

PRVA FOTOGRAFIRANJA NADZVOČNIH IZSTRELKOV SINA GRAŠČAKA SPOD GORJANCEV (ob stoletnici smrti Ernsta Macha)

Stanislav Južnič

Univerza v Oklahomi, Oddelek za zgodovino znanosti, Norman, Oklahoma, ZDA; Arhiv Slovenske jezuitske province, Ljubljana

ZNANSTVENI ČLANEK

POVZETEK

Pred stoletjem umrli A. Ettingshausenov študent Ernst Mach je zasnoval prvo uporabo bliskovitega fotografiranja nadzvočnih izstrelkov, ki jo je za njega izpeljal K. Robidov, S. Šubicev in A. Toeplerjev študent Peter Salcher. Robida je bil pionir naprševanja kovin, Ettingshausen in Toepler pa sta razvijala sodobno znanstveno fotografiranje. Oba dosežka lahko povežemo s fotografiranjem zapletenih plazemskih turbulenc med naprševanjem tankih plasti z magnetronom.

Ključne besede: bliskovito fotografiranje, Ernst Mach, Peter Salcher, naprševanje, magnetron

First photography of ultrasonic projectiles (at 100 years anniversary of Ernst Mach' death)

ABSTRACT

A century ago Ernst Mach passed away. He was a student of Andreas baron Ettingshausen and designed the pioneering use of photography for ultrasonic projectiles. Peter Sacher, the student of K. Robida, S. Šubic and A. Toepler, made the measurement according to Mach's ideas. Robida was one of pioneers of cathode sputtering. Ettingshausen and Toepler developed the modern scientific photography. Both achievements can be related to make ultra-speed photographs of thin films sputtering with the magnetrons.

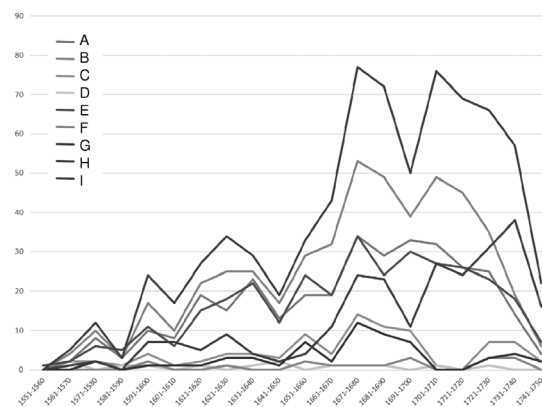
Keywords: high-speed camera, Ernst Mach, Peter Salcher, sputtering, magnetron

1 UVOD

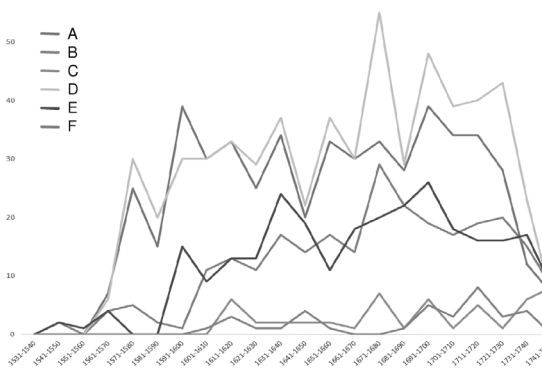
Tako naprševanje kovin kot bliskovita fotografija ultrazvočnih izstrelkov sta bili v svojih začetkih tesno povezani s Slovenci preko Stefanovega in Salcherjevega gimnazijskega profesorja razrednika Robide in Machovega očeta, veleposestnika v Velikem Slatniku med letoma 1858 in 1879. Združitev obeh dosežkov s sodobnim ultrahitrim snemanjem turbulenc plazme ob naprševanju z magnetronom morda znova obeta pomembno slovensko udeležbo, ki gradi na ramenih ljubljanske fizikalne srenje, kot se je začela razvijati pod jezuitsko taktirko pred tremi stoletji.

2 MACHOVI MED METULJI IZ VELIKEGA SLATNIKA

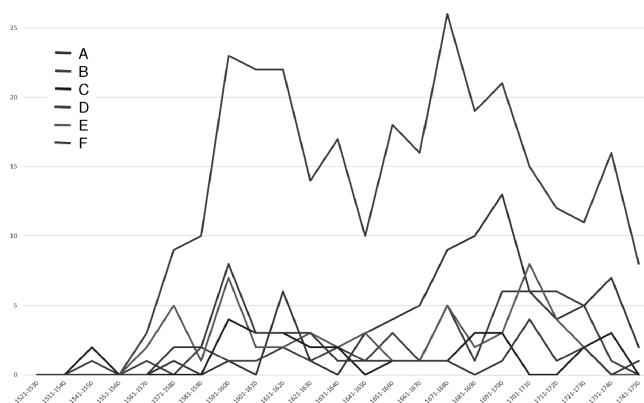
Pred 130 leti je januarja 1886 ugledni praški fizik Ernst Mach pisal deset let mlajšemu profesorju fizike z reške vojaške pomorske akademije Korošcu Petru Salcherju. Dotlej se nista poznala, vendar je Ernst nujno potreboval Petrovo pomoč. V čem je bil problem, ki je krepko zaznamoval naš vsakdan? Zakaj je pacifist Mach potreboval dostop do reške tovarne



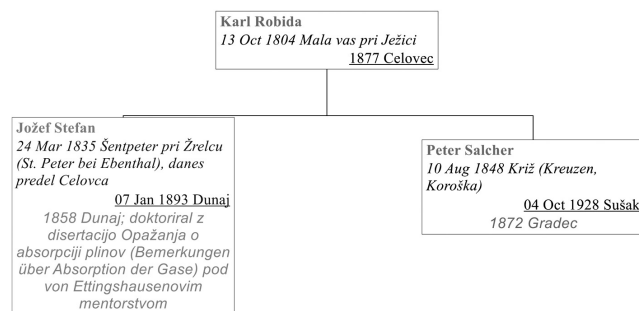
Slika 1: 1449 ljubljanskih jezuitov vključno s profesorji matematike in filozofije s fiziko kot profesorji ter njihovi spisi, razporejeni glede na leto rojstva avtorjev. A: prvih fizikalnih profesor v letih od skupno 335, B: vseh fizikalnih profesor v letih 1560–1750 od skupno 488 pod taktirko 264 profesorjev filozofije s fiziko ali matematike od skupno 1449 ljubljanskih jezuitov, C: število objav v tehniških vedah (matematika, fizika, astronomija) ljubljanskih jezuitov od skupno 100, D: astronomskih spisov od skupno 10, E: vseh spisov od skupno 330, F: matematičnih spisov od skupno 20, G: fizikalnih spisov od skupno 70, H: vseh matematičnih profesor in repeticij (usposabljanj), razporejenih po letih rojstva nosilcev od skupno 251, I: fizikalnih in matematičnih profesor ter repeticij po letih rojstva nosilcev od skupno 739.



Slika 2: 1449 jezuitov vključno s ljubljanskimi profesorji matematike in filozofije s fiziko kot študentov filozofije in teologije glede na leto rojstva. A: začetek študija filozofije v Gradcu od skupno 506 študentov med 1452 jezuiti, B: študij filozofije na Dunaju od skupno 259 bodočih ljubljanskih profesorjev matematike in filozofije s fiziko, C: študij filozofije v Trnavi od skupno 42 študentov med bodočimi ljubljanskimi jezuiti, tudi profesorji matematike in filozofije s fiziko, D: študij teologije v Gradcu od skupno 587 študentov med 1453 jezuiti, E: začetek študija teologije na Dunaju za skupno 1449 bodočih ljubljanskih jezuitov, med njimi številnih profesorjev matematike in filozofije s fiziko, F: študij teologije v Trnavi od skupno 35 bodočih ljubljanskih jezuitov, med njimi številnih profesorjev matematike in filozofije s fiziko.



Slika 3: Plemiči, misijonarji, »Slovenci in Hrvatje« med 1449 ljubljanskimi jezuiti. A: plemiči po letih rojstva od skupno 77, B: misijonarji po letih rojstva od skupno 45, C: 293 Kranjcev med 1449 ljubljanskimi jezuiti, razporejenimi po letih rojstva, D: 53 na hrvaškem rojenih jezuitov med 1452 ljubljanskimi jezuiti, razporejenimi po letih rojstva, E: 30 Spodnjih Štajercev med 1449 ljubljanskimi jezuiti, razporejenimi po letih rojstva, F: 37 Goričanov med 1449 ljubljanskimi jezuiti, razporejenimi po letih rojstva



Slika 4: Eden pionirjev naprševanja tankih kovinskih plasti, Karel Robida, z učencema Stefanom in Salcherjem

dve desetletji prej izumljenih torpedov, ki jih je svoj čas kot neetične skupaj s podmornicami v izvedbi Američana Roberta Fultona odklonil celo Napoleon?

Na prvi Mednarodni razstavi elektrike v Parizu oktobra leta 1881 je Mach, išoč nove eksperimentalne izzive, nadvse pozorno poslušal predavanje stalnega svetovalca belgijske vojaške šole Louisa Henrija Friderika Melsensa (1814–1886) o razcefranih strelnih ranah ljudi in konj, še posebej akutnih pri žrtvah Francozov, ki so svojim žrtvam zavdali s tisti čas najhitrejšimi nadzvočnimi izstrelki. Melsens je predpostavil že leta 1872, takoj po Prusko-francoski vojni, da razdejanje v ranjenčevem tkivu povzroča stisnjeni zrak, ki ga izstrelki poriva pred seboj.

Seveda je Melsens izhajal zgolj iz pregledovanja delcev ubogih tarč in ne iz fotografskega pregleda dogajanja, ki mu tisti čas še ni bilo na voljo. Ernst pa je bil drugačne baže mož, saj se je že kot študent seznanil s fotografskimi postopki pri svojem učitelju

oficirskemu sinu Andreasu baronu Ettingshausenu, ki je svoj čas študiral na bombardirski dunajski šoli pri nasledniku, učencu prezgodaj preminulega Jurija barona Vege, stotniku Ignacu Lindnerju. Ettingshausen je uporabljal L. Daguerrrov (1787–1851) postopek in je leta 1840 prvi posnel fotografije skozi mikroskop, Ettingshausnov pomočnik pa je bil njegov zet, kristalograf Josef Grailich.

Mach je bil prevzet, tako da je vneto fotografiral v službi, predvsem pa med počitnicami pri svojih starših in treh mlajših sestrah v Velikem Slatniku pod Gorjanci, 5 km južno od Novega mesta. Najmlajša sestra Vilhelmina se je po materini smrti sicer nekoliko potepla s postavnim domačim hlapcem, kar je Janez Trdina spretno uporabil v svoji povesti Zakleti oreh. Med dolenskim počitnicami je Ernst pogosto snoval svoje poskuse, ki jih je nato s pridom kazal po vsem svetu. Marsikaj mu je sproti svetoval oče, domiselni slatniški »graščak«.

Johann Nepomuk Mach (1805–1879) je svoj čas študiral na Karlovi univerzi v Pragi in je vedoželjnega Ernsta v najstniških letih poučeval kar doma. Leta 1840 je Johann postal lastnik velike posesti v Untersiebenbrunn v Marchfeldu v Spodnji Avstriji med Dunajem in Bratislavo, tako da je zvedavi Ernst odraščal na podeželju. V času Ernstovega rojstva je bil Johann Mach v Brnu vzgojitelj otrok barona Bretona in Josephine, rojene Lanhaus,¹ pozneje pa je skrbel za znanje otrok poznejšega notranjega in šolskega ministra v prevratnih letih 1848–1849 Franza Serapha Stadion grofa Warthausen (1806–8. 6. 1853) in Kunigunde. Ded je bil Joseph Mach. Ded po materini strani, oče Ernstove matere Josephe Lanhaus, je bil Wenzl Lanhaus, ki je projektiral ceste, sam Ernst pa je študiral 3 leta in maturiral pri piaristih na nekdanji moravski nejezuitski gimnaziji Kromsierz (Kroměříž) pri učitelju naravoslovja Francu Ksaverju Wesselyju (Veselý, 1819 Rajnocovice–1904 Kroměříž), ki je v Kroměřížu predaval med letoma 1854 in 1881. Podrobno je opisal lokalne rastline² v dobi, ko je Machov starejši dunajski sošolec Gregor Mendel snoval svoje genetske zakone v avguštinskem samostanu nedaleč od Brna.

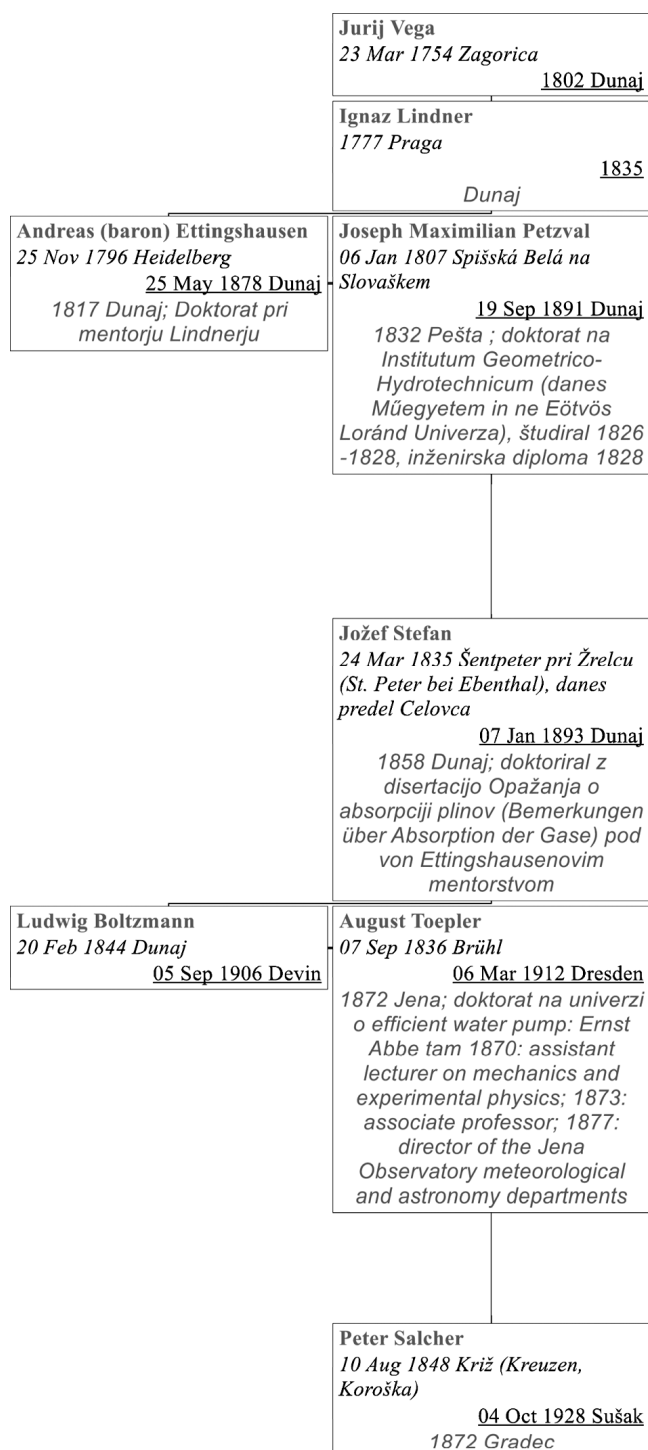
Kljub vsej spretnosti pa oče in sin Mach pod Gorjanci nikakor nista mogla rešiti eksperimentalne plati Melsensove balistike, saj se fotografiranje valovnega čela izstrelka v zraku nikakor ni hotelo posrečiti. Ernst je opravil številne poskuse tako v Slatniku kot v Pragi, a videlo se ni prav nič obetavnega na dragih fotografijah, ki jih je že v Ernstovih najstniških letih na Bledu dopolnjeval izumitelj Janez Puhar. Ernst je sumil, da so njegovi izstrelki pre-

¹ Carus, 1911, 22

² Carus, 1911, 24

počasni in ne dosegajo nadzvočne hitrosti. Svitilo se mu je namreč, da je prav visoka hitrost s prebojem zvočnega zidu odgovorna za strahovite rane hitrih francoskih izstrelkov in ne zgolj stisnjen zrak iz Melsensovih domnev.

Ernst in njegov oče sta večkrat premlevala okoliščine, saj je oče dobro poznal poldrugo leto starejšega praškega profesorja med letoma 1835 in 1847



Slika 5: Jurij Vega in njegovi akademski dediči vključno s Salcherjem

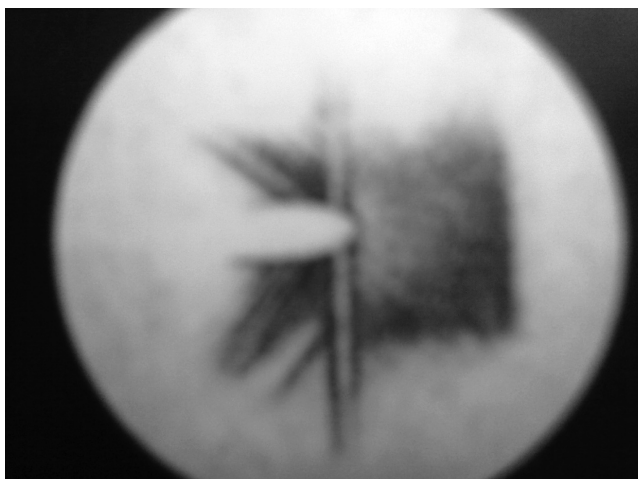
Christiana Dopplerja, ki je leta 1842 pred praško Kraljevo družbo predstavil znameniti Dopplerjev efekt, seveda znan pod tem imenom komaj pozneje. Ernst je po očetovem pripovedovanju sprejel domiselnega Dopplerja za svojega idola, čeprav je Doppler umrl prehitro, da bi Mach lahko študiral pri njem na Dunaju; tam je Dopplerja nadomestil Ettingshausen.

Ernst se seveda ni dal motiti in je leta 1859/60 v svojem prvem samostojnem delu po Ettingshausenovem nasvetu dokazal ravno Dopplerjevo teorijo spreminjanja frekvence zvoka in svetlobe gibljivih izstrelkov, ki ji je nasprotoval dunajski univerzitetni profesor matematike in strokovnjak za optiko, nekoliko samosvoj Madžar Josef Petzval. Leta 1873 je Ernst objavil knjigo o Dopplerjevih optično-akustičnih poskusih, s katero se je počeno oddolžil svojemu idolu za številne navdihe.

Obema Machoma je bilo kmalu jasno, da zagati z nadzvočno balistiko ne bosta prišla do dna brez sodelovanja vodilnih habsburških vojaških krogov, ki so edini imeli dostop do dovolj hitrih izstrelkov, svoje izsledke pa so pogosto držali v tajnosti. Potrebovala sta zveze z visokimi častniki in izbira je naravno padla na najbližje, saj so 75 km južneje v Reki leta 1853 začeli delo v pozneje imenovani *Torpedofabrik*, naslednje leto 1854 pa so ustanovili cesarsko kraljevo vojaško pomorsko akademijo. Reka je bila tradicionalno povezana s Kranjsko in v času Ernstovega deda celo formalno njen del, sedaj pa je urno napredovala kot pglavitna luka ogrske polovice monarhije, podrejena neposredno Budimpešti.

Na reški vojaško-pomorski akademiji je matematiko in hidrografijo predaval prežgodaj umrli dr. Albrecht Wenzel pl. Tegetthoff (1841 Gradec–22. 7. 1871), najmlajši brat vrhovnega poveljnika habsburške mornarice viceadmirala in zmagovalca pri Visu Mariborčana Wilhelma pl. Tegetthoffa (1827 Maribor–7. 4. 1871). Sin upokojenega pehotnega majorja Franza Karla Gabrijela (1790–1858), Albrecht, je študiral na plemiški Terezijanski akademiji na Dunajski filozofski fakulteti. Takoj po doktoratu je komaj štiriindvajsetleten objavil učbenik za računanje.

Ernstov mlajši prijatelj Gulio Peterin (Julije, Juluis, * 1846) je maturiral na reški gimnaziji leta 1854/55 in je nato, po končanem študiju, na reški vojaško-pomorski akademiji predaval navtiko od leta 1861 do leta 1893 ali celo 1897. Objavljal je pri dunajski akademiji tako kot sam Ernst Mach. Tako je pregnani Mach uporabil skupnega prijatelja reškega domačina Peterina za zvezo, da je lahko na profesorja fizike reške vojaško-pomorske akademije Petra Salcherja naslovil pismo s prošnjo za postavitev poskusov, primernih za fotografiranje nadzvočnih izstrelkov v novi reški tovarni torpedov.



Slika 6: Predzadnja med šestimi fotografijami, ki sta jih Mach in Salcher leta 1887 objavila pod naslovom *Photographische Fixierung der Projectile in der Luft* v glasilu dunajske akademije.

Peterinovo posredovanje je bilo ključno za sam začetek dela, če je Ernst hotel preveriti domneve pravkar umrlega balistika Melsensa o udarnem valu pred nadzvočnim izstrelkom. Ernst je imel idejo, Peter pa samo tedanjim vojaškim krogom prihranjene možnosti za eksperimentiranje. Ernst in Peter se namreč za čuda še nista osebno poznala: Ernst je nehal predavati na univerzi v Gradcu tik preden se je tja vpisal desetletje mlajši bruc Peter leta 1868/69. Na dunajski električni razstavi pod znanstveno-tehničkim vodstvom Jožefa Stefana sta svoje izume resda razstavljala v sosednjih paviljonih, vendar se tudi tedaj nista osebno srečala. Sedaj pa je bil čas, da zamudo popravita.

Čeprav tega takoj v prvem pismu 25. 1. 1886 ni poudaril, je Ernst seveda dobro vedel, da je njegove eksperimentalne zamisli mogoče izvesti zgolj v reški tovarni torpedov, ki sta jo leta 1875 kupila Anglež Robert Whitehead (1823–1905) in njegov zet; preimenovala sta jo v *Torpedofabrik Whitehead & Comp.* Leta 1878 so v tovarno prišli podpisovat pogodbe predstavniki vlad osemnajstih držav vključno s pedantnimi Japonci, leta 1881 pa so z Reke že izvažali torpede po vsem svetu. Leta 1889 so prvotni kaliber 356 mm povečali še na 381 mm, 450 mm in 533 mm in tako presegli polmetrsko limito. Leta 1892 pa so osnovali še podružnico v mestu Weymouth blizu Bostona v ZDA, da bi se izognili ameriškim uvoznim dajatvam.

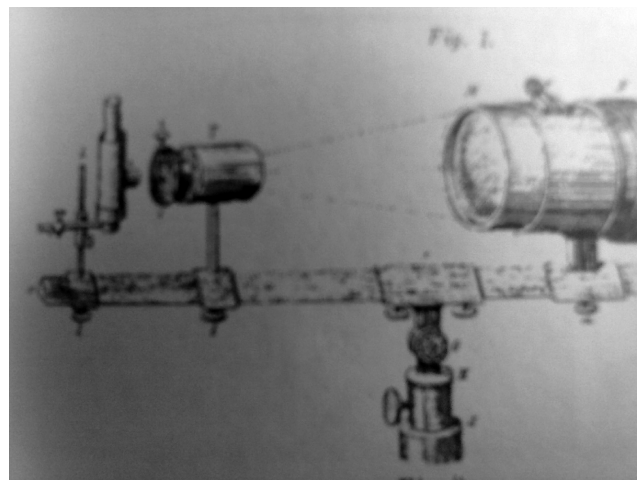
Ernstovemu očetu s slatniškega gradu pod Gorjanci napredek tovarne v bližnji Reki seveda ni ostal skrit, zato je sinu svetoval, naj se poveže z reškimi vojaškimi strokovnjaki. Oče Johann je žal kot vdovec v Velikem Slatniku preminil že konec leta 1879 in tako ni dočkal sinovih nadzvočnih balističnih uspehov. V

Velikem Slatniku je med drugim gojil velikanske metulje jamamaje, ki še dandanes letajo naokrog po Sloveniji, vendar zaenkrat še globoko pod nadzvočno hitrostjo.

3 ROBIDOV ŠTUDENT SALCHER V TOVARNI TORPEDOV NA REKI

Peter Salcher se morda ni strinjal z vsemi Ernstovimi pozitivističnimi ali celo ateističnimi idejami, ki so vzdignile mnogo prahu onih dni in celo Lenina napeljale k pisanju knjige proti Machu in njegovim ruskim zagovornikom. Toliko bolj pa je Petru godil Ernstov sloves starejšega fizika, izkušnega v domiselnih poskusih. Zato si ni dal dvakrat reči. Povezal se je s starejšim sinom in solastnikom lastnika tovarne torpedov Johnom Whiteheadom (1854 Trst–1902 Reka), tako da sta skupaj z Ernstom objavljala izsledke fotografiranih nadzvočnih balističnih poskusov pri dunajski akademiji od 1887 do 1890. V zadnji razpravi sta posebej poudarila prednosti osvetljevanja fotografiranega valovnega čela z Geisslerjevo katodno elektronko, katere »svetloba je imela tudi zelo dober fotografski učinek«. ³ Pomagali so jim reški fotografi in kemiki, ki prav tako niso bili od muh. Whiteheadi so bili zelo zainteresirani za rezultate, saj so termodinamični pojavi pri iztekanju zraka pod visokim tlakom reševali številne probleme poganjanja torpeda od zmrzovanja zaradi Joule-Thomsonovega širjenja do turbulenc.

Ernst je v Pragi uporabljal pištolo, katere izstrelki niso prebijali zvočnega zidu in zato pričakovane nadzvočne fotografije, seveda, niso bile uspešne. Salcher je raje uporabljal puške kalibrov od 8 mm do 11 mm, ki so izstreljevale nadzvočna zrna do 530 m/s.



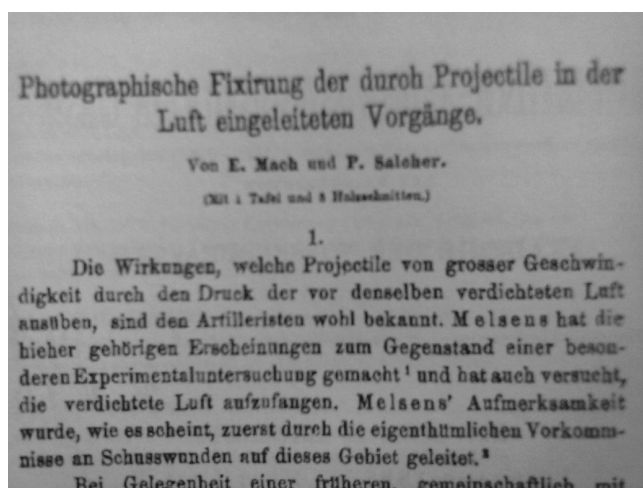
Slika 7: Toeplerjeva optična klop »Schieleren« iz leta 1864, ki je navdihnila uspehe njegovega učenca Salcherja in Macha.

³ Mach, Salcher, 1890, 1306

Izstrelke so osvetljevali z električno iskro leidenske steklenice, pri fotografiranju pa so pomagali še drugi reški strokovnjaki. Streljali so v prostorih vojno-pomorske akademije, vendar bržkone ne v glavni stavbi, kjer streljanje z bojno municijo gotovo ni bilo v navadi. Dne 24. 4. 1886 je Salcher že poslal Machu prvih šest uspešnih fotografij, komaj tri mesece po Machovem začetnem predlogu. Eno prvih timskih fizikalnih raziskovanj je urno steklo, tesno navezано na tedanje vojaške potrebe. Mach je obiskal Salcherja na Reki in prisostvoval poskusnemu lansiranju torpeda v času velikonočnih praznikov med 22. 3. in 18. 4. 1887.

Jeseni 1887 je Salcher poskuse nadaljeval v Pulju. V tamkajšnji vojaški bazi je deloval zdravnik, visok mornariški častnik, Jožef Potočnik (* 1841 Zgornji Razbor pri Slovenj Gradcu–1894 Pulj), ki se je vojskoval pri Visu pod Tegetthoffovim poveljstvom in postal general; bil je oče izumitelja geostacionarnega satelita, inženirskega stotnika Hermana Potočnika - Noordunga (1892 Pulj–1929). V Pulju je služboval mornariški častnik Karel Jožef baron Codelli (1846–1878 Pulj), po maturi leta 1894 pa je tam delal do leta 1897 tudi njegov sin, častnik vojne mornarice, izumitelj televizije Anton baron Codelli (1875–1954) s Kodeljevega.

Vsekakor si lahko mislimo, da je pri poveljstvu habsburške vojne mornarice v Pulju kar mrgolelo od novih tehniških idej, tudi slovenskih. Salcher je v Pulju streljal s topom kalibra 90 mm s hitrostjo 448 m/s, Ernst Mach in njegov starejši sin, študent medicine Ludwig, pa sta fotografirala v tovarni Krupp v Meppenu pri Hannoverju izstrelke 40 mm pri 670 m/s, ki so tako dosegali kar dva Macha – seveda se je enota



Slika 8: Naslovna stran Machovega in Salcherjevega pionirskega članka nadzvočnih fotografij, ki sta ga priobčila v glasilo dunajske akademije *Wien. Berichte* leta 1887 v zvezku 95/2 na strani 764.

⁴ Medica, 2011, 316–317

⁵ Carus, 1911, 31

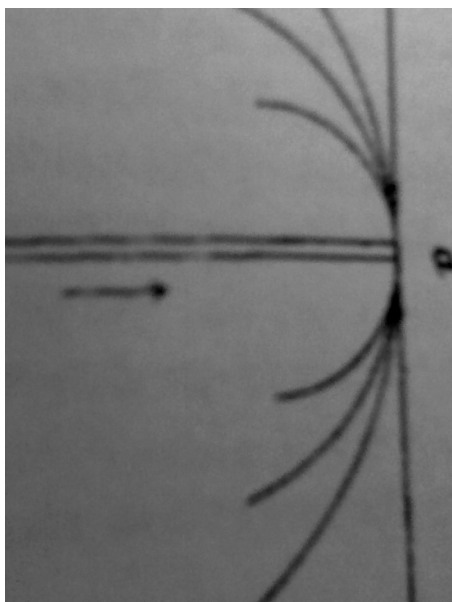
Mach uveljavila pozneje, prav nič pa ne bi škodilo, če bi jo imenovali po prav tako zaslužnem Salcherju.

Mach je ugotovil, da Melsens ni imel povsem prav, saj neznosnih ran ni povzročal stisnjeni zrak, porivan pred izstrelkom, in prav tako ne zrak za izstrelkom, ki si ga je svoj čas zamišljal Aristotel; poglobitni sta bili hitrost in oblika zrna. Prav tako je Mach sedaj lahko pojasnil, zakaj so na bojnem polju pok izstrelka slišali dvakrat; prvi od zvokov je namreč izviral iz preboja zvočnega zidu, ki je odtlej začel igrati važno vlogi v fiziki hitrih gibanj. Mach je postal znan, celo priljubljen; njegove in Salcherjeve fotografije nadzvočnih izstrelkov so objavljali tudi poljudni časopisi. Seveda pa je bil Machov stari nasprotnik Jožef Stefan še mnogo mogočnejši in je zlahka nastavljal Boltzmann in svoje druge somišljenike, podpornike kinetične teorije, na domala vse pomembne profesorske položaje v Habsburški monarhiji, podobno kot se je stoletje poprej posrečilo Boškovičevim zagovornikom točkastih središč sil kot svojevrstnim prednikom Stefanovih atomistov. Machovi dvomi v obstoj atomov so bili slej ko prej v prepričljivi manjšini, kar pa ni vplivalo na njegov uspešen eksperimentalni dvojec s Salcherjem.

Domiselni Salcher je zgodaj leta 1888 obrnil idejo poskusa in pustil izstrelak pri miru, nanj pa je usmeril curek stisnjenega zraka pri 250 atmosferah v reški tovarni, kjer so izdelali prve torpede leta 1866 in jih dve leti pozneje 1868 prvi na svetu vgradili v lansirne cevi ladje z imenom Gemse. O uspešnih fotografijah obrnjenega Salcherjevega poskusa je poročal Mach 19. 4. 1888 pri dunajski akademiji.⁴ Poskusi in dopisovanje med Petrom in Ernstom so trajali do leta 1892, novo poglavje balistične vede pa je bilo napisano prav z njimi na relaciji med Prago, Velikim Slatnikom, Reko in Dunajem.

Pota obeh uspešnežev sta se nato ločila: Salcher je bil že leta 1902 mornariški uradnik VI. ranga, visoko čislan na dvoru. Machov mlajši sin si je takoj po izjemno uspešni promociji v Göttingenu leta 1894 privoščil enega tedaj zelo modernih samomorov,⁵ ki niso obšli niti samega presvetlega prestolonaslednika Rudolfa leta 1889. Štiri leta po sinovi tragediji je užaloščenega očeta Ernsta zadela kap, zaradi katere je ohromel po desni strani. Zato je moral opustiti dunajsko filozofsko naravnano katedro, ki se je je tako veselil in je šla tako v nos Leninu in Machovemu nasledniku Ludwigu Boltzmannu skupaj z njegovo na pol slovensko soprogo.

Do konca pa je Mach rad pomagal Slovencem, med drugim novomeškemu gimnazijskemu profesorju filozofije, matematike, klasičnih in živih jezikov med



Slika 9: Huygensovi dve stoletji starejši valovi iz Machovega in Salcherjevega pionirskega članka nadzvočnih fotografij, ki sta ga priobčila v glasilu dunajske akademije *Wien. Berichte* leta 1887 v zvezku 95/2 na strani 769.

letoma 1897–1921 Mihaelu Markiču (M. Posavski, 1864 Kranj–1839 Ljubljana). Mihaelovo priredbo Boolove algebre, objavljene leta 1899, 1900 in 1914 v nemških izvestjih novomeške gimnazije, je Ernstu priporočila sestra Marija (* 1844), sicer dokaj uspešna pisateljica novel o Velikem Slatniku in o svojem vzgojiteljskem delu pri črnogorski kraljevi družini. Leta 1912 in v popravljeni ter dopolnjeni izdaji naslednje leto je objavila spomine na mater z Ernstovim predgovorom.⁶ Kljub Machovi podpori je ljubljanski profesor France Veber (1890–1975) leta 1920 ostro kritiziral Markiča in matematično logiko nasploh.

Ernstove nadzvočne sanje spod Gorjancev so se uresničile. Zvočni zid je bil prvič namenoma prebit. Pol stoletja po njegovi smrti je prvo nadzvočno letalo Concorde poletelo s potniki dne 2. 3. 1969, vendar so po 26. 11. 2003 vseh 20 Concordovih letal »upokojili«. Podobno se je zgodilo s sovjetskim nadzvočnim letalom Tupoljev TU-1544, ki so letala še nekoliko hitreje, vse do 2,35 Macha, vendar zgolj od 1975 do 1978. Machu bi bilo gotovo žal.

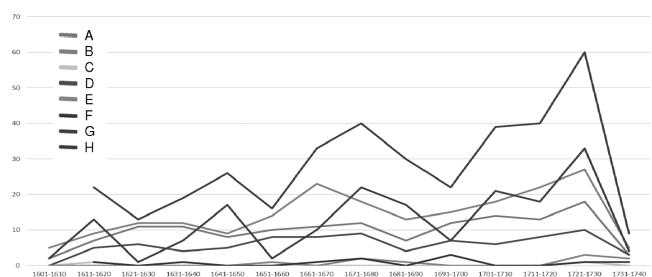
4 ULTRAHITRE FOTOGRAFIJE ZA IZBOLJŠANJE NAPRŠEVANJA TANKI PLASTI

Machove ultrahitne fotografije so kmalu zaživele svoje življenje zunaj stroge balistične uporabe. Danes so med drugim nadvse pomembne za preučevanje plazme in njenih turbulenc, ki pomembno vplivajo na

nanašanje nanometrskih napršenih tankih plasti. Po Grovejevem in Robidovem naprševanju kovin je Arthur Williams Wright leta 1877 v *American Journal of Science* objavil uspešno naprševanje številnih plasti platine, zlata, aluminija, cinka, železa in številnih drugih kovin; opisal je tudi njihovo stabilnost v atmosferi kot pogoj za uporabnost.

Robida je Grovejev poskus naprševanja ponovil zgolj pet let po Groveju leta 1857, desetletje preden je postal razrednik, profesor matematike in fizike Petra Salcherja. Robidov poglavitni sodelavec Simon Šubic je bil Salcherjev profesor celotne teorijske fizike v prvem letniku Salcherjevih graških študijev, potem ko je Šubic od 19. 4. 1866 do 11. 3. 1867 v Gradcu predaval fiziko družno z Ernstom Machom, ki je leta 1864 začel v Gradcu predavati matematiko.⁷ Šubic je veliko objavljajal o fotografiranju v znanstvene namene, tudi v slovenskem jeziku, Robida pa je Salcherju v Celovcu že kazal svoje desetletje stare mikroskopske fotografije, verjetno dobljene po Ettingshausenovi svoj čas leta 1840 na novo izumljeni metodi. Seveda je pri Robidi pridobljeno znanje Salcher vsestransko dopolnil med graškim študijem eksperimentalne fizike ob gradnji največjega fizikalnega inštituta v Habsburški monarhiji pri svojem graškem profesorju Augustu Toeplerju. Toeplerjeva tako-imenovana *schlieren* fotografska metoda, temelječa na razlikah v gostoti zraka, je postala osnova za Salcherjevo fotografiranje nadzvočnih izstrelkov na Reki po Machovih navodilih.

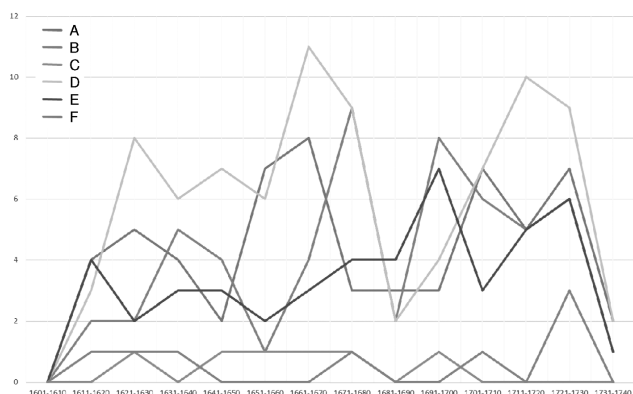
Žal Toeplerja pri reških poskusih ni bilo zraven. Čeprav je bil dobrovoljen mož in Boltzmannova graška poročna priča ob poroki z napol Slovenko Jeti,



Slika 10: Profesure tehniških ved in ohranjeni spisi 155 celovških profesorjev matematike in filozofije s fiziko glede na leto rojstva. A: prvih fizikalnih profesorjev celovških profesorjev matematike in filozofije v letih od skupno 140, B: vseh fizikalnih profesorjev v letih od skupno 204 pod taktirko 157 profesorjev filozofije s fiziko ali matematiko, C: astronomskih spisov od skupno 2, D: vseh spisov od skupno 84, E: matematičnih spisov od skupno 10, F: fizikalnih spisov od skupno 12, G: vseh matematičnih profesorjev in repetacij po letih rojstva nosilcev od skupno 174, H: fizikalnih in matematičnih profesorjev ter repetacij po letih rojstva nosilcev od skupno 378

⁶ Mach, 1912, 1913

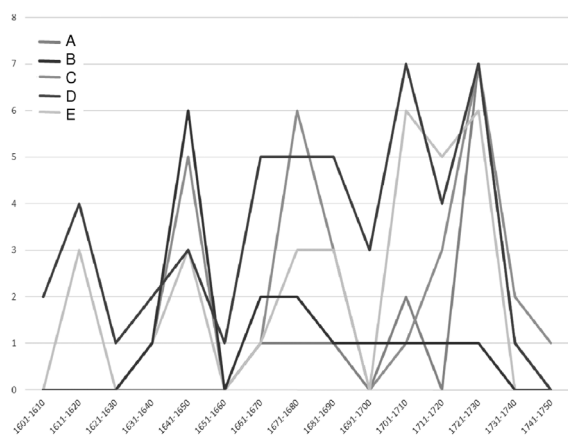
⁷ Carus, 1911, 28



Slika 11: 155 celovških profesorjev matematike in filozofije s fiziko kot študentov filozofije in teologije glede na leto rojstva. A: začetek študija filozofije v Gradcu od skupno 61 študentov med 157 profesorji, B: študij filozofije na Dunaju od skupno 56 bodočih celovških profesorjev matematike in filozofije s fiziko, C: študij filozofije v Trnavi od skupno 6 študentov med bodočimi celovškimi profesorji matematike in filozofije s fiziko, D: študij teologije v Gradcu od skupno 85 študentov med 157 poznejšimi profesorji matematike in filozofije v Celovcu, E: začetek študija teologije na Dunaju od skupno 49 bodočih celovških profesorjev matematike in filozofije s fiziko, F: študij teologije v Trnavi od skupno 8 bodočih celovških profesorjev matematike in filozofije s fiziko

ki se je najprej kot prva habsburška študentka fizike Boltzmannu domiselno pritoževala nad domnevno Toeplerjevo antipatijo, se mu je fizika morda nekoliko zamerila, potem ko je ravno ob dograditvi svojega fizikalnega inštituta leta 1874 v Gradcu padel z nadstropja v pritličje in se močno poškodoval ob božiču leta 1875.⁸

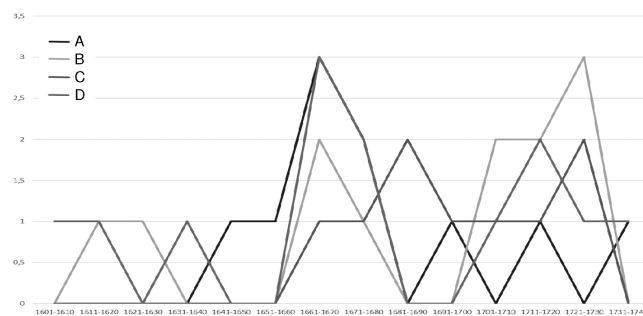
Einsteinov naslednik na položaju izrednega univerzitetnega profesorja züriške univerze, leto dni mlajši Heinrich Greinacher (31. 5. 1880–1974), je razvil



Slika 12: Celovški profesorji matematike in filozofije s fiziko na 5 najpogostejših matematičnih katedrah. A: ljubljanskih kateder matematike, B: linških kateder matematike, C: graških kateder matematike, D: celovških kateder matematike, E: dunajskih kateder matematike

⁸ Jungnickel & McCormach, 1986, 67; Stiller, 1989, 53

⁹ Adler, 45



Slika 13: Celovški profesorji matematike in filozofije s fiziko na štirih najpogostejših filozofskih katedrah drugod. A: graških kateder filozofije in fizike, B: goriških kateder filozofije in fizike, C: ljubljanskih kateder filozofije in fizike, D: passavskih kateder filozofije in fizike

votlinski magnetron kot novo priložnost za meritev oz. izračun mase elektrona leta 1912 v Zürichu, takoj po svojem prihodu na tamkajšnjo univerzo. Einstein je bil nato med letoma 1912–1914 njegov sosed kot profesor na züriški ETH. Ni pa hotel leta 1914 prevzeti dvojne profesure v Zürichu, na univerzi in ETH, kar bi ga naredilo za Greinacherjevega sodelavca, potem ko sta oba doktorirala oziroma se habilitirala na univerzi v Zürichu leta 1905 oziroma 1907.

Einsteinov sosed v Zürichu je bil tudi sošolec raziskovalec specifičnih toplot, Lenin pa je nedaleč stran v züriških knjižnicah sestavil uničujočo kritiko Macha in Adlerja.⁹ Žrtvi gotovo nista povsem natančno vedeli, v katerem grmu leži zajec, dokler ni čez dolgih sedem let siti Adler ustrelil lačnega habsburškega ministrskega predsednika v prestižni hotelski restavraciji popoldne 21. 10. 1916, ob letu obsorej pa se je Lenin usodno dokopal do oblasti.

Obetavne začetke magnetrona so nato prevzeli denarništvu bolj naklonjeni učenjaki onstran Atlantika. Američan Albert Hull (1880–1966) je magnetron dodelal v laboratorijih *General Electrica* (Schenectady, New York), da bi zaobšel patent triode konkurenčnega podjetja *Western Electrica* s kontroliranjem toka z magnetnim poljem namesto z mrežico. Hill se sprva ni nameraval spuščati v zelo visoke frekvence elektromagnetnih valov, tja pa sta magnetron vsak zase zapeljala Čeh s praške Karlove univerze Avgust Žáček (1886–1961) in jenski doktorski študent Nemeč Erich Habann (1892–1968) vse do gigahertzov leta 1924. Iznajdba je cvetela med razvojem radarja v drugi svetovni vojni, še posebej v vojni za Anglijo, kjer sta votlinski (cavity) magnetron leta 1940 razvijala John Randall (1905–1984) in Harry Boot (1917–1983) ob pomoči Irca Jamesa Sayersa (1912–1983) z univerze Birmingham.

Tajno pred Nemci skrito preučevanje je usmerjal potomec izumitelja parnih strojev Jamesa Watta,

Robert Alexander Watson - Watt (1892–1873). Bil je hudomušen vodja. Ko so ga pozneje že kot slavnega moža kanadski policisti ustavili zaradi prehitre vožnje, je zgrožen vzkliknil: »Če bi vedel, kaj boste počeli z mojim radarjem, ga nikdar ne bi izumil!« Pa ni pomagalo, nekaj cvenka je bilo treba vendarle izkašljati.

Industrijska uporaba milijonov magnetronov je nato šla dolga leta v prid mikrovalovnih pečic, dokler le-te niso spravile fast food gospodinjo ob dober glas. Razvita obetavna tehnika pa je urno našla nova področja uporabe, ko so jo tekmeči izpodrinili tudi pri radarjih. Osnovna fizikalna značilnost votlinskega magnetrona je konfiguracija električnega in magnetnega polja, ki sta med sabo prekrížana. Ta omogoča, da se elektroni vrtijo okrog magnetnih silnic in se hkrati gibljejo v smeri, ki je pravokotna na obe polji. V doslej omenjenem votlinskem magnetronu je to namenjeno generiranju mikrovalov. Poznamo pa tudi naprševalni magnetron, kjer takšno gibanje elektronov izkoriščamo za zgoščevanje plazme ter s tem za učinkovito naprševanje tankih plasti. V praksi obema komponentama rečemo »magnetron«, čeprav se tehnično precej razlikujeta.

Obetavno nanašanje nanometrskih tankih plasti, napršenih z magnetronom, je bilo prvič uporabljeno v 1970. letih v sočasnih iznajdbah številnih raziskovalcev planarnega magnetrona, kjer sekundarni elektroni v procesu naprševanja in povečevanju energije elektronov na površini in ob njej priskrbijo energijo, potrebno za ohranjanje razelektivitve v magnetronu.

Neuravnoveženi magnetron kot prvi korak k uporabi plazme za rast tankih plasti z magnetronom sta prva uporabila B. Windows in N. Savvides leta 1986, samonaprševanje z ioni same tarče pa so prvič opazili leta 1977, lociranje ionizacije v conah in samoorganiziranje v turbulencah pa so Nemeč André Anders z Berkeleyja in drugi neodvisno opazili leta 2012. Ionizirani deli prispevajo k prenašanju naboja vzdolž silnic magnetnega polja s turbulentnim tokom.¹⁰ Golo oko vidi ionizacijski proces porazdeljen homogeno. S pomočjo Mach-Salcherjevih dedinj, hitrih kamer ICCD (*intensified CCD*), pa razločimo več svetlih območij, ki se gibljejo vzdolž vzorca. Takšna ionizacijska območja so krstili za napere (spokes) po analogiji s podobnimi pojavi v plazmi; vzdržujejo jih

elektroni v kompleksnih električnih in magnetnih poljih.

Hitra fotografija, seveda veliko hitrejša od Mach-Salcherjeve, je temeljno orodje za določanje narave teh turbulenc na podoben način, kot je veljal svoj čas pri Mach-Salcherjevih turbulencah udarni val izstrelka. Visokoenergijsko impulzno magnetronsko naprševanje (HiPIMS) kot visoko ionizirana tehnologija ima že dobre reference pri izdelovalcih tankih plasti, saj je kompatibilna z obstoječimi PVD-napravami in ponuja zelo trde prevleke in optične tanke plasti.¹¹

5 SKLEP

Fotografija ujame sedanjí trenutek za prihodnje rodove. Hitra fotografija ujame celo tisto, kar razmera okorno človeško oko sploh ne zmora zaznati. Tako naredi vidne očem povsem nevidne reči, podobno kot mikroskop ali teleskop. Svoj čas je bliskoviti posnetek razkril turbulence ob nadzvočno hitečih izstrelkih, o katerih sta se pričkala oba Macha pod Gorjanci. Jutri pa bo, kot pribito, razkril turbulentne tokove plazme za učinkovitejšo naprševanje z magnetroni.

6 LITERATURA

- Adler, Friedrich. 2001. Selected Mach-Adler Correspondence, *Ernst Mach's Vienna 1895–1930: Or Phenomenalism as Philosophy of Science* (Ed. J.T. Blackmore). Boston Studies in History and Philosophy of Science. 45–60
- Carus, Paul. 1911. Professor Mach and his work, *The Monitor*, 21/1: 21–31
- Jungnickel, Chreista; McCormmach, Russell. 1986. *The now Mighty Theoretical Physics 1870–1925*. The University of Chicago Press 2. del
- Mach, Maria (anonimno). 1912. *Erinnerungen einer Erzieherin. Nach Aufzeichnungen von (Marie Mach) mit einem Vorwort hrsg. von Ernst Mach*. Wien/Leipzig: Braumüller, VI+319 strani, 2. izboljšana izdaja 1913, VIII+333 strani v osmerki
- Mach, Ernst; Salcher, Peter. 1890. Optische Untersuchung der Luftstrahlen. *Wien.Ber.* 1308 (9 fotografij v prilogi)
- Medica, Vladimir. 2011. Peter Salcher and Optical Research Methods. *Peter Salcher & Ernst Mach* (ur. Franković, Bernard; Pohl, Gerhard), Zagreb: Hazu. 309–325
- Panjan, M.; Franz, R.; Anders, A. *Plasma Sources Sci. Technol.*, 23 (2014)
- Panjan, P.; Čekada, M.; Panjan, M.; Paskvale, S.; Kek Merl. D. 2009. *Vakuunist*, 29 (2009) 1
- Stiller, Wolfgang. 1899. *Ludwig Boltzmann*. Frankfurt: Harri Deutsch

¹⁰ Panjan, 2014

¹¹ P. Panjan, Čekada, M. Panjan, Paskvale, Kek Merl, 2009, 31