



## Svestranost Franje Dugana st.

# Franjo Dugan st.

(Hrvatska Krapinica, 11.IX 1874. – Zagreb, 12.XII 1948.)

Piše: Branko Hanžek

O Franji Duganu starijem (1874-1948) pisano je u više navrata (i za vrijeme njegova života i nakon smrti). Osobito su zapaženi opširni osvrti na život i rad F. Dugana koje su napisali Janko Barle u časopisu Sveta Cecilija 1935. godine (na 19 stranica u 5. i 6. svesku, a Franjo Dugan je tada bio akademik JAZU) i akademik Anđelko Klobučar u časopisu rad JAZU, knjiga 351, 1969. godine (na čak 76 stranica i opširnom bibliografijom, tada Klobučar još nije bio akademik). Akademik Klobučar dao je dosad najpotpuniji prikaz života i rada Franje Dugana kao glazbenika instrumentalista orguljaša, glazbenog kompozitora, glazbenog pedagoga i glazbenog pisca. Od korisnih podataka istaknuto je da je Dugan bio umirovljen 1941 godine nakon što je 44 godine pedagoški djelovao i radio. Međutim, manje je obrađena činjenica da je od te 44 godine Dugan čak 23 godine predavao matematiku i fiziku na gimnazijama Klobučar je, uz ostalo spomenuo i Duganove skripte Nauka o muzičkim formama i Nauk o instrumentima, knjige Nauk o glazbalima i

rukopis Akustika. O Franji Duganu je pisao i Viktor Novak u časopisu zvuk 1933/34 na devet stranica. O njemu je još i pisao Anton Dobronić u časopisu gospodarstvo na dvije stranice, 1944 godine. O Duganu je također pisao Krešimir Benić u časopisu Spremnost na tri stranice 1945. godine, te Josip Andrić u časopisu Obitelj iz 1944. godine na dvije stranice.

Od navedenog samo Nauk o glazbalima i Akustika mogu dočarati svestranost Franje Dugana (kao akustičara). Stoga se po prvi put uz korištenje ova dva djela i objelodanjivanjem dosad neobjavljenih biografskih podataka nastoji prikazati svestranost Franje Dugana (kao matematičara, fizičara i akustičar). Da bi se to što vjerodostojnije učinilo prvo treba objasniti što se podrazumijeva pod akustikom da bi se stekao pravi dojam čime se bavi akustičar. Također treba istaknuti isprepletenost akustike s matematikom i fizikom. Vrlo je važno istaknuti ključnu ulogu Duganovog sveučilišnog učitelja fizičara Vinka Dvořáka, svjetski uglednog akustičara.

### SAŽETAK

Članak je napisan s nakanom prikazivanja glazbenika Franje Dugana, starijeg, kao akustičara. Kako do sada nisu popuno objavljeni relevantni podaci o akustičkom radu F. Dugana ovaj članak donosi, povijesnom metodom istraživanja, nova saznanja o tome. U uvođenju u problematiku ukazuje se, nakon što se objasni što se smatra pod akustikom, na isprepletenost akustike s matematikom i fizikom, prezentiraju se rezultati drugih autora, te se uvodi pretpostavka o Duganu kao značajnom hrvatskom akustičaru. U nastavku članka po prvi put je dan iscrpni prikaz Duganovog studiranja na Mudroslovnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu (studij matematike i fizike – studiranje akustike kod afirmiranog fizičara Vinka Dvořáka – što je Duganu donijelo izuzetnu kompetentnost), detaljni prikaz Duganova rada kao matematičara i fizičara u školama (23 godine radnog staža), kao i osvrt na njegova akustička djela – knjigu Nauk o glasbalima i rukopis Akustika. Važnost dobivenih rezultata istraživanja ogleda se, s jedne strane, u činjenici da članak osvjetljuje Duganov život i rad u svim aspektima, dok s druge strane važnost je u činjenici da je rukopis Akustika prva studija na hrvatskom jeziku pisana znanstveno, a koja se sustavno i sveobuhvatno bavi akustikom.

### O osvitu akustike – povijesni uvid

Za akustiku se zna da je u svojoj prvoj literarnoj pojavi ta grčka riječ (*akustikos*) imala strogo antropomorfnu značenje i bila je povezana s ljudima, glazbom i instrumentima. Opće je poznato da je grčki filozof Pitagora (rođen u VI st. prije Krista, umro u V st. prije Krista) vršio praktična istraživanja s monokordom koji je vrlo nalikovao tadašnjim instrumentima. Stari Grci znali su da su zvuci titranja proizašli iz zraka, što se moglo osjetiti iz empirijskih pokušaja promatranja i doticanja s površinama koje titraju. Najveći grčki filozof Aristotel (IV st. prije Krista) smatrao je da tijelo koje titra izaziva zgušnjavanje i razrjeđivanje zraka i objasnio je refleksiju zvuka od predmeta. No, pokušajmo se u novovjekovnom smislu zapitati: što je akustika? Prije nego što se pokuša odgovoriti na to pitanje valja naglasiti da se akustika može shvatiti u širem i užem smislu riječi. No, podimo od početka u smislu shvaćanja termina na novovjekovni način. U svom prvom ondašnjem smislu riječ akustika pojavila se po prvi put 1657. godine kao naslov neke knjige, no u tadašnjoj riječi teško da ima ičega što bismo danas nazvali akustikom. Tek 1693. godine upotrijebio je Samuel Reyher (1635.-1714.) riječ akustika u smislu koji je omeđen današnjim značenjem navedene riječi. Bilo je to u njegovu djelu »De natura et jure auditus soni«. No, Joseph Sauveur (1653.-1716.) je riječ akustika 1701. godine utkao u suvremeni znanstveni jezik govoreći o tonovima glazbene ljestvice, te je tako tu riječ uveo i općenito u znanstvenu (matematičku) upotrebu. Njegovo djelo nosilo je naslov »Principes de

acoustique et de musique«. J. Sauveur je, kojeg li neobičnog spleta okolnosti, bio od rođenja gluh, a do svoje sedme godine i nijem. No ipak je nekim čudom izvodio važna akustička istraživanja. Sauveur je prvi predložio ime akustika za znanost o zvuku, obratio je pažnju na prirodno izvođenje akorda dur ljestvice iz temeljnog tona i osnovao glazbeni nauk o harmoniji i usporednim tonovima. On je znanstvenim opisom matematičkog oblika pronašao način određivanja broja titraja nepoznatog tona, ako je poznat broj titraja drugog tona i broj titraja koji oba tona izvode kad zajedno zvuče.

I dandanas se akustika može shvatiti u užem i širem smislu značenja riječi. Akustika u užem smislu je znanost koja proučava zakonitosti svih mogućih načina titranja najrazličitijih izvora zvuka, zračenje izvora i stvaranje zvučnog polja kao i mehanizmi širenja zvučnih (titrajnih) valova iz izvora kroz razna tijela koja djeluju kao materijalni mediji – čvrste tekuće ili plinovite tvari, kao nosioci zvuka do našeg uha ili nekog drugog prijemnog mjesta. Jasnoće radi treba istaknuti da je ono što se širi medijem titranje, a ono što se prenosi, je titrajna energija. Nekad se akustika definirala, kao dio nauke (mehanike – koja je dio fizike) koja je proučavala titranje i mehaničke valove zvučnih frekvencija u raznim materijalnim medijima. To je posebno decidirano i znanstveno uokvireno podvukao i glasoviti Nobelovac lord Reyleigh u svom klasičnom djelu »The Theory of Sound«. Ovdje još valja spomenuti da je akustiku kao samostalno znanstveno područje (ne kao doda-

tak mehanici) utvrdio Herman von Helmholtz u svojoj knjizi »Nauke o osjetima zvuka« iz 1862. godine. U svom širem smislu riječi riječ akustika podrazumijeva područja istraživanja, osim fizikalne akustike, glazbene akustike, tehničke akustike, fiziološke akustike, psihološke akustike itd. Akustika je po svojoj naravi interdisciplinarna, ali i multidisciplinarna zadirući u razne znanosti (fiziku, muzikologiju), nauke (npr. primjenjena elektrotehnika), znanosti o životu (biologija, medicina) i umjetnosti (govorne i glazbene).

### Isprepletenost akustike, matematike i fizike

Da je glazba uvijek bila poticajna za akustiku opće je poznato budući da je napredak akustike bio povezan sa glazbenim zahtijevima. No, da su matematika i fizika svojim napretkom poticale napredak akustike nije toliko očito i valja tome posvetiti malo pozornosti. Dakle, riječ je o tome koliko su matematičari i fizičari dali akustici izvan doprinosa samoj matematici i fizici. Dakle, Franjo Dugan dobro je poznat kao glazbenik. Vrlo je teško upoznati F. Dugana kao akustičara, ako ga se ne upozna kao matematičara i fizičara. Stoga se u ovom članku nastoji prikazati Dugan kao akustičar uz uvažavanje njega kao matematičara i fizičara. Da bi se to što vjerodostojnije učinilo treba ukazati na to kako je akustika povezana s matematikom i fizikom.

Veliki Galileo Galilei bio je taj koji je uočio da je broj titraja (frekvencija) odlučujući čimbenik koji određuje visinu tona. No, samo to nije bilo dovoljno za pronalaženje matematičke veze

između navedenih veličina. Marin Mersenne, veliki Galilejev poklonik; proučavao je slabo poznata Galilejeva istraživanja zvuka, ponavljao Pitagorina istraživanja i pokazao da visina tona ustitrane žice ima veze i s gustoćom materijala od kojeg je napravljena kao i s napetošću. Naposljetku je tek Taylor 1715. god. matematičkim izrazom postavio odnos između frekvencije, sile napetosti i dužne mase žice.

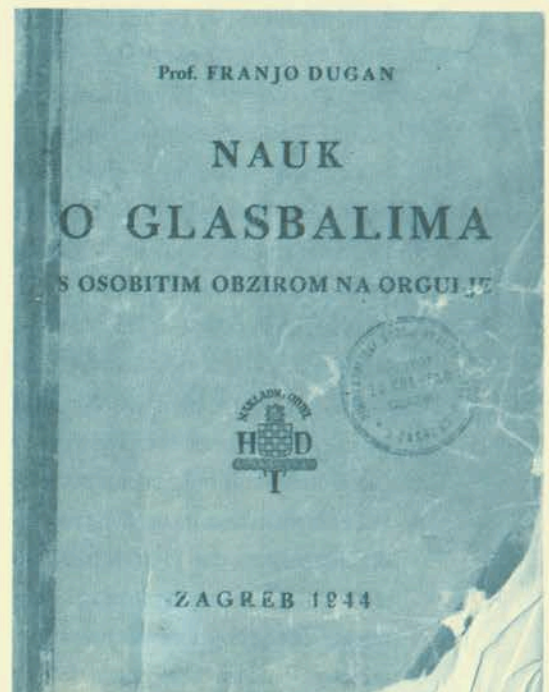
Godine 1605. Francis Bacon Verulanski je u svom djelu «*Advancement of learning*» istaknuo da se zvuk širi na sličan način kao svjetlost. Huygens je u predgovoru svoje knjige o svjetlu (*Traite de la Lumiere*, 1690.) tumačio da se zvuk širi valovima, a materija koju možemo vagati je medij u kojem se valovi šire. Za razliku od svjetla koji se širi valovito u eteru, a koji ne možemo vagati. Otto von Guericke, pronalazač pumpe koja isisava zrak, je oko 1650. godine pokusima dokazao da se zvukovi šire ne samo kroz zrak nego i kroz vodu i čvrsta tijela, unatoč Aristotelu. Athanasius Kircher (1601. – 1680.) u svom djelu «*Phonurgia nova*» opisao je zakone refleksije zvuka i jeku, te pretpostavio da je u svojoj biti sličan svjetlosti. Uz to, neposrednim prkatičnim uvidom znalo se da valovi zvuka imaju sposobnost da na tanku kožu ili membranu pritišću tlakom, te je tako stavljaju u gibanje. Na taj način ponaša se i bubnjić u našem uhu. Već spomenuti J. Sauveur je također pokazao da je istinito to što je veliki Decartes pronicljivo Inaslutio. To je bila slutnja da sporednim tonovima jedne zatitrane strune mora biti uzrok titranja jednoga njezina dijela. Spomenuti Marin Mersenne (1588. – 1648.) u svom djelu «*Harmonico-*

*rum libri XII*» koje je izašlo u Parizu (1627. – 1637.) opisuje gornje tonove (Obertonove). Cristijan Huygens je u svojem djelu iz 1690. godine (*Traite dela lumiere*) pišući o svjetlu tumačio da se i zvuk širi valovito i to u obliku poremećaja koji se širi u svim smjerovima u obliku valova. Iznoseći svoj glasoviti princip naglasio je da je izvor taj koji stvara poremećaje, a svaka točka vala može se smatrati izvovom novog vala i poremećaja. Godine 171. u istraživanju akustičkih pojava uvedena je glazbena vilica, koju je uveo Shore.

Poseban problem akustike bio je i određivanje tj. mjerenje brzine zvuka. Pierre Gassendi (1592. – 1655.) je čovjek koji je prvi uspio točnije izmjeriti brzinu zvuka, ali i otkrio da se ta brzina ne mijenja u odnosu na izvor zvuka i visinu tona. Metodom topa brzinu zvuka prvi je odredio redovnik Mersenne, koji je inače bio prijatelj Descartesa, i to godine 1636. Liječnik Bianconi je u Bologni 1746. otkrio utjecaj temperature na brzinu zvuka te našao da je brzina zvuka ljeti veća nego zimi i on se služio metodom topa. Danas je poznato da se s pomoću Kundtove i Quinckove cijevi može točno mjeriti brzina zvuka.

Isaac Newton upotrijebio je svoj račun kako bi opisao sva moguća gibanja pomoću skup diferencijalnih jednadžbi koje su otada poznate kao «*Newtonove jednadžbe gibanja*». Zastigurno je najveličanstvenija knjiga iz fizike Newtonova pod nazivom «*Philosophiae naturalis principia mathematica*» koja je objavljena 1687. godine. Tako je započelo matematičko (strogo znanstveno) tretiranje zvučnih pojava. (jer riječ akustika u današnjem

značenju još nije bila korištena). Kasnije, u 18. i 19. stoljeću Newtonove jednadžbe gibanja su preoblikovane i preformulirane. To su učinili Pierre Laplace, Leonhard Euler, Joseph Lagrange i William Hamilton. Oni su samo povećali analizu prirode pomoću Newtonovih jednadžbi, ali nisu izmijenili sadržaj. Laplace je usavršio i utočnio Newtonove proračune toliko precizno da je uspio objasniti gibanje nebeskih tijela do u detalje. Isto tako objasnio je pojavu plime i oseke. Nadalje, fizičari i matematičari su proširili Newtonove jednadžbe na gibanje tekućina, na titranje žica, ploča, zvona i drugih titrajućih tijela. Ti uspjesi natjerali su fizičare da povjeruju da je sve u stvari mehanika koja se objašnjava Newtonovim zakonom. Tako su Newtonove diferencijalne jednadžbe postale matematički temelj mehaničkog shvaćanja svijeta.





Cristian Huygens je pretpostavio da je zvuk valne prirode (1690 godine). Daniel Bernoulli je 1737. godine uveo prvi put pojam tlaka zraka opisivši ga modelom molekula – čvrstih kuglica koje udaraju u jediničnu stjenku posede, a kao posljedica nastaje tlak. Nakon toga je Jan Le Rond'Alembert 1747. godine postavio diferencijalnu jednadžbu titranja žice koja oblikom sličići valnoj jednadžbi i kao rješenje naveo zbroj dviju neodređenih funkcija prostornih i vremenskih koordinata. Mi danas znamo da se te funkcije u rješavanju trebaju točno odrediti što se čini uz pomoć rubnih uvjeta. Tako imamo fizikalnu interpretaciju valova koje se kreću u jednom smjeru, pa se od granice odbijaju u suprotnom smjeru, a kao rezultat kao takvog fizikalnog prikaza dobijemo stojni val. Vrlo važno otkriće učinio je Fourier i na taj način zadužio matematiku, fiziku i akustiku. Kako je (pogrešno) tvrdio da svaka realna funkcija može biti izražena njegovim redom natjerao je matematičare da točnije definiraju pojam funkcije. Inače te svoje doprinose Fourier je objavio 1822. pišući knjigu pod nazivom Analitička teorija topline. Fourier je uzeo razvoj periodičnih procesa na jednostavne harmoničke matematičkim putem. Eksperimentalna analiza zvuka i razlaganje zvuka u harmonične spektre s pomoću rezonatora i sintezu složenog zvuka iz jednostavnih načinio je Herman von Helmholtz. On je i objasnio boju zvuka pomoću viših harmonika, a na osnovu svoje teorije rezonatora dao je prvu fizikalnu teoriju uha kao slušnog uređaja. Valja objasniti da je Fourier svoje jednadžbe u razvoju načinio tražeći opće rješenje

jednadžba vodljivosti topline. Na kraju treba naročito naglasiti i uvjetovanu povezanost akustike s matematikom i fizikom. S matematikom je akustika povezana na mnogo načina. Današnje glazbene ljestice od 12 tonova svoje postojanje duguju matematičarima. Matematičkom teorijom lančanih razlomaka dobiveno je da najbolje približenje rješenju problema brojeva optimalnih tonova u oktavi iznosi 12. No, to je tako zbog tehničke uvjetovanosti klasičnih glazbenih instrumenata. Druga dva rješenja broja optimalnih tonova u oktavi iznose: 29. tonova u oktavi (sa 17. tonom kao kvintom) i 41 ton (sa 24. tonom kao kvintom) nisu iskoristivi za klasična glazbala. No, elektronskoj izvedbi nisu nametnute nikakve tehničke poteškoće, pa tzv. mikrotonski skladatelji elektronske glazbe koriste ljestvicu sa 41. mikrotonom. Da bi se otvireni događaji objasnili akustički potrebna je pomoć fizike. Poznato je da svaki glazbeni događaj, općenito svaki zvučni događaj, prikazuje jedan događaj koji teče u vremenu. Od svih egzaktih znanosti samo fizika svako fizikalno svojstvo koje se daje mjeriti okarakteriziraju na najbolji način tako što gledaju njihovu ovisnost o vremenu. Drugim riječima koriste se dijagrami. Fizičar tonove neće prikazati djelomičnim oznakama (npr. ispunjene ili prazne glave nota, nego egzaktno preko duljine vremenskog intervala). Dakle, osim duljine vremenskih intervala uzima se i visina tona, pa se stoga notni zapis prevodi u dijagram gdje je na *vertikalnoj osi* visina tona, a *horizontalnoj osi* vrijeme. Pri tom valja kazati da vremenska os ima strogo linearnu podjelu, gdje tra-

janju glazbenog događaja točno odgovara razmak. Dakle, što dulje trajanje to dulji razmak, ako se gleda s obzirom na vremensku os. Međutim, vrlo važno je napomenuti da podjela na osi ne mora biti linearna, nego i logaritamska, pa jedinični razmaci na toj osi nisu jednake duljine kao kod linearne podjele osi na jedinične intervale. Ta logaritamska podjela ima punu svoju opravdanost kada je riječ o iskazivanju intenziteta i prikazu strahovito velikog raspona intenziteta.

Uz to valja napomenuti da je negdje početkom 20. st. interes za akustiku oslabio, ona se smatrala teoretski i eksperimentalno završenom u oblasti znanosti, a pojavila se i nova znanost muzikologija (1885. god. – G. Adler) koja, uz ostalo, obuhvaća i proučavanje akustike. Sve to pruzročilo je da se akustikom više nisu bitnije bavili matematičari i fizičari. 30-tih godina 20. st. pojavom radija akustika se je potpuno povezala s radio tehnikom koja se je razvijala u okrilju elektroakustike.

## O Vinku Dvořaku

A gdje u svemu tome ima svoje mjesto Hrvatska akustika? Može se reći da je svjetsku slavu kao akustičar koji je živio i radio u Hrvatskoj stekao Vinko Dvorak (1848.-1922.). On je bio prvi redoviti profesor fizike, na tadašnjem Mudroslovnom fakultetu obnovljenog Sveučilišta u Zagrebu od 1875. pa do 1911. Nakon što je doktorirao iz filozofije kod glasovitog Ernsta Macha došao je iz Praga u Zagreb i *tako utemeljio katedru za fiziku*. Prvo značajno otkriće koje mu je pribavilo veliko međunarodno priznanje bilo je tumačenje pojave nakupljanja čestica

praha u čvorovima stojnih zvučnih valova, što se događa u Kundtovoj cijevi vrtložnim strujanjem zraka. Fizičar John Wiliam Strutt, poznatiji kao lord Rayleigh, to otkriće je u svojoj knjizi «The theory of sound» nazvao Dvorak fenomen. Rayleigh je osam godina poslije Dvorakovim tumačenjima dao teorijsku podlogu te se navedena cirkulacija danas u fizici naziva Dvorak – Rayleighova cirkulacija. Teorijska podloga sastoji se u tome da je uz linearni član uvažen još i član drugog reda, pa se usrednjavanjem dobiju sile koje uzrokuju cirkulaciju zraka. A sve to zbog toga, jer se pojavljuje trenje zraka koji titra sa staklenim stijenkama cijevi. Originalno je i prvo u svijetu Dvorakovo rotacijsko zvučno kolo. Riječ je o nekoliko Helmholtzovih rezonatora – staklenih sfera relativno velikog volumena, a malih otvora. Kada se ti rezonatori učvrste na horizontalne prečke o čije se sredine upire vertikalni šiljak dolazi do rotacije oko vertikalne osi. Iznimno je značajno i svjetski ugledno otkriće Dvoraka nazvano Dvorakovo odbijanje rezonatora od izvora zvuka. Dvorak je postao nadaleko poznat i po svom akustičkom radiometru kojim je mogao mjeriti intenzitet zvuka. Radiometar se sastojao u obliku probijene pločice kvadratnog ili okruglog presjeka i koji je načinjen tako da se pojača rotacijska pojava. V. Dvorak se mnogo bavio i elektroakustikom, te je načinio više verzija nepriguenih zvučnih vilica koje su bez prekida i istitravanja davale postojane tonove. To posebno dolazi do izražaja da su i danas vrlo cijenjeni vibracijski satovi, gdje su vrlo postojane frekvencije dobivene glazbenim vilicama, te svoje dugo tra-

janje duguju električnom utjecaju. U svezi Dvoraka valja naglasiti da je on načinio uređaj za jake tonove s dvije elektromagnetske vilice. Učinio je to tako da se kod vilica titraji potiču i uzdržavaju pomoću dva elektromagneta kroz koje teče ista struja magnetiziranja isprekidane kontaktom. Naravno, obje vilice su udešene na isti ton. Važno je istaći da je otpornik koji spaja zavojnice obaju elektromagneta tu da bi prigušio iskre kad se struja prekida. Zbog rezonancije između impulsa struje magnetiziranja i titraja viljuške daje viljuška koja počiva na rezonatoru – kutiji vrlo glasan ton. Rezimirajmo: Dvorak je uz ostalo poznat po svojim istraživanjima stvaranja figura nastalih u prahu u Kundtovoj rezonantnoj cijevi, strujanja zraka u Kundtovoj cijevi (što je poslije teoretski obradio lord Rayleigh, pa se to zove Dvorak-Rayleighovo strujanje ili cirkulacija, učinak zvuka na male pločice (Dvorakov učinak ili efekt), sila na Helmholtzove rezonatore (Dvorak je konstruirao nekoliko tipova jedno, dvo, tro i četvero rezonatorskih kola, s okruglim otvorima, a ta su se kola okenula potaknuta zvukom: Dvorakovo zvučno kolo). Dvorak je osnovao katedru i kabinet za fiziku, a bio je također i dekan Mudroslovnog fakulteta i rektor Sveučilišta u Zagrebu. Izabran je i za pravoga člana Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti.

– nastavlja se –

## Abstract

The paper gives an insight to the work of a musician Franjo Dugan, senior, in acoustics. Up to now no relevant data of F. Dugan in acoustics have been published, thus we give some new information using method of historical research. In the introduction we first explain what is meant by acoustics, and then point out an intertwining connection of acoustics with mathematics and physics, together with presentation of results by other authors, which leads to a hypothesis on Dugan as an important croatian acoustic physicists. In what follows, for the first time we give an exhaustive presentation of Dugan's study at faculty of Philosophy, University of Zagreb (mathematics and physics, and training in acoustics by the well known physicist Vinka Dvořák, which gave Dugan extreme competence in the field), detailed description of Dugan's work as a mathematics and physics teacher at schools (in total 23 years), and a discussion of his work in acoustics – specially the book 'Nauk o glasbalima' (Science of musical instruments) and the manuscript 'Acoustics'. The importance of presented results is, on one side, that the article throws some light on Dugan's life and work in all aspects, and on the other side, that the manuscript 'Acoustics' is the first comprehensive scientific study of acoustics in croatian language.