



A XIX-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”,
CLUJ NAPOCA, 2019

PERSPECTIVE INGINEREȘTI IMPRESIONANTE **Partea I-a**

Mircea BEJAN, Ioana BĂLAN, Barbu BEJAN,
Ioan VIDICAN, Ioan Aurel CHERECHEȘ

PERSPECTIVE IMPRESSIVE ENGINEERS – Part I

Over the past 150 years technology has advanced more than ever predicted history of technology. For example, 3D prototyping / printing has become a widely-appreciated and widely used phenomenon. This is a simple and fast manufacturing process, a technique that allows engineers to overcome certain design difficulties in just a few hours, compared to a few weeks that would take traditional methods. Through this technology, engineering sciences, design and technical research are undergoing transformation and the special materials industry will open up a huge fan of possibilities. With 3D technology, an idea goes directly from the design phase to the execution phase, escalating beyond the traditional stages of product manufacturing.

The paper systemizes some of the major 3D printing technologies, presenting tabular, focusing on the advantages, disadvantages and application domains of these technologies. And in Romania, the prospect of expanding the home use of 3D printers open to prosumerators (users acting both as producers and consumers). The 3D equipment maker will create the right legal framework for the commercialization of 3D technology only compatible with the processing of non-hazardous materials. The 3D printer user will be granted access to a type of 3D technology limited by software specifically designed by manufacturers for civil use.

And so with the advent of this technology, a new chapter in jurisprudence will soon be written in Romania. But until then, Romania is only taking the first steps in this area.

Keywords: 3D prototyping/printing, FDM-Thermoplastic Extrusion Modeling, SLA-Stereolithography, DLP-Digital Light Exposure, SLS-Selective

Laser Sintering, Laser-SLM-Melting, 3DP- Laminated Layer Manufacturing, PolyJet PJP Printing with Photopolymers, 3D Printed House Construction

Cuvinte cheie: prototiparea/printarea 3D, FDM–Modelare prin Extrudare Termoplăstică, SLA–Stereolitografie, DLP–Expunerea digitală a luminii, SLS–Sinterizare Laser Selectivă, SLM–Sinterizare (Topire) Laser a Metalelor, 3DP–Printare inkjet tridimensională, LOM–Fabricare Stratificată prin Laminare, PJP–Printare PolyJet cu Fotopolimeri, construcții de case imprimate 3D

1. Aspecte generale

În ultimii 150 de ani tehnologia a avansat mai mult decât a prezis vreodată istoria tehnicii. Industria inginerescă adoptă noi tehnologii și procese, tehnologia evoluând astfel încât să corespundă nevoilor sociale și medicale corespunzătoare timpului prezent. În ultima vreme, prototiparea/printarea 3D a devenit un fenomen de amploare la scară globală, apreciat și foarte folosit. Aceasta este un proces de fabricație simplu și rapid, o tehnică ce le permite inginerilor să depășească anumite dificultăți în materie de design în doar câteva ore, față de câteva săptămâni cât ar dura folosind metodele tradiționale.

Aflată în plină fază de dezvoltare, tehnologia 3D deschide un nou capitol în istoria științei și tehnicii, a legislației, relațiilor economice și sociale, devenind o metodă utilizată într-o largă varietate de domenii, începând cu industria auto până la medicina foarte avansată, zonele de aplicabilitate ale acestei tehnologii fiind multiple. Științele ingineresti, proiectarea și cercetarea tehnică sunt în curs de transformare iar industria materialelor speciale își va deschide evantaiul de posibilități prin această tehnologie.

Să ne reamintim că în anul 2011, medicii olandezi au lucrat cu un grup de ingineri pentru a proiecta o mandibulă imprimată 3D pentru o femeie de 83 de ani, care suferea de o infecție cronică osoasă. Iar în anul 1992, primul aparat stereolitografic (sau aparat SLA) a fost produs de sistemele 3D.

Prototiparea rapidă (Rapid Prototyping) reprezintă o tehnologie utilizată la fabricarea obiectelor fizice direct din fișiere generate într-un program de proiectare asistată de calculator (CAD).

În prezent sunt disponibile mai multe tehnologii, având în comun faptul că geometria produsului se creează prin depunerea de straturi succesive, deci prin adăugare de material, contrar metodelor clasice, cum ar fi frezarea sau strunjirea, prin care obiectele sunt generate prin eliminare de material. Alături de celelalte tehnologii avansate, tehnologia

3D va modifica structura economiei mondiale, însemnând mai mult decât prototipare și machetare, aceasta evoluând de la prelucrarea plasticului și a materialelor simple la prelucrarea titanului sau a cartilajului uman. Curba de evoluție a capacităților hardware pentru 3D printing a condus la transformarea acestor materiale în mecanisme complexe, baterii și tranzistori sau chiar părți ale corpului uman.

Prin tehnologia 3D, o idee trece direct din faza de design la faza de execuție traversând peste etapele tradițional consacrate în fabricarea unui produs.

Prin folosirea modelelor generate în format digital, și executate cu ajutorul tehnologiei 3D, anumite specializări din cadrul procesului de producție nu vor mai fi necesare. Oamenii formați pe modelul vechii economii pot fi brusc plasați în afara meseriei lor și a lucrurilor învățate. Perspectiva unei economii neperformante și a unor mișcări sociale va pune presiune pe recalibrarea sistemului de educație la noua economie și reconfigurarea sectorială a economiilor tuturor țărilor.

Aceste tehnologii sunt deja studiate și testate, iar domeniile în care ar putea fi aplicate sunt nenumărate. Imaginați-vă o țeavă hidraulică care se poate repara singură în cazul în care suferă anumite accidente; pregătiți-vă să purtați o pereche de pantofi care în momentul în care începeți să alergați se transformă în pantofi de alergat sau care devin impermeabili în momentul în care începe să plouă. Posibilitățile oferite de această tehnologie sunt imense și cu o aplicabilitate largă, în toate aspectele vieții de zi cu zi.

Și în România, perspectiva extinderii utilizării casnice a imprimantelor 3D deschide era prosumatorilor (utilizatori care acționează atât în calitate de producători cât și de consumatori). Producătorului de echipamente 3D i se va crea cadrul legal potrivit pentru comercializarea doar a tehnologiei 3D compatibilă cu prelucrarea materialelor nepericuloase.

Utilizatorului imprimantei 3D i se va permite accesul la un tip de tehnologie 3D limitat de soft-urile special concepute de producători pentru uz civil. Și astfel, odată cu apariția acestei tehnologii, în România se va scrie curând un nou capitol în jurisprudență.

De exemplu, în cazul economiei Germaniei, pentru care cunoașterea înregistrează o importanță de 93 % comparativ cu 75 % importanța produsului, apariția acestei tehnologii va avea un impact de scală diferită față de SUA, unde cunoașterea înregistrează o importanță de 72 % în raport cu 80 % importanța produsului, ca urmare a ponderii între sectoarele de servicii și cele de producție.

2. Tehnologiile de prototipare/printare 3D la fabricarea obiectelor fizice

În ultima vreme, prototiparea/printarea 3D a devenit un fenomen de amploare la scară globală, apreciat și foarte folosit. Aceasta este un proces de fabricație simplu și rapid, o tehnică ce le permite inginerilor să depășească anumite dificultăți în materie de design în doar câteva ore, față de câteva săptămâni cât ar dura folosind metodele tradiționale. Printarea 3D a devenit o metodă utilizată într-o varietate de domenii, începând cu industria auto până la medicina foarte avansată.

- **PROTOTIPAREA RAPIDĂ** (Rapid Prototyping) reprezintă o tehnologie utilizată la fabricarea obiectelor fizice direct din fișiere generate într-un program de proiectare asistată de calculator (CAD). În prezent sunt disponibile mai multe tehnologii, având în comun faptul că geometria se creează prin depunerea de straturi succesive, deci prin adăugare de material, contrar metodelor clasice, cum ar fi frezarea sau strunjirea, prin care obiectele sunt generate prin eliminare de material. Aflată în plină fază de dezvoltare, tehnologia 3D deschide un nou capitol în istoria științei și tehnicii, a legislației, relațiilor economice și sociale. Alături de celelalte tehnologii avansate, aceasta va modifica structura economiei mondiale. Tehnologia 3D înseamnă mai mult decât prototipare și machetare. Aceasta evoluează de la prelucrarea plasticului și a materialelor simple la prelucrarea titanului sau a cartilajului uman.

Curba de evoluție a capacităților hardware pentru 3D printing a condus la transformarea acestor materiale în mecanisme complexe, baterii și tranzistori sau părți ale corpului uman. De la industria aviatică și până la medicină, zonele de aplicabilitate ale acestei tehnologii sunt multiple. Științele ingineresti, proiectarea și cercetarea tehnică sunt în curs de transformare iar industria materialelor speciale își va deschide avantajul de posibilități prin această tehnologie.

Prin tehnologia 3D, o idee trece direct din faza de design la faza de execuție escaladând peste etapele tradițional consacrate în fabricarea produsului. Astfel, prin folosirea modelelor generate în format digital și executate cu ajutorul tehnologiei 3D, anumite specializări din cadrul procesului de producție nu vor mai fi necesare. Oamenii formați pe modelul vechii economii pot fi brusc plasați în afara meseriei lor și a lucrurilor învățate. Perspectiva unei economii neperformante și a unor mișcări sociale va pune presiune pe recalibrarea sistemului de educație la noua economie și reconfigurarea sectorială a economiilor tuturor țărilor.

* * *

Sunt sistematizate unele din principale tehnologii de printare 3D, tabelul 1 prezentând concentrat avantajele, dezavantajele și domeniile de aplicație ale acestor tehnologii.

Tabelul 1

Avantaje	Dezavantaje	Aplicații
FDM – Fused Deposition Modeling – Modelare prin Extrudare Termoplastică		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tehnologie office-friendly, silențioasă și sigură; pot fi produse obiecte și piese utilizabile, paletă destul de largă de materiale. ▪ Preț extrem de accesibil al printerelor 3D (kituri și modele asamblate) precum și al consumabilelor (role cu filamente plastic). ▪ Tehnologie simplă de producție care înseamnă și ușurință în utilizare. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Viteză mică de construcție în cazul unor geometrii mai complexe, posibilitatea existenței unor zone neuniform printate (layere nelipite), impermeabilitate redusă, rezoluție și acuratețe slabă pentru piese mici și detalii fine (microni). ▪ Dezavantaje pentru kituri și printere 3D de tip hobby: durata mare de asamblare și calibrare (kituri), calitatea printului este variabilă, rata mare de rebuturi (la început), viteza foarte mică de construcție pentru piese complexe, piese limitate ca dimensiuni datorită deformărilor în printare, zone neuniform printate (layere nelipite). 	<p>Piese și subansamble rezistente pentru testare funcțională, design conceptual, modele de prezentare și marketing, piese de detaliu pentru aplicații alimentare sau medicale, subansamble din plastic pentru aplicații la temperaturi înalte, producții de serie foarte mică. Forme de turnare. Prototiparea matricelor (schele structurale) pentru aplicații medicale de ingineria țesuturilor, prototipare rapidă a pieselor și sculelor de mici dimensiuni. Aplicații kituri și printere 3D de tip hobby: design conceptual piese simple cu acuratețe scăzută, printare de tip hobby (1-2 piese/zi).</p>
SLA – Stereolithography – Stereolitografie		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prototiparea de piese de geometrii complexe și extrem de detaliate, suprafețe printate foarte fine și precise, mărimi mari de construcție a pieselor, 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rezistență medie la prelucrări mecanice, nedurabilitate în timp, expunerea lungă la soare deteriorează piesele care devin 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Piese și componente extrem de detaliate, ▪ modele finisate pentru prezentări de marketing, ▪ testare fizică a formei,

<p>piesele printate pot fi utilizate ca matriță master pentru industriile de turnare prin injecție (injection molding), termoformare, turnare metale, rezistența la temperaturi înalte a pieselor fabricate.</p>	<p>fragile și casante, necesită operațiuni deranjante de post-procesare (cu substanțe chimice posibil periculoase).</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cost mare al printerului, suprafața nu este extrem de finisată (în comparație cu SLA), detalii nu extrem de fine (în comparație cu SLA), prototipuri poroase (unele). ▪ Rășinile lichide pot fi toxice, ventilație obligatorie. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ modele de producție rapidă a sculelor (rapid tooling), ▪ aplicații rezistente la temperaturi înalte, ▪ matrițe master de turnare.
<p>DLP – Digital Light Processing – Expunerea digitală a luminii</p>		
<p>Suprafețe printate fine și precise (utilizare în industria bijuteriilor, tehnica dentară, electronică), prototipuri destul de rezistente pentru prelucrare, gamă diversă de rășini inclusiv materiale bio-medicale (certificate pentru utilizare în domeniul medical) și rășini transparente (prototipuri în industria ambalajelor), printare stabile cu puține părți în mișcare. Tehnologia permite prototipare pieselor de geometrii complexe și detaliate, viteză mare de printare pentru geometrii complexe și printare simultană a mai multor piese (productivitate mare). Piesele printate pot fi</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Materiale de construcție mai scumpe, ▪ preț printare mai mare (pentru volume mari), ▪ necesită operații de post-procesare (întărire UV, ▪ îndepărtarea materialului suport), ▪ necesită manipularea rășinilor (deranj în mediul office). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prototipuri rezistente pentru testare funcțională, ▪ prototipuri și modele fine, precise (bijuterii, modele dentare, modele electronice), ▪ prototipuri cu geometrii complexe; ▪ fabricare serii mici de modele în medicină (proteze auditive, restaurări dentare, implanturi medicale), ▪ prototipuri și modele în media (animație, cinema, etc.), ▪ modele de turnare bijuterii, scule și unelte, ▪ piese și componente în industria auto și aerospațială.

<p>utilizate ca matrițe master pentru industriile de turnare prin injecție (injection molding), termoformare, turnare metale.</p>		
<p>SLS – Selective Laser Sintering – Sinterizare Laser Selectivă</p>		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acuratețe bună a modelului 3D, paletă largă de materiale, piese fabricate rezistente, posibilitatea construcției unor geometrii extrem de complexe fără material suport, flexibilitate a modelelor printate (pot fi utilizate ca modele finale sau modele de testare), (unele materiale) nu necesită post-procesare. ▪ Piese fabricate rezistente la temperaturi înalte. ▪ Nu necesită operațiuni de post procesare (întărire, îndepărtare suport etc.) dacă nu se dorește întărirea mecanică. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tehnologie scumpă care se traduce în cost mare și dimensiuni mai mari ale printerului, materiale de printare scumpe, suprafață mediu finisată (în comparație cu SLA), detalii medii ca finețe (în comparație cu SLA), prototipuri poroase care pot necesita operațiuni adiționale de întărire. ▪ Timp de răcire mare după printare pentru obiecte mari. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Piese rezistente pentru testare funcțională, ▪ testare la temperaturi înalte, ▪ piese cu balamale și subansamble de incastrare, ▪ producții de serie mică, ▪ modele de turnare.
<p>SLM – Selective Laser Melting/Direct Metal Laser Sintering – Sinterizare (Topire) Laser a Metalelor</p>		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acuratețe bună a modelului 3D, ▪ paleta de materiale speciale metalice, ▪ piese fabricate rezistente, ▪ posibilitatea construcției unor geometrii organice sau extrem de complexe, ▪ piese ușoare (industria aerospațială, medicină), ▪ flexibilitate a modelelor printate (pot fi utilizate ca 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tehnologie scumpă care se traduce în cost mare și dimensiuni mai mari ale printerului, materiale de printare speciale și scumpe, prototipuri care pot necesita operațiuni adiționale de întărire. 	<p>Prototipuri rezistente pentru testare funcțională; Piese de geometrii organice, complexe și structuri cu pereți subțiri și goluri sau canale ascunse; Piese metalice complexe din materiale speciale produse în serie mică; Forme hibride în care geometrii solide/</p>

<p>modele finale sau modele de testare).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Timp de răcire mare după printare pentru obiecte mari. 	<p>parțiale/tip zăbrele pot fi realizate împreună pentru crearea unui singur obiect (exemplu: implanturi ortopedice în care integrarea osoasă este sporită de geometria suprafeței).</p>
<p>3DP – Printare injket tridimensională Printare tridimensională</p>		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Viteză mare de printare, materiale nu foarte scumpe; prototipuri 3D printate full color cu impact vizual maxim. ▪ Funcționare silențioasă a printerelelor 3D, echipamentele pretabile în mediul office. 	<p>Modele 3D destul de fragile, necesită întărire prin infiltrare pentru îmbunătățirea rezistenței mecanice. Rezoluție și suprafețe medii ca nivel de finisare. Gamă de materiale limitată. Manipularea pulberilor, curățarea piesei și infiltrarea pentru întărire pot genera praf și deranj în mediul office.</p>	<p>Printarea color are aplicabilitate în multe domenii unde aspectul vizual are importanță maximă: arhitectură, design conceptual, modelele marketing, vizualizare științifică, educație.</p>
<p>LOM – Laminated Object Manufacturing – Fabricare Stratificată prin Laminare</p>		
<p>Materiale de printare foarte ieftine (hârtie A4 obișnuită); acuratețe și precizie destul de bună, permite printarea modelelor mai mari care nu au detalii complicate. Prototipuri 3D printate full color cu impact vizual maxim. Echipamentele pretabile în mediul office (fără praf, substanțe chimice, operațiuni periculoase de post-procesare).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gamă limitată de materiale, proprietăți slabe ale materialelor, materialul nefolosit trebuie îndepărtat manual, pierderi de material destul de mari (restul neutilizat al colii se aruncă). ▪ Volume de printare limitate. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Testare fizică a formei, modele 3D voluminoase (al căror cost de producție trebuie să fie mic), piese nu extrem de detaliate. ▪ Printarea color are aplicabilitate în multe domenii unde aspectul vizual are importanță maximă: arhitectură, design conceptual, modelele marketing, vizualizare științifică, educație.

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Servicii tip pay-per-print (datorită costurilor mici de printare).
PJP – PolyJet Printing – Printare PolyJet cu Fotopolimeri		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acuratețe și precizie extrem de bună, suprafețe printate fine și precise ce nu mai necesită prelucrare ulterioară, modele 3D cu detalii complexe, prototipuri 3D printate din materiale multiple cu proprietăți fizico-mecanice multiple. ▪ Gamă variată de materiale de printare cu proprietăți mecanice diferite. ▪ Echipamentele pretabile în mediul office (fără praf, substanțe chimice, operațiuni periculoase de post-procesare). Tehnologie eficientă din punct de vedere al costurilor pentru piese mici. ▪ Nu necesită operațiuni ulterioare de întărire a modelului 3D printat. ▪ Operațiuni ușoare de post-procesare (îndepărtarea materialului suport). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Piesele nu rezistă bine la temperatură; cost destul de mare al materialului de construcție, neeficient economic pentru piese de dimensiuni mai mari. ▪ Operațiunile ulterioare de îndepărtarea materialului suport nu sunt atât de curate și nu se pretează în mediul office. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Piese și subsansamble rezistente pentru testare funcțională, design conceptual, modele de prezentare și marketing, piese de detalii pentru diverse aplicații, producții de serie foarte mică. ▪ Forme de turnare. ▪ Prototiparea rapidă a pieselor și sculelor de mici dimensiuni cu caracteristici complexe. ▪ Matrițe master pentru piese turnate din uretan.

Observații: În ultima vreme, prototiparea/printarea 3D a devenit un fenomen de amploare la scară globală, apreciat și foarte folosit în special de ingineri. Printarea 3D este cunoscută și sub alte denumiri, mai mult sau mai puțin similare, precum fabricație aditivă AM (additive manufacturing), fabricare rapidă RM (rapid manufacturing) sau

prototipare rapidă RP (rapid prototyping)¹. Alte denumiri mai puțin uzuale sunt fabricare digitală (digital manufacturing), fabricare digitală (digital fabrication), fabricare în straturi (layered manufacturing) sau fabricare DMF (desktop manufacturing).

Înființată în 2003, Z SPOT MEDIA este specializată în importul și distribuția de echipamente profesionale pentru producție publicitară, digitizare documente și cărți, soluții scan-copy-print și finisare large format. Din 2010 a fost creat un nou departament dedicat echipamentelor 3D - printere pentru educație/prototipare industrială și scanere pentru inginerie inversă. Showroom & Office: Bd. Timișoara nr. 84 (incinta COMET), Sector 6, București, 061334.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bejan, M., *Ingineria – artă sau meșteșug*, vol. 4, Editura AGIR, București, 2019 și Editura MEGA, Cluj Napoca, 2019, 960 pagini.
[2] * * * colecția *Știință și Inginerie*, 2001-2018, editor Bejan, M., Editura AGIR București și Editura MEGA Cluj Napoca.
[3] Bejan, M., *În lumea unităților de măsură*, ediția a doua revăzută și adăugită. Editura Academiei Române și Editura AGIR, București, 2005, 186 pagini.

Prof.univ.em.Dr.Ing. DHC Mircea BEJAN
Membru de onoare al Academiei de Științe Tehnice din România,
Universitatea Tehnică din Cluj Napoca,
președintele Filialei Cluj a Asociației Generale a Inginerilor din România e-mail:
Mircea.Bejan@rezi.utcluj.ro
Ing. Ioana BĂLAN
membru AGIR, Metz, Franța
Prof. Barbu BEJAN, Paris, Franța
Dr.Ing. Ioan VIDICAN
e-mail: ionvidi@yahoo.com, Cluj Napoca, membru AGIR
Șef lucr. Dr.Ing. Ioan Aurel CHERECHEȘ
Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, Prefectul județului Cluj, Editor și
Webmaster @ www. Stiintasi Inginerie.ro, membru AGIR
e-mail: relu_chereches@yahoo.ro

¹ Parte din aspectele expuse, se bazează în principal pe elemente din <http://www.zspotmedia.ro/blog/printare-3d/>, apreciind deosebit modul de prezentare, descriere, sistematizare și calitatea informațiilor.