

# REALIZAREA PIESELOR DIN INDUSTRIA AEROSPAȚIALĂ PRIN TEHNICA IMPRIMĂRII 3D

BUDA Radu-Andrei, LUNGU Alexandru-Florin

Conducător științific: Conf. Dr. Ing. **Vasile MOGA**  
Ș.l. Dr. Ing. **Marius Dumitraș**

**REZUMAT:** Pe parcursul anilor s-a constatat că este nevoie de mijloace pentru producția rapidă și ieftină a prototipurilor. Una dintre aceste tehnologii de prototipare rapidă este modelarea prin depunere strat cu strat de filament (de obicei dintr-un polimer termoplastice), tehnologie numită și Imprimare 3D.

În timp, acest procedeu a devenit mai ieftin și mai rapid, permițând producerea cu costuri reduse a mai multor prototipuri ale aceleiași piese. De asemenea, această tehnologie oferă posibilitatea de a crea geometrii complexe, imposibil de realizat prin procedee clasice.

În aviație, aceasta tehnică poate fi folosită la executarea de prototipuri pentru piese care nu au rol structural sau chiar pentru aeronave operate de la sol (drone).

**CUVINTE CHEIE:** prototipare rapidă, imprimare 3D, material compozit, aviație, structură fagure.

## 1 INTRODUCERE

Câteva aspecte generale:

- Nu există limitări în privința complexității geometriei piesei
- Ansamblul poate fi imprimat direct, nefiind necesară montarea
- Instruirea simplă a operatorilor
- Portabilitate
- Pierderi minime
- Precizie dimensională bună
- Logistică ușoară
- Costul nu este corelat cu complexitatea piesei, ci doar cu durata de funcționare și cantitatea de material

În prezenta lucrare s-a urmărit proiectarea și producerea unei piese ce face parte din sistemul de acționare al eleronului pentru aeronava BN-2.

Producerea piesei s-a executat dintr-un compozit stratificat format din PET-G (polietilenă tereftalată – glicol) și ABS (acrilonitril butadien stiren), stratificat în felul următor: 4 faze alternante de PET-G și ABS, 1 fază dublă de PET-G și 4 faze alternante de ABS și PET-G, astfel piesa fiind simetrică față de stratul din mijloc.



Figura 1. Piesă finită

Modalitate de obținere:

- Proiectarea piesei într-un program de CAD (SolidWorks)
- Prelucrarea modelului 3D cu ajutorul unui program specific (Simplify3D)
- Imprimarea efectivă a compozitului, strat cu strat
- Debavurarea piesei.

## 2 STADIUL ACTUAL

S-a reușit printarea piesei proiectate folosind un singur extrudor, deși de preferat era utilizarea unei instalații cu extrudor dublu.

<sup>1</sup> Specializarea Construcții Aeronautice, Facultatea de Inginerie Aeronautică;  
E-mail: [raduandreibuda@mail.ru](mailto:raduandreibuda@mail.ru);

<sup>2</sup> Specializarea Construcții Aerospațiale,  
Facultatea de Inginerie Aerospațială;  
E-mail: [lungualex3@gmail.com](mailto:lungualex3@gmail.com);

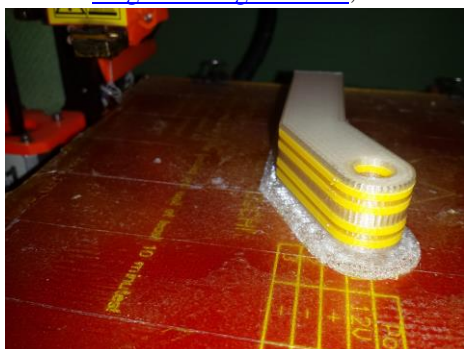


Figura 2. Piesa brută

## 2.1 Descrierea instalației

Imprimanta 3D folosită utilizează tehnica depunerii de filament. Modelul imprimantei este Prusa I3, cumpărată sub forma de kit și ansamblată. Este o imprimantă ce lucrează în coordonate carteziane (X Y Z).

Axele X și Y sunt acționate de curele de transmisie, iar axa Z funcționează pe principiul șurub-piuliță.

Extrudorul este format dintr-un motor pas cu pas, un sistem de împingere a filamentului, o cameră de încălzire și topire a filamentului, o diuză, un termocuplu și o rezistență electrică.

Patul de imprimare se află pe axa Y și are opțiunea de a fi încălzit pentru o aderență mai bună a materialelor mai sensibile (ABS).

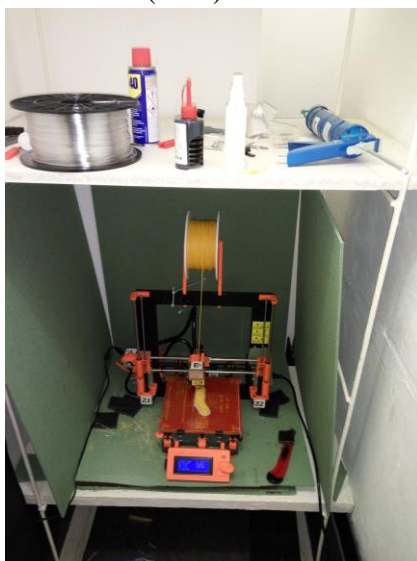


Figura 3. Imprimantă 3D

## 2.2 Modelul 3D al piesei

Piesa a fost proiectată la scara 1:10 pe axele X și Y, iar pe axa Z la scara 1:1, deoarece piesa are un rol demonstrativ, iar lucrarea scoate în evidență modul de obținere al compozitului stratificat.

Pentru proiectarea piesei s-a utilizat un program de tip CAD, mai exact SolidWorks. În acest program s-a realizat desenul tehnic al piesei (sketch), iar prin comanda Extrude, piesa a fost adusă la grosimea dorită.

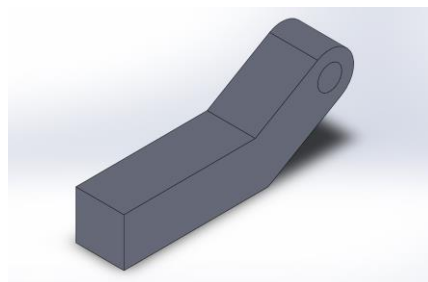


Figura 4. Modelul 3D al piesei

Procesarea modelului 3D și transformarea lui în limbaj numeric s-a efectuat folosind Simplify3D. În acest program s-a realizat pentru fiecare fază al compozitului un proces. În fiecare proces se setează parametrii de imprimare, cum ar fi: dimensiunea filamentului care iese din diuză, temperatura de extrudare, temperatura patului încălzit (dacă este cazul), gradul de umplere cât și topologia interioară, vitezele de imprimare, racire (dacă este cazul), comenzi introduse manual în cod numeric pentru modificarea programului și alte setări aferente.

Drumul uneltei poate fi previzualizat pentru verificarea procesului, înainte de imprimarea propriu-zisă.

Câțiva parametrii de imprimare:

- Diametrul diuzei: 0,4 mm
- Înălțimea stratului: 0,2 mm
- Temperatura extrudorului: 240°C
- Temperatura patului de imprimare – nu este cazul
- Gradul de umplere: 75%
- Topologie: fagure

- Viteză de imprimare: 60 mm/s
- Primele și ultimele 4 straturi s-au imprimat cu grad de umplere 100%
- Piesa a fost imprimată pe un suport (raft) din PET-G.

### 2.3 Imprimarea propriu-zisă

Aceasta se poate face prin comunicarea directă cu un calculator sau de pe cardul SD al imprimantei. Imprimarea se face la temperatura camerei pe un pat de sticlă pe care s-a aplicat o bandă de poliimidă. Peste această bandă s-a pulverizat o soluție de ABS dizolvat în acetonă, acetona evaporându-se în contact cu aerul, rămânând doar o peliculă subțire de ABS. Aceste soluții sunt folosite pentru a crește aderența suportului pe care piesa va fi imprimată.

Un suport este utilizat pentru a compensa o eventuală calibrare slabă și pentru a crește aderența cu patul.

După depunerea primei faze se schimbă filamentul manual și se continuă cu cea de-a doua fază, procesul fiind repetat de câte ori este nevoie. În cazul unui extrudor dublu, procesul este simplificat, schimbarea de fază fiind făcută automat, iar precizia fiind mult mai ridicată.

La final piesa este detașată de pe patul de imprimare cu ajutorul unui cutter, după care se îndepărtează suportul. Piesa este debavurată dacă este cazul.

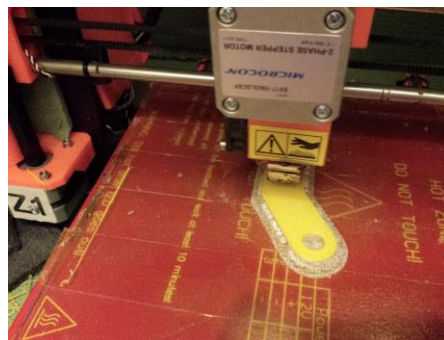


Figura 5. Imprimarea piesei



Figura 6. Imprimarea piesei

### 2.4 Statistici economice

Cele mai utilizate modele de imprimare 3D:

- Prusa i3
- Ultimaker 2
- Replicator 2
- Zortrax M200
- Replicator 2x
- RepRap

Cei mai importanți producători de imprimante 3D:

- Ultimaker
- MakerBot
- 3D Systems
- FlashForge
- Stratasys
- Printbot
- Zortrax

Materiale des folosite:

- PolyJet 88,7\$/kg
- Nylon (SLS) 85,8\$/kg
- Rășină fotopolimerizare 51\$/kg
- PLA 31,4\$/kg
- ABS 34,8\$/kg

Conform 3dhubs.com numărul imprimantelor 3D înregistrate a crescut de la 55 (începutul anului 2013) la 29588 (sfârșitul anului 2016).

Dintre cei care au participat la studiul organizat de Gartner, 37% aveau o imprimanta în cadrul companiei, iar 18%, 10 sau mai multe. [6.]

Conform Wohlers Report 2014, se estimează o creștere a industriei globale a imprimării 3D de la 3,07 miliarde de dolari în 2013 la 12,2 miliarde de dolari în 2018, depășind 21 de miliarde de dolari în 2020.

Cele 3 mari domenii în care a fost utilizată tehnica imprimării 3D:

- Prototipare 24,5%
  - Dezvoltare de produse 16,1%
  - Inovare 11,1%
- Venituri evidențiate (milioane de dolari):
- Design și producție: 2013 - 609,8  
2014 - 478,6
  - Sănătate: 2013 - 71,7  
2014 - 129,3
  - Consum: 2013 - 34,8  
2014 - 43,8

PwC estimează faptul că 67% dintre producători utilizează deja imprimantele 3D, 28,9% încercând să integreze optim această tehnică în producție, iar 24,6% utilizează această tehnologie pentru prototipare. [5.]

## 2.5 Aplicații ale imprimării 3D în industria aerospațială [4.]

- NASA – turbopompa de metan printată 3D  
Având mai puține componente în structură, le-a permis inginerilor să genereze mai multă forță din pereții turbopompei. Mai mult, având mai puține componente, reglarea debitului de gaz prin sistem a fost mai ușoară. Printarea 3D, combinată cu tehnologia avansată NASA de design și modelare a rezultat într-o reglare fină a sistemului.
- NASA – testarea cu succes a primului motor de rachetă printat 3D la scară reală  
”Este unul dintre cele mai complexe componente NASA testate vreodată cu metan lichid, un combustibil care va fi folosit pentru alimentarea navetelor ce vor călători spre Marte”.
- Aeronavele devin mai ușoare datorită imprimării 3D  
Duzele de combustibil printate 3D sunt mai ușoare cu 25% și de 5 ori mai durabile.
- General Electrics construiește cel mai mare motor cu reacție din lume printat 3D  
Acesta va avea 3,35m diametru și va dezvoltă 45359,23 kgf.

### 3 CONCLUZII

- Acest procedeu are avantajul folosirii materialelor reciclate pentru piese care nu au o destinație structurală.
- Se speculează ca în viitor acest procedeu nu va mai fi folosit doar pentru realizarea prototipurilor, ci și pentru obținerea produselor finite.
- Astfel de structuri stratificate se pot realiza cu un efort mic, într-un timp redus și cu o pierdere minimă de materiale, fiind posibilă producerea rapidă de prototipuri pentru domeniul aviației.
- Pentru ABS este necesar pat încălzit, iar PET-G nu. Având în vedere faptul că cele 2 materiale fac interfață bună, se poate folosi pentru prima fază PET-G, astfel încât nu mai este nevoie de un pat încălzit, ceea ce reprezintă o reducere de costuri.
- Mai trebuie cercetată în detaliu rezistența pieselor din materiale compozite obținute astfel.

### 4 BIBLIOGRAFIE

- [1.] Ian Gibson, David W. Rosen și Brant Stucker (2010), Additive Manufacturing Technologies, Springer, 978-1-4419-1120-9
- [2.] Hod Lipson și Melba Kurman (2013), Fabricated: The New World of 3D Printing, Wiley, 9781118350638
- [3.] Conner BP, et al. Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services. Addit Manuf (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.addma.2014.08.005>, Elsevier
- [4.] <http://3dprintingindustry.com/aerospace/>
- [5.] <http://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2015/03/31/2015-roundup-of-3d-printing-market-forecasts-and-estimates/#4a9f4e7d1dc6>
- [6.] <https://www.3dhubs.com/trends>.