

HABILITATION THESIS

TEZĂ DE ABILITARE

**Constructive and technological analysis of mechanical
elements processed with concentrated energies and by 3D
printing**

**Analiza constructivă și tehnologică a elementelor mecanice
prelucrate cu energii concentrate și prin imprimare 3D**

Domeniul de doctorat: Inginerie industrială

Conf.dr.ing.ec. Mircea Dorin VASILESCU

**Universitatea Politehnica Timișoara
Facultatea de Mecanică**

2020

Analiza constructivă și tehnologică a elementelor mecanice prelucrate cu energii concentrate și prin imprimare 3D

Cuprins

1. Aspecte tehnologice și constructive pentru prelucrarea materialelor cu fluide activate energetic.....	2
1.1. Scurt istoric asupra activităților realizate în domeniul prelucrărilor cu mediu de tip fluid activat energetic.....	2
1.2. Studierea interacțiunii mediului abraziv activat energetic cu jet de apă cu materialul supus procesului de prelucrare	4
1.3. Soluții constructive ale instalației de prelucrare cu fluid activat energetic	8
1.4. Considerente tehnologice și constructive de utilizare a metodelor de generare a reperelor prin imprimare 3D pentru instalații de prelucrare cu fluide activate energetic	16
1.4.1. Materiale și tehnologii utilizate pentru fabricarea componentelor pentru prelucrarea cu fluide activate energetic.....	16
1.4.2. Aspecte tehnologice ale imprimării 3D a componentelor pentru prelucrarea materialelor cu jeturi abrazive.....	20
2. Metode de generare a reperelor, subansamblurilor sau ansamblurilor prin tehnologia de imprimare 3D.....	34
2.1. Scurt istoric asupra activităților realizate în domeniul prelucrărilor de imprimare 3D	34
2.2. Determinarea experimentală a factorilor specifici procedurii de imprimare 3D pentru repere realizate pe principiul FDM	35
2.3. Aspecte comparative tehnologice între imprimarea 3D FDM și respectiv DLP	54
2.4. Analiza factorilor specifici procedurii de imprimare pentru obținerea reperelor prin imprimare 3D principiul DLP la care se utilizează rășină ecologică.....	59
2.5. Aspecte ale calculului economic al componentelor imprimate 3D	66
2.5.1. Aspecte economice avute în vedere la realizarea prin imprimare 3D tip FDM	66
2.5.2. Aspecte economice avute în vedere la realizarea prin imprimare 3D tip DLP.....	67
2.5.3. Aspecte economice avute în vedere la realizarea prin imprimare 3D tip SLA	69
2.6. Studiul emisiilor de particule în procesul de realizare a reperelor prin imprimare 3D.....	75
3. Considerații constructive asupra realizării de repere sau ansambluri prin imprimarea 3D	84
3.1. Considerente fenomenologice asupra realizării de repere prin imprimarea 3D	84
3.2. Realizarea de elemente constructive prin imprimare 3D prin termoplastie și polimerizare optică.....	84
4. Considerații asupra realizării de standuri experimentale și dispozitive pentru activitatea de laborator și industrială prin imprimarea 3D	87

4.1.	Considerente asupra generării de roți dințate prin imprimarea 3D	87
4.1.1.	Generarea roților dințate prin tehnologii de imprimare 3D de tip FDM	87
4.1.2.	Generarea roților dințate prin tehnologii de imprimare 3D de tip DLP	97
4.2.	Considerente asupra generării de elemente spirale prin imprimare 3D	107
4.2.1.	Generarea elementelor spirale prin tehnologii de imprimare 3D de tip FDM.....	107
4.2.2.	Generarea elementelor spirale prin tehnologii de imprimare 3D de tip DLP	117
5.	Considerații asupra metodelor de formare profesională a studenților și cadrelor didactice.....	135
6.	Direcții de formare profesională și dezvoltare a activității de cercetare.....	135
6.1.	Planul științific de dezvoltare	135
6.2.	Planul profesional de dezvoltare.....	136
6.3.	Planul academic de dezvoltare.....	137
	Sinteză bibliografică utilizată sau consultată pentru formarea profesională	138

1. Aspecte tehnologice și constructive pentru prelucrarea materialelor cu fluide activate energetic

1.1. Scurt istoric asupra activităților realizate în domeniul prelucrărilor cu mediu de tip fluid activat energetic

După realizarea și susținerea tezei de doctorat, activitatea în domeniul prelucrării cu medii abrazive a diferitelor tipuri de materiale a fost continuată de autorul prezentei teze. Trebuie arătat că prelucrarea cu energii concentrate poate să cuprindă atât energiile de tip fascicule, dar și pe cele de tip pneumatic/hidraulic. Deoarece din punct de vedere ecologic, acestea din urmă sunt mai apropiate de condițiile impuse în momentul prezent, din punct de vedere al normelor de poluare, au fost dezvoltate de către autor și analizate pe parcursul timpului, pornind de la etapa susținerii tezei de doctorat și până în prezent. Trebuie arătat că la momentul susținerii tezei, domeniul de activare a mediului pneumatic/hidraulic din punct de vedere al concentrării energiei active a jetului nu a fost analizat.

Trebuie subliniat că la momentul susținerii tezei, domeniul de activare electromagnetic sau cu alte tipuri de surse energetice a mediului pneumatic/hidraulic din punct de vedere al concentrării energiei active a jetului nu a fost analizat.

Din punct de vedere al energiilor pneumatice/hidraulice activate energetic, se poate vorbi atât de metode de activare mecanice de tip sonic sau ultrasonic, cât și de metode de activare electrice sau electromagnetice. Domeniul de activare electromagnetic a jetului abraziv cu mediu purtător apă a fost studiat de autor în cadrul perioadei post doctorat. În această perioadă au fost realizate mai multe activități. Dintre acestea sunt de menționat două tipuri de contracte. Primul de tip CNC SIS care a avut trei etape contractuale care au fost câștigate prin concurs anual și în cadrul cărora s-au analizat aspectele interacțiunii mediului abraziv de tip jet de apă cu materiale lemnoase de tip fibros. Tot în această perioadă au fost realizate și publicate mai multe lucrări de cercetare științifică care au fost comunicate

în cadrul sesiunilor de comunicări organizate în cadrul Conferințelor Asociației Române de Tehnologii Neconvenționale. Dintre aceste trebuie menționate cele comunicate și publicate (Activitatea 2.3 poziția 4 și 10).

În continuarea activității de cercetare în domeniul prelucrărilor cu jeturi abrazive a fost inițiat pornind de la un contract de cercetare câștigat pe bază de competiție CNCSIS cercetarea comportării jetului dar și a interacțiunii acestuia cu materialul prelucrat de diferite tipuri activat electromagnetic. Trebuie menționat că și această activitate de cercetare a fost finalizată prin comunicarea și publicarea mai multor lucrări atât în reviste din domeniu cât și la conferințe naționale sau internaționale. Dintre acestea trebuie menționate cele cuprinse în (Activitatea 2.3 capitol Reviste poziția 1, 7 și, 10, respectiv capitol Conferințe poziția 2, 4, 5, 6 și 12). Contractul de tip consorțiu de cercetare s-a finalizat cu publicarea unei cărți poziția 9 Activitatea 1.1.1.2. respectiv realizarea unui program de calcul a regimului de prelucrare cu jeturi activate electromagnetic și a unui program de simulare 3D pe cale grafică a interacțiunii materialului cu jetul abraziv.

În paralel cu activitatea de cercetare și de comunicare a rezultatelor cercetării din domeniul prelucrării materialelor cu jet abraziv de apă, autorul prezentei lucrări a mai participat și îndrumat în activitatea de doctorat două tipuri de activități de cercetare. Prima a fost în domeniul prelucrării materialelor cu activare inductivă prin aşchiere care a fost realizată de doctorand ing. Stoicoiu Florin ocazie cu care au fost pe lângă realizarea activității de cercetare experimentală împreună cu doctorandul și un număr de 4 lucrări științifice comunicate și publicate (Activitatea 2.3 poziția 2, 3, 5 și 9).

O continuare a activității de cercetare și îndrumare la doctorat a fost în această etapă și cea realizată sub coordonarea Prof.dr.ing.Fleşer Traian a doctorand ing. Petrovici Branko. Teza elaborat a avut ca principal domeniu studierea modul de amestec al apei cu abrazivul și interacțiunea acestui mediu cu diferite tipuri de materiale. Un aspect important a fost acordat studierii modului în care se uzează tubul de focalizare a mediului abraziv [1.]. Pentru maximizarea procesului eroziv dar și pentru eficientizarea transferului energetic în mai multe lucrări de cercetare au fost abordate considerațiile legate de activarea electromagnetică a zonei de amestec a apei cu mediul abraziv [2.] este una dintre acestea. Activitatea de îndrumare la doctorat a fost finalizată cu comunicarea tezei de doctorat menționate și în același timp cu comunicarea mai multor lucrări științifice unele dintre acestea având ca și coautor pe autorul tezei de abilitat majoritatea cuprinse în Activitatea 2.2 poziția 18, Activitatea 2.3 poziția 6, 11, 14, 20 și 21 [3.].

O activitate aparte a fost cea de cooperare împreună cu un colectiv de cercetători de la ISIM Timișoara la punerea în funcțiune și realizarea de studii asupra prelucrării materialelor cu jet abraziv la care deplasarea capului de prelucrare se realizează cu sistem de comandă numerică cu motoare de curent continuu. Și această activitate a avut ca și finalitate pe lângă atingerea obiectivului urmărit și realizarea și comunicarea de lucrări unele menționate la Activitatea 2.2 poziția 16 și 17.

Din cele prezentate se poate observa implicarea autorului tezei în activități post doctorale pe o perioadă de aproximativ 9 ani după finalizarea tezei pe partea de prelucrări cu jeturi abrazive. Trebuie

menționată și implicarea în activitatea de coordonare de contracte și colective de cercetare, dar și de participare la îndrumarea de doctoranzi în domenii de cercetare specifice tezei de doctorat abordate de către aceștia.

Pentru o mai bună exemplificare a activității din această perioadă de activitate vor fi detaliate câteva dintre aspectele de cercetare anterior menționate.

1.2. Studiarea interacțiunii mediului abraziv activat energetic cu jet de apă cu materialul supus procesului de prelucrare

Tăierea abrazivă cu jet de apă a materialelor realizate din oțel inoxidabil folosit pentru confecționarea pieselor, este un proces tehnologic care are un grad ridicat de aplicare pentru utilizarea în industria alimentară de instalare [4.]. În acest subcapitol al lucrării se face o analiză tehnologic-economică a procesului în care materialul din care este realizat reperul este parametru fix și presiunea, viteza și debitul abraziv sunt factorul de intrare. Factorul de ieșire este lățimea de tăiere a intrării, lățimea de tăiere a ieșirii, lățimea de tăiere a adâncimii pentru oțel inoxidabil standard. Prelucrarea materialelor metalice cu jet de apă abraziv este un proces relativ nou, necesită dezvoltarea de materiale speciale utilizate în industria alimentară.

Experimentele au fost făcute cu o instalație de tăiere cu un dispozitiv de alimentare cu apă abrazivă alimentată cu jet cu debit variabil de presiune abrazivă și variabilă care poate fi ajustată în intervalul de la 1.500 la 3.500 bar. După efectuarea prelucrării, măsurările corespunzătoare de lățime și adâncime au fost determinate experimental.

Cu programul STATGRAPHICS de prelucrare a datelor, au fost ulterior generate ecuații de regresie legate de consumul de energie, identificate relații matematice pentru a participa direct la timpii de procesare și la prelucrarea corespunzătoare a timpului a materialelor. Acești parametrii generează din punct de vedere economic costuri directe care sunt cele care determină costul efectiv de procesare. Bazat pe aceste elemente a fost realizat cu ajutorul limbajului de programare VisualBASIC o interfață de comandă și selectare a elementelor specifice procesului de prelucrare și procesarea pe bază de relații matematice a principalelor elemente economice specifice procesului de prelucrare. Informațiile legate de conturul reperului prelucrat și părțile care urmează să fie procesate sunt preluate în program dintr-un fișier DXF generat de programele CAD. Elementele programului de procesare corespunzător pentru prelucrarea interiorului sau exteriorului se realizează după preluarea datelor DXF pentru fiecare element generat specificând poziția jetului în raport cu calea de procesare. Pe baza acestor date va genera un program de comandă pentru realizarea procesului de prelucrare. În paralel cu acest program pe baza selectării mărimilor specifice prelucrării se va putea realiza automat calculul costurilor specifice elementelor care generează consumuri de energie și materiale, respectiv resurse umane și pe linia contabilității generale a calculului notelor contabile corespunzătoare, iar a contabilității de gestiune a calculelor costului și respectiv notelor contabile specifice contabilității de gestiune.

Modelul pentru ordonarea factorilor de intrare în funcție cei de ieșire este prezentat în (Figura 1.2.1.) Cercetarea a fost realizată pe o instalație de laborator la care capul de prelucrare este prevăzut cu câmp de activare a jetului de tip electromagnetic. Probele pentru analiză au fost prelevate imediat după procesul de prelucrare. Vizualizarea acestora s-a făcut prin inspecție optică.

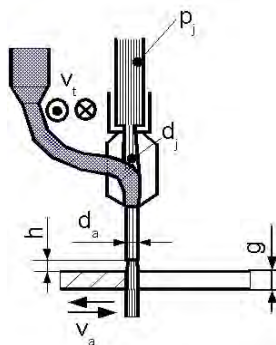


Fig.1.2.1. Schema principală de prelucrare cu jet de apă abraziv

Factorii de intrare în prelucrarea materialului cu jet de apă cu abraziv sunt:

- jet de presiune nominală,
- viteza de alimentare a materialului,
- materialul deplasat longitudinal sau transversal,
- materialul duzei,
- diametrul nominal al duzei abrazive d_a ,
- debitul granulelor abrazive Q_a ,
- distanța de la duza la material h ,
- grosimea materialului g .

Factorii de ieșire sunt cei economici dar nu pot fi neglijați și cei calitativi specifici procesului de prelucrare analizat.

În procesul de tăiere au fost identificate mai multe situații. Primula a fost legată de faptul că materialul a fost erodat de particulele abrazive datorită faptului că energia cinetică a particulelor abrazive a fost suficient de mare pentru a permite străpungerea materialului supus procesului de prelucrare. În (Figura 1.2.2.) sunt prezentate două situații distincte. În primul rând suprafața este cu micro cratere de erodare, dar arată relativ bine în poza din partea stângă, în timp ce în poza din partea dreaptă datorită vitezei lineare mari dar și a vitezei jetului mari se pot observa zone cu prelucrare în arc de cerc datorate erodării cu volum diferit de material.

Al doilea aspect care trebuie notat a fost cel legat de efectele care se produc dacă materialul a fost prelucrat cu energie insuficientă pentru pătrunderea în profunzime acesta nefiind complet străpuns. În acest caz, de asemenea observa două cazuri.



Fig.1.2.2. Aspecte ale suprafețelor din oțel inoxidabil prelucrat

Primul este cel din partea stângă a (Figurii 1.2.3.) care este specific unei viteze de procesare prea mari în raport cu energia cinetică a jetului abraziv. Cel de-al doilea din partea dreaptă a figurii este specific unei suprafețe erodate la partea inferioară cu viteză constantă și se pot observa fenomene pronunțat în suprafața procesată de erodare abrazivă granulară la suprafața inferioară de interacțiune jet-material prelucrat.



Fig.1.2.3. Aspecte ale zonelor în care am lucrat din oțel inoxidabil neperforat

Materialul abraziv granular utilizat pentru prelucrare a fost de tip granit colțuros industrial cu dimensiunea medie a bobului de 120 microni. Aspectul materialului granular abraziv se poate observa în (Figura 1.2.4.).

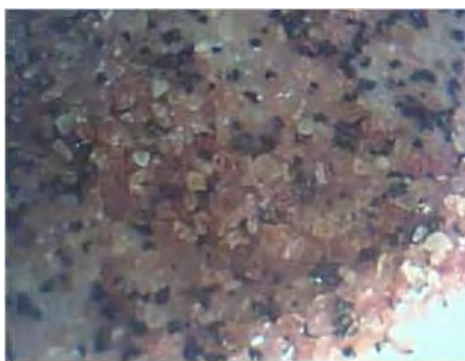


Fig.1.2.4. Abraziv utilizat pentru prelucrare

Din (Tabelul 1.2.1.) unde au fost centralizate datele experimentale se desprind următoarele concluzii. Energia jetului abraziv nu au fost suficientă pentru realizarea procesului de penetrare pozițiile 1, 6, 7, 8, 9, 10, 11. În timp ce pentru alte 2, 3, 4, 5, progresul energetic a fost suficient pentru ca tăietura realizată să fie completă. Pentru realizarea experimentului au fost modificate datele de intrare pentru presiunea jetului de apă, debitul de abraziv și viteza de deplasare a materialului la mai multe niveluri. Astfel primii doi factori au fost modificați la valori de +1, 0 și -1, iar al treilea 4 niveluri. Pe baza

determinărilor prin măsurare a celor trei factori de ieșire s-a putut stabili ecuația de regresie matematică corespunzătoare.

Tabel 1.2.1. Rezultatele prelucrării oțelului cu jet abraziv

No.	Pressure in bar	Flow of abrasive in units	Cutting speed in mm/min	Pentration in mm	Entry cutting width in mm	Exit cutting width in mm
1	3000	8	100	11,6	0,88	0
2	2500	6	50	12	0,90	0,48
3	3500	6	50	12	0,86	0,41
4	2500	10	50	12	0,88	0,40
5	3500	10	90	12	0,89	0,60
6	3000	8	100	11,2	0,85	0
7	2500	6	150	7,25	0,82	0
8	3500	6	150	11,75	0,83	0
9	2500	10	150	4,45	0,84	0
10	3500	10	150	9,25	0,78	0
11	3000	8	100	11,65	0,90	0

Prelucrarea datelor s-a realizat cu un program de analiză matematică și valorile rezultate au fost introduse într-o interfață realizată de autor. Din analiza interfeței (*Figura 1.2.5.*) create se poate observa că parametrii care trebuie introduși sunt cu caractere de tip bold iar cei care sunt calculați se regăsesc în ferestre cu caractere de tip normal. Din punctul de vedere al organizării interfeței se poate observa o logică de organizare de tip succesiv, pornind de la parametrii energetici stânga sus și ajungând la cei de tip economic din partea centrală și dreapta jos. Trebuie de asemenea arătat că prin apăsarea butonului central superior roz se poate comanda realizarea programului de comandă CNC în cod G, iar prin acționarea butoanelor din partea dreaptă jos se pot realiza rapoartele specifice și respectiv curățirea interfeței și pregătirea acesteia pentru o nouă operație de calcul.

În concluzie, putem spune că programul dezvoltat permite alegerea procesării materialului dorit de utilizator, dar și asigură prin intermediul celor trei variante de tip de tăietură realizată determinarea costurilor directe ale procesării acestuia și alegerea soluției optime în ceea ce privește condițiile tehnologice dorite și permite astfel determinarea unui punct optim al procesului de prelucrare și realizarea compromisului dorit între procesul decizional și cel de prelucrare.

Fisa produs

Presiune: 2000 bar
Cod cap: 0.5
Debit abraziv: 300 gr/min
Debit apa: 1.5543 l/min

Realizare program CNC

Locatie salvare: C:\ELMAJET\ELMAJET\CODMASINA

Material: oțel de scule 45VSCrW20
Semifabricat: 1000*1000, 1000, 1000, 10
Grosime: 10

Putere electrica: 11.21428571 kW
Cost KW: 0.477 RON/kW
Cost curent consumat: 0.43725 RON
Cost utilaj: 440300 RON
Cost semifabricat: 390 RON

Durata prelucrare: 5.748344370 min
Tarif orar: 15.34 RON/ora
Cost manopera: 76.7 RON
Cost amortizare: 1.25518637803 RON
Pret kg semifabricat: 5 RON/kg

Taiere rapida: 755 mm/min
Taiere medie: 0 mm/min
Taiere fina: 0 mm/min

Cost duza apa: 37.2 RON
Cost duza abraziv: 372 RON
Lungime totala taiere: 4340 mm
Timp total de prelucrare: 10 min
Cost total prelucrare: 467 RON

Timp pregatire: 5 min
Cost duze uzare: 0.2325 RON
Cost apa utilizata: 0.00785 RON
Tarif metru cub: 1.57 RON/mc
Cost abraziv: 0.279 RON
Tarif kilogram: 0.186 RON/kg

Verificare
Validare selectie
Tiparire fisa
Anulare selectie

Fig.1.2.5. Interfață pentru calcul elemente energetice și economice

1.3. Soluții constructive ale instalației de prelucrare cu fluid activat energetic

În această lucrare [5.] a fost realizat un studiu privind posibilitățile de înlocuire a componentelor sau ansamblurilor utilizate în instalațiile hidraulice / pneumatice cu componente realizate prin metode de generare a sistemului de imprimare 3D FDM. Ambele părți ale unei instalații hidraulice / pneumatice și subansambluri, care pot fi înlocuite cu o singură componentă. Aspectul prezentat se referă la îmbunătățirea atât a preciziei tehnologice a componentei, cât și la furnizarea unei componente cu o structură mult mai bună decât cea a ansamblului obținut prin procese tehnologice convenționale. În același timp, folosind tehnologia de imprimare 3D, piesele sau ansamblurile vechi, obținute cu tehnologii poluante, sunt înlocuite cu unele la care partea generatoare este curată, consumul de energie este redus și costurile de regenerare a pieselor sau mai mici -asamblări decât cele obținute prin tehnologii tradiționale mai poluante [6.]. De exemplu, vom lua o componentă dintr-un sistem hidraulic/pneumatic din aluminiu sau fontă, două tipuri de materiale poluante atât în partea de obținere a materiei prime, dar și în faza realizării în sine, prin metodele tehnologice de turnare. Dacă aceeași etapă este obținută prin imprimarea 3d prin metoda FDM cu material PLA, se pot observa următoarele aspecte. PLA este un material cu proprietăți mecanice care sunt apropiate de cele ale aluminiului supus la solicitări de compresie [7., 8.]. De asemenea, se poate observa că FDM ca tehnologie de generare a reperelor, este o metodă care nu poluează mediul, fiind procedeul tehnologic cu cel mai mic grad de particule volatile emise în spațiul de lucru în raport cu alte tehnologii de prelucrare convenționale dar și în raport cu alte procedee de imprimare 3D.

De asemenea, se poate observa că pentru înlocuirea aluminiului sau a fontei, cu un alt aluminiu sau fontă sau cu aceeași marcă de material, putem avea următoarele soluții:

- variantă tehnologică pentru reparație prin sudură, metodă relativ poluantă;
- reciclarea topirii și turnării, metodă de asemenea cu grad ridicat de poluare.

Pentru cazul FDM, reperul dacă este mare este împărțit în bucăți cu o metodă de separare în coadă de rândunică și elemente de centrare. Aceasta este o metodă cu un nivel scăzut de poluare, este posibil a se realiza utilizând material reciclat într-o proporție de 50% și material granular nou și permite realizarea de noi repere, cu partea nouă realizată prin procesul numit metoda FFF fiind metodă de procesare cu grad scăzut de poluare.

Dacă comparația se face la nivelul costului de realizare numai dacă avem în vedere costurile obținerii topirii aluminiului de minim 700 de grade Celsius, cu plasticizarea PLA maxim 220 de grade Celsius, vom realiza clar avantajele FDM tehnologie.

Realizarea pieselor tipărite 3D este asigurată de variantele sale, care numără cinci tipuri [9.] și implică costuri de ieșire mai mici sau mai mari [8.], depinzând în principal de materia primă utilizată în performanța componentei imprimate 3D, dar și de modul în care pentru a realiza imprimarea, astfel încât tehnologia folosită să asigure realizarea reperului.

Trebuie menționat că prin oricare dintre cele cinci soluții, obținerea de componente poate fi eficientizată din punct de vedere tehnologic, cu costuri de producție reduse, consum redus de energie și nu în ultimul rând cu utilizarea de materiale regenerabile și / sau biodegradabile. Unele dintre aceste tehnologii, deoarece folosesc particule de dimensiuni de ordinul a zeci sau sute de microni, pot produce particule și astfel poluarea spațiului de lucru.

Se poate distinge că într-o instalație hidraulică / pneumatică, existența mai multor tipuri de componente, care pot fi solicitate din punct de vedere al aplicațiilor statice, dar și dinamice. Putem astfel să le clasificăm:

- parte cu rol funcțional sau fără funcționalitate sau poziție și nesolicitat;
- piese funcționale puțin solicitate și care nu se întâlnesc în contact cu mediul sub presiune;
- părți funcționale care se întâlnesc cu mediul sub presiune și sunt solicitate de acesta.

Câteva dintre aceste componente sunt prezentate în lucrare și se face o scurtă analiză a principalelor caracteristici ale acestora.

Pentru cazul lor, precizia este elementul care are un rol important în termeni constructivi și funcționali. Precizia este asigurată de tehnologia de imprimare 3D prin efectuarea de corecții dimensionale la nivelul cotelor care trebuie să asigure precizia dimensională necesară. În același timp, în funcție de orientarea statică și uzura obișnuită a suprafeței, structura utilizată este destinată tipăririi cu o componentă eterogenă sau omogenă, cu o densitate mai mică sau mai mare a structurii interioare tipărite 3D. Dintre aceste elemente, elementele de cuplare ale conductelor trebuie să fie prezentate componentelor circuitului hidraulic sau pneumatic al piesei de cuplare de tip (Figura 1.3.1.). Generarea ambelor componente a fost realizată în INVENTOR, având în vedere rolul lor funcțional.

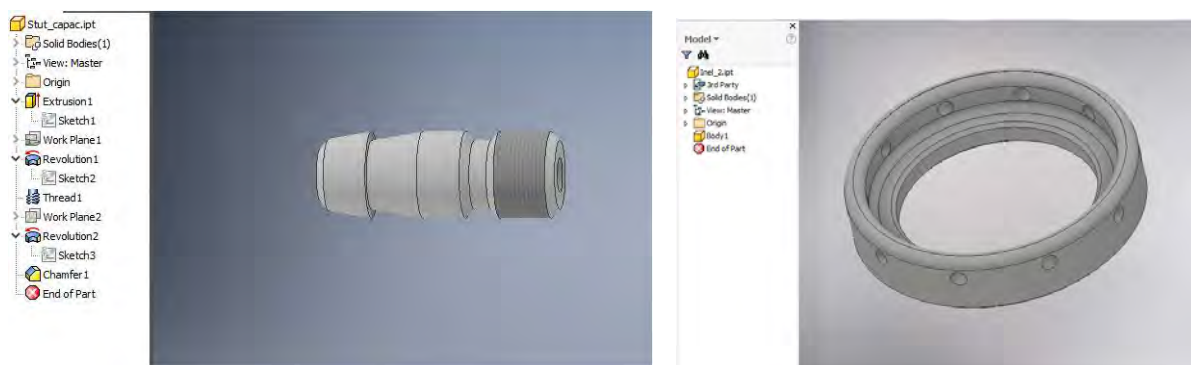


Fig.1.3.1. Cuplarea piesei pneumatice / hidraulice 4 mm diametru interior la stânga și inel pentru etanșare pneumatică / hidraulică la dreapta

Pentru carcasa piesei de cuplare, s-a realizat o modelare FEA folosind sarcina specifică interioară a tubului central cu o presiune de 10 MPa, iar pentru partea filetată și suprafețele care sunt în contact cu tubul de conectare au fost încărcate cu o presiune de 1 MPa (Figura 1.3.2.). Din analiza presiunii aerului comprimat, solicitările sunt mici deformări nesemnificative de ordinul micronului. Pentru presiuni hidraulice mai mari de ordinul 10 MPa, deformările devin mai mari și, în unele zone, se apropie de

rezistența limită a materialului. Trebuie menționat că, datorită specificului materialului și modului de generare, modelarea FEA trebuie să fie însoțită de testul mecanic pentru validarea modelului.

Partea modelată 3D este salvată în format STL și apoi este procesată pentru a genera straturilor și comandă numerică a traiectoriei de depunere a materialului. O mare importanță în procesul de realizare a piesei care este supusă procesului de generare prin imprimare 3D, este verificarea din mai multe puncte de vedere ale părții STL generate.

Trebuie arătat în acest moment că există două faze importante. Primul este legat de integritatea fișierului STL generat, care trebuie să respecte atât condițiile dimensionale, cât și rezoluția implementării generației STL a triunghiului generat. Al doilea este verificarea modului de generare sunt și corectarea erorilor.

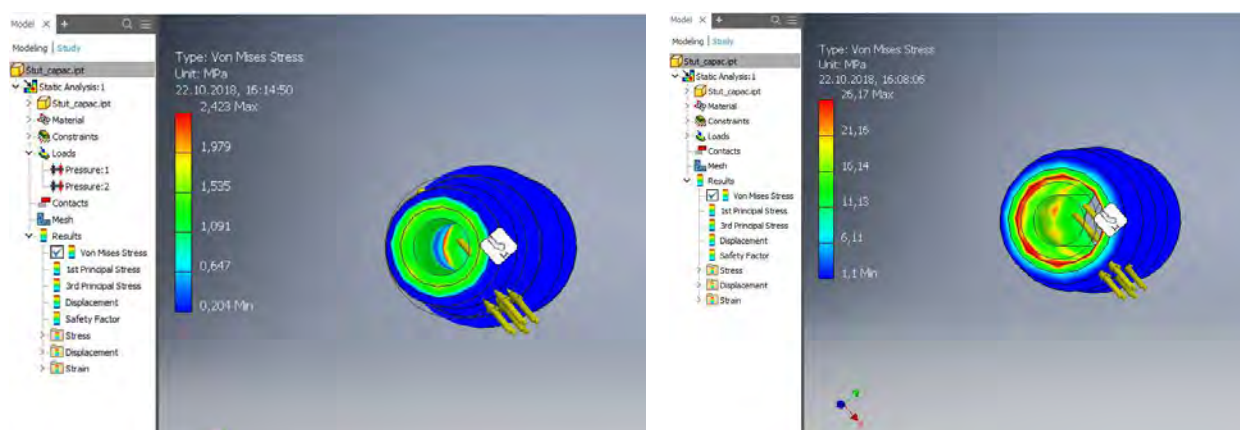


Fig.1.3.2. Cuplare pneumatică 1 MPa stânga / hidraulică 10 MPa partea dreaptă 4 mm diametru interior

Generarea piesei a fost realizată cu imprimanta *Fabrikator Mini*, care asigură procesarea piesei cu un volum de 80 mm³ și la care programul de generare este *Cura* pentru generarea straturilor și *Repetiter Host* a fost utilizat pentru imprimarea acestora. Trebuie menționat că ambele programe menționate anterior sunt de tip *GRATUIT*. În (Figura 1.3.3.) se pot observa setările pentru generare în partea stângă și pe partea dreaptă pentru rezultatul estimat al realizării reperului cu o durată de 13 minut și 48 secunde, cu o lungime a firului de 0,62 metri și un număr de straturi de 140 bucăți. Piese generate pot fi observate în (Figura 1.3.4.).

Prin urmare, se poate concluziona că pentru piesele fără rol funcțional realizarea prin acest proces este foarte bună la presiuni scăzute și satisfăcătoare la presiuni ridicate, unde începe să se recomande utilizarea realizării pieselor prin procesele de imprimare 3D SLS.

Acest tip de componente sunt cele care sunt solicitate la valori medii, dar care nu vin sau nu intră în contact direct cu mediul hidraulic sau pneumatic. Pentru ca aceste componente funcționează modul de interconectare cu celelalte componente, un rol important îl are atât componenta dimensională pentru realizarea jocurilor și/sau elementelor de centrare, cât și îmbinarea componentelor conjugate, dar și direcția și modul în care apar forțele la nivelul suprafeței și în structura componentelor tipărite 3D. Avantajul major al imprimării 3D prin variantele tehnologice ale acestora de prelucrare a materialelor

față de cele prin procedee tradiționale este dat de faptul că permite înlocuirea mai multor componente realizate prin metode tehnologice tradiționale, cu o singură componentă, realizată prin imprimarea 3D.

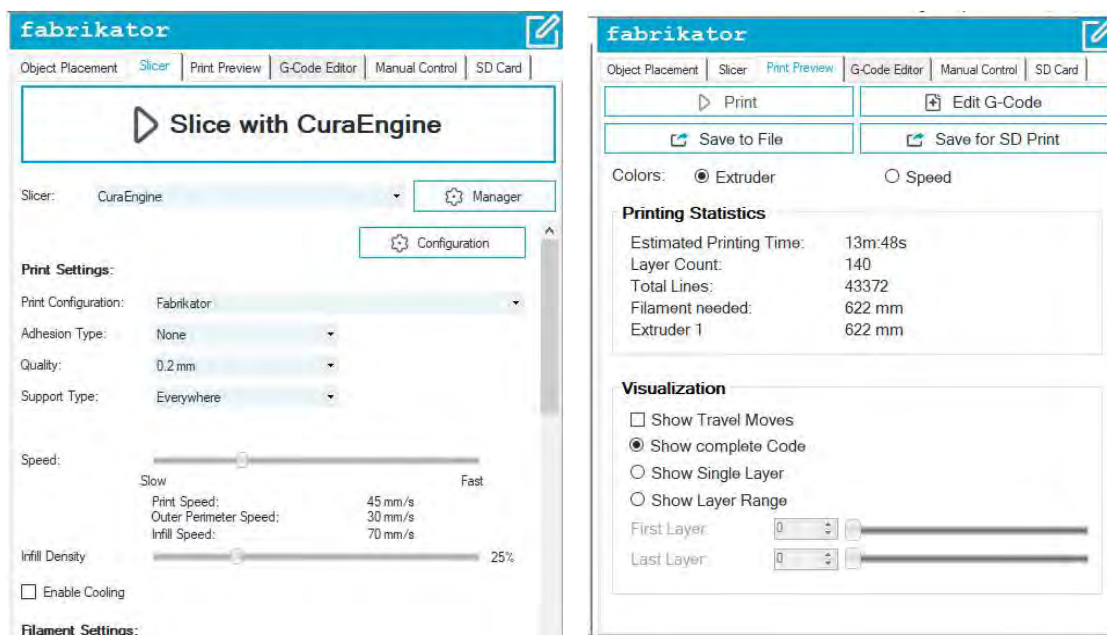


Fig.1.3.3. Cuplă pneumatică strat a generat parametrul la stânga și statisticile de imprimare la dreapta



Fig.1.3.4. Cuplarea pneumatică la stânga și statisticile de imprimare la dreapta generate de soluția de imprimare 3D FDM

Un alt element din categoria anterior menționată este capacul corpului unui cilindru pentru o instalație hidraulică sau pneumatică (Figura 1.3.5.). Generarea acestei componente a fost realizată în INVENTOR, având în vedere rolul ei funcțional.

Trebuie arătat în acest moment că există două faze importante. Primul este legat de verificarea fișierului STL, care trebuie să respecte atât condițiile dimensionale, cât și rezoluția implementării generației STL a triunghiului generat. Al doilea este verificarea modului de generare și corectarea erorilor.

Generarea piesei a fost realizată cu imprimanta *Fabrikator Mini*, care asigură procesarea piesei cu dimensiunea de 80 mm³ și la care programul de generare este Cura pentru generarea straturilor și imprimarea a fost realizată cu programul *Repetiter Host*. Trebuie menționat că ambele programe menționate anterior sunt de tip GRATUIT. În (Figura 1.3.6.) puteți vedea setările pentru generare și pe

partea dreaptă a componentei pentru unul dintre aceste elemente. Piesa generată poate fi văzută în (Figura 1.3.7.).

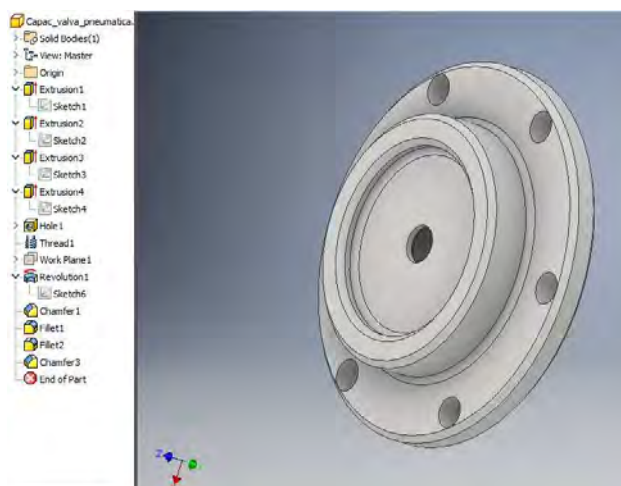


Fig.1.3.5. Capacul unui cilindru pentru o instalație hidraulică sau pneumatică

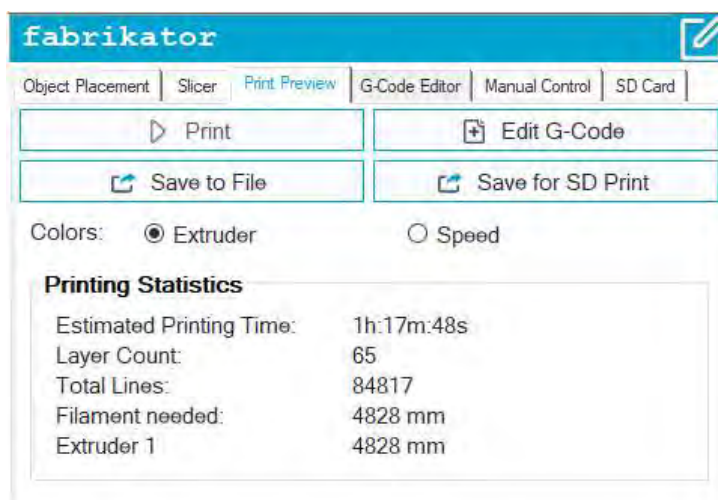
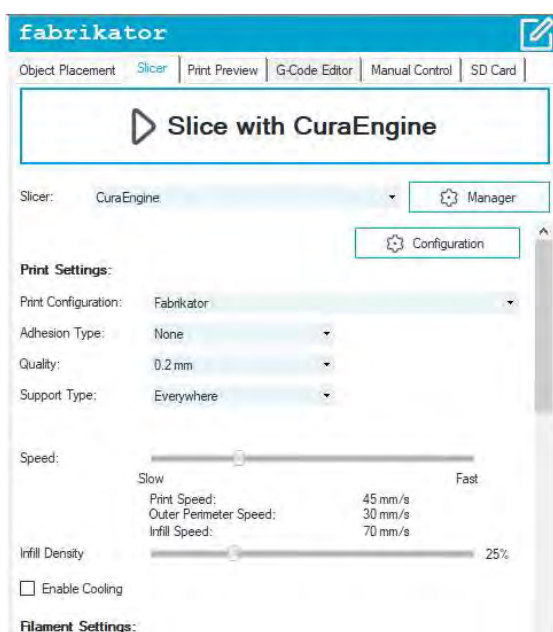


Fig.1.3.6. Setări imprimare pentru capacul unui cilindru pentru un parametru generat de felie de instalare hidraulică sau pneumatică

Partea modelată 3D este salvată în format STL și apoi este procesată pentru a genera straturile de material care se vor depune și comandă numerică de deplasare după traiectorie a capului de prelucrare și respectiv a mesei pe care se generează stratul. O mare importanță în procesul de realizare a piesei care este acordată verificării din mai multe puncte de vedere ale părții STL generate.

Pentru a rezolva problema modelării cu elementul finit a fost definită în varianta educativă a programului INVENTOR 2019. Materialul din care a fost fabricată piesa este PLA [14.] la care au fost luate în considerare caracteristicile de rezistență (Figura 1.3.8.).



Fig.1.3.7. *Capacul unui cilindru pentru un parametru generat de felie de instalare hidraulică sau pneumatică*

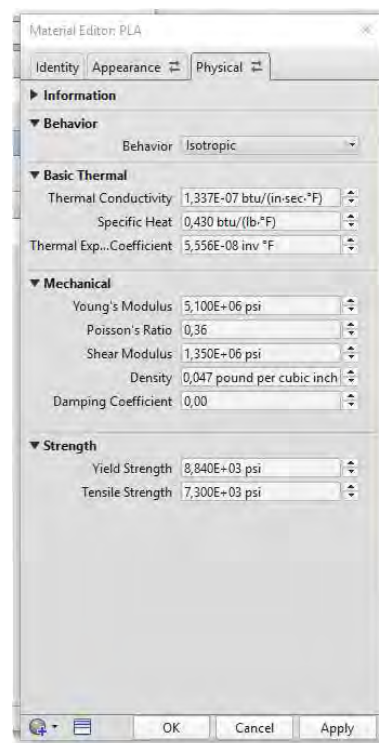


Fig.1.3.8. *Capacul unui cilindru pentru o instalație hidraulică sau pneumatică Caracteristici de definire a PLA*

Pentru capacul unui cilindru, s-a realizat o modelare FEA folosind forța de încărcare frontală cu o presiune de 1 MPa sau 10 MPa și o parte fixă a orificiului (*Figura 1.3.9.*). Din analiza pentru presiunea aerului comprimat, solicitările sunt mici deformări nesemnificative de ordinul micronului. Pentru presiuni hidraulice mai mari de ordinul 10 MPa, deformările devin mai mari și, în unele zone, se apropie de rezistența limită a materialului. Trebuie menționat că, datorită specificului materialului și modului de generare, modelarea FEA trebuie să fie însoțită de testul mecanic pentru validarea modelului.

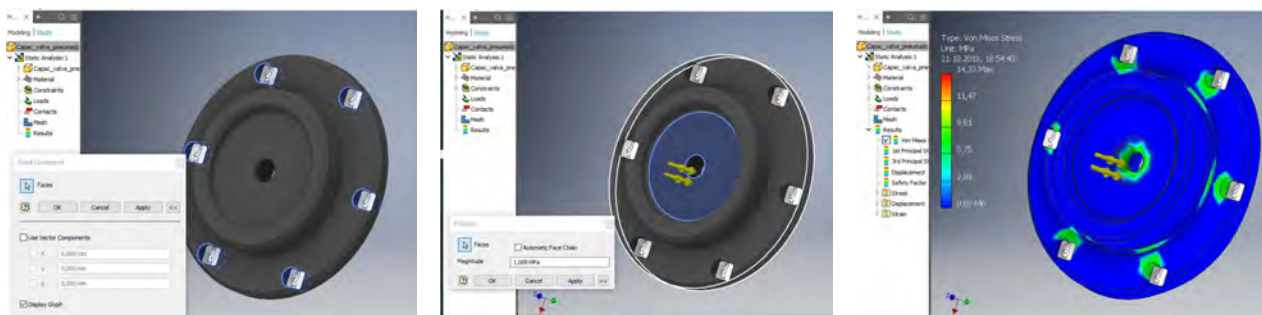


Fig.1.3.9. Capacul unui cilindru pentru o instalație hidraulică sau pneumatică Forța de încărcare PLA, punct fix și deformare

Valoarea numerică a modelării FEA este prezentată (Figura 1.3.10.). La partea stângă a figurii sunt datele pentru 1 MPa și la dreapta pentru 10 MPa. Deplasarea este de 2 microni pentru presiune mică și 20 microni pentru presiune medie.

Prin urmare, se poate concluziona că pentru piesele cu rol funcțional realizarea și contactul cu mediul prin acest proces este bun la presiuni scăzute și satisfăcător la presiuni medii, unde începe să se recomande utilizarea realizării pieselor prin alte procese 3D de imprimare sau utilizând materiale cu proprietăți mecanice mai ridicate.

Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	20519,6 mm ³	
Mass	0,0266781 kg	
Von Mises Stress	0,0244432 MPa	14,3325 MPa
1st Principal Stress	-6,83642 MPa	16,8795 MPa
3rd Principal Stress	-22,6833 MPa	5,89777 MPa
Displacement	0 mm	0,0048324 mm
Safety Factor	4,25253 ul	15 ul
Stress XX	-19,6933 MPa	14,7601 MPa
Stress XY	-5,68141 MPa	4,79292 MPa
Stress XZ	-5,33529 MPa	5,29277 MPa
Stress YY	-17,1446 MPa	12,604 MPa
Stress YZ	-4,78528 MPa	4,79641 MPa
Stress ZZ	-10,6271 MPa	8,19982 MPa
X Displacement	-0,00105085 mm	0,00104971 mm
Y Displacement	-0,00109794 mm	0,00110114 mm
Z Displacement	-0,0047991 mm	0,00140194 mm
Equivalent Strain	0,00000634278 ul	0,000399103 ul
1st Principal Strain	0,00000315894 ul	0,000335701 ul
3rd Principal Strain	-0,000466294 ul	-0,00000413172 ul
Strain XX	-0,00035065 ul	0,000253731 ul
Strain XY	-0,000219738 ul	0,000185374 ul
Strain XZ	-0,000206351 ul	0,000204707 ul
Strain YY	-0,000351884 ul	0,000257688 ul
Strain YZ	-0,000185079 ul	0,000185509 ul
Strain ZZ	-0,000138585 ul	0,000172857 ul

Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	20519,6 mm ³	
Mass	0,0266781 kg	
Von Mises Stress	0,244432 MPa	143,325 MPa
1st Principal Stress	-68,3642 MPa	168,795 MPa
3rd Principal Stress	-226,833 MPa	58,9777 MPa
Displacement	0 mm	0,048324 mm
Safety Factor	0,425253 ul	15 ul
Stress XX	-196,933 MPa	147,601 MPa
Stress XY	-56,8141 MPa	47,9292 MPa
Stress XZ	-53,3529 MPa	52,9277 MPa
Stress YY	-171,446 MPa	126,04 MPa
Stress YZ	-47,8528 MPa	47,9641 MPa
Stress ZZ	-106,271 MPa	81,9982 MPa
X Displacement	-0,0105085 mm	0,0104971 mm
Y Displacement	-0,0109794 mm	0,0110114 mm
Z Displacement	-0,047991 mm	0,00140194 mm
Equivalent Strain	0,00000634278 ul	0,00399103 ul
1st Principal Strain	0,00000315894 ul	0,00335701 ul
3rd Principal Strain	-0,000466294 ul	-0,00000413172 ul
Strain XX	-0,00035065 ul	0,000253731 ul
Strain XY	-0,000219738 ul	0,000185374 ul
Strain XZ	-0,000206351 ul	0,000204707 ul
Strain YY	-0,000351884 ul	0,000257688 ul
Strain YZ	-0,000185079 ul	0,000185509 ul
Strain ZZ	-0,000138585 ul	0,000172857 ul

Fig.1.3.10. Capacul unui cilindru pentru o deplasare hidraulică sau pneumatică pentru instalare și valoarea de solicitare

Partea pe care se montează capacul anterior analizat este corpul cilindric prezentat în (Figura 1.3.11.). Generarea acestei componente a fost realizată în INVENTOR, iar poziționarea și orientarea reperului proiectat a fost astfel concepută încât să se satisfacă rolul funcțional al acestuia.

Generarea piesei (Figura 1.3.12.) a fost realizată cu imprimanta *Fabrikator Mini*, care asigură procesarea piesei cu dimensiunea de 80 mm³ și la care programul de generare este *Cura* pentru generarea straturilor și sub *Repetiter Host* a fost realizată comanda imprimantei pentru generarea acestuia. Trebuie

menționat că ambele programe menționate anterior sunt de tip GRATUIT. În (Figura 1.3.13.) se poate observa încărcarea pentru generarea modelului FEA. În partea stânga este suprafața fixă și respectiv cu săgeată încărcarea cu presiune constantă pe cele două suprafețe pe care se exercită solicitarea. În partea dreaptă se poate observa diagrama de deformarea pentru elementul avut în vedere a se studia.

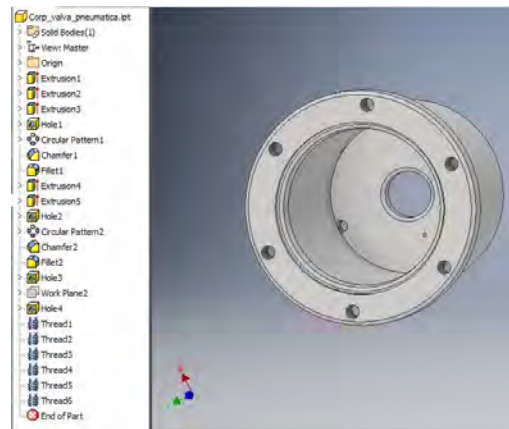


Fig.1.3.11. Corpul unui cilindru generat în INVENTOR



Fig.1.3.12. Corpul unui cilindru pentru o instalație hidraulică sau pneumatică tipărit 3D

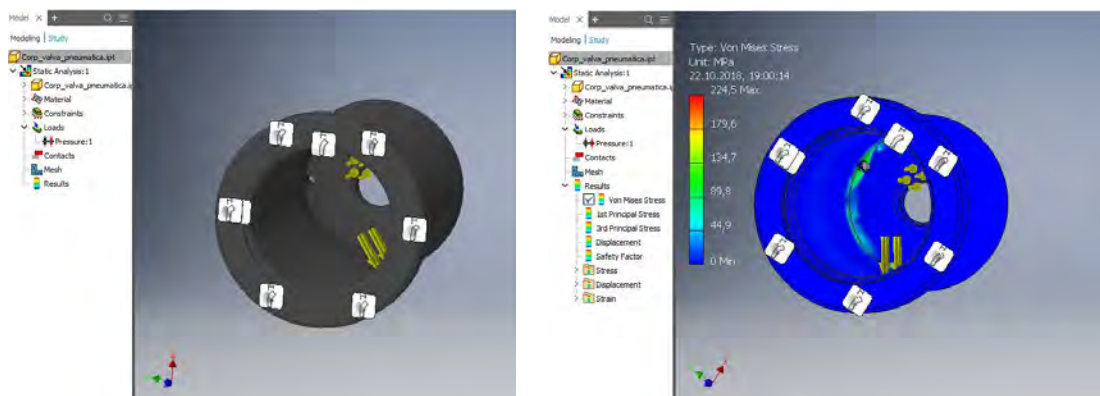


Fig.1.3.13. Corpul unui cilindru pentru o sarcină de instalare hidraulică sau pneumatică pentru modelarea FEA

Având în vedere deformățiile care apar, construcția elementului analizat a fost modificată (Figura 1.3.14.) și s-a ajuns la concluzia că fără utilizarea de soluții cu material metalic la partea interioară sau în zona exterioară reperul analizat nu vor rezista solicitărilor.

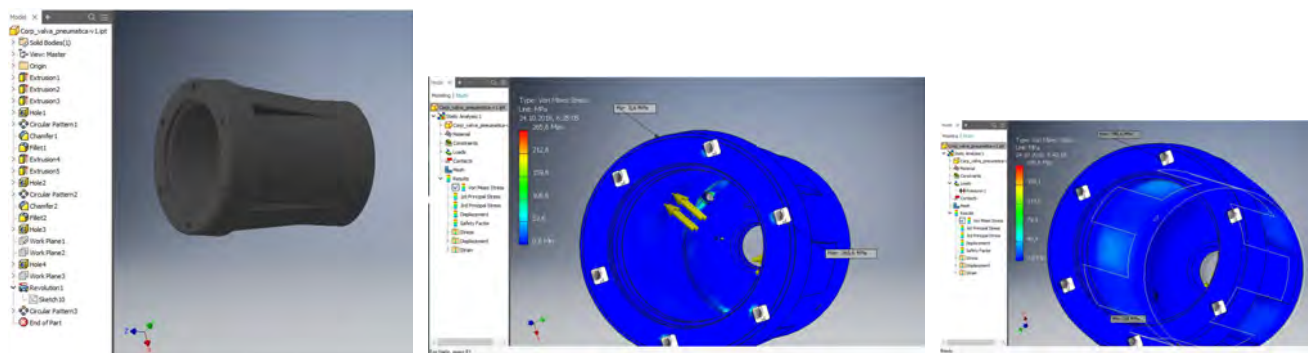


Fig.1.3.14. Corpul unui cilindru modificat pentru o sarcină de instalare hidraulică sau pneumatică pentru modelarea FEA

Prin urmare, se poate concluziona că pentru piesele cu rol funcțional pentru această construcție este satisfăcătoare pentru structura modificată la presiuni scăzute și mot satisfăcătoare la presiuni medii, unde începe să se recomande utilizarea părții metalice pentru construcția unei piese realizate prin imprimare 3D.

1.4. Considerente tehnologice și constructive de utilizare a metodelor de generare a reperelor prin imprimare 3D pentru instalații de prelucrare cu fluide activate energetic

În procesul tehnologic de prelucrare a reperelor componente ale unei instalații de prelucrare cu fluide activate energetic tehnologiile de imprimare 3D permit obținerea de geometrii specifice care nu se pot realiza prin procedee convenționale de prelucrare. Prin studiile începute, dar și prin cele care ulterior se dorește a se realiza de autor se vor propune soluții constructive și se vor alege tehnologii specifice fiecărui tip de reper pentru optimizarea procesului productiv și de reparare a componentelor în mod special a celor de uzură din astfel de instalații.

1.4.1. Materiale și tehnologii utilizate pentru fabricarea componentelor pentru prelucrarea cu fluide activate energetic

În procesul tehnologic de prelucrare a reperelor componente ale unei instalații de prelucrare cu fluide activate energetic, tehnologiile de imprimare 3D permit obținerea de geometrii specifice care nu se pot realiza prin procedee convenționale de prelucrare. Astfel în decursul timpului au fost concepute și ulterior generate componente specifice instalațiilor anterior menționate. Trebuie arătat că din punctul de vedere al procedeelor de generare putem să avem mai multe metode tehnologice de generare. Așa după cum s-a analizat în lucrarea [10.] se poate observa o analiză a materialelor care pot fi utilizate pentru a genera componente sau subansambluri pentru prelucrarea jetului de apă cu suspensie abrazivă sau jet de apă. Uzual materialele trebuie să aibă atât proprietăți termoplastice, cât și mecanice de rezistență specifice rezistenței la abraziune granulară, cavitației sau la stres, întindere etc. În ceea ce privește rezistența la tracțiune a unor astfel de materiale plastice, există studii și recomandări făcute, din punctul

de rezistență la tracțiune [11., 12.], dar în ceea ce privește uzura sau rezistența la abraziune, sunt puține studii și foarte limitate din punctul de vedere al erodării cu material granular.

Din punctul de vedere al procedurilor de fabricare a pieselor din material plastic, există cinci procese majore de imprimare 3D [13.]:

- confecționarea pieselor prin depunerea materialului obișnuit numit FDM (Fused Deposition Modeling), în care depunerea materialului se face în condiție semilichidă [14.];
- confecționarea pieselor prin sudarea inter-granulară cu ajutorul unei surse de energie, cum ar fi SLM (Selectiv Laser Topping) [15.];
- confecționarea pieselor prin realizarea de straturi de pelicule de rășină polimerizată cu ajutorul unei surse energetice care acționează asupra acestei pelicule de rășină cu ajutorul unui fascicul laser sau radiații ultraviolete de tip SLA (Stereolitografie) [16.] sau DLP (Digital Light Processing) [17.] sau SLS (Selective Laser Sintering) [18.];
- realizarea pieselor prin aderența materialului granular cu un material lichid sub formă de jet de substanță (Binder Jetting) [19.];
- fabricarea pieselor prin straturi suprapuse laminate termic ca LOM (Laminated Object Manufacturing) [20.].

Din punct de vedere al rezistenței mecanice a materialelor utilizate pentru imprimare, se poate afirma că acestea trebuie să fie rezistente atât la acțiunea mediului activ, care este de tip abraziv, cât și de tip lichid, în unele locuri ale tip de apă, aer sau în alte zone de tipul uleiului hidraulic. Aceste restricții vor avea ca rezultat o selecție a materialului și a rezistenței acestuia la cavitație sau oscilații pulsatoare uzual de tip sinusoidal cu o simetrie periodică sau asimetrică. Din punct de vedere al rezistenței mecanice, cele mai bune rezultate sunt obținute cu procedeele de sudare, urmate de depunere, iar ultimele sunt întărirea straturilor materialelor utilizate pentru realizarea structurii imprimate a piesei. Valorile de rezistență pentru procesele menționate mai sus sunt centralizate în conformitate cu informațiile din literatura de specialitate [21., 22.]:

- FDM are rezistența la tracțiune 20 - 120 MPa, temperatura de lucru 10 - 200 ° C;
- SLM are rezistență la tracțiune 20 - 80 MPa, temperatura de lucru 30 - 250 ° C;
- SLA are rezistența la tracțiune 20 - 80 MPa, temperatura de lucru 30 - 250 ° C sau DLP are rezistența la tracțiune 20 - 80 MPa, temperatura de lucru 30 - 250 ° C sau SLS are rezistența la tracțiune 0 - 100 MPa, temperatura de lucru 30 - 220 ° C;
- BJ are rezistența la tracțiune 0 - 40 MPa, temperatura de lucru 100 - 150 ° C;
- LOM ca materialul plastic injectat.

Din analiza prezentată, FDM are caracteristici similare cu cele ale altor procese, gama de valori analizate fiind în anumite limite identice cu cele ale celorlalte procedee. Acest lucru va determina ca un rol esențial să îl prezinte comportamentul materialului la solicitări oscilante sau pulsatorii. Dacă extindem obiectul cercetării la materiale care nu necesită condiții speciale de temperatură pentru

procesul de lucru și eliminăm din studiu procese care produc tensiune în material, vom observa că avem următoarele tipuri de materiale:

- pentru FDM:
 - PLA are densitatea 1,25 g/cm³, E 3,5 GPa, alungirea la rupere 6%, tensiunea de rupere 36 – 55, MPa, tensiunea de comprimare 17,9 MPa, [21, 22.], absorbția de apă la 24 ore 0,4% [23.];
 - ABS are densitatea 1,01 – 1,21 Mg/m³, E 1,1 – 2,9 GPa, alungirea la rupere 3 – 7,5%, tensiunea de rupere 25 - 50 MPa, tensiunea de comprimare 7,6 MPa, [24., 25.], absorbția de apă la 24 ore 0,2%, [26.];
 - PETG are densitatea 1,3 g/cm³, E 2,2 GPa, alungirea la rupere 3 – 7,5%, tensiunea de rupere 53 MPa, tensiunea de comprimare 55 MPa [27.], absorbția de apă la 24 ore 0,2%;
- pentru SLS cu material PA-RP13S [28.]:
 - diametrul mediului al granulelor 60 μm, densitatea 1,25 g/cm³, E GPa 3,2, alungirea la rupere 9%, tensiunea de rupere 51 MPa, tensiunea de comprimare 17,9 MPa;
- pentru material plastic injectat [29., 30.]:
 - densitatea 1,25 g/cm³, E 3,2 GPa, alungirea la rupere 9%, tensiunea de rupere 51 MPa, tensiunea de comprimare 17,9 MPa,

Din cele prezentate mai sus se poate concluziona că la sarcina de comprimare dezvoltată materialele imprimate 3D au rezistențe mai bune decât cele obținute prin injecție. În același timp, dacă luăm în considerare datele din [30.], analizele pentru FDM și SLS sunt potrivite pentru serii mici sau unice de fabricație și chiar pentru cele produse pentru fabricarea medială. De asemenea, se poate observa că PLA este un material biodegradabil mai absorbant la mediul cu apă decât alte materiale, motiv pentru care se recomandă evitarea realizării de componente care sunt în contact cu apă.

Trei sunt componentele majore care au un impact asupra costului investiției pentru realizarea pieselor tipărite [32.].

- costul materialului utilizat pentru realizarea reperului, al consumabilelor și al consumului de energie, acestea sunt elemente cu ajutorul cărora sunt făcute piesele în procesul de imprimare;
- costul imprimantei cu ajutorul căreia se imprimă piesele;
- costul amortizării imprimantei 3D și menținerea condițiilor de mediu în timpul procesului de imprimare. În același timp, trebuie avut în considerare costul programelor pentru realizarea reperului și reparațiilor instalației și modernizarea acesteia, după caz.

Dacă considerăm că majoritatea pieselor vor fi calculate la costul unui gram de bucată imprimată 3D, vom folosi pentru comparație costul unui gram de materie primă care va fi utilizat pentru imprimare.

Trebuie arătat că pentru imprimarea cu rășină materialul fiind lichid acesta se determină prin utilizarea densității acestuia în stare solidă a rășinii. Astfel, avem:

- pentru FDM un cost cuprins între 0,40 și 0,59 Euro pe gram de fir utilizat la imprimare. Trebuie menționat faptul că vor fi luate în considerare mai multe tipuri de fire care pot fi clasificate în fir de monofilă sau fire cu structura de bază a unui material plastic și având în structură granule sau fibre din material metalic sau nemetalic care modifică proprietățile materialului care va fi utilizat pentru imprimare (plastic cu particule de fibră de carbon sau particule de cânepă sau oțel etc);
- pentru rășina SLA sau DLP costul pieselor este dependent de volumul de rășină utilizat la imprimare și este de 3,45 până la 5,47 Euro pe litru, variind în funcție de procesul sau caracteristicile necesare pentru piesa care trebuie realizată prin imprimare;
- pentru SLS costul depinde de costul gramului de particule utilizate pentru imprimare și care este 0,06 la 0,25 Euro pe gramul de particule, fiind dependent de tipul de material al particulelor și de granulația acestuia. Uzual materialul este de tip PA12, PA11 or Flex, TPE.

Din analiza acestor elemente, este posibil să se determine că FDM este soluția optimă din punct de vedere economic din punctul de vedere al materiei prime utilizate pentru a genera o marcă.

Un element important al investiției este numărul de piese care pot fi realizate în timpul unitar. Cea mai mare parte a acestui proces poate realiza mai multe piese pe aceleași sau diferite piese de imprimare cu sau fără găuri de poziționare în acestea. Trebuie menționat că, pentru anumite procese, realizarea de găuri sau cavități poate fi dificilă sau chiar imposibil de realizat fără utilizarea elementelor de centrare, poziționare și fixare. Din punct de vedere tehnologic, au fost dezvoltate materiale care se dizolvă în medii lichide pentru a extrage interiorul cavităților, precum și pentru a realiza elementele de susținere sau rigidizare ale pereților laterali sau superiori. După cum se poate observa în [31.], caracteristicile suprafeței, viteza și câmpul de aplicare ideal sunt pentru valorile de mijloc pentru tipul FDM și tehnologiile rapide, dar din punctul de vedere al rezistenței sunt pentru SLA, DLP și SLA.

O componentă importantă a procesului de imprimare este volumul care poate fi realizat la o mașină de imprimat și analizat simultan consumul de energie al imprimantei. O paralelă între principalele tehnologii de imprimare 3D este prezentată în continuare:

- Precizie standard pentru FDM $\pm 0,15$ mm, grosimea stratului 0,18 - 0,25 mm, grosimea minimă a peretelui 1 mm, dimensiunea maximă a piesei 914x610x914 mm [32.], putere 500 W standard, 1.500 W pentru cazurile industriale;
- Viteză de imprimare pentru SLM 25 cm³/h, precizie standard $\pm 0,15$ mm, grosimea stratului 0,020 - 0,075 mm, grosimea minimă a peretelui 0,14 mm, dimensiunea maximă a părții generate 125x125x125 mm [33.], gaz inert 2 l/min argon, putere 3 kW, aer 50 l/min la 6 bar;

- Precizie standard SLA $\pm 0,2$ mm, grosimea stratului 0,1 - 0,2 mm, grosimea minimă a peretelui 0,8 mm, dimensiunea maximă a piesei 2100x700x800 mm putere 1,500 W [34.] sau precizia standard SLS $\pm 0,3$ mm, grosimea stratului 0,12 mm, grosimea minimă a peretelui 1 mm, dimensiunea maximă a piesei 650x330x560 mm, diametrul focalizării 0,07 - 0,1 mm [15.];

Din comparația făcută se poate observa că numai FDM și SLA pot oferi repere mari fabricate. Pentru cele două metode de procesare 3D, celelalte dimensiuni considerate sunt relativ apropiate ca valoare.

O altă componentă importantă a investiției este costul instalației. Din acest punct de vedere, avem:

- pentru FDM 500 - 5.000 \$ și 50.000 \$ industrial [35.];
- pentru SLA sau DLP sau SLS standard 10.000 \$ și industriale 200.000 - 1.000.000 \$ [36.].

Din această analiză a elementelor menționate se poate observa că cea mai eficientă cale de generare a pieselor este pentru seria mică sau medie este FDM, iar pentru seria mare sau de masă este FDM sau SLA.

1.4.2. Aspecte tehnologice ale imprimării 3D a componentelor pentru prelucrarea materialelor cu jeturi abrazive

Materialele utilizate pentru a genera componente sau subansambluri pentru prelucrarea cu jet de apă cu suspensie abrazivă sau jet de apă trebuie să aibă atât rezistență la uzură, rezistență la abraziune, cât și proprietăți mecanice de rezistență specifice acestei tehnologii.

1.4.2.1. Aspecte tehnologice ale imprimării de repere pe principiul FDM

Din punct de vedere tehnologic, distingem trei tipuri de parametri pentru procesul de imprimare 3D pe principiul FDM. Mai întâi sunt cei care stabilesc coordonatele procesului și parametrii de intrare în proces. Caracteristic în acest sens este faptul că acestea sunt setate la începutul procesului și nu se schimbă pe parcursul procesului. Din acest punct de vedere, trebuie luat în considerare materialul din care se va realiza reperul, cum ar fi, diametrul duzei care va fi utilizat pentru imprimare, rezoluția straturilor care urmează să fie generate (acestea au o influență majoră în timpul realizării piesei, dar au și influență asupra caracteristicilor suprafeței), temperatura la care are loc generarea (valoarea este de obicei indicată de producătorul materialului cu fire și determină debitul optim de material depus.

Al doilea tip este cel care asigură procesul de generare și este elementele numite ale parametrilor specifici procesului. Prima dintre acestea este densitatea fibrei care trebuie generată pentru zonele de referință (aceasta depinde de tensiunile care apar în fiecare dintre zonele în care piesa trebuie să se comprime sau să se întindă), a doua este viteza de umplere și perimetrul părții la care are loc generarea (aceasta are o influență asupra timpului de prelucrare, dar și asupra rezistenței piesei generate, de

creșterea sau reducerea secțiunii de material depus pentru generarea stratului de material) și altele asemenea.

Ultimele din acest lanț sunt cele care, din punctul de vedere al celor menționate, definesc rezultatele procesului de generare, care se mai numesc și parametri ai procesului de ieșire. Acestea pot include calitatea suprafeței generate, rugozitatea acesteia, dimensiunile obținute, poziția relativă a suprafeței importante generate și altele asemenea. Este important să luăm în considerare faptul că dacă primul tip de parametri nu se schimbă pentru un proces generator, al doilea tip de parametri poate fi schimbat în anumite limite pentru a obține rezultatul dorit, adică să se asigure că valorile cantităților de ieșire sunt atinse. Pentru o mai bună înțelegere a procesului de imprimare, vom prezenta în continuare două aspecte distincte ale procesului de generare a unui reper de plan. În (Figura 1.4.1.) este prezentat modul de generare a primului pentru elementul imprimat orizontal și vertical. Este posibil a se vedea structura suprafeței pentru fiecare dintre cele două părți și cum acestea au fost generate în zona de mijloc.

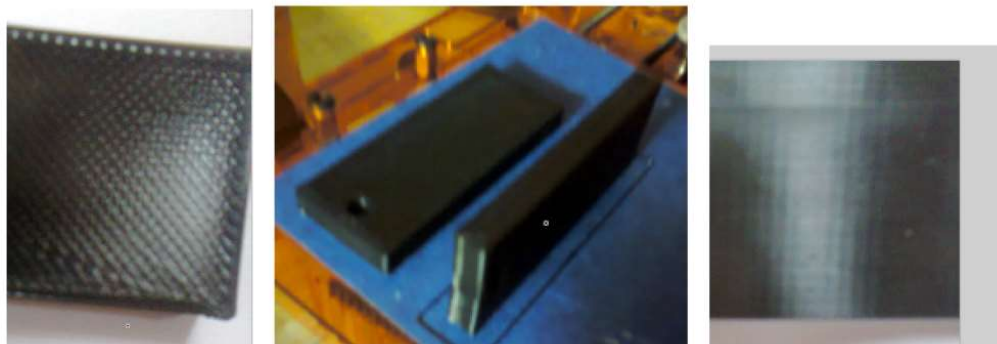


Fig.1.4.1. Generarea primului strat orizontal superior la stânga și verticală la dreapta foto pentru strat pentru 0,2 mm, 190 ° C

În (Figura 1.4.2.) este prezentată modul în care sunt generate două tipuri de componente, unul pentru sistemul de mișcare în direcție orizontală și două tipuri de element pentru structura de suport generate cu o imprimantă 3D de tip Fabrikator Mini la care materialul utilizat pentru imprimare a fost PLA. Dimensiunea suprafeței active pentru imprimare sunt dimensiunile de 80 x 80 x 80 mm care permit generarea de piese în care suprafața de imprimare nu este încălzită.



Fig.1.4.2. Generarea structurii de bază pentru un sistem de deplasare și structuri de sprijin

Etapele necesare pentru generarea piesei sunt prezentate în continuare. În primul rând, este generat de desen 3D piesă *stl*. După aceea se stabilesc parametrii de intrare identificați ca fiind relevanți pentru procesul de imprimare și care trebuie luați în considerare în procesul de imprimare:

- modul de generare a primului și ultimului straturi ale structurii pieselor care sunt generate;
- modul de generare a straturilor în structura de bază a piesei care trebuie generată;
- caracteristicile geometrice ale structurii care trebuie realizată în zona structurii de bază;
- viteza de imprimare a primelor straturi și a ultimelor straturi, cea a materialului de bază și periferia conturului care urmează să fie realizat;
- caracteristicile geometrice ale straturilor care trebuie generate atât în partea superioară / inferioară, cât și în partea centrală / periferică.

În (Figura 1.4.3.) este posibil să se observe procesul de generare a unei structuri de poziționare și montare pe partea stângă și suprafața frontală și structura interioară pentru o roată cu dinți duble, generată de imprimarea 3D.



Fig.1.4.3. Fabrikator mini în procesul de imprimare la stânga și structura interioară a roții la dreapta

Modificările procesului de imprimare în timpul acestuia este puțin posibil și relativ greu de realizat. Modificarea poate fi făcută numai prin oprirea procesului de generare și repornirea acestuia după efectuarea modificării prin introducerea mărimilor care se modifică. Trebuie remarcat, însă, că modificările pot fi făcute după simularea procesului de imprimare cu interfața computerului și analizarea acestuia, cu introducerea liniilor de programe sau a comenzilor suplimentare care vor fi verificate ulterior pentru a observa influența lor în faza de simulare. Oprirea însă a procesului de imprimare modifică proprietățile de plastifiere ale stratului pe care se imprimă cu modificări importante ale aderenței dintre straturile realizate prin imprimare. Acest lucru face ca dacă sunt două sau mai multe repere de imprimat să se recomande imprimarea succesivă a reperelor și nu simultană a straturilor imprimate pentru mai multe repere. Diferența menționată este vizibilă la reperul vertical (Figura 1.4.2.) care la partea inferioară este imprimat simultan cu cel orizontal și ulterior acesta menționat este imprimat până la finalizare singular.

Din punct de vedere al parametrilor de ieșire, îi vom enumera pe cei care trebuie să fie luați în considerare în ceea ce privește funcționalitatea pieselor obținute, dar și din punct de vedere al aspectelor economice legate de performanță în raport cu funcționarea viitoare de instalarea și utilizarea pieselor:

- caracteristicile suprafețelor exterioare ale pieselor confecționate;
- caracteristicile de poziționare, orientare și etanșare a suprafețelor care trebuie realizate;
- dimensiuni economice specifice procesului de imprimare, costul materiilor prime, consumabile etc.

1.4.2.2. Aspecte tehnologice ale imprimării de repere pe principiul DLP

Pentru a putea realiza studiul trebuie să concepeți mai întâi un model pentru a studia procesul de imprimare 3D DLP. Pentru a observa modul în care modifică suprafața și caracteristicile dimensionale au generat o sondă care este pătratul (*Figura 1.4.4.*). Generație realizată cu versiunea educațională *Fusion 360* [37.]. Volumul probei este de $4.044.524 \text{ mm}^3$ și suprafața este de $2.346,35 \text{ mm}^2$. Are o suprafață plană și respectiv inferioară. De asemenea, am generat două elemente specifice. Unul este un cilindru cu diametrul de 10 mm și altul o gaură cu diametrul de 5 mm.

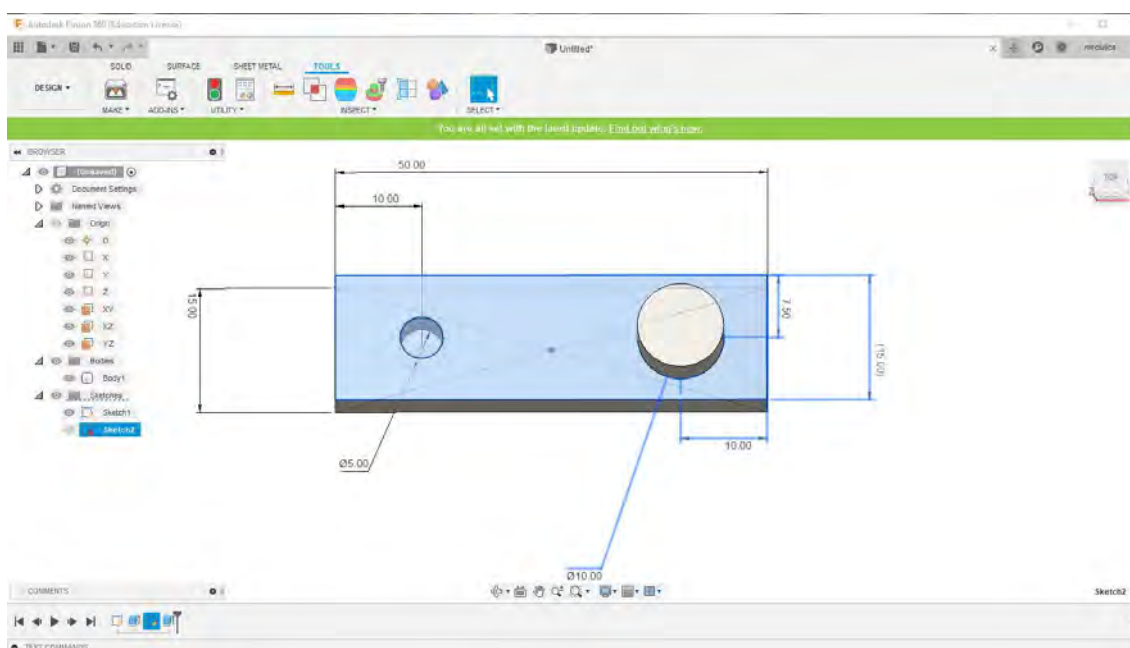


Fig.1.4.4. Probă generată CAD

Pentru generarea probei este necesară, deoarece se știe salvarea modelului 3D CAD generat într-o formă solidă cu o rezoluție specifică. În (*Figura 1.4.5.*) este prezentată generarea cu rezoluție înaltă. Diferența cu ceilalți depinde de rezoluția pe care o putem realiza în anumite condiții de generare a reperului care se supune procesului de imprimare 3D.

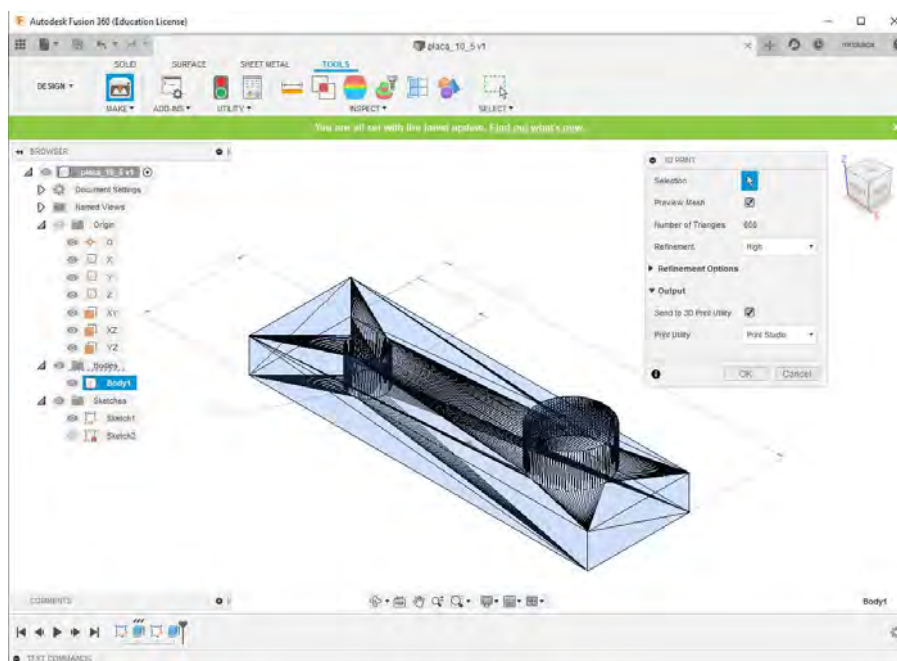


Fig.1.4.5. Probă generată cu rezoluție înaltă

Avem astfel de diferențe majore care vor fi evidențiate prezentate în realizarea părții finale a lucrării pentru a identifica optim din punctul de vedere al unei generații. În (tabelul 1.4.1.) a fost prezentat procesul specific de generare a datelor atât pentru gaură cât și pentru cilindru.

Tabel 1.4.1. Valori pentru cilindru și orificiu pentru piesa generată

Refinement	Number Triangles	Circular points		Arc length circle	
		Cylinder	Hole	Cylinder	Hole
High	680	57	40	0,55	0,39
Medium	392	55	38	0,57	0,41
Low	256	49	24	0,64	0,65

Din analiza datelor, este posibil să vedem că pe măsură ce diametrul crește numărul de puncte crește pentru a genera rezultate. Diferența de puncte între piesele cu o precizie mai mare spre mijloc este mai mică decât cea care se află în zona de precizie scăzută. Cercul lungimii arcului este determinat prin împărțirea cercului lungimii perimetrice la numărul de puncte. Se poate observa că lungimea arcului scade pe măsură ce crește rezoluția.

Precizia DLP de generație imprimată 3D este de 47 microni. Este posibil să se observe că numărul de puncte care va fi mai mic pentru un arc liniar pe măsură ce rezoluția crește.

Pentru imprimarea 3D a probei se folosește o imprimantă 3D tip *Anycubic Photon* [38.] (Figura 1.4.6.).

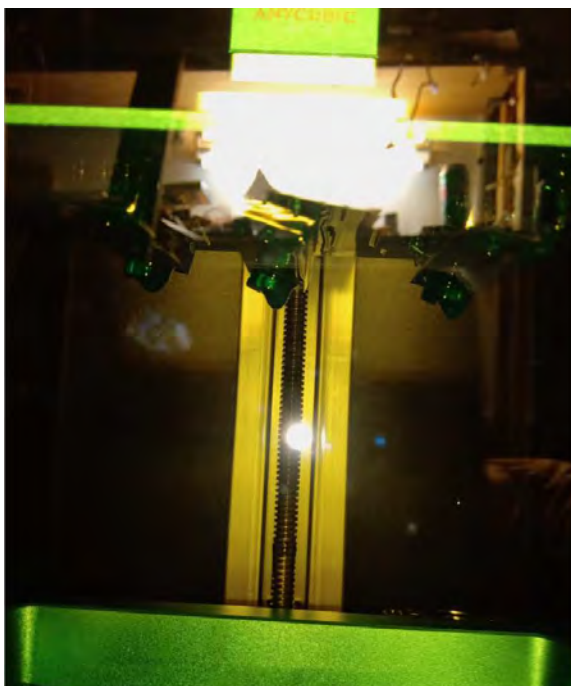


Fig.1.4.6. AnyCubic Photon 3D utilizat pentru generarea probei

Caracteristicile importante pentru imprimarea probei pentru această imprimantă sunt:

- dimensiunea de imprimare 115x65x155 mm;
- înălțimea stratului 25 la 100 micrometri;
- ecran LCD;
- XY DPI 47 micrometri;
- rezoluție axa Y 1,25 micrometri;
- viteză de imprimare sugerată 10 la 20 mm/oră.

Pentru imprimarea probelor se folosește o rășină specifică pentru acest tip de imprimantă. Culoarea sa a fost verde transparent [39.]. Caracteristicile acestei rășini sunt:

- lungimea de undă de solidificare este 405 nanometri;
- tipul de duritate este D79;
- tensiunea de rupere este 23,4 MPa (26 la 52 MPa);
- alungirea este 14,2% (11 la 20%);
- timpul de expunere strat suport 20 la 60 secunde;
- timpul de expunere strat 5 la 15 secunde;
- densitatea în stare solidă 1,05 la 1,25 g/cm³;
- vâscozitatea la 25° este 150 la 250 MPa*s.

Se poate observa că generarea se face vertical de jos în sus. Pentru generare este necesară o aderență la suprafață pe placa dreptunghiulară plată a imprimantei. De asemenea, sunt necesare elemente de susținere ale probei care vor trebui să asigure o forță de tractare suficient de mare pentru a asigura rezistența mecanică în timpul generației (Figura 1.4.7.). Este posibil să vedeți că anumite programe care

propun ambele CAM (Computer Aided Machine) au o versiune de orientare optimă a probei și modul de aranjare a suportului automat. În cazul menționat sunt utilizate pentru generarea soluției CAM Print Studio de la Autodesk [40.] și o imprimantă 3D Ember [41.] pentru setarea generării.



Fig.1.4.7. Poziția și suporturile pentru proba generată pentru imprimanta Ember cu programul Photo Studio

Importanța elementelor de sprijin este dublă față de celelalte puncte de vedere în raport cu cel precedent. Prima este legată de deformarea la suprafața de contact a suporturilor cu sonda. În ceea ce privește elementele constructive pentru susținerea probei, este posibilă generarea după mai multe tipuri de secțiuni geometrice.

Suporți sunt în mod obișnuit de tipul cilindric (*Figura 1.4.8.*). Este posibil să vedem din imaginea prea mare că din punct de vedere al structurii geometrice este compus din trei părți. Un plan inferior sau cilindric uzual folosit ca bază. Al doilea intermediar după tipul cilindric cu dimensiunea mai mică a bazei. Ultima este cea mai importantă, deoarece acestea sunt în contact cu suprafața probei, care poate fi conică sau piramidală. Un aspect important de remarcat este faptul că utilizarea programului furnizat cu imprimanta în generarea automată sunt probleme în partea laterală a probei. Pe partea din stânga (*Figura 1.4.8.*), elementele de susținere suportă doar parțial suprafața generată. Datorită acestui fapt, preferă să fie generate manual elemente, caz în care putem dispune cu orientare verticală la suprafață sau pe partea orientată, așa cum se arată în (*Figura 1.4.8.*) din dreapta.

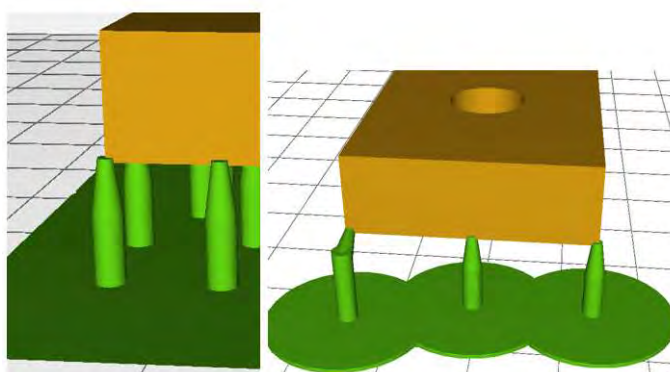


Fig.1.4.8. Structura geometrică a elementelor constructive pentru sonda generată

Al doilea este determinat de poziția lor pentru a preveni pierderea contactului între zonele libere la generarea continuă a probei. În (Figura 1.4.9.) sunt generate sonda care sunt poziționate pentru a genera ecranul de generarea straturilor. Valoarea de generare sunt:

- volumul de rășină 14,6 ml;
- timpul de imprimare 1 ora și 29 minute;
- înălțimea stratului 0,05 mm;
- numărul de straturi pentru generare reper 349;
- numărul de straturi la partea inferioară 8 cu timp de întărire 50 secunde;
- durată de expunere strat reper 8 secunde.

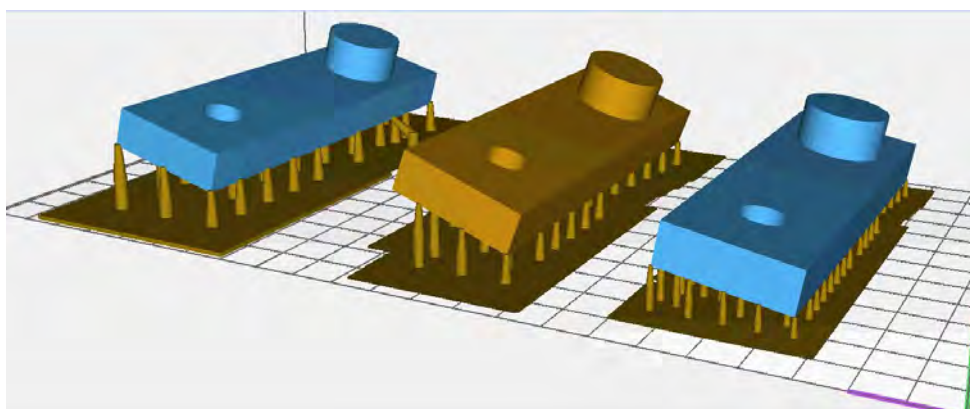


Fig.1.4.9. Probă la rezoluție înaltă stânga 20°, rezoluție medie mijloc 30°, rezoluție scăzută dreapta 15°

Trebuie remarcat faptul că modificarea tipului de suporturi are un efect atât asupra grosimii stratului de aderență, cât și asupra aranjamentului și a secțiunii suporturilor.

Procesul de realizare a probei este dependent de parametrul tehnologic, care poate genera influențe în procesul de imprimare. Prima este orientarea probei, în al doilea rând tipul de suport și după aceea sunt tipul de elemente pentru adăugarea suplimentului sau contracția în dimensiune a piesei. Pentru FDM (Fuse Deposit Processing) au fost realizate studii similare [43., 44.]. Valoarea tehnologică de tipărire este determinată de solidificarea rășinii și nu diferă pentru poziția sau orientarea probei.

Influența este determinată de orientarea probei în raport cu direcția verticală de generare. În (Figura 1.4.10.) elementele specifice pentru eșantionul la care au fost eliminate elementele de susținere. Probele realizate prin dispunerea unui element dreptunghiular specific cu orientare în cele patru poziții specifice.

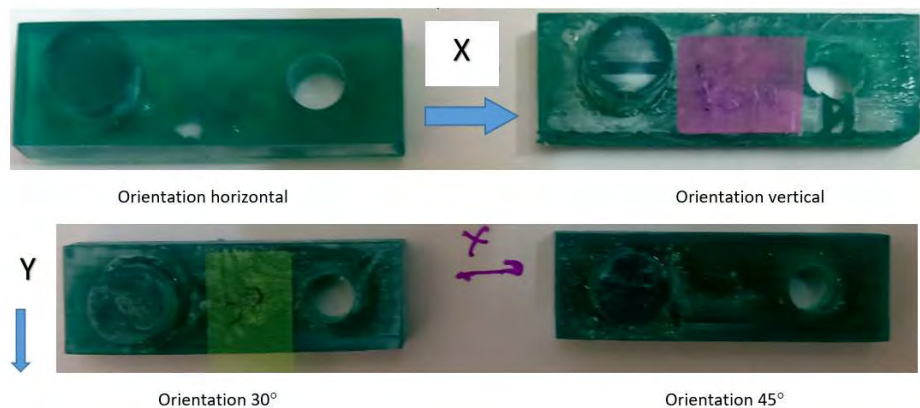


Fig.1.4.10. Probă tip 1 fără suporta de generare

În (Figura 1.4.11.) este posibilă vizualizarea eșantioanelor după generarea cu suporta.

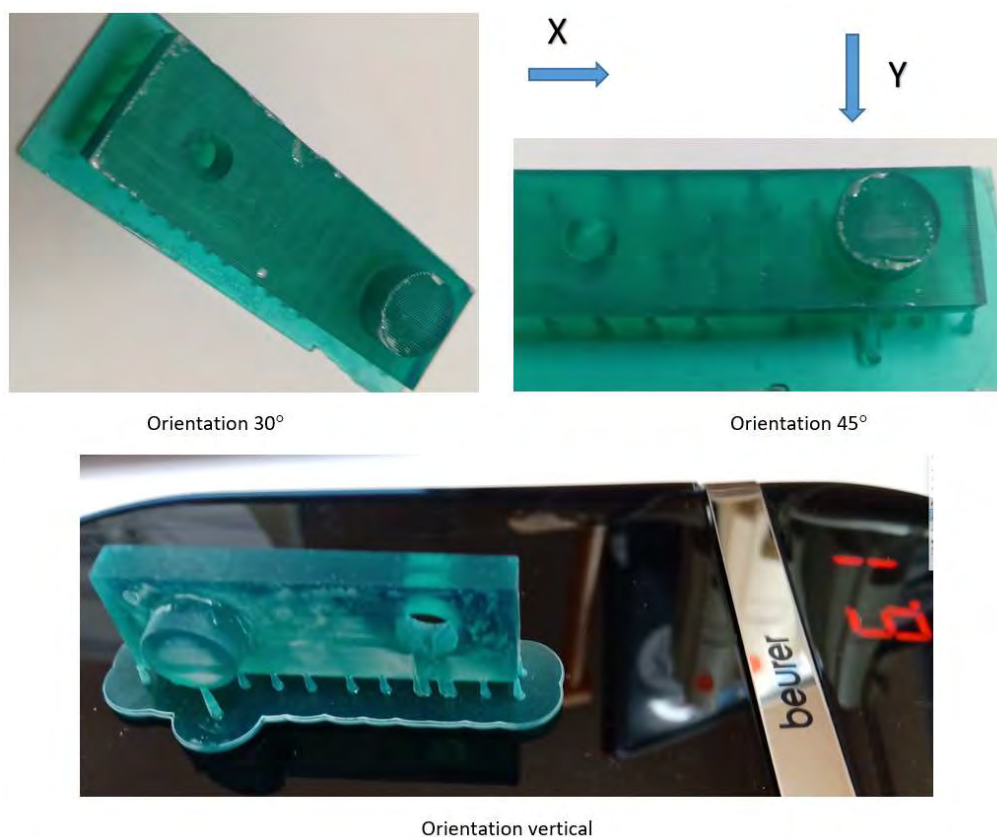


Fig.1.4.11. Probă tip 1 cu suporta de generare

Poziționarea pentru măsurarea greutății eșantionului pe care s-a observat cabina pentru poziția verticală. Direcția X și Y pentru măsurarea dimensională prezentată în ambele figuri. În (Tabelul 1.4.2.) s-a prezentat valoarea probei de masă cu suport și după eliminarea elementelor de sprijin în raport cu greutatea totală a probei.

Tabel 1.4.2. Datele mase probei generate

Orientation	Mass in grams		
	Printed	Probe	Supports
Horizontal	7,1	5,2	1,9
Vertical	6,1	5,0	1,1
10° orientation T2	6,5	5,5	1,0
20° orientation T2	8,3	5,5	2,8
30° orientation T2	7,6	5,5	2,1
30° orientation T1	6,7	4,8	1,9
45° orientation T1	7,6	4,9	2,7

Se poate observa că diferența dintre probele verticale sau orientate nu este mare. Proba orizontală pe partea anterioară se poate observa că suprafața nu este perfect plană. Con tracția este cauzată de modul de generare 3D prin imprimare și de comportamentul neegal al rășinii la imprimare. T1 are 45x15x5 mm, iar T2 are 50x15x5 mm.

În (Figura 1.4.12.) este reprezentată variația grafică a elementelor de susținere a masei în raport cu greutatea totală a articolului. Pentru ecuația de complot și regresie se utilizează EXCEL 2013 Versiunea educațională [42.].

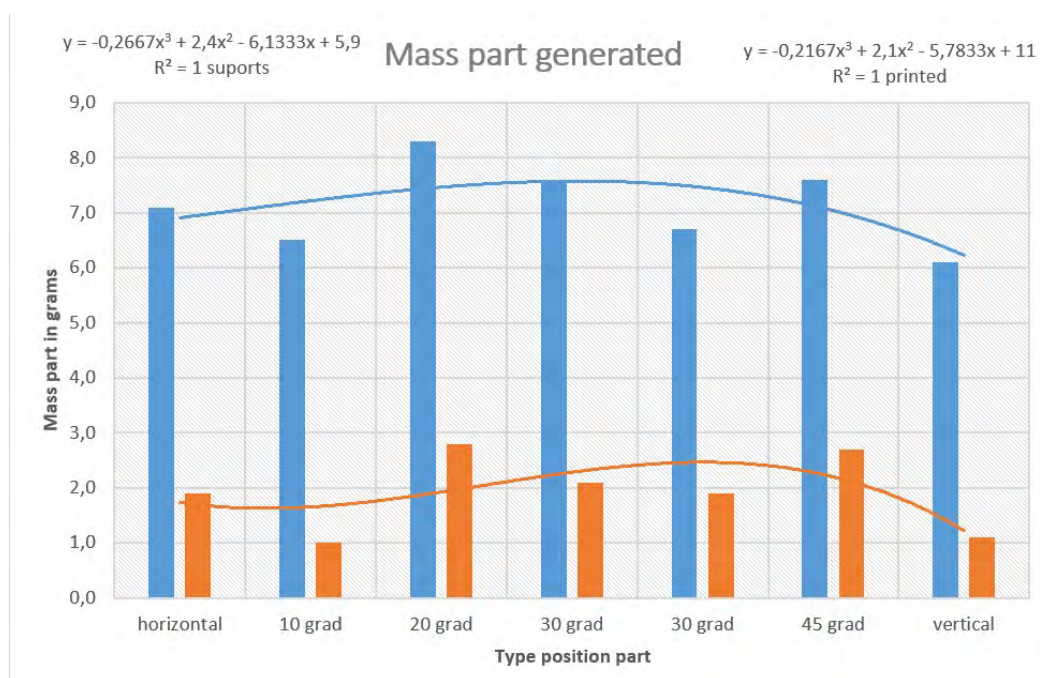


Fig.1.4.12. Graficul de variație al masei probei imprimate 3D

Din reprezentarea grafică a evoluției masei, se poate observa similaritatea dintre cele două ecuații de regresie. Putem spune despre un rezultat că poziționarea probei are influență asupra consumului suplimentar de material. Vom putea determina pe baza aceasta costul imprimării pentru o anumită orientare a reperului obținut.

Este posibil să vedem în (Figura 1.4.13.), dar și în (tabelul 1.4.2.) că pentru o sondă orientată la 30 de grade cu suport mediu și dur, avem o diferență de 0,7 grame pe suportul de imprimare 3D.

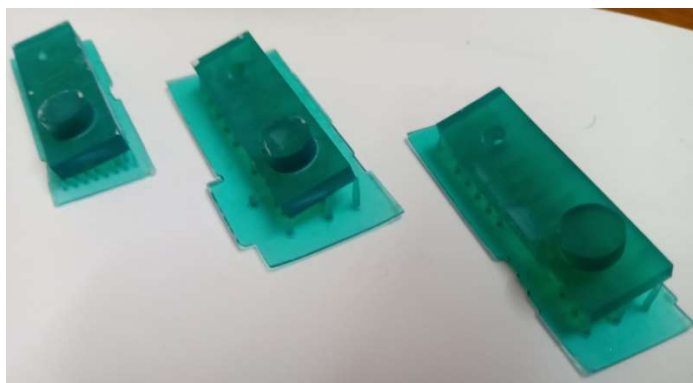


Fig.1.4.13. Probă tip 2 cu suport

Este, de asemenea, evident că pentru suportul de mediu o creștere a materialului de susținere în raport cu versiunile care acceptă ușor sau greu 10° respectiv 30° . Valoarea minimă a suporturilor este de 1,0 grame pentru 10° , iar valoarea maximă de 2,8 grame pentru 20° . Valoarea medie și medie sunt 1,9 grame pentru poziția orizontală și 30° .

Se poate observa din reprezentarea graficului (Figura 1.4.14.) că masa are o creștere până la mijlocul piesei tipărite cu suporturi. Ecuația de regresie $R = 1$ este o valoare bună, iar ecuația este polinomială în două grade.

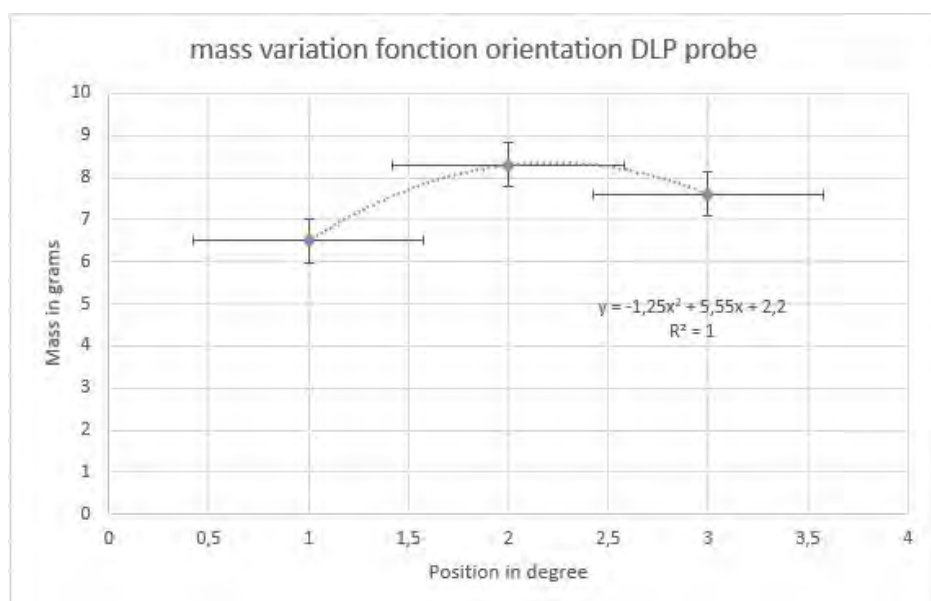


Fig.1.4.14. Variația grafică a masei pentru proba de orientare T2

Dacă generarea pieselor cilindrice este posibil să se vadă că pentru generarea DLP de imprimare a unui cerc, rezoluția versiunii, generarea cu rezoluție scăzută este în raport cu cea a procesului de imprimare. În (Figura 1.4.15.) este posibil să vedeți linia cercului generată la periferia unui cilindru deasupra periferiei sale.

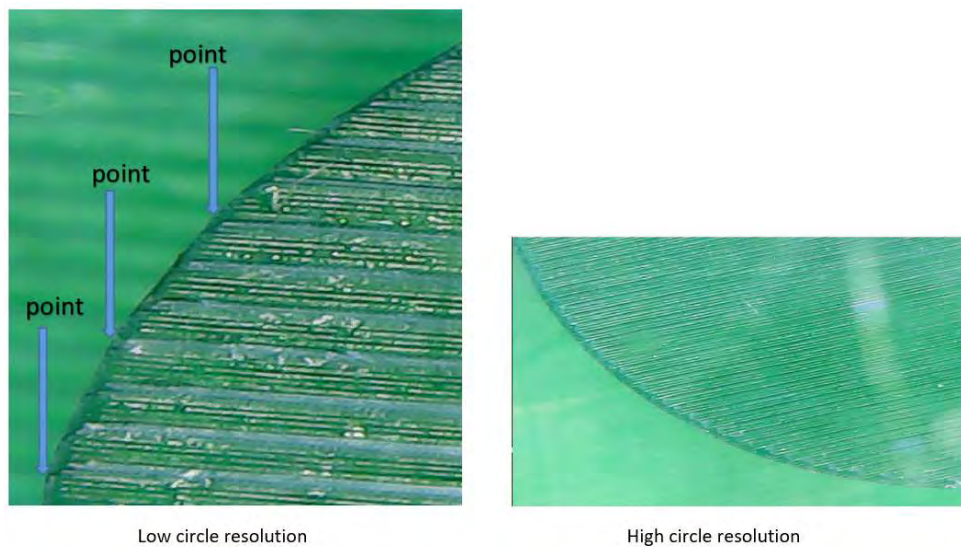


Fig.1.4.15. Probă generată cu rezoluție scăzută stânga și ridicată dreapta

Pentru cazurile cu rezoluție înaltă, punctele generate sunt aproape în poziție dreaptă și pentru rezoluție scăzută în poziția stângă. Pentru acest caz distanța punctului este relativ mare. Din (Figura 1.4.15.) s-a observat că geometria părții cilindrice completate este în concordanță cu ipotezele avute în vedere la realizarea modelului solid.

Dacă generarea pieselor cilindrice este posibil să se vadă că pentru DLP de tipărire, generarea unui cilindru dimensiunea imprimată depinde de orientarea probei tipărite (Tabelul 1.4.3.). Din (Figura 1.4.16.) se poate observa că diferența maximă de deviere față de forma cilindrică are ca rezultat poziția de generare verticală a corpului cilindric.

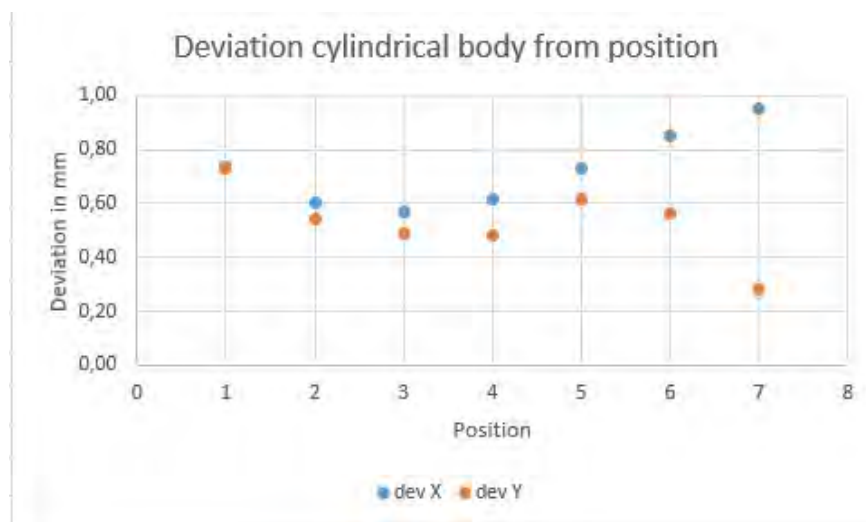


Fig.1.4.16. Abaterea grafică pentru corpul cilindric

Tabel 1.4.3. Date pentru partea generată de cilindri

Position	Design	Length			
		X	Y	Dev X	Dev Y
horizontal	10	10,74	10,73	0,74	0,73
10 grad	10	10,60	10,54	0,60	0,54
20 grad	10	10,57	10,49	0,57	0,49
30 grad	10	10,62	10,48	0,62	0,48
30 grad	10	10,73	10,62	0,73	0,62
45 grad	10	10,85	10,56	0,85	0,56
vertical	10	10,95	10,28	0,95	0,28

Dacă generarea pieselor orificiului este posibil să se vadă că pentru DLP de tipărire, generarea unei găuri dimensiunea imprimată depinde de orientarea probei tipărite (*Tabelul 1.4.4.*). Din (*Figura 1.4.17.*) se poate observa că diferența maximă de deviere față de forma orificiului are ca rezultat poziția de generare verticală a corpului orificiului.

Tabel 1.4.4. Date pentru partea generată de orificiu

Position	Design	Length			
		X	Y	Dev X	Dev Y
horizontal	7,5	6,99	7,03	-0,51	-0,47
10 grad	5	4,93	4,87	-0,07	-0,13
20 grad	5	4,96	5,02	-0,04	0,02
30 grad	5	4,94	4,91	-0,06	-0,09
30 grad	7,5	7,05	6,84	-0,45	-0,66
45 grad	7,5	7,05	6,66	-0,45	-0,84
vertical	7,5	7,15	6,12	-0,35	-1,38

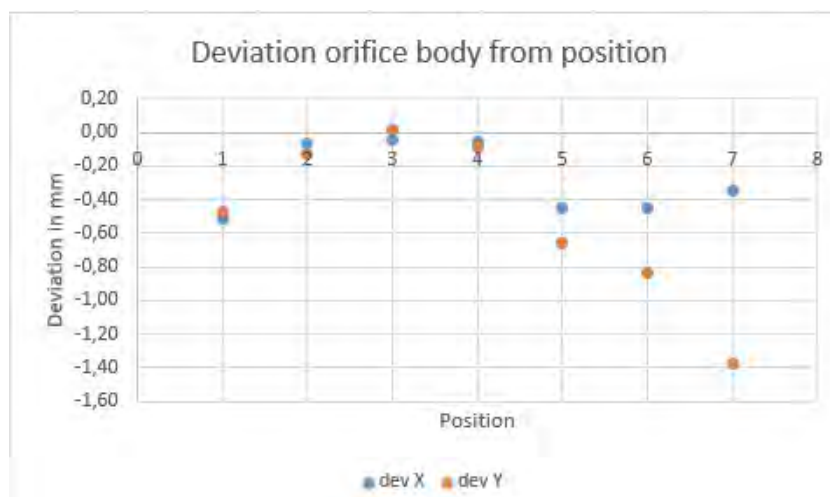


Fig.1.4.17. Abaterea grafică pentru orificiu

Pentru partea cilindrică, este o abatere pozitivă de la dimensiunea imprimată în opoziție cu dimensiunea geometrică. Pentru partea de orificiu este o abatere negativă. Ambele se datorează fenomenelor de reflectare sau refracție în timpul generării întăririi rășinii cu fascicul luminos.

Pentru părțile plane, generația este posibilă pentru a vedea că pentru generarea DLP de tipărire a unei lungimi (*Tabelul 1.4.5.*) abaterile maxime sunt pentru poziția orizontală și minim pentru 30 de grade.

Tabel 1.4.5. Date pentru lungimea pentru partea de generare

Position	Type	Length		
		Design	Printed	Deviation
horizontal	1	45	47,58	2,58
10 grad	2	50	52,55	2,55
20 grad	2	50	52,50	2,50
30 grad	2	50	52,48	2,48
30 grad	1	45	47,38	2,38
45 grad	1	45	47,46	2,46
vertical	1	45	47,57	2,57

În (*Figura 1.4.18.*) este reprezentată variația grafică a dimensiunii lungimii probei. Din reprezentarea grafică a evoluției lungimii, se poate observa variația dimensiunii pentru poziția diferită a probei și ecuațiile de regresie pentru generarea probei pe masa de imprimare.

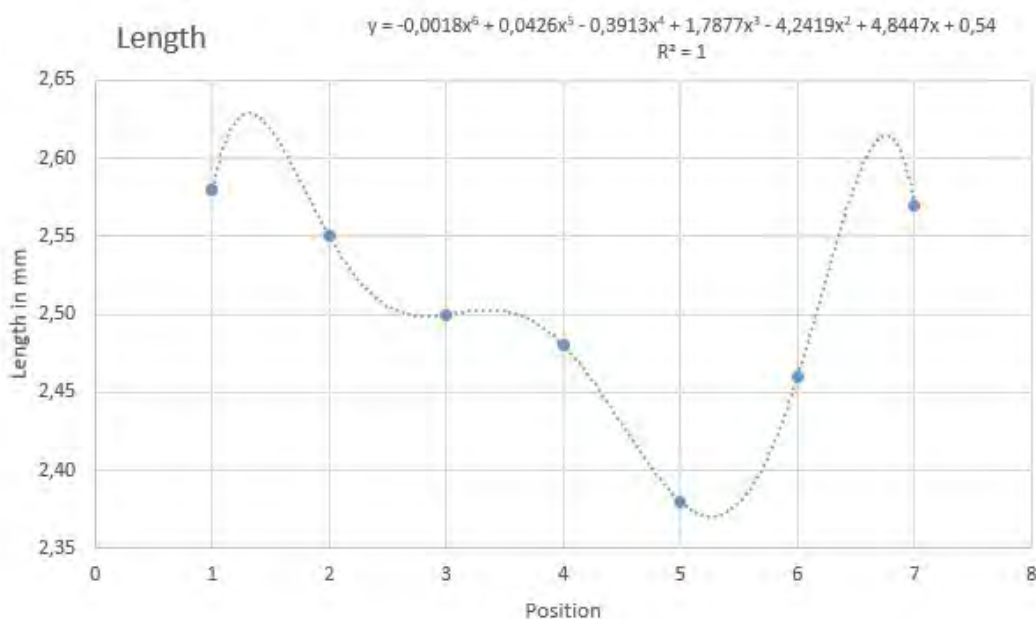


Fig.1.4.18. Variația grafică a piesei tipărite în lungime

Din reprezentarea grafică a evoluției masei, se poate observa similaritatea dintre cele două ecuații de regresie. Putem spune despre un rezultat că poziționarea eșantionului are influență asupra consumului suplimentar de material. Vom putea determina pe baza costului său pentru o anumită orientare a markerului obținut.

În (*Tabelul 1.4.6.*) este posibil să se vadă valoarea abaterii pentru cele trei părți lineare generate pentru o sondă plană a corpului.

Dacă a fost făcută o comparație între cele trei dimensiuni liniare ale probei geometrice tipărite, este posibil să observăm (*Figura 1.4.19.*) că pentru lungime abaterea este aceeași pentru toate pozițiile. Pentru lățime, abaterea este mare la poziția orizontală și mai mică la poziția verticală.

Pentru înălțime, abaterea nu este foarte diferită pentru toate pozițiile.

Tabel 1.4.6. Date pentru trei părți liniare pentru partea de generare

Position	Length	Width	Height
horizontal	2,58	1,10	0,31
10 grad	2,55	0,84	0,33
20 grad	2,50	0,83	0,34
30 grad T1	2,48	0,80	0,30
30 grad T2	2,38	0,70	0,19
45 grad	2,46	0,60	0,50
vertical	2,57	0,23	0,50

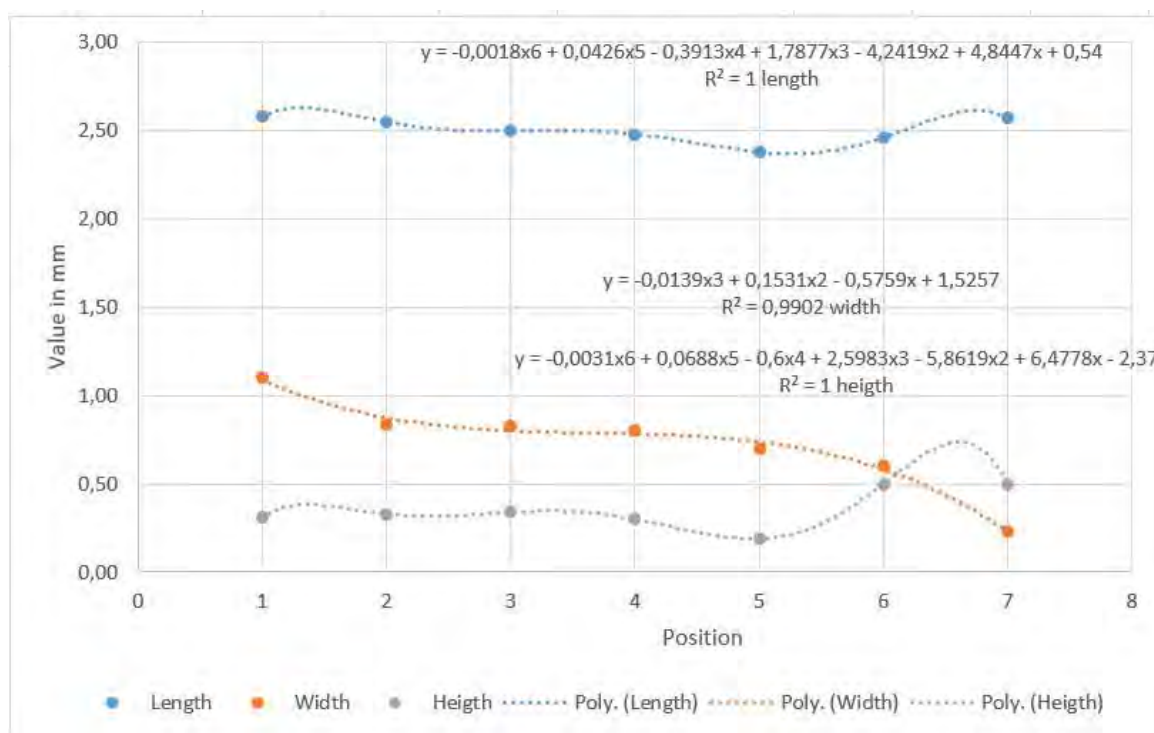


Fig.1.4.19. Graficul elementelor liniare ale unei probe

2. Metode de generare a reperelor, subansamblurilor sau ansamblurilor prin tehnologia de imprimare 3D

2.1. Scurt istoric asupra activităților realizate în domeniul prelucrărilor de imprimare 3D

Activitatea de cercetare în domeniul de realizare a reperelor prin imprimare 3D a fost inițiată în ultima parte a activității prezentate în această teză. Primele cercetări au avut în vedere procedeele de prelucrare la care materialul este depus în straturi prin procedee tehnologice de plastifiere controlată a materialului. Activitatea de cercetare a fost organizată sistematic și comunicată în decursul timpului la

mai multe sesiuni internaționale de comunicări științifice, dar în același timp publicată în reviste indexate ISI respectiv BDI. Acestea au fost centralizate în cadrul activităților din capitolul 2.

Astfel din punctul de vedere al lucrărilor ISI Activitatea 2.1 menționăm cele de la pozițiile 2 la 4 pentru procedee de imprimare prin termoplastie și respectiv 1, 5 la 7 pentru procedee de imprimare cu rășină de tip DLP.

Din punct de vedere al lucrărilor BDI Activitatea 2.2 evidențiem cele de la pozițiile 9 la 13 pentru procedee de imprimare prin termoplastie și respectiv 1 la 7 pentru procedee de imprimare cu rășină de tip DLP.

Trebuie arătat că autorul tezei are în vedere extinderea cercetărilor pe direcția procedeelor de imprimare 3D prin fotopolimerizare cu fascicul laser, dar și pe cea de termoplastie prin topire localizată cu fascicul laser.

2.2. Determinarea experimentală a factorilor specifici procedeului de imprimare 3D pentru repere realizate pe principiul FDM

În lucrarea [45.] sunt abordate aspectele modului în care sunt modificate caracteristicile de suprafață, dar și dimensionale ca și factori de ieșire din procesul tehnologic de imprimare 3D de tip FDM. Studiul a fost organizat luând în considerare un reper paralelipipedic. Procesul de generare pentru o generare a reperului în plan se bazează pe desenarea unei schițe, care este apoi extrudată după direcția verticală permite obținerea volumului piesei. În (*Figura 2.2.1.*) se poate observa planul de generare al schiței și piesa generată și unde sunt puse valorile dimensionale nominale ale acestui element realizat 3D.

Generarea a fost făcută cu programul *Inventor 2017* versiunea educațională. Faza de generare este importantă și, de obicei, trebuie să fie urmată de o fază de verificare a desenului generat de 3D și salvată într-un tip standard *stl*. Verificarea dimensiunilor geometrice ale elementelor generate este foarte importantă. De obicei, în practica părții de generare, cota nominală este valoarea la care este generată acea piesă. Valorile tolerate pentru generarea acestora sunt puse în documentația de execuție cu limitele sale. Se recomandă ca valoarea nominală a dimensiunii, să fie efectiv la valoarea nominală la care trebuie să fie adăugată cantitatea de abatere a contracției, astfel încât documentația 3D generată efectiv să aibă după contracție valoarea funcțională. Se poate verifica apoi dacă pentru realizarea ansamblului se poate modifica dimensiunea piese relative sau fixe, fiind capabil să realizeze constrângerile impuse de mișcarea relativă sau poziționarea relativă a pieselor. Astfel, se poate observa că este foarte important să cunoaștem cu exactitate contracția materialului după direcții de generare pentru a obține necesarul condiții [46., 47.]. În cele din urmă, dar nu ultimul pas în imprimarea 3D, este un rol important în controlul generării codului de program pentru partea realizată pe imprimantă. În acest caz, se verifică atât codul G (*Figura 2.2.2.stânga.*) pentru generare cât și generație cum se desfășoară prin simulare (*Figura 2.2.2.dreapta.*).

Foarte des pentru realizarea unor repere se vor face corecții manuale pentru modelul de calitate a suprafeței. Părțile 3D din procesul de generare trebuie verificate pentru a avea rugozitatea necesară funcțional pentru suprafețele care vin în contact. O rugozitate mai mare poate provoca pierderi mai mari prin frecare sau nervuri mai mici decât minimul necesar care va cauza pierderea rigidității și erorilor funcționale în procesele de asamblare manuală. De obicei, în stratul de imprimare 3D, grosimile sunt alese pentru a determina rugozitatea suprafeței este mai mică decât minimul necesar în ceea ce privește cinematică.

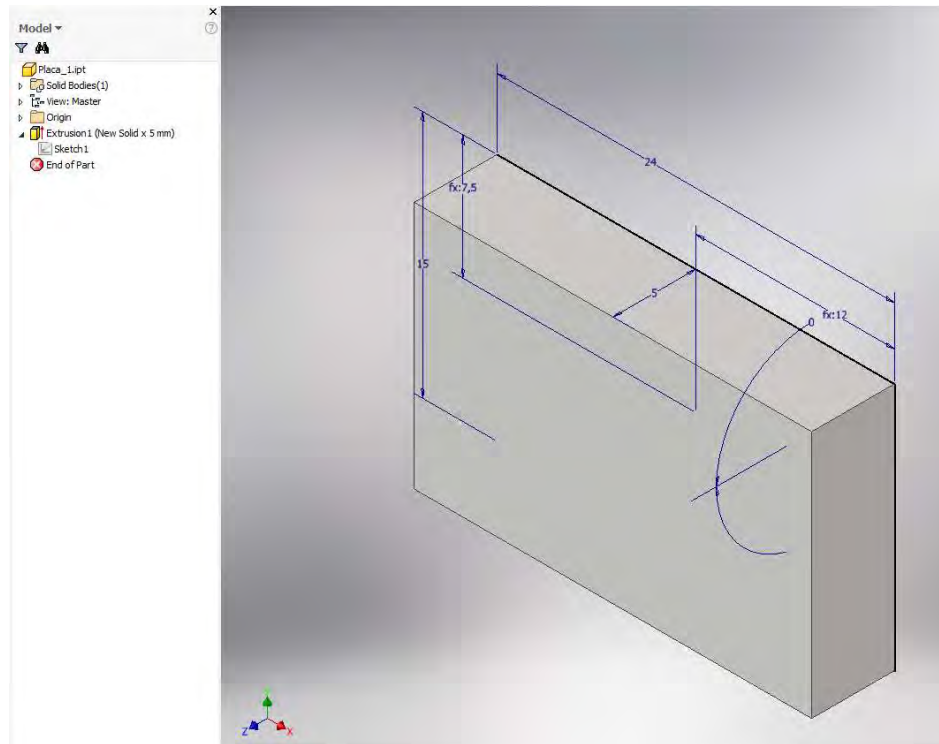


Fig.2.2.1. Reper generat 3D pentru studierea factorilor de imprimare FDM 3D

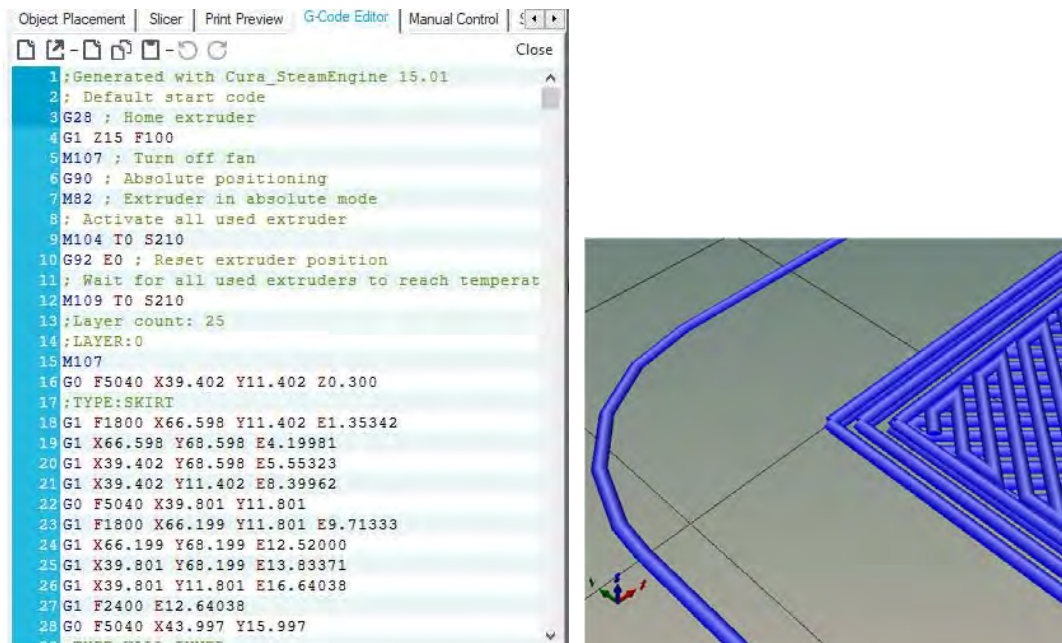


Fig.2.2.2. GCode strat unu stânga și simularea primului strat dreapta FDM 3D

Pentru partea de generare a stratului, au fost utilizate două programe Cura 3.0.4 [48.] și Slic3R 1.2.9 [49.] pentru a asigura generarea pieselor și respectiv vizualizarea comparativă a parametrilor de generare. Partea de control a mașinii a fost realizată folosind programul Repetier Host 2.0.5 [50.] adaptat la imprimanta utilizată pentru generarea. Au arătat că există două tipuri de straturi, și anume partea superioară și inferioară prezentată în Figura anterioară și că zona centrală este atribuită unuia sau mai multe linii periferice pentru generarea piesei care poate fi văzut în (Figura 2.2.3.).

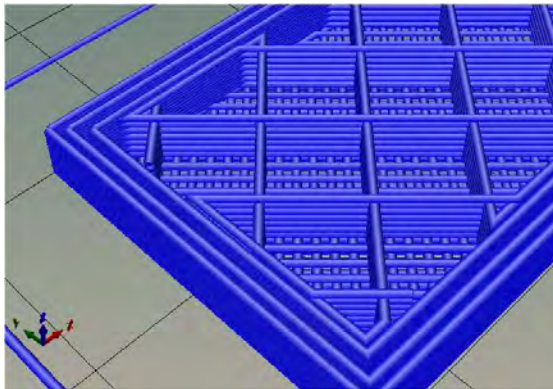


Fig.2.2.3. Simularea unui strat intermediar FDM 3D

Din punctul de vedere al obținerii pieselor plate, metodele eficiente sunt diferite, iar costurile pieselor generate, acestea sunt diferite. Având în vedere principiile impuse pentru reciclare, se poate spune că procesul de generare 3D satisface condițiile menționate mai sus. Deci, din punctul nostru de vedere procese precum FFF (Fused Filament Fabrication) sau FDM (Fused Deposition Modeling) sunt cele mai bune, nici tipul SLS (Selective Laser Sintering) sau noile variante SLA/DLP nu pot fi neglijat. Aceste metode de punere în aplicare a pieselor bazate pe operarea de a genera straturi succesive de material la prima realizată prin topirea și depunerea materialului sub formă de rețea de sârmă împletită, iar în al doilea caz sub formă de particule sferice legate între ele, punctele sudate cu fascicul laser sunt baza procesului. Un aspect important care nu trebuie ignorat este emisia de particule și gaze în mediu în timpul procesului de generare a pieselor. Dacă FFF sau FDP nu generează particule sau emisii de gaze și elemente termice independente de gaz sau material depus efectiv pe strat pentru o parte generată de SLS, care generează ambele particule în suspensie în aer, prin faptul că materialul utilizat pentru imprimare este tipul granular și cu utilizarea fasciculul laser pentru a produce sudarea particulelor este generat gaz care prin fenomenul de vaporizare a materialului în procesul topit particulele este eliberat în aer și gazul ca urmare a fenomenului de evaporare și topire a unui controlat particule depuse. Din testele experimentale, dar și din rezistența la tracțiune a pieselor generate, un rol semnificativ în generarea straturilor are alegerea parametrilor pentru piesa realizată. Câțiva parametri care pot avea influență directă sunt parametrii intrinseci care sunt stabiliți pentru generarea procesului la începutul piesei realizate, alții sunt cei legați de generarea și nu în ultimul rând sunt parametrii legați de elementele de rezistență și costurile de procesare.

O împărțire a acestor parametri ne va permite să vedem care dintre ele sunt importante din punct de vedere economic/rezistență și care sunt importante în ceea ce privește generarea straturilor de material după caracteristicile suprafeței și dimensiunii.

Parametri constructivi ai echipamentelor folosite la generarea straturilor sunt:

- *diametrul duzei* este un parametru constructiv important care poate influența atât calitatea imprimării, cât și costul/rezistența pieselor generate. Cu cât diametrul este mai mare cantitatea de material depus pe suprafață este mai mare, dar și grosimea fișierului rezultat va crește odată cu scăderea calității suprafețelor generate. Pentru diametrul duzei de 0,4 mm, grosimea peretelui interior al stratului generat este de 0,5 mm. Viteza de generare a fost de 50 mm/s. Grosimea peretelui exterior care este generat de două linii perimetrice dispuse una lângă alta este de 0,87 mm. Viteza de generare a peretelui exterior a fost de 35 mm/s. Se poate observa dependența diametrului duzei și a celorlalte dimensiuni care trebuie obținute. În cercetări suplimentare, vom folosi duza cu grosimi cuprinse între 0,2 mm și 0,6 mm;
- *înălțimea stratului* generată depinde atât de volumul de material depus pe unitate de suprafață, cât și de considerente economice. Un strat mai mare înseamnă o grosime mai mare cu o suprafață mai mică cu o precizie mai mică, dar o generare cu costuri mai mici. Alegerea acestui parametru depinde de viteza de imprimare și de diametrul duzei. O imprimare cu viteză mai mare pe lungimea unității va reduce grosimea generată și, implicit, grosimea obținută. Din duză diametrul valoarea recomandată este de 1/4 la 2/1. Rețineți, de asemenea, că înălțimea depinde de sistemul de avans vertical în trepte, pe care imprimanta a fost utilizată pentru a produce 0,1 mm. Pentru a vedea dacă există vreo influență asupra calității suprafeței generate și a geometriei piesei, au fost generate trei părți identice cu o viteză de imprimare de 50 mm / s la interior și 35 mm / s la exterior și cu umplutură densitățile fișierului la 20% la temperatura de imprimare de 220 ° C. Valorile sunt centralizate în (*Tabelul 2.2.1.*). Pe baza acestor valori, a fost determinată relația de regresie matematică cea mai apropiată de valorile dimensionale obținute după tipărire. Din analiza valorilor determinate, se poate observa că cea mai mare influență a grosimilor stratului de generație este mare asupra rugozității (*Figura 2.2.4.*) și a înălțimii părții de direcție Z (*Figura 2.2.5.*) și, respectiv, mai mică în direcția orizontală Y pe longitudinală și X pe transversală. Ecuația de regresie este de tip exponențial și este de gradul doi.

Tabel 2.2.1. Rugozitatea și devierea dimensională pentru înălțimea stratului pentru piesă plană

Number	Height in mm	Roughness Ra in micron	X in mm	Y in mm	Z in mm	Obs.
1	0,1	3,06	20,07	49,19	5,21	
2	0,2	5,02	20,04	49,17	5,25	
3	0,3	10,5	20,09	49,45	5,37	

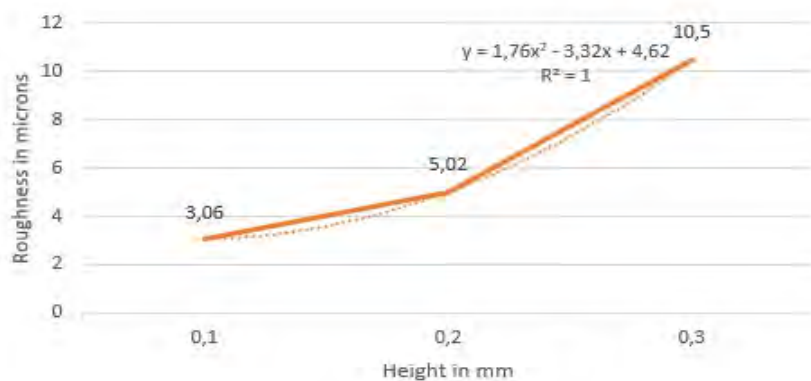


Fig.2.2.4. Rugozitatea Ra în funcție de înălțimea stratului

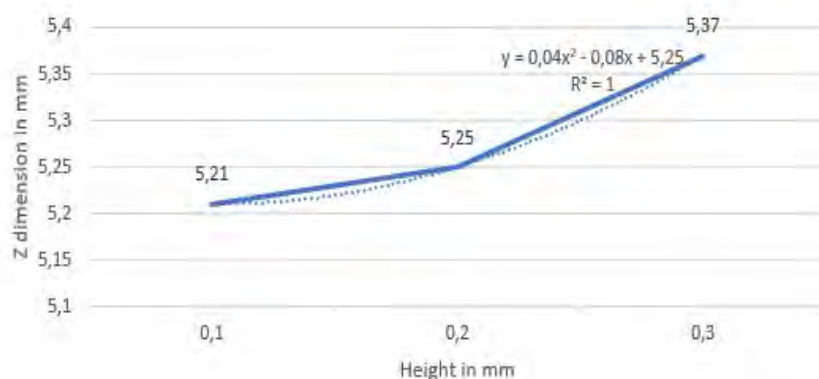


Fig.2.2.5. Dimensiunea după Z a elementului în funcție de înălțimea stratului în funcție de înălțimea stratului

- viteza de imprimare este un parametru important în ceea ce privește grosimea, grosimea și caracteristicile piesei care urmează să fie tipărită. O viteză mică asigură o împingere mai bună a materialului în spațiile dintre rețeaua de fire. O viteză mai mare asigură o piesă de tracțiune mai rapidă cu un material cu densitate mai mică și un volum de unitate mai mic. Valorile recomandate sunt cuprinse între 30 mm/s și 120 mm/s. În procesul realizat al piesei există două viteze distincte. Unul care este mai mare și este recomandat pentru partea interioară a generației de referință și unul care este perimetrul exterior pentru piesele exterioare. Raportul dintre ele recomandat, deoarece unele generații de programe sunt 1,43 (50 mm / s interior și 35 mm / s în exterior pentru partea generată pentru acest studiu);
- temperatura tipăririi și temperatura materialului de sprijin al structurii. Acesta este un parametru important în proces, în special pentru procesele FFF și FDM. Acest lucru

depinde de proprietățile fișierelor utilizate. Pentru studiul din (Tabelul 2.2.2.) am stabilit determinarea parametrilor dimensionali și de rugozitate pentru valori de temperatură o valoare de deviere de 10 ° C. O temperatură mai ridicată asigură un flux mai bun (Figura 2.2.6.) și tensiuni interne mai mari în materialul depus și invers. Pe baza acestor valori, a fost determinată relația de regresie matematică cea mai apropiată de valorile dimensionale obținute după tipărire (Figura 2.2.7.). Înălțimea este de 0,2 mm, umple 40%.

Tabel 2.2.2. Rugozitatea și devierea dimensională pentru temperatura de extrudare pentru piesa plană

Nu mb er	Temperat ure în °C	Roughnes s Ra în micron	X în mm	Y în mm	Z în mm	Obs.
1	190	4.90	20,05	49,57	5,29	
2	200	5,34	20,05	49,41	5,31	
3	210	5,24	19,91	49,42	5,34	
4	220	5.02	20,04	49,17	5,37	

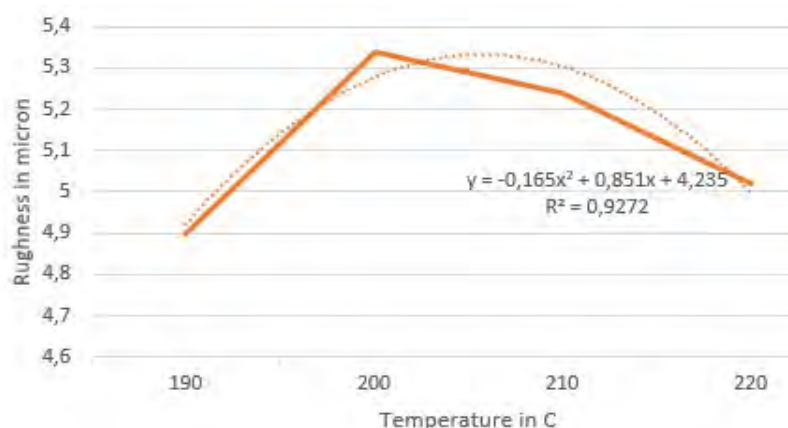


Fig.2.2.6. Rugozitatea Ra în funcție de temperatura de extrudare

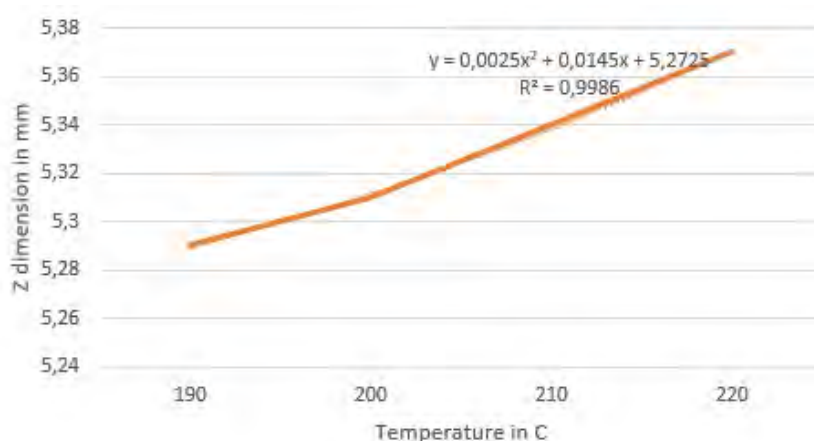


Fig.2.2.7. Dimensiunea după Z a elementului în funcție de temperatura de extrudare

Din analiza valorilor determinate se poate observa că cea mai mare influență a temperaturii asupra valorilor dimensionale este reprezentată de temperaturile ridicate, în timp ce pe

rugozitate influența este de tip parabolic care prezintă un maxim la valoarea de aproximativ 200 de grade C. Regresia ca ecuație este de tipul exponențial 2.

- *viteza și distanța de retragere* a capului, viteza de trecere și viteza de imprimare sunt importante. Cu cât este mai mare, cu atât depozitul de materiale este mai scăzut și scade forma implicită a secțiunii și a sârmei depuse cu implicațiile piesei asupra rezistenței părții generate. În același timp, dacă nu există nicio retragere, firul se va topi în continuare și depunerea se face pe suprafața de imprimare după direcție cu mișcare rapidă între straturi. Se recomandă ca retragerea să nu fie mare aprox. 4 mm, viteza de retragere este de 130 mm / s pentru a crea un fenomen de atracție a firului în interiorul duzei.
- *lățimea liniei și înălțimea depuse a firului în primul strat* are un rol important în aderarea la straturile de material în procesul de generare a suportului și în rezistența rezistenței piesei. Depinde de diametrul duzei și de avansul parametrilor mașinii. Se recomandă din motive constructive ca numărul de straturi din partea inferioară și superioară să fie mai mare decât 2. În cercetările viitoare vom realiza trei sau mai multe straturi pentru a observa influența lor asupra rugozității și a preciziei dimensionale. Pentru teste, numărul de straturi a fost de 2. Grosimea liniei poate fi determinată de diametrul duzei de extrudare, care pentru cazul nostru este de 0,4 mm prin înmulțirea cu 1,2 [51.] ceea ce va duce la o grosime calculată de 0,48 mm. Valoarea este aproximativ egală cu cea măsurată pentru un strat generat cu un tifon de 0,2 mm și o temperatură de 210 grade C. Din modul de prezentare, se poate concluziona că procesul de sârmă de depozit este foarte sensibil la anumiți parametri. Datorită acestui fapt, ar trebui să fie luate în considerare în achiziționarea sau construcția de imprimante care ne permit atât în ceea ce privește construcția, cât și funcțional, pentru a ajusta parametrii în intervalul dorit. Prima recomandare este aceea a unei imprimante și sisteme cu două capete independente de alimentarea cu fir, a doua o imprimantă cu două sisteme de alimentare independente, cu două capete de imprimare pe fiecare parte.

Parametrii specifici care sunt generați pentru realizarea unui reper:

- *dimensiunea firului de material* de imprimare, la FDM este utilizat în mod obișnuit pentru cazul standard, cele două tipuri de materiale ABS (acrilonitril-butadienă stiren), care este un material bazat pe ulei și PLA (acid polilactic), care este un biopolimer biodegradabil. Există versiuni de materiale care sunt dezvoltate în același interval ca cele două menționate și care pot fi utilizate în anumite zone. De asemenea, trebuie menționate materialele de sprijin, materialele compozite și materialul flexibil, care sunt de tip special din policarbonat. Imprimanta folosită pentru studiu funcționează cu un fir cu diametrul de 1,75 mm. Valoarea trebuie introdusă în specificațiile imprimantei pentru a permite realizarea

procesului. În același timp, veți introduce și dimensiunea suprafeței pe care va fi făcută imprimarea, urmând să fie definite originile imprimantei.

- *parametrii geometrice* ai piesei generate sunt grosimea peretelui, grosimea stratului, grosimea straturilor de sprijin, grosimea exterioară. Nevoia a dezvăluit că o grosime mai mare duce la o rugozitate mai mare a suprafeței și, prin urmare, la o cilindricitate a suprafeței mai mare și invers. De asemenea, scade suprafața parametrilor de rezistență mecanică a piesei. În practică, grosimea pereților este recomandată să fie un multiplu de două lățimi de perimetru pe cele două laturi ale peretelui, pentru a asigura dispunerea ambelor părți ale zonei perimetrice. Rezultă că grosimea liniei perimetrice generate este foarte importantă pentru a stabili o grosime a peretelui. De obicei, valoarea considerată este de cel puțin 1 mm pentru perete.
- *densitatea rețelei în cadrul piesei* și modul de generare a acesteia. Este un parametru important, deoarece are un efect direct atât asupra costurilor de prelucrare / rezistenței, cât și asupra calității suprafețelor și volumelor care se obțin din punct de vedere al contracției liniare sau volumetrice tehnologice locale, dar și asupra dimensiunilor geometrice. Un studiu asupra influenței densității pieselor asupra caracteristicilor dimensionale (*Figura 2.2.8.*) a fost făcut pentru o referință la care temperatura de extrudare a fost de 190 grade C, 0,2 mm pas pentru strat și orientarea sârmei a fost liniară la 45 de grade înclinație către X și respectiv direcția Y (*Figura 2.2.9.*). Pentru studiul din (*Tabelul 2.2.3.*), am determinat parametrii dimensionali și de rugozitate pentru valorile de umplere o valoare de deviație de 20%.

Tabel 2.2.3. Rugozitatea și devierea dimensională pentru densitate diferită a stratului intern

Num ber	Infill in %	Roughness Ra in micron	X in mm	Y in mm	Z in mm	Obs.
1	20	5,00	19,80	49,12	5,34	
2	40	5,12	19,90	49,34	5,21	
3	60	5,76	19,85	49,09	5,39	
4	80	3,98	19,80	49,10	5,37	

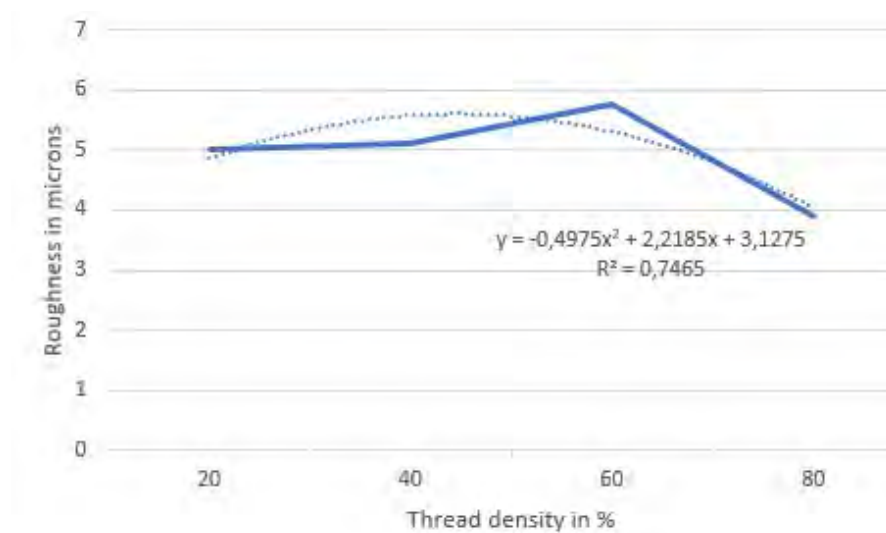


Fig.2.2.8. Rugozitatea Ra în funcție de densitate diferită a stratului intern

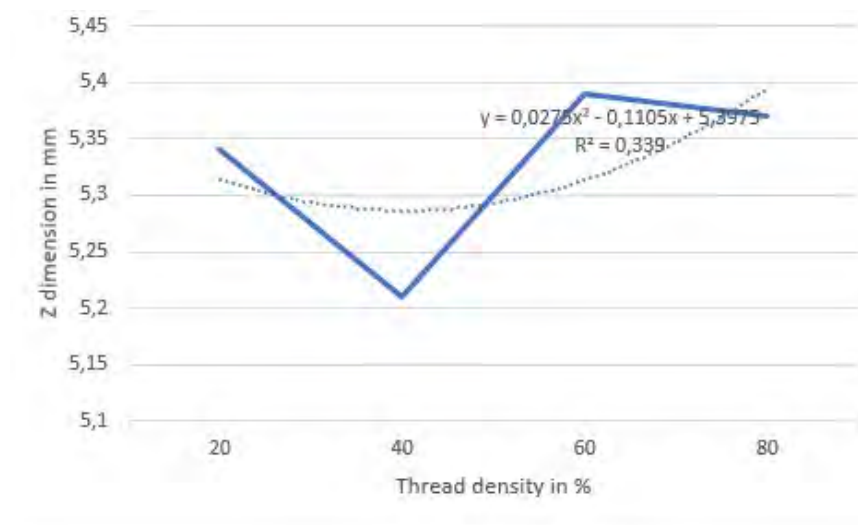


Fig.2.2.9. Dimensiunea după Z a elementului în funcție de densitate diferită a stratului intern

Din analiza datelor obținute, se poate concluziona că densitatea firelor are un flux major asupra variației dimensionale și mai mică decât cea legată de rugozitatea suprafeței.

- *parametrii pentru generarea rețelei interne* de viteză și tipărire au o influență majoră asupra grosimii stratului de material depus și, prin urmare, au generat implicațiile piesei asupra costului de prelucrare și a rezistenței piesei generate. În cercetările viitoare vom face o creștere a vitezei la 90 mm / s la 50 mm / s și o reducere a vitezei până la 20 mm / s pentru a observa influența lor asupra rugozității și a preciziei dimensionale. Pentru studiu, modificarea vitezei va fi de 10 mm / s. S-a arătat că parametrii de comandă în termeni de proces pot să nu fie identici cu cei obținuți prin generarea de programe.

Parametrii specifici utilizați pentru a genera stratului de material:

- *firul* este important. Dimensiunile materialului utilizate pentru realizarea piesei, precum și parametrii pe care este depus la suprafață, au o influență majoră. În același timp, parametri de depunere pot influența costurile specifice procesului de evaluare comparativă.

- *tipul de material* utilizat pentru imprimare. Unele fire sunt biodegradabile și altele reciclabile doar reciclabile, iar altele se dizolvă în diverse substanțe, cum ar fi apa, motiv pentru care putem considera că este un material verde.

Din rezultatele prezentate, este foarte important să cunoaștem atât caracteristicile mecanice ale piesei generate, cât și cea verde. Din acest motiv, mașinile vor fi alese sau proiectate pentru a permite depunerea materialelor organice cu parametri de funcționare impuse de rolul funcțional al suprafețelor sau pieselor.

Pe baza datelor analizate au fost determinate valorile specifice care au fost adoptate în intervalul recomandat de producătorul imprimantei, dar și de materialul utilizat pentru imprimare, dar și de proprietățile mecanice dorite ale marcajelor care trebuie realizate (*Tabelul 2.2.4.*). Componentele piesei sau dispozitivelor de poziționare ale reperelor imprimate, care sunt de obicei necesare pentru compresie și / sau întindere, și mai rar la îndoire. Acestea din urmă sunt componente ale sistemului de generare a presiunii în apă sau ulei și înmulțirea presiunii apei pentru a realiza procesul de prelucrare. Aceste ultime componente pot fi solicitate în mai multe direcții și cu cerințe variabile sau pulsante, motiv pentru care fiecare componentă trebuie tratată diferit. Din cele de mai sus se poate observa că generarea pieselor este una care implică un program de programare și control al producției și mai puține dispozitive, ghidare sau alte componente care depind de generarea reperului prin imprimare.

Tabelul 2.2.4. Parametrii pentru imprimarea pieselor 3D din punct de vedere tehnologic

Infill %	Orientation	Printing temperature C	Real time min	Estimated time min	Slicing screens	Thread length m	Roughness microns	Surface appearance
20	horizontal	210	10	12	17	1,016	13,5	not good
20	horizontal	210	14	17	25	0,984	6,5	not good
20	horizontal	210	26	33	48	1,033	4,5	not good
40	horizontal	210	12	15	17	0,984	12,5	good
40	horizontal	210	17	22	25	1,27	5,5	good
40	horizontal	210	31	38	48	1,294	3,1	good
40	vertical	210	23	28	100	1,344	0,72	very good
40	vertical	190	23	29	100	1,344	1,7	very good
40	vertical	220	23	27	100	1,344	0,9	very good
60	horizontal	210	14	18	17	1,555	12,1	good
60	horizontal	210	20	24	25	1,569	4,5	good
60	horizontal	210	37	45	48	1,557	2,8	good
80	horizontal	210	16	20	17	1,838	8,6	good
80	horizontal	210	23	28	25	1,845	4,7	good
80	horizontal	210	43	52	48	1,818	3,6	good

Obținerea unor planuri sau piese rotunde prin depunerea materialului plasticizat realizat cu material ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) sub formă de linii și straturi este un proces de generație relativ nou și care, din punct de vedere al generației, este bine cunoscut acum [52., 53.]. Din punctul de vedere al generării planului și a pieselor rotunde, procesul de generare este similar, oricare ar fi procesul sau programul generației are loc.

Lucrarea este orientată pentru a determina eficiența tehnologică pentru implementarea materialului ABS pentru piese de imprimare 3D de către FDM (Fused Deposition Modeling) utilizat în industrie, în

noile condiții impuse, folosind materiale și tehnologii reciclabile care poluează mai puțin mediul sau în lucru. spațiu. Factorul poluant trebuie văzut atât în ceea ce privește resursele energetice utilizate pentru materia primă, cât și în ceea ce privește reintroducerea în circuitul industrial al materialului rezultat din descompunerea și re-compoziția materialului care a fost utilizat în componentele noastre. au numele LCA (evaluarea îngrijirii vieții) [54., 55.].

Așadar, după cum se observe din (56., 57.) ABS este un material cu proprietăți de rezistență superioare în raport cu materialul PLA (Acid Pollactic). Din punct de rezistență este 80% din materialul turnat prin injecție ABS. Rezistența la tracțiune pentru ABS este de 37 - 110 MPa în raport cu 50 MPa pentru PLA. Important în unele aplicații este temperatura de tranziție a sticlei, care este de 110 ° C pentru ABS și 60 ° C pentru PLA. PLA este un material biodegradabil în anumite condiții, în timp ce ABS nu este un material biodegradabil, dar este un material reciclabil. Un aspect important din punct de vedere al tehnologiei este posibilitatea finisării suprafeței prin procese de finisare a suprafeței cu materiale chimice (acetona). Ambele materiale pot fi procesate prin procesul de imprimare, cu unele restricții privind PLA.

Procesul de generare pentru un plan și piese rotunde se bazează pe desenarea unei schițe care este apoi tradusă vertical pentru a obține volumul piesei. Partea plană pe care este prezentată în [58.]. Pentru piesele cilindrice erau în general de două tipuri. Un tip cilindric plin și un tip tubular cilindric. În (Figura 2.2.10.) este prezentată partea rotundă generată și unde sunt puse valorile dimensionale nominale ale acestei părți.

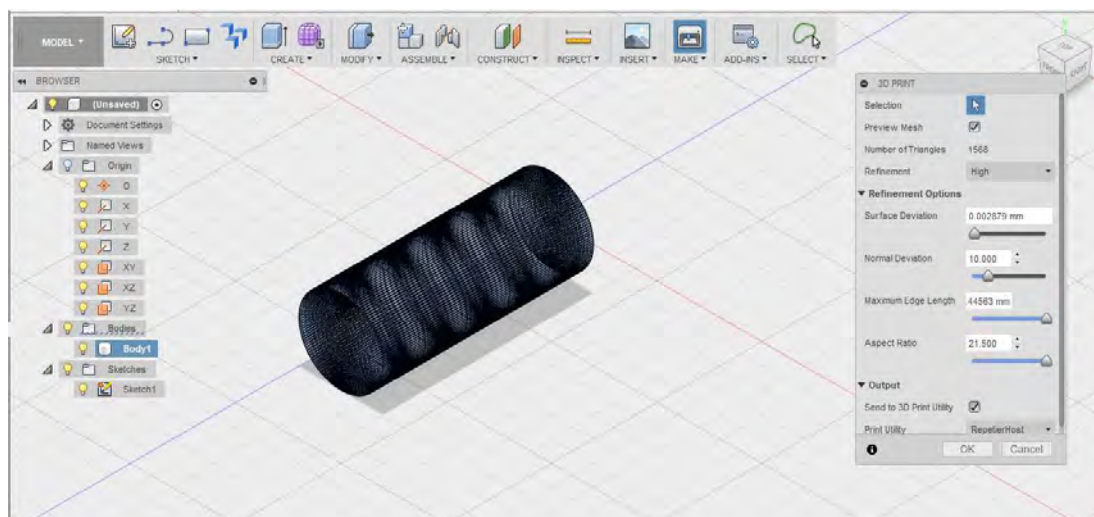


Fig.2.2.10. Partea rotundă cilindrică și tubulară 3D proiectată

Generarea a fost făcută cu Fusion 360. Faza de generare este importantă și, de obicei, trebuie urmată de o fază de verificare a proiectării generate de 3D și salvată într-un tip de fișier stl standard. Verificarea dimensiunilor geometrice ale elementelor generate este foarte importantă. De obicei, în practica părții de generare, cota nominală este valoarea la care este generată acea piesă. În imprimarea 3D valoarea nominală se stabilește prin metoda corecției pentru materialul care are o valoare diferită a

contractăiei în cele trei direcții. După cum este cunoscut în imprimarea 3D, proprietățile termice sunt importante pentru dimensiunea generată.

În cele din urmă, dar nu ultimul pas în imprimarea 3D, este un rol important în controlul generării codului de program pentru partea realizată pe aparat. În acest caz, consideră atât codul G (*Figura 2.2.11.*) pentru generarea pieselor cilindrice, cât și generarea modului în care se desfășoară prin simulare (*Figura 2.2.12.*).

Generarea pieselor dreptunghiulare simple se face prin linii în plan, pentru generarea pieselor cilindrice este mai complexă și implică aspecte tehnologice semnificative. Primul aspect care poate fi văzut din (*Figura 2.2.12.*) este faptul că elementul cilindric este generat din linii succesive și nu din cercuri în programele de generare de coduri. De exemplu, vom lua cazul unui cilindru generat de poziționarea acestuia pe orizontală și verticală. La fel se întâmplă și cu orientarea prisme, dar pentru acest caz important este doar aspectul economic al generației și nu aspectul tehnologic.

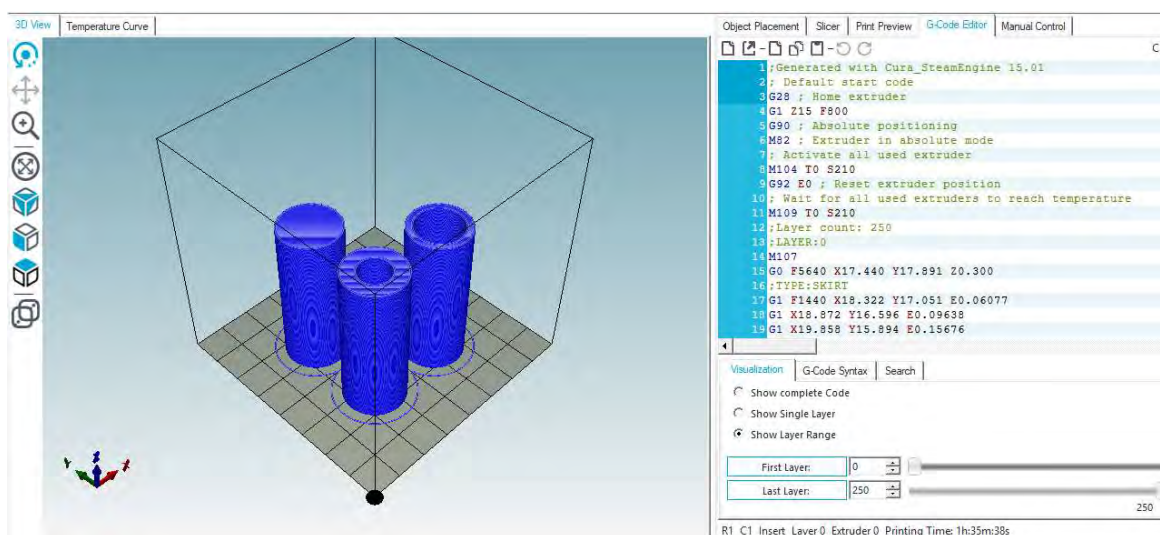


Fig.2.2.11. Codul G pentru partea 3D cilindrică.

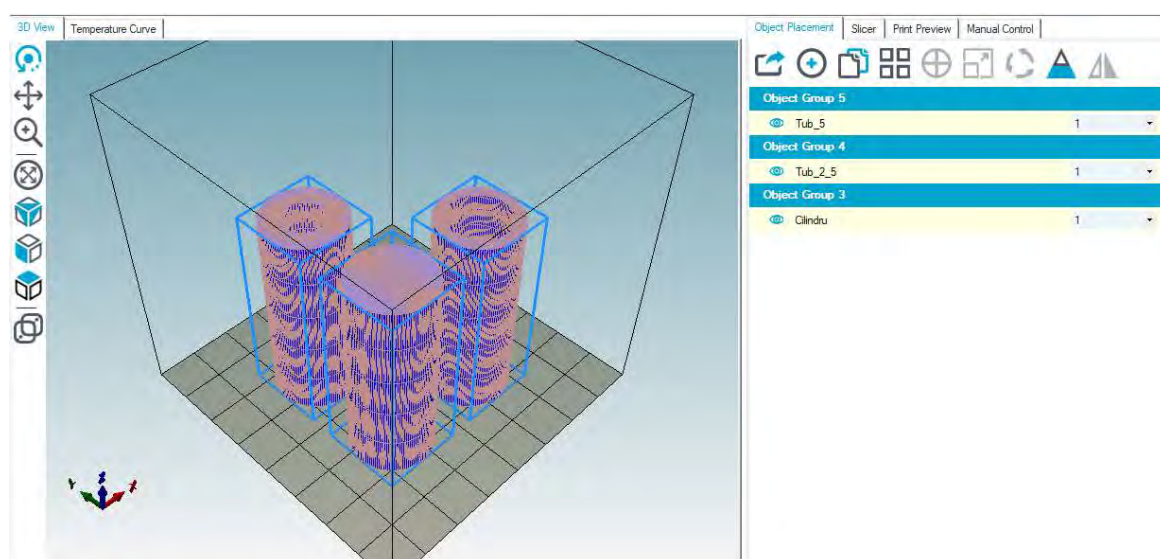


Fig.2.2.12. Simulați straturile pentru partea 3D cilindrică

Pentru partea de generare a stratului sunt utilizate două programe, unul este *Cura 3.0.4* [59.], iar al doilea este *Slic3R 1.2.9* [60.]. Partea de control a mașinii a fost realizată folosind programul *Repetier Host 2.0.5* [61.] adaptat la imprimanta utilizată pentru generare.

Din partea generatoare *Fusion 360*, se poate observa că opțiunea de generare recomandată este cea circulară cu strat suprapus. De asemenea, trebuie menționat că pentru aranjarea orizontală a tubului sau a cilindrului, trebuie obținute elemente de susținere pentru a obține forma circulară. Astfel, timpul de generare crește semnificativ. De exemplu, vom lua cazul unui cilindru orizontal. Pentru soluția de generare verticală, durata este de 37 minute și 30 de secunde cu 250 de straturi. Pentru soluția orizontală, durata este de 39 de minute și 25 de secunde cu 498 de straturi.

Tabelul 2.2.5. Timpul pentru imprimarea 3D a elementelor cilindrice

Num ber	Type	Infill %	Quality mm	Time
1	Tub 5 mm	20	0,2	44 min 31 sec
2	Tub 2,5 mm	20	0,2	40 min 23 sec
3	Cylinder	20	0,2	37 min 30 sec
4	Tub 5 mm	80	0,2	1 h 13 min 18 sec
5	Tub 2,5 mm	80	0,2	52 min 2 sec
6	Cylinder	80	0,2	1 h 5 min 9 sec

Tabelul 2.2.6. Lungimea pentru elemente cilindrice de imprimare 3D

Num ber	Type	Infill %	Quality mm	Length in mm
1	Tub 5 mm	20	0,2	2332
2	Tub 2,5 mm	20	0,2	2030
3	Cylinder	20	0,2	2238
4	Tub 5 mm	80	0,2	4358
5	Tub 2,5 mm	80	0,2	2781
6	Cylinder	80	0,2	5524

Tipul adezivului fără, calitate 0,2 mm, fără suporti, viteza de imprimare 55 mm/s, viteza perimetrală 37 mm/s, viteza de umplere 55 mm/s (*Figura 2.2.13.*).

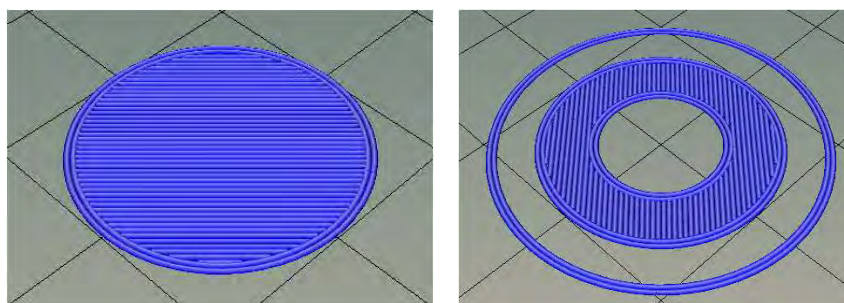


Fig.2.2.13. Straturile superioare/inferioare ale piesei tipărite 3D cilindrice

Au arătat că există două tipuri de straturi, și anume partea superioară și inferioară prezentată în (Figura 2.2.13.) și că zona internă este atribuită uneia sau mai multor linii periferice pentru generarea piesei de lucru, care poate fi văzută în (Figura 2.2.14.).

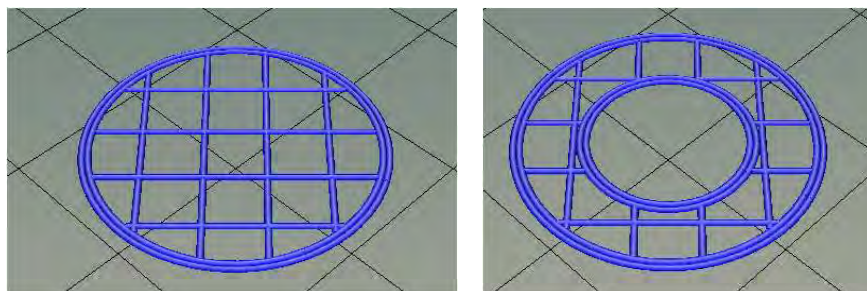


Fig.2.2.13. Straturi intermediare pentru o parte tipărită cilindrică 3D

În cazul în care înclinarea sau poziționarea orizontală este necesară din punct de vedere funcțional, trebuie prevăzute fie nervuri de rigidizare, fie suport cilindric sau liniar. În (Figura 2.2.14.), este prezentată soluția generată pentru un element cilindric dispus orizontal cu filament de 2.360 mm utilizat.

Din punct de vedere al obținerii pieselor plate și cilindrice realizate din metode eficiente ABS sunt diferite, iar costurile pieselor generate sunt diferite.

Având în vedere principiile impuse pentru reciclare, se poate spune că procesul de generare 3D satisface condițiile menționate mai sus. Deci, din punctul nostru de vedere, procese precum FFF (*Fused Filament Fabrication*) sau FDM (*Fused Deposition Modeling*) nu sunt cele mai bune, nici tipul SLS (*Selective Laser Sintering*) nu poate fi neglijat. Aceste metode de punere în aplicare a pieselor bazate pe operarea de a genera straturi succesive de material la prima realizată prin topirea și depunerea materialului sub formă de ochiuri de sârmă împletite, iar în al doilea caz sub formă de particule sferice legate între ele. punctele sudate cu fasciculul laser sunt baza procesului.

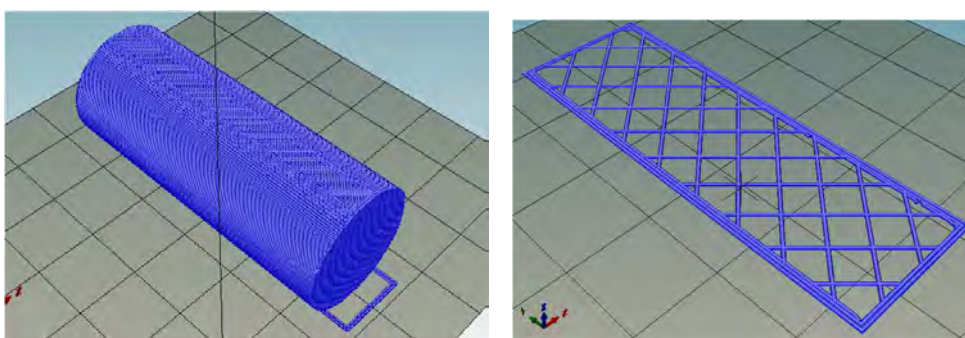


Fig.2.2.14. Straturi intermediare pentru o parte tipărită cilindrică 3D

Un aspect important care nu trebuie ignorat este emisia de particule și gaze în mediu în timpul procesului de generare a pieselor. Dacă FFF sau FDP nu generează particule sau suport chimic și termic care depinde de gaz sau de material depus efectiv pe strat pentru o parte generată de SLS, care generează ambele particule în suspensie în aer, prin faptul că materialul utilizat pentru imprimare este tipul granular și cu utilizarea fasciculului laser pentru a produce sudarea particulelor, este generat gaz care prin

fenomenul de vaporizare a materialului în procesul topit particulele este eliberat în aer și gazul ca urmare a fenomenului de evaporare și topire a o particulă controlată depusă.

Din testele experimentale, dar și din rezistența la tracțiune a pieselor generate, un rol semnificativ în generarea straturilor are alegerea parametrilor pentru piesa realizată. Câțiva parametri care pot avea influență directă sunt parametrii intrinseci care sunt stabiliți pentru generarea procesului la începutul piesei realizate, alții sunt cei legați de generare și nu în ultimul rând sunt parametrii legați de elementele de rezistență și costurile de procesare.

O împărțire a acestor parametri ne va permite să vedem care dintre ele sunt importante din punct de vedere tehnologic, economic/de rezistență și care sunt importante în ceea ce privește generarea straturilor de material după caracteristicile pieselor.

Parametri constructivi ai echipamentelor utilizate pentru generarea stratului:

- *diametrul duzei* este un parametru constructiv important care poate influența atât calitatea tipăririi, cât și costul/rezistența pieselor generate. Cu cât diametrul este mai mare cantitatea de material depus pe suprafață este mai mare, dar și grosimea fișierului rezultat va crește odată cu scăderea calității suprafețelor generate. Forțele necesare pentru tipărire depind de raportul dintre secțiunea transversală a diametrului filetului și diametrul duzei. Un raport bun este 4.375 (de la 1,75 mm la 0,4 mm). Diametrul duzei are o influență asupra grosimii peretelui lateral, a barelor superioare și inferioare prin grosimea stratului generat;
- *înălțimea stratului generată* depinde atât de volumul de material depus pe unitate, dar și de considerente economice. Un strat mai mare înseamnă o grosime mai mare cu o suprafață mai mică cu o precizie mai mică, dar o generare cu costuri mai mici. Alegerea acestui parametru depinde de viteza de imprimare și de diametrul duzei. O imprimare cu viteză mai mare pe lungimea unității va reduce grosimea generată și, implicit, grosimea obținută. Din diametrul duzei, valoarea recomandată este de 1/4 până la 2/1. Pentru a vedea dacă există vreo influență asupra dimensiunii pieselor generate, au fost generate trei părți identice cu o viteză de imprimare de 45 mm/s la interior și 31 mm/s la exterior și cu densități de umplere a fișierului la 20% la temperatura de imprimare de 240°C și 80°C pentru temperatura mărgel. Valorile sunt centralizate în (*Tabelul 2.2.7.*) și sunt pentru dimensiunea de 5 mm Z,. Pe baza acestor valori, a fost determinată relația de regresie matematică, cea mai apropiată de valorile dimensionale obținute după tipărire;

Tabelul 2.2.7. Abaterea dimensiunii pentru înălțimea stratului pentru partea plană

Number	Height in mm	X in mm	Y in mm	Z in mm	Obs.
1	0,1	20,07	49,99	4,73	
2	0,2	20,26	50,02	4,74	
3	0,3	20,37	50,08	4,77	

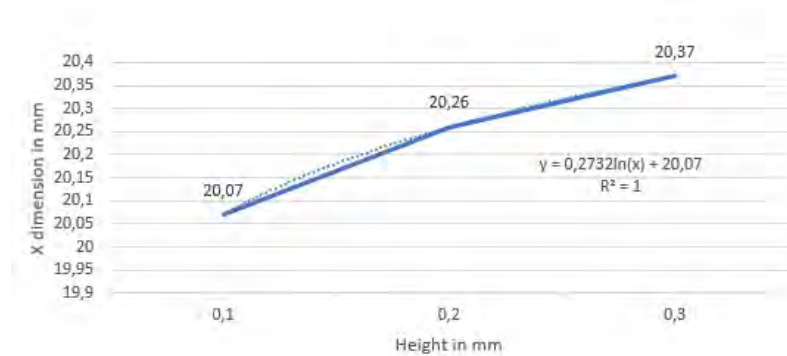


Fig.2.2.15. Dimensiunea X în funcție de stratul de înălțime

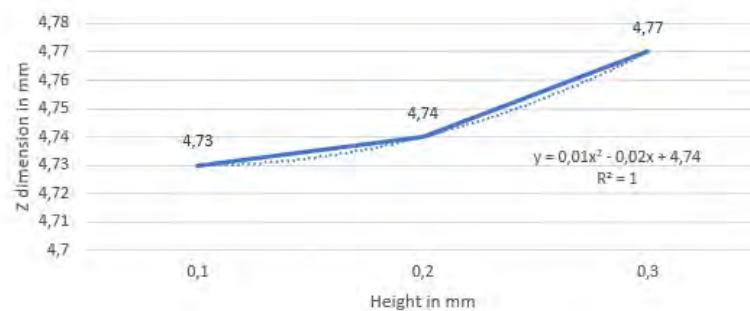


Fig.2.2.16. Partea dimensiunii Z în funcție de stratul de înălțime

Ecuția de regresie pentru dimensiunea X (Figura 2.2.15.) este logaritmică și pentru dimensiunea Z (Figura 2.2.16.) este de tip 2 exponențial

- temperatura imprimării este importantă pentru ABS. Pentru acest studiu din (Tabelul 2.2.8.) am făcut ca determinarea dimensiunilor pentru valori de temperatură să fie o valoare de deviere de 10 ° C.

Tabelul 2.2.8. Abaterea dimensiunii pentru temperatura ABS de extrudare

Number	Temperat ure in °C	X in mm	Y in mm	Z in mm	Obs.
1	240	20,26	50,02	4,74	
2	245	20,30	50,18	4,85	
3	250	20,31	50,00	4,70	

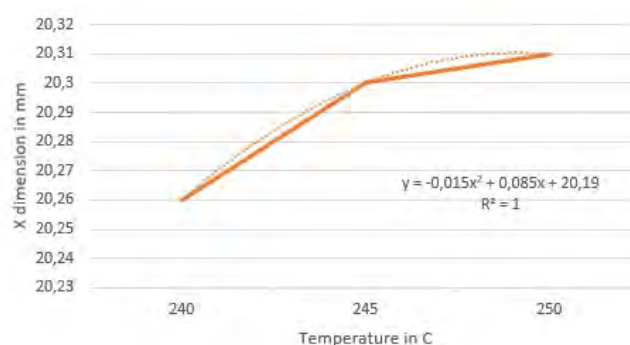


Fig.2.2.17. Dimensiunea X în funcție de extrudarea temperaturii

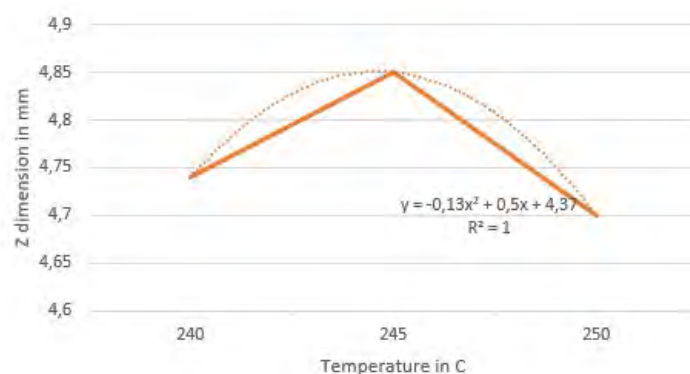


Fig.2.2.18. Partea dimensiunii Z în funcție de extrudarea temperaturii

O temperatură mai ridicată asigură un flux mai bun și tensiuni interne mai mari în materialul depus și invers. Pe baza acestor valori, a fost determinată relația de regresie matematică cea mai apropiată de valorile dimensionale X și Z. Înălțimea este de 0,2 mm, umplere 20% și 80°C pentru mărgele încălzită. Din analiza valorilor determinate se poate observa că cea mai mare influență a temperaturii asupra valorilor dimensionale este reprezentată de temperaturile ridicate, în timp ce asupra dimensiunii influența este de tip parabolic care prezintă un maxim la valoarea de aproximativ 245°C pentru dimensiunea X (Figura 2.2.17.) și 250°C pentru dimensiunea Z (Figura 2.2.18.). Regresia ca ecuație este de tipul exponențial 2.

- *temperatura materialului de susținere* a structurii este importantă pentru ABS. Pentru acest studiu din (Tabelul 2.2.9.) am făcut ca determinarea dimensiunilor pentru valorile de temperatură să fie o valoare de deviere de 10°C. O temperatură mai ridicată asigură un flux mai bun și tensiuni interne mai mari în materialul depus și invers. Pe baza acestor valori, a fost determinată relația de regresie matematică cea mai apropiată de valorile dimensionale X și Z. Temperatura de imprimare este de 250°C, înălțimea de 0,2 mm, umplere de 20%.

Tabelul 2.2.9. Abaterea dimensiunii pentru temperatura ABS de extrudare

Number	Temperat ure in °C	X in mm	Y in mm	Z in mm	Obs.
1	80	20,31	50,00	4,70	
2	90	19,95	49,88	5,06	
3	100	20,08	50,14	4,85	

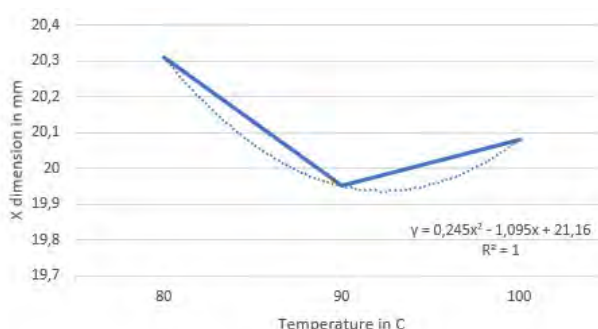


Fig.2.2.19. Dimensiunea X în funcție de temperatura masei

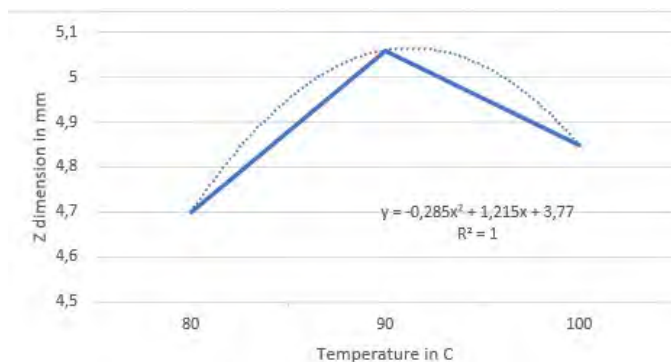


Fig.2.2.20. Dimensiunii piesei după Z în funcție de temperatura masei

Din analiza valorilor se poate observa că cea mai mare influență a temperaturii asupra valorilor dimensionale este reprezentată de temperaturile ridicate, în timp ce asupra dimensiunii influența este de tip parabolic, care prezintă un maxim la valoarea de aproximativ 80°C pentru dimensiunea X (Figura 2.2.19.) și 90°C pentru dimensiunea Z (Figura 2.2.20.). Regresia ca ecuație este de tipul exponențial 2.

- viteza și distanța de retragere a capului, viteza de trecere și viteza de imprimare sunt importante. Cu cât este mai mare, cu atât depozitul de materiale este mai scăzut și scade forma implicită a secțiunii și a sârmei depuse cu implicațiile piesei asupra rezistenței părții generate. În același timp, dacă nu există nicio retragere, firul se va topi în continuare și depunerea se face pe suprafața de tipărire urmând direcția de mișcare rapidă între straturi. Se recomandă ca retragerea să nu fie mare aprox. 4 mm, viteza de retragere este de 100 mm/s pentru a crea un fenomen de atracție a firului în interiorul duzei.
- lățimea liniei și înălțimea depusă a firelor în primul strat are un rol important în aderarea la straturile de material în procesul de generare a suportului și în rezistența rezistenței piesei. Depinde de diametrul duzei și de avansul parametrilor mașinii. Se recomandă din motive constructive ca numărul de straturi din partea inferioară și superioară să fie mai mare decât 3 pentru ABS. Grosimea liniei poate fi determinată de diametrul duzei de extrudare, care pentru cazul nostru este de 0,4 mm prin înmulțirea cu 1,2 [62.], ceea ce va duce la o grosime calculată de 0,48 mm.

Parametrii specifici pentru care este generată piesa:

- materialul firului pentru procesul FDM, este utilizat în mod obișnuit pentru carcasa standard, ABS (acrilonitril-butadienă stiren), care este un material pe bază de ulei Există versiuni de materiale care sunt dezvoltate în aceeași gamă ca cele două menționate și care pot fi utilizate în anumite zone. Imprimanta utilizată pentru studiu funcționează cu un fir cu diametrul de 1,75 mm și este un tip standard Tevo Tarantula. Valoarea trebuie introdusă în specificațiile imprimantei pentru a permite realizarea procesului. În același timp, veți introduce și dimensiunea suprafeței pe care se va face imprimarea de 200 mm x 200 mm x 200 mm, iar originile imprimantei vor fi definite;

- *parametrii geometrici ai piesei* generate sunt grosimea pe pasul de imprimare, grosimea peretelui, grosimea stratului, grosimea straturilor de sprijin, grosimea exterioară. Nevoia a dezvăluit că o grosime mai mare duce la o dimensiune specifică a materialului. În practică, grosimea pereților este recomandată să fie un multiplu de trei lățimi de perimetru pentru ABS. Rezultă că grosimea liniei perimetrului generate este foarte importantă pentru a stabili o grosime a peretelui. De obicei, valoarea considerată este de cel puțin 1 mm pentru perete. Un studiu al influenței parametrului geometric pentru partea plană realizată din ABS a fost făcut pentru o referință la care temperatura de extrudare a fost de 250° C, 0,2 mm pas pentru strat și orientarea sârmei a fost liniară la 45 de grade înclinație. Pentru studiul din (Tabelul 2.2.10.), determinarea parametrilor dimensionali și de rugozitate pentru valorile de umplere este o valoare de 20% deviere.

Tabelul 2.2.10. Abaterea dimensiunii pentru piesele cu grosime

Num ber	Thickness in mm	X in mm	Y in mm	Z in mm	Obs.
1	2,5	19,97	49,99	2,69	
2	5	20,31	50,00	4,70	
3	7,5	19,89	49,93	7,49	

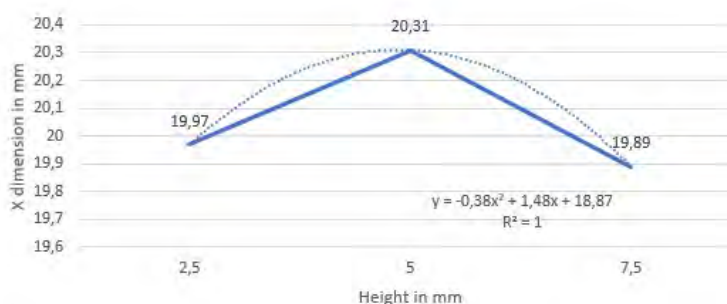


Fig.2.2.21. Dimensiunea X în funcție de piese cu grosime

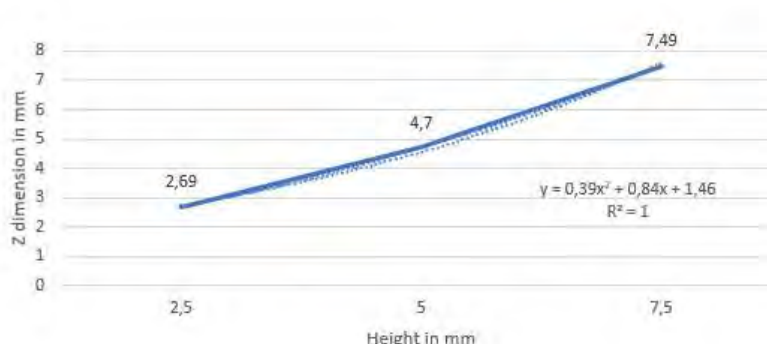


Fig.2.2.22. Dimensiunea Z în funcție de piese cu grosime

Din analiza valorilor se poate observa că cea mai mare influență a temperaturii asupra valorilor dimensionale este reprezentată de temperaturile ridicate, în timp ce asupra dimensiunii influența este de tip parabolic, care prezintă o valoare maximă de aproximativ

5 mm pentru X (Figura 2.2.21.) dimensiune și 7,5 mm pentru dimensiunea Z (Figura 2.2.22.). Regresia ca ecuație este de tipul exponențial 2;

- *densitatea rețelei* în cadrul piesei și modul de generare a acesteia. Este un parametru important, deoarece are un efect direct atât asupra costurilor de prelucrare / rezistenței, cât și asupra calității suprafețelor și volumelor care se obțin din punct de vedere al contracției liniare sau volumetrice tehnologice locale, dar și asupra dimensiunilor geometrice;
- *parametrii pentru generarea rețelei interne* de viteză și tipărire au o influență majoră asupra grosimii stratului de material depus și, prin urmare, au generat implicațiile piesei asupra costului de prelucrare și a rezistenței piesei generate;

Parametrii specifici utilizați pentru generarea stratului de material:

- *firul* este importantă. Dimensiunile firului utilizat pentru desen (de obicei sunt utilizate fire de 1,75 mm și 3 mm), precum și parametrii pe care este depus pe suprafață (viteza de imprimare a pieselor componente) au o influență majoră. În același timp, depunerea parametrilor poate influența costurile specifice procesului de evaluare comparativă;
- *fluxul de material* care este depus în unitatea de timp. Un debit mai mic de 100% face ca firele să nu se mai lipească unul de celălalt, iar unul mai mare produce o apăsare laterală pe firul atașat anterior. Dacă doriți un material cu densitate mai mare între fire poate crește puterea cu 10% peste valoarea normală.

2.3. Aspecte comparative tehnologice între imprimarea 3D FDM și respectiv DLP

În legătură cu procedura de generare prin procedeul de topire a materialului plastic trebuie arătat că acesta se realizează prin depunerea straturilor într-o secvență de linii pe fiecare strat după o regulă specifică [61.]. Diferența majoră a imprimării de tip DPL este datorată faptului că depunerea materialului se face prin transformarea din lichid în formă solidă în prezența unui fascicul de lumină focalizat pe suprafața stratului lichid.

Una dintre divizările care pot fi făcute în funcție de rolul funcțional al elementelor utilizate la generarea piesei poate să fie:

- materiale care au un rol de poziționare și fixare;
- materiale care rol funcțional cum ar fi mișcare de translație sau de rotație la viteze mici sau medii și care primele pot fi considerate mișcări statice iar celelalte sunt dinamice;
- materiale în care încărcările de suprafață de traducere și/sau de rotație sunt executate la viteze mari.

În ambele procese, generarea trebuie luată în considerare că ciclul de implementare a acestor componente este unul identic până la faza de imprimare. Prima fază este partea de generare care se realizează de obicei cu programe specializate Fusion 360, Inventor sau CATIA. Ca exemplu, luăm două dintre componentele unei instalații laser care au fost proiectate de către studenți la lucrarea de licență

[64.] generate în CATIA și salvăm fișiere .step [65.]. În (Figura 2.3.1.stânga) este structura de montare a motorului pas cu pas pe partea stângă a instalației laser 2,5 Wați pentru tăierea sau gravarea materialelor. În (Figura 2.3.2.dreapta) este componenta fixă pentru structura laser.

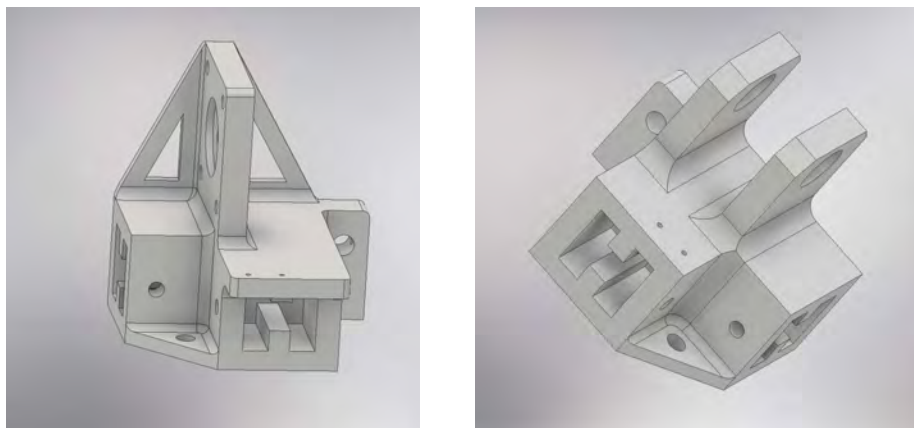


Fig.2.3.1. Structură pentru motor pas cu pas stânga și pentru partea fixă dreapta

După etapa anterioară, se trece la faza verificării integrității structurii și realizării poziționării în vederea generării structurii programului de procesare pentru imprimarea 3D. Pentru a verifica integritatea programului și generarea ulterioară, dar procesarea pentru tipărire, folosim software-ul FDM ideaMaker [66.] care este gratuit. Următoarea fază este poziționarea pentru a minimiza costul de imprimare și programul de generare pentru realizarea tipăririi pe un FDM pentru ambele piese (Figura 2.3.2. stânga) pentru motor pas cu pas și (Figura 2.3.2. dreapta) pentru componentă fixă.

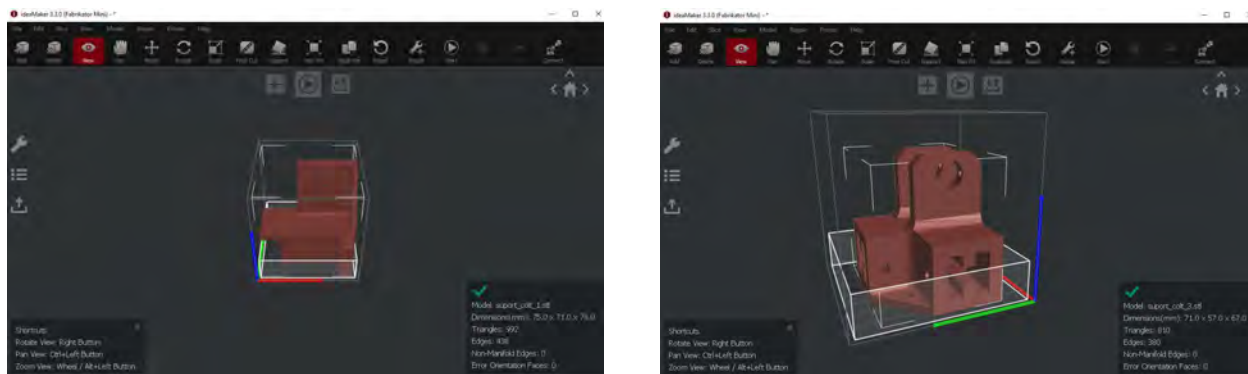


Fig.2.3.2. Structură verificată pentru motor pas cu pas stânga și pentru partea fixă dreapta

În această fază este posibil să se optimizeze poziția pentru a obține cât mai rapid posibil, dar și o imprimare corectă. Este foarte important să fie asigurat rolul componentei din punct de vedere funcțional. În procesul de generare de piese FDM imprimarea ar trebui să se aibă în vedere existența structurilor de susținere a bazelor care este generată. Acestea sunt prezentate pentru cazul de tip linier din (Figura 2.3.3. stânga) și (Figura 2.3.3. dreapta).

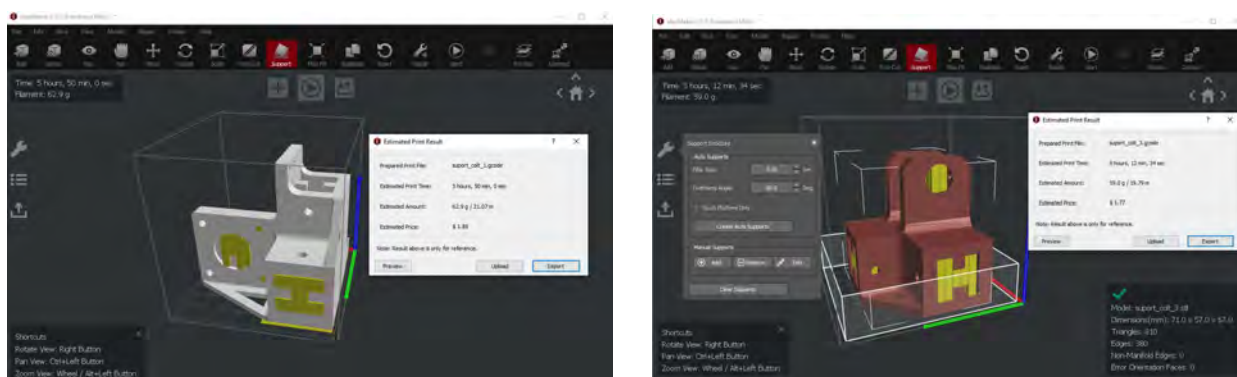


Fig.2.3.3. Structură suport pentru motor pas cu pas stânga și pentru partea fixă dreapta

După verificarea straturilor va exporta fișierul generat și se va încărca în memoria imprimantei pentru generarea sa.

Procesul de generare a pieselor pe un DLP este parțial identic cu FDM. Diferența este în poziționarea locației de imprimare verde și realizarea care acceptă generarea și straturile (Figura 2.3.4.). Pentru a genera straturi folosim un program dedicat de generare a imprimantei *ANYCUBIC Photon Slicer V1.3.6*.

O problemă majoră din partea proiectării este adaptarea condițiilor constructive care trebuie satisfăcute de partea proiectată la condițiile de imprimare. Datorită dimensiunilor limitate ale suprafeței de imprimare, vor avea unele piese care vor fi alcătuite din două sau mai multe piese. Acest lucru este evident în cazul articolului de deasupra căruia pe un FDM poți realiza un corp dintr-o bucată, în timp ce pentru realizarea prin DLP este că trebuie tăiat (Figura 2.3.6.). Partea a fost tăiată după un set de linii orientate în linie orizontală și verticală înclinată la 45 de grade. Combinația componentelor și poziția lor este important să fii satisfăcut.

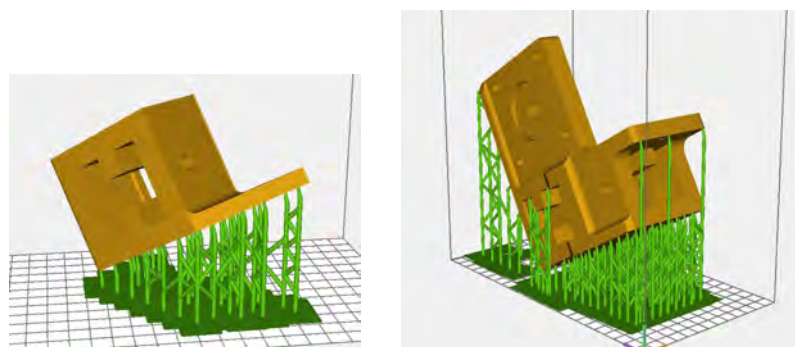


Fig.2.3.4. Piesa pentru motor pas cu pas generată din rășină pentru imprimare 3D

Diferența majoră care poate fi observată în ceea ce privește generarea de componente tipărite 3D este că poziția piesei pe suprafața imprimată este diferită. Dacă poziționarea este realizată pe orizontală pentru ca FDM la suprafață să aibă o aderență bună la tipărire, partea din rășină DLP supusă procesului de generare trebuie poziționată la o distanță de câțiva mm față de suprafața care va fi de tipărire și va fi prevăzută cu o furtună a cărei distanță minimă dintre ele este de 5 .. 8 mm pentru a realiza procesul de imprimare.

Datorită acestei diferențe majore de a genera funcțional imprimarea stratului pentru a face ca stratul să fie realizat din mișcări succesive FDM liniare în planul XY, așa cum se poate observa în (Figura 2.3.5. stânga), în timp ce metoda DLP menține fasciculul luminos deschis perioada de timp (Figura 2.3.5. dreapta).

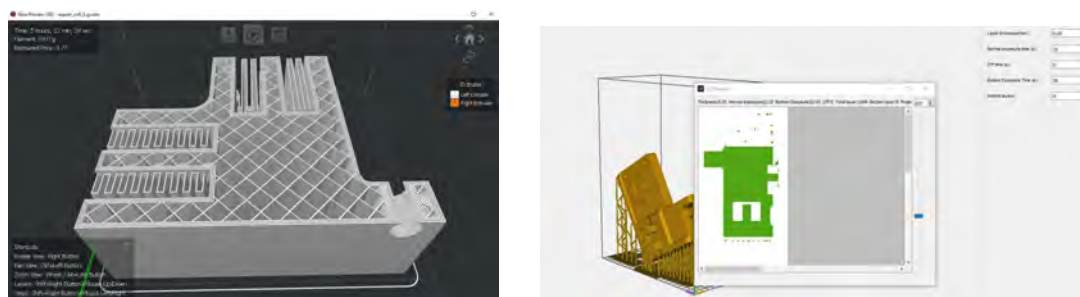


Fig.2.3.5. Generarea FDM lineară a stratului stânga și generare DLP strat dreapta

Din punct de vedere al proprietăților mecanice ale componentelor generate, se poate afirma că rezistența mecanică este bună și comportamentul materialelor la cerere este bun.

Procesul de depunere a straturilor pentru realizarea pieselor tipărite în tehnologia FDM este unul complex [67.], fiind analizat atât din punct de vedere al caracteristicilor dimensionale, cât și al caracteristicilor suprafeței.

Gruparea parametrilor specifici ai procesului se realizează prin:

- caracteristicile confecționării stratului, unde înălțimea stratului este de obicei 0,2 mm, iar primul strat este de 0,3 mm, viteza de imprimare este de 50 mm/sec, viteza interioară a cochiliei este de 40 mm/sec, altă viteză a carcasei este de 25 mm/sec, viteza primului strat este de 30 mm/sec, pentru o imprimare bună a primului strat (Figura 2.3.6.), numărul straturi obișnuite 3;
- caracteristicile duzei de extrudare sunt lățimea de extrudare de 0,4 mm de obicei, viteza de retragere 20 mm/sec pentru reducerea vibrației, temperatura pentru extrudarea 210° și 20° pentru pat;

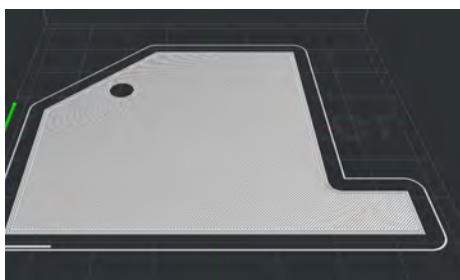


Fig.2.3.6. Generarea FDM primul strat

- caracteristicile structurii interioare a părții denumite umplutură (Figura 2.3.7.), de obicei 20 ... 40% pentru densitate, piesele generate au densitate de 30%, tipul de model utilizat este grilă de la 45° la 135° pentru tot tipul de strat generat, numărul stratului solid inferior

de obicei 3 până la 5, iar stratul superior, de obicei 3 până la 7, viteza inferioară și superioară 50 mm/sec;

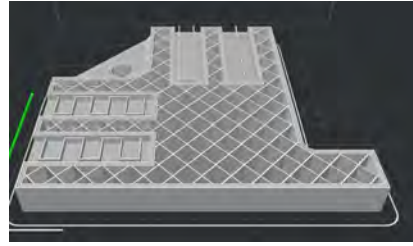


Fig.2.3.7. Structură strat 27 FDM

- caracteristici pentru liniile obișnuite de suport pentru o structură tipărită bună, raportul de umplere 30% și 60° pentru această structură, de obicei 5 la 10 este bun din punctul de deformare al piesei superioare tipărite;
- adaosul de platformă utilizat este marginea exterioară a primului strat generat.

Poate vedea atât complexitatea elementelor poate fi ajustată și este probabil să influențeze procesul de implementare a straturilor. Structura programului este un tip numeric specific fiind comenzile GCode (*Figura 2.3.8.*).

Din punct de vedere al procesului de generare a programelor pentru imprimarea 3D DLP în principiu, se poate observa că numărul de parametri care pot fi reglați este mult mai mic, în special datorită faptului că generează un marker complet fără obiective sau perimetru. De parametri reglabili, inclusiv:

- caracteristicile confecționării stratului, unde înălțimea stratului este de 0,05 până la 0,07 mm obișnuit 0,05 mm, timpul normal de expunere 8 până la 10 sec, timpul de expunere de la 50 la 80 sec și numărul stratului inferior 5 până la 10 de obicei 8, (*Figura 2.3.9.*) stratul 354 generat;

Din analiza efectuată se poate constata că, deși numărul de parametri ai variantei de comandă este mai mic pentru DLP decât FDM, programarea de intervenție pentru a corecta structura de generare a programului este mult mai dificilă decât DLP în FDM.

Piese analizate au fost generate și instalate pe suport pentru a verifica modul în care funcționalitatea interconectării lor (*Figura 2.3.10.*). În partea de sus se află partea pentru motorul pas cu pas, cu acest motor montat și ghidat una dintre barele laterale și montaj din aluminiu extrudat montat la capăt. În partea de jos se observă a doua piesă cu elemente montate pe ea.

Poate fi văzută din partea dreaptă în sus a structurii realizate din punct de vedere al structurii de umplere, în timp ce în partea dreaptă în jos poate vedea calitatea structurii de suprafață generate de tipărirea 3D FDM. A fost tipărirea FDM preferată din motive legate de costurile de fabricație și nu din motive de rezistență mecanică.

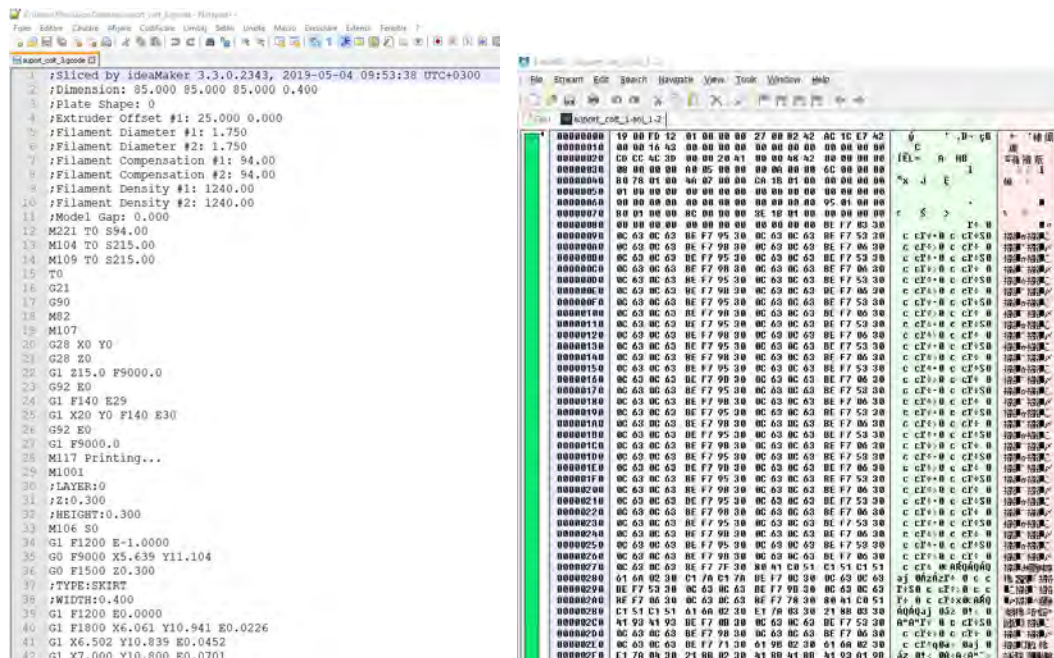


Fig.2.3.8. Program GCode generat pentru imprimare 3D FDM partea stângă și 3D DLP imprimare dreapta

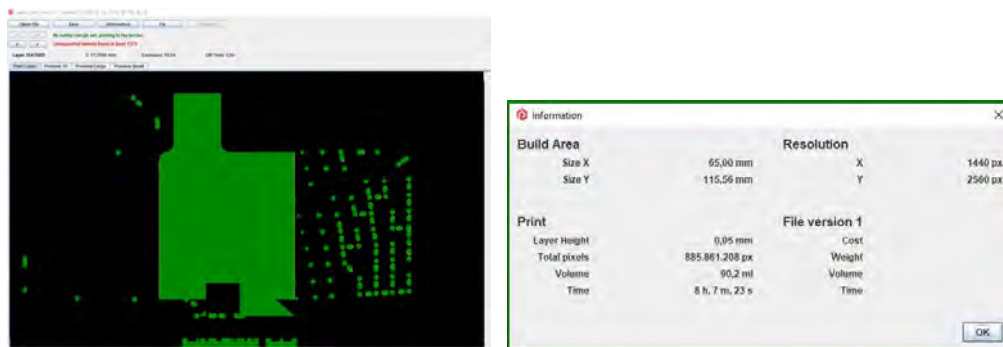


Fig.2.3.9. Strat generat pentru partea de imprimare 3D DLP și informații despre imprimare

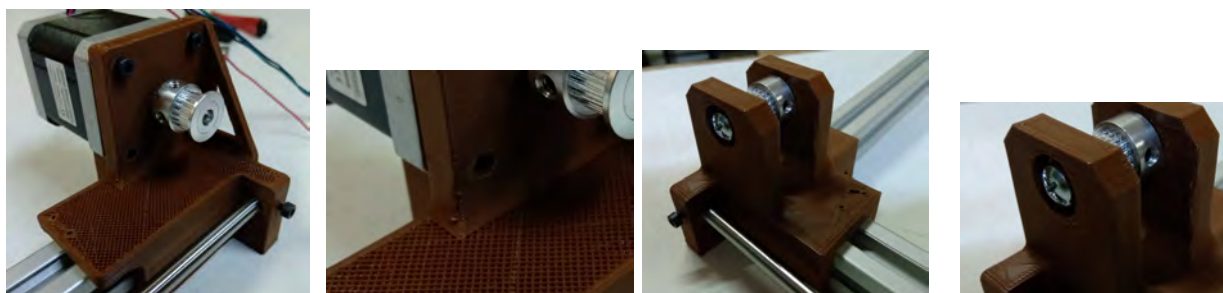


Fig.2.3.10. Piesele generate și structura acestei părți sunt generate pentru motorul pas cu pas, în jos pentru partea fixă

2.4. Analiza factorilor specifici procedului de imprimare pentru obținerea reperelor prin imprimare 3D principiul DLP la care se utilizează rășină ecologică

În lucrarea [68.] sunt abordate aspectele modului în care sunt modificate caracteristicile de suprafață, dar și dimensionale ca și factori de ieșire din procesul tehnologic de imprimare 3D de tip DLP la care ca și mediu a fost utilizată rășină ecologică.

Studiul întreprins a apărut ca o necesitate impusă de noile tipuri de rășină cu proprietăți chimice care sunt mai apropiate atât de aspectele de emisii față de și în raport cu mediul ambiant, dar și pentru analizarea aspectelor în care noul tip de rășină influențează procesul de generare a reperelor.

Avantajul major al imprimării pe principiul DLP este dat de faptul că generarea straturilor de material aferent structurii reperelor se face în același timp. Din punct de vedere al structurii reperului generat acesta este realizat din două zone distincte. Prima este de ajutor pentru generare, iar a doua este de realizare efectivă a reperului. Din punctul de vedere al structurii acestuia din urmă în marea majoritate dacă este un corp închis el este realizat cu o structură compactă. Partea de sprijin este compusă din două mari zone. Prima este cea de strat de aderență. A doua parte este de tip piramidală sau cilindrică cu o secțiune de trunchi de con în prima parte și respectiv cilindrică sau piramidală în a doua parte [69., 70.].

Una din problemele observate la marea majoritate a programelor de generare este că generarea automată nu generează întotdeauna o structură uniformă de suporti. De aceea se impune după partea de generare automată să se facă o corecție prin adăugare de suporti.

A doua problemă este legată de dimensiunile rezultate prin imprimare, care sunt diferite de valoarea nominală după cele trei direcții.

Reperul conceput pentru studiu a fost realizat de tip prismatic cu două trepte pentru a se putea studia influența orientării reperului asupra dimensiunilor acestuia (*Figura 2.4.1.*).

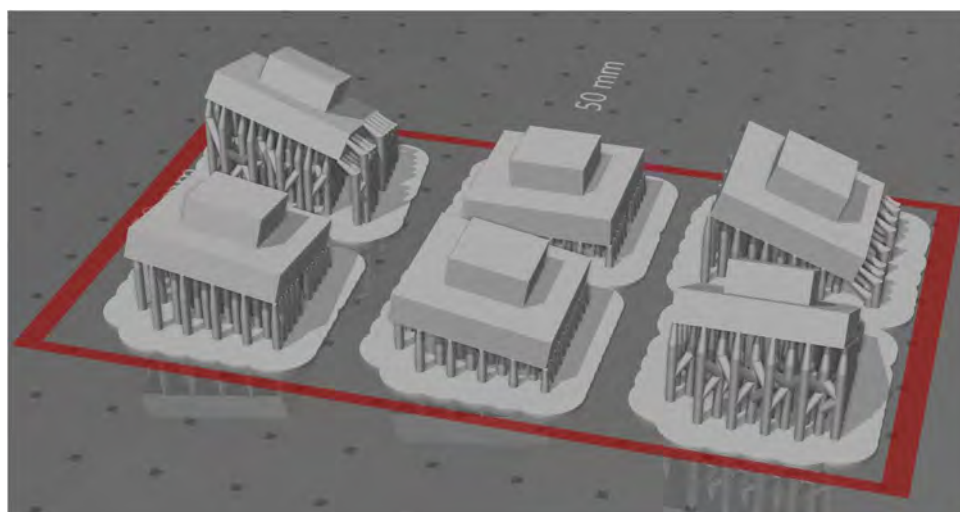


Fig.2.4.1. Elementul poziționat cu orientări diferite pentru generare straturi

Pentru imprimare se utilizează o imprimantă dispusă într-o camera care este protejată termic asigurându-se condițiile de stabilitate de temperatură necesară pentru imprimare și lângă aceasta rășina ecologică și sistemul de măsurare a temperaturii și umidității (*Figura 2.4.2.*).

Principalul avantaj al utilizării soluției este conservarea energiei termice generate de către imprimanta 3D în procesul de imprimare cu reducerea costurilor de exploatare a acesteia. Trebuie arătat că procesul de imprimare este dependent de un anumit interval de temperatură pentru a avea rezultate optime de imprimare 25 la 30 grade.

Pentru generarea orientării reperelor și realizarea elementelor de susținere a orientării reperelor pentru imprimare a fost utilizat un program specific imprimării DLP care permite verificarea corectitudinii generării automate a elementelor anterior menționate CHITUBOX 64.



Fig.2.4.2. *Imprimantă, cameră termică, aparat măsurare condiții termice și rășina utilizată*

Din experimentările realizate cu rășină ne ecologică s-a observată că modul de orientare și respectiv grosimea stratului generat poate să producă influențe asupra mărimilor dimensionale și de formă ale reperelor paralelipedice.

Trebuie arătat de asemenea ca între grosimea stratului realizat și ceilalți parametri tehnologici există o legătură directă de subordonare. Astfel dacă stratul este mai subțire durata de expunere va fi mai mică. De asemenea această durată este dependentă și de caracteristicile fizice și chimice ale materialului de polimerizare și respectiv al celui de bază.

Din cele prezentate a fost conceput un program experimental la care sau luat în considerare elementele anterior menționate.

Primul factor lua în considerare este orientarea reperului conceput pentru experiment care a fost orientat diferit după cele două axe de generare a reperului (*Figura 2.4.3.*). Pentru realizarea programului de măsurare datele au fost centralizate sub formă tabelară și piesele supuse procesului de măsurare au fost numerotate (*Tabelul 2.4.1.*).

Al doilea parametru avut în vedere este cel determinat de grosimea stratului care se generează la imprimarea 3D. Această grosime a fost astfel aleasă încât să poată să fie simetrică față de valoarea centrală de 0,05 mm uzual utilizată. Pentru această valoare durata de timp determinată a fi optimă din experimente anterioare s-a dovedit a fi de 8 secunde. Restul elementelor specifice nu au mai fost schimbate ele având o influență minoră asupra modificărilor dimensionale ale elementului la imprimarea 3D.

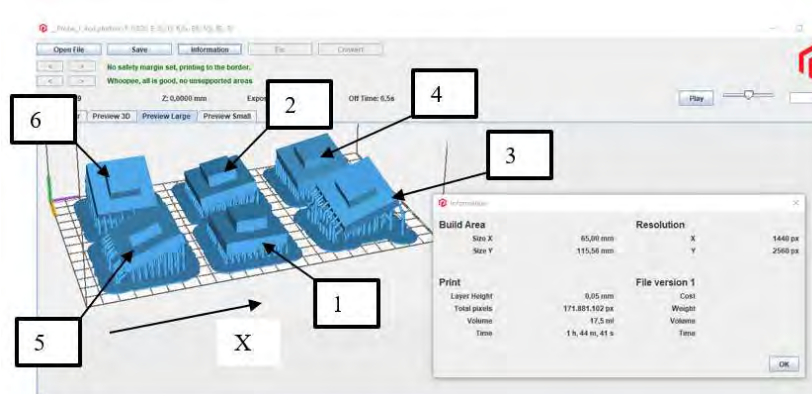


Fig.2.4.3. Element orientat la diferite unghiuri pentru studierea comportamentului dimensional

Tabelul 2.4.1. Orientare reper raportat la planul X - Y.

Număr probă	Unghi axă X	Unghi axă Y	Grosime strat in mm
1-5, 1-7, 1-3.	0	0	0.05, 0.07, 0.03
2-5, 2-7, 2-3.	15	0	0.05, 0.07, 0.03
3-5, 3-7, 3-3.	30	30	0.05, 0.07, 0.03
4-5, 4-7, 4-3.	15	15	0.05, 0.07, 0.03
5-5, 5-7, 5-3.	30	0	0.05, 0.07, 0.03
6-5, 6-7, 6-3.	40	0	0.05, 0.07, 0.03

Probele imprimate 3D au fost organizate pe grupe de grosime de strat așa după cum se poate observa și din (Figura 2.4.4.).



Fig.2.4.4. Element imprimate la diferite grosimi pentru studierea comportamentului dimensional

Pentru centralizarea datelor din experiment a fost conceput un tabel în format EXCEL în care sunt prezentate și introduse pentru fiecare dintre probe datele în (Figura 2.4.5.). În figură sunt prezentate

datele determinate pentru una dintre cele trei grosimi de straturi generate cea de 0,07 mm. De asemenea determinarea valorilor după direcția verticală se va face prin măsurare cu șuber digital. Determinarea se poate observa în (Figura 2.4.6.) și sunt organizați pe cele trei zone de dimensiuni care sunt posibil a se măsura fără deteriorarea majoră a structurii de suport generați.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1																					
2		Horizontal		Broken supports		0			X 15; Y 0		Broken supports		0		X 30; Y 30		Broken supports		1		
3		1-7				small	high		2-7				small	high		3-7			small	high	
4						10,56	21,03						10,74	20,97					10,47	20,89	
5																					
6																					
7						10,60	20,97													10,53	20,96
8																					
9													1054,00	20,90					10,39	20,85	
10																					
11		small	10,47	10,49	10,49				small	10,46	10,70	10,65				small	10,43	10,49	10,54		
12		high	20,92	20,95	20,94				high	21,06	21,08	21,02				high	20,81	20,79	20,90		
13																					
14																					
15																					
16		X 15; Y 15		Broken supports		0			X 30; Y 0		Broken supports		0		X 0; Y 40		Broken supports		0		
17		4-7				small	high		5-7				small	high		6-7			small	high	
18						10,54	20,90						10,48	20,88					10,47	20,84	
19																					
20																					
21						10,57	20,93													10,46	20,85
22																					
23																					
24						10,52	20,99						10,41	20,89					1045,00	20,91	
25		small	10,55	10,54	10,53				small	10,40	10,39	10,38				small	10,28	10,34	10,31		
26		high	21,03	20,94	20,96				high	20,87	21,01	20,81				high	20,72	20,84	20,73		
27																					

Fig.2.4.5. Datele centralizate pentru grosimea de 0,07 mm pentru studierea comportamentului dimensional

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
28																					
29		Horizontal							X 15; Y 0							X 30; Y 30					
30		1-7							2-7							3-7					
31																					
32			8,25		8,24		8,26			7,89		8,03		8,13			8,19		8,19		8,22
33				4,41	4,2	3,93					3,85	4	4,05					3,95	3,98	4	
34			8,43	4,24		4,21	8,31			7,27	4,12						8,19	3,99			
35																					
36																					
37				4,21	4,27	4,24					4,19							4,2			
38			8,25		8,38		8,31			8,15							8,15				
39																					
40		X 15; Y 15							X 30; Y 0							X 0; Y 40					
41		4-7							5-7							6-7					
42																					
43			8,09		8,02		8,13			8,16							8,16				
44				4,12	4,06	4,08					3,95	3,96	4,07					3,86	4,04	3,97	
45																					
46			8,2	4,12						8,15	3,93						8,18	3,99			
47																					
48				4,12							3,95	4,06	3,88					3,94		3,99	
49			8,08							8,28							8,21				
50																					

Fig.2.4.6. Datele centralizate pentru grosimea de 0,07 mm pe direcție verticală pentru studierea comportamentului dimensional

Factori care nu se vor putea determina prin măsurare se vor interpreta pe bază de evaluare optică sau de integritatea structurii prin acordare de note de la 1 la 6 pentru fiecare dintre grosimile de strat imprimate. Ulterior cele mai bune repere din cadrul unei grosimi se vor compara cu cele de la celelalte grosimi de strat cele mai bune realizate.

Pentru determinarea modului în care se modifică dimensiunea reperului acesta a fost măsurat în trei zone în planul X-Y de generare. Aceste zone sunt cele marginale și respectiv cea mediană pe fiecare dintre direcțiile plane. Pentru partea verticală au fost realizate măsurări după același principiu cu observarea modificărilor dimensionale. Trebuie arătat că pe direcția verticală reperele au fost măsurate

în zona colțurilor și respectiv în zona mediană pentru fiecare din probe, iar datele sunt centralizate într-un al doilea tabel pentru a ușura interpretarea informației determinate (*Figura 2.4.6.*).

Calitatea suprafețelor a fost evaluată optic deoarece suprafețele generate. Se poate observa că pe zonele din margine pentru reperele la care programul nu a generat suporti există tendințe de curbare a vârfurilor pătratelor care se produc la cele cu secțiune mare și nu apar la cele cu secțiune mică.

Pentru evaluarea caracteristicilor reperelor a fost luată în considerare integritatea reperului și a elementelor de susținere generați, deformarea în mod special în plan orizontal care a fost determinată dimensional și respectiv calitatea reperului generat care a ținut cont în mod special de abaterile dimensionale față de dimensiunile nominale ale reperelor. Pe baza acestor determinări a fost realizat tabelul de alocare a valorilor numerice unde cifra 1 a fost alocată pentru caracteristica cea mai slabă și cifra 6 pentru cea mai bună (*Figura 2.4.7.*).

	X 0; Y 0	X 15; Y 0	X 30; Y 30	X 15; Y 15	X 30; Y 0	X 0; Y 40	
	1-7	2-7	3-7	4-7	5-7	6-7	
integritate	4,5	4,5	1,5	4,5	1,5	4,5	21
deformare	4,39	4,41	4,25	4,32	4,25	4,3	21
	2	1	5,5	3	5,5	4	21
calitate	5	4	1	6	3	2	21
	11,5	9,5	8	13,5	10	10,5	

Fig.2.4.7. Datele centralizate pentru grosimea de 0,07 mm pe direcția de evaluare calitate, integritate

Din analiza făcută pentru cele trei tipuri de dimensiuni s-au desprins pornind de la cele trei tabele că pentru grosimea de 0,07 mm cea mai bună valoare se obține pentru reperul înclinat la 15 grade după ambele direcții și la mică distanță cel înclinat la 30 grade după ambele direcții.

Pentru cazul reperelor cu grosimea stratului de 0,03 mm se poate observa din Figura 8 că cele mai bune rezultate se obțin pentru reperul generat prin înclinare la 15 grade după direcția X și 0 grade. Dintre acestea două se va alege reperul la care deformățiile de suprafață sunt cele mai mici și acesta este cel orizontal (*Figura 2.4.8.*).

Pentru cazul generării de repere cu grosime de 0,05 mm se constată că cele mai bune rezultate se obțin pentru reperul înclinat la 15 grade după ambele direcții (*Figura 2.4.9.*).

	X 0; Y 0	X 15; Y 0	X 30; Y 30	X 15; Y 15	X 30; Y 0	X 0; Y 40	
	1-7	2-7	3-7	4-7	5-7	6-7	
integritate	4,5	4,5	1,5	4,5	1,5	4,5	21
deformare	4,59	4,83	4,25	4,3	4,49	4,87	21
	3	2	6	5	4	1	21
calitate	5	6	3,5	2	1	3,5	21
	12,5	12,5	11	11,5	6,5	9	

Fig.2.4.8. Datele centralizate pentru grosimea de 0,03 mm pe direcția de evaluare calitate, integritate

	X 0; Y 0	X 15; Y 0	X 30; Y 30	X 15; Y 15	X 30; Y 0	X 0; Y 40	
	1-7	2-7	3-7	4-7	5-7	6-7	
integritate	4,5	4,5	1,5	4,5	1,5	4,5	21
	4,47	4,32	4,5	4,31	4,38	4,47	
deformare	2,5	5,5	1	5,5	4	2,5	21
calitate	3	1	6	2	5	4	21
	10	11	8,5	12	10,5	11	

Fig.2.4.9. Datele centralizate pentru grosimea de 0,05 mm pe direcția de evaluare calitate, integritate

Pentru cele trei repere cu cele mai bune rezultate se va face un studiu paralel pornind de la datele măsurate sau determinate. În (Figura 2.4.10.) se poate observa analiza din punct de vedere dimensional plană pentru cele două zone pătrate la care s-a determinat abaterea procentuală față de dimensiunile CAD utilizate la realizarea solidului. Din analiză se poate observa că cele mai mici abateri după ambele direcții se obțin pentru reperul cu grosimea stratului de 0,07 mm pe partea de generare.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
1																											
2			0,03	mm																							
3																											
4			Horizontal			Broken supports	0																				
5			1-7					small	high	small	high																
6								10,60	21,19	6,00%	5,95%																
7								10,74	21,20	7,40%	6,00%																
8								10,60	21,11	6,00%	5,55%																
9			small	10,84	10,77	10,71																					
10			high	21,17	21,19	21,20																					
11																											
12			small	8,40%	7,70%	7,10%																					
13			high	5,85%	5,95%	6,00%																					
14																											

Fig.2.4.10. Studiul comparativ pentru modificările dimensionale pentru reperele generate

Analiza comparativă după direcția verticală se poate observa în (Figura 2.4.11.) că avem cele mai bune rezultate sunt pentru reperul la care grosimea stratului este de 0,07 mm.

0,03	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			</
------	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

Fig.2.4.11. Studiul comparativ pentru modificările dimensionale pentru reperele generate

Din acest studiu se poate observa că pentru ambele soluții grosimea stratului este cel mai bun cel de 0,07 mm.

2.5. Aspecte ale calculelor economice ale componentelor imprimate 3D

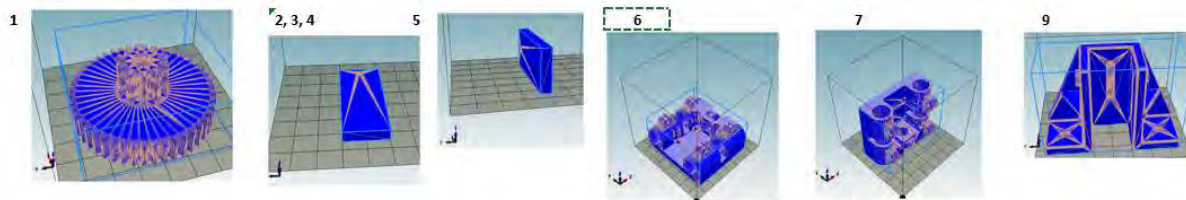
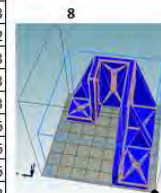
2.5.1. Aspecte economice avute în vedere la realizarea prin imprimare 3D tip FDM

Din punct de vedere economic, trebuie să luăm în considerare aspectele pe care le oferă contabilitatea de gestiune atunci când se calculează costul realizării produselor realizate prin imprimare 3D FDM [71.]. Primele dintre acestea sunt costuri directe care iau în considerare toate elementele implicate direct în realizarea acestor componente. Printre ei amintim:

- *plasticul* utilizat pentru imprimare, valoarea acestuia este determinată de cunoașterea lungimii firului de imprimare și valoarea în € sau \$ a contorului folosit pentru imprimare. Majoritatea programelor permit determinarea lungimii firului în faza de generare a ecranului. Pentru părțile generate, se poate observa din (*Tabelul 2.5.1.1.*) Că valoarea depinde direct de gradul de umplere a spațiului din interiorul părții generate;
- *consumul de energie electrică* necesar pentru plasticizarea materialului și menținerea aderenței materialului la momentul depunerii materialului pe suprafață. Valoarea acestui cost este determinată pe baza capacității instalate și a duratei de timp în care se face lucrarea de tipărire. Se poate susține că în faza generării programului de comandă pentru realizarea piesei, se va determina durata estimată a realizării acesteia. După terminarea tipăririi, durata de timp va deveni cea care diferă de cea estimat inițial. Din cele prezentate, este posibilă estimarea costurilor de energie pentru o parte din faza inițială și cele după partea generată (*Tabelul 2.5.1.1.*);
- *amortizarea costului achiziției* unei imprimante pentru imprimarea 3D. Valoarea sa depinde de perioada de amortizare admisibilă în ani și de numărul de repere care trebuie realizate într-o lună. Dacă numărul de repere dintr-o lună este cunoscut doar la sfârșitul lunii, valoarea estimată a acestui număr poate fi determinată prin însumarea comenzilor care vor fi lansate în termen de o lună la începutul lunii (*Tabelul 2.5.1.1.*);
- *costul salariului* este estimat în primă fază și determinat efectiv pe durata procesului de tipărire (*Tabelul 2.5.1.1.*). Acest lucru este greu de estimat, deoarece depinde de perioada de timp pe care o folosește imprimanta și, în același timp, de caracteristicile materialului care va fi utilizat pentru imprimare. Putem avea un material care folosește mai repede duza și celelalte elemente care o antrenează în acest proces sau putem avea materiale care o folosesc mai puțin;

Tabel 2.5.1.1. Costul pentru imprimarea pieselor 3D din punct de vedere tehnologic

Condition for generation d=1,75 mm, dd=0,4 mm, height 0,2 mm, salary in Euro 315, printer cost in Euro 293, power 300 Watt, Filam. Cost in Euro 22														
No.	Name part	Material	Pozition	Temp in C	Speed in mm/s		Lenght in mm	Infill in %	Estim. time in min	Material cost in Euro	Salary cost in Euro	Investment cost in Euro	Energy cost in Euro	Total direct cost in Euro
					infill	perimeter								
1	Gear	PLA	Horizontal	210	50	35	8214	40	108	0,09	0,63	0,0002	0,0001	0,7203
2	Plan	PLA	Horizontal	210	75	45	1292	40	13	0,08	0,41	0,0001	0,0001	0,4902
3	Plan	PLA	Horizontal	210	50	35	1292	40	17	0,08	0,53	0,0002	0,0001	0,6103
4	Plan	PLA	Horizontal	210	35	27	1292	40	23	0,08	0,71	0,0002	0,0001	0,7903
5	Plan	PLA	Vertical	210	50	35	1350	40	20	0,89	0,63	0,0002	0,0001	1,5203
6	Slider tabel	PLA	Vertical	210	50	35	8984	20	143	0,59	4,47	0,001	0,0006	5,0616
7	Slider tabel	PLA	Horizontal	210	50	35	8715	20	135	0,57	4,22	0,001	0,0006	4,7916
8	Suport 1	PLA	Horizontal	210	50	35	9033	20	135	0,59	4,22	0,001	0,0006	4,8116
9	Suport 2	PLA	Horizontal	210	50	35	5608	20	89	0,37	2,78	0,0008	0,0004	3,1512



Din calculele economice se poate observa că 12,5% reprezintă costul materialelor, 87,5% costurile salariale, 0,03% cele cu amortizare și 0,01% costurile energetice.

Celelalte costuri indirecte depind de partea administrativă a unității de producție și, în cazul unei firme organizate eficient acesta se situează la aproximativ 25%.

2.5.2. Aspecte economice avute în vedere la realizarea prin imprimare 3D tip DLP

Generarea de componente 3D tip DLP [71.] în domeniul industriei electromecanice este în prezent în plină expansiune, cu tendințe majore de schimbare a modului în care sunt abordate fazele pentru generarea acestor părți. În trecut, munca pieselor s-a bazat pe prelucrarea mecanică a îndepărtării materialelor, prin eroziunea metalelor, frezarea, forajul sau strungul sau cu energie concentrată cu eroziune electrică, laser, fascicul, dar și pe topirea sau deformarea plastică la o temperatură scăzută sau ridicată.

Tendința actuală este de a înlocui tehnologiile consumatoare de energie, cu altele în care consumul de energie este mult redus. De asemenea, trebuie subliniat faptul că utilizarea materialelor care pot fi reutilizate prin regenerare ca o condiție prealabilă pentru reducerea costurilor de fabricație, dar și reutilizarea materialelor din care sunt fabricate. Având în vedere aspectele menționate, se poate afirma că, pentru piese sau subansambluri pot fi utilizate în condiții diferite, cu solicitare redusă sau amantă a componentei. Este posibilă realizarea acestei părți prin imprimarea 3D atât prin FDM [61.] cât și prin DLP.

Costurile pentru realizarea componentei pentru elementele specifice ale procesului sunt grupate în cinci categorii:

- *costul materialului* utilizat la imprimare și a materialelor utilizate pentru a realiza procesul de piesă și procesul de imprimare;
- *costul timpului* de imprimare a pieselor generate și de imprimare a pieselor;
- *costul piesei tipărite* după procesare;

- *costul imprimantei* cu care a generat acea piesă;
- *costul energiei* utilizate pentru generarea și menținerea condițiilor de mediu în timpul procesului de imprimare.

Calculul costurilor producției pieselor analizate se face ținând cont de costurile implicate în achiziționarea de imprimante, caracteristicile consumatorilor pe care le generează și eventualele costuri ale salariilor. Pentru a eficientiza procesul s-a conceput un layout de tip tabular EXCEL care să permită ambele valori menționate anterior, dar și să poată face o comparație între cele două metode de prelucrare tipărite 3D.

Calcululele s-au bazat pe elemente specifice ale achiziției, fiind aceea că imprimantele realizate prin achiziții directe, materiale care au fost achiziționate prin achiziție directă. În partea de sus a tabelului sunt prezentate formulele de calcul, iar valorile rezultate mai scăzute pentru FDM (*Figura 2.5.2.1.*).

Calcululele s-au bazat pe elemente specifice ale achiziției, fiind aceea că imprimantele realizate prin achiziții directe, materiale care au fost achiziționate prin achiziție directă. În partea de sus a tabelului sunt prezentate formulele de calcul, iar valorile rezultate inferioare pentru DLP (*Figura 2.5.2.2.*).

Analiza economică poate constata că, pe de o parte, datorită dimensiunilor mai mici pe grosimea imprimării straturilor, avem durate de DLP mai mari realizări ale pieselor. În același timp, costurile completării pieselor sunt influențate în mare măsură de componenta salarială și mai puțin de investiții. Costurile pieselor realizate pe versiunea cu DLP sunt aproape duble față de piesele realizate de FDM.

T		J	K	L	M	N	O	P
Cost for generation		Salary	400			Euro		
		Printer cost	293			Euro		
		Power printer	300			Wats		
		Power cost	=ROUND(0,454/4,7;2)			Euro/kWh		
		Filament cost	19,15			Euro		
Lenght in mm	Weight in kg	Infill in %	Estim. time in min	Material cost in Euro	Salary cost in Euro	Investment cost in Euro	Energy cost in Euro	
21070	0,0629	20	350	=+ROUND((110*22;2)	=+ROUND((110*\$M\$2/168/60;2)	=+ROUND((110*\$M\$3/168/60/5;2)	=+ROUND(\$M\$5*\$M\$4/1000/60*110;2)	
19790	0,059	20	312	=+ROUND((111*22;2)	=+ROUND((111*\$M\$2/168/60;2)	=+ROUND((111*\$M\$3/168/60/5;2)	=+ROUND(\$M\$5*\$M\$4/1000/60*111;2)	

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																
2	Condition for generation			diam	0,4	mm	Cost for generation			Salary	400	Euro				
3				height	0,2	mm				Printer cost	293	Euro				
4										Power printer	300	Wats				
5										Power cost	0,1	Euro/kWh				
6										Filament cost	19,15	Euro				
7																
8	No.	Name part	Material	Position	Tempera ture in C	Speed in mm/s infill	perimeter	Lenght in mm	Weight in kg	Infill in %	Estim. time in min	Material cost in Euro	Salary cost in Euro	Investment cost in Euro	Energy cost in Euro	Total direct cost in Euro
9	1	Stepper part	PLA	Horizontal	210	50	30	21070	0,0629	20	350	1,38	13,89	2,03	0,18	17,48
10	2	Fix part	PLA	Horizontal	210	50	30	19790	0,059	20	312	1,30	12,38	1,81	0,16	15,65
11																
12																

Fig.2.5.2.1. Piese calculate pentru procesul de imprimare 3D FDM

D	E	F	G	H	I	J	K
7	diam	0,4	mm				
	height	0,2	mm				
						Cost for generation	
Part	Volume in ml	Thickness in mm	Estim. time in min	Material cost in Euro	Salary cost in Euro	Investment cost in Euro	Energy cost in Euro.
1	88,6	0,05	=8*60+38	=ROUND(E11*\$M\$7/500;2)	=ROUND(G11*\$M\$2/168/60;2)	=ROUND(G11*(SM\$3+SM\$6)/168/60/5;2)	=ROUND(SM\$5*\$M\$4/1000/60/G11;2)
2	19,1	0,05	=4*60+23	=ROUND(E12*\$M\$7/500;2)	=ROUND(G12*\$M\$2/168/60;2)	=ROUND(G12*(SM\$3+SM\$6)/168/60/5;2)	=ROUND(SM\$5*\$M\$4/1000/60/G12;2)
1	99,4	0,05	=7*60+55	=ROUND(E13*\$M\$7/500;2)	=ROUND(G13*\$M\$2/168/60;2)	=ROUND(G13*(SM\$3+SM\$6)/168/60/5;2)	=ROUND(SM\$5*\$M\$4/1000/60/G13;2)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1													
2				diam	0,4	mm					Salary	400	Euro
3				height	0,2	mm					Printer cost	500	Euro
4											Power printer	60	Wats
5											Power cost	0,1	Euro/kWh
6											UV tratment	30	Euro
7											Resin cost	30	Euro/500 ml
8													
9													
10													
No.	Name part	Part	Volume in ml	Thickness in mm	Estim. time in min	Material cost in Euro	Salary cost in Euro	Investment cost in Euro	Energy cost in Euro	Total direct cost in Euro			
1	Stepper part	1	88,6	0,05	518	5,32	20,56	5,45	0,05	31,38			
		2	19,1	0,05	263	1,15	10,44	2,77	0,03	14,39			
2	Fix part	1	99,4	0,05	475	5,96	18,85	5	0,05	29,86			

Fig.2.5.2.2. Piese calculate pentru procesul de imprimare 3D DLP

2.5.3. Aspecte economice avute în vedere la realizarea prin imprimare 3D tip SLA

Obținerea de componente sau subansambluri prin tehnologia aditivă a rășinii cu fascicul laser [72.] este un domeniu de laborator dar și industrial specific realizării reperelor prin polimerizare optică. Utilizarea fascicului laser a apărut ca alternativă la fasciculele de lumină emise de diodele luminescente sau ecranele cu matrice optică luminescentă. Puterea fascicului laser este mai mare din punct de vedere optic decât cea a lumini optice emise de leduri sau ecrane luminoase. Acest lucru va determina o mai rapidă polimerizare optică a materialului de legătură din rășina utilizată în procesul de generare a reperelor.

Din punct de vedere constructiv așa după cum se poate observa în (*Figura 2.5.3.1.*) avem o structură a generării cu fascicul laser pe suprafața de imprimare de tip plan cu grosime mică de 1 mm. Geometric dimensiunile constructive se pot observa în (*Figura 2.5.3.2.*). Distanța dintre poziția punctului focal raportat la extremități și respectiv la centru acestuia este de 2,267 mm. Acest aspect poate să prezinte o influență asupra straturilor subțiri supuse procesului de polimerizare. Deoarece capacitatea de generare a unui strat prin imprimare este de la 0,025 mm până la 0,1 mm. Important este în același timp și parametrul viteză de imprimare care pentru grosime mică este de 175 mm/secundă, în timp ce pentru grosime mare scade la 85 mm/secundă pentru rășina producătorului imprimantei. Cu aceste elemente se poate astfel determina durata de generare a unui reper din punct de vedere al generării acestuia. Trebuie arătat că există o similitudine între imprimarea FDM și imprimarea SLA. În ambele cazuri imprimarea se realizează linear prin generare de linii continui de material (*Figura 2.5.3.3.*) pentru generare cu tehnologie FDM și respectiv (*Figura 2.5.3.4.*) pentru generare de tip SLA. Acest lucru ne determină să afirmăm că dacă la viteze mai mici reperele rezultă mai bune pentru procedeul FDM și pentru procedeul SLA este această observație adevărată. Ea este întărită de recomandarea producătorului

de imprimantă că rezultate optime se obțin la viteze cuprinse între 50 mm/secundă și 100 mm/secundă, cu o putere a laserului de 42 unități pentru rășină de tip DLP și 55 unități pentru rășină de tip SLA.

Din punctul de vedere al realizării de componente acestea trebuie să se încadreze în dimensiunile suprafeței de imprimare de 128 mm pe 128 mm. Este important de observat că poziția de ridicare este dispusă central pe placă și dacă poziția reperelor nu este centrală poate crea probleme de vibrații suplimentare la generarea straturilor (*Figura 2.5.3.5.*). Un al doilea aspect important este cel al generării de repere multiple pe suprafața de imprimare. Se recomandă ca distribuția reperelor pe suprafață să se realizeze cât mai echilibrat pe partea centrală și mai puțin către extremitățile laterale (*Figura 2.5.3.6.*).

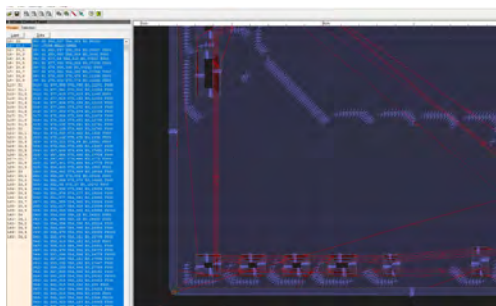


Fig.2.5.3.1. Structura constructivă program

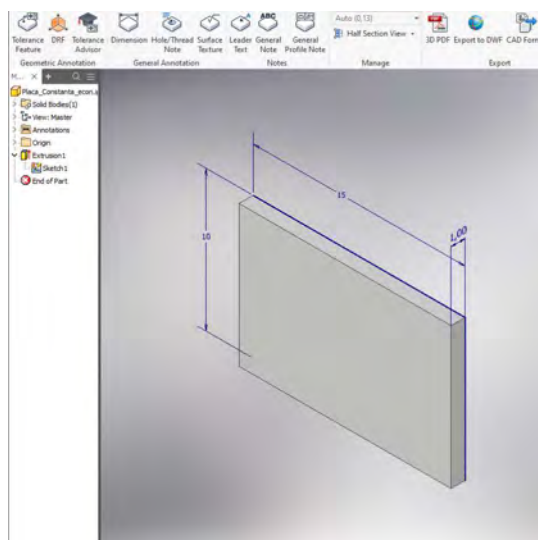


Fig.2.5.3.2. Desenul reperului cu dimensiuni

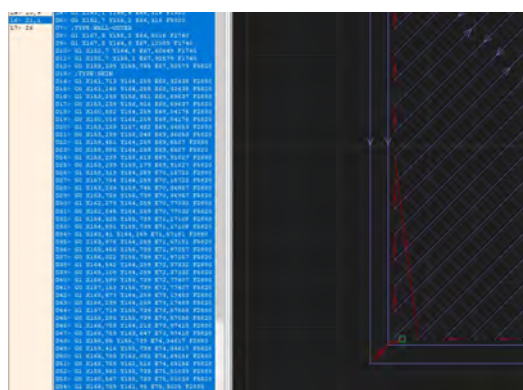


Fig.2.5.3.3. Contur imprimare FDM

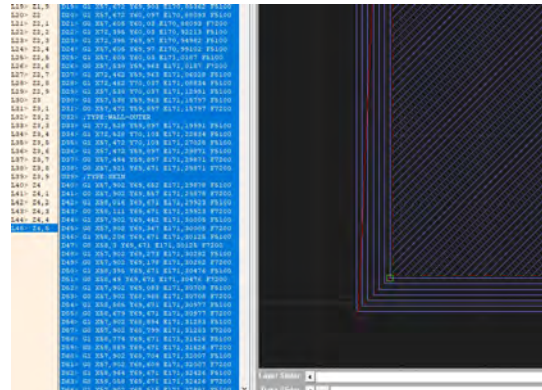


Fig.2.5.3.4. Contur imprimare SLA

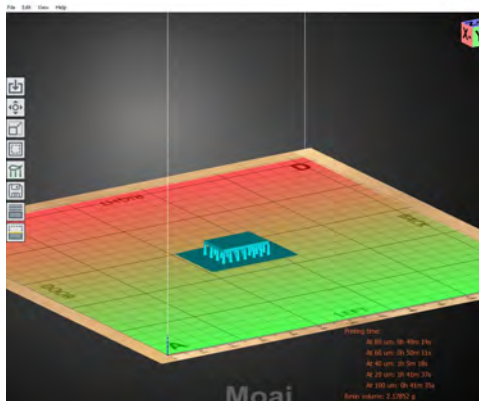


Fig.2.5.3.5. Poziționare centrală

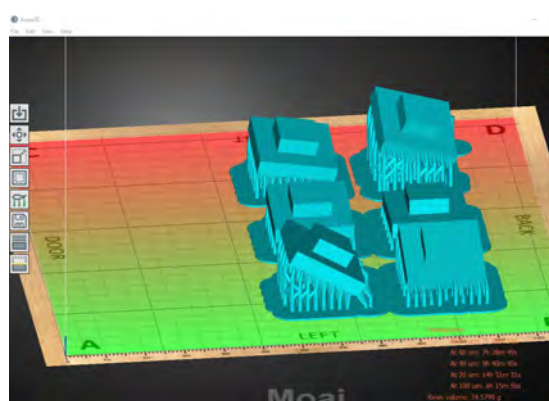


Fig.2.5.3.6. Distribuirea elementelor pe suprafață

Dacă facem o comparație a duratei de timp necesare pentru realizarea reperelor din ultima figură prin cele trei procedee se poate observa că pentru o grosime de strat de 0,2 mm pentru FDM și 0,1 pentru DLP și respectiv SLA avem următoarele rezultate:

- pentru FDM la o viteză de imprimare de 25 mm/sec, straturi inferioare 5, timp de imprimare 2 minute și 13 secunde pentru 5 straturi, fără suporti la partea inferioară;
- pentru DLP la o durată de imprimare pe strat de 10 secunde și pentru straturile inferioare în număr de 8 de 50 secunde, suporti ca și setare la densitate medie de tip conici cu diametru punct contact 1,2 mm și lungime de 3 mm, timp de imprimare 17 minute;
- pentru SLA la o setare implicită specifică pentru strat de 0,1 mm cu suporti generați pentru varianta DLP ca și setare, ne va rezulta un timp de imprimare de 41 minute și 35 secunde.

Deoarece tehnologia de realizare a reperelor pe principiul expunerii la fasciculul laser a unui strat de rășină este similară cu cea de depunere de material pe cale termică pe suprafețe plane, aceasta ca și mod de comandă a mașinii de deplasare a fasciculului laser se face pe același tip de program și anume Cura. Diferența majoră este dată de fapt că la imprimarea cu fascicul laser este obligatoriu ca să existe la partea inferioară elemente de susținere a reperului care se supune procesului de generare. Datorită faptului că în programul Cura nu se pot genera astfel de elemente este necesar ca realizarea elementelor de susținere să se facă în programe specifice procedurii DLP care este principal similar cu cel SLA.

Datorită acestor aspecte se poate afirma că durata de realizare a procesului de generare a straturilor pentru realizarea procesului de imprimare crește. Acest lucru va determina o creștere a manoperei specifice procesului de generare a programului de comandă a mașini. Dacă se iau în considerare și aspectele legate de modul de generare prezentat în primul capitol se poate trage concluzia că procedeul de prelucrare cu fascicul laser va fi mai scump decât oricare dintre cele două procedee pe partea manoperei de generare a programului de comandă al deplasării fasciculului.

Din punctul de vedere al parametrilor tehnologici de generare trebuie avuți în vedere cei legați de puterea fasciculului laser care este dependentă de tipul de rășină utilizată. Pentru rășină mai sensibilă optic de tipul celei utilizate în procesul DLP puterea trebuie să fie mai mică undeva la jumătate din puterea sursei laser, în timp ce pentru rășină care este specifică procesului laser aceasta trebuie să fie mai mare cu aproximativ 15% față de cea anterioară. Un parametru important este grosimea stratului de rășină care va determina și viteza de prelucrare specifică și respectiv timpul în care reperul se va realiza.

Din punctul de vedere al verificării integrității reperului trebuie avute în vedere cele două aspecte specifice ale acestuia:

- verificare integrității solidului care stă la baza realizării reperului imprimat 3D;
- verificarea structurii elementelor de susținere care sunt necesare pentru realizarea reperului care se dorește a se realiza.

Din scurta prezentare se poate observa că etapele de verificare sunt preluate de la cele două procedee de imprimare a reperelor și anume cele de tip FDM și DLP. Aceste faze sunt realizate prima

după etapa de generare a solidului și se realizează cu programe specifice prelucrării de imprimare FDM. A doua este realizată după generarea structurii de elemente de susținere și are rolul de a controla integritatea structurii pentru realizarea procesului de imprimare. Această din urmă fază este specifică procesului de imprimare DLP. Datorită acestor aspecte prezentate se poate afirma că durata de realizare a programului pentru imprimarea reperului este similară cu cea a procedurii de imprimare DLP.

Pentru a explica mai bine partea de prelucrare cu fascicul laser, dar și pe cea de cost de realizare a unui reper vom lua un reper specific al unei instalații de prelucrare cu fascicul laser prezentată în (Figura 2.5.3.7.). Vom determina duratele de timp necesare pentru a se realiza operațiile de verificare care sunt de 4 minute pentru verificare integritate reper (Figura 2.5.3.8.) și respectiv cele de generare a suporturilor (Figura 2.5.3.9.) și respectiv verificarea integrității suporturilor generați (Figura 2.5.3.10.).

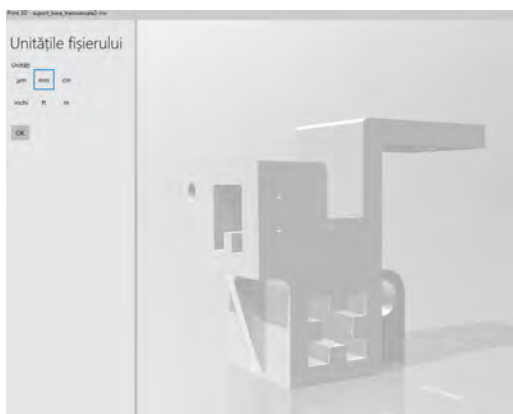


Fig.2.5.3.7. Reper generat CAD

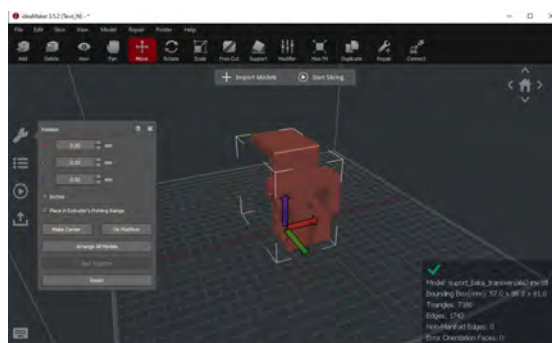


Figura 2.5.3.8. Verificare integritate reper

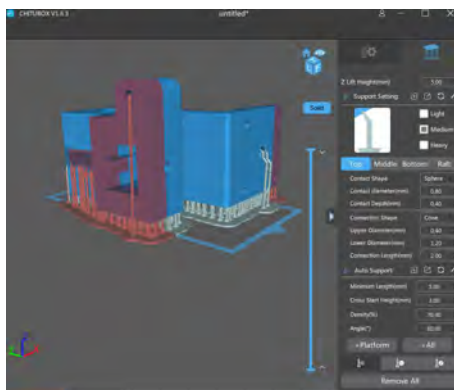


Fig.2.5.3.9. Generare suporturi solid

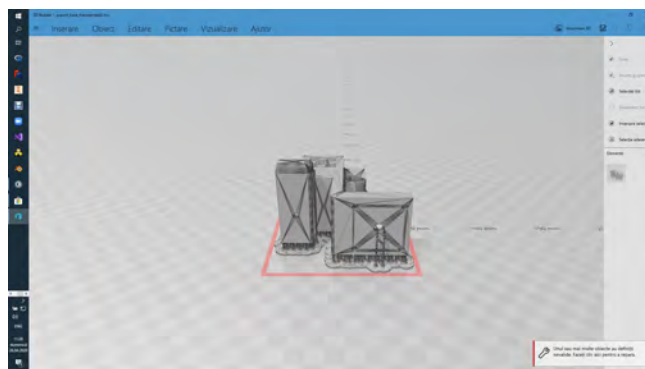


Figura 2.5.3.10. Verificare integritate suporturi generați

Pentru realizarea operațiilor prezentate se vor utiliza un ansamblu de programe free sau educaționale din punctul de vedere al licenței acestora. Pornim pe partea de CAD cu utilizarea programului INVENTOR pentru realizarea reperului 3D. După care solidul generat se va încărca în programul IDEAMAKER pentru a se verifica integritatea și a se realiza operația de reparare acolo unde aceasta se impune. După realizarea corecției acesta se va salva ca și solid și se va importa în programul CHITUBOX pentru generarea elementelor de susținere și cu acestea adăugate se va exporta ca și ansamblu solid reperul astfel realizat și se va supune unui proces de verificare și corecție realizat cu programul 3D BUILDER. Durata de timp a operației este dependentă de nivelul de erori de generare și

de complexitatea reperului, aceasta variind între 5 minute și respectiv zeci de minute pentru reperele complexe.

Din punctul de vedere al programului de comandă acesta este relativ similar pentru ambele tipuri de imprimare. Structura este de tip modular având o parte de început de program cu setările specifice procesului și o parte finală cu setările specifice opririi procesului de prelucrare. Între aceste două părți este cuprinsă partea de program propriu zis cu elemente specifice acestuia. Partea de început a programului pentru ambele versiuni arată ca în (Figura 2.5.3.11.) pentru varianta FDM și respectiv ca în (Figura 2.5.3.12.) pentru SLA.

```
; *** G-code Prefix ***
;
; [mm] mode
G21
; Absolute position mode
G90
; Start heating the Bed
M140 S43
; Home the axes
G28
; Wait till the Bed is heated
M190 S43
; Heated chamber G-code is not universal
;M141 S0
;M191 S0
;
; *** Main G-code ***
;
; BEGIN_LAYER_RAFT z=0.400 z_thickness=0.400
;
; *** Selecting and Warming Extruder 1 to 195 C ***
; Select extruder, warm and wait, purge
G4 P0
M104 S195
M542
M551 P32000 S900
M543
```

**Fig.2.5.3.11. Modulul de start pentru FDM
GCode program**

```
;FLAVOR:Marlin
;TIME:6666
;Filament used: 0m
;Layer height: 0.1

;Generated with Cura_SteamEngine 3.5.1
M82 ;absolute extrusion mode
G28 ;Home
```

**Fig.2.5.3.12. Modulul de start pentru SLA
GCode program**

În partea de program FDM se pot observa pe lângă comenzile specific de tipul celor de siguranță și respectiv cele de poziționare în origine, a comenzilor specifice de încălzire masă de lucru și respectiv extruder cu o comandă specifică de așteptare până la atingerea parametrilor de lucru. Pentru partea de start a programului pentru imprimare de tip SLA partea de început este relativ scurtă deoarece multe din setări se programează implicit în setările mașinii de imprimare. Aceeași structură este și la partea finală a programului ca și cea inițială pentru cele două variante de program (Figura 2.5.3.13.) și (Figura 2.5.3.14.).

```
; *** Cooling Extruder 1 to 0 C and Retiring ***
; Same extruder, about to deselect, retract before cooling down
M542
M561 P6400 S900
M543
; Cool
G4 P0
M104 S0
;
; fan off
M107
; *** G-code Postfix ***
;
; All extruders are retired
; Move the head up / bed down
G91
G1 Z+10
G90
; turn off the bed & chamber (machine specific)
M140 S0
;M191 S0
```

**Fig.2.5.3.13. Modulul de final pentru FDM
GCode program**

```
;TIME_ELAPSED:203377.184588
M104 S0
M82 ;absolute extrusion mode
;End of Gcode
```

**Fig.2.5.3.14. Modulul de final pentru SLA
GCode program**

Din punctul de vedere al dimensiunii programelor se constată că pe partea de FDM avem un număr de 1.157.029 linii de program și o durată estimată a prelucrării de minute. Pentru partea de SLA sunt un număr de 5.923.783 linii de program și o durată estimată a prelucrării de 203.377 minute.

Calculul costului direct productiv a fost realizat comparativ pentru cele două tehnologii similare FDM (*Figura 2.5.3.15.*) și respectiv SLA (*Figura 2.5.3.16.*).

În partea inferioară pe două rânduri sunt determinate valorile pentru consumul de material pornind de la masa fiecărui reper calculată în parte și densitatea materialului din care se va realiza reperul. Al doilea element care se va determina din punct de vedere economic este costul cu manopera care este aferenta numai realizării reperului pornind de la durata de timp în care se va imprima reperul. Penultimul este costul cu amortizarea valorii investite în utilajul cu care realizăm imprimarea și care depinde de valoarea de achiziție a imprimantei și de durata de timp în care se dorește a se amortiza valoarea imprimantei. Pentru cazul nostru amortizarea se realizează în 5 ani și se va determina valoric în minute pentru a putea sa avem valoare în euro calculata pentru acest tip de cost. Ultimul element de calculație avut în vedere este cel legat de costul cu energia consumată pe partea de imprimare și acesta depinde de puterea consumata pentru imprimare si de durata de timp cat se realizează procesul de imprimare.

Calcul costurilor și structura machetei de calcul pentru imprimarea 3D de tip SLA este similară cu cea anterior prezentată și se poate observa ca și mod de organizare în (*Figura 2.5.3.16.*).

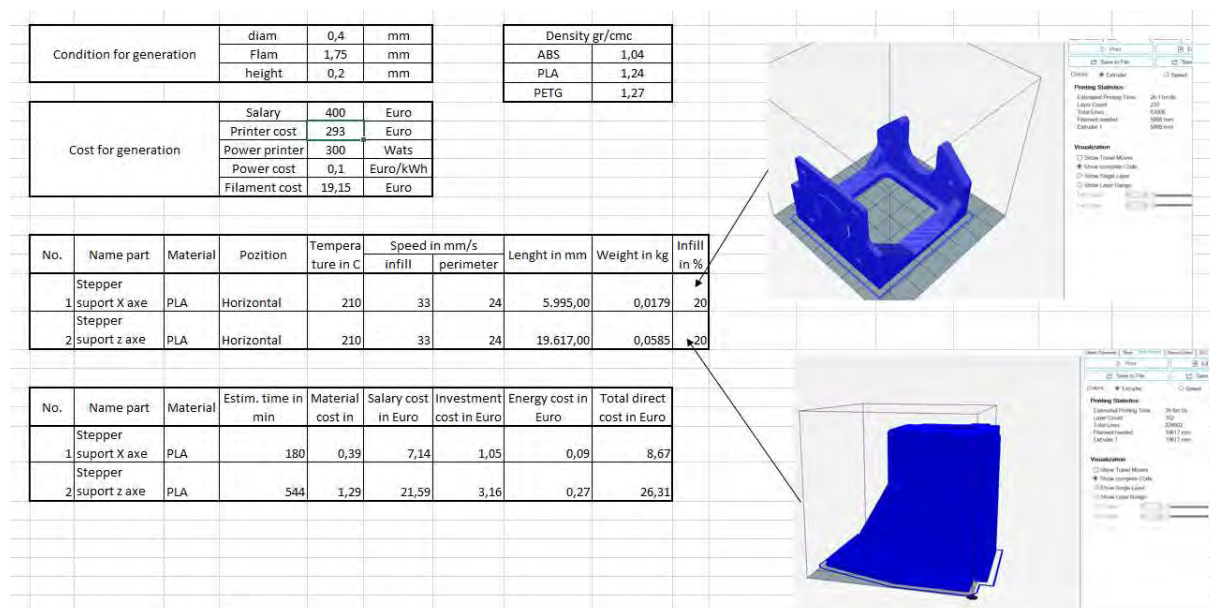


Fig.2.5.3.15. Calculul costului pentru un reper cu imprimare FDM

Condition for generation		DP	0,075	mm
		height	0,1	mm
Cost for generation		Salary	400	Euro
		Printer cost	1200	Euro
		Power printer	0,15	Wats
		Power cost	0,100	Euro/kWh
		UV tratment	30	Euro
		Resin cost	35	Euro/500 ml

No.	Name part	Part	Volume in ml	Thickness in mm	Estim. time in min	Mass in grams
1	Stepper suport X axe	1	23,50	0,05	414	39,3009
2	Stepper suport z axe	1	98,96	0,05	1062	165,493

No.	Name part	Part	Material cost in Euro	Salary cost in	Investment cost in Euro	Energy cost in Euro	Total direct cost in Euro
1	Stepper suport X axe	1	1,65	16,43	10,10	1,0E-04	28,18
2	Stepper suport z axe	1	6,93	42,14	25,92	2,7E-04	74,99

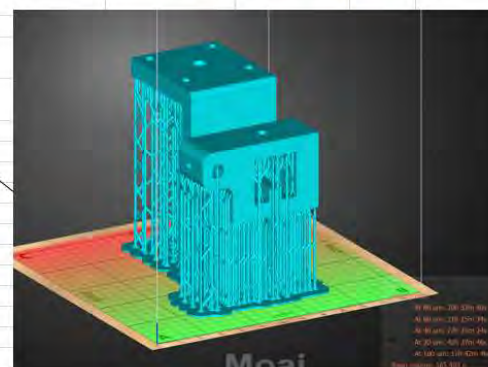
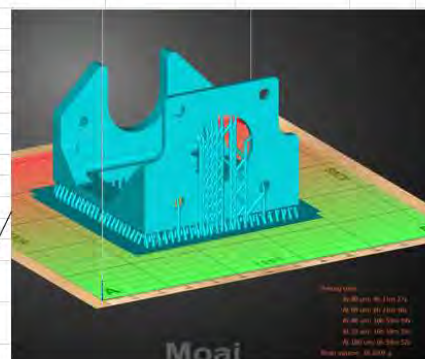


Fig.2.5.3.16. Calculul costului pentru un reper cu imprimare SLA

2.6. Studiul emisiilor de particule în procesul de realizare a reperelor prin imprimare 3D

În procesul de realizare tehnologică a componentelor prin imprimare 3D o componentă importantă o are și protecția mediului înconjurător din spațiul în care se realizează procesul tehnologic. Pentru procesul termoplastic de realizare a reperelor au fost realizate mai multe studii. Unele dintre aceste materiale de imprimare au afectat mediul. Pentru materialul de tip PLA a fost realizate studii în [73. și 74.] și/sau alt material ABS [75. și 76.]. Diferite tipuri de materiale analizate comparativ [77. și 78.]. Pentru studiul emisiilor în procesul de imprimare 3D pe principiul DLP, am făcut un studiu care să urmeze atât procesul de tipărire, cât și fazele de după tipărire. În studiu au fost urmate atât elementele specifice temperaturii și umidității în procesul de imprimare, cât și componentele emisiilor gazoase și de particule emise. Pentru particule este determinat emisia PM_{2,5} (Matricea cu particule fine) și PM₁₀ (Materie de particule grosiere). Pentru aer este determinat TVOC (compuși organici volatili total) și HCHO (formaldehidă). Aerul AQI este determinat în același timp.

Pentru imprimare se folosește o imprimantă 3D tip *Anycubic Photon* (Figura 2.6.1.). Imprimanta utilizată este sondă de imprimare pentru studiul modificării pieselor dreptunghiulare în procesul de imprimare 3D.

Pentru imprimare, am folosit o rășină specifică pentru imprimare (Figura 2.6.2.). Este o rășină verde transparentă tip *Anycubic*.

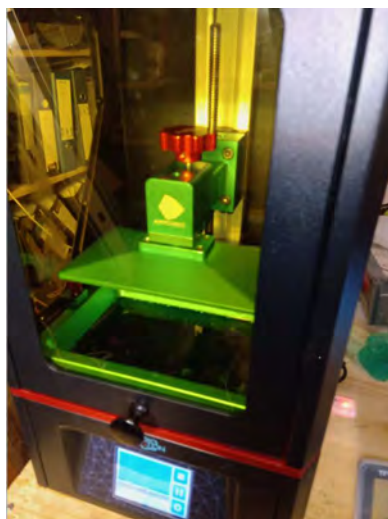


Fig.2.6.1. Imprimantă în procesul tipărit 3d



Fig.2.6.2. Imprimantă, rășină și aparat utilizat în procesul tipărit 3d

Pentru măsurarea emisiilor se folosește un aparat. Poate determina toate elementele menționate în prima parte a lucrării (*Figura 2.6.3.*). Se poate vedea că aparatul JBL-B600 [79.] asigură determinarea elementelor de emisie prevăzute.

Pentru realizarea măsurărilor sunt proiectate care au fost poziționate la o distanță de 160 mm față de imprimanta 3D (*Figura 2.6.4.*). Imprimanta, deși este echipată cu un sistem de ventilație și filtrare, emite elemente nefiltrate în atmosferă. Acesta este motivul principal pentru acest experiment.



Fig.2.6.3. Aparat pentru emisii



Fig.2.6.4. Sistem pentru determinarea emisiilor în procesul tipărit 3d

Cu aceste elemente definite, realizăm procesul de realizare a experimentului și procesăm datele obținute prin măsurători efectuate în timpul procesului de tipărire.

Cu aceste elemente definite, am făcut experimentul. Pentru prelucrarea datelor obținute prin măsurători efectuate în timpul procesării problemelor. Trebuie menționat că, în cazul DLP, dar și pentru SLA, procesul are două faze distincte. Primele faze sunt tipărirea eficientă. În al doilea rând, unul este procesul de curățare a probei. În ambele faze, am efectuat măsurarea emisiilor.

Primul dintre elementele analizate și determinate a fost cel al emisiilor de tip HCHO. În procesul de imprimare determinăm emisia la intervale de timp aproximativ egale de 2 până la 5 minute pe parcursul procesului de imprimare. Pe baza valorilor măsurate realizate am generat graficele specifice pentru ecuația de regresie liniară și polinomială. Ecuațiile se rezolvă cu soluția educativă EXCEL 2013. Este posibil să vedem că pentru regresia liniară, valoarea de rezolvare R este mai mică decât 0,95 (Figura 2.6.5.), dar pentru ecuația de regresie polinomială la 4 grade (Figura 2.6.6.) valoarea R este 0,952 care este în domeniul valorii pentru coeficientul de încredere.

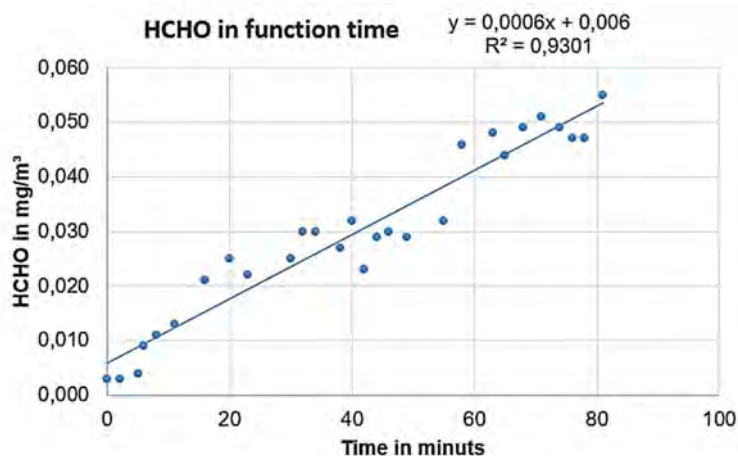


Fig.2.6.5. Reprezentare liniară pentru emisia HCHO pe imprimat 3D

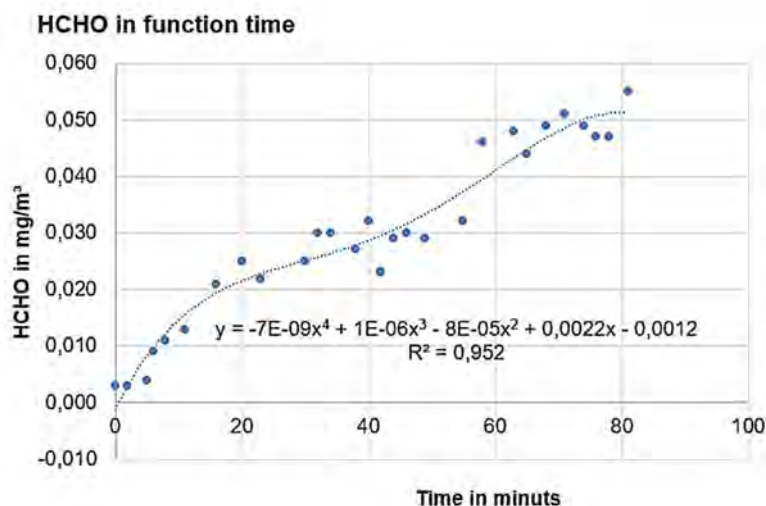


Fig.2.6.6. Reprezentare polinomială pentru emisiile HCHO pe o parte imprimată 3D

În analiza reprezentării datelor valorilor grafice, se poate concluziona că aranjamentul de date liniar aproximativ observat în fuga închisă pentru imprimare pentru HCOH. Valoarea maximă în 80 de minute pentru imprimare este de 0,055 miligrame în metru cub.

A doua componentă de aer determinată, analizată și reprezentată a fost cea a emisiilor de tip TVCO. În procesul de imprimare determinăm emisia la intervale de timp aproximativ egale de 2 până la 5 minute pe parcursul procesului de imprimare. Pe baza valorilor măsurate realizate am generat graficele specifice pentru ecuația de regresie liniară și polinomială. Ecuațiile se rezolvă cu soluția educativă EXCEL 2013. Este posibil să vedem că pentru regresia liniară valoarea de rezolvare R este mai mică decât 0,95 (*Figura 2.6.7.*), dar pentru ecuația de regresie polinomială 3 grade (*Figura 2.6.8.*) valoarea R este 0,9614 care este în domeniul valorii pentru încredere.

În analiza reprezentării datelor valorilor grafice, se poate concluziona că aranjamentul de date liniar aproximativ observat în fuga închisă pentru imprimare pentru TVOC. Această valoare este similară cu aproximativ, precum aruncă valoarea HCOH. Valoarea maximă în 80 de minute pentru imprimare este de 0,363 miligrame în metru cub. Acest maxim este mai mare decât valoarea HCOH cu șapte sau valoarea.

Dacă luăm ca referință informațiile din [80., 81.], atunci se poate observa că limitele de emisie de gaz sunt jumătate din valoarea de referință pentru HCHO (0,100 mg/m³). Valoarea emisiei este mai mică, dar foarte apropiată de cea pentru ABS (0,055 mg/m³ la 0,069 mg/m³). Dacă comparăm valorile obținute pentru TVOC, este posibil să vedem că, comparativ cu referința (0,5 mg/m³), valoarea maximă obținută cu (0,363 mg/m³) este aproape de două ori mai mică. Dacă comparăm valoarea rășinii cu cea pentru ABS (0,635 mg/m³), se poate observa că aceasta este mai mică de două ori.

Din analiza efectuată se poate spune că, din punct de vedere al emisiilor de gaz pentru rășină, riscurile sunt mai mici decât în cazul tipăririi pentru ABS. Cu toate acestea, se poate spune că pentru

lucrările de laborator, imprimarea cu rășină ne-a recomandat să lucrăm în sisteme închise cu elemente de filtrare și ventilație suplimentare.

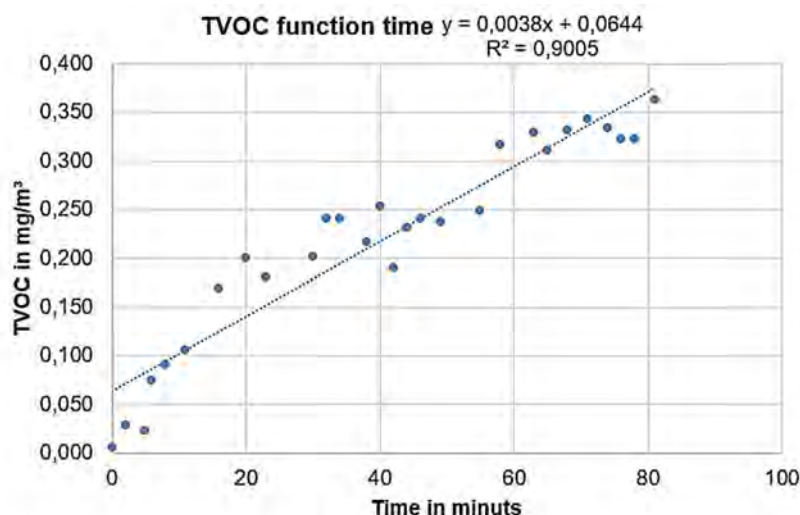


Fig.2.6.7. Reprezentare liniară pentru emisiile TVOC pe o parte imprimată 3D

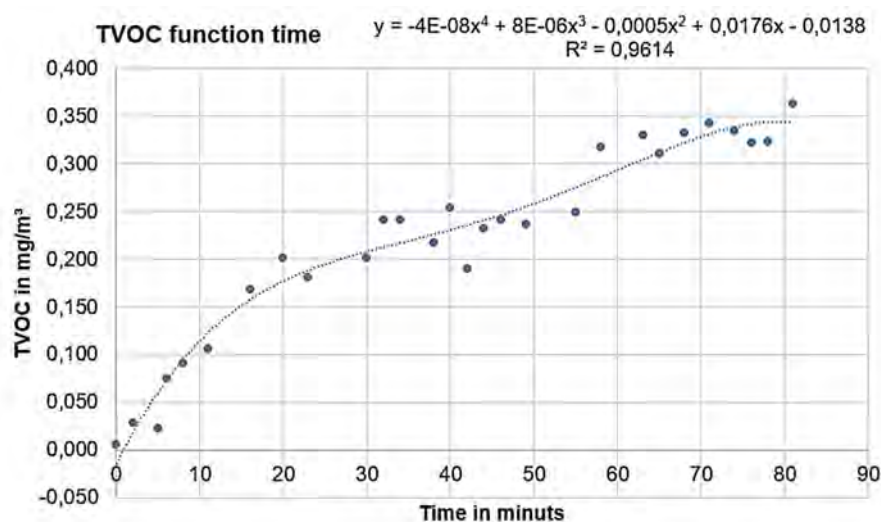


Fig.2.6.8. Reprezentare polinomială pentru emisiile TVOC pe o parte imprimată 3D

Primul dintre elementele analizate și determinate a fost cel al emisiilor de particule PM 2,5. În procesul de imprimare determinăm emisia la intervale de timp aproximativ egale de 2 până la 5 minute pe parcursul procesului de imprimare. Pe baza valorilor măsurate realizate am generat graficele specifice pentru ecuația de regresie liniară și polinomială. Ecuațiile se rezolvă cu soluția educativă EXCEL 2013. Este posibil să vedem că pentru regresia liniară valoarea de rezolvare R este mai mică decât 0,95 (Figura 2.6.9.), dar pentru ecuația de regresie polinomială la 4 grade (Figura 2.6.10.) valoarea R este 0,4241 care este mai mică decât valoarea domeniu pentru ecuația de încredere.

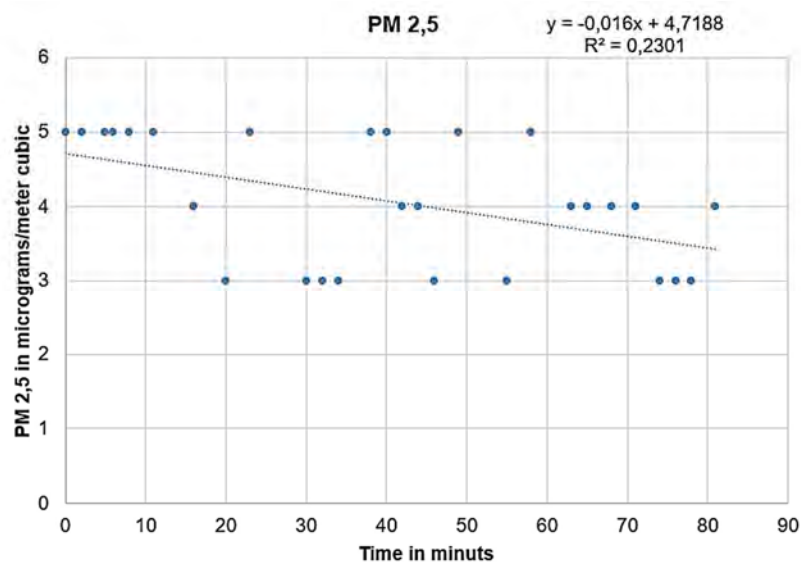


Fig.2.6.9. Reprezentare liniară pentru emisia PM 2,5 pe o parte imprimată 3D

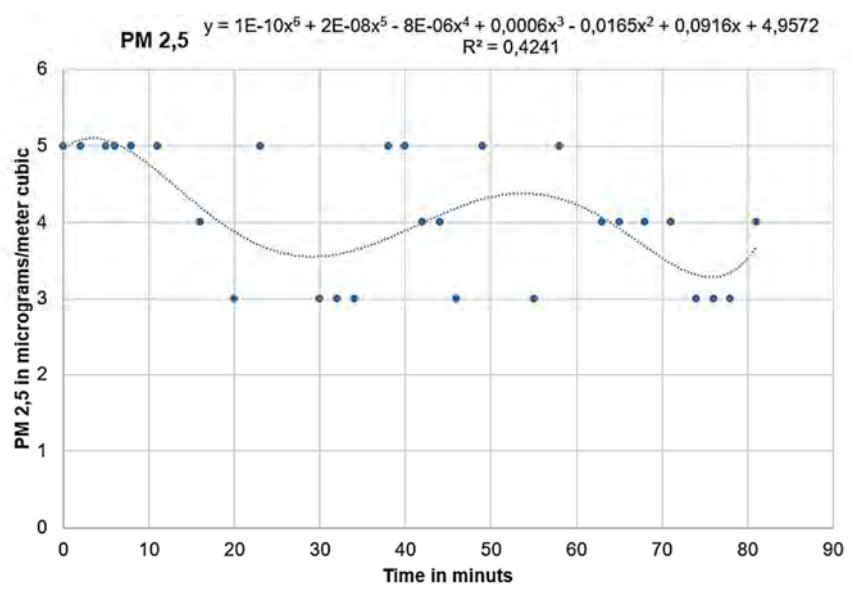


Fig.2.6.10. Reprezentare polinomială pentru emisia PM 2,5 pe o parte imprimată 3D

În analiza reprezentării datelor valorilor grafice, se poate concluziona că distribuția valorii datelor este dispusă între un minim $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ și un maxim de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ cu o perioadă alternativă de emisie. Tendința ușor descrescătoare pentru PM 2,5 poate fi observată în timpul procesului de imprimare cu rășină. Valoarea maximă de emisie pentru PM 2,5 ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) este mai mică decât valoarea de referință ($55,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de aproximativ 11 ori.

Al doilea dintre elementele analizate și determinate a fost cel al emisiilor de particule PM 10. În procesul de imprimare determinăm emisia la intervale de timp aproximativ egale de 2 până la 5 minute pe parcursul procesului de imprimare. Pe baza valorilor măsurate realizate am generat graficele specifice pentru ecuația de regresie liniară și polinomială. Ecuațiile se rezolvă cu soluția educativă EXCEL 2013. Se poate observa că pentru regresia liniară valoarea de rezolvare R este mai mică decât 0,95 (Figura

2.6.11.), dar pentru ecuația de regresie polinomială la 4 grade (Figura 2.6.12.) valoarea R este 0,4276 care este mai mică decât valoarea domeniu pentru ecuația de încredere.

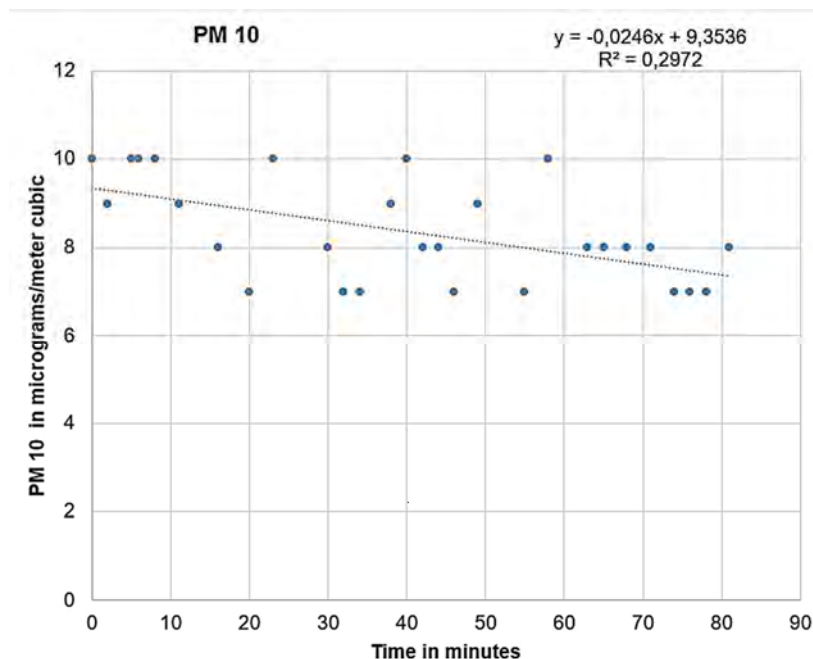


Fig.2.6.11. Reprezentare liniară pentru emisia PM 10 pe o parte imprimată 3D

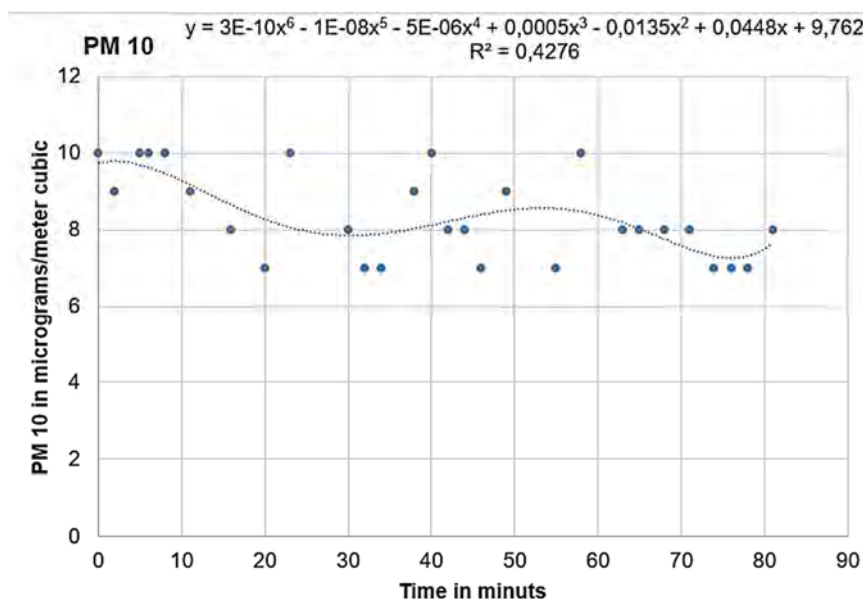


Fig.2.6.12. Reprezentare polinomială pentru emisie de PM 10 pe o parte imprimată 3D

În analiza reprezentării datelor valorilor grafice, se poate concluziona că distribuția valorii datelor este dispusă între un minim $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ și un maxim de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ cu o perioadă alternativă de emisie. Tendința ușor descrescătoare pentru PM 10 este posibilă în timpul procesului de imprimare cu rășină.

Dacă luăm ca referință informațiile din [80, 82.] atunci se poate observa că limitele PM 10 sunt $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Valoarea de referință pentru PM10 este dublă ca PM 2,5 ($55,5 \mu\text{g}/\text{m}^3 * 2 = 111 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Valoarea particulelor de emisie este mai mică, dar foarte apropiată de cea pentru ABS ($76 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de aproximativ 7 ori.

Pentru a evidenția valorile determinate vom prezenta două dintre măsurătorile făcute. Primul din stânga (*Figura 2.6.13.*) pentru începutul procesării. Cel de-al doilea din dreapta (*Figura 2.6.13.*) pentru sfârșitul procesării. Se poate observa că schimbarea temperaturii și umidității în timpul procesului este nesemnificativă ca valoare.



Fig.2.6.13. Valoarea pentru emisie pe partea tipărită 3D imprimare inițială stânga, imprimare finală dreapta

Procesul de imprimare cu rășină 3D are o fază ulterioară de dizolvare a rășinilor aderente pe suprafața procesului de imprimare este realizată (*Figura 2.6.14.*). În partea stângă a (*Figura 2.6.14.*), este posibil să se observe aparatul de măsurare a emisiilor și în față în stânga sondele tipărite. Placa cu sonde tipărite 3D după extragerea plăcii din imprimantă prezentată în figură. În partea dreaptă a figurii menționate mai sus se pot observa sondele introduse în mediul de curățare. Datorită compoziției sale chimice și a emisiilor emise, se produc creșteri mari ale valorilor gazoase (*Tabelul 2.6.1.*). Valorile colorate în tabel cu galben sunt cele de la finalizarea tipăririi.

Reprezentarea grafică a datelor din tabelul menționat poate fi văzută în (*Figura 2.6.15.*) cu ecuațiile de regresie specifice. Ambele tipuri de emisii prezintă valori crescute în intervalul de timp între 20 de minute și 30 de minute de la extragerea eșantioanelor din imprimantă. Pentru HCOH valoarea de 2,888 mg/m³ este de 29 de ori mai mare decât limita de capacitate permisă. Pentru TVOC valoarea de 9,999 mg/m³ este de 19 ori mai mare decât limita permisă.

Datorită observației prezentate, am recomandat ca procesul de curățare să se efectueze în spații exterioare sau în incinte bine ventilate pentru a reduce efectele nocive ale emisiilor. Valorile colorate în tabel cu galben sunt cele de la finalizarea tipăririi.



Fig.2.6.14. Probe cu aparatul de măsurare emise în partea stângă și probe pentru curățare în partea dreaptă

Tabel 2.6.1. Valoarea pentru HCOH și TVOC cu emisii după imprimare la diferite ore de la oprirea imprimării

Time	4	10	17	18	20	22	27	29	30
HCHO	0,055	0,058	0,062	0,780	0,941	2,888	2,884	2,888	0,147
TVOC	0,360	0,402	0,446	3,871	5,127	9,999	9,999	9,999	0,785

Tabel 2.6.2. Valoarea pentru emisiile PM 2,5 și PM 10 după imprimare la un moment diferit față de oprirea imprimării

Time	4	10	17	18	20	22	27	29	30
PM2.5	5	3	4	5	4	5	6	5	5
PM10	9	7	8	9	8	9	10	9	9

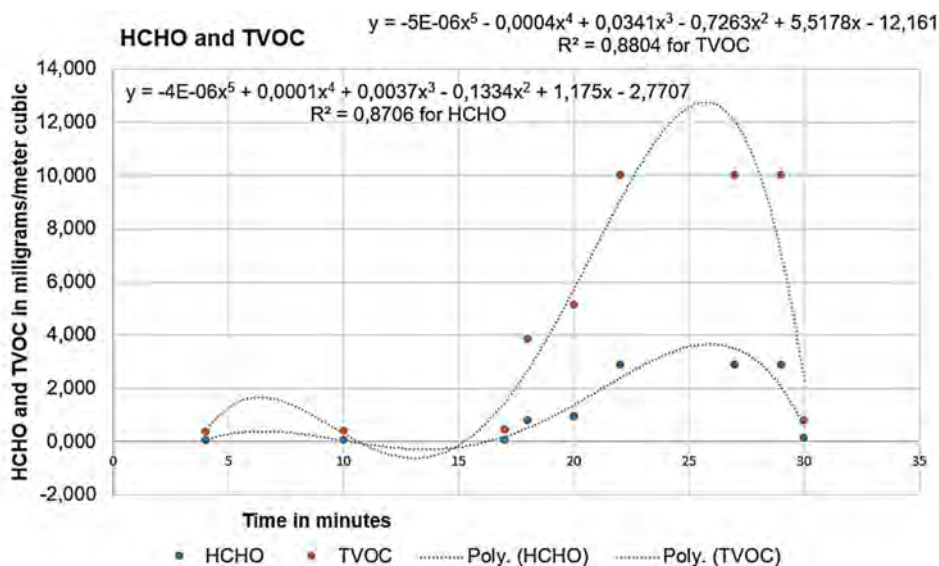


Fig.2.6.15. Reprezentare polinomială pentru emisiile de HCOH și TVOC după piese tipărite 3D

Nu este același efect pe care îl pot observa emisiile de particule din (Tabelul 2.6.2.). Emisiile de particule îl mențin la aceeași valoare ca și partea de imprimare.

3. Considerații constructive asupra realizării de repere sau ansambluri prin imprimarea 3D

3.1. Considerente fenomenologice asupra realizării de repere prin imprimarea 3D

Trebuie arătat că din cele prezentate atât pe partea economică dar și pe cea constructivă din capitolele anterioare metoda de generare este diferită ca și mod de realizare a reperelor, dar și prin cea de verificare și proiectare constructivă a acestora. Datorită acestor observații autorul tezei a urmărit prin lucrările realizate ca să identifice și să realizeze o ordonare a etapelor de realizare a reperelor pornind de la caracteristicile geometrice ale acestora în corelație cu tehnologia de generare a reperelor.

3.2. Realizarea de elemente constructive prin imprimare 3D prin termoplastie și polimerizare optică

În ceea ce privește generarea modelului luat în considerare, se poate observa că influența asupra consumului de material și a procesului de prelucrare a duratei are atât numărul de straturi din partea superioară, cât și inferioară, respectiv densitatea structurii interne din (Tabel 3.2.1.).

Tabel 3.2.1. Imprimare 3D FDM și structura stratului

Top	Bottom	Infill	Time	Weight	Length	Layer
				gram	meter	
7	5	20	29 min 40 sec	5,5	1,84	50
5	3	20	26 min 24 sec	4,8	1,6	50
4	2	20	24 min 41 sec	4,4	1,48	50
3	2	20	23 min 51 sec	4,2	1,42	50
3	3	20	24 min 46 sec	4,4	1,48	50
2	2	20	23 min 3 sec	4,1	1,36	50
4	4	20	26 min 26 sec	4,8	1,6	50
4	4	40	30 min 13 sec	5,5	1,85	50
4	4	60	33 min 36 sec	6,3	2,11	50
4	4	80	36 min 45 sec	7,1	2,37	50

O reprezentare a stratului generat de metoda FDM poate fi văzută în (Figura 3.2.1.).



Fig.3.2.1. Structura stratului pentru FDM 3D tipărit cu 80% umplere

Se poate observa că, în timp ce numărul straturilor superioare și inferioare au o influență de 1,4 grame, influența zonei centrale are o influență de 2,3 grame. La calitatea suprafeței se poate observa că influența este mai puțin sensibilă dacă analizăm partea superioară exterioară pentru un număr mai mare

de 4 straturi. Este, de asemenea, evident că pentru o densitate de 40% se poate obține același consum de material ca în cazul celor 7 straturi superioare și inferioare 5.

Din cele arătate se poate observa că generarea FDM este liniară în timp, așa cum am prezentat în primul capitol, generația DLP este la realizarea fiecărui strat prin punctul de iluminare a zonelor adiacente.

Pentru a analiza calitatea suprafeței optice a fost utilizat un microscop cu mărire între 50 și 500 de părți, (Figura 3.2.2.).



Fig.3.2.2. Structura stratului pentru FDM 3D tipărit cu 80% umplere

S-au făcut poze cu suprafața cu o creștere de 70 sau mai mică suprafață (Figura 3.2.3.) pentru partea stângă și partea superioară în partea dreaptă. Ambele au fost realizate în zona unei găuri pentru a putea vizualiza aspectul acestei zone generate prin imprimarea FDM 3D. Puteți vedea atât forma în raport cu circulația inferioară, cât și rotunjimea superioară. Dacă calitatea suprafeței inferioare depinde de calitatea substratului pe care se imprimă în partea de sus depinde foarte mult de viteza și grosimea tipăririi.

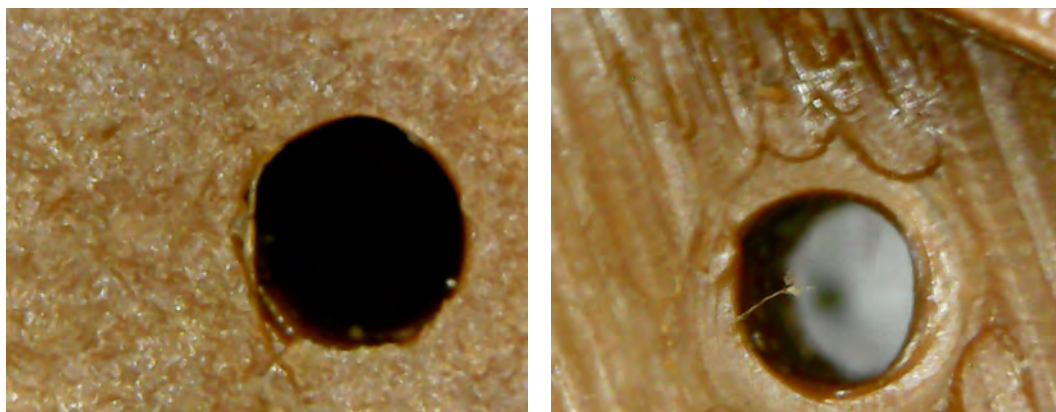


Fig.3.2.3. Orificiu de analizat a piesei generate FDM partea stângă jos, structura din dreapta sus

A fost, de asemenea, analizat și generat o parte din margine (Figura 3.2.4.). Se poate observa rotunjirea muchiei în ambele zone generate, care depinde de limitele specifice de viteză de generare a stratului perimetru care a analizat cazul a fost de 45 mm/sec. Dacă laturile de calitate inferioară depind

de calitatea substratului pe care se imprimă în partea superioară, depinde foarte mult de viteza și grosimea tipăririi reperului.

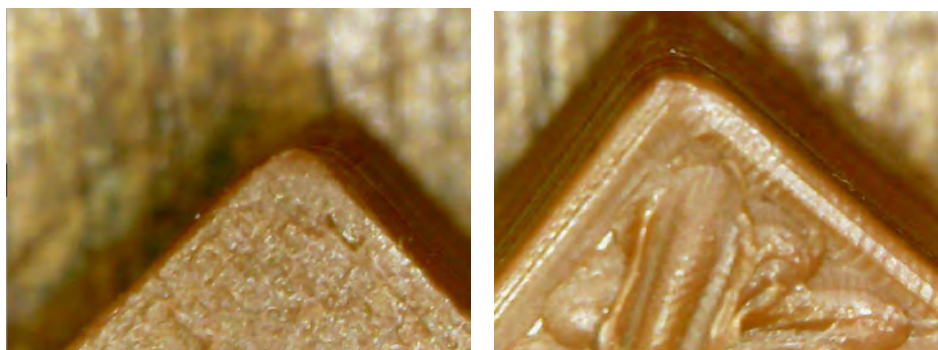


Fig.3.2.4. Analiza pieselor FDM se prezintă în partea stângă în partea de jos a structurii drepte

Pentru reperul generat prin tehnologia de imprimare DLP se poate observa din același punct de vedere, elementele luate în considerare și structură că modificările nu sunt semnificative pe cele două domenii pentru articolele generate. Analiza calității suprafeței a fost analizată în partea de jos și sus pentru orificiu (Figura 3.2.5.), astfel încât marginea laterală și marginea laterală (Figura 3.2.6.). Analiza calității suprafeței a fost realizată pentru a studia gaura superioară în partea ambelor, dar și pe marginea din (Figura 3.2.6.). Poziția 3D imprimarea acestuia este orizontală.

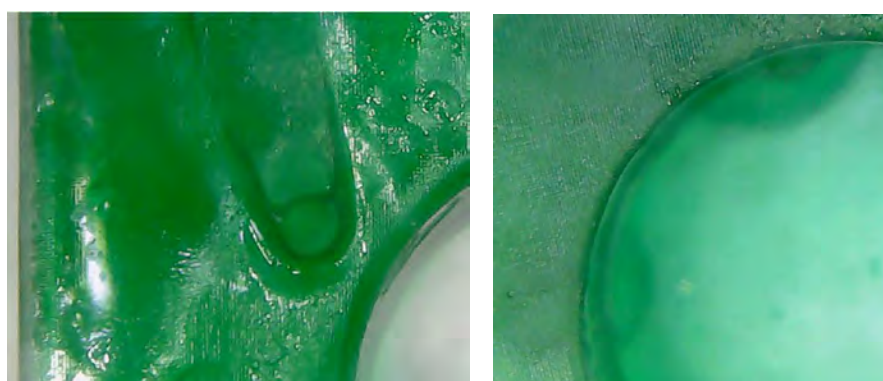


Fig.3.2.5. Analiza părții DLP orificiu de jos stânga, structură superioară orificiu dreapta.

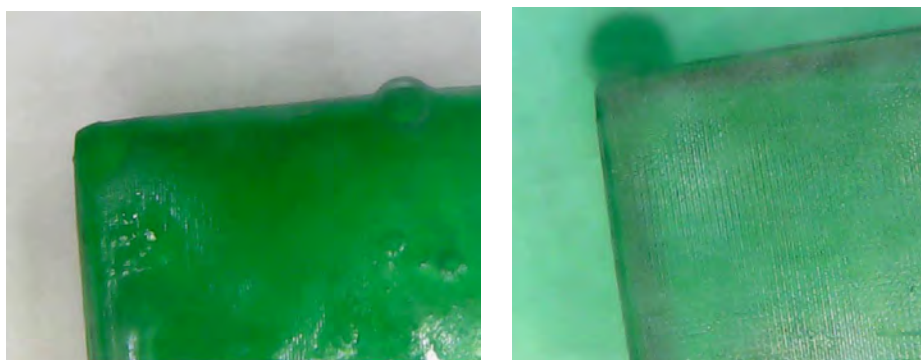


Fig.3.2.6. Analiza părților DLP se află în partea stângă în partea de jos a stânga

Generarea suprafețelor plane este importantă din mai multe puncte de vedere. Menționează aceste zone care mișcă elemente tipărite 3D cu suprafețe metalice sau nemetalice, care vin în contact cu alte

suprafețe și asigură preluarea mecanică a solicitării compresiei obișnuite și nu în ultimul rând zone transparente, care oferă vizualizarea modului în care diferitele procese tehnologice sau experimentale sunt evoluție.

Sunt abateri importante de la planeitate și linie dreaptă și opacitate din punctele de volum transparente pentru diferite tipuri de lumină sau grinzi. În acest studiu au fost abordate doar primele două aspecte.

Din aceste puncte de vedere, puteți vedea calitatea suprafeței care nu depinde foarte mult de cât de înclinarea în tipărire, 3D și abaterea de la o linie dreaptă este mică sau inexistentă în cazurile analizate.

Trebuie avut în vedere faptul că procesul de generare trebuie să fie urmat de un proces de îndepărtare a excesului de material de pe suprafață și apoi de piese generate de expunere la UV. Procesul necesită mult timp, dar poate fi realizat în paralel cu tipărirea. În (Figura 3.2.7.) se prezintă finalizarea imprimării 3D și a celor două faze menționate anterior.

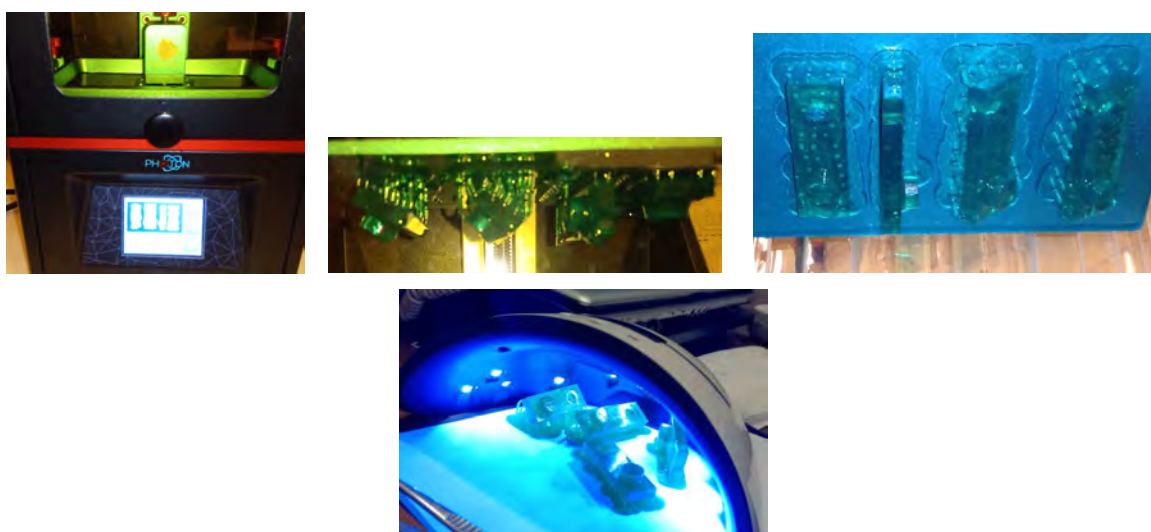


Fig.3.2.7. Faze ale generării prin imprimare 3D a pieselor

Se poate observa că generarea de DLP este un proces de imprimare care are loc cu timpul mai repede decât imprimarea procesului FDM. În același timp, din punct de vedere al formularelor generate, se poate afirma că precizia este mai bună pentru imprimarea DLP din FDM de tipărire.

4. Considerații asupra realizării de standuri experimentale și dispozitive pentru activitatea de laborator și industrială prin imprimarea 3D

4.1. Considerente asupra generării de roți dințate prin imprimarea 3D

4.1.1. Generarea roților dințate prin tehnologii de imprimare 3D de tip FDM

Obținerea de repere care au o structură compusă de tipul roților dințate baladoare este un proces de prelucrare complex și relativ dificil de realizat mai ales când diferența de diametre este mare sau foarte mare (Figura 4.1.1.1.). Dintre domeniile în care se poate utiliza astfel de componente cu eficiență economică maximă enumerăm pe cele ale reparării de componente realizate din materiale metalice sau

nemetalice la care solicitările mecanice sunt reduse sau au valori medii [83. și 84.]. Din analizele realizate atât pe cale experimentală dar și pe baza literaturii de specialitate se poate concluziona că există o serie de materiale care se pot utiliza cu succes pentru realizarea acestor deziderate.



Fig.4.1.1.1. Geometria roții care trebuie reparată

Studiul este orientat atât pentru a determina eficiența tehnologică pentru implementarea materialelor de tip PLA, ABS și PETG pentru realizarea de repere dințate prin imprimare 3D prin tehnologia FDM (Fused Deposition Modeling) [85. și 86.], cât și de realizarea de componente în noile condiții impuse, folosind materiale și tehnologii reciclabile care poluează mai puțin spațiul de lucru. Factorul poluant trebuie privit atât din punctul de vedere al resurselor energetice utilizate pentru obținerea materiei prime, cât și din punct de vedere al reintroducerii în circuitul industrial al materialului care a fost utilizat în componentele de tip roți dințate prin reciclarea materialului roților deteriorate metodă denumită tehnologic LCA (Life Care Assessment) [87. și 88.].

Din punctul de vedere al celor trei materiale așa după cum se poate observa și din (*Tabelul 4.1.1.1.*) materialele avute în considerare au caracteristici de rezistență similare. Din analiză se poate observa că cea mai bună rezistență la compresiune o are PLA și aproximativ cea mai mică alungire la rupere, respectiv cel mai mare modul de elasticitate dintre cele trei materiale. Această concluzie ne determină să afirmăm că primul material recomandat ar fi PLA [89., 90., 91. și 92.] pentru realizarea de roți dințate, după care ar urma PETG și în final datorită plajei mari de valori diferite ABS-ul.

Tabel 4.1.1.1. Proprietățile materialelor pentru 3D imprimare

Materi al	Dens. în gr/cm ³	UTS în MPa	CS în MP a	E în GPa	IS în J/m	EB în %
PLA [11, 12]	1,24	50	153	3,5	15 - 45	6
PETG [13, 14]	1,29	53	55	2,1	77	18
ABS [15, 16]	1,0-1,4	37 - 110	65	2,0-2,6	70-370	3,5-50

UTS este rezistența la tracțiune: ultimul, CS este rezistența compresiune tensiune la (zdrobitoare), E este modulul elastic (Young tensiune), IS rezistența la impact este: Izod notat, Dens. este densitatea, EB este Alungirea la rupere

Dacă facem o comparație a valorilor de rezistență la compresiune (Tabelul 4.1.1.1.) cu cele ale aluminiului sau ale fontei constatăm că acestea sunt comparabile (Tabelul 4.1.1.2.).

Tabel 4.1.1.2. Table 2. Valori specifice pentru materiale nemetalice și metalice

Material	RR. în MPa	UTS în MPa	CS în MPa	RI în GPa	EB în %
Aluminium 6063 [18]	145 - 186	241	29 - 37	31 - 41	12
Aluminium 6082 [17]	140 - 330	290	28 - 66	31 - 72	10
Aluminium A380 [18]	160 - 325	290	32 - 65	35 - 72	35
Grey cast iron [19]	150 - 400	160-450	570 - 1290	49 - 125	0,5

RR este rezistența la rupere, RI este rezistența la îndoire

Se poate concluziona din această analiză că din punct de vedere al rezistenței la compresiune cele două tipuri de materiale cele printate 3D și respectiv cele nemetalice sau metalice sunt cu rezistență la compresiune în plaje de valori relativ apropiate, în timp ce din punct de vedere al solicitărilor la rupere diferențele sunt relativ mari de trei până la de patru ori mai mici. Acest lucru face ca materialele imprimate 3D să fie utilizate cu precădere în zone în care solicitările sunt mici sau medii, iar dacă sunt utilizate la solicitări mai mari dimensiunea de material trebuie crescută sau asigurată rigidizarea structurii cu elemente de sprijin metalice sau nemetalice din fibră de carbon.

Pentru realizarea roților dințate prin imprimare 3D trebuie avut în vedere că se recomandă din punct de vedere al geometriei dintelui un dinte cu un unghi de presiune de 25 la 35 față de 15 grade cât este pentru roțile dințate generate prin injecție sau 20 grade pentru cele generate pe mașini de danturat. Avantajul unui astfel de unghi este determinat de faptul că baza dintelui este mult îngroșată. În (Figura 4.1.1.1.) se poate observa o roată dințată care face obiectul acestei lucrări realizată în Inventor 2017 [102].



Fig.4.1.1.2. Geometrie dantură roată dințată imprimată 3D

Pentru a se putea realiza eficient corecțiile de geometrie atât din punctul de vedere al contracțiilor sau dilatărilor, dar și din considerente geometrice se recomandă ca determinarea valorilor cotelor dimensionale să se realizeze utilizând modulul de generare parametrizată numit modul funcție (Figura 4.1.1.3.) al fiecărei dintre roțile care fac obiectul generării ansamblului roată după care se va genera ansamblul de roți dințate (Figura 4.1.1.4.).

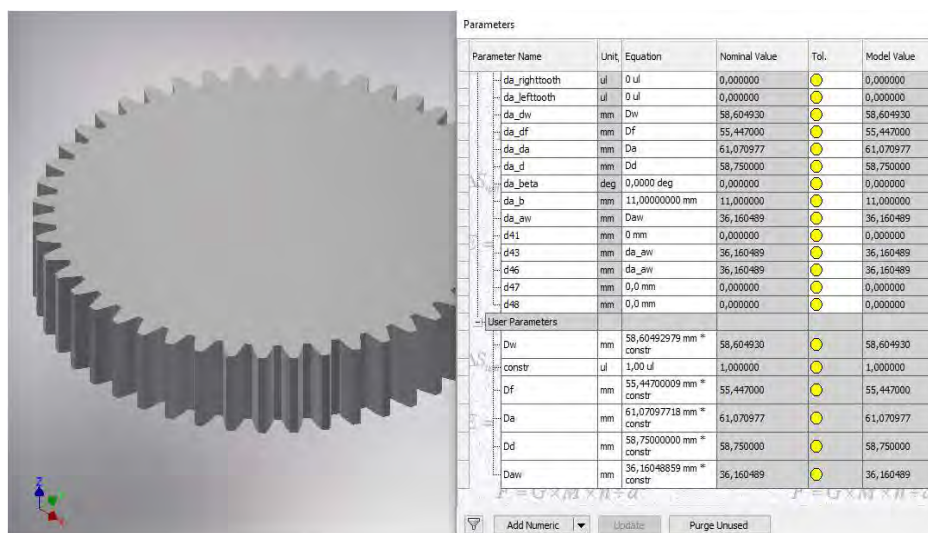


Fig.4.1.1.3. Generare parametrizată roată dințată

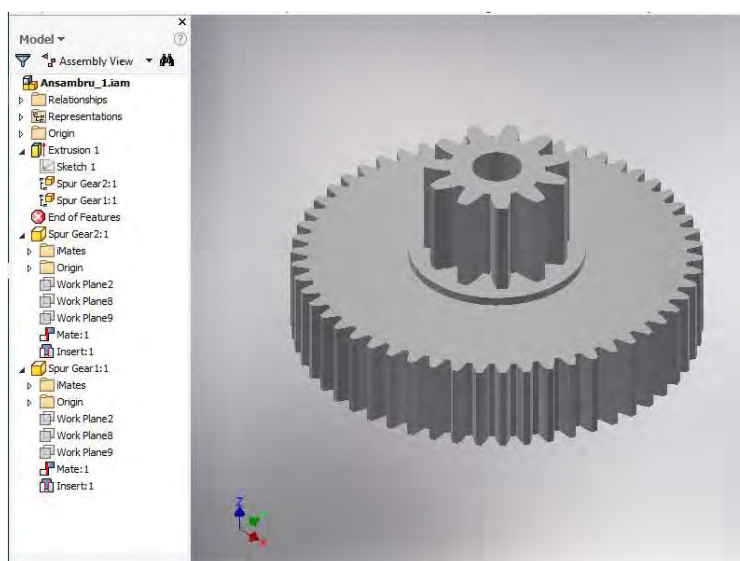


Fig.4.1.1.4. Ansamblul de roți dințate

Se poate observa în (Figura 4.1.1.4.) că generarea se realizează prin poziționarea de constrângeri coaxialitate și respectiv contact de suprafețe și în același timp prin poziționarea unui element intermediar inelar pentru realizarea unui element de rigidizare a dinților roții mici în raport cu cei ai roții mari.

Pentru a se putea realiza programul CAM de comandă al imprimantei 3D este în primul rând necesar ca să existe un fișier generat de tip STL (abreviere a denumirii "stereolithography") [103.].

Modul de realizare al acestui fișier este foarte important. În general dacă nu sunt alese corect setările pentru generarea fișierului, pot să apară erori la imprimarea 3D de tipul lipsă de material, de zone și respectiv defecte de piesă. De asemenea înainte de realizarea programului de comandă a imprimării se impune ca fișierul STL să fie verificat din punct de vedere al generării structurii triunghiulare cu unul dintre programele de verificare cunoscute. În cazul nostru pentru a fi unitari vom utiliza unul dintre programele puse la dispoziție de firma AUTODESK și anume Netfabb [104.] care asigură la încărcarea fișierului STL dacă a fost setată ca implicită corecția automată a geometriei fișierului (Figura 4.1.1.5.). Există însă și opțiunea de a face verificarea și ulterior pentru a vedea integritatea structurii. În (Figura 4.1.1.6.) se prezintă salvarea fișierului reparat în formă STL.

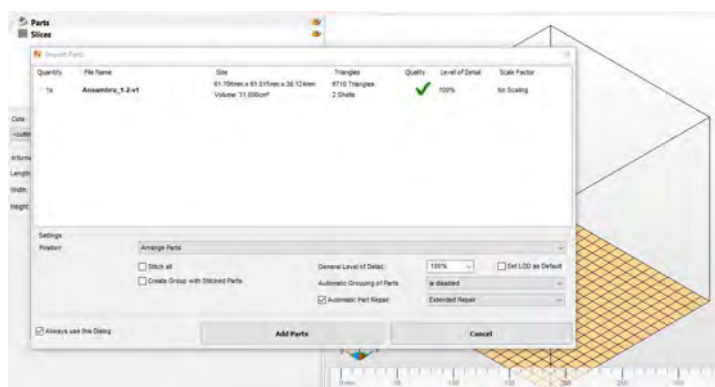


Fig.4.1.1.5. Netfabb interfață corecție STL fișier roată dințată

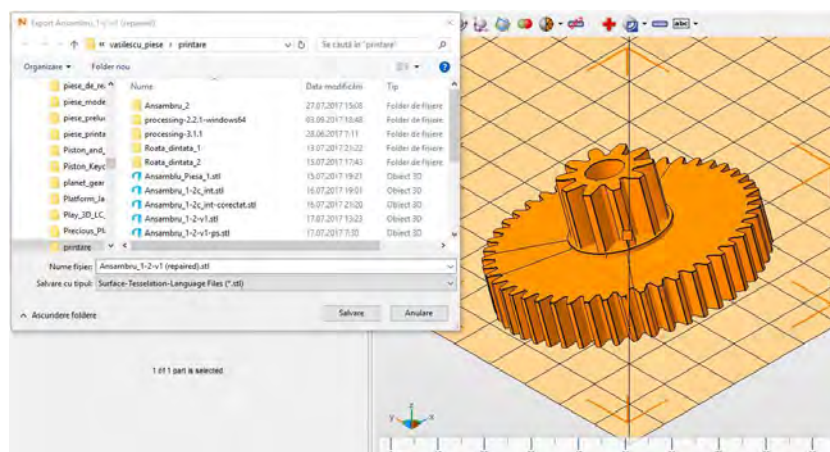


Fig.4.1.1.6. Netfabb salvare fișier corectat

Aceasta din urmă este una dintre operațiile importante fără de care nu se poate garanta obținerea unui reper cu caracteristici corespunzătoare la imprimarea 3D. Fișierul STL astfel realizat va trebui să fie încărcat în programul de generare a straturilor. Unul dintre aceste programe este Cura de la Ultimaker

[105.] care asigură în continuare operația de generare a straturilor. În (Figura 4.1.1.7.) se poate observa elementul geometric încărcat și respectiv poziționat pentru realizarea operației de generare a codului de prelucrare.

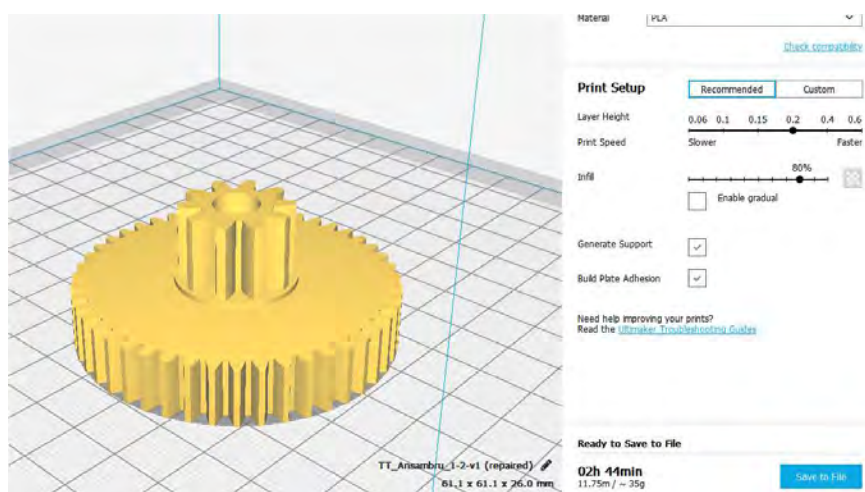


Fig.4.1.1.7. Roată dințată poziționată pentru imprimare 3D

Se poate observa că pentru stările standard implicite durata de imprimare este de 2 ore și 44 minute. Dacă vizualizăm ecranele de generare, primul strat (Figura 4.1.1.8.) și respectiv un strat intermediar al (Figura 4.1.1.9.) se poate observa că programul recomandă pentru o mai bună realizarea a geometriei roții la primul strat ca să fie activată generarea unei zone de suport de culoare albastră care asigură și o aderență bună a marginilor roții fără a apărea zone deformate de tipul celor din (Figura 4.1.1.10.). Soluția este mai mult decât necesară pentru material de tip ABS, dar se recomandă și pentru celelalte materiale.

Se pot observa câteva probleme care apar la generare. Prima este determinată de zona dintre straturile continue dispuse la exteriorul roții dințate de culoare roșie și respectiv cel paralel cu acesta dispus pe partea interioară de culoare verde și partea de structură de bază. Acest lucru va determina ca dintele să nu aibă o structură omogenă în partea de rezistență a dintelui cu efecte negative asupra rezistenței acestuia. Dacă analizăm și dintele generat în stratul 74 acest lucru se poate observa și mai pregnant (Figura 4.1.1.11.).

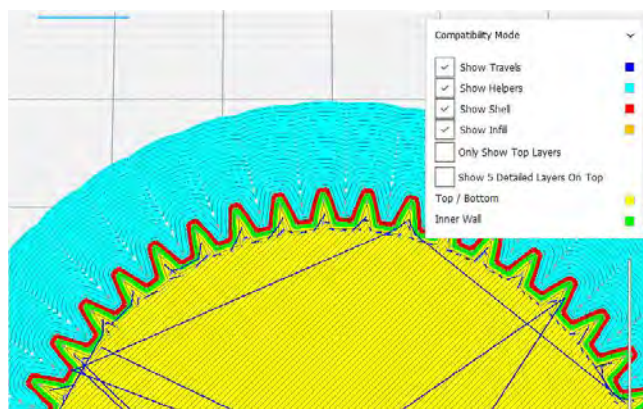


Fig.4.1.1.8. Primul strat de generare al roții dințate

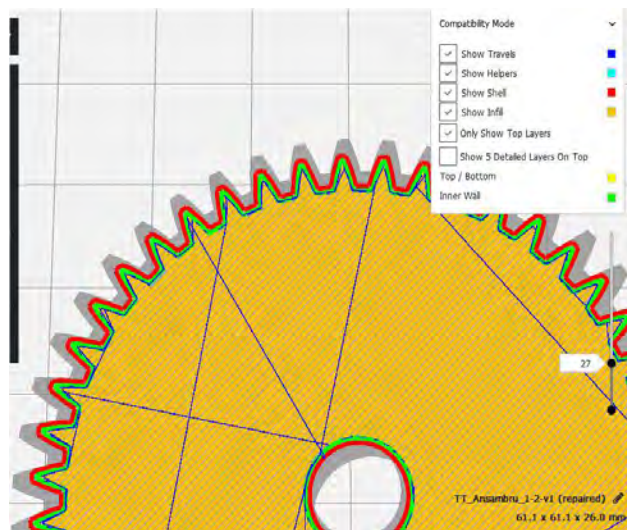


Fig.4.1.1.9. Stratul 27 de generare al roții dințate cu modul mic

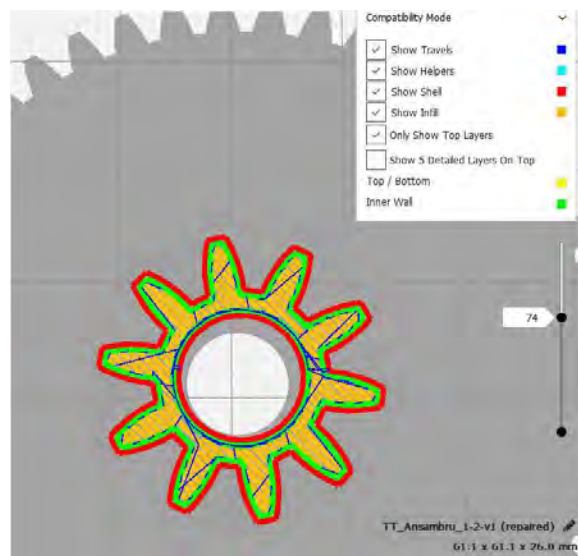


Fig.4.1.1.10. Strat 74 generat pentru realizarea unei roți dințate cu modul mare

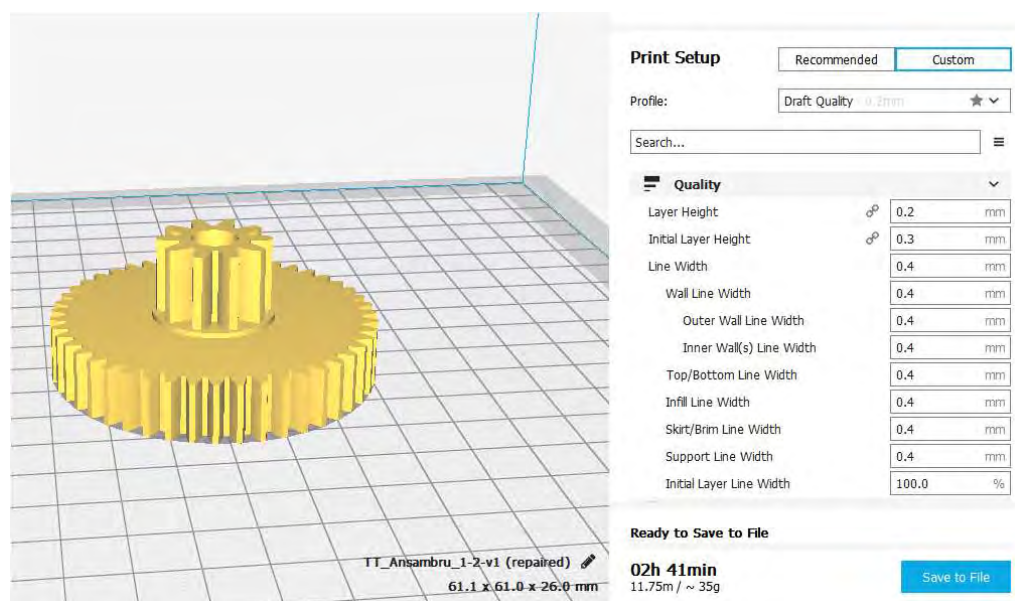


Fig.4.1.1.11. Soluția inițială pentru o grosime de linie de 0,4 mm

Din analiza celor două tipuri de roți rezultă că numărul conturilor perimetrice depinde de modulul roții dințate, la modul mic mai puțini dinți, iar la modul mare mai multe conturi perimetrice. Pentru cazul analizat avem două roți cu modul diferit. Roata mică are un modul de 1,25 în timp ce roata mare are un modul de 0,8.

Programul Cura are posibilitatea de a seta parametrii diferiți pentru zone diferite de reper generat. Trebuie avut în vedere că avem două zone distincte și strategiile pot fi orientate ori pe generarea de două repere suprapuse care vor avea setări de generare diferite, ori pe separarea unui tot unitar în două zone cilindrice cu setări diferite.

În practică poate fi utilizate mai multe variante de generare în Cura 3.3.1. din două părți separate. Poate fi generat un element cilindric geometric care va fi introdus pentru delimitarea celor două elemente supuse generației 3d sau cele două elemente geometrice care se suprapun și care vor fi ulterior setate pentru imprimare cu parametri diferiți.

Ambele variante produc planuri de separare rigide între ele, de tipul superior și planul inferior, care în anumite situații pot produce efecte nedorite. Se propune să se analizeze aceste variante într-o lucrare în care să se analizeze și testarea care poate fi efectuată de cele două variante în comparație cu varianta standard cu mai multe linii perimetrice pe care le vom detalia în detaliu.

Pentru cazul nostru vom alege varianta cu 4 linii perimetrice și vom prezenta pentru aceleași straturi și parametri de prelucrare aspectul periferiei dinților.

În (Figura 4.1.1.11.) sunt prezentați parametrii generați selectați pentru straturi în varianta inițială Lățimea liniei 0,4 mm, iar în (Figura 4.1.1.12.) cei selectați pentru varianta 0,5 mm lățime linie. Prima concluzie este reducerea timpului de imprimare la 2 ore și 11 minute de la 2 ore și 41 minute.

Dacă se vizualizează ecranele de generare, se poate vedea primul strat (Figura 4.1.1.13.) și un strat intermediar de 27 straturi (Figura 4.1.1.141.) că programul recomandă o mai bună realizare a geometriei roții în primul strat pentru a activa generarea unui zona de sprijin de culoare albastră care asigură o bună aderență a roții.

Dacă analizăm și dinte generat în stratul de 74, acest lucru poate fi văzut și mai proeminent (Figura 4.1.1.15.).

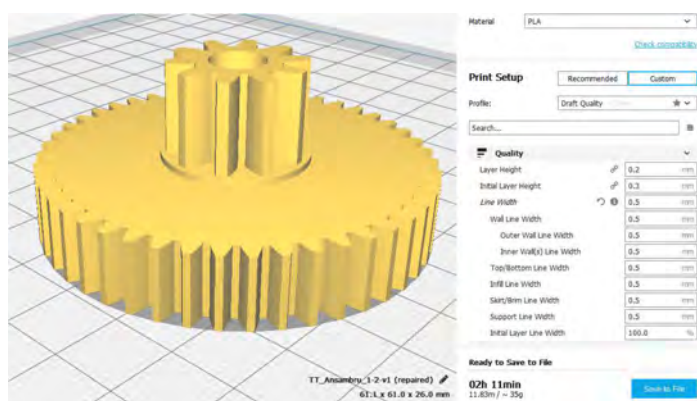


Fig.4.1.1.12. Soluția inițială pentru o grosime de linie de 0,5 mm

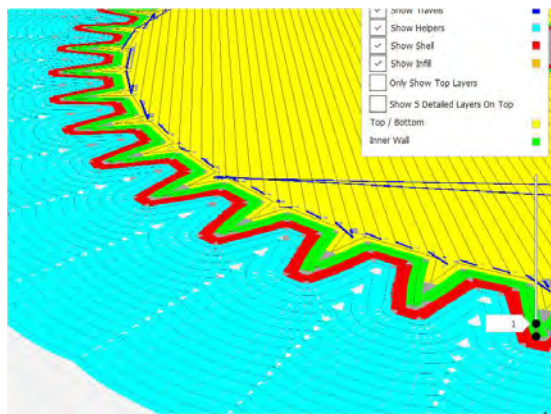


Fig.4.1.1.13. Primul strat generat pentru angrenajul imprimat 3D pentru lățimea liniei 0,5 mm

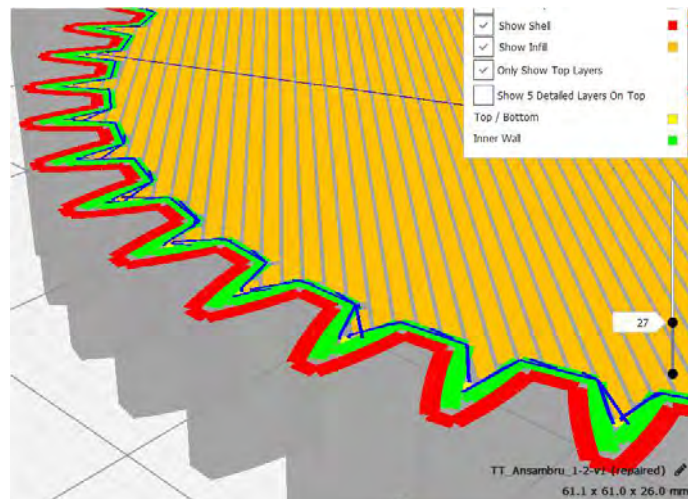


Fig.4.1.1.14. Strat de generare a angrenajelor 27 pentru lățimea liniei 0,5 mm

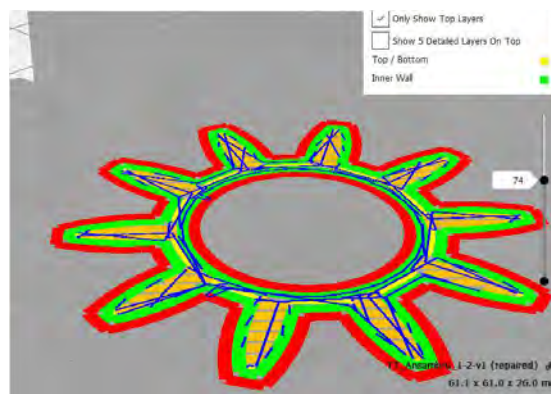


Fig.4.1.1.15. Strat 74 generat roată mică pentru realizarea unui angrenaj pentru lățimea liniei 0,5 mm

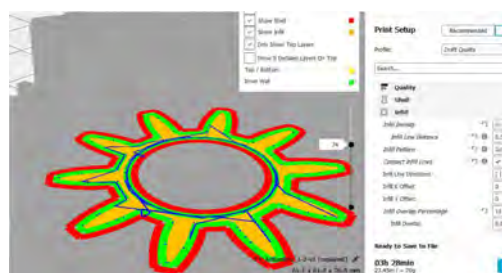


Fig.4.1.1.16. Strat 74 generat pentru realizarea unui angrenaj pentru lățimea liniei de 0,5 mm Infill

Octet

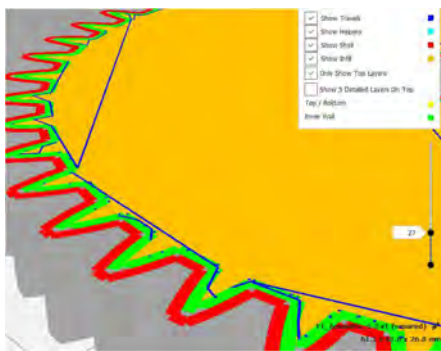


Fig.4.1.1.17. Strat 27 generat pentru realizarea unui angrenaj pentru lățimea liniei de 0,5 mm Infil Octet

Modificarea propusă arată o creștere a grosimii liniilor periferice cu efecte benefice asupra rezistenței mecanice a dinților. O altă soluție este aceea a schimbării formei geometrice a liniilor interne în octeți, cu o distanță între linii de 0,5 mm. O creștere a duratei de imprimare la 3 ore și 28 de minute, dar și cantitatea de sârmă de la 35 de grame la 70 de grame, deci o umplere mai bună a dinților roților atât la partea superioară (Figura 4.1.1.16.) cât și la partea inferioară (Figura 4.1.1.17.).

Pentru imprimare a fost utilizată o imprimantă *Fabrikator Mini* [2]. În (Figura 4.1.1.18.) se poate observa una dintre variantele angrenajului generat care a fost dovedit în timpul încercărilor efectuate pe mașina care a trecut prin procesul de reparație rezistent. Trebuie menționat că se recomandă atât faza de depozitare a acestuia, cât și condițiile în care este utilizată să nu fie cu umiditate ridicată pentru roțile PLA.



Fig.4.1.1.18. Roată dințată realizată

Dacă din punctul de vedere al generației de viteze pentru parametrii dimensionali ai problemelor au fost prezentate, din punct de vedere tehnologic al depozitului de materiale, se poate afirma că parametrii care trebuie asigurați pentru a obține viteze de depunere a materialului sunt foarte diferite pentru profilurile generate. Astfel, pentru o grosime a stratului de 0,2 mm recomandată, ca de obicei,

avem o viteză de trimitere a straturilor perimetrice de 1,86 m / min, iar pentru straturile interne de umplere de 4,26 m / min, viteza de imprimare rămasă va fi setată la 2,70 m / min. Acestea sunt dimensiuni curente care pot afecta calitatea tipăririi, dar trebuie corelate cu temperatura de imprimare de 210 grade Celsius și temperatura tabelului de imprimare care trebuie să fie de 45 de grade Celsius și cu incinta în care se imprimă 25 de grade Celsius pentru PLA.

4.1.2. Generarea roților dințate prin tehnologii de imprimare 3D de tip DLP

Proiectarea și realizarea de componente pentru acționările mecanice și electromecanice de tipul roților care au o structură compusă de tipul roților este o componentă importantă a proceselor de prelucrare dar și de comandă. Din punct de vedere constructiv sunt mai multe tipuri de roți. Cele mai des întâlnite sunt roțile dințate, urmate roțile de curea dințată și respectiv trapezoidale [106.].

A fost studiat modul în care generarea roților dințate pe principiul CAD și ulterior pe principiul FDM (Fused Deposition Modelling) [107., 108., 109. și 110.] se pot realiza. Vom continua analiza pentru a vedea modul în care acestea se pot realiza pe principiul DLP (Digital Light Processing) în condiții optime. Pentru primul caz am generat o roată dințată cu dantură verticală dreaptă. În (*Figura 4.1.2.1.*) se poate observa roata generată pe principiul CAD compusă dintr-un pinion și o roată mare și profilul roții generate.



Fig.4.1.2.1. Geometria roții și flancului evolventei în CAD

În cazul generării pe principiul FDM se poate observa că structura este una compusă cu trei straturi minim la partea inferioară și respectiv superioară și trei straturi perimetrice așa după cum se poate vedea în (*Figura 4.1.2.2.*). Modul de generare a părții interioare este una de tip structură cu 40% densitate minim pentru a putea avea o structură rezistentă dar și cu proprietăți bune de preluare a solicitărilor dar și de generare al evolventei pe principiul depunerii de material [111.].

Dacă profilul în partea de generare este foarte precis pe partea de realizare a programului de generare a danturii roții dințate profilul realizat așa după cum se poate observa în (*Figura 4.1.2.3.*) este generat prin unirea a 4 puncte pe flancul generat dintre care primul este la baza dintelui și al doilea la vârful dintelui.

Se poate observa că pentru modul mic numărul de puncte de schimbare a unghiului danturii este mai mic (6 puncte) și pentru modul mai mare acesta crește indiferent care ar fi tipul de program cu care se face generarea programului de comandă (*Figura 4.1.2.4.*). Programul de generare realizat cu RepetierHost. În (*Figura 4.1.2.5.*), este posibil să se observe programul generat cu IdeaMaker.

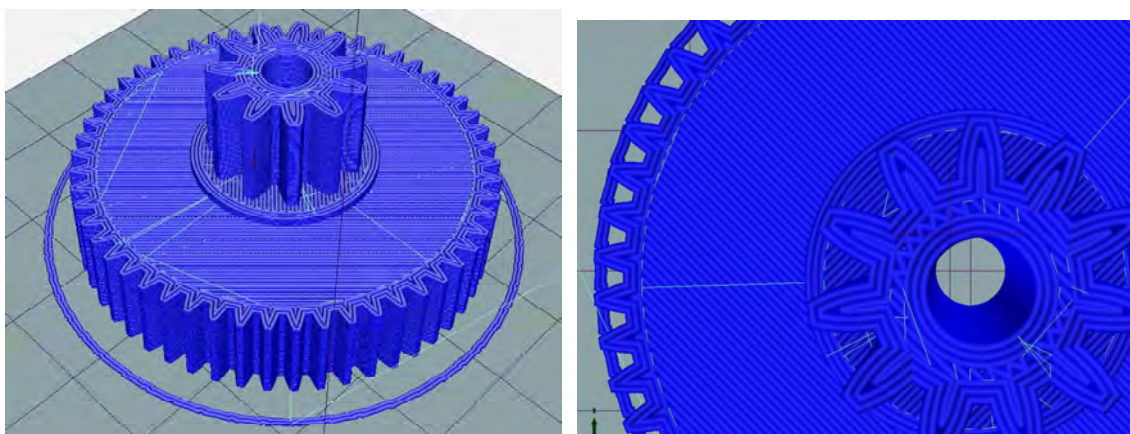


Fig.4.1.2.2. Geometria roții și flancului evolventei prin FDM

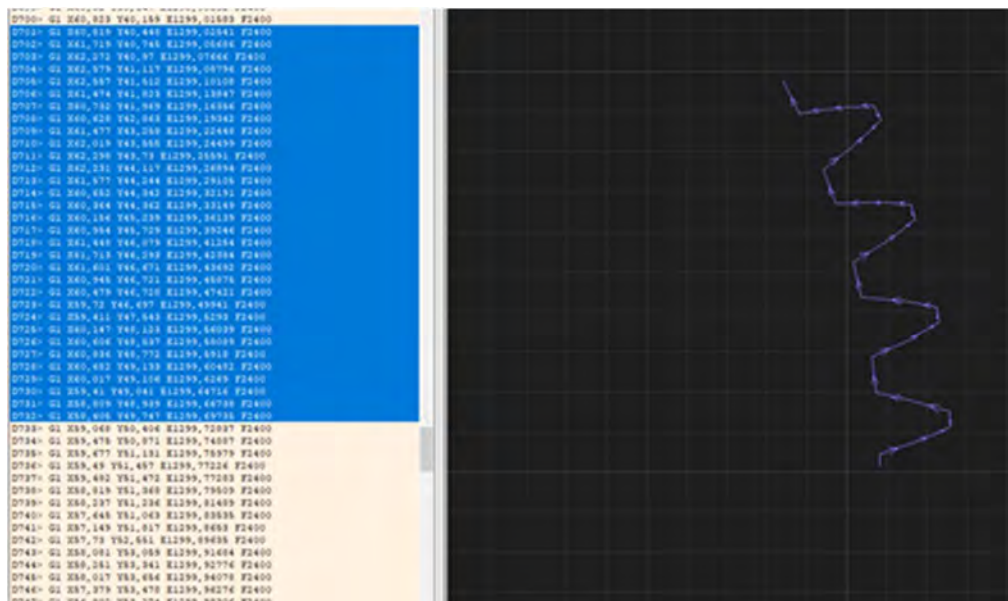


Fig.4.1.2.3. Programul GCode a flancului evolventei roții

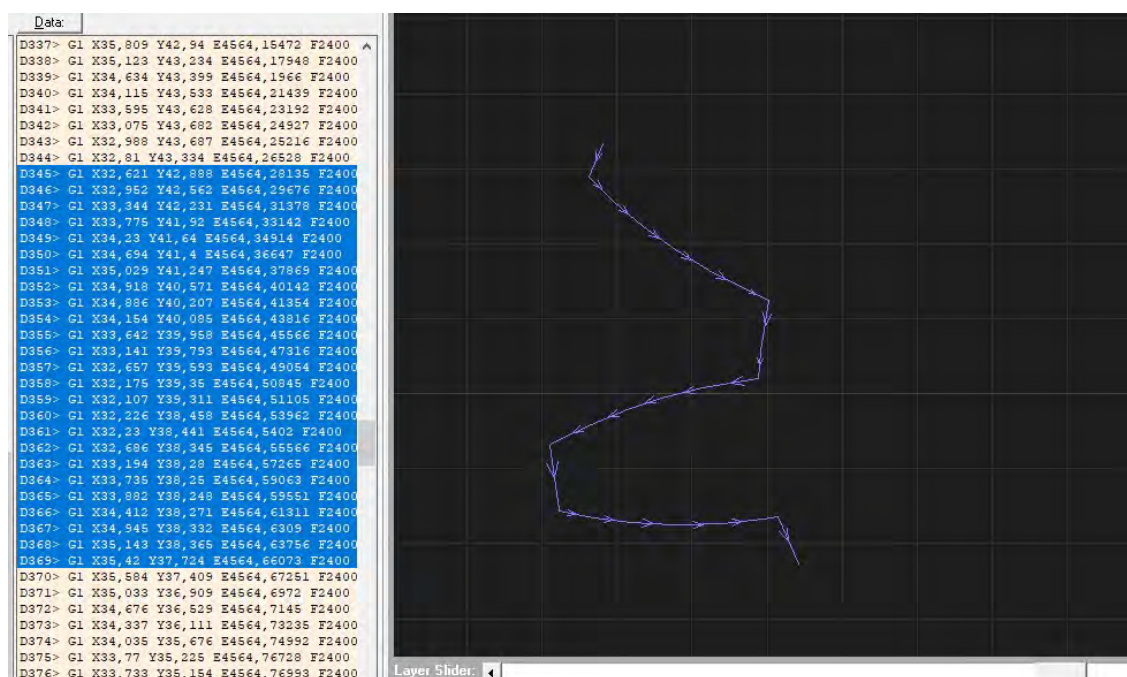


Fig.4.1.2.4. Programul GCode pentru flancul roții involute pentru modulul mare

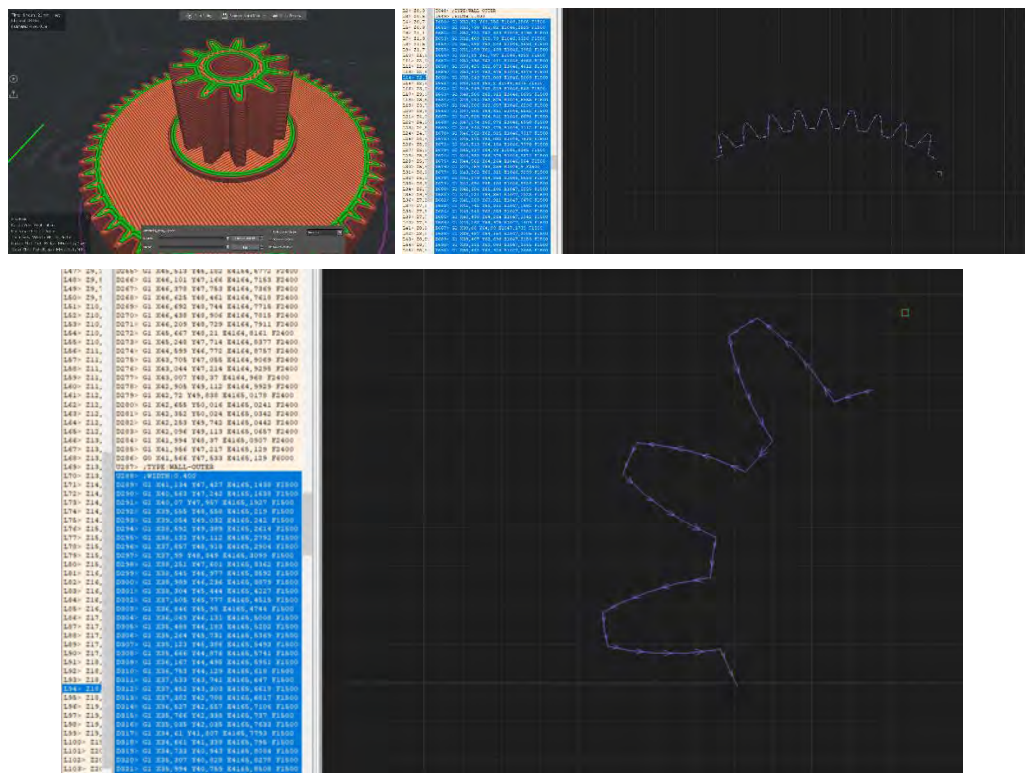


Fig.4.1.2.5. Programul GCode pentru flancul roții involute pentru modulul mare

Pe baza acestui studiu se poate observa că realizarea profilului roților dințate pe principiul FDM este mai puțin precis decât partea de generare CAD. Datorită acestui motiv, dar și pentru a putea să generăm roți dințate în serie mică am trecut la realizarea roții dințate pe principiul DLP datorită în principal relativ rapide de generare pe principiul ecranului și nu pe cel al trasării de linii.

Primul aspect analizat este cel al preciziei de generare a profilului. Dacă se are în vedere că suprafața de generare este de 115 mm lungime pe 65 mm lățime și o precizie de 47 microni dimensiune plană. Se poate observa că generarea este mai precisă numărul de puncte fiind de pentru modulul mic al roții și de pentru modulul mare al roții. Numărul de puncte este de la 42 de puncte ($1.925 \text{ mm} / 0,047 \text{ mm}$) pentru modulul mic al roții și 62 de puncte ($3.010 \text{ mm} / 0,047 \text{ mm}$) pentru modulul cu roți mari. În (Figura 4.1.2.6.) se poate observa roata dințată care se supune procesului de generare.

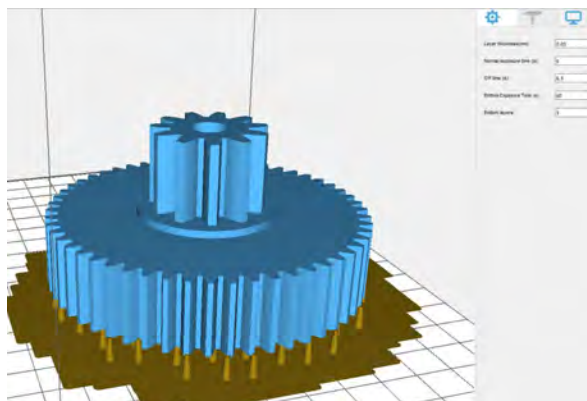


Fig.4.1.2.6. Roată dințată generată cu DLP pentru imprimată 3D

Pentru generare se folosesc stratul inferior și suporturile. Timpul generat este de 1 oră și 50 minute cu 511 straturi și 18,1 mililitri de rășină și 0,05 mm pentru înălțimea stratului. Din analiza efectuată se pot vedea angrenaje cu roți de o calitate mult mai bună, realizate prin generarea de DLP.

Din punct de vedere al realizării roților dințate prin imprimare 3D din punct de vedere al orientării optime se poate lua în considerare recomandările din literatura de specialitate care majoritatea sunt direcționate spre direcția de minimă suprafață orizontală. Pentru a determina modul în care se modifică dimensiunile generate prin imprimare funcție de orientare am realizat o roată mator (*Figura 4.1.2.7.*) cu care am realizat mai multe orientări astfel să putem să determinăm influențele asupra dimensiunii în raport cu orientarea pentru un element cilindric (*Figura 4.1.2.8.*) și datele dimensionale și de generare (*Tabelul 4.1.2.1.*).

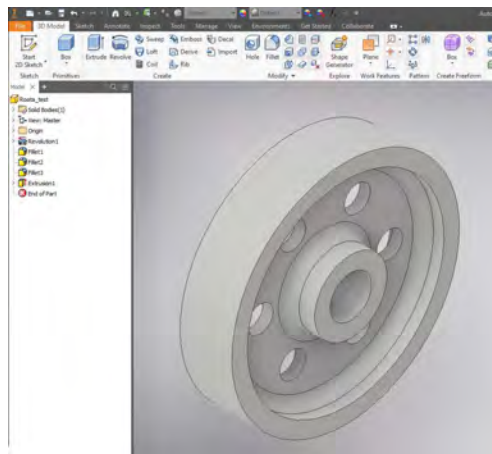


Fig.4.1.2.7. Roată curată generată CAD

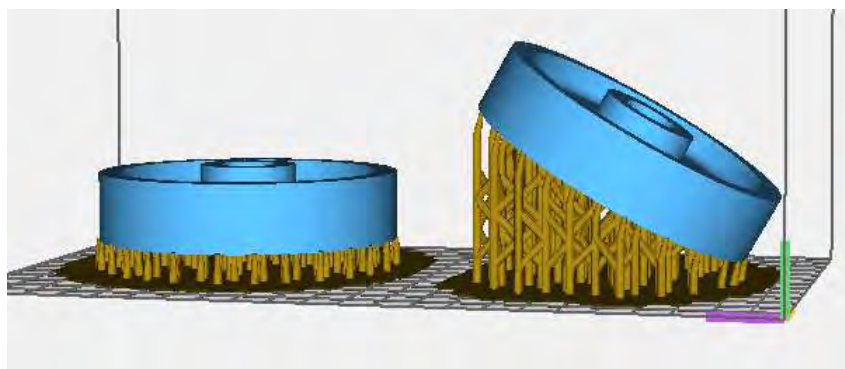


Fig.4.1.2.8. Roată curată orizontal orientat pe partea stângă, 30 grade pe partea dreapta pentru a studia dimensiunea de imprimare

Tabel 4.1.2.1. Date pentru masa parțială de canal liniar imprimat 3D

Output Parameter						
Experiment	1	2	3	4	5	UM
Pozition	Oriz	30	45	60	90	grd
Time	69	145	177	198	202	min
Layer	311	683	828	931	951	-
Thickness	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	mm
Volume	8,9	10,1	11,6	8,8	8,2	ml
	146		202		min	
	19		28,2		ml	

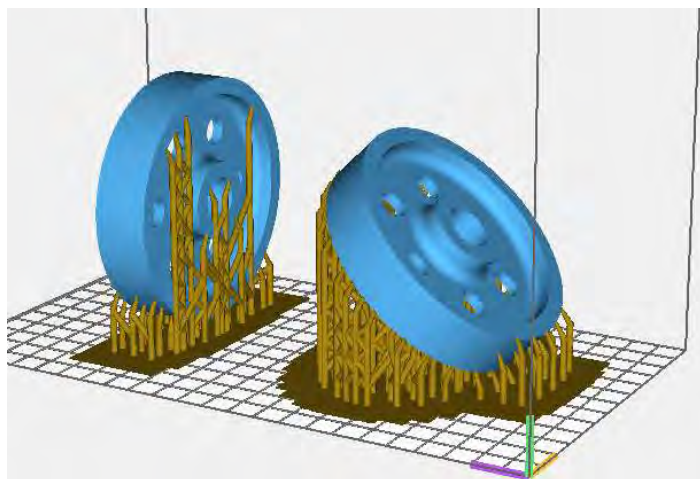


Fig.4.1.2.9. Roată curată orientată vertical pe partea stângă, 45 grade pe partea dreapta pentru a studia dimensiunea de imprimare

O primă observație importantă este dată de faptul că la unghiuri mari de înclinare este afectată suprafața pe care se va genera dantura și implicit dantura roții dințate (Figura 4.1.2.9.). Din verificarea elementelor generate se constată existența unor erori de generare de tip puncte izolate pentru cazul înclinării la 60 grade.

Ca urmare a acestei constatări vom genera roata numai cu unghiuri de înclinare mică mai ales datorită deformațiile produse de punctele de contact suporturi cu suprafața elementului generat.

Pentru a verifica concluziile asumate anterior, generăm roțile dințate în trei poziții, respectiv orizontal, înclinat la 30 de grade în poziția superioară cu 2 ore și 40 minute timp de imprimare și 755 straturi cu 19,0 mililitri de rășină (Figura 4.1.2.10.). În partea de jos cu 45 și 90 de grade în partea de jos cu 3 ore și 28 minute timp de imprimare și 983 straturi cu 38,9 mililitri de rășină (Figura 4.1.2.10.).

După realizarea imprimării roțile model și cele dințate vor fi supuse unui proces de curățire de surplusul de material prin imersare într-o cuvă cu un mediu de tip alcool izopropylowy 99% (Figura 4.1.2.11.), iar ulterior după spălare cu apa distilată se vor supune unui proces de întărire cu unde ultraviolete timp de 30 minute sau la soare.

O imprimantă Anycubic [112.] folosită pentru imprimare. În (Figura 4.1.2.12.) a prezentat una dintre părțile generate în poziție diferită.

Vom analiza în continuare atât aspectele dimensionale ale roții mator, cât și cele ale roților generate prin imprimare DLP. Partea de măsurare s-a realizat după îndepărtarea elementelor de sprijin de pe repere. S-au realizat în paralel măsurări de greutate și au fost comparate valorile rezultate din antecalcul cu cele obținute după imprimare.

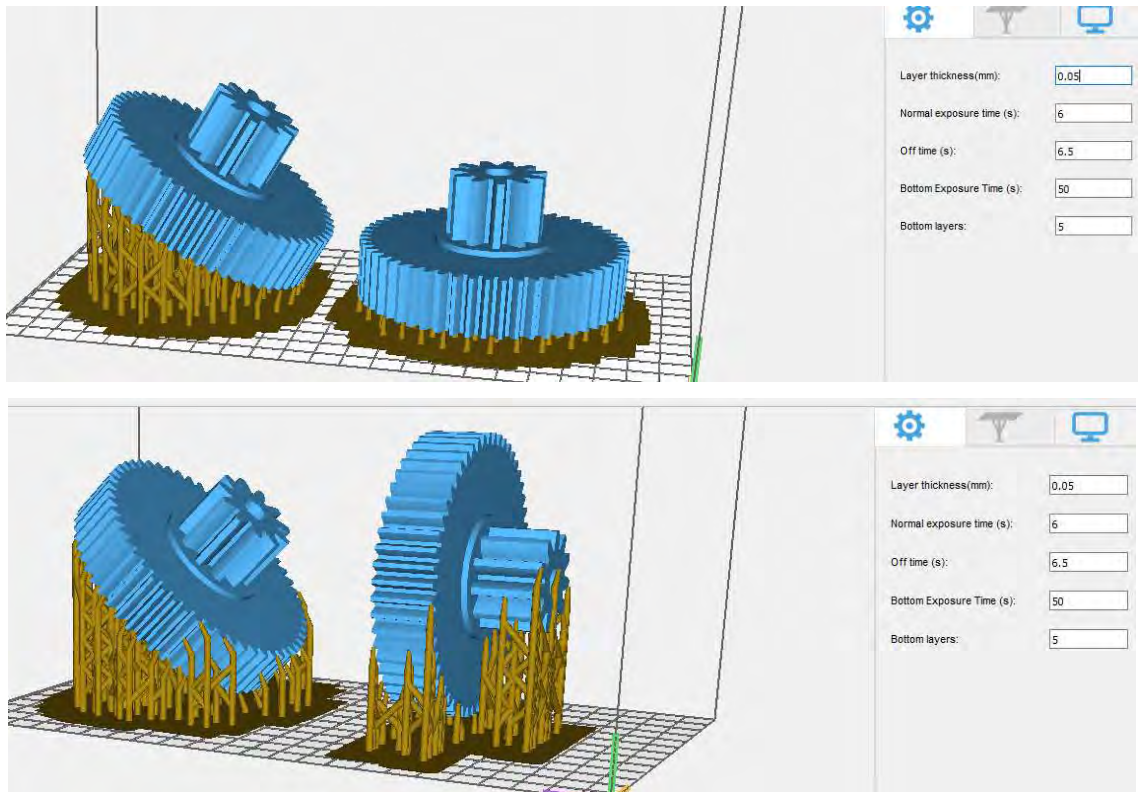


Fig.4.1.2.10. Roată dințată imprimare DLP pe orizontală, 30 și 45 grade înclinare față de orizontală și 90 grade pe verticală la partea inferioară



Fig.4.1.2.11. Curățire în alcool

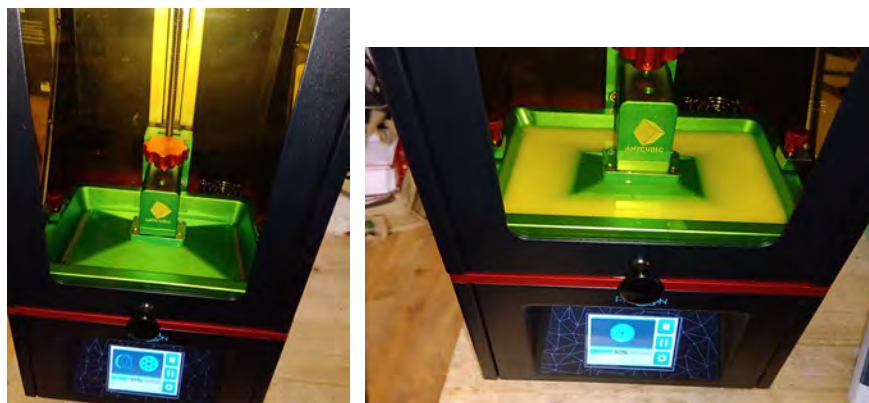


Fig.4.1.2.12. Imprimantă Anycubic cu roata curată stânga și roată dințată generată dreapta

Pentru generarea de angrenaje goale se folosește o rășină ANYCUBIC cu setare pentru culoarea verde [113., 114.] și pentru rășină din rășină WANYAN [8, 9] (tabelul 4.1.2.2.).

Tabel 4.1.2.2. Setare rășină pentru imprimare 3D DLP

Input Parameter	Value								UM
layer thicknesses	20	40	50	50	70	80	20	50	microns
resin expose	7,5	12	8	10	12	16	12	15	sec
Off time	1,5	3	1	1	1	3	1	1	sec
Bottom expose	40	80	50	50	55	70	40	50	sec
Bottom layer	8	5	8	8	8	4	8	8	
Type	Anycubic Green						Wanyan White		

După imprimarea 3D (Figura 4.1.2.13.) pentru roata fără dantură rezultă o masă cu suporți 13,6 grame și fără suporți 9,1 grame. Pierdere procentuală 49,45%. Pierdere mai mare datorită geometriei suprafeței de imprimare de pe placa plană de sprijin.



Fig.4.1.2.13. Roată fără dantură orientată orizontal cu suporți în stânga și fără suporți dreapta

În (Figura 4.1.2.14.) este imprimat roata dințată care are suporti 26,5 grame și fără suporti 21,5 grame. Pierdere procentuală 23,26%. După aceea, ambele părți sunt vizualizare optică cu cameră cu zoom optic, de 50-500 de ori atât pe margine roată fără dantură (Figura 4.1.2.15.), cât și pe suprafață dinte pentru roata cu dantură (Figura 4.1.2.16.).

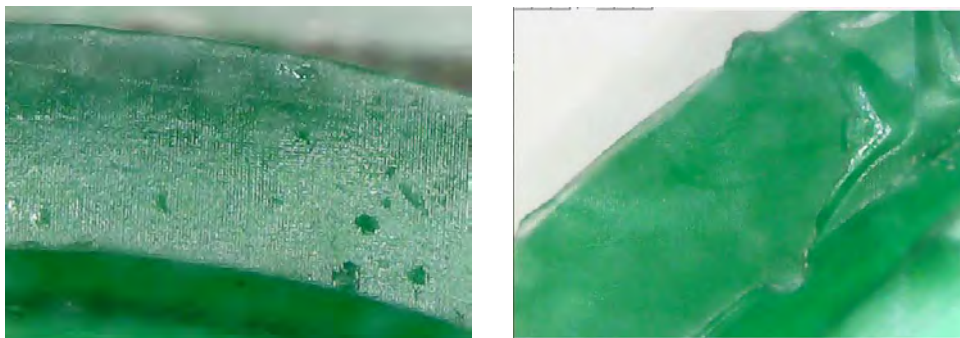


Fig.4.1.2.15. Roată fără dantură orientată orizontal suprafață cu muchie parte superioară în stânga și parte plană inferioară cu muchie dreapta

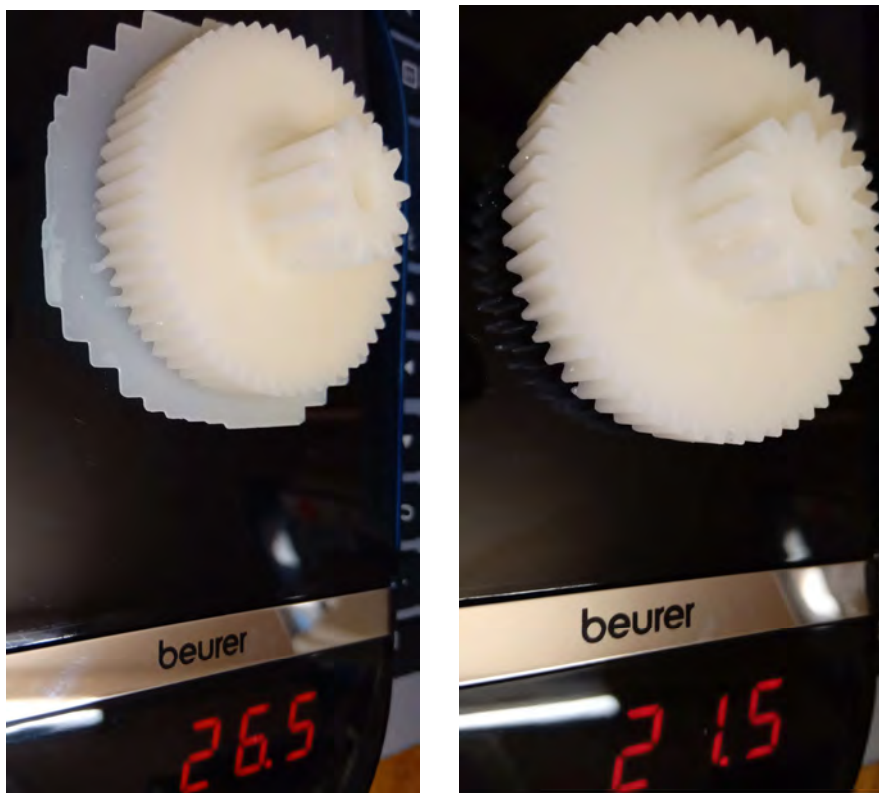


Fig.4.1.2.14. Roată dantură orientată orizontal cu suporti în stânga și fără suporti dreapta



Fig.4.1.2.16. Dantură roată dințată dispusă orizontal imprimată dinte mic la stânga și dinte mare la dreapta

Din analiza realizată se poate observa că pe diametru avem o dilatare a valorilor de 3% la 5%. Deci dacă vom realiza o micșorare a valorilor prin scalare cu diminuarea de 4% vom ajunge pe cotele corecte. Dacă vom realiza același studiu după direcția verticală se va observa că dilatarea diferită ca și plajă de dispunere a deviației procentuale. Datorită acestui fapt se va recomanda ca să utilizăm aceeași diminuare ca și în cazul diametral.

Ambele părți sunt verificate dimensional cu etrier digital (*Tabelul 4.1.2.3.*) pentru semifabricat și tabelul 4 pentru angrenaj.

Din punct de vedere tehnologic se desprind următoarele recomandări pentru realizarea unei roți dințate duble care sunt legate în principal de prelucrarea elementelor specifice ale cotelor de montaj și cele funcționale. Orificiul central se va prelucra prin alezare cu un alezor reglabil pentru a obține jocul dorit.

Partea frontală pe care se va sprijini sistemul de susținere pentru imprimare se va realiza mai mare cu 1 mm și se va prelucra dacă se dorește o lățime egală. Se poate însă prelucra prin rectificare înclinată la 30 grade flancul pentru a îndepărta eventualele deformații de pe suprafața inițială de imprimare (*Figura 4.1.2.17.*).

Tabel 4.1.2.3. Valoarea dimensiunii pentru imprimarea 3D DLP orizontală goală

Tipe	Design	Made	Dev.%	UM	Obs.
Height Top	10,00	9,68	-3,20%	mm	Top supports
Height Base	12,00	12,33	2,75%	mm	
Height middle	4,00	4,03	0,75%	mm	
Hole inner	5,00	5,01	0,20%	mm	
Hole middle	8,00	8,27	3,37%	mm	
Diam Output	44,00	46,02	4,59%	mm	
Diam middle 2	38,00	39,51	3,97%	mm	
Diam middle 1	14,00	14,73	5,21%	mm	

Tabel 4.1.2.4. Valoarea dimensiunii pentru roată dințată 3D DLP

Type	Design	Made	Dev.%	UM	Obs.
Diam Output 1	45,62	47,74	4,65%	mm	
Diam Output 2	16,25	17,17	5,66%	mm	
Diam middle	20,00	21,23	6,15%	mm	
Height Top	22,00	22,20	0,91%	mm	
Height Base	10,00	11,04	10,40%	mm	
Height middle	11,00	11,44	4,00%	mm	
Hole inner	5,00	5,03	0,60%	mm	



Fig.4.1.2.17. Roată fără dantură imprimată la 30 grade după extragerea din imprimantă

Dacă comparăm valorile rezultate din program raportate la cantitatea de rășină utilizată și cantitățile efectiv utilizate se poate observa că există diferențe. În primul rând nu se face prin program nici o referire la pierderile de material prin elementele de susținere. În al doilea rând între valoarea determinată pentru reper prin măsurare și cea din programul de generare se pot observa diferențele din (Tabelul 4.1.2.5.).

Tabel 4.1.2.5. Valoarea pentru roată fără dințată imprimată 3D DLP

Type	Calculate		Made		Dev.%	Obs.
	Value	Mass	With Suports	Part		
Horizontal	8,9	9,97	13,60	9,10	-8,73%	
30 degree	10,1	11,31	16,20	8,70	-23,08%	
UM	ml	gram	gram	gram		
		Density	1,12	gr/cm3		

În (Tabelul 4.1.2.6.) se pot observa valorile măsurate pentru roata dințată fără dantură.

Tabel 4.1.2.6. Valoarea dimensională pentru roată fără dințată imprimată 3D DLP imprimată înclinat

Type	Design	Made	Dev.%	UM	Obs.
Height Top	10,00	10,41	4,10%	mm	Top supports
Height Base	12,00	12,38	3,17%	mm	
Height middle	4,00	4,15	3,75%	mm	
Hole inner	5,00	5,04	0,80%	mm	
Hole middle	8,00	8,11	1,37%	mm	
Diam Output	44,00	45,88	4,27%	mm	
Diam middle 2	38,00	39,41	3,71%	mm	
Diam middle 1	14,00	14,86	6,14%	mm	

Din compararea datelor rezultate se observă că deviația față de valorile proiectate pentru piesa înclinată 30% nu este foarte mare. Dacă luăm în considerare solicitările care apar în partea de imprimare se poate concluziona că este recomandabil ca să utilizăm un unghi de înclinare mic pentru a reduce efectele vibrațiunilor.

4.2. Considerente asupra generării de elemente spirale prin imprimare 3D

4.2.1. Generarea elementelor spirale prin tehnologii de imprimare 3D de tip FDM

În sistemul în mișcare linear sunt componente care au o structură compusă din componentă filetată și rigidă pentru asamblarea construcției [115., 116.]. Generarea firului este un proces complex și relativ dificil. O parte din acest proces este prezentată în (*Figura 4.2.1.1.*). Principiul de generare este specific fiecărui tip de program de generare. Pe partea stângă este varianta de generare în CATIA sau INVENTOR, unde generează o secțiune trapezoidală, care este deplasată prin procesul de rotire și translație prin tăiere din corpul solid după directoarea spirală. În FUSION 360 [117.] generarea a fost realizată utilizând programul de generare Fusion 360 la care filetul realizat a fost de tip trapezoidal pentru cel din imaginea din stânga și rotund pentru cel din imaginea din dreapta.

Din punct de vedere constructiv (*Tabelul 4.2.1.1.*), majoritatea ansamblurilor filetate sunt formate din două sau mai multe componente, care sunt montate cu elemente de centrare, fixare și poziționare relativă între acestea. Acest lucru face ca din punct de vedere al costurilor de fabricare acestea să fie relativ ridicate, datorită preciziei care se impune montajului realizat.

Pentru realizarea și montarea piuliței, este conceput un sistem compozit format dintr-o singură parte, așa cum se poate observa în (*Figura 4.2.1.2.*). Marcajul are atât partea de fixare pe elementul de mișcare, cât și partea de poziționare și reglare a mișcării pierdute mecanic.

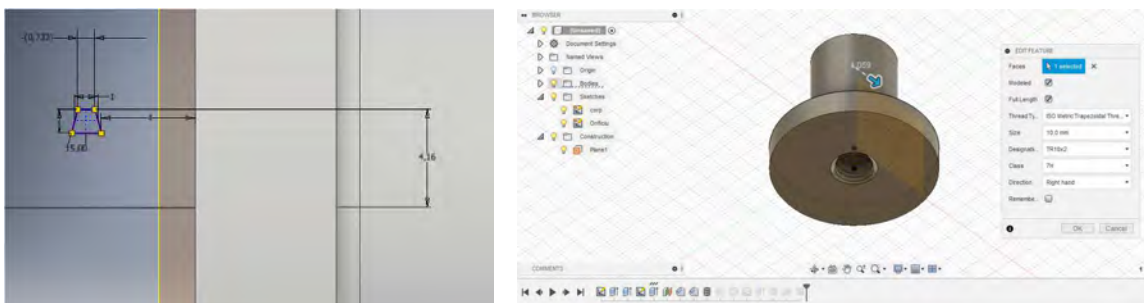


Fig.4.2.1.1. Geometrie filetată convențională care trebuie realizată, soluție INVENTOR stânga, soluție FUSION 360 dreapta

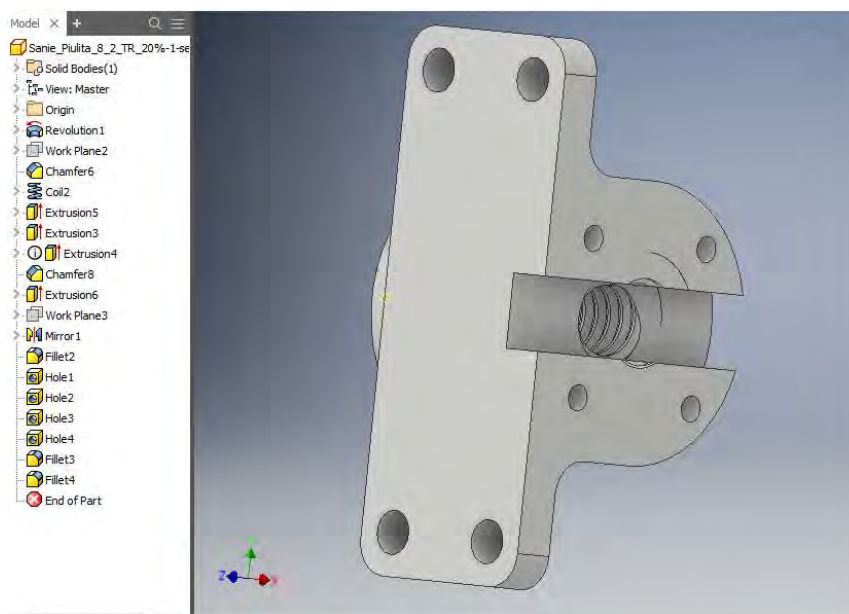


Fig.4.2.1.2. Geometrie 3D cu zonă filetată care urmează să fie realizat,

Tabel 4.2.1.1. Piese rotunde cu filet

Diametru	Pas	D1	D2=d2	D4	ac	H1	H4=h3	z	d3
10,00	2,00	8,00	9,00	10,50	0,25	1,00	1,25	0,50	7,50
8,00	2,00	6,00	7,00	8,50	0,25	1,00	1,25	0,50	5,50
8	1,5	6,50	7,25	8,50	0,25	0,75	1,00	0,38	6,00

În (Figura 4.2.1.2.) a fost realizată generarea piesei folosind programul INVENTOR [118.] la care secțiunea a fost realizată de tip trapezoidal care este poziționată în partea stângă, iar al doilea este de tip rotund în partea dreaptă. Principiul se observa ca este același și anume mai întâi se realizează orificiul în zona în care trebuie realizat elementul filetat și ulterior se va realiza filetul prin generarea unui plan coaxial cu axa orificiului și perpendicular pe partea circulara a orificiului. Din cele prezentate se poate observa ca vom utiliza generarea efectivă și nu cea vizuala impusa de programele de generare 3D cunoscute, de tip CATIA, INVENTOR, SolidWorks.

Din domeniile în care pot fi utilizate astfel de componente cu eficiență economică maximă, am considerat:

- repararea de componente din materiale metalice sau nemetalice, în care tensiunile mecanice sunt reduse sau au valori medii;
- generarea de elemente noi la care eforturile mecanice sunt reduse sau au valori medii.

Atât din literatura de specialitate, cât și din partea experimentală, putem concluziona că există câteva materiale care pot fi utilizate cu succes pentru atingerea acestei condiții. În acest studiu sunt determinate eficiența tehnologică pentru implementarea materialelor PLA, ABS și PETG pentru confecționarea pieselor dințate 3D prin tehnologia FDM (Fusion Deposition Modeling) [119., 120, 121.], precum și realizarea componentelor în conformitate cu condiții impuse folosind materiale și tehnologii reciclabile care poluează mai puțin spațiul de lucru.

Generarea reperelor prin imprimare 3D de tip cu filete este un proces relativ dificil. Acest lucru este datorat atât structurii acestuia cat și a modului de realizare a acestuia. Pentru a se putea realiza imprimarea efectivă trebuie ca mai întâi fișierul reperului generat de tip *stl* să fie verificat dacă nu există probleme de generare a structurii acestuia din punctul de vedere al realizării electronice al lui. Există în literatura de specialitate recomandări ca mai întâi acest reper generat sa fie transformat într-un solid și după aceea să fie supus procesului de generare a structurii triunghiulare specifice generării *stl* [122., 121., 122.]. Avantajul utilizării programului de generare *Fusion 360* este ca acesta are și modul de generare a componentei pentru imprimare 3D deci realizează implicit și verificarea componentei realizate.

În (Figura 4.2.1.3.) este prezentat elementul *Fusion 360* generat de care este posibil să se observe forma complexă a acestuia care include structura de plasă a părții în care există 24.024 triunghiuri.

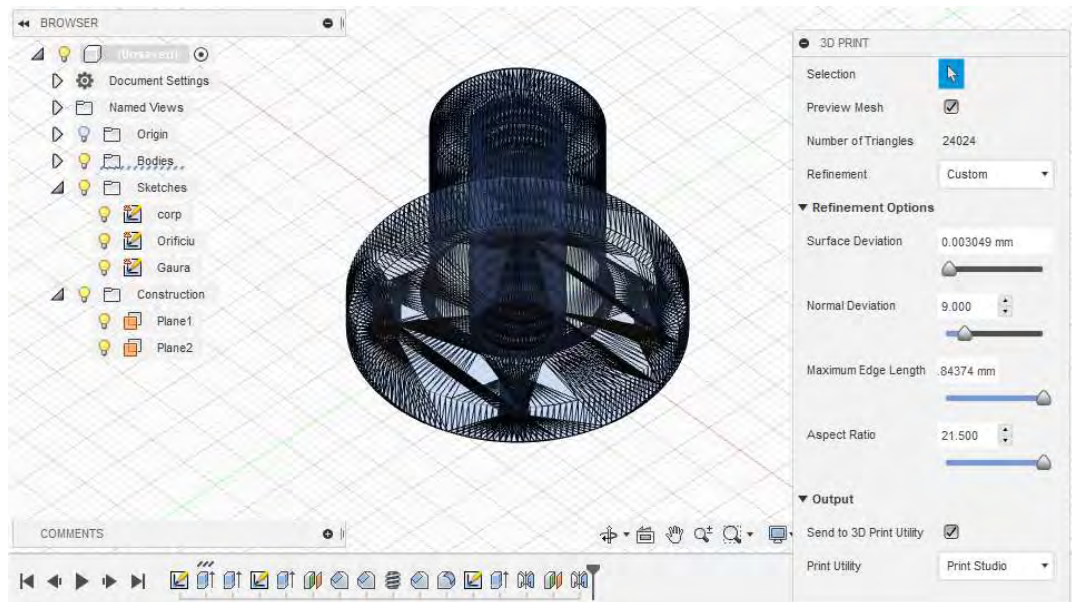


Fig.4.2.1.3. Mesh parte rotundă filetată,

De asemenea, în (Figura 4.2.1.4.) [123.] este prezentă partea în care este posibil să vedem că nu este vorba de probleme ale structurii generate.

După aceasta verificare (Figura 4.2.1.5.) se va trece la realizarea elementelor specifice de susținere pe zonele pe care acestea sunt necesare. Dacă pentru reperul poziționat cu orificiul pe verticala suport

nu sunt necesari pentru cel poziționat cu axa orificiului orizontal vederea din partea dreapta aceștia sunt necesari. Prezenta supuraților ar trebui să ajute la realizarea corectă a piesei. În același timp poziția orizontală asigură o mai bună generare a suprafeței filetate față de cea verticală. Aceste elemente de sprijin ar trebui să ajute la crearea poziției corecte a structurii.

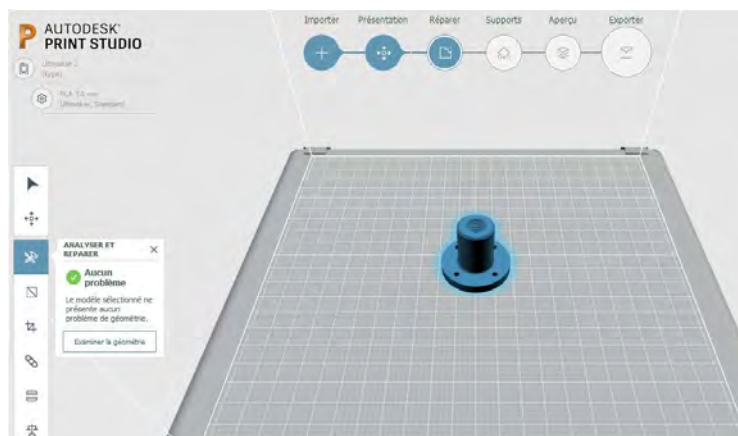


Fig.4.2.1.4. Partea normală rotundă filetată în Print Studio,

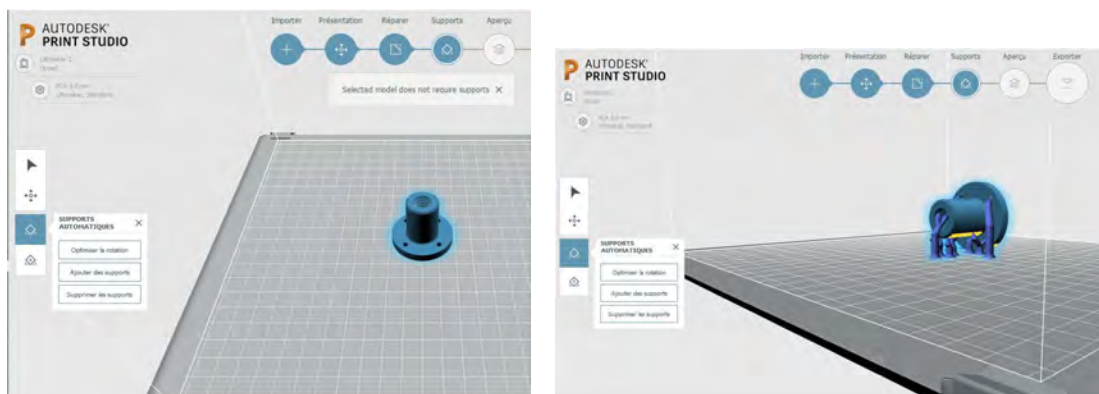


Fig.4.2.1.5. Suport pentru piesă tipărită 3D imprimată pentru elemente în Print Studio stânga generare verticală cu 0 suporturi, dreapta poziție orizontală cu suporturi cilindrici

Elementele de susținere pot fi liniare, așa cum se poate vedea în (Figura 4.2.1.6.), care sunt generate cu [124.]. De asemenea, am considerat acest caz ca să putem face o comparație practică între elementele care sunt generate fizic.

Pentru cazul piesei complete vom realiza poziționarea piesei pe cele două poziții menționate anterior, pentru a face o comparație mai elocventă între modurile de realizare efective (Figura 4.2.1.7.). În partea stângă este axa verticală, în timp ce în partea dreaptă cu axa orizontală.

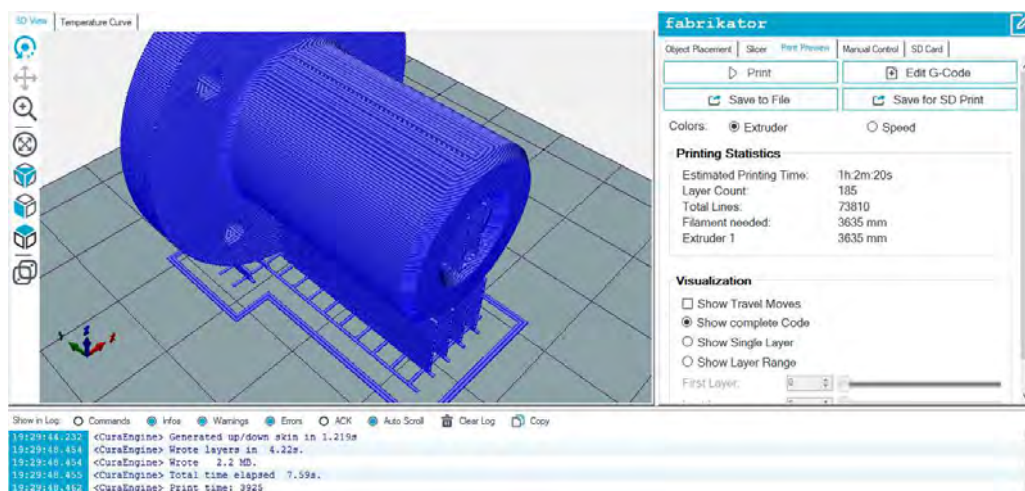


Fig.4.2.1.6. Suporturi liniare pentru o parte imprimată 3D în Repetier Host

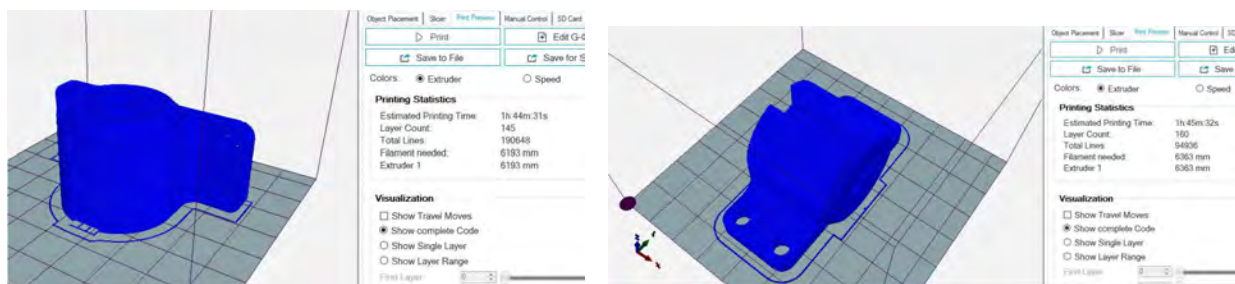


Fig.4.2.1.7. Suport pentru partea tipărită 3D cu generarea pe verticală cu Repetier Host, generație orizontală în partea dreaptă

În același timp, poziția orizontală asigură o generare mai bună a suprafeței filetate decât cea verticală, așa cum se poate observa din (Figura 4.2.1.8.). În partea stângă este axa orizontală generată cu Repetier Host (Cura), în timp ce în partea dreaptă cu axa verticală.

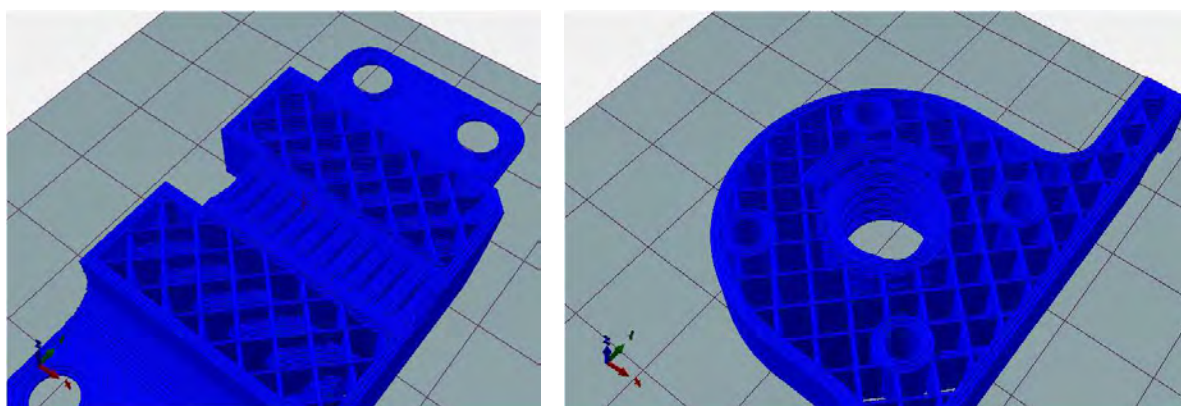


Fig.4.2.1.8. Profilul generării filetului 3D imprimare cu Repetier Host stânga cu axă orizontală, dreapta cu generare cu axă verticală

În (Figura 4.2.1.9.) se poate observa poziționarea suporturilor circulare pentru o soluție optimă cu axă verticală generată cu Print Studio pentru orificiu vertical pe partea stângă și axa orizontală în partea dreaptă.

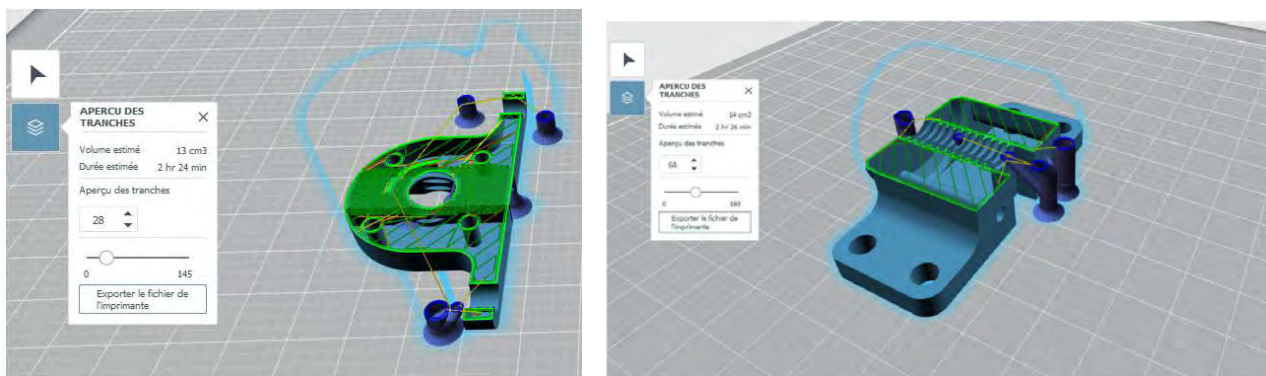


Fig.4.2.1.9. Profilul generării filetului 3D imprimare cu Print Studio stânga cu axă verticală, dreapta axă orizontală

Pentru generarea programul de comandă al imprimantei, există diferențe între durata de generare și cantitatea de material consumat. Pentru prima variantă din (Tabelul 4.2.1.2.), se pot vedea datele centralizate pentru piulița generată convențional.

Pentru a doua variantă datele sunt centralizate în (Tabelul 4.2.1.3.), unde sunt prezentate datele specifice generării. Trebuie arătat că între aceste date estimate și cele reale există diferențe.

În (Figura 4.2.1.8. și Figura 4.2.1.9.) sunt prezentați parametrii de generare selectați pentru straturi în varianta inițială Lățimea liniei 0,4 mm Calitate 0,2 mm, iar Viteza de imprimare 45 mm/s, Viteza perimetrală exterioară 30 mm/s, Viteza de umplere 70 mm/s , Straturi sus/jos 5 și Număr linii sus/jos 6.

Tabel 4.2.1.2. Date pentru partea tipărită 3D în situații convenționale

No	Pozition	Time min	Layer	Line	Filament mm	Slicer	Slicer
1	Vertical	52	155	109565	3103	Cura - Repetier	
2	Horizontal	62	185	73810	3635		
3	Vertical	80	154	105111	5095	Print Studio	Optimim
4	Horizontal	106	185	101857	6552		

Tabel 4.2.1.3. Date pentru partea tipărită 3D în situația nouă propusă

No	Pozition	Time min	Layer	Line	Filament mm	Slicer	Slicer
1	Vertical	104	145	190648	6193	Cura - Repetier	
2	Horizontal	105	160	94936	6363		
3	Vertical	144	145	167805	9463	Print Studio	Optimim
4	Horizontal	146	160	93863	10191		

Din studiul valorilor din (Tabelul 4.2.1.2. și Tabelul 4.2.1.3.), valoarea soluției pentru filament are un consum mai mare pentru varianta nouă decât cea convențională cu aproape 40%, timpul de generare este mai mare cu 45%, iar numărul de linii generate arată o variație neuniformă între cele două situații. De asemenea, dacă se analizează valoarea pentru poziționare verticală comparativ cu cea cu poziționare orizontală, valoarea timpului este pentru oricare dintre variantele mai mici cu 10% pentru soluția convențională, iar pentru noua durată este aproximativ egală.

O imprimantă *Fabrikator Mini* [116.] a fost utilizată pentru imprimarea piesei 3D. În (Figura 124.) este prezentată prima dintre soluții, cea imprimată cu axă orizontală. Din punct de vedere constructiv, piesa realizată prezintă o serie de defecte în forma cilindrică exterioară datorită modului de generare. Măsurarea diametrelor exterioare și interioare a fost centralizată în (Tabelul 4.2.1.4.). Pentru a observa mai bine poziționarea elementelor măsurate au fost explicate în (Figura 4.2.1.11.). Pentru o mai bună vizualizare a piesei tipărite, aceasta a fost poziționată atât din partea laterală din stânga, cât și din imaginea cilindrului mic din dreapta (Figura 4.2.1.10.).

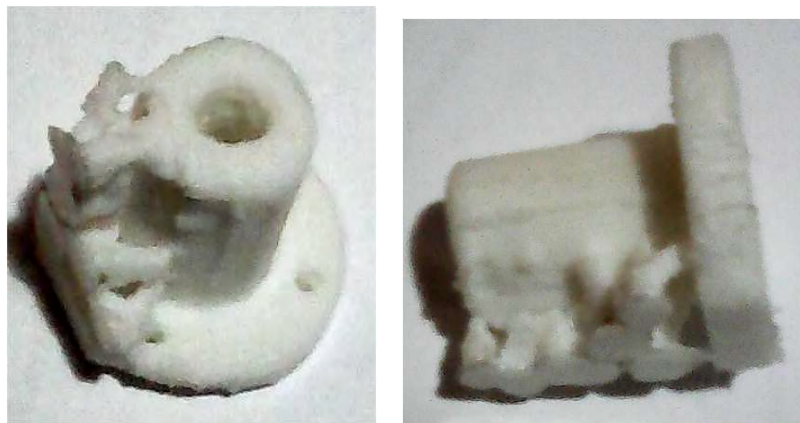


Fig.4.2.1.10. Piesa convențională cu suporturi cilindrice dispusă vertical în stânga, poziție orizontală partea dreaptă

În (Figura 4.2.1.12.) este prezentată a doua din această parte. Din punct de vedere constructiv, piesa realizată prezintă o serie de defecte în forma cilindrică exterioară datorită modului de generare. Măsurarea diametrelor exterioare și interioare are ca rezultat (tabelul 4.2.1.5.). Pentru o mai bună vizualizare a piesei tipărite, aceasta a fost poziționată atât din partea laterală din stânga, cât și din imaginea cilindrului mic din dreapta (Figura 4.2.1.12.). Pentru a observa mai bine poziționarea elementelor măsurate au fost explicate în (Figura 4.2.1.13.).

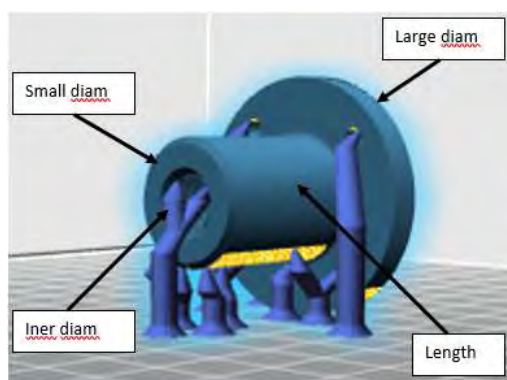


Fig.4.2.1.11. Dimensiunea părții convenționale cu suporturi cilindrice

Tabel 4.2.1.4. Valoarea dimensională a piesei cu suporturi cilindrice

Dimension	UM	Value
Lenght	mm	31,00
Small diam 1	mm	18,10
Small diam 2	mm	18,20
Large diam 1	mm	36,00
Large diam 2	mm	34,00
Iner diam tap 1	mm	6,00
Iner diam tap 2	mm	6,50

Tabel 4.2.1.5. Valoarea dimensională a piesei cu suporturi liniare

Dimension	UM	Value
Lenght	mm	31,00
Small diam 1	mm	18,70
Small diam 2	mm	17,70
Large diam 1	mm	35,10
Large diam 2	mm	36,10
Iner diam tap 1	mm	6,10
Iner diam tap 2	mm	6,00

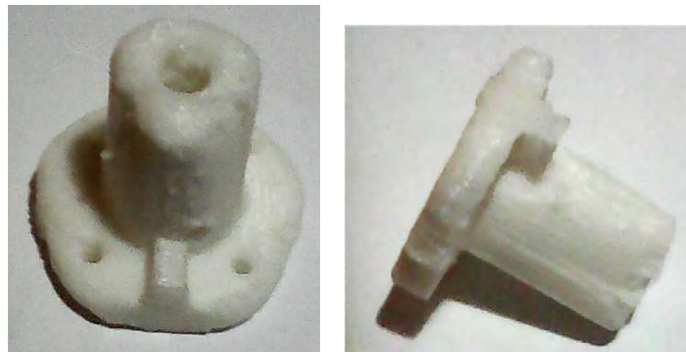


Fig.4.2.1.12. Partea convențională cu suporturi liniare poziție verticală stângă, poziție laterală dreaptă

În (Figura 4.2.1.14.) este prezentată partea verticală generată în orizontală și verticală în două poziții și dimensiunea pentru această generație. Pentru a observa mai bine poziționarea elementelor măsurate au fost explicate în (Figura 4.2.1.15.). Măsurarea diametrelor exterioare și interioare are ca rezultat (Tabelul 4.2.1.6.).

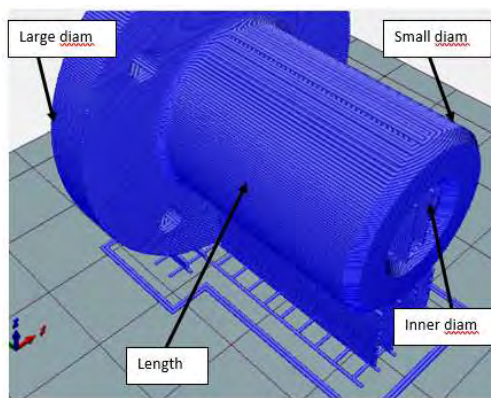


Fig.4.2.1.13. Dimensiunea pentru partea convențională cu suporturi liniare

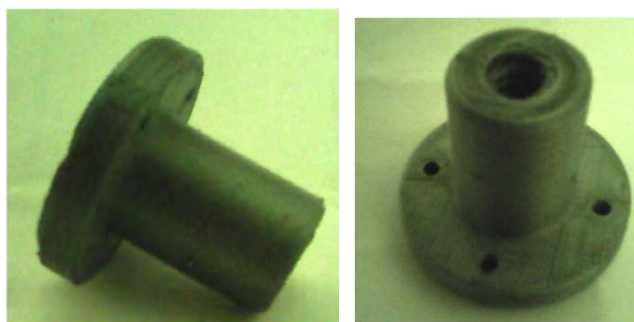


Fig.4.2.1.14. Partea de imprimare verticală la stânga orizontală, la dreapta verticală



Fig.4.2.1.15. Dimensiunea piesei verticale de imprimare

Tabel 4.2.1.6. Valoarea dimensională a piesei tipărite vertical

Dimension	UM	Value
Lenght	mm	31,20
Small diam 1	mm	18,40
Small diam 2	mm	18,30
Large diam 1	mm	35,90
Large diam 2	mm	36,30
Iner diam tap 1	mm	6,40
Iner diam tap 2	mm	6,45

În (Figura 4.2.1.16.) este prezentată partea compusă în orizontală și verticală în două poziții. Din punct de vedere constructiv, piesa realizată arată că nu sunt defecte în forma exterioară cilindrică din cauza modului de generare.

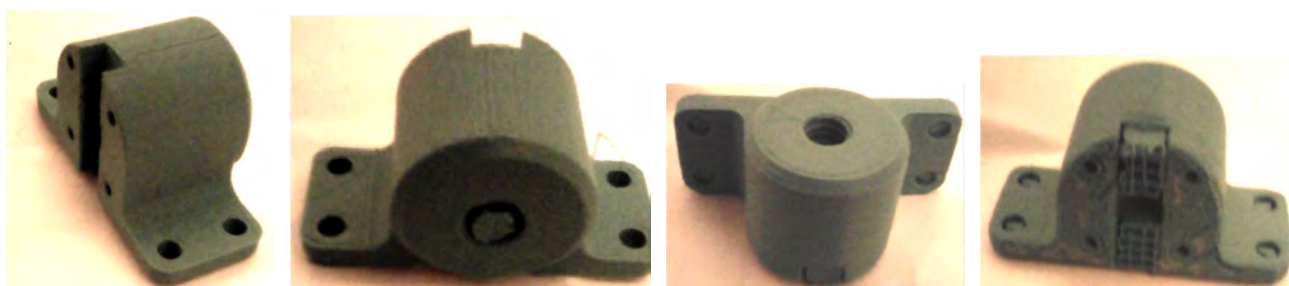


Fig.4.2.1.16. Partea compusă în toate pozițiile cu suporturi liniare axa orizontală sus stânga, axe verticale de imprimare inferioare stânga față, lateral dreapta

Măsurarea valorii și a diametrelor exterioare și interioare are ca rezultat (*Tabelul 4.2.1.7.*). Pentru o mai bună vizualizare a piesei tipărite, aceasta a fost poziționată atât din partea laterală din stânga, cât și din partea din față a imaginii din partea dreaptă pentru prima generație orizontală și pentru generarea verticală în al doilea rând (*Figura 4.2.1.16.*).

Tabel 4.2.1.7. Valoarea dimensională pentru piesa compusă în toate pozițiile

Dimension	UM	Value o	Value v
Lenght	mm	29,70	28,45
Large diam 1	mm	31,40	31,60
Large diam 2	mm	31,40	32,10
Iner diam tap 1	mm	7,80	7,55
Iner diam tap 2	mm	7,80	7,70

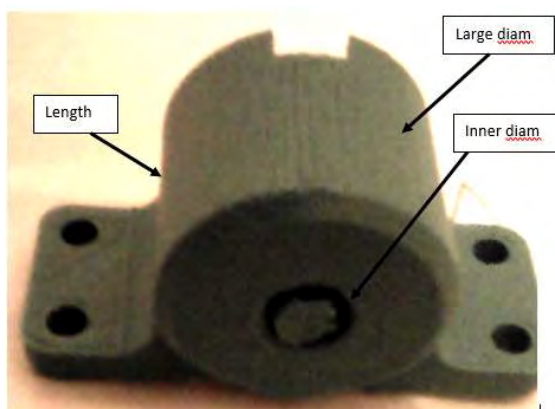


Fig.4.2.1.17. Valorile dimensionale pentru piesa compusă pentru toate pozițiile

Pentru fiecare dintre aceste componente a fost apoi determinată greutatea lor după generare și după îndepărtarea elementelor de susținere. Ulterior, greutatea a fost determinată după operația de calibrare plictisitoare a găurii interioare și calibrarea cu robinet de filet specific orificiului de șurub. În (*Figura 4.2.1.18.*) sunt instrumentele cu care se face prelucrarea. În partea de sus instrumentul de calibrare a orificiului filetat și în partea inferioară a pozei instrumentul calibrare și corecție filet de tip tarod.



Fig.4.2.1.18. Instrumente pentru calibrarea interioară a găurii șurubului

Acest proces este necesar deoarece suprafața interioară, așa cum se poate observa din faza de generare, nu este perfect circulară și va produce zone de contact punctuale de frecare. După prelucrare,

mărcile au fost, de asemenea, cântărite determinând greutatea lor finală. Valorile greutății sunt centralizate în tabelul din (Tabelul 4.2.1.8.).

Tabel 4.2.1.8. Valoarea dimensională a masei pentru tipurile de repere cu filet

Type	Weigth in grams				Loss %
	with sup	aut sup	tap	thread	
Norm_Cil	12,50	12,30	11,90	11,60	7,76%
Norm_lin	11,90	11,80	11,70	11,45	3,93%
Norm_vert	11,50	11,50	11,40	11,20	2,68%
Modif_ori	19,70	19,50	19,30	19,10	3,14%
Modif_vert	19,30	19,10	18,90	18,70	3,21%

În (Figura 4.2.1.19.) este prezentat standul pentru a determina greutatea probelor. Este o balanță de farmacie cu precizia de 0,1 grame.



Fig.4.2.1.19. Balanță de farmacie pentru măsurarea reperelor filetate

Analiza datelor în raport cu (Tabelul 4.2.1.8.) a pieselor tipărite 3D se poate concluziona că cea mai mică pierdere de material și implicit cele mai mici corecții se obțin pentru imprimarea 3D în poziția verticală pentru elementul convențional și în raport cu pierderile din al doilea articol, sunt relativ apropiate, dar consumul de material este mai mic pentru poziția verticală decât cea orizontală. În consecință, pe lângă forma de generare a filetului, se recomandă să se ia în considerare și consumul de material pentru performanța piesei 3D tipărite.

4.2.2. Generarea elementelor spirale prin tehnologii de imprimare 3D de tip DLP

Realizarea CAD a spiralelor se poate face folosind mai multe metode. Prima dintre acestea este o metodă grafică care permite adăugarea unei imagini pe suprafața generată și care este cea mai utilizată. A doua metodă este generarea de tăiere pe o suprafață cilindrică a spiralei folosită ca director la generarea canalului spirei. Secțiunile de tăiere numite generatoare pot avea diferite forme. Pentru cazul acestei lucrări, vom folosi elementul generator de triunghi [125.] și respectiv arc. Avantajul generării elementului spiral într-o formă de imagine poate fi reducerea numărului de elemente necesare pentru realizarea ansamblului [126., 127. și 128.]. Dacă primele două variante sunt, realizarea unor elemente

de tip spiral cilindric, a treia variantă este generată de spirală plană (*Figura 4.2.2.1.*) sau de elemente spiralice conice (*Figura 4.2.2.2.*).

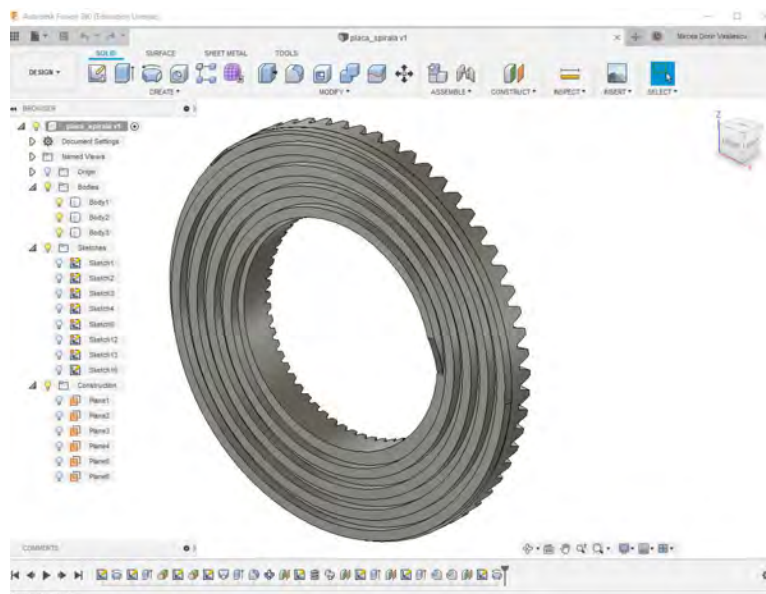


Fig.4.2.2.1. *Spirală de plană generată 3D pe o roată dințată conică*

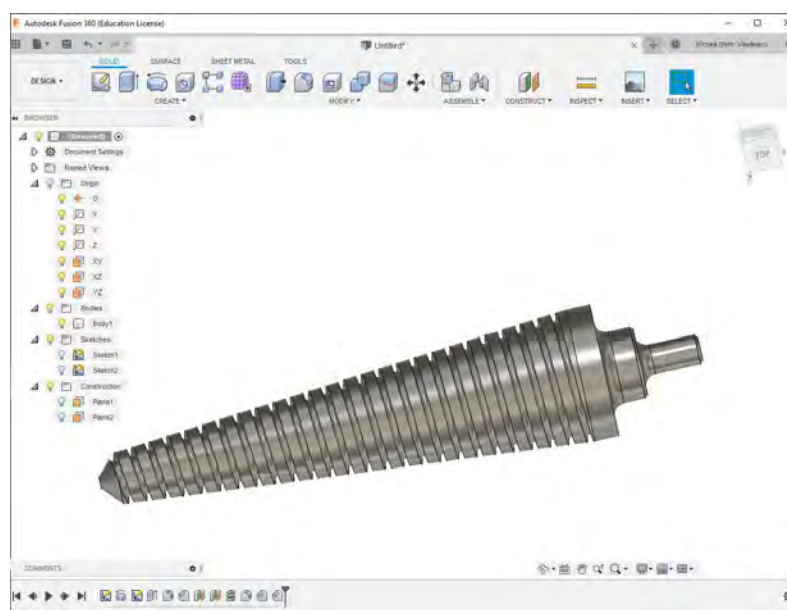


Fig.4.2.2.2. *Geometrie spirală conică generată 3D*

Elementul plan spiral a fost generat pentru realizarea elementului de comandă a unei mandrine pentru un strung imprimat 3D cu rol funcțional, dar și didactic. Element spiral este rotit după axa Z cu un pas dependent de pasul linear al spiralei pe partea opusă unui angrenaj conic. Placa este specifică unui universal pentru strung cu un diametru de 50 mm. Genera s-a realizat folosind modulul de *Design* specific interfeței programului *Fusion 360* [129., 130. și 131.] utilizat. Suprafața spirală este supusă solicitării frecării glisante. Suprafața conică a angrenajului este supusă solicitării presiunii de contact.

Rotația componentei generatoarei pe spirala conică se face după axa orizontală X. Aceasta este utilizată pentru alimentarea cu material granular într-o instalație pentru tăierea cu jet de apă abrazivă.

Din punct de vedere al funcției componente se poate observa că în canal se va deplasa un material granular. Solicitarea de uzură abrazivă a canalului are efecte relativ importante.

Un element important în domeniul sistemelor de transmisie liniară a mișcărilor sunt elementele cu bușă canelată (*Figura 4.2.2.3.*). Elementul interior spiral este dispus liniar după generatorul de elemente geometrice.

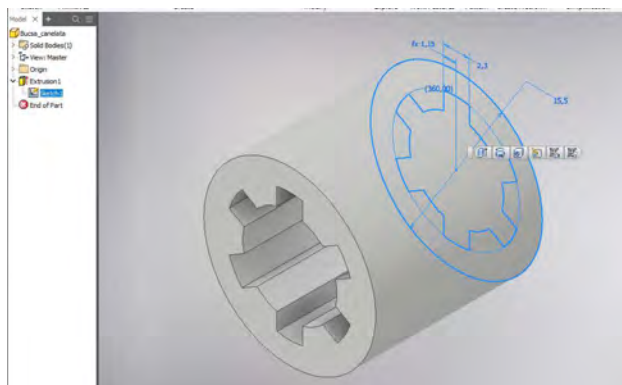


Fig.4.2.2.3. Bucșă canelată lineară generată 3D

Din punct de vedere al programului de generare, pentru piesele generate trebuie să ia în considerare atât rolul funcțional, cât și cel geometric.

Un element important pentru sistemele de transmisie liniară de mișcare este elementul de tip bușă filetată (*Figura 4.2.2.4.*). Elementul spiral interior a fost generat în analiză pentru a vedea cum modificările aduse pot afecta imprimarea 3D pentru o generare tehnologică completă și corectă.

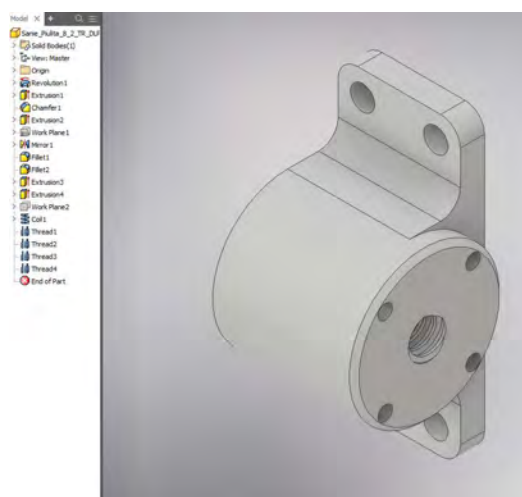


Fig.4.2.2.4. Filet realizat la interiorul unei bușe generate 3D CAD

Pentru a analiza generarea CAM este important rolul funcțional. Tehnologia de ieșire specifică a fost dezvoltată pentru a rezolva ultima analiză a problemelor.

Pentru realizarea reperelor prin imprimare 3D DLP sunt necesare mai multe elemente specifice. Pentru a realiza structura reperului este utilizată o imprimantă *Anycubic Photon 3D* [132.] (*Figura 4.2.2.5.*). Aceasta poate genera un punct de polimerizare de 47 microni.



Fig.4.2.2.5. Imprimantă 3D AnyCubic Photon

Din punctul de vedere al generării elementului solid, este importantă precizia realizării structurii triunghiulare pentru realizarea modelului solid. Deoarece tipurile de elemente spiralate ca geometrie, dar și ca poziție a acestora sunt foarte diferite, analiza făcută pentru fiecare element în parte. Acest lucru necesită o mare precizie pentru generarea spiralei conice solide (*Figura 4.2.2.6.*). Se poate observa că, datorită preciziei ridicate a generației de reper solid, avem un număr de 157.876 triunghiuri.

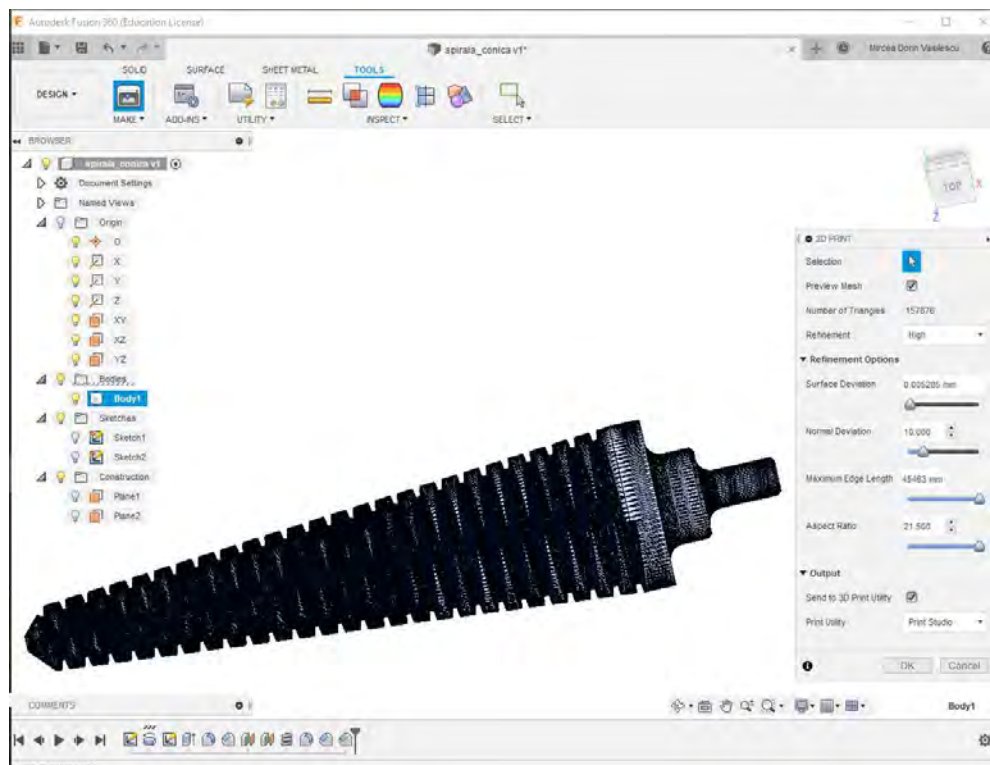


Fig.4.2.2.6. Structura mesh pentru spirala conică

Pentru spirală plană, deoarece necesită o precizie mare pentru generarea spiralei cu plan solid (*Figura 4.2.2.7.*). Se poate vedea că, datorită preciziei ridicate a generării pieselor solide, avem un număr de 158.038 triunghiuri.

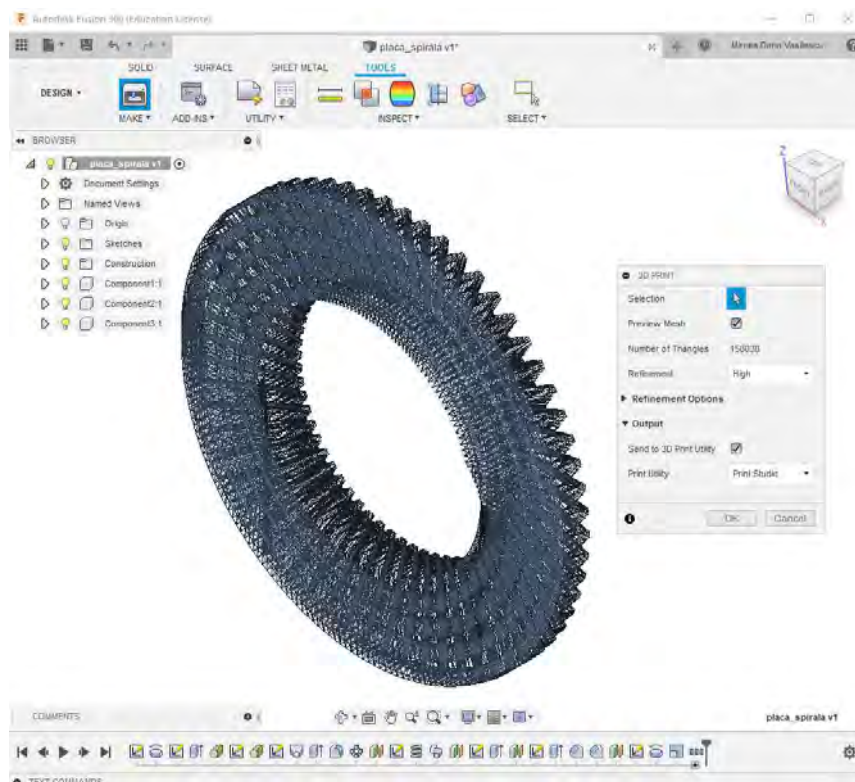


Fig.4.2.2.7. Structura mesh pentru spirala plană

Pentru elementul cu bușă canelat, deoarece necesită o mare precizie pentru generarea spiralei cu plan solid (Figura 4.2.8.). Se poate observa că, datorită preciziei ridicate a generării pieselor solide, avem un număr de 2.464 triunghiuri.

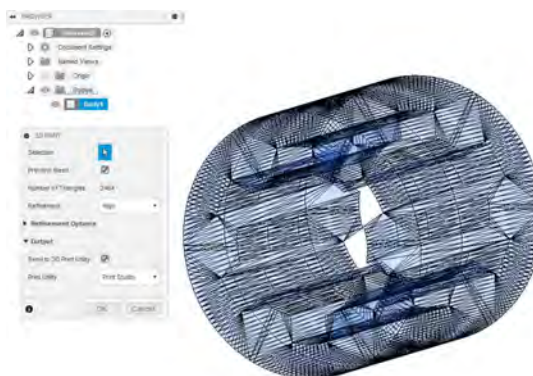


Fig.4.2.2.8. Structura mesh pentru bușă canelată lineară

Pentru elementul filetat, deoarece necesită o mare precizie pentru generarea spiralei trapezoidale solide (Figura 4.2.2.9.). Se poate observa că, datorită preciziei ridicate a generării pieselor solide, avem un număr de 18.538 triunghiuri.

O fază importantă în realizarea imprimării 3D DLP este orientarea părții pentru a o imprima. Unele programe de orientare și generare a reperului propun poziția verticală sau de altă poziție în mod implicit. Considerația principală este de a minimiza amprenta la nivelul suprafeței plane de generare a piesei generate.



Fig.4.2.2.9. Structura mesh pentru filetul realizat la interiorul unei buçe

Unul dintre acestea este *Print Studio* [133.] pentru o imprimantă *Ember*, care asigură și poziționarea elementelor de suport pentru a realiza procesul de imprimare. Pentru cele patru părți prevăzute la tipărire, care au elemente spiralate în compoziție, poziționarea și generarea elementelor de susținere. Este posibil să se observe în (*Figura 4.2.2.10.*) poziționarea automată pentru spirală plană tipul de susținere.

Poziționarea și generarea automată a elementelor de susținere pentru spirală conică este posibilă în (*Figura 4.2.2.11.*).

Poziționarea și generarea automată a elementelor de susținere pentru poziția verticală a canalului liniar într-o bucă canelată este posibil să se vadă în (*Figura 4.2.2.12.*).

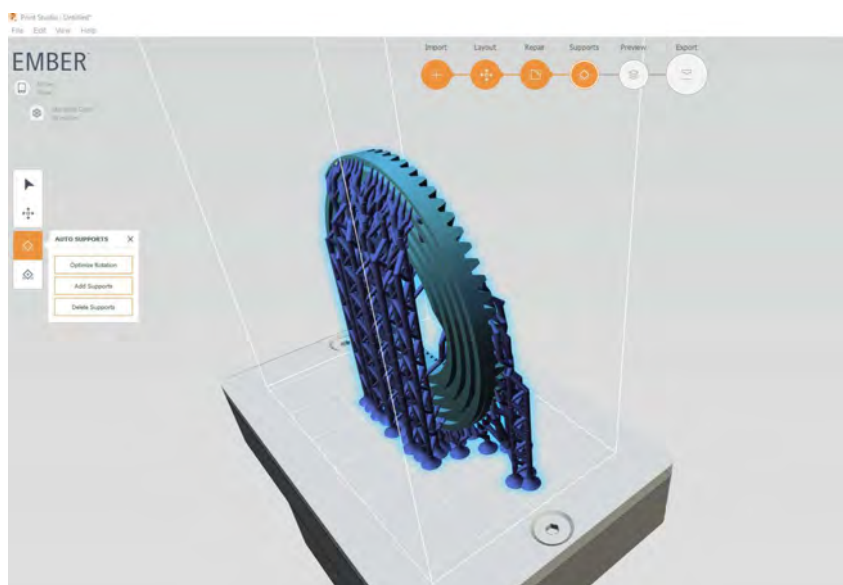


Fig.4.2.2.10. Elementul spiral plan orientat pentru imprimare

Din analiza ultimelor elemente prezentate care au canale dreptunghiulare sau profilate, este posibil să se observe că generarea și poziționarea s-au efectuat pentru programul CAM pentru elementele de generare numai în poziție verticală. Pentru ultimul caz analizat, se poate observa o schimbare a strategiei de poziționare. Generarea elementelor de susținere atât interne cât și externe este posibilă observarea

pentru ultimul element CAD generat. Poziționarea și generarea automată a elementelor de susținere pentru elementul cu bucășă canelat pentru a vedea în (Figura 4.2.2.13.).

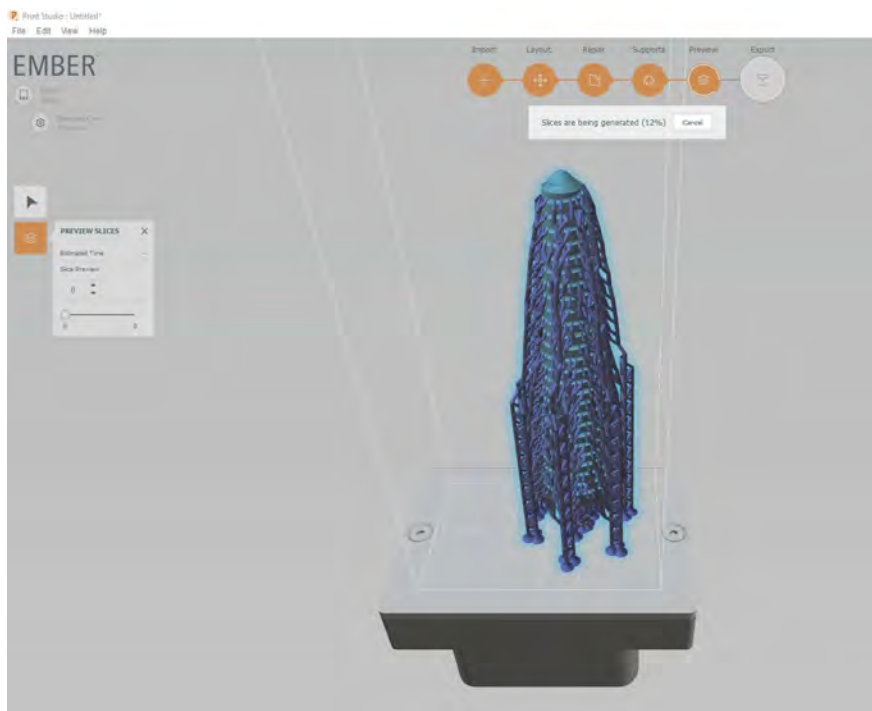


Fig.4.2.2.11. Elementul spiral conic orientat pentru imprimare

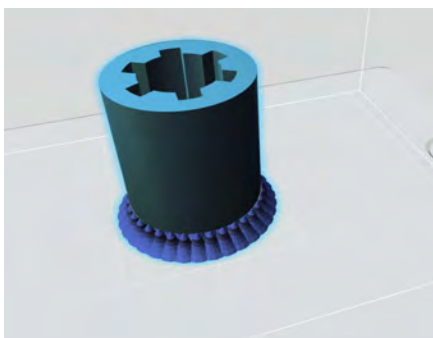


Fig.4.2.2.12. Elementul bucășă ghidare lineară orientat pentru imprimare

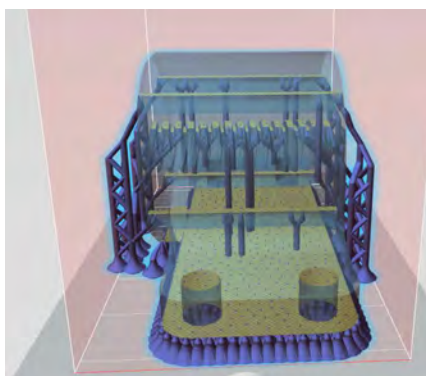


Fig.4.2.2.13. Elementul filetat interior orientat pentru imprimare

Întrucât orientarea pentru generarea elementului are efecte și asupra costurilor de imprimare ale acestuia, va analiza influențele elementelor tehnologice asupra acestor costuri de prelucrare prevăzute la imprimarea piesei.

Este posibil să se observe din cele prezentate că orientarea automată poate să nu fie întotdeauna soluția optimă pentru imprimarea elementului dorit. Concluzia este că orientarea elementului în cazul procesului de imprimare DLP depinde de capacitatea proiectantului de a determina condițiile funcționale ale elementului și experiența dobândită de la componentele de imprimare anterioare.

Un aspect important al imprimării DLP îl reprezintă și zonelor care trebuie să fie susținute în procesul de imprimare a componentei. Un aspect important al imprimării DLP îl reprezintă și zonele care trebuie să fie sprijinite și susținute în procesul de generare a piesei. Pentru a menționa situațiile, unele programe marchează cu zone roșii în care apar astfel de probleme (*Figura 4.2.2.14.*). Zonele respective se mai numesc și insule de generare.

În zonele cu roșu intens se recomandă aruncarea elementelor de susținere cu dimensiuni ale secțiunilor mai mari (diametrul 0,6 până la 0,8 mm), iar în cele cu elemente de susținere de culoare roșie mai deschise, cu secțiune mai mică (diametru 0,4 - 0,5 mm).

Importanța elementelor de susținere, dar și modul în care acestea sunt în poziție, este posibil să vedem din cele prezentate. În același timp, orientarea pentru tipărire este importantă și este posibil să se analizeze în capitolul următor, analizând structura piesei tipărite.



Fig.4.2.2.14. Poziția suportului pentru imprimarea DLP zonele de culoare roșie pentru susținere

În (*Figura 4.2.2.15.*) este posibilă vizualizarea structurii suporturilor pregătite pe partea inferioară a elementului spiral analizat. Se poate observa că pentru o mai bună imprimare s-au adăugat suportți cu diferite dimensiuni în zonele care pot să genereze probleme.

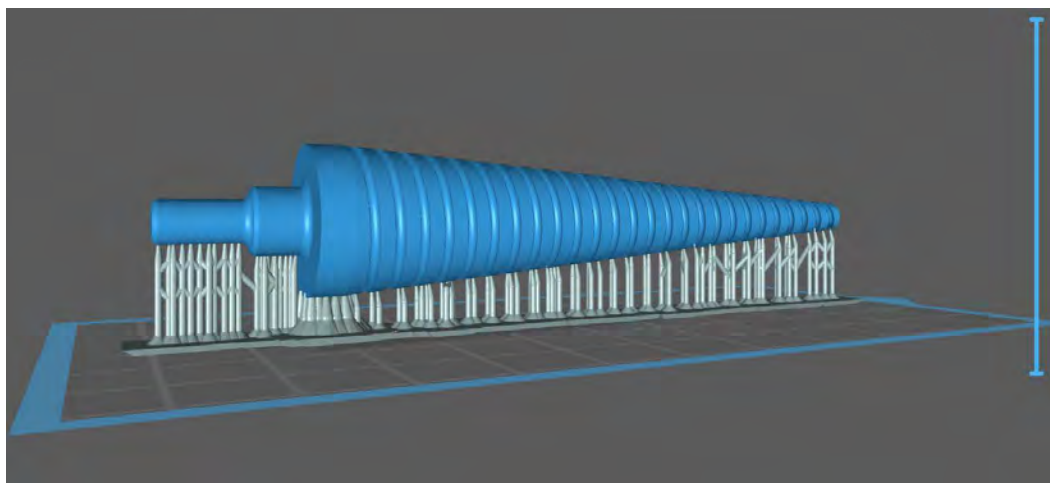


Fig.4.2.2.15. *Partea de poziționare pentru imprimare a elementului cu spirală conică*

Pentru analiza influențelor eficiente ale parametrilor tehnologici produși asupra elementelor generate, se dezvoltă două experimente distincte. Primul a fost cel cu canale liniare, iar al doilea cu elemente spiralate dispuse în partea interioară. Pentru fiecare dintre acestea s-au determinat valorile pentru masa elementului cu structura de sprijin și, respectiv, după îndepărtarea acestuia și comparate având în vedere densitatea mediului lichid.

Primul dintre elemente este cel care are canale verticale pe interior. Elementele studiate la imprimarea 3D au fost poziționate într-un unghi diferit față de direcția verticală pentru a observa influența devierii verticale către elementele dimensionale principale (*Figura 4.2.2.16.*).



Fig.4.2.2.16. *Poziția de imprimare a canalului interior vertical*

Pentru a vizualiza calitatea canalului este posibil să se observe cu microscopul optic. Calitatea marginii superioare este posibilă, dar și rotunjirea zonelor de contact între suprafețe (*Figura 4.2.17.*).

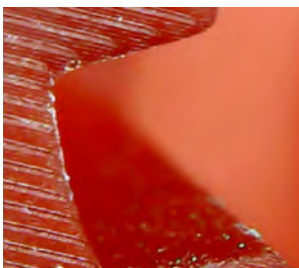


Fig.4.2.2.17. *Calitatea canalului pentru elementul interior vertical tipărit*

În (Tabelul 4.2.2.1.) este posibil să se observe variația masei pentru elementul canalului liniar orientat pentru imprimare.

În (Tabelul 4.2.2.2.) este posibilă vizualizarea variației dimensiunii principale pentru elementul canalului liniar.

Tabel 4.2.2.1. Date pentru masa parțială de canal liniar imprimat 3D

Angle in grd	Mass in gram		
	Total	Part	Suports
10	2,9	2,2	0,7
20	2,9	2,2	0,7
30	2,8	2,2	0,6

Tabel 4.2.2.2. Date dimensionale pentru masa de canale liniare tipărite 3D

Angle in grd	Heigth in mm		Angle in grd	Diam int in mm	
	Vert	Horiz		Vert	Horiz
10	14,89	15,14	10	11,48	11,45
20	15,03	15,18	20	11,50	11,56
30	15,09	15,22	30	11,54	11,60

Din datele tabulare, se poate observa că unghiul de înclinare în procesul de imprimare are influență atât la înălțime, cât și la nivelul diametrului interior. Datorită dimensiunilor mici, un experiment poate fi făcut pentru dimensiuni mari. Elementele cilindrului cu flanșă dispuse în cele trei poziții de imprimare caracteristice (Figura 4.2.2.18.).

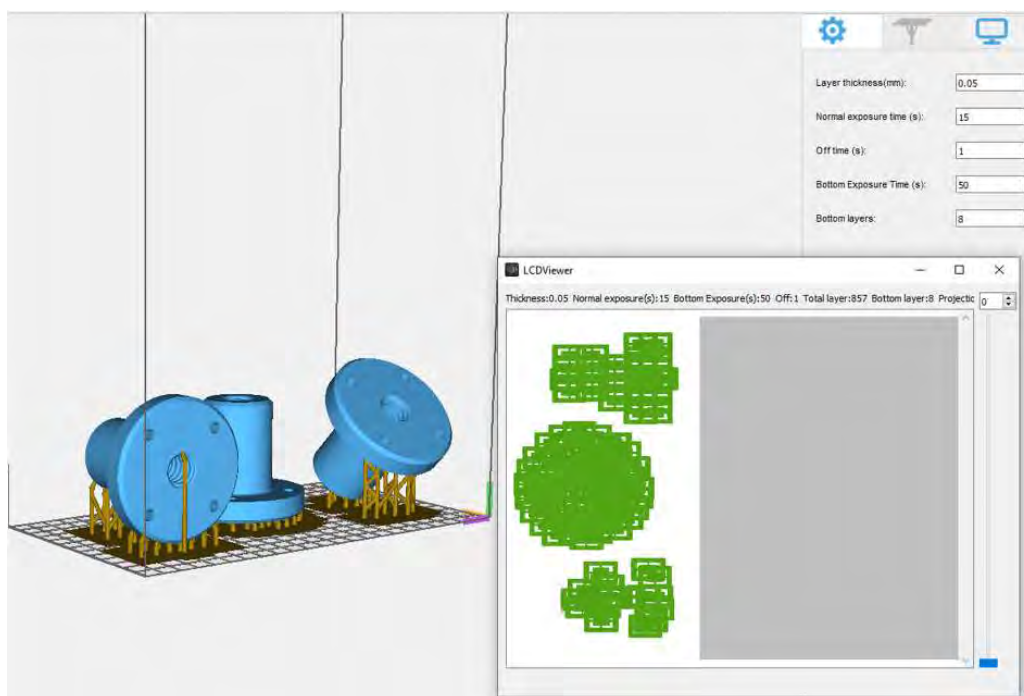


Fig.4.2.2.18. Poziția de imprimare automată cu element filetat interior

Poziția verticală (Figura 4.2.2.19.) are o masă de 20 de grame și o formă perfect circulară. Dispunerea cu partea cilindrică cu diametrul mic pe ultima porțiune a tipăririi este mai bună decât invers.

Masa după îndepărtarea suporturilor a fost de 17,3 grame. Diametrul cilindrului mare pe orizontală este 38,95 mm și vertical 38,92 mm. Cilindru orizontal cu diametru mic 20,05 mm și vertical 20,08 mm.

Masa cu suporturi pentru soluție orizontală este de 18,7 grame (*Figura 4.2.2.20.*). Masa după îndepărtarea suporturilor a fost de 16,3 grame. Diametrul cilindrului mare pe orizontală este 38,93 mm și vertical 37,79-mm. Cilindru orizontal cu diametru mic 20,29 mm și vertical 19,35 mm.



Fig.4.2.2.19. Poziția tipărită verticală pentru componenta filetată

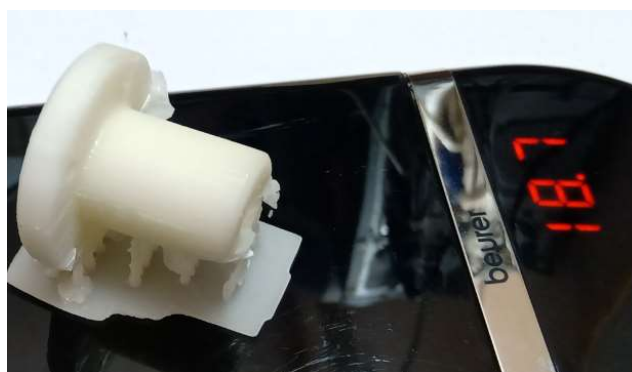


Fig.4.2.2.20. Poziția imprimată orizontală pentru componenta filetată

Masa cu suporturi pentru soluție orizontală este de 17,8 grame (*Figura 4.2.2.21.*).

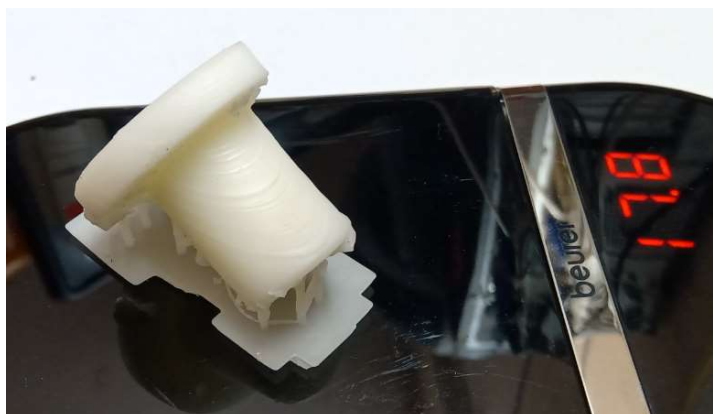


Fig.4.2.2.21. Poziția tipărită la 45 de grade pentru componenta filetată

Masa după îndepărtarea suporturilor a fost de 15,5 grame. Diametrul cilindrului mare orizontal este de 38,12 mm și vertical de 37,90-mm. Cilindru orizontal cu diametru mic 20,39 mm și vertical 19,85 mm.

Datorită ovalității observate, dar și a defectelor rezultate pentru imprimarea pieselor în celelalte două poziții, dispunerea suporturilor a fost restabilită pentru poziție. Aranjamentul pe care l-a făcut astfel încât să se aranjeze pe o suprafață mai mare (*Figura 4.2.2.22.*).

Soluția pieselor tipărite este posibilă în (*Figura 4.2.2.23.*) și a observat masa ansamblului care este de 58,40 grame.

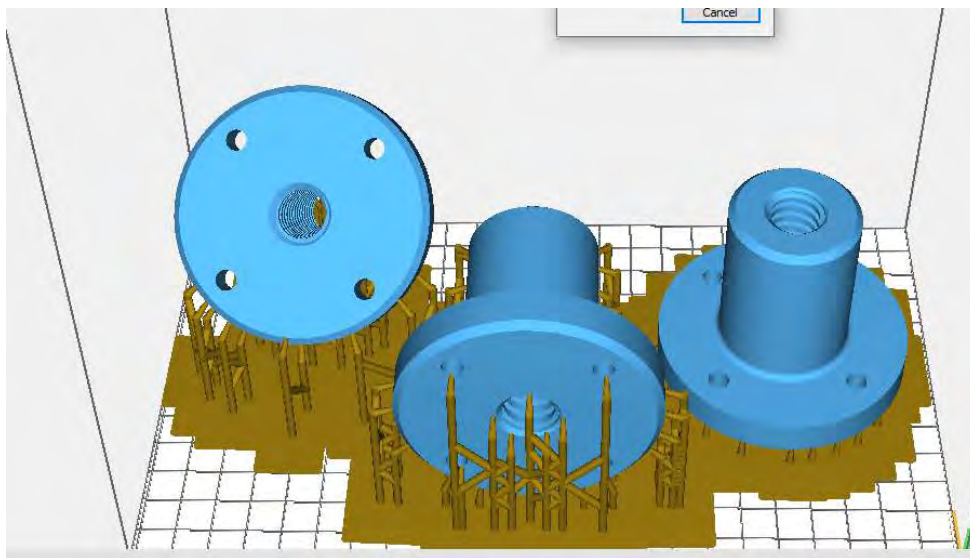


Fig.4.2.2.22. Modificarea poziției manuale de imprimare cu filetare a pieselor



Fig.4.2.2.23. Partea de modificare a elementelor filetate este imprimată

Din figură, se poate vedea că piesele au forma completă, structura completă și motivul corect pentru utilizarea acestei tehnologii pentru funcționare. Prin urmare, putem concluziona că varianta tehnologică prevăzută a recomandat să se aplice în continuare. Din punct de vedere dimensional și caracteristicile suprafeței, analiza prezentată în acest fel.

Masa cu suporturi pentru soluție orizontală este de 18,40 grame. Masa după îndepărtarea suporturilor a fost de 15,70 grame. Din analiza structurii, se poate observa că aceasta nu este o soluție

bună (*Figura 4.2.2.24.*). Diametrul cilindrului mare pe orizontală este 38,64 mm și vertical 37,82 mm. Cilindru orizontal cu diametru mic 19,90 mm și vertical 19,64 mm.

Masa cu suporturi pentru soluție orizontală este de 18,80 grame. Masa după îndepărtarea suporturilor a fost de 15,90 grame. Masa după corectarea firului cu instrumentul pentru fir este de 15,90 grame. Din analiza structurii, se poate observa că aceasta nu este o soluție bună (*Figura 4.2.2.25.*). Diametrul cilindrului mare pe orizontală este 37,84 mm și vertical 37,82 mm. Cilindru orizontal cu diametru mic 19,91 mm și vertical 19,92 mm. Este posibil să o se observe în partea dreaptă a elementului imprimat 3D prin tipărirea tip FDM. În partea stângă, elementul pentru care nu a mai fost necesară eliminarea materialului din partea filetată imprimată DLP. De asemenea, este posibil să se observe calitatea superioară a suprafeței exterioare rezultate în urma tipăririi.



Fig.4.2.2.24. Poziția imprimată orizontală pentru componenta filetată

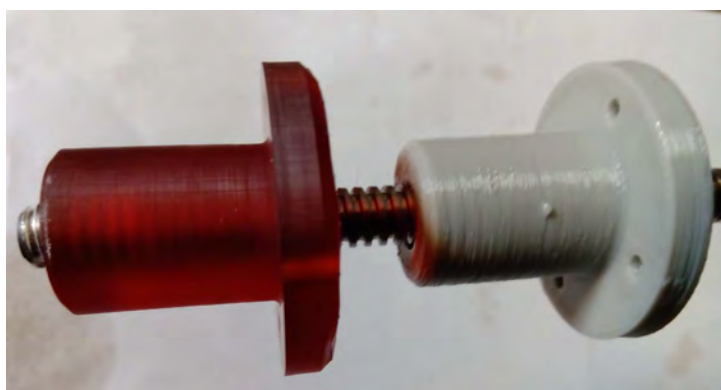


Fig.4.2.2.25. Poziția tipărită orizontală pentru componenta filetată

Masa cu suporturi pentru soluție de 45 de grade este de 21,10 grame. Masa după îndepărtarea suporturilor a fost de 15,80 grame. Din analiza structurii, se poate observa că aceasta nu este o soluție bună (*Figura 4.2.2.26.*). Diametrul cilindrului mare pe orizontală este 39,33 mm și vertical 37,20 mm. Cilindru orizontal cu diametru mic 19,88 mm și vertical 19,34 mm. Din figură, puteți vedea o ușoară abatere a planului median al elementului cilindric cu diametru mare.



Fig.4.2.2.26. Poziția tipărită la 45 de grade pentru componenta filetată

Filetul de modificare a pieselor au fost tipărite în poziția optimă pentru elementul geometric de tip trapezoid (Figura 4.2.2.27.). Masa piesei cu suporturi este de 36,9 grame și fără suporturi este de 33,40 grame.

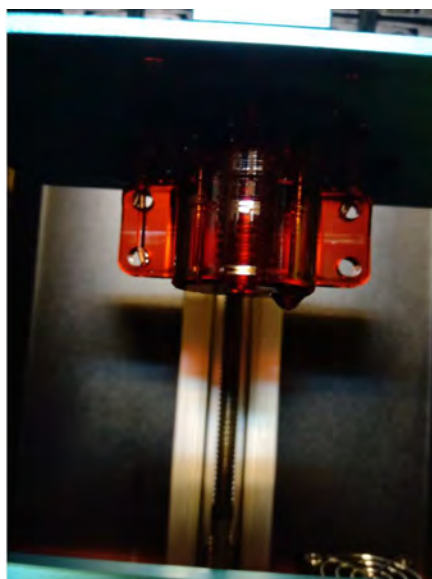


Fig.4.2.2.27. Componentă filetată cu elementul de fixare imprimat

Componenta generată / imprimată a fost inspectată optic și apoi verificată la modul de asamblare cu tijă filetată. Montarea a fost ușoară și funcționalitate bună (Figura 4.2.2.28.).



Fig.4.2.2.28. Componente tipărite pentru elementul interior filetat

Realizarea piesei cu sistemul planului spiral este un element special pentru care ambele părți au un rol funcțional. Partea dințată are rolul de a transmite rotația, iar partea spirală a mișcării de translație generată. Astfel, a fost aleasă pentru a asigura circularitatea elementului, așa cum s-a observat din primele două studii, s-a ales ca elementele de susținere să fie pe partea spirală (*Figura 4.2.2.29.*).

În același timp, este posibilă observarea masei ansamblului 10,9 grame și a părții 6,9 grame în (*Figura 4.2.2.30.*). Masa elementelor de susținere este de 4 grame.



Fig.4.2.2.29. Spirală plan tipărit 3D cu suporturi



Fig.4.2.2.30. Spirală plan tipărit 3D

Poziția orizontală de imprimare pe fața de susține probleme de planeitate și precizie. Datorită acestui lucru, imprimarea cu diferite orientări și unghiuri.

Pentru a putea evidenția ce soluții de poziționare sunt mai bune pentru o astfel de componentă, imprimați cu suporturi de dimensiuni medii în două variante diferite ale orizontalei realizate. Primul este cu partea în jos înclinată la 15 grade (*Figura 4.2.2.31.*).

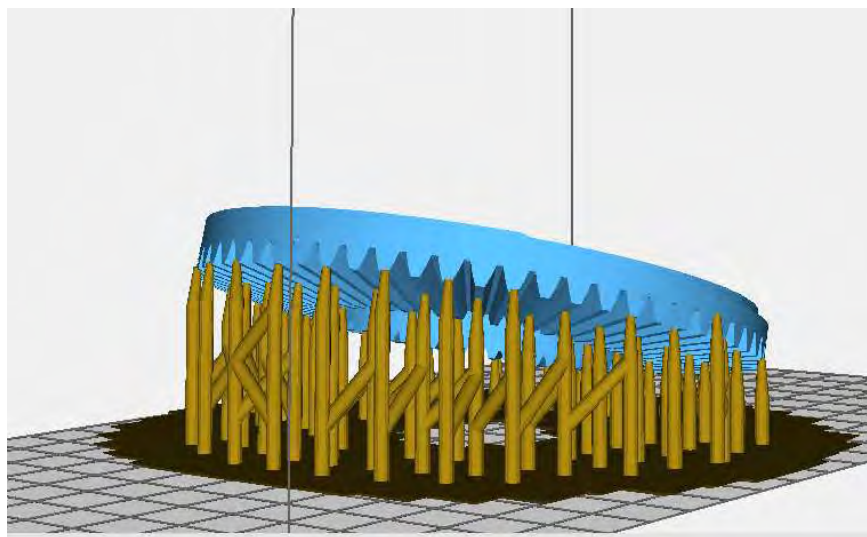


Fig.4.2.2.31. *Spirală plan tipărit 3D cu fundul angrenajului*

Din analiza calității suprafeței pe fața tipărită, este posibil să observăm că avem ovală pe suprafața laterală cilindrică (*Figura 4.2.2.32.*). Diametrul periferic al elementului imprimat are o valoare maximă de 52,02 mm și o minimă de 51,43 mm. Această ovalitate va provoca o aranjare neuniformă a decalajului dintre dinți. Mai mare este golul din partea pe care săgeata ordonată pe fotografie. Prin urmare, rezultă că unghiul înalt de înclinare va avea ca rezultat ovală mai mare, iar un unghi mic de înclinare o formă aproape circulară. Din punct de vedere al masei marcajului, există o potrivire între valorile determinate, indiferent de poziția de orientare.

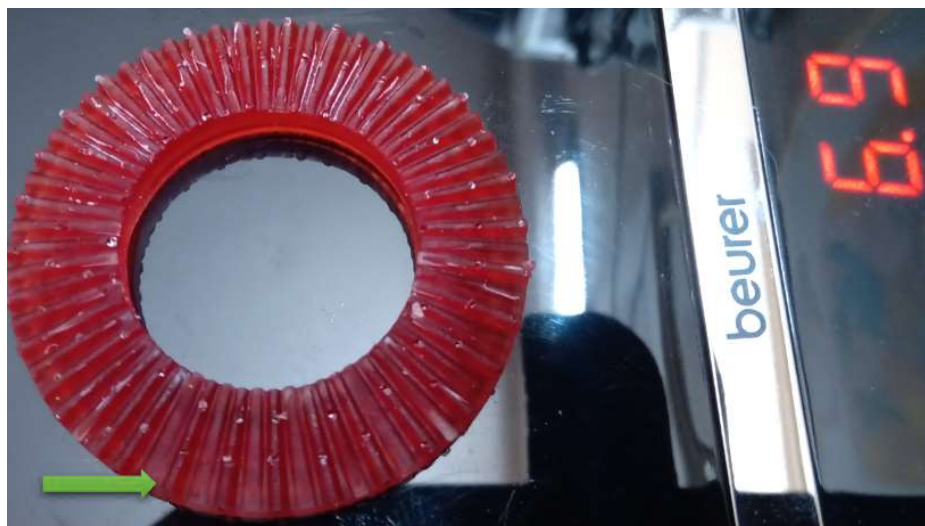


Fig.4.2.2.32. *Spirală plan tipărit 3D cu fundul angrenajului*

A doua variantă este cu latura spiralată în aceleași condiții menționate mai jos (*Figura 4.2.2.33.*).

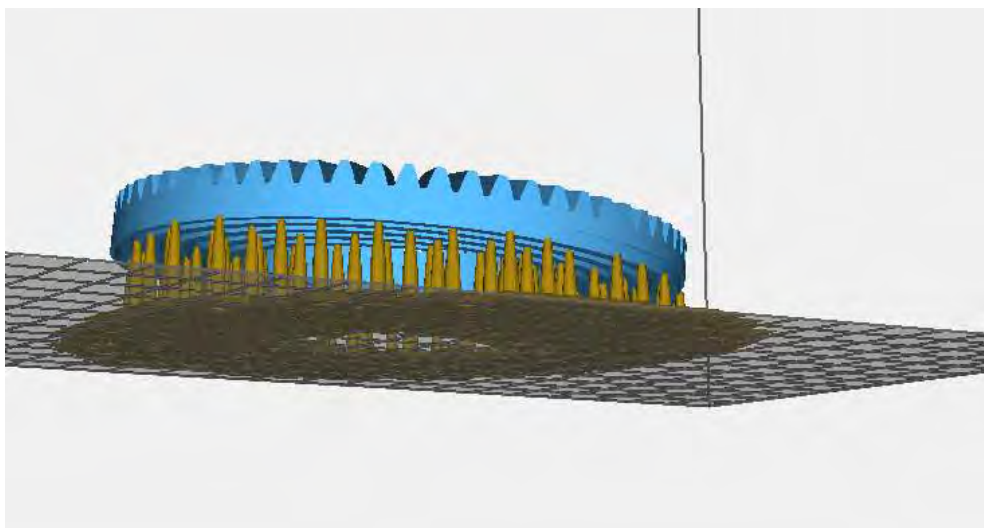


Fig.4.2.2.33. Spirală plan tipărit 3D cu fundă spiralată

În (Figura 4.2.2.34.) este posibil să se vadă că pe partea tipărită forma spirală este bună. Deformația în spirală este foarte mică în gradul de precizie admis de canal. O observație importantă este cea care ține seama de tratamentul ovalității în imprimarea 3D. Este posibil să se facă în partea generației solide.

Realizarea piesei cu sistemul spiral conic este un element special pentru a conduce materiale într-un sistem pentru mașina cu jet de apă. Astfel, a fost ales să se asigure circularitatea elementului, așa cum s-a observat din primele două studii, s-a ales ca elementele de susținere să fie pe partea de jos (Figura 4.2.2.35.).



Fig.4.2.2.34. Spirală plan tipărit 3D cu fundă spiralată



Fig.4.2.2.35. Spirală conică tipărită 3D cu suporturi

În același timp, este posibilă observarea masei ansamblului 13,1 grame și a părții 10,6 grame în (Figura 4.2.2.36.) Masa elementelor de susținere este de 2,5 grame. Pentru ca suprafața să fie, mai puțin afectată, suportă dimensiunea medie dublă folosită ca număr. Dimensiunea acestui tip de suporturi are un diametru de 1,2 mm și un diametru măsurat cu 1,51 mm (Figura 4.2.2.37.),



Fig.4.2.2.36. Spirală conică tipărită 3D

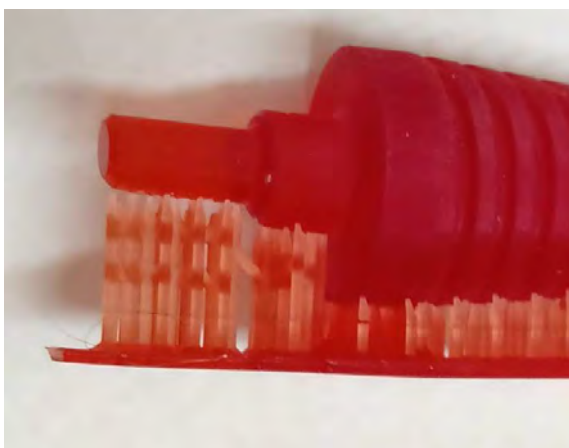


Fig.4.2.2.37. Suport pentru spirală conică tipărită 3D

Se poate observa din cei prezențați că atât dimensiunile elementelor tipărite, dar și poziția lor, au o influență mare asupra pieselor cu un element spiral imprimat. În plus, orientarea într-o anumită poziție și orientarea piesei are o influență mai mică sau mai mare asupra tipăririi elementelor.

5. Considerații asupra metodelor de formare profesională a studenților și cadrelor didactice

În cadrul contractelor de cercetare în care am fost membru mai ales la cele două contracte PRACTICOR am îndeplinit pe lângă funcția de manager financiar și pe cea de cadru didactic supraveghetor și responsabil cu instruirea și protecția muncii.

Ca și cadru didactic supraveghetor am coordonat și supravegheat activitatea de practică a studenților în cadrul unui număr de întreprinderi, societăți comerciale dar și la Institutul de Cercetare FRAUNHOFER din Germania.

Tot în această perioadă am coordonat și cursuri de formare profesională a studenților în domeniul proiectării asistate și respectiv cea a modelării CAD-CAM specifice activității ingineresti în cadrul laboratorului CAD din sala 203 a Facultății de Mecanică.

În cadrul proiectului CONCORD specific formării profesionale a Cadrelor Didactice din învățământul liceal am coordonat atât cursuri pe linia de formare CAD a proiectării asistate, dar și pe cea de protecția mediului și reciclarea materialelor.

6. Direcții de formare profesională și dezvoltare a activității de cercetare

Planul de dezvoltare al candidatului din punct de vedere științific, profesional și academic are în vedere direcțiile dezvoltate din punct de vedere tehnologic care au fost parțial investigate și care în actuala conjunctură economică capătă o tot mai mare importanță, atât din punctul de vedere al reducerii costurilor de fabricație, dar și din punctul de vedere al dezvoltării de noi materiale și tehnologii, care pot să asigure o independență tehnologică și economică de alte industrii din spațiul non UE sau extra comunitare.

6.1. Planul științific de dezvoltare

În acest moment din punctul de vedere al dotării cu utilaje de imprimare 3D dar și cu utilaje specifice domeniului CNC de prelucrare la nivel de laborator se poate afirma că s-a atins un nivel la care se pot dezvolta atât activități de determinare a proprietăților materialelor obținute prin procedee tehnologice specifice necesare procesului termoplastic de prelucrare, dar și de injecție. De asemenea se vor putea dezvolta noi soluții constructive de instalații de imprimare 3D, dar și realizarea de componente pentru activitățile specifice de realizare de standuri de laborator și nu numai.

Investigarea emisiilor generate în proces de diferite materiale utilizate în procesul industrial și de laborator.

Utilizând tehnologia de măsurare dezvoltată pentru măsurarea emisiilor de gaze și respectiv de particule, se vor putea identifica emisiile generate de noile tipuri de materiale concepute în activitatea de laborator, dar și se pot determina emisiile pentru materialele industriale care sunt comercializate la momentul studiului cu adoptarea standardelor UE pentru emisii și nu cele ale USA sau China care sunt mai răspândite la acest moment în aparatele de măsură din comerț. Trebuie arătat că autorul tezei are în vedere extinderea sistemului de aparate de măsură prin realizarea unui sistem de control al temperaturii și umidității în timpul procesului de imprimare, dar și de măsurare a emisiilor pe tipuri de emisii care parțial a fost realizat și comunicat spre publicare în anul 2020.

Dezvoltarea de noi materiale cu proprietăți specifice domeniului aparatelor de laborator sau industrial.

Această latură este una de dezvoltare a activității, fiind impusă de necesitatea de realizare a independenței activității de laborator de tipurile de material ale diferiților producători, care pot să respecte standardele de SSM mai mult sau mai puțin, dar și la care proprietățile mecanice specifice nu sunt în concordanță de multe ori cu valorile din literatura de specialitate. Acest lucru poate să fie datorat pe de o parte procesului tehnologic de realizare a materialului sau mediului utilizat pentru imprimare, dar și condițiilor tehnologice de imprimare 3D a solidului avut în vedere. În același timp noile materiale realizate se pot adapta condițiilor specifice din domeniul în care acestea sunt utilizate.

Dezvoltarea de noi tipuri constructive sau tehnologi de imprimante 3D.

O direcție avută în vedere este cea de dezvoltare de noi tipuri de imprimante sau tehnologii de imprimare 3D care să permită atât realizarea de repere cu materialele de tip nou concepute. De asemenea se are în vedere determinarea de parametri optimi pentru realizarea reperelor.

6.2. Planul profesional de dezvoltare

Ca și membru al asociației profesionale ARTA și respectiv de participant la conferințele naționale sau internaționale, precum și materiale publicate în revistele naționale și internaționale se are în vedere extinderea cercetărilor și adoptarea de noi tehnologii specifice proceselor industriale de prelucrare de tip prelucrare cu fascicul laser sau jet de apă cu abraziv în suspensie. Această activitate de cercetare se înscrie pe direcția de integrare a rezultatelor cercetării, atât din punct de vedere al transferului de informații și cunoștințe către mediul de cercetare și respectiv academic, dar și către mediul universitar prin extinderea lucrărilor de laborator realizate cu studenții de la disciplinele de licență dar și masterat, ori din activitatea de doctorat. Trebuie arătat că deja o parte din tehnologia de imprimare 3D a fost implementată deja în activitatea didactică atât pe partea de curs, dar și pe partea de activitate de laborator.

Activitatea de cercetare din domeniul generării reperelor 3D va fi extinsă prin implementarea părților specifice imprimării cu fascicul laser prin SLA și SLS ca și tehnologie. Activitatea pe aceste

direcții, implicit și pe cea FDM și DLP se va orienta pe direcția tehnologică de realizarea de componente și subansambluri dar și testarea acestora și măsurarea emisiilor sau caracteristicilor dimensionale și de comportament mecanic sau electric. Se are în vedere atât activitatea de publicare de lucrări ISI, dar și cele din domeniul BDI.

6.3. Planul academic de dezvoltare

Așa cum se va putea observa în decursul timpului candidatul a integrat activitatea de cercetare și profesională cu cea academică. Astfel în perioada cât a existat secția de Tehnologii Neconvenționale prin diferitele structuri ale acesteia, cea de 5 ani și ulterior 4 ani, a fost integrată în pregătirea profesională a studenților tehnologia de prelucrare cu fluide și medii activate energetic, parte din teza de doctorat a candidatului. Împreună cu Prof.dr.ing. Aurel Nanu am participat la îndrumarea activității de doctorat a ing. Stoicoiu Florian în perioada cât acesta a fost implicat în activitatea de doctorat. De asemenea ulterior împreună cu Prof.dr.ing. Traian Fleșer a îndrumat activitatea de doctorat a ing. Petrovici Branco în perioada în care aceasta nu implica un astfel de aspect a unui doctorand pe domeniul prelucrării materialelor cu medii abrazive. Activitate soldată cu lucrări științifice publicate la mai multe sesiuni de comunicări și respectiv conferințe naționale și internaționale. Ulterior ca urmare a participării și implicării candidatului acesta a coordonat direct activitatea de formare a studenților pe partea de activitate de practică industrială, activitate materializată printr-un îndrumător de practică și finalizarea cu succes atât pe partea de coordonare ca și Cadru Didactic Supraveghetor, dar și ca Manager Financiar a mai multor proiecte. În paralel în această perioadă de timp candidatul a făcut parte din mai multe comisii de îndrumare și coordonare a activității de doctorat, materializate cu susținerea Tezelor de Doctorat conform adresei de confirmare eliberată de Universitatea Politehnica Timișoara, Departamentul Școală Doctorală. A fost de asemenea membru al unei comisii de acordare a titlului de Doctor în Științe Inginerești în anul 2015, confirmat prin decizia de numire atașată tezei prezente. În prezent a integrat în activitatea didactică curentă de curs și respectiv laborator tehnologia de prelucrare a materialelor prin imprimare 3D atât la specializările din domeniul Ingineriei Manageriale, dar și cea a Ingineriei Mecanice.

Sinteză bibliografică utilizată sau consultată pentru formarea profesională

- [1.]. Traian FLEȘER, Camelia SZUHANKEK, Mircea Dorin VASILESCU, Branco PETROVICI - Degradation phenomena of energy transfer tube cutting with abrasive water jet, International Conference Advances în Engineering And Management - ADEM 2010, ISSN, 2010, , 4pag.,
- [2.]. Mircea Dorin VASILESCU, Radu VASIU, Francisc GNANDTH - Electromagnetic Activated Method for Abrasive Particles Inside the Process Jet, Proceedings of the International Conference on Hydraulic Machinery and Equipments HME 2008 / Scientific Bulletin of ""Politehnica"" University of Timisoara, ISSN / 1224 - 6077, 2008, 453-456, 4pag.,
- [3.]. Fleser T., Mircea Dorin Vasilescu, Petrovici B. - On interaction water jet abrasive with metallic materials, RADMI 2009,9 International Conference, 16-19 sept, Vrnjačka Banja, Serbia, ISSN978-86-6075-008-4 / 1821-3103, Vol.1 / 2009, 200-205, 6pag.
- [4.]. Mircea Dorin Vasilescu, Marioara Vasilescu, Traian Fleser - Economical considerations on abrasive water jet cutting for food industry parts, Proceedings of the 6-th International Conference Integrated Systems for Agri-food Product SIPA – 09, Nyiregyhaza, ISSN978-963-9909-40-3, 2009, 445-448,
- [5.]. Mircea Dorin Vasilescu - Technological and constructive considerations on the realization of components and parts using 3D printing FDM-type technology, ISSN , 2018, 55-62 pag, Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics, "HIDRAULICA" , ISSN1453 – 7303, 2018, 4, 55-62pag.,
- [6.]. How green is 3D printing? --- for details, please see: <http://www.ecosmagazine.com/print/EC13276.htm>, accessed 09.2018
- [7.]. 3D Printed Material Strength --- for details, please see: www.lifewire.com/3d-printed-material-strength-2230, accessed 09.2018
- [8.]. Mircea Dorin Vasilescu, Tiberiu Aurel Vasilescu, Ioan Vasile Groza – “Economical Considerations over 3D Printing Components for Abrasive Water Jet Machinery”, Advanced Materials Research, ISSN: 1662-8985, Vol. 1146, pp 84-91, 2018 Trans Tech Publications, Switzerland
- [9.]. Polylactic Acid (PLA, Polylactide) --- for details, please see: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide>, accessed 09.2018
- [10.]. Mircea Dorin Vasilescu, Tiberiu Aurel Vasilescu, Ioan Vasile Groza - Economical Considerations over 3D Printing Components for Abrasive Water Jet Machinery, Advanced Materials Research, ISSN1662-8985, 2018, 1146, 84-91pag.;
- [11.]. Todd Letcher, Megan Waytashek, - Material Property Testing of 3D-Printed Specimen în PLA on an Entry-Level 3D Printer, Proceedings of the ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE2014 November 14-20, 2014, Montreal, Quebec, Canada;
- [12.]. Grzegorz Ćwikła, Cezary Grabowik, Krzysztof Kalinowski, Piotr Ociepka - The influence of printing parameters on selected mechanical properties of FDM/FFF 3D-printed parts, 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 227 012033;
- [13.]. W. J. Sames, F. A. List, S. Pannala, R. R. Dehoff, S. S. Babu: The metallurgy and processing

- science of metal additive manufacturing', în International Materials Reviews, pag.1-46, 2016
- [14.]. *** - FDM Technology 3D print durable parts with real thermoplastic, <http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/fdm-technology>, accesat 09/2017;
- [15.]. *** - SLM (Selective Laser Melting) 3D Printing Metal, <https://www.sculpteo.com/en/glossary/selective-laser-melting-definition/>, accesat 09/2017;
- [16.]. *** - Stereolithography, <http://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printingtechnology/stereolithography>, accesat 09/2017;
- [17.]. Goldy Katal, Nelofar Tyagi, Ashish Joshi, Digital Light Processing and its Future Applications, International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 3, Issue 4, April 2013, pag.1997 – 2004
- [18.]. *** - Laser Sintering, <http://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printingtechnology/laser-sintering>, accesat 09/2017
- [19.]. M. Feygin, B. Hsieh - LAMINAIED OBJECT MANUFACTURING (LOM): A SIMPLER PROCESS <https://sffsymposium.engr.utexas.edu/Manuscripts/1991/1991-16-Feygin.pdf>, accesat 09/2017
- [20.]. Kaufui V. Wong and Aldo Hernandez - A Review of Additive Manufacturing, International Scholarly Research Network ISRN Mechanical Engineering, Volume 2012, Article ID 208760, 10 pages
- [21.]. Comparison of typical 3D printing materials <http://2015.igem.org/wiki/images/2/24/CamJICSspecs-Strength.pdf>, accesat 09/2017;
- [22.]. *** <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide>, access 09/2017;
- [23.]. Wei Ling Tham, and other - Characterization of Water Absorption of Biodegradable Polylactic Acid/Halloysite Nanotube Nanocomposites at Different Temperatures, [http://web.usm.my/jes/12_2016/JES%20Vol.%2012%202016%20-%20Art.%20\(13-25\).pdf](http://web.usm.my/jes/12_2016/JES%20Vol.%2012%202016%20-%20Art.%20(13-25).pdf), accesat 09/2017;
- [24.]. Comparison of typical 3D printing materials <http://2015.igem.org/wiki/images/2/24/CamJICSspecs-Strength.pdf>, accesat 09/2017;
- [25.]. *** <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Acrylonitrile-Butadiene-Styrene-ABS>, access 09/2017;
- [26.]. *** https://www.m-ep.co.jp/en/pdf/product/iupi_nova/physicality_06.pdf, accesat 09/2017;
- [27.]. *** <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Glycol-Modified-Polyethylene-Terephthalate-PETG-PET-G>, accesat 09/2017;
- [28.]. Marcus Morrisette - What is the 3D Printing vs Injection Molding Cost-per-Unit Breakeven?, <https://www.xometry.com/blog/3d-printing-vs-injection-molding-breakeven>, accesat 09/2017;
- [29.]. *** [http://www.zero-tek.com/en/pdf/PA-RP13S%20MATERIAL%20\(SLS\).pdf](http://www.zero-tek.com/en/pdf/PA-RP13S%20MATERIAL%20(SLS).pdf), accesat 09/2017;
- [30.]. Jason King - The True Cost of Running a Desktop 3D Printer, <http://3dprintheq.com/costrunning-desktop-3d-printer/>, accesat 09/2017;
- [31.]. Marcus Morrisette - Comparing 3D Printing Processes, <https://www.xometry.com/blog/3dprinting-processes>, accesat 09/2017

- [32.]. *** - Turning filament into industrial-strength parts, <http://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/fused-deposition-modeling>, accesat 09/2017
- [33.]. *** - Selective laser melting machine SLM 125, <https://slm-solutions.com/products/machines/selective-laser-melting-machine-slm-125>, accesat 09/2017
- [34.]. *** - Stereolithography, <http://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/stereolithography>, accesat 09/2017
- [35.]. *** https://www.3dhubs.com/knowledge-base/industrial-fdm-vs-desktop-fdm#production_capabilities_and_cost, accesat 09/2017
- [36.]. *** - What is Selective Laser Sintering? An Introductory Guide to SLS 3D Printing, <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/>, accesat 09/2017
- [37.]. *** - <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/students-teachers-educators>, (2019).
- [38.]. *** - <https://www.3dprintersbay.com/anycubic-photon>, (2019).
- [39.]. *** - <https://www.ebay.com/itm/ANYCUBIC-Green-Color-405nm-UV-Sensitive-Resin-for-SLA-Photon-3D-Printer-500g-US-/263735509963>, (2019).
- [40.]. *** - [https://www.dropbox.com/sh/pp03f1qvan6fd17/AABI3KAcyiUEUUS\\$Sjy9PDlba/Autodesk_PrintStudio_v1.6.5_Win64.exe?dl=0](https://www.dropbox.com/sh/pp03f1qvan6fd17/AABI3KAcyiUEUUS$Sjy9PDlba/Autodesk_PrintStudio_v1.6.5_Win64.exe?dl=0), (2019).
- [41.]. *** - <https://www.3dbeginners.com/ember-3d-printer-review/>, (2019).
- [42.]. *** - <https://products.office.com/ro-ro/excel>, (2019).
- [43.]. Mircea Dorin Vasilescu, Ioan Vasile Groza - Influence of technological parameters on the roughness and dimension of flat parts generated by FDM 3D printing, Nonconvențional Technologies Review, 2017, 2359-8646, vol.3, 18-23 pag, (2019).
- [44.]. Mircea Dorin Vasilescu, Ioana Ionel - 3D printer FABLAB for students at POLITEHNICA University Timisoara, Advanced Learning Technologies (ICALT), 2017 IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), IEEE Xplore, SCOPUS , 2161-377X, 978-1-5386-3870-5, 512-513 pag, (2019).
- [45.]. Mircea Dorin Vasilescu, Ioan Vasile Groza - Influence of technological parameters on the roughness and dimension of flat parts generated by FDM 3D printing, Nonconvențional Technologies Review, ISSN2359-8646, 2017, 3, 18-23pag.,
- [46.]. Aurelian Zapciu, Catalin Gheorghe Amza, Diana Popescu - 3D printer extruder design for printing with deformable materials, Nonconventional Technologies Review, Romania, March, (2017)
- [47.]. Iulian Stănășel, Traian Buidos, Dan Crăciun - Rapid prototyping technology and 3D scanning verification. case study, Nonconventional Technologies Review, Romania, March, (2017)
- [48.]. *** - <https://ultimaker.com/en/products/ultimakercura-software>, accesat (2017)
- [49.]. *** - <http://slic3r.org/>, accesat (2017)
- [50.]. *** - <https://www.repetier.com/download-now/>, accesat (2017)
- [51.]. *** - <http://www.desiquintans.com/flowrate>, accesat (2017).

- [52.]. *** - <http://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/fused-deposition-modeling>, accesat (2017).
- [53.]. Cheng-Jung Yang, Yu-Hsun Lai - Life cycle assessment în fused deposition modelling (FDM) 3D printer EcoDesign Online Submission System, Going Green EcoDesign (2017).
- [54.]. *** - How green is 3D printing?, <http://www.ecomagazine.com/print/EC13276.htm>, accesat (2017)
- [55.]. Michael P. Chae, Warren M. Rozen, Paul G. McMenamin, Michael W. Findlay, Robert T. Spychal and David J. Hunter-Smith, Emerging applications of bedside 3D printing în plastic surgery, accesat (2017).
- [56.]. *** - <http://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/fused-deposition-modeling>, accesat (2017).
- [57.]. *** - <https://www.makeitfrom.com/compare/Acrylonitrile-Butadiene-Styrene-ABS/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide#Remarks>, accesat (2017).
- [58.]. Mircea Dorin Vasilescu, Ioan Vasile Groza - INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE ROUGHNESS AND DIMENSION OF FLAT PARTS GENERATED BY FDM 3D PRINTING, Nonconventional Technologies Review, Romania, October, (2017)
- [59.]. *** - <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>, accesat (2017)
- [60.]. *** - <http://slic3r.org/>, accesat (2017)
- [61.]. *** - <https://www.repetier.com/download-now/>, accesat (2017)
- [62.]. *** - <https://www.makeitfrom.com/compare/Acrylonitrile-Butadiene-Styrene-ABS/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide#Remarks>, accesat (2017).
- [63.]. <http://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/fused-deposition-modeling>, accesat (2019)
- [64.]. Gheorghe-Andrei Pleșa, Lucian Virjan - Theoretical and dimensional considerations on the realization of a laser-beam engraving device from recyclable materials operated by belt transmission, Nonconventional Technologies Review, 2018, 2359-8646, vol.2, 14-19 pag, accesat (2019)
- [65.]. Izvorean Ștefan, Nechita Aurel, Roteliuc Claudiu, Nica Cristian, Cioablă Adrian Eugen, Virgil Stoica - Possible achievements in component manufacturing and their applications in motor vehicles for experimental stands by FDM 3D printing, Nonconventional Technologies Review, 2018, 2359-8646, vol.2, 8-13 pag, accesat (2019)
- [66.]. <https://www.raise3d.com/pages/download>, accesat (2019)
- [67.]. Mircea Dorin Vasilescu, Ioan Vasile Groza - INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE ROUGHNESS AND DIMENSION OF FLAT PARTS GENERATED BY FDM 3D PRINTING, Nonconventional Technologies Review, 2017, 2359-8646, vol.3, 18-23 pag
- [68.]. Mircea Dorin Vasilescu - Technical considerations on the 3D printing components with DLP 3D printing process with ecological resin, SEA-CONF 2019 Constanta, Scientific Bulletin of Naval Academy, 2020, XXIII 2020, 34-40pag.,
- [69.]. Mircea Dorin Vasilescu and Ioana Ionel - 3D printer FABLAB for students at POLITEHNICA University Timisoara, Advanced Learning Technologies (ICALT), 2017 IEEE 17th International

Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), IEEE Xplore, 2161-377X, 978-1-5386-3870-5, 512-513 pag

[70.]. Mircea Dorin Vasilescu - Influence of technological parameters on the structure and deformation of flat or round parts generated by dlp 3d printing, CITN 2019, Nonconventional Technologies Review, ISSN2392-8956, 2019, 23/4, 56-61pag.,

[71.]. Mircea Dorin Vasilescu, Tiberiu Aurel Vasilescu, Ioan Vasile Groza - Economical Considerations over 3D Printing Components for Abrasive Water Jet Machinery, Advanced Materials Research, , ISSN1662-8985, 2018, 1146, 84-91pag

[71.]. Mircea Dorin Vasilescu - Economic and technological considerations on the 3d printing components in university laboratories made from students, SEA-CONF 2019 Constanta, Scientific Bulletin of Naval Academy, ISSN, 2019, XXII 2019, 261-268pag

[72.]. Mircea Dorin Vasilescu - Economic and technological considerations on the 3d printing components with sla printing process, SEA-CONF 2019 Constanta, Scientific Bulletin of Naval Academy, DOI:10.21279/1454-864X-19-11-042, ISSN, 2019, XXIII 2020, pag. 8-14

[73.]. YelinDenga, Shi-JieCaob, AiluChenc, YansongGuod., - The impact of manufacturing parameters on submicron particle emissions from a desktop 3D printer în the perspective of emission reduction, Building and Environment, Volume 104, 1 August 2016, pp 311-319, (2019)

[74.]. Brent Stephensa, Parham Azimia, Zeineb El Orchab, Tiffanie Ramosa, - Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers, Atmospheric Environment, Volume 79, November 2013, pp. 334-339, (2019)

[75.]. Patrick Steinle, - Characterization of emissions from a desktop 3D printer and indoor air measurements în office settings, Journal of Occupational and Environmental Hygiene, Volume 13, 2016 - Issue 2, pp. 121-132, (2019)

[76.]. Byrley P, George BJ, Boyes WK, Rogers K. - Particle emissions from fused deposition modeling 3D printers: Evaluation and meta-analysis, Sci Total Environ, pp. 395-407, DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.11.070, Epub 2018 Nov 12 (2019).

[77.]. *** - <http://diy3dtech.com/3d-printing-and-air-quality-risks/>, (2019)

[78.]. Pascu, N. E., Arion, A.F., Dorescu, T., Carutasu N. L., Fused deposition modeling design rules for plastics, Materiale Plastice, 52, No..2, pp. 141-143, 2015,

[79.]. *** - <https://www.ebay.com/p/8in1-Air-Quality-Monitor-Pm10-Pm2-5-Formaldehyde-HCHO-TVOC-LCD-Digital-Detector/18030108267>, (2019).

[80.]. *** - http://diy3dtech.com/wp-content/uploads/2018/05/AirQ_01.png, (2019).

[81.]. Aika Y.Davisa, QianZhanga, Jenny P.S.Wongb, Rodney J.Weberb, Marilyn S.Blacka - Characterization of volatile organic compound emissions from consumer level material extrusion 3D printers, Building and Environment, Volume 160, August 2019, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132319304196>, (2019).

[82.]. *** - [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health), (2019).

- [83.]. PRODAN, D., BUCURESTEANU, A., MOTOMANCEA, A., Construction of plastic parts on CNC engraving machines and 3D printers, *Materiale Plastice*, 53. No.1, pp. 75-78, 2018
- [84.]. VASILESCU, M. D., IONEL, I., 3D printer FABLAB for students at Politehnica University Timisoara, 2017 IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), pp. 512-513, 2017
- [85.]. *** - <http://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/fused-deposition-modeling>, accesat (2018)
- [86.]. Pascu, N. E., Arion, A.F., Dorescu, T., Carutasu N. L., Fused deposition modeling design rules for plastics, *Materiale Plastice*, 52, No..2, pp. 141-143, 2015,
- [87.]. *** How green is 3D printing? <http://www.ecomagazine.com/print/EC13276.htm>, accesat (2018)
- [88.]. YANG, C-Y., LAI, Y-S., Life cycle assessment în fused deposition modelling (FDM) 3D printer EcoDesign Online Submission System, *Going Green EcoDesign*, 2018
- [89.]. VASILESCU, M. D., GROZA, I.V., Influence of technological parameters on the roughness and dimension of flat parts generated by FDM 3D printing, *Nonconventional Technologies Review*, 2359-8646, vol.3, pp.18-23, 2017
- [90.]. VASILESCU, M.D., Theoretical consideration on the abrasive water-mixing chamber made by the PLA material with 3D printing process by FDM type, *Nonconventional Technologies Review*, 2359-8646, vol.1, pp.36-41, 2018
- [91.]. MARIA RAPA, M., DARIE NITA, R. N., VASILE, C., Influence of plasticizers over some physico-chemical properties of PLA, *Materiale Plastice*, 54, No..1, pp.73-78
- [92.]. POPESCU, A., ENCIU, G., DOBRESCU, T., PASCU, N. E., Experimental research using the 3D printing technology with plastic materials for prehension systems JAWS, *Materiale Plastice*, 55, No.1, pp. 20-23, 2018,
- [93.]. *** - <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide>, accesat 2018.
- [94.]. *** - <https://plastics.ulprospector.com/generics/34/c/t/polylactic-acid-pla-properties-processing>, accesat 2018
- [95.]. *** - https://www.sd3d.com/wp-content/uploads/2017/06/MaterialTDS-PETG_01.pdf, accesat 2018
- [96.]. *** - <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Glycol-Modified-Polyethylene-Terephthalate-PETG-PET-G>, accesat (2018).
- [97.]. *** - <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Acrylonitrile-Butadiene-Styrene-ABS>, accesat 2018
- [98.]. *** - http://www.teststandard.com/data_sheets/ABS_Data_sheet.pdf, accesat 2018
- [99.]. *** - http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=fad29be6e64d4e95a241690f1f6e1eb7, accesat 2018
- [100.]. *** - <https://www.makeitfrom.com/compare/6061-ALMg1SiCu-3.3214-H20-A96061-Aluminum/A380.0-A380.0-F-SC84C-A13800-Cast-Aluminum>, accesat 2018
- [101.]. *** - <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Grey-Cast-Iron>, accesat 2018
- [102.]. *** - INVENTOR 2017, accesat (2017).

- [103.]. *** - <https://all3dp.com/what-is-stl-file-format-extension-3d-printing/>, accesat 2018
- [104.]. *** - <https://www.autodesk.eu/products/netfabb/overview>, accesat 2018
- [105.]. *** - <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>, accesat (2017)
- [106.]. Dan Prodan, Anca Bucuresteanu, Adrian Motomancea - Construction of plastic parts on cnc engraving machines and 3D printers, *Materiale Plastice*, nr.1/2018, pag. 75-78, (2019)
- [107.]. Mircea Dorin Vasilescu, Ioana Ionel - 3D printer FABLAB for students at POLITEHNICA University Timisoara, *Advanced Learning Technologies (ICALT)*, 2017 IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), IEEE Xplore, SCOPUS , 2161-377X, 978-1-5386-3870-5, 512-513 pag, DOI 10.1109/ICALT.2017.106, Conference Proceeding (2019)
- [108.]. Maria Rapa, Raluca Nicoleta Darie Nita, Cornelia Vasile - Influence of plasticizers over some physico-chemical properties of PLA, *Revista de Mase Plastice*, 54, nr.1/2017, 73-78 pag, (2019)
- [109.]. Nicoleta Elisabeta Pascu, Aurel Florin Arion, Tiberiu Dorescu, Nicoleta Luminita Carutasu - Fused deposition modeling design rules for plastics, *Materiale Plastice*, 52, nr.2/2015, 141-143 pag, (2019)
- [110.]. Adrian Popescu, George Enciu, Tiberiu Dobrescu, Nicoleta Elisaeta Pascu - EXPERIMENTAL RESEARCH USING THE 3D PRINTING TECHNOLOGY WITH PLASTIC MATERIALS FOR PREHENSION SYSTEMS JAWS, *Materiale Plastice*, 55, nr.1/2018, 20-23 pag, (2019)
- [111.]. Mircea Dorin Vasilescu, Traian Fleser - Influence of technological parameters on the dimension of gear parts generated with pla matherial by FDM 3D printing, *Materiale Plastice*, ISSN 0025 / 5289, 2/2018, 55, 247 – 251 pag, (2019)
- [112.]. *** – <https://all3dp.com/1/anycubic-photon-3d-printer-review/>, (2019)
- [113.]. *** - <https://wiki.bryscus.com/display/3DP/Anycubic+Photon+Settings>, (2019)
- [114.]. *** - https://docs.google.com/spreadsheets/d/1crvzMnt_8NJXAsABinoIhcOjE8l3h7s0L82Zlh1vkL8/edit#gid=0, (2019)
- [115.]. PRODAN, D., BUCURESTEANU, A., MOTOMANCEA, A., Construction of plastic parts on CNC engraving machines and 3D printers, *Materiale Plastice*, 53. No.1, pp. 75-78, 2018
- [116.]. VASILESCU, M. D., IONEL, I., 3D printer FABLAB for students at Politehnica University Timisoara, 2017 IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), pp. 512-513, 2017
- [117.]. *** - FUSION 360, accesat (2018)
- [118.]. *** - INVENTOR 2017, accesat (2018)
- [119.]. *** - <http://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/fused-deposition-modeling>, accesat (2018)
- [120.]. Pascu, N. E., Arion, A.F., Dorescu, T., Carutasu N. L., Fused deposition modeling design rules for plastics, *Materiale Plastice*, 52, No..2, pp. 141-143, 2015,
- [121.]. MARIA RAPA, M., DARIE NITA, R. N., VASILE, C., Influence of plasticizers over some physico-chemical properties of PLA, *Materiale Plastice*, 54, No..1, pp.73-78

- [122.]. POPESCU, A., ENCIU, G., DOBRESCU, T., PASCU, N. E., Experimental research using the 3D printing technology with plastic materials for prehension systems JAWS, *Materiale Plastice*, 55, No.1, pp. 20-23, 2018,
- [123.]. *** - Print Studio, accesat (2018)
- [124.]. *** - Repetier Host, accesat (2018)
- [125.]. VASILESCU M.D., FLESER T. - Influence of technological parameters on the dimension of threaded parts generated with pla matherial by FDM 3D printing, *Materiale Plastice*, ISSN 0025 / 5289, 4/2018, 55, 718 – 722 pag, WOS: 000454987400056
- [126.]. PRODAN, D., BUCURESTEANU, A., MOTOMANCEA, A., Construction of plastic parts on CNC engraving machines and 3D printers, *Materiale Plastice*, 53. No.1, pp. 75-78, 2018
- [127.]. VASILESCU, M. D., IONEL, I., 3D printer FABLAB for students at Polytechnic University Timisoara, 2017 IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), pp. 512-513, 2017
- [128.]. PASCU, N. E., ARION, A.F., DORESCU, T., CARUTASU N. L., Fused deposition modeling design rules for plastics, *Materiale Plastice*, 52, No..2, pp. 141-143, 2015,
- [129.]. *** - FUSION 360, accesat (2019).
- [130.]. POPESCU, A., ENCIU, G., DOBRESCU, T., PASCU, N. E., Experimental research using the 3D printing technology with plastic materials for prehension systems JAWS, *Materiale Plastice*, 55, No.1, pp. 20-23, 2018,
- [131.]. RAPA M., DARIE NITA R. N., VASILE, C., Influence of plasticizers over some physico-chemical properties of PLA, *Materiale Plastice*, 54, No..1, 2017, pp.73-78
- [132.]. *** - <https://www.3dprintersbay.com/anycubic-photon>, accesat (2019).
- [133.]. *** - Print Studio, accesat (2019)