



# Slušna akustika u vrijeme Franje Dugana st. (1874.–1948.)

Branko Hanžek

## Sažetak

Članak je napisan s namjerom prikazivanja stanja slušne akustike u vrijeme Franje Dugana starijeg. Ukazuje se na povezanost F. Dugana i D. Pejnovića. U nastavku članka dana je povezanost Dugana i Hondla. Ukratko: Stanko Hondl je ispitivao (mjerio) sluh Duganu. Na kraju članka ističe se važnost H. L. F. v. Helmholtza, kojeg je Dugan visoko cijenio.

## Abstract

The paper gives an insight in the hearing acoustic during the life of Franjo Dugan, senior. The paper introduction indicated the connection between F. Dugan and D. Pejnović. Is shown the connection between Dugan and Hondl. Briefly: Stanko Hondl measured Dugan's hearing. The end of paper emphasizes importance H.L.F. v. Helmholtz, which Dugan highly appreciated.

## 1. Dugan i Pejnović

Franjo Dugan stariji bio je tema ovoga časopisa u brojevima 3-4/2006. i 1-2/2007. U drugom nastavku toga članka, na kraju, istaknuta je povezanost Dvořáka, Hondla i Dugana. Naime Dvořákov nasljednik na katedri fizike na Sveučilištu u Zagrebu bio je Stanko Hondl (1873. – 1971.). Hondl je, prema kazivanju pokojnog prof. Vatroslava Lopašića, ispitivao Duganu sluh koristeći se Dvořákovim akustičkim aparatima. Ti aparati sastojali su se od Helmholtzovih rezonatora, a koristio se i poseban aparat, tzv. zvukomjer (zvučni radiometar)<sup>1</sup>.

U Duganovo vrijeme objektivno određivanje visine tona bilo je tek u razvitku, a subjektivno određivanje (bolji izraz: osjećanje) visine tona doseglo je svoj vrhunac (g. 1938., kada je predložena mel skala, G. G. Stevens).<sup>2</sup> Vinko Dvořák (1848. – 1922.) bio je utemeljitelj akustike u Hrvatskoj, a jedini Dvořákov asistent bio je Dušan Pejnović (1883. – 1958.), koji je i bio Dvořákov najveći znanstveni nasljednik. D. Pejnović je objavio niz znanstvenih radova iz područja ultrazvuka

(naročito u tekućinama), pa su osobitu težinu dobile natuknice o akustici i elektroakustici pisane 1941. i 1945. godine u Hrvatskoj enciklopediji.<sup>3,4</sup>

D. Pejnović je dao tadašnju podjelu akustike istaknuvši da se akustika dijeli na fizikalnu i fiziološku, naglasivši da su se u novije vrijeme razvile zasebne znanstvene grane: elektroakustika, tehnička akustika i akustika glazbe. Pejnović je u člancima isticao da je akustičnost prostorija važan problem tehničke akustike te da treba najprije suzbijati jeku. Najbolje je probleme velikih dvorana oko razumljivosti glazbe ili govora rješavao W. C. Sabine (i to teorijski i praktično). On je uveo i definirao neke nove veličine koje se mogu egzaktno odrediti mjerenjem (npr. veličina trajanja pazvuka – vrijeme za koje nakon prekida uzbuđene zvučne energija padne na milijunti dio). Pejnović je također istaknuo da je veliki napredak u analizi zvuka postignut električnim metodama. Jedna od takvih metoda bila je po E. Meyeru (g. 1928. modificirana automatska metoda koja je koristila Wheatstoneov most a kao mjerni instrument služio je torzioni galvanometar). No za

analizu glasova upotrebljavala se bolja metoda, po M. Grützmacheru. Najnoviji aparat za analizu zvuka spomenut u Pejnovićevu članku, tzv. zvučni spektrometar, bio je iz 1935. i proizvela ga je tvrtka »Siemens«. Imao je ove dijelove: mikrofon, pojačalo, električke filtre, kontakte sa zajedničkom tipkom i katodni oscilograf. Pejnović je u članku dao i dvije slike s oscilografskog ekrana, što upućuje na to da je on taj aparat posjedovao.

## 2. Dugan i Hondl

Općepoznato je da su se od samih početaka za analizu zvuka koristili Helmholtzovi rezonatori, Königov zvučni analizator, Chladnijeve ploče, Savartova, Doveova, Seebekova i de la Tourova sirena, a kasnije, uglavnom za ispitivanje oštećenja sluha, aparati zvani audiometri. Helmholtzovi rezonatori su šuplje mjedene ili staklene kugle, koje na odgovarajuću pobudu daju znatno pojačane tonove. Ti rezonatori često su se upotrebljavali za subjektivnu analizu zvuka ili malo stručnije: rezonatori su jednostavni aparati za Fourierovu analizu zvuka. Poznato je da je Hondlu Dvořák osta-

vio veliki broj vlastoručno izrađenih reakcijskih kola (koja su se sastojala od 3 ili 4 okrugla (staklena) ili cilindrična (papirnata) Helmholtzova rezonatora) i zvučnih radiometara (koji su se sastojali od 3 aluminijske pločice, s puno čunjastih rupica, a služili su za mjerenje razine zvučne jakosti). Također je Hondl raspolagao i s Königovim zvučnim analizatorom, koji je sadržavao 8 Helmholtzovih rezonatora, koji su bili spojeni s manometarskim kapicama, na čijim krajevima su gorjeli plameni jezičci. Oni rezonatori koji su reagirali na pobudni zvuk, pobuđuju živo titranje plamčiaka, a ako imamo i koso postavljeno rotacijsko ogledalo i okrećemo ga, trepereći plamčiči daju niz odvojenih plamčiaka, a ostali mirni plamčiči daju nepreglednu svijetlu prugu. Ti aparati su sjajno funkcionirali kada je s njima Hondl ispitivao sluh Duganu. Dakle Hondl je pri ispitivanju Duganova sluha imao na raspolaganju Helmholtzove rezonatore, i što je još važnije, Dvořákové zvučne radiometre (najbolje izrade tog trenutka u svijetu, jer ih je Dvořák prvi počeo izrađivati i mjeriti njima – a što priznaje i nobelovac H. S. W. Rayleigh). S tim radiometrima mogla se mjeriti razina zvučne jakosti tonova iste frekvencije. I to apsolutno mjeriti, dok današnji zvučni radiometri mjere samo relativne razine zvučne jakosti, pa je, prema nekim hrvatskim elektroakustičarima, taj stari uređaj u prednosti pred suvremenijim! Inače, današnjim rječnikom rečeno, razina zvučne jakosti (intenzitet) i pripadna jedinica – decibel veličine su objektivne akustike. Toj veličini odgovara razina glasnoće kao veličina subjektivne akustike koja se mjeri u fonima (od 1937.), a kasnije sonima (od 1942.).<sup>5</sup> I dan-danas, nakon 130 godina, Dvořákov i Königovi uređaji besprijekorno rade ako se pobude odgovarajućim zvucima.

### 3. Dugan i Helmholtz

Kako je i sam F. Dugan, a i ostali, izuzetno cijenio Hermana Ludwiga Ferdi-

nanda von Helmholtza (1821. – 1894.), potrebno je naglasiti izuzetnu važnost tog znanstvenika. Istaknuti fizičar i geofizičar Josip Goldberg (1885. – 1960.) održao je 1931. predavanje na Radio Zagrebu o H. v. Helmholtzu i njegovoj znanosti o osjetima zvuka (prigodom 110. obljetnice rođenja). To predavanje objavljeno je u časopisu *Priroda* 1932. U tom predavanju Goldberg je istaknuo da je Helmholtz bio fizičar, fiziolog, matematičar i filozof, uz naglašavanje činjenice da sve fizikalne ideje koje su u svom razvoju omogućile stvaranje radiotehnike imaju korijen u Helmholtzovu radu. Goldberg je naglasio i to da je Helmholtz 1862. godine napisao djelo *Nauka o osjetima zvuka*. Tim djelom osamostalio je akustiku, shvativši zvuk kao proizvod fizikalnih, fizioloških i psihičkih čimbenika, obilno se oslanjajući na eksperiment kao i na dalekosežnu matematičku analizu. Istaknuo je da je do Helmholtza akustika bila neznatni dodatak mehanici, što je bilo daleko od samostalnoga znanstvenog područja. Na kraju predavanja Goldberg ističe da bi se u našoj modernoj fizici Helmholtz brzo snašao, jer bi u našim tekovinama vidio samo logični razvoj svojih ideja.<sup>6</sup>

I Dugan je u svojem neobjavljenom rukopisu *Akustika*, iz 1943. godine, naglasio da je Helmholtz osnivao teoriju slušanja na pojavi sutitranja i suzvučenja (rezonancije). Istaknuto je da naše uho može osjetiti svaki pojedini ton koji se pojavi u blizini uha. Osim toga naše uho može razabrati pojedine tonove iz cijelog kompleksa tonova. Helmholtz ističe da uho može mnogo lakše rastaviti suzvuk u pojedine tonove nego neki glazbeni ton u njegove parcijalne tonove. Dugan dalje ističe da je Helmholtz uočio da niti na bazilarnoj membrani možemo na neki način postovjetiti sa žicama klavira. Naime kao što možemo žice klavira upotrijebiti kao rezonatore za analizu zvuka, tako možemo u istu svrhu upotrijebiti niti na bazilarnoj membrani. Sam Helmholtz je duboko vjerovao u strogoću

znanstvenoga istraživanja, pa je htio da se njegova teorija smatra samo hipotezom. Dugan je u svoje doba vjerovao da se Helmholtzova teorija ne može nikako napustiti dok se ne nađe druga koja bi je u svakom pogledu natkrilila.<sup>7</sup>

Danas se akustika dijeli na aeroakustiku, biološku akustiku, elektroakustiku, građevinsku akustiku, hidroakustiku, medicinsku akustiku, glazbenu akustiku, prostornu akustiku, tehničku akustiku, slušnu akustiku. Današnja računalna tehnologija, s odgovarajućim softverom, može prikazati oblik zvučnog vala, može spemiti taj oblik i načiniti spektralnu (Fourierovu ili harmonijsku) analizu zvučnog signala. Računalo analizu izvodi u stvarnom vremenu, pomoću brzih Fourierovih transformacija (kraće: FFT, *fast Fourier transform*).<sup>8</sup>

#### LITERATURA

- <sup>1</sup> Branko Hanžek: Svestranost Franje Dugana st.: *Sveta Cecilija*, br. 3-4/2006. (str. 3 – 7) i br. 1-2/2007. (str. 10 – 14)
- <sup>2</sup> Marijan Brezinščak: *Mjerenje i računanje u tehnicima i znanosti. Udžbenik Sveučilišta u Zagrebu*, Zagreb, 1971.
- <sup>3</sup> Dušan Pejnović: *Hrvatska enciklopedija I (A – Autom)*, Zagreb, 1941., str. 157 – 159
- <sup>4</sup> Dušan Pejnović: *Hrvatska enciklopedija V (Dilatacija – Električka)*, Zagreb, 1945., str. 693 – 695
- <sup>5</sup> Dragutin Mayer: *Objektivna i subjektivna akustika*, Zagreb, 1980., Društvo psihologa Hrvatske.
- <sup>6</sup> Branko Hanžek, Mladen Rogina: *Development of Croatian Acoustics till 1954. On the Legacy of Vinko Dvořák: International Review of the Aesthetics and Sociology of Music*, Vol. 42, No 2, 331 – 354.
- <sup>7</sup> Franjo Dugan: *Akustika* (neobjavljeni rukopis), Hrvatski državni arhiv, Zagreb, 1943.
- <sup>8</sup> G. Žauhar, A. Lekić, Z. Roller-Lutz: *Analiza zvučnog signala nekad i danas. Zbornik radova s Osmog hrvatskog simpozija o nastavi fizike*, Novi Vinodolski, 12. – 14. travnja 2007., str. 160 – 163.