

UNIVERSITATEA “DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

FACULTATEA DE INGINERIE

PROIECT DE DISERTAȚIE

Coordonator științific

Prof. Dr. Ing. Virgil Teodor

Absolvent

Ing. Răzvan-Sebastian Crăciun

Anul 2020

Îmbunătățirea Calității Pieselor de Mici Dimensiuni Realizate prin Rapid Prototyping

UNIVERSITATEA “DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

FACULTATEA DE INGINERIE

Specializarea: Managementul Calității în Inginerie Industrială

Îmbunătățirea Calității Pieselor de Mici Dimensiuni Realizate prin Rapid Prototyping

Coordonator științific

Prof. Dr. Ing. Virgil Teodor

Absolvent

Ing. Răzvan-Sebastian Crăciun

Galați

Anul 2020



Universitatea DUNĂREA DE JOS din Galați
Facultatea de Inginerie
Departamentul Ingineria Fabricației

AVIZ secretariat facultate (pentru înscriere proiect)

Nr. înregistrare/data

LUCRARE DE DISERTAȚIE

Tema

Îmbunătățirea Calității Pieselor de Mici Dimensiuni Realizate prin Rapid Prototyping

Conținut

1. Capitolul 1. Noțiuni generale Rapid Prototyping
2. Capitolul 2. Prelucrarea Datelor Experimentale
3. Capitolul 3. Concluzii
4. Capitolul 4. Interpretarea statistică a valorilor obținute experimental
5. Capitolul 5. Stabilirea corecției de imprimare utilizând rețele neuronale
6. Capitolul 6. Concluzii

Desene

1. Desen de executie - Epruveta tip inel

Director Departament IF Coordonator proiect Absolvent

Prof. dr. ing.
Gabriel FRUMUȘANU

1. Prof. Dr. Ing.
Virgil TEODOR

Ing. Răzvan-Sebastian CRĂCIUN

Specializarea / Anul absolvirii
Managementul Calității în Inginerie
Industrială / 2020

Cuprins

Lista tabelelor și a figurilor.....	5
Capitolul 1. Noțiuni generale Rapid Prototyping.....	6
1.1. Tehnologii.....	6
1.2. Tehnologia de imprimare 3D.....	7
1.3. Rapid Prototyping.....	7
1.4. Avantajele Rapid Prototyping/Prototipizării Rapide.....	8
1.5. Tehnici.....	8
1.6. Diferite tipuri de Prototipuri Rapide.....	9
1.7. Avantajele și Dezavantaje.....	10
1.8. Imprimanta 3D folosită.....	11
1.9. Caracteristicile imprimantei Ultimaker 3 Extended.....	12
1.10. Cele mai utilizate materiale pentru imprimarea 3D.....	12
1.11. Caracteristici PLA (Polilactic Acid / Acidul Polilactic).....	14
1.12. Proiectorul de Profiluri, Orizontal, Starrett Optical.....	14
1.13. Specificații.....	15
1.14. Terminologie.....	16
Capitolul 2. Prelucrarea Datelor Experimentale.....	17
2.1. Tipuri de variabile.....	17
2.2. Variabile calitative și variabile cantitative.....	17
2.3. Eșantionare și tipuri de eșantioane.....	18
2.4. Proiectarea, printarea și măsurarea pieselor imprimate.....	20
Capitolul 3. Concluzii.....	33
Capitolul 4. Interpretarea statistică a valorilor obținute experimental.....	34
4.1. Centralizarea valorilor și efectuarea calculelor după formulele.....	35
Capitolul 5. Stabilirea corecției de imprimare utilizând rețele neuronale.....	39
5.1. Aplicarea corecțiilor de imprimare.....	40
Capitolul 6. Concluzii.....	44
Anexe.....	45
Bibliografie.....	46

Lista figurilor

Figura 1.1 Ultimaker 3 Extended.....	12
Figura 1.2. Proiectorul de Profiluri, Orizontal, Starrett Optical.....	16
Figura 1.3. Starrett Optical cu dimensiunile de gabarit în inch și milimetrii.....	17
Figura 2.1. Diagrama Erorilor Absolute obținute pentru Diametrul Interior.....	25
Figura 2.2. Diagrama Erorilor Absolute obținute pentru Diametrul Exterior.....	26
Figura 2.3. Diagrama Erorilor Absolute obținute pentru Grosime.....	27
Figura 2.4. Diagrama Erorilor Relative obținute pentru Diametrul Interior.....	28
Figura 2.5. Diagrama Erorilor Relative obținute pentru Diametrul Exterior.....	29
Figura 2.6. Diagrama Erorilor Relative obținute pentru Grosime.....	30
Figura 2.7. Diagrama Amplitudinilor obținute pentru Diametrul Interior.....	31
Figura 2.8. Diagrama Amplitudinilor obținute pentru Diametrul Exterior.....	32
Figura 2.9. Diagrama Amplitudinilor obținute pentru Grosime.....	33
Figura 5.1. O rețea neuronală simplă.....	40

Lista tabelelor

Tabelul 2.1. Parametrii de imprimare a celor douăzeci și șapte de epruvete.....	22
Tabelul 2.2. Măsurătorile obținute și centralizarea acestora pentru prima epruvetă.....	23
Tabelul 2.3. Măsurătorile obținute și centralizarea acestora pentru a doua epruvetă.....	23
Tabelul 2.4. Măsurătorile obținute și centralizarea acestora pentru a treia epruvetă.....	23
Tabelul 2.5. Măsurătorile obținute și centralizarea acestora pentru a patra epruvetă.....	24
Tabelul 2.6. Măsurătorile obținute și centralizarea acestora pentru a cincea epruvetă.....	24
Tabelul 2.7. Măsurătorile obținute și centralizarea acestora pentru a șasea epruvetă.....	24
Tabelul 4.1. Dimensiunile celor douăzeci și șapte de epruvete.....	35
Tabelul 4.2. Abaterea standard pentru diametrul interior.....	37
Tabelul 4.3. Abaterea standard pentru diametrul exterior.....	38
Tabelul 4.4. Abaterea standard pentru grosime.....	39
Tabelul 5.1. Măsurătorile obținute și centralizarea acestora pentru Epruvetă Corectată.....	42
Tabelul 5.2. Raportul dintre suma Erorilor Absolute și Numărul Epruvetelor.....	43
Tabelul 5.3. Erorile Absolute a Epruvetei Corectate.....	43
Tabelul 5.4. Raportul dintre suma Erorilor Relative și Numărul Epruvetelor.....	43
Tabelul 5.5. Erorile Relative a Epruvetei Corectate.....	44

Capitolul 1. Noțiuni generale Rapid Prototyping

Acest raport intitulat “Îmbunătățirea Calității Pieselor de Mici Dimensiuni Realizate prin Rapid Prototyping” prezintă un experiment de laborator în care am proiectat, imprimat și verificat dimensiunile reale a epruvetelor de tip “șaiță/inel” imprimate. Scopul acestei lucrări științifice este de a verifica dacă erorile sunt controlabile și pot fi diminuate.

1.1. Tehnologii

Tehnologia (engleză “technology”, franceză “technologie”) este ansamblul metodelor, proceselor, operațiilor făcute sau aplicate asupra materiilor prime, materialelor și datelor pentru realizarea unui anumit produs industrial sau comercial.

Ingineria aplică imaginația, judecata și disciplina intelectuală cunoștințelor umane existente pentru a crea sau folosi tehnologia în mod util și eficient.

Importanța tehnologiei pentru dezvoltarea economică este larg recunoscută, având în vedere impactul pe care îl poate avea tehnologia asupra succesului, supraviețuirii sau insuccesului activității economice a companiilor, în special într-un mediu de concurență intensivă și globală.

Tehnologiile industriale sunt reprezentate de cunoștințele tehnice, mijloacele tehnice și “know-how”-ul folosite pentru producerea unor bunuri comercializabile, prin procese industriale. Tehnologia de producere a bunurilor în industrii este configurată pentru a obține bunuri comercializabile dorite, utile, utilizabile și sigure, în mod economic și pentru a asigura mentenabilitatea lor.

În general, tehnologiile industriale aparțin uneia dintre următoarele cinci categorii sau pot fi o combinație a acestora:

- tehnologii pentru producerea unor produse (deci productive) sub formă de unități discrete, de exemplu, mașini sau componente de mașini, dispozitive etc. precum și a unor produse ne-discrete cu structură sau proprietăți aproximativ identice, măsurate în unități volumetrice: minereuri, sticlă plană, ciment, sodă caustică, uleiuri vegetale, substanțe farmaceutice;
- tehnologii care ameliorează proprietățile, caracteristicile sau calitatea produsului, pentru a crea avantaje relevante din punct de vedere comercial, de exemplu în privința costului, comodității, performanței sau siguranței; sarea alimentară, încapsularea substanțelor farmaceutice etc.;
- tehnologii care produc unul sau mai multe efecte speciale (tratament fizico-chimic), de exemplu: anodizarea, galvanizarea, acoperiri metalice sau nemetalice ale metalelor, impermeabilizarea, ignifugarea și vopsirea țesăturilor, sterilizarea și pasteurizarea laptelui sau a altor produse alimentare procesate (în industria alimentară);
- tehnologii care modifică un proces de producție sau un sistem de fabricație, pentru a aduce unele avantaje sau impacte, de exemplu automatizarea, computerizarea sau robotizarea proceselor și operațiilor tehnologice, celule de fabricație etc.;
- tehnologii pentru producerea de servicii tehnice, de exemplu tehnologii de proiectare a produselor sau proceselor, de dezvoltare a unor software, tehnici de modelare și simulare a proceselor etc.

Tehnologia a devenit, peste tot în lume, un agent major al schimbării pentru piețe și pentru structura industriilor. Peste 50% din creșterea economică pe termen lung provine din

schimbările tehnologice care măresc productivitatea și determină apariția de noi produse, procese sau industrii.

O clasificare a OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) a industriilor de fabricație, bazată pe intensitatea tehnologică a sectoarelor, ia în considerare patru clase de industrii:

- industrii cu tehnologii avansate (high technology);
- industrii cu tehnologii medii-avansate;
- industrii cu tehnologii medii-inferioare;
- industrii cu tehnologii inferioare.

1.2. Tehnologia de imprimare 3D

Imprimarea 3D sau fabricația aditivă este un proces de fabricare a obiectelor solide tridimensionale adaugând strat după strat. Obiectele fizice sunt produse folosind datele unui model digital, un model 3D sau alte surse cum ar fi un fișier AMF (Additive Manufacturing File).

Cu 10 ani în urmă, aceste mașinării erau disponibile pentru companii cu venituri mari, fiind suficient de scumpe. În prezent, sunt mai accesibile pentru persoanele din domeniu. Imprimantele 3D oferă designerilor și arhitecților posibilitatea de a realiza într-un timp scurt un model al obiectului pe care vor să-l creeze. Macheta poate fi ulterior modificată în funcție de schimbările care intervin.

Sunt mai multe tipuri de imprimare 3D:

- imprimare prin extrudare FFF;
- imprimare cu pulbere SLS;
- stereolitografie SLA;
- expunerea digitală a luminii DLP;
- sintetizarea cu laser a metalelor SLM;
- producerea stratificată prin laminare LOM;
- imprimare polyjet cu fotopolimeri.

1.3. Rapid Prototyping

Rapid prototyping, respectiv prototipizarea rapidă, este fabricarea rapidă a unei părți, a unui model sau a unui ansamblu fizic, utilizând un proiect CAD (asistat de computer). Crearea piesei, modelului sau ansamblului este de obicei finalizată folosind fabricarea aditivă sau mai des cunoscută sub denumirea de imprimare 3D.

În cazul în care designul se potrivește strâns cu produsul finit propus, se spune că este un prototip de fidelitate înaltă, spre deosebire de un prototip de fidelitate scăzută, unde există o diferență marcată între prototip și produsul final.

Prototipizarea rapidă (RP) include o varietate de tehnologii de fabricație, deși majoritatea utilizează fabricarea de aditivi stratificat. Cu toate acestea, alte tehnologii utilizate pentru RP includ prelucrarea cu viteză mare, turnarea, modelarea și extrudarea.

În timp ce fabricația de aditivi este cel mai obișnuit proces RP, alte procese mai convenționale pot fi, de asemenea, utilizate pentru a crea prototipuri.

Aceste procese includ:

- Subactiv – prin care un bloc de material este sculptat pentru a produce forma dorită folosind frezare, șlefuire sau strunjire.
- Compresiv – prin care un material semi-solid sau lichid este forțat în forma dorită înainte de a fi solidificat, cum ar fi cu turnarea, sinterizarea compresivă sau modelarea.

Designerii de produse folosesc acest proces pentru fabricarea rapidă a pieselor reprezentative ale prototipului. Acest lucru poate ajuta vizualizarea, proiectarea și dezvoltarea procesului de fabricație înainte de a porni producția în masă.

Inițial, prototiparea rapidă a fost utilizată pentru a crea piese și modele la scară pentru industria auto, deși de atunci a fost preluată de o gamă largă de aplicații, în mai multe industrii, precum cea medicală și aerospațială.

Rapid tooling, respectiv instrumentul rapid, este o altă aplicație a Rapid Prototyping-ului, prin care o piesă, cum ar fi o mufă de injecție sau o pană senzor cu ultrasunete, este fabricată și utilizată ca unealtă într-un alt proces.

1.4. Avantajele Rapid Prototyping/Prototipizării Rapide

Există o serie de avantaje de prototipare rapidă, cum ar fi posibilitatea de a obține o imagine mai completă a modului în care va arăta sau a performa un produs în stadiul incipient al ciclului de proiectare și fabricație, ceea ce permite modificări sau îmbunătățiri să fie implementate mai devreme în proces. Timpul necesar poate varia de la câteva zile la un număr de luni, în funcție de metodele utilizate.

Rapid Prototyping este o modalitate foarte eficientă de protejare a produselor, deoarece este un proces automatizat, necesitând mai puțin personal pentru a opera. Acest proces este, de asemenea, extrem de precis, fiind capabil să utilizeze proiectarea asistată de computer (CAD) pentru a ajuta la reducerea risipei de materiale și nu necesită instrumente speciale pentru prototiparea fiecărui produs nou. Capacitatea de a acționa rapid și a rezolva problemele de ajutor reduce, de asemenea, riscul de erori costisitoare în timpul etapei de fabricație.

Prototipizarea rapidă îi ajută pe designeri să prezinte noi concepte membrilor consiliului, clienților sau investitorilor, astfel încât aceștia să poată înțelege și aproba o dezvoltare sau un produs. Această vizualizare poate permite, de asemenea, proiectanților să obțină feedback gata de la clienți și clienți pe baza unui produs fizic efectiv, mai degrabă decât a unui concept.

Întrucât prototiparea rapidă este un proces iterativ, permite cerințelor clienților să fie încorporate în proiecte rentabil. Procesul reduce nevoia ca produsele personalizate să fie proiectate de la zero, oferind în același timp o mai mare alegere și flexibilitate pentru clienți.

1.5. Tehnici:

- ✚ (3DP) 3D printing/printare 3D;
- ✚ (BPM) Ballistic particle manufacturing/Fabricarea particulelor balistice;
- ✚ (DLF) Directed light fabrication/Fabricare ușoară direcționată;
- ✚ (DSPC) Direct-shell production casting/Turnarea directă a producției de coajă;
- ✚ (FFF) Fused Filament Fabrication/Fabricare cu filamente topite;
- ✚ (LOM) Laminated object manufacturing/Fabricarea obiectelor laminate;
- ✚ (LRP) Laminated resin printing/Imprimare cu rășini laminate;

- ✚ (SDM and Mold SDM) Shape deposition manufacturing/Fabricarea depunerii de forme;
- ✚ (SGC) Solid ground curing/Vindecarea solului solid;
- ✚ (SLS) Selective laser sintering/Sinterizare selectivă cu laser;
- ✚ (SLM) Selective laser melting/Topirea selectivă cu laser;
- ✚ (SLA) Stereo lithography/Litografie stereo;
- ✚ (MJF) Multi Jet Fusion/Fuziune Multi Jet.

1.6. Diferite tipuri de Prototipuri Rapide

Stereolithography (SLA) or Vat Photopolymerization

Această tehnică rapidă și accesibilă a fost prima metodă de succes de imprimare 3D comercială. Folosește o baie de lichid fotosensibil care este solidificat strat cu strat folosind o lumină ultravioletă controlată de computer.

Selective Laser Sintering (SLS)

Folosit atât pentru prototipuri metalice, cât și pentru plastic, SLS folosește un pat pulbere pentru a construi un prototip cu un strat simultan, folosind un laser pentru încălzirea și sinterizarea materialului praf. Totuși, rezistența pieselor nu este la fel de bună ca în cazul SLA, în timp ce suprafața produsului finit este de obicei brută și poate necesita o lucrare secundară pentru a o termina.

Fused Filament Fabrication (FFF) or Material Jetting

Acest proces ieftin, ușor de utilizat, poate fi găsit în majoritatea imprimantelor 3D de tip desktop non-industriale. Folosește o bobină de filament termoplastic care este topit în interiorul unui butoi cu duză de imprimare înainte ca plasticul lichid rezultat să fie așezat strat după strat, conform unui program de depunere a calculatorului. Deși rezultatele timpurii au avut, în general, o rezoluție slabă și erau slabe, acest proces se îmbunătățește rapid și este rapid și ieftin, ceea ce îl face ideal pentru dezvoltarea produsului.

Selective Laser Melting (SLM) or Powder Bed Fusion

Adesea cunoscut sub denumirea de fuziunea patului de pulbere, acest proces este favorizat pentru realizarea unor părți complexe de înaltă rezistență. Topirea laser selectivă este frecvent utilizată de industriile aerospațiale, auto, de apărare și medicale. Acest procedeu de fuziune pe bază de pat de pulbere folosește o pulbere de metal fină care este topită într-un mod de strat pentru a construi fie prototip, fie piese de producție folosind un laser cu putere mare sau un fascicul de electroni. Materialele SLM obișnuite utilizate în Rapid Prototyping includ titan, aluminiu, oțel inoxidabil și aliaje cromate de cobalt.

Laminated Object Manufacturing (LOM) or Sheet Lamination

Acest proces ieftin este mai puțin sofisticat decât SLM sau SLS, dar nu necesită condiții special controlate. LOM creează o serie de straturi subțiri care au fost tăiate cu exactitate cu fascicule laser sau cu un alt dispozitiv de tăiere pentru a crea designul modelului CAD. Fiecare strat este livrat și lipit pe partea anterioară până când piesa este completă.

Digital Light Processing (DLP)

Similar cu SLA, această tehnică folosește, de asemenea, polimerizarea rășinilor care se întăresc folosind o sursă de lumină mai convențională decât cu SLA. Deși este mai rapid și mai ieftin decât SLA, DLP necesită adesea utilizarea structurilor de asistență și întărirea post-build.

O versiune alternativă a acesteia este Continuous Liquid Interface Production (CLIP), prin care partea este extrasă continuu dintr-o cuvă, fără utilizarea straturilor. Pe măsură ce partea este extrasă din cuvă, ea traversează o barieră de lumină care își modifică configurația pentru a crea modelul de secțiune dorit pe plastic.

Binder Jetting

Această tehnică permite imprimarea uneia sau a mai multor părți simultan, deși piesele produse nu sunt la fel de puternice ca cele create cu SLS. Binder Jetting folosește un pat de pulbere pe care duzele pulverizează picături micro-fine ale unui lichid pentru a lega particulele de pulbere împreună pentru a forma un strat al piesei.

Fiecare strat poate fi apoi compactat cu o rolă înainte de punerea următorului strat de pulbere și procesul începe din nou. După finalizare, partea poate fi întărită într-un cuptor pentru a arde agentul de legare și a fuziona pulberea într-o parte coerentă.

1.7. Avantajele și Dezavantaje

Avantaje:

- Imprimarea 3D permite crearea de structuri și părți complexe, care nu pot fi produse prin metode convenționale de producție;
- Pot fi create ușor geometrii complexe, asigurând o mare libertate în design;
- Modele complexe pot fi imprimate 3D ca o singură piesă, eliminând necesitatea asamblării pieselor componente;
- Imprimarea 3D permite, foarte ușor, personalizarea, fără costuri suplimentare;
- Dacă este necesară schimbarea designului unui obiect, doar fișierul digital trebuie modificat, fără a fi nevoie de procese de producție scumpe sau scule și dispozitive adiționale;
- Unul din avantajele imprimării 3D față de producția clasică este faptul că această tehnologie nu necesită, în general, nici un fel de scule sau dispozitive speciale pentru fabricarea unui obiect sau a părților acestuia;
- Nu sunt necesare costuri adiționale sau timp suplimentar pentru a crea un obiect complex față de a crea unul mai simplu;
- Unul din avantajele imprimării 3D față de metodele tradiționale de fabricație este durata mică de timp necesară pentru realizare a unui produs complex;
- Costurile mici derivă și din economia de timp. De exemplu, obiecte și părți componente pot fi produse mai repede și doar atunci când sunt necesare, reducând astfel costurile cu depozitarea și cu mâna de lucru;
- Deoarece modelele și părțile componente pot fi produse într-un timp scurt, imprimarea 3D se folosește pentru verificarea și dezvoltarea ideilor de design. Este mai ieftin să produci un prototip 3D decât să recreezi unul deja existent, dacă este nevoie;
- În consecință, imprimarea 3D este bună pentru cei care vor să dea viață unei idei de produs, pentru că lansarea pe piață este mai rapidă și cu riscuri mai mici;
- Imprimarea 3D poate reduce, de asemenea, riscul pericolelor asociate cu anumite procedee de prototipare manuală;
- Imprimarea 3D este un procedeu aditiv – un obiect este creat din materia primă adăugând strat după strat. Metodele de fabricație aditivă folosesc doar materialul necesar pentru producția obiectului respectiv;
- Majoritatea proceselor aditive folosesc materiale ce pot fi reciclate sau pot fi refolosite de mai multe ori pentru a imprima 3D obiecte. Prin urmare, fabricația aditivă produce foarte puține reziduuri.

Dezavantaje:

- Costuri ridicate pentru producție de serie mare;
- Prețul imprimantelor și al materiei prime este în continuare ridicat dar există tendința ca acestea să scadă;
- Game reduse de materiale, culori și finisaje;
- Există limitări comparativ cu metodele convenționale;
- Rezistență și durabilitate limitate;
- Nu toate tehnologiile aditive asigură durabilitatea produselor. Rezistența nu este uniformă;
- Precizia produselor imprimate 3D;
- Anumite procese aditive nu sunt foarte precise;
- Majoritatea imprimantelor 3D au limitări legate de dimensiunile produsului.

1.8. Imprimanta 3D folosită [9]

Ultimaker 3 Extended este cea mai fiabilă imprimantă 3D cu dublă extrudare disponibilă. Capabilă să realizeze proiecte complexe și performanțe îmbunătățite de imprimare 3D, datorită sistemului său unic de ridicare a duzei automate, a combinațiilor profesionale de materiale de construire și suport și a miezurilor de imprimare schimbabile.



Figura 1.1 Ultimaker 3 Extended [9]

Datorită integrării hardware, software și materiale fără probleme, Ultimaker 3 Extended permite proiectanților, inginerilor și producătorilor să abordeze procesul de inovare

într-un mod complet nou. Cu posibilitatea de a crea geometrii complexe și obținând o complexitate remarcabilă de design cu cea mai fiabilă dublă extrudare de pe piață.

1.9. Caracteristicile imprimantei Ultimaker 3 Extended

- Volumul construit de 215 x 215 x 300 mm;
- Rezoluție strat până la 20 micron pentru duză de 0,4 mm;
- Temperatură de imprimare până la 280°C;
- Extruziune dublă cu un material de sprijin solubil;
- Corele de imprimare schimbabile;
- Placă de construcție încălzită cu nivelare activă.

1.10. Cele mai utilizate materiale pentru imprimarea 3D

Principalele tipuri de materiale folosite în ziua de azi pentru a imprimate piese de mici dimensiuni sunt PLA (Polylactic Acid / Acidul Polilactic) și ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene / Stiren Acrilonitril Butadienă). Ambele cu rate de contracție foarte mici și la un preț accesibil, PLA este materialul perfect pentru piese care nu vor fi supuse la stres.

Pe lângă ABS și PLA, se mai folosesc și următoarele materiale:

- PVA (Polyvinyl Alcohol / Alcool Polivinil);
- PC (Polycarbonate / Policarbonat);
- HIPS (High Impact Polystyrene / Polistiren de Mare Impact);
- Carbon Fiber (Fibră de Carbon);
- Wood (Lemn);
- Nylon (Nailon);
- Fluorescent;
- Cocoa (Cacao – Ciocolată).

Avantaje și Dezavantaje ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene / Stiren Acrilonitril Butadienă)

Avantaje:

- Poate fi finisat cu vapori de acetonă;
- Este extrem de puternic și are o anumită flexibilitate;
- Material rezistent la impact;
- Rezistent la apă.

Dezavantaje:

- Necesită un pat încălzit pentru a oferi piesei printate aderența la pat și pentru a preveni deformarea și delaminarea stratului;
- Rată mare de contracție;
- Este relativ sigur, dar nu este sigur pentru alimente;
- Încălzirea patului de imprimare obligatorie și cu temperaturi recomandate în intervalul 90-103°C;
- Nebiodegradabile;
- Emite gaze nocive;

- Poate suferi daune provocate de lumina directă a soarelui;
- Punct de topire ridicat.

Avantaje și Dezavantaje PVA (Polyvinyl Alcohol / Alcool Polivinil)

Avantaje:

- Solubil în apă;
- Destul de ușor de imprimat;
- Bun pentru structuri de tip suport;
- Tipărirea de modele complexe cu PLA sau ABS.

Dezavantaje:

- Scump;
- Poate elibera vapori toxici dacă este supraîncălzit;
- Necesită eliminarea reziduurilor corespunzător.

Avantaje și Dezavantaje Nylon (Nailon)

Avantaje:

- Greu;
- Ustensile care ating mâncarea;
- Imprimante de tip FFF care pot încălzi extruderul la 250°C, cum ar fi Ultimaker 3.

Dezavantaje:

- Sinterizare cu laser pentru nailon prezintă un cost extrem de ridicat;
- Nevoia de imprima cu temperatură ridicată.

Avantaje și Dezavantaje PLA (Polylactic Acid / Acidul Polilactic)

Avantaje:

- Rate de contracție foarte mică;
- Preț accesibil;
- Piese nu se deformează în timp ce sunt imprimate;
- Nu este necesar să fie printate într-un mediu închis pentru piese mari;
- Are o rezistență mare la tracțiune;
- Biodegradabil, deoarece este produs din amidonuri de plante;
- Poate fi folosit la imprimantele 3D care nu sunt echipate cu încălzirea mesei pe care se printează;
- Nu emite gaze nocive în timpul printării (spre deosebire de ABS).

Dezavantaje:

- Nu poate fi supus la stres;
- Piese printate se degradează în timp.

În urma analizării avantajelor și dezavantajelor materialelor de imprimare 3D analizate pentru imprimare, am decis că PLA (Polylactic Acid / Acidul Polilactic) este materialul care prezintă durabilitatea, fiabilitatea, siguranța și prețul optim pentru a putea realiza experimentul de laborator dorit.

Materialul folosit la imprimare, PLA (Polylactic Acid / Acidul Polilactic) [10]

Acidul Polilactic (PLA) este un poliester termoplastic. Realizat din resurse regenerabile cum ar fi amidonul de porumb, rădăcinile de tapioca sau trestia de zahăr, este un material foarte ușor de utilizat. Unul dintre cele mai atractive lucruri la acest tip de plastic este că se degradează natural atunci când este expus mediului (în cca 6-24 luni).

PLA prezintă următoarele avantaje principale în printarea 3D: ușor de printat și disponibil într-o mare varietate de culori, cât și dezavantajele în printarea 3D: nepotrivit pentru prototipuri funcționale sau obiecte supuse la temperaturi ridicate.

Acidul polilactic (PLA) este diferit de majoritatea polimerilor termoplastici prin faptul că este derivat din resurse regenerabile cum ar fi amidonul de porumb sau trestia de zahăr. Cele mai multe materiale plastice provin din distilarea și polimerizarea rezervelor de petrol neregenerabile. Materialele plastice care sunt derivate din biomasă (de exemplu, PLA) sunt cunoscute sub denumirea de "bioplastice".

Acidul polilactic este biodegradabil și are caracteristici similare cu polipropilena (PP), polietilena (PE) sau polistirenul (PS). Poate fi produs de echipamente de producție deja existente (cele proiectate și utilizate inițial pentru industria petrochimică din materiale plastice). Acest lucru face ca acesta să genereze un cost relativ eficient. În consecință, PLA are cel de-al doilea volum de producție, cel mai mare din orice bioplastic (cel mai frecvent menționat, de obicei, ca amidon termoplastic).

1.11. Caracteristici PLA (Polilactic Acid / Acidul Polilactic)

PLA este clasificat ca un poliester "termoplastic", iar denumirea are de a face cu modul în care plasticul răspunde la căldură. Materialele termoplastice devin lichide la punctul lor de topire (150-160 grade Celsius, în cazul PLA). Un atribut important pentru termoplastice este că pot fi încălzite până la punctul lor de topire, răcite și reîncălzite din nou fără o degradare semnificativă. În loc de ardere, termoplasticele cum ar fi acidul polilactic se lichefiază, ceea ce le permite să fie ușor turnate prin injecție și apoi reciclate ulterior.

Dimpotrivă, materialele plastice termo-rigide pot fi încălzite o singură dată (de obicei în timpul procesului de turnare prin injecție).

1.12. Proiectorul de Profiluri, Orizontal, Starrett Optical [11]

Aparatul de măsurare utilizat este un proiectorul de profiluri Starrett Optical HE400, pentru profiluri orizontale, iar sistemul de comandă este Quadra-Check QC200.

Comparatorul optic de tip orizontal HE400 oferă un ecran de 16 " (inchi), deplasare rapidă pe axa X de 10", deplasare pe axa Y de 4", lentile de montaj baionet cu schimbare rapidă, protector digital cu axa Q, cu măsurări unghiulare la rezoluție de 1' (picior) și un sistem puternic de control software Quadra-Chek 200. O soluție testată în timp, rentabilă, pentru măsurarea fără contact.

Sunt simple de utilizat, dar au o capacitate și o performanță deosebită pentru a satisface o gamă excepțional de largă, de aplicații pentru inspecție dimensională și cerințe complexe de măsurare. În centrul acestor sisteme se află optica de precizie, iluminarea excelentă și un stadiu de lucru extrem de precis care se combină pentru a asigura imagini luminoase, ascuțite și o precizie excepțională.

Modelele orizontale funcționează bine cu piese care trebuie fixate, ținute într-un vinci sau pe centre. Acest model include capacitatea de a măsura caracteristici geometrice 2D, cum ar fi diametre, rază, unghi, linii și caracteristici punct.



Figura 1.2. Proiectorul de Profiluri, Orizontal, Starrett Optical [11]

1.13. Specificații

- Stabilă, construcție complet metalică;
- Diametrul ecranului (in): 16";
- Diametrul ecranului (mm): 400;
- X - Y Interval de măsurare (in): 10" x 4";
- X - Y Interval de măsurare (mm): 250 x 100;
- Codificator de scară liniară de sticlă activat Axele X & Y: Standard;
- Interval de focalizare (in): 1.125";
- Interval de focalizare (mm): 30;
- Etapa de lucru (in): 18.75" x 4.75";
- Etapa de lucru (mm): 475 x 120;
- Capacitatea de încărcare cu deviere neglijabilă (lbs): 15;
- Capacitatea de încărcare maximă (lbs): 55;
- Rezoluție unghiulară de măsurare: 1 Minute;
- Iluminarea profilului: Standard;
- Iluminarea suprafeței: Standard;
- Schimbare rapidă a obiectivului (Obiectivele nu sunt incluse): Singur;
- Condensator de colimare cu filtru galben / verde: Standard;
- Sistem de control / Software: QC100/200, M2;
- Afișaj (Sistem de control dependent): QC DRO or 15.6" Ecran tactil PC;
- Detectarea marginilor optice: Opțional;
- Lentile (Una obligatorie, Nu este inclusă): 10X, 20X, 25X, 31.25X, 50X, 100X;
- Diafragma irisului: Opțional;
- Menghina rotativă de precizie: Opțional;

- Bloc menghina pe bază rotativă: Opțional;
- Menghina fixată cu precizie: Opțional;
- Centre de precizie & Menghine: Opțional;
- Suport de lucru pentru placă de sticlă: Opțional;
- Stand de cabinet 32": Opțional;
- Stand de cabinet 23": Opțional;
- Baldachin și Perdele: Opțional.

1.14. Terminologie [12]

Distanța de lucru este distanța dintre obiectivul obiectiv și componentă atunci când componenta este în focalizare.

Câmpul de vizualizare este zona de vizualizare a componentei. Un câmp de vizualizare de 30 mm folosind un obiectiv de 10x ar produce o imagine pe ecran de 300 mm.

Vedere pe jumătate câmp este dimensiunea maximă pe care o componentă poate fi proiectată în centrul ecranului înainte de a se ciocni cu obiectivul.

Vizualizare completă a câmpului este dimensiunea maximă pe care o componentă poate fi proiectată pe ecranul complet înainte de a se ciocni cu obiectivul.

Imaginea proiectată este modul în care o componentă este proiectată pe ecran în raport cu plasarea sa pe masa de lucru.

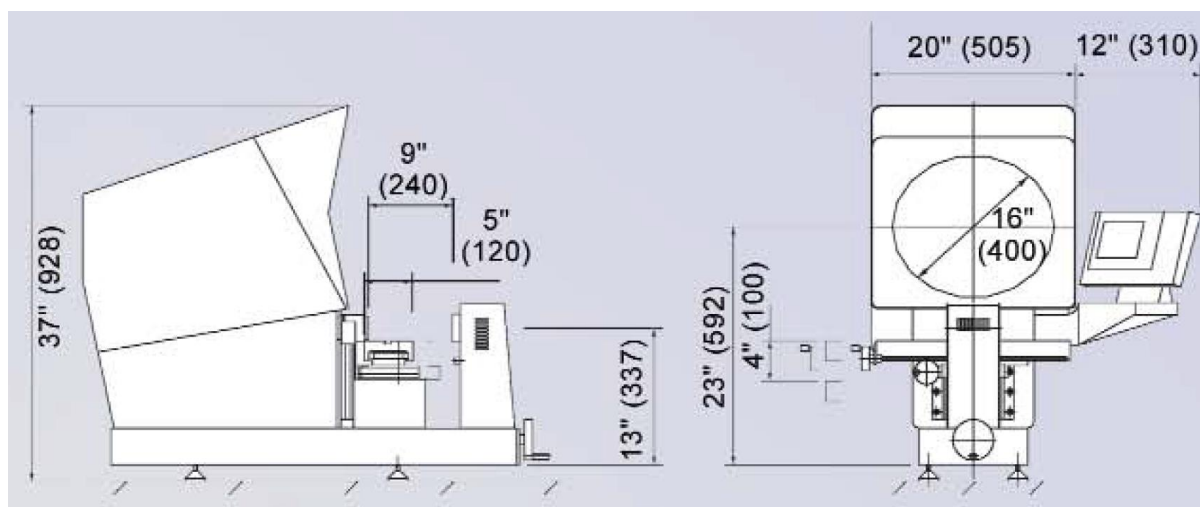


Figura 1.3. Starrett Optical cu dimensiunile de gabarit în inch și milimetrii [12]

Capitolul 2. Prelucrarea Datelor Experimentale

Cercetarea realizată în laborator prezintă câteva etape importante: proiectarea și imprimarea epruvetelor, achiziția de date și prelucrarea datelor obținute.

Fiecare dintre aceste etape își are importanța ei, dar scopul final este atins doar dacă este găsită o metodologie prin care să putem face corecția dimensiunilor programate astfel încât piesa să fie cât mai apropiată de forma și dimensiunile dorite, cu obiectivul de a stabili dacă erorile sunt controlabile și pot fi diminuate.

Datele științifice ce urmează a fi prezentate au fost obținute în urma unor experimente și au fost măsurate individual (bucată cu bucată).

2.1. Tipuri de variabile [5]

Metodele statistice asigură o modalitate de a gestiona variabilitatea. Variația apare între vitezele de imprimare [mm/s], între temperaturile de imprimare [°C], între grosimile straturilor de imprimare [mm] și între diversele cote tehnice obținute în urma imprimării și măsurării epruvetelor, pentru verificarea posibilei controlări și diminuări a erorii de imprimare, fapt care constituie obiectul nostru de interes în acest experiment de laborator. De exemplu, variația apare de la o epruvetă la alta, în funcție de caracteristici precum viteza de imprimare, temperatura de imprimare, grosimea stratului, temperatura platoului de imprimare, cât și diverși parametri de imprimare, etc. Natura și mărimea variabilității au consecințe importante atât pentru statistica descriptivă, cât și pentru cea inferențială.

O **variabilă** este o caracteristică ce poate varia între subiecții unui eșantion sau a unei populații. Fiecare subiect are anumite valori pentru o variabilă, însă subiecți diferiți pot avea valori diferite. Exemple de variabile: gen (cu valorile masculin și feminin), vârsta (cu valorile 0, 1, 2, 3, etc.).

Modul de analiză a unei variabile depinde de modul în care acea variabilă este măsurată. Variabilele numerice, cum ar fi venitul, trebuie tratate în mod diferit de variabilele care sunt măsurate prin intermediul unor etichete, cum ar fi preferința pentru un anumit brand.

Dacă în primul caz putem discuta despre medie ca o măsură a venitului, în al doilea caz, acest lucru este absurd. Mai departe vor fi introduse două metode de clasificare a variabilelor.

2.2. Variabile calitative și variabile cantitative

Informațiile sunt numite **calitative** atunci când pentru măsurarea lor se folosește un set de categorii care nu sunt ordonate în nici un fel. Exemple de date calitative: statusul marital (necăsătorit, căsătorit, divorțat, văduv), localitatea de reședință, etc. Pentru variabilele calitative, categoriile diferă între ele prin calitate și nu prin cantitate sau magnitudine.

Atunci când posibilele valori ale unei variabile diferă în magnitudine, variabila este numită **cantitativă**. Fiecare valoare posibilă a unei variabile cantitative este mai mare sau mai mică decât orice altă valoare posibilă. Astfel de comparații sunt cu puțință pentru variabile măsurate pe o scală numerică. Exemple de variabile cantitative: venitul anual, numărul de ani de educație, etc.

Setul de categorii pentru o variabilă calitativă este numit **scală nominală**, iar setul de valori numerice pentru o variabilă cantitativă se numește **scală interval**. Scalele interval au o anumită distanță sau un anumit „interval” între fiecare pereche de niveluri. Venitul lunar este măsurat pe o astfel de scală interval; intervalul dintre 2.000 și 3.000 RON, de exemplu, este

de 1.000 RON. Astfel se pot face comparații între niveluri diferite ale venitului, comparații care nu au nici un sens pentru o scală nominală. Într-un anumit sens există și un al treilea tip de scală, situată între scala nominală și cea interval. Este vorba despre o scală categorică, având o ordine naturală a valorilor, dar fără a putea identifica distanța dintre valori. Aceasta este **scala ordinală**. De exemplu: poziția în spectrul politic (stânga, centru-stânga, centru, centru-dreapta, dreapta), opinia față de mărimea cheltuielilor cu protecția socială (prea mici, normale, prea mari), etc.

Principalul motiv pentru care se face distincția dintre datele cantitative și cele calitative este că, așa cum s-a mai spus, pentru fiecare tip de date se aplică metode statistice diferite.

Variabile discrete și variabile continue

O altă modalitate de a clasifica variabilele ține cont numărul de valori cuprinse în scala de măsurare. O variabilă este numită **discretă** dacă ea poate lua doar un număr finit de valori și este numită **continuă** dacă poate lua ca valori un număr infinit de numere reale.

Exemple de variabile discrete: numărul de copii ai fiecărei familii, numărul de infracțiuni într-un an, numărul de vizite la medic în ultimul an, etc. Oricare dintre variabilele anterioare numite „numărul de...” este o variabilă discretă, întrucât poate lua doar valori din mulțimea $\{0, 1, 2, 3, 4, \dots\}$.

Exemple de variabile continue: înălțimea, greutatea, vârsta, venitul, etc. Este imposibil de precizat toate valorile posibile ale unei variabile continue. Greutatea unei persoane poate fi 73,82035... kg, funcție de precizia cu care este făcută măsurătoarea.

În cazul variabilelor discrete nu se poate subdiviza unitatea de măsură. Numărul de copii într-o familie poate fi 2 sau 3, dar în nici un caz, 2,57. Pe de altă parte, o colecție de valori ale unei variabile continue poate fi oricând redefinită între două valori posibile. Orice vârstă cuprinsă între 20 și 20,5 ani, de exemplu, poate fi rotunjită la 20 de ani, iar orice vârstă cuprinsă între 20,5 și 21 de ani poate fi rotunjită la 21 de ani.

Variabilele calitative sunt discrete, ele având un set finit de categorii. Variabilele cantitative pot fi atât discrete cât și continue.

2.3. Eșantionare și tipuri de eșantioane [5]

Statistica inferențială utilizează eșantioanele pentru a face predicții despre parametrii populațiilor din care acestea au fost extrase. Calitatea inferenței depinde în mod esențial de modul în care eșantionul reprezintă populația.

Procesul de eșantionare începe prin definirea **cadrului de eșantionare**. Acesta cuprinde o listă completă sau parțială a itemilor care compun populația. Cadrul de eșantionare poate fi o listă de un anumit tip a populației: lista alegătorilor, lista abonaților telefonici dintr-o localitate sau cea a locuințelor conectate la rețeaua de electricitate. Subiecții unei populații pot fi indivizi, familii, școli, locuințe, orașe, spitale, etc. Dacă anumite grupuri din populație nu sunt incluse în cadrul de eșantionare, atunci eșantionul nu va fi corect.

Motive pentru a utiliza un eșantion în locul unui recensământ al întregii populații:

- necesită mai puțin timp;
- costă mai puțin;
- este mai ușor de administrat.

Există două mari grupuri de eșantioane: probabilistice și neprobabilistice.

Un **eșantion probabilistic** este acela în care subiecții sunt aleși pe baza unei probabilități cunoscute. Un **eșantion neprobabilistic** este acela în care elementele componente sunt alese fără să se țină cont de probabilitatea apariției lor. Pentru anumite studii, eșantioanele neprobabilistice, așa cum sunt cele pe cote, cele intenționate sau cele convenabile, sunt suficiente. Aceste eșantioane au unele avantaje față de cele probabilistice, cum ar fi ușurința și viteza cu care pot fi construite, precum și costul scăzut. Pe de altă parte, ele au două dezavantaje majore: lipsa de acuratețe și imposibilitatea generalizării. Din aceste motive, eșantioanele neprobabilistice pot fi utilizate doar atunci când dorim o aproximare grosieră la un cost scăzut pentru a ne satisface o curiozitate personală sau atunci când dorim să realizăm un studiu pilot, care va fi urmat mai târziu de o cercetare mult mai riguroasă.

Eșantioanele probabilistice trebuie utilizate ori de câte ori este posibil, deoarece doar ele asigură o corectă inferență statistică de la eșantion la populație. Există patru tipuri de eșantioane probabilistice: eșantionul aleatoriu simplu, eșantionul sistematic, cel stratificat și cel de tip cluster. Aceste tipuri diferă între ele prin cost, acuratețe și complexitate.

Un **eșantion aleator simplu** este acela în care fiecare element din cadrul de eșantionare are aceeași șansă de a fi selectat. Pentru a putea utiliza un astfel de eșantion este necesar, în primul rând, să existe o listă completă a populației. Apoi de pe această listă se poate extrage eșantionul dorit utilizând metoda loteriei sau un tabel cu numere aleatoare sau un calculator care să genereze numere aleatoare.

În cazul unui **eșantion sistematic**, cei N indivizi care formează cadrul de eșantionare (populația) sunt împărțiți în k grupuri, prin împărțirea populației la mărimea dorită a eșantionului n . Apoi este ales, în mod aleator, un individ din primul grup, iar restul eșantionului este obținut prin selecția al fiecărui k element din fiecare grup. De exemplu, dacă vrem să extragem un eșantion sistematic de 40 de indivizi dintr-o populație de $N = 800$, populația va fi împărțită în $800/40 = 20$ de grupuri. Este ales în mod aleator un număr din primul grup, să spunem 9, apoi fiecare al 20-lea de după acesta: 29, 49, 69, ..., 769 și 789.

Deși sunt ușor de utilizat, eșantionarea aleatorie simplă și eșantionarea sistematică sunt în general mai puțin eficiente decât alte metode mai sofisticate și nu se poate ști dacă eșantionul este într-adevăr reprezentativ. În cazul eșantioanelor sistematice, posibilitatea de eroare este chiar mai mare, în cazul în care cadrul de eșantionare este organizat după un anumit model.

În cazul unui **eșantion stratificat**, cei N indivizi ai populației sunt împărțiți în câteva subpopulații, sau straturi, în conformitate cu anumite caracteristici. Este extras câte un eșantion aleator simplu din fiecare strat, iar eșantioanele rezultate sunt combinate. Această metodă de eșantionare este mai eficientă decât cele anterioare, deoarece asigură reprezentarea indivizilor din întreaga populație, ceea ce oferă o mai mare precizie în estimarea parametrilor populației.

Pentru a construi un **eșantion de tip cluster**, cei N indivizi care formează populația sunt împărțiți în câțiva clusteri, astfel încât fiecare dintre aceștia este reprezentativ pentru întreaga populație. Apoi este extras un eșantion aleator simplu din fiecare cluster. Clusterelor sunt zone în care populația este grupată în mod natural, cum ar fi județe, localități, cartiere, străzi, etc. Această metodă poate fi mai eficace și mai puțin costisitoare decât cea a eșantionării simple aleatoare, mai ales când populația este răspândită peste o arie geografică largă.

2.4. Proiectarea, printarea și măsurarea pieselor imprimate

Pentru realizarea acestei cercetări științifice am parcurs următorii pași:

1) Modelul digital

Am proiectat epruvetele de mici dimensiuni de forma unui “inel”/unei “șaibe” în Autodesk AutoCAD 2019, având următoarele dimensiuni nominale:

- a. Diametrul Interior = Ø20 mm;
- b. Diametrul Exterior = Ø30 mm;
- c. Grosimea = 4 mm.

2) Modelul în format STL

Am exportat desenele în format „.stl” (stereolithografie) pentru a putea fi deschise cu programul Ultimaker Cura 3.5.1;

3) Verificarea și repararea modelului STL

Cu ajutorul programului menționat la punctul 2) am introdus parametrii caracteristici de imprimare, cei analizați fiind: viteza de imprimare [mm/s], temperatura de imprimare [°C] și înălțimea stratului [mm], pentru realizarea printării 3D la imprimanta 3D Ultimaker 3 Extended;

Am salvat fișierul în format „.gcode” (codul G) pentru a-l importa în software-ul imprimantei 3D. Codul G este un limbaj de programare folosit în fabricarea asistată de calculator (CAM) pentru controlul mașinilor unelte automate.

4) Pregătirea imprimantei 3D

În această etapă, echipamentul este pregătit pentru imprimare. Procesul necesită setarea corespunzătoare și controlul imprimantei 3D, curățarea mesei de lucru și încărcarea materiei prime. Este necesară și o verificare de rutină a tuturor setărilor de imprimare principale și a panoului de control. Când echipamentul este pregătit, se poate încărca fișierul pentru imprimare 3D.

5) Imprimarea 3D

Procedura de imprimare 3D este, în mare parte, automată. În funcție de dimensiunea obiectului, de materiale și de imprimantă, procedura poate dura de la câteva minute până la câteva zile. Trebuie să se verifice, din când în când, să nu existe erori.

În cazul de față datorită epruvetei de mici dimensiuni în medie nu a durat mai mult de 30 de minute.

6) Înlăturarea obiectului imprimat

În majoritatea cazurilor, în imprimarea 3D non-industrială, înlăturarea obiectului imprimat se face cu ușurință – se separă piesa imprimată de masa de imprimare.

7) Procesarea ulterioară

După imprimarea a 27 (douăzeci și șapte) de epruvete de tip „inel” cu aceleași dimensiuni nominale și diverși parametrii de imprimare (cei mai importanți parametrii fiind – viteza de imprimare [mm/s], temperatura de imprimare [°C] și înălțimea stratului [mm]), aceștia au trecut prin procesarea produsului final, proces care include curățare manuală printr multe alte operații (de exemplu: o piesă imprimată prin SLA trebuie întărită sub raze UV în timp ce una imprimată prin FFF poate fi manevrată imediat), urmând ca aceștia să fie

măsurați pe Proiectorul de Profiluri, Orizontal, Starrett Optical pentru a determina diametrul interior, diametrul exterior și grosimea.

Aceste măsurători au fost centralizate în Tabelul 1. Parametrii de imprimare a celor douăzeci și șapte de epruvete.

Tabelul 2.1. Parametrii de imprimare a celor douăzeci și șapte de epruvete

Nr. crt.	Viteza [mm/s]	Temperatura [°C]	Grosimea [mm]
1	60	190	0,07
2	60	190	0,1
3	60	190	0,2
...			
25	100	210	0,07
26	100	210	0,1
27	100	210	0,2

Pentru epruvetele de tip „inel/șaiță” am măsurat de trei ori diametrul interior, diametrul exterior și grosimea, pe urmă am calculate (pentru toate cele 27 de epruvete):

- Media celor trei măsurători;
- Eroarea relativă;
- Eroarea absolută;
- Amplitudinea.

Centralizarea măsurătorilor și efectuarea calculelor după formulele:

- Media = (Măsurătoarea 1 + Măsurătoarea 2 + Măsurătoarea 3) / 3;
- Eroarea absolută = Media – Valoarea nominală;
- Eroarea relativă = [(Media – Valoarea nominală) / Valoarea nominală] * 100;
- Amplitudinea = Valoarea maximă dintre cele trei măsurători – Valoarea minimă dintre cele trei măsurători.

Tabelul 2.2. Măsurătorile obținute și centralizarea acestora pentru prima epruvetă

I	Diametrul interior (Nominal = Ø20 mm)	Diametrul exterior (Nominal = Ø30 mm)	Grosimea (Nominal = 4 mm)
Valoarea Nominală	20	30	4
1	19,671	29,779	4,037
2	19,734	29,781	4,034
3	19,673	29,813	4,023
Media I	19,693	29,791	4,031
Eroarea absolută [mm] I	-0,307	-0,209	0,031
Eroarea relativă [%] I	-1,537	-0,697	0,783
Amplitudinea I	0,063	0,034	0,014

Tabelul 2.3. Măsurătorile obținute și centralizarea acestora pentru a doua epruvetă

II	Diametrul interior (Nominal = Ø20 mm)	Diametrul exterior (Nominal = Ø30 mm)	Grosimea (Nominal = 4 mm)
Valoarea Nominală	20	30	4
1	19,740	29,812	3,983
2	19,711	29,851	3,986
3	19,768	29,868	4,008
Media II	19,740	29,844	3,992
Eroarea absolută [mm] II	-0,260	-0,156	-0,008
Eroarea relativă [%] II	-1,302	-0,521	-0,192
Amplitudinea II	0,057	0,056	0,025

Tabelul 2.4. Măsurătorile obținute și centralizarea acestora pentru a treia epruvetă

III	Diametrul interior (Nominal = Ø20 mm)	Diametrul exterior (Nominal = Ø30 mm)	Grosimea (Nominal = 4 mm)
Valoarea Nominală	20	30	4
1	19,770	29,804	3,900
2	19,736	29,815	3,905
3	19,744	29,829	3,906
Media III	19,750	29,816	3,904
Eroarea absolută [mm] III	-0,250	-0,184	-0,096
Eroarea relativă [%] III	-1,250	-0,613	-2,408
Amplitudinea III	0,034	0,025	0,006

Tabelul 2.5. Măsurătorile obținute și centralizarea acestora pentru a patra epruvetă

IV	Diametrul interior (Nominal = Ø20 mm)	Diametrul exterior (Nominal = Ø30 mm)	Grosimea (Nominal = 4 mm)
Valoarea Nominală	20	30	4
1	19,662	29,873	4,026
2	19,674	29,922	4,073
3	19,659	29,847	4,034
Media IV	19,665	29,881	4,044
Eroarea absolută [mm] IV	-0,335	-0,119	0,044
Eroarea relativă [%] IV	-1,675	-0,398	1,108
Amplitudinea IV	0,015	0,075	0,047

Tabelul 2.6. Măsurătorile obținute și centralizarea acestora pentru a cincea epruvetă

V	Diametrul interior (Nominal = Ø20 mm)	Diametrul exterior (Nominal = Ø30 mm)	Grosimea (Nominal = 4 mm)
Valoarea Nominală	20	30	4
1	19,700	29,857	4,030
2	19,703	29,819	4,013
3	19,687	29,859	4,034
Media V	19,697	29,845	4,026
Eroarea absolută [mm] V	-0,303	-0,155	0,026
Eroarea relativă [%] V	-1,517	-0,517	0,642
Amplitudinea V	0,016	0,040	0,021

Tabelul 2.7. Măsurătorile obținute și centralizarea acestora pentru a șasea epruvetă

VI	Diametrul interior (Nominal = Ø20 mm)	Diametrul exterior (Nominal = Ø30 mm)	Grosimea (Nominal = 4 mm)
Valoarea Nominală	20	30	4
1	19,549	29,732	4,033
2	19,582	29,792	4,063
3	19,494	29,749	4,025
Media VI	19,542	29,758	4,040
Eroarea absolută [mm] VI	-0,458	-0,242	0,040
Eroarea relativă [%] VI	-2,292	-0,808	1,008
Amplitudinea VI	0,088	0,060	0,038

Pentru epruvetele cu numărul 7 – 27 (inclusiv) se regăsesc în “Anexa 2 - Tabele epruvetele 7-27”.

După centralizarea valorilor obținute și prelucrarea acestora pentru identificarea **erorii absolute**, **erorii relative** și a **amplitudinii**, am comparat acești parametri pentru a verifica dacă erorile apărute la **diametrul interior**, **diametrul exterior** și la **grosime**, sunt controlabile.

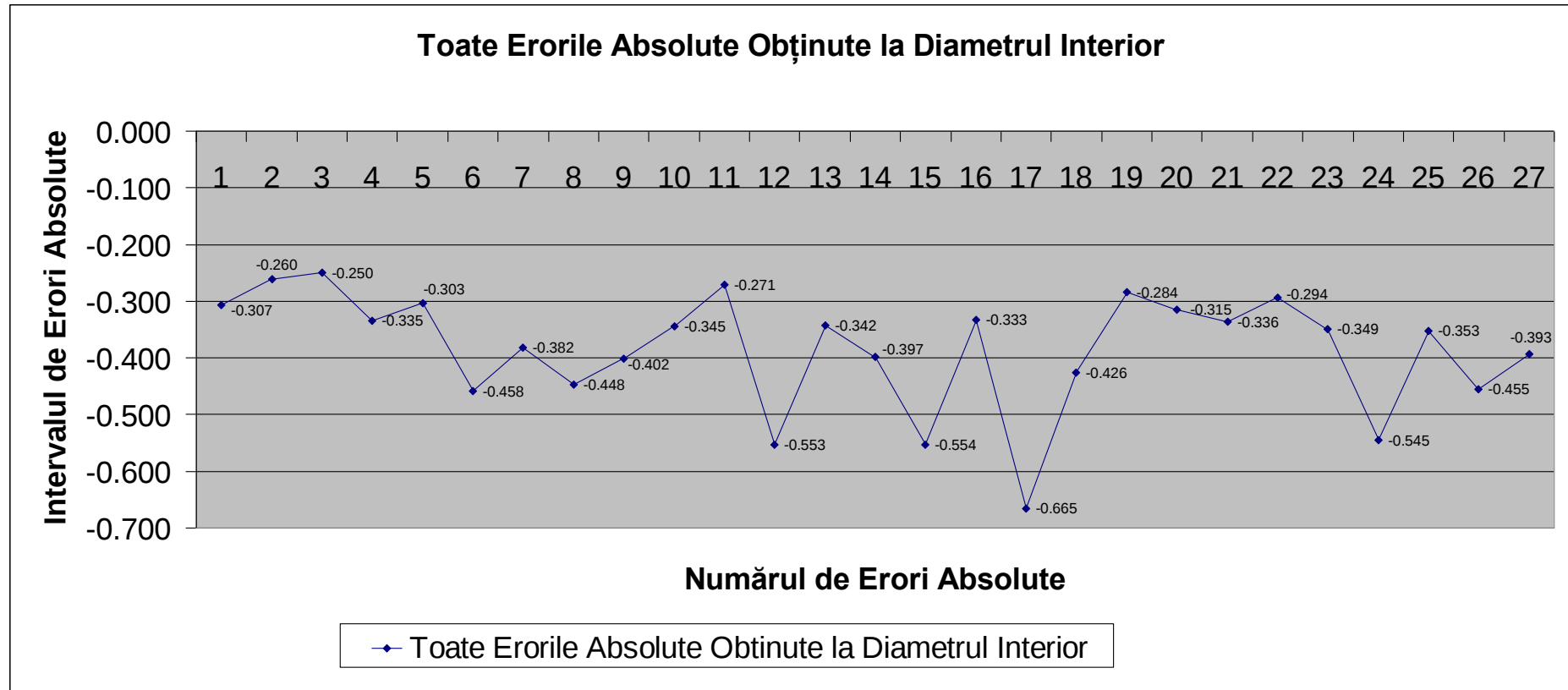


Figura 2.1. Diagrama Erorilor Absolute obținute pentru Diametrul Interior

Din Figura 2.1, rezultă că indiferent de caracteristica de printare cu care am imprimat aceste epruvete, eroarea absolută a diametrului interior a rezultat mereu mai mică decât valoarea nominală/dorită ($\varnothing 20$ mm).

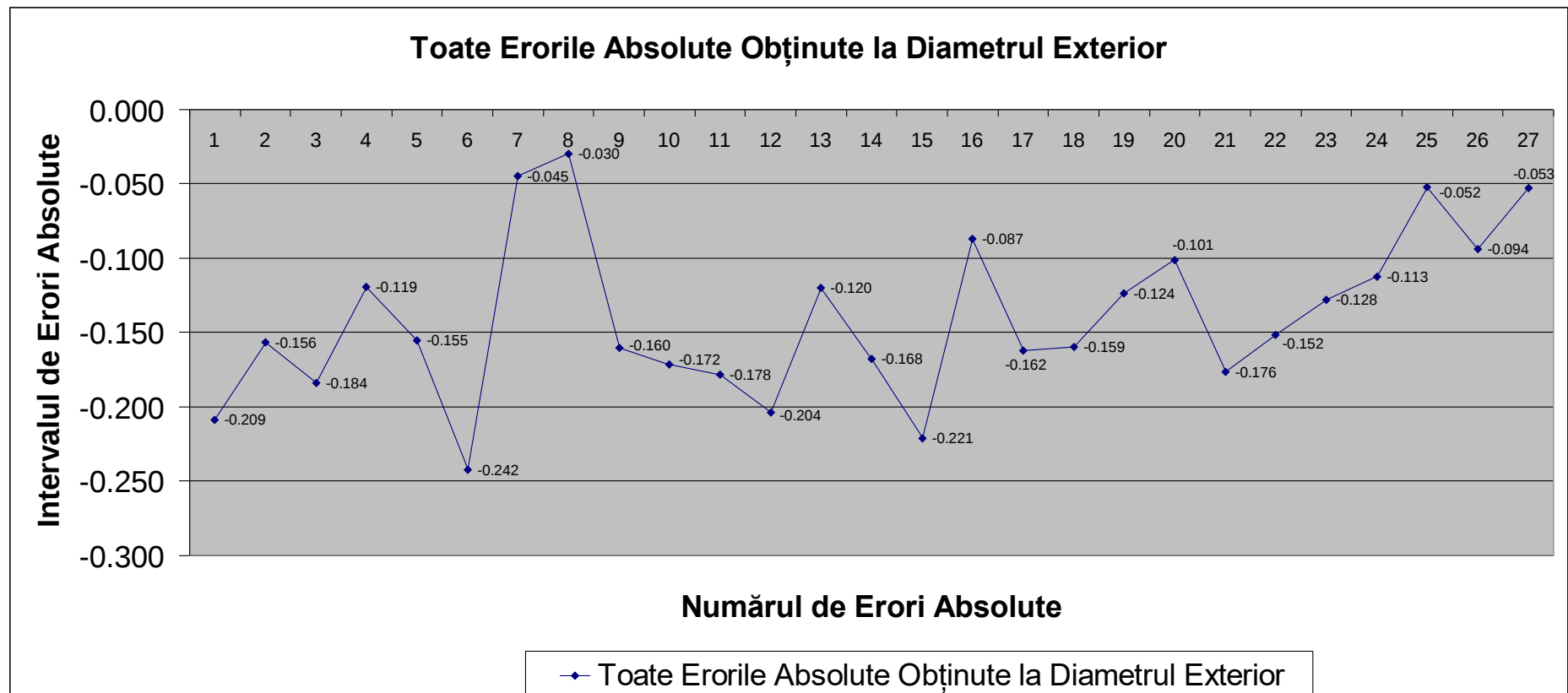


Figura 2.2. Diagrama Erorilor Absolute obținute pentru Diametrul Exterior

Din Figura 2.2, rezultă că epruvetele 7, 8, 25 și 27, datorită caracteristicilor de printare aleși, eroarea absolută a diametrului exterior este, ca și valoare, apropiată de valoarea nominală/dorită ($\varnothing 30$ mm), iar celelalte epruvete au diametrul exterior mai mic decât valoarea dorită.

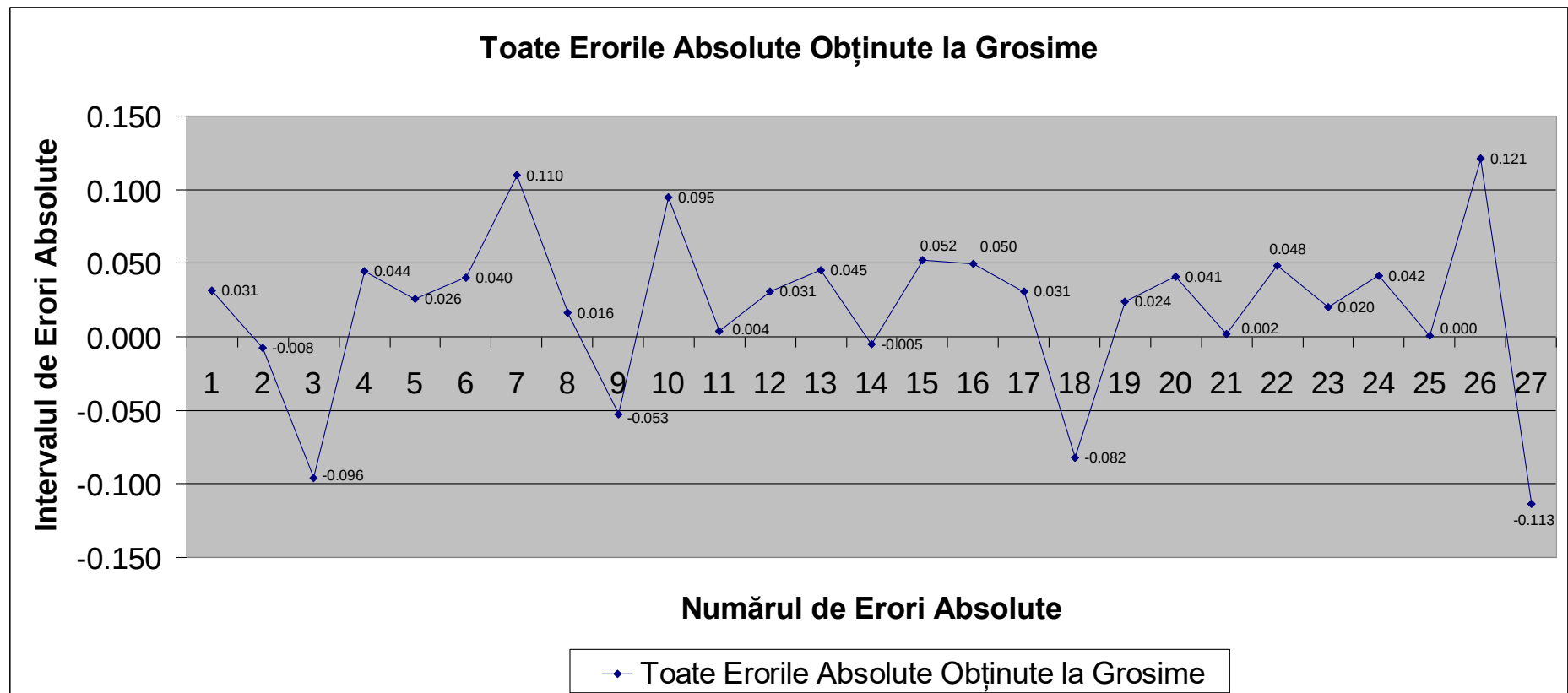


Figura 2.3. Diagrama Erorilor Absolute obținute pentru Grosime

Din Figura 2.3, rezultă că epruveta 25 are grosimea dorită, epruvetele 2, 8, 11, 14 și 21 sunt apropiate de grosimea dorită, iar celelalte epruvete au eroarea absolută fie mai mică, fie mai mare decât valoarea nominală/dorită (4 mm) a grosimii.

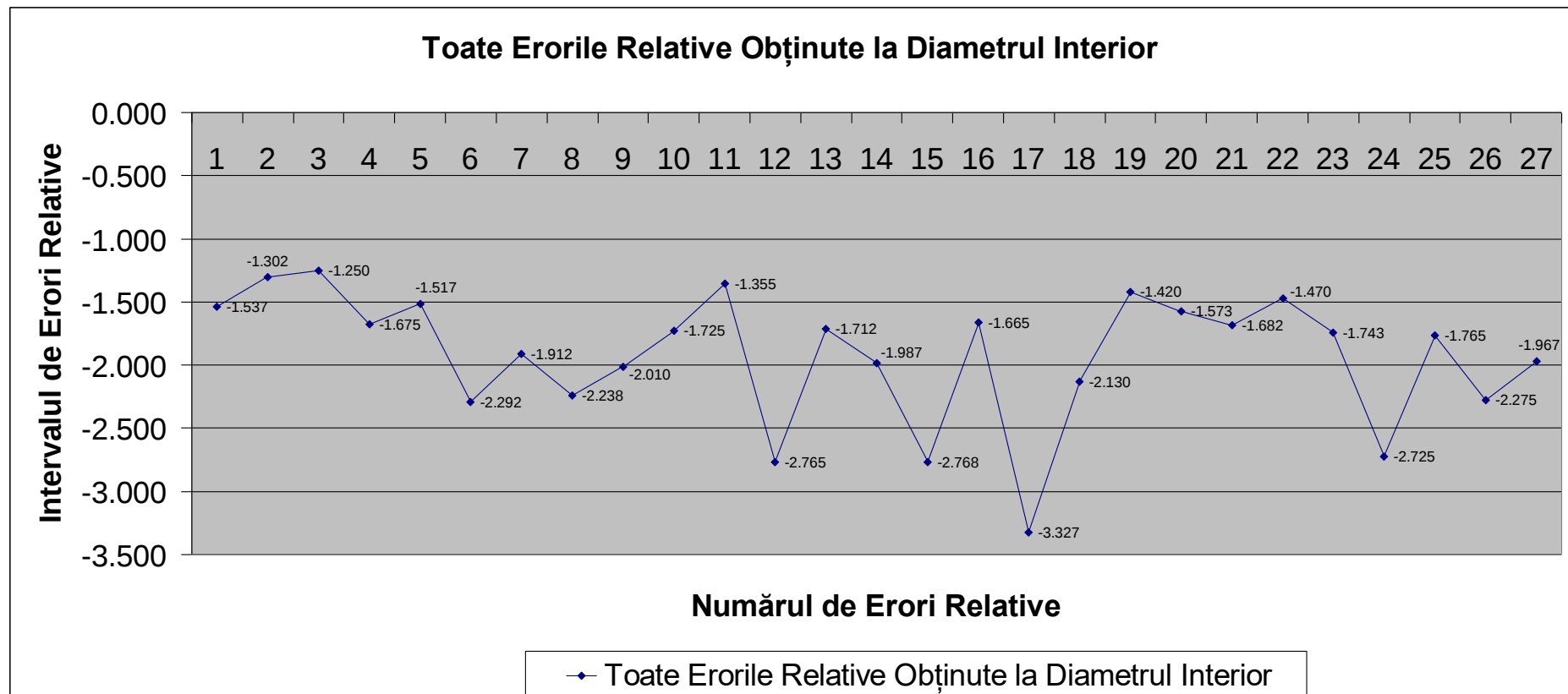


Figura 2.4. Diagrama Erorilor Relative obținute pentru Diametrul Interior

Din Figura 2.4, rezultă că indiferent de caracteristica de printare cu care am imprimat aceste epruvete, eroarea relativă a diametrului interior a rezultat mereu mai mică decât valoarea nominală/dorită ($\varnothing 20$ mm).

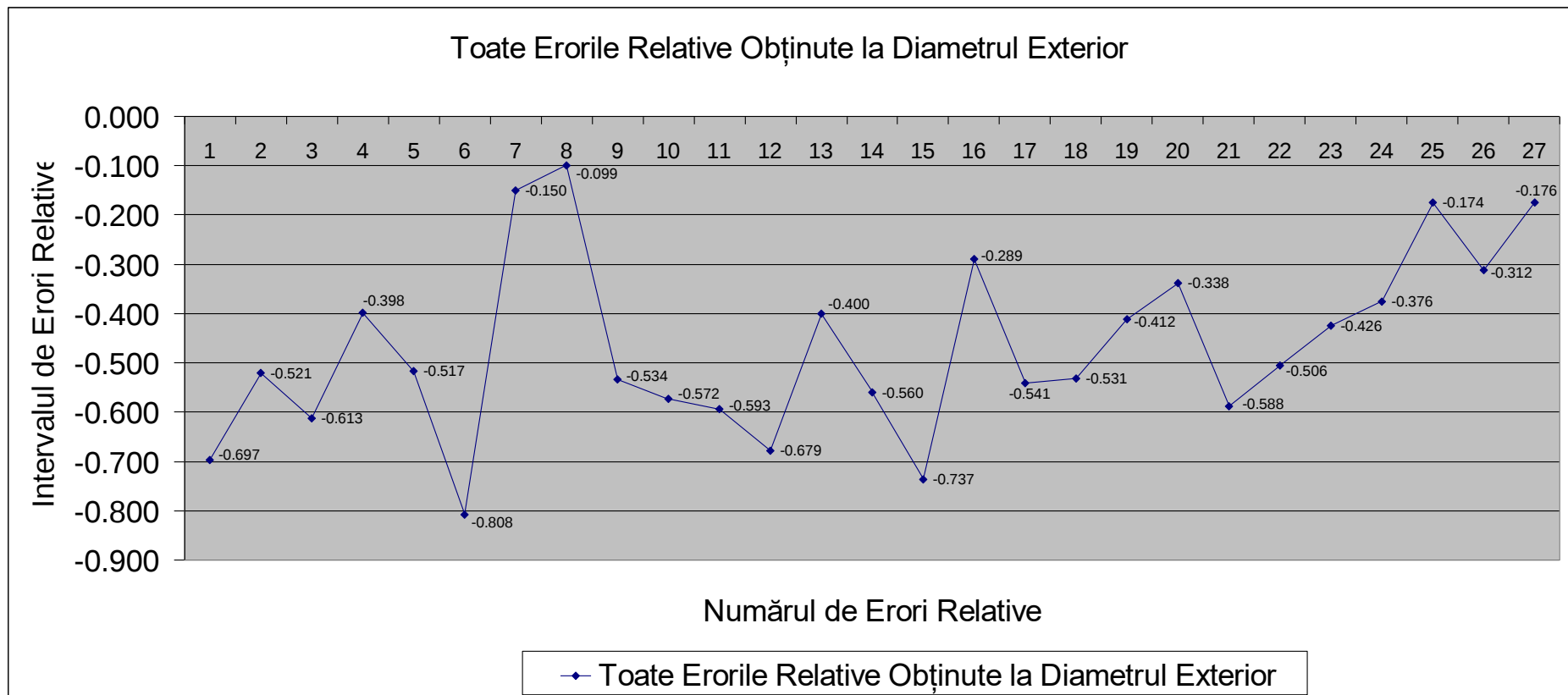


Figura 2.5. Diagrama Erorilor Relative obținute pentru Diametrul Exterior

Din Figura 2.5, rezultă că epruvetele 7, 8, 25 și 27, datorită caracteristicilor de printare aleși, eroarea relativă a diametrului exterior este, ca și valoare, apropiată de valoarea nominală/dorită ($\varnothing 30$ mm), iar celelalte epruvete au diametrul exterior mai mic decât valoarea dorită.

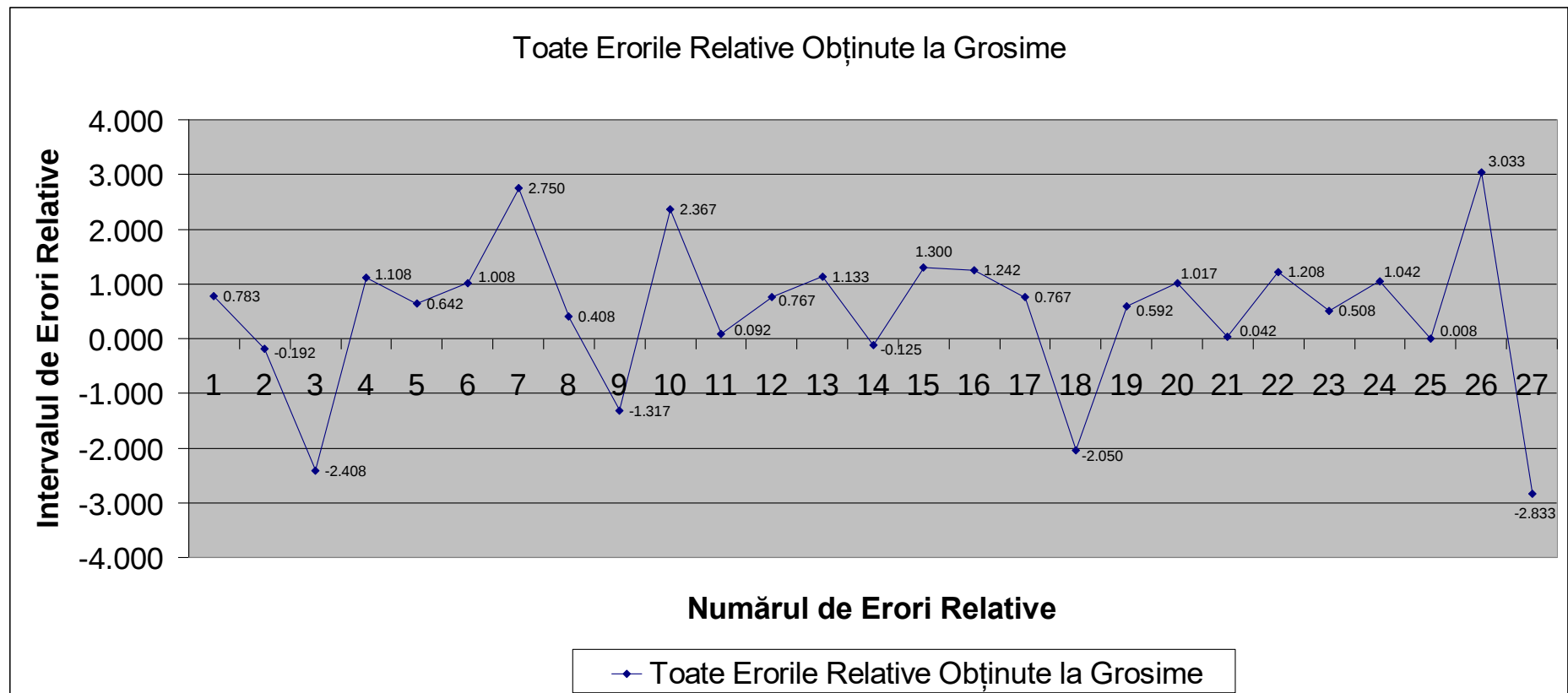


Figura 2.6. Diagrama Erorilor Relative obținute pentru Grosime

Din Figura 2.6, rezultă că epruveta 25 are grosimea cea mai apropiată de grosimea dorită, epruvetele 2, 11, 14 și 21 sunt apropiate de grosimea dorită, iar celelalte epruvete au eroarea absolută fie mai mică, fie mai mare decât valoarea nominală/dorită (4 mm) a grosimii.

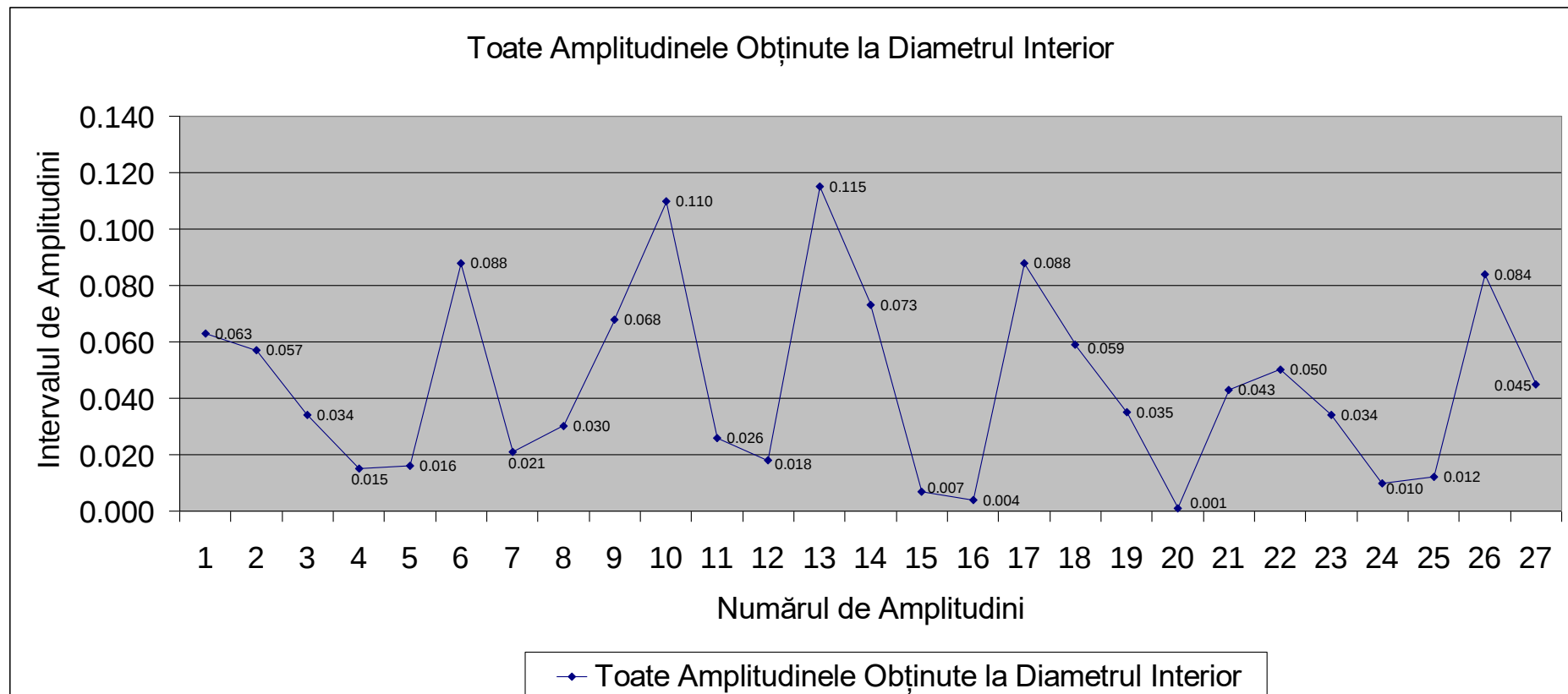


Figura 2.7. Diagrama Amplitudinilor obținute pentru Diametrul Interior

Din Figura 2.7, rezultă că epruvetele 15, 16 și în special 20 au amplitudinea cea mai apropiată de zero, fapt pentru care, putem spune că diferența dintre valoarea maximă și minimă dintre cele trei măsurători efectuate pentru fiecare epruvetă indică faptul că forma geometrică măsurată (diametrul interior) prezintă erori de ordinul micronilor.

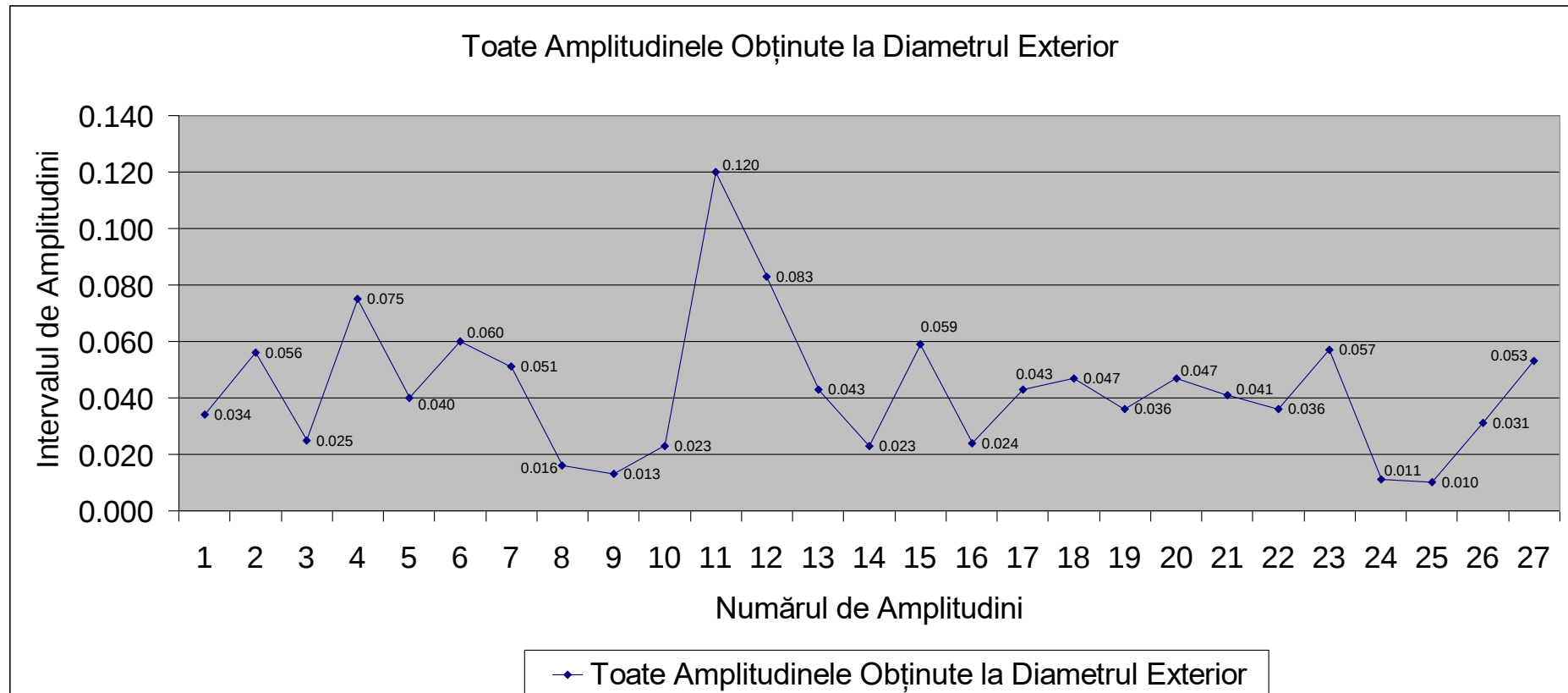


Figura 2.8. Diagrama Amplitudinilor obținute pentru Diametrul Exterior

Din Figura 2.8, rezultă că epruvetele 24 și 25 au amplitudinea cea mai apropiată de zero, fapt pentru care, putem spune că diferența dintre valoarea maximă și minimă dintre cele trei măsurători efectuate pentru fiecare epruvetă indică faptul că forma geometrică măsurată (diametrul exterior) prezintă erori de ordinul micronilor.

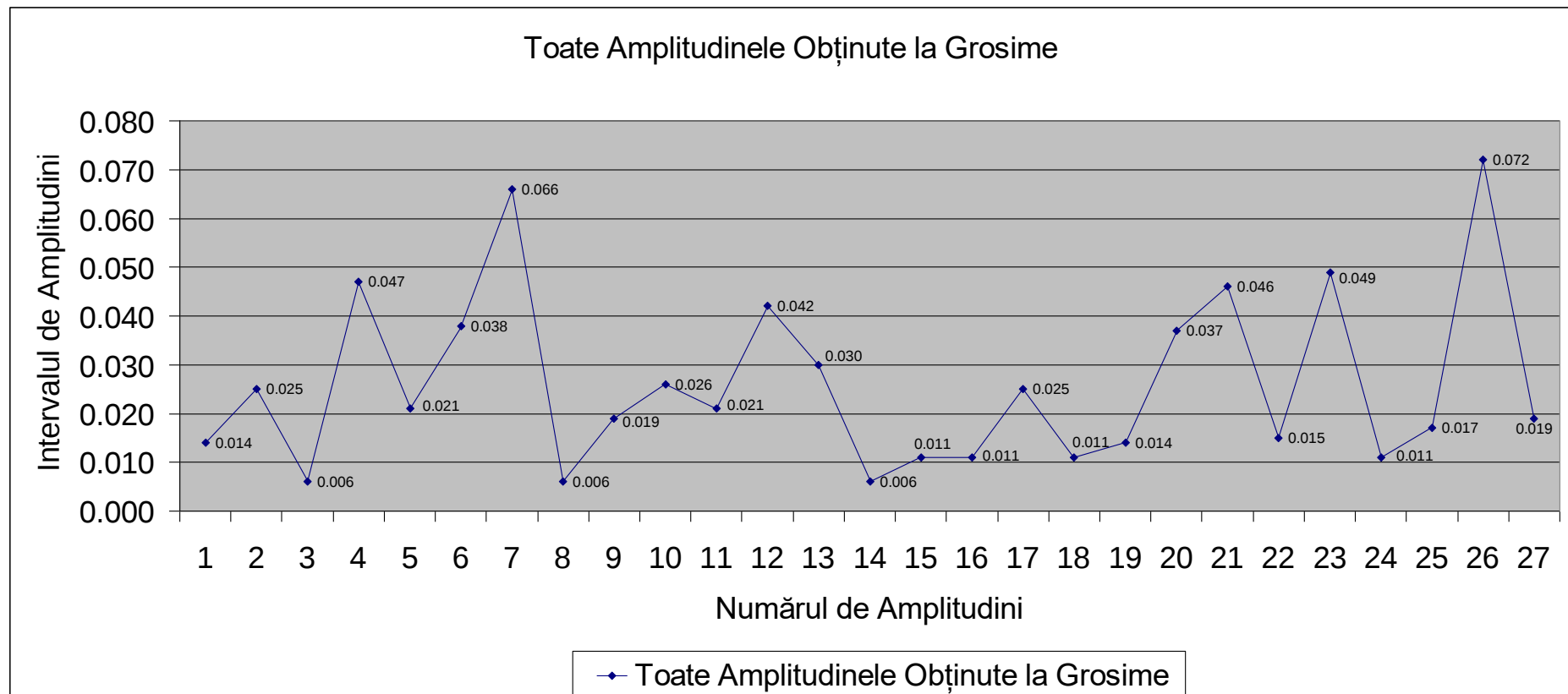


Figura 2.9. Diagrama Amplitudinilor obținute pentru Grosime

Din Figura 2.9, rezultă că epruvetele 3, 8 și 14 au amplitudinea cea mai apropiată de zero, fapt pentru care, putem spune că diferența dintre valoarea maximă și minimă dintre cele trei măsurători efectuate pentru fiecare epruvetă indică faptul că forma geometrică măsurată (grosimea) prezintă erori de ordinul micronilor.

Capitolul 3. Concluzii

Scopul cercetării științifice, în domeniul Rapid Prototyping, a fost de a imprima un reper tip "șaiță"/"inel", la cotele dorite și stabilite în etapa de proiectare, respectiv diametrul interior Ø20 mm, diametrul exterior Ø30 mm și grosimea de 4 mm. În urma imprimării a douăzeci și șapte de epruvete și efectuarea măsurătorilor (verificarea diametrului interior, diametrului exterior și grosimea) pe proiectorul de profiluri, orizontal, Starrett Optical, au rezultat următoarele concluzii:

- 1) **Epruveta 3**, imprimată cu viteza de 60 mm/s, materialul topit la temperatura de 190°C și grosimea straturilor de 2 mm, **este epruveta cea mai apropiată de diametrul interior nominal (Ø20 mm), cu diametrul interior Ø19,750 mm** (valoare obținută prin media aritmetică a celor trei măsurători efectuate pentru determinarea diametrului interior);
- 2) **Epruveta 8**, imprimată cu viteza de 60 mm/s, materialul topit la temperatura de 210°C și grosimea straturilor de 1 mm, **este epruveta cea mai apropiată de diametrul exterior nominal (Ø30 mm), cu diametrul exterior Ø29,970 mm** (valoare obținută prin media aritmetică a celor trei măsurători efectuate pentru determinarea diametrului exterior);
- 3) **Epruveta 25**, imprimată cu viteza de 100 mm/s, materialul topit la temperatura de 210°C și grosimea straturilor de 0,07 mm, **această epruvetă prezintă grosimea nominală dorită (4 mm), având grosimea de 4,000 mm** (valoare obținută prin media aritmetică a celor trei măsurători efectuate pentru determinarea grosimii);
- 4) **Epruveta care prezintă diametrul interior, diametrul exterior și grosimea cu cele mai apropiate cote dorite este epruveta 3**, imprimată cu viteza de 60 mm/s, materialul topit la temperatura de 190°C și grosimea straturilor de 2 mm.

Pentru epruveta 3 se vor aplica corecții dimensionale (în funcție de valorile obținute la eroarea absolută, eroarea relativă și amplitudinea acestei epruvete) în etapa de proiectare, urmând a fi imprimată cu corecțiile dimensionale și verificată cu proiectorul de profiluri, orizontal, Starrett Optical, pentru a verifica dacă dimensiunile dorite au fost respectate.

Capitolul 4. Interpretarea statistică a valorilor obținute experimental [13]

În statistică și teoria probabilităților, abaterea standard a unei variabile aleatoare reprezintă o măsură a dispersiei valorilor acesteia în jurul uneia considerate mijlocii. Se mai numește și abatere medie pătratică, după propunerea lui Isidore Didion (1848/49).

Abaterea standard de selecție pentru diametrul interior, diametrul exterior și grosimea a 27 (douăzeci și șapte) de epruvete de formă „șaiță/inel”.

Tabelul 4.1. Dimensiunile celor douăzeci și șapte de epruvete

Număr epruvetă	Diametrului Interior	Diametrul Exterior	Grosimea
1.	19,693	29,791	4,031
2.	19,740	29,844	3,992
3.	19,750	29,816	3,904
4.	19,665	29,881	4,044
5.	19,697	29,845	4,026
6.	19,542	29,758	4,040
7.	19,618	29,955	4,110
8.	19,552	29,970	4,016
9.	19,598	29,840	3,947
10.	19,655	29,828	4,095
11.	19,729	29,822	4,004
12.	19,447	29,796	4,031
13.	19,658	29,880	4,045
14.	19,603	29,832	3,995
15.	19,446	29,779	4,052
16.	19,667	29,913	4,050
17.	19,335	29,838	4,031
18.	19,574	29,841	3,918
19.	19,716	29,876	4,024
20.	19,685	29,899	4,041
21.	19,664	29,824	4,002
22.	19,703	29,848	4,048
23.	19,651	29,872	4,020
24.	19,455	29,887	4,042
25.	19,647	29,948	4,000
26.	19,545	29,906	4,121
27.	19,607	29,947	3,887

Pentru a afla abaterea standard a epruvetele de tip „șaiță/inel” am utilizat valorile obținute la media diametrul interior, media diametrul exterior și media grosimilor de la toate cele 27 de epruvete, pentru a calcula:

- Media diametrului interior;
- Media diametrului exterior;
- Media grosimii;
- Diferența de la medie pentru diametrul interior;
- Diferența de la medie pentru diametrul exterior;
- Diferența de la medie pentru grosime;
- Diferența pătratică de la medie pentru diametrul interior;
- Diferența pătratică de la medie pentru diametrul exterior;
- Diferența pătratică de la medie pentru grosime;
- Suma diferențelor pătratice pentru diametrul interior;
- Suma diferențelor pătratice pentru diametrul exterior;
- Suma diferențelor pătratice pentru grosime;
- Abaterea standard pentru diametrul interior;
- Abaterea standard pentru diametrul exterior;
- Abaterea standard pentru grosime.

4.1. Centralizarea valorilor și efectuarea calculelor după formulele:

- Media diametrului interior = (Valoarea diametrului interior 1 + Valoarea diametrului interior 2 + ... + Valoarea diametrului interior 27) / 27;
- Media diametrului exterior = (Valoarea diametrului exterior 1 + Valoarea diametrului exterior 2 + ... + Valoarea diametrului exterior 27) / 27;
- Media grosimii = (Valoarea grosimii 1 + Valoarea grosimii 2 + ... + Valoarea grosimii 27) / 27;
- Diferența de la medie pentru diametrul interior i = Valoarea diametrului interior i – Media diametrului interior i , $i = 1, 2, \dots, 27$;
- Diferența de la medie pentru diametrul exterior i = Valoarea diametrului exterior i – Media diametrului exterior i , $i = 1, 2, \dots, 27$;
- Diferența de la medie pentru grosime i = Valoarea grosimii i – Media grosimii i , $i = 1, 2, \dots, 27$;
- Diferența pătratică de la medie pentru diametrul interior i = (Diferența de la medie pentru diametrul interior i)², $i = 1, 2, \dots, 27$;
- Diferența pătratică de la medie pentru diametrul exterior i = (Diferența de la medie pentru diametrul exterior i)², $i = 1, 2, \dots, 27$;
- Diferența pătratică de la medie pentru grosime i = (Diferența de la medie pentru grosime i), $i = 1, 2, \dots, 27$;
- Abaterea standard pentru diametrul interior = $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$;
- Abaterea standard pentru diametrul exterior = $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$;
- Abaterea standard pentru grosime = $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$.

Tabelul 4.2. Abaterea standard pentru diametrul interior

Nr. epruvetă	Diametrul interior	Media	Diferența de la medie	Diferența pătratică de la medie
1.	19,693	19,616	0,076	0,005815
2.	19,740	19,616	0,123	0,015193
3.	19,750	19,616	0,134	0,017847
4.	19,665	19,616	0,049	0,002361
5.	19,697	19,616	0,080	0,006442
6.	19,542	19,616	-0,075	0,005586
7.	19,618	19,616	0,001	0,000002
8.	19,552	19,616	-0,064	0,004105
9.	19,598	19,616	-0,018	0,000339
10.	19,655	19,616	0,039	0,001489
11.	19,729	19,616	0,113	0,012677
12.	19,447	19,616	-0,169	0,028699
13.	19,658	19,616	0,041	0,001702
14.	19,603	19,616	-0,014	0,000189
15.	19,446	19,616	-0,170	0,028925
16.	19,667	19,616	0,051	0,002560
17.	19,335	19,616	-0,282	0,079378
18.	19,574	19,616	-0,042	0,001798
19.	19,716	19,616	0,100	0,009919
20.	19,685	19,616	0,069	0,004751
21.	19,664	19,616	0,047	0,002233
22.	19,706	19,616	0,090	0,008027
23.	19,651	19,616	0,035	0,001220
24.	19,455	19,616	-0,161	0,026052
25.	19,647	19,616	0,031	0,000936
26.	19,545	19,616	-0,071	0,005099
27.	19,607	19,616	-0,010	0,000095
	Media = 19,616		Suma diferențelor pătratice =	0,2734

Astfel abaterea standard a diametrului interior este:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{0,2734}{26}} = 0,1026 \text{ mm}$$

Formula 4.1. Abaterea standard a diametrului interior

Interpretarea abaterii standard pentru această selecție arată că diametrul interior se abate de la medie, în medie cu 0,1026 milimetri.

În cazul legii de repartiție normală, un binecunoscut rezultat stabilește că, cu o probabilitate foarte mare (aproximativ 0,9974), valorile variabilei se găsesc într-un interval de lungime egală cu șase abateri standard, având centrul în valoarea medie $M(X)$.

Tabelul 4.3. Abaterea standard pentru diametrul exterior

Nr. epruvetă	Diametrul exterior	Media	Diferența de la medie	Diferența pătratică de la medie
1.	29,791	29,861	-0,070	0,004845
2.	29,844	29,861	-0,017	0,000287
3.	29,816	29,861	-0,045	0,001990
4.	29,881	29,861	0,020	0,000402
5.	29,845	29,861	-0,016	0,000244
6.	29,758	29,861	-0,103	0,010596
7.	29,955	29,861	0,094	0,008910
8.	29,970	29,861	0,110	0,012040
9.	29,840	29,861	-0,021	0,000438
10.	29,828	29,861	-0,032	0,001041
11.	29,822	29,861	-0,039	0,001490
12.	29,796	29,861	-0,064	0,004131
13.	29,880	29,861	0,019	0,000376
14.	29,832	29,861	-0,029	0,000818
15.	29,779	29,861	-0,082	0,006659
16.	29,913	29,861	0,053	0,002780
17.	29,838	29,861	-0,023	0,000526
18.	29,841	29,861	-0,020	0,000398
19.	29,876	29,861	0,016	0,000247
20.	29,899	29,861	0,038	0,001449
21.	29,824	29,861	-0,037	0,001364
22.	29,848	29,861	-0,012	0,000151
23.	29,872	29,861	0,012	0,000138
24.	29,887	29,861	0,027	0,000714
25.	29,948	29,861	0,087	0,007580
26.	29,906	29,861	0,046	0,002091
27.	29,947	29,861	0,087	0,007522
	Media = 29,861		Suma diferențelor pătratice =	0,0792

Astfel abaterea standard a diametrului exterior este:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{0,0792}{26}} = 0,0552 \text{ mm}$$

Formula 4.2. Abaterea standard a diametrului exterior

Interpretarea abaterii standard pentru această selecție arată că diametrul exterior se abate de la medie, în medie cu 0,0552 milimetrii.

În cazul legii de repartiție normală, un binecunoscut rezultat stabilește că, cu o probabilitate foarte mare (aproximativ 0,9974), valorile variabilei se găsesc într-un interval de lungime egală cu șase abateri standard, având centrul în valoarea medie $M(X)$.

Tabelul 4.4. Abaterea standard pentru grosime

Nr. epruvetă	Grosimea	Media	Diferența de la medie	Diferența pătratică de la medie
1.	4,031	4,019	0,012	0,000150
2.	3,992	4,019	-0,027	0,000716
3.	3,904	4,019	-0,115	0,013325
4.	4,044	4,019	0,025	0,000637
5.	4,026	4,019	0,007	0,000043
6.	4,040	4,019	0,021	0,000451
7.	4,110	4,019	0,091	0,008263
8.	4,016	4,019	-0,003	0,000008
9.	3,947	4,019	-0,072	0,005150
10.	4,095	4,019	0,076	0,005711
11.	4,004	4,019	-0,015	0,000238
12.	4,031	4,019	0,012	0,000134
13.	4,045	4,019	0,026	0,000688
14.	3,995	4,019	-0,024	0,000581
15.	4,052	4,019	0,033	0,001082
16.	4,050	4,019	0,031	0,000934
17.	4,031	4,019	0,012	0,000134
18.	3,918	4,019	-0,101	0,010221
19.	4,024	4,019	0,005	0,000021
20.	4,041	4,019	0,022	0,000465
21.	4,002	4,019	-0,017	0,000304
22.	4,048	4,019	0,029	0,000855
23.	4,020	4,019	0,001	0,000002
24.	4,042	4,019	0,023	0,000509
25.	4,000	4,019	-0,019	0,000352
26.	4,121	4,019	0,102	0,010452
27.	3,887	4,019	-0,132	0,017538
	Media = 4,019		Suma diferențelor pătratice =	0,0790

Astfel abaterea standard a grosimii este:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{0,0790}{26}} = 0,0551 \text{ mm}$$

Formula 4.3. Abaterea standard a grosimii

Interpretarea abaterii standard pentru această selecție arată că grosimea se abate de la medie, în medie cu 0,0551 milimetrii.

În cazul legii de repartiție normală, un binecunoscut rezultat stabilește că, cu o probabilitate foarte mare (aproximativ 0,9974), valorile variabilei se găsesc într-un interval de lungime egală cu șase abateri standard, având centrul în valoarea medie $M(X)$.

Capitolul 5. Stabilirea corecției de imprimare utilizând rețele neuronale [17]

Rețelele neuronale sunt un set de algoritmi, modelat în mod liber după creierul uman, care sunt concepute pentru a recunoaște tiparele. Acestea interpretează datele senzoriale printr-un fel de percepție a mașinii, etichetare sau aglomerare de intrare brută. Modelele pe care le recunosc sunt numerice, conținute în vectori, în care trebuie traduse toate datele din realitate, fie că sunt imagini, sunet, text sau serii de timp.

Rețelele neuronale ne ajută să grupăm și să clasificăm. Am putea spune că ele sunt un strat de grupare și clasificare deasupra datelor stocate și gestionate. Acestea ajută la gruparea datelor “necredincioase” (care nu sunt etichetate) în funcție de similitudini între intrările de exemplu și clasifică datele atunci când au un set de date etichetat pentru a se antrena.

Rețelele neuronale pot extrage, de asemenea, caracteristici care sunt alimentate de alți algoritmi pentru grupare și clasificare; deci puteți gândi rețele neuronale profunde ca componente ale aplicațiilor de învățare automată mai mare care implică algoritmi de învățare, clasificare și regresie de consolidare.

O rețea neuronală este o rețea sau un circuit de neuroni, într-un sens modern, o rețea neuronală artificială, compusă din neuroni artificiali sau noduri. Astfel, o rețea neuronală este o rețea neuronală biologică, formată din neuroni biologici reali, fie o rețea neuronală artificială, pentru rezolvarea problemelor de inteligență artificială (AI).

Conexiunile neuronului biologic sunt modelate ca greutate. O greutate pozitivă reflectă o conexiune excitatorie / intensificatoare, în timp ce valorile negative înseamnă conexiuni inhibitoare. Toate intrările sunt modificate cu o greutate și însumate.

Această activitate este denumită o combinație liniară. În cele din urmă, o funcție de activare controlează amplitudinea ieșirii. De exemplu, un interval acceptabil de ieșire este de obicei între 0 și 1, sau ar putea fi -1 și 1.

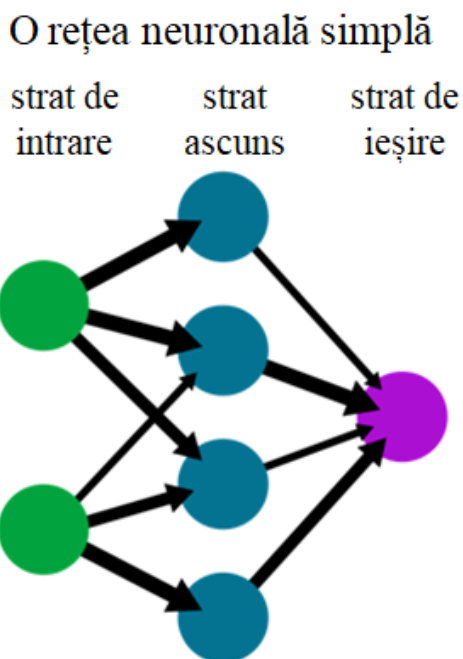


Figura 5.1. O rețea neuronală simplă [17]

Aceste rețele artificiale pot fi utilizate pentru modelare predictivă, control adaptiv și aplicații unde pot fi instruite prin intermediul unui set de date. Învățarea de sine care rezultă din experiență poate apărea în rețele, care pot trage concluzii dintr-un set de informații complexe și aparent fără legătură.

5.1. Aplicarea corecțiilor de imprimare

În urma **experimentelor de laborator**, care au constat din: proiectare 2D și 3D a epruvetei, introducerea parametrilor de imprimare, imprimarea epruvetelor, măsurarea acestora și efectuarea diverselor calcule matematice pentru a verifica valoarea erorii (respectiv, posibilele diferențe de la valorile introduse în etapa de proiectare și valorile obținute în urma imprimării) și a **antrenării unei rețele neuronale** care a verificat toate combinații de caracteristici de imprimare folosite, respectiv viteza de imprimare [mm/s], temperatura de imprimare [°C] și înălțimea stratului [mm], pentru a putem imprima o epruveta care are o eroare de printare apropiată de adevăr (de cotele dorite). În urma antrenării unei rețele neuronale, au rezultat următoarele erori relative:

- Pentru diametrul interior – Delta_Di = -2,9986;
- Pentru diametrul exterior – Delta_De = -0,5787;
- Pentru grosime – Delta_g = 1,6809.

Pentru aplicarea corecțiilor matematice, am transformat eroarea relativă în eroare absolută astfel:

$$\frac{\text{Valoarea nominală}_i \times \text{Delta}_i}{100}, \text{unde:}$$

Valoarea nominală_i = valoarea nominală a diametrul interior, diametrul exterior și grosimea.

Delta_i = Delta_Di, Delta_De și Delta_g.

Folosind formula prezentată, am obținut următoarele:

- Pentru **diametrul interior:**

$$\frac{20 \times 2,9986}{100} = 0,598 \text{ mm}$$

Formula 5.1. Aplicarea corecțiilor pentru diametrul interior

- Pentru **diametrul exterior:**

$$\frac{30 \times 0,5787}{100} = 0,170 \text{ mm}$$

Formula 5.2. Aplicarea corecțiilor pentru diametrul exterior

- Pentru **grosime:**

$$\frac{4 \times 1,6809}{100} = 0,067 \text{ mm}$$

Formula 5.3. Aplicarea corecțiilor pentru grosime

Pentru **erorile relative** care prezintă o **valoare negativă**, am schimbat **semnul negativ** și am adunat valoarea obținută la eroarea absolută cu valoarea nominală pentru a determina valorile de proiectare. Cât despre **valorile erorilor pozitive**, am păstrat

valoarea pozitivă, dar **am scăzut din valoarea nominală**, valoarea erorii absolute pentru a obține noua cotă.

Astfel, am calculat noile cote a epruvetei:

- Pentru **diametrul interior**:

$$20 + 0,598 = \varnothing 20,598 \text{ mm}$$

Formula 5.4.Diametrul interior corectat

- Pentru **diametrul exterior**:

$$30 + 0,170 = \varnothing 30,170 \text{ mm}$$

Formula 5.5.Diametrul exterior corectat

- Pentru **grosime**:

$$4 - 0,067 = 3,933 \text{ mm}$$

Formula 5.6.Grosimea corectată

În urma calculelor efectuate, am determinat dimensiunile modelului pentru a obține valorile dimensionale dorite și cu o eroare cât mai mică, astfel am realizat un model cu aceste dimensiuni după care am comparat dimensiunile reale obținute prin măsurare cu cele nominale:

- Diametrul interior = $\varnothing 20,598 \text{ mm}$;
- Diametrul exterior = $\varnothing 30,170 \text{ mm}$;
- Grosimea = $3,933 \text{ mm}$.

Și trebuie să fie imprimată cu o:

- Viteză de imprimare = 70 mm/s ;
- Temperatură de topire a materialului = 200°C ;
- Grosimea straturilor = $0,15 \text{ mm}$.

În urma antrenării rețelei neuronale și a aplicării corecțiilor de imprimare, am proiectat 2D și 3D epruveta cu dimensiunile și caracteristicile de imprimare menționate mai sus.

După proiectarea epruvetei corectate și imprimarea acesteia, a urmat: măsurarea, centralizarea măsurătorilor și efectuarea calculelor, pentru a verifica precizia acesteia.

Astfel, am obținut următoarele:

Tabelul 5.1. Măsurătorile obținute și centralizarea acestora pentru Epruvetă Corectată

Epruveta Corectată (EC)	Diametrul interior (Nominal = $\varnothing 20 \text{ mm}$)	Diametrul exterior (Nominal = $\varnothing 30 \text{ mm}$)	Grosimea (Nominal = 4 mm)
Valoarea Nominală	20	30	4
1	20,015	30,210	4,046
2	20,038	30,216	4,047
3	19,998	30,248	4,075
Media EC	20,017	30,225	4,056
Eroarea absolută EC	0,017	0,225	0,056
Eroarea relativă EC	0,085	0,749	1,400
Amplitudinea EC	0,040	0,038	0,029

Pentru a verifica cu cât la [%] s-a modificat Eroarea Absolută, am calculat Suma Erorilor Absolute, formată din suma valorilor celor 27 de epruvete și am comparat rezultatele obținute cu valorile Erorilor Absolute ale Epruvetei Corectate.

Tabelul 5.2. Raportul dintre suma Erorilor Absolute și Numărul Epruvetelor

Erorilor Absolute pentru toate cele 27 de epruvete [mm]			
Denumire	Suma Diametrelor Interioare	Suma Diametrelor Exterioare	Suma Grosimilor
Suma Erorilor Absolute	10,357	3,764	0,516
Numărul de Epruvete	27	27	27
Raportul dintre Suma Erorilor Absolute și Numărul Epruvetelor	0,384	0,139	0,019

Tabelul 5.3. Erorile Absolute a Epruvetei Corectate

Eroarea Absolută a Epruvetei Corectate [mm]			
Denumire	Diametrul Interior	Diametrul Exterior	Grosimea
Eroarea Absolută [mm]	0,017	0,225	0,056

În urma comparării valorilor prezentate în Tabelul 5.2 și a valorilor din Tabelul 5.3, se poate observa că:

- Pentru diametrul interior, eroarea absolută a epruvetei corectată prezintă o scădere procentuală de 0,23%;
- Pentru diametrul exterior, eroarea absolută a epruvetei corectată prezintă o creștere procentuală de 61,95%;
- Pentru grosime, eroarea absolută a epruvetei corectată prezintă o creștere procentuală de 34,10%.

Pentru a verifica cu cât la [%] s-a modificat Eroarea Relativă, am calculat Suma Erorilor Relative, formată din suma valorilor celor 27 de epruvete și am comparat rezultatele obținute cu valorile Erorilor Relative ale Epruvetei Corectate.

Tabelul 5.4. Raportul dintre suma Erorilor Relative și Numărul Epruvetelor

Erorilor Relative pentru toate cele 27 de epruvete [%]			
Denumire	Suma Diametrelor Interioare	Suma Diametrelor Exterioare	Suma Grosimilor
Suma Erorilor Relative	51,785	12,546	12,892
Numărul de Epruvete	27	27	27
Raportul dintre Suma Erorilor Relative și Numărul Epruvetelor	1,918	0,465	0,477

Tabelul 5.5. Erorile Relative a Epruvetei Corectate

Eroarea Relativă a Epruvetei Corectate [%]			
Denumire	Diametrul Interior	Diametrul Exterior	Grosimea
Eroarea Relativă [%]	0,085	0,749	1,400

În urma comparării valorilor prezentate în Tabelul 5.4 și a valorilor din Tabelul 5.5, se poate observa că:

- Pentru diametrul interior, eroarea relativă a epruvetei corectată prezintă o reducere procentuală de 0,23%;
- Pentru diametrul exterior, eroarea relativă a epruvetei corectată prezintă o creștere procentuală de 62,04%;
- Pentru grosime, eroarea relativă a epruvetei corectată prezintă o creștere procentuală de 34,10%.

Capitolul 6. Concluzii

Obiectivul acestei lucrări a fost de a stabili dacă erorile sunt controlabile și pot fi diminuate, după cum se poate observa, în urma aplicării corecțiilor de imprimare a rezultat că erorile sunt controlabile și pot fi diminuate.

Fapt care ne demonstrează că în funcție de forma geometrică și cotele acesteia, parametrii de imprimare pot fi calculați și antrenați într-o rețea neuronală pentru a obține combinația ideală a parametrilor de imprimare pentru a putea diminua eroarea de imprimare a pieselor dorite.

Putând astfel elimina nevoia de a imprima “orbește”, cu speranța că ceea ce imprimăm să aibă o eroare nesemnificativă.

Însă pentru a putea diminua cât mai mult posibil eroarea de imprimare, trebuie să luăm în considerare **contractia materialului** cu care imprimăm (Exemplu: care poate face ca un diametrul să fie mai mică sau mai mare decât valoarea diametrului introdus în etapa de proiectare), în funcție de acest lucru există posibilitatea de a adăuga eroarea de imprimare la valorile dorite pentru a obține în final reperul cu dimensiunile dorite.

Forma geometrică, care poate juca un rol important la repere cu o formă geometrică complexă, cât și **parametrii de imprimare**, care pot determina precizia dimensională a reperelor imprimate. Dacă imprimăm cu o viteză și o grosime mare, putem avea surpriză că precizia, respectiv calitatea piesei imprimate să scadă.

Anexe

1. Anexa 1 - Tabel complet cu parametrii de imprimare a celor 27 de epruvete
2. Anexa 2 - Tabele epruvetele 7-27
3. Anexa 3 - Desen de executie - Epruveta tip inel

Bibliografie

1) Cărți:

- [1] Ultimate Guide to 3D Printing, Make, Winter 2013;
- [2] Adventures in 3D Printing, Limitless Possibilities and Profit, Christopher D. Winnan;
- [3] The A-Z 3D Printing Handbook, Team SD3D.

2) Lucrări științifice:

- [4] Introducere în imprimarea 3D, material realizat cu sprijinul financiar al Comisiei Europene, 2016-1-RO01-KA202-024578;
- [5] Proiectare Interactivă și Prelucrarea Datelor Experimentale, Facultatea de Inginerie, 2020;
- [6] Echipamente de printare 3D, proiectul RepRap, Universitatea din Bath, Anglia.

3) Materiale online:

- [7] Tehnologie, Wikipedia, enciclopedia liberă, ultima editare a fost efectuată la 26 decembrie 2019, ora 10:13;
- [8] Imprimare 3D, Wikipedia, enciclopedia liberă, ultima editare a fost efectuată la 19 octombrie 2019, ora 10:03;
- [9] Ultimaker 3 Extended, 3D EKSPERTEN, <https://3deksperten.dk/ultimaker3extended.html>;
- [10] Tot ce Trebuie să Știi Despre PLA (Polilactic Acid / Acidul Polilactic), F3D, <https://www.filamente3d.ro/blog/despre-filamente/tot-ce-trebuie-sa-stiti-despre-pla-acidul-polilactic>;
- [11] Starrett, HE400 Horizontal Benchtop Optical Comparator, <https://www.starrett.com/metrology/product-detail/HE400>;
- [12] Starrett Metrology Systems Division, HE400 MKIII, Horizontal Benchtop Measuring Projector, 770-590-7737, www.starrett.com;
- [13] Abatere standard, Wikipedia, ultima editarea fost efectuată la 27 martie 2019, ora 22:02;
- [14] What is Rapid Prototyping? - Definition, Methods and Advantages, TWI, 2020;
- [15] Ultimaker 3 Extended 3D Printer Fully Assembled, MatterHackers, <https://www.matterhackers.com/store/printer-kits/ultimaker-3-extended-3d-printer-fully-assembled>;
- [16] A Beginner's Guide to Neural Networks and Deep Learning, Chris Nicholson;
- [17] Neural network, Wikipedia, ultima editarea fost efectuată la 20 Ianuarie 2020, ora 02:01;
- [18] ABS and PLA: Differences, advantages and disadvantages, Posted on 15 January, 2019 by 3DPRINT.ME, <https://3dprint.me/abs-and-pla-differences-advantages-and-disadvantages/>, accesat la data 30.06.2020, ora 12:34;

[19] ABS Filament for 3D Printing – All You Need to Know, by Anatol Locker, July 5, 2016, <https://all3dp.com/abs-3d-printer-filament-explained/>, accesat la data 30.06.2020, ora 12:57;

[20] 3D Printing Materials: The Pros and Cons of Each Type, By Richard Baguley, December 29 2017, <https://www.tomsguide.com/us/3d-printing-materials,news-24392.html>, accesat la data 30.06.2020, ora 13:23;

[21] 3D Printing Materials – Properties, Advantages And Disadvantages, 3DIDEA, <https://3didea.net/3d-printing-material-which-one-should-i-use/>, accesat la data 30.06.2020, ora 13:44;