



Universitatea
Transilvania
din Brașov

TEZĂ DE ABILITARE

Titlu: Contribuții în analiza sistemelor multicorp și a proprietăților materialelor compozite

Domeniul: Inginerie Mecanică

Autor: Conf. Dr. Ing. Mihălcică Mircea

Universitatea Transilvania din Brașov

BRAȘOV, 2023

CUPRINS

(A) Summary.....	3
(B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție a carierei.....	5
(B-i) Realizări științifice și profesionale.....	5
Introducere.....	5
Capitolul 1 Analiza mișcărilor umane cu aplicații multidisciplinare.....	7
1.1 Generalități privind analiza mișcărilor umane.....	7
1.2 Proiectarea unui sistem de captură și analiză a mișcărilor umane.....	13
1.3 Analiza mersului și alergării pe banda de fitness, pe grupe de vârstă.....	24
1.4 Recuperarea funcțiilor motrice ale unei persoane.....	41
1.5 Analiza mișcărilor în cadrul a diferite procedee sportive.....	55
1.6 Analiza mișcărilor muzicienilor.....	77
Capitolul 2 Studiul proprietăților materialelor compozite.....	111
2.1 Generalități privind materialele compozite.....	111
2.2 Studii privind materialele compozite clasice.....	113
2.3 Studii privind lemnul și construcția instrumentelor muzicale.....	135
Capitolul 3 Analiza la vibrații a instrumentelor muzicale.....	152
(B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei.....	164
(B-iii) Bibliografie.....	173

(A) Summary

The present habilitation thesis is based on the scientific and professional achievements of the author during the period of 2011-2023, after the completion of the doctoral thesis. During this time, the author continued his research in the field opened by his doctoral thesis, entitled "Contributions to the identification of individuals using motion analysis", under the scientific coordination of Prof. Sorin Vlase, completed in 2011, the year in which the author was awarded the scientific title of Doctor in Mechanical Engineering.

Structurally, this work is divided into two parts, namely the presentation of scientific and professional achievements, followed by career development plans. Judging by the author's scientific and professional achievements, three important areas in which he conducted research can be identified, namely:

1. Human motion capture and analysis, with multidisciplinary applications
2. Study of composite materials properties
3. Vibration analysis of musical instruments

The author was led on the path of these three domains by common elements, needs, and requirements that he encountered during his research, initially in the first domain and then in the second and third.

Regarding *human motion capture and analysis with multidisciplinary applications*, the initial idea behind approaching this field was a question: if it is relatively easy for us to visually identify a known person from a group based on observing their gait with the naked eye, could we find a series of physical and kinematic parameters on which to base our identification and associate them with the movement of that person? From here, things rapidly moved towards related fields where motion analysis plays an essential role, namely sports (especially technical sports events, where the posture and movement of the athlete significantly influence performance), medicine, with a focus on motor recovery (again, posture and motion parameters say a lot about how a patient recovers their motor functions), and music, especially following the artist-instrument pair (pursuing the same idea, posture and movement parameters of the artist during the interpretation of a musical passage on an instrument).

The orientation in this field was towards human motion capture and analysis using accessible methods and systems in terms of price since the author's interest was for the

results of these researches to be practically exploitable without significant efforts. Moreover, most of the studies and experimental tests performed and presented in this part of the habilitation thesis were carried out together with the students of the Mechanical Engineering study program (completed, by some of them, in the form of Diploma Projects) and with ordinary people as subjects, from students and athletes to elderly people with motor problems.

Studies focused on the artist-instrument pair have been carried out with a focus on stringed instruments, particularly violins and guitars, made of wood. It is quite evident that the properties and quality of the instrument directly influence a musician's artistic performance, and for a better understanding of the field, studies in the analysis of the artist's movement should be complemented with research regarding the instrument. Since the instrument is made of wood, which can be considered a natural composite material, and considering the author's already existing interest in composite materials (these being seen as possible solutions for sports equipment or walking support devices), a series of studies have been carried out in the second identified field, namely the *study of composite material properties*.

The third research direction is also related to the artist-instrument pair. Starting from the performer's movement, continuing with the analysis of wood and musical instrument construction, the focus has shifted to the effect that matters in the end, namely sound. As this is obtained through vibrations that occur at the musical instrument level, naturally, a third research direction has emerged in the field of vibrations, with a focus on the analysis of vibration in systems where there is direct human-machine contact.

The second part of the habilitation thesis consists of presenting the plans for the evolution of the university career, both from a didactic and scientific research perspective, presenting both the current stage and future plans for each direction.

Following a series of notable results in the didactic and scientific research fields, including 6 textbooks, 22 ISI Web of Science indexed articles, 12 of which in impact factor journals, 13 articles indexed in BDI (ISI WOS or Scopus) presented at international conferences (6 as first author), two monographs, a patent proposal in progress, a member of the team of three projects won recently (2012-2014, 2020-2022, 2022-2024), 144 ISI WOS citations without self-citations (Hirsch index 6), obtaining habilitation would represent an important step in the author's career, and the knowledge acquired could be capitalized on in the form of doctoral studies carried out under the author's guidance.

(B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție a carierei

(B-i) Realizări științifice și profesionale

Introducere

În finalul anului 2007, în urma discuțiilor și propunerii venite din partea domnului Prof. dr. ing. mat. Sorin Vlase și urmând o direcție de cercetare aflată în primă dezvoltare moment în cadrul (la acea dată) Facultății de Mecanică, autorul s-a înscris la doctorat, cu tema „Contribuții la identificarea persoanelor prin analiza mișcării”. Explorarea acestui subiect și finalizarea acestei activități de cercetare în anul 2011 a deschis drumul cercetărilor ulterioare, prezentate în această teză de abilitare.

Următorul pas a fost reprezentat de studiile postdoctorale, continuând practic traseul pornit anterior cu o cercetare focalizată pe analiza mișcărilor umane în domeniul sportului și medicinei recuperative, intitulată „Sistem portabil de analiză a mișcărilor umane cu aplicații în sport și medicină” (contract POSDRU/159/1.5/S/134378). Astfel, pentru autor s-a conturat un prim domeniu al cercetărilor, intitulat în această teză de abilitare *Captura și analiza mișcării umane, cu aplicații multidisciplinare*, o sinteză a activităților și rezultatelor obținute putând fi regăsită în Capitolul 1.

Pe lângă sport și medicină, un alt domeniu de interes în care mișcările umane au o importanță semnificativă este cel al muzicii, în mod specific gândindu-ne la analiza mișcărilor unui artist care se folosește de un instrument muzical. Studiul acestei perechi interpret-instrument a deschis calea altor domenii de cercetare în care autorul s-a implicat, fiind și membru în echipă al proiectelor PN-III-P2-2.1-PED-2019-2148, contract: PED 568/2020 *Modele inovative de violi comparabile acustic și estetic cu violile de patrimoniu – MINOVIS*, perioada: 2020 – 2022; Finanțator: UEFISCDI (valoarea proiect 600.000 lei) și PN-III-P4-PCE-2021-0885, contract PCE 61/2022 *Analiza calitativă, dinamică și acustică a sistemelor anizotrope cu interfețe modificate – ACADIA*, perioada: 2022 – 2024; Finanțator: UEFISCDI (valoarea proiect 1.200.000 lei)

Studiile focalizate pe perechea artist-instrument au fost realizate avându-se în vedere instrumentele cu coarde, realizate din lemn, în special violile și chitarele. Pe lângă analiza mișcărilor interpretului, încadrată la direcția de cercetare anterioară, este destul de clar că

studiile asupra acestui cuplu artist-instrument muzical cuprind aspecte variate, care vor trebui să meargă și spre al doilea actor, și anume instrumentul muzical. Cum acesta este din lemn și lemnul poate fi considerat un material compozit natural, legătura s-a realizat ușor cu un alt domeniu, și anume cel prezentat în Capitolul 2 al prezentei teze de abilitare, *studiul proprietăților materialelor compozite*. Activitățile și rezultatele din cadrul acestui capitol sunt completate de cele obținute din perspectiva membrului în echipa proiectului *Dezvoltarea de componente din materiale compozite avansate cu aplicații în industria auto, civilă și militară*, perioada: 2012-2014, finanțator: Fonduri Structurale, Programul Operațional Sectorial Creșterea Competitivității prin CDI, Operațiunea 2.1.1: Proiecte de CD în parteneriat între Universități / Institute de Cercetare și Întreprinderi, Nr Contract: proiect nr. 1132/cod SMIS: 35420 (Volumul finanțării 1.380.000 lei)

Studiile în domeniul analizei mișcării, laolaltă cu cele referitoare la structura lemnului, construcția instrumentelor muzicale (și proprietățile materialelor compozite în general) sunt susținute de a treia direcție de cercetare, în domeniul vibrațiilor, în special urmărindu-se sisteme cu care omul interacționează direct, direcție regăsită în prezenta lucrare în Capitolul 3, *analiza la vibrații a instrumentelor muzicale*.

Cele mai importante realizări științifice și profesionale ale autorului pot fi rezumate după cum urmează:

- teza de doctorat finalizată în 2011
- studii postdoctorale contract POSDRU/159/1.5/S/134378 finalizate în 2015
- 6 cărți de specialitate cu scop didactic
- 22 articole indexate ISI Web of Science, dintre care 12 în reviste cu factor de impact (însușind 27.7 puncte pentru criteriul CDI corespunzător standardelor minimale pentru susținerea tezei de abilitare)
- 13 articole indexate BDI (ISI Web Of Science sau Scopus) prezentate la conferințe internaționale
- două monografii de specialitate publicate în edituri naționale acreditate CNCSIS
- propunere de brevet aflată în derulare
- membru în echipa a trei proiecte câștigate în perioada recentă (2012-2014, 2020-2022, 2022-2024)
- numeroase (peste 20) prezențe la conferințe și congrese științifice, în calitate de autor
- 144 de citări ISI WOS fără autocitări (indice Hirsch 6)

Capitolul 1

Analiza mișcărilor umane cu aplicații multidisciplinare

1.1 Generalități privind analiza mișcărilor umane

Domeniul analizei mișcărilor umane a captat interesul oamenilor de știință încă din cele mai vechi timpuri [1-3]. Există două direcții principale în care această problemă este abordată. Prima abordare este legată de reprezentarea cât mai fidelă a deplasărilor umane (plecând de la cel mai simplu mers spre alergare ușoară, diferite feluri de sărituri, mișcări de bază sau complexe, de genul aplecărilor, ridicărilor unor obiecte), iar aici progresele sunt foarte vizibile astăzi în cadrul filmelor de animație sau al jocurilor video moderne sau sistemelor de realitate virtuală [4-6]. De cele mai multe ori, în această abordare nu este atât de importantă legătura cauză-efect, ci scopul este redarea cât mai estetică a mișcării umane. A doua abordare este cea care se focalizează fix pe cauzalitatea care a determinat o mișcare sau o serie de mișcări umane, fiind de interes în primul rând parametrii care caracterizează anumite mișcări specifice, parametri determinați în urma unei analize pornind de la caracteristicile fizice ale segmentelor corporale în mișcare (dimensiuni, unghiuri realizate în timpul mișcării etc.) și continuând cu aspecte cinematice sau ale cinematicii inverse (viteze, accelerații) [7-9] și aspecte dinamice (modelări ale forțelor etc.)

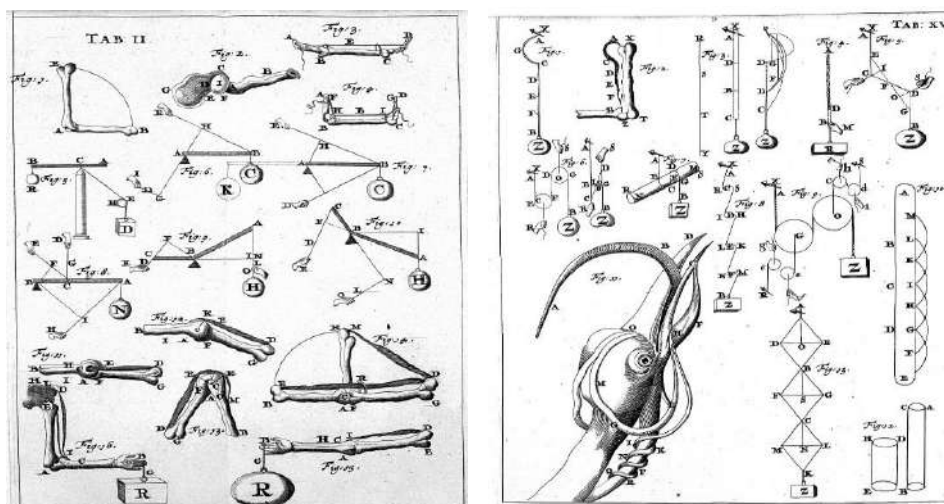


Fig. 1.1. Pagini din una dintre primele cărți de biomecanică din lume, „De Motu Animalium”, de Giovanni Alfonso Borelli (CC BY 4.0 Wellcome Library, London. Wellcome Images <https://wellcomecollection.org>)

Din punct de vedere științific, este de interes a doua abordare, în care se urmărește determinarea unor elemente de tip cauză – efect, bazate pe modificările unei serii de parametri. Principalele domenii care beneficiază de această abordare sunt sportul și medicina, în special cea de recuperare [10-11].

Privită din perspectiva sportivă, analiza mișcărilor umane are ca scop rezolvarea problemei „dacă, în ce fel și în care măsură sunt performanțele sportive influențate de mișcările umane” și, mai ales, dacă folosirea metodelor de identificare și analiză a mișcărilor sportivilor poate duce la o îmbunătățire – optimizare a performanțelor acestora (bineînțeles, specific pentru sportul practicat). Un exemplu elocvent în domeniu este proba săriturii în înălțime, unde performanțele sportivilor au crescut simțitor odată cu Dick Fosbury, un atlet american care practic a „inventat” stilul de a sări cu rotația „pe spate”, stil pe care l-a văzut oricine s-a uitat la o competiție modernă de atletism ce include săritura în înălțime [13].



Fig. 1.2. Săritura în înălțime în stilul „foarfece” (stânga) versus săritura în înălțime în stil modern (dreapta, fotograf: Randy Fath, <https://unsplash.com/photos/icPQQ0r5CYU>)

Din punct de vedere al medicinei de recuperare, analiza mișcărilor umane își poate dovedi eficiența din mai multe puncte de vedere: identificarea eventualelor probleme ale unui subiect pe baza analizei diferitelor tipuri de deplasare (mers, alergare etc.), identificarea eventualelor limitări ale unor mișcări ale unui subiect în perspectiva prescrierii unor

proceduri specifice de kinetoterapie sau evaluarea progresului recuperării unui pacient pe baza analizei mișcărilor acestuia [14].

Pentru a înțelege importanța analizei mișcărilor persoanelor din punct de vedere mecanic urmărind aplicații în medicină vom da un exemplu simplu și anume se va descrie fenomenul „pășirii”, ce anume se întâmplă când piciorul atinge pământul [15-16]:

- osul călcâiului (calcaneul) execută o mișcare înapoi
- un os al gleznei (talusul) coboară
- tibia execută o mișcare înainte, se rotește intern și se ridică
- genunchiul se flexează datorită mișcării tibiei, mai rapidă decât cea a femurului
- femurul se rotește intern
- șoldul se rotește intern, se flexează și se ridică
- zona lombară a coloanei se extinde și se apleacă/rotește spre partea piciorului respectiv
- umerii se rotesc în direcția opusă pelvisului
- zona cervicală a coloanei se rotește în aceeași direcție cu pelvisul



Fig. 1.3. Bastonul, primul aparat folosit pentru a-i ajuta pe cei cu deficiențe motrice (imagine creată cu AI, www.bing.com/create)

Studiul analizei mișcării nu se reduce doar la ceea ce înseamnă accidente și persoane cu dizabilități motrice. Există un interes major în domeniul medical pentru a identifica și corecta posturile greșite în timpul desfășurării activității sau chiar al statului pe scaun. Problemele apar în general datorită faptului că tinerii petrec mult timp în fața calculatorului, cât și din cauza faptului că procentul de persoane (cel puțin) supraponderale e în continuă creștere [17-19]. Cazurile de deformare a coloanei vertebrale în urma unor posturi incorecte sunt foarte dese în ziua de astăzi (scolioză etc.) .

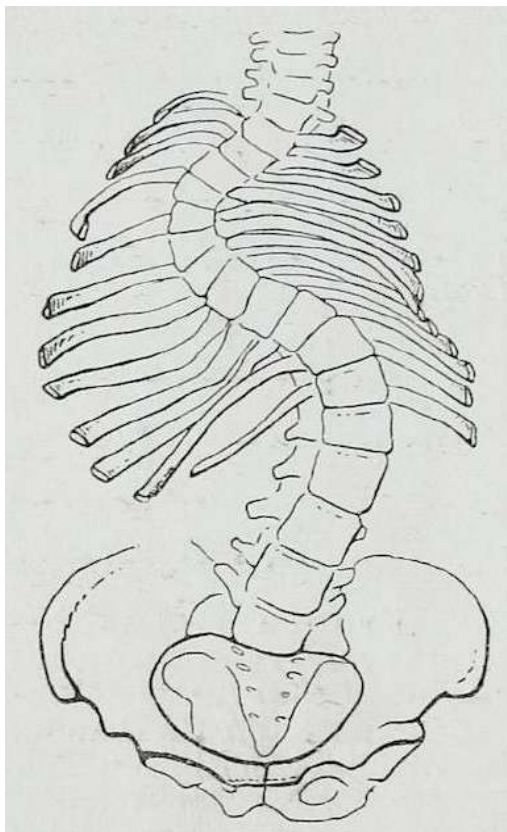


Fig. 1.4. Scolioza (Wikimedia Commons <https://commons.wikimedia.org>)

Deformarea coloanei vertebrale va fi accentuată de o postură incorectă în timpul mersului (postură generată plecând de la problemele ce apar în urma sedentarismului).

Durerile de articulații ale sportivilor constituie un alt exemplu în care mișcarea analizată corect are rezultate din punct de vedere medical. De exemplu, durerile ce apar la nivelul cotului în general la sportivi (tenis, golf) dar nu numai au parte de un tratament „clasic” ce de foarte multe ori se reduce la odihnă, gheață, stimulare electrică, stretching [20]. O mai bună cunoaștere științifică a cauzei durerilor ar putea duce la o focalizare mai puțin orientată pe tratamentele locale enumerate anterior, concentrându-se spre terapie fizică

și exerciții care să lucreze la cauzele durerii. Această cauză însă nu e ușor de identificat, mai ales dacă nu analizăm relațiile funcționale la nivelul oaselor, musculaturii etc.



Fig. 1.5. Stretching-ul, metodă de atenuare a durerilor articulare, practică atât de oameni cât și de animale (fotografii: Logan Weaver – stânga <https://unsplash.com/@lgwvr> și Timo Volz <https://unsplash.com/@magict1911> – dreapta)

Un exemplu foarte bun legat de mișcări greșite ce duc la probleme fizice ni-l dă tenisul, în special în cel amator. S-a remarcat că, la practicanții de tenis, apar foarte des dureri la nivelul cotului. S-a demonstrat științific că principala cauză pentru durerile de cot la practicanții amatori ai tenisului o constituie disfuncționalitățile de la nivelul umărului. La o analiză mai atentă s-a observat însă că și șoldul are un efect foarte important. Datorită stilului de viață sedentar și a petrecerii majorității timpului în poziția așezat pe scaun, mișcarea de rotație a șoldului e ceva ce se petrece foarte rar, ajungând să reprezinte un efort. La lovirea mingii de tenis, o mare parte din forța pe care practicantul o imprimă mingii ar trebui să vină exact din rotația șoldului în plan transversal. Cum această rotație este, după cum am spus, limitată, sportivul, realizând că nu imprimă destulă forță mingii, practic compensează, suprasolicitând astfel încheieturile mâinii și cotului, toate acestea având ca rezultat durerea și accidentările [21-23]. În momentul în care, în cunoștință de cauză cu problema, practicantul de tenis ar lucra la rotația șoldului, durerea la nivelul cotului și

încheieturii mâinii s-ar estompa în timp. Aceste aspecte pot fi identificate cu ajutorul analizei mișcării deoarece, după cum am menționat și în exemplele anterioare, fiecare situație are unicitatea ei și fiecare subiect trebuie să descopere în mod exact și specific lui ce mișcări greșite face și cum le poate corecta.



Fig. 1.6. „Cotul de tenis”, o afecțiune la nivelul tendonului (CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons, <https://commons.wikimedia.org> autor: Bruce Blaus)

Medicina de recuperare conține anumite mișcări, exerciții și chiar aparate bazate pe „corectarea” felului de a se mișca în scopul îmbunătățirii sau grăbirii recuperării pacienților. Tot la acest capitol se pot aminti diferite discipline precum aerobic, gimnastică și altele de acest fel care își propun și reușesc cu succes ca prin practicarea unui set de mișcări bine determinate să contribuie semnificativ la dezvoltarea un corp armonios și a unei sănătăți de invidiat, inclusiv sănătate mentală [24-26]. Cea mai clară dovadă este faptul că în unele țări dezvoltate companiile de asigurări au introdus în calculul polițelor de asigurare aspectul practicării unor astfel de discipline (cei ce practică aerobic, gimnastică, yoga etc. plătesc mai puțin deoarece riscurile de sănătate la care se expun sunt considerate mai mici).

În concluzie, analiza din punct de vedere mecanic a mișcării cu aplicații în medicină are un rol extrem de important în îmbunătățirea calității vieții pacienților. O analiză corectă a mișcărilor umane duce la progres atât în ceea ce privește aparatura medicală destinată ajutării efectuării mișcărilor cât și în ceea ce privește mișcărilor în sine.

Obiectivele pe care și le-a impus autorul prezentei teze de abilitare în cercetările sale au fost de a propune o metodă și de a proiecta un sistem ieftin și portabil pentru captura și analiza mișcărilor umane existente în sport, medicina de recuperare, muzică și eventual alte domenii conexe. Sistemul și metodele au fost testate pe o serie de probe sportive și situații din recuperarea medicală, precum și pe un grup de muzicieni (cântăreți la vioară, atât studenți cât și artiști consacrați). Rezultatele obținute sunt prezentate în continuare.

1.2 Proiectarea unui sistem de captură și analiză a mișcărilor umane

Primul pas pe drumul realizării obiectivelor propuse anterior îl reprezintă găsirea unei soluții pentru captura și analiza mișcărilor umane. Sistemul proiectat pentru a fi folosit în aceste scopuri trebuie să aibă o serie de caracteristici:

- să fie suficient de precis încât să se poată realiza o analiză eficientă a mișcărilor, cu rezultate relevante
- în vederea implementării în practică a metodelor și modelelor de lucru, este important de asemenea ca, în mod ideal, costurile de implementare ale unui astfel de sistem să se limiteze la cele ale componentelor hardware necesare funcționării, partea software urmând să fie dezvoltată local
- să nu conțină elemente care să influențeze mișcarea în vreun fel, cum ar fi senzori de masă mare sau de dimensiuni semnificative, care să trebuiască să fie instalați pe corpul subiecților analizați
- să fie portabil
- să fie ușor de utilizat (în unele cazuri chiar fără să fie necesară prezența celor ce l-au proiectat, dacă se poate)

Sistemele utilizate pentru captura mișcărilor umane se bazează pe o anumită metodă de captură, cele mai populare fiind cele care folosesc materiale video sau seturi de fotografii realizate la mare viteză, diferite tehnologii radio, GPS etc. Astfel, regăsim aparatură de genul camerelor video, sistemelor cu senzori radio, sistemelor cu infraroșu, sistemelor cu markeri reflectorizanti [27-31].

Din punct de vedere al multor situații naturale, apărute în practică, costurile de implementare a unui sistem profesional de analiză a mișcării reprezintă un dezavantaj

esențial. Chiar dacă sumele pentru implementarea unui astfel de sistem ar putea fi luate în calcul în sportul profesionist sau în cadrul organizațiilor medicale de mare anvergură, există însă și alte instituții, precum centrele de copii și juniori, organizațiile care se ocupă cu sportul amator, centrele de recuperare motrică obișnuite, unde un astfel de sistem ar fi util. În cadrul acestor organizații nu întâlnim aproape niciodată nici un fel de sistem de analiză a mișcărilor umane, și asta se întâmplă de foarte multe ori din cauza costurilor. Este evident faptul că un sistem simplu de captură și analiză a mișcărilor umane, cu costuri mici, chiar dacă nu va avea acuratețea sistemelor profesionale, își va găsi locul pe piață, atât în cadrul organizațiilor mai puțin potente financiar prezentate mai sus, cât și în mediul educațional: școli, licee, grupuri tematice.



Fig. 1.7. Săritura în lungime (imagine creată cu AI, www.bing.com/create)

Din punct de vedere al unor probe sportive sau al unor situații din medicina de recuperare, un mare minus al sistemelor profesionale (unul dintre celelalte dezavantaje principale, pe lângă cel prezentat anterior, care este prețul) este imposibilitatea (în foarte multe cazuri) folosirii unui astfel de sistem pentru situații care nu pot fi controlate într-un loc prestabilit, de genul unei încăperi. În esență, pentru sporturile în care mișcarea analizată se desfășoară într-un spațiu restrâns (cum ar fi aruncarea la coș, la baschet, care se face de pe loc, sau lovirea mingii la tenis la anumite tipuri de antrenament, care se face oarecum de pe loc) și

pentru situațiile medicale în care mișcarea se desfășoară tot într-un spațiu restrâns (cum ar fi mersul în ritm normal sau alergările ușoare pe suprafețe relativ plane), sistemele profesionale își fac treaba, în mod natural, foarte bine. Există însă sporturi și probe atletice în care mișcarea implică o deplasare pe o distanță semnificativă (cum ar fi triplu salt, săritura în lungime, săritura în înălțime și multe altele) unde mișcarea nu mai poate fi analizată în laborator (din motive de spațiu - nu e eficient a se construi un laborator special cu investiții la nivelul sutelor de mii de dolari/euro doar pentru o probă de genul celor menționate mai sus). De exemplu, la săritura în lungime, distanța de alergare e de 40 de metri, iar groapa cu nisip are 9 metri. Analiza mișcării sportivului pe distanța întregii probe este foarte dificilă fără un sistem portabil.

Dacă vorbim de domeniul medical, analiza mișcării în condiții speciale (de exemplu, urcatul și coborâtul scărilor) este ceva esențial în cadrul recuperării motrice ale unui pacient – în aceste condiții, sistemul de captură și analiză a mișcării ar trebui să poată fi instalat în zona unde se află respectivele scări. Cum în laboratoarele profesionale echipamentele rămân fixe după ce au fost instalate, se poate deduce foarte ușor necesitatea unui sistem portabil de analiză a mișcării.

Nu vorbim doar de limitări fizice, legate de spațiu – având în vedere că subiectul e mișcarea umană, în special în timpul desfășurării unor activități destul de clar stabilite, este necesar ca sistemul de captură și analiză a mișcării utilizat să nu influențeze în mod semnificativ mișcarea subiecților studiați, așadar nu se pot folosi elemente de masă mare instalate pe corpul sau hainele subiecților, în unele cazuri (subiecți în vârstă, cu implanturi, cu stimulatoare cardiace etc.) este de evitat folosirea dispozitivelor electronice în contact direct cu corpul uman.

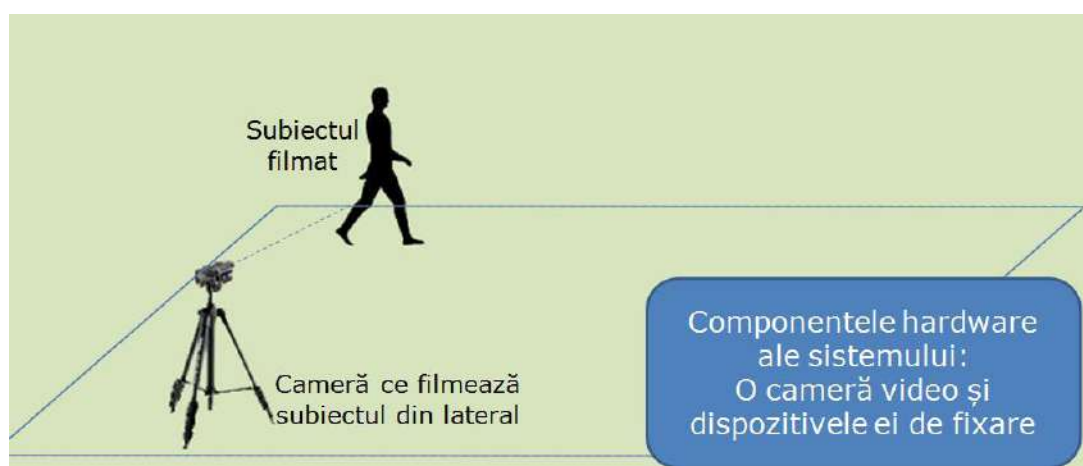


Fig. 1.8. Ideea de bază din spatele unui sistem ieftin de captură a mișcărilor umane bazat pe înregistrări video sau fotografice

După ce am determinat utilitatea unui astfel de sistem de captură și analiză a mișcărilor umane, este necesar a stabili metodele de captură și analiză a datelor pe care acesta se bazează, în funcție de necesități și de condițiile enumerate la începutul acestui capitol. Captarea mișcărilor umane se poate realiza, în esență, prin două metode, și anume o metodă în care se folosesc o serie de elemente de identificare numite markeri și o metodă în care nu se folosesc acești markeri, ci se urmăresc formele / siluetele corpului uman sau a diferitelor segmente ale acestuia.

Prima metodă, cea în care se folosesc markeri, se bazează pe urmărirea anumitor puncte de interes de la nivelul corpului sau membrului studiat (de exemplu, pentru mișcarea mâinii în momentul aruncării mingii la handbal, putem considera articulațiile umărului, cotului și palmei ca fiind principalele puncte de interes pentru mișcare). În aceste puncte se instalează și fixează respectivii markeri. Aceștia pot fi de diferite tipuri, mergând de la cei mai simpli, din hârtie albă sau de diferite culori, până la markeri cu elemente electrice, becuri, led-uri, senzori radio, senzori cu infraroșu). Mișcarea acestor markeri este apoi înregistrată în timp cu ajutorul unor aparate diferite, care pot fi camere video, elemente de captură radio etc. Respectivile înregistrări sunt apoi salvate, în mod ideal într-un format foarte comun, pentru a putea fi apoi prelucrate ușor prin cu ajutorul unor aplicații software dedicate sau programe informatice realizate local [34-37].

Pentru metoda fără markeri se recurge de obicei la aparatură video, cu care se înregistrează fie siluete ale corpului uman sau ale diferitelor segmente ce interesează, fie proiecții ale acestor segmente pe anumite fundaluri. Aceste siluete sau proiecții sunt apoi analizate fie așa cum sunt, fie, dacă filmările s-au realizat cu mai multe camere video, se încearcă reconstrucția corpului uman (sau segmentului corporal) pe baza lor [29, 38-40].

Metoda cu markeri – concepte și mod de lucru

Această metodă se bazează pe urmărirea traiectoriei unui set de markeri instalat pe zona de interes în timpul mișcării (de obicei o articulație importantă a corpului uman), urmând ca apoi, cu ajutorul acestor traiectorii, să fie deduși diferiți parametri geometrici și cinematici ai mișcării – poziții, unghiuri, viteze, accelerații. Se realizează, de fapt, o cinematică inversă a mișcării, pornindu-se de la poziția în timp a respectivilor markeri și ajungând la parametri precum viteze și accelerații.

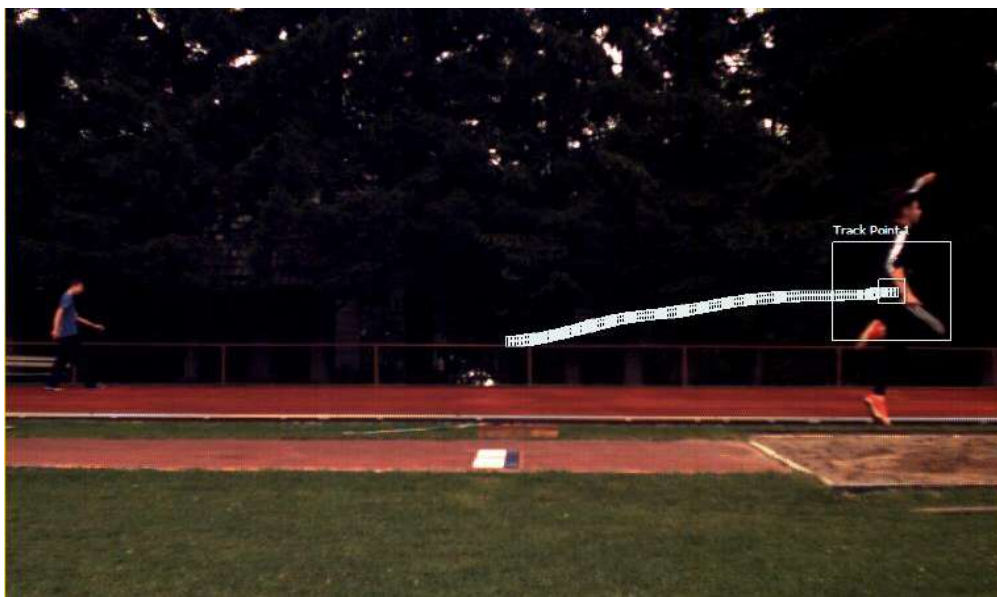


Fig. 1.9. Folosirea unei camere de mare viteză pentru captura săriturii în lungime

Analiza markerilor se poate face atât individual (atunci când avem nevoie de ceva foarte simplu, cum ar fi traiectoria cotului în timpul serviciului la tenis) cât și combinând informații de la mai mulți markeri, pentru a re-crea o mișcare complexă (cum ar fi poziția segmentelor și unghiul dintre braț și antebraț, urmărit în timp, la serviciul din tenis).

Traietoriile markerilor se pot obține fie folosind metode video, fie folosind alt fel de metode, de obicei sub forma unor senzori bazați pe o tehnologie radio. Există limitări serioase, întrucât de multe ori avem nevoie de o metodă de captură care să fie capabilă să înregistreze mișcări rapide – în sport acest aspect este esențial. Cele mai comune sisteme se bazează pe metode video sau fotografice, atât datorită faptului că au, în general, o precizie mai bună decât cele bazate pe metode radio, cât și datorită modului (de obicei) mai simplu și neintruziv de instalare a markerilor – de multe ori, sistemele video folosesc markeri destul de simpli, instalați ușor și de mase neglijabile, care nu influențează în vreun fel mișcarea subiecților.

Evident, în cazul sistemelor profesionale, informațiilor de la acești markeri li se adaugă și date culese cu alte sisteme costisitoare (un exemplu ar fi Force Plates, sisteme care pot măsura reacțiunea la sol în timpul mișcării), pentru o analiză mai exactă.

Metoda fără markeri – concepte și mod de lucru

De obicei, metoda fără markeri se bazează pe captura mișcării folosind aparatură video, în mod ideal mai multe camere video, filmând din mai multe unghiuri. Metoda este, în esență, o analiză a succesiunilor de imagini, fie văzute ca proiecții pe un fundal, fie cu corpul sau

segmentele corpului uman re-create pe baza filmării din mai multe unghiuri. Este foarte popular ca segmentul de interes al corpului uman să fie încadrat într-o elipsă sau, după caz, în mai multe elipse: de exemplu, dacă se urmărește mișcarea întregului picior, vom avea trei elipse legate, una pentru piciorul superior (zona femurului), una pentru piciorul inferior (zona tibiei) și ultima pentru zona de contact cu solul (o elipsă în care e încadrată talpa piciorului).



Fig. 1.10. Săritura în lungime, cadre succesive de-a lungul mișcării (CC BY-SA 2.5 CO, Wikimedia Commons, <https://commons.wikimedia.org> Autor: Evdcoldeportes)

Mișcarea segmentelor corporale este apoi urmărită în timp și, în cazul unor variante constructive, sunt atașate sisteme de coordonate pe fiecare dintre aceste segmente și apoi sunt urmărite diferite puncte de interes. Lucrurile apoi trec într-o zonă de matematică / mecanică, analizându-se pozițiile relative ale acestor sisteme în timpul mersului.

Rezultatele obținute de metoda fără markeri sunt semnificativ influențate atât de numărul de camere cu care se realizează înregistrarea, cât și de factori precum condițiile de luminozitate. Având în vedere că lucrăm cu proiecții ale diferitelor segmente corporale, cu cât acestea sunt mai precis reprezentate, cu atât ceea ce se obține va fi de o calitate mai ridicată.

Este greu de spus care dintre aceste două metode este mai potrivită. Tendința majorității sistemelor accesibile ca preț (sau a celor artisanale) este să folosească markeri, întrucât atât modul de captură este mai puțin restrictiv, cât și analiza ulterioară a datelor experimentale este mai simplă, aceasta putând fi realizată ușor cu ajutorul aplicațiilor dedicate sau al programelor informatice dezvoltate local. Având în vedere că planul cercetărilor s-a bazat pe ideea de metode și unelte care se pot folosi în analiza mișcărilor umane fără a implica costuri foarte mari, focalizarea noastră va fi îndreptată în special pe

dispozitivele și pachetele software cu care se poate realiza captura și analiza mișcărilor umane folosind markeri.

Sistemul utilizat în cadrul cercetărilor este compus dintr-o cameră video de mare viteză, un calculator portabil și pachete software comune atât pentru captura elementelor mișcării cât și pentru analiza datelor experimentale. Calculatorul portabil e necesar să fie capabil să ruleze aplicațiile software folosite pentru analiza mișcării. Din punct de vedere al camerei video opțiunile sunt destul de flexibile, s-a folosit o cameră capabilă de a înregistra cu cel puțin 120 de cadre pe secundă, după testele preliminare acest număr de cadre fiind considerat potrivit pentru a putea extrage elementele importante în urma analizei unei mișcări (deși și folosirea unor camere obișnuite, de 30 sau 60 de cadre pe secundă, poate oferi rezultate valoroase) [41]. Din punct de vedere software însă, e nevoie de o aplicație sau o serie de aplicații pentru captura mișcării, capabilă de a oferi datele experimentale într-un format relativ comun și apoi de alte aplicații care să poată prelua și prelucra respectivele date experimentale obținute anterior.

Ca aplicație software pentru captura mișcărilor s-a pornit la drum, la început, cu aplicația Adobe After Effects [42]. Cum însă aceasta nu este o aplicație pur dedicată urmării traiectoriei unor puncte în mișcare, și vine și cu anumite costuri, din momentul în care a apărut a fost preferată aplicația Kinovea [43-44], deoarece este gratuită, open source, destul de simplu de utilizat și ne oferă posibilitatea de a face, pe lângă multe altele, fix ceea ce ne dorim, și anume urmărirea traiectoriei unui set de markeri în timp, dintr-un material video.

Despre modul în care citim fișierele obținute după captura și analiza cu Kinovea și despre procedurile folosite pentru a obține rezultatele experimentale vom discuta mai pe larg în cadrul fiecărei aplicații practice prezentate. Unele exemple au fost lucrate în MATLAB / Octave iar altele în Spyder, un IDE pentru limbajul de programare Python. Deși, poate, de preferat ar fi să utilizăm aceeași aplicație software peste tot (dacă am fi fost constrânși am fi ales Python, motivele fiind multiple – mediu de programare foarte modern, open source, mii de pachete dezvoltate de foarte multă lume, văzut ca standard în analiza datelor experimentale din ziua de azi). Ideea de bază e că, în funcție de necesități, vom alege pachetul de lucru [45-46], nu poate fi pusă pe masă o rețetă întotdeauna câștigătoare: sunt anumite lucruri pe care Python le poate rezolva mai eficient, sunt altele pe care MATLAB sau Octave le rezolvă direct, cu anumite funcții predefinite, fără să fim nevoiți să scriem sute de linii de cod.

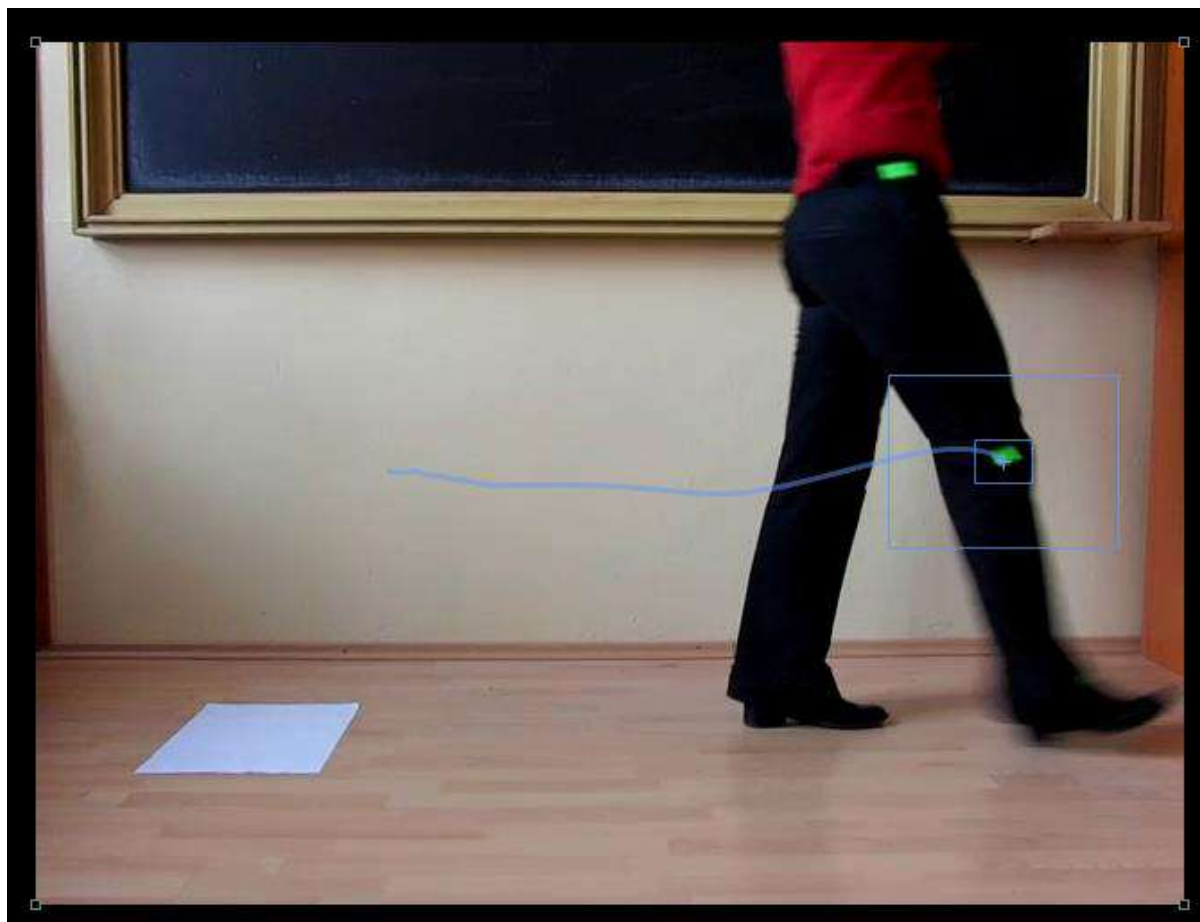


Fig. 1.11. Interfața Kinovea și obținerea traiectoriei folosind unealta de urmărire a mișcării

Analiza datelor experimentale

Presupunem că avem de analizat un grup de subiecți ce vor executa un set de mișcări speciale, dintr-un sport sau specifice medicinei de recuperare sau altor situații din domeniile asociate. Suntem în faza în care urmează să efectuăm o serie de pași:

- instalăm o serie de markeri la nivelul articulațiilor subiecților
- instalăm o cameră video perpendicular pe direcția execuțiilor mișcărilor (sau mai multe, dacă sunt posibilități și activitatea măsurată o necesită)
- filmăm (ideal, repetăm de mai multe ori filmările) subiecții în timp ce parcurg traseul stabilit folosind mișcările impuse
- folosim un software (cum ar fi Kinovea) cu care extragem traiectoriile markerilor
- salvăm acele date într-un format comun (de exemplu tabele Excel sau fișiere .csv) și pre-procesăm seturile de date pentru a le aduce într-o formă în care pot fi prelucrate folosind programe informatice
- folosind programe informatice dezvoltate local, de către noi, într-o aplicație (cum ar fi MATLAB) analizăm datele, pentru a obține o serie de rezultate astfel încât să

putem trage concluzii privind mișcările umane, concluzii pe baza cărora putem să intervenim la nivelul fiecărui subiect.

Pașii pot fi urmăriți în succesiunea de figuri de mai jos.

Se obține traiectoria cu Kinovea:

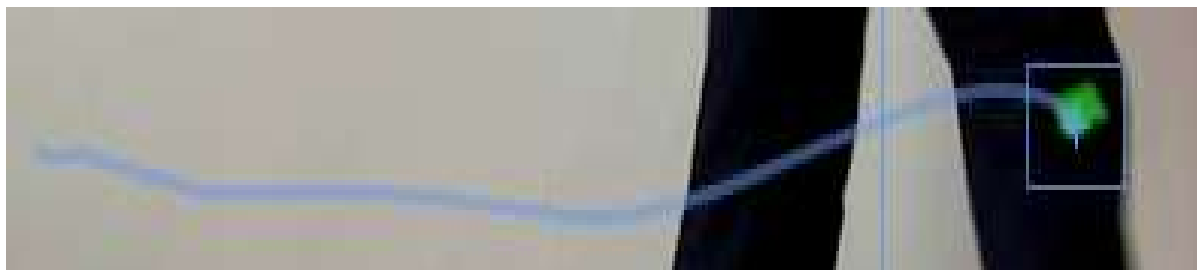


Fig. 1.12. Traiectoria obținută cu ajutorul Kinovea

Se exportă coordonatele într-un fișier de format comun:

	A	B	C
1			
2	Track		
3	Label :	Label	
4	Coords (x,y:px; t:time)		
5	x	y	t
6	-226	12	0:00:00:10
7	-218	13.96	0:00:00:13
8	-210.99	13.98	0:00:00:17
9	-205	13.95	0:00:00:20
10	-198.99	11.97	0:00:00:23
11	-192.98	10.93	0:00:00:27
12	-187.98	7.96	0:00:00:30
13	-180.98	5.98	0:00:00:33

Fig. 1.13. Coordonatele traiectoriei unui marker, exportate într-un fișier obișnuit Excel.

Se folosește o aplicație pentru a pre-procesa și prelucra datele experimentale (pentru graficul simplu din figura următoare noi am folosit în acest caz chiar Excel-ul, nefiind neapărat necesar să trecem respectivele date prin MATLAB)

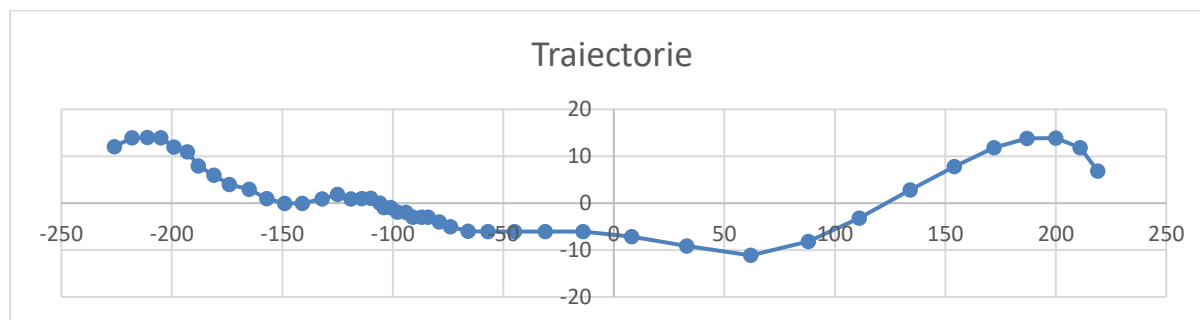


Fig. 1.14. Un grafic al traiectoriei unui marker, obținut direct în Excel.

Se poate ușor observa modul destul de eficient în care traiectoria markerului genunchiului din Fig. 1.12 s-a transformat în date numerice stocate în Excel (Fig. 1.13), reprezentate grafic în figura de mai sus (Fig. 1.14).

Partea de analiză a datelor experimentale se poate face în diferite moduri. Având în vedere că pachetul Kinovea este capabil să exporte traiectoriile markerilor sub formă de tabele Excel (de fapt, fișiere .xml), putem folosi direct această aplicație pentru unele analize. Chiar dacă putem genera și afișa grafice simple, putem calcula diferite medii, dispersii, abateri medii pătratice și alte date statistice etc., totuși ceea ce putem face doar cu Excel este relativ limitat și oarecum incomod, am prefera să folosim programe informatice în locul lucrului direct pe grafice folosind uneltele din Excel.

De obicei, se apelează la un pachet software care să „citească” aceste fișiere, iar de acolo, folosind programe informatice, să fie realizată o analiză ceva mai specifică, în care să se poată pune în evidență mai multe aspecte privind mișcarea umană.

Având în vedere limitările pe care le are Excel-ul pentru calcule ceva mai complicate, prima sugestie pentru analiza datelor experimentale ar fi să folosim un pachet software dedicat lucrului ingineresc. Una dintre variantele potrivite ca posibilități pe care le oferă ar fi pachetul software MATLAB, dar acesta nu e gratuit, așadar ne putem îndrepta atenția către pachetul gratuit Octave, un pachet software aproape identic (în ceea ce privește sintaxa de bază) cu MATLAB, care pe de o parte are anumite elemente în plus sau mai bine implementate din punctul de vedere al scopurilor analizei noastre, dar căruia îi lipsesc câteva caracteristici destul de importante față de MATLAB, și anume nu oferă aceleași posibilități în ceea ce privește editarea graficelor, nu posedă (în mod implicit, cu ceva eforturi se pot instala niște pachete care să ajute în acest domeniu) o unealtă cu care să se poată aplica direct bine-cunoscute metode ingineresti precum algoritmi de regresie și interpolare etc.

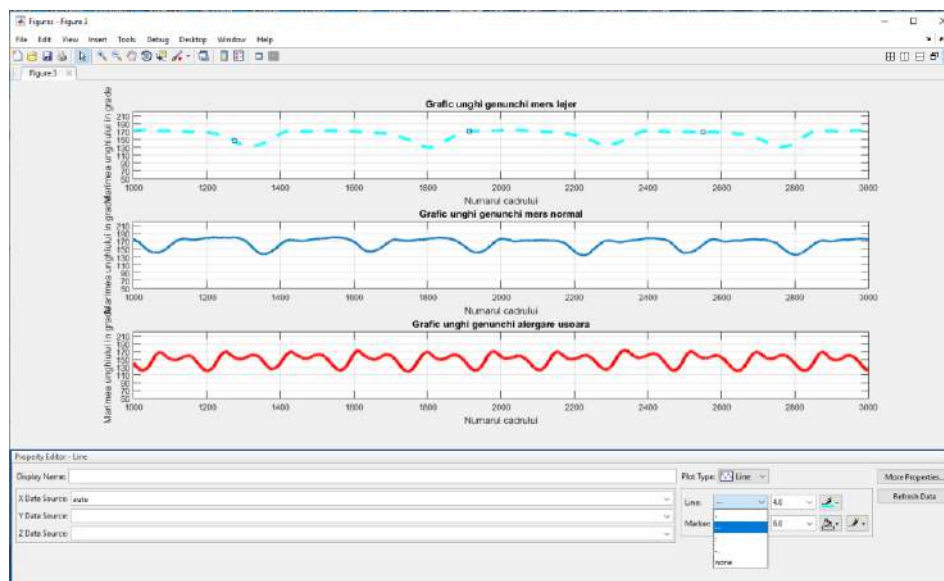


Fig. 1.15. MATLAB oferă multe posibilități de a edita graficele

O altă variantă care vine cu foarte multe avantaje, dedicată celor ce se pricep ceva mai bine la partea de programare și lucru cu date experimentale, ar fi un limbaj de programare potrivit acestui subiect. În minte ne vine imediat mediul de lucru Python, cel mai popular limbaj de programare de azi, aflat în plină dezvoltare, conținând pachete dedicate acestui nou domeniu legat de prelucrarea și analiza datelor experimentale numit Data Science. Python vine cu avantajul major de a fi gratuit și Open Source, acest lucru însemnând că pot fi foarte ușor găsite soluții pentru problemele cu care ne-am confrunța pe acest drum al prelucrării și analizei datelor experimentale.

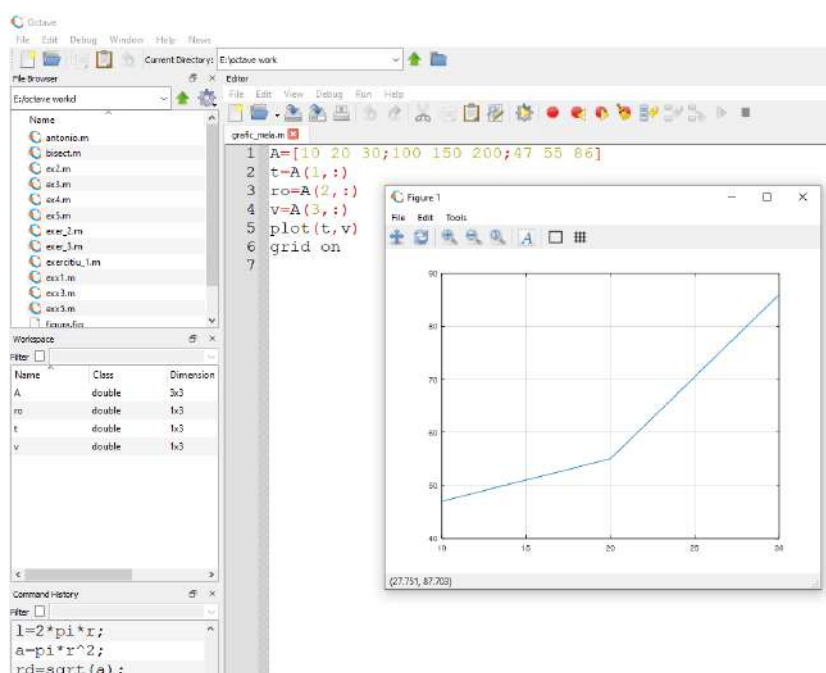


Fig. 1.16. Interfața Octave, destul de similară cu cea pe care o cunoaștem din MATLAB

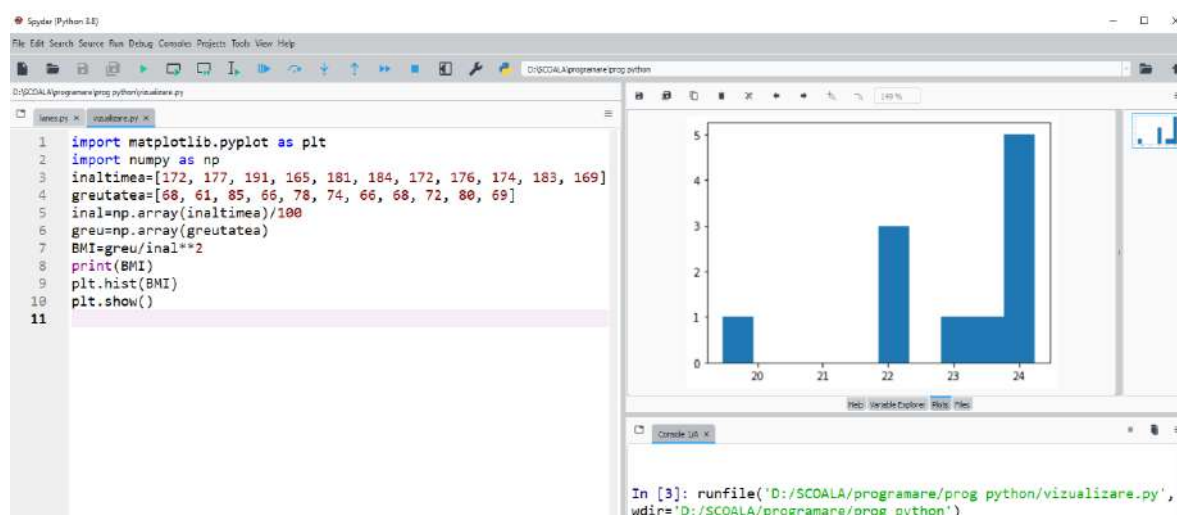


Fig. 1.17. Histogramă simplă, realizată în Spyder, un IDE (Integrated Development Environment) pentru Python

În concluzie, sistemul propus pentru captura și analiza mișcărilor umane va conține:

- una sau mai multe camere video capabile de a înregistra cu viteză mare (ideal minim 120 de cadre pe secundă), într-o rezoluție bună
- un set de markeri din hârtie colorată (pentru a nu incomoda / influența fizic mișcarea subiecților) instalați la nivelul articulațiilor principale ale membrilor sau segmentelor corporale
- un software dedicat pentru captura și extragerea datelor experimentale (Kinovea sau Adobe After Effects)
- o aplicație cu care să culegem direct datele din Adobe After Effects sau Kinovea și să le transpunem într-un format comun (cum ar fi Microsoft Excel)
- programe informatice dezvoltate de noi în MATLAB / Octave sau Python pentru analiza datelor experimentale

În subcapitolul următor vor fi prezentate aplicațiile practice la care s-au aplicat conceptele, metodele și mijloacele de mai sus și, bineînțeles, și rezultatele obținute.

1.3 Analiza mersului și alergării pe banda de fitness, pe grupe de vârstă

Ideea acestui studiu a fost de a găsi eventuale diferențe în modul în care sunt abordate / executate exercițiile pe banda de fitness, luând în considerare persoane din grupe de vârstă

diferite. Subiectul abordat a făcut obiectul unei lucrări de diplomă pentru o studentă, sub coordonarea autorului acestei teze [45].

Pentru experiment au fost aleși și și-au dat acordul să participe 9 subiecți, toți de gen feminin, dar aparținând unor categorii de vârste diferite: 4 copii, cu vârste cuprinse între 6 și 14 ani, 3 adulți cu vârste cuprinse între 36 și 43 ani și 2 adulți în etate, cu vârste de 65 și 67 ani.

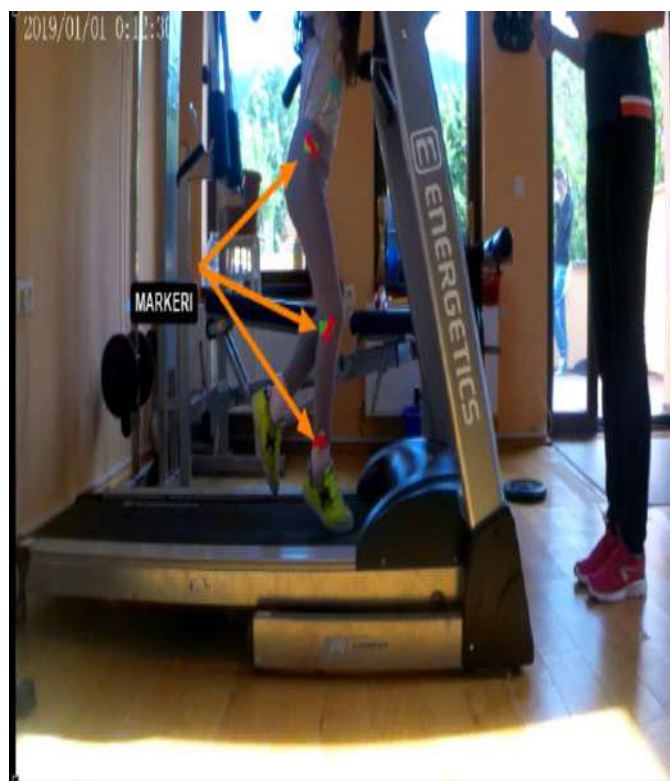


Fig. 1.18. Instalarea markerilor la nivelul articulațiilor [45]

Fiecărui subiect i s-au instalat markeri din hârtie colorată la nivelul articulațiilor piciorului (gleznă, genunchi și șold), cu scopul ca acești markeri să fie urmăriți pe toată durata mișcării, în trei ritmuri de deplasare ale benzii de fitness (mers lejer, mers rapid și alergare ușoară) și cu ajutorul lor să fie determinați o serie de parametri ai mișcării, specifici pentru fiecare ritm.

Subiecții au fost îmbrăcați în haine care să ofere un contrast cât mai bun față de markeri (pantalonii și markerii trebuie să aibă culori care să contrasteze puternic) și, în același timp, să ofere și lejeritate în timpul mișcării – nu s-a dorit ca hainele să influențeze în niciun fel mișcarea subiecților.

Pentru ca mișcarea să poată fi urmărită, s-a încercat reducerea luminii puternice în incinta în care s-a filmat – deși estetic filmele în lumină mai puternică arată teoretic mai bine, o

lumină prea puternică poate crea anumite probleme din punctul de vedere al înregistrării și analizei mișcării.

Întrucât în timpul alergării există posibilitatea de a acoperi cu mâna unii markeri (markerul șoldului cu siguranță, eventual și markerul genunchiului) iar în această situație înregistrarea mișcării ar fi puternic influențată, subiecții au fost rugați să își ia ca suport cele două bare laterale ale benzii de alergat – de altfel, este și o poziție normală de alergat pe bandă, am dorit să menționăm însă aspectul, pentru a se înțelege mai bine problemele ce pot apărea în timpul unor astfel de analize.

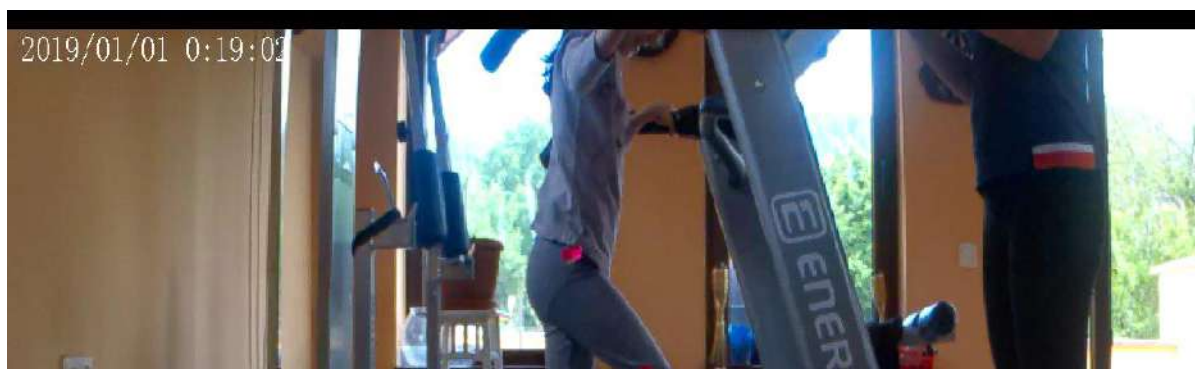


Fig. 1.19. Măinile subiecților au fost așezate pe elementele suport, pe toată durata mișcării [45]

Captura mișcării

Fiecare subiect a efectuat toate cele trei tipuri de deplasări pe bandă (mers lejer, mers rapid și alergare ușoară) pe o perioadă de timp între 30 și 40 de secunde, ei fiind filmați pe toată durata mișcării cu ajutorul camerei de mare viteză, la (aproximativ) 240 de cadre pe secundă. Pentru fiecare tip de mișcare a fost realizată câte o filmare, rezultând într-un final $9 \times 3 = 27$ materiale video pentru cei 9 subiecți.

Filmele au fost salvate pe un card microSD, camera fiind capabilă să salveze informația pe un astfel de suport. Informația de pe acest card a fost apoi descărcată pe un calculator, în vederea analizei.

Analiza cu software dedicat – Kinovea

Următorul pas a fost reprezentat de analiza mișcării cu un software destinat acestor scopuri – am prezentat într-un capitol anterior aplicațiile care au fost luate în considerare precum și motivele pentru care am ales Kinovea ca software de analiză a mișcării care corespunde scopurilor acestui studiu.

Camera video salvează filmele în format MP4, și din fericire Kinovea este capabilă să lucreze nativ cu acest format, nefiind astfel necesar niciun fel de conversie a materialelor video, lucru care ar fi îngreunat în mod semnificativ operațiile – pe de altă parte însă, formatul în care avem materialele video trebuie să fie luat în calcul atunci când alegem un software pentru analiza mișcării, tocmai pentru a evita pași suplimentari, de obicei foarte costisitori ca timp.

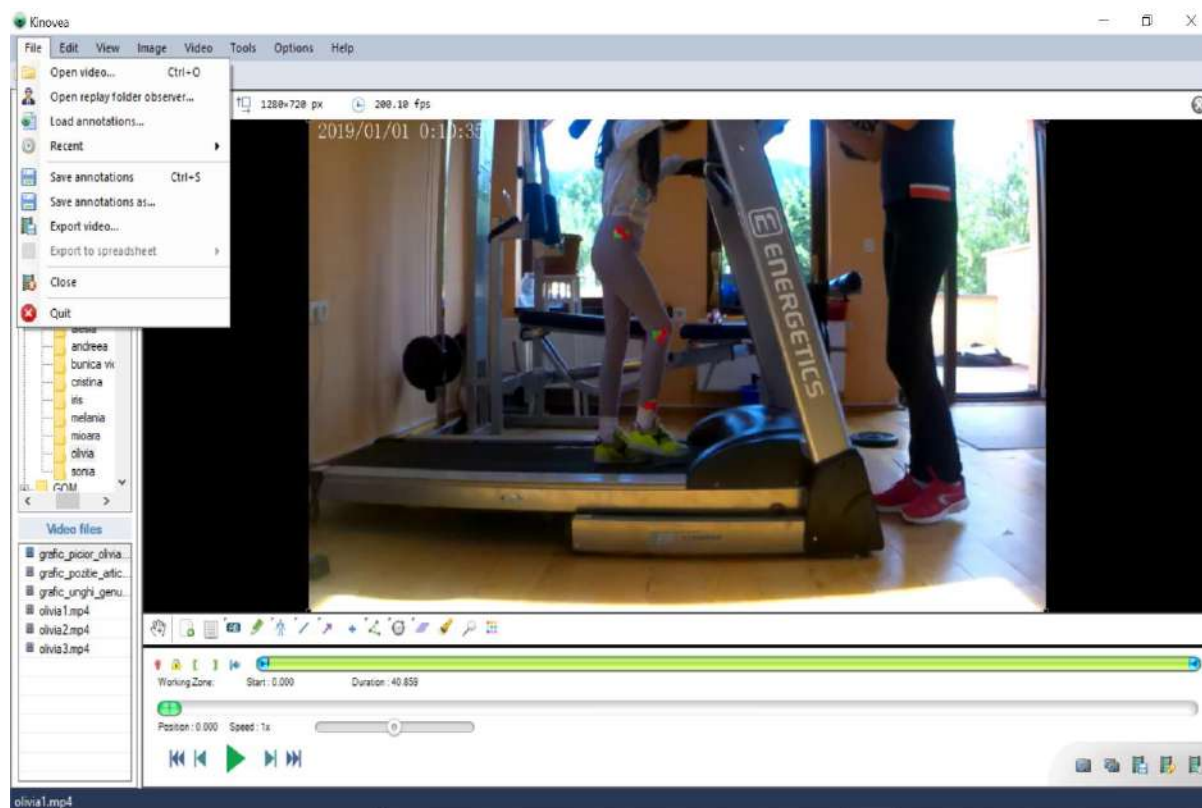


Fig. 1.20. Filmul, încărcat în Kinovea [45]

În figura de mai sus se poate vedea filmul obținut cu camera video și apoi încărcat în Kinovea.

Captura deplasării unui marker

Prezentăm în detaliu procesul de captură a deplasării unui marker. Pentru aceasta, am ales markerul genunchiului și mișcarea acestuia pe durata unei filmări, pentru un subiect.

Se fixează mouse-ul la nivelul markerului dorit, și din meniul obținut cu click dreapta se alege Track Path.

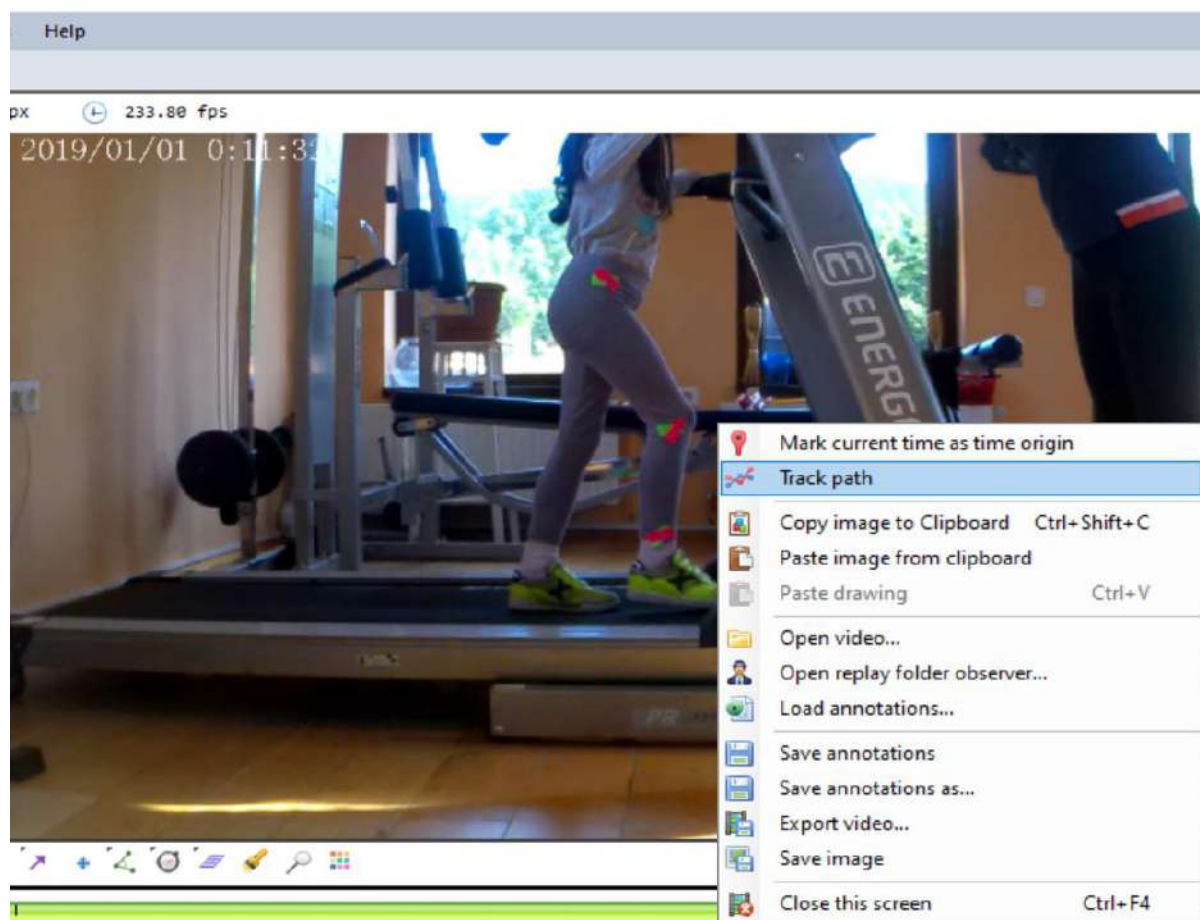


Fig. 1.21. Elementul Track Path [45]

Pe ecran apare acum un nou element, format din două dreptunghiuri având aceleași axe de simetrie (un dreptunghi mai mic, aflat în interiorul unui alt dreptunghi, de dimensiuni mai mari).

Aceste dreptunghiuri sunt elementele esențiale în modul în care Kinovea (precum și alte aplicații pentru captura și analiza mișcării) funcționează – în dreptunghiul interior este ideal de a fi situat markerul, în cazul nostru având culoarea galben, iar în dreptunghiul exterior se află elementele din jurul markerului, în esență îmbrăcăminte de contrast mare – aici, negru. Pe durata mișcării, Kinovea va realiza o comparație între culorile din dreptunghiul interior și cele din dreptunghiul exterior, cadru cu cadru, încercând să regăsească în dreptunghiul interior culorile inițiale (ale markerului), în contrast cu cele din dreptunghiul exterior. Dreptunghiurile pot fi redimensionate.



Fig. 1.22. Cele două dreptunghiuri cu care Kinovea urmărește markerul [45]

Se apasă play și se urmărește traiectoria markerului, în timp. Dacă, pe durata mișcării, se observă erori (se întâmplă, e drept, rar, ca markerul să „sară” de pe poziție), acestea se rezolvă fie prin reajustări, fie prin revenirea cu analiza în poziție inițială și redimensionarea celor două dreptunghiuri, eventual asociată cu alegerea unei poziții a celor două dreptunghiuri deplasată cu câțiva pixeli, în funcție de situație. Într-un final, se obține o traiectorie a respectivului marker, în timp.

Traiectoria markerului este apoi salvată în unul din formatele cunoscute de Kinovea. Deoarece dorim să folosim instrumente de calcul tabelar în etapa de pre-procesare datelor, am ales formatul XML.

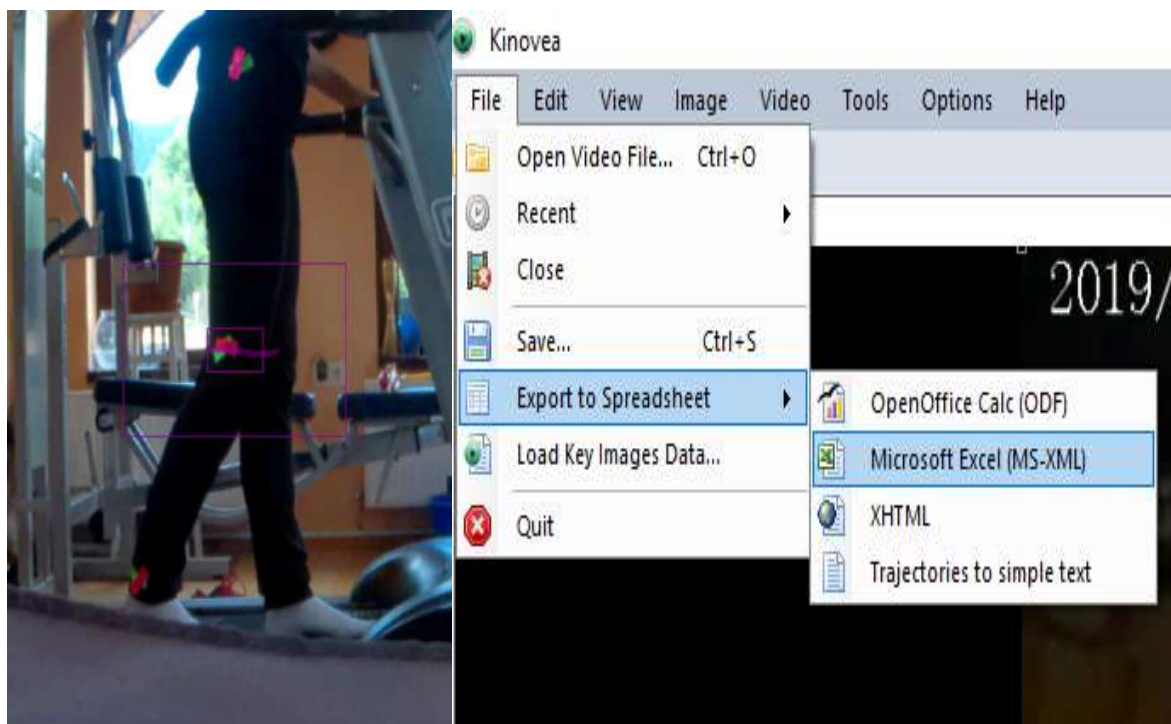


Fig. 1.23. Traiectoria markerului și salvarea ei într-un format popular (în acest caz a fost ales formatul XML) [45]

Analiza datelor experimentale folosind o aplicație inginerescă – Octave (sau MATLAB)

În această etapă se analizează datele culese cu ajutorul software-ului Kinovea, pentru cei trei markeri ai unei persoane (operațiunea repetându-se, bineînțeles, pentru fiecare subiect din cadrul experimentului).

În primul rând, fișierul livrat de Kinovea arată ca în figura de mai jos: el conține un cap de tabel și trei coloane, reprezentând poziția pe axa X a markerului (prima coloană), poziția pe axa Y a markerului (a doua coloană) și timpul (a treia coloană).

	A	B	C		
1				31	65
2	Key Images			34	64.99
3	Name	Time		37	64.99
4	0:00:40:697	0:00:40:697		39	64.98
5				42	64.96
6	Track			45	64.96
7	Label :	Label		47.01	64.96
8	Coords (x,y;px; ttime)			50.01	64.96
9	x	y	t	53.01	65.96
10	31	65	0:00:09:612	55.01	65.96
11	34	64.99	0:00:09:616		
12	37	64.99	0:00:09:620		
13	39	64.98	0:00:09:625		
14	42	64.96	0:00:09:629		
15	45	64.96	0:00:09:633		
16	47.01	64.96	0:00:09:637		
17	50.01	64.96	0:00:09:642		
18	53.01	65.96	0:00:09:646		
19	55.01	65.96	0:00:09:650		

Fig. 1.24. Forma inițială (stânga) și finală (dreapta) a datelor experimentale culese [45]

Întrucât capul de tabel nu ne interesează în mod deosebit în analiză, iar coloana de timp este și ea un element relativ în plus, am decis să le eliminăm, rămânând cu o formă simplificată a tabelelor, care conțin doar perechea de date X,Y reprezentând coordonatele markerului (acest pas ușurează prelucrarea datelor experimentale folosindu-ne de Octave sau MATLAB, și ajută și cu spațiul de stocare – tabelele pentru un singur marker au în jur de 9000 de poziții fiecare).

Ca analiză, am fost interesați de poziția celor trei markeri ai piciorului (gleznă, genunchi, șold) în timpul celor trei tipuri de deplasare pe banda de fitness, precum și de unghiul de deschidere a genunchiului.

Ne-am dorit să comparăm:

1. Pentru o singură persoană, rezultatele obținute pentru cele trei tipuri de deplasare, și să vedem care sunt diferențele între mersul lejer, mersul rapid și alergarea ușoară pentru un singur subiect
2. Pentru subiecți diferiți, dar din aceeași grupă de vârstă (de exemplu doar copii), să vedem care sunt diferențele (dacă acestea există și sunt semnificative) între ei în același tip de deplasare pe banda de fitness – de exemplu, copiii în timpul mersului normal, copiii în timpul mersului rapid și copiii în timpul alergării.
3. Pentru subiecți aflați în grupe de vârstă diferite, care sunt diferențele (dacă acestea există și sunt semnificative) între ei în același tip de deplasare pe banda de fitness – de exemplu, un copil, un adult de vârstă medie și un adult în etate în timpul mersului normal, apoi în timpul mersului rapid și într-un final în timpul alergării.

Unghiul de deschidere a genunchiului

Acest unghi poate fi determinat și cu Kinovea și, teoretic, ar putea fi urmărit folosind aplicația. Din păcate însă, practic, procesul necesită trei puncte de reper pentru a defini unghiul și apar prea des erori de urmărire a celor trei puncte simultan, iar procedura de reparare e destul de dificilă, astfel încât ne-am hotărât ca, având în vedere că știm poziția markerilor în timp, să calculăm respectivul unghi, folosind o metodă foarte simplă, bazată pe teorema cosinusului.

Calculul unghiului de deschidere a genunchiului a fost realizat simplu. Pozițiile markerilor au fost unite sub forma unui triunghi abc cu coordonatele (Xa,Ya, Xb,Yb și Xc,Yc). Cunoscând aceste coordonate putem afla laturile triunghiului:

$$ab = \sqrt{(Xa - Xb)^2 + (Ya - Yb)^2} \quad (1)$$

$$ac = \sqrt{(Xa - Xc)^2 + (Ya - Yc)^2} \quad (2)$$

$$bc = \sqrt{(Xb - Xc)^2 + (Yb - Yc)^2} \quad (3)$$

Având laturile triunghiului, se poate afla unghiul \widehat{abc} folosindu-ne de teorema cosinusului:

$$ac = \sqrt{ab^2 + bc^2 - 2ab * bc * \cos(\widehat{abc})} \quad (4)$$

de unde scoatem unghiul \widehat{abc} ca fiind:

$$\widehat{abc} = \arccos\left(\frac{ab^2 + bc^2 - ac^2}{2ab * bc}\right) \quad (5)$$

Evident, calculul acestui unghi se face folosind cod informatic (s-a folosit cod MATLAB), pentru fiecare poziție a celor trei markeri, pe toată durata mișcării, pentru toate tipurile de mișcare.



Fig. 1.25. Unghiul de deschidere a genunchiului și principiul de calcul [45]

Codul MATLAB culege datele din tabelele Excel salvate pentru markerii genunchiului, gleznei și șoldului unui subiect iar apoi calculează unghiurile pentru cele trei tipuri de deplasare (mers lejer, mers rapid și alergare ușoară). Rezultatele se pot vedea foarte bine grafic.

Se poate observa din graficele de mai jos că s-a ales pentru reprezentare o zonă cuprinsă între cadrul 1000 al mișcării și cadrul 3000 al mișcării – scopul acestui lucru a fost de a elimina primii câțiva pași, care reprezintă o perioadă de acomodare a subiectului cu ritmul ales pentru bandă.

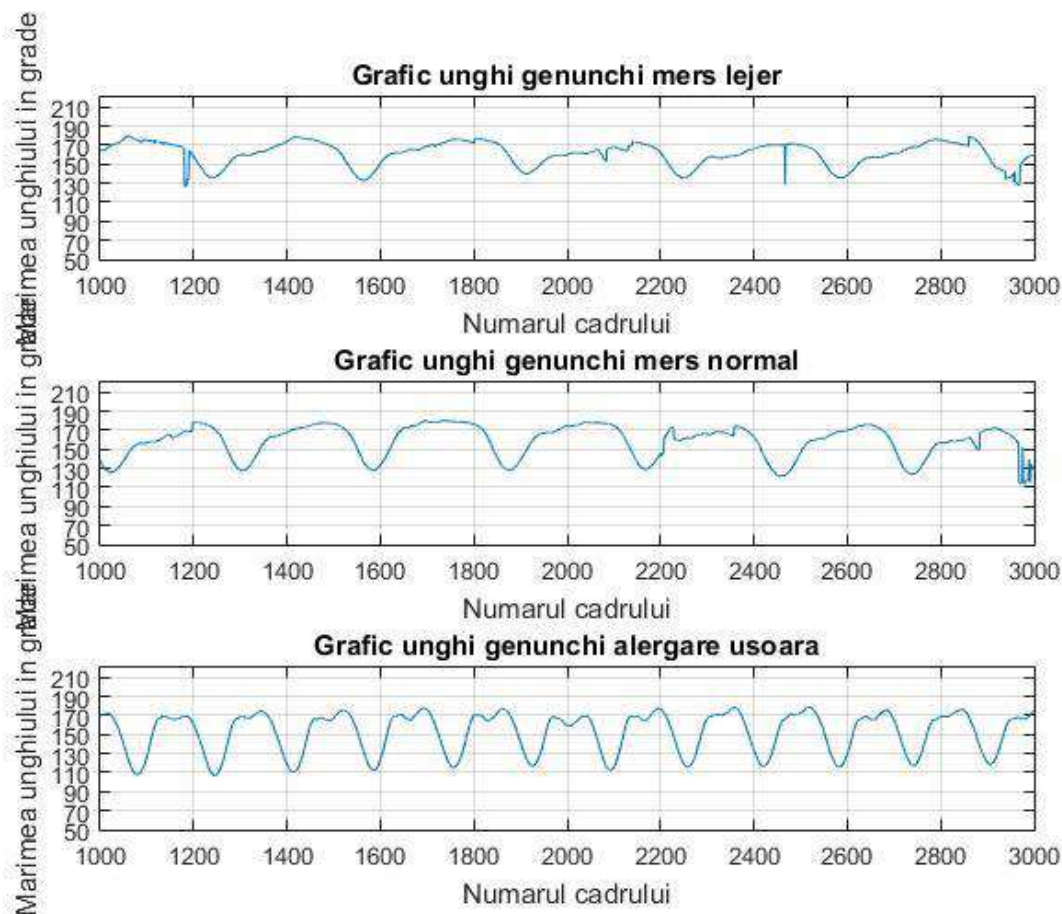


Fig. 1.26. Unghiul de deschidere a genunchiului pentru un subiect, de-a lungul celor trei tipuri de deplasare pe bandă [45]

Într-un final, pentru fiecare subiect au fost realizate încă două grafice, și anume:

- unul în care este reprezentat întregul picior în timpul celor trei tipuri de deplasare, în care se poate vedea exact poziția piciorului în fiecare cadru (am redus numărul de poziții afișate, deoarece la 9000+ poziții nu se mai înțelegea nimic) și de unde se pot trage o serie de concluzii privind distanțele de deplasare ale încheieturilor pentru cele trei tipuri de mișcare precum și (eventuale) anumite tendințe apărute aici.
- unul în care este reprezentată efectiv poziția fiecărui marker în timpul deplasării, unde se poate vedea exact traiectoria făcută de genunchi, gleznă și șold pe parcursul ciclului mișcării, pe toată durata deplasării pe bandă, pentru fiecare subiect.

S-a încercat reconstruirea aproximativă a segmentelor membrului inferior (tibia și femur) folosindu-se coordonatele markerilor. Distanțele sunt în pixeli.

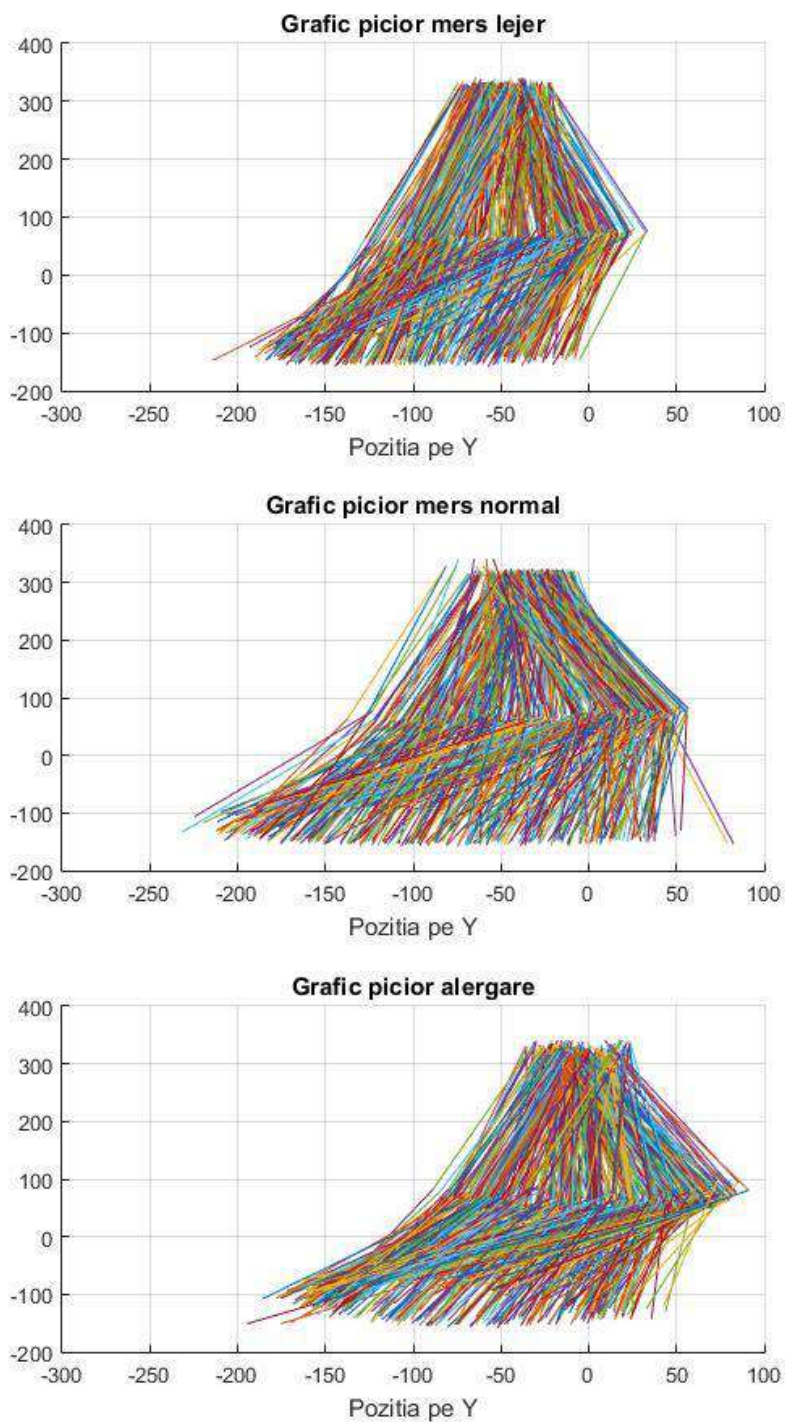


Fig. 1.27. Graficul întregului picior pe durata mișcării pentru cele trei tipuri de deplasare. [45]

S-a capturat poziția fiecărui marker, afișându-se pe toată durata mișcării. În figura de mai jos se poate observa zona în care se mișcă fiecare articulație, în funcție de viteza benzii de alergare, precum și faptul că există diferențe între mișcări.

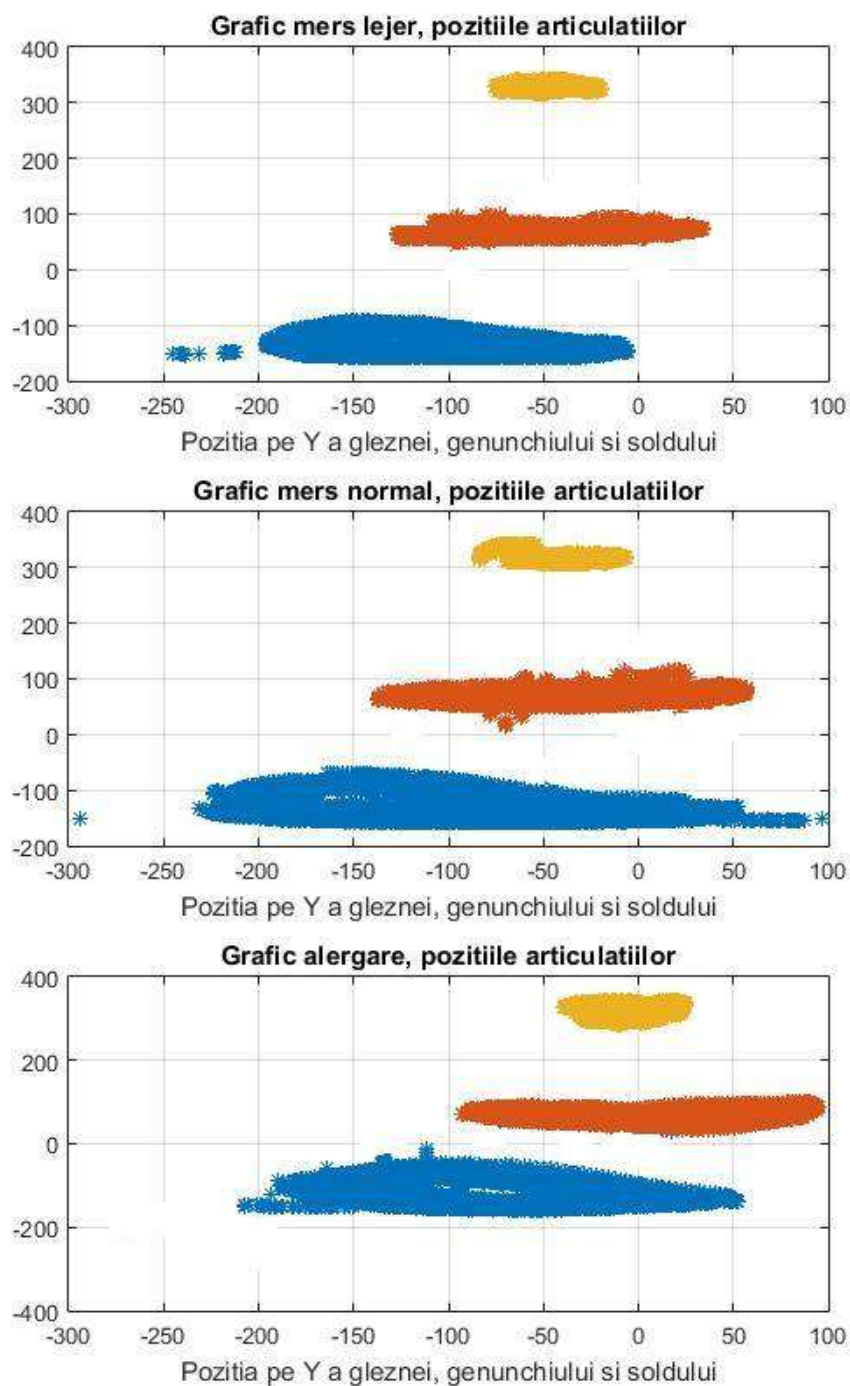


Fig. 1.28. Poziția articulațiilor piciorului pe durata mișcării pentru cele trei tipuri de deplasare. [45]

Fiecărui subiect i-a fost apoi întocmită o „fișă” cu graficele specifice, de genul celei de mai jos:

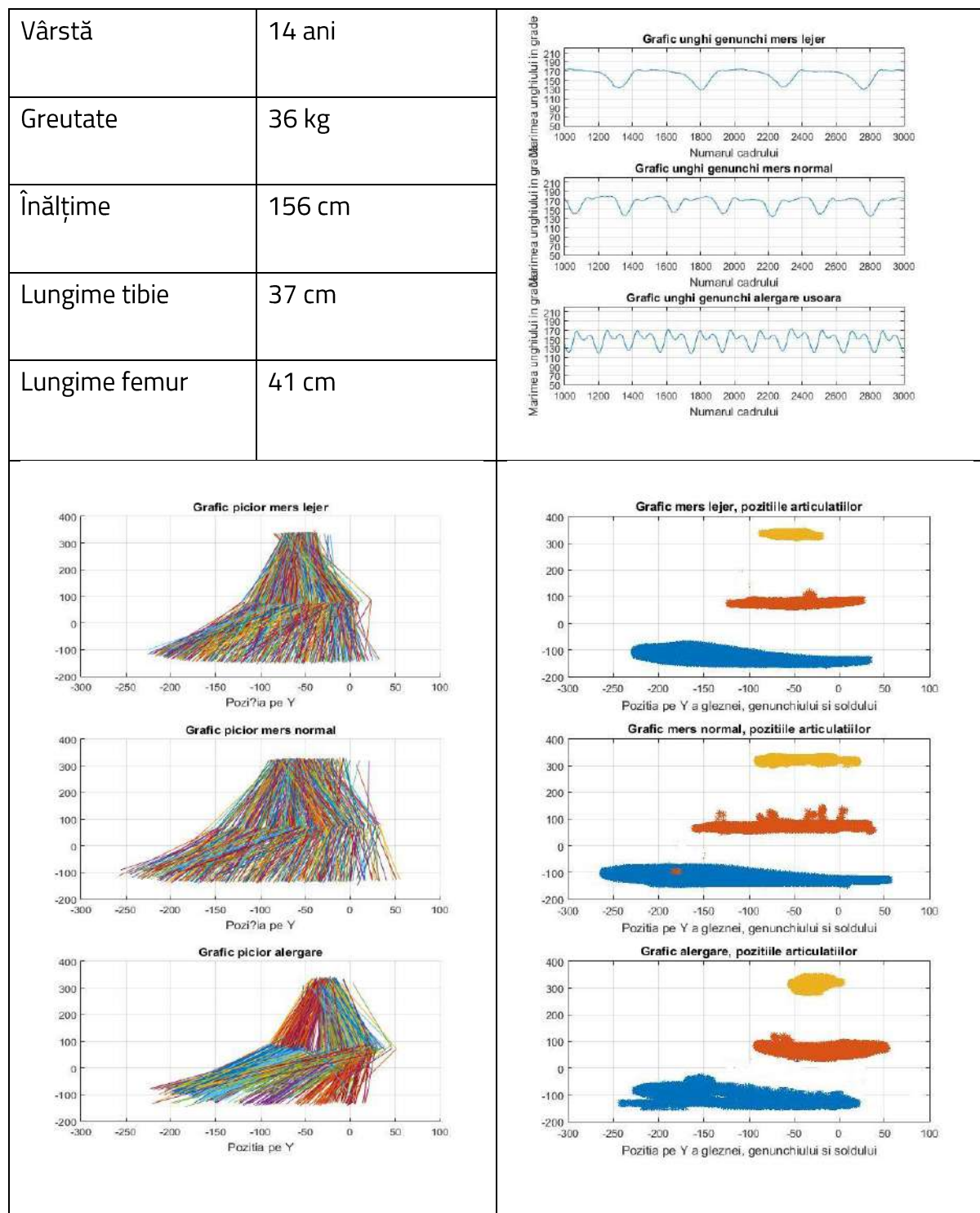
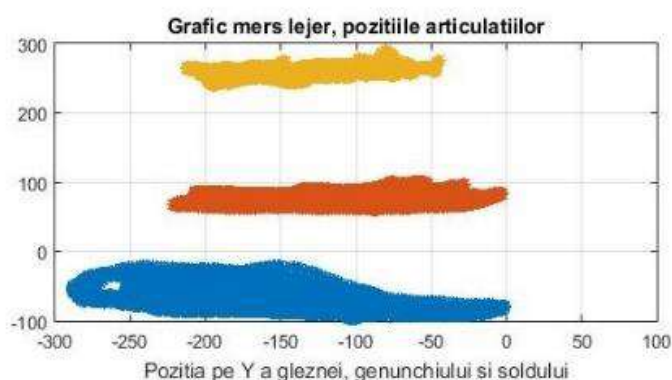


Fig. 1.29. Model fișă analiza mișcării pentru un subiect [45]

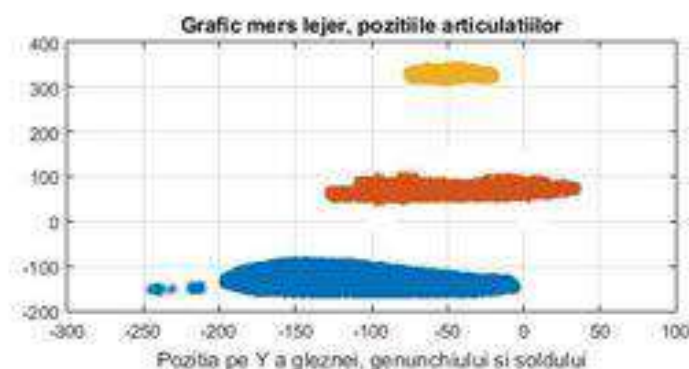
Acest tip de analiză a fost realizat pentru fiecare subiect iar apoi informațiile au fost sintetizate pentru a se extrage anumite asemănări, diferențe, tendințe și într-un final

rezultatele au fost sintetizate sub forma unor tabele, din care se pot trage o serie de concluzii, prezentate în continuare.

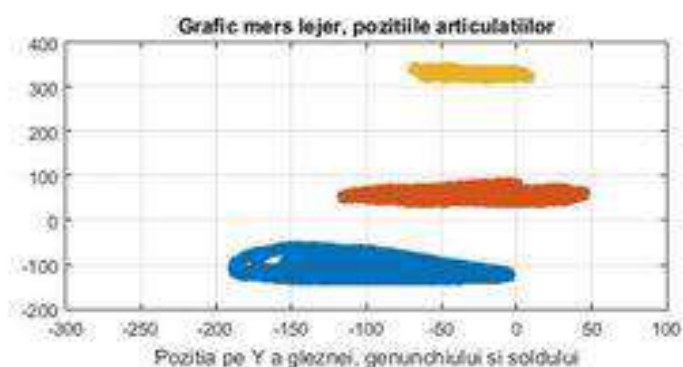
În cadrul mersului lejer se observă tendința persoanelor în vârstă de a își păstra o poziție relativ fixă a articulațiilor (fără deplasări semnificative nici pe orizontală, nici pe verticală) în timp ce, pentru persoanele de vârste mai mici (adulti, copii) deplasarea acestor articulații crește. În principiu, putem concluziona că, pe banda de alergat, odată ce au găsit o poziție în care se simt în echilibru, persoanele în vârstă au tendința de a și-o păstra.



Copii, mers lejer



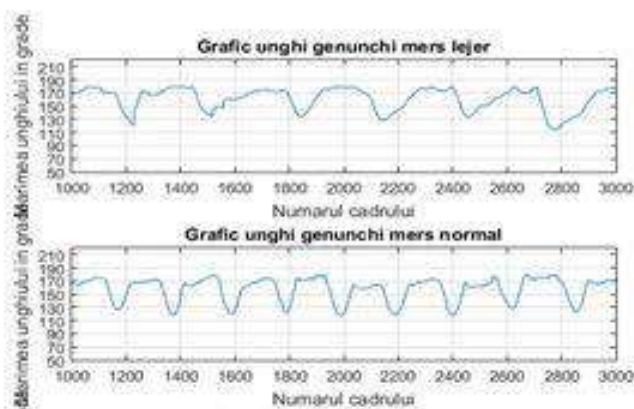
Adulți, mers lejer



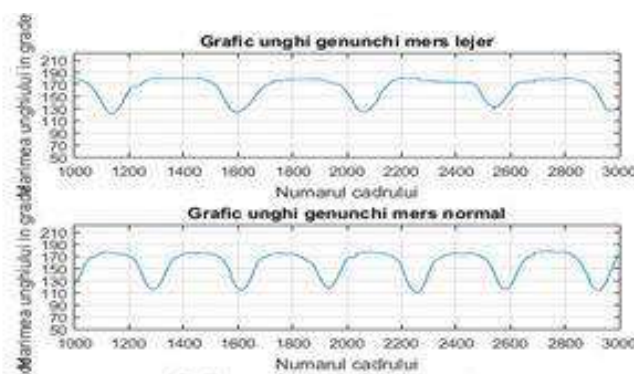
Vârstnici, mers lejer

Fig. 1.30. Poziția articulațiilor în timpul mersului lejer pentru cele trei grupe de vârstă [45]

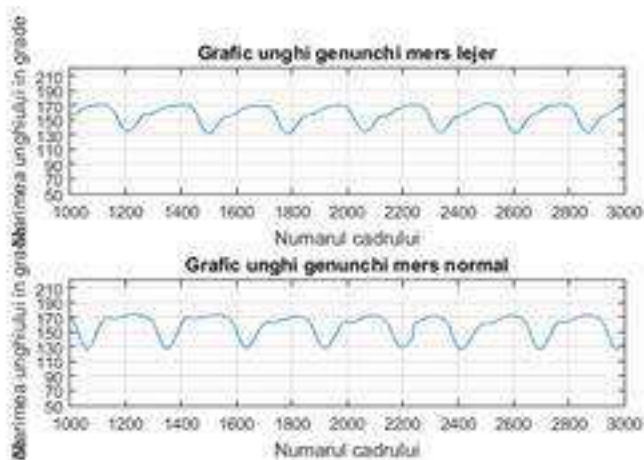
În cadrul mersului normal se observă o atitudine în mers mai flexibilă cu cât vârsta este mai mică, adică unghiurile făcute de articulații – unghiul genunchiului, de exemplu – variază într-un spectru mai larg la copii, ceva mai puțin la adulți și foarte puțin la persoanele în vârstă. În general, se observă creșterea lungimii pasului pentru adulți și copii, pe când persoanele vârstnice încearcă să păstreze acea stare de echilibru și ritmul găsit în cadrul mersului lejer (numărul de pași pe același interval de timp, pentru vârstnici, nu este mult diferit între mers normal și mers lejer).



Copii, mers lejer (sus) și normal (jos)



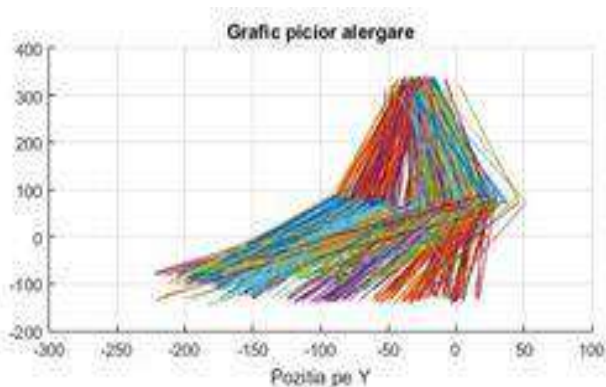
Adulți, mers lejer (sus) și normal (jos)



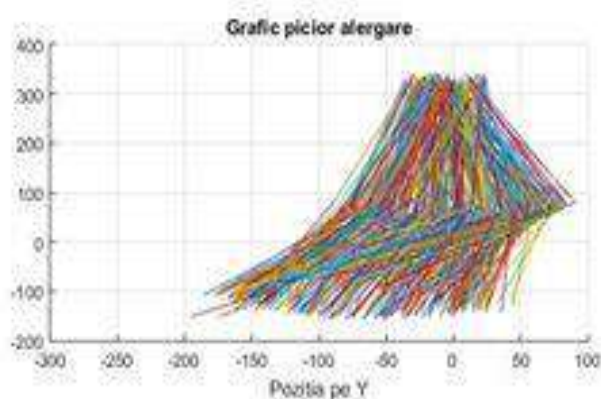
Vârstnici, mers lejer (sus) și normal

Fig. 1.31. Numărul de pași pe același interval de timp, pentru mers lejer și normal, pentru cele trei grupe de vârstă [45]

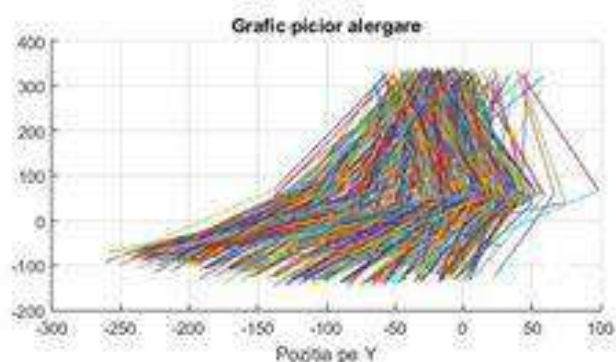
La alergarea ușoară, la copii se observă mai ales staționarea pe piciorul de sprijin care trage corpul cu totul în spate. Timpul necesar copiilor pentru a se adapta la alergarea ușoară este mai mare. După ce își găsesc ritmul de alergare însă, copiii reușesc să îl păstreze, cu un șold foarte fix. La adulți, la alergare ușoară unghiul genunchiului este mai flexat decât la mersul normal, deplasarea din șold este redusă considerabil (poziția șoldului rămâne relativ fixă pe durata alergării) iar pașii sunt mai mici, glezna având un balans mare. Vârstnicii tind să "alunece" cel mai mult pe bandă, deoarece încearcă să își găsească o poziție de echilibru, iar pentru aceasta vor face pași mici și mulți.



Copii, alergare ușoară



Adulți, alergare ușoară



Vârstnici, alergare ușoară

Fig. 1.32. Balansul membrului inferior în alergare, pentru cele trei grupe de vârstă [45]

Pe lângă toate aceste aspecte de mai sus, este evident de luat în calcul și experiența persoanei relativ la banda de alergat – persoanele care au folosit pentru prima dată un astfel de echipament sportiv au avut nevoie de o perioadă de adaptare pentru a-și găsi un ritm.

Din punct de vedere al unghiului genunchiului, după analiza graficelor comparative, s-au putut trage o serie de concluzii.

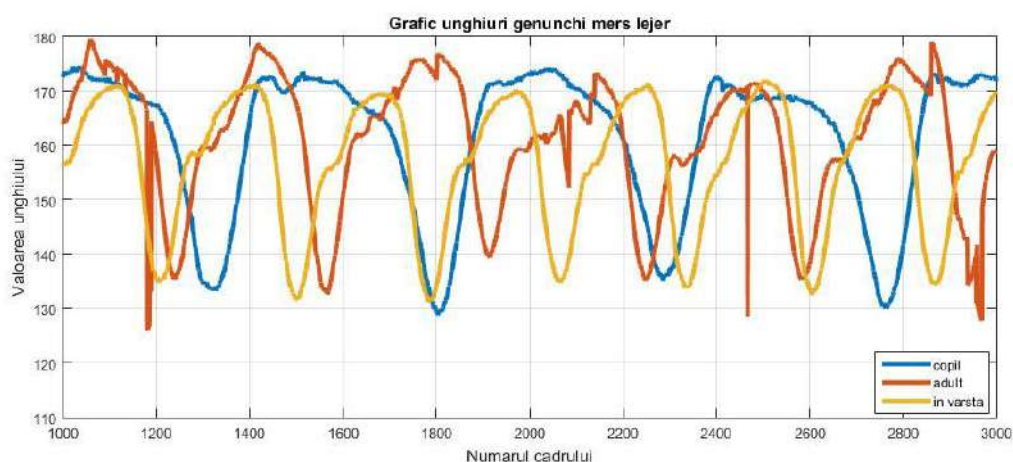


Fig. 1.33. Grafic unghiuri genunchi mers lejer [45]

Din graficul de mai sus (al mersului lejer) observăm că adulții au un mers dezordonat cu îndoirea genunchiului foarte mare dar pași mai mici și mai repezi, copiii au un mers constant cu pași constanți cu îndoirea genunchiului aproape ca și în cazul adulților dar ei staționează foarte mult pe piciorul de bază și atunci efectuează mai puțini pași, la vârstnici pașii sunt cei mai mici și mai constanți cu îndoirea genunchiului mai puțin evidentă și mai mult o tragere a picioarelor unul după altul.

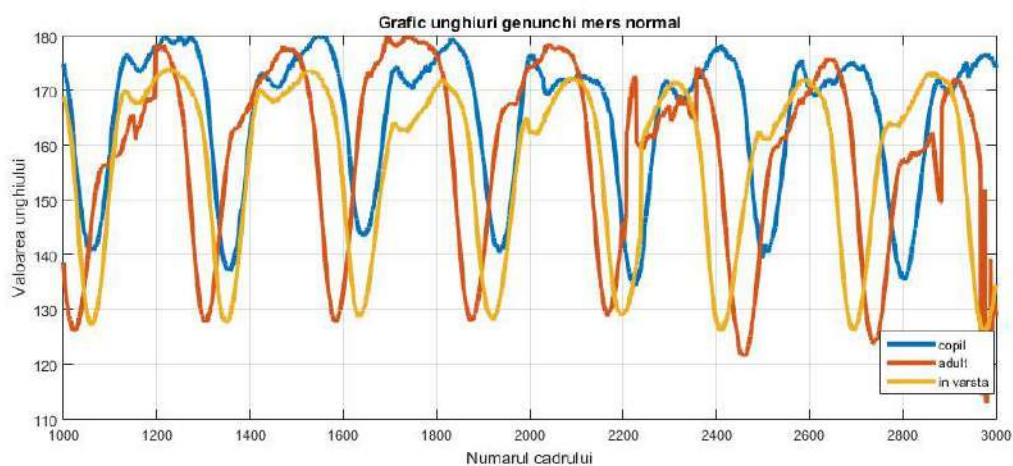


Fig. 1.34. Grafic unghiuri genunchi mers normal [45]

Pentru mersul normal, din graficul de mai sus observăm că adulții au un unghi de îndoire a genunchiului mai pronunțat, vârstnicii au un mers relativ simetric și constant dar nu flexează piciorul atât de tare, iar copiii nu îndoiesc genunchii extrem de mult și au un mers oarecum dezordonat.

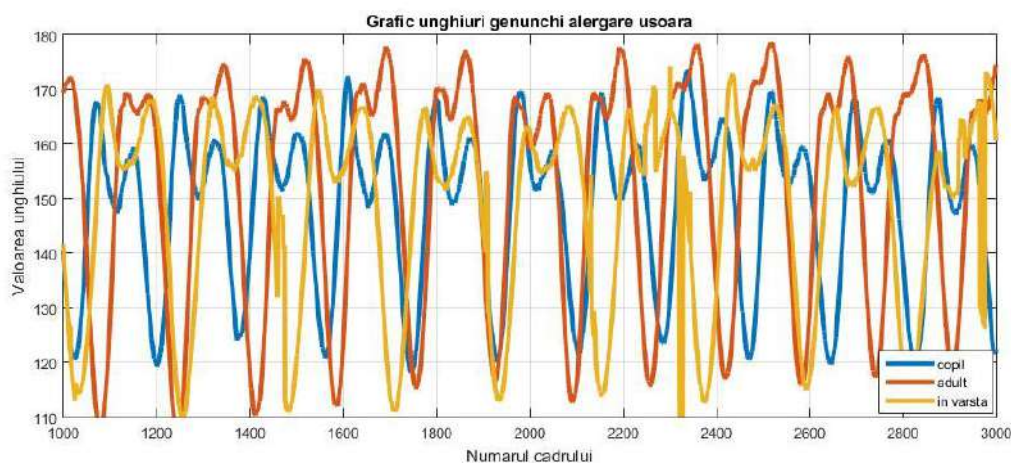


Fig. 1.35. Grafic unghi deschidere genunchi alergare ușoară [45]

Din graficul alergării ușoare observăm că pașii sunt relativ constanți pe toate categoriile de vârstă, dar unghiurile sunt mai mari la îndoirea genunchiului pentru adulți, pe când la vârstnici această flexie a genunchiului este mai mică (și prin prisma mobilității reduse odată cu vârsta).

Unghiurile nu se modifică foarte mult la nivelul aceluiași subiect la mărirea vitezei benzii de alergare dar diferă de la o persoană la persoană pentru aceeași valoare a acesteia.

În cadrul experimentului au participat doar 9 subiecți. Ideea de viitor ar fi să se creeze o bază de date cu mii de persoane, în care se pot calcula o serie de parametri medii și o formă de deplasare, să-i spunem „normală” sau „ideală”, fără probleme, și apoi se pot remarca eventuale defecte de mers ale unei persoane, prin comparație cu deplasarea ideală.

Deși nu poate fi considerată un model complet, parametrii care influențează mișcarea umană fiind foarte mulți, această analiză a mersului poate contribui la o îmbunătățire a timpului de desfășurare a procedurilor pentru pacienții care fac recuperare medicală și poate ajuta la generarea sau / și îmbunătățirea unei baze de date de a persoanelor cu disfuncționalități locomotorii prin modelarea și identificarea problemelor specifice fiecărei persoane.

1.4 Recuperarea funcțiilor motrice ale unei persoane

Recuperarea funcțiilor motrice ale unei persoane în urma unui accident sau a unei intervenții chirurgicale cu scopul de a trata o serie de boli precum artroza la nivelul membrilor inferioare este o procedură cu un foarte mare impact asupra calității vieții respectivei persoane. Din păcate, în țările mai puțin dezvoltate, din cauza costurilor ridicate, procedurile de recuperare motrică se rezumă la o serie de elemente de genul exerciții fizice, masaj și fizioterapie, care sunt toate prescrise în urma unei analize de obicei strict clinice a pacientului. Există o serie de linii directoare și rezultate spre care se tinde - de exemplu, se urmărește ca unghiul de flexie forțată a genunchiului să atingă minim 130 de grade pentru ca recuperarea să fie considerată un succes - dar aproape totul se bazează pe experiența și calitatea medicului și a kinetoterapeutului, iar deciziile se iau de obicei în urma analizei pur clinice [46-51].

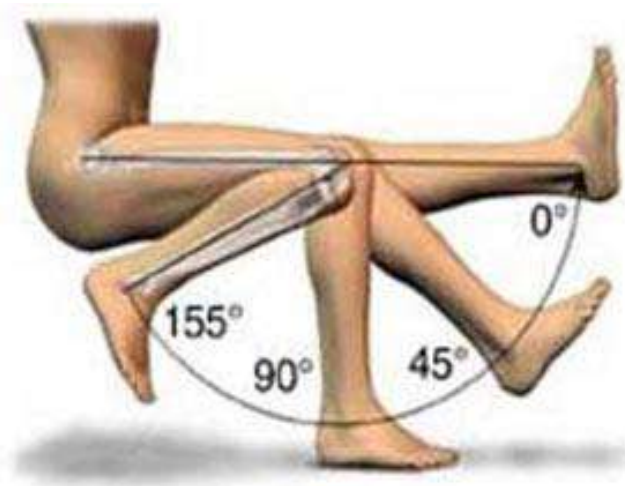


Fig. 1.36. Unghiul forțat de flexie a genunchiului

În literatura de specialitate există dovezi clare că pacienții se recuperează diferit, chiar dacă au suferit, de exemplu, același tip de intervenție chirurgicală. Modul în care aceștia își recuperează funcțiile motrice depinde de aspecte precum vârsta, istoricul pacientului și existența altor afecțiuni, dimensiunile fizice ale pacientului (în special greutatea) dar și de factori psihologici [52-54]. Motivul pentru care am ales să realizăm acest studiu a fost că am considerat că, din momentul în care recuperarea funcțiilor motrice ale unui pacient are un specific aparte pentru fiecare caz, aceasta ar trebui să se reflecte și în programul de recuperare prescris de medic. Am considerat că, în mod ideal, fiecare pacient ce își recuperează funcțiile motrice ar trebui să beneficieze de un program de recuperare

personalizat. Din păcate, în practică acest lucru nu se întâmplă: practic, este necesar accesul frecvent al medicului la date privind mișcarea pacientului, ceea ce implică, de obicei, deplasarea frecventă a pacientului în locuri unde să îi fie analizată mișcarea, disponibilitatea unei echipe de a realiza captura și analiza acestor mișcări etc.

Așadar, pentru a putea dezvolta un program de recuperare a funcțiilor motrice personalizat pentru fiecare pacient, ar fi nevoie de analiza frecventă a mișcării acestuia, pe durata perioadei de recuperare. Trebuie ținut cont că majoritatea persoanelor aflate într-un astfel de program de recuperare au probleme în a se deplasa și sunt în vârstă, astfel încât deplasările frecvente la distanțe considerabile pentru a li se analiza mișcarea nu sunt foarte indicate. De asemenea, costurile asociate cu implementarea unui astfel de sistem sunt și ele importante. [55-56]

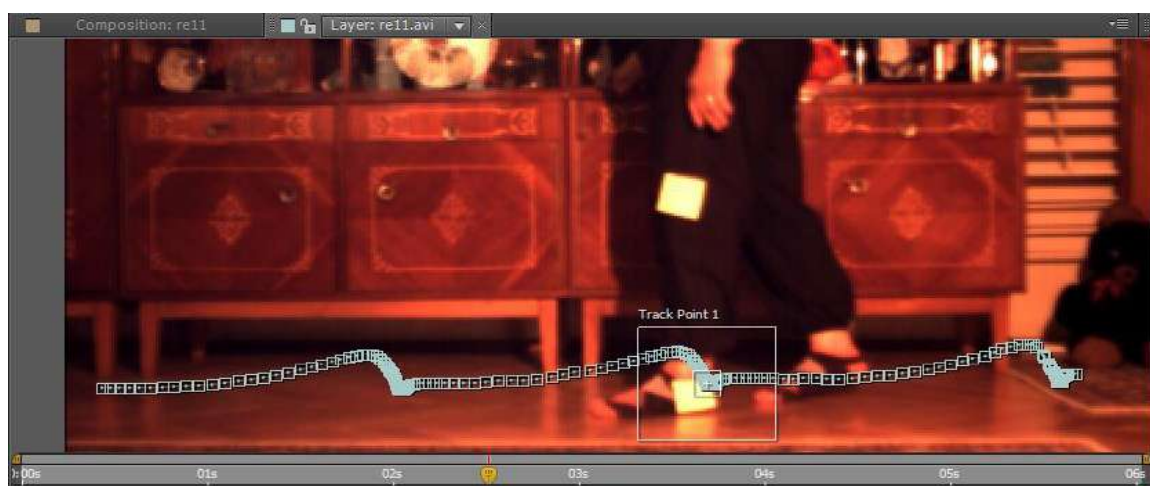


Fig. 1.37. Traiectoria markerului gleznei, folosindu-se Adobe After Effects ca software de captură a traiectoriei

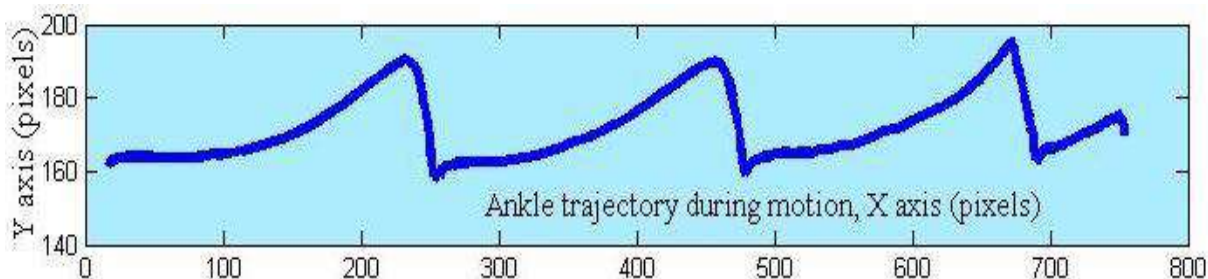


Fig. 1.38. Traiectoria markerului gleznei, extrasă din materialele video, cu ajutorul unui program MATLAB

Practic, pentru rezolvarea problemei, se caută o soluție relativ ieftină și portabilă de analiză a mișcării, un sistem care poate fi instalat fie acasă la pacient fie la un azil de bătrâni. Din acest punct de vedere, sistemul de captură și analiză a mișcărilor umane propus anterior

pare foarte potrivit, întrucât are multe dintre avantajele necesare unei implementări eficiente: costurile sunt relativ mici (nu se pune problema ca un pacient să achiziționeze tot sistemul, ci să îl închirieze de la o instituție medicală sau să-l folosească la un azil de bătrâni), sistemul e portabil, simplu de instalat și fără mari dificultăți în exploatare (poate fi utilizat de către un membru al familiei bolnavului, după un instructaj minor, nu este necesară prezența personalului medical în timpul procedurii), poate fi folosit frecvent, nu are în componență elemente ce ar putea influența negativ mersul sau sănătatea pacienților (se folosesc markeri de hârtie și nu senzori cu componente electronice, intruzivi, incomozi, grei).

Sistemul de analiză și captură a mișcării nu va mai fi descris în detaliu și aici, modul de operare fiind similar cu cel din exemplul anterior. De notat este faptul că, în loc de Kinovea, s-a folosit pentru faza de urmărire a traiectoriei mișcării aplicația Adobe After Effects.

Ideea acestui studiu de caz a fost de a alege mai mulți bolnavi de același gen, cu vârste apropiate și care au suferit același tip de intervenție chirurgicală (intervenție în urma căreia este necesară o perioadă destinată recuperării motrice) și de a le analiza din punct de vedere cinematic mișcarea, pentru a putea observa modul în care recuperarea motrică evoluează la fiecare pacient și pentru a identifica anumiți parametri ai mișcării care pot pune în evidență stadiul în care se află un pacient, din punct de vedere al recuperării motrice. Cunoscând acești parametri, personalul medical (medicul de recuperare și kinetoterapeutul) poate lua decizii superioare calitativ în ceea ce privește dezvoltarea sau adaptarea unui program personalizat de recuperare pentru fiecare pacient în parte, decizii bazate parțial pe metode clinice (lucrul care se întâmplă în mod curent în acest moment) dar ajutate și de informații privind mersul din punct de vedere biomecanic.

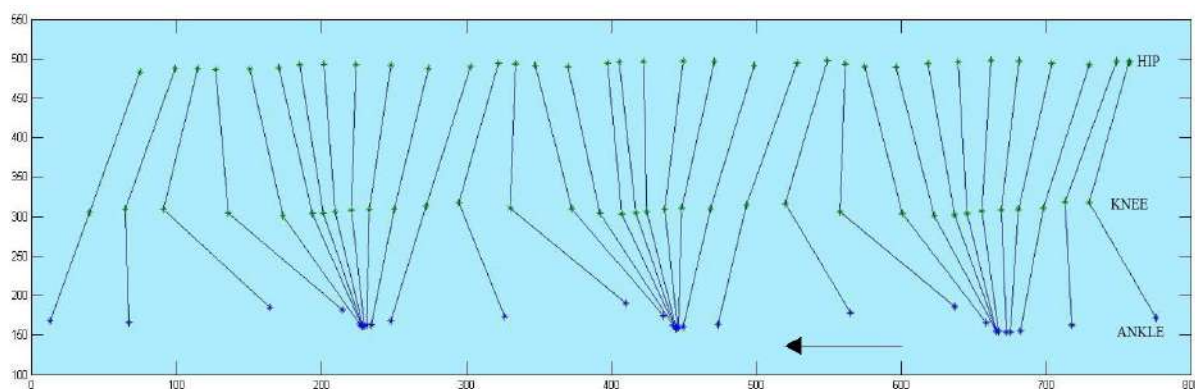


Fig. 1.39. Mersul unui pacient, construit pe baza coordonatelor extrase din înregistrările video, cu ajutorul unui program MATLAB

Am ales trei pacienți de gen feminin, toți având vârsta de peste 60 de ani, suferind de gonartroză (artroza genunchiului - distrugerea cartilagiilor la nivelul articulației genunchiului, ce implică dificultăți mari de deplasare și dureri greu de suportat), afecțiuni care a fost tratată chirurgical, prin înlocuirea totală a articulației genunchiului cu o proteză (artroplastie totală de genunchi). Am ales acest domeniu deoarece tot procesul legat de tratamentul bolnavilor specifici subiectului poate (și ar trebui) să sufere îmbunătățiri majore. Totul pleacă de la costuri: procedura este una foarte costisitoare având în vedere pacientul tipic căruia i se aplică (oameni în vârstă). Situația este cu atât mai gravă cu cât, după spusele medicilor din sistemul de sănătate național, doar unul din cinci pacienți apelează la un program specializat de recuperare după acest tip de intervenție chirurgicală (motivul e tot unul legat de costuri), pentru restul pacienților programul de recuperare constând doar dintr-o serie de exerciții fizice de executat în perioada de recuperare și un control periodic.

Au fost considerate în analiză trei sesiuni de mers, din perioada de început a recuperării postoperatorii. Sesiunile de analiză au început la distanțe relativ apropiate de momentul operației și au fost alese la 10 zile distanță una de cealaltă (s-au acoperit 20 de zile din perioada de început a recuperării postoperatorii)

Datele experimentale pentru cei trei pacienți au fost prelucrate în vederea obținerii a cinci parametri ai mersului care să ofere suficiente informații încât să poată fi considerați relevanți în procesul de recuperare al pacientului. Cei cinci parametri urmăriți sunt înălțimea la care pacientul este capabil de a ridica glezna, lungimea „pasului mare” (definim prin „pas mare” distanța dintre două atingeri succesive ale solului cu același picior), înălțimea la care pacientul este capabil de a ridica genunchiul în timpul mersului, viteza cu care se deplasează pacientul de-a lungul mai multor sesiuni în timpul perioadei de recuperare și unghiul de flexie a genunchiului în timpul mersului normal [57-60]. Parametrii au fost urmăriți de-a lungul sesiunilor filmate pe durata perioadei de recuperare a pacientului și au fost calculate procentual îmbunătățirile, atât de la sesiune la sesiune cât și îmbunătățirea totală (dintre prima și ultima sesiune).

Înălțimea la care pacientul poate să ridice glezna este, de fapt, distanța în pixeli dintre poziția maximă a gleznei și poziția minimă a gleznei, de-a lungul unei sesiuni de mers:

$$h_{gleznă} = Y_{max_{gleznă}} - Y_{min_{gleznă}} \quad (6)$$

Înălțimea la care pacientul poate să ridice genunchiul este, de fapt, distanța în pixeli dintre poziția maximă a genunchiului și poziția minimă a genunchiului, de-a lungul unei sesiuni de mers:

$$h_{genunchi} = Y_{max_{genunchi}} - Y_{min_{genunchi}} \quad (7)$$

Lungimea unui pas mare se calculează ca fiind distanța pe X între două minime ale traiectoriei gleznei:

$$L_{pas_mare} = X_{min_{i+1_gleznă}} - X_{min_{i_gleznă}} \quad (8)$$

Viteza medie s-a calculat simplu, împărțind distanța parcursă (în cazul nostru, 2,30 metri) la timpul necesar parcurgerii acesteia:

$$v = \frac{\text{distanța_pe_X}}{\text{timp}} \quad (9)$$

De notat că, dacă se dorește o analiză locală mai amănunțită, există posibilitatea calculării vitezei folosind derivare numerică folosind diferențe progresive:

$$v_i = \frac{p_{i+1} - p_i}{h} \quad (10)$$

unde v_i e viteza la cadrul i , p_i e poziția la cadrul i iar h e distanța, în cazul nostru 1 cadru.

Având cele 3 coordonate în plan ale gleznei, genunchiului și șoldului, unghiul de flexie a genunchiului se poate calcula printr-o metodă simplă:

$$\theta_{flexie_{genunchi}} = 180^\circ - \theta_{deschidere_{genunchi}} \quad (11)$$

Pentru cei cinci parametri urmăriți au fost observate diferențe semnificative între cei trei pacienți: în unele cazuri s-a observat o îmbunătățire semnificativă a unui parametru între primele două sesiuni, în altele s-au remarcat îmbunătățiri constante sau tendințe de stabilizare a respectivului parametru.

Pentru primii 4 parametri s-a calculat procentual progresul arătat de fiecare pacient între sesiuni, cât și totale:

$$Progres_{1-2} = \frac{Valoare_{parametru_{S2}} - Valoare_{parametru_{S1}}}{Valoare_{parametru_{S1}}} * 100(\%) \quad (12)$$

$$Progres_{2-3} = \frac{Valoare_{parametru_{S3}} - Valoare_{parametru_{S2}}}{Valoare_{parametru_{S2}}} * 100(\%) \quad (13)$$

$$Progres_{total} = \frac{Valoare_{parametru_{S3}} - Valoare_{parametru_{S1}}}{Valoare_{parametru_{S1}}} * 100(\%) \quad (14)$$

Prezentăm tabelar, în procente, evoluția primilor patru parametri specifici fiecărui pacient, analizați pe durata celor trei sesiuni de mers, comparativ cu ceilalți pacienți. Pentru unghiul de flexie a genunchiului în timpul mișcării, având în vedere că este un parametru considerat important în procedurile medicale, a fost realizată o analiză separată.

	Sesiunea 1	Sesiunea 2	Sesiunea 3
Viteză (m/s)			
Distanță (m)	2.30	2.30	2.30
Timp (s)	12.36	7.87	5.69
Viteză medie (m/s)	0.186009	0.292138	0.404218
Înălțimea gleznei (pixeli)			
Primul pas	21.74	23.58	30.29
Al doilea pas	22.43	23.34	29.05
Al treilea pas	22.76	23.24	30.41
Înălțime medie	22.31	23.39	29.92
Înălțimea genunchiului (pixeli)			
Primul pas	7.67	10.11	11.49
Al doilea pas	7.23	9.49	11.35
Al treilea pas	7.55	9.76	11.16
Înălțime medie	7.48	9.79	11.33
Lungimea pasului (pixeli)			
Pas 1	184.33	217.89	223.19
Pas 2	181.62	228.91	231.31
Lungime medie	182.98	223.40	227.25

Tabel 1.1 a). Parametri pentru primul pacient

Pentru primul pacient se observă o îmbunătățire semnificativă a vitezei de deplasare între prima și a doua sesiune, în timp ce înălțimea la care poate fi ridicată glezna a fost semnificativ mai mare doar între a doua și a treia sesiune. De asemenea, se observă că

lungimea pasului mare are tendința de a se stabiliza. În tabelul de mai jos este prezentată o sinteză a progresului realizat de acest pacient de la sesiune la sesiune.

Îmbunătățire	Sesiunea1 la sesiunea2 (%)	Sesiunea2 la sesiunea3 (%)	Îmbunătățire totală (%)
Viteză	57.06	38.37	117.31
Înălțime gleznă	4.84	27.92	34.11
Lungime pas mare	22.09	1.72	24.19
Înălțime genunchi	30.88	15.73	51.47

Tabel 1.1 b). Îmbunătățire pentru primul pacient

La al doilea pacient iese în evidență un eveniment major: dacă în primele trei sesiuni de analiză a mersului i-au fost necesari pacientului mai mult de patru pași compleți pentru a parcurge distanța, în a treia sesiune numărul pașilor compleți de-a lungul distanței a fost de doar trei. Referitor la parametri, observăm, ca și în cazul primului pacient, o îmbunătățire semnificativă a vitezei de deplasare de la prima la a doua sesiune dar și o creștere semnificativă a lungimii pasului mare de la a doua la a treia sesiune. Valorile complete pentru acest subiect sunt prezentate în tabelul de mai jos:

	Sesiunea 1	Sesiunea 2	Sesiunea 3
Viteză (m/s)			
Distanță (m)	2.30	2.30	2.30
Timp (s)	11.63	6.76	5.46
Viteză medie (m/s)	0.197764	0.340237	0.421245
Înălțimea gleznei (pixeli)			
Primul pas	18.51	19.46	23.49
Al doilea pas	19.12	20.23	23.95
Al treilea pas	18.92	20.11	23.14

Al patrulea pas	19.23	19.92	X
Înălțime medie	18.95	19.93	23.53
Înălțimea genunchiului (pixeli)			
Primul pas	4.15	5.92	7.29
Al doilea pas	4.22	5.63	7.45
Al treilea pas	4.18	5.29	7.71
Al patrulea pas	4.39	5.13	X
Înălțime medie	4.24	5.49	7.48
Lungimea pasului (pixeli)			
Pas 1	156.69	181.40	228.37
Pas 2	158.83	175.21	219.55
Pas 3	159.75	178.36	X
Lungime medie	157.46	178.31	223.96

Tabel 1.2 a). Parametri pentru al doilea pacient

În tabelul de mai jos este prezentată o sinteză a progresului realizat de al doilea pacient de la sesiune la sesiune.

	Sesiunea1	la Sesiunea2	la Îmbunătățire totală
Îmbunătățire	sesiunea2 (%)	sesiunea3 (%)	(%)
Viteză	72.04	23.81	113.00
Înălțime gleznă	5.17	18.06	24.17
Lungime pas mare	13.24	25.60	42.23
Înălțime genunchi	29.48	36.25	76.42

Tabel 1.2 b). Îmbunătățire pentru al doilea pacient

În ceea ce privește al treilea pacient, se observă imediat că îi sunt necesari mai mult de patru pași pentru a parcurge distanța, în toate cele trei sesiuni. De asemenea, există o tendință generală a parametrilor acestui pacient, îmbunătățirile între sesiuni fiind oarecum mici și constante, în comparație cu ceilalți pacienți. Valorile complete pentru parametrii celui de-al treilea subiect analizat pot fi urmărite în tabelul de mai jos:

	Sesiunea 1	Sesiunea 2	Sesiunea 3
Viteză (m/s)			
Distanță (m)	2.30	2.30	2.30
Timp (s)	8.21	6.46	5.76
Viteză medie (m/s)	0.280146	0.356037	0.399306
Înălțimea gleznei (pixeli)			
Primul pas	11.27	12.23	15.49
Al doilea pas	11.48	12.29	15.88
Al treilea pas	11.23	12.84	15.17
Al patrulea pas	11.59	12.57	15.33
Înălțime medie	11.39	12.48	15.58
Înălțimea genunchiului (pixeli)			
Primul pas	5.07	5.50	6.05
Al doilea pas	5.27	5.88	6.25
Al treilea pas	5.29	5.92	6.11
Al patrulea pas	5.17	5.79	5.98
Înălțime medie	5.20	5.77	6.10
Lungimea pasului (pixeli)			
Pas 1	141.53	149.15	172.03
Pas 2	148.45	158.43	164.73
Pas 3	142.75	154.16	169.39

Lungime medie	144.99	153.79	168.72
---------------	--------	--------	--------

Tabel 1.3 a). Parametri pentru al treilea pacient

În tabelul de mai jos este prezentată o sinteză a progresului realizat de al treilea pacient de la sesiune la sesiune.

	Sesiunea1	la Sesiunea2	la Sesiunea3	Îmbunătățire totală
Îmbunătățire	sesiunea2 (%)	sesiunea3 (%)		(%)
Viteză	27.09	12.15		42.53
Înălțime gleznă	9.57	24.84		36.79
Lungime pas mare	6.07	9.71		16.37
Înălțime genunchi	10.96	5.72		17.31

Tabel 1.3 b). Îmbunătățire pentru al treilea pacient

După cum se poate observa din rezultatele prezentate mai sus, felul în care cei trei pacienți se recuperează este diferit de la pacient la pacient. În unele cazuri, recuperarea unor funcții e mai rapidă în prima perioadă, în primele 10 zile, pe când în alte cazuri, pentru alte caracteristici ce afectează mișcarea, recuperarea este mai rapidă în cea de-a doua perioadă, ultimele 10 zile. Menționăm că, în perioada acestor 20 de zile, pentru bolnavii care nu urmează un tratament de recuperare postoperatorie dedicat, au loc, în mod obișnuit, 1-2 consultații cu medicii, consultații abordate clinic din punct de vedere al durerii etc. Cunoașterea frecventă a parametrilor mișcării pe toată durata aceasta de timp ar ajuta medicii să dezvolte și să adapteze un program de recuperare specific pentru fiecare pacient.

Aceeași perspectivă a fost oferită și de analiza unghiului de flexie a genunchiului în timpul mersului, analiză căreia i-am acordat un interes aparte, având în vedere că unghiul maxim de flexie a genunchiului (unghi obținut forțat, în poziție statică) este măsurat în perioada de recuperare, pentru a se observa dacă acesta atinge valori de minim 130 de grade. Am ales unghiul de flexie în timpul mersului pe o suprafață plană neînclinată întrucât l-am considerat mai relevant pentru activitățile de zi cu zi ale pacientului (este puțin probabil ca pacientul să fie nevoit să flexeze genunchiul la peste 130 de grade în perioada de recuperare, dar sigur deplasarea pe plat este o necesitate).

Datele experimentale cu care s-a lucrat au fost cele obținute anterior - având pozițiile markerilor genunchiului, gleznei și șoldului, se poate determina cu ușurință unghiul de flexie a genunchiului. A fost scris un program informatic în acest sens, iar valorile acestui unghi au fost reprezentate pentru fiecare pacient, grafic, în trei momente ale perioadei de recuperare (unghiul a fost calculat și reprezentat considerând mersul din prima zi, apoi cel de după 10 zile iar în final cel de după 20 de zile).



Fig. 1.40. Unghiul de flexie a genunchiului urmărit în cazul acestei analize (nu este vorba de unghiul din interiorul genunchiului, ci de cel suplementar acestuia)

Se observă pentru primul pacient o evoluție evidentă a unghiului de flexie, atât în valoare maximă cât și în evoluția formei pe care acesta o prezintă, ceea ce era de așteptat. Atunci când comparăm evoluția sesiunilor două câte două, se observă că progresul major s-a realizat în ultimele 10 zile, din punct de vedere al valorii maxime a unghiului de flexie a genunchiului pacientului. De asemenea, privind forma unghiului în timp, progresul pentru acest pacient între sesiuni este cel mai vizibil.

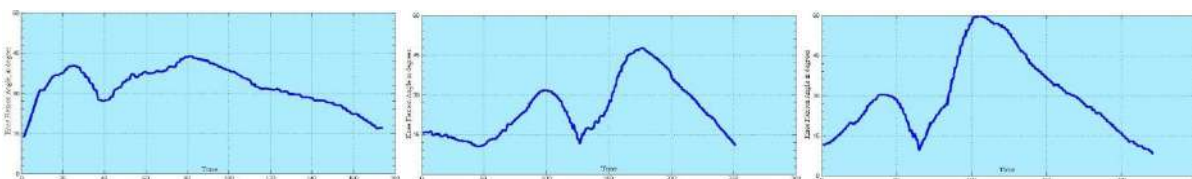


Fig. 1.41. Unghiul de flexie a genunchiului pentru primul pacient, la începutul, mijlocul și sfârșitul perioadei de analiză (de la stânga spre dreapta).

De menționat că nu a fost testată flexia forțată a genunchiului pentru a se observa dacă se ating cele 130 de grade, ci doar s-a observat flexia din timpul mersului.

Pentru al doilea pacient, s-a observat că progresul luat în ansamblu este semnificativ mai mic decât pentru primul pacient, dar și că forma evoluției temporale a acestui unghi e relativ

similară între cele trei sesiuni. Aici, progresul realizat s-a petrecut în primele 10 zile, și nu în ultimele 10, cum a fost în cazul anterior.

La al treilea pacient, progresul în ansamblu privind unghiul de flexie a genunchiului în timpul mersului este cel mai pronunțat, focalizat prima perioadă a recuperării - de la un unghi în jur de 40 de grade la unul în jur de 56 de grade.

Considerăm că scopul analizei, acela de a observa dacă există diferențe majore între felul în care acest unghi evoluează de la pacient la pacient, lucru care ar necesita programe de recuperare personalizate pentru fiecare pacient, a fost atins. Metodele prin care acest unghi se poate recupera mai eficient și modul în care aceste informații se traduc în modificări de program de recuperare vor face subiectul unor cercetări mai ample (este necesară o echipă având în componență și personal medical specializat care să își dedice timpul unui asemenea proiect).

În urma rezultatelor obținute, s-au putut trage o serie de concluzii privind atât eficiența acestui mod de lucru, care implică folosirea analizei mișcării cu markeri, cu ajutorul sistemului descris anterior:

- folosind sistemul propus anterior s-au obținut pentru trei pacienți o serie de parametri geometrici și cinematici (conform literaturii de specialitate), o serie de parametri ce oferă informații semnificative privind recuperarea funcțiilor motrice ale pacienților în urma intervenției de înlocuire totală a articulației genunchiului ca tratament pentru gonartroză (artroplastie totală de genunchi)
- în urma discuțiilor cu medicii curanți și a consultării literaturii de specialitate, dar ținând cont și de posibilitățile metodei de analiză a mișcării, s-au ales o serie de parametri de urmărit pentru cei trei pacienți. Aceștia sunt: înălțimea la care pacientul este capabil de a ridica glezna, lungimea „pasului mare” (definim prin „pas mare” distanța dintre două atingeri succesive ale solului cu același picior), înălțimea la care pacientul este capabil de a ridica genunchiul în timpul mersului, viteza cu care se deplasează pacientul de-a lungul mai multor sesiuni în timpul perioadei de recuperare și unghiul de flexie a genunchiului în timpul mersului normal. Parametrii au fost urmăriți de-a lungul sesiunilor filmate pe durata perioadei de recuperare a pacientului și au fost calculate procentual îmbunătățirile, atât de la sesiune la sesiune cât și îmbunătățirea totală (dintre prima și ultima sesiune).

- pacienții au fost aleși în așa fel încât atât parametrii lor fizici cât și situația medicală să fie oarecum similare: toți subiecții sunt de gen feminin, trecuți de 60 de ani, cu lungimile tibiei și femurului în jur de 40 cm
- pentru realizarea analizei din acest studiu de caz, s-a folosit sistemul de captură și analiză a mișcărilor umane propus anterior. S-au folosit markeri de hârtie, pentru a nu influența în nici un fel mersul pacienților - s-au evitat variantele cu markeri ce au în componență dispozitive electrice sau electronice, deoarece de obicei, pentru cazul studiat, vorbim de pacienți în vârstă, cu un istoric medical bogat.
- au fost considerate în analiză trei sesiuni de mers, din perioada de început a recuperării postoperatorii. Sesiunile de analiză au fost alese la 10 zile distanță una de cealaltă (s-au acoperit 20 de zile din perioada de început a recuperării postoperatorii)
- pentru cei cinci parametri urmăriți au fost observate diferențe semnificative între cei trei pacienți: în unele cazuri s-a observat o îmbunătățire semnificativă a unui parametru între primele două sesiuni, în altele s-au remarcat îmbunătățiri constante sau tendințe de stabilizare a respectivului parametru
- menționăm că nu am avut niciun aport referitor la programul de recuperare ales de kinetoterapeut, dar că acesta a fost, în esență, același pentru cei trei pacienți. De asemenea, nu am avut vreun control asupra conștiințozității pacienților, exercițiile de recuperare fiind executate de fiecare pacient acasă – nu putem fi absolut siguri că s-au ținut de program, singura garanție fiind declarațiile lor. E evident că toate aceste aspecte, laolaltă cu multe altele specifice fiecărei persoane, influențează modul de recuperare.
- diferențele dintre cei cinci parametri demonstrează că recuperarea se produce în mod diferit pentru cei trei pacienți, și pe baza acestui lucru considerăm că un program de recuperare specific pentru fiecare dintre aceștia ar fi benefic
- considerăm că atât metoda de captură și analiză a mișcărilor cât și sistemul descris anterior sunt foarte potrivite pentru analiza mișcării specifice recuperării funcțiilor motrice ale pacienților, atât din perspectiva economic-financiară (costurile componentelor sunt relativ mici) cât și a calității vieții pacientului. Sistemul este portabil și ușor de instalat acasă la pacient, odată stabiliți parametrii de interes se pot dezvolta programe informatice cu ajutorul cărora să se calculeze automat parametrii direct din bazele de date - nu este necesară prezența unui specialist pentru a colecta frecvent datele experimentale, acest lucru poate fi realizat de către un membru al familiei

- pentru folosirea acasă, nu se pune problema ca pacientul să cumpere componentele sistemului, ci acesta poate fi închiriat de la o instituție medicală, ceea ce limitează însă posibilitatea utilizării în paralel a sistemului de către mai mulți pacienți. Există și varianta ca personalul medical să se deplaseze la locația pacientului, cu sistemul, pentru a realiza înregistrările (a fost modul în care am realizat acest studiu), o sesiune durând maxim două ore (în medie, între una și două ore pentru 10 treceri, cu tot cu instalarea sistemului, eventual a markerilor etc. de fiecare dată)
- este imperios necesar ca pentru fiecare pacient condițiile de înregistrare a materialelor video să nu se schimbe. Camera video trebuie să fie situată la aceeași înălțime și la aceeași distanță de direcția de mers (noi am fixat-o pe suport), markerii trebuie atașați în aceeași poziție (am instruit pacienții să folosească același rând de haine pe care să atașăm markeri, pe care să nu îi desprindă între sesiuni)
- mediul ideal în care sistemul ar funcționa în parametri optimi ar fi la un azil de bătrâni. S-ar ridica unele dintre limitările sistemului - la un azil de bătrâni e foarte posibil să existe o încăpere spațioasă, achiziția sistemului s-ar face mai ușor (costurile, atât cât sunt, sunt mai ușor de suportat de către o astfel de instituție) și sistemul ar putea fi folosit, simultan, de mai mulți pacienți cu probleme motrice

Pe viitor ar ajuta folosirea mai multor camere video, pentru a filma din mai multe unghiuri. În urma consultărilor cu personalul medical, am ajuns la concluzia că există o serie de parametri utili ce ar putea fi extrași din filmarea frontală a genunchiului unui pacient în timpul mersului, parametri ce nu pot fi capturați din lateral (eventuale devieri de mers - pacientul are tendința de a călca strâmb etc.)

1.5 Analiza mișcărilor în cadrul a diferite procedee sportive

Ideea analizei execuției unei probe sportive pe de-a-ntregul nu este deloc de neglijat, și se poate realiza chiar cu un sistem de captură și analiză a mișcărilor simplu, precum cel prezentat în acest capitol. Cu toate acestea, ni s-a părut mai potrivită abordarea unei singure etape / secvențe a unei probe sportive (de obicei, o secvență esențială), deoarece ne putem focaliza pe anumiți parametri ce pot fi analizați în detaliu, lucru care e mai dificil de realizat dacă privim proba în toată complexitatea ei. Exemplele din acest subcapitol fac parte din o serie de lucrări de licență coordonate în perioada recentă de autorul tezei de abilitare.

Exemplele vor fi prezentate mult mai succint decât cele din subcapitolele anterioare, întrucât sistemul de captură și analiză a mișcărilor este același și exemplele nu s-au abordat considerându-se variații de vârstă, procedură sau îmbunătățiri ale tehnicii de execuție apărute în timp.

Săritura în lungime de pe loc

Foarte cunoscută datorită probelor sportive pe care profesorii de gimnaziu și liceu preferă să le examineze, trebuie menționat faptul că săritura în lungime de pe loc a fost la un moment dat chiar sport olimpic, fiind înlocuită în timp de probe mai dinamice (săritura în lungime așa cum se desfășoară ea acum în timpurile moderne, triplu saltul etc). Cu toate acestea, săritura în lungime de pe loc se execută măcar ca exercițiu de antrenament pentru foarte multe sporturi din ziua de astăzi, întrucât genul acesta de mișcare (elan urmat de împingere în picioare și aruncarea corpului către în față) se întâlnește foarte des, ca procedeu comun în multe probe sportive (diferite probe de lupte la sol, rugby, ca tehnică suport în probe atletice precum aruncarea suliței și aruncarea greutății etc.) [61-63].

Subiectul abordat a făcut obiectul unei lucrări de diplomă pentru un student, sub coordonarea autorului acestei teze [64].

Săriturile în lungime au de obicei patru faze:

- elanul
- desprinderea sau bătaia
- zborul
- aterizarea

În cazul săriturii de pe loc nu avem de-a face cu un elan din alergare, există totuși o fază premergătoare bătăii, în care sportivul își ia avânt, fază foarte importantă în toată dinamica execuției.

Conform literaturii de specialitate [65-67], performanța în săritura în lungime este evaluată prin distanța totală de salt, care este distanța orizontală de la linia de decolare până la marcajul făcut de tocuri la aterizare. Distanța totală de salt este suma distanțelor a trei componente, distanța de săritură, distanța de zbor și distanța de aterizare.

$$d_{\text{săritură}} = d_{\text{decolare}} + d_{\text{zbor}} + d_{\text{aterizare}} \quad (15)$$

Distanța de zbor este componenta cea mai lungă dintre cele trei. Săritorul poate fi considerat un proiectil în zbor liber, deoarece rezistența aerului are un efect redus asupra traiectoriei sale.

Distanța de zbor a unui săritor în zborul liber este dată de [65-67]:

$$d_{zbor} = \frac{v^2 \sin 2\theta}{2g} \left[1 + \left(1 + \frac{2gh}{v^2 \sin^2 \theta} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (16)$$

unde v și θ sunt viteza, respectiv unghiul de decolare.

Înălțimea relativă a decolării, h , este dată de:

$$h = h_{decolare} - h_{aterizare} \quad (17)$$

Ideea din spatele experimentului a fost de a analiza săritura unui atlet de talie mondială (a fost aleasă o săritură a lui Byron Jones, deținătorul celei mai bune performanțe mondiale în domeniu) în primul rând din punct de vedere al unghiurilor diferitelor segmente corporale - unghiurile importante din momentele premergătoare desprinderii de pe loc, unghiurile din momentul desprinderii de pe loc și un unghi din timpul zborului.

Săritura lui Byron Jones, - deținătorul recordului mondial la săritura în lungime de pe loc - susține ferm demonstrația cercetătorilor în domeniu în privința eficienței unghiurilor încheiate de părțile picioarelor la începutul săriturii. Performanța lui Byron Jones ne obligă să studiem cu atenție mișcarea sportivului și mai ales, luând în considerare tema experimentului de față, să tragem o concluzie între rezultatul sportivului - și propunerea studiilor găsite în literatura aferentă - și a sportivilor amatori pentru a identifica diferențele apărute în urma măsurărilor.

Imaginile după care s-a realizat analiza de față au fost extrase dintr-un material video disponibil la <https://www.youtube.com/watch?v=n0UeHxglMJ4>, pagina oficială a NFL (National Football League – Fotbal American <https://www.nfl.com>).

La săriturile de pe loc fără elan, pregătirea constă în mișcarea de avânt, adică în coborârea centrului general de greutate al corpului și punerea în tensiune a mușchilor triplei extensii, și crearea condițiilor optime pentru impuls. Pe baza cercetărilor anterioare [65], se relevă că unghiul optim încheiat de partea inferioară și superioară a picioarelor în momentul începutului săriturii, - când contracția picioarelor este maximă - este între 70°-80°. Deținătorul titlului mondial reușește să coboare până la un unghi extrem de 69°.

Mărimea impulsului depinde de mai mulți factori, care se adună și determină efectul săriturii. La acțiunea de impuls a piciorului de bătaie se adaugă acțiunile de avântare ale brațelor și umerilor. Importanța brațului era demonstrată chiar din epoca antică [66]. Totodată, un impuls puternic e determinat și de unghiul format între partea superioară a

corpului și partea superioară a picioarelor. Byron Jones reușește să atingă un unghi de contracție de 48° între partea superioară a corpului și partea superioară a picioarelor. În timpul contracției totale al corpului, Byron stă într-o poziție aplecată în față și are o înclinare de 102° față de sol.

La terminarea fazei de contracție și avântarea mâinilor este foarte important ca centrul de greutate al corpului să fie ridicat cât mai sus și să aibă o accelerație cât mai mare. Coordonarea impulsurilor parțiale ține de antrenament. Studiile arată că succesul săriturii în lungime de pe loc depinde foarte mult de unghiul de desprindere, care în mod ideal ar trebui să se apropie de 45 grade [67], unghi obținut cu exactitate de deținătorul recordului mondial.

Zborul reprezintă fază următoare a mișcării. În această fază, se consideră că traiectoria centrului de greutate al corpului nu poate fi modificată de forțele interioare. Cu puțin după vârful curbei, săritorii experimentați încearcă influențarea distanței de zbor în faza descendentă, străduindu-se ca membrele inferioare să se alinieze cât mai mult înspre în față, în acest fel prelungind distanța săriturii. Pentru a realiza acest lucru, mușchii abdomenului intră în contracție, sportivul trăgând genunchii cât mai sus. În studiile aferente găsim valori ideale în jurul a 45° dintre partea superioară și inferioară a corpului, iar analiza materialului video amintit mai sus prezintă un unghi de 42° reușit de Byron Jones în această fază a săriturii.

În faza de zbor, în afară de etapa traiectoriei descendente despre care am discutat mai sus, activitatea musculaturii corpului este redusă. Săritorii experimentați își relaxează musculatura imediat după desprindere. La începători însă, mușchii rămân contractați, aspect ce influențează negativ atât performanța săriturii cât și supune corpul sportivului unui stres muscular nedorit. Mișcările din timpul zborului pregătesc, într-un final, etapa aterizării.

Studiile din domeniu, precum și săritura lui Byron Jones, au fost luate ca etalon în experimentul prezentat aici.

La experiment au participat voluntar 16 tineri aparținând sexului masculin, elevi în clasa a 10-a, având vârsta de aproximativ 17 ani la momentul desfășurării studiului. Parametrii lor fizici au variat între 54 și 98 kg din punct de vedere al masei și între 163 și 183 cm din punct de vedere al înălțimii. În afara vârstei și sexului (s-au căutat băieți de vârste apropiate) nu a fost niciun criteriu stabilit în alegerea subiecților. De asemenea, niciunul dintre participanți nu au fost antrenat anterior special pentru acest tip de săritură, iar din punctul de vedere

al formei sportive a subiecților și pregătirii lor fizice anterioare, unii dintre ei au practicat sau practica un sport din alt domeniu, dar au fost și subiecți care nu au practicat / nu practica niciun fel de sport.

Experimentul s-a desfășurat pe un teren de sport al unei școli din municipiul Sfântu Gheorghe. Terenul de sport era acoperit cu cauciuc, corespunzător terenurilor de atletism.

Subiecții au efectuat un salt în lungime de pe loc fără nici o pregătire teoretică sau practică. Mișcarea a fost înregistrată utilizând o videocameră așezată pe un trepied, la patru metri lateral de la săritor.

Pentru urmărirea mișcării s-au folosit markeri deschiși la culoare, plasați pe o singură parte (cea urmărită cu ajutorul camerei video), reprezentând anumite puncte corporale de interes, ulterior realizându-se analiza traiectoriei și unghiurile determinate de aceste puncte. Markerii au fost situați în regiunea articulațiilor principale ale piciorului (gleznă, genunchi, șold) și mâinii (umăr, cot). Traiectoria acestor markeri a fost înregistrată pe tot intervalul de timp în care s-a realizat săritura. Au fost extrase coordonatele în timp ale markerilor care determină aceste traiectorii. Pentru urmărirea și analiza mișcărilor a fost folosit programul Kinovea. Unghiurile obținute cu ajutorul sistemului de captură și analiză a mișcării sunt cele descrise în analiza săriturii lui Byron Jones și pot fi observate pentru unul din subiecți în secvența următoare de imagini.



Fig. 1.42. Unghiul genunchiului, dintre partea superioară și inferioară a membrului inferior
[64,68]



Fig. 1.43. Unghiul dintre partea superioară a corpului și partea superioară a membrului inferior [64,68]



Fig. 1.44. Unghiul complet al corpului cu verticala, format de partea superioară a corpului și normala la sol [64,68]

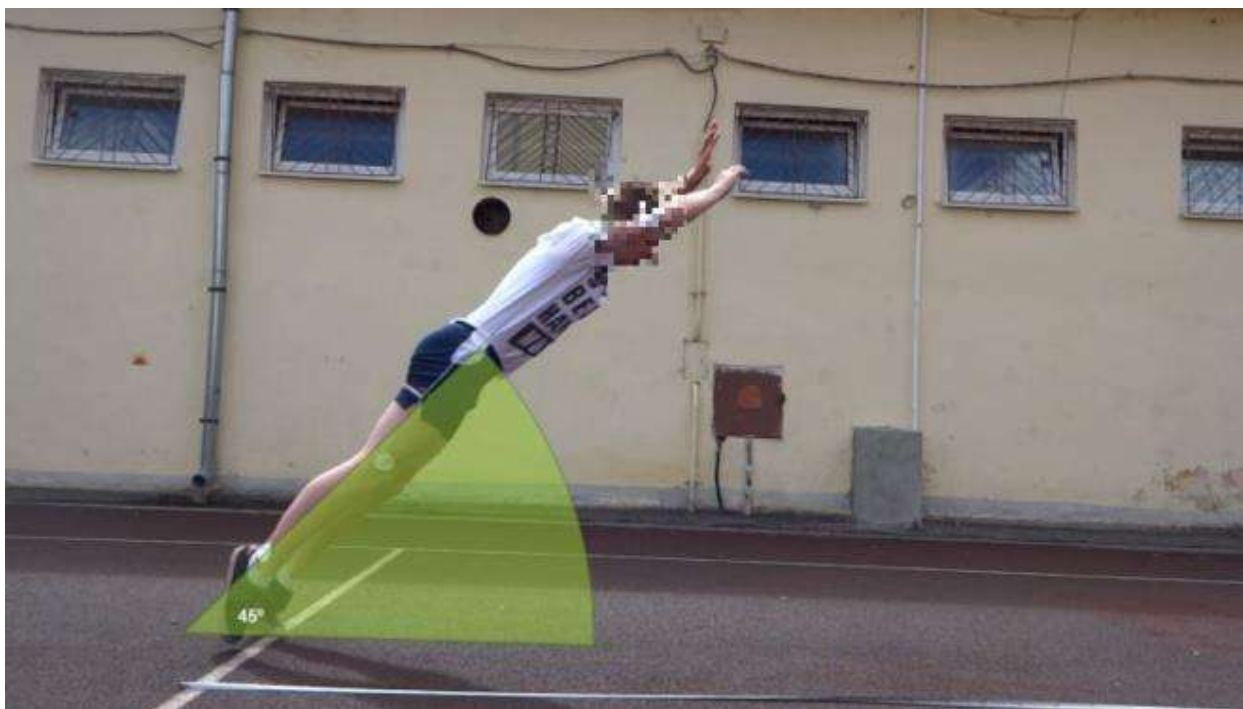


Fig. 1.45. Unghiul de desprindere, format între linia membrului inferior și orizontală [64,68]



Fig. 1.46. Unghiul din timpul zborului, format între partea superioară a corpului și partea superioară a piciorului [64,68]

Fiecărui subiect i s-a generat o „fișă” care conține parametri fizici ai fiecăruia, precum și valorile unghiurilor de interes și diferențele în procente față de valorile ideale (considerate cele obținute de Byron Jones). Un exemplu de fișă este redat mai jos [64,68].

Participantul numărul 16			
Greutatea	Înălțimea	Rezultatul săriturii	
65 kg	175 cm	257 cm	
Detalierea măsurătorilor	Valoarea măsurată	Valoarea ideală	Eroarea
Valoarea unghiului între partea inferioară și partea superioară a piciorului.	86 °	70 °	22.8%
Valoarea unghiului între partea superioară a corpului și partea superioară a picioarelor.	42 °	45 ° – 50 °	(-)6.67%
Valoarea unghiului corpului superior înclinat față de sol cu verticala	92°	100 °	(-)8%
Valoarea unghiului de desprindere. Unghiul corpului cu orizontala	45 °	45 °	0%
Valoarea unghiului între partea superioară și inferioară a corpului.	37 °	40 ° - 45 °	(-)7.5%

Fig. 1.47. Model de fișă generată pentru un subiect [64]

Într-un final, datele au fost centralizate într-un tabel pe care îl prezentăm mai jos.

A*	B*	C*	D*	E*	F*	G*	H*	I*	J*	K*	L*	M*	N*
1	72 kg	183 cm	212 cm	107°	52%	85°	70%	114°	14%	51°	13.3%	49°	8.8%
2	65 kg	168 cm	196 cm	99°	41%	66°	32%	105°	5%	50°	11.1%	102°	126.6%
3	70 kg	172 cm	180 cm	100°	42.8%	73°	46%	109°	9%	48°	6.6%	81°	51.4%
4	67 kg	180 cm	208 cm	95°	35.7%	61°	22%	98°	(-)2%	47°	4.4%	63°	40%
5	76 kg	180 cm	185 cm	90°	28.5%	64°	28%	106°	6%	51°	13.3%	80°	77.7%
6	71 kg	163 cm	210 cm	100°	42.8%	94°	88%	123°	23%	51°	13.3%	70°	55.5%
7	58 kg	178 cm	221 cm	103°	47.1%	73°	46%	102°	2%	47°	64.4%	74°	64.4%
8	56 kg	170 cm	185 cm	95°	35.7%	57°	14%	99°	(-)1%	52°	15.5%	79°	75.5%
9	54 kg	168 cm	182 cm	91°	30%	74°	48%	112°	12%	51°	13.3%	63°	40%

10	75 kg	175 cm	150 cm	105°	50%	71°	38.1%	108°	0%	55°	22.2%	71°	57.7%
11	82 kg	177 cm	170 cm	101°	44.2%	82°	64%	112°	12%	55°	22.2%	74°	64.4%
12	98 kg	181 cm	123 cm	105°	50%	44°	(-)2%	83°	(-)12%	55°	(-)17%	80°	77.7%
13	67 kg	164 cm	175 cm	122°	74.2%	78°	56%	103°	3%	54°	20%	105°	133.3%
14	79 kg	170 cm	180 cm	118°	68.5%	66°	32%	93°	(-)7%	52°	15.5%	65	44.4%
15	63 kg	164 cm	197 cm	108°	54.2%	46°	0%	83°	(-)20%	54°	20%	85	88.8%
16	65 kg	175 cm	257 cm	86°	22.8%	42°	-6.7%	92°	(-)8%	45°	0%	37	(-)7.5%

Tabel 1.4. Centralizator cu datele experimentale obținute și prelucrate pentru toți subiecții și toate unghiurile de interes din cadrul experimentului în care s-a analizat săritura în lungime de pe loc [64,68]

Legendă:

A – numărul participantului în experiment

B – greutatea participantului în experiment

C – înălțimea participantului în experiment

D – rezultatul săriturii măsurat în cm

E - valoarea unghiului - măsurat în grade [°] -, între partea inferioară și partea superioară a piciorului.

F – diferența dintre valoarea măsurată între partea inferioară și partea superioară a piciorului și valoarea propusă care este 70 °.

G – valoarea unghiului - măsurat în grade [°] -, între partea superioară a corpului și partea superioară a picioarelor.

H - diferența dintre valoarea măsurată între partea superioară a corpului și partea superioară a picioarelor și valoarea propusă care este 45 -50 ° .

I – valoarea unghiului - măsurat în grade [°] -, corpul superior înclinat față de sol.

J - diferența dintre valoarea măsurată între corpul superior înclinat față de sol și valoarea propusă care este 100 °.

K – valoarea unghiului - măsurat în grade [°] -, de desprindere. Unghiul corpului total față de sol.

L - diferența dintre valoarea măsurată între unghiul corpului total față de sol și valoarea propusă care este 45 °.

M – valoarea unghiului - măsurat în grade [°] -, între partea superioară și inferioară a corpului.

N - diferența dintre valoarea măsurată între partea superioară și inferioară a corpului și valoarea propusă care este 40 -45 °.

Concluzii ale experimentului săriturii în lungime de pe loc

Dacă privim cu ochiul liber o serie de sportivi amatori (elevi, în timpul orelor de sport) efectuând săritura în lungime de pe loc, observăm diferențe majore atât în ce privește tehnica de execuție, precum și din perspectiva performanțelor. Pe măsura însă în care ne apropiem de o tehnică decentă (lucru care se poate învăța prin practică și antrenament), diferențele dintre execuții nu se mai pot observa cu ochiul liber și o analiză mai amănunțită este necesară.

Scopul experimentului a fost de a folosi metode și mijloace simple, ieftine și eficiente pentru captura și analiza mișcării pentru această probă sportivă, întrucât aplicabilitatea practică anticipată se orientează spre nivelul amatorilor, cum ar fi elevii de gimnaziu sau liceu în timpul orelor de sport, eventual cluburi sportive / de atletism pentru copii sau începători. Considerând acestea, în mod deliberat lucrurile au fost lăsate cât mai simple – analiza a fost realizată doar la nivelul unghiurilor, iar acestea au fost culese în momente cheie ale mișcărilor, folosind doar unelte simple și directe din cadrul aplicației Kinovea, astfel încât orice antrenor sportiv sau profesor de sport, cu un minim instructaj, să o poată executa cu eficiență.

Cu toate acestea, analiza se poate duce și la un alt nivel. Din filmele realizate se poate trece la extragerea coordonatelor cadru cu cadru, determinarea parametrilor cinematici de genul vitezelor și accelerațiilor pe baza acestor seturi de coordonate și realizarea de analize specifice atât pentru fiecare marker (de exemplu, markerul cotului în timpul săriturii) sau a combinațiilor dintre mai mulți markeri (de exemplu, markerii cotului și umărului, pentru a observa mișcarea brațului în plan pe durata respectivei sărituri). Toate acestea însă implică folosirea de aplicații și programe informatice mai puțin potrivite scopurilor practice ale acestui experiment.

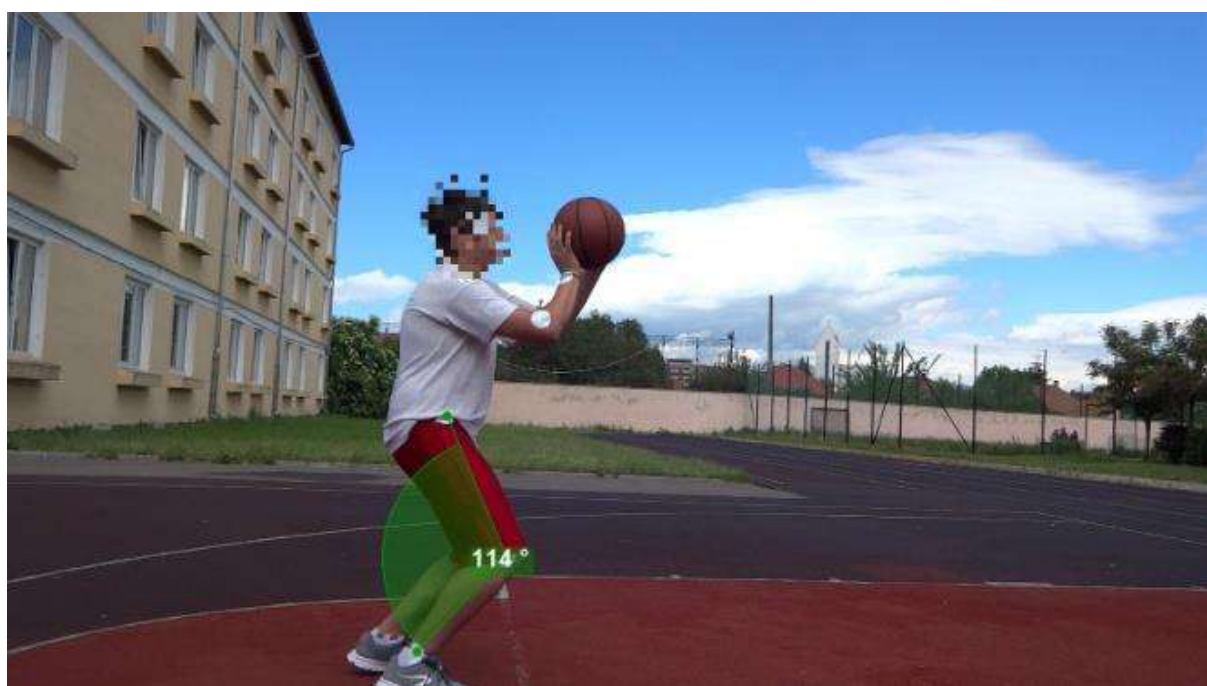
Aruncarea la coșul de baschet

Urmărind aceeași ordine de idei ca în experimentul anterior, ne-am propus să urmărim aruncarea liberă (de pe loc) la coșul de baschet, la nivel de amatori. Analiza a fost făcută considerând unghiurile principale ale aruncării, pe care le-am selectat din literatura de specialitate [69-71]. Subiectul abordat a făcut obiectul unei lucrări de diplomă pentru un student, sub coordonarea autorului acestei teze [72].

În cadrul studiului a fost folosită o cameră video pentru a înregistra aruncarea liberă de baschet pentru 14 voluntari, aleși aleatoriu dintr-un grup de elevi de 17 ani, toți de sex masculin. Camera a fost instalată ortogonal pe direcția de aruncare, la o distanță de 3 metri și o înălțime de 1,1 metri de sol. Au fost avute în vedere două posturi corporale pentru corpul elevilor: poziția preliminară, unde elevii își pregătesc aruncarea (am măsurat aici trei unghiuri: unghiul genunchiului, unghiul dintre braț și trunchi și unghiul dintre antebraț și braț) și poziția de aruncare, unde am măsurat din nou încă două unghiuri, în momentul exact în care mingea părăsește mâinile subiectului (unghiul dintre braț și trunchi și unghiul dintre antebraț și braț).

Întrucât ideea de bază este aceeași, vom trece direct la prezentarea unghiurilor analizate și apoi vom centraliza rezultatele sub forma unui tabel. Unghiurile de interes se pot vedea în următoarea succesiune de imagini.

Primele trei imagini descriu unghiurile din poziția preliminară:



Unghiul genunchiului din poziția preliminară



Unghiul dintre corp și braț, din poziția preliminară



Unghiul dintre antebrăț și braț, poziția preliminară

Ultimele două imagini pun în evidență unghiurile luate în considerare în momentul aruncării la coș.



Unghiul dintre braț și trunchi, în momentul aruncării



Unghiul de deschidere braț – antebraț în momentul aruncării

Fig. 1.48. Unghiurile pentru aruncarea la coș, sportiv amator [72-73]

Tabelul în care s-au centralizat datele experimentale obținute pe baza materialelor video este prezentat mai jos:

Parametri fizici			Pregătire			Aruncare	
Student nr.	Înălțime	Masă (kg)	Unghi genunchi	Unghi braț trunchi	Unghi braț antebrăț	Unghi braț trunchi	Unghi braț antebrăț
1	1.83	80	119°	90°	79°	112°	175°
2	1.68	68	112°	82°	115°	128°	178°
3	1.79	81	114°	93°	112°	97°	160°
4	1.68	69	109°	65°	102°	128°	169°
5	1.84	81	124°	72°	114°	112°	167°
6	1.72	71	112°	64°	97°	115°	148°
7	1.88	85	117°	66°	96°	114°	147°
8	1.82	78	133°	58°	111°	110°	161°
9	1.79	80	133°	80°	115°	125°	165°
10	1.83	85	135°	60°	104°	106°	148°
11	1.74	76	106°	66°	93°	120°	157°
12	1.68	66	127°	48°	86°	108°	138°
13	1.67	69	150°	52°	80°	100°	137°
14	1.74	73	122°	76°	77°	128°	155°

Tabel 1.5. Centralizator cu datele experimentale - unghiuri la aruncarea la coșul de baschet [72-73]

Sistemul propus este o soluție accesibilă care poate oferi antrenorilor sau instructorilor sportivi valorile unghiurilor de aruncare liberă la coș obținute de sportivii pe care îi pregătesc. S-a considerat atât o poziție de pregătire a aruncării, cât și poziția de aruncare, astfel încât erorile semnificative ale tehnicii de aruncare a mingii la coș, în toate fazele acesteia, să poată fi identificate cu ușurință. Un domeniu de aplicație a metodei și

sistemului propus în acest experiment am văzut-o în a identifica, din cadrul unui grup (cum ar fi elevii dintr-o clasă de gimnaziu sau de liceu) subiecții care au talent natural pentru acest sport (sau, cu alte cuvinte, cei ce efectuează în mod natural aruncarea la coș sub unghiurile potrivite)

În cadrul experimentului de față, mișcarea mâinilor specifică procesului de aruncare la coșul de baschet a subiecților noștri conține destul de multe greșeli, lucru perfect firesc, având în vedere că analiza a fost realizată pe jucători complet amatori, care nu au avut contact cu antrenamentul de baschet. Cum și literatura de specialitate este mai bogată în domeniu, am notat mai mulți parametri la care intenționăm să lucrăm: de exemplu, în timp ce majoritatea subiecților au picioarele plate pe pământ pe parcursul etapelor aruncării la coș, se poate totuși observa cu ochiul liber că unii dintre subiecți au făcut un salt rapid pe călcâie în momentul aruncării, în timp ce alții intră în poziția de pregătire cu călcâiele ridicate. Încercăm să găsim atât relevanța acestor aspecte, precum și modalitățile corecte de a include aceste evenimente în analiza noastră. De asemenea, suntem interesați să vedem dacă tendințele privind unghiurile de aruncare sunt diferite pentru anumite grupe de vârstă, pentru a avea o imagine mai bună în ceea ce privește diferențele dintre rezultatele obținute de subiecții din experiment și unghiurile ideale considerate. Nu în ultimul rând, analiza parametrilor cinematici de genul vitezelor și accelerațiilor articulațiilor mâinii e planificată pentru viitoare studii.

Sărituri cu schiurile

Un alt studiu ce ia în considerare postura corporală în timpul execuției unei probe sportive a fost cel realizat având ca temă săritura cu schiurile.

Subiectul abordat a făcut obiectul unei lucrări de diplomă pentru un student, sub coordonarea autorului acestei teze [74].

Datele pentru studiu au fost obținute în perioada 20.02 – 23.02.2020, pe trambulina Valea Cărbunării, Râșnov, Județul Brașov, în timpul desfășurării competiției de Cupa Mondială organizată de Federația Internațională de Sărituri cu schiurile (FIS Ski Jumping). Sistemul de captură și analiză a mișcării, precum și abordarea experimentului au fost similare cu cele utilizate în studiile anterioare, cu diferențe în ceea ce privește distanța de poziționare pentru camera video [74-75].



Fig. 1.49. Unghiurile care au fost luate în calcul în cele patru momente ale execuției săriturii cu schiurile [75-76]

Întrucât sportul analizat este foarte tehnic iar postura și momentul eliberării trambulinei (ieșirea de pe masa trambulinei – începutul zborului) sunt lucrurile care contează practic cel mai mult, s-a ales o abordare comparativă, în care s-au stabilit o serie de valori etalon pentru mai multe unghiuri de referință din timpul zborului. De asemenea, s-au ales patru poziții din timpul execuției probei, iar pentru fiecare dintre acestea au fost analizate respectivele unghiuri [76-79].

Descrierea unghiurilor:

- Unghiul α marcat în culoare roșie – format din segmentele cap – trunchi – gleznă;
- Unghiul β marcat în culoare galben – format din segmentele genunchi – gleznă – schiuri;
- Unghiul γ marcat în culoare verde – format din segmentele trunchi – genunchi – gleznă;

Având în vedere subiectul abordat și faptul că, și la nivel profesionist, există diferențe între execuțiile sportivilor diferiți, discuția apare relativ la modul în care alegem unghiurile etalon, ne-am hotărât să alegem mai mulți sportivi profesioniști ca etalon. Am ales să facem mediile unghiurilor de referință pentru cele 4 poziții obținute de aceștia iar acea medie aritmetică să fie primul parametrul la care să ne raportăm dar, de asemenea, vom considera și valorile limită (minimă și maximă) ale unui unghi în a doua abordare.

Mediile pentru sportivii profesioniști (din motive de confidențialitate a datelor, numele acestora nu au fost menționate) sunt prezentate mai jos.

Subiect	Pozitia 1			Pozitia 2			Pozitia 3			Pozitia 4		
	$\alpha 1^\circ$	$\beta 1^\circ$	$\gamma 1^\circ$	$\alpha 2^\circ$	$\beta 2^\circ$	$\gamma 2^\circ$	$\alpha 3^\circ$	$\beta 3^\circ$	$\gamma 3^\circ$	$\alpha 4^\circ$	$\beta 4^\circ$	$\gamma 4^\circ$
	111	47	91	123	58	122	141	73	170	150	58	163
	116	52	99	129	62	135	151	62	164	159	55	177
	102	59	100	112	68	130	113	86	161	129	71	176
	100	52	92	114	60	125	128	73	169	136	67	172
	121	48	92	131	61	134	144	69	165	149	59	176
Media aritmetica	110	51,6	94,8	122	61,8	129	135	72,6	166	145	62	173

Tabel 1.6. Media unghiurilor obținute de sportivii profesioniști în cele patru momente ale execuției probei în care au fost analizați [75-76]

A fost de mare interes deviația în timpul săriturii față de aceste poziții considerate ideale, pentru toate cele patru poziții. Aceasta s-a calculat, în procente, după formula erorii relative:

$$deviatie = \frac{unghi_{subiect} - unghi_{etalon}}{unghi_{etalon}} * 100(\%) \quad (18)$$

A fost realizată o clasificare a deviațiilor prezentate de sportivii participanți la eveniment, considerându-se:

- Deviație acceptată 0 – 5 %;
- Deviație moderată 5 – 20 %;
- Deviație critică > 20 %;

Discuția aici este extrem de complexă: pot exista săritori cu o tehnică diferită și mai greu adaptabili, care obțin rezultate mai bune pentru ei pe tehnica lor.

Cele patru poziții din timpul execuției au fost:



a) Poziția 1, pre-decolare



b) Poziția 2, decolare



c) Poziția 3, post-decolare, la distanță mică de desprinderea de pe masa trambulinei



d) Poziția 4, poziția de zbor

Fig. 1.50. Pozițiile sportivului luate în calcul în studiu [75-76]

Un aspect foarte important care trebuie menționat este că studiul de față a fost realizat pe imagini statice, respectiv pozițiile prezentate anterior. Pentru cele patru poziții de zbor, în analiza realizată, s-au determinat o serie de deviații ale posturii față de cea considerată ideală, al căror sumar e prezentat în continuare:

Pentru poziția 1, și anume momentului dinaintea decolării, au fost raportate 34 de deviații:

- 11 moderate pentru unghiul α ;
- 10 moderate și una critică pentru unghiul β ;
- 12 deviații moderate pentru unghiul γ ;

Pentru poziția 2, care reprezintă momentul decolării, unul dintre cele mai importante din execuția probei, s-au determinat 29 deviații:

- 8 moderate pentru unghiul α ;
- 12 moderate pentru unghiul β ;
- 9 deviații moderate pentru unghiul γ , iar din aceștia 3 au avut deviații cu valori apropiate de valoarea critică

SUBIECT	Pozitia 1			Pozitia 2			Pozitia 3			Pozitia 4		
	$\alpha 1^\circ$	$\beta 1^\circ$	$\gamma 1^\circ$	$\alpha 2^\circ$	$\beta 2^\circ$	$\gamma 2^\circ$	$\alpha 3^\circ$	$\beta 3^\circ$	$\gamma 3^\circ$	$\alpha 4^\circ$	$\beta 4^\circ$	$\gamma 4^\circ$
Subiect 1	2,7	-1,1	5,4	4,2	-6,1	-2,4	-2,5	4,6	-2,8	-3,8	6,4	-2,1
Subiect 2	6,3	12	15	6,7	1,9	4,4	7	-10	-1	3,7	-13	-2,1
Subiect 3	15	0,7	9,7	10	-9,3	1,3	5,6	4,6	-2,2	1,6	11	-0,4
Subiect 4	4,5	14	4,4	3,4	-1,2	-1,7	-0,2	3,3	4,3	1,6	3,2	-0,4
Subiect 5	-4,5	4,6	4,4	-5,5	-11	-14	-12	6	-5,3	-7,3	13	0,1
Subiect 6	-10	26	18	-8,8	6,7	5,2	-3,2	6	0,1	-1,1	11	3
Subiect 7	-2,7	12	18	0,9	3,5	9,1	-1,7	10	0,7	-3,1	16	-3,3
Subiect 8	-1,8	18	15	-3,1	3,5	4,4	-6,2	1,9	-1	-5,2	11	-3,3
Subiect 9	-6,3	8,5	1,2	-7,2	-1,2	-6,3	-6,9	1,9	-1,6	-3,8	-4,8	0,1
Subiect 10	7,2	2,7	18	8,3	-7,7	2,1	3,3	3,3	0,1	0,2	0	-3,3
Subiect 11	-6,3	16	0,2	-6,4	-1,2	-1,7	-9,8	3,3	-1,6	-3,1	-13	-2,7
Subiect 12	-12	2,7	6,5	-3,1	-7,7	-10	-3,2	1,9	0,7	0,9	-8	-2,1
Subiect 13	-0,9	14	11	-2,2	10	-6,3	-1,7	16	4,3	-3,8	6,4	1,8
Subiect 14	9	-5	8,6	5,9	-1,2	4,4	4,8	-7,7	0,1	3	-4,8	-1,6
Subiec 15	7,2	10	14	0,9	6,7	7,5	4,8	-2,2	3,7	5,1	0	3
Subiect 16	-0,9	0,7	-8,2	-1,4	-11	18	-0,2	0,5	1,9	0,9	-8	-3,9
Subiect 17	-2,7	10	2,3	-1,4	10	6,8	-3,9	12	5,5	0,2	0	1,8
Subiect 18	6,3	-5	-1,8	4,2	10	15	2,6	7,4	3,1	-3,1	3,2	-1
Subiect 19	6,3	6,5	-1,8	-2,2	12	1,3	-2,5	3,3	3,1	1,6	-16	0,1
Total număr deviații	11	11	12	8	12	9	6	8	2	3	12	0

Tabel 1.7. Deviațiile unghiurilor celor 19 subiecți analizați față de unghiurile de referință, în procente. Valorile unde deviația este cel puțin una medie apar în culori. [75-76]

Pentru poziția 3, care reprezintă momentul de zbor timpuriu, au fost identificate 16 deviații:

- 6 moderate pentru unghiul α ;
- 8 moderate pentru unghiul β , din aceștia unul s-a apropiat de valoarea critică;
- 2 deviații moderate pentru unghiul γ ;

Pentru poziția 4, care reprezintă momentul de zbor, au fost raportate 15 deviații:

- 3 moderate pentru unghiul α ;
- 12 moderate pentru unghiul β , din aceștia 2 s-au apropiat de valoarea critică;
- pentru unghiul γ toate valorile s-au aflat în intervalul acceptat;

Deoarece tehnica săriturii cu schiurile e foarte complexă, s-a realizat o analiză suplimentară, ținându-se cont de valorile maxime și minime ale unghiurilor obținute de

sportivii de elită. Practic, pentru fiecare unghi considerat s-au luat valoarea maximă și valoarea minimă obținute de sportivii de elită iar acest interval s-a considerat ca fiind de referință. Cu acest interval au fost comparate unghiurile descrise de participanții la studiu, pentru a se identifica valorile din afara intervalului de referință. Rezultatele sunt prezentate în tabelul de mai jos.

SUBIECT		Pozitia 1			Pozitia 2			Pozitia 3			Pozitia 4		
		$\alpha 1^\circ$	$\beta 1^\circ$	$\gamma 1^\circ$	$\alpha 2^\circ$	$\beta 2^\circ$	$\gamma 2^\circ$	$\alpha 3^\circ$	$\beta 3^\circ$	$\gamma 3^\circ$	$\alpha 4^\circ$	$\beta 4^\circ$	$\gamma 4^\circ$
	VAL.INF	100	47	91	112	58	122	128	62	161	129	55	163
	VAL.SUP	121	59	100	131	68	135	151	86	170	159	71	177
1	deviatie[%]												
2	deviatie[%]			9	2,3							1,8	
3	deviatie[%]	4,1		4		3,4							
4	deviatie[%]									1,8			
5	deviatie[%]					5,2	9	7		2,5			
6	deviatie[%]	1	10	12	0,9		0,7	0,8					0,6
7	deviatie[%]			12			4,4					1,4	
8	deviatie[%]		3,4	9									
9	deviatie[%]						0,8	1,6					
10	deviatie[%]			12	0,8	1,7							
11	deviatie[%]		1,7					4,7				1,8	
12	deviatie[%]	3		1		1,7	4,9						
13	deviatie[%]			5			0,8			1,8			
14	deviatie[%]			3									
15	deviatie[%]			8			3			1,2			0,6
16	deviatie[%]			4,4		5,2	13						
17	deviatie[%]						2,2			2,9		5,5	
18	deviatie[%]						9,6			0,6			
19	deviatie[%]					1,5				0,6			

Tabel 1.8. Valorile care ies din intervalul de referință, pentru fiecare subiect [75-76]

În tabel, cu roșu au fost marcate depășirile limitei inferioare a intervalului de referință, iar cu albastru au fost marcate depășirile limitei superioare a respectivului interval considerat.

Dintr-o analiză simplă a datelor obținute, se poate observa că majoritatea deviațiilor apar pentru primele două poziții, și anume pre-decolarea și decolarea, apoi diferențele în zbor nefiind unele extrem de mari.

Menționăm că nu s-a ținut cont de distanța sărită de sportivi sau de tehnica aterizării etc., de asemenea nu a fost luată în considerare contribuția curenților de aer asupra posturii și performanțelor sportivilor, acest gen de analiză necesitând sisteme mult mai complexe decât cele propuse de noi. Pe de altă parte însă, parametrii luați în calcul în cadrul acestei analize sunt clari și pot face subiectul îmbunătățirii la antrenament a tehnicii sportivilor, în

momente considerate esențiale pentru execuția probei. Considerăm că acest tip de analiză, realizată folosind un sistem simplu, ieftin și ușor de utilizat, poate ajuta în cadrul antrenamentelor practicanților de sărituri cu schiurile, mai ales pentru cei cu posibilități financiare mai reduse.

1.6 Analiza mișcărilor muzicienilor

Un subiect mai puțin bătătorit este cel al analizei mișcărilor muzicienilor în timpul prestațiilor lor artistice. Ideea studiului în domeniu a venit odată cu implicarea autorului tezei de abilitare în două proiecte de cercetare recente.

Autorului tezei de abilitare i-a fost deschis drumul spre acest domeniu odată cu două proiecte de cercetare, și anume MINOVIS (PN-III-P2-2.1-PED-2019-2148, Modele inovative de viori comparabile acustic și estetic cu viorile de patrimoniu - MINOVIS, contract nr. 568PED/2020, durata de desfășurare 24 luni, 23.10.2020 – 23.10.2022) și ACADIA (PN-III-P4-PCE-2021-0885, Analiza calitativă, dinamică și acustică a sistemelor anizotrope cu interfețe modificate- ACADIA, contract nr. PCE61/2022, durata de desfășurare 31 luni, 02.06.2022 – 31.12.2024), fără de care i-ar fi fost probabil foarte greu să pătrundă în această lume.

Pentru a înțelege mai bine tematicile abordate în cadrul acestor cercetări, vom lua descrierile proiectelor de pe pagina lor web oficială.

MINOVIS – „Proiectul se încadrează în domeniul de prioritate publică – Patrimoniu și identitate culturală, sub-domeniul Identitate culturală întrucât vizează pe de o parte conservarea meșteșugului de lutier, demonstrând prin mijloace și tehnici moderne, know-how-ul pe care vechii lutieri îl aveau în alegerea lemnului pentru vioară, uscarea acestuia timp de câțiva ani, prelucrarea sortimentelor lemnoase până la obținerea acelei tonalități a instrumentului muzical pe care interpretul o evalua și o valorifica în activitățile sale culturale, cât și valorificarea tehnicii și științei în dezvoltarea unor modele inovative de viori.” - <https://minovis.unitbv.ro>.

ACADIA – „Proiectul [...] are ca obiectiv general explorarea proprietăților mecanice, dinamice și acustice ale lemnului din construcția instrumentelor muzicale cu corzi, atât ca sisteme anizotropice cu structuri și interfețe diferite datorită texturii și desenului lemnului, cât și ca sisteme multicorp a căror proprietăți macrostructurale conferă instrumentului

muzical calitățile acustice deosebite. Noutatea proiectului constă în cercetarea de frontieră și interdisciplinară ale lemnului de rezonanță a căror caracteristici structurale au fost influențate de schimbările climatice din ultimii 50 ani comparativ cu sortimente de lemn învechit (îmbătrânit natural), precum și ale lemnului tratat prin tratamente de suprafață și dinamice în concordanță cu rețetele vechilor lutieri (Stradivari/Amati/Guarnieri).” - <https://estud.unitbv.ro>.

Revenind la analiza mișcării, în urma discuțiilor avute cu artiștii violoniști care au fost implicați (fie ca membri în proiect, fie ca subiecți) în aceste proiecte, s-a constatat că oboseala fizică este unul dintre principalii factori care influențează calitatea prestațiilor artistice ale unui violonist. În mod evident, cu cât secvența muzicală este mai solicitantă din punct de vedere al mecanicii execuției mișcărilor (ne gândim aici la mișcări cu viteze și accelerații mari ale mâinilor, considerând toate segmentele componente ale respectivului membru), cu atât gradul de oboseală crește și apar neconcordanțe, execuții greșite, scăpări, ce duc la o prestație inferioară din punct de vedere muzical [80-82].

Studiul de caz prezentat aici e considerat de către autorul tezei de abilitare ca fiind doar un prim pas, subiectul este unul pe de-o parte foarte puțin explorat, pe de altă parte foarte larg – oboseala și durerile artiștilor nu apar, cum s-ar putea crede, doar în zona mâinilor, din cauza mișcărilor executate și a masei viorii, ci și zona spatelui este foarte solicitată, ducând la probleme destul de grave pe termen lung, de genul herniilor de disc sau a deformărilor coloanei vertebrale (scolioză, cifoză etc.) [83-84].

La studiu au participat 6 artiști cu caracteristici diferite, atât din punct de vedere al vârstei, genului de care aparțin sau experienței artistice cât și din punct de vedere al parametrilor fizici (înălțime, greutate). Am fost prezenți, așadar, 6 subiecți care și-au dat consimțământul informat cu privire la preluarea și prelucrarea datelor experimentale referitoare la mișcărilor lor în timpul execuției unei secvențe muzicale. Dintre acești 6 subiecți, 3 sunt de sex masculin și 3 de sex feminin, unul este artist consacrat și profesor de arte muzicale în domeniul viorii iar din ceilalți 5, 4 sunt studenți ai Facultății de Muzică din cadrul Universității Transilvania din Brașov și al cincilea elev la Liceului de Muzică din Brașov.

Pentru captura datelor experimentale s-a folosit un sistem care conține trei camere video, așezate pe trei direcții considerate de interes de către autorii studiului: o cameră așezată frontal, o cameră așezată lateral-dreapta, care să capteze în principal mișcarea mâinii drepte a violonistului, și o cameră care să filmeze de sus, care să capteze poziția corpului

pe verticală în timpul prestației muzicale și, din anumite puncte de vedere, mișcarea mâinii stângi. De menționat că toți participanții la studiu folosesc mâna dreaptă ca fiind cea principală (cea cu care se ține arcușul).

Pe lângă captura și analiza mișcării, care a fost elementul principal regăsit în scopurile acestui studiu, pentru a vedea dacă există eventuale corelații dintre execuția mișcărilor și oboseala care apare la nivelul subiecților, s-a utilizat și o cameră de termoviziune, cu care s-a putut captura temperatura zonei centrale a corpului subiecților în timpul prestației muzicale.

Pentru cei 6 subiecți a fost aleasă o secvență muzicală de aproximativ 40 de secunde din Preludiul din Partita III pentru vioară solo a lui J.S. Bach. Considerată o lucrare extrem de dificilă de către toți violoniștii, acest Preludiu reprezintă un tur de forță și o piatră de încercare pentru violoniști, deoarece pune foarte multe probleme din punct de vedere tehnic (schimbări foarte rapide ale planurilor de coardă, trăsătura constantă a arcușului de la început până la sfârșit, schimbările bruște de nuanțe, lungimea considerabilă a preludiului, ceea ce necesită rezistență fizică și psihică pentru a-l putea susține până la sfârșit).

Au fost instalați la nivelul articulațiilor markeri din hârtie colorată, astfel:

- un marker la nivelul articulației mâinii drepte (filmă cu camera frontală și lateral-dreapta)
- un marker la nivelul articulației cotului drept (filmă cu camera frontală și lateral-dreapta)
- un marker la nivelul umărului mâinii drepte (filmă cu camera frontală și lateral-dreapta)
- un marker pe degetul inelar al mâinii stângi (filmă cu camera de sus)
- un marker pe umărul stâng (filmă cu camera de sus)

De asemenea, fără a folosi markeri, au fost urmărite și alte elemente ale corpului uman în timpul execuției secvenței muzicale, cum ar fi poziția și mișcarea capului per ansamblu, elemente care ajută în analiza posturii per ansamblu a violonistului.

Fiecare subiect a parcurs secvența muzicală de 7 ori, consecutiv, cu pauze de 2-5 secunde între execuții. Așadar, au fost culese datele de la 3 markeri frontali, 3 markeri laterali și 2 markeri filmați de sus, pentru 6 subiecți, filmați fiecare de 7 ori, la 120 de cadre pe secundă, timp de aproximativ 40 de secunde pentru fiecare filmare (peste 1,6 milioane de perechi de coordonate x,y).



Fig. 1.51. Setup-ul experimental folosit pentru înregistrări

S-au urmărit o serie de aspecte privind mișcările artiștilor în timpul prestațiilor muzicale:

- s-a urmărit să se determine dacă există diferențe majore în execuție pentru același subiect între cele 7 prestații diferite ale secvenței muzicale alese; acesta poate fi un semn al oboselei care se instalează sau / și al însușirii deficitare a tehnicii de execuție muzicală
- s-a urmărit să se determine dacă există diferențe majore în execuție între subiecți, având ca referință un set de date format din mediile celor 7 prestații pentru fiecare subiect; se caută să se determine dacă, la modul general, este necesară o astfel de analiză a mișcării artiștilor cu o abordare specifică, pe fiecare subiect sau este suficientă o analiză a unui singur subiect pentru a avea o imagine de ansamblu suficient de clară
- s-a urmărit să se determine dacă se remarcă similitudini între execuțiile subiecților de același sex și / sau diferențe semnificative între execuțiile subiecților diferențiați în funcție de sex; sunt căutate în acest fel tendințe care pot apărea în funcție de sexul celui care performează

- s-a urmărit să se determine dacă se remarcă similitudini între execuțiile subiecților cu parametri fizici (înălțime, greutate) apropiați și / sau diferențe semnificative între execuțiile subiecților diferențiați în funcție de parametrii fizici; sunt căutate în acest fel tendințe care pot apărea în funcție de dimensiunile fizice ale celui care performează (înalți, ușori, scunzi, grei etc.)
- s-a urmărit să se determine dacă există tendințe care apar specific la fiecare subiect (cum ar fi, de exemplu, flexia genunchilor) în timpul prestațiilor muzicale; aceste mișcări suplimentare pot duce la un grad mai ridicat al obosealii care se instalează la nivelul sistemelor subiectului
- s-au urmărit tendințele care eventual apar din punct de vedere al temperaturii corpului captată cu camera de termoviziune, după fiecare execuție a pasajului artistic; acesta poate fi un alt indicator al gradului de oboseală care se instalează la nivelul sistemelor subiectului

1.6.1. Studiu pe un singur interpret

În primă fază a fost realizată o analiză a mișcărilor specifice unui singur interpret, de-a lungul celor 7 înregistrări ale repetițiilor secvenței muzicale.

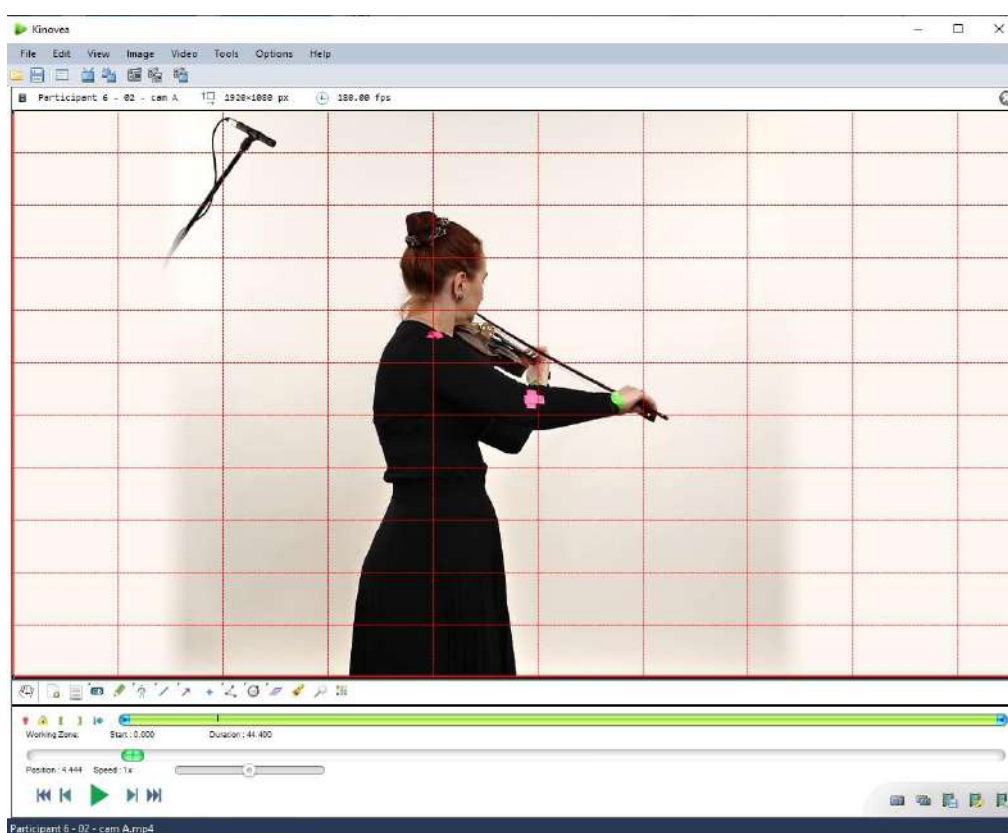


Fig. 1.52. Captură de ecran din aplicația cu care s-a realizat extragerea datelor experimentale ale markerilor (Kinovea).

Cu ajutorul unei camere video mirrorless GHS, filmând cu 180 de cadre pe secundă, la rezoluție FullHD (1980 x 1080 pixeli) din lateral, perpendicular pe planul în care (în principal) violonistul își mișcă mâna în timpul repetiției, a fost urmărită poziția în timp a markerilor instalați la nivelul articulațiilor principale ale perechii braț-antebraț: articulația mâinii, articulația cotului și articulația umărului. Ca subiect, a fost ales dintre violoniști cel cu cea mai mare experiență.

Folosindu-se aplicația Kinovea, au fost extrase coordonatele pe X și pe Y ale celor 3 markeri, pentru o secvență reprezentativă, corespunzătoare a 13 secunde din repetiție, aleasă între secunda 3 și secunda 16. Pentru fiecare marker au rezultat un număr de 2341 de cadre, rezultând o distanță dintre cadre de aproximativ 0.0056 secunde. De asemenea, în vederea realizării unor eventuale corelații între mișcare și acustică, sunetul a fost înregistrat utilizându-se 4 microfoane AKG Cardioid Condenser Small Diaphragm P170 și un recorder audio Zoom h6.

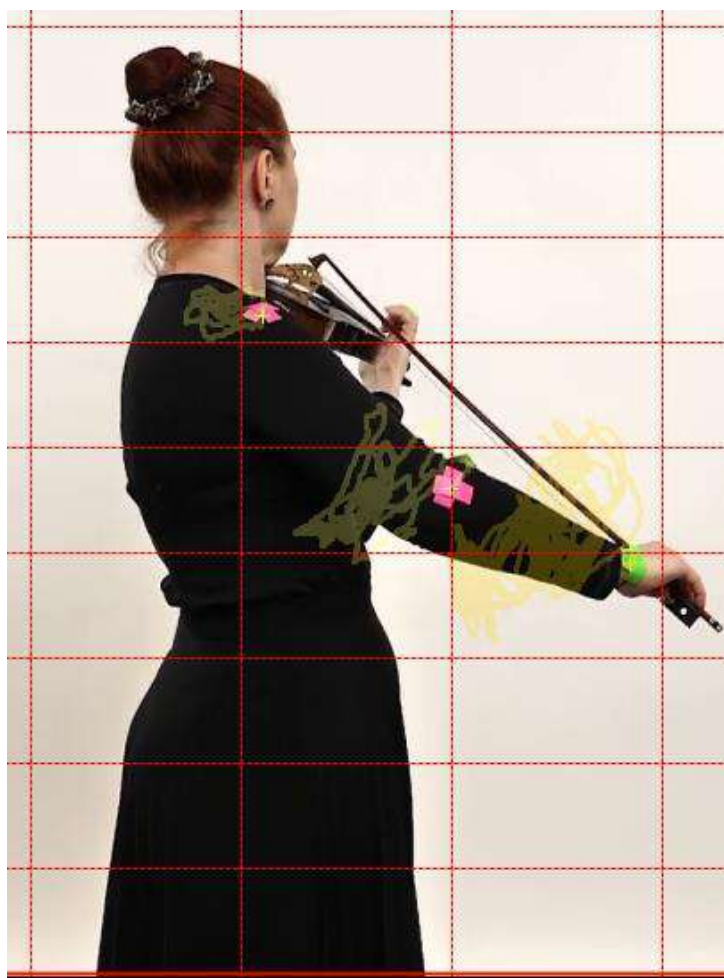


Fig. 1.53. Traiectoria celor 3 markeri, văzută în Kinovea.

Folosindu-se instrumentele de urmărire a traiectoriei din Kinovea, se setează ca zone de interes cei trei markeri instalați la nivelul articulațiilor principale ale membrului superior. Se urmărește traiectoria, datele sunt în primă fază exportate în format tabelar, apoi pre-procesate pentru a le aduce la un set de perechi de coordonate X,Y pentru fiecare marker și, într-un final, preluate cu MATLAB și apoi prelucrate pentru a determina o serie de parametri relevanți.

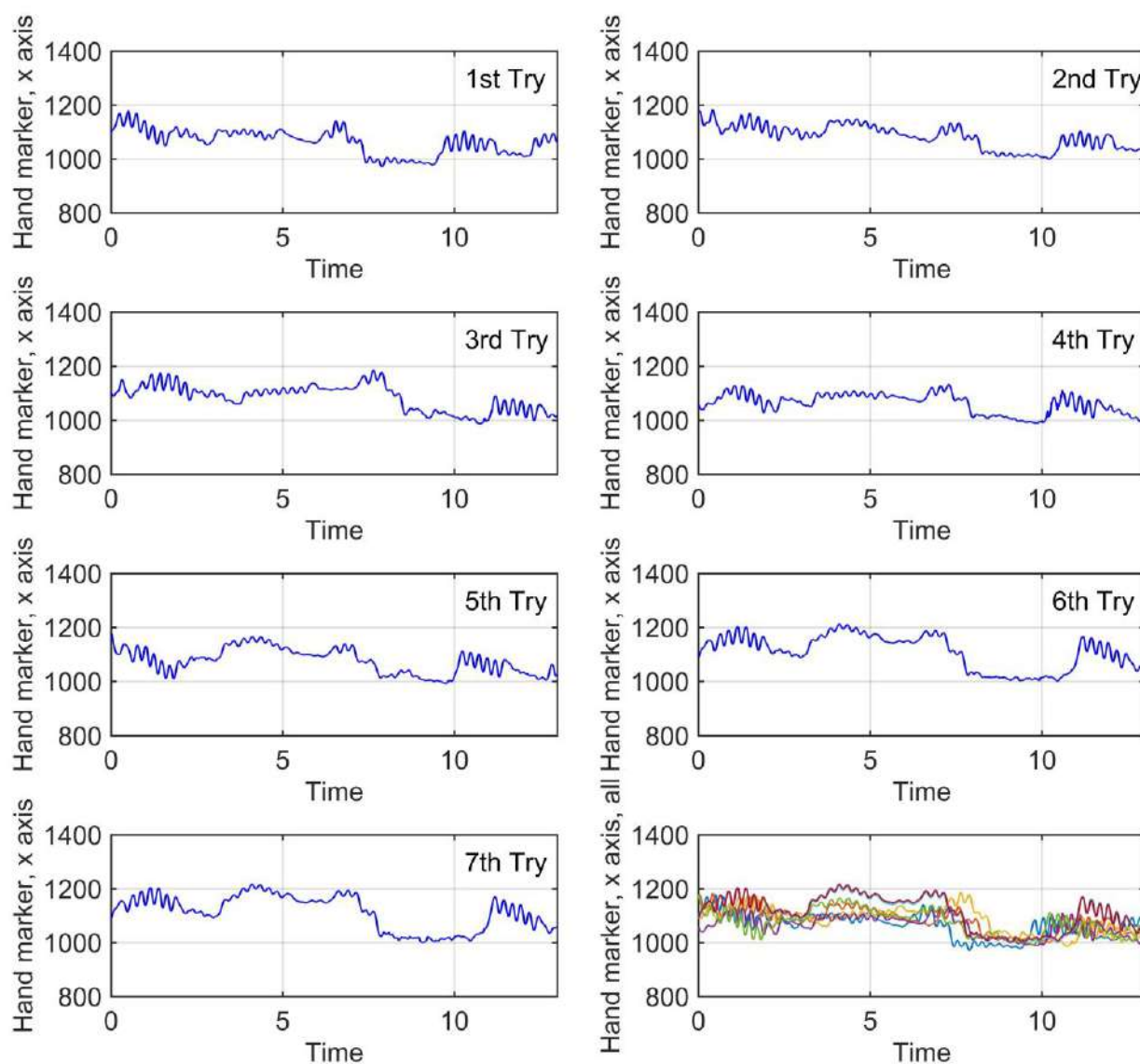


Fig. 1.54. Traiectoria markerului mâinii pe axa X, individual pentru cele 7 repetiții și suprapus
Primul aspect de interes a fost de a observa dacă există diferențe semnificative în ceea ce privește poziția articulațiilor mâinii pe durata celor 7 repetiții diferite. După cum am menționat, subiecții au repetat aceeași secvență muzicală de 7 ori, cu pauze foarte mici (de ordinul secundelor) între repetiții, astfel încât erau așteptate anumite variații ale mișcărilor

datorate oboselii, mai ales ținând cont și de faptul că, după spusele subiecților, pasajul muzical a fost unul foarte solicitant.

În primă fază, am analizat markerului articulației mâinii de-a lungul celor 7 repetiții [85-86]. Pentru a putea avea o imagine relevantă și vizual, am ales să reprezentăm deplasările markerului separat, întâi pe o direcție (pe X) și apoi pe cealaltă (pe Y).

Dacă suprapunem traiectoriile pe X ale markerului mâinii pentru toate cele 7 repetiții, vom obține imaginea de mai jos.

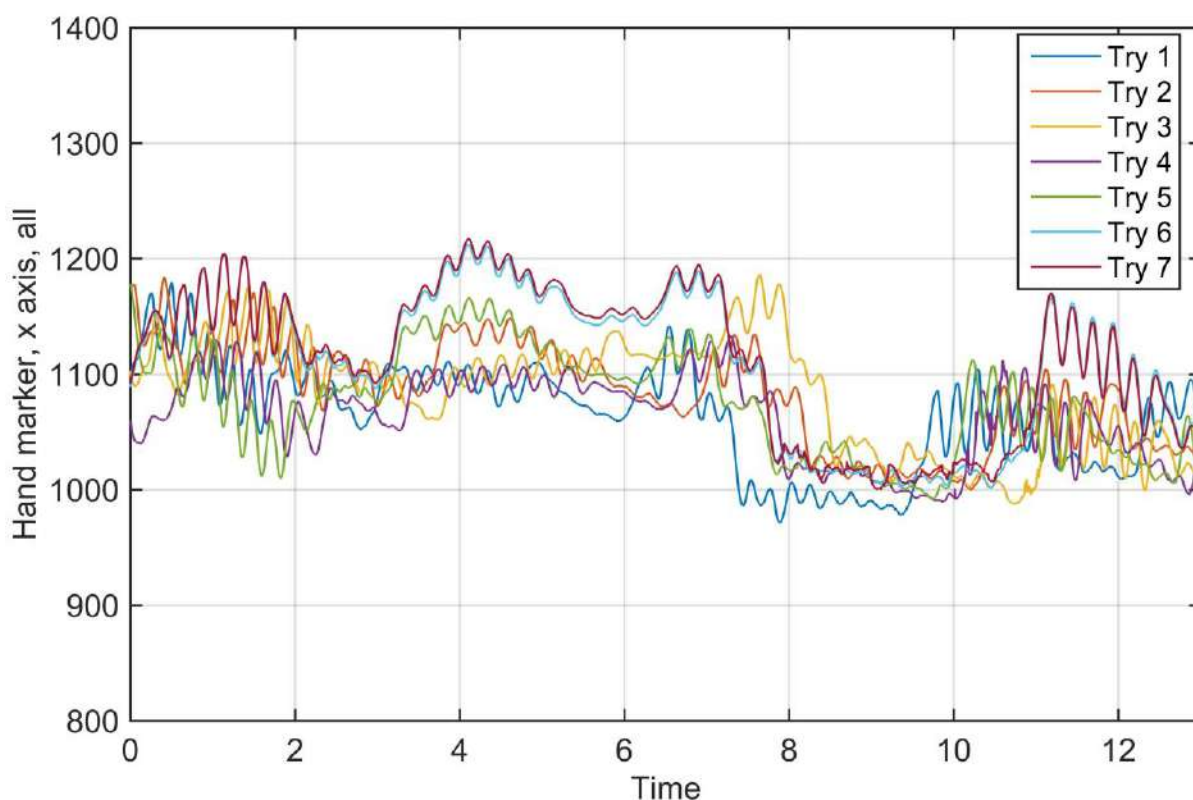


Fig. 1.55. Traiectoria markerului mâinii pe axa X, toate cele 7 traiectorii suprapuse

Se pot remarca anumite aspecte:

- există zone cu evoluții relativ similare ale mișcărilor, corespunzătoare diferitelor secvențe din care e format fragmentul muzical. Toate acestea ne duc cu gândul că se poate stabili, între anumite limite, pentru fiecare secvență a fragmentului muzical, câte o zonă optimă în care mâna ar trebui deplasată în vederea unei execuții corecte.
- există diferențe între execuții, pe baza cărora se pot extrage eventuale tendințe care există deja sau pot apărea în timp, pe măsură ce repetiția se prelungeste și oboseala se instalează la nivelul artistului. De exemplu, pe graficul nostru se poate ușor

observa similaritatea dintre execuțiile 6 și 7 (ultimele efectuate) și diferențele de execuție între acestea și restul repetițiilor. Motivele pot fi legate de oboseala care apare la nivelul membrului și modul în care artistul încearcă compensarea acesteia – analiza trebuie să cuprindă feedback de la artist și trebuie făcută pentru fiecare artist în parte (în cazul nostru, violonistul ne-a confirmat că starea de oboseală a început să fie remarcată odată cu repetiția 4 și a devenit mai pronunțată pentru ultimele două repetiții)

A fost măsurată amplitudinea maximă a mișcării pe axa X pentru cele 7 repetiții (diferența dintre poziția maximă și poziția minimă), parametru ce poate fi vizualizat în figura următoare.

$$\text{Amplitudine}_{maxima} = \text{Pozitie}_{x_{max}} - \text{Pozitie}_{x_{min}} \quad (19)$$

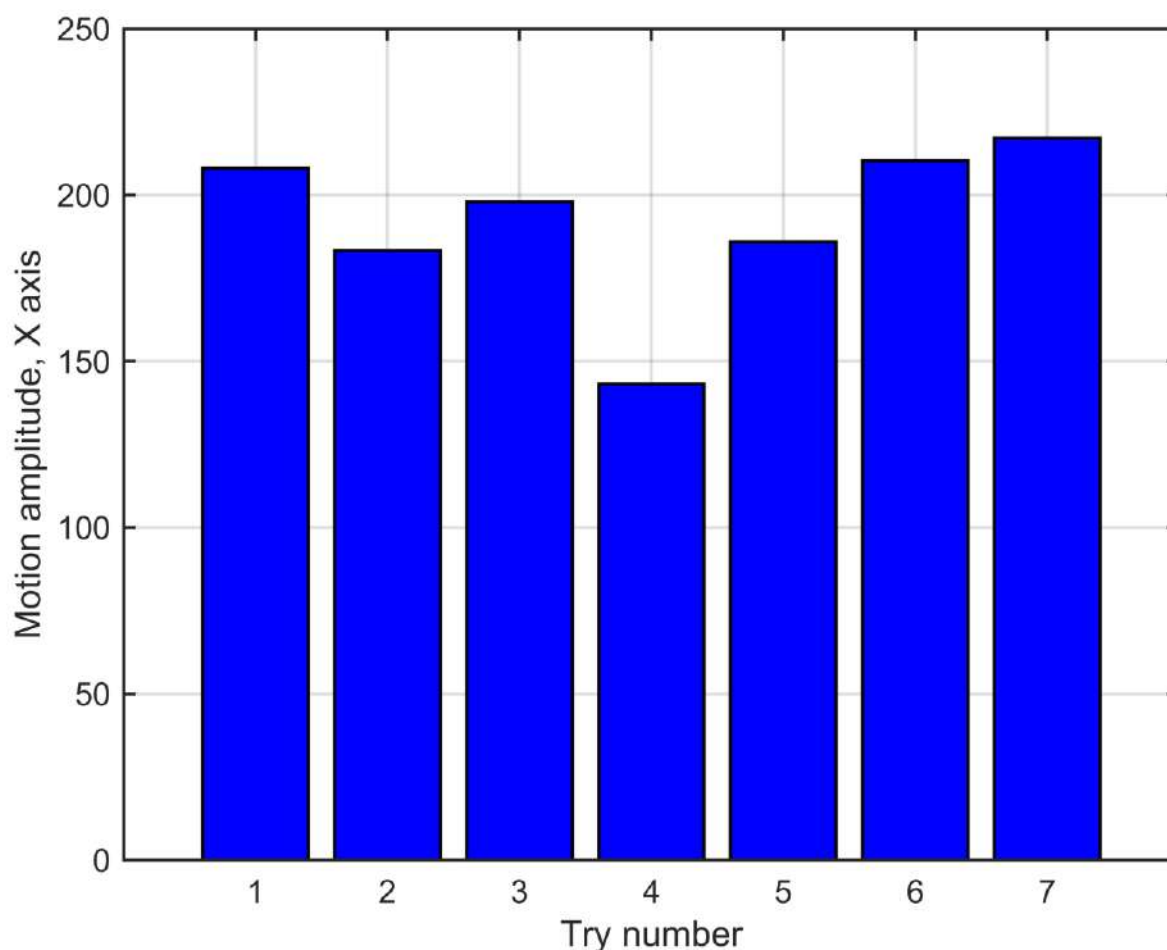


Fig. 1.56. Amplitudinea maximă a mișcării pe axa X pentru cele 7 repetiții

Se poate observa modul în care acest parametru se modifică pentru cele 7 repetiții, precum și o anumită evoluție interesantă în timp: dacă artistul a început cu o amplitudine mare a mișcării mâinii, se observă o scădere a acesteia odată cu repetiția 4 (unde artistul a

remarcat că apare oboseala) iar apoi muzicianul compensează, amplitudinea maximă crescând din nou în cazul ultimelor două repetiții.

Aspectul este susținut și de graficul dispersiei realizat pentru deplasările pe axa X, aici fiind și mai evident. Din nou se remarcă modul în care execuția ultimelor două repetiții iese în evidență față de celelalte.

$$dispersia = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (20)$$

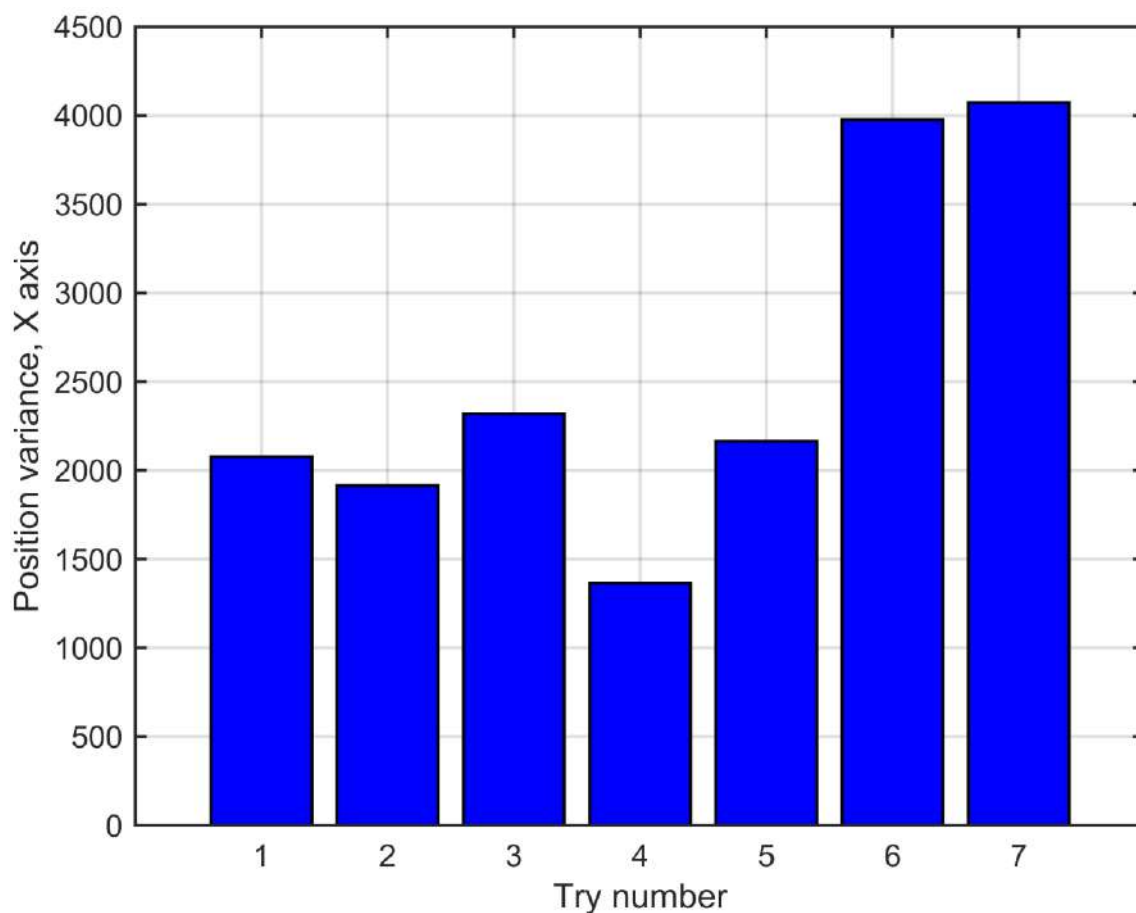


Fig. 1.57. Dispersia vectorului pozițiilor pe axa X pentru cele 7 repetiții

Parametrii din analiza de mai sus au fost urmăriți și în cazul deplasării markerului mâinii pe axa Y. Cu toate că amplitudinea mișcării pe axa Y se află, ca valori, în aceleași zone cu cele obținute pentru respectivul parametru analizat pe axa X, în acest caz graficele sunt mult mai apropiate unul față de celălalt, muzicianul având tendința de a stăpâni arcușul într-o zonă mult mai bine controlată pe această axă. Cu toate acestea, și aici se remarcă unele repetiții ca ieșind din tipar.

Valorile fiind mult mai apropiate, în analiza făcută pe axa Y se pot vedea mult mai ușor greșelile individuale care apar în timpul diferitelor execuții, ele ieșind foarte ușor în evidență.

Toate aceste aspecte sunt confirmate și de graficele amplitudinii maxime și dispersiei. Dacă vom compara valorile acestor parametri, pot fi remarcate o serie de aspecte interesante:

- dacă pe X amplitudinea minimă a mișcării este 143,11 (repetiția 4) iar cea maximă este 217,07 (repetiția 7), pe Y amplitudinea minimă a mișcării este 211.38 (repetiția 2) iar cea maximă este 236.99 (repetiția 7)
- dacă pe X dispersia minimă a valorilor este 1364,5 (repetiția 4) iar cea maximă este 4072,5 (repetiția 7), pe Y dispersia minimă a valorilor este 1466,3 (repetiția 1) iar cea maximă este 2385,3 (repetiția 3)
- execuțiile repetițiilor 6 și 7, al căror comportament iese în evidență urmărite pe direcția X, nu mai ies în evidență și pe axa Y; totuși, urmărindu-le graficele individual, se poate ușor observa că sunt foarte apropiate

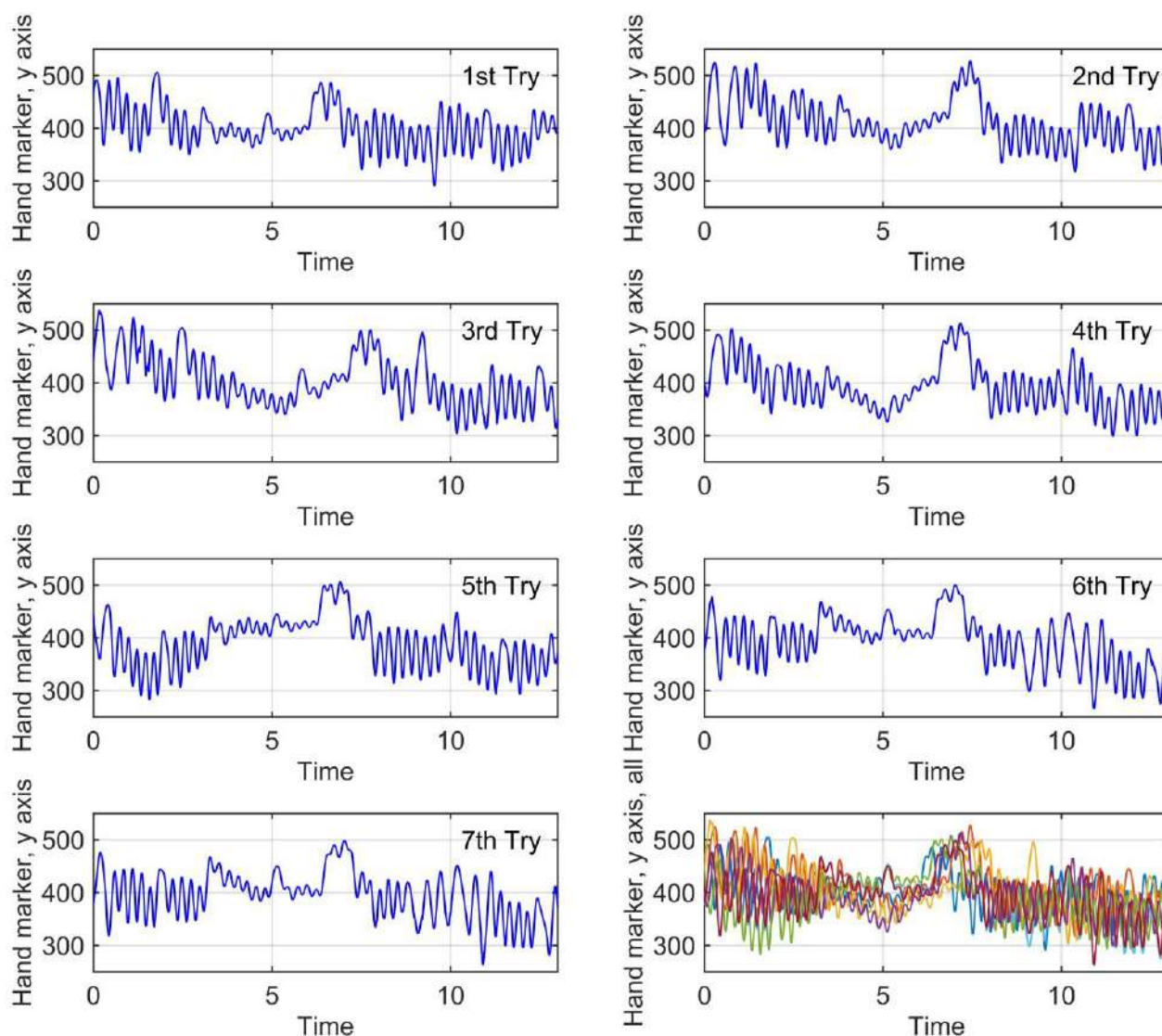


Fig. 1.58. Traiectoria markerului mâinii pe axa Y, individual pentru cele 7 repetiții și suprapus

În analiza grafică a traiectoriilor suprapuse pe axa Y, pe lângă se pot observa anumite zone demne de remarcat, notate z1 și z2 și detaliate în figurile următoare.

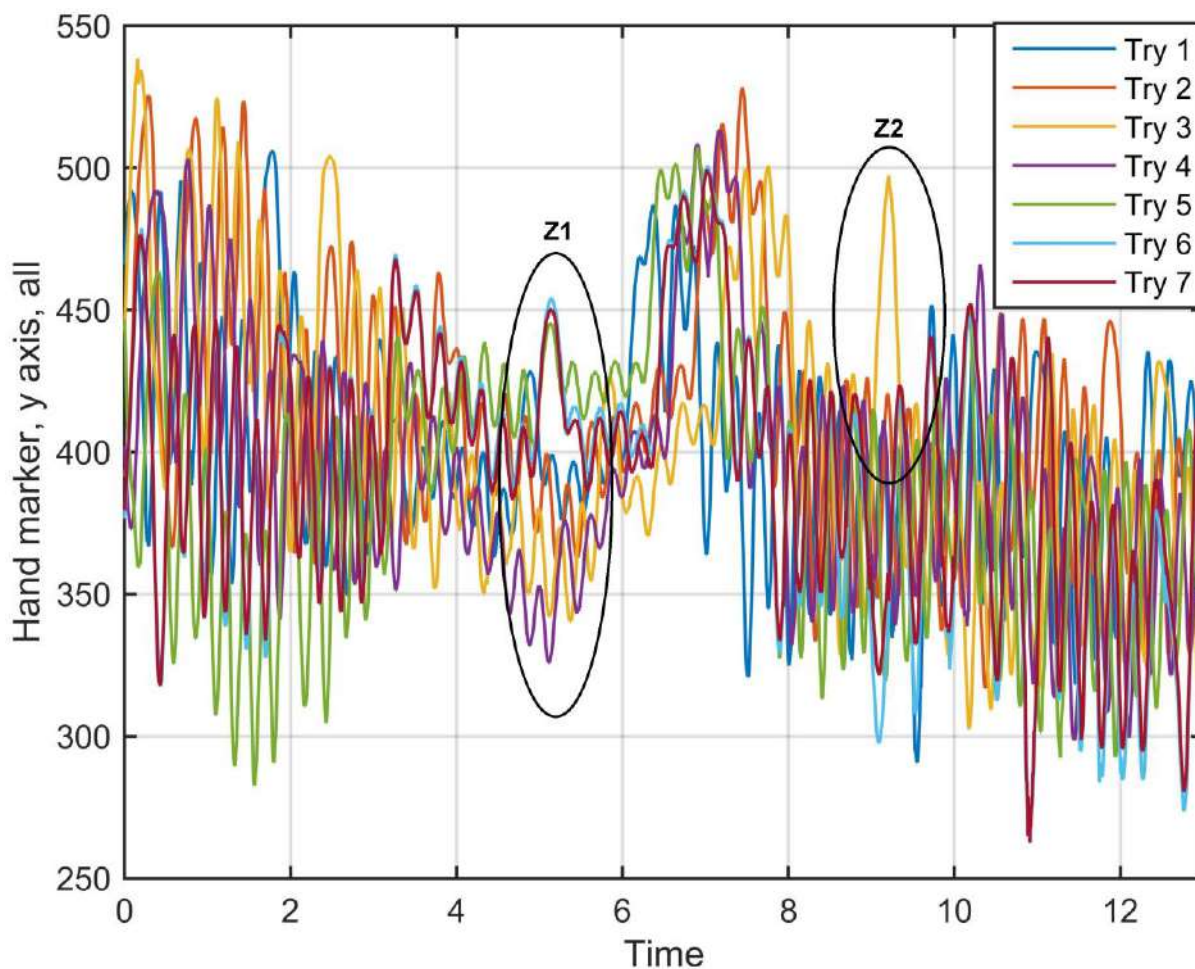
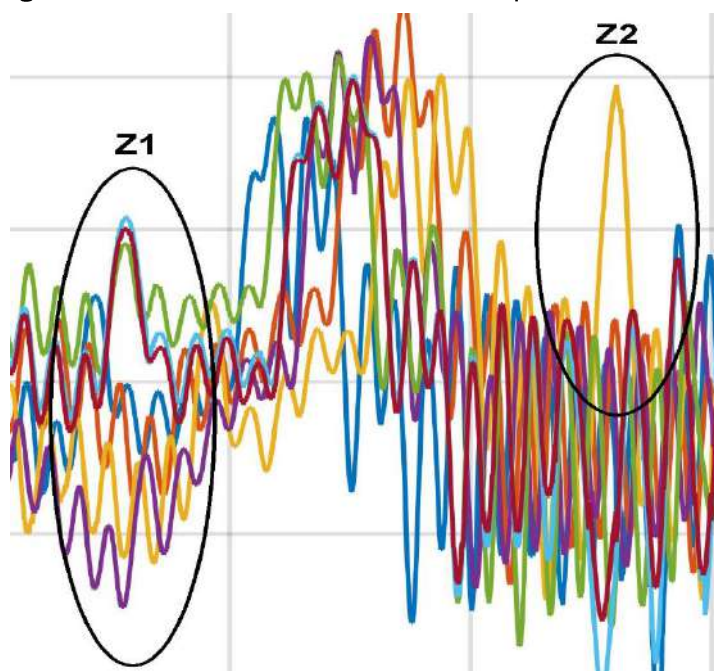


Fig. 1.59. Traiectoria markerului mâinii pe axa Y, toate cele 7 traiectorii suprapuse



Analiza pe aceste zone a fost realizată împreună cu artistul care a executat cele 7 repetiții, iar concluziile finale au fost că zona Z1 prezintă execuții diferite ale aceleiași secvențe – în 3 repetiții, mâna este ținută într-o poziție superioară pe Y, iar în celelalte 4 este preferată o altă poziție, inferioară pe axa Y, iar referitor la zona Z2, acolo a fost pur și simplu o greșeală.

Fig. 1.60. Traiectoria markerului mâinii pe axa Y, traiectorii suprapuse, zonele Z1 și Z2

În final prezentăm și graficele amplitudinii maxime și dispersiei pozițiilor realizate pentru mișcarea pe axa Y.

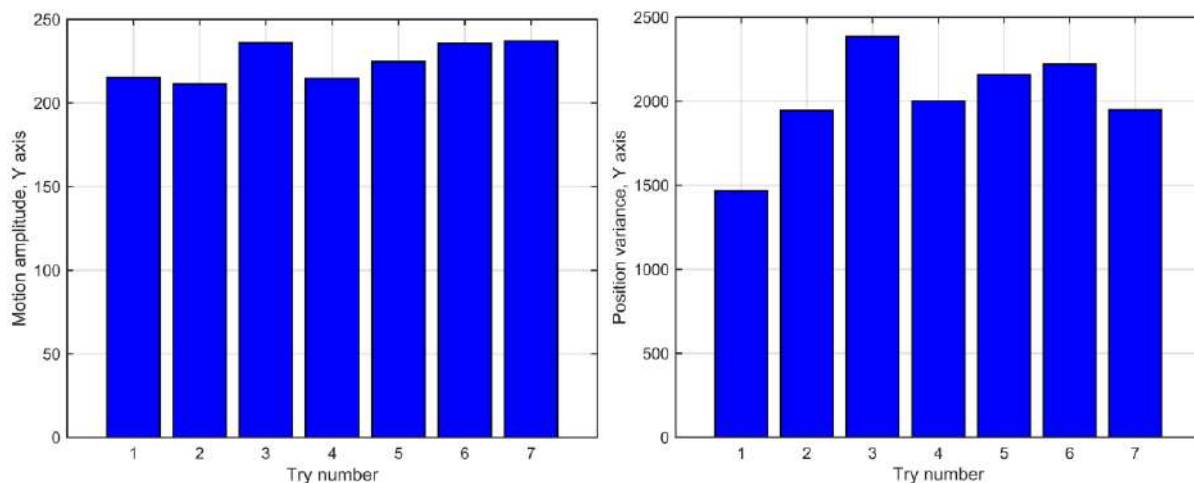


Fig. 1.61. Amplitudinea maximă a mișcării și dispersia poziției pe axa Y pentru cele 7 repetiții

În analiza mișcării cotului putem vorbi de diferențe destul de mari între execuții, lucru care se poate observa pe graficul traiectoriilor pe axa X, suprapuse.

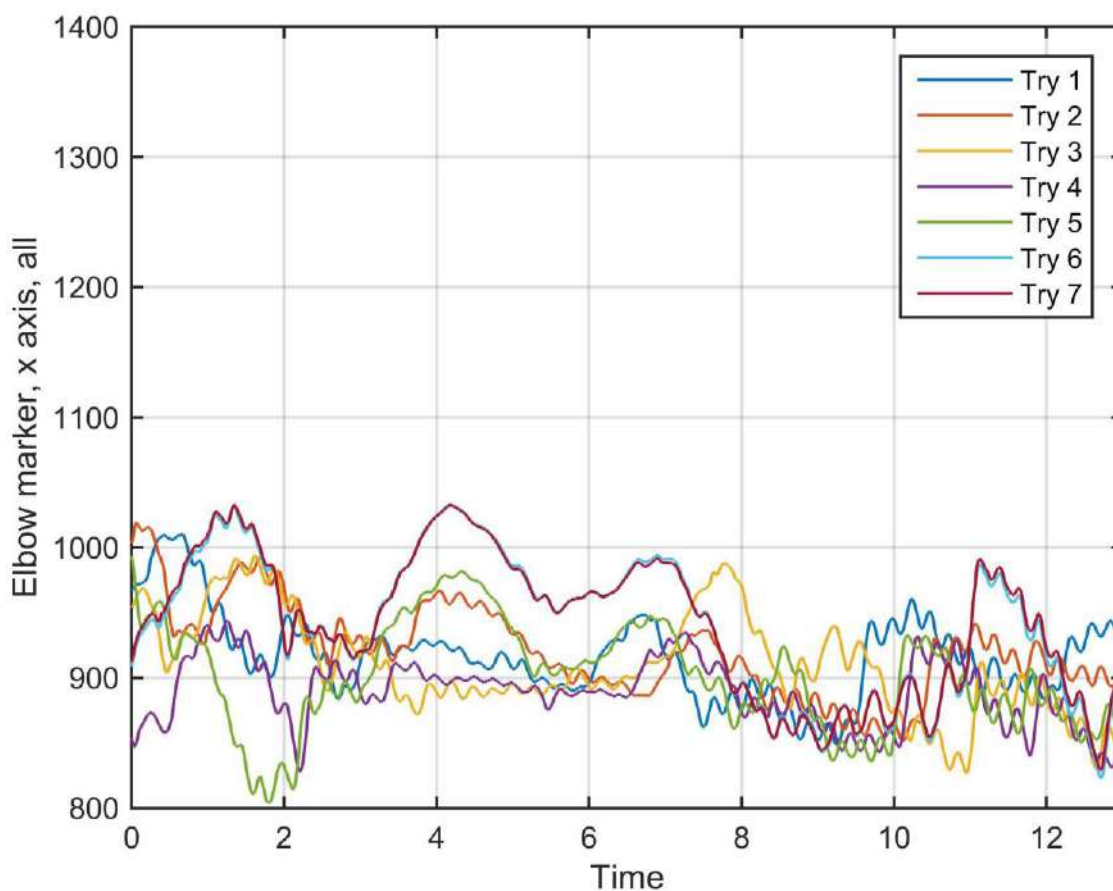


Fig. 1.62. Traiectoria markerului cotului pe axa X, toate cele 7 traiectorii suprapuse

Cu toate acestea, după cum era de așteptat, cele două repetiții finale (a 6-a și a 7-a) sunt și în acest caz foarte apropiate una față de cealaltă. Observând forma graficelor, este destul de evidentă prezentă a secțiunilor dar pe de-o parte cu diferențe destul de mari în ceea ce privește modul în care sunt executate, din punct de vedere al mișcării cotului, respectivele secțiuni, iar pe de altă parte cu o consistență în ceea ce privește momentul de ieșire dintr-o secțiune / momentul la care se intră într-o secțiune nouă.

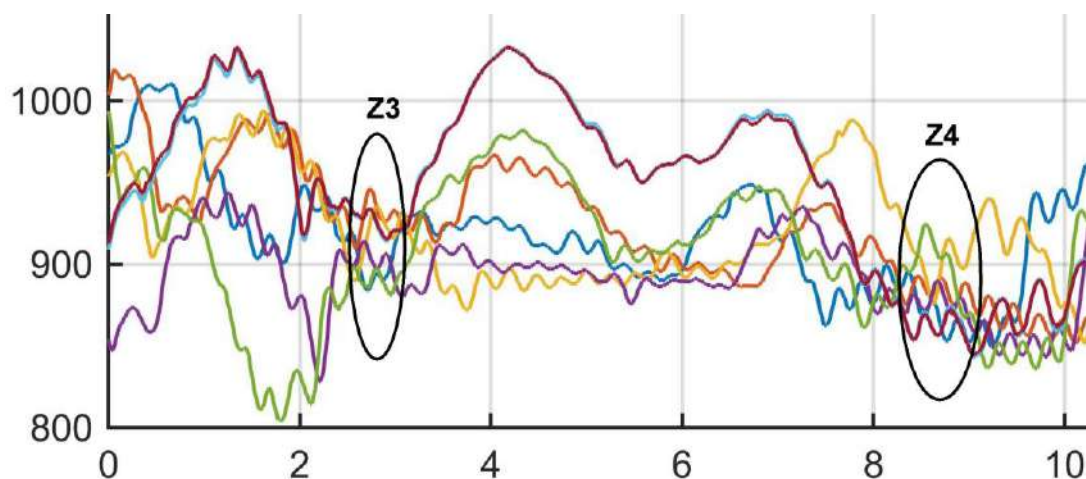


Fig. 1.63. Zonele Z3 și Z4

Chiar dacă secțiunile muzicale sunt executate cu cotul generând traiectorii diferite între repetiții pe axa X, zonele Z3 și Z4, în care se realizează trecerea între secțiunile muzicale, sunt consistente pentru cele 7 repetiții.

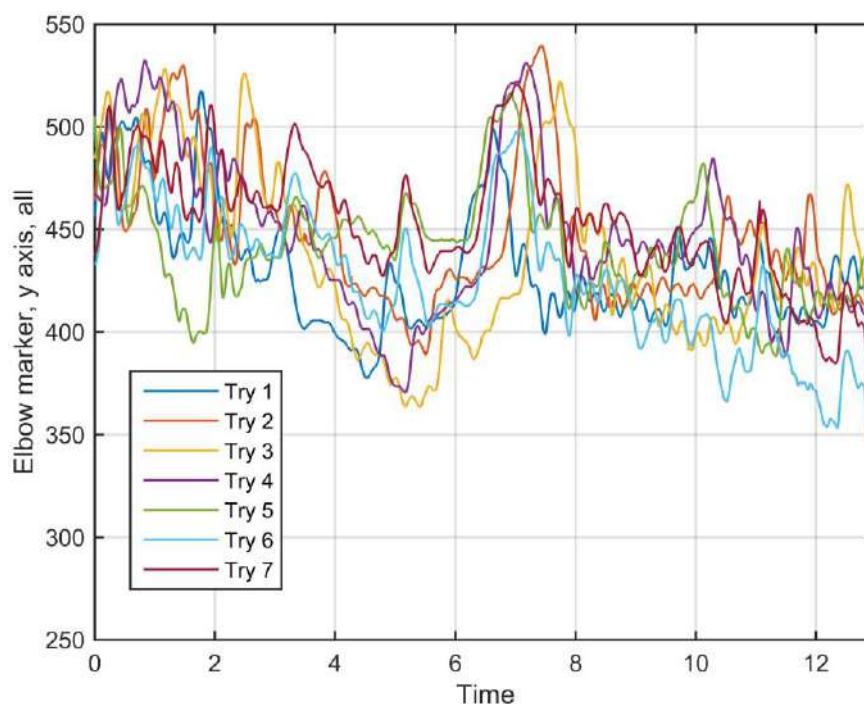


Fig. 1.64. Traiectoria markerului cotului pe axa Y, toate cele 7 traiectorii suprapuse

Din punct de vedere al amplitudinii maxime a mișcărilor cotului și a dispersiilor pozițiilor, atât pe axa X, cât și pe axa Y, s-au obținut o serie de rezultate:

- valoarea minimă a amplitudinii maxime a mișcării pe X a fost de 115,94, obținută la repetiția a 4-a, iar cea maximă a fost de 209,68, obținută la repetiția a 6-a, diferența fiind mai mare decât în cazul valorilor pentru articulația mâinii

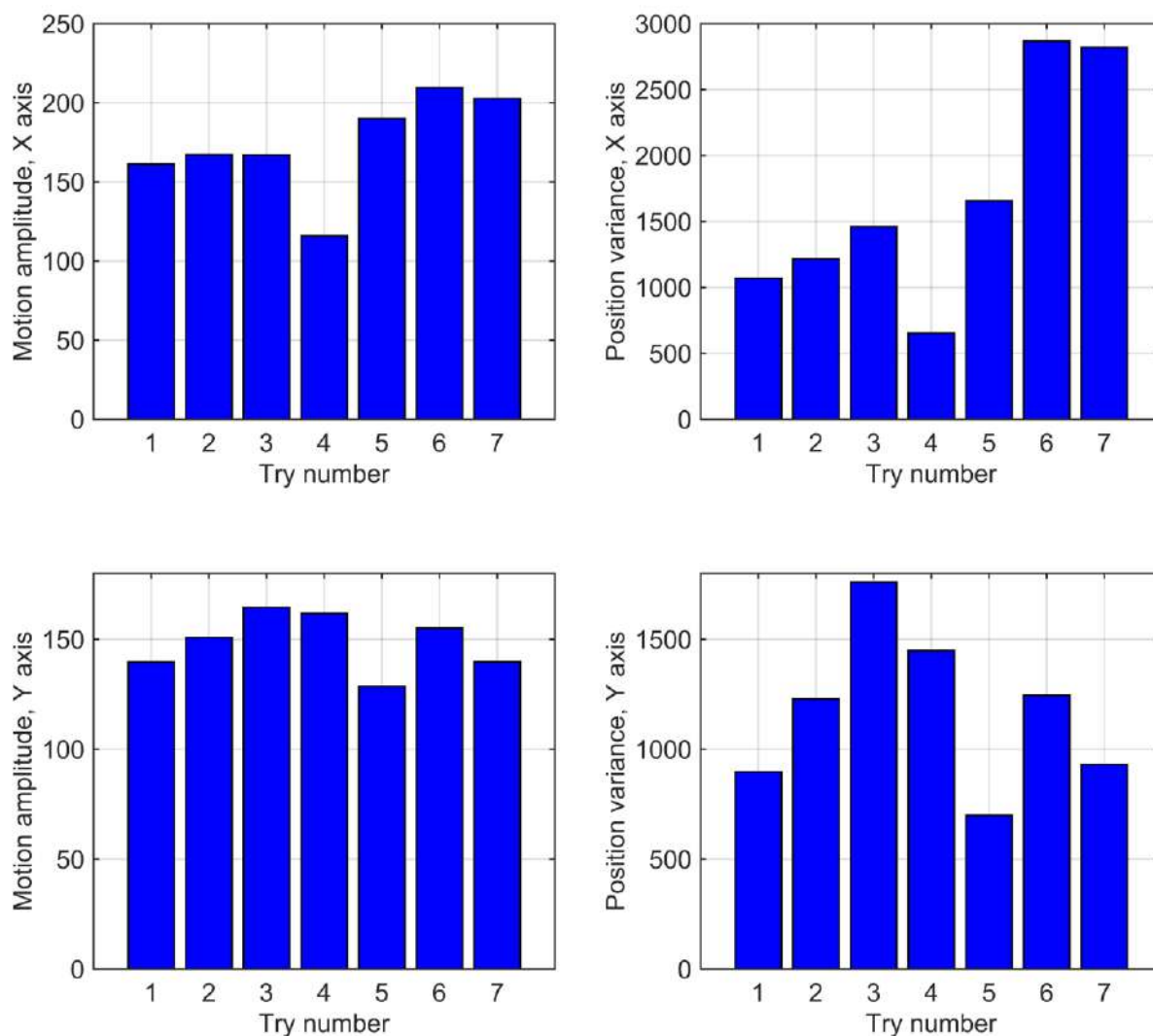


Fig. 1.65. Amplitudinea maximă a mișcării și dispersia poziției pe axa X (sus) și pe axa Y (jos) pentru cele 7 repetiții, markerul cotului

- valoarea minimă a amplitudinii maxime a mișcării pe Y a fost de 128,66, obținută la repetiția a 5-a, iar cea maximă a fost de 164,54, obținută la repetiția a 3-a, diferența fiind de asemenea mai mare decât în cazul valorilor pentru articulația mâinii
- dispersia maximă a valorilor pozițiilor pe axa X pentru cot a fost de 2867,6, raportată la repetiția a 6-a, iar valoarea minimă a fost de 653,8, înregistrată la repetiția a 4-a,

valori semnificativ mai mici decât cele înregistrate pentru articulația mâinii urmărită pe axa X

- dispersia maximă a valorilor pozițiilor pe axa Y pentru cot a fost de 1760,1, raportată la repetiția a 3-a, iar valoarea minimă a fost de 699,4, înregistrată la repetiția a 5-a, valori semnificativ mai mici decât cele înregistrate pentru articulația mâinii urmărită pe axa Y

Se poate observa cum variațiile mari apar în zona repetițiilor 4 și 5, adică acolo unde muzicianul a raportat instalarea stării de ușoară oboseală.

Inițial, analiza din punct de vedere al markerului umărului s-a bazat pe ideea că umărul e un reper relativ stabil, interesul existând mai mult asupra mișcării pe axa X – o mișcare foarte vizibilă pe axa X poate reprezenta tendința de a se balansa de pe un picior pe altul. Cu toate acestea, am observat și alte tendințe pentru unii dintre participanții la studiu, și anume de a se apleca în timpul repetiției, aspect care se va vedea mai bine în analiza comparativă a subiecților.

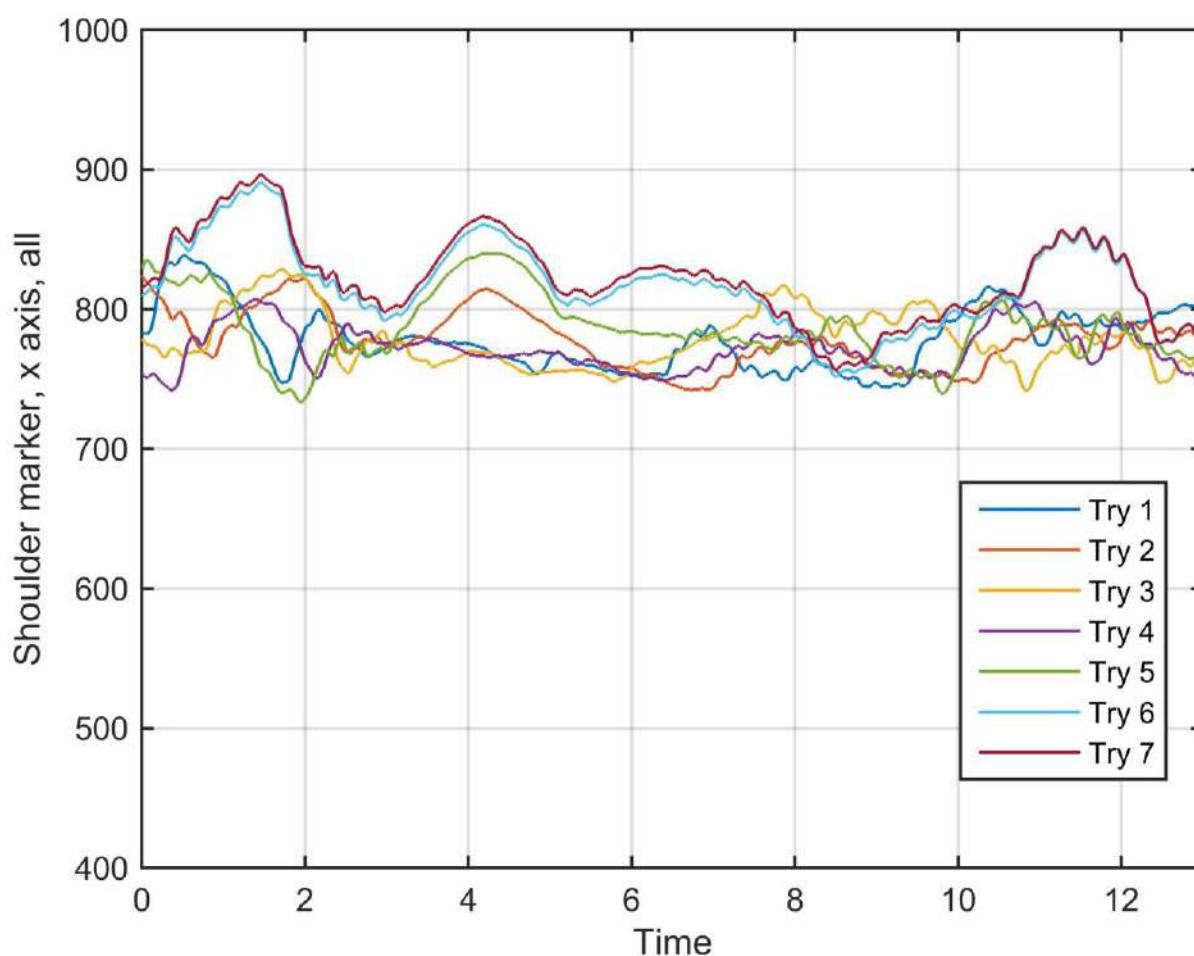


Fig. 1.66. Traiectoria markerului umărului pe axa X, toate cele 7 traiectorii suprapuse

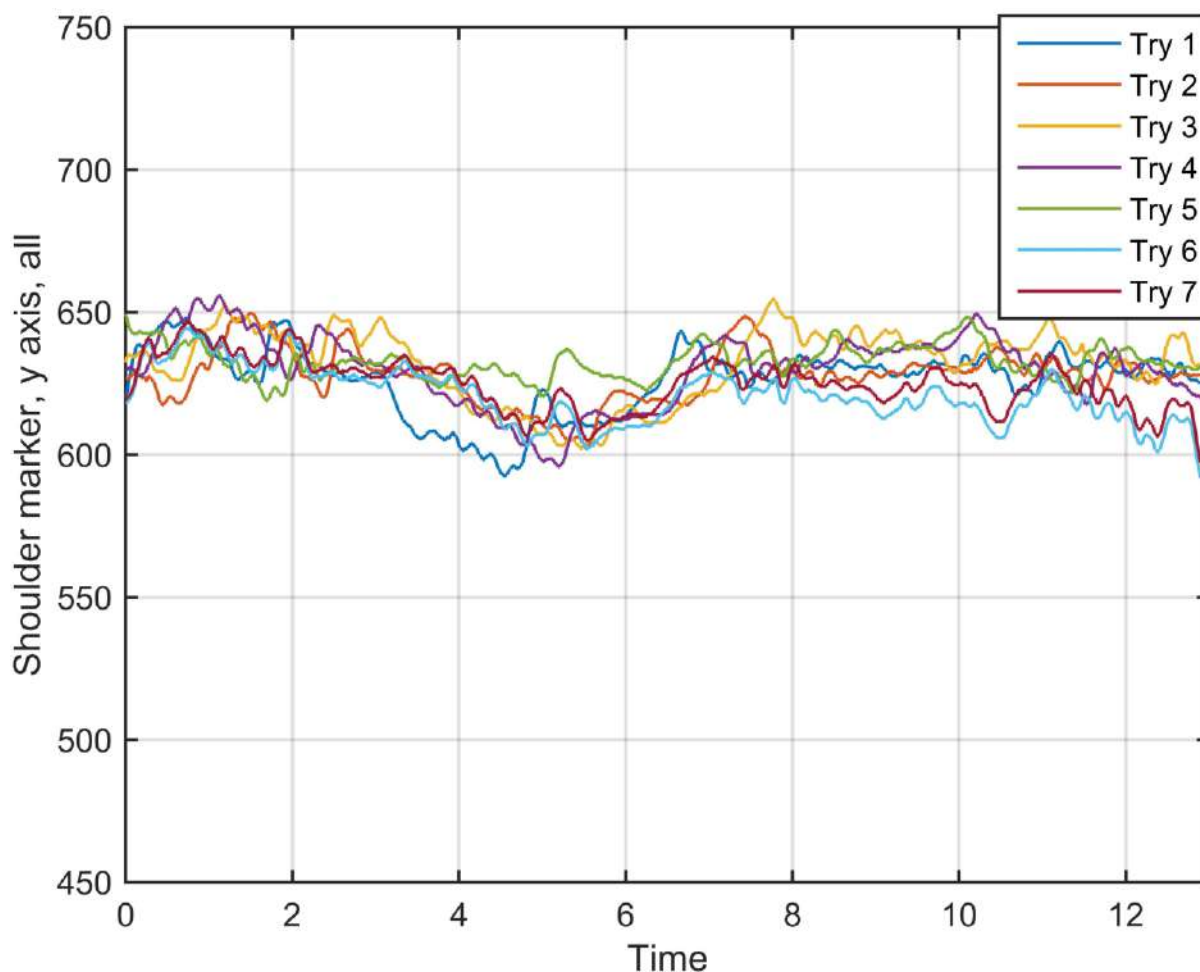


Fig. 1.67. Traiectoria markerului umărului pe axa X, toate cele 7 traiectorii suprapuse.

Se poate observa că mișcarea pe axa Y este foarte limitată, pentru toate cele 7 repetiții.

După cum era de așteptat, pentru umăr, valorile pentru amplitudinile maxime ale mișcărilor umărului și a dispersiilor pozițiilor acestuia, atât pe axa X, cât și pe axa Y, au fost cele mai mici:

- valoarea minimă a amplitudinii maxime a mișcării pe X a fost de 64,67, obținută la repetiția a 4-a, iar cea maximă a fost de 140,1, obținută la repetiția a 7-a
- valoarea minimă a amplitudinii maxime a mișcării pe Y a fost de 30,66, obținută la repetiția a 5-a, iar cea maximă a fost de 60,24, obținută la repetiția a 4-a
- dispersia maximă a valorilor pozițiilor pe axa X pentru cot a fost de 996,5, raportată la repetiția a 7-a, iar valoarea minimă a fost de 237,7, înregistrată la repetiția a 4-a
- dispersia maximă a valorilor pozițiilor pe axa Y pentru cot a fost de 162,6, raportată la repetiția a 3-a, iar valoarea minimă a fost de 33,9, înregistrată la repetiția a 5-a

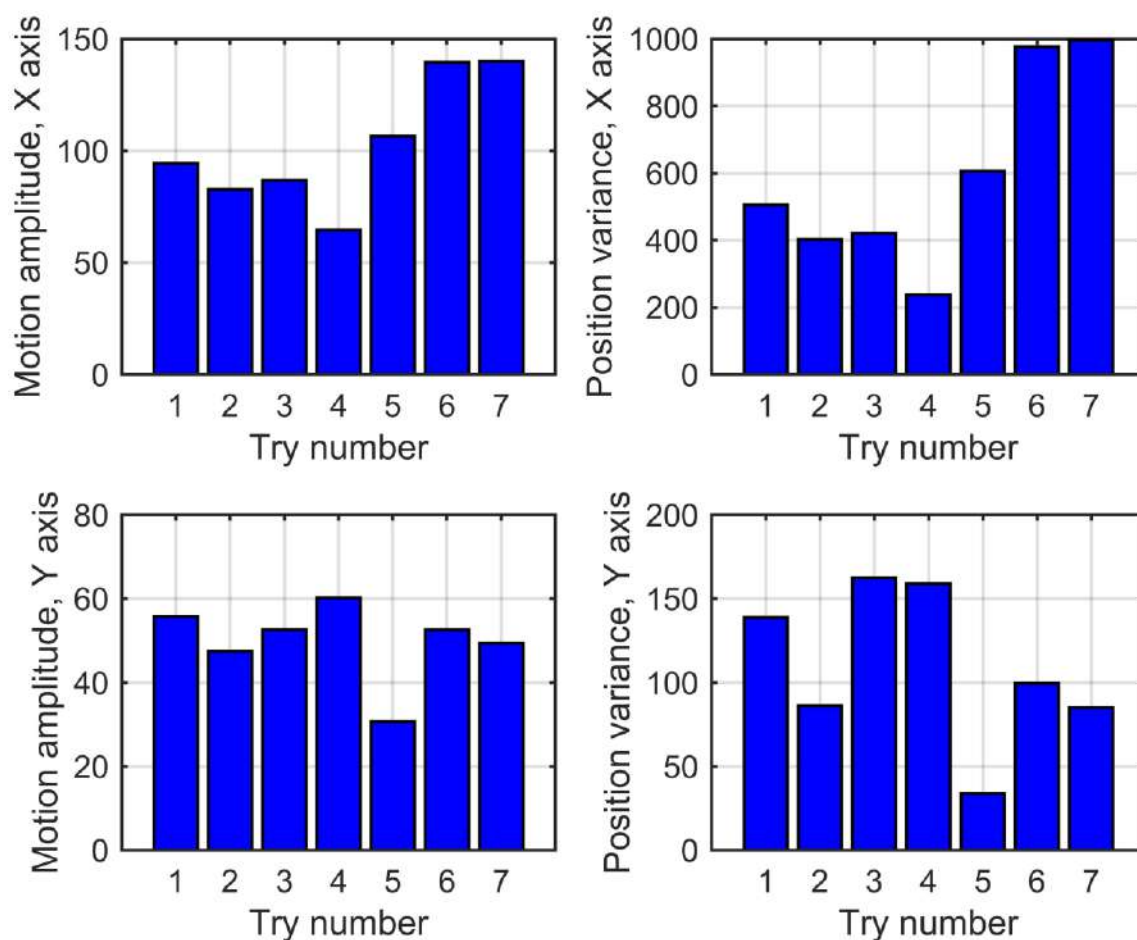


Fig. 1.68. Amplitudinea maximă a mișcării și dispersia poziției pe axa X (sus) și pe axa Y (jos) pentru cele 7 repetiții, markerul umărului

O analiză dintr-o altă perspectivă ia în calcul unghiul creat între braț și antebrăț, pe durata mișcării [87-89]. Având coordonatele markerilor încheieturii mâinii, cotului și umărului, se poate defini un triunghi cu acestea iar unghiul se poate calcula folosind teorema cosinusului.



Fig. 1.69. Unghiul cotului – dintre braț și antebrăț

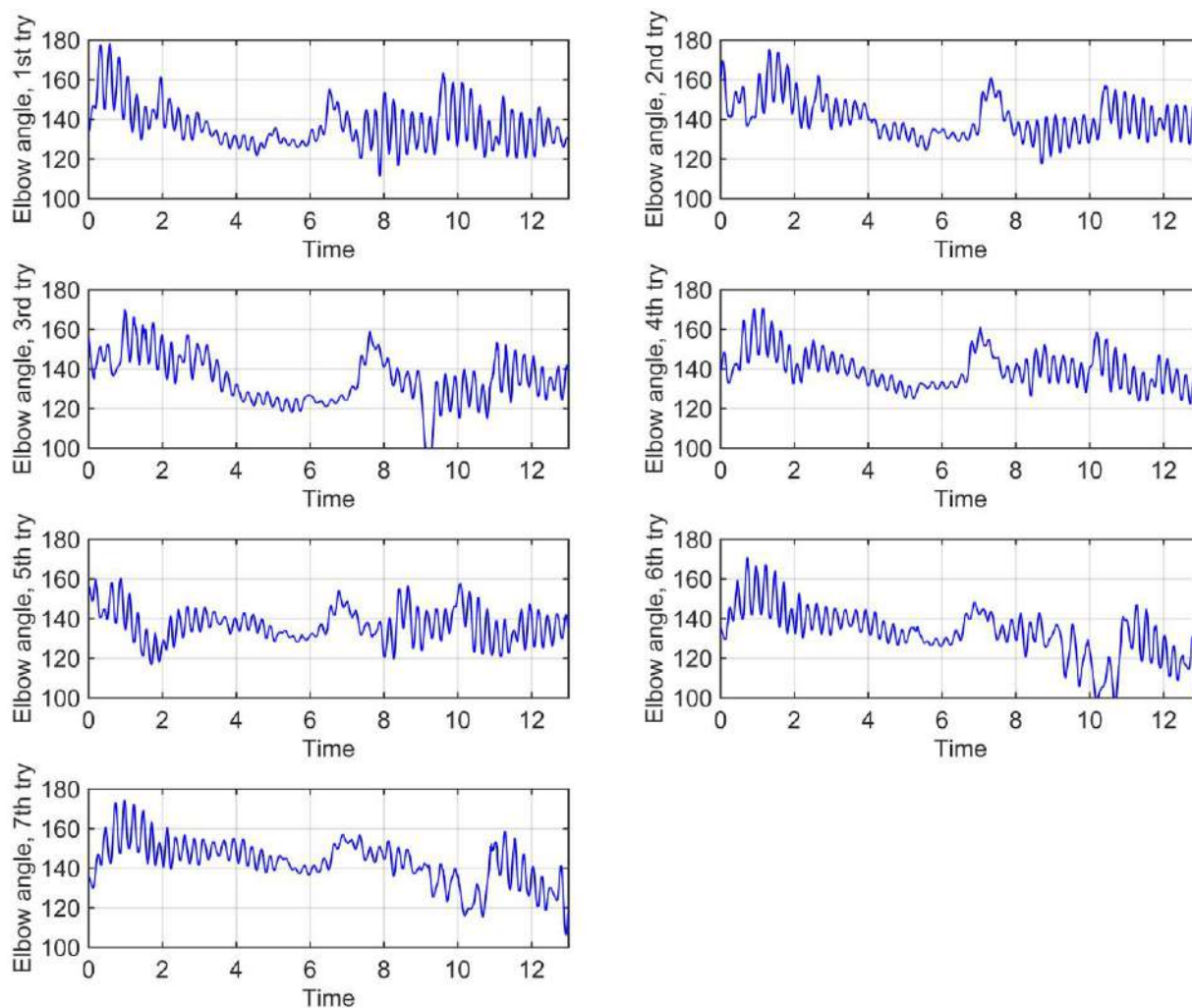


Fig. 1.70. Unghiul cotului (dintre braț și antebrăț), 7 repetiții

Simpla urmărire a graficelor a acestui unghi realizate în timp ne poate îndrepta spre o serie de observații:

- fragmentul muzical s-ar putea împărți pe segmente, delimitate destul de clar, pe baza acestui unghi
- există multe elemente comune, stabile în evoluția temporală a unghiului, dar există și diferențe între repetiții
- unghiul este un alt indicator bun pentru a scoate în evidență nesincronizări, eventuale greșeli etc.
- având în vedere că înglobează pozițiile tuturor celor 3 markeri, unghiul e un bun parametru pentru a realiza comparații între diferiți muzicieni care execută aceeași secvență muzicală

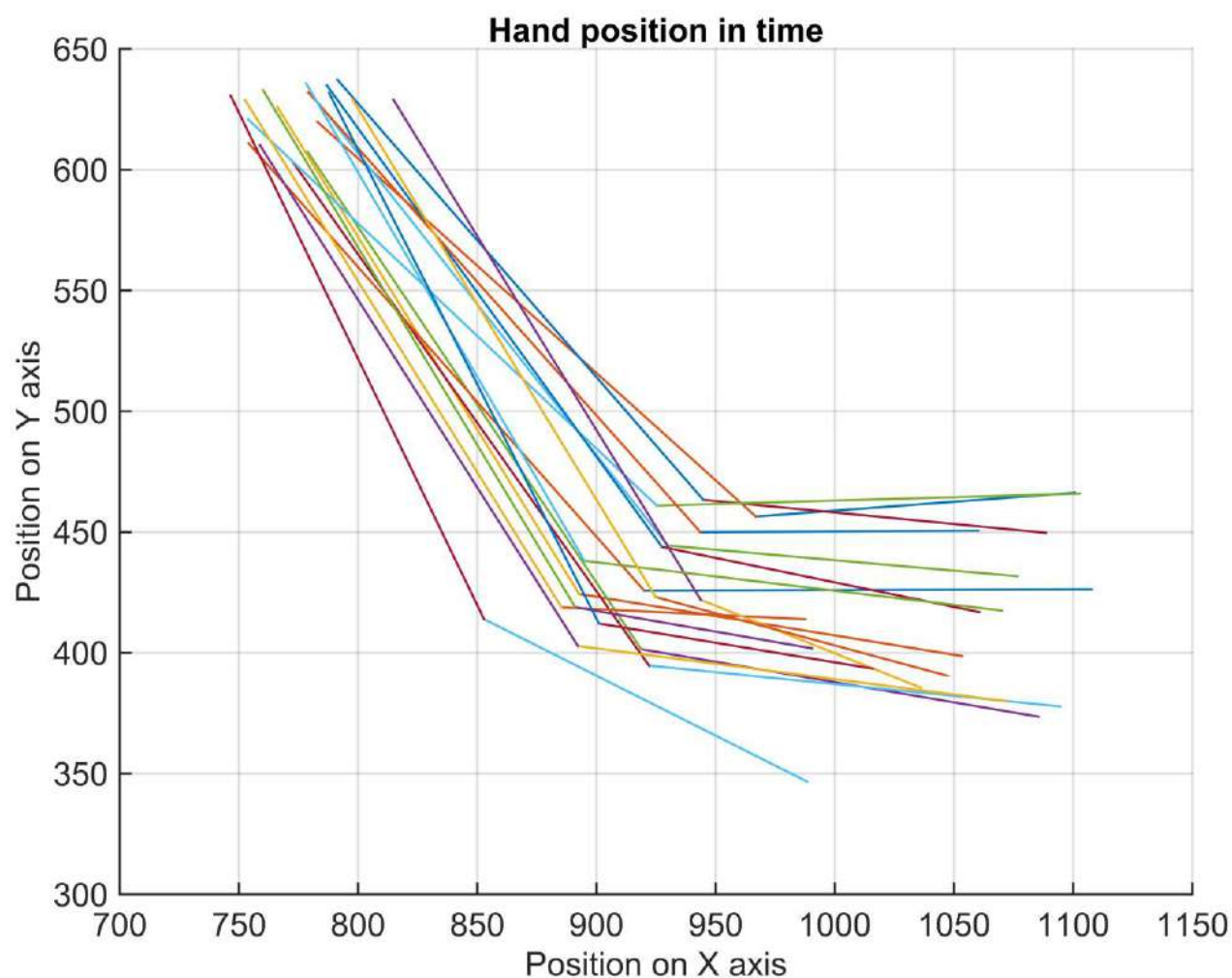


Fig. 1.71. Poziția mâinii în timp, capturi extrase la o distanță de 125 de cadre (aproximativ 0,695 secunde)

Pentru a avea o imagine mai bună despre modul în care a fost executată fiecare repetiție, aspecte comune și diferite între acestea, particularități, am folosit o serie de parametri statistici.

Astfel, unghiul cotului are o variație minimă de 43,88 grade, regăsită la a 5-a repetiție, și o variație maximă de 88,35 grade, regăsită la a 3-a repetiție. De notat că, atunci când s-a instalat ușoara oboseală, variația unghiului cotului a scăzut, repetițiile 4 și 5 având cele mai mici valori. Acest aspect se poate observa urmărind și dispersia valorilor unghiului cotului, care pentru repetiția a 4-a este de 82,72, pentru a 5-a de 69,01, având însă un maxim de 161,92, întâlnit la a treia repetiție.

Interpretarea acestor parametri este aceea că, odată cu instalarea unei forme ușoare de oboseală, muzicianul are tendința de a deschide mai puțin cotul, de a realiza mișcări mai

puțin ample. După ce nevoia de a compensa oboseala e conștientizată, valorile parametrilor amintiți mai sus revin într-o zonă, să zicem, normală.

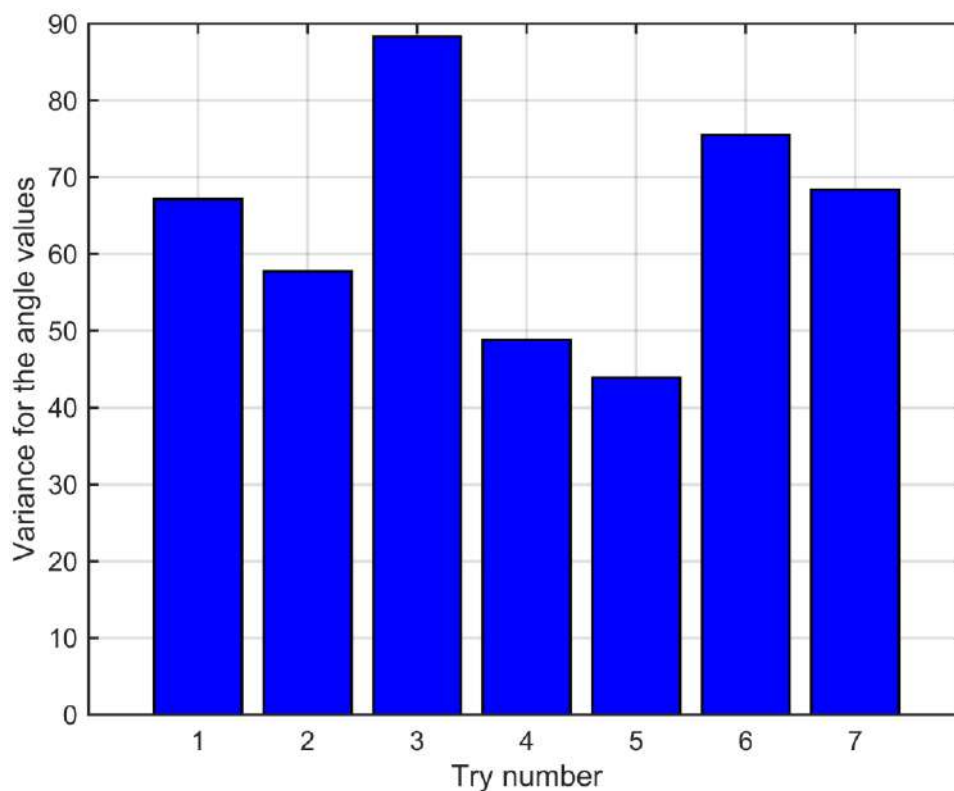


Fig. 1.72. Amplitudinea maximă a valorilor unghiului cotului pentru cele 7 repetiții

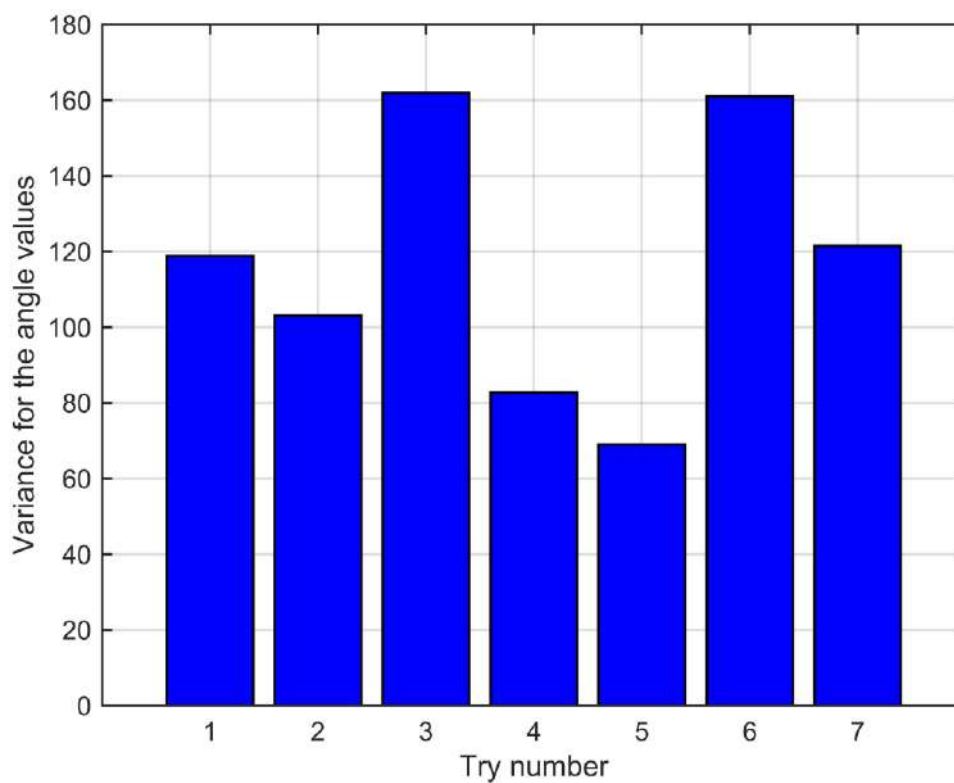


Fig. 1.73. Dispersia valorilor unghiului cotului pentru cele 7 repetiții

1.6.2. Studiu comparativ pe 6 interpreți

Pe baza parametrilor abordați și urmărind ideile studiului pe un singur interpret, au fost comparate câte 3 repetiții aparținând celor 6 interpreți diferiți care au luat parte la studiu. Primul interpret este același care a fost analizat în studiul individual și, datorită experienței și faptului că e un interpret profesionist (profesor de vioară și membru activ al Filarmonicii din Brașov), prestația acestui subiect va fi luată ca etalon în analiza noastră. Ceilalți 5 interpreți sunt studenți, cu vârste cuprinse între 18 și 22 de ani, trei de sex masculin și 2 de sex feminin.

În figura de mai jos prezentăm markerul încheieturii mâinii pe axa X, pentru cei 6 subiecți, realizând fiecare câte 3 repetiții.

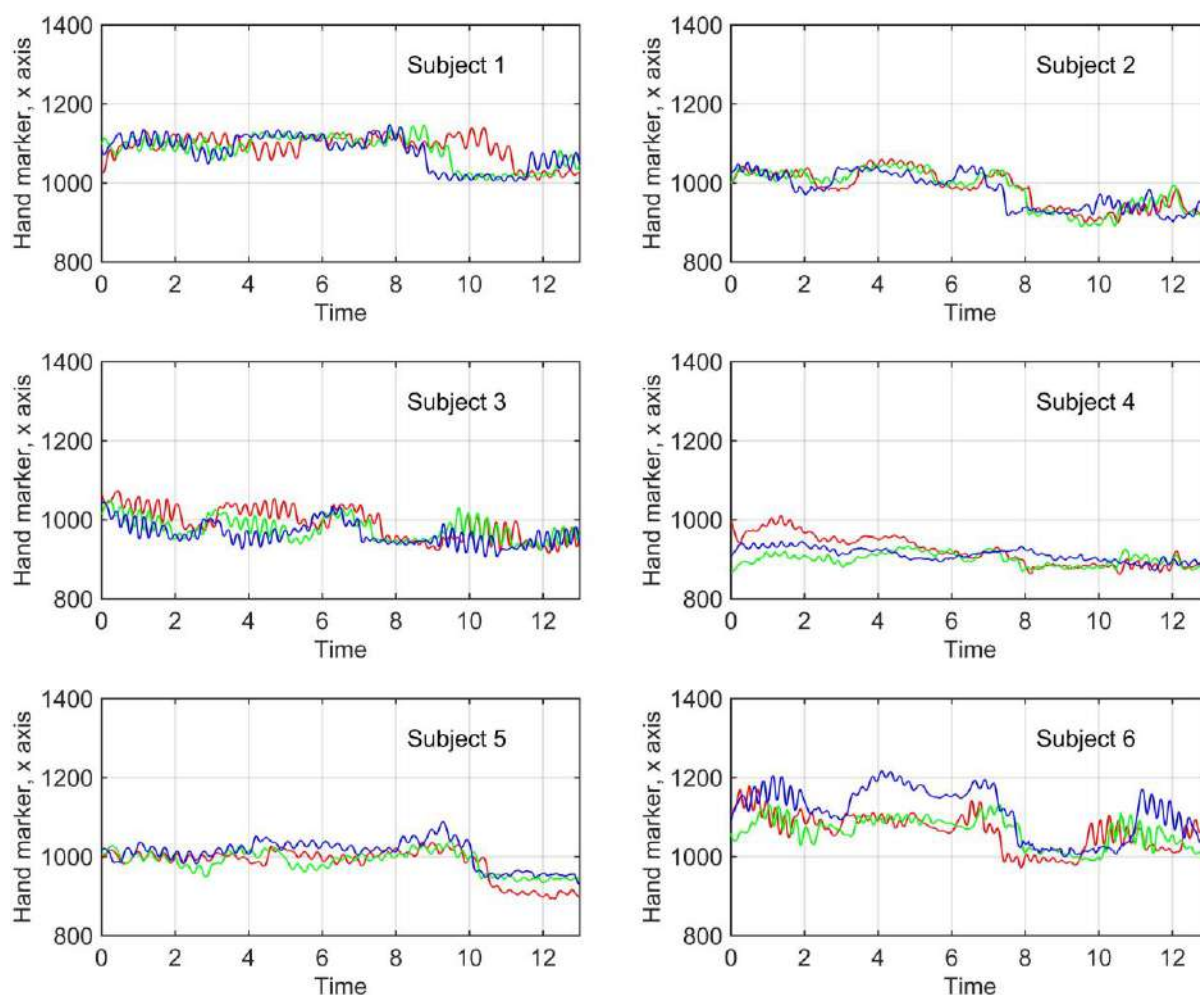


Fig. 1.74. Markerul încheieturii mâinii, pe axa X, comparativ, pentru cei 6 subiecți

Repetițiile sunt, în ordine, cu roșu prima repetiție, cu verde a 4-a repetiție (de la mijlocul experimentului) și cu albastru ultima repetiție, de la final

După cum am spus, artistul de referință este subiectul 6, ceilalți fiind studenți la vioară. Analizând graficele se pot trage o serie de concluzii:

- amplitudinea de deplasare a mâinilor studenților este mai mică decât cea a subiectului de referință, studenții au tendința să miște mai puțin mâna
- pentru o parte din studenți (subiecții 1, 2 și 3) forma traiectoriei deplasării mâinii se apropie de cea a subiectului de referință, pe când subiecții 4 și 5 prezintă un stil propriu de acționare a arcușului, posibil deficitar
- există o serie de diferențe între execuțiile repetițiilor diferite pentru fiecare subiect

Au fost calculate amplitudinile maxime ale mișcării mâinii precum și dispersiile pentru fiecare repetiție a fiecărui subiect.

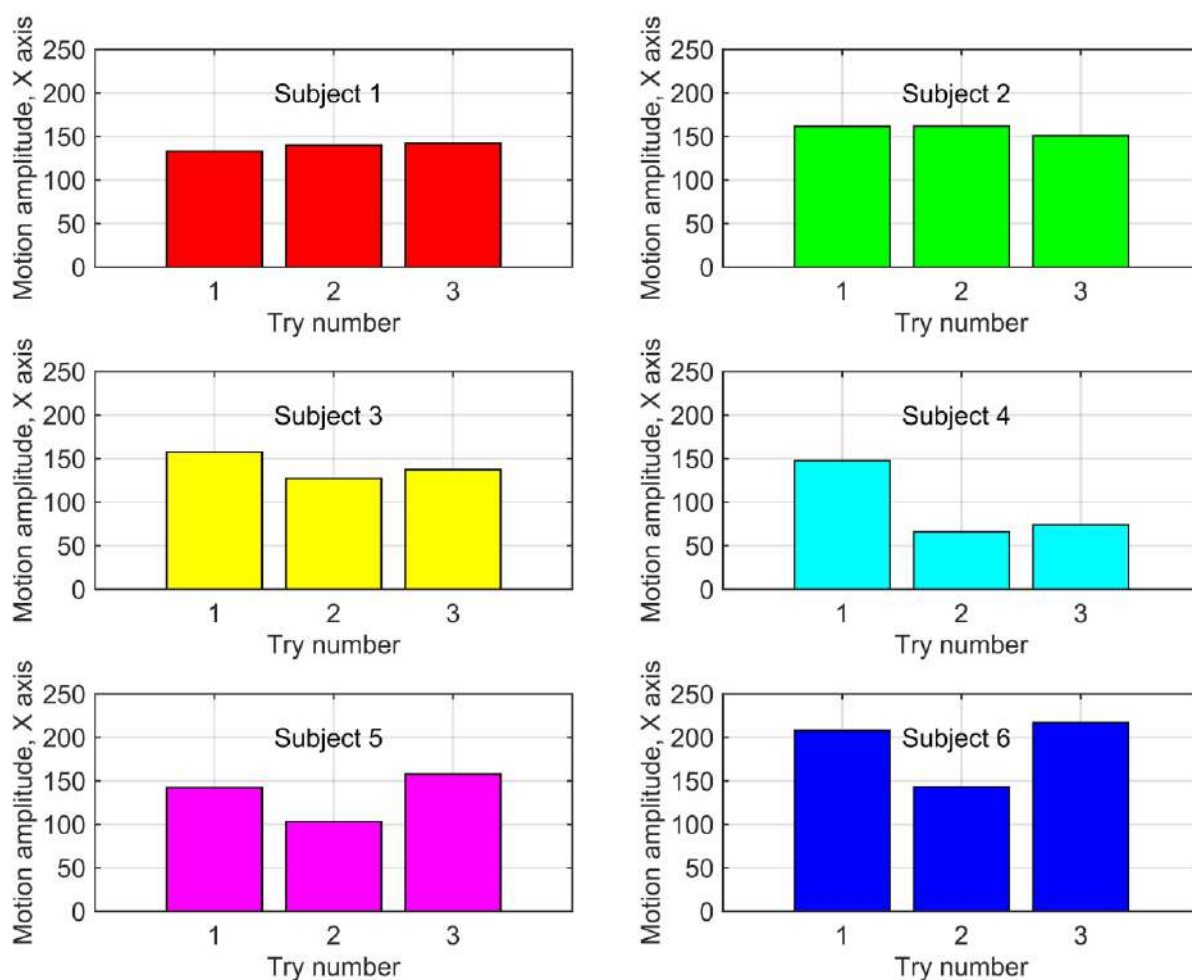


Fig. 1.75. Amplitudinea maximă pentru markerul încheieturii mâinii, pe axa X

Pentru amplitudinea mișcării mâinii se poate vedea că, pentru subiecții 3,4,5 și subiectul de referință, există o „cădere” la repetiția a 4-a (se instalează o stare de oboseală), pe care subiecții 5 și 6 o compensează mai mult, pe când subiecții 3 și 4 foarte puțin. Subiecții 1 și

2 își păstrează, cu ușoare variații, ritmul inițial. Aceste aspecte sunt mai bine vizibile în graficul comparativ al dispersiei pozițiilor markerului mâinii pe axa X.

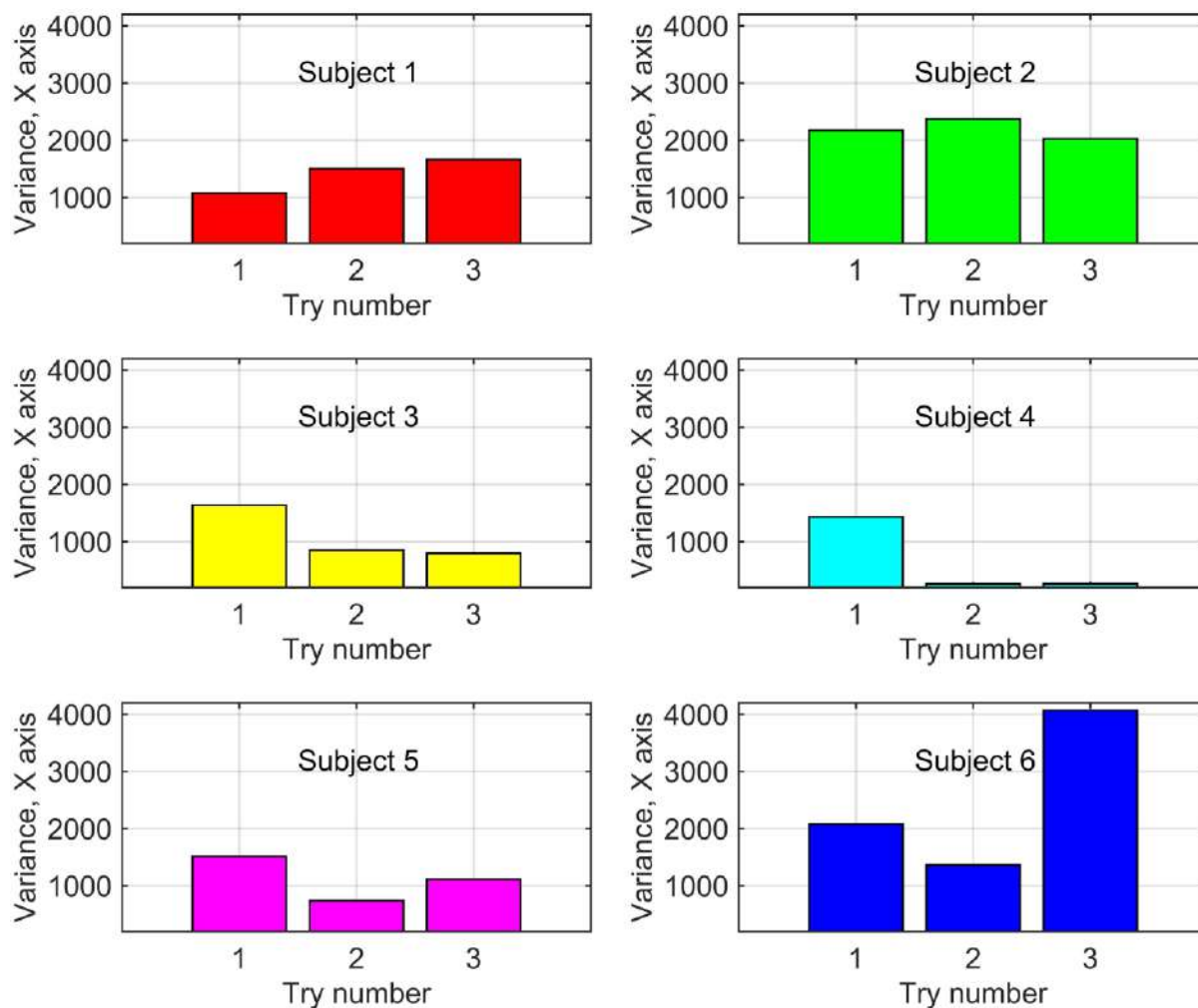


Fig. 1.76. Dispersia pentru markerul încheieturii mâinii, pe axa X

Pentru o imagine mai bună, fiecare dintre cei 5 studenți au fost comparați, pentru acest marker, cu subiectul considerat de referință, repetiție cu repetiție. Ca idee de bază, ne interesează în principal forma traiectoriei, nu este necesar ca graficele celor comparați să se suprapună – zona în care se află fiecare traiectorie are legătură cu lungimea segmentelor corporale ale subiectului în cauză.

Pentru primul subiect, se observă cele mai multe diferențe în zona secundelor 7.5 – 11, unde există o trecere între cele două secvențe. Dacă pentru subiectul de referință (cu albastru) trecerile sunt consistente între repetiții, primul subiect (reprezentat cu roșu) fie nu realizează aceste treceri foarte eficient, fie le realizează mai târziu.

Pentru al doilea subiect, forma graficelor este asemănătoare cu cea a subiectului de referință, chiar dacă există ușoare variații – aceasta denotă o tehnică bună.

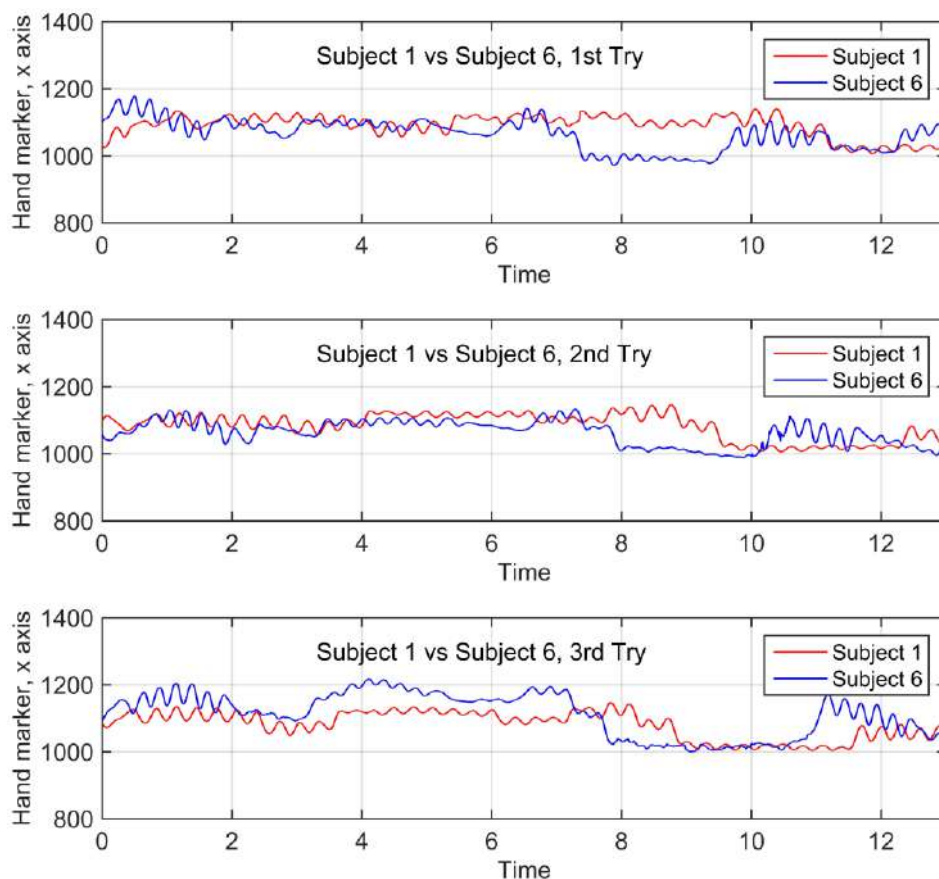


Fig. 1.77. Comparație între subiectul 1 și subiectul de referință, mână, axa X, 3 repetiții

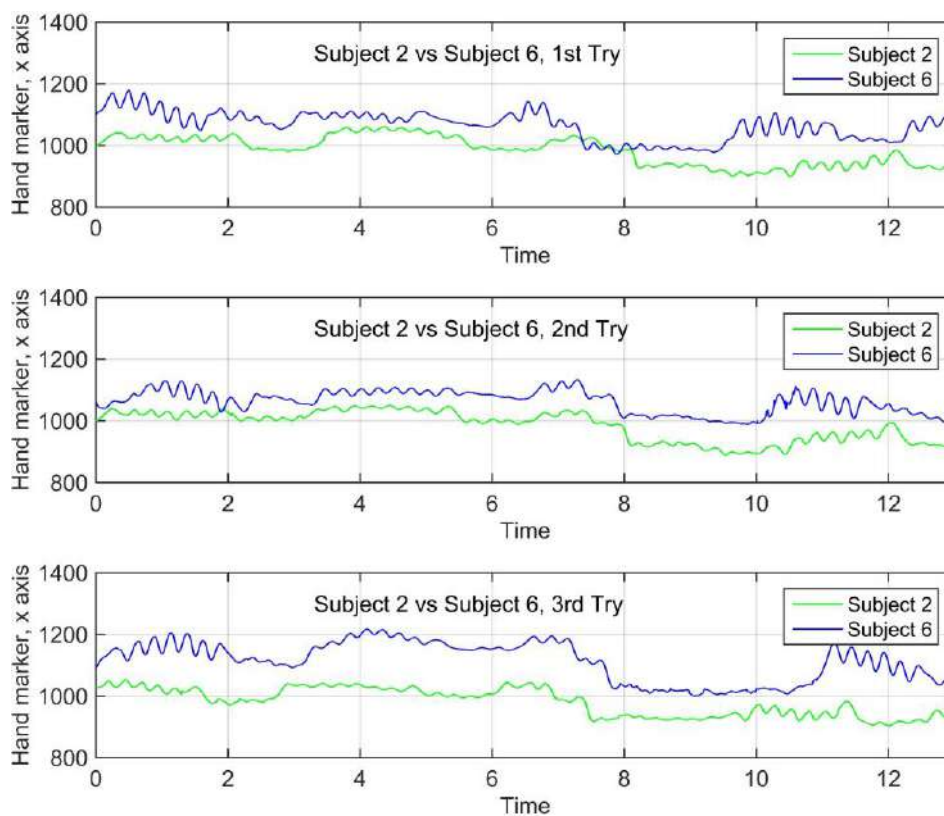


Fig. 1.78. Comparație între subiectul 2 și subiectul de referință, mână, axa X, 3 repetiții

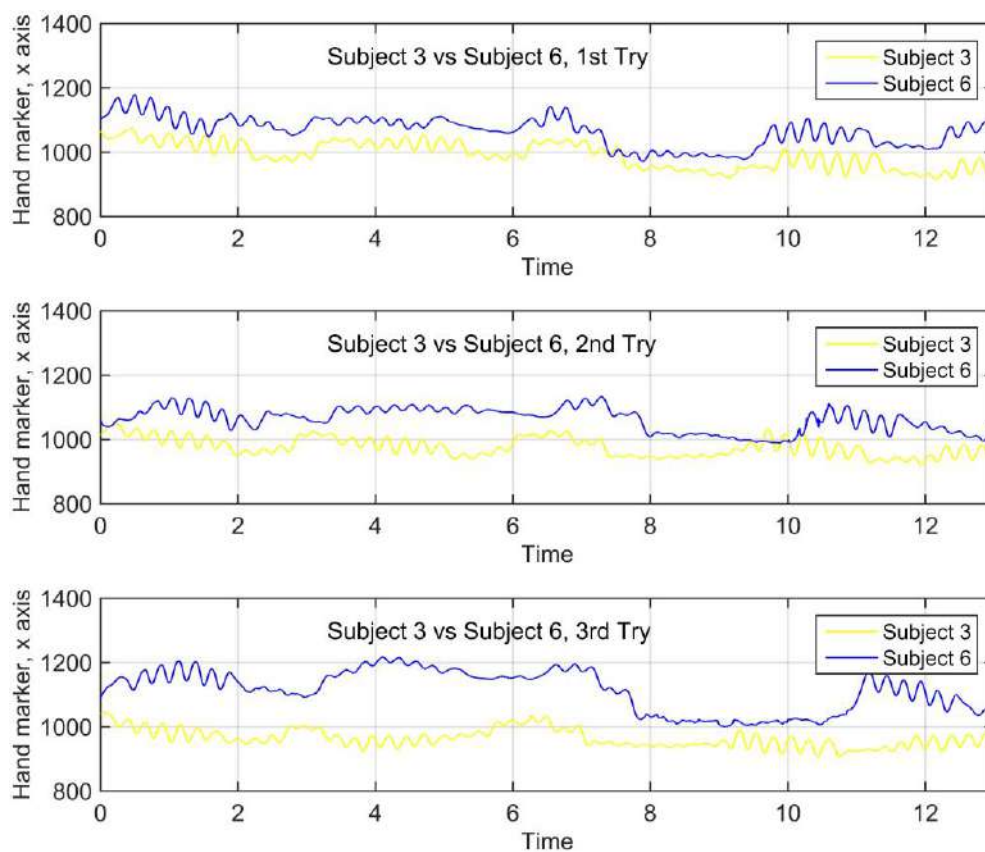


Fig. 1.79. Comparație între subiectul 3 și subiectul de referință, mână, axa X, 3 repetiții

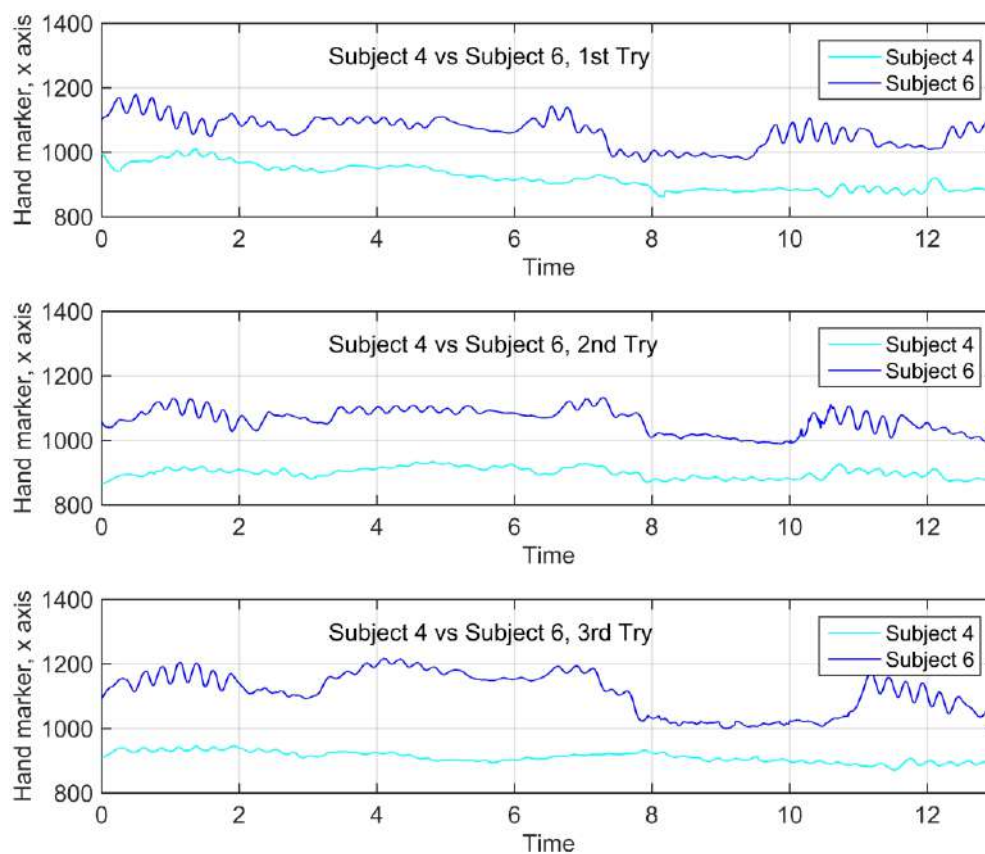


Fig. 1.80. Comparație între subiectul 4 și subiectul de referință, mână, axa X, 3 repetiții

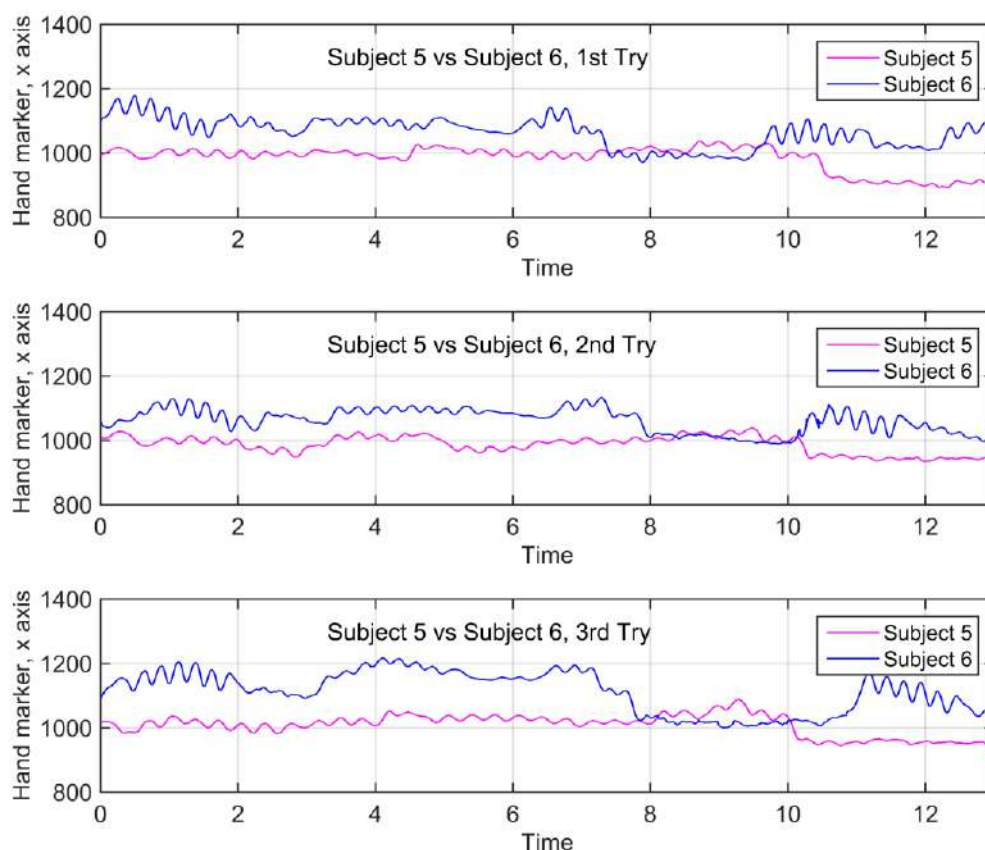


Fig. 1.81. Comparație între subiectul 5 și subiectul de referință, mână, axa X, 3 repetiții

La traiectoriile subiectului 3 există zonele de trecere destul de clar delimitate, dar mai puțin „intense” în comparație cu subiectul de referință – amplitudinea mișcării este mai mică. De asemenea, pe măsură ce numărul repetiției crește, mișcarea își pierde din amplitudine.

Subiecții 4 și 5 au o mișcare destul de plată, unde nu sunt foarte bine delimitate respectivele zone de trecere. La fel ca pentru majoritatea celorlalți studenți, pe măsură ce numărul repetiției crește, mișcarea își pierde din amplitudine.

Analiza de mai sus a fost realizată pentru toți ceilalți markeri filmați din lateral – markerul articulației mâinii pe Y, markerul cotului pe X și Y și markerul umărului pe X și Y. Rezultatele sunt în aceeași notă cu cele obținute pentru markerul articulației mâinii pe X (am ales pentru prezentare mișcarea cea mai amplă) în sensul în care subiecții care au tendința de a mișca mai puțin articulația mâinii vor avea aceeași atitudine și legat de articulația cotului, cu mici variații. Pentru o imagine mai bună legată de deplasarea mâinii purtătoare de arcuș în timpul mișcării am preferat să prezentăm comparativ unghiul făcut de braț cu antebrațul, pentru cei 6 subiecți, fiecare executând 3 repetiții. Acest unghi, de fapt, încorporează mișcarea celorlalți doi markeri.

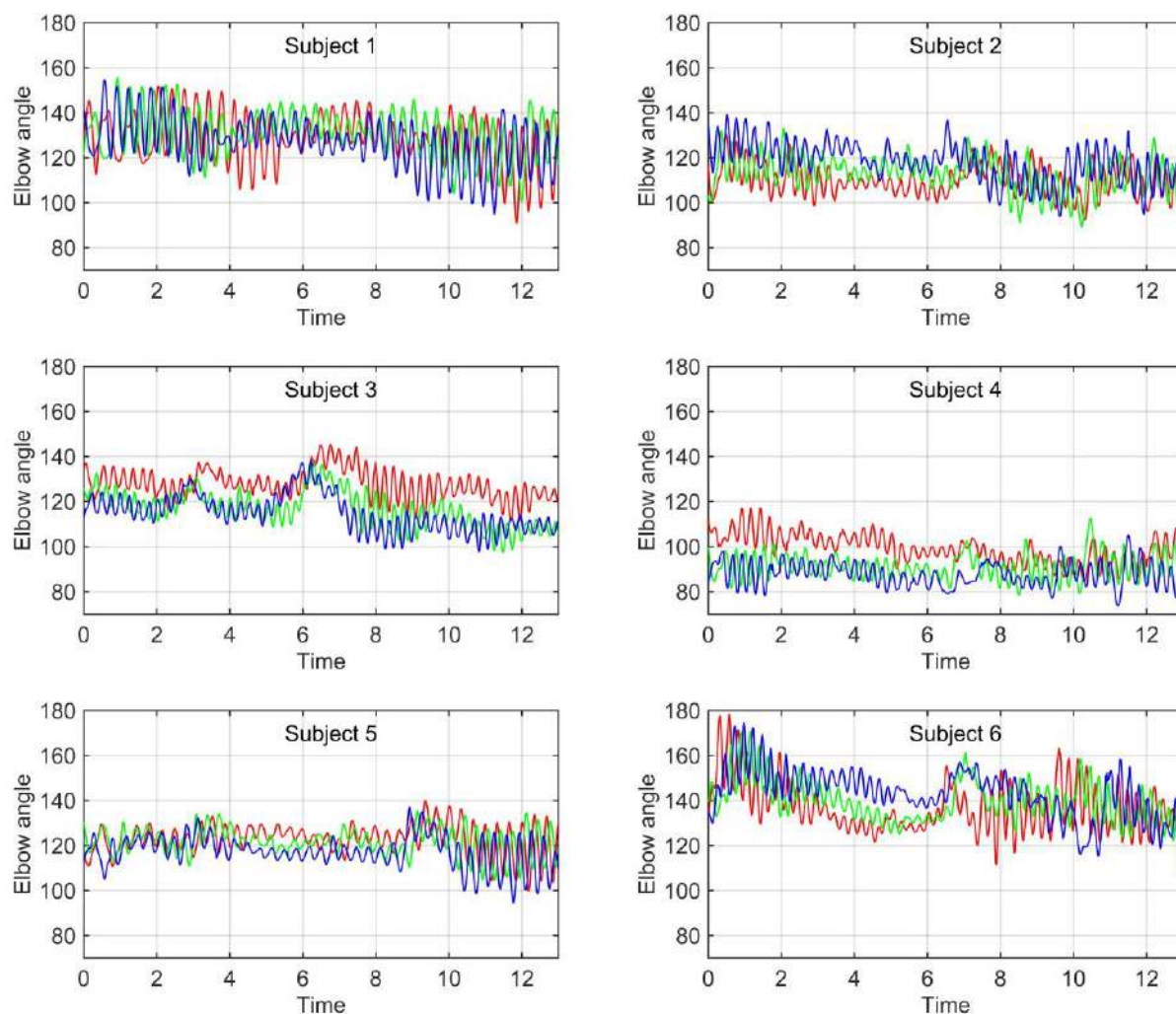


Fig. 1.82. Unghiul cotului, comparativ, pentru cei 6 subiecți.

Repetițiile sunt, în ordine, cu roșu prima repetiție, cu verde a 4-a repetiție (de la mijlocul experimentului) și cu albastru ultima repetiție, de la final.

Din punctul nostru de vedere, graficele unghiului cotului sunt foarte relevante. Analizându-le, se pot trage o serie de concluzii:

- valoarea unghiului cotului este semnificativ mai mică, pentru toți studenții și pe tot parcursul repetițiilor, decât cea a subiectului de referință – studenții au tendința să miște mai puțin mâna
- pentru o parte din studenți (subiecții 1, 2 și 3) unghiul are variații semnificative pe parcursul repetițiilor, pe când la subiecții 4 și 5 aceste variații apar doar pe secvențe scurte
- există o serie de diferențe între execuțiile repetițiilor diferite pentru fiecare subiect, din punct de vedere al unghiului (fără a vorbi de re-alinieri ale mâinii între repetiții, care și acestea apar)

Au fost calculate valorile maxime ale unghiurilor obținute, precum și dispersiile pentru fiecare repetiție a fiecărui subiect.

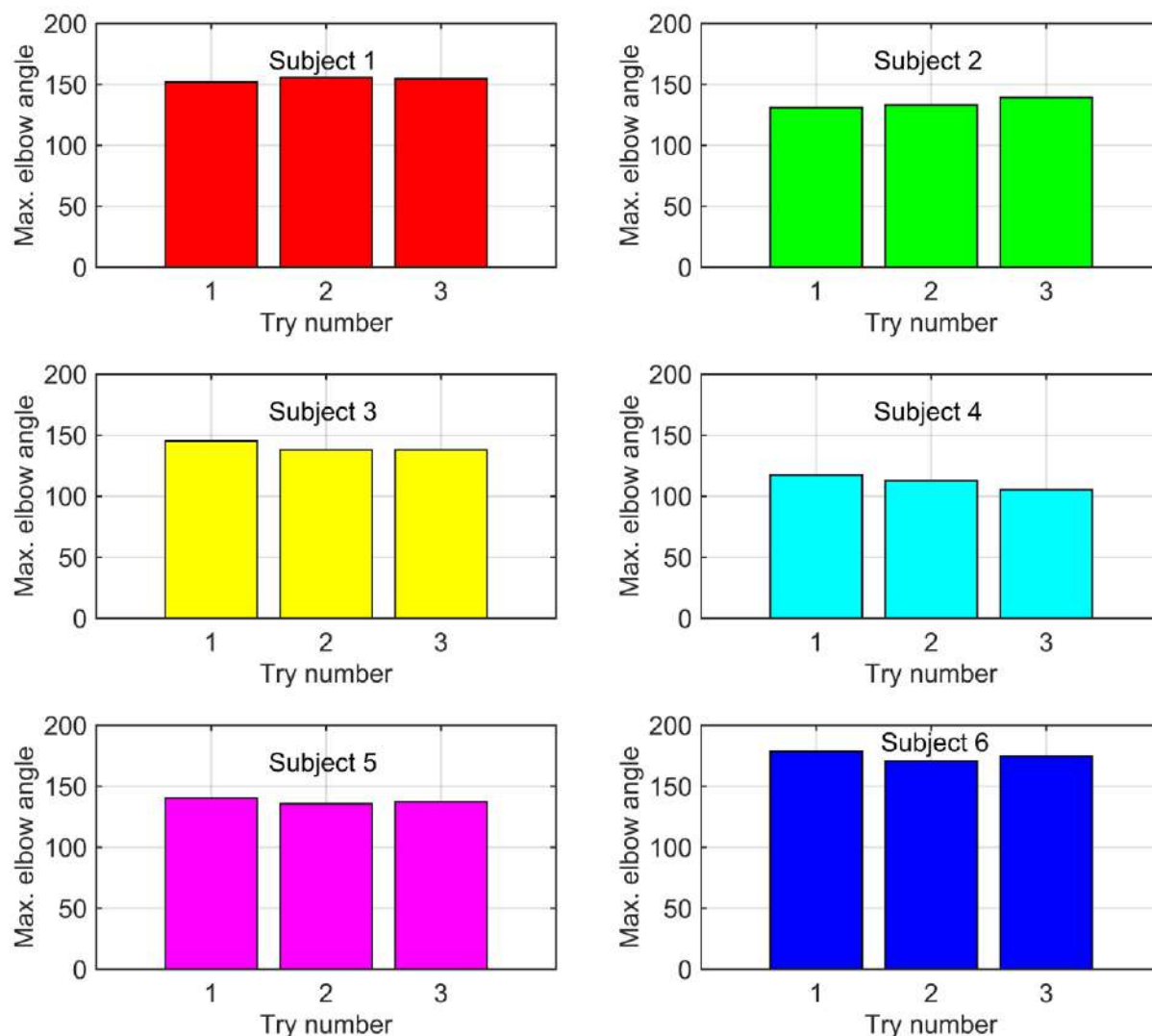


Fig. 1.83. Valoarea maximă a unghiului cotului, comparativ, pentru cei 6 subiecți, pentru fiecare din cele 3 repetiții

Analizând valorile maxime ale unghiurilor atinse de cei 5 studenți față de muzicianul de referință, se pot observa diferențe semnificative, subiecții 2,3 și 5 neatingând 150 de grade, subiectul 1 atingând doar 155,67 grade iar subiectul 4 reușind un unghi maxim de doar 112,78 grade.

Evident, pentru a putea trage concluzii despre modul în care fiecare dintre participanții la experiment își deschide unghiul cotului în timpul repetițiilor, e importantă și dispersia valorilor unghiurilor atinse, nu doar unghiul maxim. O valoare mare a dispersiei se traduce prin faptul că variațiile unghiurilor sunt destul de mari, mâna purtătoare de arcuș este foarte activă, pe când o valoare mică înseamnă că respectiva mână are o poziție destul de

fixă în timpul repetiției. După cum se poate vedea din graficele de mai jos, doar primul student se apropie de valorile dispersiei muzicianului etalon.

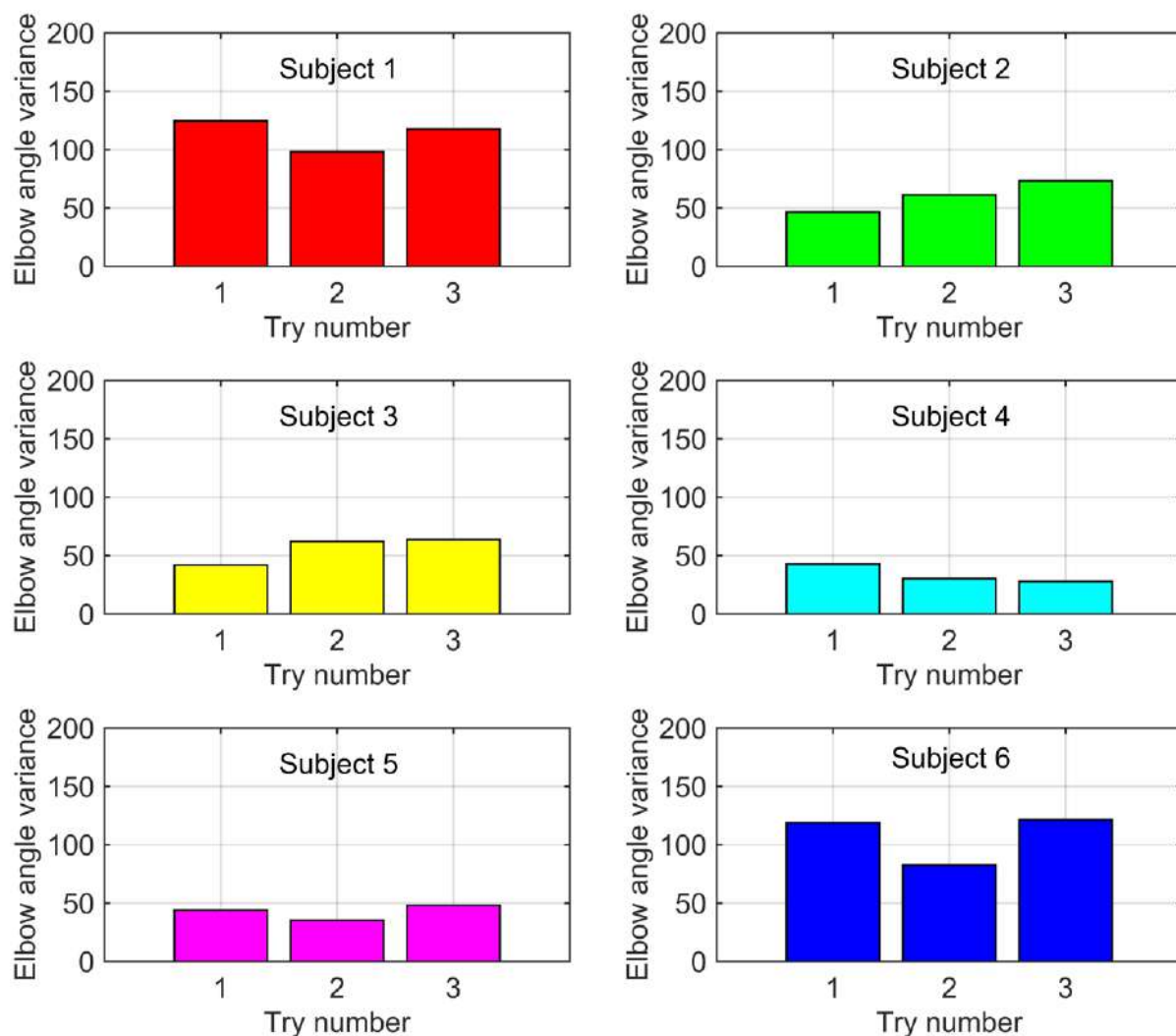


Fig. 1.84. Valoarea dispersiei mărimilor unghiului cotului, de-a lungul repetițiilor, comparativ, pentru cei 6 subiecți, pentru fiecare din cele 3 repetiții

Într-un final, fiecare dintre cei 5 studenți au fost comparați, din punct de vedere al unghiului, cu subiectul considerat de referință, repetiție cu repetiție. Analiza ideală este una realizată pe diferitele zone, reprezentând secvențe ale fragmentului muzical, pentru a măsura unghiurile obținute de studenți pe fiecare zonă, comparativ cu muzicianul etalon, și astfel a identifica eventuale carențe din punct de vedere al tehnicii muzicale pentru respectivii studenți.

La subiectul 1, se poate observa că forma variației unghiului cotului în timp se apropie de cea a subiectului de referință, deși valorile obținute pentru unghiuri sunt ceva mai mici. Se poate identifica o zonă, în jurul secunde 7, unde există o diferență de tehnică.

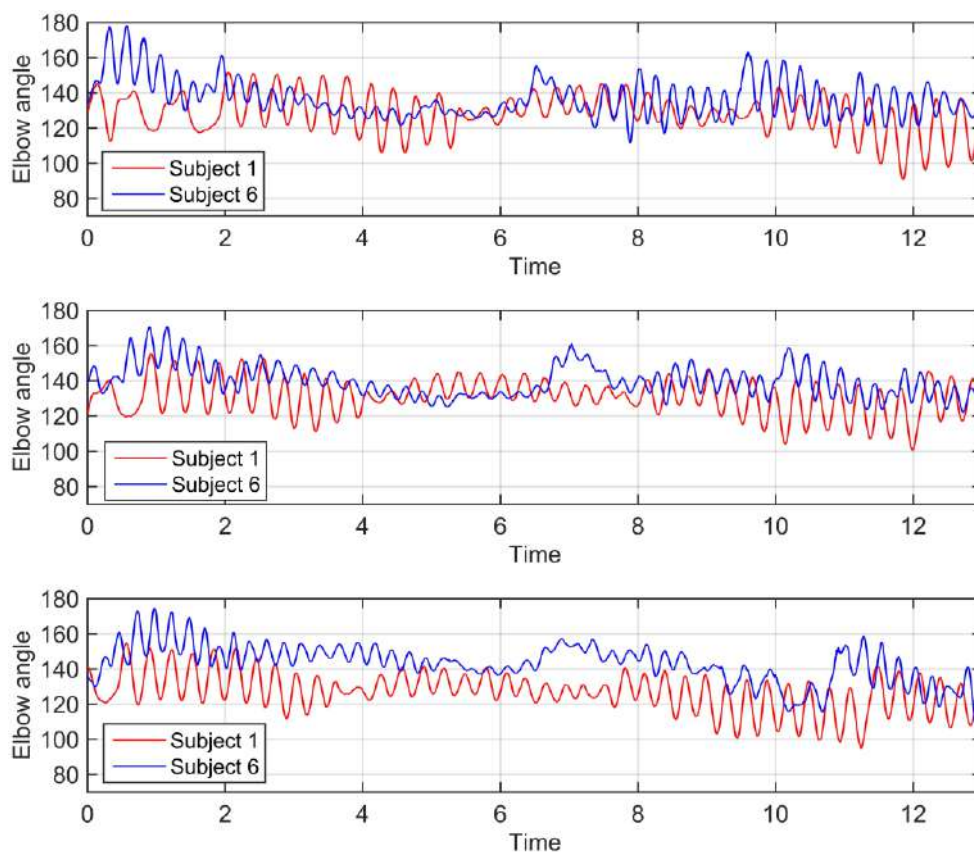


Fig. 1.85. Comparație între subiectul 1 și subiectul de referință, unghiul cotului, 3 repetiții

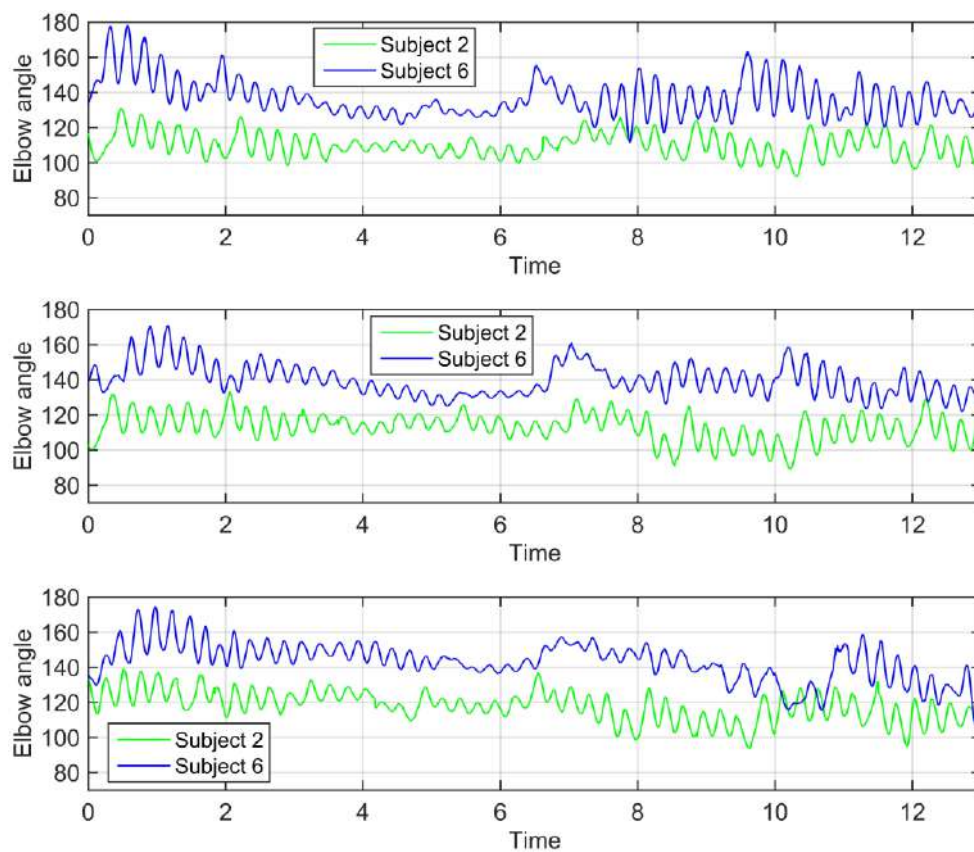


Fig. 1.86. Comparație între subiectul 2 și subiectul de referință, unghiul cotului, 3 repetiții

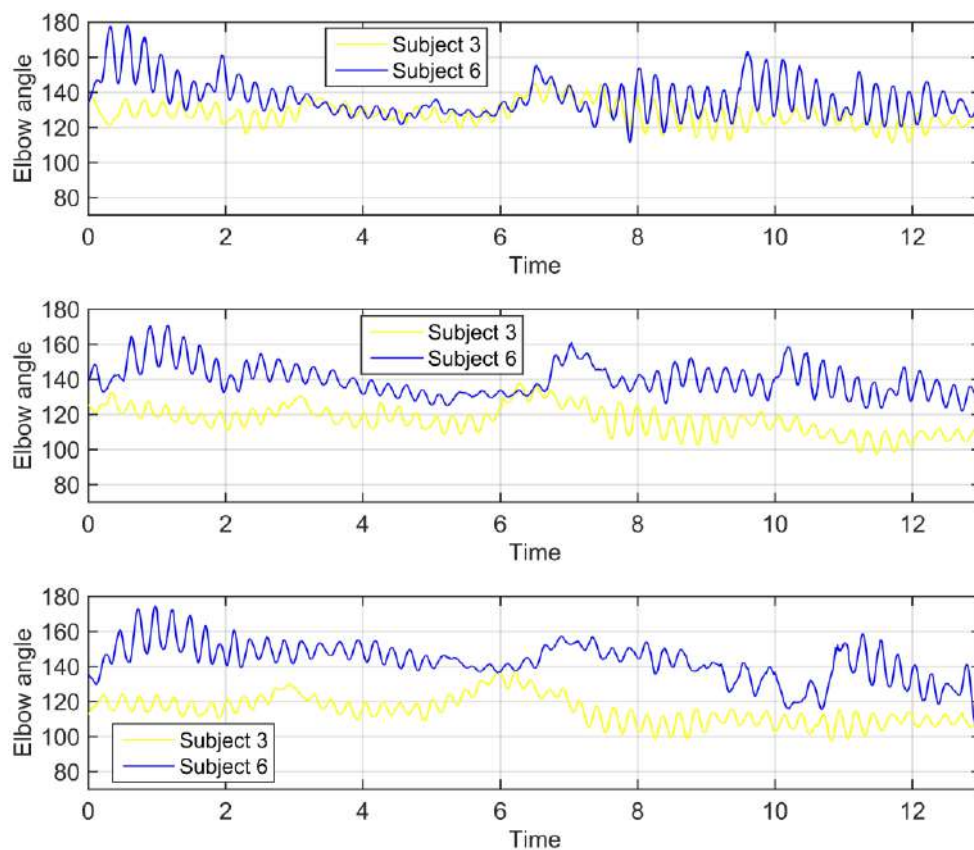


Fig. 1.87. Comparație între subiectul 3 și subiectul de referință, unghiul cotului, 3 repetiții

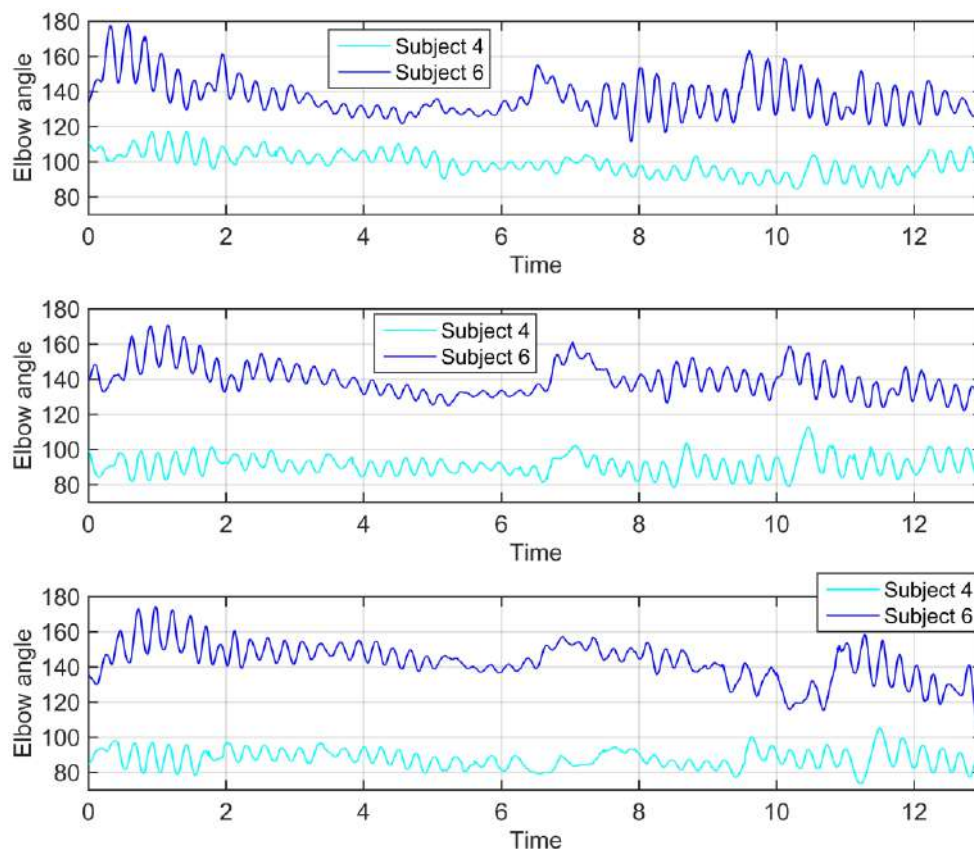


Fig. 1.88. Comparație între subiectul 4 și subiectul de referință, unghiul cotului, 3 repetiții

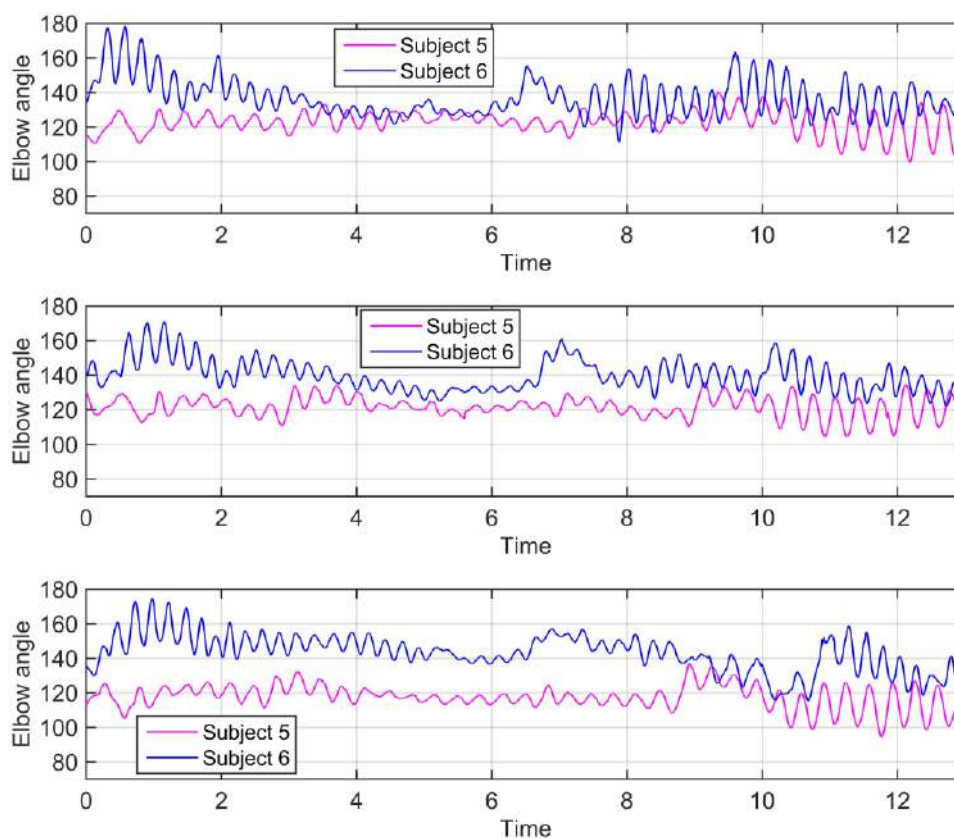


Fig. 1.89. Comparație între subiectul 5 și subiectul de referință, unghiul cotului, 3 repetiții

Pentru subiecții 2, 3 și 5, chiar dacă valorile unghiurilor pe parcursul repetițiilor sunt departe de cele ale subiectului de referință, prezintă variații ale unghiurilor. Subiectul 4 are valori semnificativ mai mici ale unghiului cotului și o variație foarte redusă a acestui parametru, mâna activă stând astfel într-o poziție destul de fixă. Toți studenții prezintă valori mai mici sau mult mai mici ale unghiului cotului față de artistul de referință. De asemenea, identificarea diferitelor secvențe ale fragmentului muzical (secvențe unde unghiul cotului ar trebui să sufere o schimbare) este vizibilă doar în anumite zone pentru studenți.

Dacă ar fi de extras o singură concluzie clară, am putea spune că mișcarea mâinii studenților diferă în mod semnificativ față de cea a muzicianului experimentat. Pe baza tuturor acestor analize se pot stabili o serie de măsuri care ar trebui luate pentru a îmbunătăți tehnica studenților.

Rezultatele prezentate în acest capitol au fost diseminate sub forma:

1 articol indexat Web of Science

Mihălcică M, Modrea A, Munteanu V, Burca I. Tracking Kinematic Gait Parameters During the Recovery of Motor Function After Total Knee Arthroplasty. *Procedia Technology*. 2016 Jan 1;22:670-6. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017316001419>

7 articole prezentate la conferințe internaționale

Mihălcică M, Palfi B. Experimental system for the analysis of the standing long jump, ICMSAV 2018 & COMAT 2018 & eMECH2018, Brașov, România 2018.

Mihălcică M, Bîrsă M. A simple system to help find natural talents in juvenile basketball, ICMSAV 2018 & COMAT 2018 & eMECH2018, Brașov, România, 2018.

Vrabie RC, **Mihălcică M**. Analyzing ski jumping in an inexpensive way, COMAT 2020 & eMECH2020, Brașov, România 2020.

Mihălcică M, Burcă I. Using Inexpensive Motion Analysis Tools To Analyze The Free Throw In Juvenile Basketball, COMAT 2016;39-41

Mihălcică M, Guiman V, Munteanu V. A cheap and portable motion analysis system, COMAT 2014; 109-111

Mihălcică M, Guiman V, Munteanu V. Using curve fitting as a method to analyze motion analysis data for sports, COMAT 2014; 115-117

Mihălcică M, Guiman V, Munteanu V. Using motion analysis software to gather sports experimental data, COMAT 2014; pp. 112-114

1 Monografie

Mihălcică M, Cristea M. Metode de captură și analiză a datelor în biomecanică, Ed. Universității Transilvania din Brașov, ISBN 978-606-19-1615-3

4 Proiecte de Diplomă coordonate

Cristea M. *Analiza mersului și alergării pe banda de fitness pe grupe de vârstă*, Proiect de Diplomă, Universitatea Transilvania din Brașov, 2021.

Béla P. *Parametri determinanți în săritura în lungime de pe loc*, Proiect de Diplomă, Universitatea Transilvania din Brașov, 2018.

Bîrsă M. *Studiul tehnicii aruncării la coș în jocul de baschet*, Proiect de Diplomă, Universitatea Transilvania din Brașov, 2018.

Vrabie C. *Studiul tehnicii săriturii cu schiurile*, Proiect de Diplomă, Universitatea Transilvania din Brașov, 2020.

1 lucrare de disertație (în curs)

Capitolul 2

Studiul proprietăților materialelor compozite

2.1 Generalități privind materialele compozite

Când vorbim de un material compozit clasic, ne gândim la mai multe componente diferite care sunt combinate pentru a obține un material cu proprietăți chimice și/sau fizico-mecanice superioare atât față de componentele individuale analizate, cât și față de materialele clasice [90-95]. Pe lângă aceste materiale, vom considera și lemnul ca fiind un material compozit natural [96-98].

Ca exemple, putem aminti [99-102]:

- fibre de sticlă sau țesătură de fibră de sticlă într-o matrice de rășină, material ușor și rigid, ceea ce îl face potrivit pentru industria auto, aviație, echipamente medical-sportive, bărci
- fibre de carbon într-o matrice de rășină, material ușor și foarte rigid, potrivit pentru industria auto, echipamente medical-sportive, aviație
- fibre ceramice în combinație cu o matrice ceramică, material rezistent la temperaturi foarte ridicate
- fibre de sticlă sau carbon și matrice metalică, material având rezistență mecanică bună
- materiale naturale precum fibrele de lemn, plante, chiar deșeuri, într-o matrice polimerică, ce duc la compozite durabile și nepoluante

În perioada modernă, materialele compozite s-au regăsit în prim planul multor cercetări din domeniul mecanic, și pe bună dreptate, având în vedere nevoile și necesitățile lumii din ziua de azi: reducerea amprentei de carbon, care la un anumit nivel implică optimizări la nivel de structură și material, reducerea costurilor de fabricație și exploatare a diferitelor componente mecanice, găsirea de soluții pentru a utiliza ca materii prime resurse naturale ieftine, ușor regenerabile etc.

Din punct de vedere al industriilor în care se regăsesc cel mai des, pentru materialele compozite putem aminti industria automobilelor, aviația, construcțiile și multe altele. Comparativ cu materialele tradiționale (considerate a fi metalele etc.), pentru unele situații

regăsite în aceste industrii, materialele compozite prezintă proprietăți chimice și fizico-mecanice superioare (masă redusă, rezistență la coroziune etc.). Având în vedere însăși natura acestor materiale compozite, nu putem spune însă că utilizarea lor nu implică și o gamă largă de dificultăți. Dintre aceste probleme care apar la nivelul materialelor compozite putem aminti:

- deteriorarea structurală apărută în urma impactului mecanic, care implică reducerea proprietăților mecanice ale compozitului, având de obicei ca efect final fisurarea structurii
- fisurarea sau crăparea, care apare în general la acțiunea tensiunilor repetitive sau (supra)încărcărilor bruște
- delaminarea, cu alte cuvinte separarea straturilor materialului compozit, este una dintre problemele foarte importante pentru aceste tipuri de structuri și poate avea cauze variate, pornind de la probleme apărute în proiectarea compozitului, procesele de fabricație, calitatea materialelor utilizate și continuând cu probleme apărute în exploatare, de genul modificărilor de mediu (temperatură, umiditate etc.) sau solicitărilor excesive
- degradarea în timp a compozitului, care este de obicei influențată de o serie de factori externi, cum ar fi umezeala, temperaturile extreme, contactul cu diferite medii care poate duce la eroziune sau pur și simplu îmbătrânirea materialelor folosite

În cazul materialelor compozite este important și conceptul de direcție a fibrelor. Direcția fibrelor sau a particulelor în matrice este de obicei foarte importantă în determinarea proprietăților mecanice ale materialului compozit, cum ar fi rigiditatea și rezistența la rupere. De exemplu, dacă direcția fibrelor de carbon într-un material compozit este orientată în direcția longitudinală a materialului, acesta va avea o rigiditate mai mare în acea direcție. Pe de altă parte însă, de obicei se întâmplă să fie mai puțin rezistent la solicitări transversale. Dacă direcția fibrelor de carbon este însă orientată transversal, materialul va fi mai puțin rezistent la solicitări longitudinale, dar poate fi mai rezistent la încărcări transversale [103-105].

Studiile la care autorul acestei teze a participat au avut în primul rând ca scop determinarea unor proprietăți mecanice ale materialelor compozite considerate și a unor parametri la limită (de exemplu, la rupere), în urma unei serii de încercări mecanice, de genul tracțiune, încovoiere în trei puncte etc. În continuare vor fi prezentate succint rezultatele acestor studii.

2.2 Studii privind materialele compozite clasice

Proprietăți ale materialelor noi utilizate în ingineria autovehiculelor

Pentru a introduce materialele compozite în structura autovehiculelor trebuie realizate calcule de rezistență, pentru care este necesară cunoașterea proprietăților mecanice ale acestor materiale. De multe ori însă, rezultatele teoretice pot diferi de cele reale, făcând necesare o serie de teste experimentale pentru a determina valorile acestor proprietăți mecanice.

În acest studiu [106] au fost luate în calcul patru tipuri de materiale compozite:

- polietilenă cu densitate scăzută (LDPE) și polietilenă cu densitate ridicată (HDPE), armate cu fibră de sticlă
- rășină de poliester armată cu țesătură de fibră de sticlă, tăiată pe direcție transversală
- rășină de poliester armată cu țesătură de fibră de sticlă, tăiată pe direcție longitudinală
- rășină epoxidică armată cu fibre de carbon

Din toate aceste compozite au fost realizate seturi de câte 10 epruvete (plus câteva rezerve) după standardele recomandate (secțiune dreptunghiulară, fără margini rotunjite, fără diferențe semnificative de grosime și lățime) care au fost supuse la încercări de încovoiere în trei puncte.



Fig. 2.1. Epruvete din polietilenă cu densitate ridicată (HDPE), armate cu fibră de sticlă [106]

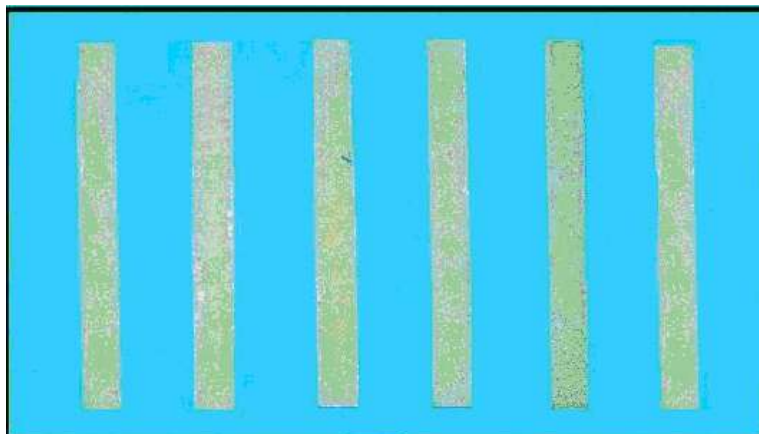


Fig. 2.2. Epruvete din polietilenă cu densitate ridicată (LDPE), armate cu fibră de sticlă [106]

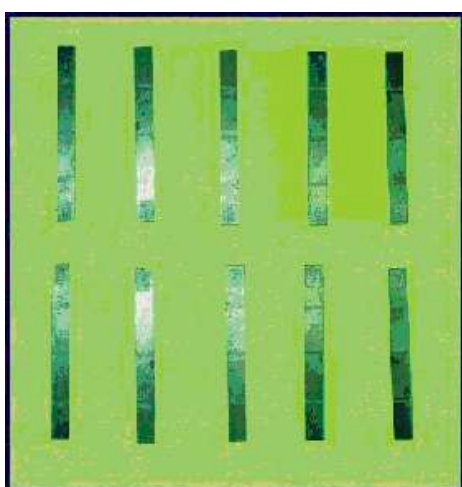


Fig. 2.3. Epruvete din rășină epoxidică armată cu fibre de carbon [106]

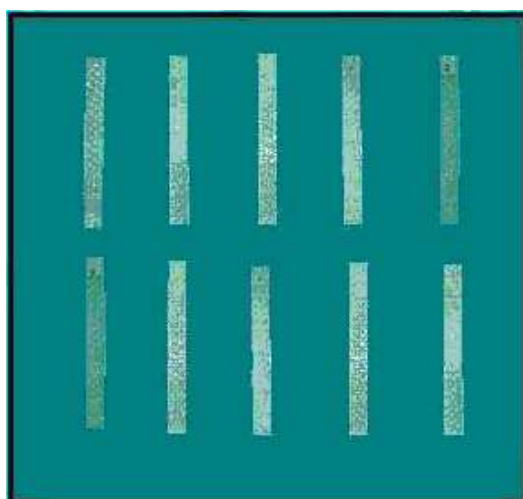


Fig. 2.4. Epruvete din rășină de poliester armată cu țesătură de fibră de sticlă, tăiată pe direcție transversală [106]

În urma testelor au fost obținute rezultate sub formă de grafice forță-deplasare pentru epruvete, s-au extras datele experimentale și s-au sintetizat valorile medii pentru forță și deplasare, precum și abaterile lor medii pătratice acceptate.

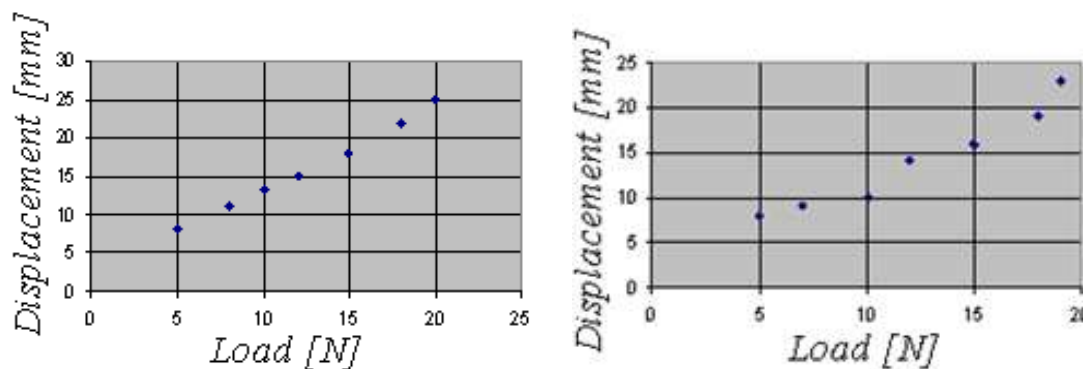


Fig. 2.5. Curba forță-deplasare pentru două epruvete din aceeași serie [106]

Rezultatele au fost sintetizate tabelar.

Număr epruvete = 10	Valoarea medie
Forța [N]	20,9
Deflecția [mm]	24,9
Abateră medie admisă – Forță	1,85
Abateră medie admisă – Deflecție	1,66

Tabel 2.1. Tabel cu date experimentale pentru un set de epruvete [106]

În urma testelor și analizei datelor experimentale, pot fi remarcate anumite aspecte sub formă de concluzii:

- epruvetele din rășină armată cu fibră de sticlă prezintă o bună legătură a fibrelor cu matricea
- epruvetele fabricate din poliester armat cu fibră de sticlă prezintă o legătură dintre fibre și matrice mai slabă decât în exemplul anterior, ceea ce înseamnă practic o comportare inferioară a compozitului față de cel anterior
- între calculele făcute pentru epruvetele analizate și valorile obținute experimental se regăsesc diferențe semnificative, ceea ce arată că aceste teste experimentale sunt imperios necesare pentru a determina valorile mecanice pentru aceste tipuri de materiale compozite
- testarea la încovoiere în trei puncte este o metodă relativ ieftină și ușor de folosit pentru a determina caracteristicile mecanice ale materialelor compozite armate cu fibre

Analiza unor compozite specifice – Heliopol Stratimat300

Fibra de sticlă Stratimat300 cu greutate specifică de 300 g/m² a fost folosită pentru a arma rășina Heliopol 9431ATYX_LSE (proces de stratificare manuală). Apoi, dintr-o placă laminată de 6 mm grosime cu cinci straturi au fost tăiate nouă epruvete, folosindu-se o unealtă cu pulbere de diamant, sub protecția unui sistem de răcire specific [107].

Epruvetele au fost supuse unui proces de testare consistând în încovoiere în trei puncte, până la rupere, pe mașina de încercat LR5KPlus Lloyd Instruments'. Au fost urmărite o serie de caracteristici mecanice de interes : rigiditatea (N/m), modulul lui Young de încovoiere (MPa), rigiditatea la încovoiere(Nm²), sarcina maximă (kN), deflecția la sarcină maximă (mm), sarcina la deflecție maximă (kN), deflecția maximă (mm), încărcarea la rupere (kN), deflecția la rupere (mm).

Rezultatele încercărilor sunt prezentate în imaginile următoare.

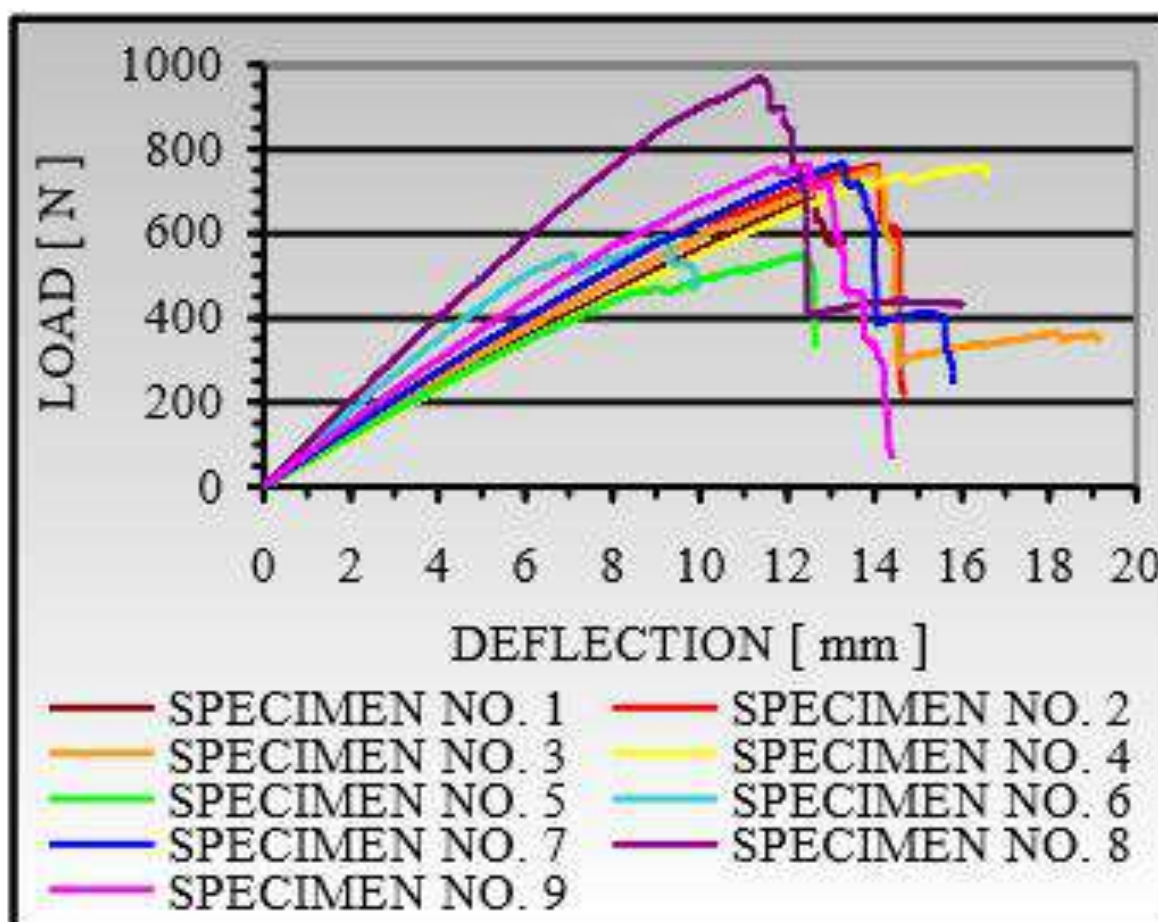


Fig. 2.6. Distribuția deflecție – încărcare pentru cele 9 epruvete [107]

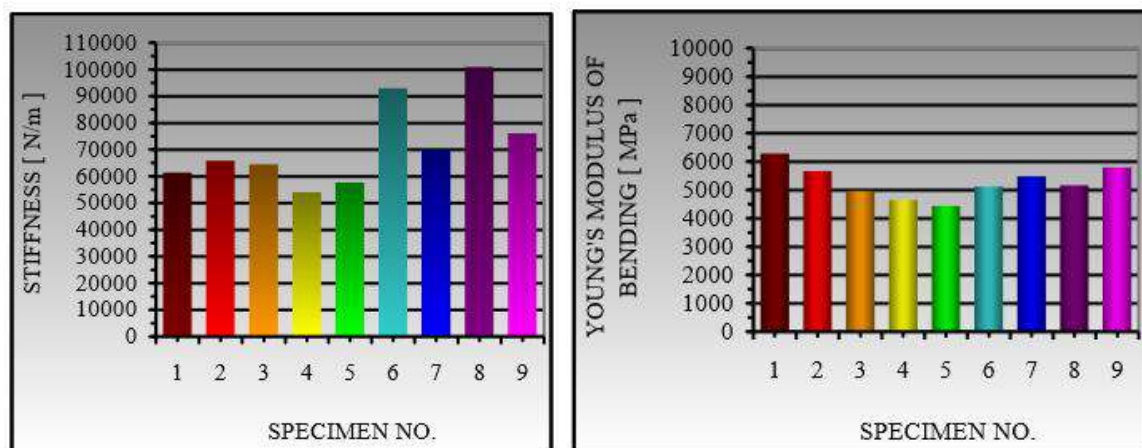


Fig. 2.7. Rigiditatea (stânga) și modulul lui Young la încovoiere (dreapta) pentru cele 9 epruvete [107]

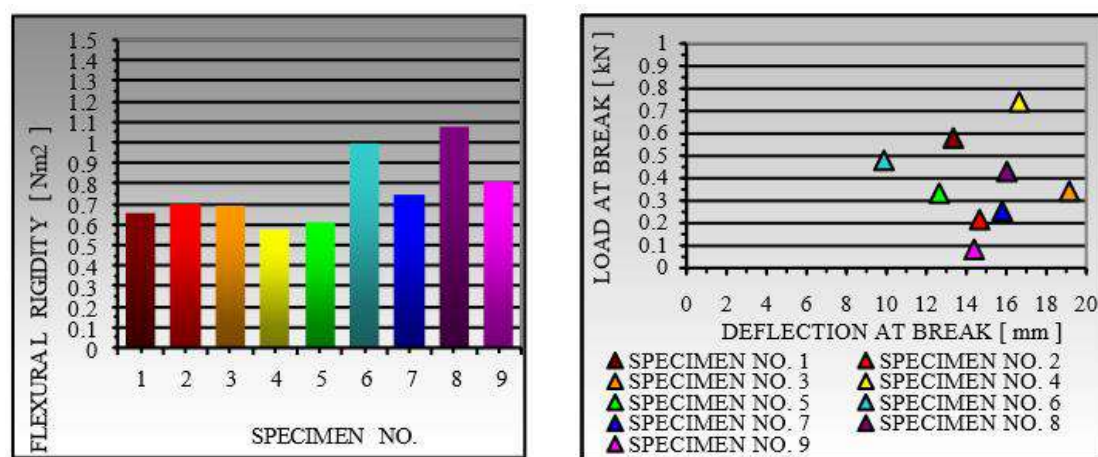


Fig. 2.8. Rigiditatea la încovoiere (stânga) și distribuția deflecție la rupere – încărcare la rupere (dreapta) pentru cele 9 epruvete [107]

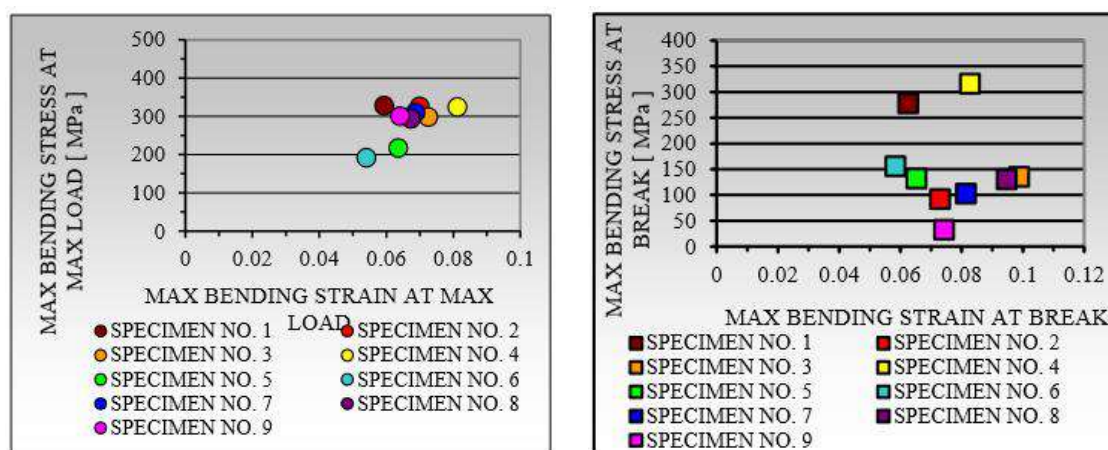


Fig. 2.9. Distribuțiile deformare maximă la încărcare maximă vs. solicitare maximă la încărcare maximă (stânga) și deformare maximă la rupere vs. solicitare maximă la rupere (dreapta) pentru cele 9 epruvete [107]

În urma testelor și rezultatelor se pot trage o serie de concluzii cu privire la acest material compozit [107]:

- în ceea ce privește distribuția sarcină-deflecție pentru cele nouă epruvete Heliopol/Stratimat300 supuse încovoierii în trei puncte, a fost atinsă o sarcină maximă de 942,12 N pentru una din epruvete și o deflecție maximă de 18,8 mm pentru o altă epruvetă
- aceeași epruvetă pentru care s-a atins sarcina maximă prezintă și rigiditatea maximă de 100911 N/m, pe când rigiditatea minimă, pentru o altă epruvetă, a fost de 54009,42 N/m
- valorile pentru modulul lui Young de încovoierie se află între un minim de 4,43 GPa și un maxim de 6,29 GPa
- distribuția rigidității la încovoierie (flexural rigidity) se află în corelație cu distribuția rigidității
- pentru încărcarea maximă la rupere a fost înregistrată valoarea de 0,74 kN
- pentru deflecția maximă la rupere a fost înregistrată valoarea de 19,5 mm
- pentru solicitarea maximă la rupere a fost înregistrată o valoare de 316,27 MPa

În concluzie, în urma testelor de încovoierie în trei puncte, materialul compozit format din rășina Heliopol 9431ATYX_LSE armată cu fibre de sticlă Stratimat300 cu greutate specifică de 300 g/m², cu 5 straturi, prezintă proprietăți mecanice remarcabile. Acest tip de compozit poate fi utilizat în multe aplicații.

Analiza unor compozite specifice – Rt800 armat cu Polyte 440-M888

Studiul [108] și-a propus să determine forma analitică a funcției Wöhler, care este asociată cu comportamentul unui material compozit format din rășină de poliester armată cu 5 straturi de țesătură de fibră de sticlă - (RT800) cu o masă specifică de 845 g/m², armată cu Polyte 440-M888.

Problema de durabilitate pentru o componentă mecanică nu mai poate fi abordată fără cunoștințe despre datele de operare, împreună cu cunoștințele despre comportarea materialului componentei din punct de vedere al duranței.

Având în vedere faptul că, în cazul unor compozite de acest gen, atât tensiunile cât și rezistența mecanică a materialelor sunt foarte des influențate de o particularitate aleatorie,

abordarea analitică privind oboseala și uzura nu se poate face decât din punct de vedere probabilistic, prin cunoașterea probabilității P care este asociată unei perechi de valori (σ , N) ale funcției Wöhler:

$$P=F(\sigma, N) \quad (21)$$

relație în care σ reprezintă tensiunea, iar N reprezintă numărul de cicluri după care materialul se rupe.

Pentru a determina forma analitică a funcției F , a fost necesar să se efectueze o serie de încercări de rezistență, considerându-se un număr suficient de mare de epruvete, pentru diferite niveluri de amplitudini ale tensiunilor, cu un coeficient de asimetrie constant al ciclului.

Epruvetele utilizate pentru testele de rezistență au fost obținute dintr-o placă de material compozit format din rășină de poliester armată cu 5 straturi de țesătură de fibră de sticlă (RT800), cu o masă specifică de 845g/m². Epruvetele au prezentat următoarele caracteristici fizice:

- lungimea epruvetei (A) este de 100 mm
- lățimea epruvetei (B) este de 10 mm
- grosimea epruvetei (C) este de 4,5 mm

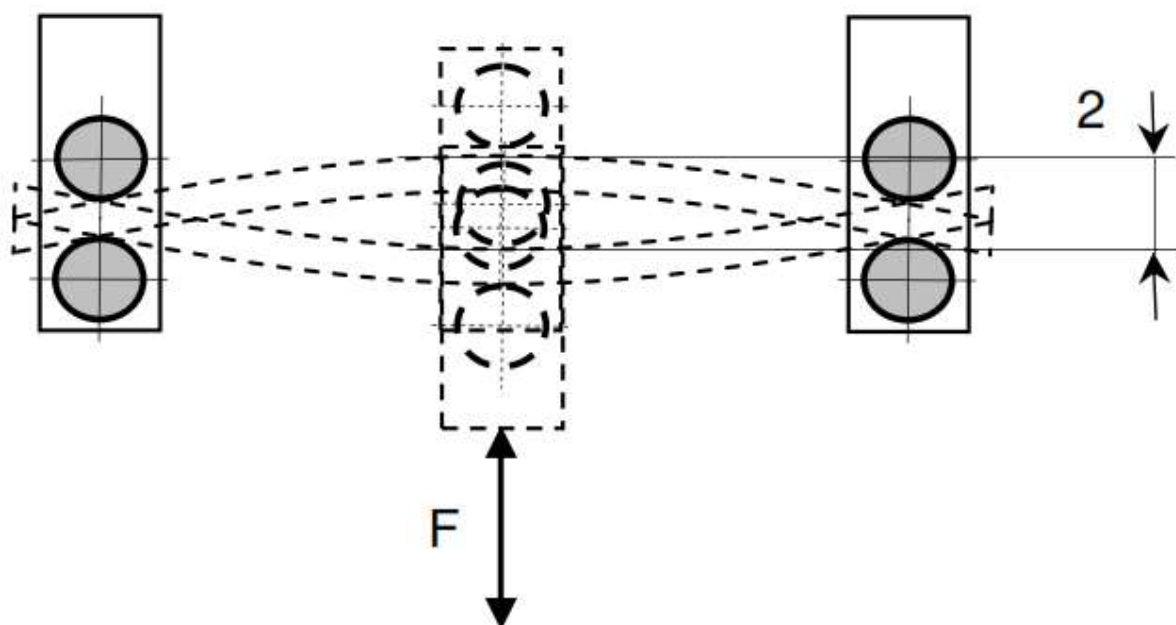


Fig. 2.10. Schema sistemului folosit pentru testare [108]

Pentru testele de rezistență, s-a folosit următoarea configurație și metodă: epruveta este plasată pe două suporturi și este supusă unei îndoiri simetrice alternative, până la rupere. Distanța dintre perechile fixe de suporturi cilindrice este de 80 mm, iar forța F este aplicată în mijlocul epruvetei, în mod alternativ.

Volantul bancului de testare este acționat de un motor electric cu viteză constantă (90 rpm). Bancul de testare este prevăzut cu un senzor de forță (pentru citirea forței active), un senzor de deplasare (pentru citirea deplasării epruvetei) și un contor mecanic care înregistrează numărul de cicluri până la rupere pentru fiecare epruvetă testată. Dispozitivul oferă suport pe ambele capete și pe ambele părți, folosind o pereche de cilindri metalici. Forța va fi aplicată folosind o altă pereche de cilindri metalici, de data aceasta mobili, ambele perechi de cilindri putând fi setate astfel încât să fie tot timpul tangente la părțile superioară și inferioară ale epruvetei, astfel încât să se obțină o tensiune de încovoiere "pură".

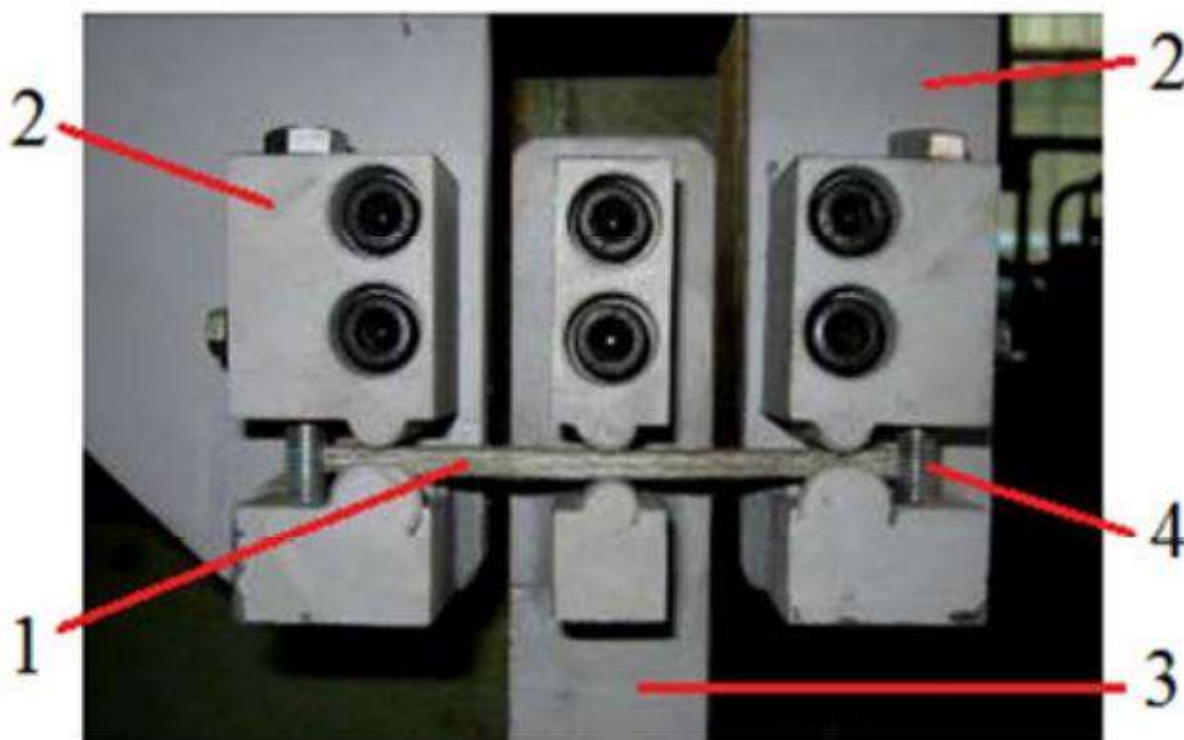


Fig. 2.11. Sistemul folosit pentru testare: 1 – Epruvetă; 2 - Suport fix; 3 - Suport mobil; 4 - Șurub de prindere [108]

Pentru experiment am fost utilizate 10 epruvete obținute din aceeași placă, cu aceleași dimensiuni fizice (așa cum sunt descrise mai sus). Epruvetele au fost supuse îndoirii simetrice alternative, până la rupere, pentru 5 săgeți de deplasare: 3,5 mm, 3 mm, 2,5 mm,

2 mm, 1,5 mm și 1 mm. Interesul principal al studiului a fost să determine numărul de cicluri până la rupere pentru fiecare epruvetă. Datele experimentale pot fi observate în tabelul de mai jos.

Săgeata (mm)	Numărul de cicluri până la rupere, măsurat la bancul de testare									
	Ep1	Ep2	Ep3	Ep4	Ep5	Ep6	Ep7	Ep8	Ep9	Ep10
3,5	26737	35900	34778	42875	37895	47850	31560	33998	34673	33181
3	51549	62890	53123	53377	52986	54391	54389	52317	49873	45662
2,5	69980	78315	69718	70231	72538	68319	71248	70039	65421	65858
2	83530	116831	65441	83308	87600	87273	86490	89613	88942	83747
1,5	168935	174322	174219	173249	175693	176417	172996	173926	169932	188942
1	285049	267843	274591	244381	261399	263762	261975	259680	262439	243368

Tabel 2.2. Săgeata (pe axa Y) și numărul ciclurilor până la rupere (pe axa X) [108]

Folosind mediile valorilor de mai sus s-a determinat numărul mediu de cicluri până la rupere pentru fiecare săgeată. Valorile s-au interpolat apoi în MATLAB obținându-se polinomul:

$$P1 \times X^2 + P2 \times X + P3 \quad (22)$$

cu valorile pentru coeficienți:

$$P1 = 5.837 \times 10^{-11}$$

$$P2 = -2.735 \times 10^{-5}$$

$$P3 = 4,237 \quad (23)$$

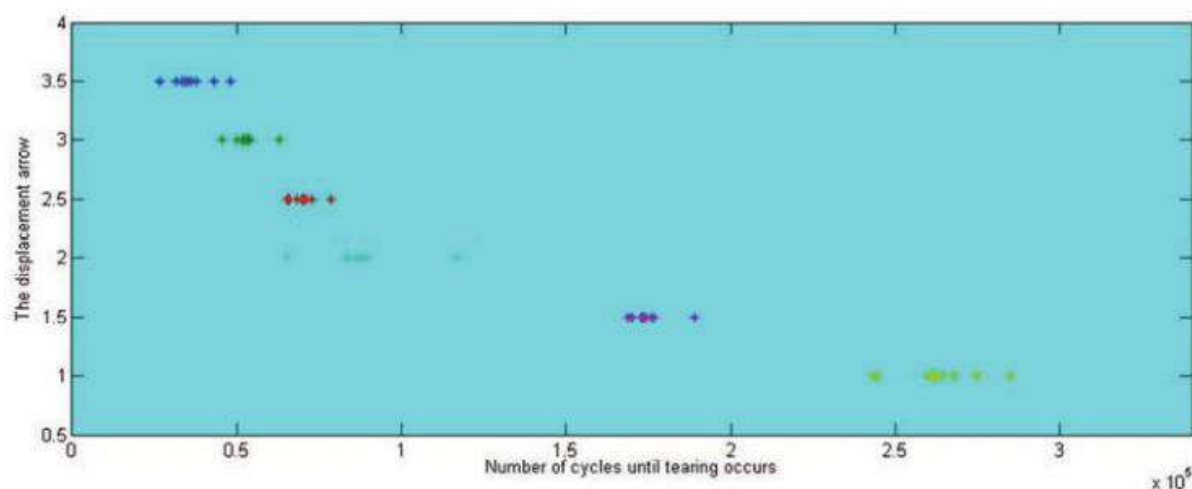


Fig. 2.12. Numărul de cicluri până la rupere (pe X), pentru fiecare din cele 6 săgeți considerate (pe Y) [108]

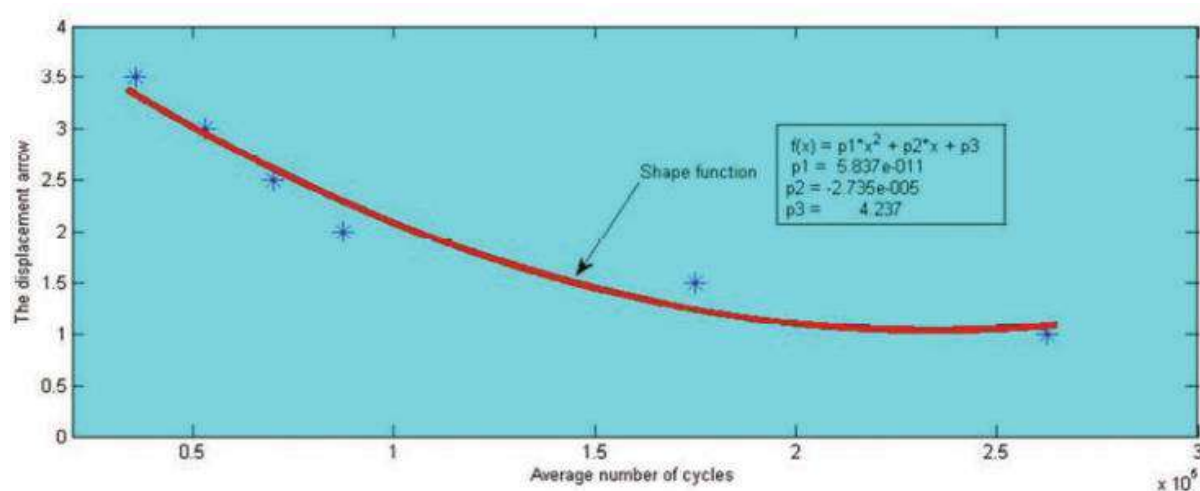


Fig. 2.13. Numărul mediu de cicluri până la rupere (pe X) pentru fiecare din cele 6 săgeți considerate (pe Y), precum și interpolantul polinomial de ordinul al doilea [108]

Dacă se compară forma funcției Wöhler pentru acest material cu forma funcției Wöhler pentru oțelul obișnuit, se poate observa o diferență esențială: în timp ce, pentru oțel, funcția are o formă "în trepte", pentru acest material, funcția este o simplă curbă, ceea ce denotă un comportament mai uniform pentru acest tip de material în ceea ce privește rezistența în funcționare. De asemenea, în timpul testării, s-a observat o variație semnificativă în ceea ce privește numărul de cicluri la care epruvetele se rup (desigur, luând în considerare fiecare săgeată în parte). Aceasta se întâmplă din cauza complexității acestui tip de material în comparație cu oțelul obișnuit și implică faptul că testarea trebuie făcută pe un număr suficient de mare de epruvete pentru a obține rezultate relevante, care să poată fi folosite cu încredere în practică.

Analiza unor compozite specifice – COREMAT cu fețe diferite

Studiul [109] s-a focalizat pe determinarea celor mai importante proprietăți mecanice în urma unei serii de teste simple de tracțiune executate asupra unui strat subțire de compozit laminat, cu miez de poliester nețesut și fețe diferite. Acest miez de poliester nețesut, cunoscut sub numele de COREMAT, crește rigiditatea generală a compozitului prin creșterea întregii grosimi a laminatului, evitând astfel adăugarea unui număr specific de straturi. Fețele sunt diferite, cea superioară având un țesut din sticlă RT armat cu poliester, iar cea inferioară fiind un strat de gelcoat (un strat subțire și uniform de rășină poliesterică).

Pentru o structură sandwich, miezul reprezintă cea mai importantă parte care influențează rigiditatea și rezistența la încovoiere a întregii structuri. COREMAT este un material neșesut de poliester orientat aleatoriu care conține microsferice ce previn consumul excesiv de rășină în fabricarea straturilor subțiri de compozit laminat. Poliesterul neșesut este un material moale, cu calități excelente pentru impregnarea cu rășină și o mare ușurință de modelare, astfel fiind potrivit pentru forme relativ complexe. De obicei, acesta este aplicat de cealaltă parte a stratului de gelcoat pentru a crea o finisare superioară a suprafeței și pentru a preveni apariția fibrelor de sticlă de armare, mai ales atunci când se utilizează gelcoat-uri de culoare mai închisă. Acest material are o bună compatibilitate cu rășini de poliester, vinilester și epoxidice și poate fi utilizat în procesele obișnuite de laminare ale compozitelor, precum stratificarea manuală și pulverizarea. Materialul COREMAT este utilizat pentru a crește rigiditatea generală a întregii structuri sandwich, scopul fiind de a evita necesitatea unui număr mare de straturi pentru a obține aceeași rigiditate ca în cazul unui strat subțire laminat compozit. Cele mai importante caracteristici ale unei structuri sandwich care utilizează acest tip de miez sunt:

- reducerea masei
- economii semnificative la consumul de rășină și armare
- creșterea rigidității generale a întregii structuri sandwich
- construcția rapidă a structurii în grosime
- finisare superioară a suprafeței.

Sunt determinate o serie de proprietăți mecanice: rigiditatea, modulul lui Young, încărcarea/tensiunea/deformația la încărcarea maximă, încărcarea/tensiunea/deformația la extensia maximă, încărcarea/tensiunea/deformația la încărcarea minimă, încărcarea/tensiunea/deformația la extensia minimă, rezistența la tracțiune, lucrul mecanic la încărcarea/extensia maximă, lucrul mecanic la încărcarea/extensia minimă și încărcarea/tensiunea la rupere.

Următoarea secvență de straturi a fost utilizată în fabricarea stratului de compozit laminat:

- 1 x țesătură din fibră de sticlă RT500;
- 2 x țesătură din fibră de sticlă RT800;
- 1 x material de fibre de sticlă tocate de 450 g/m²;
- material de poliester neșesut ca miez;
- 1 x material de fibre de sticlă tocate de 450 g/m²;
- un strat de gelcoat.

Din placa laminată au fost tăiate douăsprezece epruvete (conform SR EN ISO 527-4: 2000) care au fost apoi supuse unui test de tracțiune până la rupere. Placa laminată compozită a fost fabricată la Compozite Ltd., Brașov și testată în Laboratorul de Testare a Materialelor din cadrul Universității Transilvania din Brașov, România. Mașina de testare a materialelor folosită în teste este de tip LS100 Plus, produsă de Lloyd Instruments, Marea Britanie.

Proprietățile mecanice determinate în urma testelor de tracțiune sunt prezentate în tabelul de mai jos.

Parametru	Valoare
Rigiditate (N/m)	15448000
Modulul lui Young (MPa)	9635,1
Tensiune la încărcarea maximă (MPa)	71,966
Încărcare la rupere (kN)	1,2691
Tensiune la rupere (MPa)	15,754
Deformare la rupere (-)	-0,058935

Tabelul 2.3. Proprietăți mecanice la tracțiune [109]

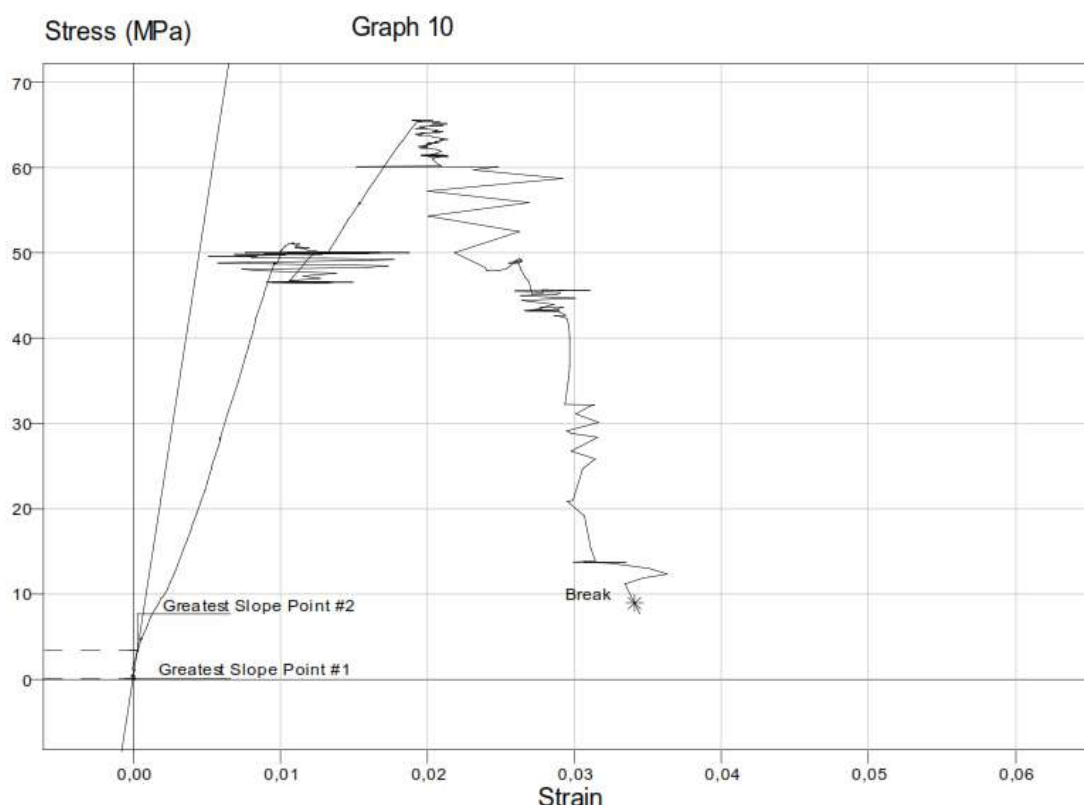


Fig. 2.14. Distribuția tensiune-deformație pentru o epruvetă (epruveta nr. 10) [109]

În ceea ce privește distribuția tensiune-deformație a epruvetei numărul 10, așa cum este prezentată în figura de mai sus, în intervalul de deformare 0 - 0,01, distribuția tensiune-

deformație este aproape liniară. Prima scădere al rigidității a avut loc la o deformare de 0,013 și o tensiune de aproximativ 50 MPa, datorită ruperii inter-fibre. Tensiunea de tracțiune a crescut până la 66 MPa, ceea ce a corespuns unei deformații de 0,018, în timp ce rigiditatea a prezentat o scădere rapidă. În cele din urmă, proba a fost ruptă la o deformație de 0,034 și o tensiune de 8,9 MPa.

În ceea ce privește modurile de rupere ale probelor, unele dintre ele au prezentat delaminare între țesătura din fibră de sticlă RT de pe suprafața superioară și miez la valori specifice ale deformației. Alte probe au prezentat atât delaminare, cât și ruperea miezului la valori ridicate ale deformației.

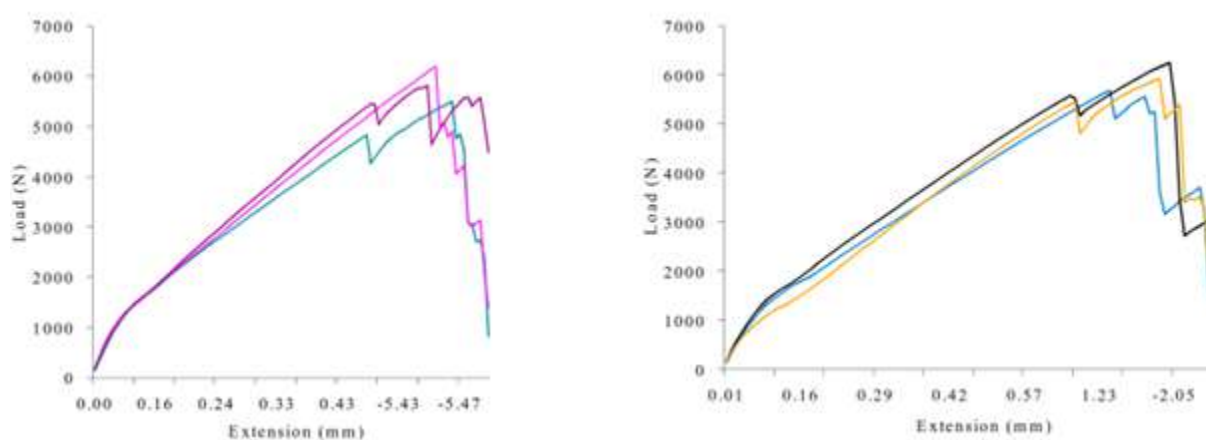


Fig. 2.15. Distribuția încărcare-extensie pentru epruvetele 4-6 (stânga) și epruvetele 7-9 (dreapta) [109]

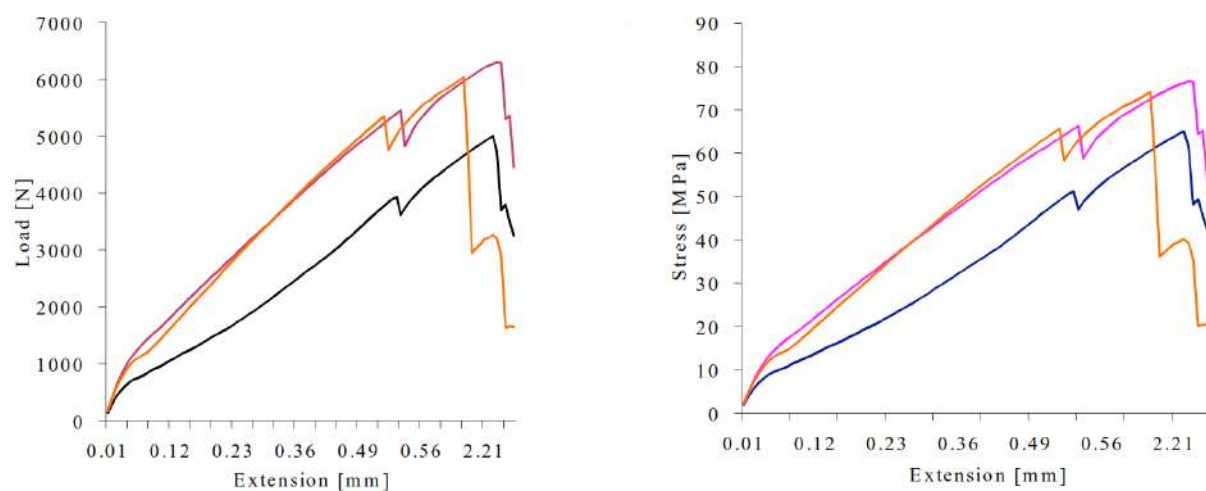


Fig. 2.16. Distribuția încărcare-extensie pentru epruvetele 10-12 (stânga) și distribuția tensiune-extensie pentru epruvetele 10-12 (dreapta) [109]

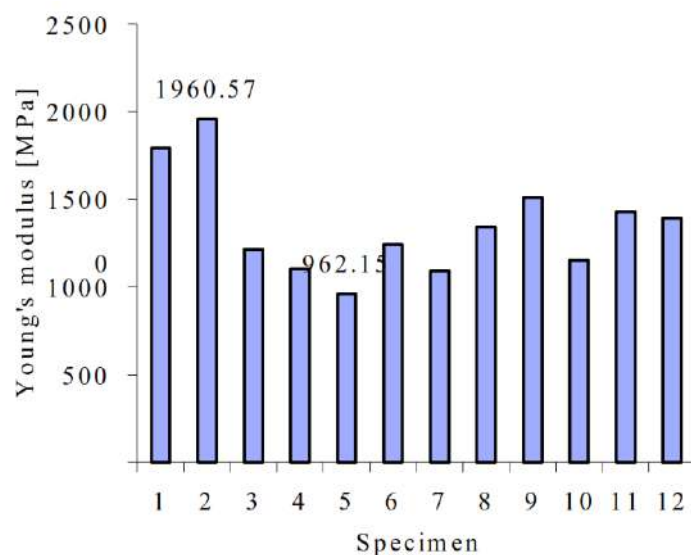


Fig. 2.17. Modulul lui Young pentru cele 12 epruvete [109]

Câteva moduri în care structura sandwich cu miez din poliester neșesut se deteriorează sunt prezentate mai jos, ca vederi laterale.



Fig. 2.18. Moduri în care structura sandwich cu miez din poliester neșesut se deteriorează [109]

Utilizarea unui material poliesteric neșesut COREMAT ca miez pentru laminatele compozite subțiri crește rigiditatea structurii în ansamblu, spre deosebire de laminatele compozite fără COREMAT. S-a obținut o rigiditate medie remarcabilă de 15397000 N/m. Pentru a obține o anumită rigiditate, în loc să se fabrice un laminat compozit cu un număr mare de straturi, dar cu dezavantaje semnificative, miezul din material poliesteric neșesut reprezintă o alegere excelentă pentru a crește rigiditatea structurii fără un consum important de rășină și componente de armare, cu consecințe ecologice.

Analiza unor compozite specifice – rășină poliesterică izoftalică armată cu fibre de sticlă, pultruziune

S-a efectuat o analiză experimentală [110] a unui profil în formă de U, fabricat prin pultruziune, realizată dintr-un strat de material compozit avansat, bazat pe rășină poliesterică izoftalică întărită cu fibre de sticlă unidirecționale, cu un strat suplimentar de acoperire, pentru a determina cele mai importante proprietăți mecanice ale acestuia. Au fost efectuate teste de tracțiune pe eșantioane tăiate din profilul pultrudat atât în direcția fibrelor, cât și perpendicular pe aceasta. O serie largă de proprietăți mecanice, inclusiv modulele de elasticitate ale lui Young, rigiditatea, sarcina-extensia, precum și distribuțiile tensiune-deformație determinate la sarcină maximă, extensie maximă și la rupere, au fost determinate.

În general, procesul de pultruziune este utilizat în fabricarea oricărui profil compozit continuu. În acest proces, fibrele sunt trase dintr-un suport pentru fascicule de fibre, trec printr-o baie de rășină și sunt trase la viteză constantă printr-o matriță de tracțiune încălzită. În această matriță de tracțiune încălzită, impregnarea uniformă este realizată și începe tratamentul termic de întărire. Temperatura de întărire este situată între 120 și 150°C. Viteza de întărire depinde de cantitatea de agenți de întărire din amestecul de rășină, precum și de poziționarea zonelor de încălzire și răcire în interiorul matriței de tracțiune. Profilul întărit este apoi tăiat la lungimea dorită.

În prezent, o variantă a acestui proces de pultruziune, cunoscută sub numele de "pulformare" permite introducerea unei anumite variații în secțiunea transversală a profilului. Procesul de pulformare permite tracțiunea materialelor prin matrița de tracțiune pentru a fi impregnate, profilurile rezultate fiind apoi fixate într-o matriță pentru procesul de întărire. Aplicațiile tipice pentru profilele pultrudate sunt grinzi și stâlpi utilizați în

structuri de susținere, cum ar fi acoperișuri, poduri, punți, precum și panouri profilate. Aceste profile sunt alternative remarcabile la beton, aluminiu, oțel și aluminiu. Avantajele profilurilor pultrudate sunt:

- sunt obținute printr-o metodă foarte rapidă și economică de impregnare și întărire a unui material compozit cu matrice polimerică
- conținutul de rășină necesar pentru impregnare poate fi controlat foarte precis
- proprietățile mecanice ale laminatelor sunt foarte bune, deoarece profilele prezintă fibre orientate unidirecțional și se pot obține fracțiuni volumice ridicate de fibre
- impregnarea cu rășină poate fi realizată într-o zonă închisă, astfel încât emisiile volatile să poată fi limitate

Ca dezavantaje, se pot menționa:

- procesul este limitat la fabricarea profilelor cu secțiuni transversale constante sau aproape constante
- costurile implicate de încălzirea matriței de tracțiune pot crește costurile totale de producție

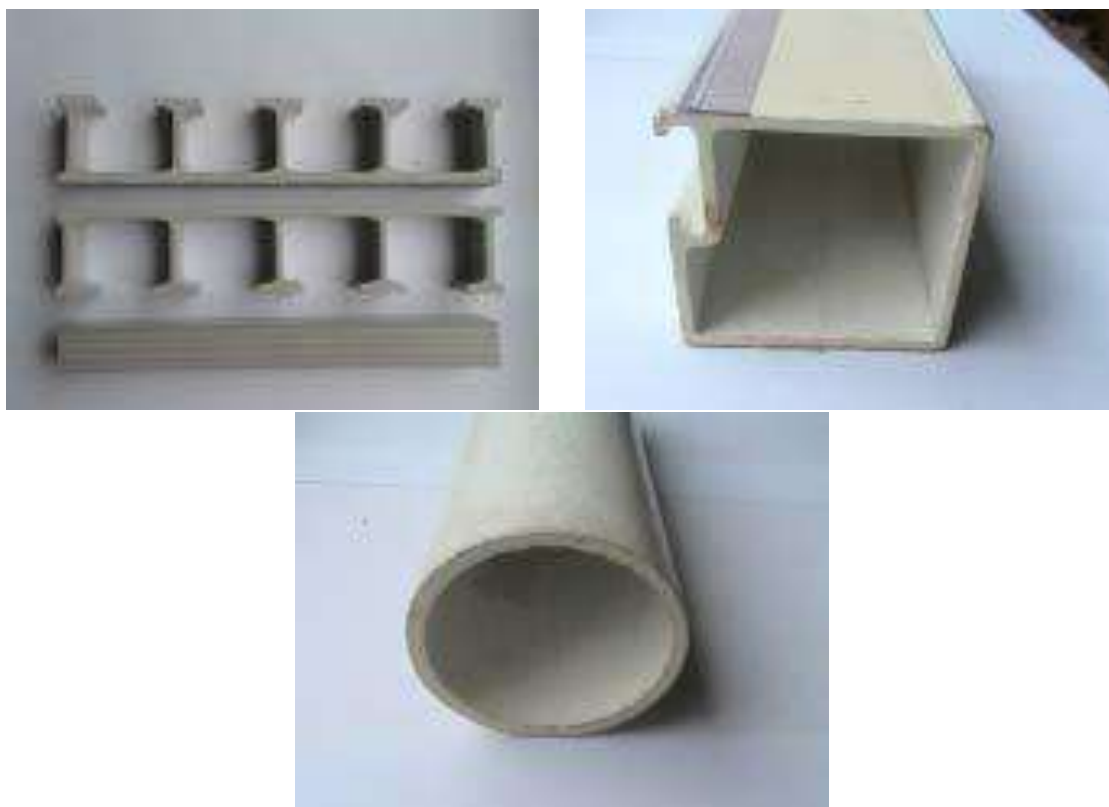


Fig. 2.19. Diferite tipuri de profile din rășină poliesterică izoftalică armată cu fibre de sticlă, obținute prin pultruziune [110]

Profilul pultrudat prezintă o fracțiune de volum a fibrelor de până la 60%. Din acest profil pultrudat, au fost tăiate cinci probe în direcția fibrelor și cinci probe orientate perpendicular pe direcția fibrelor. Pentru testele de tracțiune, probele au fost tăiate conform ISO 527-5:2009. Pentru a evita degradarea probelor în timpul procesului de tăiere și pentru a evita introducerea tensiunilor interne reziduale, a fost utilizat un disc de tăiere cu diamant la o rotație înaltă folosind un sistem de răcire cu apă. Testele de tracțiune au fost efectuate pe o mașină de testare a materialelor de tip LS-100KPlus.

Rezultatele testelor experimentale pot fi observate în figurile de mai jos.

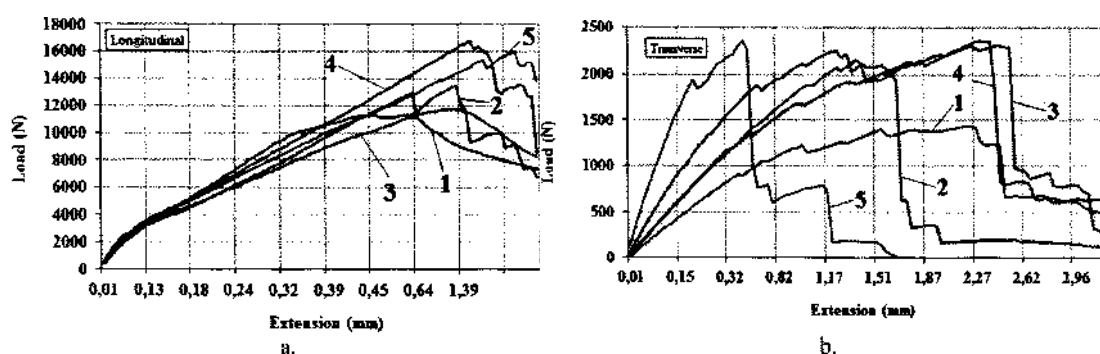


Fig. 2.20. Distribuția încărcare-extensie pentru 5 epruvete tăiate de-a lungul direcției fibrelor (stânga) și 5 epruvete tăiate transversal față de direcția fibrelor (dreapta) [110]

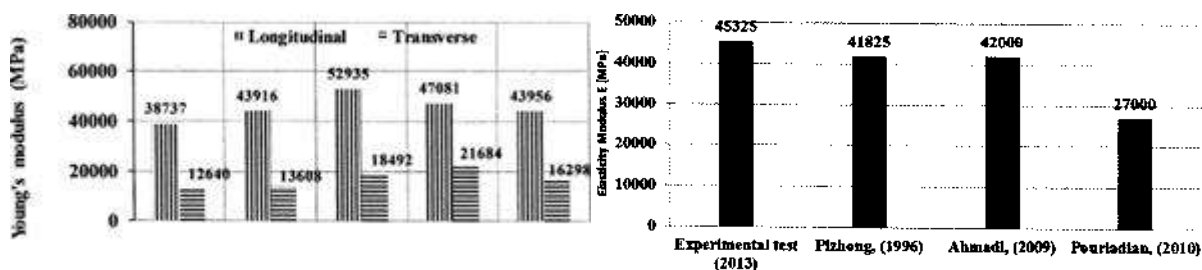


Fig. 2.21. Valorile modulului Young, obținut pe cele 10 epruvete (stânga) în comparație cu valorile regăsite în alte studii (dreapta) [110]

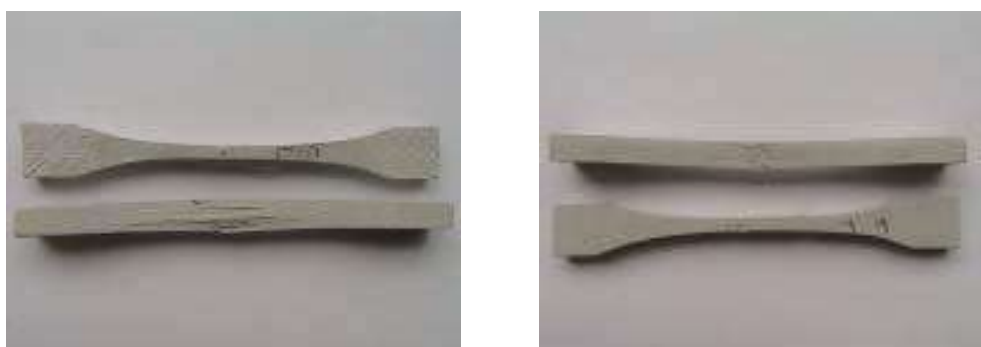


Fig. 2.22. Modul de deteriorare al epruvetelor tăiate de-a lungul fibrelor (stânga) și transversal față de direcția fibrelor (dreapta) [110]

Profilele pultrudate pot fi folosite în multe aplicații de mare interes datorită proprietăților lor specifice, cum ar fi secțiunea transversală constantă, rigiditatea, rezistența ridicată la intemperii și coroziune, precum și rezistența ridicată la tracțiune. Încercările de tracțiune efectuate pe epruvete dintr-un profil pultrudat, în U, pe bază de rășină poliesterică izoftalică armată cu fibre de sticlă, tăiate de-a lungul și transversal pe direcția fibrelor, pun în evidență unele dintre principalele avantaje ale acestui tip de material compozit:

- modulul lui Young în jur de 45000 MPa, determinat de-a lungul direcției fibrelor
- rezistențe la tracțiune de până la 350 MPa determinate de-a lungul direcției fibrelor

Proprietățile mecanice determinate transversal față de direcția fibrelor arată o scădere semnificativă față de cele determinate de-a lungul direcției fibrelor, astfel încât se poate spune că profilele pultrudate din rășină poliesterică izoftalică armată cu fibre de sticlă prezintă o puternică anizotropie.

Analiza unor compozite specifice – caracteristicile de tracțiune ale componentelor unui sandwich compozit utilizat pentru construirea plăcilor circulare de rigiditate superioară

Materialele compozite tip sandwich sunt formate din straturi subțiri și rigide (numite fețe) și un nucleu ușor, de densitate redusă, care este situat între cele două fețe și care îi conferă structurii proprietăți mecanice superioare, în principiu oferind rigiditate bună la densitate redusă.

Studiul [111] a urmărit încercarea la tracțiune a componentelor din care e formată o astfel de structură sandwich, straturile putând fi observate mai jos.

Stratul nr.	Material	Grosime (mm)
1	MAT 450	2
2	Fibră de sticlă tocată cu rășină	2
3	OSB	10
4	Fibră de sticlă tocată cu rășină	2
5	MAT 450	2

Tabelul 2.4. Straturile din componența structurii sandwich și grosimile acestora [111]

MAT 450 e un tip de material compozit alcătuit din fibre de sticlă și rășină fenolică, fiind foarte întâlnit la suprafețe exterioare ale aparatelor de zbor. Stratul compozit MAT 450 are

proprietăți mecanice excelente, cum ar fi rezistența la tracțiune și la impact, este ușor și rezistent la coroziune.

OSB - Oriented Strand Board este un tip de placă de lemn compozit, formată din diferite straturi de rumeguș (sau așchii) de lemn, care sunt îmbinate cu adeziv și orientate în direcții specifice pentru a oferi proprietăți mecanice superioare. OSB este un material durabil, ușor și rezistent la apă.

Testul de tracțiune a materialelor compozite a constat în aplicarea unei forțe progresive de întindere pe axa longitudinală, până când proba s-a rupt. Dependența dintre tensiunile normale și deformațiile specifice care sunt efectul tensiunii axiale asupra probei reprezintă curba caracteristică a testului de tracțiune. Scopul testului de tracțiune efectuat pe epruvete a fost de a determina caracteristicile mecanice ale materialului epruvetei.

Au fost folosite epruvete tip halteră pentru materialul MAT 450 și dreptunghiulare pentru materialul din fibră de sticlă tocată cu rășină. Au fost folosite câte 10 epruvete de fiecare tip, considerându-se apoi valoarea medie pentru parametrii mecanici obținuți în urma încercărilor pe fiecare epruvetă. Mașina de testare la tracțiune folosită a fost LLOYD LS 100, cu încărcare maximă de 100kN.

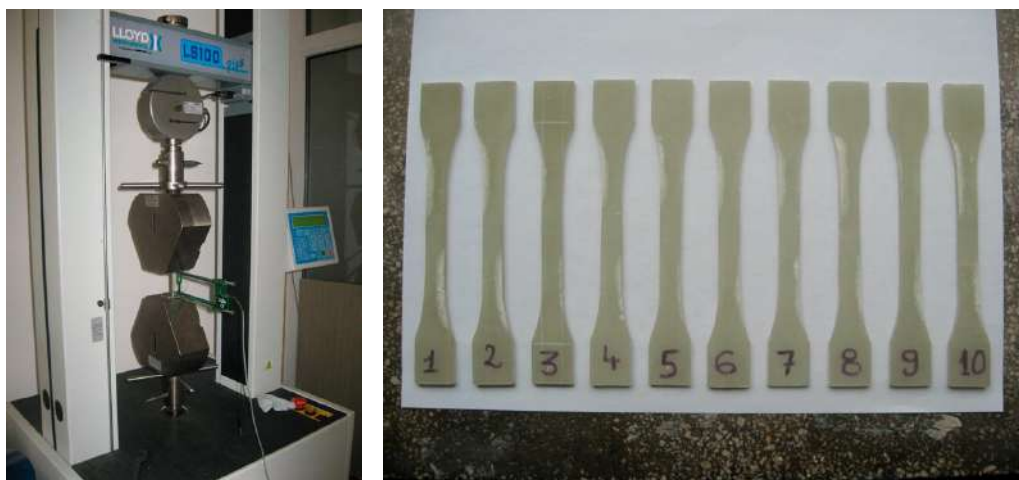


Fig. 2.23 Standul de testare și epruvetele MAT 450 folosite în testul de tracțiune [111]

Ca dimensiuni pentru epruvetele MAT450, lungimea a fost aleasă la 60mm, lățimea a variat între 9,67 și 10,29mm și grosimea între 3,23 și 3,65mm.

Rezultatele experimentale obținute în urma testelor la tracțiune pentru epruvetele din materialul MAT 450 se pot observa în imaginile de mai jos.

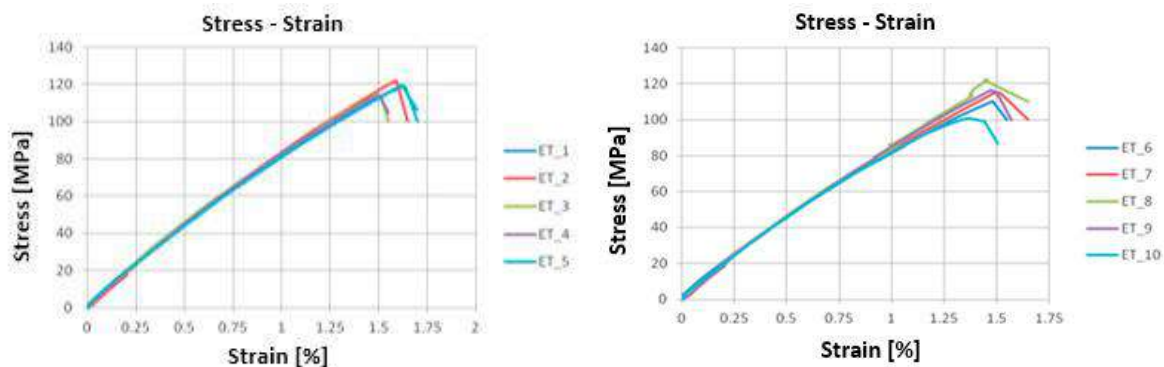


Fig. 2.24. Distribuția tensiune-deformație pentru epruvetele 1-5 (stânga) și 6-10 (dreapta) din MAT 450 [111]

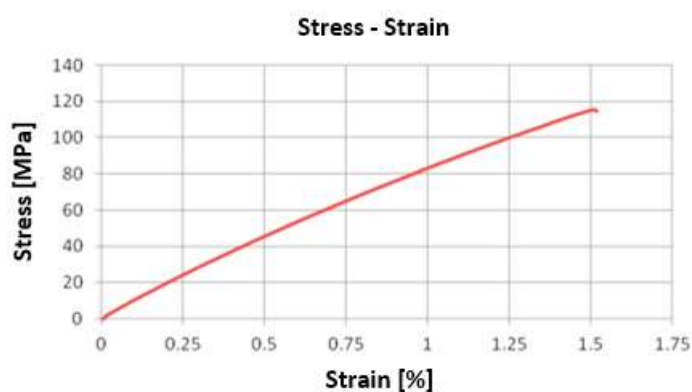


Fig. 2.25. Curba tensiune-deformație obținută prin medierea valorilor înregistrate la testarea celor 10 epruvete din MAT 450 [111]

Epruveta nr.	Modulul de elasticitate (MPa)	Forța la rupere (N)	Tensiunea la rupere (MPa)	Deformația la rupere (%)
1	9404,346	4230,249	119,499	1,5980
2	9686,731	4296,089	121,276	1,5633
3	9429,862	3702,013	113,666	1,5127
4	8937,067	4130,717	114,429	1,5047
5	8386,396	4139,135	119,008	1,6349
6	9161,784	3822,268	110,450	1,4839
7	9663,189	3818,106	114,892	1,5155
8	9789,010	4010,391	121,965	1,4442
9	10265,011	3959,095	115,983	1,4833
10	8970,678	3375,161	99,321	1,4371
Media	9369,41	3961,71	115,44	1,51
Abaterea standard	529,71	266.45	6.26	0.08

Tabelul 2.5. Caracteristicile mecanice obținute pentru epruvetele MAT 450 [111]

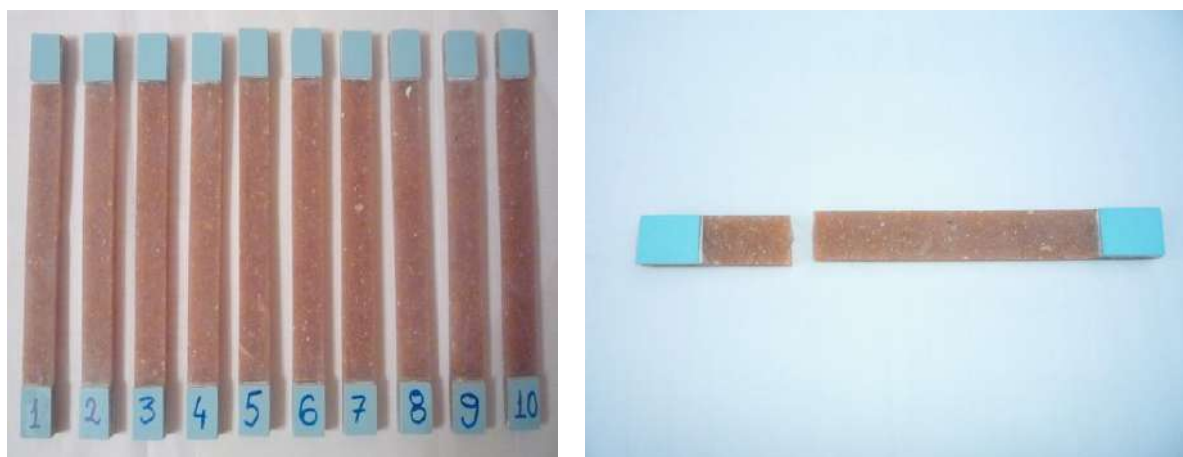


Fig. 2.26. Epruvetele din fibră tocată cu rășină înainte și după rupere [111]

Rezultatele experimentale obținute în urma testelor la tracțiune pentru epruvetele din materialul fibră de sticlă tocată cu rășină se pot observa în imaginile de mai jos.

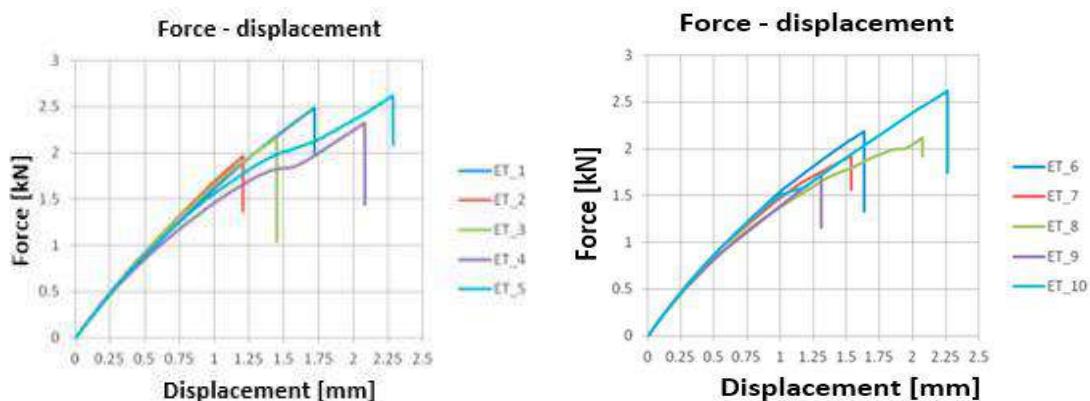


Fig. 2.27. Distribuția tensiune-deplasare pentru epruvetele 1-5 (stânga) și 6-10 (dreapta) din fibră de sticlă tocată cu rășină [111]

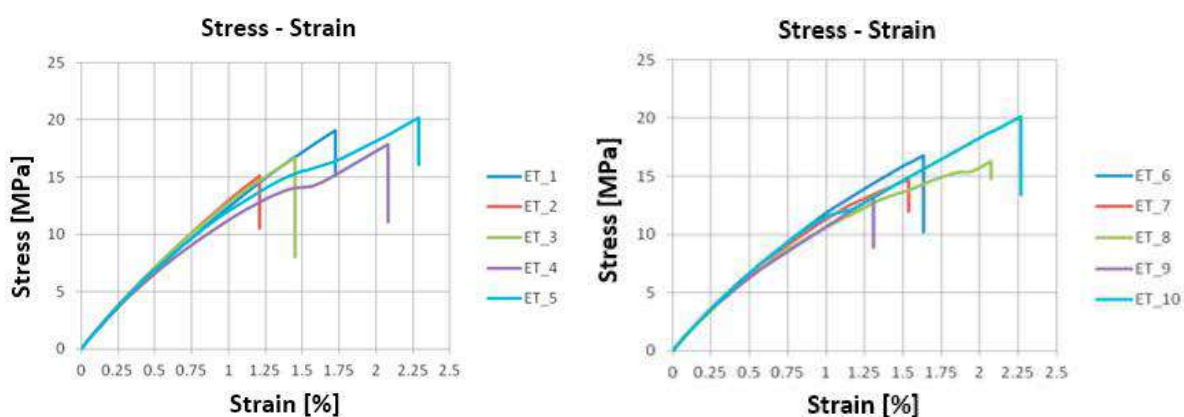


Fig. 2.28. Distribuția tensiune-deformație pentru epruvetele 1-5 (stânga) și 6-10 (dreapta) din fibră de sticlă tocată cu rășină [111]

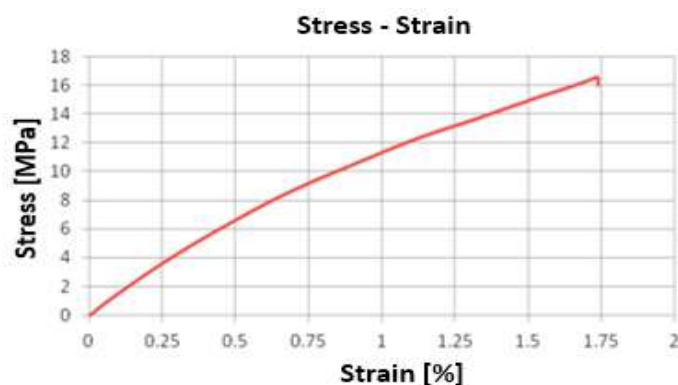


Fig. 2.29. Curba tensiune-deformație obținută prin medierea valorilor înregistrate la testarea celor 10 epruvete din fibră tocată cu rășină [111]

Epruveta nr.	Modulul de elasticitate (MPa)	Forța la rupere (N)	Tensiunea la rupere (MPa)	Deformația la rupere (%)
1	1420,79	2481,44	19,09	1,721
2	1502,89	1962,35	15,10	1,208
3	1515,97	2164,35	16,65	1,448
4	1419,63	2325,13	17,89	2,080
5	1435,54	2623,97	20,18	2,287
6	1400,77	2184,88	16,81	1,634
7	1420,63	1919,43	14,76	1,538
8	1353,31	2120,90	16,31	2,075
9	1394,77	1719,34	13,23	1,309
10	1419,92	2622,23	20,17	2,267
Media	1428,42	2212,40	17,02	1,76
Abaterea standard	48,38	302,83	2,33	0,4

Tabelul 2.6. Caracteristicile mecanice obținute pentru epruvetele din fibră tocată cu rășină [111]

Pe baza testelor de tracțiune efectuate asupra celor două tipuri de probe, putem concluziona că rigiditatea mai mare la tracțiune în materialul compozit este dată de MAT 450, având un modul de elasticitate mult mai mare (9370 MPa) în comparație cu cel al materialului realizat din fibră de sticlă tocată și rășină (1428 MPa).

Din testele efectuate, se poate observa că valorile tensiunilor de rupere pentru materialul de fibră tocată cu rășină sunt mult mai scăzute (aproximativ de 10 ori) în comparație cu cele obținute pentru MAT 450. Rolul acestui material în structura generală a materialului compozit nu este unul structural, ci are scopul de a umple golurile rezultate în urma turnării

straturilor, astfel încât să se obțină o bună uniformitate a straturilor în stadiul final al produsului finit.

2.3 Studii privind lemnul și construcția instrumentelor muzicale

Pentru o imagine mai clară a relației artist – instrument, este necesară o abordare care cuprinde aspecte variate. Dacă în primul capitol ne-am focalizat asupra mișcărilor artistului, în capitolele 2 și 3 ne vom îndrepta atenția spre instrument. După cum am menționat, vorbim doar despre instrumente fabricate din lemn, iar cum lemnul e considerat un material compozit natural, am încadrat subiectul legat de materialul lemnos în acest capitol. Pentru a contura o idee completă în ceea ce privește subiectul pe de-a-ntregul, care este mult mai generos decât poate părea la o primă vedere, putem vorbi de:

- analize realizate la nivelul proprietăților fizice ale lemnului, aici urmărind strict caracteristicile acestui material, pornind de la tipul de lemn ales (de genul molid, paltin etc.) și continuând cu aspecte specifice, precum lățimea inelelor anuale, lățimea lemnului timpuriu, proporția lemnului timpuriu, lățimea lemnului târziu, proporția lemnului târziu, gradul de luminozitate, gradul de culoare (roșu-verde, galben-albastru) etc.
- analize realizate la nivelul particularităților anatomice din construcția instrumentelor muzicale actuale, identificându-se proprietățile referitoare la lemnul sub formă de structură pentru instrumente muzicale: plăci de față, dintr-un anumit material lemnos, plăci de spate, din alt material lemnos, cu referiri la tipurile de fibră și proprietățile specifice (fibră ondulată, fibră creață etc.), urmată de o analiză a tratamentelor la care este supus lemnul, pornind de la recoltare, urmată de debitare, uscare, prelucrarea semifabricatelor
- analize referitoare la elementele componente ale instrumentelor muzicale (plăcile, elementele adiționale) din punct de vedere structural-dinamic, unde se urmăresc modulele de elasticitate longitudinală și transversală, coeficientul contracției transversale, modulul de elasticitate specific, impedanța acustică specifică, frecvențele obținute, modurile de vibrații, vitezele de propagare a undelor sonore pe direcțiile principale ale lemnului
- analize din punct de vedere al percepției acustice (pur și simplu, cum „sună” instrumentul pentru o ureche antrenată), întrucât toate analizele de mai sus, ce

stabilesc în esență o împărțire pe clase de calitate a lemnului folosit pentru instrumentele muzicale, ar trebui să se regăsească la nivelul audiției, la nivelul performanței artistului.

Studiile au fost desfășurate într-o ordine naturală, folosindu-se structura *Material, Construcție, Sunet*, făcându-se corelația cu partea de analiză dinamică, regăsită în Capitolul 3.

2.3.1. Material - caracteristicile anatomice ale lemnului rezonant de molid și paltin

Fără o analiză a lemnului folosit în construcția violinelor ar fi foarte greu de înțeles multe dintre aspectele privind construcția violinelor, acustica acestor instrumente și, într-un final, calitatea sunetului obținut. În explorarea subiectului, un prim interes a fost orientat către analiza lemnului din punct de vedere al caracteristicilor morfologice ale acestuia (elemente precum inele anuale, lemn timpuriu, lemn târziu, tipuri de culoare etc.) [112-114]

Din cele mai vechi timpuri, lutierii selectează lemnul de rezonanță prin verificarea calitativă a structurii anatomice a lemnului, această identificare fiind de obicei una ușor de realizat, fără a apela la mijloace tehnice avansate (se bazează pe verificarea optică a lemnului). În industria instrumentelor muzicale de acest gen există o clasificare în funcție de calitatea anatomica a lemnului din construcția acestora, aspectul fiind regăsit în calitatea, precum și în prețul final al instrumentului.

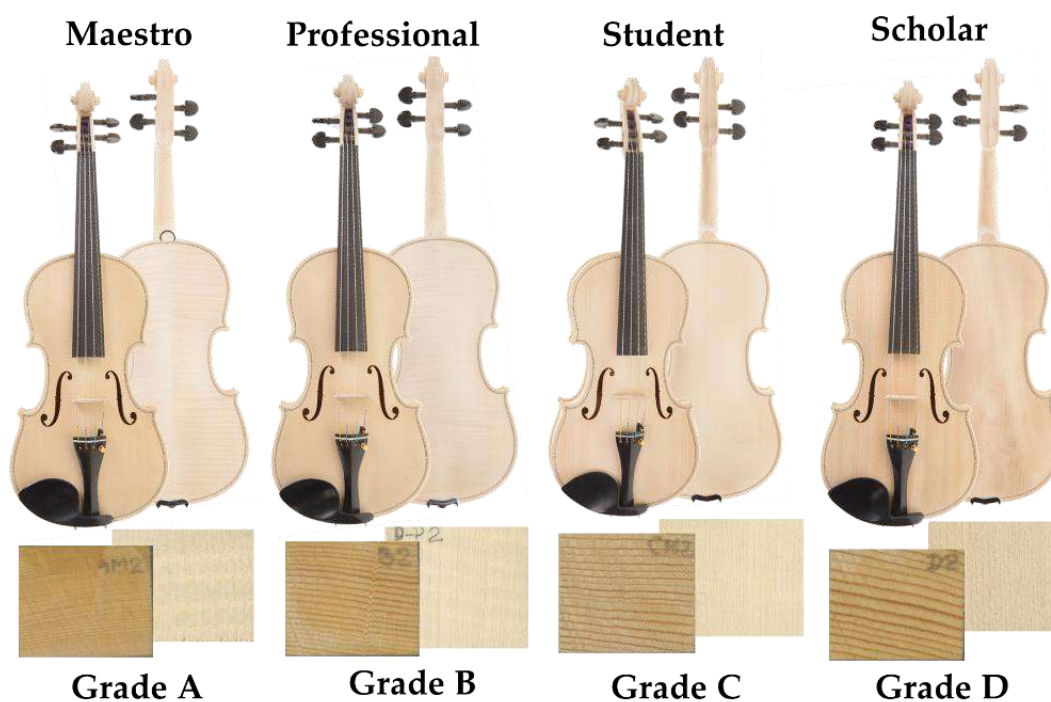


Fig. 2.30. Împărțirea violinelor după clasa de calitate a lemnului [115]

Pentru realizarea acestui studiu [115] au fost analizate diferite plăci de molid și paltin aparținând celor patru clase structurale de calitate ale lemnului, care sunt, de la cea mai înaltă calitate la cea mai joasă: A (master), B (profesional), C (student), D (școlar). Au fost analizate 8 viori, câte două viori din fiecare clasă.

Caracteristicile anatomice au fost măsurate cu ajutorul sistemului WinDENDRO Density, determinându-se lățimea inelelor anuale, lățimea lemnului timpuriu și lățimea lemnului târziu, lungimea de undă a fibrei crețe a lemnului de paltin, precum și parametrii de culoare ai lemnului.

Parametrii	Clasa se calitate			
	A	B	C	D
Valoarea medie/STDV				
Număr de inele anuale/probă	56 (0.158)	29 (0.223)	23 (0.374)	14 (0.347)
Lățimea inelului anual (mm)	0.71 (0.005)	1.38 (0.018)	1.69 (0.045)	2.28 (0.005)
Lățimea de lemn timpuriu (mm)	0.54 (0.011)	1.07 (0.029)	1.33 (0.039)	1.74 (0.029)
Lățimea de lemn târziu (mm)	0.18 (0.013)	0.30 (0.013)	0.36 (0.022)	0.54 (0.026)
Proporția de lemn timpuriu (%)	74.97 (1.519)	78.53 (1.203)	78.71 (0.895)	76.36 (1.138)
Proporția de lemn târziu (%)	25.03 (1.519)	21.47 (1.203)	21.29 (0.895)	23.64 (1.136)
Gradul de luminozitate (%)	84.15 (0.349)	83.57 (0.398)	84.21 (0.700)	83.65 (0.120)
Gradul de roșu/verde	2.54 (0.093)	2.97 (0.149)	2.47 (0.202)	2.76 (0.093)
Gradul de galben/albastru	19.78 (0.573)	19.62 (0.163)	20.02 (0.727)	20.85 (0.223)

Tabelul 2.7. Descriptorii anatomici ai lemnului de molid [115]

Parametrii	Clasa de calitate			
	A	B	C	D
Valoarea medie/ STDV				
Lăţimea inelului anual (mm)	1.249 (0.167)	1.219 (0.068)	0.844 (0.119)	0.987 (0.026)
Indice de regularitate a inelelor	0.765 (0.058)	0.800 (0.057)	0.829 (0.058)	0.834 (0.604)
Pasul undulaţiei fibrei (mm)	5.448 (0.460)	6.295 (0.625)	7.418 (1.400)	-
Gradul de luminozitate (%)	83.48	86.626	86.462	82.143
Gradul de roşu/verde	3.637	2.215	1.975	3.623
Gradul de galben/albastru	18.105	16.677	17.893	18.123

Tabelul 2.8. Descriptorii anatomici ai lemnului de paltin [115]

Datele experimentale privind caracteristicile anatomice ale lemnului rezonant de molid arată o tendinţă de scădere a proporţiei lemnului târziu cu lăţimea inelului anual, care, deşi semnificativă statistic, nu este suficient de consistentă. Se observă că Lăţimea inelelor anuale scade pe măsură ce calitatea lemnului creşte. În cazul lemnului de paltin, există tendinţa de a creşte lăţimea inelelor şi de a scădea lungimea de undă odată cu îmbunătăţirea clasei de calitate.

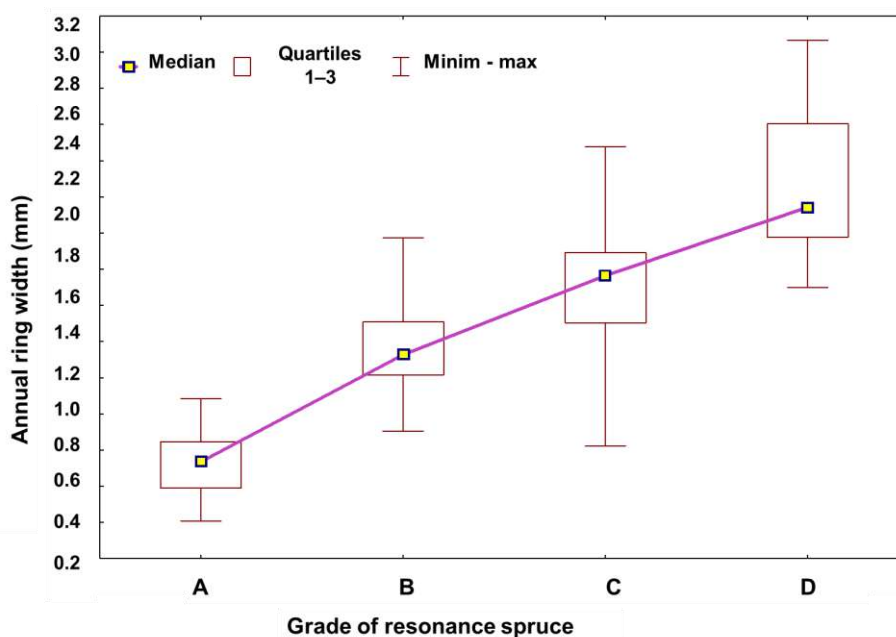


Fig. 2.31. Variaţia lăţimii inelelor anuale relativ la clasa de calitate, lemn de molid [115]

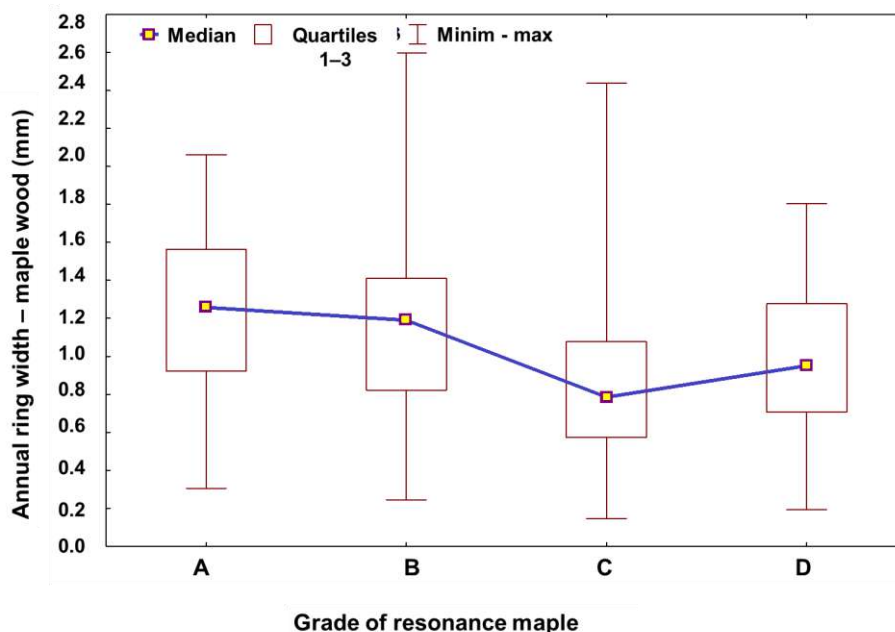


Fig. 2.32. Variația lățimii inelelor anuale relativ la clasa de calitate, lemn de paltin [115]

Se pot identifica o serie de caracteristici privind și din punct de vedere al corelației dintre luminozitatea culorii și clasele de calitate. De exemplu, în cazul lemnului de molid, lemnul din clasa de calitate A are cel mai mare procentaj de luminozitate a culorii (84%), un grad mai scăzut de roșu (sub 2,6) și galben (sub 20). În clasa de calitate A, variabilele de culoare prezintă cele mai mici variații. În clasele B și D, lemnul de molid este mai închis la culoare (sub 83%) și are un conținut de roșu mai mare (peste 3,2). Clasa D are, de asemenea, cel mai mare conținut de galben în culoare (peste 20,5). Clasa de calitate C are cel mai scăzut conținut de roșu (sub 2,5).

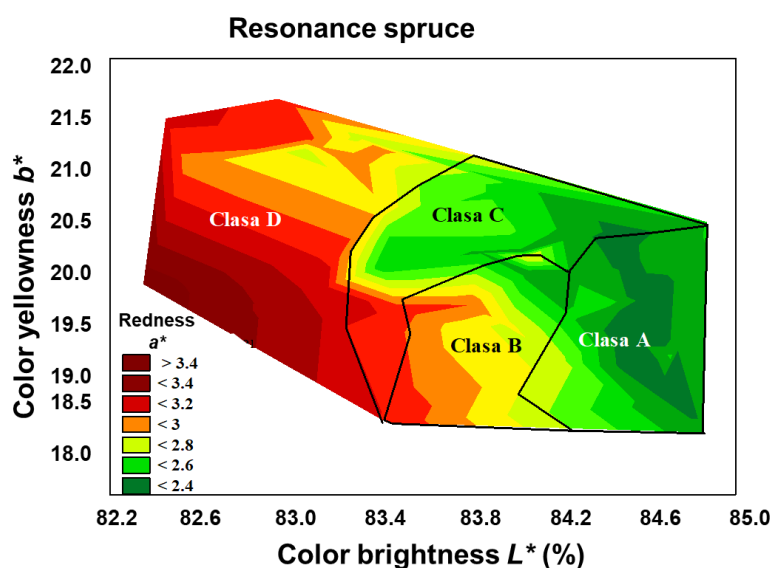


Fig. 2.33. Spectrul de culoare pentru lemnul de rezonanță de molid [115]

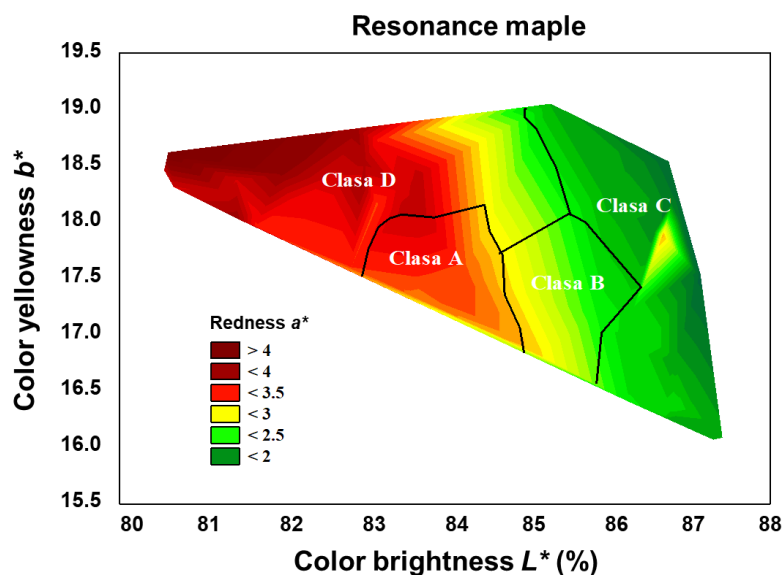


Fig. 2.34. Spectrul de culoare pentru lemnul de rezonanță de paltin [115]

Pe baza corelațiilor dintre descriptorii anatomici ai lemnului de molid, se poate afirma că variabilele inelelor anuale nu au nicio influență asupra luminozității lemnului, dar dimensiunea nuanței galbene este direct proporțională cu lățimea inelelor și constituenții lor (lemnul timpuriu și lemnul târziu). Prin corelarea culorii lemnului cu densitatea, s-a dovedit că lemnul cu o densitate mai mare este de culoare mai închisă și are o nuanță de roșu mai slabă. Diferențele dintre gradele de calitate ale lemnului de paltin în ceea ce privește culoarea sunt mai pronunțate decât la molid. Stratificarea culorilor pe clasa de calitate relevă formarea a două grupe: clasele A și D, respectiv B și C.

2.3.2. Construcție: Identificarea geometriei și a elementelor constructive din structura viorilor istorice

În urma a numeroase studii privind viorile istorice, s-a ajuns la concluzia că există o serie de factori care contribuie la calitatea acustică a acestora. Printre acești factori se numără forma geometrică a viorii, grosimea și arcuirea plăcilor, dimensiunile și poziția barei bas, dimensiunea și poziția găurilor acustice [116-118]. Studiul [119] și-a propus să compare elementele structurale și constructive ale viorilor vechi realizate în diverse ateliere de viori celebre (Stainer, Klotz, Leeb, Babos Bela), folosind tehnici fără contact, nedistructive, bazate pe analiza imaginilor.

Viorile studiate datează din perioada 1716-1920, fiind în stare bună, majoritatea fiind utilizate de artiști din cadrul Filarmonicii Brașov din România. În prima etapă a studiului, viorile au fost scanate și analizate optic pentru a identifica structura lemnului rezonant. Pentru aceasta s-a folosit aplicația software WinDENDRO Density 2007. Pe lângă aceasta,

au fost utilizate și imagistica cu raze X și tomografia computerizată (CT). Combinând tipurile de analize, în corelație cu expertiza producătorilor de vioi și cunoștințele cercetătorilor din domeniu, s-au extras date valoroase privind caracteristicile geometrice și constructive ale viorilor istorice.

Din punct de vedere tehnologic, plăcile superioare ale unei vioi sunt obținute din două jumătăți, tăiate radial longitudinal din bușteni, care, după uscarea naturală, sunt condiționate într-o cameră de uscare până la o conținut de umiditate de 6-8%. Apoi, plăcile pereche sunt lipite pe lungime, obținându-se astfel o placă cu o structură anatomică a lemnului simetrică față de axul median longitudinal.

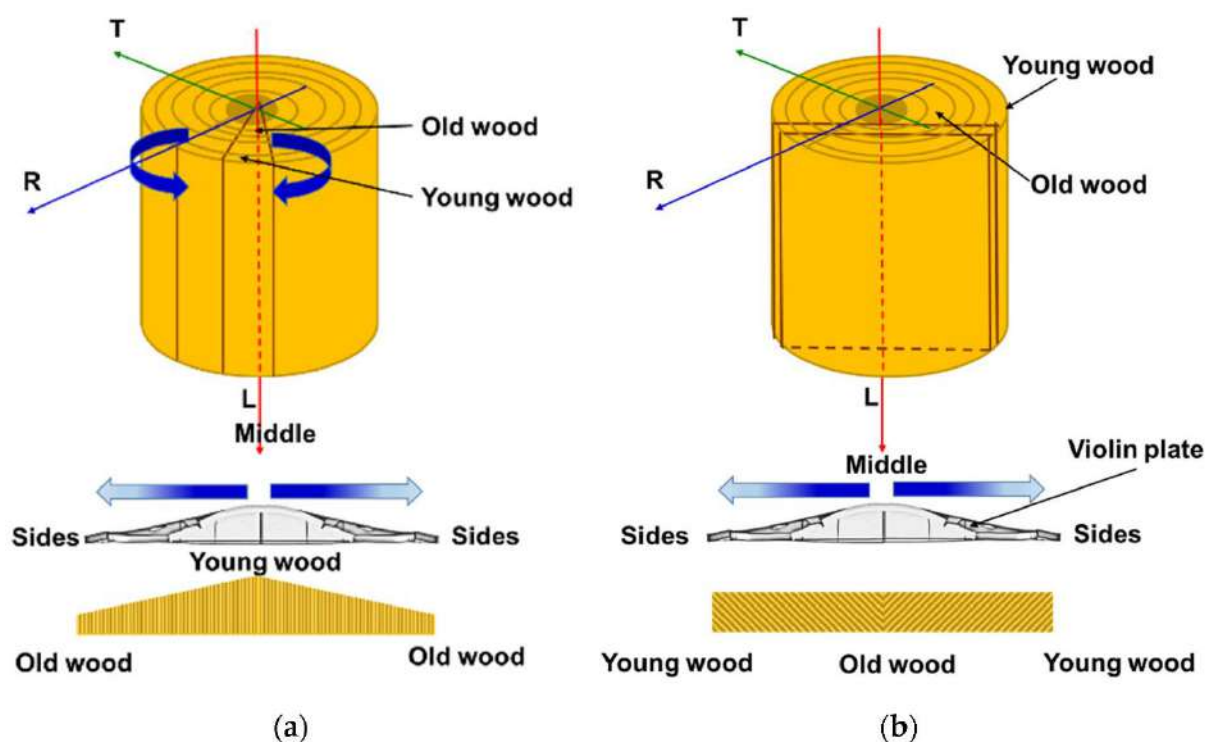


Fig. 2.35.. Cele două moduri de tăiere a lemnului din bușteni, pentru construcția viorilor. Varianta din stânga este specifică școlilor Cremonese [119]

În studiu au fost analizate șapte vioi, dintre care șase istorice și una actuală. Cinci dintre ele sunt etichetate cu informații despre data fabricării și apartenența la o școală de vioi: vioara Jacobus Stainer, 1716; vioara Johann Georg Leeb, 1742; vioara Joseph Klotz, 1747; vioara Babos Bela, 1920; vioara Gliga Vasile Ghiorghe, 2020. Celelalte două nu sunt etichetate. Istoria este cunoscută pentru una dintre viorile fără etichetă (faptul că este o copie aparținând școlii lui Jacobus Stainer codificată "Jacobus Stainer Copy"), iar pentru cealaltă vioară (codificată "Unbranded" sau "fără marcă"), originea și dacă a aparținut unei anumite școli de lutieri sunt necunoscute.

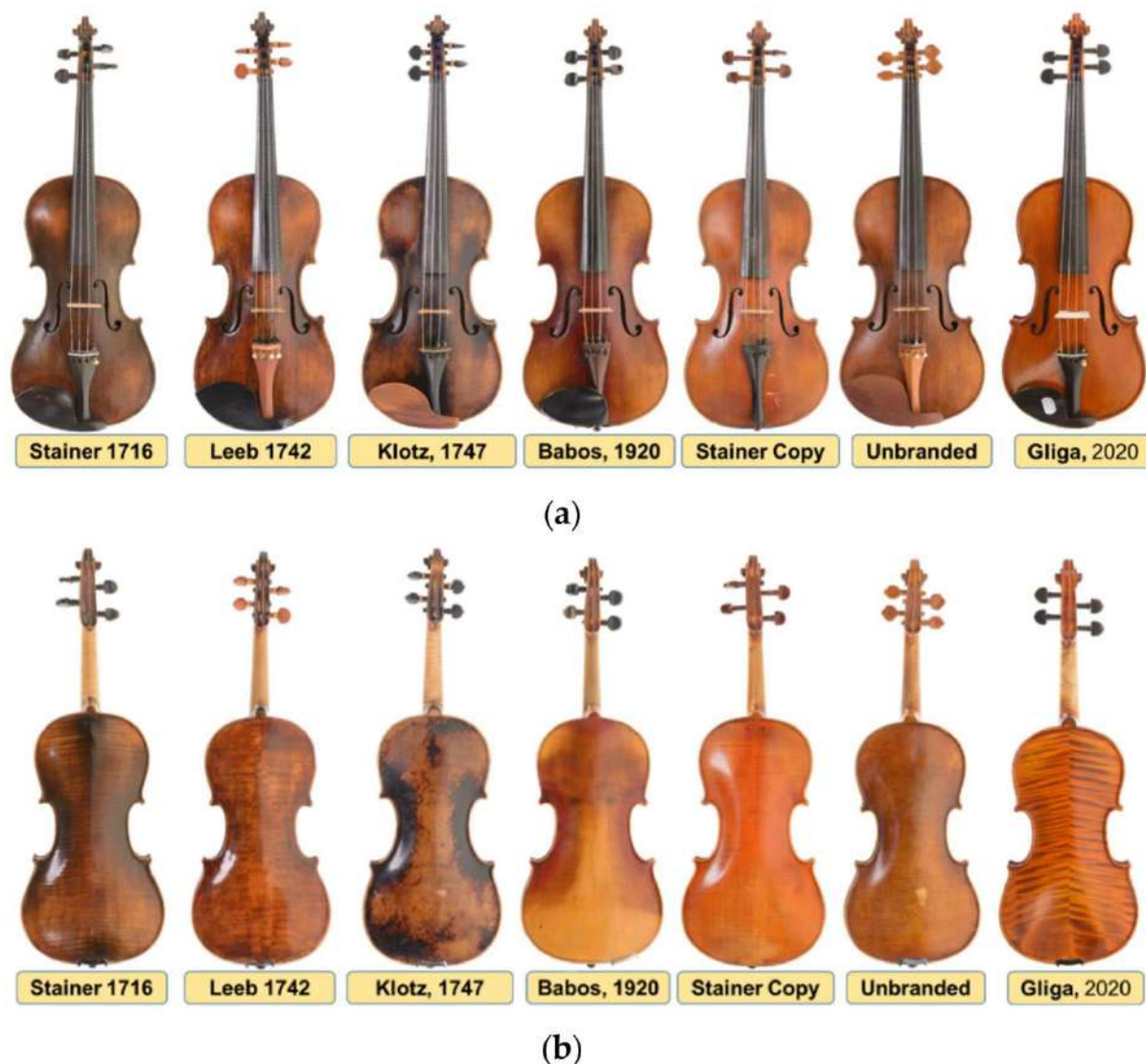


Fig. 2.36. Cele șapte violi care au făcut parte din studiu a) vedere placă față b) vedere placă spate [119]

Evaluarea caracteristicilor anatomice ale lemnului în construcția plăcilor superioare și inferioare ale violinelor vechi a fost realizată folosind sistemul de analiză de imagine WinDENDRO Density 2007. Ca și caracteristici, au fost măsurate: lățimea inelelor anuale denumită TRW, lățimea lemnului timpuriu, lățimea lemnului târziu și lungimea de undă a fibrei crețe de paltin (lungimea de undă), conform metodei prezentate în studii anterioare. Inelele anuale au fost măsurate în două sau trei direcții, în funcție de dificultățile locale în identificarea conturului inelelor, mai ales pentru violinele vechi, pornind de la marginea lateralelor până la linia de sudură a jumătăților din care s-a format fața. Pentru plăcile de molid din structura plăcilor superioare de vioară, a fost măsurată lățimea lemnului timpuriu și a celui târziu, structura lemnului permițând preluarea acestor date. Pe de altă parte, pentru plăcile de paltin din construcția plăcilor spate ale violinelor, s-a măsurat doar lățimea

fiecărui inel. Toate măsurătorile au fost efectuate fără a îndepărta corzile metalice și alte accesorii, așa cum au solicitat proprietarii viorilor.

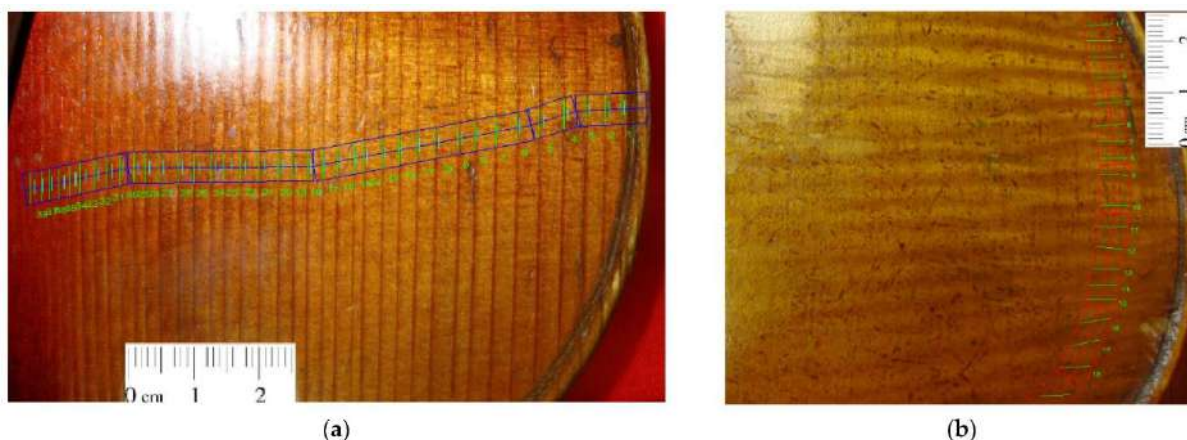


Fig. 2.37. Măsurarea caracteristicilor inelelor anuale ale lemnului folosind sistemul WinDENDRO Density 2007 a) pentru plăcile față, de molid și b) pentru plăcile spate, din paltin [119]

Pentru a determina în mod neintruziv forma și geometria viorilor, acestea au fost supuse radiografiei cu raze X [120]. Înregistrările au avut loc la Laboratorul de Radiologie și Imagistică Medicală, Facultatea de Medicină Veterinară din Cluj-Napoca. Experiențele cu raze X au fost realizate folosind un dispozitiv radiografic fix TEMCO Grx-01 (K&S Röntgenwerk Bochum GmbH&Co KG). Experiențele au fost realizate dorso-ventral, câmpul de vizualizare fiind setat pentru a acoperi corpul viorii. Parametrii utilizați pentru obținerea imaginilor au fost 50-56 kV și 13-20 mAs. Imaginile au fost obținute cu ajutorul DR Reyance Xmaru 1717SGC/SCC Flat Panel Detector (Reyance Inc., Hwaseong-si, Gyeonggi-do, Coreea de Sud) și software-ul de achiziție Xmaru VetView (Reyance Inc., Hwaseong-si, Gyeonggi-do, Coreea de Sud).

Pentru a analiza elementele constructive, grosimile și curburile componentelor, viorile au fost de asemenea expuse tomografiei computerizată (CT) [121]. Examinările CT au fost efectuate pe un dispozitiv Siemens Somatom Scope (Siemens, Erlangen, Germania). Scanările au fost efectuate folosind un kernel de reconstrucție osoasă. Pentru fiecare vioară, au fost efectuate două scanări axiale, una pentru corpul viorii și a doua pentru gâtul viorii. Imaginile, atât pentru razele X, cât și pentru scanarea CT, au fost achiziționate în format DICOM; citirea și post-procesarea fișierelor DICOM a fost efectuată utilizând software-ul 3DNET PACS și vizualizatorul DICOM Horos.



(a)



(b)

Fig. 2.38. Investigarea violorilor din studiu folosind a) metoda cu raze X și b) tomografie computerizată [119]

Au fost măsurate un total de 2641 inele frontale și 970 inele de spate, iar în tabelul de mai jos sunt prezentate valorile medii și abaterea standard a principalelor caracteristici ale inelelor anuale, măsurate pe plăcile superioare și spate ale violorilor.

Variabile	Violorile studiate						
	Stainer 1716	Leeb 1742	Klotz 1747	Babos 1920	Stainer Copy	Fără marcă	Gliga 2020
	Plăci față (din molid)						
Lățimea inelelor anuale (mm)	2.247	1.530	1.251	1.891	0.985	1.327	0.940
	0.567	0.490	0.403	0.612	0.527	0.336	0.234
Lățimea lemnului timpuriu (mm)	1.676	1.148	0.792	1.449	0.689	0.907	0.568
	0.518	0.467	0.304	0.601	0.450	0.293	0.190
Lățimea lemnului târziu (mm)	0.496	0.382	0.459	0.442	0.300	0.420	0.372
	0.178	0.122	0.162	0.158	0.118	0.130	0.100
Procentul de lemn timpuriu (%)	76.184	73.564	62.635	74.379	66.127	67.689	59.766
	9.152	8.507	8.700	9.942	11.286	8.921	8.388
Procentul de lemn târziu (%)	23.816	26.436	37.365	25.203	33.873	32.311	40.234
	9.152	8.507	8.700	9.942	11.286	8.921	8.388
	Plăci spate (din paltin)						
Lățimea inelelor anuale (mm)	1.908	1.246	1.063	1.026	1.277	4.563	1.623
	0.531	0.658	0.902	0.527	0.297	1.105	0.666
	4.021	6.421	NA	3.946	4.984	4.585	6.731

Variabile	Viorile studiate						
	Stainer 1716	Leeb 1742	Klotz 1747	Babos 1920	Stainer Copy	Fără marcă	Gliga 2020
Lungimea de undă a fibrei (mm)	1.577	2.422	NA	1.256	1.589	1.057	3.371

Tabelul 2.9. Proprietățile anatomice ale lemnului de molid și paltin folosit în construcția plăcilor viorilor din studiu [119]

La trei dintre viorile analizate, inelele anuale din structura plăcii spate sunt considerabil mai fine decât cele ale plăcii față (Babos 1920, Leeb 1742, Stainer 1716). La alte trei viori, inelele anuale ale plăcii față sunt mult mai fine decât cele ale plăcii spate (Unbranded, Stainer Copy, Gliga 2020). Pentru vioara Klotz 1747, inelele au lățimi apropiate pentru cele două plăci față și spate. În 40% din cazuri, indicii de regularitate a lățimii RI se încadrează în limitele specificate de Rocaboy et al. pentru lemnul rezonant ($RI \leq 0,700$ - cu cât este mai mare valoarea RI, cu atât este mai mică regularitatea inelelor). În majoritatea viorilor, există diferențe mari între plăcile față și spate în ceea ce privește regularitatea inelelor. Inelele din lemnul de molid (placa față) înregistrează de obicei valori mai bune decât cele din lemnul de paltin pentru placa spate. Lățimea lemnului timpuriu în compoziția inelului anual este direct proporțională cu lățimea inelului anual. În plus, lățimea lemnului târziu depinde în mare măsură de lățimea inelului de creștere. În medie, lemnul târziu reprezintă o treime, iar lemnul timpuriu celelalte două treimi din lățimea inelului anual. Proporțiile celor două componente ale inelului anual prezintă un nivel moderat de variabilitate.

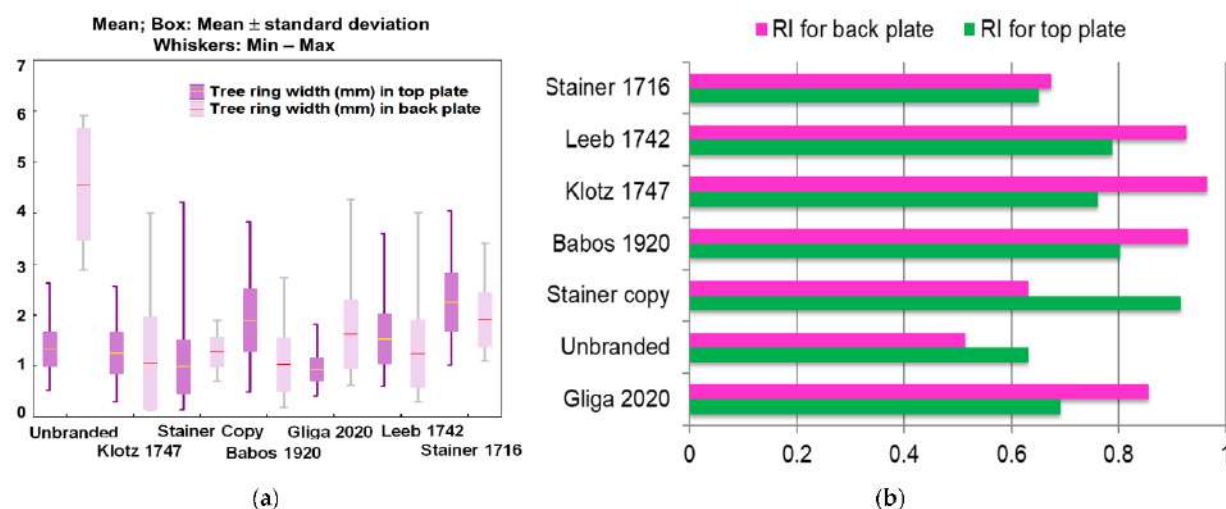


Fig. 2.39. Comparație între descriptorii anatomici ai lemnului din structurile viorilor din studiu : (a) Variația lățimii inelelor anuale în cazul plăcilor față și spate ale viorilor studiate; (b) Nivelul de regularitate al inelelor anuale [119]

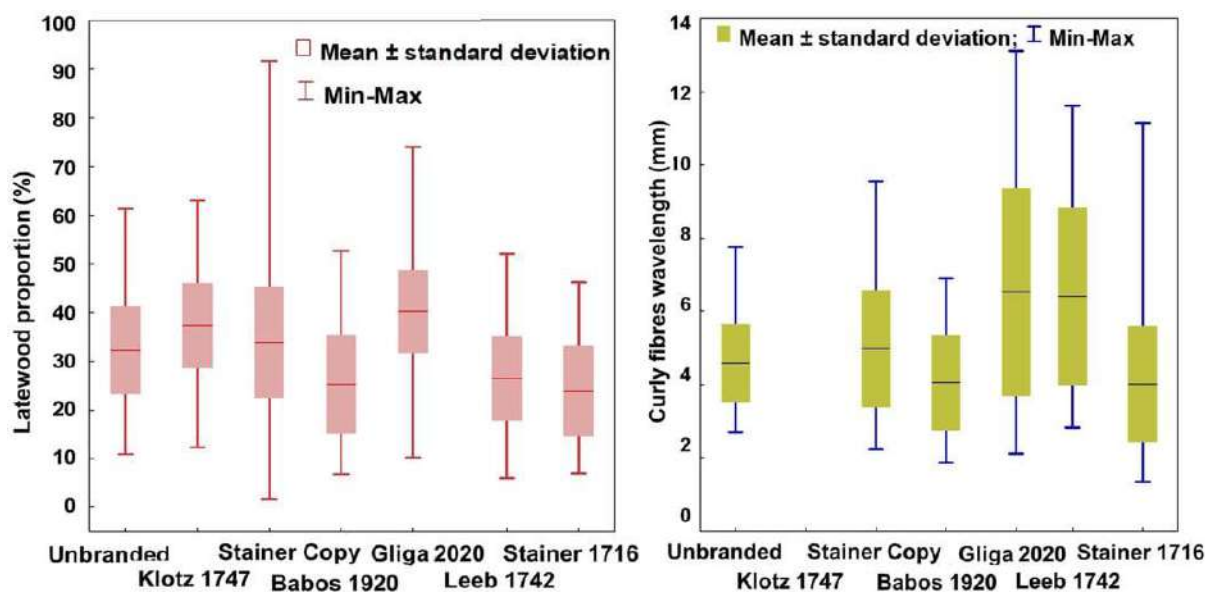


Fig. 2.40. a) Variația proporției de lemn târziu la plăcile față de vioară și b) variația lungimii de undă a fibrei crește de paltin la plăcile spate de vioară [119]

Analizele cu raze X și tomografie computerizată au fost practic cele mai așteptate, având în vedere că nu sunt multe variante pentru a identifica elementele constructive din interiorul acestor viori fără a distruge, practic, instrumentele.

Prin analizele cu raze X efectuate în cadrul Laboratorului de Analiză și Radiografie a Imaginii al Facultății de Medicină Veterinară, USAMV Cluj-Napoca, a fost posibil să se identifice unele elemente constructive specifice școlilor de lutieri din care fac parte viorile. Caracteristicile care pot fi observate în radiografia cu raze X sunt elementele macroscopice ale structurii, rezoluția slabă fiind, pe de o parte, din cauza sensibilității relativ scăzute a razelor X la materialul lemnos și, pe de altă parte, din cauza dimensiunii relativ mari a probei.

Astfel, dintre elementele constructive care s-au evidențiat în analiza cu raze X merită remarcate colțurile, care au rolul de a întări intersecțiile dintre curbele viorii ca rezultat al modificării razei de curbură, precum și de a crește suprafața de lipire între placa frontală, placa din spate și laterale. După cum se poate observa în figura de mai jos, viorile investigate pot fi grupate în următoarele trei clase în ceea ce privește forma constructivă a colțurilor: viorile fără colț la interior (Stainer, 1716; Babos 1920), viorile în care colțurile sunt întărite cu colțuri solide de lemn, tăiate în funcție de forma interioară a colțurilor, obținându-se un contur continuu în interiorul corpului viorii și, în cele din urmă, viori cu plăci de lemn moale (Klotz, 1747, copia Stainer și vioara „fără marcă”). Se poate observa că

plăcile de întărire a colțurilor de pe vioara Klotz 1747 se găsesc doar la colțurile dintre curbura centrală și curbura inferioară.

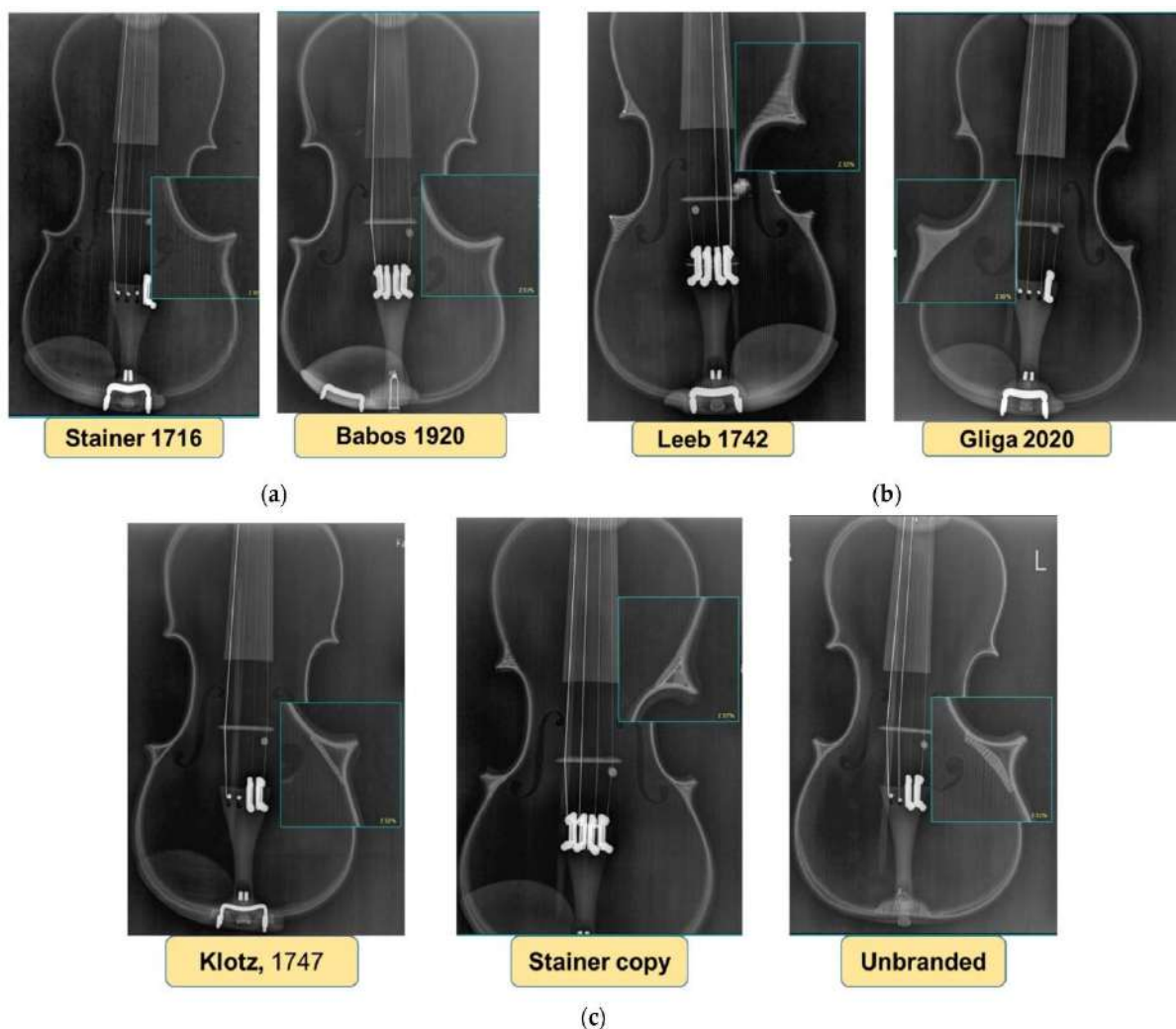


Fig. 2.41. Forma constructivă a colțurilor, vizibilă sub raze X: a) violi fără colțuri b) violi cu colțuri din lemn solid c) violi cu plăci de lemn moale [119]

Folosind tomografia computerizată a violinelor studiate s-au putut obține informații privind grosimea plăcilor de vioară, curbura plăcilor, forma barei de sunet, dimensiunile violinelor vechi și aspecte referitoare la integritatea sau gradul de deteriorare a violinelor.

Tomografia computerizată cuprinde un set de imagini axiale 2D. Volumul de date poate fi reformatat și reorganizat în imagini 3D, cu avantajul de a obține un contrast aproximativ de 16 ori mai mare decât radiografia cu raze X, util pentru a identifica unele elemente constructive (forme/dimensiuni) inaccesibile ochiului liber.

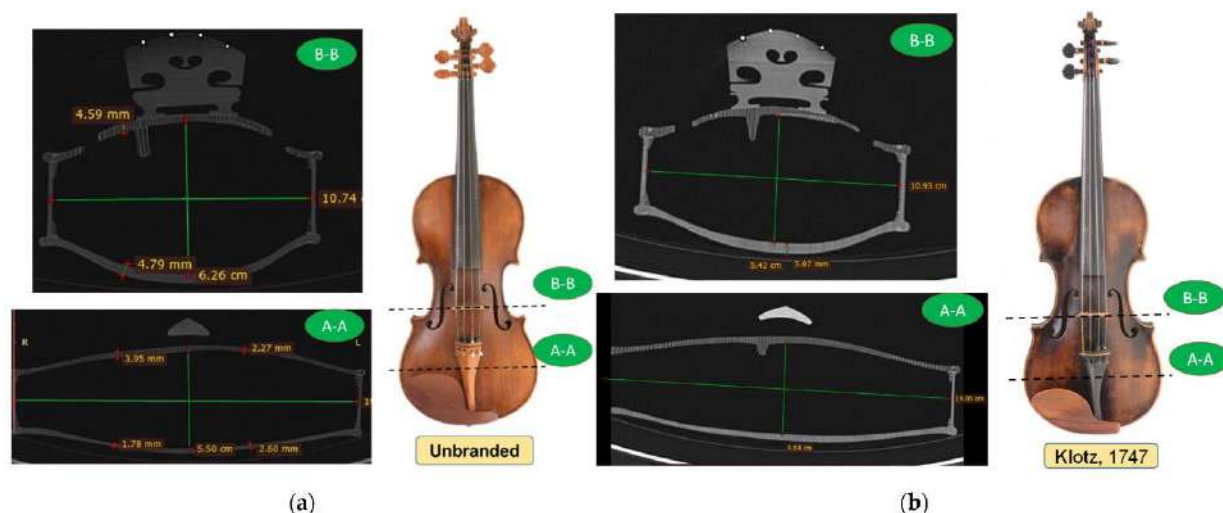


Fig. 2.42. Viori analizate folosind tomografia computerizată a) vioara fără marcă b) vioara Klotz 1747 [119]

Și celelalte viori au fost analizate, identificându-se dimensiunile viorilor în diferite secțiuni, grosimea plăcilor și raza de curbura. Din punct de vedere constructiv, se observă un detaliu interesant în modul în care bara de rezonanță a fost realizată. La viorile Stainer, 1716, Leeb 1742 și vioara "fără marcă", bara bas apare aplicată pe placa superioară, în comparație cu viorile "copia Stainer", Klotz 1747 și Bela 1920, în care această bară de rezonanță a fost realizată prin modificarea grosimii plăcii frontale în acea zonă, folosindu-se un element volumetric pe partea interioară a plăcii.

În plus, curbura plăcilor de vioară și grosimea acestora joacă un rol important în acustica instrumentului muzical, oferind viorilor acele moduri de semnătură regăsite în literatura de specialitate.

O altă caracteristică constructivă este cea legată de compoziția plăcilor spate: viorile "fără marcă" și Klotz au o placă spate realizată dintr-o singură bucată de lemn, în timp ce celelalte viori au o placă de spate compusă din două jumătăți cu structura aproape simetrică a inelelor anuale. Acest aspect poate fi observat chiar și cu ochiul liber prin analiza vizuală a viorii, dar este confirmat de imaginile din secțiunea transversală obținute prin tomografia computerizată. Imaginile CT oferă posibilitatea de a distinge clar diferențele dintre cele două specii de lemn folosite pentru plăcile din față (molid) și spate (paltin), precum și eventuale intervenții/reparații efectuate la viori, gradul de uzură a lemnului și atacurile biologice pe care lemnul le-a suferit (s-au observat, pentru unele viori, atacuri din partea larvelor coelopterelor).

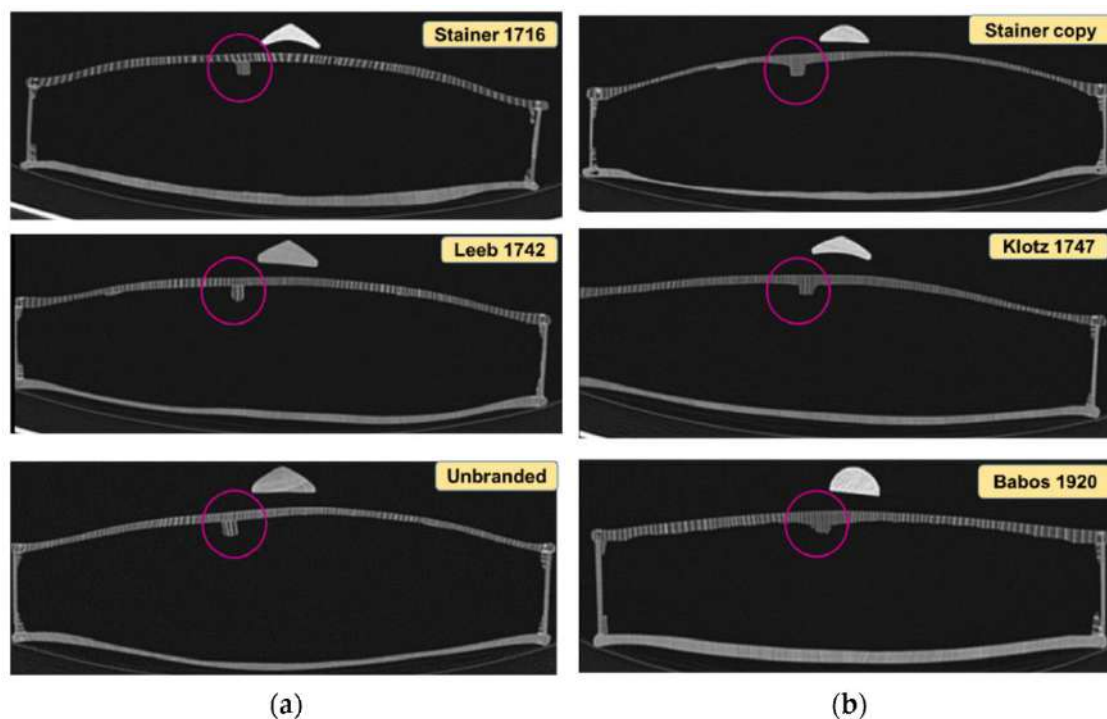


Fig. 2.43. Secțiune prin viorile supuse la tomografie computerizată a) viori cu bara bas aplicată b) viori cu bara bas procesată din placa frontală [119]

În zonele evidențiate din figura de mai jos se pot observa traiectoriile golurilor produse de larvele coleopterelor, contrastul de culoare și forma golurilor fiind specifice atacului biologic.

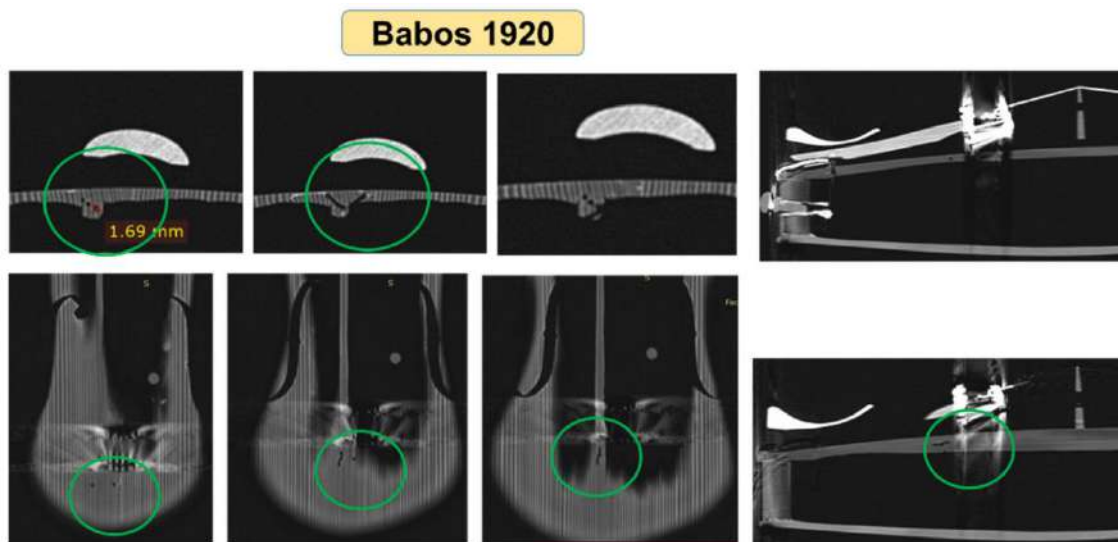


Fig. 2.44. Forma și traiectoriile golurilor produse de larvele coleopterelor în cazul viorii Babos 1920 [119]

Caracteristicile viorilor din studiu au fost centralizate sub forma unui tabel prezentat mai jos.

Caracteristici	Viorile studiate						
	Stainer 1716	Leeb 1742	Klotz 1747	Babos 1920	Copie Stainer	Fără marcă	Gliga 2020
Tăietura din lemn (față)	Două bucăți	Două bucăți	O bucată	Două bucăți	Două bucăți	Două bucăți	Două bucăți
Lățimea inelelor anuale	Largă	Îngustă	Îngustă	Largă	Îngustă	Îngustă	Îngustă
Regularitatea inellelor anuale	Medie	Slabă	Bună	Medie	Slabă	Ridicată	Ridicată
Simetria plăcii superioare	Medie	Slabă	Medie	Slabă	Slabă	Medie	Ridicată
Tăietura din lemn (spate)	Două bucăți	Două bucăți	O bucată	Două bucăți	Două bucăți	Două bucăți	Două bucăți
Lățimea inelelor anuale	Largă	Îngustă	Medie	Îngustă	Îngustă	Largă	Largă
Lungimea de undă	Medie fibre crețe	Slabă fibre crețe	Nu fibră creață	Slabă fibre crețe	Medie fibre crețe	Medie fibre crețe	Ridicată fibre crețe
Regularitatea inellelor anuale	Medie	Slabă	Slabă	Slabă	Medie	Medie	Slabă
Elemente constructive							
Tipul barei bas	Aplicată	Aplicată	Corp comun	Corp comun	Corp comun	Aplicată	Aplicată
Tipul colțurilor	Fără colțuri	Lemn solid	Plăci lemn moale	Fără colțuri	Plăci lemn moale	Plăci lemn moale	Lemn solid
Atacuri Coleoptera	Da	Nu	Nu	Da	Nu	Nu	Nu

Tabelul 2.10. Tabel centralizator conținând caracteristicile constructive ale viorilor studiate, obținute în urma analizelor din studiu [119]

Rezultatele prezentate în acest capitol au fost diseminate sub forma:

8 articole indexate ISI Web of Science

Stanciu MD, Mihălcică M (autor corespondent), Dinulică F, Nauncef AM, Purdoiu R, Lăcătuș R, Gliga GV. X-ray Imaging and Computed Tomography for the Identification of Geometry and Construction Elements in the Structure of Old Violins. *Materials*. 2021; 14(20):5926.

<https://doi.org/10.3390/ma14205926> (FI 2021=3.748)

Teodorescu-Draghicescu H, Vlase S, Stanciu MD, Curtu I, **Mihălcică M**. Advanced pultruded glass fibers-reinforced isophthalic polyester resin. Mater. Plast. 2015 Mar 1;52(1):62-4.

<https://revmaterialeplastice.ro/pdf/TEODORESCU%20H.pdf%201%2015.pdf>

(FI 2021=0.782)

Vlase S, Purcarea R, Teodorescu-Draghicescu H, Calin MR, Szava I, **Mihălcică M**. Behavior of a new Heliopol/Stratimat300 composite laminate. Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications. 2013 Jul 1;7(7-8):569-72.

<https://oam-rc.inoe.ro/articles/behavior-of-a-new-heliopolstratimat300-composite-laminate/fulltext> (FI 2021=0.556)

Modrea A, Vlase S, Teodorescu-Draghicescu H, **Mihălcică M**, Calin MR, Astalos C. Properties of advanced new materials used in automotive engineering. Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications. 2013 Jun 12;7(May-June 2013):452-5.

<https://oam-rc.inoe.ro/articles/properties-of-advanced-new-materials-used-in-automotive-engineering/fulltext> (FI 2021=0.556)

Itu C, Scutaru ML, Modrea A, **Mihălcică M**. Traction characteristics for the components of a composite sandwich used to build high-rigidity circular plates. Procedia Manufacturing. 2019 Jan 1;32:268-77.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919302483>

Scutaru ML, **Mihălcică M**, Modrea A, Purcarea R, Scarlatescu D. An advanced high rigidity thin sandwich composite laminate with COREMAT and dissimilar skins. Procedia Manufacturing. 2018 Jan 1;22:35-40.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918303019>

Modrea A, Gheorghe V, Sandu V, Teodorescu-Draghicescu H, **Mihălcică M**, Scutaru ML. Study of a New Composite Material Rt800 Reinforced with Polyte 440-M888 in Endurance Conditions. Procedia Technology. 2016 Jan 1;22:182-6.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017316000438>

Mihălcică M, Stanciu MD, Dinulica F, Savin A, Bucur V. The Effect of Resonance Wood Quality on Violins Vibration. In Recent Trends in Wave Mechanics and Vibrations: Proceedings of WMVC 2022 2022 Oct 7 (pp. 873-881). Cham: Springer International Publishing.

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-15758-5_90

Capitolul 3

Analiza la vibrații a instrumentelor muzicale

În cadrul acestor studii s-a urmărit determinarea unor corelații între proprietățile fizice ale instrumentelor muzicale: calitatea lemnului, ce duce la împărțirea instrumentelor pe clase de calitate, grosimea plăcilor, structura și poziționarea elementelor constructive etc. și răspunsul lor din punct de vedere dinamic. Analizele s-au realizat atât asupra plăcilor componente ale instrumentelor, ca structuri individuale, cât și ca ansamblu (corp al instrumentului), pentru a se pune în evidență influența acestui comportament dinamic asupra calității sunetului produs de instrument.

Un prim studiu [122] și-a propus să investigheze viorile vechi și noi din perspectiva corelației dintre structura anatomică a lemnului de molid și paltin și răspunsul dinamic al viorilor. Astfel, în prima etapă, pentru fiecare vioară, caracteristicile inelelor anuale au fost măsurate pe întreaga lățime a plăcii superioare, determinând gradul de simetrie al feței în raport cu axa longitudinală a corpului vioarei. Apoi, fiecare vioară a fost testată dinamic cu ciocanul de impact, determinând propriul său spectru de frecvență, în special modul "semnătură" și factorii de calitate. Cele mai importante descoperiri constau în identificarea primelor cinci moduri pentru viorile vechi (cunoscute ca proveniență), viorile noi actuale și viorile ale căror origini sunt necunoscute, dar care ar putea corela cu caracteristicile anatomice, constructive și dinamice, pentru a putea stabili originile, precum și măsurarea caracteristicilor anatomice ale plăcilor superioare și inferioare în construcția viorilor. Întrucât de caracteristicile fizice ale lemnului am discutat în subcapitolul anterior, vor fi prezentate rezultatele legate de modurile de semnătură ale instrumentului.

Modul de semnătură al unei vioari este o caracteristică specifică a sunetului produs de o vioară, care poate fi identificată printr-un spectru de frecvență distinctiv. Fiecare vioară are propriul său mod de semnătură, iar acesta depinde de materialele folosite în procesul de producție, de construcția instrumentului, de îmbătrânirea lemnului ce intră în construcție și de uzura vioarei. Modul de semnătură este un parametru foarte important al viorilor, el putând fi utilizat în mai multe scopuri: în procesul de identificare a viorilor, în determinarea provenienței instrumentelor și în analiza calității sunetului produs de o vioară. Pentru a determina modul de semnătură al unei vioari, procesul obișnuit este testarea dinamică folosind un ciocan de impact, apoi spectrul de frecvență al sunetului produs fiind analizat pentru a identifica acele caracteristici distincte.



Fig. 3.1. Viorile studiate [122]

Au fost studiate în total 9 viori: patru viori deținute de persoane private (instrumentiști-artiști), care conțineau etichete cu informații despre data fabricării viorii și care aparțin unei școli de viori (vioara Jacobus Stainer, 1716; vioara Johann Georg Leeb, 1742; vioara Joseph Klotz, 1747; vioara Babos Bela, 1920), și două viori fără etichetă - pentru una dintre ele, istoria și faptul că este o copie a unei viori Jacobus Stainer erau cunoscute (denumită "Copie Stainer"), iar pentru cealaltă vioară (codificată ca "Fără marcă"), originea și apartenența la o anumită școală de violoniști nu sunt cunoscute. De asemenea, au fost adăugate în studiu trei viori actuale de calitate Maestro, produse la fabrica de instrumente muzicale "SC Gliga

Instrumente Muzicale S.A., Reghin, Romania". Pentru referință, a fost analizată și vioara Stradivarius-Elder-Voicu din 1702, aparținând patrimoniului cultural al României și cu permisiunea Filarmonicii "George Enescu" din București și a maestrului violonist Tomescu Alexandru.

Metoda de testare utilizată în această cercetare a constat în analiza dinamică pentru a determina răspunsul în frecvență al viorilor vechi în comparație cu cele noi. Excitația structurală constă în lovirea corpului vioarei cu un ciocan de impact. În prima etapă, răspunsul modal al structurii a fost evaluat lovind corpul vioarei în diferite puncte de pe suprafață, și s-a descoperit că răspunsul în frecvență este aproximativ identic în ceea ce privește frecvențele de rezonanță, indiferent de locul de excitație.

Pentru această procedură, fiecare vioară a fost susținută pe elemente elastice, simulând astfel o structură liberă. Apoi, corpul vioarei a fost excitat cu ajutorul unui ciocan de impact B&K 8204 Brüel & Kjær, iar semnalul de ieșire a fost captat cu ajutorul unui microfon de tip PCB 130E20 ICP. În aceste investigații, microfonul a fost plasat deasupra orificiului f , la o înălțime de 150 mm, pe partea opusă zonei excitabile. Înregistrările au fost efectuate în aceeași poziție față de echipament și instrument (Figura 4b). Semnalele generate au fost transmise printr-un dispozitiv de condiționare a semnalului către o placă de achiziție dinamică de date NI USB-9233 produsă de National Instruments (Austin, TX, SUA), conectată la un laptop. Semnalul a fost vizualizat folosind o aplicație specială dezvoltată în NI-LabVIEW©, iar datele grafice au fost procesate folosind programul MATLAB©. Înainte de fiecare înregistrare a sunetelor emise de vioara testată, zgomotul de fond din camera de testare a fost înregistrat. În stadiul de prelucrare a datelor, un filtru de zgomot a fost furnizat în programul de prelucrare a semnalului, astfel încât să rezulte doar semnalele produse de vioară. [123-125]

După analiza frecvenței semnalelor, bazată pe curba exponențială a amortizării și compoziția spectrală a semnalului pentru fiecare vioară, valorile frecvențelor specifice viorilor testate, factorul de calitate și analiza în timp au fost extrase, acestea fiind corelate cu aspecte ale structurii lemnului și geometriei vioarei. Semnalele din două teste succesive au fost preluate pentru fiecare vioară. Factorul de calitate Q este raportul dintre frecvența de rezonanță și variația frecvenței la 0,707 ori amplitudinea semnalului de vibrație forțată.

$$Q = \frac{f_r}{f_{r2} - f_{r1}} \quad (10)$$

unde Q este factorul de calitate, f_r frecvența de rezonanță iar f_{r1} și f_{r2} două frecvențe extrase la 0,707 față de amplitudinea maximă relativ la frecvența de rezonanță.

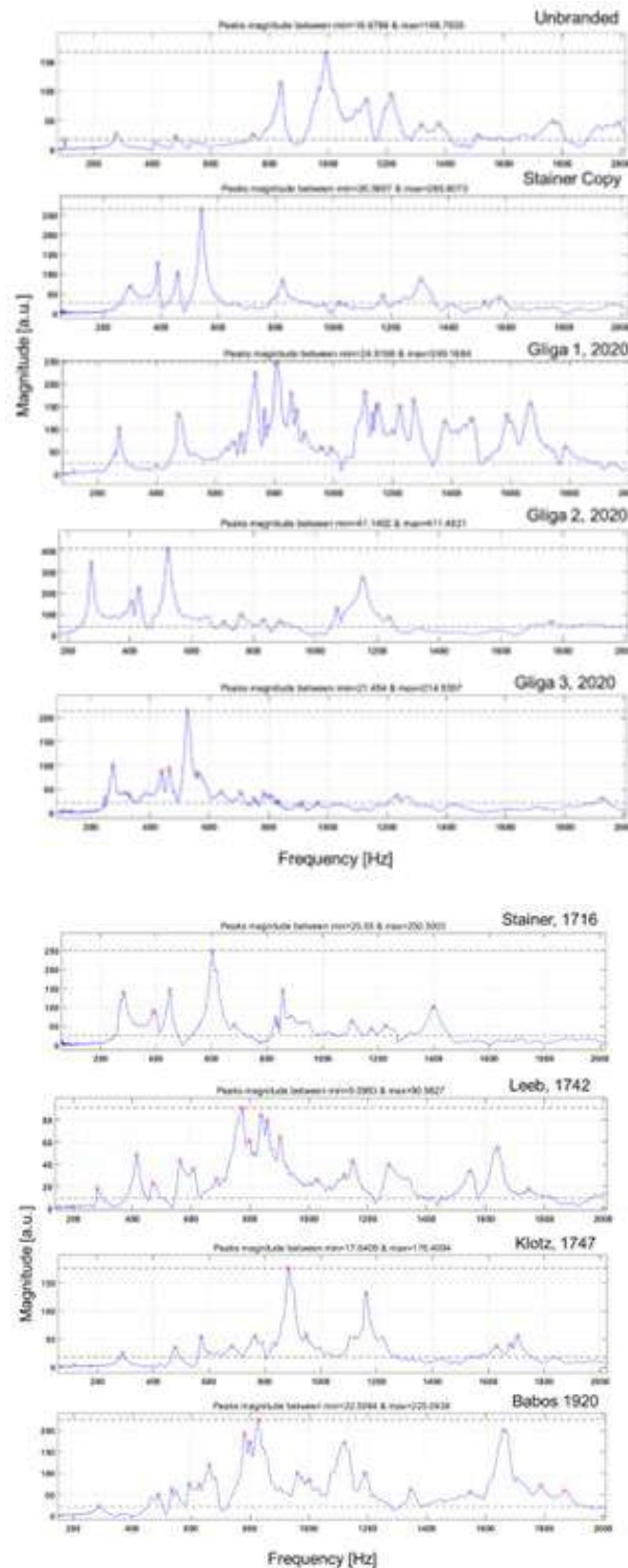


Fig. 3.2. Spectrul de frecvență [122]

În cazul modului B1+, frecvențele proprii sunt cuprinse între 523 Hz și 604 Hz, după cum se poate observa în Fig. 3.3 d). Viorile Leeb, Klotz și Stainer prezintă valori apropiate ale modului B1+, variind între 550 și 600 Hz.

Conform [126-128], viorile cu o frecvență a modului B1+ mai mică de 550 Hz se caracterizează printr-un sunet moale, întunecat, iar cele cu o frecvență mai mare de 550 Hz au un sunet luminos, dur. Astfel, viorile Babos 1920, Fără Marcă, Copia Stainer, Gliga 2 și Gliga 3 înregistrează o frecvență a modului B1+ în intervalul 510-550 Hz, în timp ce Stainer 1716, Leeb 1742 și Klotz 1747 au o valoare a frecvenței peste 550 Hz.

În cazul modului 5, există o împărțire în două grupuri de valori: viorile Babos, toate viorile noi, Klotz 1747 și Leeb 1742 înregistrează o frecvență în intervalul 660-690 Hz, comparativ cu viorile Stainer 1716, copia Stainer și vioară Fără marcă, acestea formând un al doilea grup de valori în intervalul 820-860 Hz (Fig. 3.3 e).

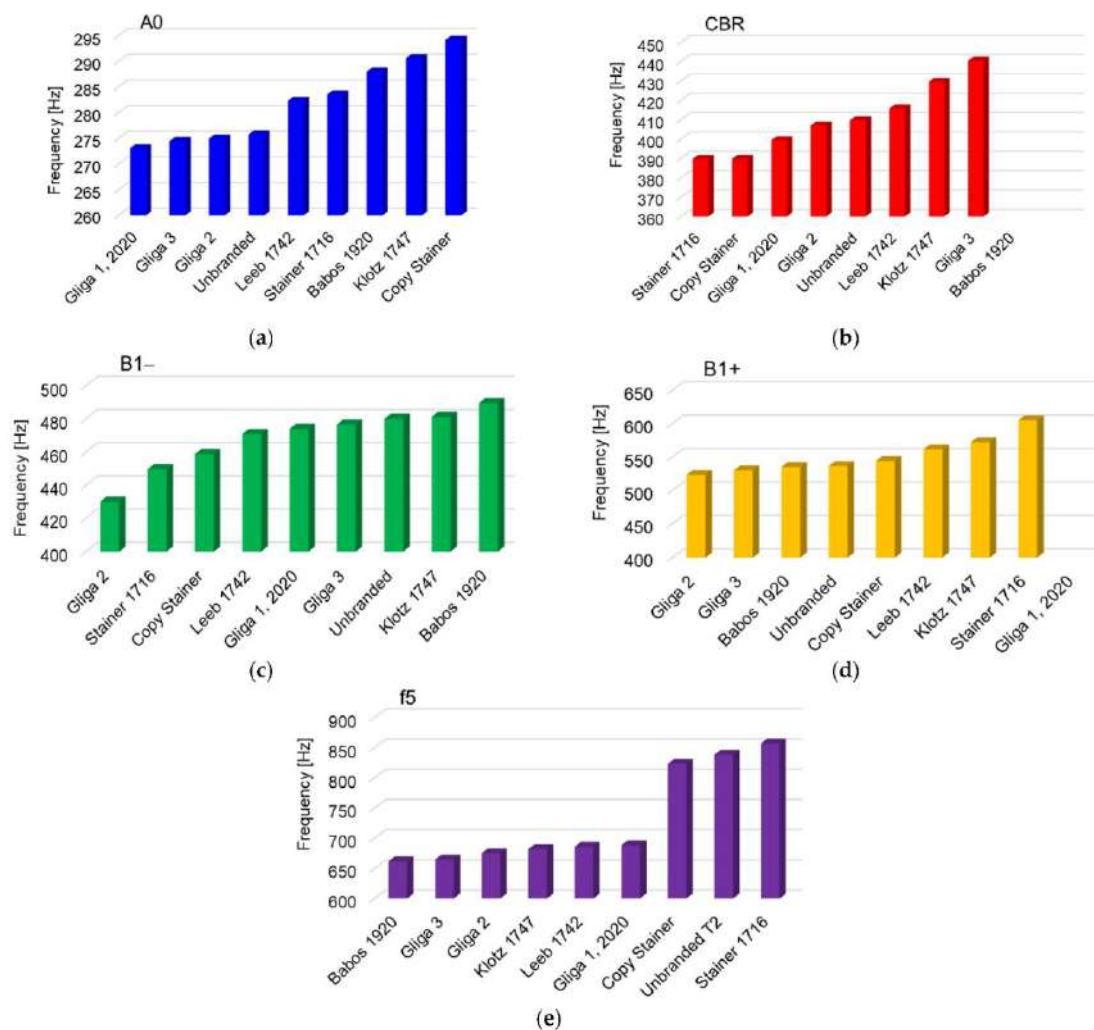


Fig. 3.3. Comparație între valorile frecvențelor proprii ale viorilor: (a) modul de cavitate; (b) modul CBR; (c) modul B1-; (d) modul B1+; (e) a cincea frecvență de rezonanță [122]

Factorul de calitate (Q) descrie modul în care un sistem vibrează și se comportă la încetarea excitației. Q-ul se calculează ca raportul dintre frecvența de rezonanță și lărgimea benzii de frecvențe la care amplitudinea vibrației este de 0.707 din maximul său. Pentru instrumentele muzicale, cu cât factorul de calitate este mai mare, cu atât sistemul vibrează mai mult timp după ce a fost excitat și cu atât sunetul este mai clar și mai pur. Pe de altă parte, un factor de calitate mai mic duce la o amortizare mai rapidă a vibrațiilor și la un sunet mai "murdar". Așadar, factorul de calitate este un indicator important al calității acustice a instrumentelor muzicale și este utilizat pentru a evalua instrumentele muzicale în timpul fabricației și după finalizarea lor.

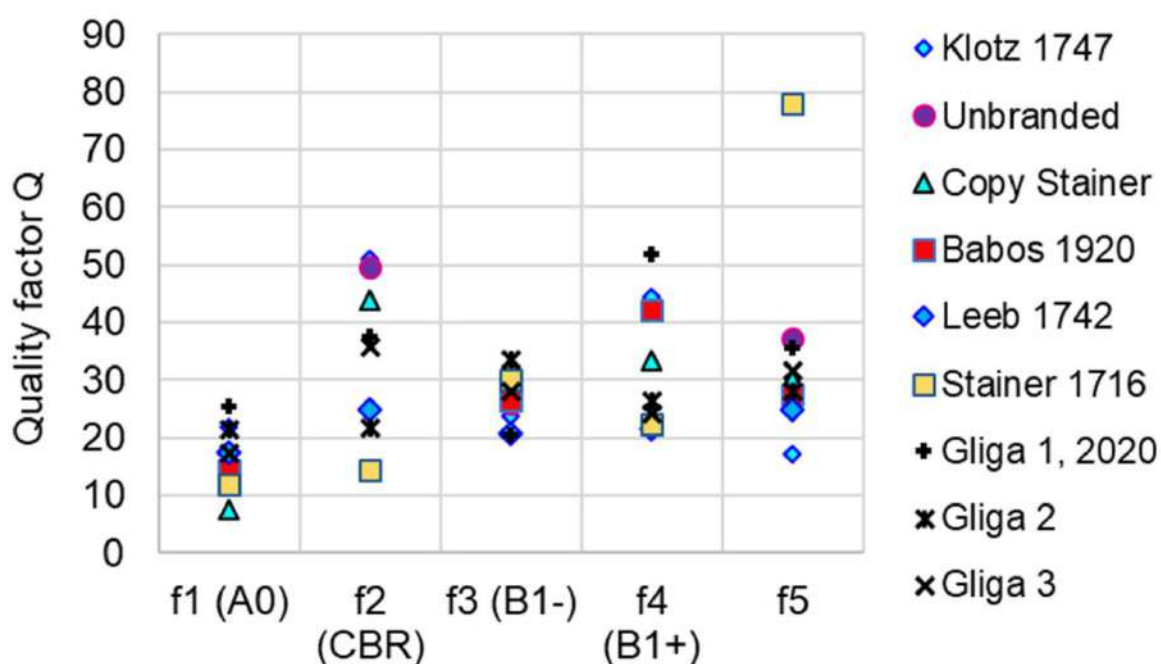


Fig. 3.4. Variația factorului de calitate [122]

Valoarea factorului de calitate pentru modul de rezonanță A0 este cea mai mică pentru toate violurile testate, variind între 7 și 25, fiind în concordanță cu literatura de specialitate, care raportează, ca valoare medie pentru violurile testate, 14,5. În acest studiu, cea mai mică valoare este înregistrată pentru copia Stainer și Stainer 1716. În studiile anterioare [128], Saunders a identificat o valoare de 20 pentru factorul de calitate pentru rezonanța principală a aerului, A0, în cazul violurilor italiene vechi. În comparație cu această valoare raportată de [128], în prezentul studiu, violurile Klotz 1747 și Gliga 2 au un factor de calitate de 21.

Pentru modurile B1- și B1+, literatura de specialitate [106] raportează valori ale factorului de calitate de 32 (B1-) și 40 (B1+), respectiv. În acest studiu, pentru modul B1-, violurile

Stainer 1716, Stainer copy și Gliga 2 înregistrează un factor de calitate de 30, 32 și, respectiv, 33, iar celelalte violi au un factor Q mai mic, între 20-28. Pentru modul B1+, violile Klotz 1747 și Babos 1920 prezintă valori ale factorului de calitate apropiate de valoarea raportată de literatura de specialitate [129], în timp ce celelalte violi se încadrează în valori mai mici.

Un al doilea studiu [130] a urmărit corelații dintre trăsăturile dinamice ale violilor noi nelăcuite și lăcuite și evaluarea perceptivă acustică a acestora. Considerăm că este foarte important să nu fie uitat scopul final al unui instrument muzical, și anume acela de a suna cât mai bine urechii. Am considerat că acest aspect poate fi cel mai bine evidențiat de către profesioniștii în domeniu.

Având în vedere că stratul de lac aplicat violilor contribuie la calitatea sunetului obținut [131-133], un studiu a fost realizat urmărindu-se corelații dintre trăsăturile dinamice ale violilor noi nelăcuite și lăcuite și evaluarea perceptivă acustică a acestora. Șapte violi cu grosimi modificate ale plăcilor au fost testate înainte de lăcuire (în alb) și după lăcuire.



Fig. 3.5. Vioară nefinisată („în alb”) și vioară lăcuită [130]

Viorile au fost testate dinamic și apoi evaluate acustic de către specialiști în domeniu cu ajutorul unui test în orb. În a doua etapă s-a reluat procedura de testare, dar pe violi lăcuite. Astfel, în analiza dinamică a violilor au fost identificate modurile de semnătură ale acestora, frecvența dominantă, spectrul de frecvență, factorul de calitate și amortizarea acestora. În utilizarea analizei acustice perceptuale, au fost investigate cinci criterii acustice (claritatea sunetului, căldura sunetului, luminozitatea tonului, sunetul egal pe coarde, amplitudinea

sunetelor), pe baza audiției muzicale a fiecărei viori studiate, fără ca subiecții să vadă vioara și fără să le cunoască parametrii fizici [134-135].

Așadar, șapte viori au fost analizate în alb (nefinisate) și 7 viori au fost lăcuite cu un lac pe bază de ulei aplicat în aproximativ 10 până la 12 straturi.

Viorile nelăcuite au codurile: A00C1, AM2C1, AM4C1, AM6C1, AP2C1, AP4C1, AP6C1. Viorile lăcuite au codurile: A00C1F, AM2C1F, AM4C1F, AM6C1F, AP2C1F, AP4C1F, AP6C1F.

Materialul lemnos (atât lemnul de molid, cât și cel de paltin), folosit la fabricarea plăcilor de vioară experimentale, provine din regiunea Gurghiu situată în Carpații Orientali și a fost selectat astfel încât să corespundă cerințelor viorilor Maestro (clasa A). Au fost efectuate teste privind caracteristicile anatomice și densitatea materialului selectat. Astfel, plăcile de vioară de molid se caracterizează printr-o lățime totală a inelului mai mică de 2,5 mm. Proporția lemnului târziu în inelul anual a fost sub 20%, diferența de lățime între două inele de creștere consecutive fiind mai mică de 0,5 mm. Plăcile de vioară de paltin pentru spate sunt foarte ondulate, având o lățime totală a inelului mai mică de 1,3 mm și o lungime de undă a fibrei de paltin de sub 3 mm.

Testarea dinamică a constat în excitarea fiecărei viori cu un ciocan de impact B&K 8204, iar semnalul de ieșire a fost captat cu ajutorul unui microfon. Semnalele generate au fost transmise către o placă de achiziție dinamică de date NI USB-9233 produsă de National Instruments (Austin, SUA), conectată la un laptop. Semnalul a fost vizualizat folosind o aplicație specială dezvoltată în LabVIEW (National Instruments), iar datele au fost procesate folosind programul MATLAB (MathWorks). După analiza în timp și frecvență a semnalelor, pe baza curbei exponențiale a amortizării și a compoziției spectrale a semnalului pentru fiecare vioară, valorile frecvențelor naturale ale viorilor testate, factorul de amortizare și analiza în timp au fost extrase, acestea fiind corelate cu aspecte ale structurii lemnului și geometriei viorii.

În urma testului dinamic, s-a constatat că răspunsul dinamic al viorilor albe și lăcuite are atât asemănări, cât și diferențe. Răspunsurile în frecvență diferă în cazul acelor două stări: viorile albe prezintă mai multe armonici decât viorile lăcuite. De asemenea, frecvența dominantă depinde de tratarea suprafeței viorilor. În general se observă că acoperirea viorilor cu lac duce la scăderea amplitudinii vibrației primei frecvențe de rezonanță și la creșterea amplitudinii octavei (modul 5).

Tabelul 3.1 prezintă valorile pentru prima, a cincea și frecvența dominantă obținute pentru viorile lăcuite și nelăcuite. În acest studiu sunt prezentate valorile caracteristice ale

frecvențelor principale. Prima frecvență corespunde primului mod, iar a cincea frecvență este legată de al cincilea mod. Raportul dintre modul 5 și modul 1 este în general o octavă. Se poate observa că există unele diferențe între frecvențele viorilor. Aceasta înseamnă că o diferență relativ mică de frecvență indică o diferență de rigiditate, care se datorează proprietăților anatomice și fizice ale lemnului de rezonanță de molid și paltin utilizat pentru corpul vioii.

Viori	Frecv. 1 [Hz]		Frecv. 5 [Hz]		Frecv. dominantă [Hz]	
	Nelăcuită	Lăcuită	Nelăcuită	Lăcuită	Nelăcuită	Lăcuită
AM6	238.0	266.6	488.2	524.9	238.0	266.6
AM4	244.1	270.0	479.1	543.2	402.8	496.6
AM2	244.1	266.0	488.2	535.4	390.6	453.7
A00	250.2	273.5	496.6	543.2	396.7	496.6
AP2	256.3	273.8	517.2	543.2	256.3	497.4
AP4	256.3	273.8	494.3	543.9	256.3	434.1
AP6	250.2	273.5	488.2	548.7	250.2	273.5

Tabelul 3.1. Valorile pentru prima frecvență, a cincea frecvență și frecvența dominantă pentru viorile lăcuite și nelăcuite [130]

Studiul de evaluare perceptivă acustică a viorilor a permis violoniștilor să evalueze toate înregistrările de viori pe o scară de la 0 la 5 pe baza celor mai relevante caracteristici acustice care au fost: claritatea sunetului; căldură sonoră; luminozitatea tonului; amplitudinea sunetelor; sunet egal pe corzi, criteriile care au fost la rândul lor stabilite pe baza unui sondaj anterior.

În prima etapă, pentru fiecare parametru și fiecare vioară s-a calculat media notelor acordate de respondenți, obținându-se un clasament din punct de vedere al experienței publicului clasificat pe gen și vârstă, pentru fiecare vioară și criteriu acustic evaluat. Apoi, pentru a realiza clasamentul privind calitatea acustică a viorilor, au fost analizate comparativ mediile obținute de fiecare vioară în raport cu fiecare criteriu acustic. În final, clasamentul global privind calitatea acustică a viorilor a fost calculat prin însumarea mediilor notelor acordate tuturor criteriilor pentru fiecare vioară.

La acest sondaj au participat 31 de participanți cu experiență în domeniul muzical (21 de femei; 10 bărbați; 15 participanți cu peste 21 de ani de experiență și 16 participanți cu experiență între 6 – 20 de ani). Sarcina lor a fost să asculte înregistrări muzicale ale violinelor studiate și apoi, pe baza acestei audiții, să realizeze evaluarea parametrilor acustici menționați mai sus, cu note de la 1 la 5, unde 1 reprezintă cel mai mic punctaj și 5 – cel mai mare punctaj.

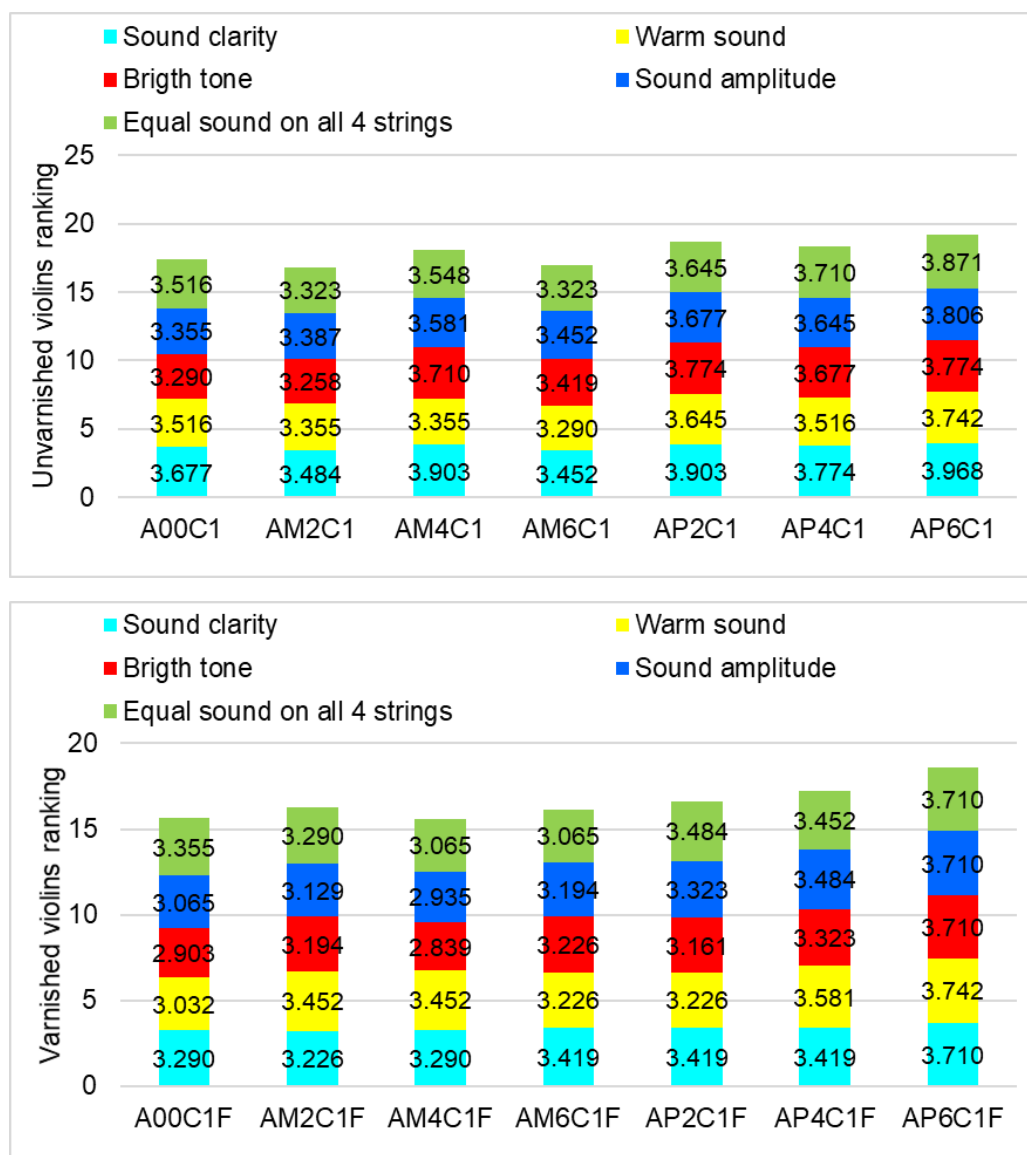


Fig. 3.6. Evaluarea perceptivă acustică a violinelor nelăcuite și lăcuite. De jos în sus: claritatea sunetului, tonul strălucitor, sunetul egal pe toate cele patru corzi, căldura sunetului, amplitudinea sunetului [130]

Înregistrările muzicale au fost realizate în aceleași condiții pentru toate violinele și de același violonist. Metoda de testare și analiză a rezultatelor a fost concepută pe baza unor teste similare în domeniu, dar autorii au corelat metoda de investigare cu obiectivul studiului.

În Fig. 3.6. sunt prezentate evaluările generale ale preferințelor raportate pentru calitatea acustică a violinelor. Se poate observa că violinele lăcuite (testate după o lună de acoperire cu lac) au înregistrat valorile mai mici, indiferent de criteriile acustice. Tonul strălucitor a avut un scor mai mare pentru violinele AP6C1, AP2C1, AP6C1F, AM4C1, AP4C1, în timp ce violinele AM4C1F, A00C1F au fost evaluate cu cele mai mici scoruri (2,84 – 2,9).

Violinele AM4C1, AP2C1, AP6C1 sunt considerate a avea cea mai mare claritate a sunetului în comparație cu celelalte. În ceea ce privește amplitudinea sunetului, cele mai mari valori au fost obținute de violinele AP6C1, AP6C1F, AP2C1, iar cele mai mici, de violinele A00C1F, AM4C1F, AM2C1F și AM6C1F. Evaluarea sunetului cald pentru violine a condus la următorul rezultat: violinele evaluate cu sunetul cel mai cald sunt: AP6C1, AP6C1F, A00C1, AP4C1, AP4C1F (peste 3,5 puncte), iar cele mai slabe valori au fost înregistrate în intervalul 3,3 - 3,4. Sunetul egal pe corzi a fost apreciat cu cele mai mari scoruri pentru violinele AP6C1 și AP6C1F, în timp ce violinele AM4C1F și AM6C1F au obținut cele mai mici scoruri.

Din punct de vedere al clasamentului total, la violinele analizate, cele mai bine clasate sunt violinele AP6C1, AP6C1F, AP2C1, AP4C1, AM4C1 cu scoruri peste 70%, iar cele mai slab cotate sunt AM4C1F, A00C1F, AM6C1F, AM2C1F și AP2C1F.

Ca și concluzie principală a studiului, putem spune că, din punct de vedere dinamic, straturile de lac au dus la o modificare a spectrului de frecvențe în comparație cu violinele albe. Folosind doar metoda obiectivă, este dificil de decis dacă lacul a îmbunătățit sau a scăzut proprietățile acustice ale violinelor. Pentru analiza perceptivă acustică a violinelor, a fost pregătit un sondaj și diferiți muzicieni au răspuns la întrebări. Pe baza impresiilor acustice, s-a dovedit că în majoritatea cazurilor violinele terminate cu vârsta de o lună au o calitate mai scăzută decât cele neterminate. Așteptările sunt, însă, ca, în timp, violinele lăcuite să își îmbunătățească semnificativ performanțele. Studiile vor continua cu înregistrări ale violinelor finite la un an de la aplicarea lacului pentru a stabili dacă în timp, uscarea lacului îmbunătățește calitatea acustică a instrumentului.

Rezultatele prezentate în acest capitol au fost diseminate sub forma:

3 articole indexate ISI Web of Science

Mihălcică M, Stanciu MD, Nastac SM, Dinulică F, Nauncef AM, Roșca IC, Savin A. Signature Modes of Old and New Violins with Symmetric Anatomical Wood Structure. Applied Sciences. 2021; 11(23):11297. <https://doi.org/10.3390/app112311297> (FI 2021=2.838)

Nastac SM, Gliga VG, **Mihălcică M**, Nauncef AM, Dinulica F, Campean M. Correlation between Acoustic Analysis and Psycho-Acoustic Evaluation of Violins. Applied Sciences. 2022; 12(17):8620.

<https://doi.org/10.3390/app12178620> (FI 2021=2.838)

Mihălcică M, Nauncef AM, Gliga VG, Stanciu MD, Nastac SM, Campean M. Correlation Between Dynamic Features of Unvarnished and Varnished New Violins and Their Acoustic Perceptual Evaluation. In Recent Trends in Wave Mechanics and Vibrations: Proceedings of WMVC 2022 2022 Oct 7 (pp. 857-864). Cham: Springer International Publishing.

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-15758-5_88

1 articol indexat Scopus

Mihălcică M, Gliga VG, Campean M, Cretu NC, Nauncef AM, Steigmann R. Psycho-Acoustic Assessment Of Violins With Different Anatomical Features Of Wood, ModTEch 2022, International Journal of Modern Manufacturing Technologies Volume 14, Issue 3, Pages 158 – 163, 2022 https://ijmmt.ro/vol14no32022/23_Mircea_Mihalcica.pdf

1 monografie (coordonator, coautor)

Stanciu MD (coordonator), **Mihalcica M** (coordonator), ș.a. Dinamica viorii, Ed. Universității Transilvania din Brașov, ISBN: 978–606–19–1517–0202, p. 305

(B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

1. Cadrul general de dezvoltare al carierei universitare

Ingineria Mecanică reprezintă un domeniu de interes din punct de vedere universitar, atât de sine stătător, cât și privit ca ramură dintr-o perspectivă multidisciplinară, alături de alte domenii. Din punct de vedere al tinerilor ce urmează această cale, Ingineria Mecanică oferă o multitudine de oportunități de angajare: în cercetare, proiectare de produse și servicii, testare mecanică, producție, simulare-modelare a sistemelor mecanice, mentenanță etc. Totodată este un domeniu orientat spre studiul, proiectarea, modelarea și simularea comportamentului sistemelor din viața reală folosind metode și mijloace moderne care implică și calculatorul.

În aceste condiții, atât din punct de vedere didactic cât și al cercetării științifice, responsabilitatea unui cadru didactic universitar din domeniul Ingineriei Mecanice este una foarte mare. El trebuie să ofere studenților atât pregătirea de bază în domeniu, necesară celor ce urmăresc să urmeze o carieră inginerască, dar de asemenea este necesar să creeze și să mențină o legătură între cunoștințele absolvenților și necesitățile din mediul economic, asigurându-se că noțiunile și cunoștințele absolvenților specializărilor în domeniu să se potrivească cu cerințele de pe piața muncii. Pe de altă parte, un cadru didactic universitar din domeniul Ingineriei Mecanice va trebui să joace și rolul de deschizător de drum pentru aceia ce urmăresc să își continue studiile pe o durată mai lungă, în programele de masterat și doctorat.

În contextul actual, există atât în jurul Brașovului cât și în țară un număr mare de companii care își desfășoară activitatea în domeniul Ingineriei Mecanice sau domenii conexe, iar acești operatori din mediul economic au continuă nevoie de specialiști, mai ales că în societatea modernă super-tehnologizată Ingineria Mecanică este foarte strâns legată de tot ceea ce înseamnă calculator, de la utilizarea unui software dedicat până la programare-dezvoltare de aplicații noi. De asemenea, mediul economic se află la un moment de răscruce, reprezentat de noua revoluție tehnologică, tot ce înseamnă tehnologii care implică Inteligența Artificială, Machine Learning, Internet of Things etc., pe scurt conceptul definit ca Industry 4.0.

2. Premisele dezvoltării carierei universitare – realizări anterioare

Dat fiind că sunt absolvent al unui liceu de Informatică, înainte de a considera o carieră universitară, am activat timp de 8 ani în presa tehnică de IT, fiind redactor la revista CHIP Computer & Communications. Acest lucru a avut o influență în a-mi dezvolta mai multe pasiuni – pentru scris, pentru calculatoare și pentru comunicare cu un public, cu o audiență. După ce efectul Internetului a afectat puternic presa scrisă, m-am hotărât să caut o carieră în care pot să îmi pun în practică aceste pasiuni, iar cea didactică și de cercetare mi s-a părut foarte potrivită.

Activitatea mea profesională în domeniul educației academice s-a desfășurat în cadrul Departamentului de Inginerie Mecanică al Universității Transilvania din Brașov, Facultatea de Inginerie Mecanică, începând din anul 2008, de când m-am înscris la doctorat. Am finalizat studiile doctorale în 2011, apoi am urmat un program postdoctoral pentru 18 luni. Între 2012 și 2014 am fost angajat la un Institut de Cercetare iar, începând cu 2014, am fost atras de o carieră universitară, candidând pe un post de Șef Lucrări în cadrul Departamentului de Inginerie Mecanică. Alături de colectivul acestui departament am participat la activități didactice, științifice și de cercetare, am creat relații foarte bune de colaborare și muncă și tot în cadrul acestui colectiv îmi propun să îmi dezvolt în viitor cariera. În anul 2021 am candidat pe postul de conferențiar universitar, din cadrul aceleiași Facultăți și Departament de Inginerie Mecanică, post pe care l-am și obținut în urma unui concurs.

Ca planuri de viitor, îmi propun să dezvolt și să extind activitățile de care m-am ocupat până acum, dar și să îmi extind orizonturile mai larg în domeniul Ingineriei Mecanice și alte domenii conexe.

În această propunere a dezvoltării carierei universitare voi arăta pașii pe care doresc să îi urmez în viitor, având la bază toate realizările obținute în carieră până acum, motiv pentru care descrierea de față cuprinde:

- I. Elementele de succes în cariera mea profesională anterioară
- II. Dezvoltarea carierei mele universitare viitoare
- III. Cadrul de construire a carierei universitare

I. Elementele de succes în cariera mea profesională anterioară

I. 1. Studii

Referitor la studiile preuniversitare, am urmat cursurile Liceului de Informatică din Braşov (actual Grigore Moisil), considerat (atât în acea vreme cât și în acest moment) drept liceul cel mai potrivit a oferi pregătirea necesară pentru un viitor care să aibă incluse domeniile matematicii, informaticii și tehnicii în general. De aici am dezvoltat o afinitate pentru calculator și programe informatice, aceasta fiindu-mi de mare folos în toate etapele carierei mele

Studii universitare:

1995 - 2000 Universitatea Transilvania din Braşov- Facultatea de Inginerie Mecanică, secția Mecatronică – am obținut Diploma de Licență în Inginerie Mecanică

2000 – 2001 Universitatea Transilvania din Braşov- Facultatea de Inginerie Mecanică, master în Dinamica Structurilor Mecanice - am obținut Diploma de Master în Dinamica Structurilor Mecanice

Studii postuniversitare

2008 – 2011 – Universitatea Transilvania din Braşov – am obținut Diplomă de Doctor in domeniul Inginerie Mecanică, titlul tezei de doctorat fiind „Contribuții la identificarea persoanelor prin analiza mișcării”

2014 – 2015 – Universitatea Transilvania din Braşov – am urmat studii postdoctorale, având ca temă „Sistem portabil de analiză a mișcărilor umane cu aplicații în sport și medicină”

I. 2. Sumarul activității academice de până acum

În cadrul Departamentului de Inginerie Mecanică al Facultății de Inginerie Mecanică, Universitatea Transilvania din Braşov activez din anul 2014, ocupând postul de Șef Lucrări universitar, din 2014 și până în 2021, moment în care am obținut poziția de Conferențiar universitar, pe care o ocup și în prezent.

Sunt titularul următoarelor discipline predate în cadrul programelor de studii licență- zi, licență –IFR și licență-master:

- Metode Numerice (română și engleză) – curs și laborator

- Vibrațiile sistemelor mecanice (română și engleză) – curs și laborator/seminar
- Programarea Calculatoarelor și Limbaje de Programare – curs și laborator
- Mecanică I - seminar

Am făcut parte an de an din colectivul de organizare a Conferințelor Facultății de Inginerie Mecanică COMAT și COMEC, din 2009 până în 2022

Relevanța și impactul rezultatelor științifice și de cercetare obținute s-au concretizat în cărțile și articolele științifice publicate.

Cărțile publicate au avut drept scop îmbunătățirea activității didactice și profesionale, iar exemplele alese pentru însușirea noțiunilor au vizat cu precădere domeniul Ingineriei Mecanice dar și alte domenii din pregătirea studenților ca viitori ingineri.

Acestea dovedesc capacitatea de transpunere în material didactic a elementelor dobândite în cadrul activităților didactice, de cercetare și documentare.

În scopul perfecționării activității didactice am scris 3 cărți didactice ca unic autor și 6 capitole în cărți (3 didactice, 3 monografii).

Lucrările publicate în reviste de specialitate și în volumele unor manifestări științifice dovedesc capacitatea de sinteză, încadrarea problematicii în concepte științifice și demonstrează nivelul tehnica - științific și de cercetare dobândit. Sumarizând, ca lucrări publicate sunt autor principal sau coautor la:

- 12 lucrări publicate în reviste indexate ISI Web of Science
- 13 lucrări prezentate și publicate la conferințe indexate ISI Proceedings / Scopus
- Mai mult de 10 lucrări prezentate și publicate la conferințe internaționale, fără indexare ISI Proceedings / Scopus

Referitor la recunoașterea și impactul activității, articolele ISI la care sunt autor principal sau coautor totalizează în acest moment 144 de citări (fără auto-citări), rezultând un indice ISI Hirsch cu valoarea 6.

Competențele didactice au fost puse în evidență de tehnica de predare care se bazează pe învățarea cu ajutorul exemplelor practice și simulărilor, prin descoperire, prin cooperare, prin problematizare etc. Noțiunile însușite de către studenți asigură, prin exemple edificatoare din domeniul ingineriei mecanice însușirea cunoștințelor necesare proiectării, calculului și întreținerii sistemelor mecanice utilizate în industrie.

În ceea ce privește capacitatea de transfer a cunoștințelor și rezultatelor către mediul economic sau social sau de a populariza propriile rezultate științifice am avut în vedere următoarele:

- pentru publicarea de cărți și capitole în cărți am ales edituri recunoscute CNCSIS precum Editura Universității Transilvania din Brașov
- pentru publicarea în jurnale științifice m-am orientat spre jurnale cotate ISI Web of Science, urmărind să public în reviste cu factor de impact. Am publicat în jurnale precum European Journal of Wood and Wood products, AIP Advances, Applied Sciences, Materials, Symmetry, Romanian Journal of Physics, Materiale Plastice, Optoelectronics and Advanced Materials – Rapid Communications etc.
- am participat la peste 20 de conferințe naționale și internaționale

Capacitatea mea de a lucra în echipă și eficiența colaborărilor științifice reies din activitățile desfășurate în cadrul colectivului Departamentului de Inginerie mecanică și nu numai, precum:

- experiența și capacitatea de a lucra în colective largi: experiența în cadrul unor proiecte de cercetare, în calitate de membru în echipă
- colaborarea în vederea elaborării și realizării de articole științifice

Direcțiile de cercetare dezvoltate în cadrul activităților științifice desfășurate acoperă un spectru larg de subiecte din cadrul ingineriei mecanice: biomecanică, în special captura și analiza mișcărilor umane într-o abordare multidisciplinară, analiza dinamică și psihoacustică a instrumentelor muzicale, mecanica materialelor compozite, vibrații, informatică, modelare-simulare și programarea calculatoarelor aplicată în ingineria mecanică.

II. Dezvoltarea carierei universitare

Dezvoltarea în continuare a carierei universitare se va face având ca direcții principale atât activitatea didactică cât și cea de cercetare.

Activitatea didactică

Activitatea didactică va fi centrată pe dezvoltarea permanentă a procesului de predare pentru a răspunde cerințelor unui învățământ competitiv, corespunzător standardelor de calitate reglementate la nivelul Universității și de agențiile de asigurare a calității în învățământul superior, permițând astfel absolvenților specializărilor organizate în cadrul departamentului să dobândească competențele necesare recunoașterii profesionale și integrării pe piața muncii.

Având în vedere formarea mea profesională de până acum, îmi doresc să am o contribuție cât mai importantă în a face legătura între conceptele teoretice de bază și avansate ale Ingineriei Mecanice și domeniilor conexe și lucrul cu calculatorul, cu ajutorul programelor informatice și software-ului dedicat. Considerând faptul că industria se mișcă într-un ritm foarte rapid iar gradul de informatizare – automatizare este din ce în ce mai vizibil, consider că domeniile clasice precum Ingineria Mecanică au nevoie, atât din punct de vedere didactic cât și din punct de vedere al cercetării științifice, de personal capabil atât de a pregăti viitorii ingineri în ceea ce constituie necesitățile reale din câmpul muncii (fără a ignora, evident, noțiunile de bază ale domeniului) cât și de a dezvolta acest domeniu în continuare, cu noi studii, descoperiri și inovări științifice. De asemenea, sunt conștient de necesitatea pregătirii și formării continue pentru a putea desfășura activitatea didactică la standardele pe care mi le doresc.

Direcții de acțiune:

- folosirea de concepte și resurse pentru adaptarea curriculară la criteriile și standardele de calitate impuse prin reforma învățământului românesc, experiența și practica națională și internațională
- actualizarea și modernizarea programelor analitice la cursurile predate pentru asigurarea concordanței dintre conținutul acestora și misiunea specializării, competențele prevăzute, precum și adaptarea la nevoile reale ale pieței muncii și tendințele dinamice ale societății actuale
- implementarea și dezvoltarea tehnologiilor moderne de predare și învățare în scopul asigurării unei pregătiri profesionale corespunzătoare realităților practice
- aplicarea metodele de predare bazate pe tehnologia informației

- promovarea metodelor de analiză, metodologiilor de cercetare, modelelor de organizare a activității cu participarea în mod creativ la activitățile didactice
- modernizarea și dotarea laboratoarelor pentru extinderea activităților practice la disciplinele predate
- asigurarea corespunzătoare a materialului didactic (manuale universitare, note de curs, îndrumare de laborator și de proiect, resurse electronice) pentru fiecare disciplină predată
- stimularea și sprijinirea cercetării științifice studentești
- analiza și autoevaluarea periodică a activității didactice

Activitatea de cercetare

Dezvoltarea activității de cercetare se axează, ca și până acum, pe participarea la evenimente de specialitate naționale și internaționale, prin publicarea și diseminarea rezultatelor de cercetare sub forma de articole științifice și cărți de specialitate și prin colaborarea și dezvoltarea de noi produse, metode și tehnologii în domeniu prin intermediul proiectelor de cercetare.

Mai concret, pentru a crește relevanța și impactul lucrărilor mele științifice îmi propun următoarele:

- Publicarea de articole în reviste științifice indexate ISI Web of Science în domeniul Ingineriei Mecanice sau domenii conexe, în special în reviste ce au factor de impact, fie scor relativ de influență de minim 0,5.
- Publicarea de articole indexate în baze de date recunoscute de CNATDCU, altele decât ISI Web of Science.
- Voi urmări participarea la conferințe internaționale, desfășurate atât în țară, cât și în străinătate. Participarea la conferințe asigură, pe lângă diseminarea rezultatelor, posibilitatea de a face schimb de experiență și informații cu alte instituții și personalități din domeniu, lucruri ce pot duce la eventuale colaborări în vederea realizării de articole, studii și proiecte de cercetare și automat la dezvoltarea mea din punct de vedere al cercetării științifice.
- Publicarea unor cărți de specialitate, la edituri recunoscute CNCSIS și CNATDCU, precum și la edituri internaționale

- Continuarea direcțiilor de cercetare actuale, într-o abordare multidisciplinară, făcând legătura dintre teoriile matematice rezolvate cu ajutorul calculatorului și programelor informatice și problemele ingineresti reale din domeniul Ingineriei Mecanice.

Direcțiile de cercetare viitoare vor viza următoarele domenii:

1. Biomecanică și analiza mișcărilor umane în domenii precum medicină, sport, muzică
2. Analiza dinamică a instrumentelor muzicale
3. Integrarea conceptelor moderne din domenii precum Machine Learning, Data Science, Internet of Things în domeniul Ingineriei Mecanice
4. Mecanica materialelor compozite
5. Dezvoltarea, cu ajutorul calculatorului, de metode matematice și statistice utilizate în exploatarea și prelucrarea datelor măsurate experimental

Corelarea activității de cercetare cu cea educațională

Rezultatele cercetărilor viitoare se vor regăsi atât în cărțile și articolele pe care le voi publica, precum și în cadrul proiectelor de cercetare pe care fie le voi coordona, fie voi face parte din echipa de cercetare. Voi încuraja studenții și studenții masteranzi să participe la activitatea de cercetare și la diseminarea rezultatelor prin participarea acestora la diverse conferințe și simpozioane și prin implicarea acestora în diferite procese de lucru, care să îi ajute în a înțelege practic aspecte din pregătirea lor teoretică.

Mă voi implica activ pentru realizarea unei baze de date cu programe informatice pentru analiza datelor experimentale din punct de vedere statistic, programe ce vor fi integrate în procesul de predare.

Pe baza colaborărilor și discuțiilor cu colegii – cadre didactice și cu operatorii economici, voi face un scop anume din a identifica și implementa soluțiile optime din punct de vedere al aplicațiilor informatice alese pentru a fi folosite în procesul de predare și de lucru din cadrul Departamentului, astfel încât să existe o abordare unitară și o cât mai bună corelație între informațiile însușite de către studenți și atât cerințele din piața muncii cât și perspectivele pe care cunoașterea folosirii acelor aplicații informatice le oferă din punct de vedere profesional.

III. Cadrul de construire a carierei

Cadrul prin care îmi propun construirea carierei se bazează pe un set de valori precum: deschiderea la nou, disponibilitatea pentru lucrul în echipă, respectarea eticii academice și profesionale, dorința continuă de înțelegere și însușire a conceptelor, transparența, interacțiunea bazată pe respect, căutarea activă de noi provocări, deschiderea pentru colaborări multidisciplinare. Mă bazez, ca și până acum, pe susținerea acestor valori din partea colectivului Departamentului de Inginerie Mecanică. Personal consider că, în cadrul Departamentului și Universității, dezvoltarea domeniului Ingineriei Mecanice, a domeniilor conexe, a carierei mele și a carierelor colaboratorilor sunt dependente una de cealaltă și, de asemenea, se bazează pe respectarea și susținerea acestor valori.

Îmi doresc să construiesc o carieră academică și o reputație profesională excelente, care să asigure succesul și o vizibilitate crescută a realizărilor Departamentului de Inginerie Mecanică, și în acest mod a Facultății de Inginerie Mecanică și a Universității Transilvania din Brașov. Instrumentele utilizate în îndeplinirea planului de dezvoltare vor fi atât menținerea și creșterea standardelor de excelență academică și profesională, cât și colaborarea în cele mai bune condiții cu colegii și cu studenții.

(B-iii) Bibliografie

- 1 Innocenti B. *Biomechanics: a fundamental tool with a long history (and even longer future!)*, Muscles, ligaments and tendons journal. 2017 Oct;7(4):491.
- 2 Naderi S, Andalkar N, Benzel EC. *History of spine biomechanics: part I—the pre-Greco-Roman, Greco-Roman, and medieval roots of spine biomechanics*, Neurosurgery. 2007 Feb 1;60(2):382-91.
- 3 Pearsall DJ, Reid G. *The study of human body segment parameters in biomechanics: an historical review and current status report.*, Sports Medicine. 1994 Aug;18:126-40.
- 4 Griffiths IW. *Principles of biomechanics & motion analysis*, Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
- 5 Collins S. *Kinematics, dynamics, biomechanics: Evolution of autonomy in game animation*, In Computer Graphics Forum 2005 Sep (Vol. 24, No. 3). Oxford, UK and Boston, USA: Blackwell Publishing, Inc.
- 6 Multon F, France L, Cani-Gascuel MP, Debunne G. *Computer animation of human walking: a survey*, The journal of visualization and computer animation. 1999 Jan;10(1):39-54.
- 7 Nicolas G, Multon F, Berillon G, Marchal F. *From bone to plausible bipedal locomotion using inverse kinematics*, Journal of biomechanics. 2007 Jan 1;40(5):1048-57.
- 8 Mattaboni MA, Fumagalli AL, Jump M, Masarati PI, Quaranta GI. *Biomechanical pilot properties identification by inverse kinematics/inverse dynamics multibody analysis*, ICAS-International Council for the Aeronautical Sciences. 2008 Sep 14:14-9.
- 9 Ren L, Jones RK, Howard D. *Whole body inverse dynamics over a complete gait cycle based only on measured kinematics*, Journal of biomechanics. 2008 Aug 28;41(12):2750-9.
- 10 Elliott B. *Biomechanics: an integral part of sport science and sport medicine*, Journal of Science and Medicine in Sport. 1999 Dec 1;2(4):299-310.
- 11 Knudson D. *Significant and meaningful effects in sports biomechanics research*. *Sports biomechanics*, 2009 Mar 1;8(1):96-104.
- 12 Chow JW, Knudson DV. *Use of deterministic models in sports and exercise biomechanics research*. *Sports biomechanics*, 2011 Sep 1;10(3):219-33.
- 13 Dapena J. *The evolution of high jumping technique: biomechanical analysis*, InISBS-Conference Proceedings Archive 2016.

- 14 Ionescu G, Caimac DV, Avramescu ET, Zavaleanu M. *Individualization of the Post-Trauma Recovery Process in Sport by Gait Analysis—A Case Study Research*, Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series IX: Sciences of Human Kinetics. 2020 Jun 16:221-8.
- 15 McGinnis PM. *Biomechanics of sport and exercise*. Human Kinetics; 2013.
- 16 Chan CW, Rudins A. *Foot biomechanics during walking and running*, In Mayo Clinic Proceedings 1994 May 1 (Vol. 69, No. 5, pp. 448-461). Elsevier.
- 17 Pope MH, Stokes IA, Moreland M. *The biomechanics of scoliosis. Critical reviews in biomedical engineering*, 1984 Jan 1;11(3):157-88.
- 18 Sarwark JF, Castelein RM, Maqsood A, Aubin CE. *The biomechanics of induction in adolescent idiopathic scoliosis: theoretical factors*, JBJS. 2019 Mar 20;101(6):e22.
- 19 Wynarsky GT, Schultz AB. *Optimization of skeletal configuration: studies of scoliosis correction biomechanics*, Journal of biomechanics. 1991 Jan 1;24(8):721-32.
- 20 Knudson D. *The biomechanics of stretching*, Journal of Exercise Science and Physiotherapy. 2006 Jan;2:3-12.
- 21 Abrams GD, Sheets AL, Andriacchi TP, Safran MR. *Review of tennis serve motion analysis and the biomechanics of three serve types with implications for injury*, Sports Biomechanics. 2011 Nov 1;10(4):378-90.
- 22 Cyriax JH. *The pathology and treatment of tennis elbow*, JBJS. 1936 Oct 1;18(4):921-40.
- 23 Bunata RE, Brown DS, Capelo R. *Anatomic factors related to the cause of tennis elbow*, JBJS. 2007 Sep 1;89(9):1955-63.
- 24 Salmon P. *Effects of physical exercise on anxiety, depression, and sensitivity to stress: a unifying theory*, Clinical psychology review. 2001 Feb 1;21(1):33-61.
- 25 Edwards S. *Physical exercise and psychological well-being*. South African journal of psychology, 2006 Jun 1;36(2):357-73.
- 26 Hassmen P, Koivula N, Uutela A. *Physical exercise and psychological well-being: a population study in Finland*, Preventive medicine. 2000 Jan 1;30(1):17-25.
- 27 Schmidt R, Disselhorst-Klug C, Silny J, Rau G. *A marker-based measurement procedure for unconstrained wrist and elbow motions*, Journal of biomechanics. 1999 Jun 1;32(6):615-21.
- 28 Barris S, Button C. *A review of vision-based motion analysis in sport*, Sports Medicine. 2008 Dec;38:1025-43.
- 29 Colyer SL, Evans M, Cosker DP, Salo AI. *A review of the evolution of vision-based motion analysis and the integration of advanced computer vision methods towards developing a markerless system*, Sports medicine-open. 2018 Dec;4(1):1-5.

- 30 Carse B, Meadows B, Bowers R, Rowe P. *Affordable clinical gait analysis: An assessment of the marker tracking accuracy of a new low-cost optical 3D motion analysis system*, *Physiotherapy*. 2013 Dec 1;99(4):347-51.
- 31 Fujiyoshi H, Lipton AJ, Kanade T. *Real-time human motion analysis by image skeletonization*, *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*. 2004 Jan 1;87(1):113-20.
- 32 Long JT, Harris GF. *Pediatric gait and motion analysis: Current limitations and emerging opportunities for quantitative assessment*, *Technology and Disability*. 2010 Jan 1;22(4):199-205.
- 33 Simon SR. *Quantification of human motion: gait analysis—benefits and limitations to its application to clinical problems*, *Journal of biomechanics*. 2004 Dec 1;37(12):1869-80.
- 34 Payton CJ, Hudson CR. *Motion analysis using video*, In *Biomechanical evaluation of movement in sport and exercise* 2017 Dec 14 (pp. 44-68). Routledge.
- 35 Hienz H, Grobel K, Offner G. *Real-time hand-arm motion analysis using a single video camera*, In *Proceedings of the Second International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition* 1996 Oct 14 (pp. 323-327). IEEE.
- 36 Diaz Novo C, Alharbi S, Fox M, Ouellette E, Biden E, Tingley M, Chester V. *The impact of technical parameters such as video sensor technology, system configuration, marker size and speed on the accuracy of motion analysis systems*, *Ingeniería mecánica, tecnología y desarrollo*. 2014;5(1):265-71.
- 37 Medina-Carnicer R, Garrido-Castro JL, Collantes-Estevez E, Martinez-Galisteo A. *Fast detection of marker pixels in video-based motion capture systems*, *Pattern Recognition Letters*. 2009 Mar 1;30(4):432-9.
- 38 Schmitz A, Ye M, Shapiro R, Yang R, Noehren B. *Accuracy and repeatability of joint angles measured using a single camera markerless motion capture system*, *Journal of biomechanics*. 2014 Jan 22;47(2):587-91.
- 39 Rosenhahn B, Brox T, Kersting U, Smith A, Gurney J, Klette R. *A system for markerless motion capture*, *Künstliche Intelligenz*. 2006 Jan;1(2006):45-51.
- 40 Sandau M, Koblauch H, Moeslund TB, Aanæs H, Alkjær T, Simonsen EB. *Markerless motion capture can provide reliable 3D gait kinematics in the sagittal and frontal plane*. *Medical Engineering & Physics*. 2014 Sep 1;36(9):1168-75.
- 41 Feng Y, Max L. *Accuracy and precision of a custom camera-based system for 2-D and 3-D motion tracking during speech and nonspeech motor tasks*, *Journal of speech, language, and hearing research*. 2014 Apr;57(2):426-38.
- 42 Meyer C, Meyer T. *Creating motion graphics with After Effects: Essential and advanced techniques*, Taylor & Francis; 2013 Feb 11.

- 43 Adnan NM, Ab Patar MN, Lee H, Yamamoto SI, Jong-Young L, Mahmud J. *Biomechanical analysis using Kinovea for sports application*, In IOP conference series: materials science and engineering 2018 Apr 1 (Vol. 342, No. 1, p. 012097). IOP Publishing.
- 44 Abd El-Raheem RM, Kamel RM, Ali MF. *Reliability of using Kinovea program in measuring dominant wrist joint range of motion*, Trends in Applied Sciences Research. 2015 Apr 1;10(4):224.
- 43 Ozgur C, Colliau T, Rogers G, Hughes Z. *MatLab vs. Python vs. R*, Journal of data Science. 2017 Jul 1;15(3):355-71.
- 44 Fangohr H. *A comparison of C, MATLAB, and Python as teaching languages in engineering*. In Computational Science-ICCS 2004: 4th International Conference, Kraków, Poland, June 6-9, 2004, Proceedings, Part IV 4 2004 (pp. 1210-1217). Springer Berlin Heidelberg.
- 45 Cristea M. *Analiza mersului și alergării pe banda de fitness pe grupe de vârstă*, Proiect de Diplomă, Universitatea Transilvania din Brașov, 2021.
- 46 Balabaud L, Gaudias J, Boeri C, Jenny JY, Kehr P. *Results of treatment of septic knee arthritis: a retrospective series of 40 cases*, Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. 2007 Apr;15(4):387-92.
- 47 Hurley MV, Walsh NE. *Effectiveness and clinical applicability of integrated rehabilitation programs for knee osteoarthritis*, Current opinion in rheumatology. 2009 Mar 1;21(2):171-6.
- 48 Daly MP, Berman BM. *Rehabilitation of the elderly patient with arthritis*. *Clinics in geriatric medicine*, 1993 Nov 1;9(4):783-801.
- 49 Hurley MV, Walsh NE, Mitchell H, Nicholas J, Patel A. *Long-term outcomes and costs of an integrated rehabilitation program for chronic knee pain: A pragmatic, cluster randomized, controlled trial*, Arthritis care & research. 2012 Feb;64(2):238-47.
- 50 Hurley MV, Walsh N, Bhavnani V, Britten N, Stevenson F. *Health beliefs before and after participation on an exercised-based rehabilitation programme for chronic knee pain: doing is believing*, BMC Musculoskeletal Disorders. 2010 Dec;11(1):1-2.
- 51 Hurley MV, Walsh NE, Mitchell HL, Pimm TJ, Williamson E, Jones RH, Reeves BC, Dieppe PA, Patel A. *Economic evaluation of a rehabilitation program integrating exercise, self-management, and active coping strategies for chronic knee pain*, Arthritis Care & Research. 2007 Oct 15;57(7):1220-9.
- 52 Ranawat CS, Ranawat AS, Mehta A. *Total knee arthroplasty rehabilitation protocol: What makes the difference?*, The Journal of arthroplasty. 2003 Apr 1;18(3):27-30.

- 53 Kumar PJ, McPherson EJ, Dorr LD, Wan Z, Baldwin K. *Rehabilitation after total knee arthroplasty: a comparison of 2 rehabilitation techniques*, Clinical Orthopaedics and Related Research®. 1996 Oct 1;331:93-101.
- 54 Moffet H, Collet JP, Shapiro SH, Paradis G, Marquis F, Roy L. *Effectiveness of intensive rehabilitation on functional ability and quality of life after first total knee arthroplasty: a single-blind randomized controlled trial*, Archives of physical medicine and rehabilitation. 2004 Apr 1;85(4):546-56.
- 55 Cooper RA, Quatrano LA, Stanhope SJ, Cavanagh PR, Miller F, Kerrigan DC, Esquenazi A, Harris GF, Winters JM. *GAIT ANALYSIS IN REHABILITATION MEDICINE: A Brief Report: 1*, American journal of physical medicine & rehabilitation. 1999 May 1;78(3):278-80.
- 56 Pogrzeba L, Wacker M, Jung B. *Potentials of a low-cost motion analysis system for exergames in rehabilitation and sports medicine*, In E-Learning and Games for Training, Education, Health and Sports: 7th International Conference, Edutainment 2012 and 3rd International Conference, GameDays 2012, Darmstadt, Germany, September 18-20, 2012. Proceedings 2012 (pp. 125-133). Springer Berlin Heidelberg.
- 57 Kharb A, Saini V, Jain YK, Dhiman S. *A review of gait cycle and its parameters*, IJCEM International Journal of Computational Engineering & Management. 2011 Jul;13:78-83.
- 58 Goldblatt JP, Richmond JC. *Anatomy and biomechanics of the knee*, Operative Techniques in Sports Medicine. 2003 Jul 1;11(3):172-86.
- 59 Czerniecki JM. *Foot and ankle biomechanics in walking and running: a review*, American journal of physical medicine & rehabilitation. 1988 Dec 1;67(6):246-52.
- 60 Malt BC, Gennari S, Imai M, Ameel E, Tsuda N, Majid A. *Talking about walking: Biomechanics and the language of locomotion*, Psychological science. 2008 Mar;19(3):232-40.
- 61 Tomkinson GR, Kaster T, Dooley FL, Fitzgerald JS, Annandale M, Ferrar K, Lang JJ, Smith JJ. *Temporal trends in the standing broad jump performance of 10,940,801 children and adolescents between 1960 and 2017*, Sports medicine. 2021 Mar;51:531-48.
- 62 Koch AJ, O'BRYANT HS, Stone ME, Sanborn K, Proulx C, Hrubby J, Shannonhouse E, Boros R, Stone MH. *Effect of warm-up on the standing broad jump in trained and untrained men and women*, The Journal of Strength & Conditioning Research. 2003 Nov 1;17(4):710-4.
- 63 Eckert HM. *Angular velocity and range of motion in the vertical and standing broad jumps*, Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation. 1968 Dec 1;39(4):937-42.

- 64 Béla P. *Parametri determinanți în săritura în lungime de pe loc*, Proiect de Diplomă, Universitatea Transilvania din Brașov, 2018.
- 65 Linthorne N.P. Optimum release angle in the shot put. *Journal of Sports Sciences*. 2001 19, 359-372
- 66 Hay JG. *The biomechanics of the long jump. Exercise and sport sciences reviews*, 1986 Jan 1;14:401-46.
- 67 Wakai M, Linthorne NP. *Optimum take-off angle in the standing long jump. Human movement science*. 2005 Feb 1;24(1):81-96.
- 68 Mihălcică M, Palfi B. *Experimental system for the analysis of the standing long jump*, ICMSAV 2018 & COMAT 2018 & eMECH2018, Brașov, România 2018.
- 69 Kouvelioti V, Stavpourous N, Kecris E. *Biomechanical Analysis of shooting in basketball: relating research with practice*, *Inquiries in Sport & Physical Education*. 2006;4(1):97-107.
- 70 Okubo H, Hubbard M. *Dynamics of the basketball shot with application to the free throw*, *Journal of Sports Sciences*. 2006 Dec 1;24(12):1303-14.
- 71 Tan A, Miller G. *Kinematics of the free throw in basketball*, *American Journal of Physics*. 1981 Jun;49(6):542-4.
- 72 Bîrsă M. *Studiul tehnicii aruncării la coș în jocul de baschet*, Proiect de Diplomă, Universitatea Transilvania din Brașov, 2018.
- 73 Mihălcică M, Bîrsa M. *A simple system to help find natural talents in juvenile basketball*, ICMSAV 2018 & COMAT 2018 & eMECH2018, Brașov, România, 2018.
- 74 Vrabie C. *Studiul tehnicii săriturii cu schiurile*, Proiect de Diplomă, Universitatea Transilvania din Brașov, 2020.
- 75 Vrabie RC, Mihălcică M. *Analyzing ski jumping in an inexpensive way*, COMAT 2020 & eMECH2020, Brașov, România 2020.
- 76 Dželalija M, Rausavljevič N, Jošt B. *Relationship between jump length and the position angle in ski jumping*, *Kinesiologia Slovenica*. 2003;9(1):81-90.
- 77 Virnavirta M, Kivekäs J, Komi PV. *Take-off aerodynamics in ski jumping*, *Journal of Biomechanics*. 2001 Apr 1;34(4):465-70.
- 78 Zanevskyy I, Banakh V. *Dependence of ski jump length on the skier's body pose at the beginning of take-off*, *Acta of Bioengineering and Biomechanics*. 2010 Jan 1;12(4):79-87.
- 79 Yamamoto K, Tsubokura M, Ikeda J, Onishi K, Baleriola S. *Effect of posture on the aerodynamic characteristics during take-off in ski jumping*, *Journal of Biomechanics*. 2016 Nov 7;49(15):3688-96.
- 80 Triplett ET. *Investigation Into the Effects of Playing Posture on Fatigue in Violinists and Violists*, (Doctoral dissertation, Appalachian State University).

- 81 Ziane C, Michaud B, Begon M, Dal Maso F. *How Do Violinists Adapt to Dynamic Assistive Support? A Study Focusing on Kinematics, Muscle Activity, and Musical Performance*, Human Factors. 2021 Aug 4:00187208211033450.
- 82 Chan RF, Chow CY, Lee GP, To LK, Tsang XY, Yeung SS, Yeung EW. *Self-perceived exertion level and objective evaluation of neuromuscular fatigue in a training session of orchestral violin players*, Applied ergonomics. 2000 Aug 1;31(4):335-41.
- 83 Ackermann B, Adams R. *Physical characteristics and pain patterns of skilled violinists*, Medical Problems of Performing Artists. 2003 Jun 1;18(2):65-71.
- 84 Fry HJ. *Patterns of over-use seen in 658 affected instrumental musicians.*, International Journal of Music Education. 1988 May(1):3-16.
- 85 Spahn C, Wasmer C, Eickhoff F, Nusseck M. *Comparing violinists' body movements while standing, sitting, and in sitting orientations to the right or left of a music stand*, Medical problems of performing artists. 2014 Jun 1;29(2):86-93.
- 86 Rensing N, Schemmann H, Zalpour C. *Musculoskeletal demands in violin and viola playing: a literature review*, Medical problems of performing artists. 2018 Dec 1;33(4):265-74.
- 87 Turner-Stokes L, Reid K. *Three-dimensional motion analysis of upper limb movement in the bowing arm of string-playing musicians*, Clinical Biomechanics. 1999 Jul 1;14(6):426-33.
- 88 Ancillao A, Savastano B, Galli M, Albertini G. *Three dimensional motion capture applied to violin playing: A study on feasibility and characterization of the motor strategy*, Computer Methods and Programs in Biomedicine. 2017 Oct 1;149:19-27.
- 89 Tulchinsky EB. *A biomechanical motion analysis of the violinist's bow arm* (Doctoral dissertation, Quinnipiac University).
- 90 Clyne TW, Hull D. *An introduction to composite materials*. Cambridge university press; 2019 Jul 11.
- 91 Chawla KK. *Composite materials: science and engineering*. Springer Science & Business Media; 2012 Sep 26.
- 92 Christensen RM. *Mechanics of composite materials*. Courier Corporation; 2012 Mar 20.
- 93 Jones RM. *Mechanics of composite materials*. CRC press; 2018 Oct 8.
- 94 Daniel IM, Ishai O, Daniel IM, Daniel I. *Engineering mechanics of composite materials*. New York: Oxford university press; 2006.
- 95 Gibson RF. *Principles of composite material mechanics*. CRC press; 2016 Feb 10.

- 96 Saka S. *Structure and chemical composition of wood as a natural composite material*. In *Recent Research on Wood and Wood-Based Materials* 1993 Jan 1 (pp. 1-20). Elsevier.
- 97 Stokke DD, Wu Q, Han G. *Introduction to wood and natural fiber composites*. John Wiley & Sons; 2013 Oct 21.
- 98 Ugolev BN. *Wood as a natural smart material*. *Wood science and technology*. 2014 May;48(3):553-68.
- 99 Karataş MA, Gökkaya H. *A review on machinability of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and glass fiber reinforced polymer (GFRP) composite materials*. *Defence Technology*. 2018 Aug 1;14(4):318-26.
- 100 Chung D. *Carbon fiber composites*. Elsevier; 2012 Dec 2.
- 101 Baldus P, Jansen M, Sporn D. *Ceramic fibers for matrix composites in high-temperature engine applications*. *Science*. 1999 Jul 30;285(5428):699-703.
- 102 Dixit S, Goel R, Dubey A, Shivhare PR, Bhalavi T. *Natural fibre reinforced polymer composite materials-a review*. *Polymers from renewable resources*. 2017 May;8(2):71-8.
- 103 Blanc R, Germain C, Baylou P, Cataldi M. *Fiber orientation measurements in composite materials*. *Composites Part A: applied science and manufacturing*. 2006 Feb 1;37(2):197-206.
- 104 Talreja R. *Damage and failure of composite materials*. In *Advanced Theories for Deformation, Damage and Failure in Materials* 2022 Sep 1 (pp. 235-280). Cham: Springer International Publishing.
- 105 Neagu RC, Gamstedt EK, Berthold F. *Stiffness contribution of various wood fibers to composite materials*. *Journal of composite materials*. 2006 Apr;40(8):663-99.
- 106 Modrea A, Vlase S, Teodorescu-Draghicescu H, Mihălcică M, Calin MR, Astalos C. *Properties of advanced new materials used in automotive engineering*. *Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications*. 2013 Jun 12;7(May-June 2013):452-5.
- 107 Vlase S, Purcarea R, Teodorescu-Draghicescu H, Calin MR, Szava I, Mihălcică M. *Behavior of a new Heliopol/Stratimat300 composite laminate*. *Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications*. 2013 Jul 1;7(7-8):569-72.
- 108 Modrea A, Gheorghe V, Sandu V, Teodorescu-Draghicescu H, Mihălcică M, Scutaru ML. *Study of a New Composite Material Rt800 Reinforced with Polyte 440-M888 in Endurance Conditions*. *Procedia Technology*. 2016 Jan 1;22:182-6.
- 109 Scutaru ML, Mihălcică M, Modrea A, Purcarea R, Scarlatescu D. *An advanced high rigidity thin sandwich composite laminate with COREMAT and dissimilar skins*. *Procedia Manufacturing*. 2018 Jan 1;22:35-40.

- 110 Teodorescu-Draghicescu H, Vlase S, Stanciu MD, Curtu I, Mihălcică M. *Advanced pultruded glass fibers-reinforced isophthalic polyester resin*. Mater. Plast. 2015 Mar 1;52(1):62-4.
- 111 Itu C, Scutaru ML, Modrea A, Mihălcică M. *Traction characteristics for the components of a composite sandwich used to build high-rigidity circular plates*. Procedia Manufacturing. 2019 Jan 1;32:268-77.
- 112 Rojas JA, Alpuente J, Postigo D, Rojas IM, Vignote S. *Wood species identification using stress-wave analysis in the audible range*. Applied Acoustics. 2011 Dec 1;72(12):934-42.
- 113 Carlier C, Brémaud I, Gril J. *Violin making" tonewood": comparing makers' empirical expertise with wood structural/visual and acoustical properties*. In International Symposium on Musical Acoustics ISMA2014 2014 Jul 7 (pp. 325-330).
- 114 Spycher M, Schwarze FW, Steiger R. *Assessment of resonance wood quality by comparing its physical and histological properties*. Wood Science and Technology. 2008 Apr;42:325-42.
- 115 Mihalcica M, Stanciu MD, Dinulica F, Savin A, Bucur V. *The Effect of Resonance Wood Quality on Violins Vibration*. In Recent Trends in Wave Mechanics and Vibrations: Proceedings of WMVC 2022 2022 Oct 7 (pp. 873-881). Cham: Springer International Publishing.
- 116 Tai HC, Shen YP, Lin JH, Chung DT. *Acoustic evolution of old Italian violins from Amati to Stradivari*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2018 Jun 5;115(23):5926-31.
- 117 Lämmlein SL, Mannes D, Van Damme B, Schwarze FW, Burgert I. *The influence of multi-layered varnishes on moisture protection and vibrational properties of violin wood*. Scientific Reports. 2019 Dec 9;9(1):18611.
- 118 Klein P, Mehringer H, Bauch J. *Dendrochronological and wood biological investigations on string instruments*.
- 119 Stanciu MD, Mihălcică M, Dinulică F, Nauncef AM, Purdoiu R, Lăcătuș R, Gliga GV. *X-ray Imaging and Computed Tomography for the Identification of Geometry and Construction Elements in the Structure of Old Violins*. Materials. 2021 Jan;14(20):5926.
- 120 Sodini N, Dreossi D, Chen R, Fioravanti M, Giordano A, Herrestal P, Rigon L, Zanini F. *Non-invasive microstructural analysis of bowed stringed instruments with synchrotron radiation X-ray microtomography*. Journal of Cultural Heritage. 2012 Sep 1;13(3):S44-9.
- 121 Mannes D, Niemz P, Lehmann E. *Tomographic investigations of wood from macroscopic to microscopic scale*. Wood Res. 2009 Jan 1;54(3):33-44.

- 122 Mihălcică M, Stanciu MD, Nastac SM, Dinulică F, Nauncef AM, Roșca IC, Savin A. *Signature Modes of Old and New Violins with Symmetric Anatomical Wood Structure*. Applied Sciences. 2021; 11(23):11297.
- 123 Gliga VG, Stanciu MD, Nastac SM, Campean M. *Modal analysis of violin bodies with back plates made of different wood species*. BioResources. 2020 Nov 1;15(4):7687.
- 124 Mania P, Fabisiak E, Skrodzka E. *Differences in the Modal and Structural Parameters of Resonance and Non-Resonance Wood of Spruce (*Picea abies* L.)*. Acta Physica Polonica A. 2015 Jan;127(1):110-3.
- 125 Pyrkosz M, Van Karsen C. *Comparative modal tests of a violin*. Experimental Techniques. 2013 Jul;37:47-62.
- 126 Bissinger G. *Structural acoustics of good and bad violins*. The Journal of the Acoustical Society of America. 2008 Sep;124(3):1764-73.
- 127 Skrodzka EB, Linde BB, Krupa A. *Modal parameters of two violins with different varnish layers and subjective evaluation of their sound quality*. Archives of Acoustics. 2013;38(1):75-81.
- 128 Saunders FA. *The mechanical action of instruments of the violin family*. The Journal of the Acoustical Society of America. 1946 Jan;17(3):169-86.
- 129 Gough C. *Acoustic characterisation of string instruments by internal cavity measurements*. The Journal of the Acoustical Society of America. 2021 Sep 15;150(3):1922-33.
- 130 Mihalcica M, Nauncef AM, Gliga VG, Stanciu MD, Nastac SM, Campean M. *Correlation Between Dynamic Features of Unvarnished and Varnished New Violins and Their Acoustic Perceptual Evaluation*. In Recent Trends in Wave Mechanics and Vibrations: Proceedings of WMVC 2022 2022 Oct 7 (pp. 857-864). Cham: Springer International Publishing.
- 131 Lämmlein SL, Van Damme B, Mannes D, Schwarze FW, Burgert I. *Violin varnish induced changes in the vibro-mechanical properties of spruce and maple wood*. Holzforschung. 2020 Aug 1;74(8):765-76.
- 132 Ono T. *Effects of varnishing on acoustical characteristics of wood used for musical instrument soundboards*. Journal of the Acoustical Society of Japan (E). 1993;14(6):397-407.
- 133 Sedighi Gilani M, Pflaum J, Hartmann S, Kaufmann R, Baumgartner M, Schwarze FW. *Relationship of vibro-mechanical properties and microstructure of wood and varnish interface in string instruments*. Applied Physics A. 2016 Apr;122:1-1.
- 134 Saitis C, Fritz C, Scavone G. *Sounds like melted chocolate: How musicians conceptualize violin sound richness*. In International Symposium on Musical Acoustics 2019 Sep 13.

- 135 Saitis C, Fritz C, Scavone GP, Guastavino C, Dubois D. *Perceptual evaluation of violins: A psycholinguistic analysis of preference verbal descriptions by experienced musicians*. The Journal of the Acoustical Society of America. 2017 Apr 19;141(4):2746-57.

Link-uri Web:

<https://wellcomecollection.org>

<https://unsplash.com/photos/icPQQ0r5CYU>

www.bing.com/create

<https://commons.wikimedia.org>

<https://unsplash.com/@lgnwvr>

<https://unsplash.com/@magict1911>