

ŽARNICA (I. del)

Staško Južnič*

Electric Light

ABSTRACT

We describe the invention of the incandescent light, mostly after Edison's experiments in vacuum. In the first part of this article we are dealing with the inventions made in USA.

POVZETEK

Razprava opisuje odkritje in razvoj žarnice, predvsem po odkritju prednosti žarenja v vakuumu. V prvem delu opisujemo predvsem raziskovanja v ZDA.

1 UVOD

Z razvojem uporabne žarnice si je Edisonov laboratorij v Menlo Parku ustvaril sloves tudi v svetu, ki ga je William Thomson, poznejši Lord Kelvin, opisal z besedami: "... no one else is Edison" (Friedel, 1986, 198). Seveda pa je Edisonovo delo le kronalo dolgoletna raziskovanja cele vrste znanstvenikov.

Leta 1879 je Edison začel s proizvodnjo žarnic z ogljeno nitko pri tlakah tisočinko mbar. V Evropi se je podobna proizvodnja uveljavila šele konec stoletja. Vakuumska tehnika je s tem postala temelj industrije.

2 PRVE ŽARNICE

Humphry Davy (1778-1829) je leta 1802 opazil, da oglje med elektrodama hitro zgore in ga na zraku ni mogoče žareti kot platino. Leta 1808 je z veliko baterijo pred Royal institution of London (RI) prikazal obločnico in žarnico.

Do šestdesetih let preteklega stoletja niso poznali dovolj cenjenih virov električnega toka. Kljub temu so v več deželah patentirali žarnice, predvsem pa obločnice. Osnovni težavi sta bili iskanje materiala, ki ne bi prehitro zgorel, in uravnavanje stalne razdalje med elektrodama v obločnici.

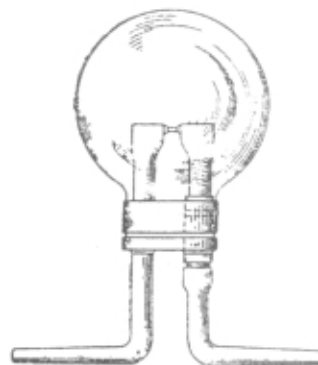
Jobard je v Bruslju že leta 1838 opisal ogleno žarnico v vakuumu, ki jo je pozneje sestavil njegov učenec, inženir de Changy. Vendar je moral prekiniti raziskovanje, ko mu je pariška akademija odrekla podporo. Jobardovo idejo je leta 1841 patentiral Anglež de Moleyns.

Britanec William Robert Grove (1811-1896) je leta 1840 poskusil žarenje platine v zraku. Obe vrsti žarnice je patentiral Američan J.W. Starr (1821-1846), ki je potoval po Angliji in propagiral svoja odkritja. Nemški emigrant Heinrich Goebel je leta 1858 po Rosenbergu (1915, 317) l.1855) s tokom galvanske baterije žarel žico iz platine v vakuumu živosrebrnega barometra. Z osvetljevanjem okna svoje urarske delavnice v New Yorku je privabljal kupce. Vendar so njegov izum kmalu pozabili (Siemens, 1957, I, 87; Šubic, 1897, 128-129; Friedel, 1986, 7-8, 94, 115).

Leta 1872 je Aleksander Nikolajevič Lodigin (Lodyguine, 1847-1923) opisal vakuumsko žarnico z ogleno nitko med elektrodama iz medenine. Z njo so naslednje leto razsvetlili ulice Peterburga. V posodo je postavil še nekaj nitk, s katerimi so nadomestili prvo, ko je po približno pol ure zgorela. Novembra 1874 je dobil Lomonosovo nagrado akademije znanosti, vendar je naslednje leto zaradi finančnih težav nadaljeval raziskovanje v tujini. Januarja in februarja 1876 so tri Lodiginove svetilke osvetljevale trgovino v Peterburgu, 12 pa so jih naročili pri pariški delavnici Julesa DuBoscqa. Poleti 1873 je Edison nabavil DuBoscqove obločnice za laboratorij v Newarku (Edison, 1991, 45; Spaskij 1964).



Slika 1: Aleksander Nikolajevič Lodigin



Slika 2: Lodiginova žarnica (Spaskij, 1964, str.6 in str.7)

2.1 EDISONOVA ŽARNICA

Edison je konec januarja in v začetku februarja 1877 začel, med septembrom 1877 in januarjem 1878 pa nadaljeval raziskovanje obločnic in žarnic. V laboratoriju je imel Gassiotovo elektronko že od leta 1875. Sredi septembra 1877 je Edison naročil Charlesu Batchelorju

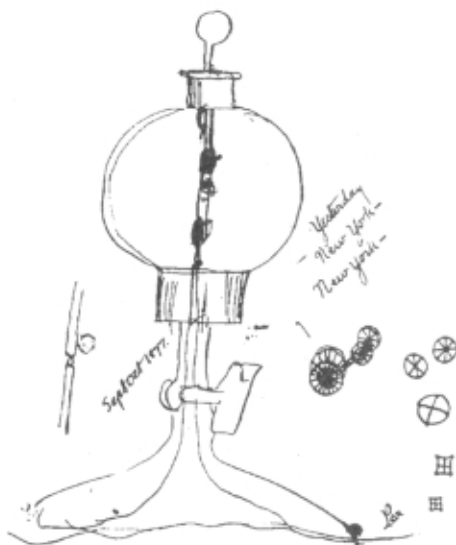
* Stanislav Južnič je profesor fizike in računalništva na srednji šoli v Kočevju. Leta 1990 je diplomiral iz tehnične fizike na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo, magistriral pa leta 1984 iz zgodovine fizike na Filozofski fakulteti v Ljubljani.

naj vanjo vtakne kos oglja. Ker je bilo težko dobiti dovolj majhne kose, so raje uporabili pooglenen papir, ki so ga uporabljali tudi pri vzporednih raziskovanjih telefona. Ko so elektronko znova zatesnili, so jo izčrpali z navadno zračno črpalko, nabavljeno marca 1875. Dobljeni vakuum je bil slab, tako da je žarjeni ogljik zgorel skoraj prav tako hitro kot na zraku. Zato so raje žareli silicij in bor. Žarnice so vezali zaporedno in tudi vzporedno, kar je pozneje peljalo k uspešnemu sistemu razsvetljave (Edison, 1994, XXXVI, 540-547).

Mladi samouk **Thomas Alva Edison** (1847-1931) si je ustvaril sloves v ZDA s hitrim posredovanjem telegrafskih in časopisnih informacij med secesijsko vojno. Izkoristil je gospodarski razcvet po vojni in pozimi 1875-1876, ob podpori newyorških denarnih mogotcev in tiska, postavil prvi industrijski raziskovalni laboratorij v Menlo Parku, New Jersey, 40 km oddaljenem od New Yorka. Tu je med drugim nadaljeval z raziskovalnjem telegrafije, dopolnil Bellov telefon in utemeljil gramofon. Predvsem pa je ustvaril industrijo žarnic, s katero se je po petih letih raziskav v Menlo Parku zmagoslavno preselil v New York kot vodilni izumitelj in poslovnež.



Slika 3: Thomas Alva Edison (1847-1931)



Slika 4: Edisonova žarnica septembra 1877, narisana po spominu leto dni pozneje (Edison, 1994, 546)

Sredi leta 1878 je bil Edison močno izčrpan od intenzivnega raziskovanja telegrafa. Zato je rad sprejel vabilo vodilnih ameriških znanstvenikov, fizika Barkerja in astronoma Draperja, ki sta ga prosila, da jima priskrbi svoj tasimeter za opazovanje popolnega sončnega mrka na zahodu ZDA. Skupno potovanje je trajalo od 13.7.1878 do 26.8.1878. Spotoma so si ogledali tudi laboratorij Britanca Williama Wallaca (1825-1904) v Ansonii, Connctut. Skupaj z Mosesom G. Farmerjem sta sestavila dinamo, ki so ga proizvajali od leta 1875. V času Edisonovega obiska se je Wallace ukvarjal s konstrukcijo močnega električnega generatorja "Tele-machon" in sistema obločne razsvetljave z ogljenimi ploščami (Friedel, 1986, 6-7). Prve monografije o vakuumu so izšle med leti 1906-1926.

Z njimi teorija in eksperiment v vakuumu postaneta univerzalen del temeljev fizike (Kansky, 1993, 7).

Henry Draper (1837-1882) je zaslovel po prvi fotografiji sončnega spektra. Bil je sin Johna Williama Draperja (1811-1882), ki je študiral na londonski univerzi, nato emigriral v ZDA in v New Yorku zaslovel z raziskovanjem luminiscence.

Že nekaj dni po vrnitvi v Menlo Park je Edison vedel, da je na sledi velikih izboljšav električne razsvetljave. Svoje izkušnje v razdeljevanju telegrafskih impulzov je nameraval uporabiti tudi za razdeljevanje moči električne razsvetljave za posamične uporabnike. Dotedanje električne svetilke so bile uporabne le za močne javne luči, pri posameznih uporabnikih pa je prevladovala plinska razsvetljava, katere ohišja je Edison nameraval kar prirediti za žarnice (Friedel, 1986, 13). Njegov sloves je privabil gnotne mogotce z Wall Streeta k ustanovitvi Edison Electric Light Company (EELC).

Samouku Edisonu je bilo veliko do ugleda v znanstvenih krogih, čeprav v svojem laboratoriju dolgo ni zaposloval znanstvenikov. Šele pod pritiskom J. Pierpont Morgana in drugih direktorjev EELC je moral novembra 1878 zaposliti ameriškega fizika Francisa R. Uptona, ki je končal Bowdoin College v državi Main in študiral na Princetону ter pri Helmholtzu v Berlinu. Upton je kot matematično-tehnični svetovalec Edisona leto dni zbiral tiskano literaturo o žarnici, dokler se ni posvetil vodenju proizvodnje žarnic.



Slika 5: Upton okoli leta 1882 (Friedel, 1986, str. 28)

Draper je podpiral Edisona tudi v American Association for the Advancement of Science (AAAS) ter v bolj elitni Nacionalni akademiji znanosti (NAS) skupaj z Rowlandom. Slednji je pozneje, ob prevzemu predsedništva AAAS leta 1883, v slovitom pozivu k čisti znanosti v nasprotju z večino ameriških (Barker) in britanskih (W. Thomson, Crookes) raziskovalcev objavil, da Edisonovo raziskovanje električne žarnice ni znanost, tako kot niso novi kuharski recepti kemija.

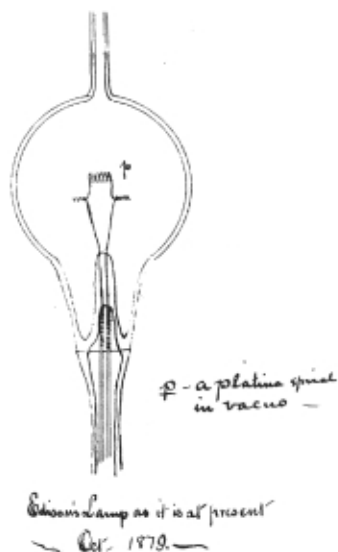
Barker je spoznal Edisona leta 1874 ob razstavi pri Franklinovem inštitutu in ga 3.11.1874 pisno povabil, naj predstavi svoje izume pri NAS. Kot pomočnik urednika Am. J. Phys. in predsednik AAAS leta 1879 je nagovoril Edisona in Uptona, da sta za srečanje AAAS v St. Louisu leta 1878 in v Saratoga Springsu leta 1879 pripravila tudi lastne referate (Edison, 1991, 329; Hounshell, 1980, 612). Pozneje je postal nanj ljubosumen, saj je bil baje prepričan, da je sam največji ameriški fizik.

Do leta 1884, ko se je posvetil predvsem trženju, je Edison najprej ustanovil Telegraph Journal, nato pa je 3.6.1880 ustanovil revijo Science in poldrugo leto gmotno podpiral njeno tiskanje. Science je poltretjo stran posvečala raziskavam elektrike, posebej pa je poročala o delu Edisonovega laboratorija. Za Edisonom je podpora Science prevzel izumitelj telefona Alexander Graham Bell (Edison, 1991, 778; Pretzer, 1989, 129, 132).

Edison je v 80-tih letih z več tisoč dolarji podpiral tudi elektrotehnične programe v šolah (Rosenberg, 1983, 50).

2.2 ŽARNICE V VAKUUMU

Prvi meseci raziskovanja žarnice v Menlo Parku so bili posvečeni iskanju primerne žarilnega materiala. Namesto volframa, oglja in iridija, ki ga je 7.10.1878 hvalil Farmer iz New Yorka, so izbrali platino. Bila je draga in je bilo treba tok skozi njo posebej uravnati z razmeroma zapletenimi povratnimi zankami, da se ne bi stalila nad 1769°C. Zato pa se težko oksidirala in se je z njo Edison sprva izognil uporabi vakuuma.



Slika 6: Vakuumska žarnica z nitko iz platine, ki oktobra 1879 še ni delovala (Friedel, 1986, str.87)

Razpoke in mehurčke v materialih so v Edisonovem laboratoriju preučevali z mikroskopom, kar je bila novost v industrijskem raziskovanju (Friedel, 1986, 46, 49). S tehtanjem so dognali, da postane Pt po segrevanju lažja. Edison je domneval, da plini v porah Pt po segrevanju zapustijo kovino in povzročijo poškodbe. Poskuse je vodil Upton, ki je (4.2.1879) domneval, da se v Pt adsorbira predvsem vodik. Nezaželene pline so izparili s predhodnim segrevanjem Pt v vakuumu in s ponovnim črpanjem pred zatalitvijo žarnice (Friedel, 1986, 51, 53). Zato so januarja 1879 začeli raziskovati v visokem vakuumu, ki se mu zdaj niso mogli več izogniti. Za razliko od predhodnikov je imel Edison na razpolago boljšo tehnologijo, zlasti Sprengelovo živo-srebrno črpalko, opisano leta 1865. Bila je sicer počasnejša od Geisslerjeve, vendar je omogočala večkratno črpanje in zato boljši končni vakuum do 0,1 Pa (Madey, 1984, 14; Friedel, 1986, 51, 53).

Hermann Johann Philipp Sprengel (1834-1906) je bil rojen v Schillerslage pri Hannoveru. Študiral je v Göttingenu od leta 1855 in doktoriral v Heidelbergu leta 1858. Naslednje leto je postal asistent Benjamina Broda na univerzi v Oxfordu. Od leta 1863 je raziskoval v Londonu kot kemik v Royal College of Chemistry in v bolnicah Guys in St Bartholomew's. V slednji mu je predavatelj kemije William Olding omogočil raziskovanje, ki ga je brzkone kronal s svojo prvo črpalko, v kateri je z večkratnim zaporednim padanjem živega srebra izčrpaval zrak iz cevi. Črpalka je takoj prišla v uporabo, saj jo je že leta 1866 Thomas Graham (1805-1869) z University College v Londonu uporabljal pri raziskovanju difuzije plinov, kmalu za njim pa tudi Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) na univerzi v Heidelbergu.

Leta 1865 je Sprenger raziskoval v londonski kemični tovarni. Od leta 1870 je živel kot zasebnik in postal 8 let pozneje Fellow of the Royal Society of London (FRS). Leta 1881 je v Londonu in New Yorku na 16 straneh velikega formata objavil razpravo o vakuumski črpalki. Umrli je v Londonu.

Sprengelovo črpalko je izboljšal Crookesov asistent Charles Gimmingham, ki je namesto ene uporabil več cevi z živim srebrom. Pri poskusih z radiometrom je Crookes uporabljal vakuum 0,04 Pa (Andrade, 1984, 82; DeKosky, 1984, 85).

22.1.1879 je Edison zamen telegrafiral prijatelju Barkerju na univerzo v Philadelphiji in Mortonu v Hoboken, da naj mu pošljejo Sprengelovo črpalko. Zato je sprva črpal z mehansko črpalko, v kateri je bil tiste čase tlak pare uporabljenih olj za tesnila višji od tlaka živega srebra (Edison, 1991, 375; Hablanian, 1984, 19). Edisonov sicer izredno sposoben mehanik Kruesi namreč ni znal narediti Sprengeljeve črpalke. 26.3.1879 je Edison dobil Geisslerjevo črpalko od stehlopihaškega podjetja Alberta Reinmanna & Williama Baetza iz New Yorka, istočasno pa drugo, podobno, vendar pokvarjeno, od nekdanjega Uptonovega profesorja Cyrusa F. Bracketta s Princetona.

Johann Heinrich Krüsi (1843-1899) je bil rojen v Heidenu, Appenzell v Švici. Kot mehanik je delal v Zürichu in Parizu. Leta 1870 je delal na Singerjevih šivalnih strojih v New Jerseyu ter prešel k Edisonu leta 1871 ali 1872. Ime si je poamerikanil v John Krusi (Kruesi). Leta 1882 je bil odgovoren za proizvodnjo v Edisonovi prvi osrednji postaji v New Yorku (Edison, 1991, 633-634)

William de la Rue in Hugo W. Muller sta leta 1878 v pariških Annalen de Chemie et de Physique objavila razpravo o kombinaciji Geisslerjeve črpalke s Sprenglerjevo in o McLeodovem vakuumskem merilnem instrumentu. Edison je leta 1878 zaposlil steklopihača Ludwiga Boehma (r.1859), ki je pred tem delal pri Geisslerju v Bonnu. Sredi avgusta 1879 so Boehmove črpalke dosegale že desetinko Pa. V dobrem letu je Boehm pri Edisonu izdelal tudi več kot 100 od skupno več kot 500 črpalk za tovarno žarnic v Menlo Parku. Sprengel-Geisslerjeva črpalka, kot so jo projektirali v Edisonovem laboratoriju, se je uporabljala do leta 1896. Dr. Otto Moses je 12.4.1880 izdelal za Edisona vakuumsko črpalko z zaprtim dnom in odprtiniami pri strani, da bi zmanjšal tlak živega srebra na dno. Brez segrevanja je lahko dobil dober vakuum v petih urah, kar je bilo pri črpanju žarnic precej zamudno (Friedel, 1986, 61, 62, 159, 163, 251; Hablaninan, 1984, 19; Singleton, 1984, 25).

Edison je poskuse v vakuumu objavil pod svojim imenom, kar je bil eden od vzrokov za poznejšo Uptonovo zamero. Spiralna nit iz Pt premera 0,005 inčev in mase 266 mg je po poldrugi uri žarenja v ognju vodika izgubila 8 mg, druga s 343 g pa je po 9 urah žarenja izgubila 42 mg. Med žarenjem je po 20 minutah opazil tudi tanko plast zrcala na steklenih stenah. Po 5 urah žarenja Pt spirale ni bilo več mogoče videti skozi nastalo tanko plast na stenah.

Ko je spiralno nit prekril z oksidom magnezija z žarenjem prahu magnezijevaga acetata, se je namesto Pt na okoliškem steklu nabral magnezijev oksid. Tako se je prepričal, da pojav povzročajo plini, ki izhajajo iz Pt spirale. Naprejevanja ni mogel preprečiti niti vakuum 2 mm Hg, temveč šele črpanje s Sprengelovo črpalko, ko pol cm dolga iskra iz indukcijske tuljave ni mogla preskočiti skozi vakuum razdalje 1 mm.

Ko je 0,02 mm debel Pt vodnik žarel v Bunsenovem gorilniku, se je ponekod stalil in dobil "cik-cakasto" obliko. Pri štirikrat debelejšem vodniku se to ni zgodilo, saj večje sevanje površine ni dopuščalo tolikšne temperature. Po segrevanju je pod mikroskopom opazil številne razpoke na vodniku. Po 20-minutnem žarenju je bilo mogoče razpoke opaziti tudi s prostim očesom, po nekaj urah pa je vodnik razpadel. Pojav sta opazila že J.W. Draper in francoski kemik Tessie de Motay, ki je žarel Pt v vodiku.

Ko je Edison dognal vzrok za razpad vodnika, ga je dal zaščititi s predhodnim žarenjem v vakuumu. Dobil je zelo homogeno in trdno Pt brez plinskih mehurjev in z visokim tališčem. Izdelal je več platinastih spiral s sevalno površino 3/16 inča, ki so pri tališču žarele s 4 svečami. Nato je zrak izčrpal do 2 mm Hg. Spiralo so počasi grel s tokom do rdečega žara, da so plin iz por spravili v vakuum. Vodnik so grel v intervalih

15 min, da je kovina zapolnila prostor v porah, na mestih, kjer so se izločili plini. Po 100 min je spirala svetila s štirimi svečami, kar bi sicer stalilo navadno platino. Pri zelo počasnem segrevanju je dajala celo 30 sveč. Pod mikroskopom ni bilo videti razpok na gladki srebrnobeli spirali, ki se je med postopkom stanjšala in jo je bilo zelo težko staliti na ognju. S površine, enake zrnu ajde, je dobil svetilnost 8 sveč, osemkrat več kot brez predhodnega segrevanja v vakuumu. Z manj kot eno konjsko močjo je lahko napajal 16 takšnih svetilk s skupno svetilnostjo $8 \times 16 = 128$ sveč.

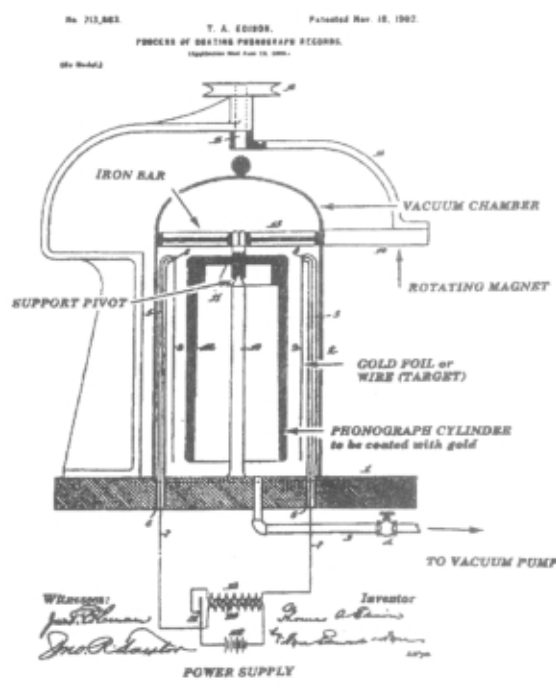
Edison je preizkušal tudi druge kovine. Železo je po opisanem postopku postalo trdno kot steklo in je svetilo bolje od navadne platine. Aluminij se je stalil šele v belem žaru itd. (Edison, 1879, 152-154).

2.3 VZPOREDNA ODKRITJA MED RAZISKOVANJEM ŽARNICE V EDISONOVEM LABORATORIJU

Sredi decembra 1878 je Upton odkril, da pri visoki upornosti električne razsvetljave 200-300 omov ne potrebujemo dodatne energije, saj je ta odvisna le od upornosti, temveč od žareče površine. Zato so v žarnici s pridom uporabili zelo tanke žareče nitke, ki so jih podaljšali z navijanjem v spiralo. Odkritje so februarja 1879 patentirali v Veliki Britaniji.

Tudi po uspehu z žarnico je Edison nadaljeval poskuse v vakuumu. O njegovem raziskovanju termoelektronske emisije iz leta 1883 smo že pisali (Nemanič, 1996, 21). Leta 1884 je prijavil in 18.9.1894 dobil patent za prekrivanje z izparevanjem v vakuumu po neposrednem segrevanju z enosmernim tokom, ki ga je imenoval "elektro vakuumška depozicija". Kljub temu pa za

Edison's 1902 patent



Slika 7: Edisonova patentna skica 18.11.1902 za "Postopek prekrivanja fonografskih plošč" (R.K. Waits, Edison's Vacuum Coating Patents, AVS Newsletter (May/June 1997), str.18)

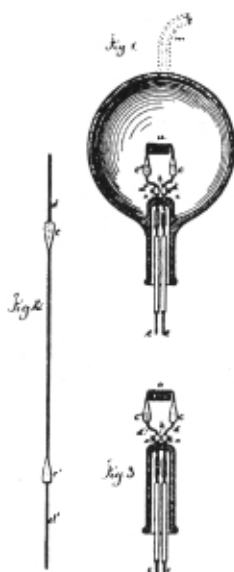
odkritje nanašanj tankih plasti v vakuumu z Joulovim segrevanjem Pt-vodnikov pogosto navajajo 3 leta poznejše delo Roberta Nahrwolda (r.1850), v katerem Edison ni bil omenjen. Prav tako ga ni naslednje leto 1888 omenjal Kundt, ko je odkritje uporabil za določanje lomnega količnika tankih plasti kovin (Waits, 1997, 18; Južnič, 1995, 19).

Edison je uporabil tudi naprševanje z visokonapetostnim izmeničnim tokom, ki ga je bržkone slučajno odkril pri višjih tlakih. Tako je leta 1900 prijavil in 18.11.1902 dobil patent za "Postopek prekrivanja fonografskih plošč". Edisonva National Phonograph Company je naprševala tanke plasti zlata na fonografske valje iz voska med letoma 1901-1921 (Waits, 1997, 19).

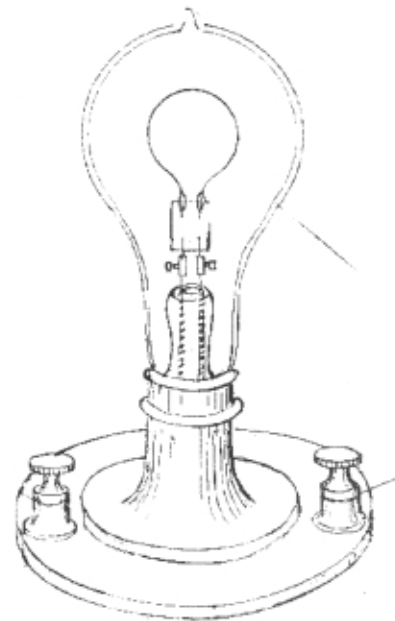
Tesnitev žarnice je bila posebno težavna ob vodnikih iz svinca. Swan in drugi raziskovalci niso demonstrirali svojih dosežkov na tem področju, tako da je ta problem verjetno zadovoljivo rešil le Edison. Sprva so v Menlo Parku tesnili z lesom, od leta 1881 pa so začeli uporabljati mavec iz Pariza (Friedel, 1986, 116, 171)

3 OGLJIKOVA ŽARNICA

Uporaba vakuuma v žarnici je znova odprla možnost zamenjave platine s cenejšim ogljikom. Oktobra 1879 so se v Menlo Parku vzporedno z raziskovanjem žarnice ukvarjali tudi z izdelavo telefonskih oddajnikov za britanski trg. Tako je bilo na voljo veliko ogljika za boben v telefonu in so ga preizkusili tudi v žarnici. 21.10.1879 so prižgali žarnico s poogleneno bombažno nitjo, ki naj bi po legendi gorela 40 ur, čeprav laboratorijski zapiski pričajo le o 30,5 urah. 4.11.1879 je bila vložena patentna zahteva, na podelitev patent pa je bilo treba čakati le 84 dni. V patentni zahtevi je Edison zapisal "Odkril sem, da tudi bombažna nit, primerno pooglenena in postavljena v zatesnjeno stekleno posodo, izčrpano do milijoninke atmosfere, daje od 100 do 500 omov upora toku in je povsem stabilna pri zelo visokih temperaturah." (Madey, 1984, 14).



Slika 8: Vakuumska žarnica z nitko iz pooglenenega papirja po patentu št.223898 konec leta 1879 (Friedel, 1986, str.106)



Slika 9: Vakuumska žarnica z nitko iz pooglenenega papirja novembra 1879 (Friedel, 1986, str.107)

6.12.1879 so uporabili ogljik v obliki podkve. Newcomb, vodja urada za mornariški almanah pri pomorskem observatoriju v Washingtonu, je sredi januarja pisal Edisonu, da bi bilo mogoče svetilnost žarnice močno povečati z uporabo bolj homogene in trdnjše oblike ogljika od pooglenenega papirja.

Simon Newcomb (1835-1909) je bil rojen v Wallacu na Novem Škotskem. Leta 1884 je postal profesor matematike in astronomije na univerzi Jihn Hopkins v Baltimoru. Univerza v Leydenu mu je podelila častni doktorat. Skupaj s poznejšim Nobelovcem Albertom A. Michelsonom (1852-1931) s pomorske akademije je bil Newcomb tedaj sredi priprav za meritve svetlobne hitrosti z interferometrom. Edison je imel tedaj že tolikšen ugled med ameriškimi znanstveniki, da je Michelsona povabil, naj svoj interferometer postavi v Menlo Park. Michelson je povabilo vlijudno odklonil.

Edison je upošteval Newcombov nasvet in dal raziskati celo vrsto snovi. Z ameriško podjetnostjo je pošiljal odprave v Indijo, Kitajsko, Centralno in Južno Ameriko. "Začel je z nebroj poizkusi in iskal pravi material za ogleno žarilno nitko in res je našel po tisočih in tisočih neuspehih neki japonski bambus, katerega zoglenela vlakna so se izkazala uporabna" (Poljšak, 1931, 34).

Henry Morton s Stevensovega instituta v Hobokenu je Edisona kritiziral v Sci. Am., C.F. Bracket in C.A. Young pa sta v Am. J. Sci. objavila pohvalno oceno Edisonove žarnice po neodvisnem raziskovanju, ki ga je pri njej naročil Edison. V istem zvezku revije sta 100 strani pred njima Edisonova prijatelja Barker in Rowland aprila

1880 objavila ugodno oceno učinkovitosti Edisonove žarnice (Friedel, 1986, 138-139), merjeno kot razmerje med porabljenim delom generatorja in dobljeno svetilnostjo. Rowland in Barker nista imela uporabnega dinamometra, pa tudi svetilnost žarnic, postavljenih na dolgi razdalji, ni bilo mogoče enostavno meriti. Lahko bi merila tudi upornost in tok skozi posamezno žarnico, vendar tudi za takšno meritev nista imela potrebnih naprav. Zato sta postavila žarnico pod vodo in merila v kalorimetru oddajanje toplote na minuto. Kalorimeter iz zelo tankega bakra je imel kapaciteto okoli 1,25 kg vode. Žarnica je bila postavljena v sredo naprave, da se je voda okoli nje lahko mešala. Temperaturo sta merila do desetinke °C natančno z Baudinovým termometrom. Meritev je bila natančna do 3 %, saj nista upoštevala sevanja. S temperaturo kalorimetra kar se da blizu temperaturi zraka in z majhnimi spremembami le-te pa naj bi zmanjšala napako na 1 %.

Uporabila sta dve žarnici skoraj enakih moči. Merila sta le eno, drugo pa hranila v kalorimetru in ju pri naslednji meritvi zamenjala. Svetlost sta merila primerjaje z navadnim Bunsenovim gorilnikom, ki je dajal eno svečo na razdalji 10 inčev.

Merjeni žarnici sta vsebovali ravne proge pooglene-nega papirja, ki sta veliko bolj svetili v pravokotni smeri. Zato sta merila tudi v smeri, vzporedni površini, in upoštevala povprečje. Žarnici sta imeli maso okoli 35 g. Na uporabljeno konjsko moč sta dobila 1000 do 1500 sveč, kar je bilo obetajoče, če bi bilo mogoče izdelovati dovolj cenene in dolgotrajne žarnice.

Konec leta 1880 je Brushovo podjetje postavilo obločno cestno razsvetljavo na Broadwayu v New Yorku. Hiram Maxim pa je začel prodajati žarnice, zelo podobne Edisonovim. Barker je v tisku hvalil Maximov izum, prikazan na srečanju NAS konec leta 1880 New Yorku, morda zaradi zamere, ker Edison ni upošteval njegove prošnje, naj sloviti Draprejev laboratorij opremi s svojimi žarnicami (Hounshell, 1980, 613).

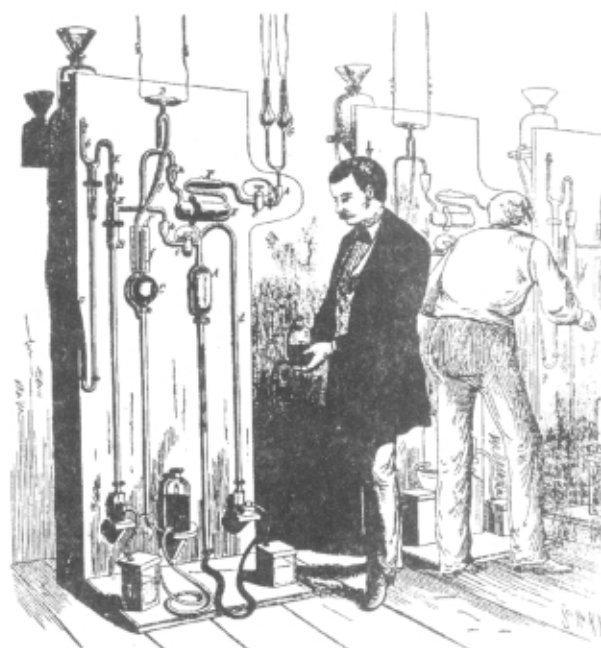


Slika 10: Portret Henry Rowlanda (Rosenberg, 1983, 50), ki je bil rojen leta 1848 v Houestale, Pennsylvania. Leta 1872 je bil izredni profesor na Rensselaer Politehničnem institutu v Troyi, New York, leta 1876 pa profesor fizike na univerzi John Hopkins v Baltimoru, kjer je leta 1881 postal redni profesor. Dve leti pozneje je postal predsednik AAAS.

Barker je bil rojen leta 1835 v Charlestownu, Massachusetts. Doktorat iz medicine si je pridobil leta 1863 v Albany, nato je študiral se v New Hawenu, Conn. in Leta 1858 je postal asistent B. Sillimana starejšega. Med letoma 1859-1861 je poučeval na harvardski medicinski šoli v Bostonu, od leta je predaval naravoslovje 1861 na Wheaton-College v Illinoisu, naslednje leto pa kemijo na medicinski akademiji v Albany, New York. Leta 1863 je tam doktoriral iz medicine. Leta 1864 je odšel v Pittsburg, Pennsylvania, kjer je leta 1866 postal demonstrator, naslednje leto pa profesor kemije in toksikologije v New Havnu, Conn. Od leta 1873 je bil profesor fizike na univerzi Philadelphia. Leta 1872 in 1879 je bil predsednik AAAS. Bil je tudi pomočnik urednika Am. J. Phys. in je skrbel za promocijo Edisonovih odkritij med znanstveniki.

Charles Francis Brush (1849-1929) je bil rojen leta 1849 v Euklidu, Ohio. Diplomirovan strojnega inženirja si je pridobil leta 1869 na univerzi Michigan, nato pa je leta 1880 študiral in doktoriral na univerzi Western Reserve, leta 1899 pa je končal podiplomski študij na univerzi Michigan. Leta 1878 je izumil svojo inačico obločnice. Ustanovil je podjetje "The Brush Electr. Co & The Linde Air Products Co.". Podjetje je prvo v ZDA leta 1878 proizvedlo uporaben dinamo, ki je bil del sistema razsvetljave (Edison, 1994, 525; Siemens, 1957, I, 86, 308)

Zato so se v Menlo Parku odločili za proizvodnjo žarnic, ki jo je od januarja 1881 vodil Upton. 19.4.1881 je družba svetnikov mesta New York zagotovila privilegij pri žarnicah Edisonovemu podjetju, kar je bil začetek svetovnega uspeha. Uptonovo mesto Edisonovega matematično-tehničnega asistenta je prevzel Charles Clarke (Friedel, 1986, 194, 195 in 207). Za najprimernejšo napetost je Edison izbral 110 V (Siemens, 1957, I, 88), kar je ostal standard v ZDA.



Slika 11: Proizvodnja vakuumskih žarnic v Menlo Parku 17.1.1880 (Friedel, 1986, str.131)

TESLOVO RAZISKOVANJE ŽARNIC

V začetku leta 1877 se je Nikola Tesla (1856-1943) podprt s štipendijo vpisal na študij elektrotehnike na tehnični visoki šoli v Gradcu, kjer je teorijsko in eksperimentalno fiziko predaval Poschl. Jeseni 1878 so iz Pariza prejeli novo izumljeni Grammov dinamo. Zaradi prenehanja štipendije se je konec leta 1878 za leto dni zaposlil v pisarni nekega inženirja v Mariboru. Ko je prihranil dovolj denarja, je študij nadaljeval v Pragi, kjer je bil promoviran. Prvo zaposlitev je dobil kot risar v Centralnem telegrafskem uradu v Budimpešti in nato leta 1881 pri telefonski družbi v Budimpešti, kjer je februarja 1882 rešil problem večfaznega izmeničnega motorja brez ščetk in kolektorja kot izboljšavo Grammejevega dinama. Okoli leta 1882 je delal v tovarni elektrotehničnega materiala Ganz & Co v Budimpešti, ki se je ukvarjala s stroji na izmenični tok že od leta 1878 in je leta 1883 na Dunaju razstavila največji dinamo stroj na svetu s 75 kW

Po službovanju pri CCE, od koder je bil v začetku leta 1883 poslan v Strassburg, se je Nikola Tesla (1856-1943) po priporočilu pariških prijateljev in Batchelorja leta 1884 odpravil k Edisonu v New York. Tam je delal do pomladi 1885, nato pa je (Pertot, 13-14; Bokšan, 307, 312; O'Neill, 33, 34, 52) ustanovil Teslino družbo za cestno razsvetljavo (Dadić, 1982, 305). Naslednje leto je dokončal lasten sistem razsvetljave z obločnicami (Pertot, 13-14; Bokšan, 307, 312; O'Neill, 33, 34, 52; Dadić, 1982, 305; Tesla, 1981, 54).

4 VOLFRAMOVA ŽARNICA

Ogljikova žarnica je svetila le s tremi vati, zato so iskali snovi z višjim tališčem. Nernstov poskus uporabe magnezijevega oksida se je šele pozneje izkazal za predhodnika fluorescenčne žarnice (Dadić, 1982, 302; Serres, 1995, 597). Obetaven je bil volfram z najvišjim tališčem med kovinami, vendar v 19. stoletju niso poznali njegove zlitine, ki bi jo lahko kovali.

Hrvat Franjo Hanaman (1878-1941) iz Denovca v kotaru Županja je študiral kemijo na Dunaju in v Berlinu. Leta 1900 je postal asistent na kemijsko-analitičnem zavodu dunajske Tehnične visoke šole pri prof. Vort-



Slika 12: Franjo Hanaman (1878-1941) (Dadić, 1982, str. 303)

mannu. Enak položaj je imel tudi dr. Aleksander Just, ki je delal tudi za podjetje Schneider und Cons pri izboljšavah žarnice z ogljeno nitko. Pri delu mu je pomagal Hanaman, ki je leta 1902 ugotavljal, da za žarnico pridejo v poštev samo nitke kovin z zelo visokim tališčem. Iz zmesi klorida in WO_3 so dobili $WOCl_4$, ga izparili in reducirali v vodik v čisti W. Nove žarnice, ki sta jih patentirala v Nemčiji aprila 1903, so bile varčnejše od ogljikovih, vendar so bile krhke in niso zmogle 100 V in 16 sveč. Pozneje sta proizvajala volframove niti s stiskanjem v hidravlični stiskalnici. Dobljene žarnice so svetile nad 400 ur z 1 W moči. Atest za njuno napravo je po fotometričnih meritvah izdal profesor elektrotehnike na dunajski tehnični visoki šoli Hohenegg. Pogajanja s Siemens & Halskejem niso bila uspešna, zato sta sklenila pogodbo in se zaposlila v podjetju Egyesült Villamoságy és Izól-lámpa R.T. v Ujpešti (Dadić, 1982, 302-303). Hanaman je postal pozneje prvi profesor anorganske kemijske tehnologije in metalurgije na Tehnični visoki šoli, poznejši Tehnični fakulteti v Zagebu.

Leta 1906 (Dadić, 302: I.1902) je Welsbach v žarnico namesto oglja uporabil osram, zlitino osmija in volframa (Rosenberg, 1915, 318). Vendar so tudi najtanjše niti, ki so jih tedaj znali izdelati iz osrama imele le majhno upornost, tako da so lahko uporabljale le 16-44 V (Dadić, 1982, 302).

Po petih letih poskusov je podjetje Auer-Gesellschaft leta 1906 prvo začelo tovarniško izdelovati žarnice s kovinskim žarilnim elementom. Žica iz osrama, zlitine osmija in volframa debeline 0,09 mm in dolžine 28 cm, je dajala eno svečo pri poldrugem W moči, nad dvakrat več kot ogljikova žarnica. Vendar so imele tudi najtanjše tedanje niti le majhno upornost, tako da so lahko uporabljale le 16 do 44 V in . Pri 37 V jih je bilo treba zaporedno vezati na 110 V, kar je bilo seveda nerodno.

Dunajčan **Karl Auer** (1858-1929) je bil rojen v družini preprostega uradnika, ki se je povzpел s študijem. Študiral je kemijo v Heidelbergu in asistiral pri Bunsnu. V osemdesetih letih je uspešno raziskoval lantanide. Leta 1892 je na zborovanju aero- in hidroinženirjev v Kielu pokazal novo možnost cestne razsvetljave z Bunsenovim gorilnikom, kjer je žarel plašč iz bombažne tkanine pomočene v nitrat torija, dopiran s cerom in nato pooglen. Leta 1901 je postal baron pl. Welsbach po graščini, ki jo je kupil blizu kemične tovarne Treibach na Koroškem.

Januarja 1905 je Siemens & Halske začel prodajati enako učinkovito žarnico s tantalom. Leta 1906 je Auer-Gesellschaft začel prodajati "Osramove svetilke", v katerih so osmij nadomestili z volframom, ki ima višje tališče in zato potrebuje le nekaj nad 1 W za svečo. Volframov prah so mešali z ogljikom v maso, iz katere so vlekli žice in končno odstranili ogljik. Leta 1919 so podjetja AEG, Siemens in Auer združila proizvodnjo žarnic v Osram G.m.b.H. KG v Berlinu (Kovač, 1984, 210; Siemens, 1957, I, 284, 286, 290; II, 32; Rosenberg, 1915, 318; Dadić, 1982, 302).

Tudi v laboratorijih General Electric Corporation, Schenectady (GE) (Edisonovo podjetje) so se zavedali pomanjkljivosti ogljikovih žarnic, ko sta razvoj po študiju v Nemčiji prevzela direktor, elektrokemik Willis

Whitney in svetovalec, matematik Karl Steinmetz, rojen v Breslau 1865, ki je kot socialist emigriral v ZDA. Leta 1909 je Američan Coolidge pri GE patentiral proizvodnjo volframa, ki ga je bilo mogoče vleči v tanke žice, ki se niso povešale. Volfram je navadno dopiral z natrijevim silikatom ali aluminijem na 100-150 ppm. Volframov prah je močno segrel in stisnil v obliko palice, ki pa je bila po ohladitvi še vedno krhka. Pri 1000°C jo je dal kovati z diamantnimi konicami, dokler ni postala prožna in jo je bilo mogoče najprej vročo in nato mrzlo raztegovati v žice z veliko žilavostjo.

Razvil je t.i. metalurgijo prahu. Proces je hitro postal temelj industrije volframovih žarnic. Šele s presevnim elektronskim mikroskopom so v sedemdesetih letih ugotovili, da dopiranje materiala ustvari vrsto praznih prostorov (por) s polmerom 5-100 nm. Pore se med obdelavo postavijo vzdolž vzorca in omogočajo termično stabilnost ter stabilno obliko. Z masno spektroskopijo so dokazali, da pore vsebujejo kalij, ki ni topljiv v volframu. Po segrevanju se v njih ustvari visok tlak par, zaradi katerih pore naraščajo do ravnovesne velikosti. V halogenih in študijskih žarnicah se pri najvišjih temperaturah blizu tališča volframa (3410°C) pore premikajo in težijo k združevanju v večje, kar je v skladu s pojmovanjem proste energije. Nekatere pridejo na površino, tam počijo in izpustijo kalijevo paro, kar lahko razvije vroči madež, ki uniči žarnico (Serres, 1995, 597; Cayless, 1988, 9; Siemens, 1957, I, 115, 290-1).

Američan **William David Coolidge** (1873-1975) je bil rojen v Hudsonu, Massachusetts. Diplomiral je na Massachusetts Institute of Technology (MIT) leta 1896, nato pa je leta 1898 odšel na fizikalni inštitut univerze v Leipzigu, ki ga je vodil Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899). Raziskoval je električno valovanje v vodnikih in doktoriral v Leipzigu leta 1899 pri Paulu Karlu Ludwigu Drudeu (1863-1903), avtorju osnov klasične elektronske teorije kovin. Leta 1901 se je zaposlil kot izredni profesor na MIT, leta 1908 je postal pomočnik direktorja, leta 1932 pa direktor raziskovalnega laboratorija GE v New Yorku. Zaslovel je leta 1913, ko sta z asistentom Irvingom Langmuirjem (1881-1957) pri GE uporabila volfram za anodo v "Coolidgevi rentgenski cevi" s segreto katodo (Siemens, 1957, II, 79).

7.12.1915 je Edison patentiral izdelavo volframove elektrode s stiskanjem volframovega prahu v vakuumski posodi brez kisika. Volfram so uparili z "električnim praznjenjem med elektrodama". Nastale tanke liste volframa ali tantalija so narezali v trakove, zvili v valje okoli mehke kovine ali voska in ukrivili v podkve za žarnice. Podoben izdelek so dobili tudi z neposrednim prekrivanjem topljivega jedra voska z volframom (Waits, 1997, 19).

SKLEP

Z uporabo volframa je Edisonova žarnica v prvih desetletjih našega stoletja dosegla obliko, ki jo brez večjih sprememb uporabljamo še danes. V drugem delu razprave si bomo ogledali, kako so Edisonova odkritja vplivala na razvoj žarnic v Evropi in še posebej v slovenskih deželah.

LITERATURA

- E.N. da C. Andrade, The History of the Vacuum Pump, Adv. Vac. Sci. Techn 1 (1960) str.14-20 (ponatis v zborniku Madey, 1984, 77-83)
- William David Coolidge (1873-1975), High voltage cathode ray and X-ray tubes and their operation, Physics 1, October 1931, 230-244
- Žarko Dadić, Povijest egzaktne znanosti u Hrvatski, Zagreb, SNL, 1982
- Robert K. DeKosky, William Crookes and the Quest for Absolute Vacuum in the 1870s, Ann. Sci. 40 (1983) 1-18 (ponatis v zborniku Madey, 1984, 84-101)
- Thomas Alva Edison (1847-1931), The action of heat in vacuo on metals, prebrano pred AAAS na srečanju v Saratogi. Chem. News, 40 (1879) 152-154
On the use of the Tasimeter for Measuring the Heat of the stars and of the Sun's Corona, American Journal of Science and Arts (Silliman Amer.J.) 17 (1879) 52-54 (tudi v Amer.Assoc.Proc.)
- Thomas A. Edison (ur. R.A. Rosenberg in drugi), Volume 2. From workshop to laboratory, June 1873-March 1876, The Johns Hopkins University Press, 1991
Volume 3. Menlo Park: the early years, April 1876-December 1877 (ur. R.A. Rosenberg in drugi), The Johns Hopkins University Press, 1994
- Robert Douglas Friedel (r.1950), Paul Israel, Bernard S. Finn, Edison's Electric Light, Biography of an Invention, Rutgers University Press, New Brunswick, New Jersey, 1986
- M.H. Hablani, Comments on the history of vacuum pumps (v zborniku Madey, 1984, str.17-23)
- David A. Hounshell, Edison and the Pure Science Ideal in 19th-Century America, Science 207 (1980) 612-617
- Stanislav Južnič, Zgodovina tehnologije tankih plasti, Vakuumist 15/4 (1995) 18-23
- Tita Kovač-Artemis, Kemiki skozi stoletja, MK, Ljubljana 1984
- Theodore E. Madey in William C. Brown (urednika), History of Vacuum Science and Technology, American Vacuum Society, 1984
- Madey, Early applications of vacuum, from Aristotle to Langmuir (v zborniku Madey, 1984, 9-16)
- Vinko Nemanič in Stanislav Južnič, Iznajdba in razvoj katodne elektronke in drugih vakuumskih elementov za televizijo, Vakuumist 16/1 (1996) 19-24
- Tone Poljšak, Edison, Elektrotehniški vestnik 1/2 (1931)17-18 in 1/3 (1931) 33-36
- William S. Pretzer in drugi, Working and inventing: Thomas A. Edison and the Menlo Park Experience, Henry Ford Museum & Greenfield Village, Dearborn, Michigan, 1989
- Robert Rosenberg, American physics and the origins of electrical engineering, Phys. Today (Oct.1983) 48-54
- Karl Rosenberg, Lehrbuch der Physik für Oberlyseien. Mit Anhang, Alfred Hölder, Wien, 1915
- Henry Augustus Rowland (1848-1901) z univerze John Hopkins in George F. Barker (1835-1910) z univerze v Philadelphiji, On the Efficiency of Edison's Electric Light, Am. J. Sci. 19 (1880) 337-339
- Michel Serres, A History of Scientific Thought, Bordas, Paris, 1989, prevod: Blackwell Publishers Ltd. 1995
- Georg Siemens, History of the house of Siemens, vol. I, in II, Karl Alber, Freiburg/Munich, 1957
- J.H. Singleton, The development of valves, connectors, and traps for vacuum systems during the 20th century (v zborniku Madey, 1984, 25-30)
- B.I. Spaskii, Istorija fiziki, 2. del, Izdajateljstvo Moskovskogo universiteta, 1964
- Ivan Šubic (1856-1924), Električna energija, nje proizvodnja in uporaba, SM, Ljubljana, 1897
- Nikola Tesla (1856-1943), My inventions, 1919, Electrical Experimenter (v nadaljevanjih). Ponatis s hrvaškim prevodom, Školska knjiga, Zagreb, 1981
- Robert K. Waits, Edison's Vacuum Coating Patents, AVS Newsletter, May/June 1977, 18-19