

# FABRICAREA DIRECTĂ A ANSAMBLURILOR PRIN IMPRIMARE 3D

FRĂȚILĂ Georgian-Mihăiță

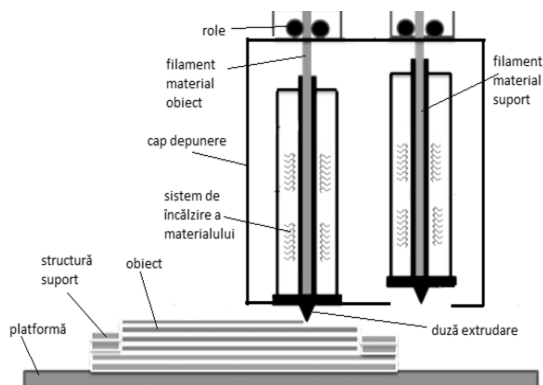
Conducător științific: Conf.dr.ing. **Diana POPESCU**

**REZUMAT:** Unul dintre cele mai importante avantaje oferite de printarea 3D îl reprezintă capacitatea acestei tehnologii de a construi direct (fără asamblare) ansambluri cu componente în mișcare. În acest sens, studiul prezentat în această lucrare face referire la printarea 3D prin depunere de filamente de material (procedeu FDM – Fused Deposition Modeling) a unui ansamblu de tip arbore cotit – piston pentru un motor V6. În scopul realizării funcționalității ansamblului au fost determinate experimental valorile jocurilor dintre componente și s-a analizat orientarea de construire. S-a avut în vedere obținerea unui joc cât mai mic între piesele ansamblului, concomitent cu un timp și un cost de printare 3D cât mai reduse. Rezultatul studiului a scos în evidență și necesitatea printării 3D cu umplere completă a straturilor de material pentru a evita ruperea ansamblului în timpul funcționării.

**CUVINTE CHEIE:** arbore cotit, printare 3D, ansamblu, depunere de filamente de material

## 1 INTRODUCERE

FDM (Fused Deposition Modeling) este un procedeu bazat pe extrudarea materialului (sub formă de filamente, peleți) printr-o duză care depune rânduri de material pentru umplerea fiecărui strat (fig.1). Straturile corespund secțiunilor obiectului de printat, iar prin suprapunerea acestora (manieră aditivă de fabricație) se construiește întregul obiect.



**Fig. 1. Schemă de principiu a procedurii FDM (Kalyani V.L.&Bansal D., 2016)**

Fabricația aditivă (FA) are avantajul de a permite obținerea obiectelor cu geometrie complexă, precum și a ansambluri care nu necesită asamblare (printarea directă a ansamblurilor). Însă, fabricația aditivă nu garantează de la sine respectarea în totalitate a cerințelor proiectanților, cum ar fi: precizia formei și a dimensiunilor, condițiile de rugozitate ale suprafețelor, rezistențele mecanice la diferite încercări, costul și timpul de fabricație, etc.

<sup>1</sup> Specializarea Managementul Întreprinderilor Industriale Virtuale, Facultatea IMST;

E-mail: [fratila\\_georgian\\_mihaita@yahoo.com](mailto:fratila_georgian_mihaita@yahoo.com);

Tipul de procedeu de fabricație aditivă, setările parametrilor de proces, tipul de material folosit, orientarea și poziționarea piesei, poziția structurii suport sunt factori care influențează calitatea formelor geometrice, precizia dimensională și de formă, precum și caracteristicile mecanice ale obiectelor printate. Toate aceste informații și interdependențe trebuie cunoscute de un designer pentru a fi sigur că piesa/ansamblul proiectat respectă exact cerințele.

## 2 STUDIU BIBLIOGRAFIC

În (Chen Y.&Chen Z., 2011) au fost analizate clasele de toleranțe și jocurile minime care se pot stabili pentru un lagăr simplu cu bolț. Pentru a se determina cea mai mică valoare a jocului, s-au realizat mai multe încercări/teste, valorile stabilite jocului începând de la 1 mm și descrescând cu 0,1 mm la fiecare reprintare, până când ansamblul a fost blocat, urmând ca apoi să se crească valoarea jocului cu 0,05 mm succesiv până în momentul în care ansamblul a fost din nou mobil.

În acest studiu, s-a constatat că o valoare a jocului de 0,3 mm între componente este prea mare, în timp ce valoarea de 0,1 mm a determinat la lipirea pieselor și, prin urmare, blocarea mișcării. Jocul de 0,2 mm a fost desemnat drept cel mai mic posibil pentru ca lagărul simplu cu bolț să funcționeze.

În cadrul aceluiași studiu a fost propusă și o analiză tot a unui lagăr simplu cu bolț, de data aceasta cu formă de butoi. Acest design a fost considerat mai potrivit pentru înlăturarea mai rapidă a structurii suport și astfel reducerea suplimentară a jocului dintre componente (fig. 2).

Pentru a testa fezabilitatea lagărului cu bolț de tip butoi s-a proiectat modelul CAD al acestuia în

software-ul Solidworks (fig. 3) Jocul minim alocat între vârful bolțului și inel a fost de 0,1 mm, iar după printare, ansamblul a putut fi rotit cu ușurință. Același ansamblu a fost testat, însă bolțul a fost de tip cilindric, iar pentru a putea fi rotit după printare, valoarea minimă a jocului a fost de 0,2 mm.

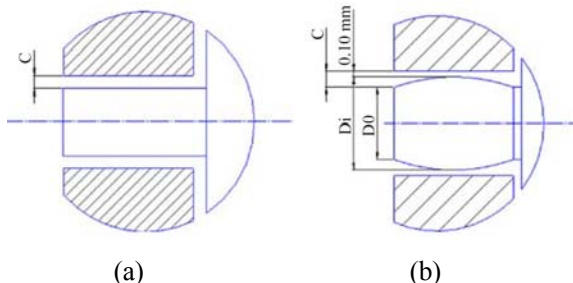


Fig. 2. Lagăr simplu cu bolț (a); lagăr simplu cu bolț de tip butoi (b) (Chen Y.&Chen Z., 2011)

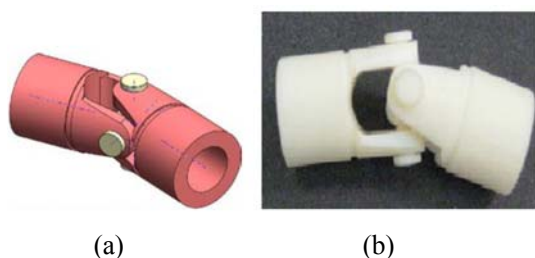


Fig. 3. Modelul 3D în Solidworks (a); Ansamblul imprimat 3D (b) (Chen Y.&Chen Z., 2011)

Studiul a arătat că lagărul simplu cu bolț de tip butoi permite jocuri mai mici, iar analizele ulterioare FEM au arătat că acest design al cuplei îmbunătățește și distribuția sarcinilor.

În studiul (Chen Y.&Lu J., 2011) s-a analizat dacă și cum se pot micșora jocurile unui mecanism printat 3D, de tip cuplă simplă cu bolț. Și în acest caz s-a pus problema reproiectării componentelor în scopul reducerii la minim a jocurilor fără afectarea rezistenței mecanice a pieselor ansamblului. Studiile au fost realizate experimental.

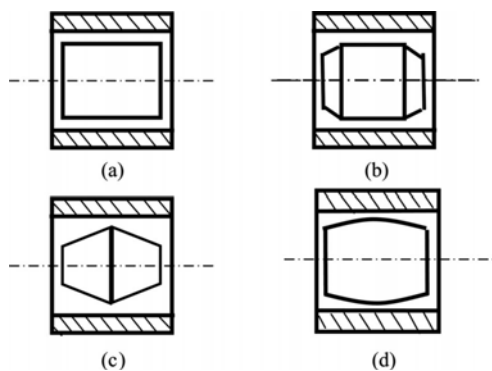


Fig. 4. Cuplă cu bolț cilindric (a). Cuplă cu bolț cilindric cu capetele teșite (b). Cuplă cu bolț în formă de dublu-con (c). Cuplă cu bolț în formă de butoi (d) (Chen Y.&Lu J., 2011)

Când o cuplă este realizată prin fabricație aditivă, obținerea unui joc mic este dificilă din cauză că tehnologiile din prezent nu sunt destul de dezvoltate pentru fabricarea cu precizie mărită a pieselor. Astfel, există permanent tendința proiectanților de a prescrie jocuri mari. Pentru a le reduce, mecanismele trebuie remodelate/reproiectate pentru tipul de procedeu utilizat. De aici, dependența jocului de procedeul de fabricație aditivă. În figura 4 sunt prezentate variante alternative de design pentru cupla simplă cu bolț. Ca în studiul anterior (Chen Y.&Chen Z., 2011), pentru a se determina cea mai mică valoare a jocului, s-au realizat mai multe încercări, valorile stabilite jocului începând de la 1 mm și descrescând cu 0,1 mm la fiecare reprintare, până când ansamblul a fost blocat, urmând ca apoi să se crească valoarea jocului cu 0,05 mm succesiv până în momentul în care ansamblul a fost din nou mobil. După efectuarea testelor s-a observat că mecanismul de tip cuplă cu bolț în formă de butoi are cea mai bună rezistență dintre cele patru variante de design (fig.5), permițând și îndepărtarea cu ușurință a structurii suport după printarea 3D.

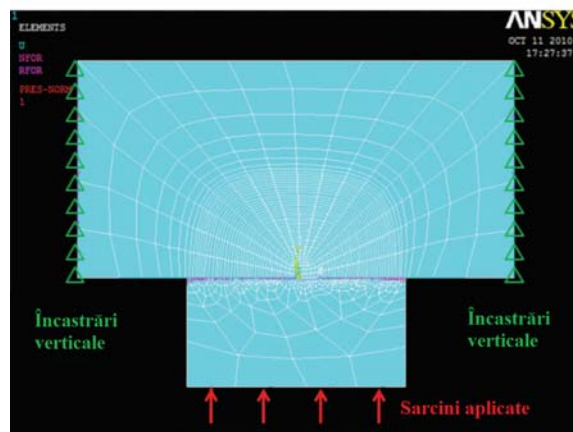


Fig. 5. Condițiile impuse pentru analiza structurală pentru cupla cu bolț de tip butoi (Chen Y.&Lu J., 2011)

Din studiile prezentate anterior, s-a constatat că pentru a se reduce jocurile între componente este necesar ca structura suport să se îndepărteze cât mai ușor prin utilizarea unor tipuri de design ale pieselor „compatibile” cu procedeul de fabricație aditivă. Îmbunătățirea procesului de îndepărtare a structurii suport se poate realiza prin utilizarea razelor de racordare și a teșiturilor. Aceste două elemente geometrice pot furniza căi pentru pătrunderea apei sau a aerului, astfel încât structura suport să se poată dizolva mult mai ușor. Teșiturile sau razele mai mari pot oferi un ajutor și mai mare, însă trebuie să se țină cont de suprafața de contact rămasă. În caz contrar, vor apărea instabilități în cinematica ansamblului.

### 3 REGULI DE PROIECTARE A ANSAMBLURILOR

Cunoașterea valorilor corecte ale jocurilor dintre componente reprezintă un factor important în momentul proiectării unui ansamblu. Jocurile nu depind doar de tipul de procedeu de fabricație, ci și de tipul mașinii de fabricație aditivă, de parametri de proces și de orientarea de fabricație (Popescu D., 2015)

În planul xy, jocul dintre componente trebuie să aibă o valoare cel puțin egală cu grosimea stratului, în planul z valoarea jocului fiind egală cu grosimea acestuia [5]. De asemenea, specialiștii Stratasys recomandă pentru imprimanta Mojo și materialul ABS o valoare a jocului de 0,5 mm în plan orizontal și 1 mm în plan vertical. Regula generală este ca jocurile să fie de 3-4 ori mai mari decât rezoluția minimă a imprimantei 3D, dar pentru valori mai precise trebuie efectuate teste. Prin urmare, sunt oferite diferite recomandări pentru valorile jocurilor ținându-se cont de performanțele mașinii, de material și de orientarea ansamblului ce urmează a fi construit [4]. Spre exemplificare, în tabelul 1 sunt prezentate câteva valori recomandate ale jocurilor pentru FDM Maxum, diferite materiale, grosimi de strat și diametre ale duzei de extrudare.

**Tabelul 1. Specificații pentru jocuri minime [4]**

Material	Duza extrudare	Grosime strat	Joc pe axa Z (mm)	Joc în planul XY
ABS	T10	0,13 mm	0,25mm	0,31mm
	T12	0,18 mm	0,36mm	0,31mm
	T16	0,25 mm	0,51mm	0,31mm
	T20	0,33 mm	0,66mm	0,31mm
PC	T10	0,13 mm	0,25mm	0,25mm
	T12	0,18 mm	0,36mm	0,31mm
	T16	0,25 mm	0,51mm	0,41mm
	T20	0,33 mm	0,66mm	0,41mm
PC-ISO	T12	0,18 mm	0,36mm	0,31mm
	T16	0,25 mm	0,51mm	0,41mm
	T20	0,33 mm	0,66mm	0,41mm
Nylon 12	T12	0,18 mm	0,36mm	0,31mm
	T16	0,25 mm	0,51mm	0,31mm
	T20	0,33 mm	0,66mm	0,31mm
ULTEM	T16	0,25 mm	0,51mm	0,41mm
	T20	0,33 mm	0,66mm	0,41mm

### 4 REALIZAREA DIRECTĂ A UNUI ANSAMBLU DE TIP ARBORE COTIT – PISTON

#### 4.1 Proiectarea ansamblului în CATIA V5R22

Ansamblul ales pentru acest studiu a fost printat direct, nefiind necesare ulterioare procese de asamblare. Se face referire la un ansamblu de motor V6, scalat astfel încât dimensiunile sale să nu depășească valoarea de 127 mm (dimensiunile

maxime ale imprimantei 3D utilizate). Modelarea 3D a fost realizată în softul CATIA V5R22, iar dimensiunile pieselor (arbore cotit, bielă, cap de piston) și ansamblul realizat sunt prezentate în figura 6. Au fost prescrise jocuri de 0,36 mm pe diametru între piston și bielă, și jocuri de 0,1 mm; 0,15 mm și 0,18 mm între arborele cotit și biele. Ideea urmărită a fost aceea de a obține experimental valori cât mai mici ale jocurilor pentru acest ansamblu.

#### 4.2 Printarea 3D a ansamblului

Înainte de printarea 3D a ansamblurilor la diferite valori ale jocurilor s-au testat mai multe orientări de fabricație. Figura 8 ilustrează patru dintre acestea pentru un set de jocuri între bieles-piston și arbore cotit-biele. La alegerea orientării de printare s-a ținut cont de mai mulți factori cum ar fi: cantitatea de structură suport consumată, timpul de printare, calitatea suprafețelor și dificultatea de înlăturare a structurii suport.

În tabelul 2, s-au introdus toate datele obținute pentru fiecare orientare în parte.

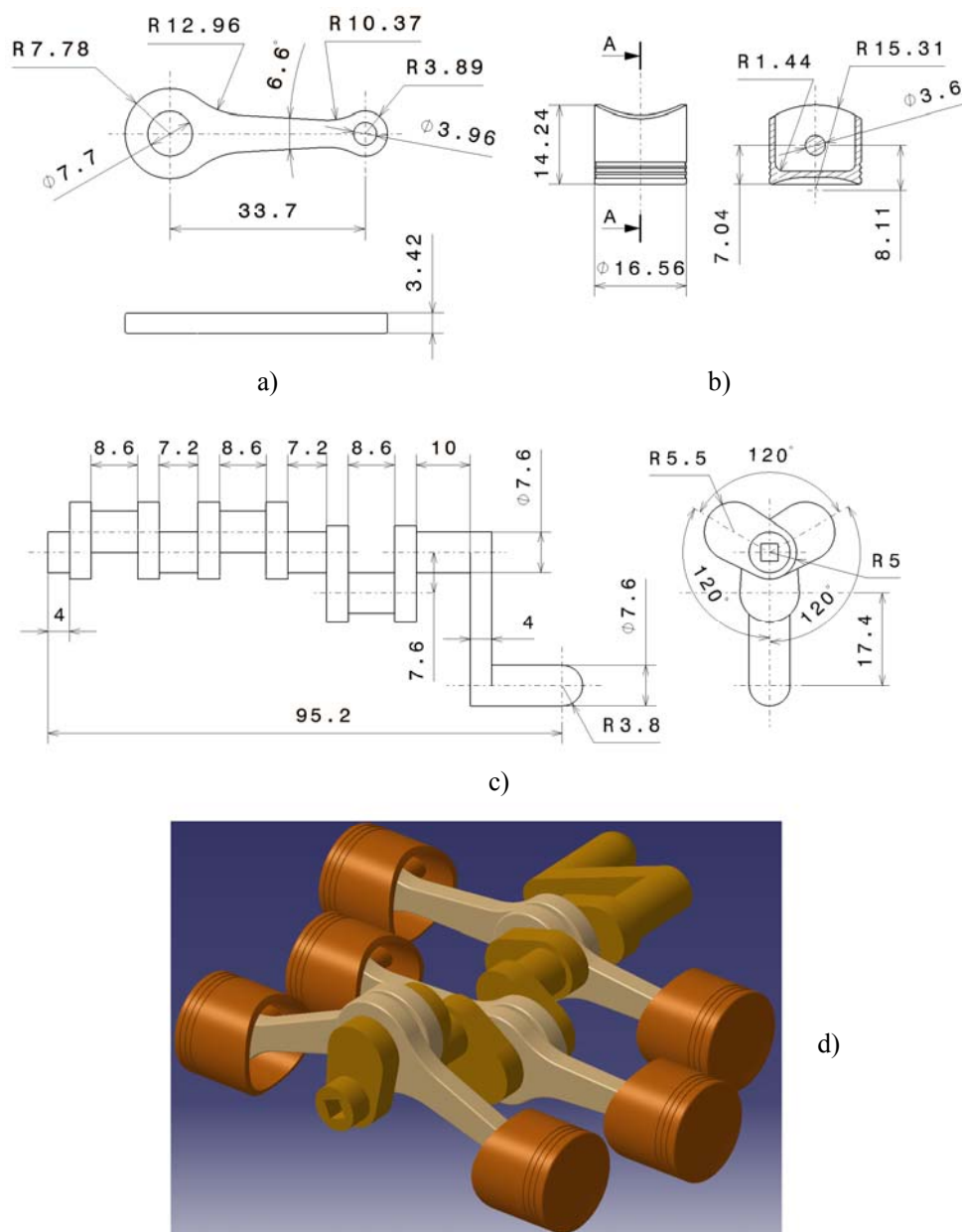
**Tabelul 2. Orientări de printare 3D ale ansamblului**

	Orient. a	Orient. b	Orient. c	Orient. d
Volum material structură suport	33g	31g	30g	32g
Lungime filament structură suport	13,59m	12,97m	12,75m	13,35m
Timp estimativ pentru printare	3h 53'	4h 2'	3h 57'	4h 1'

După efectuarea testelor, orientarea c) a avut cele mai bune rezultate cu un volum de material consumat pentru structura suport de 30 de grame și un timp de printare de 3 h și 57 min.. Însă din cauza poziționării elementelor în ansamblu, structura suport era greu de înlăturat, aceeași problemă regăsindu-se și la orientarea b). Orientarea a) avea cel mai bun timp de printare și anume 3 h și 53 min., însă se consuma 13,59 m, respectiv ~33 de grame de material pentru structura suport. Astfel, s-a optat pentru alegerea orientării d) deoarece are cel mai echilibrat raport între toți factorii luați în considerare.

Ansamblul a fost realizat utilizând imprimanta Mojo 3D Printer (fig. 9) de firma Stratasys. Caracteristicile acesteia sunt următoarele:

- Dimensiunile de lucru: 127 x 127 x 127 mm;
- Grosimea stratului: 0,17 mm;
- Dimensiunile de gabarit Mojo 3D Printer: 630 x 450 x 530 mm.

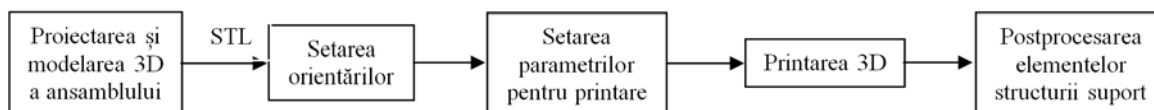


**Fig. 6. Dimensiunile bielei (a). Dimensiunile capului de piston (b). Dimensiunile arborelui cotit (c). Modelul 3D al ansamblului (d)**

În continuare va fi prezentată o schema a pașilor executați pentru realizarea ansamblului printat.

În primă fază s-au executat proiectarea și modelarea 3D a pieselor, asamblarea lor în CATIA V5 și salvarea ansamblului în format .STL. După acest pas s-au evaluat mai multe orientări pentru a

observa care este cea mai eficientă pentru printare ca timp și cost de fabricație. În momentul în care s-a optat pentru o anumite orientare, s-au setat diferiți parametri în soft-ul imprimantei. A urmat printarea propriu-zisă, urmând ca după scoaterea ansamblului din imprimantă, acesta să fie introdus în mașina de dizolvare a structurii suport.



**Fig. 7. Schema pașilor executați pentru realizarea ansamblului printat**

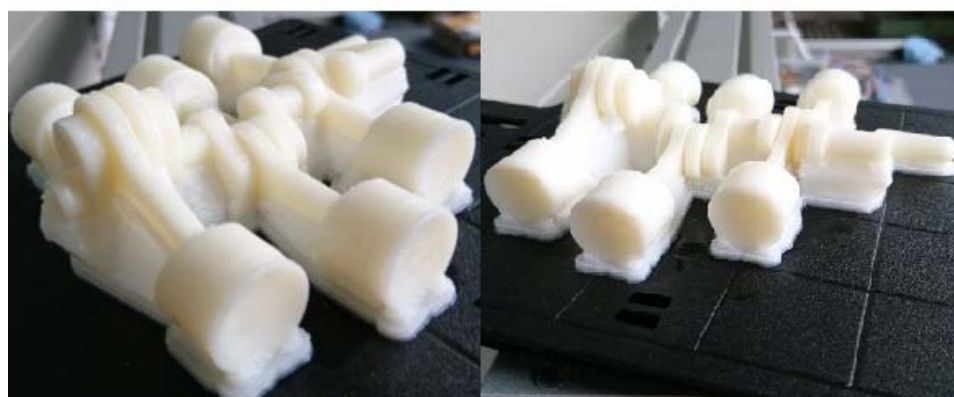
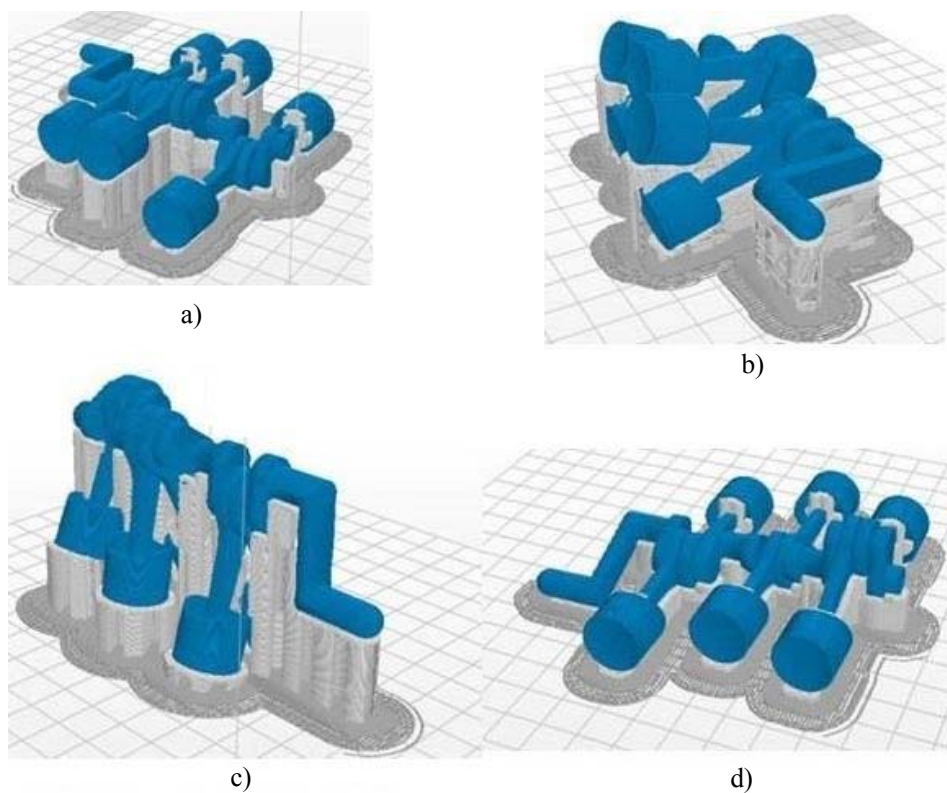


Fig. 8. Cele patru orientări analizate pentru printare și ansamblul printat 3D

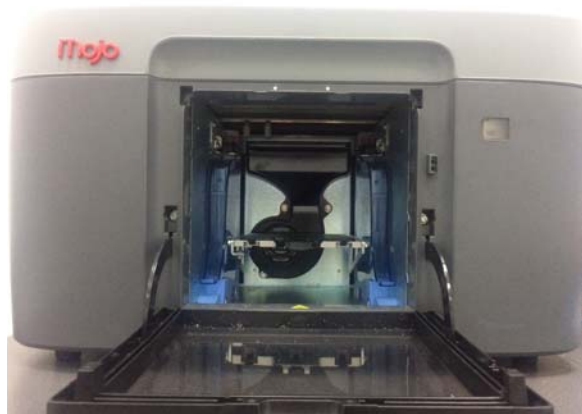


Fig. 9. Imprimanta Mojo 3D Printer

## 5 CONCLUZII ȘI DIRECȚII DE CONTINUARE

Ansamblul a fost printat în trei variante, fiecare având aceleași valori ale jocurilor pentru cuplele dintre capetele de piston și biele, și valori diferite ale jocurilor pentru cuplele dintre biele și arborele cotit, respectiv: 0,1 mm; 0,15 mm și 0,18 mm.

După procesul de barbotare pentru eliminarea structurii suport, s-au constatat următoarele: pentru toate cele trei variante ale ansamblului, cuplele dintre capetele de piston și biele erau mobile, iar cele dintre biele și arborele cotit erau blocate din cauza valorilor toleranțelor prea mici între diametrul arborelui și cel al bielei. Încercarea de a debloca cuplele ansamblului care avea setat ca valoare a jocului de 0,18 mm a reușit, însă rotirea bielelor în jurul arborelui a necesitat aplicarea unei forțe relativ mare comparativ cu cea necesară rotirii parțiale a

capetelor de piston. În momentul în care s-a încercat deblocarea cuplelor și pentru celelalte două ansambluri, aplicarea unei forțe mai mare a dus la cedarea arborelui, acesta rupându-se (fig. 10). Ruperea arborelui a fost cauzată și de faptul că printarea ansamblurilor a fost realizată utilizând o structură rară de material (opțiunea *sparse* a software-ului imprimantei Mojo 3D printer).

Pe viitor se va realiza o remodelare 3D CAD, utilizând cuple simple cu bolț în formă de butoi și se va printa 3D încă un ansamblu, calibrând valorile jocurilor astfel încât: valoarea jocurilor între capetele de piston și bielă se va reduce la 0,2 mm pe diametru, iar cea dintre biele și arborele cotit se va mări tot la 0,2 mm pe diametru. Noua printare 3D a ansamblului va fi realizată utilizând o structură a materialului de tip umplere 100%. Se vor printa și o mare parte a componentelor motorului V6, avându-se în vedere și acționarea sa pneumatică.



Fig. 10. Imagini ale ansamblurilor rupte

## 6 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Kalyani, V.L. și Bansal, D., (2016) Future communication technology: A comparison between Claytronics and 3D Printing, Journal of Management Engineering and Information Technology (JMEIT), 3(4), pp.8-28
- [2]. Chen, Y. și Chen, Z. (2011), Joint analysis in rapid fabrication of non-assembly mechanisms, Rapid Prototyping Journal, 17(6), pp.408-417
- [3]. Chen, Y. și Lu, J. (2011), Minimise joint clearance in rapid fabrication of non-assembly mechanisms, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 24(8), pp. 726-734

- [4]. Popescu, D., Modelare tridimensională și fabricație aditivă, Editura Aius, 2015, ISBN 978-606-562-514-3

- [5]. FDM Best practice: Assemblies, Stratasys , disponibil la: [http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/Best%20Practices\\_BP/BP\\_FDM\\_Assemblies.pdf?v=635817953969955693](http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/Best%20Practices_BP/BP_FDM_Assemblies.pdf?v=635817953969955693)