

ABORDAREA MODERNĂ PENTRU PROIECTAREA, REZILIENȚA ȘI FABRICAȚIA CAD/CAM/CAE A PRODUSELOR

Conf. univ. dr. **Radu CIOBANU**, Conf. univ. dr. **Oleg CIOBANU**,
Conf. univ. dr. **Iulian MALCOCI**, Conf. univ. dr. **Ion BODNARIUC**.

Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

REZUMAT. Prototiparea rapidă sau fabricarea aditivă cunoscută de obicei sub numele de imprimare 3D sau fabricare în straturi este o direcție care se dezvoltă rapid cu aplicații directe în tehnologia de fabricație. Articolul prezintă metodologia legată de posibilitățile de utilizare a tehnologiei de imprimare 3D pentru producerea prototipurilor sau modelelor reale (mecanismul diferențial în articolul dat) combinat cu abordarea modernă a metodologiei de predare în mediul ingineresc bazată pe conceptul economiei circulare. Principalele avantaje ale utilizării imprimării 3D rezultă în abilitățile sale de a obține și produce componentele cu reziliență necesară direct din modelul CAD, al cărui fișier este sursa de informații pentru generarea fișierului STL, care este necesar pentru a începe lucrul la imprimanta 3D. Lucrarea prezintă un exemplu de imprimare 3D folosind metoda FDM (Fused Deposition Modeling) și filament de plastic ABS din care sunt realizate piesele componente ale diferențialului, precedată de faza CAD (computer-assisted design) în software-ul SolidWorks și completată cu asamblarea. faza transmisiei diferențiale. S-a subliniat că procesul de imprimare 3D a fost dezvoltat cu software CAM bazat pe model CAD.

Cuvinte cheie: Economia circulară, CAD (Computer-Aided Design), CAM (Computer-Aided Manufacturing), imprimare 3D, metoda FDM, software SolidWorks, transmisie diferențială.

ABSTRACT. Rapid prototyping or additive manufacturing usually known as 3D printing or layer manufacturing is a very rapid direction of development regarding manufacturing technology. The article presents step by step methodology on the possibilities to use 3D printing technology for the production (fabrication and assembling) of prototype related to modern approach for engineering teaching methodology related to concept of circular economy. The main advantages of using 3D printing result in its abilities to obtain and produce directly needed components from CAD model, whose file is the information source for generating STL (Standard Triangulation Language) file, which is needed to start working on 3D printer. The paper presents an example of 3D printing using FDM (Fused Deposition Modeling) method and ABS plastic filament from which the component parts of the differential are made, preceded by the CAD (computer-assisted design) phase in SolidWorks software and completed with the assembly phase of the differential transmission. It has been pointed out that the 3D printing process were developed with CAM software based on CAD model.

Keywords: Circular economy, CAD (Computer-Aided Design), CAM (Computer-Aided Manufacturing), 3D printing, FDM method, SolidWorks software, Differential transmission.

1. INTRODUCERE

Conceptele de Computer Aided Design (CAD) și Computer Aided Manufacturing (CAM) legate de proiectarea produselor de fabricație datează din anii șaizeci ai secolului trecut. Astfel, în timpul proiectării conceptuale a produsului folosind CAD/CAM, inginerul trebuie să selecteze și să asigure realizarea pieselor geometrice respectând calitatea și toleranțele suprafețelor, ținând cont atât de costul, cât și de timpul necesar pentru fabricarea produsul final și, după caz, posibilitatea de a asambla piesele într-un ansamblu funcțional.

În prezent, pentru fabricarea formelor complexe, tehnologiile și sistemele CAD/CAM sunt folosite foarte des, iar cea mai nouă tendință în dezvoltarea

tehnologiilor de fabricație se bazează pe imprimarea 3D și prototiparea rapidă [1,2].

Prototiparea rapidă sau fabricarea aditivă cunoscută de obicei sub numele de imprimare 3D sau fabricare în straturi este o direcție care se dezvoltă rapid cu aplicații directe în tehnologia de fabricație. [1].

Articolul prezintă metodologia legată de posibilitățile de utilizare a tehnologiei de imprimare 3D pentru producerea prototipurilor sau modelelor reale (mecanismul diferențial în articolul dat) combinat cu abordarea modernă a metodologiei de predare în mediul ingineresc bazată pe conceptul economiei circulare. Principalele avantaje ale utilizării imprimării 3D rezultă în abilitățile sale de a obține și produce componentele necesare direct din

modelul CAD, al cărui fișier este sursa de informații pentru generarea fișierului FTL, care este necesar pentru a începe lucrul la imprimanta 3D.

2. ASPECTE CAD/CAM/CAE

Este greu de imaginat și chiar de neconceput inginerie mecanică modernă fără proiectarea asistată de calculator CAD/CAM/CAE. Un prim pas în stăpânirea metodelor de proiectare asistată de calculator este învățarea procedurilor de bază pentru desenul tehnic. În acest domeniu sunt cunoscute diverse programe care includ elemente de desen, dimensiuni, toleranțe și ajustări, proprietățile materialelor utilizate, precum: AutoCAD, Solid Edge, SolidWorks, CATIA etc. Avantajele oferite de software-ul CAD/CAM/CAE sunt descrise mai jos. [2]:

- Precizie ridicată a desenelor de execuție și ansamblu;
- Viteză mare de execuție și desene de ansamblu;
- Posibilitate de editare a desenelor sau modelelor 3D;
- Efectuarea calculelor ingineresti, optimizarea constructivă și funcțională a produsului final;
- Creșterea productivității inginerului;
- Integrarea rapidă a procesului de proiectare (CAD) cu procesul de fabricație (CAM), prin format de fișier STL, care este necesar pentru a începe lucrul la imprimanta 3D.

Pentru procesul CAD din lucrarea noastră am folosit SolidWorks® 3D Mechanical CAD și/sau Simulation Licensed Software Education Edition [3].

Proiectarea asistată de calculator urmează în mare măsură aceleași metode și procese tradiționale: selectăm formatul desenului, unitățile de măsură, scara și apoi trecem la crearea geometriei necesare pentru piesele 3D de prototip sau produs final, în cazul nostru transmisie diferențială.

Ideea motivațională a acestei lucrări nu este doar de a proiecta ceva teoretic, ci, în final, de a aduce la viață conceptul nostru – o transmisie diferențială funcțională.

Deoarece CAD facilitează procesul de producție prin transmiterea informațiilor esențiale despre produse într-o formă automatizată care poate fi utilizată cu ușurință de către personalul instruit sau mai puțin instruit, tot mai multe companii aleg CAD/CAM/CAE pentru a obține cea mai bună acuratețe, eficiență și creștere economică. Ca urmare, există o cerere tot mai mare de software CAD și de personal calificat (ingineri) care îl pot utiliza.

Totul pleacă de la principalele avantaje ale unui desen cad, procesul de editare este mai rapid decât metoda clasică (creion, riglă, hârtie). astfel, metoda cad reduce semnificativ timpul de proiectare și

permite simulări realiste, și în multe cazuri dispare necesitatea de a crea și testa prototipuri reale. integrarea cad cu cam face ca dezvoltarea produselor să fie și mai rapidă și mai eficientă. pe măsură ce cam stimulează și accelerează productivitatea, a devenit un instrument de vizualizare din ce în ce mai important înainte de începerea procesului de producție. acesta este motivul pentru care cad este utilizat în aproape orice industrie, cum ar fi construcția de mașini, industria auto, electronică, aerospațială, iar instruirea viitorilor specialiști cad devine din ce în ce mai importantă.

3. ECONOMIA CIRCULARĂ

Crearea dispozitivului real (transmitere diferențială) în scop didactic, s-a bazat: criteriul sustenabilității și modelul economic circular în concordanță cu obiectivele de dezvoltare durabilă propuse de Națiunile Unite.

Astfel sustenabilitatea sau durabilitatea este capacitatea sistemului de a exista continuu. Dezvoltarea de durată presupune asigurarea nevoilor actuale ale umanității, fără a compromite posibilitatea generațiilor viitoare de a-și asigura propriile nevoi.

La nivel local și global, în general, modelul economic actual este unul liniar, ne sustenabil, deși principiile sustenabilității încep să fie aplicate în țările dezvoltate economic. Ciclul de viață al majorității produselor include:

- etapele de exploatare și extragere (materie primă);
- producție (obiecte);
- utilizare (produse);
- eliminare (deșeuri).

Acest proces se caracterizează prin două efecte importante: suprautilizarea exploatarea resurselor naturale și poluarea.

Soluția de înlocuire a economiei liniare este modelul de economie circulară prezentat conceptual în figura 1. Modelul presupune reutilizarea, repararea și reciclarea produselor considerate deșeuri. Reciclarea elimină, cel puțin parțial, necesitatea exploatarea de noi resurse naturale, reducând implicit cantitatea de deșeuri generată. Economia circulară necesită proiectarea adecvată a produsului, ceea ce presupune o durată lungă de viață și o construcție care facilitează înlocuirea și reciclarea componentelor.

Conceptele de durabilitate și economie circulară sunt analizate amănunțit de Geissdoerfer et. toate [3].

În septembrie 2015, Adunarea Generală a Națiunilor Unite a adoptat Agenda 2030 pentru Dezvoltare Durabilă, care include 17 Obiective de Dezvoltare Durabilă. Bazându-se pe principiul „a nu lăsa pe nimeni în urmă”, noua Agendă subliniază o abordare holistică a

realizării dezvoltării durabile pentru toți. Pe baza acestora, sunt dezvoltate mai multe acțiuni pentru a le rezolva în special problemele globale ale umanității. De exemplu, obiectivul numărul 7 Energia accesibilă și curată trebuie să rezolve problema energetică care trebuie să fie curată și disponibilă pentru toată lumea. Obiectivul 12 Consumul și producția responsabilă implică producție și consum durabil. Astfel, până în 2030, să se realizeze managementul durabil și utilizarea eficientă a resurselor naturale, să reducă substanțial generarea de deșuri prin prevenire, reducere, reciclare și reutilizare, oriunde oamenii dețin informații relevante pentru o dezvoltare durabilă și stiluri de viață în armonie cu natura [4].

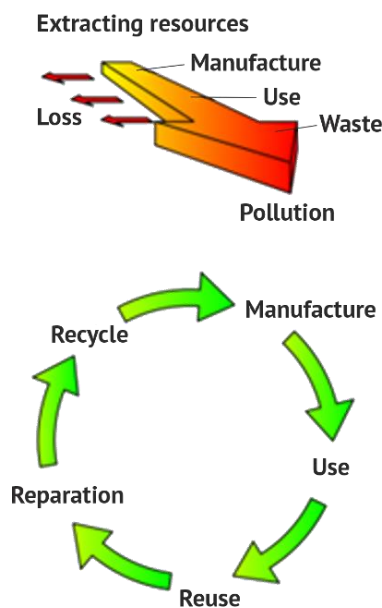


Fig. 1. Modelul linear și circular.

Utilizând principiile economiei circulare am început să căutăm dispozitive sau o parte din acestea care pot fi reciclate sau reutilizate pentru reparația sau fabricarea de produse noi. Deoarece în cadrul departamentului dispunem de un număr mare de stație de lucru (notebook) pentru CAD/CAM și imprimante EPSON sau CANON din care an de an sunt casate cam 2-3%, am decis să le demontăm și să le reutilizăm anumite părți din ele cum ar fi motoarele electrice, transmisii cu curele, transmisii cu roți dințate și alte părți componente care pot fi utilizate pentru proiectarea altor dispozitive mecanice.

Așa a luat naștere ideea de a combina economia durabilă și economia circulară cu procesul de design CAD și procesul de fabricație CAM prin imprimare 3D: unele piese vor fi refolosite, iar unele piese vor fi fabricate. Figura 2 prezintă o imprimantă EPSON L100 dezmembrată, din care am reutilizat motorul electric și transmisia prin curele, pentru a proiecta o nouă transmisie diferențială. Problema principală în această etapă, cel mai important aspect pe care trebuie

să îl stabilim sunt dimensiunile $L \times l \times h$ ale ansamblului.

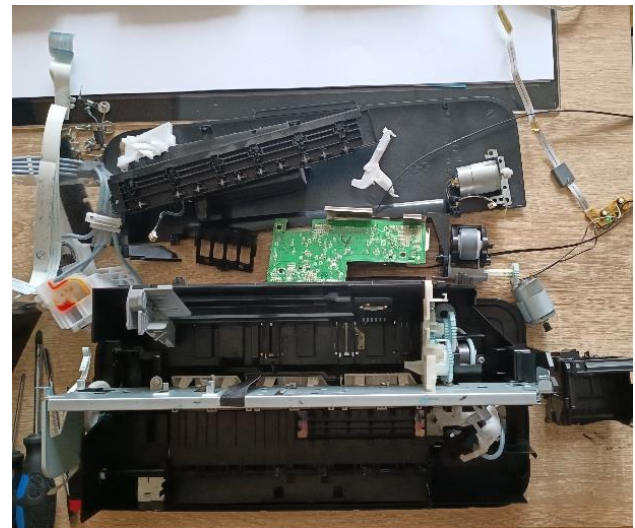


Fig. 2. Imprimantă dezmembrată EPSON L100.

4. PROCESE CAD

Procesul CAD/CAM este reprezentat de piesele reutilizate pe care le-am dezmembrat de la imprimanta EPSON L100: transmisie electrică și prin curea. Pornind de la aceste două componente stabilim dimensiunile principale $L \times l \times h$ ale transmisiei diferențiale viitoare conform figurii 3 dimensiunea preliminară principală pentru întregul dispozitiv va fi $295 \times 190 \times 144$ iar pentru transmisia diferențială va rămâne aproximativ $120 \times 120 \times 140$.

Transmișiile cu curea servesc la transmiterea mișcării de rotație și a cuplului de la arborele antrenat (roata curea $D_1 = 18$ mm) la cel antrenant (roata curea $D_2 = 124$ mm), cu raportul de transmitere $i \approx 6,88$ și la o anumită distanță. 129 mm în cazul nostru:

$$i = \frac{D_2}{D_1} = \frac{124 \text{ mm}}{18 \text{ mm}} \approx 6,88. \quad (1)$$

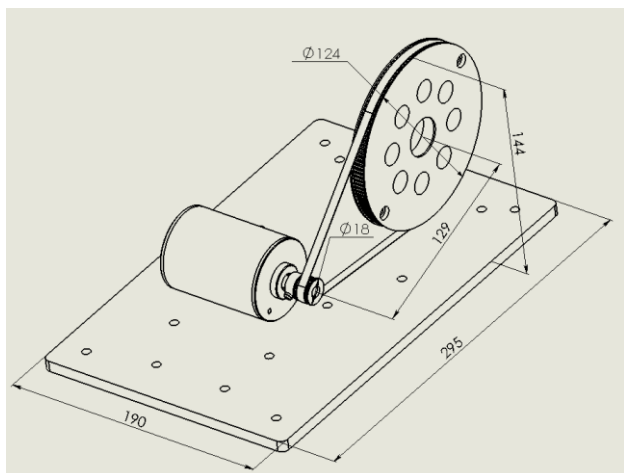


Fig. 3. Dimensiuni preliminare 295 x 190 x 144 .



Fig. 4. Transmisia prin curea reutilizată.

Cureaua dințată refolosită (figura 4), ne permite să menținem raportul de transmisie strict constant, iar aceste curele au o capacitate mare de tracțiune, funcționare silențioasă. Ele pot fi utilizate pentru transmisia puterii de până la 2 [kN] cu viteze cuprinse între 5 ... 25 [m/s].

Pentru proiectarea transmisiei diferențiale am ales 2K-H(-) Tipul conform Yu și Beachley, realizat din roți conice [5]. Pentru roata satelit adoptăm $z = 17$ iar pentru roțile centrale $z_a = z_b = 24$.

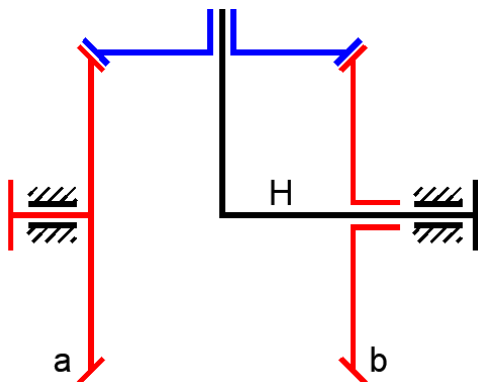


Fig. 5. 2K-H - tipul diferențialului [5].

Procesul CAD a fost realizat în software-ul licențiat SOLIDWORKS [6]. În figura 6 și figura 7 prezentăm procesul de proiectare a roții de satelit:

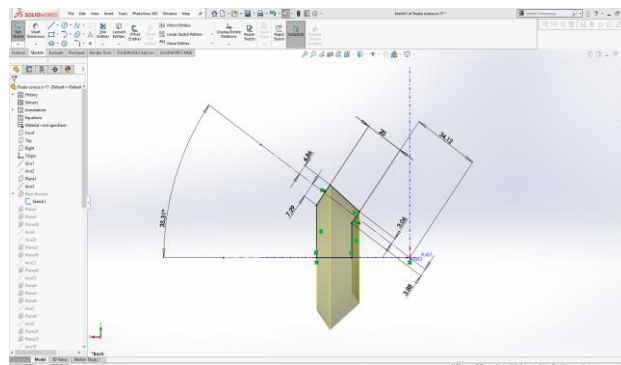


Fig. 6. Schița 2D .

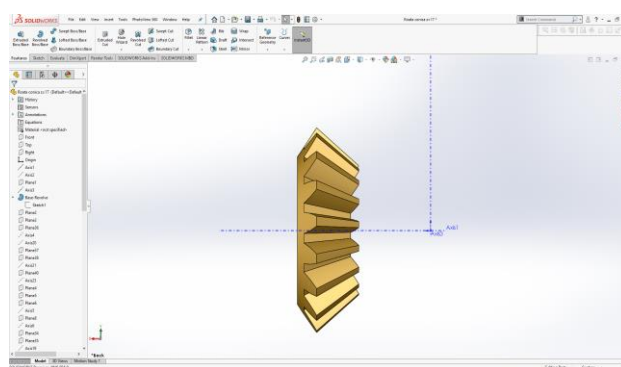


Fig. 7. Schița 3D.

Procesul CAD a durat aproximativ 5 zile lucrătoare, în care au fost proiectate părțile componente ale întregului dispozitiv final. Figura 8 prezintă versiunea finală a întregului ansamblu: transmisie diferențială, transmisie prin curea, motor electric care poate fi folosit ca generator și întrerupător pentru a schimba direcția de rotație și pentru a porni/opri energia electrică.

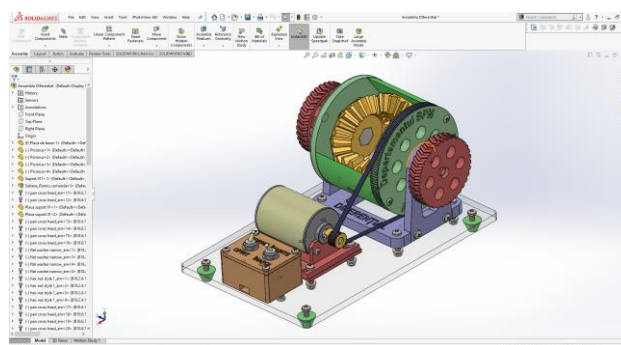


Fig. 8. Modelul final .

Pe lângă piesele refolosite și proiectate, s-au folosit și elemente standardizate precum rulmenți sau ansambluri filetate (șuruburi, piulițe, șaibe)m care pot fi vizualizate mai bine în vederea explodată a dispozitivului final (fig. 9).

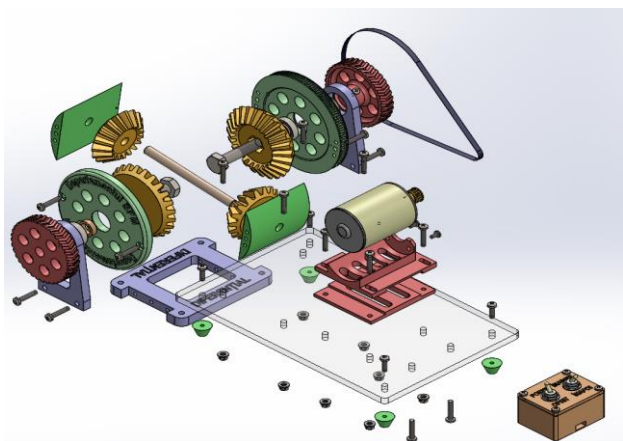


Fig. 9. Modelul explodat.

5. PROCESUL CAM (IMPRIMARE 3D) ȘI PROCESUL DE MONTARE

Tehnicile clasice de fabricație unde procesul este unul de îndepărtare a materialului, procese precum tăierea, găurirea și frezarea creează multe deșuri din moment ce materialul care este tăiat în general nu poate fi folosit pentru nimic altceva și este pur și simplu trimis ca resturi.

Pentru a putea aplica economia sustenabilă și circulară vom folosi o metodă de fabricație cunoscută sub denumirea de „fabricație aditivă”, datorită faptului că în loc să îndepărteze material pentru a crea o piesă, procesul adaugă material în straturi succesive.

În cazul nostru, tehnologiile de imprimare 3D sunt convenabile pentru sistemul CAD (Computer Aided Manufacturing) - CAM (Computer Aided Manufacturing). Programele CAD de astăzi oferă o gamă largă de posibilități de proiectare. În Fig. 10 a fost prezentat sistemul CAD-CAM utilizat în exemplul prezentat pentru a pregăti designul și codul G pentru producerea acestuia folosind o imprimantă 3D.

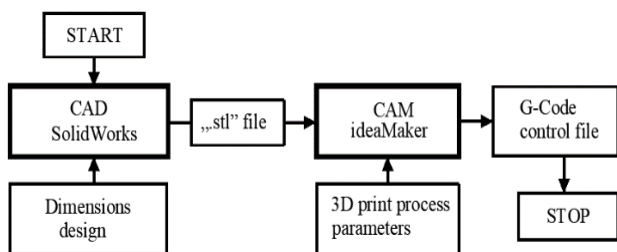


Fig. 10. Principiul CAD/CAM pentru prototiparea rapidă.

În acest caz, ca software CAD a fost folosit SolidWorks [6]. Ca componentă CAM, a fost folosit popularul software ideaMaker, software-ul de tăiere pentru imprimanta 3D desktop RAISE 3D E2 (Fig. 11). E2 este o imprimantă 3D desktop cu extrudere

duale independente (cunoscute și sub numele de IDEX). IDEX îi oferă lui E2 capacitatea de a efectua funcții mai avansate, cum ar fi modul oglindă și modul de duplicare, făcând această imprimantă ideală pentru imprimarea 3D profesională. Această imprimantă 3D desktop poate imprima cu o varietate de filamente diferite, iar designul său unic al angrenajului extruder îi permite să utilizeze materiale flexibile de imprimare 3D, cum ar fi ABS, mai fiabil și cu rezultate mai bune [7].



Fig. 11. Imprimanta 3D (RAISE 3D E2).

Materialele folosite pentru obținerea pieselor imprimate 3D este filamentul de plastic ABS pentru imprimante 3D, 1,75 mm diametru de la compania gembird®, cu punct de topire aproximativ 225 °C – 240 °C și densitate la 21,5 °C: 1,01 g/cm3 [8]

Înainte de procesul de imprimare 3D obținem formatul de fișier stl pentru a putea interacționa cu imprimanta 3D. STL este un format de fișier dezvoltat în 1987 de Charles Hall. Se crede că extensia sa de fișier, STL, este fie o abreviere a cuvântului „stereolithography”, fie un acronim pentru Standard Tessellation Language sau Standard Triangulation Language. Fișierul STL a făcut posibilă transferul unui model 3D de pe ecranul unui computer la o imprimantă 3D. Deși tipurile de fișiere mai noi pot oferi date mai detaliate, principalul beneficiu al STL este simplitatea sa. STL se bazează pe cod open-source și este disponibil gratuit, ceea ce înseamnă că oricine poate folosi, îmbunătăți sau partaja un fișier STL. Formatul său universal permite STL să lucreze cu aproape fiecare program software CAD și imprimantă 3D. Mai mult decât atât, grafica sa vectorială (triunghiulară) oferă scalabilitate fără nicio pierdere a rezoluției. Fișierul STL este poate cel mai important element din fluxul de lucru de imprimare 3D. Figura 12 prezintă procesul 3D de obținere a roții satelit teșite și roata obținută.

Dimensiunile adecvate ale pieselor de imprimare (dimensiunile din desen - figura 13) și dimensiunea reală a suprafeței imprimate au fost prezentate în Tabelul 1. Rugozitatea suprafețelor a fost măsurată cu

Instrumentul Taylor Hobson pentru măsurarea preciziei suprafeței. Precizia pieselor obținute a fost suficientă pentru a le monta și a asambla transmisia diferențială așa cum se arată în figura 14.



Fig. 12. Modele imprimare.

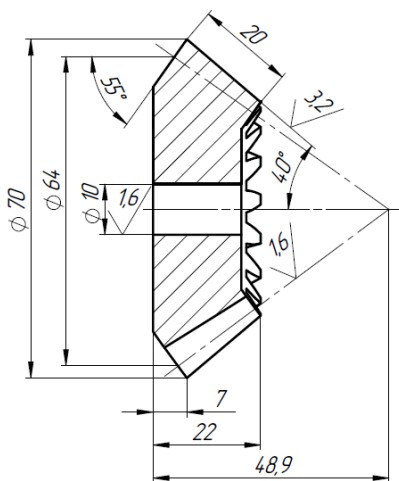


Fig. 13. Exemplu desen execuție.



Fig. 14. Modelul final asamblat și funcțional.

Tabelul 1. Dimensiunea teoretică și practică a pieselor imprimate 3D.

| Tipul dimensiunii | Dimensiune teoretică | Dimensiune măsurată | Diferența |
|-------------------|----------------------|---------------------|-----------|
| Gaură | $\varnothing 10$ | $\varnothing 10.2$ | +0.2 |
| Inner hole | Ra 1,6 | Ra 2.3 | +0.7 |
| Dinte interior | Ra 1,6 | Ra 2.6 | +1.0 |
| Dinte exterior | Ra 3.2 | Ra 2.7 | -0.5 |

5. CONCLUZII

Imprimarea 3D este un pas important în dezvoltarea tehnicilor de fabricație potrivite pentru sarcina de a construi prototipuri, soluții unice și activități de predare/învățare și asigurarea preciziei suficiente pentru asamblarea elementelor și obținerea unor dispozitive funcționale.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Mikolajczyk, T., Malinowski, T., Moldovan, L., Fuwen H., Paczkowski, T., Ciobanu, I. CAD CAM System for Manufacturing Innovative Hybrid Design Using 3D Printing. *The 12th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2018*, 4-5 October 2018, Tirgu Mures, Romania. ELSEVIER Procedia Manufacturing 32(2019) 22-28. Available Online at: www.sciencedirect.com or <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.178>
- [2] Bostan, I., et all. *Proiectarea asistată de calculator în Construcția de Mașini*. Editura „Tehnica-Info”, ISBN 9975-63-076-6, Chișinău, 2001.
- [3] Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., Hultink, E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm. *Journal of Cleaner Production*. Volume 143, 1 February 2017, Pages 757-768. doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048
- [4] #Envision 2030: Sustainable Development: 17 Goals to transform our world. United Nation Department of Economic and Social Affairs. Available online at: <https://www.un.org/development/desa/disabilities/envision2030.html>
- [5] Yu, D., Beachley, N. *Mechanical Efficiency of Differential Gearing*. *Gear Technology*, July/August 1986, 9-16 p. Available online at <https://www.geartechnology.com/ext/resources/issues/0786x/Yu.pdf>
- [6] SOLIDWORKS® 3D Mechanical CAD and/or Simulation Software Education Edition. License Serial Nr. 97100230 7762 2643 88G8P88H. SW2018 © Dassault Systèmes.
- [7] RAISE 3D E2 desktop 3D printer with independent dual extruders (or also known as IDEX). Online information about 3D printer available at: <https://www.raise3d.com/e2/>
- [8] ABS plastic filament for 3D printers, 1.75 mm diameter from gembird® company. <https://gembird.com/products.aspx?sg=285>

Despre autori

Conf. univ. dr. **Radu CIOBANU**, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi, radu.ciobanu@bpm.utm.md, Chișinău, Republica Moldova, str. Studenților 9/8, of. 414

Conf. univ. dr. **Oleg CIOBANU**, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi, oleg.ciobanu@bpm.utm.md, Chișinău, Republica Moldova, str. Studenților 9/8, of. 414

Conf. univ. dr. **Iulian MALCOCI**, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi, iulian.malcoci@bpm.utm.md, Chișinău, Republica Moldova, str. Studenților 9/8, of. 208

Conf. univ. dr. **Ion BODNARIUC**, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi, ion.bodnariuc@bpm.utm.md, Chișinău, Republica Moldova, str. Studenților 9/8, of. 421