

ANALIZA ECONOMICĂ A UNUI PRODUS REALIZAT PRIN FABRICARE ADITIVĂ

ECONOMIC ANALYSIS OF A PRODUCT MADE BY ADDITIVE MANUFACTURING

BĂJĂNARU Elena-Georgiana, LAZĂR Anamaria-Simona

Facultatea: Inginerie Industrială și Robotică, Specializarea: Inginerie Economică Industrială,
Anul de studii: 4, e-mail: bajanarugio@gmail.com

Conducători științifici: As.drd.ing. **Roman MURZAC**, Conf.dr.ing. **Ionuț Gabriel GHIONEA**

ABSTRACT: The chosen theme refers to the realization of a product designed by traditional manufacturing (injection in the mold) and rapid prototyping, so the cost analysis of the two manufacturing methods will be performed. To determine the costs a general economic model will be developed, taking into account the batch of 1000 pieces. The generation of 3D printing will simulate two situations: one in which the analyzed part is filled with 20% material and the other in which the filling is 100%. In the present paper by studying the costs of manufacturing with FDM technology compared to injection molding, the difference between the costs of the two technologies was observed, 3D printing allowing to vary the filling gradient. Depending on the functional role of the part, a reduction of costs was obtained, without modifying the functional or structural role of the part.

CUVINTE CHEIE: fabricare aditivă, personalizare, analiză

1. Introducere

Printarea 3D sau prototiparea rapidă este un proces de realizare a unor obiecte tridimensionale solide, pornind de la un model digital. Crearea unui obiect prototipat 3D este posibilă prin folosirea proceselor aditive. Printr-un astfel de proces, un obiect este creat strat cu strat, până se ajunge la forma finală a obiectului dorit. Avantajele printării se pot observa prin crearea formelor complexe, timpul scurt de producție, costul redus, dar și flexibilitatea de lucru. Deoarece tendința de a personaliza experiența consumatorului, devine foarte cunoscută în rândul mărcilor ce doresc ca afacerea lor să se transforme în una din ce în ce mai profitabilă, am ales aceasta temă de analiză, respectiv de comparare a costurilor între fabricația tradițională (injecția în matriță) și prototiparea rapidă.

Modelul analizat este o jucărie aparent simplă, deoarece nu va fi supusă la încercări mecanice, dar una foarte complexă din punct de vedere al suprafețelor [10].

Din punct de vedere economic, printarea 3D contribuie la generarea unei sinergii între materialele de marketing digitale și cele tangibile, dând acces la noi posibilități și metode de interacțiune între consumatorii, angajații unei companii sau partenerii de afaceri. Această metodă nouă de execuție a materialelor publicitare potențează revoluționarea modurilor de relaționare ale mărcii în piața, imposibil de realizat anterior prin tehnologiile clasice, de producție în masa [10].



Fig. 1. Modelul analizat

2. Stadiul actual

a) *Tehnologia de fabricare prin injecție.* Procesul de formare prin injecție constă în aducerea amestecului pe bază de polimeri termoplastici în stare plastică, urmată de introducerea sa sub presiune într-o matriță relativ rece, în care trece în stare solidă. Utilajul folosit este matrița pentru injecție. Aceasta acoperă o gamă largă de produse, de la componente din plastic utilizate în industria auto până la piese și produse din plastic utilizate în industria bunurilor de larg consum. Tipul materialului plastic, forma/masa produsului și proiectarea corectă a matriței au impact direct asupra costurilor de producție a rentabilității produsului. Materialul utilizat este polipropilena. Este un material rezistent la căldură.



Fig. 2. Mașină de injecție



Fig. 3. Imprimantă Zortrax M300 Plus

b) *Tehnologie de fabricare-FDM.* Folosind proiectarea asistată de calculator (CAD) sau scanerile de obiecte 3D, fabricarea aditivă permite crearea de obiecte cu forme geometrice complexe. Acestea sunt construite strat cu strat. Fabricarea aditivă poate fi utilizată cu o mare varietate de materiale, inclusiv ceramică, metale și polimeri. Utilajul folosit este Zortrax M300 Plus, o imprimantă 3D cu unul dintre cele mai mari spații de lucru din clasa sa. Mai multe imprimante 3D Zortrax M300 Plus pot fi conectate wireless, astfel încât se pot produce modele mari în serii mici sau medii. Pentru acest tip de imprimantă, alegem ca material Z-HIPS, deoarece se pot obține produsele finale ce corespund cerințelor. Finisajul semi-mat reduce cantitatea de post-procesare necesară și maschează stratul. Prototipurile 3D imprimate cu acest filament de polistiren sunt, de asemenea, potrivite pentru teste de performanță și impact.

3. Model economic general

Pentru determinarea costurilor se va porni de la un model economic general, având în vedere lotul de 1000 de bucăți. Pentru a fabrica acest model se utilizează printarea 3D și injecția în matriță. Pentru printarea 3D se vor simula două situații: una în care piesa analizată este umplută cu material 20% și cealaltă în care umplerea este 100%.

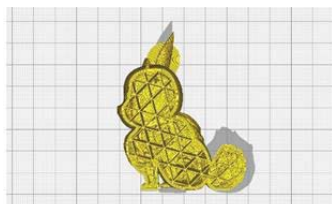
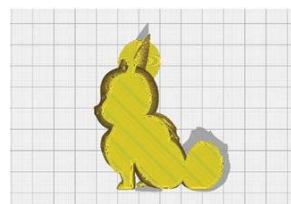


Fig. 4. a) Simulare cu umplere 20%



b) Simulare cu umplere 100%

Costul de fabricație al unei piese se poate calcula cu relația:

$$C_i = A_i + \frac{D}{n} \quad (1) \quad [1, (9.1), \text{pag } 166]$$

unde: n = numărul de piese din lot = 1000 buc; D = cheltuieli dependente de lot; A_i = cheltuieli independente de lot [lei/buc.];

$$A_i = c_m + c_s + c_{if} + c_{ind} \text{ [lei/buc.]} \quad (2) \text{ [1, (10.10), pag 169]}$$

unde: c_m = costul materialului [lei/buc.]; c_s = cheltuieli cu retribuția directă; c_{if} = cheltuieli cu întreținerea și funcționarea utilajelor; c_{ind} = cheltuieli indirecte;

$$c_m = m_s * c_{sf} \text{ [lei/buc.]} \quad (3) \text{ [1, (10.11), pag 169]}$$

unde: m_s = masa semifabricatului în kg; c_{sf} = costul semifabricatului [lei/kg];

$$c_s = \sum_{i=1}^k \frac{t_{ui}}{60} * s_m \text{ [lei/buc.]} \quad (4) \text{ [1, (10.12), pag 169]}$$

unde: t_{ui} = timpul unitar pentru executarea operației “i” [min.]; s_m = retribuția tarifară; k = numărul de operații tehnologice;

$$c_{if} = \sum_{i=1}^k \frac{t_{ui}}{60} * a_i \text{ [lei/buc.]} \quad (5) \text{ [1, (10.13), pag 169]}$$

unde: a_i = cota de amortizare a imprimantei cu întreținerea și funcționarea [lei/h];

$$a_i = \frac{C_{masinii*2,3}}{F_n*5} \quad (6)$$

unde : F_n = fondul nominal de timp;

$$F_n = z * k_s * h * 60 \text{ [min/an]} \quad (7) \text{ [1, (10.1), pag 167]}$$

unde: z = 251 zile lucrătoare în 2020; k_s = numărul de schimburi/ zi (un singur schimb); h = 8 ore/schimb;

$$c_{ind} = c_s * \frac{R_f}{100} \text{ [lei/buc.]} \quad (8) \text{ [1, (10.14), pag 169]}$$

unde: R_f = regia fabricației pentru secția în care se fac prelucrările (R_f = 150...200);

$$D = B + C \text{ [lei/lot]} \quad (9) \text{ [1, (10.15), pag 169]}$$

unde: B = cheltuieli cu pregătirea – încheierea fabricației; C = cheltuieli cu întreținerea și funcționarea utilajelor;

$$B = \left(1 + \frac{p}{100}\right) * \sum_{i=1}^k \left(\frac{t_{pii}}{60}\right) * s_{ri} \text{ [lei/lot]} \quad (10) \text{ [1, (10.16), pag 169]}$$

$$C = \sum_{i=1}^k \left(\frac{t_{pii}}{60}\right) * a_i \text{ [lei/lot]} \quad (11) \text{ [1, (10.17), pag 169]}$$

unde: t_{pii} = timpul normat pentru pregătirea-încheierea lucrărilor de la operația “i” [min./lot]; s_{ri} = retribuția tarifară a reglorului de la operația “i”; p = procent care ține seama de cheltuielile cu pregătirea administrativă a lansării lotului (p = 5...25%); Se ține cont de următoarele date:

Tabelul 1. Date inițiale

| | Masa piesei [g] | Cost material [lei/kg] | Cost utilaj [lei] |
|----------------------------|-----------------|------------------------|-------------------|
| Printare 3D (20%) | 23g | 246 | 19579 |
| Printare 3D (100%) | 52g | 246 | 19579 |
| Injectie în matriță | 54g | 2,23 | 84985,10 |

4. Comparația costurilor

a. Cost pentru injecția în matriță:

$$A_i = 0,12 + 1,25 + 648,95 + 1,78 = 652,1 \text{ [lei/buc.]} \quad (12)$$

$$c_m = 0,054 * 2,23 = 0,12 \text{ [lei/buc.]} \quad (13)$$

$$c_s = \frac{2}{60} * 15 = 1,25 \text{ [lei/buc.]} \quad (14)$$

$$c_{if} = 2 * 324,47 = 648,95 \text{ [lei/buc.]} \quad (15)$$

$$a_i = \frac{84985,10 * 2,3}{120,480 * 5} = 324,47 \text{ [lei/h]} \quad (16)$$

$$F_n = 251 * 1 * 8 * 60 = 120,480 \text{ [min/an]} \quad (17)$$

$$c_{ind} = 1,25 * \frac{150}{100} = 1,87 \text{ [lei/buc.]} \quad (18)$$

$$D = 0,62 + 1,35 = 1,97 \text{ [lei/lot]} \quad (19)$$

$$B = \left(1 + \frac{25}{100}\right) * \left(\frac{2}{60}\right) * 15 = 0,62 \text{ [lei/lot]} \quad (20)$$

$$C = \left(\frac{2}{60}\right) * 324,47 = 10,81 \text{ [lei/lot]} \quad (21)$$

$$C_i = 662,91 \text{ [lei/buc]} \quad (22)$$

b. Cost pentru printare 3D cu umplere de material 100% :

$$A_i = 14,51 + 1,25 + 0,92 + 1,87 = 18,55 \text{ [lei/buc.]} \quad (23)$$

$$c_m = 0,059 * 246 = 14,51 \text{ [lei/buc.]} \quad (24)$$

$$c_s = \frac{5}{60} * 15 = 1,25 \text{ [lei/buc.]} \quad (25)$$

$$c_{if} = 5,7 * 0,074 = 0,92 \text{ [lei/buc.]} \quad (26)$$

$$a_i = \frac{19579 * 2,3}{120.480 * 5} = 0,074 \text{ [lei/h]} \quad (27)$$

$$F_n = 251 * 1 * 8 * 60 = 120.480 \text{ [min/an]} \quad (28)$$

$$c_{ind} = 1,25 * \frac{150}{100} = 1,87 \text{ [lei/buc.]} \quad (29)$$

$$D = 1,5625 + 0,0061 = 1,5686 \text{ [lei/lot]} \quad (30)$$

$$B = \left(1 + \frac{25}{100}\right) * \left(\frac{5}{60}\right) * 15 = 1,5625 \text{ [lei/lot]} \quad (31)$$

$$C = \left(\frac{5}{60}\right) * 0,074 = 0,0061 \text{ [lei/lot]} \quad (32)$$

$$C_i = 18,55 \text{ [lei/buc]} \quad (33)$$

c. Cost pentru printare 3D cu umplere de material 20% :

$$A_i = 5,65 + 1,25 + 0,26 + 1,87 = 9,03 \text{ [lei/buc.]} \quad (34)$$

$$c_m = 0,023 * 246 = 5,65 \text{ [lei/buc.]} \quad (35)$$

$$c_s = \frac{5}{60} * 15 = 1,25 \text{ [lei/buc.]} \quad (36)$$

$$c_{if} = 5,7 * 0,074 = 0,26 \text{ [lei/buc.]} \quad (37)$$

$$a_i = \frac{19579 * 2,3}{120.480 * 5} = 0,074 \text{ [lei/h]} \quad (38)$$

$$F_n = 251 * 1 * 8 * 60 = 120.480 \text{ [min/an]} \quad (39)$$

$$c_{ind} = 1,25 * \frac{150}{100} = 1,87 \text{ [lei/buc.]} \quad (40)$$

$$D = 1,5625 + 0,0061 = 1,5686 \text{ [lei/lot]} \quad (41)$$

$$B = \left(1 + \frac{25}{100}\right) * \left(\frac{5}{60}\right) * 15 = 1,5625 \text{ [lei/lot]} \quad (42)$$

$$C = \left(\frac{5}{60}\right) * 0,074 = 0,0061 \text{ [lei/lot]} \quad (43)$$

$$C_i = 9,031 \text{ [lei/buc]} \quad (44)$$

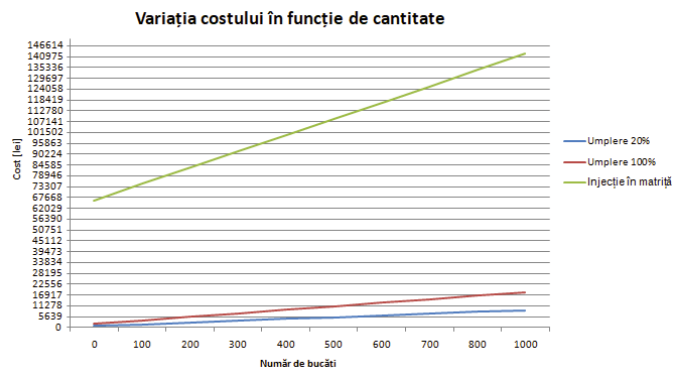


Fig. 5. Graficul de variație al costului

5. Optimizarea modelului economic și procesul tehnologic

În urma analizei costurilor, se observă prețul cel mai scăzut în cazul printării 3D. Pentru optimizarea modelului economic se va lua în considerare tehnologia cea mai bună din punct de vedere economic. Se analizează diferențele dintre costul total, costurile independente și cele dependente.

$$C_{100\%} - C_{20\%} = 18,55 - 9,03 = 9,52 \text{ lei} \quad (45)$$

Tabelul 2. Costurile pentru cele două obțiuni de printare 3D

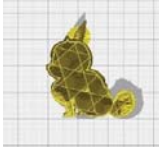
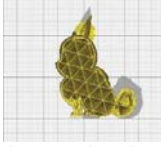

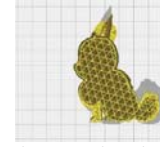
| | Umplere 100% | Umplere 20% | Δ Costuri |
|----------------------|--------------|-------------|------------------|
| Costuri independente | 18,55 | 9,03 | 9,52 |
| Costuri dependente | 1,56 | 1,56 | 0 |

În tabelul 2, variază costurile independente. Pentru a determina parametrul care influențează această variație, comparăm A_i ale celor 2 cazuri. Costurile dependente nu influențează în mod direct prețul piesei.

Tabelul 3. Comparația costurilor

| A_i | Umplere 100% | Umplere 20% | Δ Costuri |
|-----------|--------------|-------------|------------------|
| c_m | 14,51 | 5,65 | 8,86 |
| c_s | 1,25 | 1,25 | 0 |
| c_{if} | 0,92 | 0,26 | 0,66 |
| c_{ind} | 1,87 | 1,87 | 0 |

Tabelul 4. Calculul costului cu materialul

| Figura |  |  |  |  |
|--------------------|---|---|--|---|
| | Fig.6. Simulare 1 | Fig.6.2 Simulare 2 | Fig.6.3 Simulare 3 | Fig.6.4 Simulare 4 |
| Procent de umplere | 10% | 15% | 25% | 30% |
| Masa (m_s) | 0,020 g | 0,022 g | 0,026 g | 0,027 g |
| c_m | 4,92 lei | 5,41 lei | 6,39 lei | 6,64 lei |

Deoarece c_s , c_{if} și c_{ind} nu afectează foarte mult costul total, iar ponderea acestora este destul de mică, le considerăm constante și cu ajutorul formulei cheltuielilor independente vom afla costul materialului pentru prețul de 10 RON, 15 RON, respectiv 18,55 RON.

$A_i = 10 \text{ RON} \rightarrow c_m = 5.96 \text{ RON} \rightarrow \text{masa} = 0.024 \text{ kg} \rightarrow \text{umplere} = 25\%$

$A_i = 15 \text{ RON} \rightarrow c_m = 10.96 \text{ RON} \rightarrow \text{masa} = 0.045 \text{ kg} \rightarrow \text{umplere} = 75\%$

$A_i = 18,55 \text{ RON} \rightarrow c_m = 13.96 \text{ RON} \rightarrow \text{masa} = 0.059 \text{ kg} \rightarrow \text{umplere} = 100\%$

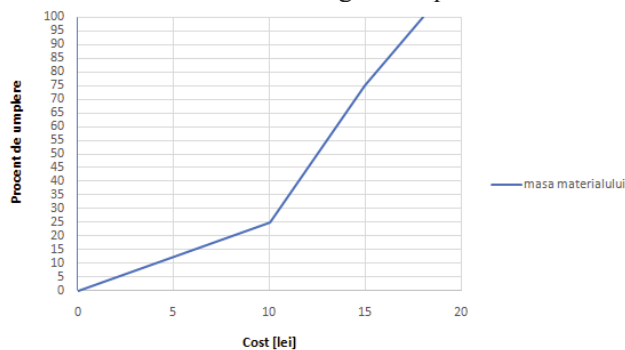


Fig. 6. Graficul variației costului materialului

În urma estimării costului analizei economice se optimizează procesul de producție cu ajutorul graficului din figura 6. În acest studiu, structura interioară este foarte importantă. Piesele care nu au un rol funcțional, pot fi produse cu un procent de umplere mic, reducând astfel costul.

6. Concluzii

Printarea 3D a făcut posibilă atât personalizarea produselor cât și fabricarea unor produse cu forme geometrice complexe imposibil de realizat prin tehnologiile convenționale la un preț convenabil. De asemenea, această tehnologie a permis atât realizarea prototipurilor cât și fabricarea produselor funcționale într-un timp foarte scurt ceea ce a făcut posibilă optimizarea proceselor tehnologice de fabricare a produselor cât și partea economică a acestora.

În prezenta lucrare, prin studiul costurilor cu fabricația prin tehnologia FDM în comparație cu injecția în matriță s-a observat diferența dintre costurile celor două tehnologii, printarea 3D permițând să se varieze gradientul de umplere. În funcție de rolul funcțional al piesei, s-a obținut o reducere a costurilor, nemodificând rolul funcțional sau structural al piesei. De asemenea, în cadrul figurii 6 din lucrare, în funcție de costul dorit pentru produsul dat, producătorul poate să decidă cu ajutorul acestui grafic, ce gradient de umplere să folosească. Pe viitor acest model se poate aplica pentru o gama largă de produse, iar ulterior pentru obținerea unui model matematic generalizat.

7. Bibliografie

- [1]. Napoleon Andrei și Elena Drăgulănescu, *Elemente tehnologice pentru prelucrările prin așchiere*, Editura Bren, București.
- [2] <https://ro.scribd.com/doc/58704817/Procesul-de-injectie>, accesat la 23.03.2020
- [3] <https://ro.scribd.com/document/177736463/1-Stabilirea-%C5%9Fi-analiza-rolului-func%C5%A3ional-al-pieseii>, accesat la 23.03.2020
- [4] <https://mould.ro/matrițe-injecție/>, accesat la 23.03.2020
- [5] <https://ro.wikipedia.org/wiki/Polipropilen%C4%83>, accesat la 31.03.2020
- [6] <https://www.twi-romania.com/ce-facem/intrebari-frecvente-faq/ce-este-fabricatia-aditiva-additive-manufacturing>, accesat la 31.03.2020
- [7] <https://www.f64.ro/imprimanta-3d-zortrax-m300-plus-wi-fi-300x300x300-fff-125044580/p>, accesat la 31.03.2020
- [8] <https://zortrax.com/filaments/z-hips/>, accesat la 08.04.2020
- [9] <http://www.print3dbucuresti.ro/aplicatii-printare-3d/print-3d-productie-publicitara/>, accesat la 08.04.2020
- [10] <http://www.print3dbucuresti.ro/aplicatii-printare-3d/print-3d-productie-publicitara/>, accesat la 08.04.2020
- [11] https://www.made-in-china.com/products-search/hot-china-products/Plastic_Mold.html?gclid=Cj0KCQjw7qn1BRDqARIsAKMbHDZPvxOaUXQ6qIa4yS-YqOMyRY-fmipWL8Kp4Hnx8BirkKp4G4yt3D0aAjR5EALw_wcB, accesat la 08.04.2020
- [12] <https://m.made-in-china.com/product/Pet-Bottle-Making-Preform-Injection-Molding-Machine-for-Pet-Bottles-874658355.html?fbclid=IwAR0T7yVZ4wFREzw1kaaVmTCp0ZB-fcMx-uE3NAIVrGE-PaMSB-Srgy9dWCs>, accesat la 23.03.2020