

II 39.880

**UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS" GALAȚI**  
**FACULTATEA DE ȘTIINȚE ȘI MEDIU**

**ANALIZA, MODELAREA**  
**ȘI DESIGN-UL CLOPOTULUI BISERICESC**

**REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT**

**OANCEA CONSTANTIN**

**CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:**  
**prof. dr. fiz. CONSTANTIN GHEORGHIȘ**

**GALAȚI**  
**2011**



534  
0-11

ROMÂNIA  
MINISTERUL EDUCAȚIEI, CERCETĂRII, TINERETULUI ȘI SPORTULUI  
UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS DIN GALAȚI

Strada Domnească nr. 47, cod poștal 800008  
Galați, România  
E-mail: rectorat@ugal.ro



Tel: (+4) 0336-130.109; 0336-130.106; 336-130.104  
Fax: (+4) 0236-461.353  
www.ugal.ro

C 11435/08.11.2011

Către

Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați vă face cunoscut că în data de 05.12.2011, ora 10.00, în sala FORINFO a Facultății de Științe și Mediu, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată: "ANALIZA, MODELAREA ȘI DESIGN-UL CLOPOTULUI BISERICESC", elaborată de domnul/doamna QANCEA CONSTANTIN, în vederea conferirii titlului științific de doctor în Domeniul de doctorat - Ingenierie Industrială.

Comisia de doctorat are următoarea componență :

- Presedinte:** Prof.univ.dr.ing. Lucian-Puiu GEORGESCU  
Decan - Facultatea de Științe și Mediu  
Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați
- Conducător de doctorat:** Prof.univ.dr. fiz. Constantia GHEORGHIES  
Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați
- Referent 1:** Prof.univ.dr.ing. Ioan MĂRGINEAN  
Universitatea POLITEHNICA București
- Referent 2:** Prof.univ.dr.ing. Ioan CARCEA  
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași
- Referent 3:** Prof.univ.dr.ing. Iulian-Gabriel RÎRSAN  
Prorector-Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați
- Referent 4:** Conf.univ.dr.ing. Gheorghe FLOREA  
Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați

Cu această ocazie vă transmitem rezumatul tezei de doctorat și vă invităm să participați la susținerea publică. În cazul în care doriți să faceți eventuale aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării, vă rugăm să le transmiteți în scris pe adresa Universității, str. Domnească nr. 47, 800008 - Galați, Fax - 0236 / 461353.



Prof.dr.ing. Viorel

SECRETAR DOCTORAT,

Ing. Luitza AXINTE

Elaborarea acestei teze de doctorat a fost posibilă prin permanenta îndrumare a conducătorului științific: Prof. Dr. Fiz. Constantin Gheorghieș căruia doresc să-i mulțumesc pentru căldura și persuasiunea cu care a coordonat întreaga activitate de cercetare până la finalizarea lucrării.

Mulțumesc din suflet următoarelor firme cu care am colaborat:

- > S.C. UZINSIDER Engineering S.A. Galați, pentru sprijin în anumite determinări, precum și soluționarea unor probleme ce au survenit în utilizarea unor programe în decursul realizării tezei de doctorat.
- > S.C. RANCON S.R.L. Iași, care a asigurat în bună parte condițiile tehnice și materialele pentru turnarea unui clopot după tehnologia rezultată din planul de cercetare și analizele realizate la diferite lăcașuri de cult.

•  
•



## CUPRINS

<b>INTRODUCERE</b>	6
<b>CAPITOLUL I - STADIUL CUNOASTERII CLOPOTUL: ISTORIC ȘI TRADIȚIE</b>	8
<b>CAPITOLUL II - FORMA CLOPOTELOR</b>	9
II.1 Evoluția formei clopotelor	9
II.2 Stadiul actual privind proiectarea computerizată a design-ului clopotelor	11
<b>CAPITOLUL III - MATERIALE UTILIZATE LA TURNAREA CLOPOTELOR</b>	13
III.1 Aliaje utilizate la turnarea clopotelor	13
<b>CAPITOLUL IV - ELEMENTE DE ACUSTICĂ FIZIOLOGICĂ ȘI MUZICALĂ RAPORTATE LA CLOPOTUL BISERICESC</b>	15
IV.1 Elemente de acustică fiziologică și muzicală asociate clopotului bisericesc	15
IV.2 Nivele acustice	15
IV.3 Acustica clopotelor corelată cu forma acestora	16
IV.4 Optimizarea tehnologiei de fabricație în scopul îmbunătățirii calității sunetelor	18
<b>CAPITOLUL V - CONTRIBUȚII PROPRII REZULTATE EXPERIMENTALE PRIVIND ANALIZA ACUSTICII UNOR CLOPOTE DIN ROMANIA</b>	19
V.1 Analiza comparativă a clopotelor înregistrate din punct de vedere al armoniei sunetelor, greutateii și modului de acționare	19
V.2 Programul de analiză Wavanal a sunetelor de clopote WAVANAL	21
V.3 Analiza semnalului utilizând programul SIGVIEW (SIGNAL VIEW)	22
V.4 Interpretarea statistică a datelor	23
V.5 Analiza sunetelor de clopote de la Mănăstirea Căluș - Olt (nr.5)	24
V.6 Concluzii privind analiza sunetelor de clopote (nr. 5, 7, 8, 15, 20): DO2 - RE2 - MI2	29
V.7 Concluzii privind analiza sunetelor de clopote (nr. 9,10, 19): MI1- SOL1 - SI - RE2	35
V.8 Rezultate experimentale obținute la măsurarea nivelului de presiune acustică cu sonometrul Peak Tech 5035	41
<b>CAPITOLUL VI - REZULTATE EXPERIMENTALE PRIVIND CORELAȚIA DINTRE ANALIZA SPECTRELOR SUNETELOR, ANALIZA CHIMICĂ ȘI ACORDAREA MUZICALĂ A CLOPOTELOR DE LA MĂNĂȘTIRILE: COCOȘ, SAON, CELIC-DERE</b>	44
VI.1. Analiza spectrelor sunetelor de la mănăștirile: Cocos, Saon, Celic-Dere	44
VI.2. Analiza chimică a clopotelor de la Mănăștirile: Saon și Celic-Dere	45
VI.3 Corelații frecvență, nota muzicală, nivel de presiune sonoră LAeq	47
VI.4 Determinarea curbei de ponderare în frecvență Cz pentru clopotele de la Mănăștirile Cocos, Saon și Celic-Dere	48
VI.5. Dispozitiv pentru măsurarea cotelor interioare și exterioare ale clopotelor	49

<b>CAPITOLUL VII - REZULTATE EXPERIMENTALE PRIVIND PROIECTAREA FORMEI CLOPOTELOR BISERICESTI</b>	50
VII.1 Proiectarea formei clopotului în stil german	50
VII.2 Proiectarea formei clopotului în stil frantuzesc	51
VII.3 Proiectarea formei clopotului în stil rusesc	52
VII.4 Estimarea ecuațiilor ce conduc la reliefaarea profilelor clopotelor realizate în diferite stiluri	53
<b>CAPITOLUL VIII - STUDII COMPARATIVE PRIVIND TEHNOLOGIA DE FORMARE-TURNARE A CLOPOTELOR</b>	57
VIII.1 Metoda clasică de formare cu miez din cărămizi fasonate	57
VIII.2 Metoda de formare cu model metalic fără plan de separație	59
VIII.3 Metoda de formare cu model metalic cu plan de separație și miez din amestec de formare	60
<b>CAPITOLUL IX - REZULTATE EXPERIMENTALE PRIVIND REALIZAREA UNUI CLOPOT BISERICESC</b>	61
IX.1 Contributii privind turnarea unui clopot	61
IX.2 Parametri de proiectare în vederea obținerii clopotului	62
IX.3 Execuția clopotului după proiect	62
IX.4 Determinarea compoziției chimice a clopotului turnat	70
IX.5 Microscopie electronică cu baleiaj	71
IX.6 Studii privind tonalitatea clopotului turnat la S.C. RANCON S.R.L. Iași	72
<b>CAPITOLUL X – CONCLUZII GENERALE SI CONTRIBUȚII PROPRII</b>	73
<b>BIBLIOGRAFIE</b>	75

## INTRODUCERE

### **SCOPUL LUCRĂRII**

Prezenta teză de doctorat realizează un *studiu complex asupra clopotului bisericesc din punct de vedere al design-ului, al producerii sunetelor în corelație cu forma, dimensiunile și compoziția chimică a aliajului, realizat prin operațiile tehnologice de elaborare- turnare.*

Scopul lucrării este de a corela datele analitice referitoare la calitatea aliajului destinat turnării clopotului - exprimată prin compoziția chimică, analiza frecvențelor parțiale provenite de la sunetele acestuia, precum și modelarea fizico-matematică în vederea îmbunătățirii formei clopotului, în vederea asigurării armoniei sunetelor, reducerii consumului de metal (aliaj) necesar turnării și obținerii unui design cât mai plăcut al acestuia.

*Obiectivele lucrării prezentate în teză constau în:*

1. realizarea unui dispozitiv mecanic în vederea stabilirii cotelor interioare și exterioare (diametrului și înălțimii), pentru obținerea profilului clopotelor bisericești;
2. efectuarea măsurătorilor (releveul) necesare trasării profilului unor clopote aflate în diferite lăcașuri de cult;
3. studiul compoziției chimice a aliajelor din care s-au turnat clopotele de la mănăstirile Cocoș, Saon și Celic-Dere, în vederea stabilirii unui material destinat realizării clopotelor cu o acustică dorită;
4. analiza acusticii unor clopote aflate în diverse lăcașuri de cult (biserici și mănăstiri) din țară cu ajutorul unor software adecvate: Samuray, Wavanal și Sigview;
5. stabilirea corelației dintre parametrii dimensionali, compoziția chimică și acustica clopotelor de la cele trei mai importante mănăstiri din județul Tulcea (Cocoș, Saon și Celic-Dere);
6. proiectarea celor mai reprezentative tipuri de clopote (rusesc, german, francez) în vederea analizării profilului acestora, tonalității și, totodată, configurației economice;
7. stabilirea ecuațiilor profilelor interioare și exterioare ce stau la baza proiectării ulterioare a șabloanelor utilizate la generarea formei clopotelor;
8. proiectarea unui clopot pe baza concluziilor desprinse din analizele privind forma, materialul și acustica unor clopote aflate la diverse biserici și mănăstiri din țară și a schișelor rezultate în urma stabilirii profilelor celor mai importante ateliere de confecționare a acestor obiecte de cult;
9. turnarea unui clopot după un proiect realizat în urma cercetărilor efectuate;
10. crearea unei baze de date privind caracteristicile tipo-dimensionale, fizico-chimice ale aliajelor folosite la turnare și proprietățile acustice ale clopotelor aparținând unor lăcașuri de cult din România și corelația dintre ele, în vederea obținerii unui volum de date, a inventarierii lor, pe de o parte - unele fiind adevărate piese de patrimoniu, iar pe de altă parte, pentru asigurarea materialului preliminar altor studii și cercetări în domeniu.

Lucrarea este structurată pe capitole, în modul următor:

- CAPITOLUL I, *Clopotul: istoric și tradiție.*
- CAPITOLUL II, *Forma clopotelor: se prezintă succint evoluția formei clopotelor până la stadiul actual privind proiectarea computerizată a design-ului clopotelor: modelul matematic al clopotului, modificarea schiței clopotului pentru obținerea acusticii dorite.*
- CAPITOLUL III, *Materiale folosite la turnarea clopotelor: proprietățile bronzurilor cu staniu și utilizarea lor și a materialelor feroase la turnarea clopotelor.*
- CAPITOLUL IV, *Elemente de acustică fiziologică și muzicală raportate la clopotul bisericesc: caracteristicile fiziologice ale sunetului, particularitățile producerii sunetului, analiza vibrațiilor clopotului.*
- CAPITOLUL V, *Rezultate experimentale privind analiza acusticii unor clopote din România, ce au vizat următoarele: analiza comparativă a sunetelor de clopote cu soft-uri: Wavanal, Sigview, FFT și statistică. Măsurarea nivelului echivalent de zgomot cu sonometrul PEAK TECH 5035: determinări ale valorii în dB (A), în diferite puncte: atât în lăcașuri bisericești, cât și la limita de proprietate a acestora.*
- CAPITOLUL VI, *Rezultate experimentale privind corelația dintre analiza spectrelor sunetelor, compoziția chimică și acordarea muzicală a clopotelor de la Mănăstirile: COCOȘ, SAON și CELIC-DERE, utilizând instalațiile și soft-urile Samuray și Wavanal, respectiv spectrometrul Innov- X system.*
- CAPITOLUL VII, *Rezultate experimentale privind proiectarea formei clopotelor bisericești: sunt prezentate profile clasice de clopote și reliefate contribuțiile proprii privind metodele de proiectare ale unui*

clopot cu masa de 7 kg și diametrul de 196,4 mm, precum și ecuațiile matematice reprezentative ale profilelor de clopote în variantele de proiectare.

➤CAPITOLUL VIII, *Cercetări documentare comparative privind tehnologia de formare-turare a clopotelor*; au fost analizate cazurile: metoda clasică de formare cu miez din cărămizi fasonate, metoda de formare cu model metalic fără plan de separație și metoda de formare cu model metalic cu plan de separație și miez din amestec de formare.

➤CAPITOLUL IX, *Rezultate ale cercetărilor experimentale privind realizarea unui clopot bisericesc*, cuprinde contribuții proprii referitoare la: parametrii de proiectare în vederea obținerii clopotelor cu o sonoritate dorită, dirijarea în acest scop a procesului tehnologic de formare și elaborare-turare a aliajului și microscopie electronică cu baleiaj pentru identificarea unei corelații "compoziție - structură - sonoritate dorită".

➤ CAPITOLUL X, *Conchiziile generale și contribuțiile proprii*, reliefează sintetic rezultatele cercetărilor efectuate și prezentate în teza de doctorat, precum și direcțiile de cercetare ce vor fi abordate în viitor.

## VALORIFICAREA REZULTATELOR TEZEI DE DOCTORAT

### A) Lucrări publicate în reviste cotate ISI

OANCEA, Ctin; GHEORGHIȘ, C; FLOREA, G; FLOREA B., *XRD Studies on superficial layer of steel subjected to fatigue process*, *Meturgia International*, Volume: 15, Issue: 11, pages: 66-68, published: 2010

OANCEA, Ctin; GHEORGHIȘ, C.; CONDURACHE-BOTA SIMONA, *Complex analysis of the bells' sounds from the "Saint Trinity" Cathedral from Alba Iulia*, *European Journal of Science & Theology*, December, 2011, vol.7, No.4, pag.103-119.

FLOREA B., HAGIOGLU, P.; GHEORGHIȘ, C.; CANTARAGIU, A.M.; OANCEA, Ctin; ATANASIU, O.V., *Corrosion behaviour of some metallic samples in NaCl solution*, *Meturgia International*, No.11,2011, p.169.

### B) Lucrări publicate în reviste BDI

GHEORGHIȘ, C.; LEVCOVICI, S.; PĂUNOIU, V.; GHEORGHIȘ, L.; OSTACHE, I.; OANCEA, Ctin, ALEXANDRU P., *XRD Analysis in front of a corrosion crack tip*, *The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle IX, Metallurgy and Materials Science No. 1 – 2008, ISSN 1453 – 083X, PP.37-46.*

GHEORGHIȘ, C.; GHEORGHIȘ, L.; OANCEA, Ctin; HAGIOGLU, P.; ATANASIU, O.V., *On the corrosion behavior of organic nanocomposite coatings*, *The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle IX, Metallurgy and Materials Science, No. 2 – 2009, ISSN 1453 – 083x, pp.38-41.*

OANCEA, Ctin; GHEORGHIȘ, C.; CONDURACHE-BOTA, S., *Comparative analysis of bell sounds from several Romanian orthodox monasteries and churches*, *Journal of Science and Art*, 2010, 12(1):199-204

G. FLOREA; C. OANCEA; C. GHEORGHIȘ; L. GHEORGHIȘ - *New Achievements in Manufacturing of Church Bells*, *The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle IX, Metallurgy and Materials Science, No. 3, sept. 2010, pp.42-47, ISSN 1453 – 083X*

GHEORGHIȘ, C.; OSTACHE, I.; GHEORGHIȘ, L.; OANCEA, Ctin., *Using of Laser Radiation in micromachining process of metals*, *Nonconventional Technologies Review - No. 4 / 2007, p.17-22*

### C) Cărți

Hirsch, Jürgen / Skrotzki, Birgit / Gottstein, Günter (Editors), *Aluminium Alloys, Their Physical and Mechanical Properties*, Edition - October 2008, Wiley-VCH, Weinheim.

GHEORGHIȘ, C.; CIOCAN, O.; PAUNOIU, V.; OANCEA, Ctin, *Structural Changes Induced by Hydrostatic Extrusion Process of Aluminum*, pag.1850-1858.

### D) Lucrări susținute și prezentate la diverse Sesiuni științifice naționale sau internaționale

GHEORGHIȘ, C.; CIOCAN, O.; PAUNOIU, V.; OANCEA, Ctin, *Structural Changes Induced by Hydrostatic Extrusion Process of Aluminum*, *Proceedings of ICAAI1, Aachen, Germany, Sept.24-27, 2008, vol. 2, pp.1280-1285.*

FLOREA, G.; OANCEA, Ctin; GHEORGHIȘ, C., *New Achievements in Manufacturing of Church Bells*, *ARCAST 2010, pp. 155-157*

## STADIUL CUNOAȘTERII

### CAPITOLUL I

### CLOPOTUL: ISTORIC ȘI TRADIȚIE

Încă de la începutul Epocii Bronzului, toate orașele și satele din China aveau câte un turn ce adăpostea un clopot destinat anunțării orei; suna la apariția unei incendiu sau a unor calamități naturale. În India clopotele devin sinonime cu instrumentele muzicale. După gândirea budistă sunetele instrumentelor muzicale se aueau în clopot.

Între anii 1520 și 1521 în orașul Pskov, trei frați Mikhail, Onufry și Maxim Andreev au turnat două clopote pentru Mănăstirea Spaso unul cântărind 3500 pounds (1583 kilograme) și celălalt 7000 pounds (3171 kilograme) o greutate destul de mare și pentru zilele noastre, în timp ce cele mai mari clopote turnate în Pskov nu au depășit 14000 pounds (6342 kilograme) [75;103].

În anul 1551 în timpul domniei Țarului Ivan al IV-lea a fost turnat un clopot având o greutate de 77500 pounds (35107 kilograme), acest clopot datorită timbrului muzical deosebit a fost numit „Lebăda” (fig.1.1).

În 1599, Andrej Chokhov, considerat fondatorul școlii de turnătorie din Moscova toamnă la Kremlin Clopotul Godunov având o greutate de aproximativ 38 de tone. Acest clopot va fi retopit de două ori, prima dată în 1654 de Emilian Danilov, acesta îi crește greutatea la 144,5 tone, Danilov a turnat în 1655 un alt clopot cântărind aproximativ 155 de tone. A doua retopire a avut loc în 1735 fiind realizată de Mikhail Matorin care a mărit greutatea clopotului la 218 tone, acest clopot fiind celebrul „Tsar-kolokol” (fig.1.2).



Fig. 1.1. Clopot cu masa 700 kg, turnat în secolul al XV-lea în timpul lui Ivan cel Groaznic



Fig. 1.2. Clopotul Țar

În ceea ce privește originea clopotelor românești, în Dobrogea, în sec. III-II î.e.n. este localizată o descoperire care conține de astă dată clopotul ca *simbol*. Este vorba despre sarcofagul sculptat în marmură alb-violacee, descoperit la Tomis.

Clopotul este atestat în continuare și la *dacii liberi* (ex. Mătăsaru, jud. Dâmbovița), dar mai ales în teritoriul roman, fiind folosit în cultul Cybelei, pentru a alunga spiritele malefice, pentru protecția turmelor și a recoltelor, ca piesă de harnașament etc. În aceeași perioadă a Daciei Traiane, în Dobrogea, au fost descoperiți trei clopoței de bronz: unul la Tomis și ceilalți doi de la Adamclisi - teritoriul așezării romano-bizantine de la Tropheum Traiani, fig. 1.3 și fig. 1.4 [16].



Fig.1.3 Tomis – sec. III e.n.



Fig.1.4 Adamclisi sec. V-VI e.n.





Clopoțele au fost considerate simbol al vestirii Evangheliei. Părintele Alexander Schmemmann, în celebra sa lucrare "Euharistia - Taina Împărăției", considera că Sfânta Liturghie este, în primul rând, o Taină a Adunării. *Hristos a venit "pentru ca pe fiii împrăștiați ai lui Dumnezeu să-i adune într-una"* (Ioan 11, 52). Inscricțiunile întâlnite pe vechile clopote creștine reamintesc rostul lor ocrotitor, de mântuire și vestire, adevărind *cuvintele Scripturii*, care zic: *"În tot pământul a ieșit vestirea lor"*.

În Țările Române clopoțele au cunoscut o răspândire și utilizare foarte largă, fiecare biserică, mănăstire sau schit având unul sau mai multe clopote. Cel mai vechi clopot se află la Mănăstirea Cotmeana, ctitorie a lui Mircea cel Bătrân.

## CAPITOLUL II FORMA CLOPOTELOR

### II.1 EVOLUȚIA FORMEI CLOPOTELOR

Clopoțele au avut de-a lungul timpurilor diverse forme: pătrată, rectangulară, eliptică, ascuțit-eliptică, în formă de bol, cupă, lotus, butoi, cu obadă netedă sau rectangulară.

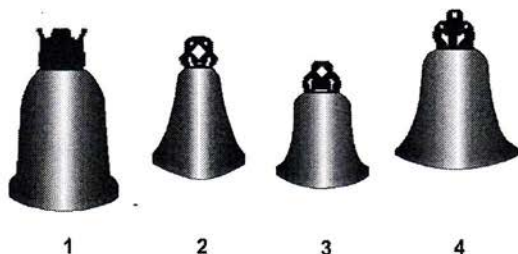


Fig. 2.1. Clopote de diferite forme: 1 – forma „stup de albine”, anul 1124; 2 – forma „calup de zahăr”, anul 1175; 3 – forma „cupă”, secolele XIII – XIV; 4 – forma „gotică”, anul 1389

Pe primul plan a stat stabilirea formei artistice necesare. În acest sens la turnarea clopoțelor s-a trecut printr-o perioadă de imitare a contururilor unor forme naturale – „stup de albine” în secolele al XI-lea și al XII-lea; „calup de zahăr”, „ceașcă”, „cupă” în perioada cuprinsă între secolul al XII-lea și al XIV-lea, până s-a ajuns la forma de leala a clopotului modern, a cărei apariție poate fi atribuită epocii gotice de unde și denumirea de „formă gotică” (fig. 2.1) [16;18].

Evoluția formei clopotului în ultimii 300 de ani, se poate observa din figura 2.2.

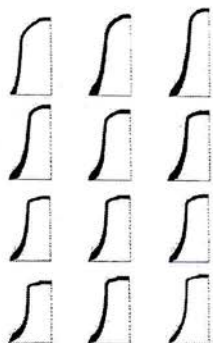


Fig. 2.2. Evoluția formei clopotului în ultimii 300 de ani [48]

Datorită formelor diferite ale grosimii clopotului, proprietățile pot fi împărțite în diferite categorii, și anume: *a. după aspectul muzical:* distincția se bazează pe grosimea peretelui clopotului. O distincție va fi găsită între a șasea, a șaptea și a opta;

*b. după aspectul exterior:* în funcție de design-ul lor, se disting după construcție și li se atribuie diferite stiluri de forme. Aceste forme sunt: stup, zahăr, intermediară, pereți gotici (grosimea sa), grosimi secundare, baroc și formă modernă.

*c. după greutatea peretelui (grosimea).* Această clasificare a clopotelor este comună: ușoare, medii și coaste grele.

Particularitatea acestei linii o constituie estetica antropomorfă specifică a formei clopotelor, care s-a răsfrânt asupra terminologiei din practica turnătorilor și în denumirea părților componente ale clopotelor: urechi, limbă, cap, buză, umăr, grosime perete (coamă) etc., figurile 2.3 și 2.4.

Sunetul generat prin lovirea unui clopot se compune în principal din: fundamentala (prime), octava inferioară, quinta, terța și octava superioară (fig. 2.5).

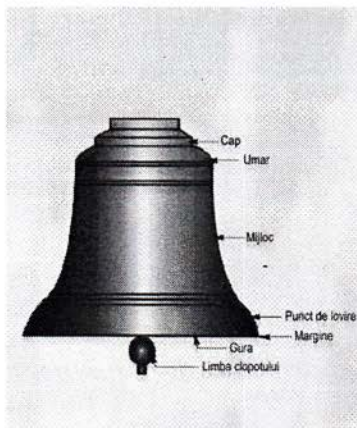


Fig. 2.3. Denumirea părților componente ale clopotelor [3]

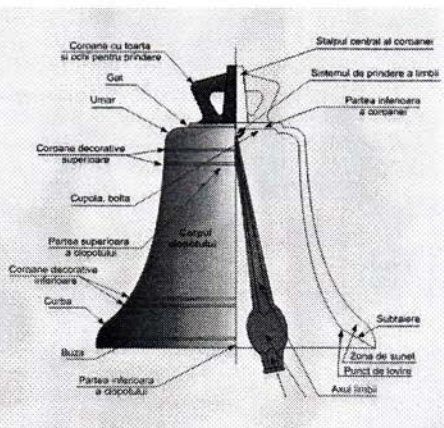


Fig. 2.4. Denumirea elementelor clopotului rusesc [80]

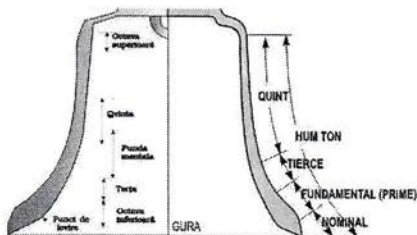


Fig. 2.5. Dispunerea principalelor părțiale pe înălțime în cazul unor clopote europene [32;39]

Prin forma sau învelișul clopotului se înțelege profilul clopotului care arată atât peretele de la marginea de jos până la zona de sus și a boltei, dar și proporțiile corpului clopotului, descriind astfel configurația (forma) acestuia. De structura lui depinde configurația armonică (tipul clopotului), precum și tonalitatea. Partea superioară, arcuită, poartă numele *boltă*. În cel mai de sus punct al ei se situează *coroana*, care la rândul ei este alcătuită din mai multe brațe sau mânere, dispuse în jurul unei bucle. Clopotele moderne pot avea, în locul unei coroane cu brațe, o flanșă rotundă numită și *coroană-disc*. De regulă, coroanele nu se fixează direct pe boltă, ci pe un postament plat, numit *platou* [158]. Zona puternic curbată unde forma clopotului coboară abrupt, poartă numele *umăr*. De el este legat peretele sau *învelișul*, care formează cea mai

mare parte a clopotului. Cea mai de sus parte a învelișului, direct legată de umărul clopotului poartă numele de *gât*. Învelișul se termină la *cercul de impact*, punct în care și curbura clopotului își modifică direcția. În acest loc, clopotul are cea mai mare rezistență a peretelui, unde este activ pendulul (*limba clopotului*). Cercul de impact se termină la marginea de jos cu tăietura, acolo unde clopotul atinge cel mai mare diametru.

În toate clopotele, creșterea diametrului conduce la scăderea înălțimii sunetului, în timp ce o creștere corespunzătoare a grosimii (și rigidității în consecință) conduce la ridicarea înălțimii sunetului. *O grosime adecvată a zonei de sunet este deosebit de importantă*, fig.2.6.

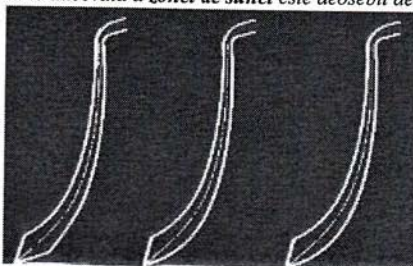


Fig. 2.6. Profile tipice de clopote de turn:  
a - profil de clopot, stil francezesc; b - profil de clopot, stil german; c) profil rusesc [39,50,102]

Limba clopotului trebuie să lovească, de asemenea, în punctul corect al zonei de sunet; abateri ușoare în sunet pot fi observate, în funcție de punctul de lovire.

O limbă de clopot prea grea, nu numai că produce distorsiunea tonalității, dar poate deteriora fatal clopotul.

## II.2 Stadiul actual privind proiectarea computerizată a design-ului clopotelor

Design-ul clopotului urmărește realizarea desenelor, la scară, ale clopotului, limbii, coroanei și contragreutății, cât și o simulare a mișcării de rotație a clopotului și a limbii.

Desenele urmăresc obținerea unui design cât mai frumos și o funcționalitate cât mai bună a tuturor componentelor. Prin desen și simularea mișcării clopotului și a lovirii lui de către limbă se urmărește și obținerea unei acustici mai bune [52;76].

### > Proiectarea asistată de calculator a clopotelor

Realizarea unui program care să conducă la proiectarea asistată de calculator a clopotelor s-a făcut plecând de la dependența formă-acustică. Principalul factor care determină sunetul unui clopot este profilul acestuia, după care se confecționează șabloanele care servesc pentru obținerea, prin rotire, a formei interioare și exterioare.

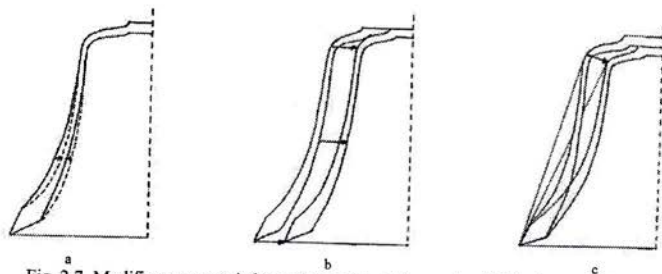


Fig. 2.7. Modificarea coastei clopotului pentru obținerea tonului fundamental dorit

În timp s-a observat că înălțimea principalului ton al clopotului depinde considerabil de grosimea peretelui acestuia în locul lovirii de către limbă. Astfel, din figura 2.7 se observă că orice modificare a profilului clopotului s-a făcut cu păstrarea acestei grosimi, fie că s-a redus grosimea peretelui (fig. 2.7, a) sau diametrul (fig. 2.7, b), fie că s-au redus înălțimea și

diametrul superior (fig. 2.7, c). Dimensionarea grosimii peretelui pe înălțimea profilului este determinantă pentru tot clopotul și pentru acustica lui [24].

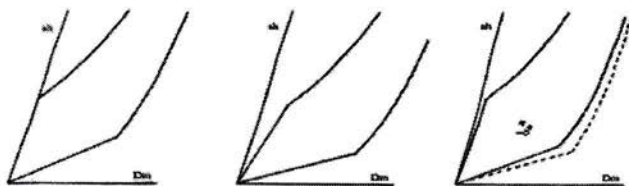


Fig. 2.8. Modificarea bazei clopotului pentru obținerea acusticii dorite [36;73;94]

Așa cum se arată din figura 2.8 obținerea acusticii dorite se poate face și prin modificarea formei bazei clopotului, fără modificarea diametrului de bază, respectiv a dimensiunilor trunchiului de con în care este înscris clopotul.

#### ➤ Design-ul computerizat al clopotului

Astăzi în majoritatea turnătoriilor lumii se folosește computerul pentru design-ul clopotelor. AUTODESK INVENTOR este un software 3D comprehensiv, flexibil pentru design, simularea produselor, posibilitate de creație și design-ul comunicării.

Cu ajutorul softurilor specializate se urmărește: realizarea geometriei viitorului clopot, pornindu-se de la secțiunea clopotului; analiza: vibrațiilor clopotului, acusticii clopotului, proprietăților mecanice și metalurgice ale clopotului, uzurii clopotului, tensiunilor la care este supus clopotul în urma bătăilor limbii, intensității impactului limbii asupra clopotului, simulării mișcării și analiza sunetelor clopotului.

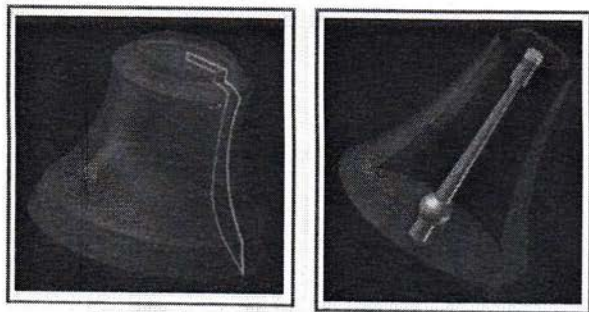


Fig. 2.9. Design clopot – în programul Autodesk Inventor

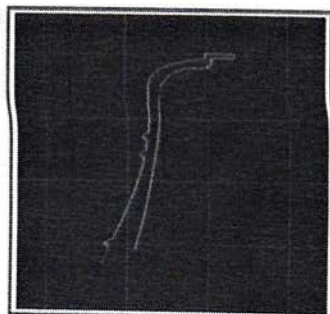


Fig. 2.10. Dimensionarea profilului clopotului

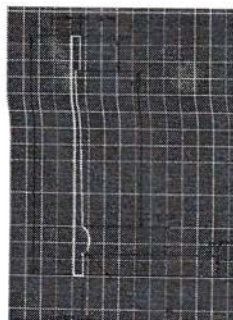


Fig. 2.11. Dimensionarea profilului limbii

### Crearea tridimensională a limbii clopotului

Imaginea 3D a limbii clopotului se realizează pe baza profilului bidimensional din fig. 2.11 și redată în fig. 2.12.



Fig. 2.12. Imagini 3D ale limbii clopotului realizate în programul Autodesk Inventor

## CAPITOLUL III MATERIALE UTILIZATE LA TURNAREA CLOPOTELOR

### III.1 Aliaje utilizate la turnarea clopotelor

În prezent cel mai bun aliaj folosit la realizarea clopotelor este considerat bronzul cu 70-80% Cu, 20-22% Sn și 1-2% alte elemente, care, în anumite cazuri nu depășesc 1%.

Compoziția bronzului variază de la aproximativ 70% Cu și 30% Sn (în raport de masă) până la 90% Cu și 10% Sn. Majoritatea clopotelor sunt confecționate în funcție de dimensiunile clopotului. În bronzul utilizat la turnarea clopotelor de dimensiuni mari este folosit mai puțin staniu (maxim 18%), pe când în bronzul utilizat la turnarea clopotelor de mici dimensiuni procentul de staniu poate ajunge până la 25%. Compoziția aliajului determină duritatea clopotului. Proporția cupru-staniu este extrem de importantă pentru calitatea clopotului, nu numai din punct de vedere al durabilității, ci și al rezonanței, duratei sunetului și al timbrului. În figura 3.1 se prezintă diagrama de echilibru termic a sistemului binar Cu-Sn, cu evidențierea aliajului CuSn14.

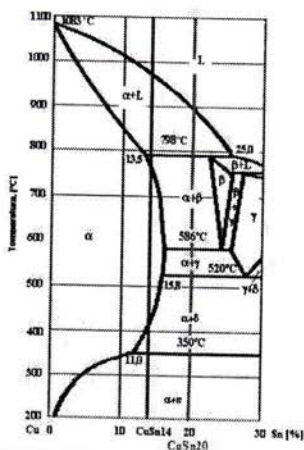


Fig. 3.1. Diagrama de echilibru termic a sistemului binar Cu-Sn, vizualizare domeniul conținutului procentual 0÷30 % Sn [14,66]

Proprietățile mecanice ale bronzurilor cu staniu variază în funcție de conținutul de Sn, astfel: în domeniul 0 ÷ 8 % Sn, în care aliajele sunt monofazice, soluția solidă  $\alpha$  este plastică și imprimă bronzurilor o rezistență mecanică bună combinată cu valori ridicate ale alungirii; în practică numai bronzurile cu staniu cu un conținut cuprins între 5 ÷ 6 % Sn au o structură constituită în întregime din grăunți de soluție solidă  $\alpha$ ; între 8 ÷ 10 % Sn, apariția

eutectoidului ( $\alpha + \delta$ ) dur și fragil face să crească proprietățile de rezistență menținându-se aproximativ constantă alungirea; când conținutul în staniu ajunge la 10-20 %, apare soluția solidă  $\beta$  care îmbunătățește rezistența la rupere (ex. CuSn14 - alungirea A, 2%), dar la aproximativ 18 % Sn alungirea devine nulă.

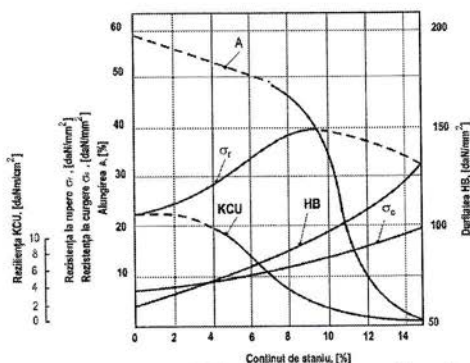


Fig. 3.2 Variația caracteristicilor mecanice ale bronzurilor cu Sn în funcție de conținutul de Sn

La creșterea conținutului în staniu, singurul parametru care înregistrează o creștere continuă este duritatea fapt explicat de apariția în structură a fazei  $\beta$  și a eutectoidului ( $\alpha + \delta$ ) constituenți fragili și cu duritate mare.

În fig. 3.2 se prezintă variația caracteristicilor mecanice, ale aliajelor Cu-Sn în funcție de conținutul procentual de staniu, pentru reliefaarea proprietăților mărcii CuSn14. La conținuturi de până la 14 %Sn, structura - soluție solidă  $\alpha$  - este relativ moale și plastică (la cald și la rece).

**Principalul factor care determină proprietățile sonore ale bronzului pentru clopote îl reprezintă structura sa, mai ales prezența fazei  $\delta$ .**

Asupra caracteristicilor bronzului o anumită influență o au și alți factori cum ar fi: puritatea, dimensiunile grăunților, porozitatea, factori care depind de tehnologia de turnare.

Caracteristicile sonore deosebite ale acestor aliaje le recomandă ca singurul material rațional pentru confecționarea clopotelor.

**Adaptarea compoziției se alege în așa fel încât să se asigure raportul celor două faze:  $\delta$  foarte fragilă care imprimă caracteristicile sonore ale aliajului și faza  $\alpha$  plastică purtătoarea proprietăților mecanice (rezistență și plasticitate).**

Din punct de vedere al *caracteristicilor sonore*, materialelor li se impune o bună generare și transmitere a sunetelor, care iau naștere la lovire, adică o perioadă mare de oscilație. Din punct de vedere al *proprietăților de turnare* și al celor de exploatare, bronzul cu staniu s-a dovedit a fi un aliaj cu o bună fluiditate și o ridicată rezistență la coroziune.

Prezența fierului și a plumbului în bronzul pentru clopote determină o reducere a durității iar sunetul va avea de suferit. Elemente cum ar fi: aluminiul, fosforul, magneziul, bismutul, fierul, cobaltul, sau nichelul înrăutățesc caracteristicile sonore ale clopotului.

*Proprietățile chimice.* Bronzurile cu staniu au o bună rezistență la coroziune în prezența agenților atmosferici, a apei de mare, a unor săruri, precum și în alte medii datorită formării unui strat protector de carbonat bazic la suprafața pieselor (malahit, azotit).

*Proprietăți mecanice.* Bronzurile cu staniu au culoarea în funcție de conținutul de staniu din aliaj astfel: bronzurile cu staniu ce conțin până la 8 % Sn au o culoare galben roșiatică; bronzurile cu staniu cu un conținut de aproximativ 14 % Sn au o culoare gălbuie; bronzurile cu staniu cu un conținut de 27 % Sn au o culoare cenușie.

Pentru a îmbunătăți proprietățile mecanice, în ultimul moment al turnării, se aplică bronzurilor cu staniu fenomenul de modificare prin adăugarea în topitură a unei cantități de B,

V, Cr, Zr, Ti, care formează compuși greu fuzibili cu rol de centri de cristalizare forțată finisând structura.

*Proprietățile de turnare* Datorită intervalului mare de solidificare, bronzurile cu staniu, au o fluiditate mică și o tendință de creștere a porozității pieselor turnate. Pentru a elimina aceste deficiențe în aliajele de turnătorie se adaugă zinc, pentru a restrânge intervalul de solidificare și pentru a diminua tendința de segregare și porozitate.

Bronzurile au o conductibilitate termică și electrică ridicată care se micșorează odată cu creșterea conținutului de Sn sau a celorlalte elemente de aliere și în special a impurităților.

Elasticitatea și densitatea mediului de propagare determină viteza de propagarea sunetului prin acel mediu. Bronzul care este mai greu și mai dur conține cantități mari de staniu și puțin plumb, într-un aliaj cu mai mult de 25% staniu va avea un punct de topire scăzut, devenind fragil și sensibil la fisurare. Aliajul care se situează la limita domeniului de fragilitate este bronzul cu 20-25% Sn. Ar fi vorba de două cerințe contradictorii: pe de o parte cât mai mult staniu pentru a asigura în clopot cât mai multă fază  $\delta$  pentru a-i asigura duritatea și caracteristicile sonore, iar pe de altă parte nu prea mult staniu pentru a-i asigura elasticitatea.

Trebuie să se respecte compoziția chimică, ținând cont de un raport strict între cele două faze:

- > faza  $\delta$  foarte fragilă, care imprimă caracteristicile sonore ale aliajului;
- > faza  $\alpha$  plastică, care generează proprietățile de rezistență mecanică și plasticitate.

Din punct de vedere al caracteristicilor sonore, materialelor li se cere o bună generare și transmitere a sunetelor, care iau naștere la lovire, adică o perioadă mare de oscilație. Existența unei bune elasticități (o perioadă de timp mare până la stingerea sunetului), a unei densități mari și a unei porozități minime fac ca materialele să aibă bune proprietăți sonore.

Din punct de vedere al proprietăților de turnare și al celor de exploatare, bronzul cu staniu s-a dovedit a fi un aliaj cu o bună fluiditate și o ridicată rezistență la coroziune.

## CAPITOLUL IV

### ELEMENTE DE ACUSTICĂ FIZIOLOGICĂ ȘI MUZICALĂ RAPORTATE LA CLOPOTUL BISERICESC

#### IV.1. Elemente de acustică fiziologică și muzicală asociate clopotului bisericesc

Undele elastice cu frecvențe cuprinse între limitele 16 Hz și 20 kHz, produc o senzație auditivă și se numesc *unde sonore* sau *sunete*.

Calitățile sunetului desemnează tipurile de efecte subiective corespunzătoare caracteristicilor cantitative ale undei incidente. În funcție de senzația auditivă produsă, sunetele se deosebesc după înălțime, timbru și intensitate (tăria).

Sunetul prezintă următoarele calități: *înălțimea* corespunzătoare *frecvenței*; *tăria* corespunzătoare *intensității*; *timbrul* corespunzător *conținutului în armonici* al unui sunet compus [13;27;77].

#### IV.2 Nivele acustice

**LEGEA WEBER - FECHNER**, arată că *dacă intensitatea sonoră crește în progresie geometrică, atunci intensitatea auditivă crește în progresie aritmetică*.

*Dacă intensitatea excitației crește în progresie geometrică, intensitatea senzației crește în progresie aritmetică*. Se definește *nivelul de intensitate sonoră L* măsurat în beli (B) (după numele lui Bell) sau în neperi (după numele lui Neper):

$$L = 1g \frac{I}{I_0} \text{ în B sau } L = \ln \frac{I}{I_0} \text{ în Np,} \quad (4.1)$$

unde:  $I_0$  este intensitatea de referință, de obicei pragul auditiv inferior la 1 kHz.  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ .

#### Nivelul intensității auditive

Dacă alegem intensitatea sonoră de referință  $I_0$  variabilă cu frecvența, *corespunzător pragului auditiv inferior*, adică corespunzător lui  $S(I_0, \nu) = 0$ , deci  $I_0(\nu)$ , obținem formula *intensității senzației*

$$\text{în funcție de intensitatea excitației:} \quad S(I, \nu) = k(\nu) 1g \frac{I(\nu)}{I_0(\nu)} \quad (4.2)$$

unde  $I_0(\nu)$  descrie curba pragului auditiv inferior (fig.4.1). Normând constanta  $k(\nu)$  la valoarea  $k = 10$  pentru  $\nu = 1$  kHz, formula (4.2) definește *nivelul intensității auditive* sau *tăria sunetului* în phoni (phon).

Prin urmare, *tăria sunetului exprimată în phoni este egală cu nivelul sonor exprimată în decibeli al sunetului de referință de 1 kHz care produce aceeași intensitate a senzației auditive.*

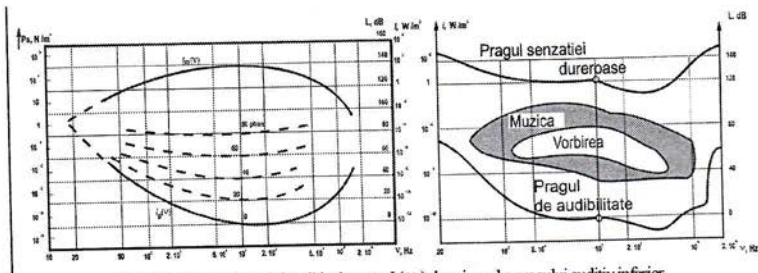


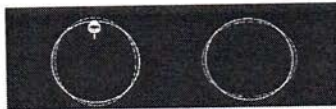
Fig. 4.1. Curbele pragului auditiv; în care  $I_0(\nu)$  descrie curba pragului auditiv inferior, iar  $I_n(\nu)$ , intensitatea maximă a pragului auditiv superior.

### IV.3. Acustica clopotelor corelată cu forma acestora

Limba de clopot lovește clopotul lângă buză, în partea cea mai groasă a arcului, o regiune în care apar mișcarea elastică maximă și rezonanța. Numărul mare de frecvențe produse de sunetul său este fiecare asociat cu caracteristica modurilor de vibrație conținute în clopot. Astfel de linii nodale ale relaxării sunt găsite atât pe verticală în jurul clopotului (numite *meridiane*), cât și pe orizontală la cote diferite (numite *paralele*).

Această mișcare radială dă naștere la alta, cunoscută sub numele de mișcare tangențială, care este o oscilație de compresie-extindere a particulelor peretelui clopotului, fiind complementară cu mișcarea radială și rezultatul logic al deformărilor proprii.

Clopotul poate fi considerat ca o serie de felii subțiri verticale unite împreună. Acest tip de mișcare constă în patru puncte-noduri pe circumferința care nu se deplasează radial de la axa clopotului. Pe conturul circumferinței clopotului sunt prezentate diviziunile nodale (unde liniile întrerupte se intersectează) ale părților importante sau pozițiile meridianelor verticale (fig. 4.2, a, b și c) [120; 139; 140; 156].



a. Două lungimi de undă: tonul HUM, FUNDAMENTAL, primele din patru mai sus de NOMINAL.



b. Trei lungimi de undă: TERȚAMINOR, QUINTA, al doilea set din patru mai sus de NOMINAL.



Fig.4.2

c. Patru lungimi de undă: NOMINAL și alte părți înalte neacordate



Aceste patru noduri echidistante pe verticală, care se întind de la buză spre cap-liniile de repaos sau meridianele, sunt poziționate în funcție de locul unde lovește limba clopotului. Întrucât deformarea inițială a clopotului nu este o elipsă pură, sunt produse alte meridiane nodale. Aceasta a fost determinată ca segmente de vibrație care produc parțiale ale Terței minor și Quintei ce sunt separate de șase meridiane nodale care formează trei lungimi de undă, cele care produc Nominalul (octava fundamentalului) sunt separate de opt meridiane ce formează patru lungimi de undă. Frecvențele mai mari conțin diferite diviziuni nodale echidistante, numerotate 6, 8, 10 și 12, care coincid în parte cu cele patru linii de bază nodale.

Liniiile orizontale de la B la H arată aproximativ pozițiile nodale paralele cu vibrațiile verticale care produc parțialele importante ale clopotului. Tonul HUM -zumzet (frecvența cea mai mică), are un singur nod, capul (fig. 4.3). Forma sa geometrică, dimensiunea și grosimea peretelui sunt responsabile pentru lungimile de undă ale diferitelor frecvențe. Cea mai pronunțată frecvență este într-o corelație matematică simplă cu fundamentalul (fig.4.4).

Cu excepția clopotelor mai mici, nominalul este inițial puternic la impact, dar se diminuează mult mai rapid decât primele trei parțiale, în fapt, *corelația intensității tuturor componentelor se modifică în funcție de timp. Clopotul nu este unic în această privință, deoarece s-a demonstrat că același fenomen se produce într-un șir de vibrații.*

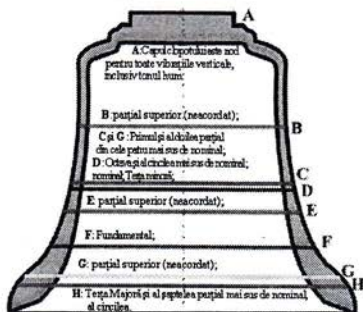


Fig. 4.3. Prezentarea pozițiilor nodurilor paralele ale vibrațiilor verticale care produc parțialele importante în clopot



Fig. 4.4. Prezentarea diagramelor de vibrații verticale în clopot

266.737  
 UNIVERSITATEA DE ȘTIINȚE  
 BUCUREȘTI  
 BIBLIOTECA

Tonalitățile diminuate se obțin din pierderea de energie elastică, deoarece trece în căldură (amortizare internă a metalului) și de la energia de radiație acustică (amortizare externă sau acustică). Cu alte cuvinte, rigiditatea naturală a materialului acționează reducându-i mișcarea vibratorie, de asemenea și rezistența aerului din mediul înconjurător și în consecință, fricțiunea. Putem concluziona faptul că parțialele inițiale relativ tari în clopote de diferite dimensiuni, variază apreciabil cu excepția tendinței generale a tuturor parțialelor superioare de a se estompa mai repede decât cele inferioare.

Când este lovit de limbă, clopotul vibrează într-un mod complex. În principiu, mișcarea sa de vibrație poate fi descrisă în termenii unei combinații lineare de moduri normale de vibrație ale căror amplitudini sunt determinate de distorsiunea clopotului când acesta este lovit. În practică, descrierea devine complexă, datorită unui mare număr de moduri normale a caracterului divers care contribuie la mișcare [17;41].

Nota de bătaie este de interes pentru psihoacusticienii, din cauză că este un ton subiectiv creat de trei armonice parțiale puternice apropiate în sunetul clopotului. Octava sau nominala, a douăsprezecea și octava superioară normală au frecvențe aproape în raportul 2:3:4. Urechea percepe ca fiind aceste parțiale a unui fundamental lipsă, care este auzit ca notă de bătaie sau ca notă de bătaie primară. Sunetele clopotelor sunt de obicei reglate în tonalitatea majoră, astfel încât intervalul în semitonuri dintre două clopote consecutive dintr-un grup este același cu intervalul dintre două note consecutive. Sunetele clopotelor din tonalitatea minoră pot fi trecute la tonalitatea majoră prin *adăugarea unui clopot tenor* a cărui înălțime este mai scăzut cu un ton decât al tenorului existent. Înălțimea unei note este descrisă exact cu frecvența măsurată în Hz ce reprezintă numărul de vibrații complete ale sunetului.

*Scara Naturală* uneori numită și *Scara Diatonică* se bazează pe rapoarte simple probabil derivate din vibrațiile corzilor de lungimi diferite, intervalul dintre fiecare notă și nota de bază este considerat un interval „perfect”. *Scara Egal Temperată* permite o aranjare completă a melodiei și armoniei în muzică și modulare nelimitată în orice tonalitate. Există trei moduri diferite cu ajutorul cărora se poate arăta nota ce determină înălțimea sunetului unui clopot și anume prin *notă*, *nota de lovire* și *frecvența nominală*.

#### IV.4. Optimizarea tehnologiei de fabricație a clopotelor în scopul îmbunătățirii calității sunetelor

Au fost create diferite modele cu elemente finite, incluzând elemente cu funcții pătrățice. Frecvențele vibrațiilor au fost calculate pentru a fi comparate cu datele măsurate acustic ale sunetului de clopot. Mișcarea clopotului a fost simulată cu o suprapunere modală și integrare ne-liniară în timp. Raportul ideal între frecvențe este: 1:2:2:4:3:4:5... Cu toate acestea, clopotele reale nu ating perfecțiunea în formă, fiind necesară acordarea. Modele cu elemente finite au fost utilizate pentru a calcula modurile formelor cu algoritmul subspațial. Desenele modelelor de vibrații sunt prezentate în figura 4.5, fiind utilizate pentru corespondența parțialelor și frecvențelor.



Fig.4.5 Moduri de vibrație (cu alb = rețea nedeformată), [44;73]

## CAPITOLUL V

### REZULTATE EXPERIMENTALE PRIVIND ANALIZA ACUSTICII UNOR CLOPOTE DIN ROMÂNIA

Sunete de clopote au fost înregistrate, editate și transformate în formate de tip: .wav sau .mp3 cu software **Sound Forge** la Radio PRO FM 92,4 MHz Galați, pentru a fi analizate cu software **Wavanal** și **SigView Spectral Analyzer**, în scopul caracterizării acusticii clopotelor provenind de la 25 lăcașuri de cult:

- *Patriarhia Română* - București.
- *Catedrale*: Reîntregirii Neamului -Alba Iulia; Ortodoxă Nouă -Arad; Ortodoxă -Oradea;
- *Biserici Ortodoxe*: Ploiești; Șerbănești; Balta Albă; Bârlad; Micalaca Veche; Mizil; Căiuți; Satul Ocna Dejului; de rit vechi Jurilovca; Ghimbav; Matca; Vaslui;
- *Biserica "Neagră"* - Brașov.
- *Mănăstiri*: Căluș -Olt; Caraiman- Bușteni; Cașin - București; Izvorul Mureșului-Miercurea Ciuc; Putna -Suceava; Morisena; "Mihai Vodă Viteazul"- Câmpia Turzii; Neamț.

Sunetele înregistrate au fost comparate cu *sunete maror* (existente în arhivă) constând în sunete de clopote din diferite armonii: SOL, SI, RE, MI, LA, FA, DO, în vederea constatării diferențelor acustice. Au fost prezentate pe scurt lăcașurile sfinte ale căror clopote au fost menționate în tabelele 5.1 și 5.2: *Analiza comparativă a clopotelor înregistrate din punct de vedere al armoniei sunetelor, masei și modului de acționare* [55;56;59;60].

#### V.1 Analiza comparativă a clopotelor înregistrate din punct de vedere al armoniei sunetelor, greutateii și modului de acționare

Tabelul nr.5.1

Nr. crt.	LOCAȚIA	NUMĂRUL de CLOPOTE	TONUL	DIAMETRU L [cm]	MASA [kg]	DURATA [min]
1	2	3	4	5	6	7
1.	Catedrala Reîntregirii Neamului "Sfânta Treime" "Sfinții Arhangheli Mihail și Gavriil" Alba Iulia - Alba	3 în armonie acționate electric	RE 1 D1 FA1 F1 LA1 A1	136 115 91	1530 890 450	<1'18">
2.	Catedrala Ortodoxă Nouă "Sfânta Treime" Arad	5 în armonie acționate electric	LA 0 A0 MI E1 FA# Fis-ges1 LA1 A1 DO# REb2 Cis-des2	187 122 108 91 75	4058 1054 738 434 250	<2'25">
3.	Biserica "Neagră" Brașov	1 clopot	FA# -SOLb0 Fis-ges0	225	6300	<14">
4.	Catedrala Ortodoxă "Adormirea Maicii Domnului" Oradea - Bihor	5 în armonie	DO# REb1 Cis-des1 MI E1 FA# -SOLb1 Fis-ges1 LA1 A1 DO# REb2 Cis-des2	145 122 108 91 75	1880 1070 745 450 250	<1'26">
5.	Mănăstirea Căluș "Sfântul Nicolae" Olt	3 în armonie	DO 2 C2 RE D2 MI 2 E2	76 68 61	260 185 144	<1'05">
6.	Mănăstirea Caraiman "Înălțarea Sfintei Cruci" Bușteni - Prahova	3 în armonie cu alte 3 vechi existente, acționate electric	FA# -SOLb1 Fis-ges1 LA1 A1 DO# REb2 Cis-des2	108 91 75	745 450 250	<1'29">
7.	Mănăstirea Cașin "Sfinții Arhangheli Mihail și Gavriil" București	3 în armonie	DO 2 C2 RE 2 D2 MI 2 E2	76 68 61	260 185 130	<1'05">
8.	Mănăstirea Izvorul Mureșului "Adormirea Maicii Domnului" Miercurea Ciuc-Harghita	3 în armonie	DO 2 C2 RE 2 D2 MI 2 E2	76 68 61	260 185 130	<1'05">
9.	Biserica Ortodoxă "Sfântul Apostol Andrei" Ploiești -Prahova	4 în armonie	MI 1 E1 SOL1 G1 SI 1 H1 RE 2 D2	122 102 81 68	1070 635 320 185	<34">

10.	Biserica Ortodoxă "Pogorărea Sfântului Duh" Șerbănești - Bacău	4 în armonie	MI 1 E1 SOL1 G1 SI 1 H1 RE 2 D2	122 102 81 68	1070 635 320 185	<1'45">
11.	Biserica Ortodoxă "Sfântul Nicolae" Balta Alba - București	4 în armonie	RE 1 D1 FA1 F1 LA1 A1 DO 2 C2	136 115 91 76	1530 890 450 260	<1'30">
12.	Biserica Ortodoxă "Nașterea Domnului" și "Sfânta Ecaterina" Bărlad - Vaslui	3 în armonie	SI 1 H1 RE 2 D2 FA2 F2	81 68 55,5	320 185 102	<1'33">
13.	Biserica Ortodoxă "Sfinții Arhangheli Mihail și Gavriil" Micalaca Veche - Arad	3 în armonie	SOL1 G1 SI 1 H1 RE2 D2	102 81 68	630 315 185	<1'38">
14.	Biserica Ortodoxă "Sfinții și Dreptii Părinți Ioachim și Ana" Mizil - Prahova	3 în armonie acționare electric	FA#-SOLb1 Fis-ges1 LA1 A1 DO#REb2 Cis-des2	108 91 75	745 450 255	<1'29">
15.	Biserica Ortodoxă "Sfinții Arhangheli Mihail și Gavriil" Căiuți - Onești - Bacău	3 în armonie	DO 2 C2 RE 2 D2 MI 2 E2	76 68 61	260 185 130	<1'05">
16.	Mănăstirea Putna "Adormirea Maicii Domnului" Suceava	4 în armonie	RE 1 D1 MI 1 E1 SOL1 G1 SI1 H1	136 122 102 81	1530 1070 635 320	<2'30">
17.	Biserica Ortodoxă "Sfântul Gheorghe" Dej - Cluj-Napoca	4 în armonie	SI 1 H1 RE2 D2 FA#-SOLb2 Fis-ges2 LA2 A2	81 68 55 46	320 185 97 56	<1'34">
18.	Biserica Ortodoxă de rit vechi "Acoperământul Maicii Domnului" Jurilovca - Tulcea	3 în armonie	RE1 D1 FA#-SOLb1 Fis-ges1 LA1 A1	136 108 91	1530 745 450	<1'48">
19.	Biserica Ortodoxă "Sfinții Apostoli Petru și Pavel" Ghimnav - Brașov - Prahova	4 în armonie	MI 1 E1 SOL1 G1 SI1 H1 RE2 D2	122 102 81 68	1070 635 320 185	<1'45">
20.	Biserica Ortodoxă "Sfânta Cuvioasă Parascheva" Matea - Galați	3 în armonie	DO 2 C2 RE2 D2 MI2 E2	76 68 61	260 185 130	<1'05">
21.	Mănăstirea „Sfântul Ioan Botezătorul” Morisena- Cenad, Timiș	2 în armonie	MI 2 E2 SOL2 G2	61 51	130 78	<21">
22.	Biserica Ortodoxă "Sfânta Cuvioasă Parascheva" Vaslui	4 în armonie	RE 1 D1 FA#-SOLb1 Fis-ges1 LA1 A1 DO# REb2 Cis-des2	136 108 91 75	1500 745 450 255	<1'49">
23.	Mănăstirea "Mihai Vodă Viteazul" Câmpia Turzii, Cluj	1 clopot	SOL2 G2	51	78	<36">
24.	Patriarhia Română "Sfântul Dimitrie cel Nou" București	5 în armonie	DO# - REb1 Cis-des1 RE# -Mib1 Dis-es1 FA#-SOLb1 Fis-ges1 LA# -Sib1 Ais-b1 DO# - REb1	145 132 108 86 245	1850 1390 745 380 9000	<1'43">
25.	Mănăstirea Neamț "Înălțarea Domnului" ("Ierusalimul Ortodoxic Române") Neamț	4 în armonie	MI 1 E1 FA#-SOLb1 Fis-ges1 LA1 A1 RE# - Mib2 Dis-es2	122 108 91 64	1070 745 450 160	<5">

**Analiza comparativă a sunetelor martor cu  
a sunetelor de clopote înregistrate** Tabelul nr.5.2

TONALITATE	ARMONII DE CLOPOTE	NUMARUL SUNETULUI ÎNREGISTRAT/ MARTOR
1	2	3
DO 2 - RE 2 - MI 2	DO - 260 kg, RE - 185 kg, MI - 130 kg.	5, 7, 8, 15, 20
DO# - MI - FA# - LA - DO#	DO# - 1880 kg, MI - 1070 kg, FA# - 745 kg, LA - 450 kg, DO# - 250 kg.	4
RE1 - FA # 1 - LA 1	RE1 - 1530 kg, FA# - SOLb1 - 745 kg, LA 1 - 450 kg.	18
RE2 - FA 2 - LA 2	RE - 1530 kg, FA - 890 kg, LA - 450 kg.	1
RE 1 - FA 2 - LA 2 - DO 3	RE - 1530 kg, FA - 890 kg, LA - 450 kg, DO - 260 kg.	11
RE 1 - FA# 1 - LA 1 - DO# 2	RE - 1500 kg, FA# - 745 kg, LA - 450 kg, DO# - 255 kg.	22
RE 2 - MI 2 - SOL 2 - SI 2	RE - 1530 kg, MI - 1070 kg, SOL - 635 kg, SI - 320 kg.	16
RE <sub>b</sub> - MI <sub>b</sub> - SOL <sub>b1</sub> - SI <sub>b</sub>	DO#(REb1) - 1850 kg, RE#(MIb1) - 1390 kg, FA#(SOLb1) - 745 kg, LA#(SIb1) - 380 kg, DO# - 9000 kg.	24
MI 1 - FA# 1 - SOL# 1 - SI 1	MI - 130 kg, SOL - 78 kg.	21
MI 1 - SOL 1 - SI - RE 2	MI - 1070 kg, SOL - 635 kg, SI - 320 kg, RE - 185 kg.	9, 10, 19
MI 1 - SOL 1 - LA 1 - SI 1	FA# - 6300 kg, MI - 1070 kg, FA#1 - 745 kg, LA 1 - 450 kg, RE# - 160kg.	3 25
FA# 1 - LA 1 - DO# 2	FA# - 745 kg, LA - 450 kg, DO# - 255 kg.	6, 14
SOL# 1 - SI 1 - RE#2	SOL - 630 kg, SI - 315 kg, RE - 185 kg.	13
SOL 1 - LA 1 - DO 2	SOL - 78 kg.	23
LA 0 - MI 1 - FA# 1 - LA 1 - DO# 2	LA - 4058 kg, MI - 1054 kg, FA# - 738 kg, LA - 434 kg, DO# - 250 kg.	2
SI 1 - RE 2 - FA 2	SI - 320 kg, RE - 185 kg, FA - 102 kg.	12
SI 1 - RE 2 - FA# 2 - LA 2	SI - 320 kg, RE - 185 kg, FA# - 97 kg, LA - 56 kg.	17

**V.2. Programul de analiză Wavanal a sunetelor de clopote WAVANAL**

Sunetele clopotelor au fost analizate cu ajutorul programului Wavanal.exe, [94]. Acest program oferă facilitățile reprezentării grafice a sunetelor de clopote înregistrate, identificării frecvențelor parțiale și sintezei sunetelor din lista parțialelor.

$$\text{sutimi cents} = \frac{1200}{\ln 2} \times \ln \left( \frac{f_2}{f_1} \right) \approx 1731,234 \times \ln \left( \frac{f_2}{f_1} \right)$$

1200 sutimi = octavă; 100 sutimi = semiton.

Frecvențele din spectrul unui model de sunet de lungime 2s sunt distribuite la o distanță de 0,5 Hz. Măsurările frecvențelor în această teză au fost luate în general probe la 2s, oferind lățimi de bin 0,5 Hz (au terminația după virgulă, 5, de ex. frecvențele: 520,5 Hz; 706,5 Hz; 1314,5 Hz; 1521,5 Hz).

Pentru fiecare sunet de clopote aparținând locasurilor bisericesti au mai fost calculate conform tabelului 5.3 și intensitatea sunetului, raportarea la frecvența minimă și raportarea la frecvența nominală.

➤ *intensitatea sunetului* [dB], după formula:  $I_{1,2,...,n} = 20 \cdot \lg(a_{1,2,...,n} / a_{\max})$ , [dB]

unde:  $a_{1,2,...,n}$  - amplitudinea parțialului 1, 2, ..., n, iar  $a_{\max}$  - amplitudinea maximă, a celui mai tare audibil parțial din șirul de amplitudini analizate.

➤ raportarea la frecvența minimă, după formula:  $r_{f_{\min}, 1, 2, \dots, n} = \frac{f_{1, 2, \dots, n}}{f_{\min}}$ , unde:  $f_{1, 2, \dots, n}$  reprezintă frecvența 1, 2, ..., n, [Hz],  $f_{\min}$  - valoarea frecvenței minime [Hz]

➤ raportarea la frecvența nominală, după formula:  $r_{f_{\text{nominal}}, 1, 2, \dots, n} = \frac{f_{1, 2, \dots, n}}{f_{\text{nominal}}}$ , unde:

$f_{1, 2, \dots, n}$  reprezintă frecvența 1, 2, ..., n, [Hz],  $f_{\text{nominal}}$  reprezintă frecvența nominală, corespunzătoare parțialului NOMINAL, [Hz].

Analiza caracteristicilor sunetului înregistrat nr.1 [55] Tabel nr.5.3

ÎNREGISTRARE NR.1								
Nr. ord.	Frecvența [Hz]	Amplitudina	Intensitatea sunet [dB]	Parțial	Nota	SuŃimi	Raportare la frecv. min.	Raportare la nominal
1	222	1.167	-18.35	HUM	A0(=)15	-2302	1	0.25
2	438	9.449	0.20	PRIME	A(1)=7	-1209	1.97	0.59
3	650.5	2.362	-10.20	TERCE	C(2)=6	-307.1	2.34	0.83
4	706.5	1.361	-17.01	QUINT	F(2)=19	-378.2	2.18	0.80
5	781	0.1907	-34.00		G(3)=6	-204.6	2.62	0.88
6	879	3.221	-9.28	NOMINAL	A(2)=1	0	3.96	1.00
7	1178	1.64	-16.82		D(3)=4	696.8	6.31	1.34
8	1316	2.018	-13.60	SUPERQUINT	E(3)=2	639.5	6.92	1.62
9	1522	0.6133	-23.26		F(3)=47	943.9	6.88	1.73
10	1913	2.18	-9.64	OCT.NOM.	SB(3)=48	1263	8.17	2.06
11	2033	0.4717	-26.22		B(3)=49	1461	8.18	2.31
12	2156	0.3611	-28.54		DB(4)=49	1663	8.71	2.45
13	2659	0.2106	-33.86		A(4)=18	2421	10.02	4.06
Min.	222	0.18079	-34.19			-2302.0	1.00	0.25
Max.	3540	9.64000	0.00			2421.0	16.03	4.06
Medie	1917.0	2.06000	-18.33			208.7	5.93	1.60
ETDEV*	913.2	2.53100	9.80			1911.7	4.11	1.04

### V.3 Analiza semnalului utilizând programul SIGVIEW (SIGNAL VIEW)

SIGVIEW este o aplicație de analiză a semnalului în timp real într-un domeniu complet de tipuri de analiză spectrală, funcții statistice și soluții grafice comprehensive pentru corelații în 2D sau 3D.

#### ➤ Analiza Fourier

Fiecare termen sinusoidal, numit *armonică* și având frecvențele  $\omega, 2\omega, 3\omega, \dots, n\omega$ , respectiv pulsațiile  $v, 2v, 3v, \dots, nv$ , este caracterizat printr-o amplitudine și o fază determinate:

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + A_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + A_n \sin(n\omega t + \varphi_n) =$$

$$= A_0 + \sum_{k=1}^n A_k \sin(k\omega t + \varphi_k)$$

Primul termen este numit *armonică 1-a* sau *fundamentală*, termenul al doilea este numit *armonică a 2-a* ș.a.m.d. Coeficienții diferiților termeni se calculează prin integrare, aplicând integralele Fourier. Determinarea armonicilor unei funcții  $f(t)$  reprezintă *analiza Fourier* a acelei funcții. Se poate spune că o armonică este o undă a cărei frecvență este un multiplu întreg al unei frecvențe minime numită fundamentală. Descompunerea într-o serie Fourier este reprezentată grafic în funcție de frecvență și se obține în acest fel o *reprezentare spectrală*.

Semnalul este împărțit în segmente mici egal spațiate (cu posibile suprapuneri), FFT este calculat pentru fiecare segment, iar toate secvențele FFT sunt utilizate pentru a construi graficul în 3D, fig.5.1.

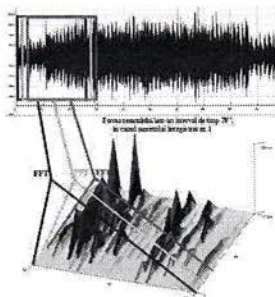


Fig. 5.1 Corespondența dintre amplitudinea semnalului studiat pe un domeniu de frecvență și graficul 3D rezultat

➤ **Observarea spectrogramei**

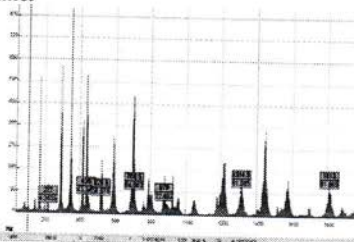


Fig. 5.2 Grafic FFT în domeniul de frecvență 0-1850 Hz cu vizualizarea principalelor parțiale (hum, prime, tierce, quint, nominal, superquint, octave nominal)

După introducerea semnalului de analizat (sunetului înregistrat), cu ajutorul programului SIGVIEW se poate reprezenta grafic dependența amplitudinii de frecvența sunetului.

În figura 5.2 se prezintă spectrograma în cazul sunetului înregistrat nr.1: abscisă: frecvența [Hz]; ordonată: amplitudinea semnalului [55].

**V.4 Interpretarea statistică a datelor** Investigarea statistică presupune, prin definiție, considerarea fenomenelor în multiplicitatea și variabilitatea lor. Au fost calculate valorile minime, maxime, medii și abaterii medii pătratice ale parametrilor: frecvența, amplitudine, intensitate.

*Abaterea medie pătratică, STDEV*- deviația standard estimată pentru intensități, amplitudini și frecvențe. Dispersia ca măsură sintetică a împrăstierii (variației) reprezintă media aritmetică a pătratelor abaterilor valorilor individuale de la tendința lor centrală.

$$STDEV = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

în care:  $x$  este una dintre ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{13}$ ) valorile individuale ale fiecărui parametru intensitate, amplitudine sau frecvență.

În partea stângă a graficului este reprezentată legenda de culori ale valorilor amplitudinii în ordine crescătoare. Se observă că valoarea maximă a amplitudinii corespunde culorii maroniu închis. Amplitudinea maximă de 9,649 (valoarea din tabel) se produce la o frecvență a parțialului PRIME de 438 Hz și o intensitate a sunetului de 0 dB.

➤ Nota muzicală rezultată este A (1) -7, însemnând (nota LA);

A(1) -7, nr. din paranteză (1), imediat după literă, dă indicația octavei;

A(1) -7, nr. final (-7)- deviația în sutimi pentru o notă egal temperată bazată pe A(4)=440Hz.

Domeniul de variație al frecvenței este: 222÷3559 Hz inclus în 0÷4000 Hz, iar domeniul de variație al intensității sunetului: -34,10 ±0 dB inclus în -40±0 dB.

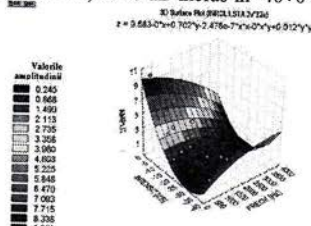


Fig. 5.3 Reprezentarea 3-D a dependenței amplitudinii (z) de intensitate (y) și frecvență (x) în cazul sunetului înregistrat nr.1

În continuare se prezintă doar sunetul nr.5 din setul total de 25 sunete, restul fiind identic, analizându-se la final doar concluziile desprinse din compararea graficelor [55].

V.5. ANALIZA SUNETELOR DE CLOPOTE ÎNREGISTRATE ȘI MARTOR Nr. 5 Armonie DO  
- RE - MI, Mănăstirea Căluși "Sfântul Nicolae" Olt

A. ANALIZA WAVANAL Caracteristici: 3 în armonie DO - 260 kg, RE - 185 kg, MI - 144 kg. Durata: 1'05"

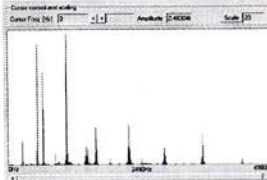


Fig. 5.4 Analiza Wavanal a frecvențelor 328-3765,5 Hz, sunet înregistrat nr.5

Observații înreg.5: La frecvența 1322 Hz, amplitudinea max.: 4,4925, intensitatea sunetului: 0 dB, parțial: NOMINAL, nota E3)

Analiza caracteristicilor sunetului înregistrat nr.5 Tabel nr.5.4

ÎNREGISTRARE NR.5								
Nr. crt.	Frecvența [Hz]	Amplitudinea	Intensitatea sunet [dB]	Parțial	Nota	Sufletul	Raportul în frecvență	Raportul la nominal
1	328	1.50263	-6.51	NOI	E0+5	3413.1	1	0.25
2	641.6	2.11023	-3.19	PRIME	E0+6	-1188.8	2.00	0.90
3	964	4.35641	-2.44	THIRCE	E0+4	-411.1	2.28	0.69
4	984	0.35444	-14.62	QUINT	B0+10	-483.8	5.83	0.79
5	1084.8	0.13043	-38.74		D0+20	-342.8	2.21	0.82
6	1322	4.49250	0.00	NOMINAL	E0+4	0	4.63	1.00
7	1682.4	1.20872	-11.60		A0+19	410.4	6.12	1.27
8	1717.5	0.39002	-21.45		A0+7	662.7	6.39	1.34
9	1882.8	1.58101	-10.87	SUPERQUINT	B0+6	701.9	4.04	1.00
10	2179	0.37249	-18.61		D0+27	851.9	4.12	1.64
11	2458.8	0.07087	-35.50		D0+42	1028.4	7.34	1.82
12	2864	0.22784	-25.90		E0+47	1148.1	7.82	1.94
13	2967	0.18823	-30.89		F0+44	1369.6	8.69	2.16
14	3268	1.50178	-12.62		F0+23	1718.8	10.58	2.70
15	3765.5	0.30342	-34.61		B0+18	1812.1	11.48	2.80
Min.	328	0.07287	-38.60			-2433.1	1.00	0.25
Max.	3765.5	4.4925	0.00			1812.1	11.48	2.80
Media	1882.8	1.20451	-17.14			286.3	6.19	1.41
STDDEV	1048.8	1.47829	72.10			1180.2	3.19	0.79

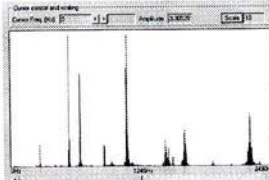


Fig. 5.5 Analiza Wavanal a frecvențelor sunetelor martor pe un domeniu 292,5-4682,5 Hz

Observații martor: La frecvența 783,5 Hz, amplitudinea max.: 7,80886, intensitatea sunetului: 0 dB, parțial TIERCE, nota G2)

La frecvența 1322 Hz, amplitudinea are valoarea: 5,35423 și intensitatea sunetului: -3,28 dB, iar parțial este NOMINAL, nota E3).

Analiza caracteristicilor sunetului MARTOR Tabel nr.5.5

PROBA MARTOR NR.5.7.16.20								
Nr. crt.	Frecvența [Hz]	Amplitudinea	Intensitatea sunet [dB]	Parțial	Nota	Sufletul	Raportul în frecvență	Raportul la nominal
1	292.2	8.19604	-31.82		G0+4	-2614.4	1.00	0.25
2	584	1.88148	-12.65	NOI	F0+8	-2413.1	1.12	0.28
3	811.5	4.31147	-4.62	PRIME	E0+5	-1188.8	2.28	0.90
4	783.5	7.80886	0.00	TIERCE	G0+1	-605.6	2.88	0.99
5	984	1.42122	-14.76	QUINT	B0+6	-483.8	2.40	0.78
6	1322	5.35423	-3.28	NOMINAL	E0+4	0	4.62	1.00
7	1682.5	1.87605	-13.90		A0+19	410.4	6.19	1.27
8	1717.5	0.3872	-19.35		A0+7	440	6.38	1.30
9	1717.5	0.17184	-28.34		A0+7	662.7	6.38	1.34
10	1882.8	2.16889	-10.69	SUPERQUINT	B0+6	701.9	6.78	1.00
11	2170	0.39045	-18.24		D0+27	851.9	7.42	1.64
12	2864	0.28087	-28.74		E0+47	1148.1	8.77	1.94
13	2967	0.18803	-31.89		F0+44	1351.1	9.78	2.16
14	2967	0.28463	-28.77		F0+23	1369.6	10.14	2.24
15	3268	1.50439	-14.56		A0+23	1718.8	12.26	2.70
16	3765.5	0.18823	-33.87		B0+18	1812.1	12.87	2.88
17	4682.5	0.11962	-38.34		B0+5	2188.4	16.51	3.54
Min.	292.2	0.11962	-38.34			-2614.4	1.00	0.22
Max.	4682.5	7.80886	0.00			2188.4	16.51	3.84
Media	2008.3	1.74433	-19.79			288.9	6.88	1.62
STDDEV	7282.2	2.74888	11.42			1431.6	4.92	0.98

Obs. Valorile negative ale intensității sunetului [dB] sunt din cauza faptului că în formula de calcul  $L_{1,2,...,n} = 20 \cdot \lg(a_{1,2,...,n} / a_{max})$ , [dB]

unde  $a_{1,2,...,n}$  - amplitudinea parțialului 1, 2, ..., n, este la număr, iar  $a_{max}$  - amplitudinea maximă, este la număr, lg - unele fracții în care  $a_{max} > a_{1,2,...,n}$ , lg  $a_{max}$  scăzut > lg  $a_{1,2,...,n}$ , descăzut, deci rezultatul lg este negativ, implică și valoarea intensității sunetului negativă.



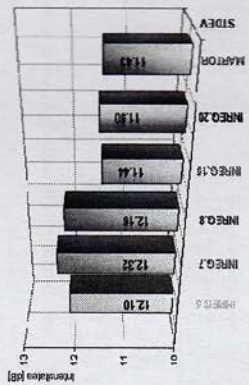


Figura 5.20.D Variația abaterei medii pătrătoare STDEV a intensității în funcție de tipul sunetelor: 5, 7, 8, 15, 20 și martor

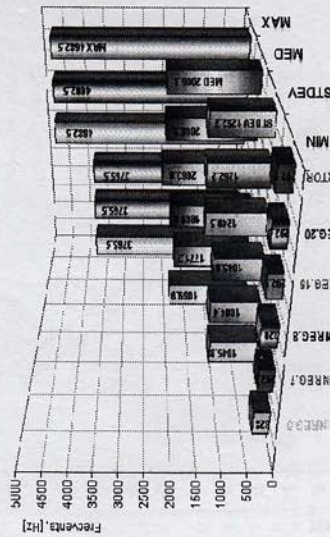


Figura 5.20.E Variația valorilor minime, abaterei medii pătrătoare, medii și maxime a frecvenței pentru sunetele: 5, 7, 8, 15, 20 și martor

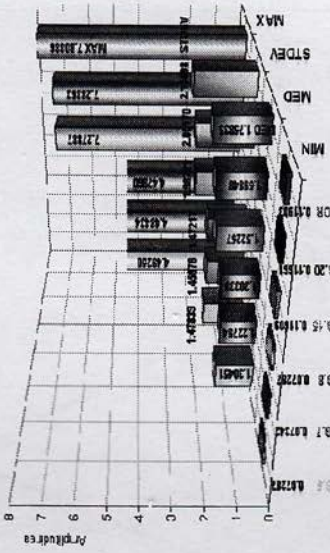


Figura 5.20.F Variația valorilor minime, medii, abaterei medii pătrătoare, și maxime a amplitudinii pentru sunetele: 5, 7, 8, 15, 20 și martor

## V.7 Concluzii privind analiza comparativa a sunetelor 9, 10, 19: MI 1-SOL1 - SI-RE 2

Pentru simplificarea expunerii diferențelor dintre sunetele clopotelor și evitarea repetării graficelor, se va prezenta comparația sunetelor de clopote 9, 10, 19 cu sunetul martor, din aceeași armonie MI1-SOL1-SI-RE2, iar în continuare se vor reda doar concluziile.

1. În tabelul 5.7 sunt prezentate sintetic datele referitoare la: frecvență, amplitudine, intensitate, parțial și notă muzicală, pentru înregistrările sunetelor de clopote nr.: 9, 10, 19, comparative cu cele ale sunetului considerat martor, în vederea evidențierii diferențelor dintre acestea.
2. Au fost analizate sunetele de clopote nr. 9, 10 și 19 prezentând caracteristici comune în ceea ce privește: tonalitatea MI-SOL-SI-RE și masele clopotelor MI:1070 kg, SOL:635 kg, SI:320 kg, RE:185 kg. Din figura 5.12.A s-a observat similitudinea sunetelor de clopote: martor, înregistrările 10 și 19 obținându-se grafice identice, rezultate prin suprapunerea graficelor celor trei sunete, clopotele având aceleași caracteristici: ale parametrilor fizici intensitate sunet și frecvență, muzicale - tonalități și din punct de vedere constructiv - mase. În același timp se remarcă unicitatea sunetului înregistrat nr. 9, care are o tonalitate mai înaltă, față de restul sunetelor analizate, deși are aceleași caracteristici dimensionale și care teoretic este acordat în aceeași tonalitate cu celelalte. Ca particularitate, sunetul înregistrat nr. 9 are valorile intensității sunetului prime (-1,21 dB) cu tierce (-1,38 dB) apropiate, iar parțialul principal octave nominal nu există.
3. Deși toate clopotele corespunzătoare sunetelor nr. 9, 10, 19, au aceleași caracteristici geometrice și sunt acordate în aceeași armonie MI, SOL, SI, RE, se remarcă mici variații ale domeniilor de valori în care se încadrează intensitatea și frecvența, (figura 5.21.A).
4. În figura 5.21.B, se remarcă gruparea valorilor amplitudinii pentru sunetele martor, înregistrate nr. 10, 19, precum și separarea celor corespunzătoare sunetului înregistrat nr.9 în corelația simplă intensitate,  $y$ , în funcție de frecvență,  $x$ ,  $y=f(x)$ .  
Variația intensității sunetelor,  $y$ , în funcție de tipul parțialelor principale analizate,  $x$ , a fost prezentată în figura 5.21.C, observându-se din nou gruparea aceluiași valori ale intensității sunetelor martor, înregistrate nr. 10, 19, încadrându-se între următoarele limite:
  - > HUM: -5,94 + -8,43 dB; martor: -5,94 dB; înregistrări 10: -8,43 dB și 19: -6,45 dB;
  - > PRIME: intensitățile sunt identice, în punctul de coordonate  $x = \text{prime}$  și  $y=0$  dB.
  - > TIERCE: -5,72 + -7,30 dB; martor: -6,10 dB; înregistrările 10: -7,30 dB și 19: -5,72 dB;
  - > QUINT: -10,32 + -11,67 dB; martor: -11,21 dB; înregistrările 10: -11,67 dB și 19: -10,32 dB;
  - > NOMINAL: -9,01 + -10,36 dB; martor: -9,97 dB; înregistrările 10: -10,36 dB și 19: -9,01 dB;
  - > SUPERQUINT: -5,61 + -10,13 dB; martor: -5,88 dB; înregistrările 10: -10,13 dB și 19: -5,61 dB;
  - > OCTAVE NOMINAL: -18,64 + -19,89 dB.Octave nominal martor: -18,65 dB; înregistrările 10 și 19: -19,89 dB, respectiv -18,64 dB.  
Se observă gruparea valorilor sunetului martor cu înregistrările 10 și 19, având intensitățile sunetelor între limite apropiate.
5. În figura 5.21.D se observă variația abaterii medii pătratice a intensității sunetelor:
  - > același domeniu de valori ale abaterii medii pătratice cuprinse între 11,25 + 11,27 dB în cazul sunetelor martor și înregistrate 10, 19;
  - > iar separat, valoarea de 11,31 dB pentru cazul sunetului înregistrat nr. 9, aflându-se în domeniul de valori, dar la limita superioară a acestuia.
6. În figura 5.21.E și 5.21.F este prezentată: a) variația valorilor minime, abaterii medii pătratice, medii și maxime ale frecvenței pentru sunetele înregistrate: 9, 10, 19 și martor, respectiv ale amplitudinii; b) în ambele cazuri analizate, tendința de separare a sunetelor înregistrate 10, 19, și martor, de sunetul nr.9.
7. Deși se presupunea că se obțin aceleași note muzicale în cazul clopotelor de mase identice, acordate în aceeași gamă, s-a demonstrat astfel unicitatea sunetelor de clopote imperceptibilă auditiv.

**SINTEZA CORELAȚIILOR DINTRE PARAMETRI: FRECVENȚĂ, AMPLITUDINE ȘI NOTĂ MUZICALE  
PENTRU ÎNREGISTRĂRILE NR. 9, 10, 19 ȘI MARTOR**

Tabel 5.7

Nr. crt.	INREGISTRAREA NR.9				INREGISTRAREA NR.10				INREGISTRAREA NR.19				MARTOR NR. 8-18-19			
	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	ME178 Ag-SOL455 Ag-SE320 Ag-RE185 Ag-	
	Frecv [Hz]	Amplit [dB]	Intensitat [dB]	Notă schlar.	Frecv [Hz]	Amplit [dB]	Intensitat [dB]	Notă schlar.	Frecv [Hz]	Amplit [dB]	Intensitat [dB]	Notă schlar.	Frecv [Hz]	Amplit [dB]	Intensitat [dB]	Notă schlar.
1	208.5	2.87398	-3.15	MI	208.5	3.07980	8.13	MI	208.5	1.87949	6.90	MI	208.5	1.11988	5.84	MI
2	416.5	3.08825	-2.80	MI2	416.5	3.08825	8.13	MI2	416.5	1.87949	6.90	MI2	416.5	1.11988	5.84	MI2
3	624.5	3.08825	-2.80	MI3	624.5	3.08825	8.13	MI3	624.5	1.87949	6.90	MI3	624.5	1.11988	5.84	MI3
4	832.5	3.08825	-2.80	MI4	832.5	3.08825	8.13	MI4	832.5	1.87949	6.90	MI4	832.5	1.11988	5.84	MI4
5	1040.5	3.08825	-2.80	MI5	1040.5	3.08825	8.13	MI5	1040.5	1.87949	6.90	MI5	1040.5	1.11988	5.84	MI5
6	1248.5	3.08825	-2.80	MI6	1248.5	3.08825	8.13	MI6	1248.5	1.87949	6.90	MI6	1248.5	1.11988	5.84	MI6
7	1456.5	3.08825	-2.80	MI7	1456.5	3.08825	8.13	MI7	1456.5	1.87949	6.90	MI7	1456.5	1.11988	5.84	MI7
8	1664.5	3.08825	-2.80	MI8	1664.5	3.08825	8.13	MI8	1664.5	1.87949	6.90	MI8	1664.5	1.11988	5.84	MI8
9	1872.5	3.08825	-2.80	MI9	1872.5	3.08825	8.13	MI9	1872.5	1.87949	6.90	MI9	1872.5	1.11988	5.84	MI9
10	2080.5	3.08825	-2.80	MI10	2080.5	3.08825	8.13	MI10	2080.5	1.87949	6.90	MI10	2080.5	1.11988	5.84	MI10
11	2288.5	3.08825	-2.80	MI11	2288.5	3.08825	8.13	MI11	2288.5	1.87949	6.90	MI11	2288.5	1.11988	5.84	MI11
12	2496.5	3.08825	-2.80	MI12	2496.5	3.08825	8.13	MI12	2496.5	1.87949	6.90	MI12	2496.5	1.11988	5.84	MI12
13	2704.5	3.08825	-2.80	MI13	2704.5	3.08825	8.13	MI13	2704.5	1.87949	6.90	MI13	2704.5	1.11988	5.84	MI13
14	2912.5	3.08825	-2.80	MI14	2912.5	3.08825	8.13	MI14	2912.5	1.87949	6.90	MI14	2912.5	1.11988	5.84	MI14
15	3120.5	3.08825	-2.80	MI15	3120.5	3.08825	8.13	MI15	3120.5	1.87949	6.90	MI15	3120.5	1.11988	5.84	MI15
16	3328.5	3.08825	-2.80	MI16	3328.5	3.08825	8.13	MI16	3328.5	1.87949	6.90	MI16	3328.5	1.11988	5.84	MI16
17	3536.5	3.08825	-2.80	MI17	3536.5	3.08825	8.13	MI17	3536.5	1.87949	6.90	MI17	3536.5	1.11988	5.84	MI17
18	3744.5	3.08825	-2.80	MI18	3744.5	3.08825	8.13	MI18	3744.5	1.87949	6.90	MI18	3744.5	1.11988	5.84	MI18
19	3952.5	3.08825	-2.80	MI19	3952.5	3.08825	8.13	MI19	3952.5	1.87949	6.90	MI19	3952.5	1.11988	5.84	MI19
20	4160.5	3.08825	-2.80	MI20	4160.5	3.08825	8.13	MI20	4160.5	1.87949	6.90	MI20	4160.5	1.11988	5.84	MI20
21	4368.5	3.08825	-2.80	MI21	4368.5	3.08825	8.13	MI21	4368.5	1.87949	6.90	MI21	4368.5	1.11988	5.84	MI21
22	4576.5	3.08825	-2.80	MI22	4576.5	3.08825	8.13	MI22	4576.5	1.87949	6.90	MI22	4576.5	1.11988	5.84	MI22
23	4784.5	3.08825	-2.80	MI23	4784.5	3.08825	8.13	MI23	4784.5	1.87949	6.90	MI23	4784.5	1.11988	5.84	MI23
24	4992.5	3.08825	-2.80	MI24	4992.5	3.08825	8.13	MI24	4992.5	1.87949	6.90	MI24	4992.5	1.11988	5.84	MI24
25	5200.5	3.08825	-2.80	MI25	5200.5	3.08825	8.13	MI25	5200.5	1.87949	6.90	MI25	5200.5	1.11988	5.84	MI25
26	5408.5	3.08825	-2.80	MI26	5408.5	3.08825	8.13	MI26	5408.5	1.87949	6.90	MI26	5408.5	1.11988	5.84	MI26
27	5616.5	3.08825	-2.80	MI27	5616.5	3.08825	8.13	MI27	5616.5	1.87949	6.90	MI27	5616.5	1.11988	5.84	MI27
28	5824.5	3.08825	-2.80	MI28	5824.5	3.08825	8.13	MI28	5824.5	1.87949	6.90	MI28	5824.5	1.11988	5.84	MI28
29	6032.5	3.08825	-2.80	MI29	6032.5	3.08825	8.13	MI29	6032.5	1.87949	6.90	MI29	6032.5	1.11988	5.84	MI29
30	6240.5	3.08825	-2.80	MI30	6240.5	3.08825	8.13	MI30	6240.5	1.87949	6.90	MI30	6240.5	1.11988	5.84	MI30
31	6448.5	3.08825	-2.80	MI31	6448.5	3.08825	8.13	MI31	6448.5	1.87949	6.90	MI31	6448.5	1.11988	5.84	MI31
32	6656.5	3.08825	-2.80	MI32	6656.5	3.08825	8.13	MI32	6656.5	1.87949	6.90	MI32	6656.5	1.11988	5.84	MI32
33	6864.5	3.08825	-2.80	MI33	6864.5	3.08825	8.13	MI33	6864.5	1.87949	6.90	MI33	6864.5	1.11988	5.84	MI33
34	7072.5	3.08825	-2.80	MI34	7072.5	3.08825	8.13	MI34	7072.5	1.87949	6.90	MI34	7072.5	1.11988	5.84	MI34
35	7280.5	3.08825	-2.80	MI35	7280.5	3.08825	8.13	MI35	7280.5	1.87949	6.90	MI35	7280.5	1.11988	5.84	MI35
36	7488.5	3.08825	-2.80	MI36	7488.5	3.08825	8.13	MI36	7488.5	1.87949	6.90	MI36	7488.5	1.11988	5.84	MI36
37	7696.5	3.08825	-2.80	MI37	7696.5	3.08825	8.13	MI37	7696.5	1.87949	6.90	MI37	7696.5	1.11988	5.84	MI37
38	7904.5	3.08825	-2.80	MI38	7904.5	3.08825	8.13	MI38	7904.5	1.87949	6.90	MI38	7904.5	1.11988	5.84	MI38
39	8112.5	3.08825	-2.80	MI39	8112.5	3.08825	8.13	MI39	8112.5	1.87949	6.90	MI39	8112.5	1.11988	5.84	MI39
40	8320.5	3.08825	-2.80	MI40	8320.5	3.08825	8.13	MI40	8320.5	1.87949	6.90	MI40	8320.5	1.11988	5.84	MI40
41	8528.5	3.08825	-2.80	MI41	8528.5	3.08825	8.13	MI41	8528.5	1.87949	6.90	MI41	8528.5	1.11988	5.84	MI41
42	8736.5	3.08825	-2.80	MI42	8736.5	3.08825	8.13	MI42	8736.5	1.87949	6.90	MI42	8736.5	1.11988	5.84	MI42
43	8944.5	3.08825	-2.80	MI43	8944.5	3.08825	8.13	MI43	8944.5	1.87949	6.90	MI43	8944.5	1.11988	5.84	MI43
44	9152.5	3.08825	-2.80	MI44	9152.5	3.08825	8.13	MI44	9152.5	1.87949	6.90	MI44	9152.5	1.11988	5.84	MI44
45	9360.5	3.08825	-2.80	MI45	9360.5	3.08825	8.13	MI45	9360.5	1.87949	6.90	MI45	9360.5	1.11988	5.84	MI45
46	9568.5	3.08825	-2.80	MI46	9568.5	3.08825	8.13	MI46	9568.5	1.87949	6.90	MI46	9568.5	1.11988	5.84	MI46
47	9776.5	3.08825	-2.80	MI47	9776.5	3.08825	8.13	MI47	9776.5	1.87949	6.90	MI47	9776.5	1.11988	5.84	MI47
48	9984.5	3.08825	-2.80	MI48	9984.5	3.08825	8.13	MI48	9984.5	1.87949	6.90	MI48	9984.5	1.11988	5.84	MI48
49	10192.5	3.08825	-2.80	MI49	10192.5	3.08825	8.13	MI49	10192.5	1.87949	6.90	MI49	10192.5	1.11988	5.84	MI49
50	10400.5	3.08825	-2.80	MI50	10400.5	3.08825	8.13	MI50	10400.5	1.87949	6.90	MI50	10400.5	1.11988	5.84	MI50
51	10608.5	3.08825	-2.80	MI51	10608.5	3.08825	8.13	MI51	10608.5	1.87949	6.90	MI51	10608.5	1.11988	5.84	MI51
52	10816.5	3.08825	-2.80	MI52	10816.5	3.08825	8.13	MI52	10816.5	1.87949	6.90	MI52	10816.5	1.11988	5.84	MI52
53	11024.5	3.08825	-2.80	MI53	11024.5	3.08825	8.13	MI53	11024.5	1.87949	6.90	MI53	11024.5	1.11988	5.84	MI53
54	11232.5	3.08825	-2.80	MI54	11232.5	3.08825	8.13	MI54	11232.5	1.87949	6.90	MI54	11232.5	1.11988	5.84	MI54
55	11440.5	3.08825	-2.80	MI55	11440.5	3.08825	8.13	MI55	11440.5	1.87949	6.90	MI55	11440.5	1.11988	5.84	MI55
56	11648.5	3.08825	-2.80	MI56	11648.5	3.08825	8.13	MI56	11648.5	1.87949	6.90	MI56	11648.5	1.11988	5.84	MI56
57	11856.5	3.08825	-2.80	MI57	11856.5	3.08825	8.13	MI57	11856.5	1.87949	6.90	MI57	11856.5	1.11988	5.84	MI57
58	12064.5	3.08825	-2.80	MI58	12064.5	3.08825	8.13	MI58	12064.5	1.87949	6.90	MI58	12064.5	1.11988	5.84	MI58
59	12272.5	3.08825	-2.80	MI59	12272.5	3.08825	8.13	MI59	12272.5	1.87949	6.90	MI59	12272.5	1.11988	5.84	MI59
60	12480.5	3.08825	-2.80	MI60	12480.5	3.08825	8.13	MI60	12480.5	1.87949	6.90	MI60	12480.5	1.11988	5.84	MI60
61	12688.5	3.08825	-2.80	MI61	12688.5	3.08825	8.13	MI61	12688.5	1.87949	6.90	MI61	12688.5	1.11988	5.84	MI61
62	12896.5	3.08825	-2.80	MI62	12896.5	3.08825	8.13	MI62	12896.5	1.87949	6.90	MI62	12896.5	1.11988	5.84	MI62
63	13104.5	3.08825	-2.80	MI63	13104.5	3.08825	8.13	MI63	13104.5	1.87949	6.90	MI63	13104.5	1.11988	5.84	MI63
64	13312.5	3.08825	-2.80	MI64	13312.5	3.08825	8.13	MI64	13312.5	1.87949	6.90	MI64	13312.5	1.11988	5.84	MI64
65	13520.5	3.08825	-2.80	MI65	13520.5	3.08825	8.13	MI65	13520.5	1.87949	6.90	MI65	13520.5	1.11988	5.84	MI65
66	13728.5	3.08825	-2.80	MI66	13728.5	3.08825	8.13	MI66	13728.5	1.87949	6.90	MI66	13728.5	1.11988	5.84	MI66
67	13936.5	3.08825	-2.80	MI67	13936.5	3.08825	8.13	MI67	13936.5	1.87949						

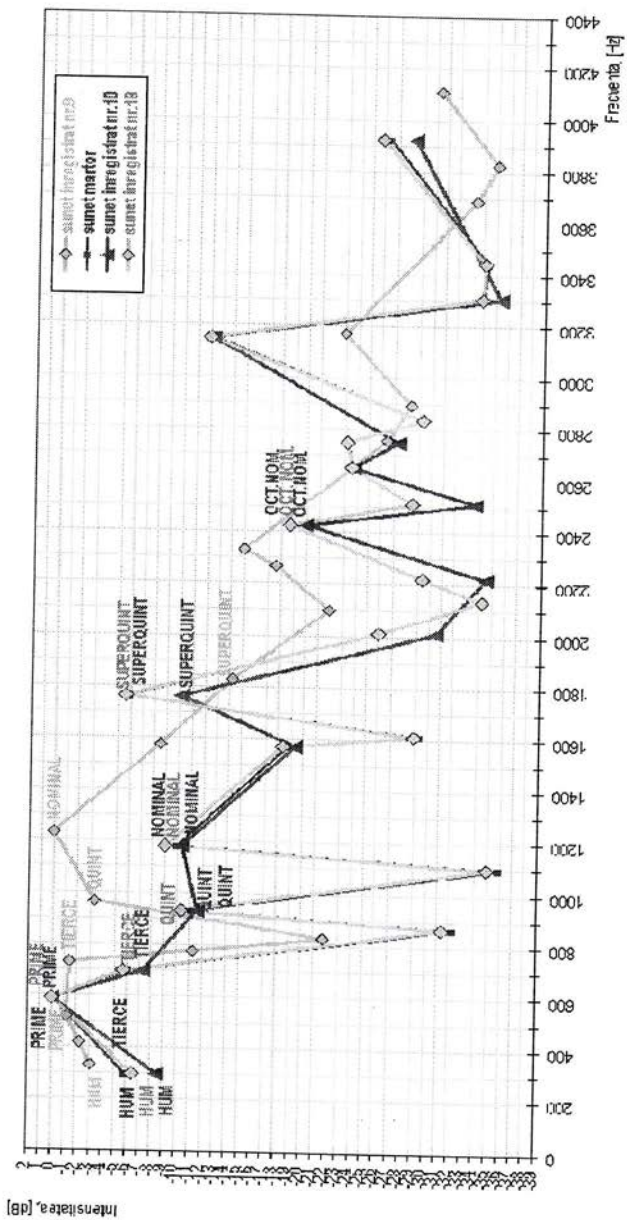


Figura 5.21.A. Influența variației frecvenței asupra intensității sumelor parțiale principale înregistrate versus mărimea

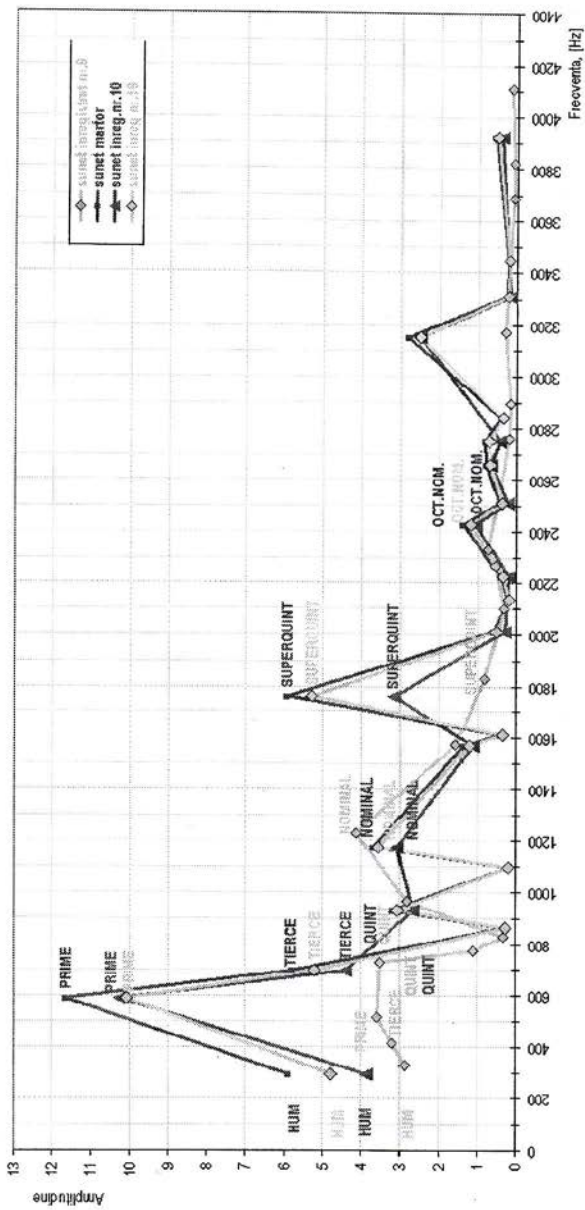


Figura 5.21.B Dependenta de frecventa a amplitudinii principalelor pariale inregistrate versus sunetul martor





## V.8. REZULTATE EXPERIMENTALE OBTINUTE LA MĂSURAREA NIVELULUI DE PRESIUNE ACUSTICĂ CU SONOMETRUL PEAK TECH 5035\*

Măsurători sonometrice în zona clopotniței și la limita de proprietate a Bisericii "Adormirea Maicii Domnului" din Galați

Date informative clopot: greutate 1800 kg; turnat în anul 1942; acționat manual

Obiectiv monitorizat: Clopot amplasat în clopotnița situată în exteriorul bisericii  
Amplasarea punctului de efectuare a măsurătorilor: sub clopotniță, 0 m

Tabel 5.8

Valori instantanee înregistrate – dB [A]									
73,4	78,2	76,5	80,4	81,2	82,3	83,5	<b>84,1</b>	83,7	82,8
78,4	79,4	81,2	83,5	80,6	83,3	83,6	82,1	82,2	82,7
77,1	79,1	80,3	81,1	82,3	82,5	83,9	81,2	80,8	79,5

Umiditate relativă mediu ambiant (RH %): 32 %, Temperatură medie a mediului ambiant: 30,2°C

Val max. = **84,1** dB [A]; Val min. = **73,4** dB [A]; Val.medie calculată = **81,03** dB [A];

Obiectiv monitorizat: Clopot amplasat în clopotnița situată în exteriorul bisericii  
Amplasarea punctului de efectuare a măsurătorilor: lângă clopotniță, la 3m

Tabel 5.9

Valori instantanee înregistrate – dB [A]									
78,3	79,2	78,7	77,8	78,6	78,5	78,0	77,4	75,2	74,5
81,4	<b>82,5</b>	81,2	81,4	73,6	71,0	72,0	72,5	73,4	73,1
74,6	74,7	74,3	74,1	78,3	78,5	78,9	79,2	78,2	77,5

Umiditate relativă mediu ambiant (RH %): 32 %, Temperatură medie a mediului ambiant: 30,2°C

Val max. = **82,5** dB [A]; Val min. = **71,0** dB [A]; Val.medie calculată = **76,89** dB [A]

Obiectiv monitorizat: Clopot amplasat în clopotnița situată în exteriorul bisericii  
Amplasarea punctului de efectuare a măsurătorilor: 20 m față de sursa de zgomot

Tabel 5.10

Valori instantanee înregistrate – dB [A]									
78,2	74,9	73,2	76,2	74,1	77,8	79,2	78,9	79,1	78,2
79,3	77,2	74,2	76,5	67,9	74,1	61,5	66,5	77,5	77,2
74,5	<b>80,1</b>	79,9	76,8	77,0	78,1	69,4	72,0	70,2	75,2

Umiditate relativă mediu ambiant (RH %): 32 %, Temperatură medie a mediului ambiant: 30,2°C

Val max. = **80,1** dB [A]; Val min. = **61,5** dB [A]; Val.medie calculată = **75,16** dB [A]

Obiectiv monitorizat: Clopot amplasat în clopotnița situată în exteriorul bisericii  
Amplasarea punctului de măsurare: 40 m față de sursa de zgomot (la limita de proprietate)

Tabel 5.11

Valori instantanee înregistrate – dB [A]									
68,5	68,9	68,4	68,2	67,3	59,1	67,1	71,3	71,5	<b>72,3</b>
67,3	67,1	68,8	68,4	70,3	69,1	70,1	70,2	70,7	71,1
68,1	67,9	69,5	70,2	68,5	68,9	70,9	71,1	71,1	71,3

Umiditate relativă mediu ambiant (RH %): 32 %, Temperatură medie a mediului ambiant: 30,2°C

Val max. = **72,3** dB [A]; Val min. = **59,1** dB [A]; Val.medie calculată = **69,11** dB [A]

### Observatii:

- Sonometrele măsoară nivelul de zgomot (nivelul de presiune acustică), exprimat în dB, dB[A] și sunt utilizate frecvent în studii de poluare acustică pentru determinarea aproape a oricărui tip de



- zgomot.
- **dB[A]** - este o unitate de măsură a nivelului de zgomot fiziologic, ponderat pe *curba de ponderare A*, care ține seama de modul de percepere al urechii umane. În dB[A] se dă o singură valoare globală.
  - Valorile indicate de sonometru *nu sunt identice cu percepția sunetului de către urechea umană*, pentru aceasta standardul Internațional pentru performanțele sonometrelor IEC 61672:2003 prevede includerea și utilizarea *filtrului A de ponderare în frecvență* precum și a altor curbe de ponderare C și Z (zero) [94].

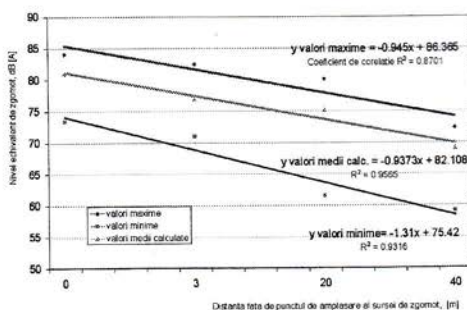


Fig. 5.22 Variația valorilor înregistrate cu sonometrul PEAK TECH 5035 la clopotul situat în exteriorul bisericii

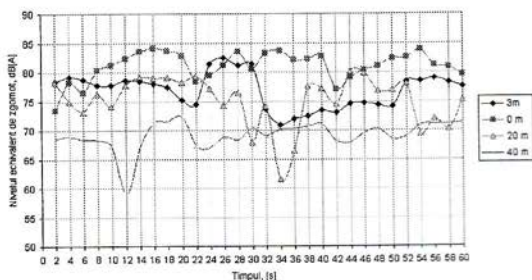


Fig. 5.23 Variația valorilor nivelului echivalent de zgomot în timp de 1 minut la clopotul situat în exteriorul bisericii, având valorile maxime la impact

#### CONCLUZII asupra măsurătorilor de zgomot efectuate la clopotul amplasat în exterior

1. Măsurătorile sonometrice, cu aparatul de măsură a nivelului echivalent de zgomot PEAK TECH 5035, la clopotul amplasat în clopotnița situată în exteriorul bisericii, au pus în evidență *valorile maxime* înregistrate în momentul bătăii (impactului limbii de peretele clopotului) și *valorile minime* în timpul reverberației.

- Domeniul de valori maxime înregistrate în timpul bătăii: **72,3 dB [A] + 84,1 dB [A]**;

- Domeniul de valori minime înregistrate la reverberație: 59,1 dB [A]÷ 73,4 dB [A];
  - Domeniul de valori medii: 69,11 dB [A] ÷ 81,03 dB [A].
2. Pe măsură creșterii distanței de măsurare a nivelului echivalent de zgomot față de sursă (de la 0 m - sub clopotniță la 40 m -limita de proprietate) valorile sunetelor înregistrate sunt mai mici, cu variații de la tonuri puternice la tonuri mai slabe. Se remarcă scăderea valorilor înregistrate ale sunetelor de la valoarea maximă de **84,1 dB [A]** la valoarea maximă de **72,3 dB [A]**.

**Măsurători sonometrice în zona clopotniței Bisericii “Sfinții Împărați Constantin și Elena” din Galați**

Date informative clopot: greutate 350 kg; turnat în anul 2001; acționat manual

Obiectiv monitorizat: Clopot amplasat în clopotnița din interiorul bisericii  
 Amplasarea punctului de efectuare a măsurătorilor: sub clopotniță

Tabel 5.12

Valori instantanee înregistrate – dB [A]										
58,9	60,2	61,7	62,3	61,0	61,3	61,4	60,9	58,3	55,6	61,2
64,0	<b>71,2</b>	70,8	70,5	69,7	65,2	63,1	60,8	58,6	57,6	61,2
63,2	70,3	70,2	69,8	68,4	65,3	62,9	60,0	61,2	60,2	61,2

Umiditate relativă mediu ambiant (RH %): 32 %, Temperatură medie a mediului ambiant: 30,2°C  
 Val max.= **71,2 dB [A]**; Val min.= **55,6 dB [A]**; Val.medie calculată = **63,49 dB [A]**

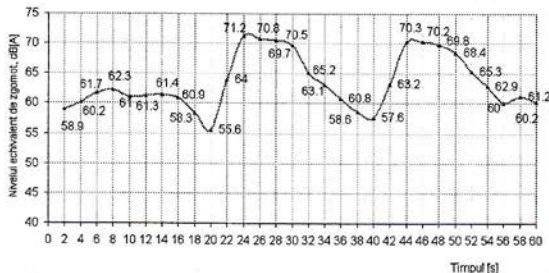


Fig.5.24 Variația valorilor nivelului echivalent de zgomot în timp de 1 minut la clopotul situat în incinta bisericii, având valorile maxime în momentul impactului

**CONCLUZII** asupra măsurătorilor efectuate la clopotul amplasat în interiorul lăcașului de cult

1. Măsurătorile sonometrice, cu aparatul de măsură a nivelului echivalent de zgomot PEAK TECH 5035, la clopotul amplasat în clopotnița situată în interiorul bisericii, au pus în evidență valoarea maximă înregistrată în momentul bătăii (impactului limbii de peretele clopotului) și valoarea minimă în timpul reverberației.
  - Valoarea maximă înregistrată în timpul bătăii: **71,2 dB [A]**;
  - Valoarea minimă înregistrată la reverberație: **55,6 dB [A]**;
  - Valoarea medie calculată: **63,49 dB [A]**.
2. La clopoțele acționate manual valoarea maximă a nivelului echivalent de zgomot este influențată în mare măsură de factorul uman.

## CAPITOLUL VI

### REZULTATE EXPERIMENTALE PRIVIND CORELAȚIA DINTRE ANALIZA SPECTRELOR SUNETELOR, COMPOZIȚIA CHIMICĂ ȘI ACORDAREA MUZICALĂ A CLOPOTELOR DE LA MĂNĂȘTIRILE: COCOȘ, SAON, CELIC-DERE

#### V.I. Analiza spectrelor sunetelor de la mănăștirile: Cocos, Saon, Celic-Dere

Micile modificări ca frecvența ale unui sunet sunt greu de constata de către urechea umană normal, mai ales de una care nu este antrenată. În general, se cunoaște că doar o diferență de cinci sutimi de semiton adică cam 0, 3% în frecvența sunetului poate fi sesizată. Dacă cele două sunete de comparat sunt emise simultan, atunci existența diferenței dintre frecvențele lor va fi mai ușor de sesizată. Din aceste motive, o analiză obiectivă a unui sunet nu poate fi făcută decât cu o aparată performantă atât de captare, cât și de analiză a unui sunet. În acest sens, utilizarea soft-ului SAMURAY împreună cu un software adecvat, cum ar fi programul Wavanal reprezintă un sistem obiectiv de analiză a oricărui sunet, inclusiv cel emis de către un clopot, așa cum s-a folosit în experimentele pe care le-am efectuat în vederea înregistrării și analizării sunetelor emise de clopote de la unele mănăștiri din jud. Tulcea (Cocos, Saon, Celic-Dere).

Scopul programului de analiză a sunetelor cu software Wavanal este acela de a analiza sunetele emise de către un clopot, în tandem cu un computer care lucrează, de exemplu, sub Windows NT. Acesta oferă facilități pentru afișarea grafică a sunetelor emise de către un clopot realizând identificarea frecvențelor parțiale, făcând posibilă și sinteza sunetului de clopot dintr-o listă de parțiale. Programul Wavanal permite, de asemenea, determinarea completă a armonicității unui clopot, precum și modalitatea de acordaj, așa încât să se obțină un anumit sunet.

Programul Wavanal analizează sunete mono, pasul de frecvență de esanționare fiind de 11, 22 sau 44 kHz, pe 8 sau 16 biți. Cele mai bune rezultate sunt obținute pentru înregistrări pe 16 biți și frecvența de esanționare de 44 kHz, durata unui sunet fiind de 10 secunde. Sunetele fiind digitizate de către program apar descompuse în frecvență, indicându-se pentru fiecare frecvență, amplitudinea sunetului.

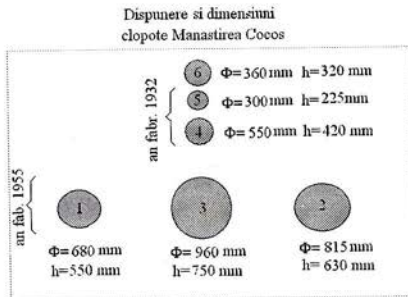


Fig. 6.1 Dispunerea și dimensiunile clopotelor de la Mănăstirea Cocos

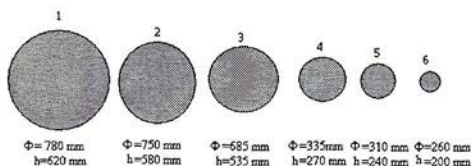


Fig. 6.2 Dispunerea si dimensiunile clopotelor de sus de la clopotnita Mănăstirii Celic-Dere

**CONCLUZII la analiza spectrelor sunetelor de la Mănăstirile: COCOȘ, SAON, CELIC-DERE**

1. Analiza sunetelor unor clopote cu ajutorul programului Wavanal reprezinta o modalitate moderna si de actualitate in vederea caracterizarii acestora, fiind o amprenta specifica a clopotului, ajutand, pe de o parte, atat la diferentierea obiectiva a acestora, cat si la selectarea unui anumit clopot pentru o anumita destinatie.
2. Fiecare clopot, avand o anumita forma, dimensiune si masa, are spectrul sau sonar caracteristic de frecvente si amplitudini, programul Wavanal scotand in evidenta dominata sonora (primă, secundă, terță, cvartă, cvintă, sextă, septimă, octavă etc.) a acestuia ceea ce constituie amprenta sa sonora.
3. Spectrul sonar al tuturor celor sase clopote nu apare ca superpozitia celor sase spectre ale fiecarui clopot, luat separat, aceasta fiind cauzata de posibilele interferente distructive. Este de remarcat faptul ca spectrul celor sase clopote actionate simultan este influentat mai puternic la frecvente mai inalte de distanta dintre emitator (clopot) si receptor (microfon).

**VI.2 Analiza chimică a clopotelor de la Mănăstirile: Saon și Celic-Dere**

Analiza chimică a fost realizată cu ajutorul aparatului de măsură - spectrometrul de fluorescență cu raze X pentru toate clopotele bisericesti de la Mănăstirea SAON și Mănăstirea CELIC-DERE.

**Analiza chimică a clopotelor de la Mănăstirea SAON Tabel.6.1**

Nr. clopot	Compoziție chimică clopote, [%]							
	Si	Al	Sn	Pb	Zn	Cu	Fe	Sb
Clopot 1 Ø 790 mm; 260 kg. C2-DO2	1,60	1,34	25,15	0,83	-	69,58	1,22	0,25
Clopot 2 Ø 540 mm; 97 kg. FA#-SOL b2	2,53	0,32	21,37	3,66	3,29	67,71	1,11	-
Clopot 3 Ø 480 mm; 65 kg. SOL#-Lab2	3,67	0,15	23,86	3,42	0,70	65,16	1,66	-
Clopot 4 Ø 370 mm; 29 kg. C3-DO3	1,93	0,51	24,08	2,41	1,35	67,62	1,58	-
Clopot 5 Ø 310 mm; 20 kg. MI4-E4	2,63	0,00	20,70	3,96	4,39	63,70	4,52	-

Obs.: In coloana clopotelor sunt date: diametrele [mm], masele [kg] și notele muzicale in care sunt acordate.

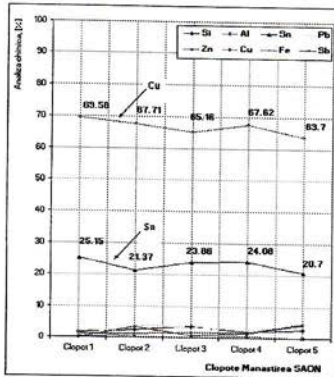


Fig. 6.3 Caracterizarea clopotelor în funcție de analiza chimică - Mănăstirea SAON

**Analiza chimică a clopotelor de la Mănăstirea CELIC-DERE (Clopotnița de sus) Tabel 6.2**

Nr. clopot	Compoziție chimică clopote, [%]							
	Si	Al	Sn	Pb	Zn	Cu	Fe	Nb
Clopot 1, C2-DO2 Ø 780 mm; 260 kg	1,17	1,36	26,09	0,96	5,26	64,49	0,67	0,06
Clopot 2, DO#-Reb2 Ø 750 mm; 255 kg	1,44	1,67	20,49	3,49	1,78	71,12	-	-
Clopot 3, D2-RE2 Ø 685 mm; 185 kg	0,88	1,97	30,24	0,55	4,19	61,60	0,47	-
Clopot 4, Db-REb Ø 335mm; 24 kg	1,17	1,96	19,71	0,81	0,38	76,02	0,26	-
Clopot 5, MI4-E4 Ø 310 mm; 20 kg	2,21	3,17	25,95	4,61	0,33	63,47	0,41	-
Clopot 6, G#-SOL# Ø 260 mm; 16 kg	1,55	0,90	22,95	1,28	7,91	71,91	1,41	-

**Mănăstirea CELIC-DERE (Clopotnița de jos) Tabel 6.3**

Nr. clopot	Compoziție chimică clopote, [%]								
	Si	Al	Sn	Pb	Zn	Cu	Fe	Ni	Mn
Clopot 1, C#-DO# Ø 830 mm; 345 kg	1,62	1,94	21,21	-	2,96	71,65	0,42	0,19	-
Clopot 2, D2 - RE2 Ø 670 mm; 185 kg	1,15	2,82	23,90	1,03	4,19	63,83	0,79	2,29	-
Clopot 3, G2-SOL2 Ø 500 mm; 78 kg	1,67	2,71	7,00	1,09	1,34	85,25	0,37	0,27	0,30
Clopot 4, LA#-Sib2 Ø 410 mm; 42 kg	1,44	3,54	10,70	2,06	4,81	76,72	0,62	0,10	-

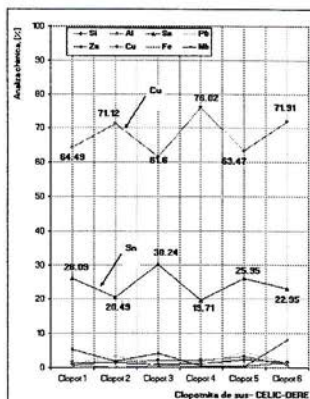


Fig. 6.4 Caracterizarea clopotelor din clopotnita de sus

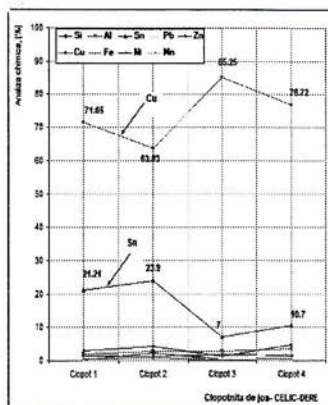


Fig. 6.5 Caracterizarea clopotelor din clopotnita de jos

in functie de analiza chimica-Mrea Celic-Dere

### CONCLUZII cu privire la analiza chimică a clopotelor:

1. Continutul de staniu în proporție de 20 % -25 % (cu valori chiar mai mari la Mrea. Celic Dere – clopotnita de sus), se situează în apropierea domeniului de fragilitate maximă, reprezentând un criteriu restrictiv pentru elementul principal de aliere.
2. Prezența fierului (cu limitele de variație: 0,26 % - 4,52 %) și a plumbului (0,55 % - 4,61 %) în bronzul pentru clopote determină o reducere a durității, iar sunetul va fi influențat negativ.
3. Existența elementelor cum ar fi: alumiul (cu limitele de variație: 0,15 % - 3,54 %), fierul, nichelul (0,10 % - 2,29 %), manganul (0,30 %), determină înrăutățirea caracteristicilor sonore ale clopotelor.

### VI.3 Corelații frecvență, nota muzicală, nivelul de presiune sonora LAeq

Analiza corelațiilor subetor de clopote de la Mănăstirea COCOȘ Tabelul 6.4

CLOPOTUL	Partial	Frecvența	Nota
COCOS CLOPOTUL 1 660 kg	[Hz]		
	hum	274,5	DM(1) -16 REb
	prima	488	B(1) -20 SI
	stacca	641,5	F(2) -47 MI
	quarta	860	A(2) -39 LA
	nominal	1125,5	Db(3) +25 REb
	superquinta	1771,5	A(3) +39 FA
oct. nom.	2738	D(4) -8 RE	
CLOPOTUL 2 815 kg	Partial	Frecvența	Nota
	[Hz]		
	hum	269	C(1) +41 DO
	prima	425,5	A(1) +11 LAB
	stacca	568,5	Db(2) +43 REb
	quarta	762,5	G(2) -49 SOL
	nominal	950	Bb(3) +37 SIb
superquinta	1465,5	F(3) +10 FA	
oct. nom.	1908	Bb(3) +20 SIb	
CLOPOTUL 3 960 kg	Partial	Frecvența	Nota
	[Hz]		
	hum	236,5	Bb(1) -19 SIb
	prima	356,5	F(1) +5 FA
	stacca	481,5	B(1) -43 SI
	quarta	643	E(2) -43 MI
	nominal	866,5	Ab(3) -46 LAB
superquinta	1196,5	D(3) +31 RE	
oct. nom.	1629	Ab(3) -31 LAB	
CLOPOTUL 4 550 kg	Partial	Frecvența	Nota
	[Hz]		
	hum	465	Ab(1) -43 LAB
	prima	723,5	F#(2) -39 FA#
	stacca	893,5	A(2) +26 LA
	quarta	1193	B(2) -25 SI
	nominal	1488	F#(3) +8 FA#
superquinta	2200	Db(3) +13 REb	
oct. nom.	2984	F#(4) +14 FA#	
CLOPOTUL 5 300 kg	Partial	Frecvența	Nota
	[Hz]		
	hum	565	Db(2) +32 REb
	prima	1096,5	D(3) -19 REb
	stacca	1347,5	E(3) +37 MI
	quarta	1838	Db(3) -24 SIb
	nominal	2368,5	D(4) +14 RE
superquinta	3388,5	Ab(4) +34 LAB	
CLOPOTUL 6 360 kg	Partial	Frecvența	Nota
	[Hz]		
	hum	537,5	C(2) +46 DO
	prima	1011	B(2) +46 SI
	stacca	1225	E(3) -13 MIb
	quarta	1781,5	A(3) +1 LA
	nominal	2178,5	Db(4) -37 REb
superquinta	3317,5	Ab(4) -3 LAB	
oct. nom.	4527,5	Db(5) +35 REb	

### Analiza corelărilor sunetelor de clopote de la Mănăstirea SAON Tabelul 6.5

SAON CLOPOTUL 1 790 kg	Parțial	Frecvența	Nota
	[Hz]	[Hz]	
hum	294	F(1) +1	RE
prima	478	F(1) +43	Sib
tercea	695.5	F(2) -47	Mib
quint	835.5	A(2) +10	Lab
nominal	1016	A(2) +9	Si
superquint	1518	F(3) +43	FA#
oct.nom.	2077.5	C(4) -12	DO

CLOPOTUL 2 540 kg	Parțial	Frecvența	Nota
	[Hz]	[Hz]	
hum	354	F(1) +23	FA
prima	606	E(2) -45	Mib
tercea	875	A(2) +9	Lab
quint	1134	D(3) -39	Reb
nominal	1357	E(3) +49	Mi
superquint	1978	E(3) +2	Si

CLOPOTUL 3 480 kg	Parțial	Frecvența	Nota
	[Hz]	[Hz]	
hum	427	E(2) +13	Mib
prima	845	D(2) +29	Lab
tercea	1288.5	E(3) -22	Mib
quint	1498.5	F(3) +22	FA#
nominal	2156.5	D(4) +8	Reb
superquint	3244	A(4) -41	Lab
oct.nom.	4283.5	C(5) +31	DO

CLOPOTUL 4 370 kg	Parțial	Frecvența	Nota
	[Hz]	[Hz]	
hum	481	B(1) -46	Si
prima	825	G(2) +45	SOL
tercea	1208	B(3) -5	Si
quint	1525.5	G(3) -47	SOL
nominal	1763.5	A(3) &	LA
superquint	2607	E(4) -19	Mi

CLOPOTUL 5 310 kg	Parțial	Frecvența	Nota
	[Hz]	[Hz]	
hum	504	E(2) -13	Mi
prima	1157	D(3) -33	RE
tercea	1407.5	F(3) +13	FA
quint	1880.5	B(3) +14	Sib
nominal	2769.5	D(4) +40	REB
superquint	3357.5	A(4) +19	Lab

### Analiza corelărilor sunetelor de clopote de la Mănăstirea CELIC- DERE Tabelul 6.6

CELIC DERE CLOPOTUL 1 SUS 780 kg	Parțial	Frecvența	Nota
	[Hz]	[Hz]	
hum	448.5	A(1) +36	LA
prima	778	G(2) -13	SOL
tercea	1069.5	B(2) +37	SI
quint	1323	E(3) +3	Mi
nominal	1716	A(3) -43	LA
superquint	2444	E(4) -31	Mib

CLOPOTUL 2 SUS 750 kg	Parțial	Frecvența	Nota
	[Hz]	[Hz]	
hum	252.5	B(0) +28	Si
prima	441	B(1) -19	Sib
tercea	584.5	D(2) +21	RE
quint	911.5	B(3) -39	Sib
nominal	1036	C(3) -17	DO
superquint	1377	G(3) +9	SOL
oct.nom.	2164.5	D(4) -41	REB

CLOPOTUL 3 SUS 680 kg	Parțial	Frecvența	Nota
	[Hz]	[Hz]	
hum	612.5	E(2) -27	Mib
prima	1093.5	D(3) -25	REB
tercea	1485	F(3) +2	FA #
quint	1483	A(3) +32	Lab
nominal	2378.5	D(4) +21	RE
superquint	3587.5	A(4) +32	LA

CLOPOTUL 4 SUS 335 kg	Parțial	Frecvența	Nota
	[Hz]	[Hz]	
hum	516.5	G(2) -22	DO
prima	915.5	B(3) -53	Sib
tercea	1179.5	D(3) +7	RE
quint	1509.5	F(3) +34	FA #
nominal	2014.5	C(4) -18	DO
superquint	3094.5	G(4) -23	SOL
oct.nom.	4167	C(5) -9	DO

CLOPOTUL 5 SUS 310 kg	Parțial	Frecvența	Nota
	[Hz]	[Hz]	
hum	593	F(1) -8	FA
prima	1235	E(3) -13	Mib
tercea	1597	G(3) -12	SOL
quint	2234.5	B(4) +13	REB
nominal	2883.5	E(4) +28	Mi
superquint	4051.5	B(4) +43	SI

CLOPOTUL 6 SUS 260 kg	Parțial	Frecvența	Nota
	[Hz]	[Hz]	
hum	604	D(2) +49	RE
prima	1153.5	D(3) +27	RE
tercea	1375	F(3) -27	FA
quint	1979	B(3) +46	SI
nominal	2360	D(4) +27	RE
superquint	3598.5	A(4) +38	LA

### VL4 Determinarea curbei de ponderare în frecvență Cz

*Cz este valoarea în dB la 1000 Hz a curbei nivelului de presiune acustică ce nu poate fi depășită în niciun punct al spectrului (NC 001-99).*

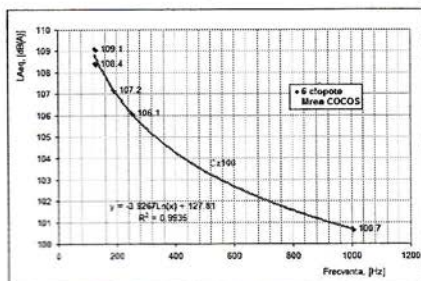


Fig.6.6 Determinarea Cz (100) clopotele Mănaștirii COCOS

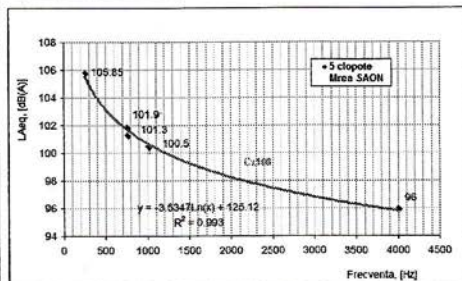


Fig. 6.7 Determinarea Cz (100) clopotele Mănaștirii SAON

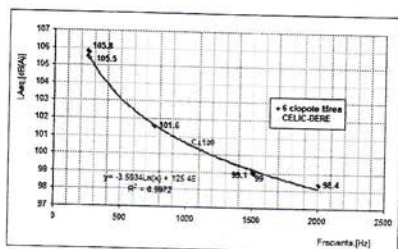


Fig.6.8 Determinarea numărului curbei Cz(100) pentru clopotele de la Mănăstirea CELIC-DERE

**CONCLUZII** cu privire la curbele de ponderare în frecvență Cz

1. În toate cazurile analizate Cz a avut valoarea 100, încadrându-se în limitele prevăzute în tabelul din anexa II a normativului NC 001-99, referitor la valorile nivelurilor de presiune acustică în benzi de octavă corespunzătoare curbelor Cz
2. Toate punctele rezultate au fost situate pe curbă sau în apropierea curbei Cz100.

#### VI.5. Dispozitiv pentru măsurarea cotelor interioare și exterioare ale clopotelor

Riglele aflate pe cadru și pe bara de susținere a palpatorului destinat copierii profilului servesc la determinarea a câte două cote (abscisă și ordonată) pentru fiecare punct măsurat (fig. 6.9).

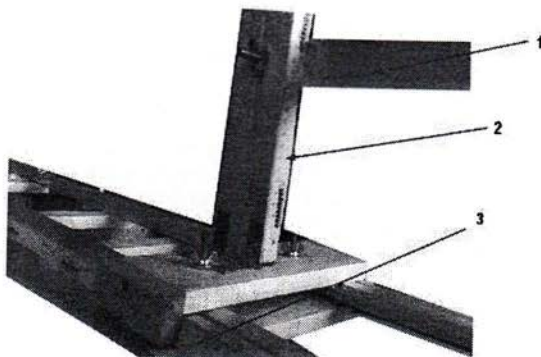


Fig. 6.9 Riglele folosite la copierea profilului clopotelor

- 1-Suport reglabil de susținere a palpatorului
- 2- Sistem de rigle verticale (determinarea înălțimii) și rigle orizontale (citirea diametrelor exterioare și interioare).
- 3- Riglele aflate pe cadru și pe suportul de susținere a palpatorului folosite la copierea profilului servesc la determinarea a câte două cote (abscisă și ordonată) pentru fiecare punct măsurat.

Suportul orizontal (dreapta-sus, fig. 6.9), montat pe bara de susținere a palpatorului, servește la sprijinirea și menținerea în poziție fixă a acestuia din urmă. Ordonatele punctelor se citesc direct pe rigla verticală, în timp ce abscisele se stabilesc prin distanța pe care palpatorul se deplasează față de marginea barei de susținere a dispozitivului, fixat la extremitatea diametrului, respectiv cu cât se reduce raza clopotului. La prelevarea cotelor interioare, tot în coordonate duble, suportul de susținere al palpatorului, cu unități de măsură gravate pe el, se deplasează pe orizontală, spre interiorul clopotului.



## CAPITOLUL VII

### REZULTATE EXPERIMENTALE PRIVIND PROIECTAREA FORMEI CLOPOTELOR BISERICESTI

Caracteristicile constructive ale clopotelor realizate în stil german, franțuzesc și rusesc se pot observa în imaginile prezentate în figurile 7.1, 7.2 și 7.3. Astfel, se remarcă la clopotele rusești grosimea de perete mai mare decât la clopotele omoloage lor, construite în stil franțuzesc sau german. Dar, aceasta nu este singura diferență dintre clopotele rusești și cele europene.

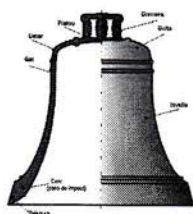


Fig. 7.1 Clopot în stil german



Fig. 7.2 Clopot în stil franțuzesc



Fig. 7.3 Clopot în stil rusesc

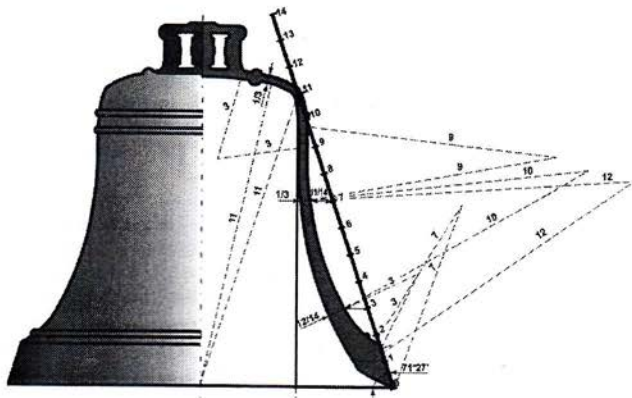
Prin forma sau învelișul clopotului se înțelege profilul unui clopot care arată atât peretele de la marginea de jos până la zona de sus și a boltei, dar și proporțiile corpului clopotului, descriind astfel construcția (forma) acestuia. De structura lui depind configurația armonică (tipul clopotului), precum și tonalitatea [39,50,102].

#### VII.1 PROIECTAREA FORMEI CLOPOTULUI ÎN STIL GERMAN

Cea mai importantă dimensiune a clopotului o reprezintă *diametrul marginii de jos ( $D_m$ )*, care determină și mărimea generală a clopotului; alte dimensiuni importante sunt *diametrul superior din zona gatului ( $d_m$ )*, situat direct sub umerii clopotului, *generatoarea ( $L$ )* de la marginea de jos până la umăr și *grosimea de la cercul de impact ( $S_r$ )*, [80].

Diametrul superior și inferior, precum și generatoarea descriu proporțiile corpului clopotului (precizând în același timp și un trunchi de con care înconjoară corpul clopotului), din acest motiv putând fi denumite și „dimensiuni de profil”. În tehnologia construcției clopotelor, dimensiunile sunt redată în centimetri (cm), iar în desenul tehnic se utilizează în milimetri (mm).

- Se împarte diametrul mare al clopotului în 14 părți egale și se utilizează drept scară cu un număr de 14 unități.
- Se măsoară unghiul de la bază specific profilului în stil german:  $71^\circ 27'$ .
- Se utilizează scara pe generatoarea clopotului, după care conform desenului, se trasează arce de cerc care conduc la conturarea profilului din imagine, fig. 7.4.



**NOTA:**  
 $H/h=5:4$

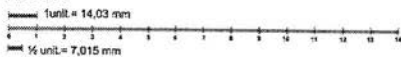


Fig.7.4 Dimensionarea scării specifice clopotului german

- Diametrul mic (superior) este jumătate din diametrul mare (inferior).
- Raportul calculat dintre înălțimea mare a clopotului  $H$  și înălțimea mică  $h$  este de  $5/4$ .
- Din calcule rezultă că profilul clopotului se încadrează la coaste groase.
- Din construcție se observă că grosimea de la cercul de impact este maximă în dreptul buzei clopotului.

## VII.2 PROIECTAREA FORMEI CLOPOTULUI ÎN STIL FRANȚUZESC

În fiecare mănăstire, clopotele marchează ritmul vieții în fiecare zi, fiind un mod de a conștientiza trecerea timpului, de exemplu: 2 bătăi pentru prima, a treia, a șasea, a noua, 1oră pentru orologiu, 1 oră pentru refectoriu, 1 oră până la culcare.

Le P. Mersenne este primul care a înregistrat o metoda sigura pentru turnarea clopotelor; el a stabilit raporturile care trebuie să fie între diametrele instrumentului cu înălțimea și cu greutatea relativă a diverselor părți, fig.7.5, fig.7.6.

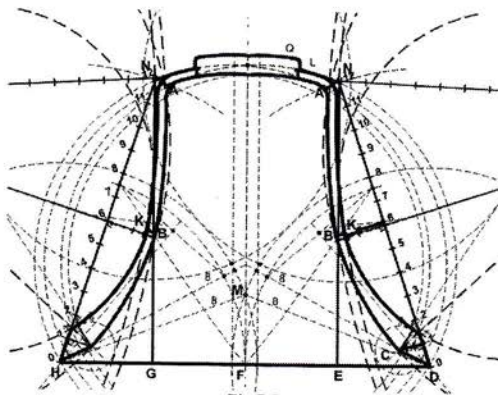


Fig.7.5

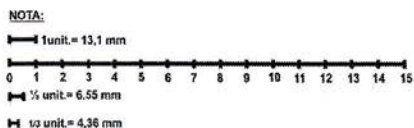


Fig.7.6 Obținerea scării, prin împărțirea diametrului HD în 15 părți egale pentru aflarea unității

- GE va fi diametrul gâtului; aceasta înseamnă ca diametrul gâtului va fi la mijlocul clopotului; *octava în care va suna clopotul va fi aceeași cu cea a gâtului.*
- Se împarte diametrul HD în 15 părți egale și rezultă grosimea C1 a marginii; se împarte una din cele 15 părți în trei părți egale, și se formează o scară care este formată din 15 sau 25 terțe: lungimea acestei scări va fi egală cu diametrul clopotului.
- Se măsoară cu compasul douăsprezece măsuri; se așază un vârf al compasului în D; se descrie un arc care taie linia E în punctul N; se trasează linia DN; se împarte linia în douăsprezece părți egale, pe marginile 1, 2, 3, 4, 5, etc.

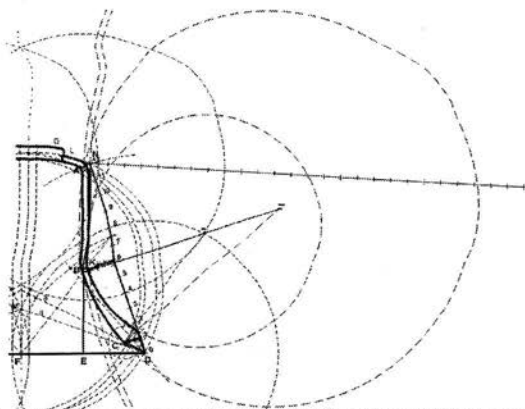


Fig.7.7 Vizualizarea modului de obținere a profilului de clopot în stil franțuzesc

- În scopul de a trasa arcele care vor descrie profilul clopotului, se iau diferite centre. Se ia în deschiderea compasului 30 de dimensiuni sau la dublul diametrului clopotului; se pune un varf în punctul N, se descrie un arc de cerc; se aduce același varf în K, și cu aceeași deschidere se descrie un arc de cerc care îl taie pe primul; punctul de intersecție al celor două arce va fi centrul arcului N K, fig.7.7.
  - Sunt mai multe moduri de a trasa arcul Kp: unul dintre acestea presupune descrierea unui centru la o distanță de nouă unitati fata de punctele p si K; celalalt la o distanța de șapte unități de ambele puncte.
- Sunetul unui clopot nu este simplu, el este compus din tonuri diferite produse de părțile clopotului, între care cele fundamentale trebuie să absoarbă armonicele, așa cum se întâmplă cu orga: atunci când atingem acordul MI, SOL, facem să sune MI, SOL; MI, SOL, SI; SOL, SI, RE; nu auzim decât MI, SOL.

### VII.3 PROIECTAREA FORMEI CLOPOTELOR ÎN STIL RUSESC

Realizarea formei clopotelor, după metoda savantului rus V.S. Knabbe, se bazează mai întâi pe trasarea liniei axiale a peretelui clopotului, iar după aceasta ceea ce rezultă din construcția geometrică, conturarea liniilor profilului interior și exterior.

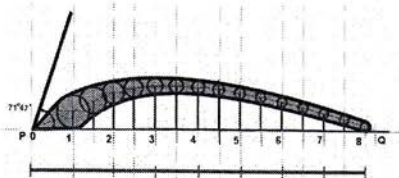


Fig. 7.8 Obținerea scării după modul și schiței profilului de clopot în stil rusesc

**Nota:**  $D$  - diametrul mare al clopotului,  $D = 19,64$  cm;  
 $\delta$  - grosimea de perete cea mai mare,  $\delta = 0,08 \cdot D = 0,08 \cdot 19,64 = 1,571$  cm;  
 $m$  - modulul,  $m = 0,1 \cdot D = 0,1 \cdot 19,64 = 1,964$  cm.

Cu ajutorul construcției geometrice prezentată în fig.7.9, 7.10 s-au obținut în fiecare punct al secțiunii de la 1 la 8, valorile diametrului exterior și interior corespunzător.

În anexă se poate observa forma finală a clopotului obținut prin proiectare în stil rusesc (construcție geometrică și dimensionare).

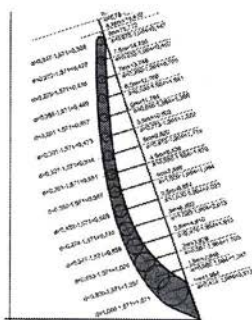


Fig.7.9 Profilul clopotului obținut prin metoda de proiectare rusească

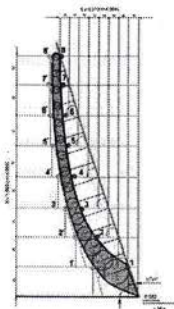


Fig.7.10 Construcția geometrică pentru determinarea valorilor diametrelor

#### VII.4 Estimarea ecuațiilor ce conduc la reliefarea profilelor clopotelor realizate în diferite stiluri

##### ➤ Clopotul proiectat în stil german

Tabel 7.2

VALORI ÎN GERMANIA			
h	g	Dext	Dint
10	10	100	100
12	12	120	120
14	14	140	140
16	16	160	160
18	18	180	180
20	20	200	200
22	22	220	220
24	24	240	240
26	26	260	260
28	28	280	280
30	30	300	300
32	32	320	320
34	34	340	340
36	36	360	360
38	38	380	380
40	40	400	400
42	42	420	420
44	44	440	440
46	46	460	460
48	48	480	480
50	50	500	500
52	52	520	520
54	54	540	540
56	56	560	560
58	58	580	580
60	60	600	600
62	62	620	620
64	64	640	640
66	66	660	660
68	68	680	680
70	70	700	700
72	72	720	720
74	74	740	740
76	76	760	760
78	78	780	780
80	80	800	800
82	82	820	820
84	84	840	840
86	86	860	860
88	88	880	880
90	90	900	900
92	92	920	920
94	94	940	940
96	96	960	960
98	98	980	980
100	100	1000	1000

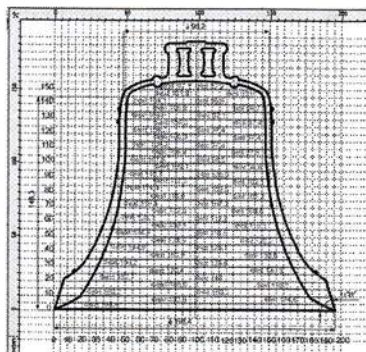


Fig. 7.11 Suprapunerea valorilor diametrelor și înălțimii ce definesc profilul clopotului în stil german  
 $h$  - înălțimea clopotului, [mm],  $g$  - grosimea de perete a clopotului, [mm],  
 $D_{ext}$  - diametrul exterior al clopotului, [mm],  $D_{int}$  - diametrul interior al clopotului, [mm].

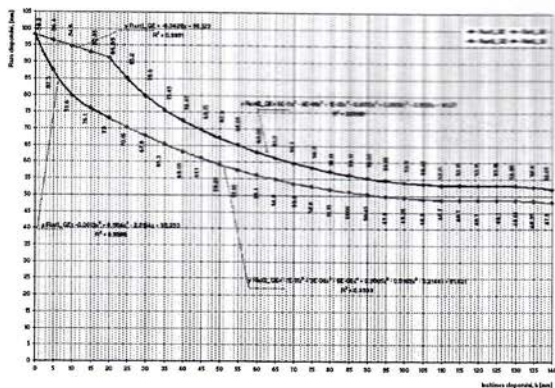


Fig. 7.12 Ecuatiile generatoare de profil de clopot in stil german

➤ Clopotul proiectat în stil francezesc

Măsurătorile diametrelor (interioare și exterioare), precum și înălțimii au fost realizate pe clopotul proiectat în stil francezesc cu instrumentul de măsură conceput în acest scop.

Tabel 7.3

PARAMETRII FRAȚIȚIȘTICĂRII			
h	Diam. Int.	Diam. Ext.	h
10	100.0	100.0	10
15	101.5	101.5	15
20	103.0	103.0	20
25	104.5	104.5	25
30	106.0	106.0	30
35	107.5	107.5	35
40	109.0	109.0	40
45	110.5	110.5	45
50	112.0	112.0	50
55	113.5	113.5	55
60	115.0	115.0	60
65	116.5	116.5	65
70	118.0	118.0	70
75	119.5	119.5	75
80	121.0	121.0	80
85	122.5	122.5	85
90	124.0	124.0	90
95	125.5	125.5	95
100	127.0	127.0	100
105	128.5	128.5	105
110	130.0	130.0	110
115	131.5	131.5	115
120	133.0	133.0	120
125	134.5	134.5	125
130	136.0	136.0	130
135	137.5	137.5	135
140	139.0	139.0	140

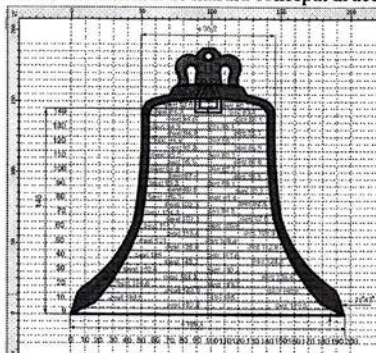


Fig. 7.13 Suprapunerea valorilor diametrelor și înălțimii ce definesc profilul clopotului în stil francezesc

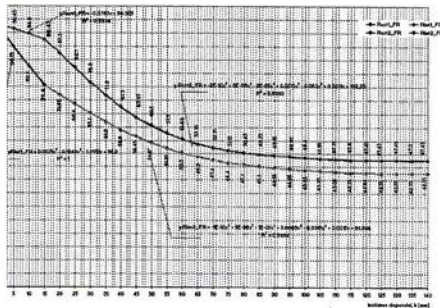


Fig. 7.14 Ecuatiile generatoare de profil de clopot în stil francezesc

➤ Clopotul proiectat în stil rusesc

Tabel 7.4

MARGINA FINISAJA			
h	Clasa I	Clasa II	Clasa III
1	100	100	100
2	100	100	100
3	100	100	100
4	100	100	100
5	100	100	100
6	100	100	100
7	100	100	100
8	100	100	100
9	100	100	100
10	100	100	100
11	100	100	100
12	100	100	100
13	100	100	100
14	100	100	100
15	100	100	100
16	100	100	100
17	100	100	100
18	100	100	100
19	100	100	100
20	100	100	100
21	100	100	100
22	100	100	100
23	100	100	100
24	100	100	100
25	100	100	100
26	100	100	100
27	100	100	100
28	100	100	100
29	100	100	100
30	100	100	100
31	100	100	100
32	100	100	100
33	100	100	100
34	100	100	100
35	100	100	100
36	100	100	100
37	100	100	100
38	100	100	100
39	100	100	100
40	100	100	100
41	100	100	100
42	100	100	100
43	100	100	100
44	100	100	100
45	100	100	100
46	100	100	100
47	100	100	100
48	100	100	100
49	100	100	100
50	100	100	100
51	100	100	100
52	100	100	100
53	100	100	100
54	100	100	100
55	100	100	100
56	100	100	100
57	100	100	100
58	100	100	100
59	100	100	100
60	100	100	100
61	100	100	100
62	100	100	100
63	100	100	100
64	100	100	100
65	100	100	100
66	100	100	100
67	100	100	100
68	100	100	100
69	100	100	100
70	100	100	100
71	100	100	100
72	100	100	100
73	100	100	100
74	100	100	100
75	100	100	100
76	100	100	100
77	100	100	100
78	100	100	100
79	100	100	100
80	100	100	100
81	100	100	100
82	100	100	100
83	100	100	100
84	100	100	100
85	100	100	100
86	100	100	100
87	100	100	100
88	100	100	100
89	100	100	100
90	100	100	100
91	100	100	100
92	100	100	100
93	100	100	100
94	100	100	100
95	100	100	100
96	100	100	100
97	100	100	100
98	100	100	100
99	100	100	100
100	100	100	100

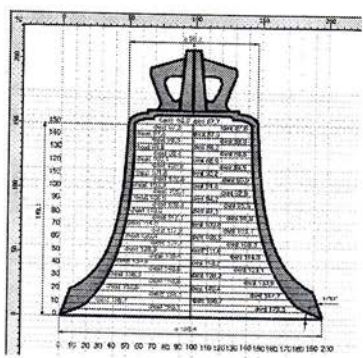


Fig. 7.15 Suprapunerea valorilor diametrelor exterioare, interioare și altimții ce definesc profilul clopotului în stil rusesc

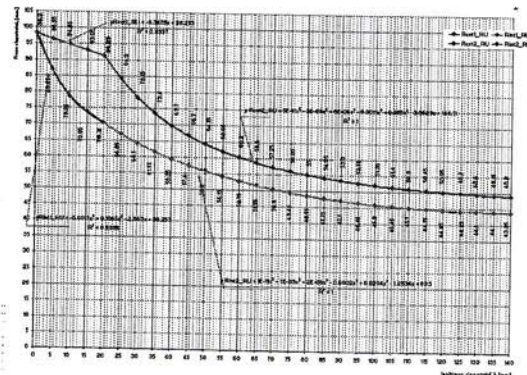


Fig. 7.16 Ecuațiile generatoare de profil de clopot în stil rusesc

În figura 7.17 sunt prezentate graficele prin suprapunere, punând în evidență contururile peretilor de clopote: german, francezesc și rusesc, precum și ecuațiile ce conduc la obținerea profilelor.

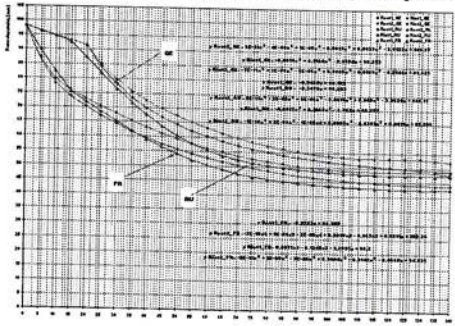


Fig. 7.17 Evidențierea diferențelor dintre contururile peretilor de clopote

➤ Ecuțiile profilului clopotului realizat în stil german:

$$y_{\text{Rext1\_GE}} = -0,3428x + 98,123$$

$$y_{\text{Rext2\_GE}} = 6 \cdot 10^{-11}x^6 - 4 \cdot 10^{-8}x^5 + 1 \cdot 10^{-5}x^4 - 0,0013x^3 + 0,0933x^2 - 3,9133x + 141,37$$

$$y_{\text{Rint1\_GE}} = -0,0019x^3 + 0,1164x^2 - 2,8154x + 98,293$$

$$y_{\text{Rint2\_GE}} = -7 \cdot 10^{-11}x^6 + 3 \cdot 10^{-8}x^5 - 6 \cdot 10^{-6}x^4 + 0,0005x^3 - 0,0189x^2 - 0,2144x + 81,621$$

➤ Ecuțiile profilului clopotului realizat în stil francezesc:

$$y_{\text{Rext1\_FR}} = -0,3783x + 98,305$$

$$y_{\text{Rext2\_FR}} = -2 \cdot 10^{-10}x^6 + 8 \cdot 10^{-8}x^5 - 2 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,0015x^3 - 0,063x^2 + 0,0211x + 102,26$$

$$y_{\text{Rint1\_FR}} = 0,0071x^3 - 0,1245x^2 - 1,2551x + 98,2$$

$$y_{\text{Rint2\_FR}} = -2 \cdot 10^{-11}x^6 + 1 \cdot 10^{-8}x^5 - 3 \cdot 10^{-6}x^4 + 0,0004x^3 - 0,0142x^2 - 0,4665x + 84,531$$

➤ Ecuțiile profilului clopotului realizat în stil rusesc:

$$y_{\text{Rext1\_RU}} = -0,3478x + 98,253$$

$$y_{\text{Rext2\_RU}} = 5 \cdot 10^{-11}x^6 - 3 \cdot 10^{-8}x^5 + 8 \cdot 10^{-6}x^4 - 0,0011x^3 + 0,085x^2 - 3,9629x + 144,11$$

$$y_{\text{Rint1\_RU}} = -0,0017x^3 + 0,1065x^2 - 2,863x + 98,253$$

$$y_{\text{Rint2\_RU}} = -1 \cdot 10^{-10}x^6 + 5 \cdot 10^{-8}x^5 - 1 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,0009x^3 - 0,0381x^2 + 0,0015x + 81,206$$

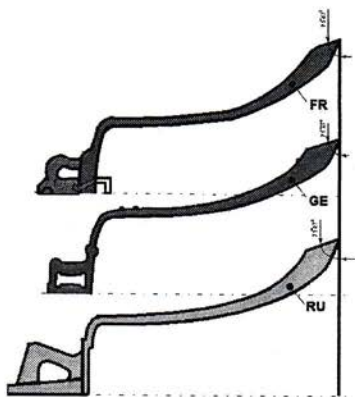


Fig.7.18 Diferențele dintre profilele clopotelor în cele trei variante proiectate

### CONCLUZII cu privire la proiectarea formei clopotelor:

➤ Observând în paralel graficele din fig. 7.19 și profilele clopotelor din fig.7.20, se remarcă faptul că cea mai mare grosime de perete aparține clopotului rusesc, urmată de cea a clopotului german și la final de cea francezească, evidențiindu-se aceeași alură a profilelor cu cea a graficelor. Clopotul cu profil francezesc are pereții mult mai arcuți, mai subțiri, rezultând din proiectare o mai mare suplețe a formei.

➤ Toate clopotele proiectate au cea mai mare grosime de perete în dreptul buzei, în secțiunea zonei de impact cu limba clopotului.

➤ Se remarcă menținerea în toate cazurile a variațiilor de proporții "secțiunii de cur":

forma „germanică”:  $D_n = 14$  m, unghiul de la bază:  $71^\circ 27'$ , raportul  $L/R$ : 1,57,  $L = 11$  m;

forma „francezescă”:  $D_n = 15$  m, unghiul de la bază:  $71^\circ 47'$ , raportul  $L/R$ : 1,6,  $L = 12$  m;

forma „rusească”:  $D_n = 12,5$  m, unghiul de la bază:  $71^\circ 47'$ , raportul  $L/R$ : 1,6,  $L = 10$  m.

➤ În ceea ce privește sistemul de prindere - coroana: este amplă, dreapta, în cazul clopotului rusesc și cu forme arcuite în celelalte două cazuri.

## CAPITOLUL VIII

### STUDII COMPARATIVE PRIVIND TEHNOLOGIA DE FORMARE-TURNARE A CLOPOTELOR

Un clopot este un obiect liturgic care este destinat unei biserici, o piesă a turnătoriei de artă și un instrument muzical în același timp. Astfel, el prezintă o excelentă calitate metalurgică și respectă norme foarte precise din punct de vedere muzical.

#### VIII.1 Metoda clasică de formare cu miez din cărămizi fasonate

Operația de modelare-formare începe cu confecționarea celor două șabloane, unul pentru partea inferioară a formei (realizarea miezului) și altul pentru partea exterioră a clopotului (așa numitul *clopot fals*). Pe o bază metalică rotundă, mai mare decât diametrul viitorului clopot, vertical, se montează, în centru, sprijinită la extremități, o bară-ax pe care se va introduce un suport pentru susținerea, pe rând, a șablonului pentru obținerea profilului interior și, numai după aceea, a celui pentru asigurarea trasării configurației exterioare, în concordanță cu procesul tehnologic de modelare.

Miezul interior, cel care va reprezenta, de altfel, acea parte a formei cu care se va obține profilul interior al clopotului, se formează prin înzidirea, cu mortar din lut, a unor cărămizi, fie refractare procurate din exterior, fie confecționate – în atelier - din amestec de formare, generând un gol uniform la interior și păstrând, la exterior, un contur care se află cu circa 2 cm subcotele nominale ale șablonului. Acest miez se acoperă, în continuare, cu straturi uniforme, succesive, de amestec, surplusul din acesta îndepărtându-se cu șablonul pentru profilul interior, prin rotirea acestuia în jurul barei-ax. Straturile de argilă se usucă cu flacăra, de la focul făcut în golul din interiorul miezului.

➤ Tehnologia, veche de sute de ani, prevede realizarea, în continuare, pe suprafața miezului, a unui clopot în mărime naturală, din amestec care, după uscarea și realizarea formei finale, se sparge lăsând în interiorul acesteia negativul viitorului clopot. Acest clopot este cunoscut sub denumirea de *clopot fals* (fig. 8.1-8.4).

Pentru realizarea acestui clopot, miezul finisat se vopșește cu un material antiaderent (în trecut se folosea untura) pentru a se asigura obținerea unui strat intermediar, după care, pe el, se depun straturi succesive al căror surplus de material este îndepărtat, după fiecare depunere, prin rotirea șablonului de exterior, montat pe bara-ax verticală, în locul celui de interior.

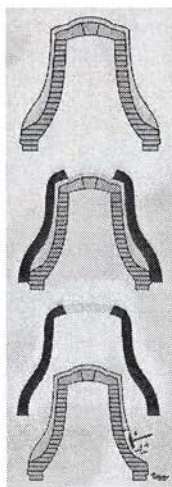


Fig.8.1 Primul strat era miezul din caramizi, apoi al doilea strat clopotul fals- partea fasonata din amestec de formare, peste miez, care reprezenta clopotul insusi, care-i tinea locul provizoriu: de aceleasi dimensiuni si aceeasi grosime ca viitorul clopot.

Pe suprafața clopotului fals se amplasau ornamente și inscripții. Împriarile în relief erau executate din ceara.

Fig.8.2 Se executa forma exteriora a clopotului, al treilea strat

Fig.8.3a Spargerea clopotului fals



> O altă variantă prevede tot șablonarea la trasarea conturului exterior la clopotului, care însă poate fi realizată independent de operația anterioară, de obținerea a miezului, și fără utilizarea clopotului fals. Pentru aceasta se folosește o ramă metalică de formă tronconică, care, după ce este așezată cu baza mare în sus (fig. 8.5), este acoperită la interior cu straturi din amestec de formare al cărui surplus este înlăturat prin răzuire cu șablonul de exterior care se rotește în jurul aceleiași bare-ax montată în centrul ramei metalice și asigurată la partea superioară contra unor eventuale deplasări laterale. Șablonul va fi fixat pe bara-ax corespunzător noului montaj, având un unghi de înclinare care urmărește profilul peretelui ramei și al clopotului, invers decât în cazul realizării clopotului fals (cu profilul desenat și decupat spre exterior) [21;23;25;92].

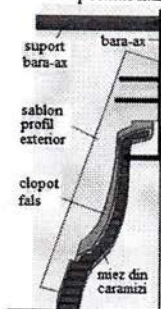


Fig.8.4 Reprezentarea clopotului fals

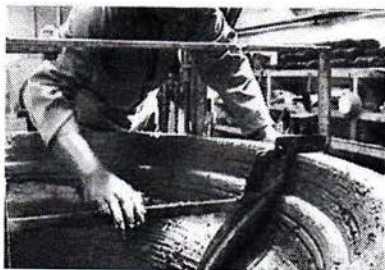


Fig.8.5 Șablonarea la trasarea conturului exterior la clopotului

La prima variantă, cea clasică, veche de câteva sute de ani, după uscarea clopotului fals pe suprafața acestuia se aplicau imagini, inscripții și ornamente în relief, executate din ceră cu diverse adaosuri, numai de turnătorii respectivi cunoscute.

La începuturile confecționării acestui obiect de artă, clopotul fals era realizat din ceră.

La cea de-a doua variantă, aplicarea inscripțiilor și ornamentelor se face prin imprimarea acestora, literă cu literă sau desen cu desen, în suprafața exterioară amodelului, realizată în forma metalică tronconică. După prelucrarea artistică a clopotului fals, suprafața lui se acoperă cu o vopsea antiaderentă după care se depun din nou straturi de amestec de formare.

Între straturi se pun inele și urechi metalice pentru consolidarea forme și a putea ridica și deplasa ulterior forma-coajă (cutie) exterioară obținută, pe partea exterioară a forme, în buză, se prind simetric, niște bare pe care va culisa forma-coajă la ridicare. Pentru obținerea grosimii dorite care să asigure rezistența dorită a forme, în golul interior al miezului se face iar focul. Inscriptiile și ornamentele din ceră, încălzindu-se, se topec și ceara rezultată se scurge din formă.

Odată uscarea terminată, forma-coajă este ridicată cu ajutorul unui dispozitiv adecvat (macara, electropalan, etc.) și se îndepărtează cu grijă sporită clopotul fals de pe miez (spargere) și se verifică, totodată, amprente obținute în peretele exterior al forme. În acest mod se va crea un gol între miez și forma exterioară, golul viitorului clopot, în care se va turna bronzul după asamblarea și rigidizarea forme.

Și la cea de-a doua variantă, asamblarea forme, după uscarea celor două semiforme, conduce la obținerea golului în care se va turna bronzul.

Practic, prin fixarea forme exterioare peste miez și rigidizare, forma este aproape gata pentru turnare. Deasupra forme se montează (fixează) forma pentru obținerea coroanei clopotului, formată dintr-o masă argiloasă cu goluri la interior, care reproduce configurația urechilor. De obicei aceste urechi sunt realizate din ceră, turnată în forme din ipsos, înglobate (prin ungere) în acea masă argiloasă amintită anterior și folosită și la modelare.

La uscare, ceara se topește și se scurge din formă, iar în masa argiloasă uscată rămâne amprenta coroanei. Aceste forme pentru coroană se realizează conform cu numărul de urechi al viitorului clopot, de la două până la 6 sau 8 bucăți pentru clopotele de peste o tonă.

După aceasta forma pentru obținerea coroanei se fixează la partea superioară a forme propriu-zise pentru clopot și toată această construcție se acoperă cu un material de formare.

La partea de sus a coroanei se lasă două goluri (fig. 8.6): una pentru sistemul de turnare a bronzului (cu maselotă) și alta pentru evacuarea gazelor.

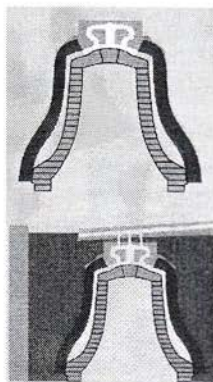


Fig. 8.6 a Reprezentarea coroanei



Fig. 8.6 b Coroana în perspectiva cu 6 bucati

Fig. 8.7 Turnarea

Dacă clopotul are dimensiuni mici, atunci se toarnă deasupra gropii de turnare, iar dacă este mai mare, în groapă. Groapa de turnare este o parte componentă a oricărei atelier pentru turnarea clopotelor. Ea este situată alături de cuptorul de elaborare. Orificiul de evacuare al bronzului din cuptor trebuie să se găsească mai sus decât sistemul de turnare al clopotului, astfel ca metalul să se scurgă lent în cavitatea formei.

După umplerea formei cu metal, aceasta este lăsată în groapă pentru ca să se producă solidificarea și răcirea lentă a bronzului. La solidificarea și răcirea completă, forma exterioară se ridică și se extrage clopotul obținut pentru finisare și prinderea limbii.

### VIII.2. Metoda de formare cu model metalic fără plan de separație

O altă tehnologie folosită la confecționarea clopotelor utilizează, la obținerea formei, modelele fără plan de separație sau cu plan de separație. În schema prezentată în anexa, se prezintă două procedee la care se folosesc modelele metalice realizate din aluminiu.

La primul procedeu se utilizează un model metalic, fără plan de separație, identic ca formă cu clopotul care se dorește a fi turnat. Pentru început se realizează semiforma inferioară, clopotul din aluminiu servind drept model, conform operațiilor obținute dintr-o turnătorie. După realizarea acesteia, și rabateră ei cu  $180^\circ$  se trece la obținerea semiformei superioare.

În centrul clopotului-model, aflat acum cu gura în sus, se introduce o bară metalică care va servi, în continuare, drept picior de turnare.

După suprapozarea ramei superioare peste cea inferioară, deja executată, se trece la executarea și a celei de-a doua jumătăți de formă care va conține și miezul, cavitatea clopotului-model servind, chiar dacă este impropriu spus, drept cutie de miez.

Desfăcerea formei, îndepărtarea modelului uscare și asamblarea formei sunt printre ultimele operații care premerg operația de turnare. Atașarea și a formei pentru coroană încheie modelarea putându-se trece la turnare. Un interes deosebit prezintă, în acest caz, modul de realizare al iconografiilor și epigrafiilor. Pentru aceasta se folosește un model, care reproduce forma exterioară a treimii superioare a clopotului, realizat din metal, din cinci părți demontabile, din care una centrală ce asigură fixarea și unitatea întregului. La sfârșitul formării cele 5 părți se extrag, pe rând, din formă (partea centrală, 1, 3, 2 și 4), fără deteriorarea suprafețelor cărora le-a dat naștere. De altfel, modelul asigură obținerea, din amestec de formare pe bază de rășini, a unui inel, care la interior va avea, în negativ, iconografia și epigrafia dorită, imprimată de modelul folosit la realizarea sa. Acest inel, după extragerea din formă se va introduce și fixa pe modelul metalic al clopotului, întreaga semiformă inferioară realizându-se în jurul acestui inel.

Restul operațiilor sunt identice cu cele prezentate anterior.

### VIII.3 Metoda de formare cu model metalic cu plan de separație și miez din amestec de formare

Cel de-al doilea procedeu folosește tot un model de clopot, dar cu plan de separație, fiind confecționat din două jumătăți identice. Se vor obține două semiforme, aproape identice, în care, la asamblarea formei, se va introduce și miezul obținut cu ajutorul unei cutii de miez. Sunt „aproape identice”, deoarece simetria acestora va fi afectată de realizarea rețelei de turnare, operație care se face prin planul de separație. Prin imprimarea în cele două semiforme a unor modele de litere, a unor iconițe sculptate sau a unor brăuri ornamentale se pot obține, și în acest caz, deaștate opere de artă.

#### STUDII COMPARATIVE PRIVIND TEHNOLGIA DE FORMARE-TURNARE A CLOPOTELOR

##### METODA CLASICA DE FORMARE CU MIEZ DIN CARAMIZI FASONATE

- Particularități:**  
 -miez înzidit  
 -sabloane interioar și exterior  
 -turnare prin partea superioara a clopotului

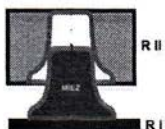
1. Se formeaza miezul din caramizi fasonate, realizandu-se intru-ele cu ajutorul tip de amestec lator din care sunt confecționate caramizile. Miezul se formeaza cu sablon de interior.



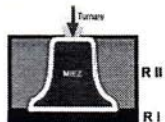
2. Se formeaza cu ajutorul sablon exteriorului, convexitate ce va constitui exteriorul clopotului.



3. Se pot asambleaza inscripționarile, decoratiunile pe interiorul clopotului. Se pudreaza cu pulbere de grafit, impotriva aderentelor metalului la forma și a formatorului său. Se realizeaza forma neteda.



4. Se asamblauza forma exteriorului cu miezul, se rigidizeaza și se etanșeaza în vederea turnării.



5. Se realizeaza centrul, verificat pe la partea de sus a clopotului prin rețeaua de turnare.

##### LEGENDA

- ↓ Turnare  
 - - - - - Linia de separație  
 - - - - - Linia de separație  
 - - - - - Linia de separație  
 - - - - - Linia de separație

##### METODA DE FORMARE CU MODEL METALIC

- Particularități:**  
 -model metalic (clopot); nu se utilizeaza sabloane  
 -turnare pe baza clopotului



1. a. Se asamblauza modelul interiorului cu decoratiunile formate din raze parti. b. Se formeaza miezul din razele epoxidice. timp mentinere 10 minute.



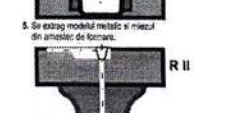
3. Se formeaza intru exteriorul clopotului, înșurubându-se amestecul de formare cu ajutorul, apoi se realizeaza forma. Iar în spoliul razei se va forma miezul.



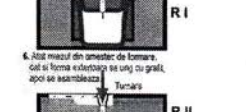
4. Se formeaza miezul prin înșurubarea amestecului de formare, se realizeaza canalul de turnare.



5. Se extrag modelul metalic și miezul din amestecul de formare.



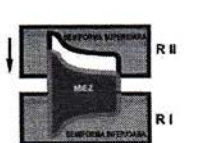
6. Așez miezul din amestecul de formare, cât și forma în tava și se ungu cu grafit, apoi se asamblauza.



7. Se realizeaza centrul, verificat pe la baza clopotului prin rețeaua de turnare.

##### METODA DE FORMARE CU MIEZ DIN AMESTEC DE FORMARE

- Particularități:**  
 -miez întreg din amestec de formare  
 -utilizare semiformele interioar și superior  
 -turnare orizontală a clopotului



6. Verificarea de sus a formei cu miez și canalul de turnare. Clopotul se realizeaza orizontal.

## CAPITOLUL IX

### REZULTATE EXPERIMENTALE PRIVIND REALIZAREA UNUI CLOPOT BISERICESC

#### IX.1 Contribuții privind turnarea unui clopot

Unul dintre principalii factori care determină sunetul viitorului clopot este profilul lui. De liniile acestuia, după care se confecționează, așa cum s-a arătat anterior, șabloanele sau modelele, ce servesc la obținerea prin rotire sau ca garnituri de model, forme interioare (miezul, respectiv semiforma inferioară) și a celei exterioare (clopotul fals, respectiv semiforma superioară) clopotului, depinde tonalitatea principală și tonurile înalte ale viitorului obiect muzical.

Așa cum înainte de turnare, fiecare clopot face obiectul unui studiu amănunțit, tot așa, și în cazul de față, am stabilit tehnologia de formare ținând seamă de concluziile desprinse din studiul comparativ prezentat anterior.

Formarea cu șablonul se deosebește de formarea cu model prin aceea că obținerea cavității forme se realizează cu ajutorul unor șabloane, din lemn sau metalice, care, spre deosebire de modele, sunt mai ușor de confecționat, ele reprezentând niște bucăți de scândură având decupat la una dintre margini profilul dorit de a fi obținut prin această operație.

Alte avantaje care m-au determinat să optez pentru această metodă sunt:

-un consum redus de manoperă și de materiale pentru confecționarea șabloanelor decât a modelelor și cutiilor de miez;

-șablonarea poate fi executată de către muncitori cu o calificare mai scăzută decât în cazul modelelor, acestea fiind mai simple;

-timpul necesar pentru obținerea piesei este mult mai scurt decât în cazul formării cu model;

-prețul de cost al piesei turnate este mai redus, dacă nu ținem seama de natura aliajului, ca urmare a faptului că modelul și cutiile de miez care, de obicei, sunt complicate și necesită multă manoperă și material, deci mai scumpe, sunt înlocuite cu scânduri profilate al căror preț este mult mai mic.

Există și dezavantaje ale procedurii:

-consum mai mare de manoperă pentru formare decât în cazul folosirii modelelor;

-sunt necesari muncitori cu calificare mai ridicată decât în cazul formării cu model;

-dimensiunile pieselor turnate sunt mai puțin precise decât în cazul formării cu model, deci se pierde mai mult material și se consumă timp cu prelucrarea mecanică.

Cu toate că aceste motive determină utilizarea formării cu șablonul mai mult la turnarea pieselor mari și executate într-un număr mic, astfel ca prețul de cost al șabloanelor și al manoperei consumată la formare, pentru întreaga comandă, să fie mai mic decât prețul de cost al modelului, totuși am optat pentru acest tip de formare la modelarea forme pentru turnare. Șablonul utilizat este cu ax vertical.

Motivele care au stat la baza adoptării acestei metode au fost:

-costurile realizării modelului, din lemn sau nu, ar fi fost exagerat de mari în raport cu cele rezultate în urma decupării unor scânduri pe o simplă mașină de traforaj sau cu un ferăstrău cu panglică;

-piesa se execută într-un singur exemplar ceea ce ar fi făcut imposibilă recuperarea costurilor solicitate de executarea unui model;

-abaterile dimensionale nu sunt deosebit de mari;

-nu se impun operații costisitoare de prelucrare mecanică;

-metoda se poate utiliza și în cazul utilizării altor rețete de amestec, diferite de cea clasică.

Pe baza studiului comparativ al metodelor de proiectare a forme clopotelor, în diferite ateliere cu tradiție în confecționarea acestora și a măsurătorilor efectuate pe diferite clopote aflate în clopotnițele diferitelor biserici și mănăstiri am stabilit o metodă mai simplă de proiectare a forme clopotelor care a și stat la baza realizării unuia de dimensiuni mai mici în cadrul turnătoriei RANCON din Iași.

## IX.2. Parametrii de proiectare în vederea obținerii clopotului

Pentru realizarea clopotului s-a utilizat formarea cu șablonul cu ax vertical. Înainte de formarea și turnarea clopotului se stabilesc următorii parametri de proiectare:

### 1. Domeniul de utilizare al clopotului:

- clopot de biserică;
- clopot pentru carilon;
- alte utilizări.

### 2. Parametrii geometrici de configurație (alegerea profilului clopotului):

- forma germană; forma franceză; forma rusească.

### 3. Caracteristicile pe care trebuie să le prezinte sunetul viitorului clopot:

- acustica locului în care va fi amplasat clopotul;
- greutatea (dimensiunile) clopotului;
- aliajul din care va fi turnat clopotul.

## IX.3. Execuția clopotului după proiect

La firma S.C. RANCON S.R.L. Iași s-a turnat un clopot după un proiect propriu.

În vederea obținerii formei clopotului au fost urmărite succint următoarele etape:

- proiectarea clopotului;
- realizarea șabloanelor de interior și de exterior în baza proiectului;
- realizarea dispozitivului de șablonare;
- fixarea suportului port-șablon în formă.
- realizarea amestecului de formare;
- execuția miezului cu ajutorul șablonului de profil, pentru obținerea profilului exterior.
- formarea în două rame: inferioară și superioară;
- turnarea clopotului cu alimentarea prin sifon.

### Formarea

Operația de formare constă într-o succesiune de operații bine determinate, în principal reducându-se la două, mai importante:

- realizarea șabloanelor;
- formarea propriu-zisă.

La realizarea SDV-urilor pentru formare, dat fiind faptul că acest clopot se va turna într-un singur exemplar, nu s-a putut opta pentru o tehnologie bazată pe modele, singura alegere rezonabilă constând în șablonare.

Șablonul se execută din lemn masiv, preferabil de esență tare. Partea care intră în contact cu amestecul de formare se întărește cu tablă, în scopul evitării uzurii premature. Șablonul se fixează prin șuruburi pe brațul port-șablon.

Brațul este prevăzut cu un canal care va asigura poziționarea corectă a șablonului față de axul de șablonare. Fixarea pe braț a șablonului se face în funcție de cotele de gabarit (exterior sau interior) al clopotului.

După executarea șabloanelor, înaintea montării pe brațul port-șablon a acestora și după efectuarea acestei operații, se face o verificare a dimensiunilor acestora din punct de vedere al cotelor de gabarit și, respectiv, al celor de montaj și menținerii dimensiunilor profilului (fig. 9.1).



Fig. 9.1. Verificarea cotelor celor două șabloane.

Pentru fixarea axului de susținere a șabloanelor pe bancul de lucru, la partea inferioară a ramei de formare s-a introdus un suport metalic, rigidizat antirotire, care să nu permită deplasarea axului în timpul operației de șablonare (fig. 9.2). Acest ax este fixat, prin înșurubare, în suportul metalic, astfel încât acesta să fie perfect vertical pe suprafața bancului de lucru și, implicit, a oglinzii ramei de formare și, pe cât posibil, la intersecția diagonalelor ramei.

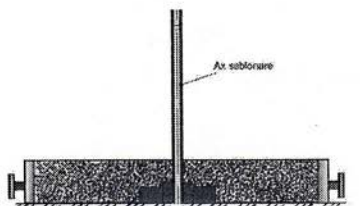


Fig. 9.2. Fixarea axului de șablonare

După fixarea axului, rama se umple cu amestec de formare, ce se îndeasă după care se nivelează obținându-se astfel un pat pentru realizarea, în continuare, pe el, a formeii.



Fig. 9.3. Îndesarea amestecului de formare în rama de bază pentru formarea patului și fixarea tijei centrale

Amestecul de formare, atât cel de model cât și cel de miez, a fost realizat pe bază de nisip de Feleac cu un adaos de 3 – 4 % novolac. Este acel nisip despre care turnătorii de clopote spun că este singurul care, strâns în mână, cântă.

Pe axul șablonului se introduce o țevă pentru a permite manevrarea axului fără a se deteriora miezul în momentul scoaterii axului de oțel din semiforma inferioară.

Miezul, care este înconjurat de metalul lichid, trebuie să aibă proprietăți de rezistență mecanică ridicată, permeabilitate mare la gaze, compresibilitate și refractaritate ridicată.

Pentru a se putea realiza miezul, în jurul axului port șablon trebuie să existe suficient amestec și distribuit astfel încât șablonul să aibă din ce răzu în mișcarea sa rotație sau altfel spus, conturul amestecului de miez trebuie să depășească conturul profilului exterior al clopotului. Din acest motiv pe patul realizat anterior se așează în jurul axului, pe cât posibil cât mai centrat, un cilindru metalic, care se închide pe o singură generatoare și în care se introduce amestec de formare ce se îndeasă prin batre (fig. 9.4).



Fig. 9.4. Montarea unei forme cilindrice în care se construiește miezul ce generează profilul exterior a clopotului

Se poate și așeza și îndeasa amestec în jurul axului până când conturul acestuia depășește conturul profilului exterior al clopotului, însă mai utilizată este prima metodă deoarece oferă posibilitatea unei mai bune construcții a cilindrului și gradul de îndeșare dorit.

Volumul de amestec depus, va trebui să asigure șablonarea acestuia pentru obținerea conturului exterior al clopotului. Surplusul de amestec de formare nu trebuie să depășească cu mai mult de aproximativ 20÷30 mm raza cilindrului pentru a nu se îngreuna foarte mult procesul de șablonare (creșterea timpului de șablonare).

Se montează pe ax bucașă de fixare cu brațul port-șablon, urmând a se utiliza mai întâi șablonul pentru profilul exterior (fig. 9.5). Dimensiunile acestuia vor trebui să reproducă întocmai conturul exterior al clopotului.



Fig. 9.5. Obținerea miezului - profil exterior al clopotului  
cu ajutorul șablonului de exterior

După ce s-a montat șablonul pentru exterior, cu ajutorul troilei și prin mișcări alternante (înainte, înapoi) se îndepărtează excesul de amestec de formare, astfel încât să se obțină conturul exterior al clopotului.

Miezul, astfel realizat, va constitui, în continuare, modelul pentru obținerea cavitații în semiforma superioară (fig. 9.6).



Fig. 9.6. Miezul – profil exterior al viitorului clopot

Se demontează bușa de fixare, brațul port-șablon și primul șablon (de exterior), cu care urmează a se obține forma exterioară a clopotului, de pe ax.



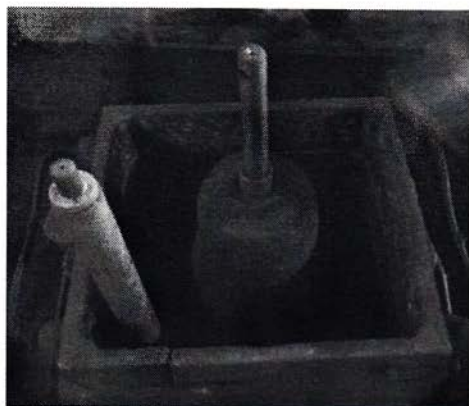


Fig. 9.7. Asamblarea și fixarea semiformei superioare peste cea inferioară și montarea rețelei de turnare.

Se asamblează ramele de formare superioare, peste cea inferioară, se fixează cu dispozitive de ghidare și elementele rețelei de turnare (fig. 9.7), după care se execută apoi semiforma superioară (îndesarea amestecului de formare în ramă, îndepărtarea surplusului, realizarea canalelor de aerisire). De menționat că această semiformă se realizează ca ori ce formă obișnuită, fără folosirea șablonului (fig. 9.8).



Fig. 9.8. Adăugarea amestecului de formare și îndesarea lui în semiforma superioară

Se demulează modelele pentru rețeaua de turnare și se îndepărtează semiforma superioară. Se demulează forma superioară, obținându-se forma exterioară a clopotului.

Se acoperă cu praful de grafit, suprafața activă a formei exterioare obținute, pentru a facilita viitoarea separare de amestec.

Astfel, se realizează profilul interior al clopotului.



Fig. 9.9. Montarea tijeii și șablonului profilului interior

Pe axul de șablonare se montează bucașă de fixare, brațul port-șablon cu șablonul de interior, pentru formarea conturului interior al piesei (formarea miezului) repetându-se operațiile de răzuire. Miezul – profil exterior se șablonază, cu cel pentru profilul interior, obținându-se miezul propriu-zis, respectiv suprafața interioară a clopotului.

Montarea șablonului de interior se face pe baza cotelor din desenul de execuție.

Ultimele operații de finisare sunt executate de către formator înaintea desfăcării formei (fig. 9.10).



Fig. 9.10. Operația de finisare semiformei superioare

Se demontează bucașă de fixare, brațul port-șablon, șablonul și se extrage axul de șablonare pentru a fi manevrate cele două forme mai ușor.

După operația de șablonare, se obține forma interioară a clopotului.

Se netezește foarte bine suprafața miezului. La partea superioară a miezului se fixează clema care servește la prinderea limbii clopotului, partea ovală a acesteia fiind introdusă în „capul” miezului, capetele urmând a fi poziționate astfel încât să ocupe un loc în cavitatea formei pentru a fi încastrate în corpul clopotului. Se definitivează rețeaua de turnare (fig. 9.11).



Fig. 9.11. Realizarea rețelei de turnare a clopotului

Cele două forme obținute prin șablonare se introduc la uscare.

Factorii care influențează regimul de uscare sunt: temperatura, timpul de uscare, materialul, dimensiunea formelor și a miezului, grosimea pereților și tipul liantului.

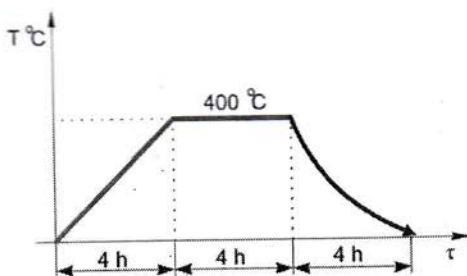


Fig. 9.12. Diagrama de uscare la 400 °C a formelor obținute prin șablonare

Formele și miezurile uscate au o permeabilitate mai bună, capacitate mai mică de a genera gaze și o rezistență mai ridicată. Pentru uscare formele și miezurile se încălzesc la o anumită temperatură (400°C), pentru eliminarea apei și mărirea capacității de liere și a celorlalți lianți (fig. 9.12). Temperatura se alege în funcție de natura liantului. După uscare cele două forme se assemblează și se asigură pentru turnare.

Elaborarea s-a făcut în cuptoare electric cu inducție. Compoziția optimă pentru clopot: Cu 78%, Sn 22%.

Tehnologia de elaborare și calcul al încălzirii pentru elaborarea unui bronz cu staniu CuSn14 se execută conform SR EN 1982 / 2008.

Turnarea se poate realiza direct, metalul topit turnându-se direct din oala de turnare în formă (fig. 9.13).



Fig. 9.13. Forma după turnarea bronzului

Forma și volumul maseleței se determină pe baza condiției fundamentale ca maseleța (având volum mic) să asigure tot timpul solidificării părții pe care o alimentează curgerea Formă metalului lichid din maseleță în piesa turnată.

Dezbaterea (care constă în scoaterea clopotului din formă după solidificare și răcire, scoaterea miezului din formă) și îndepărtarea rețelei de turnare, precum și maseleței.

Curățirea clopotului - operația tehnologică de îndepărtare a oxizilor și a impurităților de pe suprafața acestuia, urmata de controlul calității clopotului.

Clopotul în forma lui finală este prezentat în fig. 9.14.

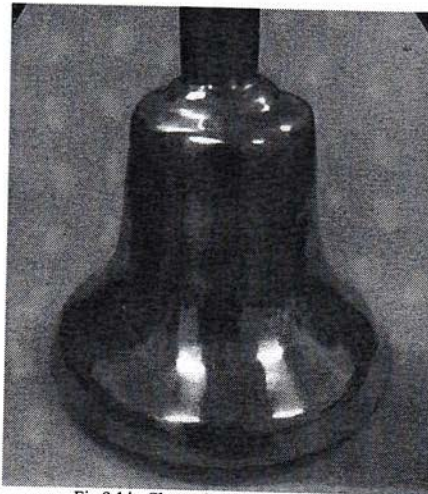


Fig. 9.14. Clopotul obtinut dupa turnare

#### IX.4 Determinarea compoziției chimice a clopotului turnat

În tabelul 9.1 sunt prezentate elementele chimice regăsite în clopotul turnat din bronz, analiza chimică fiind realizată cu aparatul de măsură - spectrometrul de fluorescență cu raze X. Au fost realizate două măsurători pentru evidențierea plăjei de valori pentru fiecare element observat.

Compoziția chimică a clopotului turnat Tabelul 9.1

PROBA	Sn [%]	Cu [%]	Pb [%]	Ni [%]	Al [%]	Si [%]	Fe [%]
1	18,56 ± 0,3	74,41 ± 0,42	2,59 ± 0,12	1,80 ± 0,08	0,63 ± 0,23	1,8 ± 0,09	0,22 ± 0,05
2	18,82 ± 0,35	75,21 ± 0,18	2,95 ± 0,15	1,66 ± 0,09	-	1,19 ± 0,08	0,17 ± 0,05

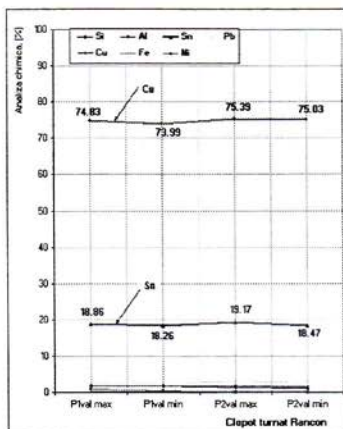


Fig.9.15 Variația conținutului principalelor elemente Cu și Sn din probele P1 și P2 analizate din clopotul turnat având caracteristicile geometrice: diametrul 196,4 mm și înălțimea 149 mm

În figura 9.15 este prezentată variația conținutului elementelor componente din probele de bronz P1 și P2 analizate cu spectrometrul de fluorescență cu radiații X.

Au fost calculate valorile minime și maxime, pentru a putea fi relevante limitele de variație ale elementelor analizate din clopotul turnat.

- Din tabelul 9.1 se observă variația conținutului de staniu ce se situează între limitele de 18,3 % ÷ 19,2 %, iar variația conținutului de cupru între limitele de 73,9 % ÷ 75,4 %.
- Pe de o parte la creșterea conținutului de staniu se remarcă creșterea durității, iar pe de altă parte, prezența fierului (cu limitele de variație: 0,17 % ÷ 0,22 %) și a plumbului (2,59 % ÷ 2,95 %) în bronzul pentru clopote determină o reducere a durității.
- Prezența fazei  $\delta$  ( $Cu_{31}Sn_8$  - fragilă) în structură imprimă calitățile sonore, iar a fazei  $\alpha$  (Cu), îi conferă rezistență și plasticitate, între acestea existând un raport bine definit pentru adaptarea și încădrarea compoziției chimice la mărcile destinate clopotelor din bronz.

## IX.5 Microscopie electronică cu balcâj

La turnarea clopotului a fost prelevată o probă în scopul determinării analizei microscopice SEM.



Fig. 9.16 Proba 1, mărire x 100



Fig. 9.17 Proba 2, mărire x 400



Fig. 9.18 Proba 3, mărire x 3000

În fig. 9.16, 9.17, 9.18, se prezintă structura bronzului turnat utilizat în analiza clopotului proiectat obținută prin microscopie electronică cu baleiaj, tip Quanta 200.

Suprafața probei de bronz prelevată a fost pregătită metalografic conform standardelor în vigoare. Imaginile SEM obținute la mărituri de  $\times 100$ ,  $\times 400$ ,  $\times 3000$ , indică prezența unei structuri dendritice tipice aliajelor turnate (Cu-Sn). Se observă sufluri, cât și a unor oxizi situați pe ramurile dendritice evidențiați sub forma unor pete de culoare albă.

#### IX.6. Studii privind tonalitatea clopotului turnat la S.C. RANCON S.R.L. Iași

A fost realizată analiza sunetului clopotului turnat, utilizând programul Wavanal, pentru aflarea notelor muzicale în care a fost acordat. Din fig. 9.18 și 9.19 se observă că parțialul nominal editat al clopotului având caracteristicile geometrice: diametrul de 196,4 mm, înălțimea 149 mm și o masă de 7 kg este obținut la o frecvență de 1093,5 Hz, o amplitudine de 34,094 și o notă de Db(3) -23.

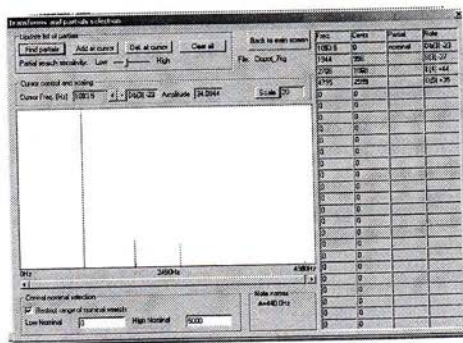


Fig. 9.19 Analiza frecvențelor și notelor muzicale în care a fost acordat clopotul

Din fig. 9.19 și 9.20 se observă că parțialul nominal editat al clopotului având caracteristicile geometrice: diametrul de 196,4 mm, înălțimea 149 mm și o masă de 7 kg este obținut la o frecvență de 1093,5 Hz, o amplitudine de 34,094 și o notă de Db(3) -23.

Name	Frequency [Hz]	Amplitude	Note
1093.5	34.094	Db(3) -23	
1564	19.6	Re(4) -27	
2728	15.2	[E] -44	
4795	0.6865	D(5) +35	

Fig. 9.20 Editarea parțialilor

#### CONCLUZII cu privire la acordarea muzicală a clopotului turnat în C (DO)

Din analiza transformării parțialilor clopotului se remarcă următoarele:

- la frecvența minimă 1093,5 Hz, amplitudinea este maximă de 34,094, iar nota este Db(3)-23, semnificația fiind: nota RE bemol, numărul 3 din paranteză dă indicația octavei, iar numărul final -23 este deviația în sutimi pentru o notă egal temperată bazată pe A(4) = 440 Hz.
- la frecvența maximă de 4795 Hz, amplitudinea este minimă de 0,6865, iar nota este D(5)+35, semnificația fiind: nota RE, numărul 5 din paranteză dă indicația octavei, iar numărul final +35 este deviația în sutimi pentru o notă egal temperată bazată pe A(4) = 440 Hz.

## CAPITOLUL X

### CONCLUZII GENERALE

1. Scopul tezei de doctorat constă în analiza, modelarea și design-ul clopotului, în Biserica Răsăriteană, utilizând tehnologiile cele mai avansate care permit realizarea unei muzicalități impuse. S-a trecut de la design-ul manual la cel realizat cu ajutorul computer-ului, creându-se soft-uri speciale care să prevadă caracteristicile vibraționale ale clopotului pe baza profilului sau a aliajului, cum ar fi: soft-ul Re Shape - pentru analiza și reglarea modelelor sau soft-uri muzicale pentru analiza sunetelor: Wavanal, Sigview, Samuray.
2. Având în vedere că nu toți oamenii au aceeași percepție auditivă, pentru a nu lăsa loc de interpretări și discuții, se impune a se utiliza programe specializate de analiză sonoră. Pe un computer dotat cu microfon se pot înregistra și vizualiza sunetele emise de un clopot reliefând dacă acestea sunete pure, sunt corect situate pe scara frecvențelor (fundamentală și armonicele) și dacă nu apar și alte sunete pe diferite frecvențe parazite datorate impurităților, ce pot da efectul de clopot "dogit". Clopotele nu se mai aleg la întâmplare după numărul de kg, ci pot fi alese după note muzicale, ele fiind turnate "din semiton în semiton" cu o precizie de o șaisprecime de semiton.
3. În cazul clopotelor rusești, aglomerarea părților principale și tonurilor dă fiecărui clopot o "personalitate" distinctivă, astfel încât nu sunt două clopote care să sune exact la fel, chiar dacă au fost turnate în aceeași formă.
4. Puritatea aliajului este o condiție indispensabilă pentru a obține un clopot de calitate. Prezența impurităților are o influență negativă asupra timbrului și sonorității clopotelor. Pentru clopote aliajul de bronz are următoarea compoziție chimică: 78% cupru și 22% staniu electrolitic, cu impurități admise <0,1% (plumb și zinc).

### CONTRIBUȚII PROPRII

1. În urma analizei globale a sunetelor de clopote de la diferite lăcașuri de cult din România cu ajutorul soft-urilor Wavanal și Sigview, acordate în gamele: DO2-RE2-MI2 și separat MI1-SOL1-SI-RE2, s-a constatat existența unor discontinuități ale frecvențelor, iar în caz contrar sunetele au amplitudini și intensități diferite. Deși se presupunea că se obțin aceleași note muzicale în cazul clopotelor de mase identice, acordate în aceeași gamă, a rezultat *unicitatea sunetelor de clopote* imperceptibilă auditiv.
2. Constituirea unei baze de date acustice a clopotelor bisericesti aparținând celor mai cunoscute lăcașuri de cult din România, rezultate în urma unui studiu comparativ complex al sunetelor emise, utilă în activitatea de proiectare, realizare și acordare muzicală a acestora.
3. Măsurătorile sonometrice, cu aparatul de măsură a nivelului echivalent de zgomot PEAK TECH 5035 au pus în evidență *valorile maxime* înregistrate în momentul bătăii (impactului limbii de peretele clopotului) și *valorile minime* în timpul reverberației. Pe măsură creșterii distanței de măsurare a nivelului echivalent de zgomot față de sursă valorile sunetelor înregistrate sunt mai mici, cu variații de la tonuri puternice la tonuri mai slabe.
4. Analiza spectrelor de sunete de clopote de la Mănăstirile Celic-Dere, Saon și Cocoș cu ajutorul soft-urilor Samuray și Wavanal reprezintă o modalitate modernă și de actualitate în vederea caracterizării acestora, fiind o amprentă specifică a clopotului, ajutând, pe de o parte, atât la diferențierea obiectivă a acestora, cât și la selectarea unui anumit clopot pentru o anumită destinație. Fiecare clopot, având o anumită formă, dimensiune și masă, are spectrul său sonor caracteristic de frecvențe și amplitudini, programul Wavanal scoțând în evidență dominanta sonoră (prime, tierce, quint, octave, etc.) a acestuia ceea ce constituie amprenta sa sonoră.
5. În toate cazurile prezentate, analiza chimică a clopotelor indică variația în limite largi a conținutului de cupru de la 61,60 % la 85,25%. Conținutul de staniu în proporție de 20 % -25 % (cu valori chiar mai mari la Mănăstirea Celic Dere), se situează în apropierea domeniului de fragilitate maximă,



reprezentând un criteriu restrictiv pentru elementul principal de aliere. Prezența fierului (cu limitele de variație: 0,26 % - 4,52 %) și a plumbului (0,55% - 4,61 %) în bronzul pentru clopote determină o reducere a durității, iar sunetul va fi influențat negativ. Existența elementelor cum ar fi: aluminiul (cu limitele de variație: 0,15 % - 3,54 %), fierul, nichelul (0,10 % - 2,29 %), manganul (0,30 %), determină înălțarea caracteristicilor sonore ale clopotelor.

8. *Alinierea de presare acustică în beta de octavă corespunzătoare curbelor C:* s-au încadrat în limitele prevăzute de normativul NC001-99, la valoarea de 100. Toate punctele rezultate au fost situate pe curbă sau în apropierea curbei Cz100, fiind influențate în mod direct de valorile maselor clopotelor.
7. Pe baza cercetărilor efectuate în ceea ce privește forma corelată cu acustica, a fost proiectat un clopot în trei variante germană, franceză și rusească, având următoarele caracteristici geometrice: D - diametrul mare: 196,4 mm, d - diametrul mic: 98,2 mm; H - înălțimea inclusiv coroana: 186,6 mm; h - înălțimea până la umăr: 149,3 mm și G - masa totală: 7 kg.
8. Au fost stabilite ecuațiile ce conduc la obținerea profilului de clopote.
  - Ecuațiile au ca baza de pornire condițiile la limită pentru proiectarea clopotului: la înălțimea  $h = 0$ , diametrul  $D_{\text{exterior}} = D_{\text{interior}}$  = valoare maximă și condiția de maxim pentru grosime în dreptul buzei, aflată în secțiunea zonei de impact cu limba clopotului.
  - Ecuațiile razelor exterioare ale clopotelor,  $R_{\text{ext1\_GE}}$ , FR, RU (*GE, FR, RU - profilele de clopote: german, francez și rusesc*).
  - sunt ecuațiile unor drepte, de forma:  $y = ax + b$ , existând unele mici variații ale coeficientului a și termenului liber b (când  $x = 0$ ,  $y = b$  = raza maximă  $R_{\text{ext1}}$ ).
  - Ecuațiile razelor exterioare și interioare ale clopotelor,  $R_{\text{ext2}}$  și  $R_{\text{int2\_GE}}$ , FR, RU sunt polinomiale de gradul 6, având un coeficient corespunzător unei corelații foarte bune între înălțimea y și raza x exterioră/interioară sau altfel spus: cu cât crește înălțimea clopotului cu atât scade raza lui. S-a constatat că primii trei termeni ai ecuației polinomiale de gradul 6 sunt neglijabili, având coeficienții cu valori extrem de mici.
  - Ecuațiile razelor interioare  $R_{\text{int1\_GE}}$ , FR, RU sunt toate polinomiale de gradul 3, având un coeficient de corelație maxim.
  - Se remarcă menținerea în toate cazurile a variațiilor de proporții L / R "secțiuni de aur":  
*forma „germană”*:  $D_h = 14$  m, unghiul de la bază:  $71^\circ 27'$ , raportul L / R: 1,57, L = 11 m;  
*forma „franceză”*:  $D_h = 15$  m, unghiul de la bază:  $71^\circ 47'$ , raportul L / R: 1,6, L = 12 m;  
*forma „rusească”*:  $D_h = 12,5$  m, unghiul de la bază:  $71^\circ 47'$ , raportul L / R: 1,6, L = 10 m.
  - În ceea ce privește sistemul de prindere - coroana: este amplă, dreaptă, în cazul clopotului rusesc și cu forme arcuite în celelalte două cazuri.
  - Verificând ecuațiile matematice ce generează profilul rusesc pe un clopot de la CELIC-DERE, având caracteristicile geometrice:  $\varnothing$  780 mm și  $h = 592,2$  mm, a rezultat menținerea alurii curbilor, indicând corectitudinea stabilirii acestora.
  - Pornind de la proiectarea în stil francez a unui clopot cu o masa de 7 kg s-a ajuns la calcularea profilului clopotelor cu ajutorul formulelor de construcție.
9. Construirea unui dispozitiv mecanic în vederea stabilirii: cotelor interioare și exterioare (diametrul și înălțimea), a condus la obținerea profilului clopotelor bisericești și ecuațiilor pentru modelarea formei acestora, respectiv a volumului, și ulterior a masei acestuia.
10. Studiul comparativ privind tehnologia de formare-turnare a demonstrat eficiența formării clasice cu șablon a unui clopot bisericesc, cu cheltuieli reduse de materiale și pregătire a personalului, precum și execuția rapidă a formelor de turnare.
11. Profilul șablonului s-a executat după proiectul clopotului în stil francez, plecând de la ecuațiile pentru profilul interior și exterior stabilite în urma datelor experimentale, a celor existente în literatura de specialitate, precum și a datelor cu caracter informativ referitoare la unele clopote din România.

12. Execuția unui clopot în stil francezesc după metoda clasică de formare-turnare, în varianta cu șablon, a fost realizată după proiectul propriu, utilizând ecuațiile profilelor interioare și exterioare. Analiza chimică a clopotului, realizată cu spectrometrul de fluorescență cu radiații X, indică următoarea variație a conținuturilor principalelor elemente constitutive a aliajului: cupru de la 74,41% la 75,21%, staniu de la 18,56% la 18,82%, indicând încadrarea acestora în limitele admisibile pentru bronzurile recomandate de literatura de specialitate în scopul realizării de clopote cu o acustică impusă. Din analiza Wavanal a porțiunilor sunetelor clopotului proiectat și realizat, a rezultat nota muzicală corespunzătoare *RE bemol*.
13. În vederea proiectării unui clopot bisericesc este necesar să se stabilească: încadrarea într-un anumit stil (francezesc, rusesc, german etc.), ecuațiile profilelor interioare și exterioare (în vederea execuției șablonului pentru formare), relațiile matematice în vederea determinării volumului și a masei acestuia. În scopul realizării practice a unui clopot, având șablonul proiectat se trece la operația de formare-turnare, analiza chimică și metalografică, control ND, acordare muzicală, înregistrarea și analizarea sunetelor emise utilizând soft-uri adecvate, respectiv reacidarea lui muzicală după caz. Etapele menționate sunt prezentate detaliat în prezenta teză de doctorat, putându-se afirma că aceasta constituie un ghid util în problema analizei, modelării și design-ului clopotului bisericesc.

#### DIRECȚIILE VIITOARE DE CERCETARE

- Realizarea unei inventarii privind caracteristicile constructive și sonore ale clopotelor de la lăcașurile de cult din România în scopul obținerii unei baze ample de date, deosebit de utilă în scopul proiectării de clopote de o acustică impusă.
- Utilizarea tehnologiilor moderne de formare și elaborare-turnare pentru a extinde posibilitatea de obținere a unui design nou cu o acordare precisă din punct de vedere muzical.

#### BIBLIOGRAFIE

1. ALDOSHINA, I.; NICANOROV, A., *The Investigation of Acoustical Characteristic of Russian Bells*, presented at the 108th Convention 2000, February 19-22 Paris, France, An Audio Engineering Society Preprint
2. BACIU, C.; ALEXANDRU, I., *ș.a. Știința materialelor metalice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1996
3. BAUER, J., *Ursachen des Missklangs von Glocken*, Diplomarbeit an der Fachhochschule Heidelberg, Heidelberg, 2003
4. BAUER, J.; SCHMIDT, L., *Einfluss der Glockenzier auf den Klang von Kirchenglocken 2 S.*, Forum Akustische Qualitätssicherung 8, pp.12.1-12.6, 2004
5. BECONCINI, M. L.; BENNATI, S.; SALVATORE, W., *Structural characterisation of a medieval bell tower* First historical, experimental and numerical investigations, University of Pisa, pp.431-444, 2001
6. BONDARENKO, A.F., *Moskovskie kolokola XVII V., Moscow bells of the XVII th Century*, Russkaya Panorama, Moscow, p.145, 1998
7. BOTHA, A., *Investigating Bell Vibrations and Timbre from the Perspective of Physics and Music Psychology*. Diss. Rhodes University, Grahamstown, South Africa, 1996
8. BRAUN, M., *Bell tuning in ancient China, A six-tone scale in a 12-tone system based on fifths and thirds*, 2003
9. BRAUN, P. L., *Glocken in Europa*, Feature CD, Der Audio Verlag, 2000
10. CARCEA, I.; CIOCAN, M. HOPULELE, I., *Criterii de testare a materialelor pentru construcția clopotelor*, Conferința ARTCAST, Galați, 2004
11. CARCEA, I.; CIOCAN, M. HOPULELE, I., *Testarea aliajelor folosite la construcția clopotelor*, Conferința ARTCAST, Galați, 2004

12. CARTWRIGHT, J.H.E. ; GONZALEZ, D.L, PIRO O., *A New Nonlinear Model for Pitch Perception, Statistical Mechanics of Biocomplexity*, Eds. D. Reguera, M. Rubi, & J. Vilar, Lecture Notes in Physics vol. 527, pp. 205-216, Springer, 1999
13. CEANGĂ, E.; MUNTEANU, I., *Semnale, circuite și sisteme, I - Analiza semnalelor*, Editura Academica, pp.35-37, 2001
14. COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION, *Equilibrium Diagrams*, Selected copper alloy diagrams illustrating the major types of phase transformation CDA, Publication No 94, 1992
15. CHENG, J.; LAN, C., *Experimental studies on sound and vibration of a two-tone Chinese Peace Bells*, Journal of Sound and Vibration 261, p. 351 - 355, 2003
16. CIOCAN, A.; BORDEI, M. BALINT, S., *Clopot, Istorie, Tipologie*, Revista Simpozionului Național „Turnătoria de la rigoarea tehnicii la artă”, Editura Academica, Galați, 2004
17. CIOCAN, A.;TUDOR, B., *Particularitățile producerii sunetului de clopot*, Revista Simpozionului Național „Turnătoria de la rigoarea tehnicii la artă”, Editura Academica, Galați, 2004
18. CIOCAN, M.; HOPULELE, I., *Clopotul, obiect de cult și subiect de cercetare științifică*, Revista Simpozionului Național „Turnătoria de la rigoarea tehnicii la artă”, Editura Academica, Galați, 2004
19. CORBIN, A., *Les cloches de la terre. Paysage sonore et culture sensible dans les campagnes au XIXe siècle* 359 S. Michel, Paris 1994, 2000
20. DOMȘA, Ș.; MIRON, Z., *Îndrumător pentru utilizarea fontelor, oțelurilor și aliajelor neferoase*, Editura Tehnică București, 1985
21. FLOREA,GH.;DIMA, C.; TUDOR, B., *Tehnologia de turnare, prin procedeul, Kroning clopotelor cu modele artistice*, Revista Simpozionului Național „Turnătoria de la rigoarea tehnicii la artă”, Editura Academica, Galați, 2004
22. FLOREA, GH.; CHIRIAC, AL.; FLOREA, B.; CROITORU Gh., *The models of art object obtained by stereolithography process*, Conferința ARTCAST Galați, 2008
23. FLOREA,GH.; CHIRIAC, AL.; FLOREA, B.; CROITORU, Gh., *Bronzuri folosite la turnarea clopotelor*, Revista Simpozionului Național „Turnătoria de la rigoarea tehnicii la artă”, Editura Academica, Galați, 2004
24. FLOREA, GH.; CHIRIAC, AL.; FLOREA, B.; CROITORU, Gh., *Forma clopotelor*, Revista de turnătorie, nr.5-6, p.17, 2005
25. FLOREA, GH.; VLĂDUȚ, A., *Turnarea clopotelor de mari dimensiuni*, Conferința ARTCAST, Galați, 2004
26. FORSTER, C., *Musical Mathematics - On the art and science of acoustic instruments*, Chronicle Books LLC, California, 2010
27. GARABET, M.;NEACȘU, I., *Sunete. Înregistrarea lor*, Microsoft Partners in Learning, 2008
28. GÂDEA, S., *Manualul inginerului metalurg*, vol.I, Editura Tehnică, București, p.1317, 1978
29. GÂDEA, S., *Manualul inginerului metalurg*, vol.II, Editura Tehnică, București pp.120÷124, 1982
30. GERU, N., *Metalurgie fizică, E.D.P. București, 1981*
31. GONAY, J.P., *Les cloches de l'église de Barvaux sur Ourthe*, Bulletin Campanaire n°26, Association Campanaire Wallonne, 2001
32. GRIGORE, C., *The History of Russian Orthodox Church in the 19 th Century (1800-1918)*, Science and religion as reflected in KOLOKOL journal, PhD, 2010
33. HAYASHI, M.; CIOCAN A.,*Comparison between iron and copper-tin japanese buddhist bell based on acoustic characteristics*, 4th International Conference ARTCAST: Casting, from Rigor of Technique to Art, Univ.Dunărea de Jos of Galati, 2008
34. HERZEN, A., *Kolokol*, Publisher Nabu Press, 748 p., 2010
35. HEYMAN, J.; THRELFALL, B., *Inertia forces due to bell-ringing in: International Journal of Mechanical Sciences*, Bd. 18 , S. 161-164, 1976

36. HIBBERT, W.A., *The Quantification of Strike Pitch and Pitch Shifts in Church Bells*, Thesis, 2002
37. HIGSON, A., *The Introduction of Harmonic Tuning at Taylor's Bellfoundry*, in: *Ringling World*, S. 1085-1086, 2004
38. JUPP, E. W., *Bell Watching*, Intellect Ltd., British, 2003
39. KAMINSKI, J., *Kolokol: Spectres of the Russian Bell*, Dissertation, University and Technology, Sydney, 2006
40. KRÄMER, K., *Klänge zwischen Himmel und Erde*, Eine lyrische Bilderreise durch die Kulturgeschichte der Glocke, in *Der Prüflingenieur*, ISSN 1430-9084, H.28, S. 24-32, April 2006
41. LEHR, A., *From Theory to Practice*, Music Perception, Spring, Vo.4, No.3, pp.267-280, 1987
42. LINDSAY, J., *Encyclopedia of religion - Seasonal ceremonies*, Second Edition, Thomson Gale-The Thomson Corporation, no. 11, p.8209, 2005
43. KEES, L.; HIJLTJE, R., *Mathematical model for the bell motion*, project Old Church Delft, 10 S., Delft University of Technology, 2004
44. KELLY, D. *The Sound of Bells*, in the *The Ringing World*, pp. 239-40, 394-7, 631-2, 749, 1997
45. LÖWISCH, G., *Das Glockengiessergewerbe in Deutschland* 74 S. Lang, Frankfurt, 2005
46. LUKIANOV, F. , *O scurtă istorie a clopotelor rusești*, The American Bell Association (ABA) International, Inc. The Bell Tower, vol.57, no.4, 1999
47. MĂRGINEAN I., *Cercetări privind mărirea compactității și îmbunătățirii calității pieselor turnate*, Teza de doctorat, UPB, 1995
48. McLACHLAN, N.; CABRERA, D., *Calculated Pitch Sensations for New Musical Bell Designs in: Proceedings of the 7th International Conference on Music Perception and Cognition*, Sydney, S. 600-603, 2002
49. McLACHLAN, N.; NIGJEH, B. K.; HASELL, A., *The design of bells with harmonic overtones*, *J. Acoust. Soc. Am.*, Volume 114, Issue 1, pp. 505-511, 2003
50. MEESTERS, M., *Les cloches de la Basilique de Saint Hubert*, *Bulletin Campanaire n°25*, Association Campanaire Wallonne, 2001
51. MITOȘERIU, O.; LEVCOVICI, D. T.; FILIP, G.L.; ORAC, L., *Identificarea și determinarea cuprului din aliaje speciale*, Conferința ARTCAST Galați, 2006
52. NEJNERU, C.; SURDU, I.; CIOCAN, M.; HOPULELE, I., *Dimensional design of the bell with respect to acoustic vibration frequency*, *Revista Simpozionului Național „Turnătoria de la rigorea tehnicii la artă”*, Editura Academica, Galați, 2004
53. NIGJEH, B.K.; TRIVAILO, P. McLACHLAN, N., *Application of modal analysis to musical bell design*, Acoustics 2002 – Innovation in Acoustics and Vibration, Annual Conference of the Australian Acoustical Society, 2002, Adelaide, Australia
54. NISHIGUCHI, I.; TAKAZAWA, Y., *Acoustics of Bonsho (Japanese temple bell)-Modal analysis by FEM*, *Jpn. Acoust. Soc. Jpn.* (J), 53, pp. 844-850, 1997
55. OANCEA, Ctin; GHEORGHIȘ, C.; CONDURACHE-BOTA S., *Complex analysis of the bells' sounds from the "Saint Trinity" Cathedral from Alba Iulia*, *European Journal of Science & Theology*, vol.7, No.4, pp.103-119, December, 2011
56. OANCEA, Ctin; GHEORGHIȘ, C.; CONDURACHE-BOTA, S., *Comparative analysis of bell sounds from several Romanian orthodox monasteries and churches*, *Journal of Science and Art*, 12(1):pp.199-204, 2010
57. FLOREA B., HAGIOGLU, P.; GHEORGHIȘ, C.; CANTARAGIU, A.M.; OANCEA, Ctin; ATANASIU, O.V., *Corrosion behaviour of some metallic samples in NaCl solution*, *Metalurgia International*, No.11, p.169, 2011
58. OANCEA, Ctin; GHEORGHIȘ, C.; FLOREA, G.; FLOREA B., *XRD Studies on superficial layer of steel subjected to fatigue process*, *Metalurgia International*, Volume: 15, Issue: 11, pp.: 66-68, 2010

59. FLOREA, G.; OANCEA, Ctin; GHEORGHIȘ, C., *New Achievements in Manufacturing of Church Bells*, pp. 155-157, Conferința ARCAST Galați 2010
60. FLOREA, G.; C. OANCEA; GHEORGHIȘ, C.; GHEORGHIȘ, L. - *New Achievements in Manufacturing of Church Bells*, The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati. Fascicle IX. Metallurgy and Materials Science, No. 3, pp.42-47, ISSN 1453 – 083X, sept. 2010
61. GHEORGHIȘ, C.; GHEORGHIȘ, L.; OANCEA, Ctin; HAGIOGLU, P.; ATANASIU, O.V., *On the corrosion behavior of organic nanocomposite coatings*, The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati. Fascicle IX. Metallurgy and Materials Science, No. 2, ISSN 1453 – 083x, pp.38-41, 2009
62. GHEORGHIȘ, C.; LEVCOVICI, S.; PAUNOIU, V.; GHEORGHIȘ, L.; OSTACHE, I.; OANCEA, Ctin, ALEXANDRU P., *XRD Analysis in front of a corrosion crack tip*, The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle IX, Metallurgy and Materials Science No. 1, ISSN 1453 – 083X, pp.37-46, 2008
63. GHEORGHIȘ, C.; CIOCAN, O.; PAUNOIU, V.; OANCEA, Ctin, *Structural Changes Induced by hydrostatic Extrusion Process of Aluminum*, Proceedings of ICAA11, Aachen, Germany, vol. 2, pp.1280-1285, Sept.24-27, 2008
64. GHEORGHIȘ, C.; CIOCAN, O.; PAUNOIU, V.; OANCEA, Ctin, *Structural Changes Induced by hydrostatic Extrusion Process of Aluminum*, pp.1850-1858 Hirsch, Jürgen / Skrotzki, Birgit / Gottstein, Günter (Editors), Aluminium Alloys, Their Physical and Mechanical Properties, Wiley-VCH, Weinheim, Edition - October 2008
65. GHEORGHIȘ, C.; OSTACHE, I.; GHEORGHIȘ, L.; OANCEA, Ctin., *Using of Laser Radiation in micromachining process of metals*, Nonconventional Technologies Review - No. 4, pp.17-22, 2007
66. OKAMOTO, H., *Desk handbook: Phase Diagrams for Binary Alloys – ASM International the Materials Information Society*, pp.296-308, 2000
67. OKUMA T., *Historical change in the partial tone of temple*, J. Acoust. Soc. Jpn. (J), 54, pp. 119-126, 1998
68. OKUMA T., *Sound Characteristic of restoration iron bell*, Annals of research of Fukushima Prefectural Culture Foundation, Fukushima Cultural Property Centre, Shirakawa branch. Jpn. (J), pp. 85-96, 2005
69. PAN, J., *Acoustical properties of ancient Chinese musical bells*, Proceedings of Acoustics, Adelaide, Australia, pp.1-7, 23-25 November, 2009
70. PERRIN, R.; SWALLOWE, G. M.; CHARNLEY, T.; MARSHALL, C., *On the Debossing, Annealing and Mounting of Bells* in: Journal of Sound and Vibration 227, 2, S. 409-425, 1999
71. PERRIN, R.; SWALLOWE, G. M., *Rayleigh's bell model revisited* in: Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference, Stockholm, S. 347-350, 2003
72. PETROSKI, H.J., *On the Cracked Bell*, Journal of Sound and Vibration, Volume 96, Issue4, 22 October, pp.485-493, 1984
73. POPA, E., *Metode de prelucrare a semnalului muzical - Elemente de acustică*, Ed. Artes, Iași, 2008
74. RAICHEL, D.R. *The Science And Applications Of Acoustics, Second edition, University of New York, Springer Science-Business Media, Inc., 2006*
75. RĂPĂ-BUICLIU, D.; RĂCARIU, G., *Marginalii asupra terminologiei românești privind metalurgia și artefactele obținute prin turnare în epoca medievală*, Conferința Națională „Turnătoria de la rigoarea tehnicii la artă”, p. 236-237, Galați, 14-15 mai, 2004
76. ROOZEN-KROON-P.J.M., *Structural optimization of bells*, PhD-thesis, Eindhoven University of Technology, The Netherlands, 1992
77. ROSSING, T. D., *The Science of Sound*, Northern Illinois University, Addison-Wesley Publishing Company, Inkom till KTH, pp. 214-219, 2000
78. ROSSING, T. D.; FLETCHER, N.H., *Principles of vibration and sound*, 2<sup>nd</sup> ed., Springer Science Business Media, 2004
79. ROSSING, T. D., *Science of percussion instruments*, World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd, 2005

80. RUPP, A.; FLADE, D., Bestimmung von Einflussgrößen auf die Lebensdauer von Glocken, *LBF Bericht 8382, Verein Deutscher Gießereifachleute VDG, Verband Deutscher, Glockgießereien*, 1999
81. RUPP, A., Ringing Bells – State of the Art in the Durability Evaluation of Church Bells, *Development and Evaluation, LAVEK Ljubljana, Slovenija*, 2006
82. RUSSELL, A. M.; LEE, K.L., Structure, property relations in nonferrous metals, *Publishing Company: Wiley Interscience, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, p.302*, 2005
83. SCHAD, C.R.; Warlimont, H., *Acoustical Investigation of the influence of the material on the Sound of Bells* in: *Acustica* 29, S.1-14, 1973
84. SCHILLING, M., *Glocken, Gestalt, Klang und Zier* 369 S., Dresden, 1988
85. SCHMIDT, L.; BAUER, J.; KOTTERBA, B., *Acoustic analysis of sonority and discord of church bells*, Manuskript zum Vortrag auf der DAGA 2 S, 2004
86. SCHOOF, A.J.G., *Experimental design and structural optimization*, PhD-thesis, Eindhoven University of Technology, The Netherlands, 1987
87. SCHOUTEN, J.F., *The Residue Revisited* in: *Periodicity Detection in Hearing*, S. 41-58, 1970
88. SEBASTIAN, L., *Subsidios para a historia da fundicao sineira em Portugal*, *Museu Municipal de Coruche*, p.36, 2008
89. SEMEN, P., *Arheologie biblică în actualitate*, Editura Mitropoliei Moldovei și Bucovinei, Iași, p.16-17, 1997
90. SIEBERT, A.; BLANKENHORN, G.; SCHWEIZERHOF, K., *Investigation the Vibration Behavior and Sound of Church Bells Considering Ornaments and Reliefs Using LS-DYNA*, 9<sup>th</sup> International LS-DYNA Users Conference, pp.8.1-8.12, 2006
91. SMITH D., *A paradox of musical pitch*, *Monitor Staff*, Vol 32, No. 6, p. 68, July 2001
92. SOFRONI L., BRABIE V., BRATU C-tin, *Bazele teoretice ale turmării*, *Editura Didactică și Pedagogică București*, 1980
93. SPIESS, H.; LAU, B.; WRIGGERS, P., *Analysis of the initial vibrations of a bell*, *Institute of Mechanics and Computational Mechanics*, 2004
94. STRÎMBU, Ctin, *Semnale și circuite electronice – Analiza și prelucrarea semnalelor*, Editura Academiei Forțelor Aeriene "Henri Coandă", Brașov, 2007
95. SUZUKI, Y.; MELLERT, V.; RICHTER, U.; MOLLER, H.; NIELSEN, L.; HELLMAN, R.; ASHIHARA, K.; OZAWA, K.; TAKESHIMA, H., *Precise and full-range determination of two-dimensional equal loudness contours*, NEDO project for ISO revision (E), 2000
96. SWALLOWE, GERRY M.; PERRIN, R., *On the Strike Note of Bells* in: *Proceedings on the International Symposium on Musical Acoustics, Perugia*, S. 367-370, 2001
97. TAKESHIMA, H.; SUZUKI, Y.; KUMAGAI, M.; SONE, T.; FUJIMORI T.; MIURA, H., *Threshold of hearing for pure tone under free-field listening conditions*, *J. Acoust. Soc. Jpn.(E)*, 15, pp. 159-169, 1994
98. TAYLOR, N., *Tuning, Temperaments and Bells*, Change Ringing Resources, 2002
99. TERHARDT, E.; STOLL, G.; SEEWANN, M., *Pitch of complex signals according to virtual-pitch theory*, Tests, examples, and predictions in: *Journal of the Acoustical Society of America* 71, S. 671-678, 1982
100. TERHARDT, E.; SEEWANN, M., *Auditive und objektive Bestimmung der Schlagtonhöhe von historischen Kirchenglocken*, *Acustica*, Bd.54, N 3.S, 129-144, 1984
101. TRUAX, B., *Handbook for acoustic ecology*, No.5, *The Music of the Environment Series*, R. Murray Schafer Series Editor, World Soundscape project, Second Edition, 1999
102. WERNISCH, J., *Untersuchungen an Kirchenglocken unter besonderer Berücksichtigung des Klangverhaltens, der Konstruktion und der Werkstoffefflüsse* – Dissertation, 2004
103. WILLIAMS, E.V., *The Bells of Russia*, *History and Technology* 275 S., Princeton Univ., 1985
104. WILSON, C. E., *Noise Control*, Malabar, FL, United States: Krieger Publishing Company, 2006.

266.737

