

## ZGODOVINA VAKUUMSKE TEHNIKE NA SLOVENSKEM: ŠANTLOVA VAKUUMSKA ČRPALKA

Stanislav Južnič\*



**Anton Šantel** (1845-1920) je bil rojen v slovenski družini kajzarjev v Pesnici pri Lučanah na Kozjaku. Od leta 1865 je študiral matematiko in fiziko v Gradcu. Leta 1872 je postal profesor fizike na gimnaziji v Gorici.

Med prvo svetovno vojno je moral bežati v Krško. Šantlova žena, hči Avgusta in sin Saša so znani slovenski likovni umetniki.

Svak Antona Šantla je bil Dunajčan Ludwig Boltzmann (1844- 1903).

Leta 1873 in 1876 sta poročila sestri, štajerski Slovenki, Avgusto (1852-1934) in Henrietto (1854-1938) pl. Aigentler. Šantli so večkrat letovali skupaj z Boltzmanni. Šantlovemu sinu Saši so Boltzmanni pomagali med študijem na Dunaju (A. Šantel, 1989, 403 in S. Šantel, 1992, 117).

Šantel in Boltzmann sta sodelovala tudi kot fizika. Tako je Boltzmann v eni od svojih razprav leta 1883 citiral Šantlovo matematično obravnavo difuzije plinov.

### History of vacuum technique in Slovenian: Šantel's vacuum pump

#### ABSTRACT

Vakuum pump research of the Boltzmann's brother-in-law Slovene Anton Šantel is described. 112 years ago he published a paper that shows, that Slovenes had able physicists in the previous century.

#### POVZETEK

Opisujemo raziskovanje vakuumske črpalke Boltzmannovega svaka, Slovenca Antona Šantla. Pred 112 leti je objavil razpravo o vakuumski črpalci, ki kaže, da smo tudi v prejšnjem stoletju Slovenci imeli sposobne fizike.

#### ŠANTLOVA RAZPRAVA O VAKUUMSKI ČRPALKI

Šantel je objavil 5 razprav v Izvestjih goriške državne gimnazije. Leta 1883 se je zanimal predvsem za vakuumske črpalke. Kot kustos fizikalnega kabineta je kupil model živosrebrne zračne črpalke po Avgustu Töplerju (1836-1912). Obenem mu je sedmošolec Lovisoni Vulmar napravil in podaril Frikov aparat za priročno razvezovanje steklenih cevi (Šantel, 1883, 69), ki ga je gotovo uporabljal pri izdelavi svoje črpalke.

V Šantlovi razpravi o vakuumski črpalci sta poleg Torricellija omenjena še Töpler in Geissler (dvakrat na str. 28). Heinrich Geissler (1814-1879) je leta 1854 v Bonnu sestavil svojo črpalco, ki je dosegala tlak 0,01 mm Hg. V Bonnu je bil od leta 1859 nastavljen tudi Töpler kot kemik na Landwirtschaftsakademie Poppelsdorf. Leta

Zum Schlusse lasse ich noch einige numerische Werte folgen, welche ich der Güte der Herren Prof. Šantel und Hausmanninger verdanke. Dabei wurden sowohl die  $r$  als auch die  $\sigma$  berechnet. Als die beiden ersten Ableitungen der Gleichung (100) ergab sich

*Slika 1. Odlomek Boltzmannove razprave, v kateri je citiral Šantlovo obravnavno difuzije plinov*

1862 je sestavil enostavno barometrično zračno črpalco brez pip, ventilov in škodljivega prostora za doseganje visokega vakuuma. Ta naprava se je udomačila na vseh fizikalnih institutih, tudi v Gorici. S Töplerjevo črpalco je bilo mogoče za štirinajstkrat znižati zračni tlak Geisslerjeve črpalke. Med leti 1868-1876 je bil Töpler profesor fizike v Gradcu, Boltzmannov sodelavec in poročna priča. Töplerjev Fizikalni institut v Gradcu je bil ob otvoritvi leta 1875 največji na nemškem govornem področju (Stiller, 1989, 53) in je vplival tudi na raziskovalce v sosednjih slovenskih deželah.

Šantel je izdelal zračno črpalco za opazovanje tedaj modnega električnega praznenja v vakuumu. Osnovni problem dotedanjih črpalk je bilo slabo tesnenje pri ventilih ter krhkost tanke steklene stene vakuumske cevi, ki pogosto ni prenesla velikih tlakov. Šantlovo pozornost je pritegnilo naznanilo v strokovni fizikalni reviji o visokem vakuumu, doseženem z odtokanjem živega srebra po cevi. V takšnem vakuumu električna iskra ni več preskakovala na kratkih razdaljah, zato je bilo mogoče dosegati visoke napetosti med elektrodamama.

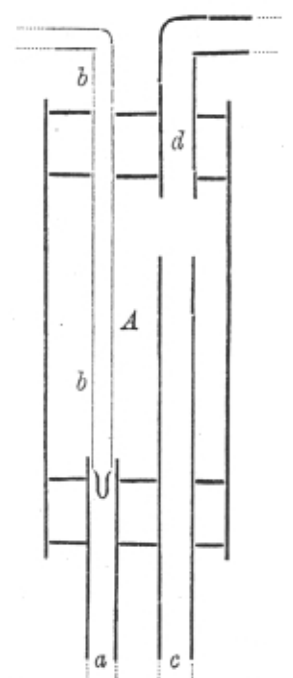
V Šantlovi črpalci je prosto padajoče živo srebro črpalo zrak iz posode. Dovolj dolg stolp živega srebra se je v cevi pod svojo lastno težo pretrgal in ustvaril vakuum,

\* Stanislav Južnič je profesor fizike in računalništva na srednji šoli v Kočevju. Leta 1980 je diplomiral iz tehnične fizike na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo, magistriral pa leta 1984 iz zgodovine fizike na Filozofski fakulteti v Ljubljani.

ki so ga imenovali po Torricelliju. V širokih ceveh je velika hitrost padanja kapljevine v navpični smeri preprečevala nastajanje zračnih mehurčkov.

Delovanje Šantlove vakuumske črpalke je bilo hrupno, saj so se po vrsti trgali posamezni kosi padajoče kapljevine in ustvarjali vakuum. Šantel je odsvetoval uporabo redkejših kapljev od živega srebra, saj bi morali imeti zanje večje črpalke, za nameček pa so še bolj podvržene izhlapevanju.

Prvi poskus črpanja s Šantlovo črpalco je potekal takole:



Slika 2. Shema Šantlove črpalke

Steklenica je bila postavljena ob zid, visok blizu 2 m. Pri ventilu jo je Šantel zatesnil z zamaškom iz kavčuka. Skozi zamašek je postavil dve stekleni cevi. Prva je bila kapilara s premerom 2 mm, dolga blizu enega čevlja. Bila je odprta na obeh straneh in postavljena navpično v steklenici brez zamaška. Druga cev je bila krajša in tanjša. Zadnja stran druge cevi je bila pristrena v odprtini prve cevi.

Spodnji prosti konec črpalne cevi je bil povezan v lonček z živim srebrom. Pod spodnjim koncem cevi, v katero je padalo živo srebro, je bila postavljena posoda za prestrezanje. Zgornji zbiralnik je bil do polnega nabit z živim srebrom. Nastal je zelo hiter tok živega srebra navzdol. V črpalni cevi se je živo srebro postavilo na barometersko višino.

Pri drugem poskusu je Šantel postavil recipient v vrat steklenice z gumijastim zamaškom. Nad recipientom je postavil vodoravno cev, dolgo 120 cm. Majhno odprtino v steni blizu spodnjega konca cevi je omehčal s plamenom. Omehčanega dela se je dotaknil s stekleno palico in napravil ost. Z osti je odstranil majhen konec in dobil fino odprtino.

Drugi konec cevi je potopil v živo srebro. Pod recipientom zračne črpalke je bil postavljen prazen kozarec. Ko je Šantel nalil živo srebro vanj, je črpalca začela delovati. Delovanje črpalke je opisal kot zelo dobro, saj: "Človek ne more verjeti svojim očem, ko opazuje gibanje v cevi".

Stekleni valj je imel premer 3 cm in višino 15 cm. V obe odprtini valja je Šantel postavil gumijaste zamaške na isti osi. Prostor med zamaški je uporabil kot zbiralnik živega srebra. Pokončni valj je bil pri višini 2 m oprt na zid ali na prenosno leseno stojalo.

V eni obeh luknjah spodnjega zamaška je bila postavljena cev a, v katero je padalo živo srebro. Njene močne stene so imele notranji premer 2,5 mm pri 140 cm dolžine. Skozi zgornjo luknjo nad njo je bila postavljena črpalna cev b s koncem v odprtini cevi a. Skozi drugo odprtino spodnjega zamaška se je po cevi c nastavljal dotok živega srebra v notranji prostor. Cevi c in a sta

imeli enako obliko. Blizu konca je imela cev c odprtino širine lasu, ki se je končevala v notranjem prostoru A blizu zgornjega zamaška.

Črpalca b je segala zunaj valja v barometer in se je vzporedno nadaljevala še 20 cm. Cevi a in e sta tesno druga ob drugi izhajali iz valja A. Pri enaki višini sta bili namočeni v zbiralnik živega srebra B. Pnevmatška cev d je bila preko recipienta sekundarne zračne črpalke tesno povezana z gumijasto cevjo.

Šantla je predvsem zanimalo:

- 1) Ali bo živo srebro teklo navzgor iz posode B v posodo A ?
- 2) Ali se bosta tem primeru tokova v ceveh c in a uravnovesila ?
- 3) Ali je črpanje zraka iz recipientov zadosti hitro za praktično uporabo aparata ?

Na prvo vprašanje je pritrdilno odgovoril sam začetek delovanja črpalke. Drugo vprašanje je zadevalo spreminjanje toka živega srebra v prejšnjih neuspešnih poskusih. Glede tretjega vprašanja je Šantel ugotavljal, da je barometer že po 1 minuti pokazal "gostoto nič", saj na oko ni bilo več mogoče zaznati razlike višin živega srebra v krakih.

Težavam se je Šantel ognil takole:

- 1) Prostor A se je le počasi polnil skozi kapilare debeline cevi c. Težavi se ognemo z uporabo debelejših cevi.
- 2) Steber živega srebra v ravni cevi je segal navzgor v prostor A in dalje navzgor v odprtino pnevmatske cevi. Zataljeni nastavek cevi je odbijal udarce padajočega živega srebra.
- 3) Zaradi redčenja zraka v prostoru A je pritiskal zamašek še tesneje na valj, tako da je bila črpalna cev tesno v cevi, v katero je padalo živo srebro. Zamaška, ki sta delila prostor A v dva neenaka dela, je tlak premikal drugega proti drugemu.

Težavi 2) in 3) je Šantel odpravil z uporabo navpične steklene plošče velikosti ovojnice v osi valja A, ki je ovirala pretok zraka.

- 4) Nivo živega srebra je Šantel uravnaval v notranji posodi, ko je napolnil prostor A do zelene višine. Spodnji konec cevi ni bil potem nič več potopljen v rezervoar živega srebra. Tako zrak ni več teklo po ravni cevi in ni spreminjal gladine živega srebra.

Šantel je priporočal uporabo recipientov v črpalci. Opisane majhne dimenzije niso bile uporabne za praznenje velikih prostorov, razen pri Geisslerjevih ceveh, manjših električnih tokovih itd. Zato je bilo treba recipiente priključiti naravnost na cev. Vanjo je postavil 12 cm visoko, rahlo koničasto stekleno posodo močnih sten. Zapiral jo je trikrat preluknjani gumijasti zamašek z obsegom okoli 3 cm. V eni luknji je bila črpalna cev, iz katere se je nadaljevala zakrivljena barometerska proba. V drugo cev je bila postavljena druga barometerska proba, v tretji pa so bili recipienti. Ko je Šantel vpeljal vse tri cevi, je živo srebro zalilo prostor v posodi nad zamaškom. S tem je zagotovil konstantno gostoto zraka.

Napolnjena cev recipienta je imela obliko črke U z daljšo kapilarno, dolgo 76 cm, katere konec je bil v napolnjeni posodi. Posoda je bila do polovice napolnjena z živim srebrom. Cev je segala do same gladine, ne da bi se vanjo potopila. Segala je 76 cm v višino, na koncu pa je bila povezana z recipienti. Gladino živega srebra v

posodi je Šantel uravnaval z jekleno žico v zamašku, ki je nosila jekleni valj. Jekleni valj je navadno plaval nad gladino živega srebra, lahko pa se je potopil skupaj z jekleno žico. Tako je Šantel uravnaval gladino živega srebra v U-cevi.

Šantel je opisal svoj aparat v petih točkah (str. 35):

- 1) Aparat črpa zrak iz enega recipienta, ne da bi bilo samo črpanje omejeno s škodljivim prostorom.
- 2) Pred uporabo aparata ročno zatalimo zračno črpalko in jo prilagodimo velikosti dolgega gibljivega bata. Delo ni utrudljivo, saj lahko vmes počivamo.
- 3) Aparat lahko uporabljamo kot batno zračno črpalko. Tok živega srebra povzroča črpanje zraka iz posode.
- 4) Opisani aparat lahko vsak zlahka sestavi, pri čemer stekleno cev upognemo v ognju. Vsi deli so povezani drug z drugim z gumijastimi zamaški. Tako lahko vsak del zlahka nadomestimo v primeru padca ali zloma. Cena naprave ni visoka. Ugodna je tudi možnost, da lahko aparat povsem razstavimo in očistimo.
- 5) Živo srebro se izgublja pri delovanju batne črpalke. Zato uporabimo minimalno količina živega srebra, ki je škodljivo, ko se prenaša v okolje."

Šantel je dognal, da se živo srebro po dolgotrajni uporabi prekrije s črno površino, ki maže stekleno steno. Pojav povzroča žveplo, ki ga vsebuje kavčuk v zamaških.

Trenje živega srebra ob steklene stene posode povzroča elektriko in nastajanje ozona. Ta veliko bolj oksidira živo srebro kot navaden kisik.

Šantel je lahko še povečal zmogljivost aparata z uporabo izhodne cevi velikega notranjega premera. Posebno rad je opazoval pretakanje živega srebra skozi papirnati lijak v pokončni cevi v zatemnjenem prostoru.

### Druge Šantlove razprave

V nadaljevanju razprave iz leta 1883 je Šantel obravnaval še električno odbijanje kapljev, uporabo sončne energije za mehansko delo in novi način za prenašanje zvoka, ki ga danes poznamo kot Bellov telefon. Vsakemu pojavu je bilo posvečeno posebno poglavje. Prvo poglavje o vakuumski črpalki je bilo skoraj tako dolgo (10 strani) kot ostala tri skupaj (12 strani).

Na električno odbijanje kapljev je Šantla opozorila "kolegova razprava", ki je ni natančneje citiral. Podobno je pomanjkljivo citiral tudi vir ideje o aparatu za pretvorbo toplote sonca v mehansko energijo. Ta ideja naj bi bila "leta 1874 objavljena v več strokovnih časopisih". Šantel je uporabljal tri steklene vakuumske cevi, postavljene med seboj pod koti 60 stopinj. Motor z lopaticami so vrtila izparevanja iz spodaj postavljenega segretega etra, ki je bil speljan na lopatice po steklenih ceveh. Takšen "motor" je lahko več mesecev poganjal uro. V stekleni cevi z motorjem ni bilo zraka razen etrovih par. Ob zaključku je Šantel ocenil še izkoristek naprave (str.42).

Šantlova naprava spominja na deset let starejši Crookesov radiometer, čeprav ni bila "katodna cev" in je uporabljala pare etra. Crookesov radiometer, ki se je pod vplivom toplote vrtil v vakuumski cevi, je bil sprva napak sprejet kot dokaz o tlaku "katodnih žarkov". Prvič

je bil opisan leta 1873 in je izzval polemiko med Maxwellom, Osbornom in Reynoldsom (Brush, 1969). Danes vemo, da radiometer poganja temperaturna razlika in z njo povezan podtlak na lopaticah.

Zadnji del Šantlove razprave iz leta 1883 je zadeval Graham-Bellov telefon, ki se je v Evropi pojavil leta 1877 (Klemenčič, 1881, 52). Šantel je razpravljal o možnosti lastne izdelave telefona. Pri tem je na straneh 44-46 zapisal tudi nekaj enačb, ki so zadevale magnetizacijo membrane v telefonu. Razmišljal je tudi o fantastični možnosti vzporednega telefonskega prenosa slike in zvoka (str. 47).

### SKLEP

Šantel je bil nadarjen eksperimentator. Sodeloval je s svakom Boltzmannom, ki je tisti čas (1883) predaval splošno in eksperimentalno fiziko na univerzi v Gradcu, in je bil, ob Stefanu, najpomembnejši avstrijski fizik svoje dobe. Svoje znanje je Šantel s pridom uporabil za konstrukcijo vakuumske črpalke. Šantlovo do sedaj premalo raziskano delo je slovenski prispevek k napredku vakuumske tehnologije za raziskovanje "katodnih žarkov".

### Objavljena fizikalna dela ANTONA ŠANTLA:

Physikalische Kleinigkeiten, Dreiunddreissigster Jahresbericht des K.K.Staats-Gymnasiums in Görz, Veröffentlichung am Schlusse des Schuljahres 1883, Görz 1883, str 27-49. Prvi del razprave Ein leicht herstellbarer Apparat zur Luftverdünnung mittelst Quecksilbers (str.27-36) je bil objavljen pod naslovom: Kaulbaum-Šantelsche Luftpumpe in Pfaunlanderjevem Compendium der Experimentalphysik (SBL)

Über die wechselseitige Abhängigkeit zwischen den räumlichen Dimensionen der Naturkörper und den an ihnen vorkommenden Erscheinungen, Jahresbericht des K.K.Staats-Gymnasiums in Görz, 1888

Allgemeines und Specielles zur Methodik des Gymnasialunterrichtes, Jahresbericht des K.K.Staats-Gymnasiums in Görz, 1892

Elektrika, nje proizvodnja in uporaba, 1. del, I. Šubic, Ljubljanski Zvon 252-255. Recenzija dela Ivana Šubica (1856-1924), učitelja in pozneje direktorja na strokovni šoli v Ljubljani, natisnjena v Ljubljani leta 1897.

Bemerkungen zur Didaktik einigen Kapitel der Mechanik, Jahresbericht des K.K.Staats-Gymnasiums in Görz, 1902

### LITERATURA

Boltzmann Ludwig (1844-1906), Wissenschaftliche Abhandlungen, Leipzig, 1909, III del. Rimske številke zadevajo vrstni red razprave v tem ponatisu. V popisu avtorjev (1909, 697) je po pomoti naveden tudi Boltzmannov citat Šantla v razpravi številka LXII iz leta 1881, ki ga tam ni.

Brush S.G. in Everitt, Maxwell, Osborne, Reynolds and the radiometer, HSPS, 1 (1969)

Klemenčič Ignac (1853-1901), O fotofonu, Ljubljanski Zvon, 1881, 52-55 in 122-124. Ponatis v Zborniku za zgodovino naravoslovja in tehnike, 1 (1971) 100-102

Stiller Wolfgang, Ludwig Boltzmann, Verlag Harri Deutsch, Thun, Frankfurt am Main, 1989

Šantel Anton, Moji spomini, Srce in oko, Obzornik Prešernove družbe, junij 1989. Ponatis Šantlovih spominov iz leta 1889 in iz obdobja po 1. svetovni vojni.

Šantel Saša, Spomini, Srce in oko, 33 (1992)