju srednja cijev zrači (infracrvene zrake), biva od stakla zaštitnih cijevi djelomično apsorbirana i opet zračena. Da bi se ti gubici zgloba zračenja što više smanjili, premazane su u nekim novijim izvedbama zaštitne cijevi s unutrašnje strane prozirnim slojem koji vidljivo svjetlo propušta i infracrvene zrake reflektira. Srednja cijev napunjena je helijumom s dodatkom ksenona pod niskim pritiskom, a dok sijalica nije u pogonu, zrnca čvrstog natrijuma nalaze se na stijenki cijevi. Podnožak 1 služi za držanje sijalice i njezin je priključak na starter i mrežu.

Za paljenje niskotlačnih natrijumskih sijalica potreban je napon koji je viši od pogonskog. (Npr., ako je pogonski napon 75–265 V, napon paljenja treba da je 400–600 V.) Taj se napon dobiva obično iz transformatora startera, koji ima veliko rasipanje i u toku pogona služi i za ograničenje jakosti struje. U sijalici dolazi najprije do tinjavog izbijanja u heliju, a tek kad se ovim pražnjenjem stvorи dovoljna toplina, ispari se natrijum te dolazi do pražnjenja u njegovim parama, što je praćeno pojmom intenzivnog žutog svjetla. Zagrijavanje traje 3–12 min. Termički režim sijalice podesi se konvektivnim odvodenjem topline s njezine površine tako da napon para natrijuma uz danu srednju vrijednost reducirano polja omogućuje optimalnu uzbudu atoma natrijuma. Do ionizacije dolazi posebno sudarima elektronâ s atomima natrijuma u kratkovjekim kvantnim stanjima i sudarima takvih uzbudjenih atoma među sobom. Uslijed tih procesa ionizacija je efikasna i uz slaba reducirana polja, tj. uz razmjerno mali potrošak snage. Nakon prekida rada uslijed nestanka struje ove se sijalice automatski opet upale kad se struja vrati. Promjene mrežnog napona pri pravilno dimenzioniranom balastu nemaju naročitog utjecaja. Radi korekture faktora snage može se dodati kondenzator ili se mogu po dvije sijalice spojiti zajedno u duo-spoju, čime se smanjuje i treptanje.



Sl. 20. Niskotlačna natrijumska sijalica: a izgled, b spektarna raspodjela zračene svjetlosne energije, c zavisnost svjetlosnog toka i trajnosti sijalice



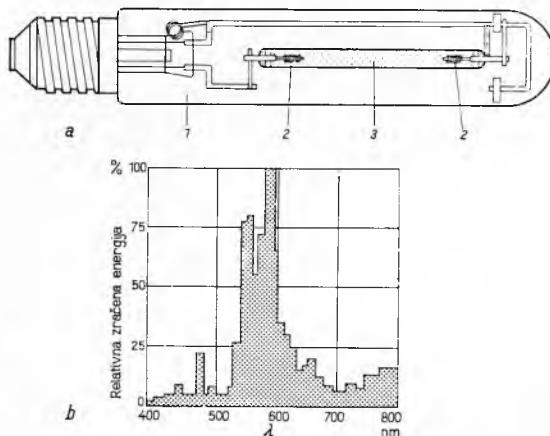
Sl. 19. Zavisnost svjetlosne jakosti fluorescentnih cijevi od temperature okoline

Svetlosno iskorišćenje niskotlačnih natrijumskih sijalica veće je nego ijednog drugog izvora svjetlosti; iznosi ~ 70–130 lm/W, a sijalicâ s refleksionim slojem i do 150 lm/W, tj. ono je 2–3 puta veće nego svjetlosno iskorišćenje živinih sijalica, a i do 12 puta veće nego svjetlosno iskorišćenje standardnih žarulja. Ove se sijalice izrađuju za snage od 40 do 2000 W, sa svjetlosnim tokom od 4000 do 30 000 lm. Najčešće se, međutim, upotrebljavaju sijalice snage ~ 140 W koje daju 13–20 hiljada lumena. Trajanje natrijumskih sijalica takođe je dugo: iznosi i preko 4000 sati. Ove sijalice zrače pretežno monohromatsku žutu svjetlost na valnim dužinama 589 i 589,6 nm (sl. 20 b). Svjetlosni tok se u toku upotrebe samo neznatno smanjuje (sl. 20 c).

Ova vrsta izvora svjetlosti podesna je za vanjsku rasvjetu saobraćajnica koje obilaze velike gradove, za rasvjetu autoputova

i za označavanje i osvjetljavanje raskršća u gradovima. One su također prikladne za rasvetu pogonskih prostorija u kojima se razvijaju plinovi i pare, a u kojima nema velikog značenja vjernost reprodukcije boja proizvoda koji se izrađuju. Nisu, međutim, uopće pogodne za rasvetu prostorija u kojima je iole važna vjernost reprodukcije boja. Zbog relativno neznatnog djelovanja na emulzije osetljive prema svjetlosti upotrebljavaju se u fotografskim laboratorijima mjesto žarulja s crvenim balonom.

Visokotlačne natrijumske sijalice, koje su se pojavile u posljednje vrijeme, rade i na višim pogonskim temperaturama. Unutrašnja cijev, u kojoj nastaje pražnjenje i stvara se luk, izrađuje se obično od aluminijum-oksida (umjetnog safira). Izgled takve sijalice prikazuje sl. 21 a. Ove sijalice zrače zlatnobijelo svjetlo,



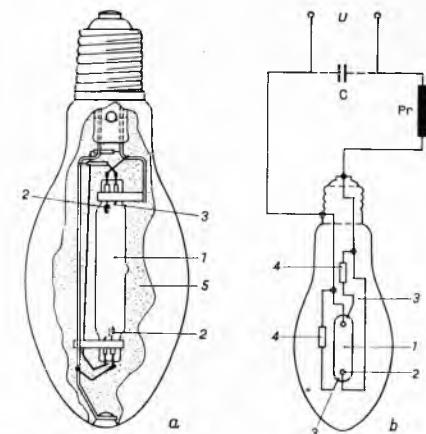
Sl. 21. Visokotlačna natrijumska sijalica: a) izgled, b) spektarna raspodjela zračene svjetlosne energije; 1 zaštitna cijev, 2 žičane elektrode, 3 žižak

a spektar im je primjetljivo širi nego spektar običnih niskotlačnih natrijumskih sijalica (sl. 21 b). Zbog visokog tlaka dolazi naime do vrlo jake interakcije između atomâ natrijuma u osnovnom stanju i atomâ natrijuma u uzbudjenom stanju, pa je uslijed rezonantnog proširenja uzbudjenih stanja žuti dublet u spektru natrijuma silno proširen.

Sijalice sa živinim parama klasificiraju se prema redu veličine tlaka u normalnom pogonu. Niskotlačne sijalice s tlakom $P_{Hg} = 5 \cdot 10^{-3}$ mmHg isijavaju skoro isključivo ultraljubičasto svjetlo (185 i 285,7 nm), pa se zbog toga upotrebljavaju samo za specijalne namjene (stvaranje ozona, uništavanje klica i drugo). U visokotlačnim sijalicama vlada pri radu tlak od 0,5 do 1,5 at. One isijavaju širi spektar vidljivog svjetla ali bez crvene boje. Živine sijalice s najvišim tlakovima, između 10 i 100 at, daju još bolji i jednoličniji spektar vidljivog svjetla; upotrebljavaju se za specijalne namjene, npr. kao projekcione sijalice za kinoprojektore, a sposobne su i za reprodukciju boja. Ovdje će biti detaljnije opisana samo visokotlačna sijalica sa živinim parama jer se ona najčešće primjenjuje u praksi.

Visokotlačne živine sijalice sastoje se od unutrašnje izbojne cijevi 1, zvane žižak, izradene od kremenog (kvarcnog) stakla koje propušta i ultraljubičasto svjetlo (sl. 22). U stjenke žiška utaljene su dvije pogonske elektrode 2 prekrivene specijalnim emisionim slojem i pomoćna elektroda 3 za paljenje, priključena na mrežni napon preko otpornika za ograničenje struje. U cijevi žiška nalazi se tačno određena količina žive u obliku kapljica i nešto plina argona. Kremeni žižak smješten je u vanjski balon 4 koji je zbog toplinskih naprezanja napravljen od tvrdog stakla. Meduprostor između žiška i balona ispunjen je nekim inertnim plinom radi postizanja pravilne toplinske ravnoteže. Zadatak je vanjskog balona da štiti žižak od vanjskih utjecaja i da apsorbira dio ultraljubičastog zračenja. U nekim vrstama živinih cijevi unutrašnja strana vanjskog balona prevučena je slojem fluoresciranjućeg luminofora 5 koji služi korekciji i poboljšanju svjetlosnog spektra. U nekim je tipovima živinih sijalica gornji dio vanjskog balona prevučen reflektirajućim slojem, čime se postiže koncentracija svjetla prema dolje.

Čim se živina sijalica priključi na mrežni napon, dolazi najprije do tinjavog izbjijanja između pomoćne i jedne glavne elektrode. Dostroša se ovo izbjijanje, kojemu je nosilac plin argon,

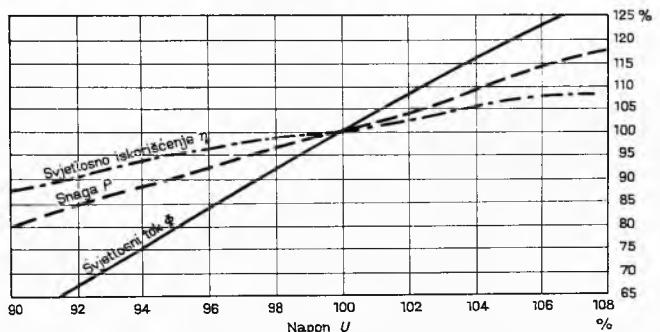


Sl. 22. Visokotlačna živina fluorescentna sijalica.
a) Konstrukcija sijalice, b) shema spajanja; 1 žižak, 2 pogonske elektrode, 3 pomoćna elektroda, 4 visokoohomski otpornik, 5 fluorescentni sloj

proširi na obje glavne elektrode i cijev se pali. Nakon paljenja se žižak u toku 3-6 minuta zagrije i živa se isparuje, a tlak u žišku raste. Čim ima dovoljno živinih para, one postaju nosilac pražnjenja, stvara se luk i žižak počinje svijetliti intenzivnim plavkastobijelim svjetлом. Zračenje potječe pod visokim tlakom prvenstveno od radiativne rekombinacije živinih iona s elektronima, te u vidljivom i bliskom ultraljubičastom dijelu spektra prevladava kontinuirani spektar. Pod nešto nižim tlakovima dolazi do izražaja proširenje spektarskih linija, a kontinuirani spektar je manje izražen.

Zbog negativne karakteristike te sijalice smiju se priključiti na mrežu samo preko balasta (prigušnice Pr), iako im za paljenje nije potreban povišeni napon, kao fluorescentnim cijevima. One počinju normalno funkcionirati tek 5 minuta poslije priključivanja na napon mreže. Sijalice sa živinim parama visokog tlaka izrađuju se za snage 50-2000 W, sa svjetlosnim tokom od 1700-125 000 lm i svjetlosnim iskorišćenjem od 33-63 lm/W.

Trajanje ovih sijalica kreće se od 4000 do 6000 sati. Ova vrsta izvora svjetlosti primjenjuje se, kao i sijalice s parama natrijuma, za javnu rasvetu i u uvjetima gdje vjernost reprodukcije boja nema veliki značaj. Budući da ovi izvori svjetlosti imaju relativno veliku snagu, mogu se ostvarivati velike osvjetljenosti s relativno malim brojem rasvjetnih mjesta. Njihove su prednosti: visoko svjetlosno iskorišćenje, konstantnost svjetlosnog toka kroz veliki dio vremena trajanja, relativno male dimenzije u odnosu prema snazi i dugo vrijeme trajanja.



Sl. 23. Zavisnost svjetlosnog toka, snage i svjetlosnog iskorišćenja visokotlačne živine sijalice od napona električne mreže (sve nazivne vrijednosti prikazane su na dijagramu sa 100%)

Nedostaci su im: što je potrebno dugo vrijeme dok postignu normalni režim rada (čitavih pet minuta) i što se gase u slučaju

da pogonski napon padne ispod 180 V ili da nestane struja. Da bi se sijalica mogla ponovo upaliti, ona se mora prethodno ohladići, što traje 2–5 min, jer tek tada spadne tlak toliko da može ponovo nastati tinjavo izbijanje u argonu. Promjene napona za 7%, navise ili naniže, prouzrokuju promjenu svjetlosnog toka za ~30% u istom smislu (sl. 23).

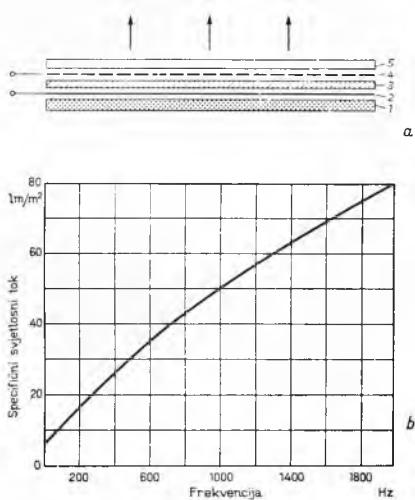
Živine visokotlačne fluorescentne (ili VTF) sijalice nazivaju se ponekad i »živine visokotlačne sijalice s korigiranim svjetlom« i »živine sijalice s fluorescentnim balonom«. Ove su sijalice po konstrukciji potpuno identične naprijed opisanim živinim sijalicama, uz jedinu razliku što je stakleni balon sa unutrašnje strane prekriven slojem fluorescentnog praha koji nevidljive ultraljubičaste zrake (što ih emitira žižak) pretvara u vidljivo zračenje. Na taj se način postiže da se monohromatska, plavozelena svjetlost dopunjuje crvenom svjetlošću koju stvara fluorescentni prah. Ove sijalice izrađuju se za iste snage kao i sijalice koje imaju prozirni stakleni balon.

Sijalice za miješano svjetlo predstavljaju kombinaciju visokotlačne živine sijalice sa sijalicom s užarenom niti. Žarna niti spojena je sa živinom sijalicom u seriju, tako da služi i kao njezin stabilizator. Stoga se takve sijalice mogu izravno (bez balasta) priključiti na mrežu. Ovom se kombinacijom postiže popravak boje i ublaženje stroboskopskog efekta. Zbog žarne niti ovakve sijalice imaju znatno kraći vijek trajanja i manje svjetlosno iskorijenje, tako da je ono samo za 30 do 40% veće nego svjetlosno iskorijenje žarulja sa žarnom niti. Međutim, zbog toga što imaju navedene prednosti fluorescentnih sijalica i što se mogu ugrađivati namjesto normalnih žarulja sa žarnom niti, one nalaze sve veću primjenu.

Svjetleće ili elektroluminiscentne ploče ploštinski su izvori svjetla koji rade na principu elektroluminescencije. One su se počele primjenjivati tek nedavno.

Elektroluminescencija je pojava koja se manifestira svijetljenjem nekih tvari, tzv. luminofora (npr. ZnS), u električnom polju. Pri velikoj jakosti polja (u blizini probognog napona) dolazi do oslobođanja i ubrzavanja elektrona najprije iz tvari koje se kao aktivatori dodaju u maloj količini luminoforu (po pravilu su to spojevi bakra i mangana), a onda ti ubrzanii primarni elektroni prenose energiju na valentne elektrone u kristalnoj rešeci luminofora i prenose ih u uzbudenu stanju. Uzbudeni elektroni poslije toga spontano prelaze na niže energetske nivoje uz emisiju karakterističnog svjetla. Boja svjetla ovisi dosta o prirodi aktivatora u luminoforu.

Konstrukcija elektroluminiscentne ploče prikazana je na sl. 24 a. Na osnovnoj ploči 1 nalazi se donja elektroda 2. Ona je (radi postizanja što veće jakosti polja) premazana slojem debelim svega nekoliko stotinki milimetara koji se sastoji od luminofora, aktivatora i nekog veznog materijala. Na gornju stranu svijetleće-



Sl. 24. Elektroluminiscentna (svijetleća) ploča:
a) shematski izgled, b) zavisnost svjetlosnog toka
od frekvencije struje napajanja. 1) Osnovna ploča,
2) donja elektroda, 3) svijetleći sloj, 4) druga elektroda,
5) emajl

sloja priljubljena je druga prozirna elektroda 4 debela svega nekoliko mikrometara (npr. od oksida kositra). Radi zaštite od vlage i oštećenja, ploča je odozgo prevučena tankim prozirnim slojem emajla 5. Debljina ploče svega je ~2 mm.

Boja svijetlećih ploča zavisi od mješavine svijetlećeg materijala; obično je zelena, ali postoje i ploče sa žutim, plavim i crvenim svjetlom. One se priključuju obično izravno na električnu mrežu (220 V, 50 Hz), a troše 2–5 W/m² svijetleće površine, dajući pri tome luminanciju površine od ~4 nt. Povećanjem frekvencije izvora napajanja (npr. na 2000 Hz) znatno se povećava luminanca površine ali se povećava i potrošak energije (sl. 24 b). Nakon 5000 sati pogona luminancija površine spadne za ~20–30%. Stepen svjetlosnog djelovanja dobar je: iznosi 5–10 lm/W.

Svijetleće ploče upotrebljavaju se za osvjetljavanje skala instrumenata i aparata, za uputne natpise i strelice u tamnjim prostorijama i hodnicima (npr. za oznake izlaza u nuždi), za reklamne svrhe, za noćnu rasvjetu na stubištima, bolesničkim i dječjim sobama i sl.

Projektiranje električne rasvjete

Problematika električne rasvjete. Cilj je umjetne električne rasvjete da nadomesti dnevnu svjetlost i time omogući čovjeku nastavak njegovih aktivnosti (bilo da se radi o radu ili odmoru) na nedovoljno osvijetljenim mjestima i u toku noći. Da bi umjetna rasvjeta bila dobra, svršishodna i ugodna, ona mora da zadovolji određene zahtjeve koji uglavnom zavise od svojstava čovječjeg vidnog organa i od vrste djelatnosti koja se na nekom mjestu obavlja.

Od suvremene se rasvjete traži da radna mjesta budu dovoljno osvijetljena, da svjetlost pri tome bude što jednoličnija, da ona dolazi iz poželjnog smjera, a da pri tome ne pravi ni prevelike ni premale sjene i da u vidnom polju nema tačaka prevelike luminancije. Poželjno je da rasvjeta pri tome bude i ugodna.

Dovoljna osvijetljenost radnog mjeseta najvažniji je od svih zahtjeva. Osvijetljenost mora odgovarati prirodi djelatnosti (rade) koji se na nekom mjestu vrši. Npr. radno mjesto nekog finomehaničara mora biti znatno jače osvijetljeno nego neko stubište. U slučaju, naime, da radno mjesto nije dovoljno osvijetljeno, opada oština vida, oko više ne razlučuje detalje i napreže se, pa se kao posljedica toga javljaju zamor i znatno smanjenje proizvodnosti.

Minimalne vrijednosti osvijetljenosti za različita radna mjeseta, prostorije i javne površine predmet su propisa, normi i preporukā (v. str. 278). Vrijednosti date u takvim propisima odnose se u unutarnjim prostorijama na horizontalnu ravninu 0,85 m iznad poda, a za vanjske površine (ulice, trgove) na ravninu 0,2 m iznad zemlje. Vrijednosti osvijetljenosti kreću se pri općoj rasvjeti između 30 i 600 lx, već prema tome da li se s obzirom na vrstu djelatnosti postavljaju vrlo mali, mali, srednji, veliki, vrlo veliki ili izvanredno veliki zahtjevi. Za dopunsku rasvjetu radnog mjeseta traži se ponekad i više od 1000 lx. Za saobraćajne površine predviđaju se osvijetljenosti od 1 do 20 lx.

Rasvjeta mora biti jednolika u vremenu i prostoru. Česta treperenja i titranja svjetla što se pojavljuju u preopterećenim mrežama štetna su za oči. O tome valja voditi računa pri projektiranju mreža. Titranja koja nastaju zbog promjene smjera izmjene struje (100 puta u sekundi) čovječe oko više ne primjećuje, osim na sijalicama kad je posrijedi već spomenuti stroboskopski efekt. Na mjestima gdje se predmeti kreću treba stoga primjenjivati odgovarajuće sprege za sprečavanje te pojave. Razlika osvijetljenosti između najjače i najslabije osvijetljenog mjeseta ne smije biti prevelika. Omjer između osvijetljenosti srednje osvijetljenog i najslabije osvijetljenog mjeseta ne bi smio biti pri vanredno velikim zahtjevima veći od 1,5, a pri vrlo malim zahtjevima 4 (iznimno 6). Utvrđeno je da oko s obzirom na njegove mogućnosti adaptacije najbolje vidi ako taj omjer unutar vidnog polja nije veći od 3. To se naravno ne može postići ako uz opću rasvetu prostorije ne postoji i dopunska rasjeta radnih mjeseta. Stoga treba težiti za dovoljno jakom općom rasvetom, uz koju dodatna rasjeta radnih mjeseta više nije potrebna. Mada to nije uvijek najekonomičnije, iz zdravstvenih i psiholoških razloga to je najpotpunijije.

Jačina (oština) sjena i smjer svjetla također su od znatne važnosti za pojedina radna mjesta. Povećanjem osvijetljenosti pojačavaju se sjene, pa se time izazivaju nepoželjni kontrasti. Međutim, rasjeta se ne smije projektirati tako da na radnom mjestu uopće nema sjena, jer se time gubi osjećaj prostornosti.

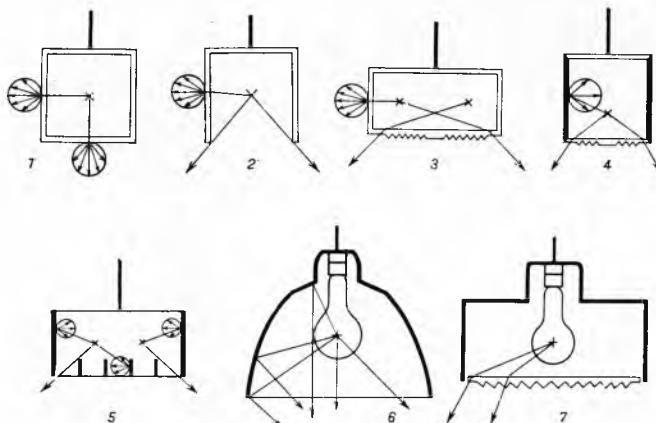
Prema tome svjetlo iz određenog smjera treba da prevladava kako bi se stvorile blage sjene koje odgovaraju djelatnosti (npr. crtačkoj) na određenom radnom mjestu.

Prevelika jarkost (luminancija) izvora svjetlosti i reflektirajućih površina dovodi do zablještavanja i u vezi s time, zbog adaptacije oka, do smanjenja vidne sposobnosti. Pri dobroj rasvjeti jarkost izvora i reflektirajućih ploha ne bi smjela prekoraci 2000...3000 nt. Od tih vrijednosti veća je čak i jarkost fluorescentnih cijevi (3500...6500 nt), a jarkost obične 40-vatne žarulje ($2,5 \cdot 10^6$ nt) daleko ih premaže. Iz ovih je primjera jasno da suzbijanje jarkosti predstavlja jedan od osnovnih zadataka rasvjete tehnike.

Potrebno je također da rasvjeta doprinosi stvaranju željenog ugodaja u određenoj prostoriji, prema njezinoj namjeni; da stvara željenu atmosferu: toplu ili hladnu, funkcionalnu ili dekorativnu, veselu ili ozbiljnu. Rasvjeta ne samo što stvara potrebnu vidljivost u nekoj prostoriji nego i naglašava njene posebne karakteristike, ona je sastavni dio njenog interijera. Rasvjeta doprinosi stvaranju komfora u nekoj prostoriji, naročito u stambenim prostorijama. Prema tome pri ostvarivanju umjetne rasvjete treba voditi računa o tim njezinim karakteristikama. Rasvjeta koja ne ispunjava sve ili bar neke od navedenih uvjeta bit će u većoj ili manjoj mjeri nefunkcionalna i neprijatna. Pogrešna rasvjeta bit će to uočljivije što je osvjetljenost veća i što su teži zadaci koji se obavljaju gledanjem u nekoj prostoriji. Budući da od kvaliteta i kvantiteta rasvjete zavise u velikoj mjeri produktivnost rada i sigurnost na radu, to će i efekt rada biti to bolji što su više i bolje ispunjeni gore navedeni uvjeti dobre rasvjete.

U rasvjetnoj se tehniци naprijed spomenuti problemi rješavaju izborom onih izvora svjetlosti koji najbolje odgovaraju određenoj svrsi, njihovim smještajem u svjetiljke traženih karakteristika i odgovarajućim razmještajem svjetiljaka. Najznačajniju ulogu pri tome imaju svjetiljke.

Svetiljke i projektori. Savremeni izvori zrače svoj svjetlosni tok gotovo u svim smjerovima, a njihova jarkost, naročito jarkost tačkastih izvora, mnogo je prejaka. Zbog tih svojstava izvora svjetlosti, rasvjeta koja bi upotrebljavala izravno samo njih za rasvetu ne bi odgovarala zahtjevima dobre rasvjete niti bi bila ekonomična. Zato se izvori svjetla postavljaju u svjetiljke ako treba da služe za rasvetu prostorija i vanjskih površina, a reflektore ako treba njihov svjetlosni tok upraviti samo u jednom smjeru.



Sl. 25. Shematski prikaz primjene nekih optičko-fizikalnih pojava u svjetiljkama radi smanjenja jarkosti izvora svjetlosti i radi izravnog ili difuznog usmjeravanja svjetlosti. 1, 2, 3 Difuzna refrakcija; 4, 5, 6, 7 zasjenjivanje i zasljanjanje; 7 refleksija; 6 refleksija.

Svetiljke i reflektori, pored toga što (posredstvom grla) izvore svjetlosti smještene u njima drže i omogućavaju njihov priključak na električnu mrežu i što ih štite od štetnih mehaničkih i drugih utjecaja, imaju zadatak da smanje ili potpuno ponište njihovo blještanje i da na odgovarajući način promijene njihov svjetlosni tok usmjerujući ga na mjesto gdje je on potreban ili gdje to odabranu vrstu rasvjete traži. Osim toga one moraju doprinositi uljepljanju prostorije u kojoj su postavljene.

Da bi mogli ispuniti svoju ulogu, svjetiljke i projektori moraju imati određena optička, mehanička, električna i estetska svojstva, koja mogu biti različita prema namjeni, tj. prema vrsti djelatnosti

koje će se obavljati u prostorijama gdje su oni montirani i prema vrsti ugodaja koji treba da se ostvari.

U rasvjetnotehničkom pogledu najvažnija su *optička svojstva svjetiljaka i projektoru*. Ona moraju osigurati raspodjelu svjetlosnog toka koja odgovara funkciji svjetiljke, dobar stepen djelovanja (tj. u samoj svjetiljci ili projektoru gubici svjetlosnog toka treba da budu što manji) i da su jarkosti pojedinih dijelova svjetiljke u smjeru gledanja zaposlenog osoblja manje od maksimalno dozvoljenih.

Optička svojstva svjetiljaka ostvaruju se na najrazličitije načine pomoću prozirnih, opalnih ili matiranih stakala i plastičnih masa različnih faktora transmisije, zatim pomoću različitih refleksnih površina od poliranog i anodiziranog aluminijuma, do sjenila od materijala s različitim faktorima refleksije. Zbog toga postoje posebne svjetiljke za svaku namjenu. Kako se ostvaruju različna optička svojstva svjetiljaka shematski prikazuje sl. 25.

Mehanička svojstva svjetiljaka moraju osigurati čvrstoću, dovoljnu zaštitu, sigurnost upotrebe i lakoću održavanja.

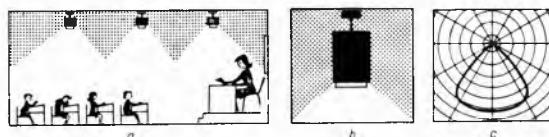
U pogledu *električnih svojstava*, svjetiljke moraju osigurati zaštitu od dodira dijelova pod naponom, zaštitu od napona greške i zaštitu svih električnih dijelova tako da mogu trajno ispravno funkcionirati.

Estetska svojstva savremenih svjetiljaka dolaze sve više do izražaja. Više nije dovoljno da svjetiljke zadovoljavaju u pogledu funkcionalnosti i mehaničke i električke sigurnosti. Danas se traži da se svjetiljke skladno uklapaju u ambijent u koji će se postaviti, da imaju jednostavne i skladne linije i dimenzije. One moraju također biti oblikovane tako da se na njima ne nagomilava prašina i nečistoća, kako bi njihovo čišćenje i održavanje bilo jednostavno i lako. U tom pogledu nema strogih pravila i mjerila, pa se stoga stalno i pojavljuju novi oblici svjetiljaka za najrazličitije namjene. Sve je češći slučaj da na koncipiranju i ostvarivanju oblika i funkcije svjetiljaka tjesno suraduju stručnjaci za rasvjetnu tehniku, stručnjaci za primijenjenu umjetnost i stručnjaci za unutarnju arhitekturu.

Svetiljke se mogu podijeliti prema njihovoj namjeni, prema vrsti primijenjene zaštite i prema načinu raspodjele svjetlosti. Prema *namjeni* razlikuju se svjetiljke za vanjsku (javnu) rasvetu i svjetiljke za rasvetu prostorija, nadalje svjetiljke za parkove, vodoskoke i razne vrste signalizacije. Posebne projektorske svjetiljke služe za osvjetljavanje zgrada, spomenika i drugih objekata. Prema *stepenu zaštite*, svjetiljke mogu biti npr. zaštićene od vlage, osigurate tako da ne mogu izazvati eksplozije, itd. Prema *raspodjeli svjetlosnog toka* svjetiljke mogu poslužiti za ostvarenje različitih vrsta rasvjete. Na sl. 27 prikazani su različiti modeli svjetiljaka suvremene izvedbe za različne izvore svjetlosti i za različite namjene.

Vrste rasvjete. Svjetlosni tok može se pomoću odgovarajućih svjetiljki raspodjeliti na pet različnih načina, pa se prema tome i rasvjeta dijeli na pet vrsta: na direktnu, indirektnu, poludirektnu, poludirektnu i direktno-indirektnu rasvetu.

Direktna rasvjeta (sl. 26). Pri direktnom sistemu raspodjele svjetlosnog toka svjetiljka usmjerava od 90 do 100% svjetlosnog toka prema dolje, a od 0 do 10% svjetlosnog toka prema gore.

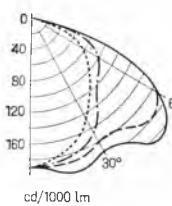


Sl. 26. Direktna rasvjeta. a Raspored svjetiljaka, b tip svjetiljke, c polarni fotometrijski dijagram svjetiljke

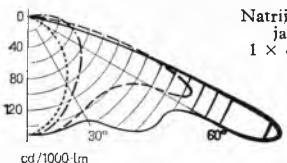
Karakteristike su ovog sistema: što on omogućava da se najveći dio svjetlosnog toka usmjeri na korisnu ravnicu, tj. na radnu površinu ili na pod; što su sjene predmeta oštре i kratke, a jednolikost rasvjete najveća; što se na reflektirajućim površinama izazivaju blještavi refleksi; što na stepen iskorištenja neznatno utječe svjetlost koja se reflektira od zidova i stropa, a znatno utječe ona koja se reflektira od poda i od radne površine. Ova je rasvjeta najekonomičnija jer svjetlost pada izravno na osvijetljenu površinu, dok strop ne upija svjetlosti skoro ništa, a zidovi malo.

SVJETILJKE ZA VANJSKO OSVJETLJENJE

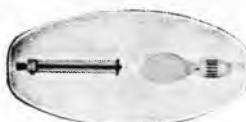
Svjetiljke s limenim sjenilom i poliranim aluminijskim reflektorem za osvjetljavanje saobraćajnica, raskršća i trgovina



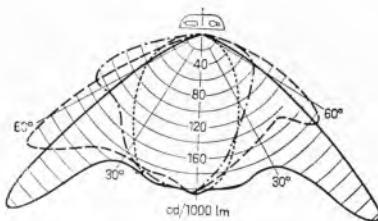
Živine sijalice $2 \times 400\text{ W}$



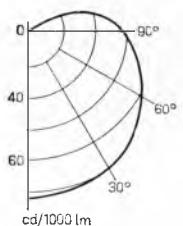
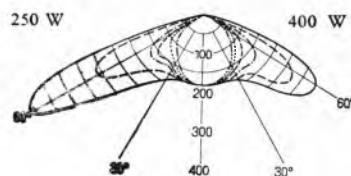
Natrijeva sijalica $1 \times 400\text{ W}$



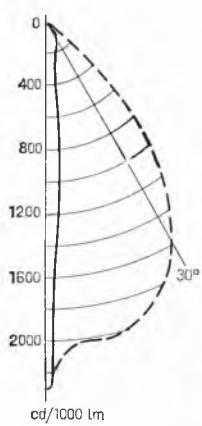
Živina + natrijeva sijalica $1 \times 200\text{ W} + 1 \times 60\text{ W}$



Živina sijalica u svjetiljki suvremenog dizajna (Elektrokovina, Maribor)



Svjetiljka s plastičnim opalnim sjenilom za nastavljivanje na stup



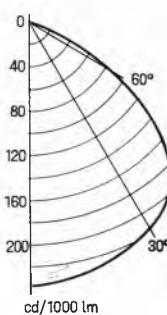
Svjetiljka za osvjetljenje parkova



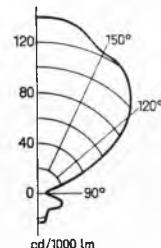
Reflektor za osvjetljavanje fasada, sportskih objekata i sl., predviđen za jodne sijalice

Sl. 26. Svjetiljke za različite namjene, izgled i polarni fotometrijski dijagrami

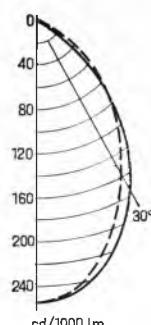
SVJETILJKE ZA OSVJETLJENJE PROSTORIJA



Svjetiljka s limenim sjenilom i pomicnim grlo E40 za živine ili obične žarulje; predviđena za hale i skladišta



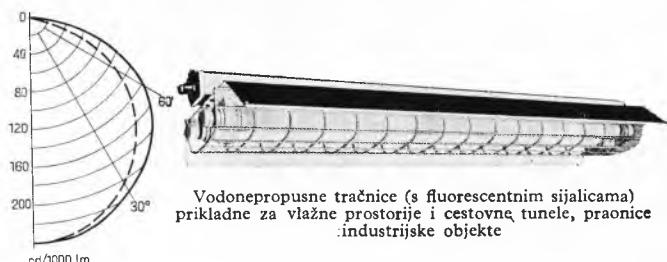
Svjetiljka za osvjetljenje školskih prostorija



Svjetiljka s rasterom i fluorescentnim sijalicama za ured, stambene i druge suhe prostorije



Svetlosni strop složen od reljefnih kapa od plastičnog materijala i fluorescentnim sijalicama iznad njih. Moguć je smještaj električnih, ventilacijskih ili klimatizacijskih instalacija

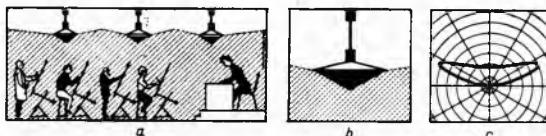


Vodonepropusne tračnice (s fluorescentnim sijalicama) prikladne za vlažne prostorije i cestovne tunele, praoalice industrijske objekte

ELEKTRIČNO OSVJETLJENJE

Za direktnu rasvjetu prostorija najviše se upotrebljavaju poluduboke svjetiljke u visokim radionicama i polušroke u nižim. Direktna se rasvjeta primjenjuje najviše u radioničkim prostorijama.

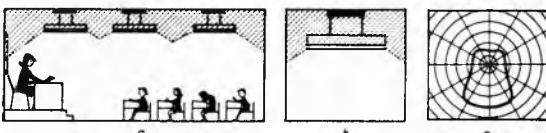
Indirektna rasvjeta (sl. 28). Pri indirektnom sistemu raspodjele svjetlosnog toka, od 0 do 10% usmjereno je prema dolje, a 90...100% prema gore. Glavne su karakteristike ovog sistema:



Sl. 28. Indirektna rasvjeta. a Raspored svjetiljaka, b tip svjetiljke, c polarni fotometrijski dijagram svjetiljke

difuznost svjetlosti, odsustvo sjena, odsustvo refleksnog zablještenja, mali stepen iskorištenja i vrlo mali utjecaj svjetlosti koja se reflektira od zidova i od stropa. Indirektna rasvjeta je zbog malog stepena iskorištenja jako skupa. Njezin se stepen iskorištenja također znatno smanjuje zaprašivanjem, stoga je potrebno brižljivo održavanje. Takva se rasvjeta upotrebljava uglavnom samo za rasvjetu svečanih i sličnih prostorija.

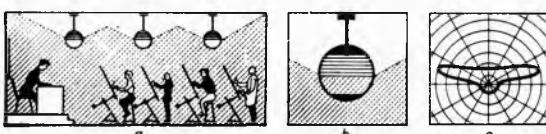
Poludirektna rasvjeta (sl. 29). Pri poludirektnom sistemu raspodjele svjetlosnog toka, 60...90% ga je usmjereno prema dolje, a 10...40% prema gore. Glavne su karakteristike ovog sistema:



Sl. 29. Poludirektna rasvjeta. a Raspored svjetiljaka, b tip svjetiljke, c polarni fotometrijski dijagram svjetiljke

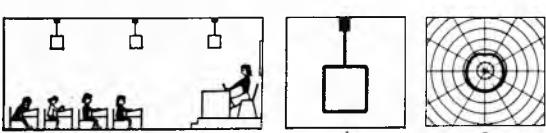
Što je veća količina svjetlosnog toka usmjerena prema stropu, pa on uslijed toga nije u mraku kao pri direktnom sistemu; što sjene nisu jako izražene; što refleksno blještanje glatkih površina manje smeta; što je svjetlost djelomično difuzna; što na stepen iskorištenja utječe jednim dijelom i svjetlost koja se reflektira od zidova i stropa, pored one koja se reflektira od poda i radnih površina. Poludirektna rasvjeta je prikladna za ured, trgovine, stambene i slične prostorije.

Poluindirektna rasvjeta (sl. 30). Pri poluindirektnom sistemu raspodjele svjetlosnog toka, 10...40% ga je usmjereno prema do-



Sl. 30. Poluindirektna rasvjeta. a Raspored svjetiljaka, b tip svjetiljke, c polarni fotometrijski dijagram svjetiljke

jje, a 60...90% prema gore. Glavne su karakteristike ovog sistema: što je jedan dio svjetlosnog toka usmjerjen prema radnim površinama, stvarajući meke sjene; što refleksno blještanje glatkih površina dolazi malo do izražaja i malo smeta; što je svjetlost pretežno difuzna; što na stepen iskorištenja utječe većim dijelom svjetlost koja se reflektira od zidova i stropa a manjim dijelom svjetlost koja se reflektira od poda ili radnih površina. I poluindirektna rasvjeta, kao indirektna, služi uglavnom samo za svečane i slične prostorije.



Sl. 31. Direktno-indirektna rasvjeta. a Raspored svjetiljaka, b tip svjetiljke, c polarni fotometrijski dijagram svjetiljke

Direktno-indirektna (miješana ili jednolika) *rasvjeta* (sl. 31). Pri direktno-indirektnom sistemu raspodjele svjetlosnog toka, 40...60% usmjereno ga je prema dolje, a 40...60% prema gore, što znači da je svjetlosni tok približno podjednako usmjereno prema podu i prema stropu. Glavne su karakteristike ovog sistema: što su radne površine osvijetljene direktnom i indirektnom svjetlošću, a predmeti koji se obraduju, ili vidni zadaci, dobro su vidljivi i plastični, s mekim sjenama; što su strop i zidovi dobro osvijetljeni, pa je cjelokupni prostor dobro vidljiv, što stvara osjećaj komfora i udobnosti; što je svjetlost i direktna i difuzna a opasnosti od refleksnog blještanja su svedene na minimum; što na stepen iskorištenja utječe i svjetlost koja se reflektira od zidova i stropa, pored one koja se reflektira od poda i od radnih površina. Zbog tih karakteristika ovaj sistem je najpodesniji za rasvjetu prostorija u zgradama, naročito kad su posrijedi stanovi, učionice, laboratorijski, uredi i slične prostorije u kojima treba ostvariti ne samo potrebne vrijednosti osvijetljenosti nego također komfor i estetski ugodaj.

Fotometrijske karakteristike svjetiljaka odredene su luminancijom njene prividne površine (izraženom u nitima ili stilbima) i svjetlosnom jačinom u promatranom smjeru (izraženom u kandelama).

Da bi se osigurao vidni komfor, luminacija prividnih površina svjetiljke ne smije biti veća od 2000 nt. Ako je vrijednost osvijetljenosti u nekoj prostoriji veća, mogu biti veće i luminanije prividnih površina svjetiljaka. Raspored svjetlosne jačine za određenu svjetiljku i izvor svjetlosti u njoj za jednu ili dvije ravnine ili za sve smjerove u prostoru dobiva se iz fotometrijskih dijagrama (polarnog, izokandelnog i dr., v. *Fotometrija*). Prilikom preusmjeravanja svjetlosnog toka pomoću refleksija i transmisija gubi se dio svjetlosne energije u svjetiljci. Ovi gubici definiraju se korisnoću svjetiljke. *Korisnost (stepen djelovanja) svjetiljke* (η_s) omjer je između svjetlosnog toka što ga isjavila neka svjetiljka i svjetlosnog toka što ga daju sive sijalice (žarulje) montirane u toj svjetiljci.

Proračun rasvjete. Za proračun rasvjete primjenjuju se najčešće dva postupka: a) izračunavanje osvijetljenosti za svaku pojedinu tačku i b) određivanje svjetlosnog toka potrebnog za postizanje predviđene osvijetljenosti. Svaka od ovih metoda ima svoje područje primjene.

Izračunavanje osvijetljenosti pojedinih tačaka može se upotrijebiti samo u slučaju kad su poznate karakteristike upotrijebljениh svjetiljki, tj. kad postoje za njih fotometrijski dijagrami. Ova metoda polazi od izraza koji daje osvijetljenost E na udaljenosti r od izvora svjetlosne jakosti I : $E = I/r^2$. Ako svjetlo pada na osvijetljenu plohu pod kutom α , jakost svjetlosti koja djeluje na tačku P bit će $I_a \cos \alpha$ (sl. 32 a). Prema tome će osvijetljenost tačke P (sl. 32 b) biti jednaka

$$E = \frac{I_a \cos \alpha}{r^2}.$$

Ovaj se izraz prikazuje i u dva druga oblika. Ako se r nadomesti visinom svjetiljke h ($r = h/\cos \alpha$) dobiva se izraz

$$E = \frac{I_a \cos^2 \alpha}{h^2},$$

a ako se stavi za $r^2 = h^2 + a^2$, gdje a znači udaljenost između promatrane tačke P i vertikalne projekcije svjetiljke na osvijetljenu ravninu, a za $\cos \alpha = h/r$, dobiva se oblik:

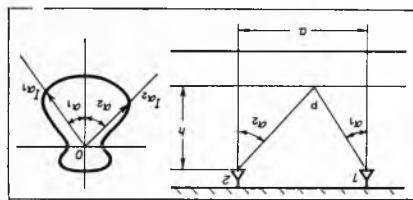
$$E = \frac{I_a h}{(h^2 + a^2)^{3/2}}.$$

Umjesto izravnog računanja mogu se upotrijebiti i tablice izrađene na osnovi naprijed izvedenih formula, koje omogućuju proračun osvjetljenosti na bilo kojoj tački referentne plohe (za javnu rasvetu 0,2 m iznad zemljista).

Ako jednu tačku osvjetjava više svjetiljki, osvjetljenosti se zbrajaju (sl. 33). U tom slučaju vrijedi:

$$E = E_1 + E_2 + \dots = \frac{I_{a_1} \cos^3 a_1}{h_1^2} + \frac{I_{a_2} \cos^3 a_2}{h_2^2} + \dots$$

Ove formule vrijede neograničeno samo za tačkaste izvore, za izvore s većim površinama one vrijede tek na određenoj udaljenosti.



Sl. 33. Osvjetljenost tačke koju osvjetjavaju dva izvora svjetlosti

Proračun osvjetljenosti pojedinih tačaka primjenjuje se u prvom redu za vanjsku (javnu) rasvetu gdje nema dodatnih refleksija svjetla, a tek ponekad i za unutrašnje prostorije s direktnom rasvetom.

Proračunavanje svjetlosnog toka iz zadane srednje osvjetljenosti (tzv. lumenska metoda). Korisni tok Φ_k koji je potreban da se postigne određena srednja osvjetljenost E_{sr} na površini A iznosi:

$$\Phi_k = E_{sr} A.$$

Međutim, da bi se utvrdilo koji je ukupni svjetlosni tok Φ potreban za dobijanje korisnog toka Φ_k , treba poznavati korisnost (stopen iskorištenja) rasvjete η_r za određenu prostoriju, jer je $\Phi_k = \Phi \eta_r$.

Korisnost (stopen iskorištenja) rasvjete η_r jest omjer između svjetlosnog toka koji pada na mjeru plohu neke prostorije i svjetlosnog toka svih sijalica (žarulja) koje svijetle u toj prostoriji. Korisnost rasvjete η_r sadrži u sebi korisnost upotrijebljenih svjetiljaka η_{sv} i korisnost prostorije η_{pr} . *Korisnost prostorije* η_{pr} omjer je svjetlosnog toka koji pada na mjeru plohu (0,85 m iznad poda) neke prostorije i svjetlosnog toka svih svjetiljaka u toj prostoriji. Ona zavisi od visine na kojoj su obješene svjetiljke, od dimenzija prostorije i faktora refleksije zidova, stropa i poda i od opreme prostorije.

Podaci o korisnosti rasvjete nalaze se u tablicama dobivenima empirijskim putem. U te tablice ulazi se s indeksom prostorije i vrstom upotrijebljene rasvjete. Indeks prostorije dobiva se iz posebne tablice ili se izračunava prema formuli:

$$k = \frac{L l}{h(L + l)},$$

gdje h znači visinu svjetiljke iznad mjerne ravnine, L dužinu a l širinu prostorije. Potrebni ukupni svjetlosni tok za opću rasvetu neke prostorije može se dakle odrediti pomoću izraza:

$$\Phi = \frac{E_{sr} A}{k' \eta_r},$$

gdje je k' faktor koji uzima u obzir pogoršanje korisnosti svjetiljaka zbog onečišćenja i zbog opadanja svjetlosnog toka uslijed starenja sijalica (žarulja). Međutim, u svakoj većoj prostoriji postavlja se redovito više (N) svjetiljaka, pa se zbog toga ukupni svjetlosni tok dijeli na tokove pojedinih svjetiljki:

$$\Phi_1 = \Phi/N.$$

Broj potrebnih svjetiljki dobiva se iz dimenzija prostorija i vrste rasvjete. Obično se svjetiljke postavljaju na razmaku 1...2,5 h jedne od druge, zavisno od vrste primijenjene rasvjete. Za utvrđivanje broja svjetiljki postoje također tablice.

Projekt rasvjete mora se temeljiti na ciljevima koje pomoći rasvjete treba ostvariti, a to su u prvom redu stvaranje povoljnih

uslova za rad koji će se obavljati, za sprečavanje nesreća i povreda u toku rada i za smanjenje umora organa vida u toku rada. Projekt se dakle mora temeljiti na projektnim zadacima koji unaprijed treba da budu utvrđeni na osnovi prirode vidnih zadataka koji se obavljaju u prostoriji. Rješenje projektnog zadatka mora biti u skladu s propisima koji postoje za rasvetu prostorija u zgradama, odnosno za rasvetu javnih putova.

Propisi za rasvetu prostorija u zgradama i za rasvetu javnih putova. Od rasvjete prostorija u zgradama zavisi sigurnost na radu, higijena rada i produktivnost rada, a od rasvjete saobraćajnica zavisi sigurnost saobraćaja. Zbog toga je osvjetljenost dnevnom ili umjetnom rasvetom prostorija u zgradama predmet propisa i standarda svih industrijski razvijenih zemalja u svijetu, a neke zemlje imaju i propise za osvjetljenje saobraćajnica.

Jugoslavenski zavod za standardizaciju objavio je 1. II 1963 jugoslavenski standard (JUS U. C9.100) za dnevno i električno osvjetljenje prostorija u zgradama. Ovaj standard sadrži odredbe čija obavezna primjena treba da omogući dobro videnje unutar prostorija u zgradama, tj. tačno i brzo opažanje uz što manji zamor očiju. Standard služi za ocjenu, projektiranje, održavanje i ispitivanje dnevnog i električnog osvjetljenja prostorija u zgradama. On propisuje minimalne vrijednosti osvjetljenosti prema zahtjevima koji se postavljaju rasveti, tj. prema težini vidnih zadataka.

U tablici 9 uzetoj iz tog standarda date su vrijednosti osvjetljenosti i samo za opću rasvetu prostorija i za opću rasvetu s dopunskom rasvetom radnih mjesta, a za različite zahtjeve. Vrijednosti osvjetljenosti navedene u stupcu a vrijede za rasvetu s normalnim žaruljama sa žarnom niti, a vrijednosti osvjetljenosti u stupcu b za rasvetu s fluorescentnim ili sličnim izvorima svjetlosti.

Tablica 9
MINIMALNA OSVIJETLJENOST PROSTORIJA U ZGRADAMA
PREMA JUS U. C9.100

Zahtjevi na rasvetu	Samo opća rasvetu		Opća rasvetu sa dopunskom rasvetom radnog mesta			
			Opća rasvetu		Dopunska rasvetu radnog mesta	
	Minimalna prosječna osvjetljenost, lx					
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Vrlo mali	30	50	—	—	—	—
Mali	50	80	—	—	—	—
Srednji	80	150	30	50	150	300
Veliki	150	300	50	80	300	600
Vrlo veliki	300	600	80	150	600	1000
Izvanredno veliki	—	—	150	300	preko 1000	

U tablici 10 uzetoj iz istog standarda date su minimalne vrijednosti osvjetljenosti za različne prostorije i vrste radova u industriji (tekstilnoj, prehrambenoj, kožnoj, grafičkoj), zatim u zanatstvu i trgovini, u uredima, školama, zdravstvenim ustanovama, dvoranama, javnim lokalima i stambenim prostorijama, a za zahtjeve navedene u tablici 9: »vrlo male«, »male«, »srednje«, »velike«, »vrlo velike« i »izvanredno velike«.

Za pojedine prostorije postavljaju se ovi zahtjevi: *Vrlo mali*: sporedne i podrumskе prostorije, nusprostorije bez posebne namjene, spremišta i skladišta nekurenate robe i ambalaže, sporedni prolazi i hodnici. — *Male*: glavni prolazi i hodnici, stubišta, skladišta, garaže, zahodi, umivaonice; lijevanje velikih i grubih odjevaka, čišćenje odjevaka, kovanje, gruba obrada metala, piljenje drva. — *Srednji*: prostorije za dnevni boravak, kuhinje, prostorije za opće kancelarijske poslove, gospodinje, obične prodavaonice; obični radovi na svim vrstama strojeva za obradu metala, drva, stakla itd. — *Veliki*: kancelarije, finiji kancelarijski poslovi (stenografija, strojno pisanje, knjigovodstvo), prodavaonice finijih proizvoda i prehrambenih artikala; finija obrada metala, drva, papira, kože itd., krojenje i šivenje, fina montaža (npr. manjih motora i finije aparature), mehaničarski radovi. — *Vrlo veliki*: crtaonice; finomehaničarski radovi, krojenje i šivenje taminih materijala. — *Izvanredno veliki*: operacione dvorane; graviranje, cizeliranje, zlatarski radovi, umjetno štopanje.

Minimalne vrijednosti osvjetljenosti koje određuje jugoslavenski standard kreću se od 30 do 600 lx. Radi usporedbi navodimo da francuske preporuke za rasvetu prostorija određuju šest kategorija vidnih zadataka i preporučuju vrijednosti osvjetljenosti, ako su kontrasti između vidnog zadataka i njegove neposredne okoline veliki, od 50 do 3000 lx, a ako su mali, od 500 do 30 000 lx. Ukazuje se potreba da se i jugoslavenski standard za rasvetu prostorija u zgradama uskladi s najnovijim dostignućima ras-

ELEKTRIČNO OSVJETLJENJE

vjetne nauke i tehnike, koja je posljednjih deset godina bila u stalnom i neprekidnom razvoju.

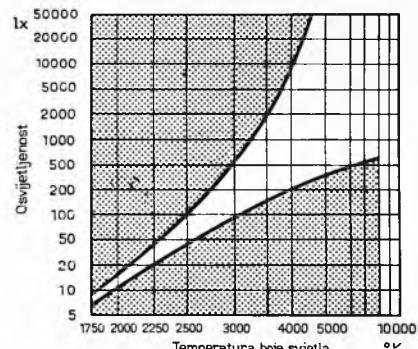
Propisi za rasvjetu javnih saobraćajnica i otvorenih prostora za cijelu Jugoslaviju još nisu doneseni, ali pojedini gradovi su za osvjetljavanje saobraćajnica donijeli propise koji vrijede za područja tih gradova. Međunarodna komisija za rasvetu publikirala je 1966 »Međunarodne preporuke za osvjetljavanje javnih putova«. Zemlje koje nemaju svoje nacionalne propise za osvjetljavanje javnih saobraćajnica upotrebljavaju pri projektiranju javne rasvjete te međunarodne preporuke ili izrađuju svoje nacionalne propise na osnovi i u skladu s ovim preporukama.

Faze izrade projekta rasvjete. Projekt rasvjete izrađuje se po faza logičkim slijedom kako je navedeno u nastavku.

Najprije se utvrđuje karakteristika prostorije, kao što su njezini fizički elementi (dužina, širina, visina, arhitektonski elementi, boje, prozračnost atmosfere, raspored strojeva, radnih mesta i saobraćajnica), namjena prostorije i uvjeti korištenja (jedna, dvije ili tri radne smjene), potreba za samo općom ili za općom i dopunskom lokalnom rasvetom radnih mesta. Na osnovi karakteristika prostorije, vidnih zadataka i radnog procesa utvrđuju se prema propisima vrijednosti osvjetljjenosti koje u prostoriji treba umjetnom rasvetom ostvariti. Vrijednosti osvjetljjenosti se ne proračunavaju, nego određuju.

Druga faza izrade projekta rasvjete obuhvaća izbor izvora svjetlosti i svjetiljaka koje će najbolje odgovarati prirodi vidnih zadataka i materijala koji se obrađuju i bojama koje su primijenjene u prostoriji. Veoma je važno imati na umu međuzavisnost između temperature boje i vrijednosti osvjetljjenosti (*Kruithov dijagram*, sl. 34), s jedne strane, i između boja materijala koji se obrađuje i boje zidova prostorije, s druge strane.

Svjetiljka je također element unutarnje arhitekture prostorije, pa će se izboru vrste i oblika svjetiljke pokloniti to veća pažnja što je važniji unutarnji izgled prostorije ili stvaranje određenog ugledaja. Najbolje je ako kod izbora svjetiljaka tjesno surađuju projektant rasvjete i stručnjak za unutarnju arhitekturu.



Sl. 34. Kruithov dijagram izbora temperature boje kad je poznata osvjetljjenost. Za postizanje udgodne rasvjete treba izbjegavati šrafirana područja

Treća je faza izrade projekta rasvjete utvrđivanje broja izvora svjetlosti i svjetiljaka na osnovi proračuna, pri čemu se mora uzeti u račun stepen iskorištenja rasvjete. Kad je utvrđen broj svjetiljaka ili broj rasvetnih mesta, treba izvršiti prostornu raspodjelu svjetiljaka ili rasvetnih mesta, imajući na umu da treba ostvariti optimalnu jednolikost raspodjele svjetlosti, ili onaku

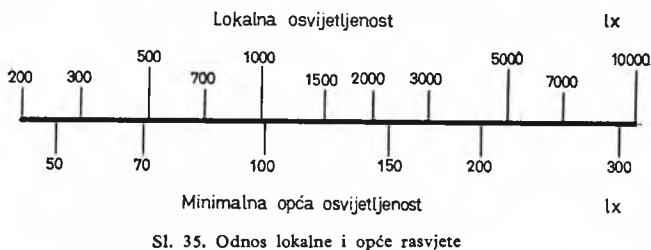
T a b l i c a 10
MINIMALNE I PREPORUČENE OSVIJETLJENOSTI PROSTORĀ RAZLIČNIH NAMJENA

Prostor	Osvjetljjenost, lx	
	minimalna	preporučena
Stanovi		
Kuhinje	100	200
Spavaće sobe: opća rasvjeta kod ogledala i iznad kreveta	50	—
	200	500
Dnevni boravak: opća rasvjeta za čitanje, šivenje, učenje	70	200
	300	500
Kupaonica: opća rasvjeta, kod ogledala	50	100
	200	500
Škole		
Učionice i laboratoriji	200	500
Crtionice, ručni rad	500	700
Garderobe, umivaonici, zahodi	50	100
Na školskim pločama	300	500
Hoteli		
Kuhinje	100	200
Spavaće sobe: opća rasvjeta, iznad kreveta i kod ogledala	100	200
	200	500
Blagavaonice, saloni	100	300
Trgovine i izlozi		
Trgovine u velikim gradovima: opća rasvjeta kod blagajne	300	500
	500	700
Trgovine u malim gradovima i naseljima, opća rasvjeta	200	300
Izlozi u velikim gradovima u trgovackim ulicama	2000	5000
Izlozi u malo prometnim ulicama i manjim mjestima	500	1000
Industrijski pogoni		
Kotlovnice: opća rasvjeta mjerne instrumenti	100	—
	300	500
Stepeništa, hodnici, prolazi	100	200
Konstrukcijski birovi: opća rasvjeta na crtačim stolovima	100	200
	700	1000
Skladišta malih i finih predmeta	100	200
Skladišta većih i grubih predmeta	100	150
Pogonske proizvodne prostorije		
Pogonske proizvodne prostorije osvjetljavaju se prema težini vidnih zadataka i finaci obrade, a za svaku se vrstu pogona i proizvoda moraju posebno odrediti vrijednosti osvjetljjenosti za opću rasvetu i za rasvetu radnih mesta.		
Kazališta i kino-dvorane		
Predvorja	100	—
Pušionice	100	200
Kazališne dvorane: opća rasvjeta na prostoru orkestra	100	200
		500
Kino dvorane: za vrijeme ulaza i izlaza publike	300	200
sigurnosna rasvjeta za vrijeme projekcije	100	—

Prostor	Osvjetljjenost, lx	
	minimalna	preporučena
Saobraćajnice		
Rasvjeta autoputova: kad je kolnik svijetao kad je kolnik taman	70	140
Savremene ceste: kad je kolnik svijetao kad je kolnik taman	35...70	70...140
Ceste u ulici u gradovima i naseljima prema važnosti i gustoći saobraćaja: kad je kolnik svijetao kad je kolnik taman	15...70	30...140
Otvoreni industrijski prostori		
Brodogradilišta: opća rasvjeta rasvjeta radnih mesta	50	70
Slagališta robe i materijala	100	150
Tvornička dvorišta-prolazi	200	50
Rasvjeta za osiguranje i kontrolu	20	50
	10	15
Aerodromi i željezničke stanice		
Prijemna zgrada: blagajne, carinska kontrola	200	300
Hangari za avione: opća rasvjeta održavanje i popravci	200	300
Željezničke stanice: prodaja karata čekaonice	300	500
	100	150
prolazi, stepeništa	50	70
peroni	70	100
Objekti i spomenici		
Bijeli mramor	50	100
Granit	200	500
Cement	100	200
Opeka	100	200
Manje vrijednosti osvjetljjenosti primjenjuju se u gradskim predjelima koji su malo osvjetljeni, a veće vrijednosti u predjelima koji su jako osvjetljeni.		
Otvorena sportska igrališta		
Nogometna igrališta: treninzi utakmice	150	300
Hipodromi	150	200
Plivališta	100	—

raspodjelu kakvu zahtijevaju vidni zadaci na pojedinim radnim mjestima.

Ako je potrebno da se pored opće rasvjete ostvari i posebna rasvjeta radnih mjeseta, odnos između njih treba da bude kako je prikazano diagramom na sl. 35.



Sl. 35. Odnos lokalne i opće rasvjete

U svakoj novoj instalaciji rasvjete početne vrijednosti osvjetljenosti moraju biti veće od propisanih ili preporučenih minimalnih vrijednosti jer treba voditi računa o tome da se svjetlost tok izvora svjetlosti smanjuje u toku upotrebe i da se stepen iskorištenja smanjuje zbog zaprašivanja svjetiljaka i zidova.

Suvremene tendencije u razvoju i primjeni umjetne rasvjete.

U drugoj polovini ovoga stoljeća, dakle u posljednjih dvadeset godina, došlo se na temelju revolucionarnog razvoja rasvjetne tehnike do spoznaje da je moguće ostvarivati gdjegod i kadgod je to potrebno umjetnu električnu rasvetu koja se po svojim kvalitetima može uspoređivati s dnevnom svjetlošću — iako osvjetljenosti jednake osvjetljenostima dnevnom svjetlošću nije moguće na ekonomičan način umjetno ostvarivati. U najrazvijenijim zemljama već se ostvaruju na radnim mjestima osvjetljenosti od 1000...2000 lx.

Da bi se svima zaposlenim osigurali jednak uvjet rada u pogledu videna viđnih zadataka koje obavljaju, potrebno je pri određivanju osvjetljenosti voditi računa ne samo o starosti zaposlenih nego i o individualnim, biološkim razlikama među pojedinim zaposlenim ljudima.

Kao rezultat svih dosadašnjih istraživanja na polju primjene rasvjetne tehnike Englez Hopkinson je 1962 predložio da se i dnevno svjetlo dopunjue umjetnom rasvetom, kako bi se u radnim prostorijama ostvarivali stalno optimalni uvjeti za rad u pogledu vidljivosti, nezavisno od doba dana i noći, atmosferskih i klimatskih uvjeta. To je on nazvao »uredaji za stalno dodatno umjetno osvjetljenje« (PSALI — Permanent Supplementary Artificial Lighting Installation). Uvođenjem tehnike PSALI otvorena su nova velika područja i mogućnosti primjene umjetne električne rasvjete. Ove spoznaje, u zajednici s razvojem drugih tehničkih uređaja za stvaranje povoljnih uvjeta za rad, učinila su da se različiti uređaji za ostvarivanje komfora u prostorijama jedni s drugima integriraju. To se u prvom redu odnosi na integriranje rasvjete s uređajima za klimatizaciju i provjetravanje prostorija.

Suvremena tehnika građenja usvojila je tehniku rasvjete kao sredstvo za oblikovanje prostora, neophodno i za reprezentativni unutrašnji i vanjski izgled objekta. U arhitekturi se već udomačio i termin »graditi pomoću svjetla.« Troškovi za instalacije i uređaje za rasvetu dosižu relativno visoke procente u odnosu prema koštanju cijelog objekta: od 2 do 10%.

Iako je rasvjetna tehnika u posljednjih dvadeset godina zabilježila veliki napredak, može se reći da još veći napredak rasvjetne tehnike predstoji u neposrednoj budućnosti, kako u pogledu usavršavanja i pronaalaženja novih izvora svjetlosti tako i u pogledu primjene rasvjetne tehnike. Već danas su u laboratorijskim stvorenim izvorima svjetlosti čija svjetlost ima spektarni sastav skoro identičan spektru dnevne svjetlosti. Nedavno je u Italiji donesena odluka da se osvjetle autoputovi na cijeloj njihovoj dužini, pošto su deseci kilometara autoputeva već s uspjehom osvjetljeni i pošto se ustanovilo da je broj saobraćajnih nesreća u toku noći za 30% manji na osvjetljenim nego na neosvjetljenim cestama.

R. Žurić

Proizvodnja električnih žarulja

Proizvodnjom električnih žarulja (sijalica) naziva se obično njihovo sastavljanje iz sastavnih dijelova. U širem smislu ona obuhvaća i proizvodnju tih sastavnih dijelova.

Proizvodnja žarulja (u širem smislu) dijeli se, prema tome, na proizvodnju sastavnih dijelova žarulje (žice od volframa i molibdena, spiralne žarne niti, elektrodā, staklenih balona, staklenih cijevi, cjevčica i štapića, podnožaka) i na sastavljanje žarulje. Veliki proizvođači proizvode sve sastavne dijelove i sastavljaju žarulje; manji proizvođači ne proizvode nijedan sastavni dio ili proizvode samo poneki, npr. spirale, pa samo sastavljaju žarulje od dijelova dobavljenih izvana.

Početkom proizvodnje električnih žarulja može se smatrati godina praktične primjene Edisonove žarulje, 1880. T. A. Edison je te godine počeo u skromnom ospagu proizvodnju svojih žarulja s ugrijenom niti u Menlo Parku pod nazivom firme Edison Lamp Company. Zbog velikog interesa Edison osniva 1882 veću tvornicu žarulja u Harrisonu, New Jersey, sa 150 radnika; njezin je kapacitet bio 1200 komada dnevno.

Gotovo u isto vrijeme, tj. između 1880 i 1882, počinje proizvodnja i upotreba žarulja u Evropi: u Engleskoj 1880, a u Francuskoj 1881.

U svojim počecima proizvodnja se žarulja temeljila na ručnom radu, tj. staklohuđaci izradivali su pojedinačno staklene balone i unutrašnje dijelove; stoga su tvornice žarulja, kад se proizvodnja povećala, zaposljavale za ono vrijeme vrlo veliki broj kvalificiranih radnika.

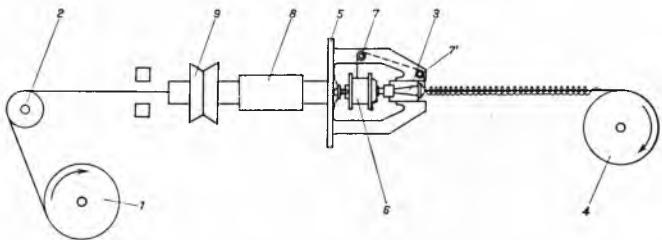
Velik napredak postignut je 1885 upotrebom Sprengelove (H. Sprengel 1834—1906) živine vakuum-pumpe, koja je smanjila vrijeme ispunjavanja zraka iz balona sa 5 sati na 3 minute. Dalji veliki napredak učinjen je konstrukcijom stroja za zatajivanje stakla u staklenke balone 1889, što je ujedno značilo i početku upotrebe polukvalificiranih ženskih radnica snage u toj proizvodnji. Vrlo važan tehnološki napredak bila je 1896 primjena »getera« (tvari koje se priklom žarenja u evakuiranom balonu spajaju s ostacima zraka u njemu) kao metode za poboljšanje vakuma, a time i povećanje trajnosti žarulje.

Duhanje staklenki balona na poluautomatskim strojevima, koje je počelo 1895, znatno je snizilo troškove proizvodnje. Kako je rasla proizvodnja žarulja u USA vidi se iz tablice 11.

Tablica 11
PROIZVODNJA ŽARULJA ZA JAKU STRUJU U USA IZMEĐU 1891
1945

God.	Proizvedena količina hiljade komada	God.	Proizvedena količina hiljade komada
1891	7 500	1929	354 542
1899	25 320	1939	516 661
1909	66 777	1945	792 620
1919	224 713		

Proizvodnja spirala od volframa obavlja se na strojevima čiji se princip razabira iz sl. 36. Molibdenska žica koja služi kao jezgra spirale odmotava se od svitka 1 te prešavši preko zateznog točka 2 prolazi kroz tačno dimenzioniranu sapnicu (vodilicu žice) 3 od safira ili tvrdog metala i namotava se na svitak 4, pošto je s pomoću tzv. glave za spiraliziranje 5 na nju namotana u obliku spirala volframska žica. Ta se žica odmotava sa svitka 6 i vodenja vodilicama 7 i 7' omotava oko jezgre pri okretanju glave za namatanje, čije se vreteno vrtili u ležaju 8 zagonjeno preko remenice 9. Volframska žica se obično u procesu namatanja grijie do 500 °C strujom koja se propušta između svitka i jezgre. Ovako

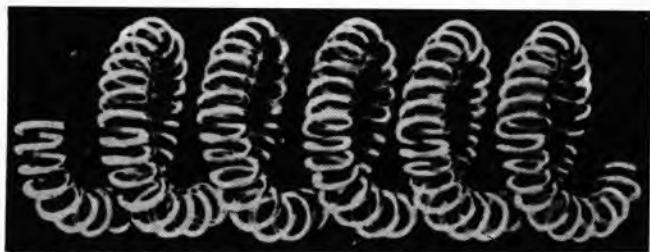


Sl. 36. Prikaz stroja za namatanje spirala od žice volframa. 1 Svitak za žicu jezgre (od molibdena), 2 zatezni točak, 3 sapnica, 4 svitak za namatanje spirale, 5 glava za spiraliziranje, 6 svitak sa žicom od volframa, 7 i 7' vodilica za žicu od volframa, 8 ležaj, 9 pogonska remenica

namotana žica naziva se prva spirala. Ona se dalje provlači kroz električne peći s inertnom atmosferom, gdje se žari do 1500 °C da bi se stabilizirala, tj. da bi se izvršila rekristalizacija. Nakon te operacije i rezanja na određenu dužinu, jezgra se otapa u kiselini pa se konačno dobiva volframska spirala. Dvostruka spirala (sl. 37) proizvodi se na isti način ponovnim namatanjem jednostrukih spirala na novoj debljoj jezgri. Proces izrade spirala

ELEKTRIČNO OSVJETLJENJE

vrlo je precizan i osjetljiv jer su volframske i molibdenske žice vrlo tanke: volframska žica promjera od 0,01 mm naviše, a molibdenska jezgra od 0,04 mm naviše. Kapacitet strojeva ovisi o broju okretaja glave za spiraliziranje (on se danas kreće od 3000 do 10 000/min) i o broju zavoja koji treba da ima spirala. Izrada spirala nije se dosad mogla automatizirati, osim nekih operacija (npr. rezanje spirala).



Sl. 37. Dvaput spiralizirana žarna nit (spirala)

Proizvodnja staklenih balona i cijevi. Razlikuje se duhanje balona iz rastaljene staklene mase koja se dobiva iz staklske peći i duhanje (obično malih) balončića iz staklenih cijevi.

Prvo poluautomatsko duhanje balona počelo je 1912 u USA sa 400 balona na sat. Daljim usavršavanjem (uglavnom do 1929) nastali su rotacioni strojevi sa 12, 18, 24 ili 48 pozicija za duhanje, tzv. karuseli, sa maksimalnim kapacitetom od 10 000 balona na sat. Nakon toga se prelazi na linearne strojeve na bazi transportne trake, kojima se postiže kapacitet od 15 000 balona na sat. Najveći napredak u proizvodnji balona postignut je 1933 u USA konstrukcijom Corning-GEC tračnog (ribbon) stroja koji ima kapacitet od 50 000 kom/h, dnevno 1 250 000 komada, odnosno preko 300 000 000 komada godišnje. Jasno je da takvi strojevi dolaze u obzir samo za najveće proizvođače u zemljama sa velikom potrošnjom žarulja i samo za standardne tipove balona. Rotacione strojeve upotrebljavaju i danas manji proizvođači žarulja, a primjenjuju se i za proizvodnju specijalnih oblika balona. Baloni su duhani iz natrijumskog stakla odredene mase i propisanih tolerancija u pogledu debljine stijenke.

Mali balončići koji se upotrebljavaju u proizvodnji minijaturnih i auto-žarulja, radi praktičnosti i ekonomičnosti proizvode

se većinom iz cijevi od olovnog stakla na specijalnim karuselima sa 12-24 pozicija, kapaciteta 1800-2400 kom/h.

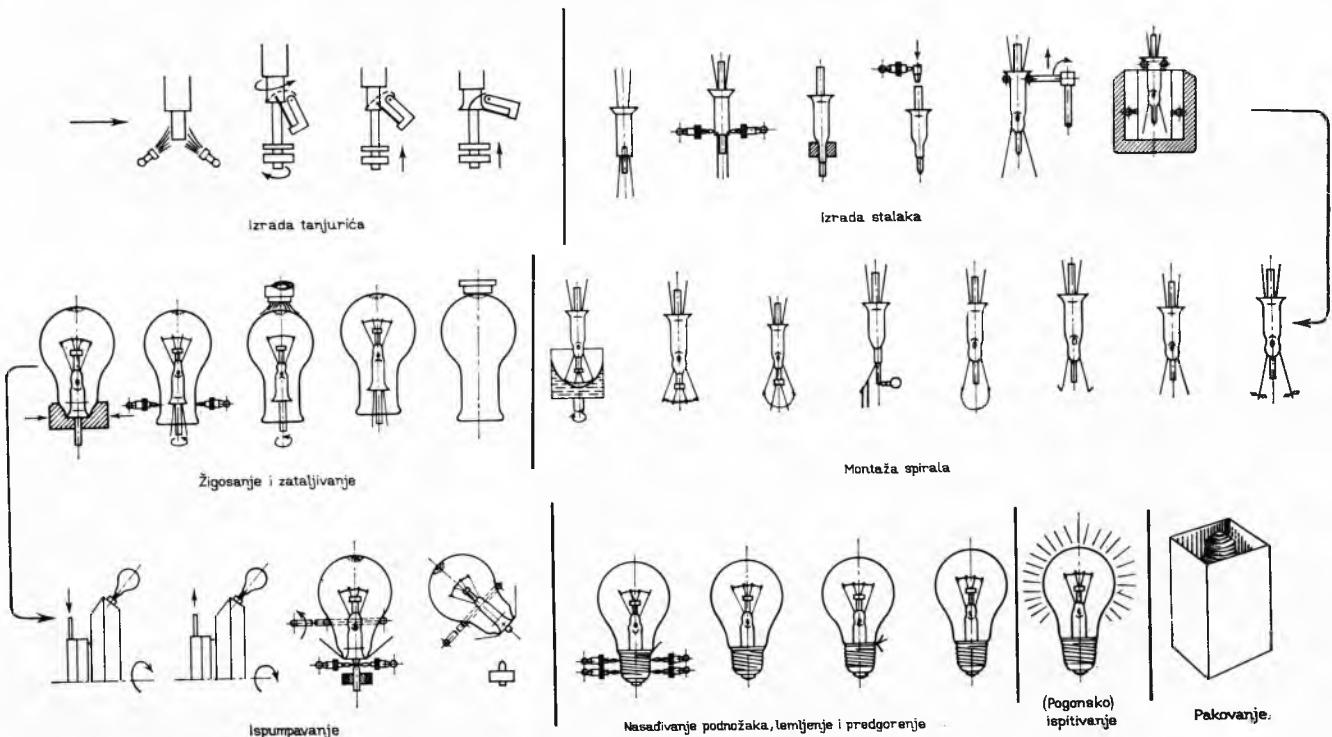
Staklene cijevi, cjevčice i štapići izvlače se automatski iz staklske kadne peći Danner-Peilerovim postupkom. Brzina izvlačenja ovisi o promjeru i debljini stijenke. Ovaj se postupak uz mnoga usavršavanja upotrebljava od 1918 do danas. Najvažniji problem u proizvodnji staklenih cijevi za proizvodnju žarulja predstavljaju vrlo uske tolerancije dimenzija promjera i debljine stijenke. To se postiže naročitim strojevima za sortiranje prema promjeru i težini.

Proizvodnja podnožaka. Podnošci se prešaju na prešama s većim brojem operacija iz trake od mesinga ili (rijetko) od aluminija. Moderne preše, pored toga što obavljaju sve druge operacije, utiskuju na kraju i navoj. Nakon što se metalni dio ispreša, odlazi podnožak na ustakljivanje, tj. na izradu staklene izolacije. Staklena izolacija većinom se lijeva u podnožak i onda u mekom stanju prešanjem formira u kalupu. Postoji i metoda posebne izrade staklene dugmadi sa kontaktnim pločicama, koja se učvršćuje uvijanjem ruba u podnožak. Na kraju se podnošci kemijski obraduju radi skidanja oksida i masti i radi dobivanja prevlake koja će osiguravati kasnije automatsko lemljenje.

Proizvodnja elektroda. Proizvodnja elektroda za žarulje, tj. provodnika struje do spirale, odvija se na specijalnim automatskim strojevima vrlo velikog kapaciteta. Elektroda se sastoji od 3 ili 4 dijela žica od različnih materijala, koje treba jedne s drugima zavariti. Zavarivanje se vrši vodiko-kisičnim plamenom ili elektronički. Kako se radi o zavarivanju različitih materijala (Ni, NiFe, Monel, Cu) i različitih promjera, to je potrebno veliko iskustvo za postizanje kvalitetnih varova. Dio elektrode od manganžice za osigurač ponekad je čvrsto ustakljen staklenom cjevicom koja se na krajevima zataljuje na specijalnom automatu za ustakljivanje elektroda.

Sastavljanje žarulja (ili proizvodnja žarulja u užem smislu riječi) predstavlja izradu žarulje od prethodno proizvedenih i pripremljenih dijelova. Pri tom treba da se izvrše ove operacije: rezanje cjevčica i štapića, izrada tanjurića i stalaka, montaža spirale, žigosanje balona, zataljivanje, ispumpavanje i punjenje plinom, punjenje podnožaka kitom, nasadivanje podnožaka, lemljenje, predgorenje, ispitivanje i pakovanje.

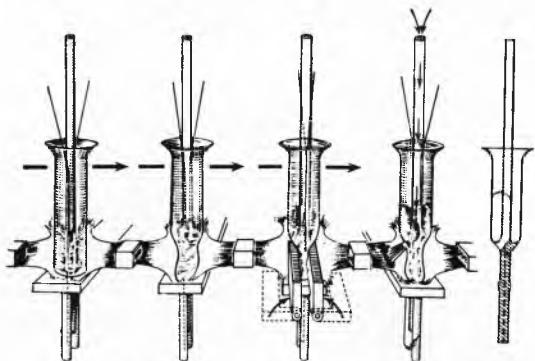
Kako se pojedine operacije obavljaju na specifičnim strojevima, to su ovi međusobno povezani transporterima ili auto-



Sl. 38. Tehnološki proces proizvodnje žarulja

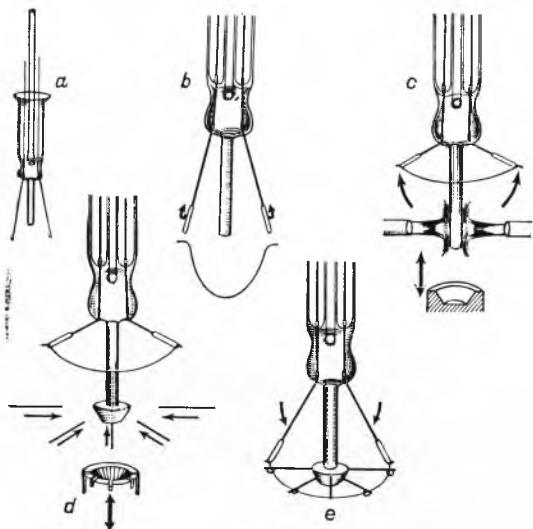
matskim prenosnicima. Ovako povezani strojevi nazivaju se linijom ili grupom strojeva za proizvodnju žarulja.

Moderni automatizirani strojevi postižu danas u Evropi bruto-proizvodnju do 2200 kom/h standardnih žarulja od 25-100 W. U USA upotrebljavaju se već i linije kapaciteta do 3000 kom/h Broj radnika na tim linijama vrlo je malen, svega 3-5 i 2 specijalista-tehničara. U usporedbi s linijama iz 1950. koje su proizvodile 1200 kom/h sa 12 radnika, to je velik napredak. Ukupno radno vrijeme za sastavljanje jedne žarulje iznosi 0,1-0,2 minute.

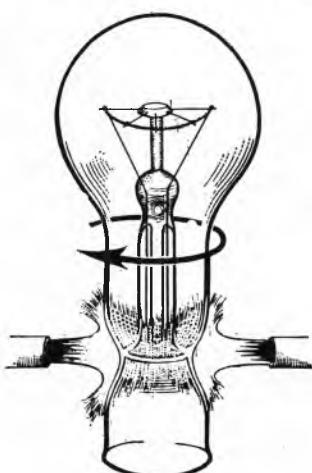


Sl. 39. Proizvodnja stalaka za žarulje

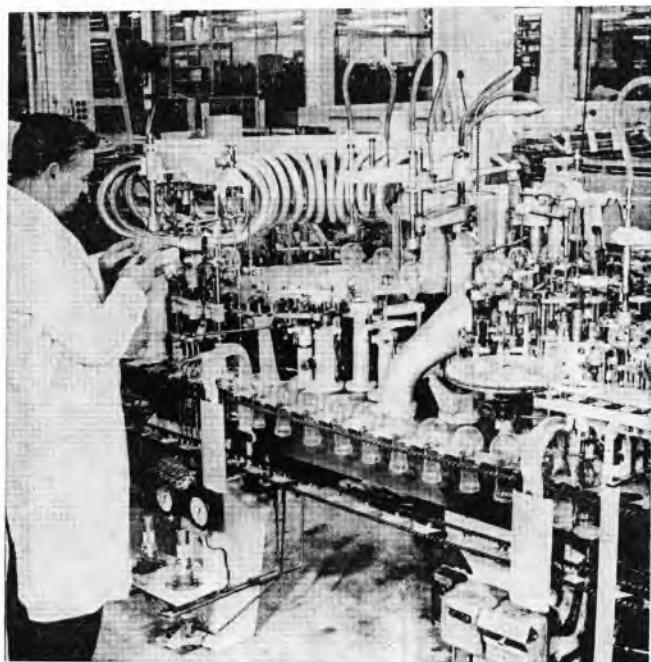
Na sl. 38 prikazan je tehnološki proces sastavljanja žarulje počevši od narezanog stakla i balona do zataljene, ispitane i zapakovane žarulje. Detalji tog procesa vide se i na sl. 39 za proizvodnju stalaka, na sl. 40 za montažu spirale i na sl. 41 za zataljivanje stakla s balonom.



Sl. 40. Montaža spirale na stalak



Sl. 41. Zataljivanje stakla s balonom žarulje

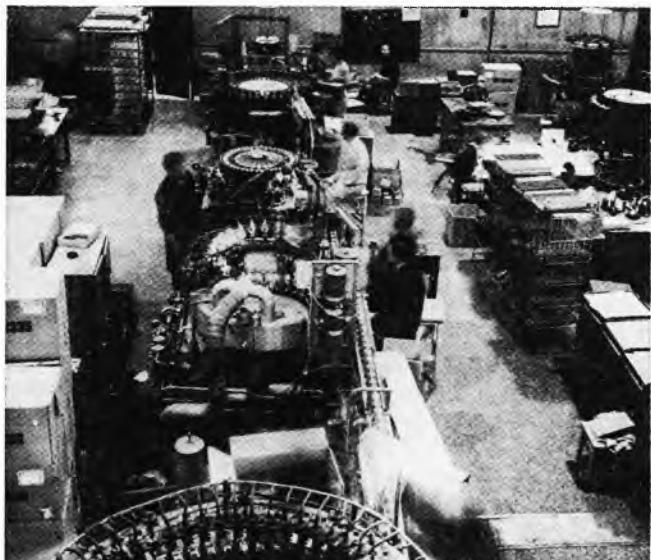


Sl. 42. Savremeni automat za zataljivanje i ispumpavanje žarulja

Pri sastavljanju žarulje vrlo je važna operacija ispumpavanja zraka iz žarulje i punjenje inertnim plinom. Teoretski u vakuumskim žaruljama treba postići vakuum od 10^{-3} mmHg koji se kasnije još poboljšava djelovanjem getera. Kako su danas gotovo sve žarulje punjene argonom, problem se postizanja visokog vakuma uz veliku brzinu stroja rješava tzv. ispiranjem plinom za punjenje. Zataljena žarulja prolazi kroz 24-32 pozicije stroja za ispumpavanje (sl. 42), gdje se u većini pozicija vrši stvarno ispumpavanje zraka a na samo nekoliko pozicija pune se žarulje pod sniženim tlakom plinom, čime se postiže visoko razrjeđenje preostalih molekula zraka u inertnom plinu, a to je isto što i visoki vakuum s obzirom na zrak. Osnovni uvjet za to da ovaj proces bude kvalitetan velika je čistoća plina za ispiranje i njegov tlak.

Plin za punjenje mora biti ekstremno čist; svih nečistoća zajedno ne smije da bude više od 0,001%. Za to su potrebni specijalni uredaji za čišćenje i sušenje i vrlo tačni instrumenti za kontrolu čistoće.

Važno za konačni kvalitet jest nasadivanje ili lijepljenje podnožaka na stakleni balon. Kit za lijepljenje podnožaka sastoji



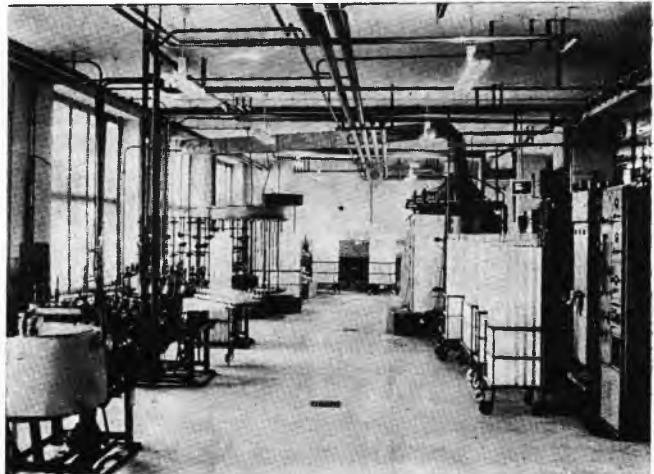
Sl. 43. Linija za proizvodnju žarulja (TEŽ, Zagreb)

se od više komponenata; od njih jedne povećavaju prijanje kita i čvrstoču spoja na povišenoj temperaturi; to su odredene vrste bakelitnog praha, šelaka, kolofonija, a u posljednje vrijeme i silikonske smole. Kit se u procesu proizvodnje žarulje peče na temperaturi od 200 °C, a i u samoj upotrebi treba da izdrži tu temperaturu. Čvrstoča i prijanje kita ispituju se torzionom silom u hladnom stanju, nakon gorenja od 100 sati na temperaturi okoline od 200 °C i nakon završenog ispitivanja trajnosti žarulje, tj. nakon 1000 sati gorenja.

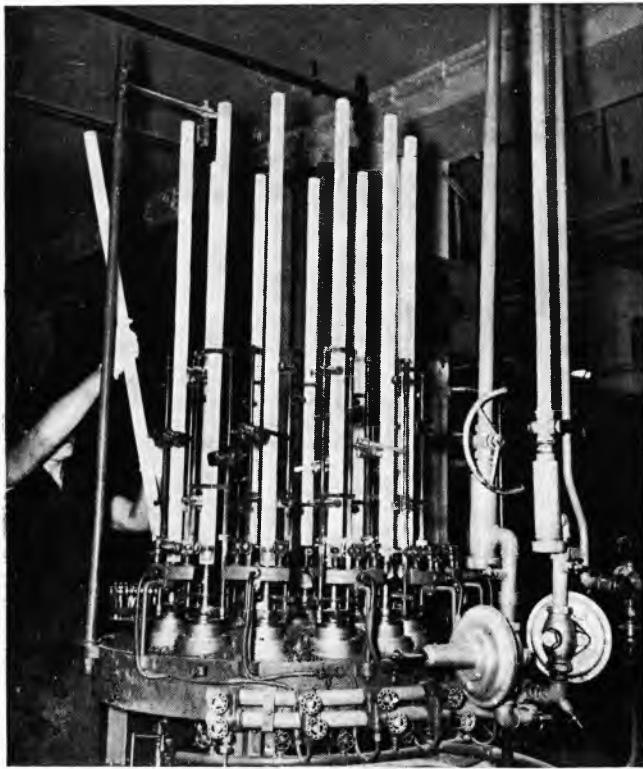
Svaka se žarulja na kraju procesa proizvodnje kratkotrajno ispita naponom od 270 V kako bi se ustanovile vidljive ili skrivene greške koje postoje u tome momentu. Međutim, često se događa da staklo popuca i poslije izvjesnog vremena uslijed unutrašnjih naprezanja, tako da se u skladištu mogu naći žarulje s prevelikim sadržajem zraka i poslije prolaza kroz konačno ispitivanje. U proces proizvodnje ide još i statistička kontrola kvaliteta žarulja koja ispituje električne karakteristike, svjetlostehničke karakteristike i trajnost na uzorcima uzetim iz određene količine proizvedenih žarulja. Prosječna trajnost žarulja je trajnost koju postigne 50% ovako ispitanih žarulja. Prema tome, postoje žarulje koje traju ispod propisanog standarda i takve koje traju iznad 1000 sati. Proizvođač nastoji da rasipanje, tj. odstupanje od propisane prosječne trajnosti, bude što manje. Liniju za proizvodnju žarulja pokazuje sl. 43.

Proizvodnja fluorescentnih cijevi. Pod proizvodnjom fluorescentnih cijevi razumije se redovito (kao i kod žarulja) njihovo sastavljanje iz sastavnih dijelova. Tako definirana proizvodnja razlikuje se od proizvodnje standardnih žarulja jedino time što su oblik i dimenzije cijevi različiti. Sastavljanje cijevi sastoji

vanje, obavljaju se dvostruko, zbog toga što cijevi imaju dva kraja, za razliku od standardne žarulje. Zbog toga postoje u liniji (sl. 45) po dva istovrsna stroja. O načinu pripreme, nanošenja i ispaljivanja fluorescentnog laka ovisi svjetlosni tok, boja svjetla i procentni pad svjetlosnog toka kroz period gorenja cijevi. Fluorescentna suspenzija treba da bude tačno određenog viskoziteta, a osušeni sloj laka s prahom treba da bude tačno određene debeline jer se inače gubi na svjetlosnom toku i mijenja boja svjetla.



Sl. 45. Linija za proizvodnju fluorescentnih cijevi kapaciteta 250 kom/h (TEŽ, Zagreb)



Sl. 44. Stroj za zataljivanje fluorescentnih cijevi

se od ovih operacija: rezanje staklenih cijevi i cjevčica, izrada tanjurića, izrada stalaka, montaža spirale, priprema suspenzije fluorescentnog praha u nitroceluloznom laku, nanošenje i sušenje fluorescentne suspenzije na unutrašnjoj strani staklene cijevi, ispaljivanje organskih supstancija, tj. nitroceluloze, u peći, zataljivanje staklene cijevi i stalaka na oba kraja (sl. 44), ispumpavanje, nasadijanje podnožaka, lemljenje, aktiviranje katoda, ispitivanje kvaliteta i pakovanje.

Kapaciteti današnjih modernih linija za proizvodnju fluorescentnih cijevi iznose 800...1000 kom/h sa 20 radnika. Neke operacije u liniji, na primjer izrada stalaka, montaža spirale i zatalji-

vanje, obavljaju se dvostruko, zbog toga što cijevi imaju dva kraja, za razliku od standardne žarulje. Zbog toga postoje u liniji (sl. 45) po dva istovrsna stroja. O načinu pripreme, nanošenja i ispaljivanja fluorescentnog laka ovisi svjetlosni tok, boja svjetla i procentni pad svjetlosnog toka kroz period gorenja cijevi. Fluorescentna suspenzija treba da bude tačno određenog viskoziteta, a osušeni sloj laka s prahom treba da bude tačno određene debeline jer se inače gubi na svjetlosnom toku i mijenja boja svjetla.

Proizvodnja živinih visokotlačnih fluorescentnih žarulja sastoji se od dvije posve različite tehnologije: tehnologije proizvodnje kvarcnih žižaka koji se kasnije ugrađuju u živinu žarulju i tehnologije proizvodnje samih živinih žarulja, koja je slična tehnologiji proizvodnje standardnih žarulja i fluorescentnih cijevi.

Proizvodnja kvarcnih žižaka sastoji se od ovih operacija: rezanja kvarcnih cijevi i cjevčica, sastavljanja kvarcnih cijevi, izrade katoda s emisionim slojem, zataljivanja krajeva kvarcnih cijevi s provodnicima od molibdenske folije, ispumpavanje s doziranjem žive, aktiviranja katoda i ispitivanja. Danas postoje poluautomatske i automatske linije za proizvodnju kvarcnih žižaka s kapacitetima do 500 kom/h. Živa treba da bude dozirana tačno na 1 mg prema unutarnjem volumenu dotičnog kvarcnog žižka. Da se to postigne, potrebno je prije ispumpavanja sortirati žižke prema volumenu i razmaku elektroda. O toj operaciji doziranja žive ovisi kasniji tlak živinih para, a o tome, opet, napon gorenja žižka, za koji su tolerancije standardima propisane.

Gotovi žižak ugrađuje se zavarivanjem na elektrode stalka živine žarulje. Time počinje sastavljanje živine žarulje. Stakleni baloni premazuju se kao i fluorescentne cijevi s unutrašnje strane suspenzijom fluorescentnog praha u nitroceluloznom laku, koji se poslije sušenja ispaljuje u peći. Na taj način preostaju na unutrašnjoj strani balona samo anorganske tvari. Poslije toga slijedi zataljivanje balona sa stalkom, ispumpavanje i punjenje argonom kao kod standardnih žarulja (samo pod nižim pritiscima: 100...400 mmHg), nasadijanje podnožaka, lemljenje, ispitivanje i pakovanje.

vane. Kapacitet proizvodnih linija za živine visokotlačne žarulje iznosi danas do 500 kom/h, uz najveće angažiranje radne snage za operacije elektrozavarivanja, koji procesi nisu automatizirani, već se rade ručno. Živine visokotlačne žarulje proizvode se polaganje i s mnogo više pažnje nego drugi izvori svjetla zbog vrlo visoke cijene dijelova od kojih su sastavljene.

Ispitivanje živinih žarulja sastoji se u mjerjenju napona paljenja, gorenja i gašenja, svjetlosnog toka, pada svjetlosnog toka trajnosti. Ispitivanje trajnosti vrlo je skupo zbog toga što su živine žarulje snažni izvori svjetla koji troše mnogo električne energije, a i zbog toga što se ne mogu ispitivati po skraćenom postupku, već treba da gore 6–10 hiljada sati.

Proizvodnja ostalih izvora svjetlosti. Nemoguće je ukratko opisati proizvodnju svih izvora svjetla jer ih ima vrlo mnogo, ali osnovni principi proizvodnje i tehnologija uglavnom su za sve isti kao u proizvodnji opisanih osnovnih izvora svjetla. Ipak, za proizvodnju nekih izvora svjetla postoje specifične operacije, kao, na primjer, optičko centriranje spirale automobilske žarulje s obzirom na podnožak, odnosno budući reflektor. Kod džepnih žaruljica za ručne svjetiljke također je vrlo važno centriranje, oblik i dimenzije spirale, s obzirom na smještaj i oblik zrcala u svjetiljci. Kod projekcionih žarulja gotovo svih tipova fokusiranje i tačno održavanje osnovnih dimenzija smještaja žarne niti od posebne je važnosti. U proizvodnji halogenih žarulja punjenje se plinom (Ar, Br, J) vrši na temperaturi tekućeg dušika. Tako se cjevčica za ispunjavanje može zataliti pod pritiskom plina od svega 650 mmHg, a na radnoj temperaturi od 200–300°C tlak poraste na 3 at i više. Posebne konstrukcije i ispitivanja zahitjevaju, na primjer, žarulje za semafore sa vrlo velikim brojem prekida, žarulje za upotrebu na strojevima, koje treba da budu otporne prema potresima i vibracijama, žarulje za upotrebu na brodovima, koje treba da budu posebno dobro izolirane, itd.

B. Jemrić

LIT.: T. G. Spreadbury, Electric discharge lighting, London 1946. — M. Fahrlander, Residential lighting, New York 1947. — Ch. L. Amick, Fluorescent lighting manual, New York 1947. — D. Matanović, Tehnika rasvjete, Zagreb 1948. — A. A. Bright, Electric lamp industry, New York 1949. — H. A. Miller, Cold cathode fluorescent lighting, London 1949. — J. O. Krahenbuehl, Electric illumination, New York 1951. — W. E. Barrows, Light, photometry, and illumination engineering, New York 1951. — H. M. Sharp, Introduction to lighting, New York 1951. — R. Cadierges, L'éclairage par fluorescence, Paris 1951. — R. O. Ackery, The science of artificial lighting, London 1951. — W. R. Stevens, Principles of lighting, London 1951. — D. A. Clarke, Modern electric lamps, London 1952. — R. G. Weigel, Grundzüge der Lichttechnik, Essen 1952. — W. Köhler, Lichttechnik, Berlin 1952. — W. B. Boast, Illumination engineering, New York 1953. — J. Jansen, Beleuchtungstechnik, 3 Bde, Eindhoven 1954. — E. Neumann, Die physikalischen Grundlagen der Leuchttstofflampen, Berlin 1954. — D. Zwicker, Fluoreszent-Beleuchtung, 1954. — N. Troppen, Aktuelle Fragen der Straßenbeleuchtung, Berlin 1954. — W. Strahringer, Laternen und Leuchten, Frankfurt/Main 1954. — A. D. S. Atkinson, Modern fluorescent lighting, London 1955. — A. P. Iwanow, Elektrische Lichtquellen, Gasentladungslampen, Berlin 1955. — H. Zijl, Leitfaden der Lichttechnik, 1955. — R. Grandi, Illuminazione sportiva, Milano 1956. — J. Jansen, Technique de l'éclairage, 3 vol, Eindhoven 1956. — K. P. R. Schmidt, Beleuchtungs-technik im Betrieb, Berlin 1956. — J. W. T. Walsh, Planned artificial lighting, London 1956. — Y. Le Grand, Light, colour and vision (prijevod s francuskog), New York 1957. — W. Köhler, Die Beleuchtung von Schnellverkehrsstraßen, Bielefeld 1958. — R. van der Veen, G. Meijer, Licht und Pflanzen, Eindhoven 1958. — Illuminating Engineering Society, Lighting in corrosive, flammable and explosive situations, London 1958. — W. Elenbaas, Fluorescent lamps and lighting, Eindhoven 1959. — C. Novelli, V. Granci, Illuminazione stradale, Milano 1960. — Parry Moon, The scientific basis of illuminating engineering, New York 1961. — W. Elenbaas, Leuchttstofflampen und ihre Anwendung, Eindhoven 1962. — E. Rebske, Lampen, Laternen, Leuchten, Stuttgart 1962. — C. H. Sturm, Vorschaltgeräte und Schaltungen für Niederspannungs-Entladungslampen, Essen 1963. — J. W. Favie, C. D. Damme, G. Hietbrink, N. J. Quaedvlieg, Eclairage, Eindhoven 1964. — D. Gligo, Zaštita voda na radu, Zagreb 1964. — Elektrokovina, Električno osvjetljenje u školama, Maribor 1964. — J. Boud, L'éclairage dans la maison, Eindhoven 1964. — Clerici, Illuminotecnica, Milano 1965. — M. Déribére, Lampes à iodé - lampes à iodure, Paris 1965. — M. Déribére, La technique de l'éclairage, Paris 1965. — M. Reck, Lichttechnik, Braunschweig 1966. — W. Elenbaas, Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, Eindhoven 1966. — J. Rieck, Lichttechnik, Braunschweig 1966. — O. Ptškorić, Rasvjeta u industriji, Zagreb 1966. — M. Cohu, Sources lumineuses, Paris 1966. — H. Hewitt, A. S. Vause, Lamps and lighting, London 1966. — The British Lighting Council, Lighting in industry, London 1967. — H. A. E. Keitz, Lichtberechnungen und Lichtmessungen, Eindhoven 1967. — Illuminating Engineering Society, IES Lighting handbook, New York 1967. — J. Riege, A. Kurrek, Handbuch der lichttechnischen Literatur, Berlin 1966/68. — H. Prochazka, Praxis der Industriebeleuchtung, Wien 1968. — H. Cotton, Principles of illumination, New York 1968. — VEM-Kollektiv, Handbuch der Beleuchtungstechnik, Berlin 1968. — M. G. Lurye, L. A. Račićevski, L. A. Čiperešan, Osvjetiteljne instalacije, Moskva 1968. — H. M. Gusev, H. H. Kupeev, Osvetiteljnye ustrojstva, Moskva 1968. — B. B. Fedorov, Proizvodstvo plominescentnykh lamp, Moskva 1969. — M. D. W. Pritchard, Lighting, London 1969. — R. G. Hopkinson, Lighting and seeing, London 1969. — B. Steck, Lichttechnik im Betrieb, München 1969. — E. Wittig, Einführung in die Beleuchtungstechnik, 1969. — H. Mehner, Lichtmessung, Lichtführung, Lichtgestaltung, 1969. — J. Jemrić, Priročnik električne rasvjete, Zagreb 1970. — H. Prochazka, Praksa industrijske rasvjete (prijevod s njemačkog), Zagreb 1971.

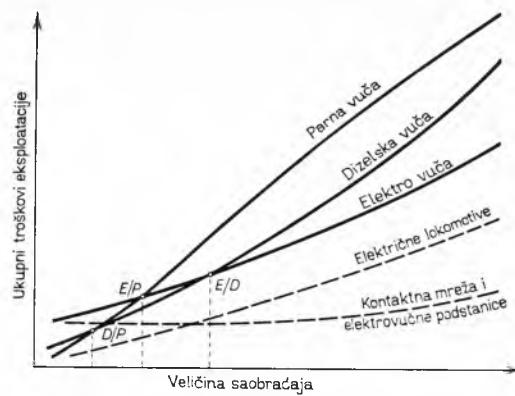
R. Žurić B. Jemrić

ELEKTRIFIKACIJA ŽELJEZNICA, opremanje željezničkih pruga i stanica svim onim električnim postrojenjima i uredajima koji su potrebni za primjenu električne vuče.

Uvođenje električne vuče na željeznicama predstavlja prema današnjem shvatanju najviše tehničko dostignuće u željezničkoj vući jer se njome ostvaruje povoljnije iskorištanje energetskih izvora; bolji kvalitet prevoza putnika i robe; povećanje brzine prevoza, udobnosti, čistoće i sigurnosti; veće i šire saobraćajne mogućnosti zbog primjene bržih i težih vlakova; povećanje promsne i prevozne moći pruga po broju vlakova i količini tereta. Elektrifikacija željeznica je i najekonomičnije rješenje čim su ispunjeni određeni tehnički i ekonomski uvjeti.

Osnovni je *tehnički* preduvjet za elektrifikaciju željezničkih pruga da postoje dovoljni izvori energije za napajanje električnih lokomotiva. U ranijem razdoblju elektrifikacije električnu energiju za tu svrhu dobivala je željeznica iz vlastitih elektrana, u današnje vrijeme ona je obično dobiva iz nacionalne elektroprivredne mreže. Količina električne energije za elektrificirane pruge i u državama s visokim stepenom elektrifikacije željeznica samo je mali dio (do 5%) ukupne potrošnje električne energije; stoga je elektrifikacija željeznica tehnički moguća u većini zemalja gdje postoji elektroprivredna mreža. Elektrifikacija željeznica povoljna je i za proizvođača električne energije jer električne željeznice troše energiju i danju i noću. Osnovni je *ekonomski* uvjet za elektrifikaciju željezničke pruge da jačina saobraćaja na njoj bude dovoljno velika.

Ukupni troškovi eksploatacije željeznica bitno zavise od vrste vuče, najviše zbog toga što na njih utječe prvenstveno pogonski troškovi, a u ovima predstavljaju troškovi za pogonsku energiju najznačajniju stavku. Iz istog razloga troškovi eksploatacije željezničke pruge rastu s jačinom saobraćaja, ali rastu mnogo sporije kad je vuča električna nego kad je parna ili dizelska, — zbog toga što je cijena električne energije po pravilu niža od cijene energije iz uglja ili plinskog ulja u parnoj odn. dizelskoj lokomotivi, a i zbog toga što su također svi ostali eksploatacioni troškovi elektrificiranih pruga manji nego prugâ sa parnom ili dizelskom vucom. Električna vuča ima jeftinije održavanje, lokomotive imaju veći korisni rad (ne treba im priprema za vožnju), bolji stepen iskorištenja pogonske energije, manju specifičnu potrošnju i manji utrošak energije. Zbog povećanja brzine prevoza i promsne moći pruge električna vuča treba manje lokomotiva i vagona za prevoz istog tereta, a time i manje osoblja. U odnosu prema parnoj vući električna vuča ostvaruje uštide i time što otpadaju troškovi za prevoz uglja i što se za taj prevoz više ne angažiraju vagoni. Sve to utječe na to da pogonski troškovi električne vuče ne rastu tako brzo s jačinom saobraćaja kao pogonski troškovi parne i dizelske vuče (sl. 1). Međutim, pri maloj



Sl. 1. Ukupni godišnji troškovi parne dizelske i električne vuče u ovisnosti o veličini saobraćaja

jačini saobraćaja električnom vucom, troškovi amortizacije, uka-maćivanja itd. prevladavaju u ukupnim troškovima nad pogonskim troškovima zbog toga što su investicije za električne željeznice veće nego za željeznice s parnom ili dizelskom vucom. Stoga su pri malom i srednjem saobraćaju ukupni eksploatacioni troškovi parne i ili dizelske vuče manji od troškova električne vuče (na-