



European 3D Printing  
Polymer Operators

## Procesul Extrudare de material (MEX)

CU-B



Cofinanțat de  
Uniunea Europeană

Acest proiect a fost finanțat cu suportul Comisiei Europene. Această publicație reflectă exclusiv opiniile autorului, și Comisia nu poate fi considerată responsabilă pentru orice utilizare a informațiilor pe care le conține.  
ERASMUS+: 2021-1-CZ01-KA220-VET-000033007.

  
EAGLE



# Scop și obiective învățare

<b>Scopul modulului:</b>	Să echipeze cursanții cu cunoștințe de bază privind procesul Extrudare de material (MEX)
<b>Nr. ore de contact recomandate</b>	3.5 h
<b>Număr total ore:</b>	7 h
<b>Rezultatele învățării</b>	
<b>Cunoștințe</b>	<p>Cunoștințe factuale generale despre:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Procesul Extrudare de material (MEX) și principiile sale.</li><li>• Materiale polimerice, caracteristicile și efectele acestora asupra fabricației aditive prin MEX</li><li>• Potențialul și limitele materialelor polimerice folosite în MEX</li></ul>
<b>Competențe</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Recunoașterea avantajelor și limitărilor MEX în raport cu alte procese AM cu polimeri, inclusiv aplicabilitatea acestuia în funcție de caracteristicile procesului</li><li>• Identificarea principalelor componente ale echipamentelor MEX</li><li>• Identificarea materialelor polimerice pentru aplicațiile MEX</li></ul>



# Schema de prezentare

Secțiunea	Conținut
Secțiunea 2.1	Prezentare generală a procesului MEX
Secțiunea 2.2	Prezentare generală a materialelor polimerice, a proprietăților și aplicațiilor acestora

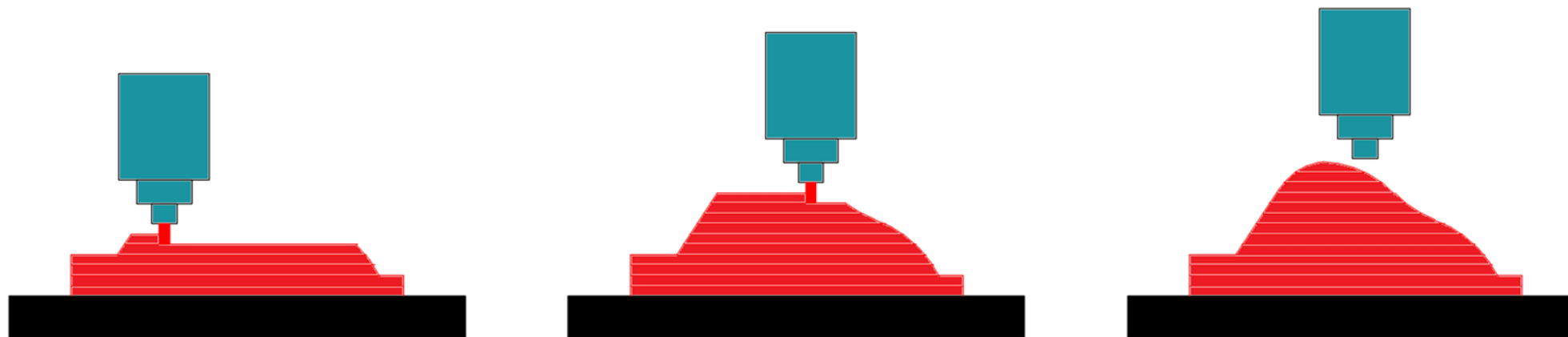
## 2.1 Prezentare generală a procesului MEX



## Definiția MEX

Conform ISO 17296-2, **extrudarea de material (MEX)** este un proces de fabricație aditivă (AM) în care "materialul este distribuit selectiv printr-o duză sau un orificiu".

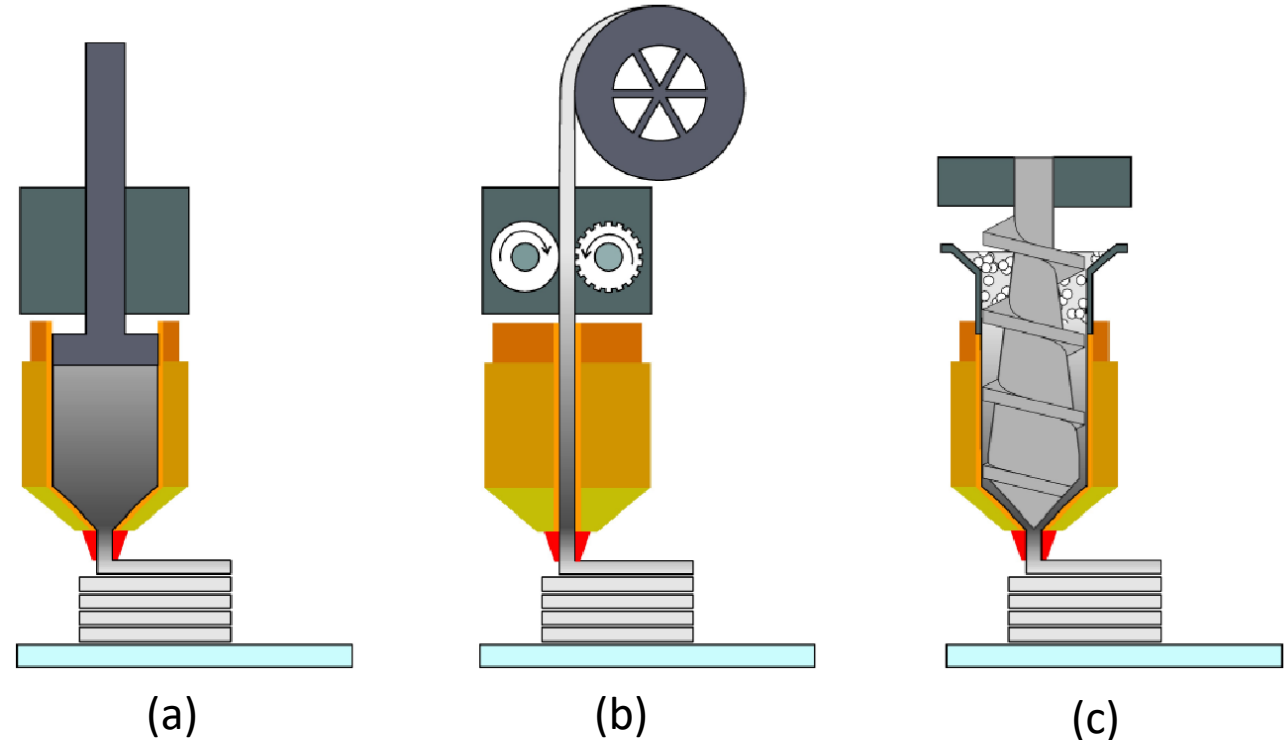
Piesa este fabricată prin depunerea de straturi succesive de polimer (topit sau semi-topit), materiale păstoase, soluții polimerice sau dispersii.



## Variante

Procesele MEX pot fi clasificate în funcție de metoda de extrudare utilizată:

- Pe bază de piston sau de seringă (a)
- Pe bază de filament (b)
- Pe bază de șurub (c)



*Gonzalez-Gutierrez J. et al,*  
<https://doi.org/10.3390/ma11050840>



# Tehnologii MEX

Cele mai comune tehnici bazate pe MEX sunt FDM, FFF și DIW. Mai jos este o listă extinsă cu metode existente:

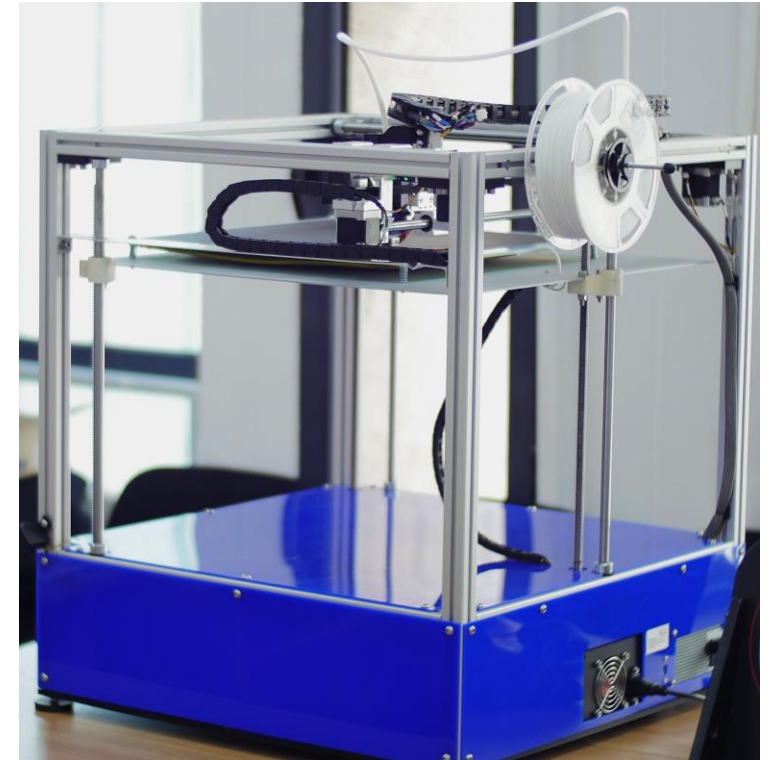
	Metoda de extrudare		
	Pe bază de filament	Pe bază de piston sau de seringă	Pe bază de șurub
<b>Tehnica AM bazată pe MEX</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modelarea prin extrudare termoplastică (FDM)</li> <li>Fabricarea prin depunere de filament topit (FFF)</li> <li>Fabricarea filamentelor compozite (CFF)</li> <li>Modelarea straturilor topite (FLM)</li> <li>Depunerea prin topire a ceramicii (FDC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scrierea directă a cernelii (DIW)</li> <li>Bio-imprimarea pe bază de extrudare (EBB)</li> <li>Imprimarea 3D a betonului (3DCP)</li> <li>Modelarea prin extrudare de materiale păstoase (DDM)</li> <li>Modelarea prin extrudare de lichide (LDM)</li> <li>Robocasting</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fabricarea prin extrudare de materiale topite (MEM)</li> <li>Fabricarea cu granule topite (FGF)</li> <li>Fabricarea aditivă la scară mare (BAAM)</li> </ul>



## FDM, FFF și DIW

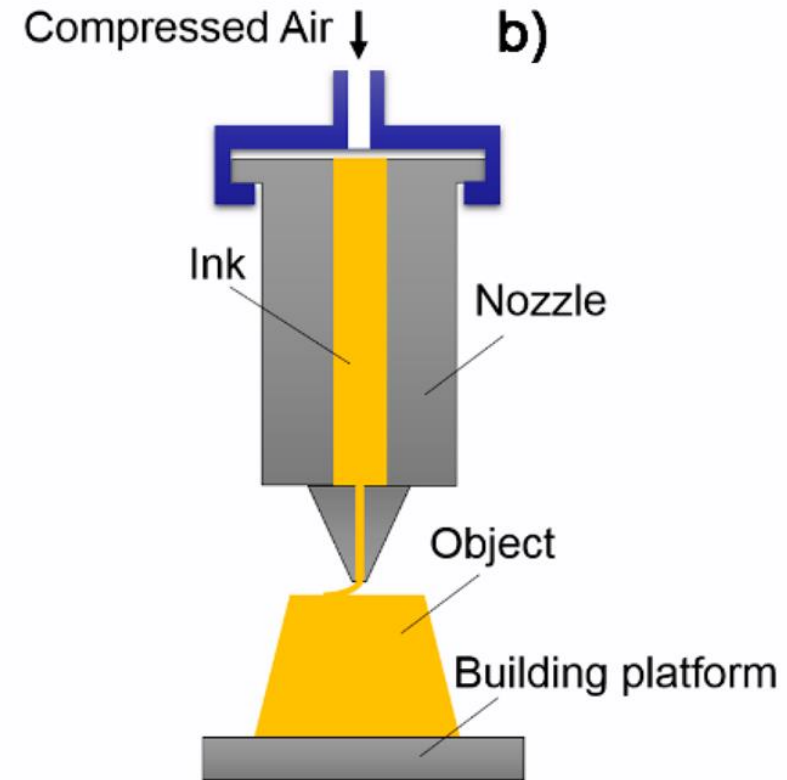
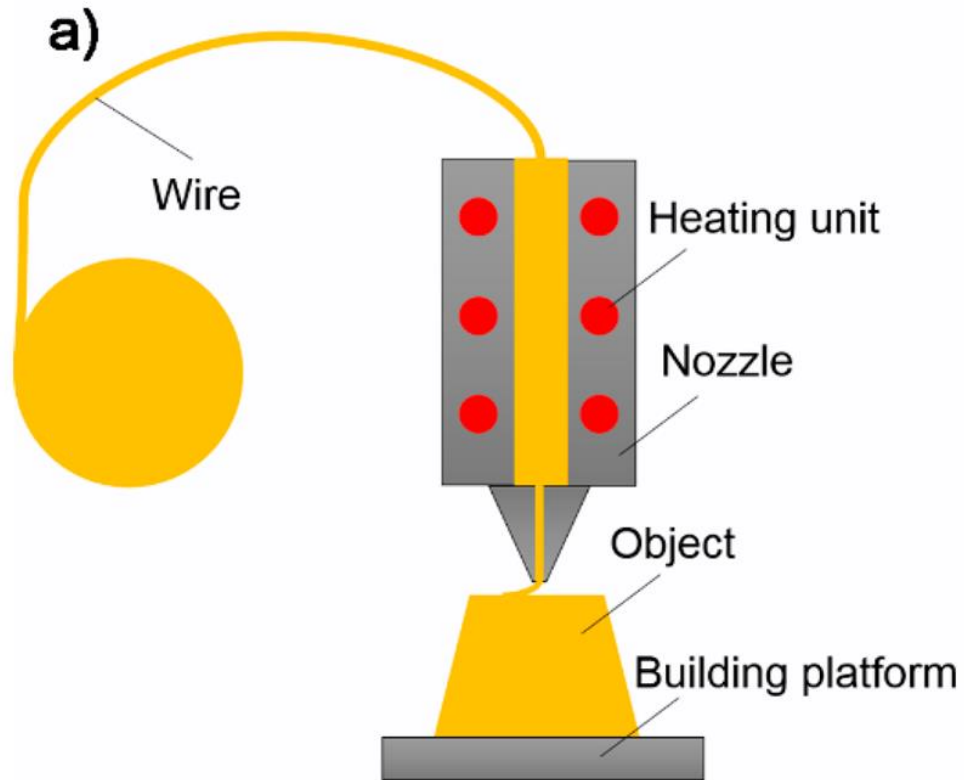
FDM și FFF se bazează pe topirea locală a filamentelor solide și împingerea materialului topit printr-o duză. Principala diferență între FDM și FFF este că FDM se realizează într-o cameră închisă menținută la o temperatură constantă, în timp ce FFF se realizează în aer liber.

Tehnologia DIW se bazează pe extrudarea directă a cernelurilor pe bază de suspensie.





# FDM / FFF și DIW



Scheme ale tehnologiilor FDM/FFF (a) și ale tehnologiei DIW (b) - Changyong, L. et al, <https://doi.org/10.3390/polym10060629>



Cofinanțat de  
Uniunea Europeană

## Principiul FDM

Faceți clic pe video pentru a  
înțelege principiul de  
funcționare al FDM



<https://youtu.be/rkUILe3zv98>

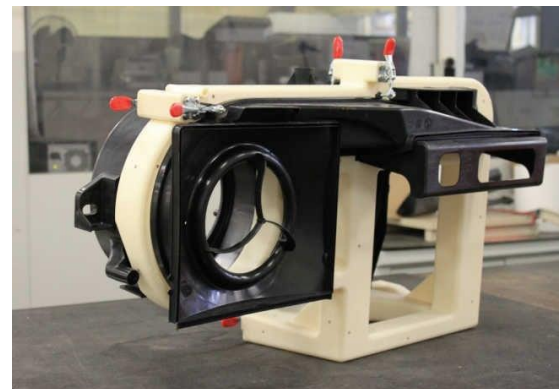


## Aplicații MEX și sectoare de aplicare

Procesul MEX este utilizat de industrie, mediul academic și consumatori pentru prototipuri, fabricarea de piese și de materiale medicale funcționale.

Sectoare:

- Industria auto
- Industria aerospațială
- Medical
- Producție industrială
- Educație



Dispozitiv pentru industria auto. Sursa imaginii: Stratasys



Distanțier pentru aeronave Airbus A320. Sursa imaginii: Airbus



Model medical imprimat 3D. Sursa imaginii: Ludor Engineering



Mână robotică educațională. Sursa: Ludor Engineering



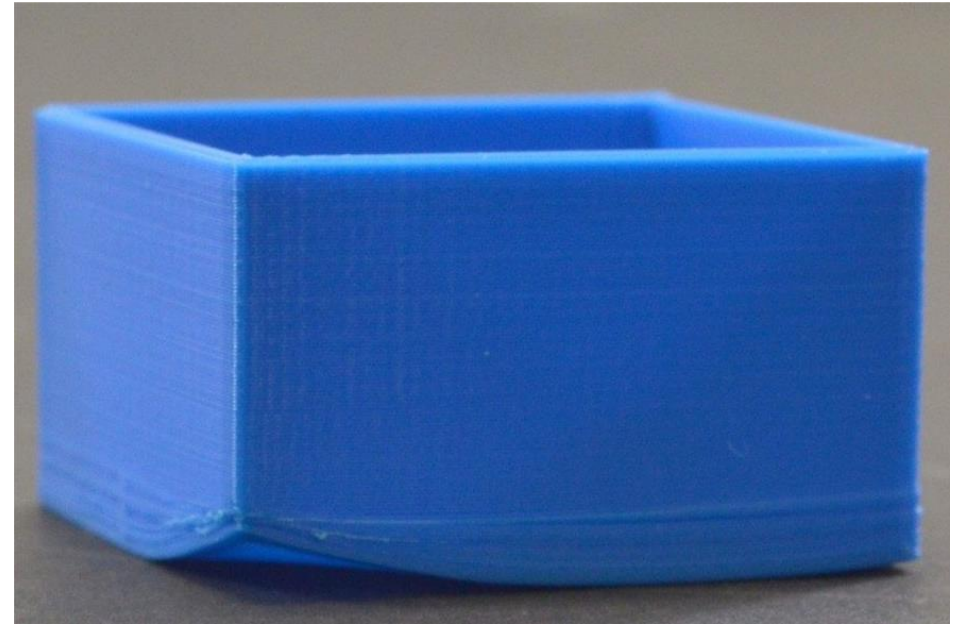
## Avantajele generale ale MEX

- Complexitate de implementare relativ scăzută
- Proiectare simplă a echipamentului și cost redus al componentelor
- Cost scăzut al imprimantelor pentru începători
- Compatibilitate cu polimerii termoplastici disponibili în comerț
- Tehnica de imprimare este ușor de înțeles
- Schimbare ușoară a materiei prime
- Selecție largă de materii prime disponibile



## Limitări majore ale MEX

- Viteză redusă de imprimare
- Anizotropie a proprietăților piesei.  
Rezistența slabă a piesei de-a lungul  
axei perpendiculare pe platforma de  
imprimare.
- Obiectele printate sunt susceptibile  
la deformare



Deformare. Sursa imaginii: Simplify3D



## Avantajele MEX față de alte procese AM

- Gamă largă de echipamente MEX, atât pentru utilizatorii industriali, cât și pentru consumatori
- Piese din polimeri realizate cu ajutorul MEX pot avea printre cele mai bune proprietăți mecanice față de orice alt proces AM
- Configurațiile mașinilor MEX sunt aproape identice pentru polimeri și compozite cu matrice polimerică
- Echipamente mai ieftine, mai simple și de dimensiuni mai mici
- Materiile prime pentru MEX sunt, de obicei, mai ieftine
- Curat și simplu de utilizat; sigur de utilizat în aproape toate mediile
- Procedeu cu temperaturi relativ scăzute



## Avantajele MEX față de procesele convenționale

- Nu este nevoie de pregătire de fabricație, ceea ce îl face foarte potrivit pentru producția de unicate sau loturi mici, și pentru personalizarea în masă.
- Permite personalizarea pieselor produse fără costuri suplimentare.
- Libertate privind designul și complexitatea, deoarece pot fi produse forme și geometrii foarte complexe.
- Prototipuri mai rapide, mai ieftine și mai ușor de realizat.
- Dezvoltare mai rapidă a produselor.
- Un mod mai puțin riscant de lansare pe piață, datorită capacității de a produce în mod eficient loturi mici de produse pentru testarea pieței.



## Limitările MEX față de alte procese AM

- Viteze și accelerații mai mici în comparație cu alte sisteme AM
- Imprimarea 3D implică multe schimbări de direcție
- Pot fi necesare structuri de suport
- Precizie scăzută, finisare slabă a suprafeței. O rezoluție mai fină crește timpul de fabricare.
- Linii vizibile ale stratului
- Înfundarea duzei

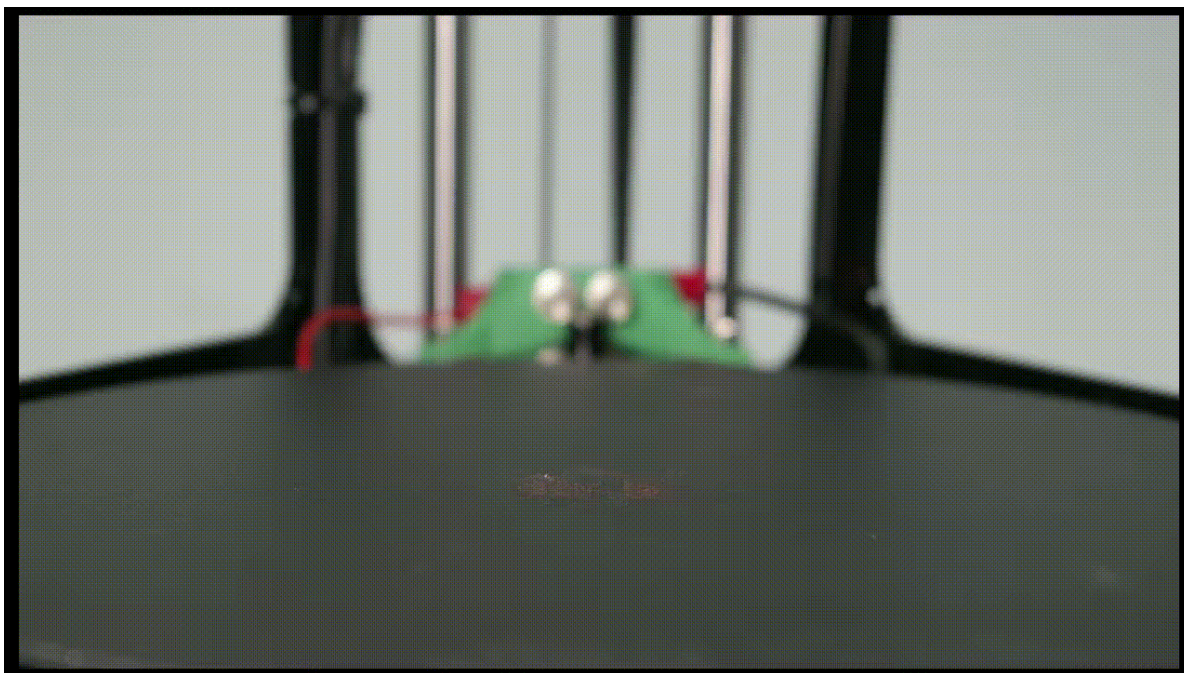


## Limitările MEX față de procesele convenționale

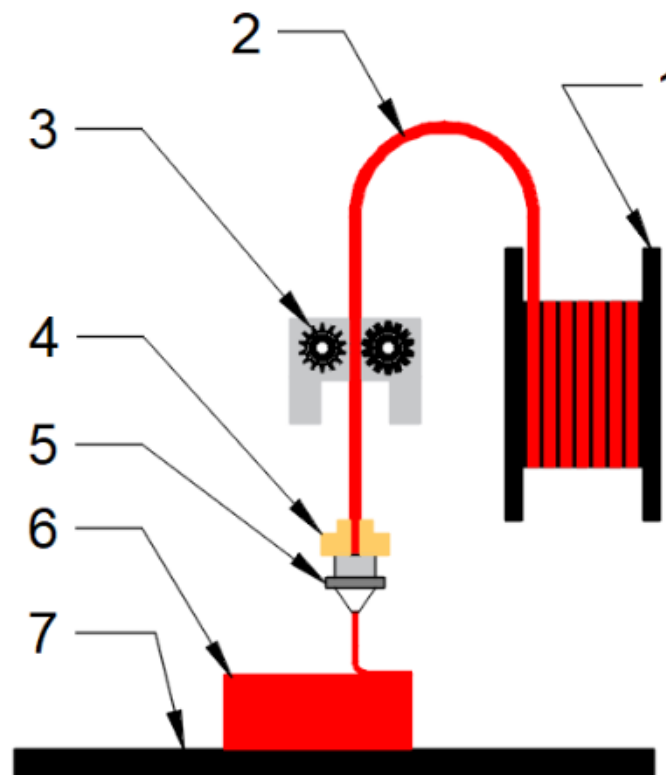
- Majoritatea proceselor convenționale oferă o calitate mai bună a produsului finit decât MEX
- Costuri mai mari pentru producția de serie
- Rezistență și durabilitate limitate
- Precizie și calitate mai scăzute pentru detaliile mici
- Consum mai mare de energie
- Viteză de fabricație mai mică



# Echipament și terminologie



RepRapPro, CC BY 3.0, via Wikimedia;  
Convertit în GIF folosind: <https://cloudconvert.com/>



- 1 - bobină de filament
- 2 - filament
- 3 - extruder
- 4 - încălzitor
- 5 - cap de imprimare (duză)
- 6 - piesă imprimată 3D
- 7 - masă imprimare

## Tipuri de echipamente

- Echipamentele MEX pot fi foarte diverse, în funcție de:
  - Metoda de extrudare
  - Sistemele de coordonate utilizate
  - Tipul de materie primă (de exemplu: polimeri, materiale păstoase, soluții)
  - Forma materiei prime (de exemplu: filament, peleți, fluid)
  - Categoria (de exemplu: hobby, profesional, industrial)
- Imprimantele 3D MEX variază de la scară micro la scară foarte mare (de exemplu, imprimante 3D pentru construcții cu volume de imprimare de 1400 de metri cubi).
- Pe piață sunt disponibile multe imprimante MEX 3D pe bază de polimeri, majoritatea folosind tehnologia FDM/FFF.



## Volumul de imprimare

- Volumul de imprimare reprezintă dimensiunile spațiului în care piesele pot fi fabricate de un anumit model de imprimantă AM.
- De obicei, dimensiunile sunt prezentate în formă carteziană, cu valori pentru fiecare dintre axele X, Y și Z.
- Volumele de imprimare ale imprimantelor 3D MEX variază de la micro la scară foarte mare.



(c) Prusa Research - prusa3d.com



## Imprimante 3D MEX la scară mare disponibile în comerț

MARCA	PRODUS	DIMENSIUNEA DE IMPRIMARE (mm)	VOLUM DE IMPRIMARE (L)
CreatBot	F1000	1000 × 1000 × 1000	1000
BigRep	BigRep ONE v4	1005 × 1005 × 1005	1015
Modix	BIG-Meter	1010 × 1010 × 1010	1030
3D Platform	400 Ser. WORKBENCH XTREME	1000 × 1500 × 700	1050
Tractus3D	T3500	∅ 1000 x 2100	1649
The Industry	MAGNUM	1500 × 1200 × 1200	2160
Modix	MAMA	2000 × 5000 × 1000	10,000



## Unele imprimante 3D MEX de volum mare

MARCA	PRODUS	DIMENSIUNEA DE IMPRIMARE (mm)	VOLUM DE IMPRIMARE (L)
CreatBot	D600 Pro	600 × 600 × 600	216
Modix	BIG-60 V3	600 × 600 × 660	237.6
BigRep	STUDIO G2	500 × 1000 × 500	250
WASP	DeltaWASP 60 100	∅ 600 x 1000	282.7
Modix	BIG-120X V3	1200 × 600 × 640	460.8
WASP	DeltaWASP 3MT Industrial 4.0	∅ 1000 x 1000	785.4
Builder	Extreme 2000 PRO	700 × 700 × 1700	833



## Unele imprimante 3D MEX de birou

MARCA	PRODUS	DIMENSIUNEA DE IMPRIMARE (mm)	VOLUM DE IMPRIMARE (L)
Markforged	Onyx Pro	320 × 132 × 154	6.5
MakerBot	Method X	190 × 190 × 196	7.075
Prusa Research	Original Prusa i3 MK3S	250 × 210 × 210	11.025
Stratasys	F120	254 × 254 × 254	16.38
Ultimaker	Ultimaker S5	330 × 240 × 300	23.76
BCN3D Technologies	Sigma D25	420 × 300 × 200	25.2
German RepRap	X400	350 × 400 × 310	43.4



## Volumul de imprimare al imprimantelor 3D

**Masterprint 3X**, produsă de Ingersoll, este în prezent (2022) cea mai mare imprimantă 3D MEX pentru polimeri din lume.

- **Volum de imprimare:**  
18,3 x 3 x 30,5 m
- **Tehnologie:** FFF



Masterprint 3X. Sursa imaginii: Universitatea din Maine



## Volumul de imprimare al imprimantelor 3D

Un exemplu de imprimantă 3D MEX pentru polimeri este **Stratasys F900**.

- **Volum de imprimare:**  
914 x 610 x 914 mm
- **Tehnologie:** FDM



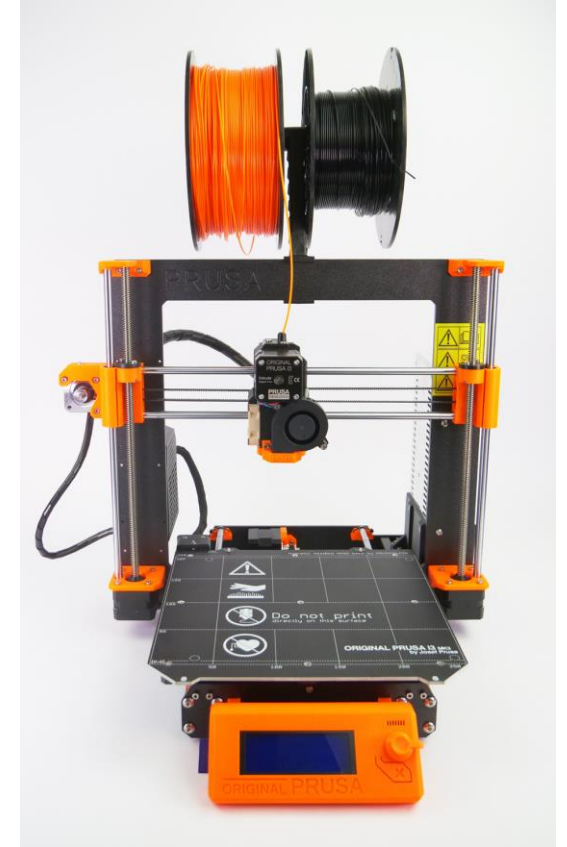
Stratasys F900. Sursa imaginii: Stratasys



# Volumul de imprimare al imprimantelor 3D

Una dintre cele mai populare imprimante 3D MEX este **Original Prusa i3**, produsă de Prusa Research.

- **Volum de imprimare:** 250 x 210 x 210 mm
- **Tehnologie:** FFF



Original Prusa i3 MK3S. (c) Prusa Research - [prusa3d.com](http://prusa3d.com)



## Materia primă: proprietăți și caracteristici

O materie primă pentru MEX trebuie să aibă proprietăți care să îi permită:

- să fie într-o stare semisolidă la ieșirea din duză
- să se solidifică complet, rămânând în forma depusă
- să adere la materialul deja depus





## Materia primă: proprietăți și caracteristici

În MEX, comportamentul cerut pentru materia primă este obținut în mod normal prin:

1. Încălzirea materialului solid astfel încât acesta să poată curge prin duză și să adere la materialul adiacent înainte de a se solidifica. Aceasta este cea mai frecvent utilizată metodă și poate fi folosită cu materiale care devin moi peste o anumită temperatură și se întăresc la răcire, cum ar fi **materialele termoplastice**.
2. Extrudarea unui material fluid prin duză și solidificarea acestuia printr-o reacție chimică (cauzată de un agent de întărire, de un solvent rezidual, de reacția cu aerul, de răcirea forțată sau, pur și simplu, de uscarea materialului). Această metodă este utilizată pentru **materialele păstoase** și pentru **bio-cerneală**.

Multe tipuri diferite de materiale pot îndeplini aceste cerințe.



# Materia primă: tipuri de materiale

Principalele materiale utilizate în prezent cu MEX sunt:

**Polimeri**

**Materiale ceramice**

**Materiale compozite**

**Materiale alimentare  
(comestibile)**

**Materiale de construcție**

**Materiale metalice**

**Siliconi**

**Biomateriale**

**Materiale inteligente**

**Multi-materiale**

**Sticlă**

**Fotopolimeri**

**Celuloză**

**Lemn**



# Materialle procesabile: polimeri și materiale compozite

Cele mai utilizate materiale care pot fi procesate cu MEX includ:

- **polimeri**
- **compozite:**
  - **materiale compozite polimerice:** conțin diverse materiale de umplură (de exemplu: metal, lemn, fibre de carbon, ceramică, Kevlar, fibre naturale etc.).
  - **polimeri cu infuzie metalică:** compozit polimeric special utilizat pentru fabricarea de piese metalice solide prin MEX. Conține un procent ridicat de pulbere metalică. Piesele imprimate 3D sunt supuse unor etape de postprocesare pentru a elimina componenta polimerică și a condensa partea metalică.
  - **biocompozite:** polimeri biocompatibili și/sau biodegradabili cu materiale de umplură (de exemplu: fibre naturale, particule organice sau anorganice etc.).
  - **nanocompozite:** polimeri întăriți cu nanoparticule (de exemplu: nanotuburi de carbon, nanoplachete de grafen etc.).



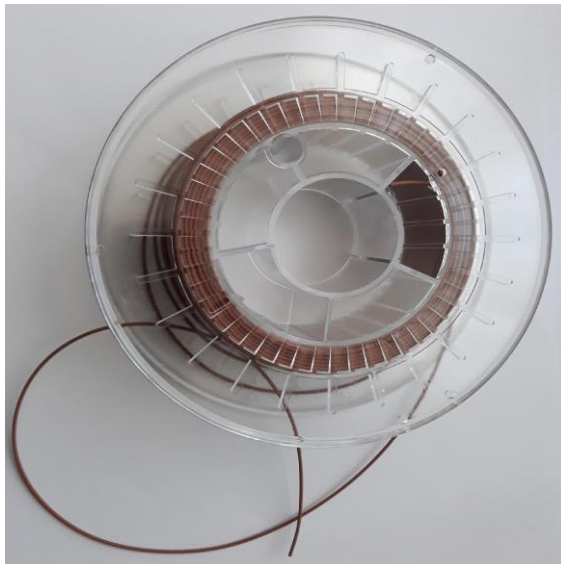
## Material procesabile: polimeri cu infuzie de metal

- În contextul MEX, un polimer cu infuzie de metal este un filament special utilizat pentru fabricarea de piese metalice solide.
- Acesta conține un procent ridicat de particule metalice (aproximativ 80%) infuzate într-o matrice polimerică.
- Se folosesc multe materiale, inclusiv aluminiu, cupru, alamă, bronz, fier, oțel inoxidabil.
- Piesele imprimate 3D trebuie să treacă printr-o etapă de post-procesare pentru a îndepărta componenta polimerică și a condensa partea metalică.



## Forma materiei prime

Materia primă pentru MEX poate avea diferite forme. Majoritatea sistemelor MEX utilizează o bobină de filament de plastic. Unele sisteme MEX industriale de mari dimensiuni utilizează peleți. Alte sisteme MEX utilizează materiale fluide, cum ar fi materiale păstoase sau suspensii.



Bobină de filament



Peleți



Cartușe cu materiale păstoase (sursa: Bocusini)

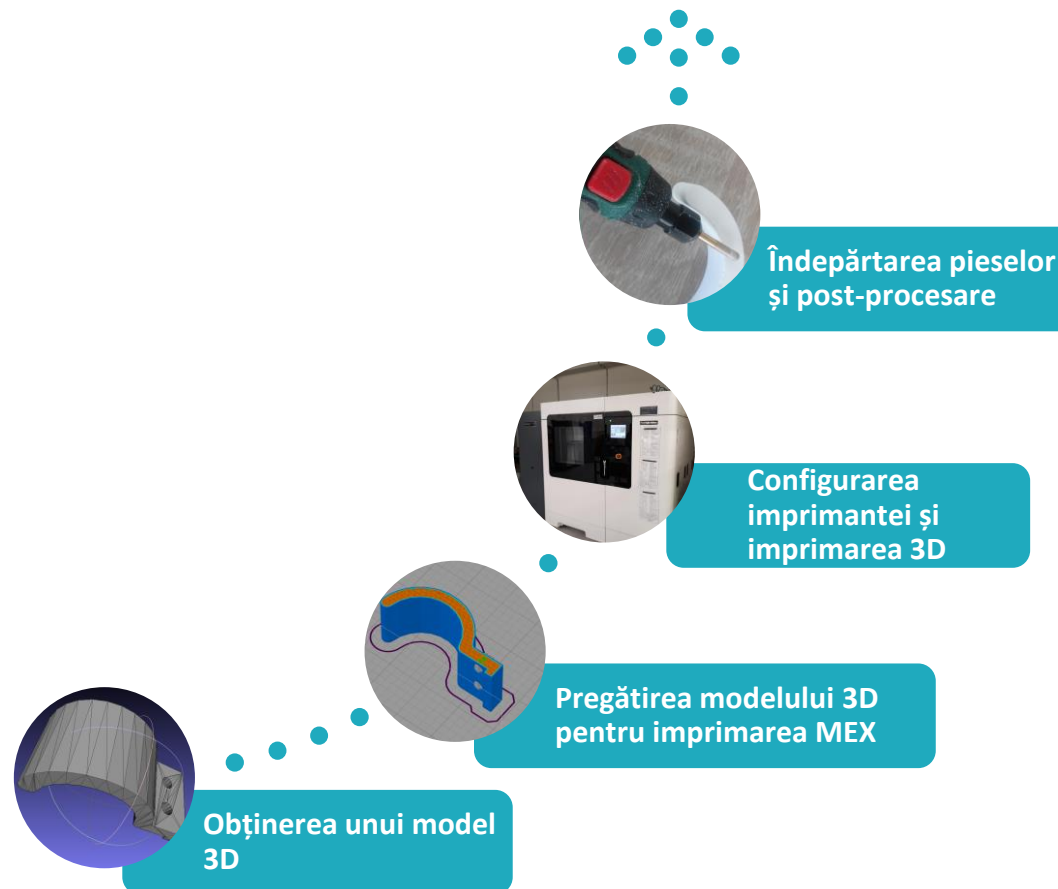


# Anizotropia proprietăților mecanice ale pieselor MEX

- Chiar dacă materia primă este un material cu proprietăți izotrope, extrudarea sa prin MEX produce piese neomogene, care pot avea proprietăți mecanice anizotrope.
- Proprietățile piesei pot fi diferite în direcția de depunere a straturilor și în direcțiile normale la aceasta. De exemplu, rezistența la tracțiune este, în mod normal, mai mică în direcția de depunere a straturilor, din cauza aderenței slabe între straturile succesive.



# Operațiunile procesului

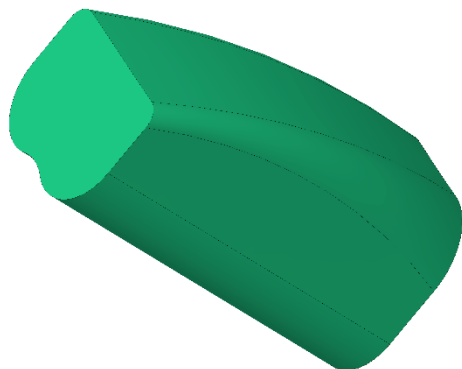




## Obținerea unui model 3D

Fabricația aditivă MEX începe cu un model digital 3D care poate fi obținut prin:

- modelare pe computer
- scanare 3D
- descărcare dintr-o arhivă de modele 3D





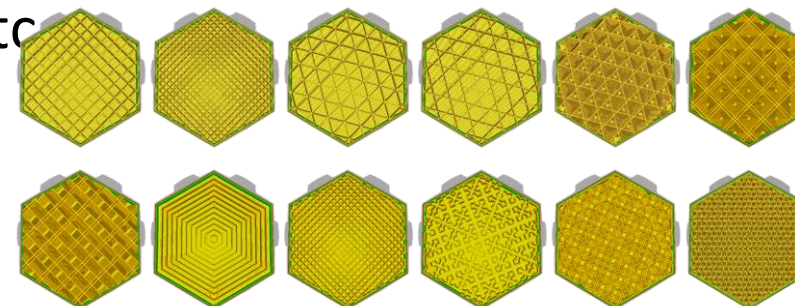
## Pregătirea modelului 3D pentru imprimare 3D

- Este posibil să fie necesară convertirea modelului 3D într-un fișier de imprimare 3D, cum ar fi STL, OBJ, AMF sau 3MF. În continuare, acesta este secționat în straturi horizontale cu ajutorul unui software specializat (slicer), care va genera un fișier ce conține toate informațiile de care are nevoie imprimanta 3D pentru a produce obiectul.
- Slicer-ul permite setarea parametrilor procesului, inclusiv:
  - Parametrii secționării: înălțime strat, viteză /debit de imprimare, diametru duză, parametri raster, nr. de linii de perete, grosime pereți, înălțime strat superior/inferior
  - Parametrii de temperatură: temperatura capului de imprimare, temperatura mesei de imprimare, temperatura incintei (imprimantă cu/fără spațiu închis), răcirea
  - Parametrii de umplere: densitatea de umplere și modelul de umplere
  - Parametrii de orientare a obiectului în spațiul de lucru al mașinii și utilizarea structurilor suport.

## Umplere strat (infill)

- Infill este o structură repetitivă utilizată pentru a ocupa spațiu în interiorul unei piese imprimate 3D care altfel ar fi goală.
- Cei mai importanți parametri sunt:
  - Densitate strat - cantitatea de plastic utilizată în interiorul imprimării. Densitatea 0% înseamnă un obiect gol, în timp ce 100% înseamnă un obiect solid.
  - Model umplere

Umplerea stratului are un efect semnificativ asupra timpului de imprimare a piesei, consumului de filament, flexibilității, rezistenței, greutateii etc.

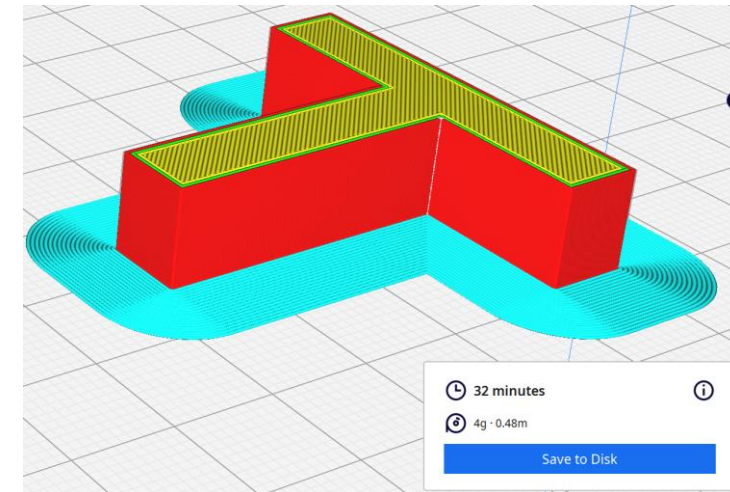
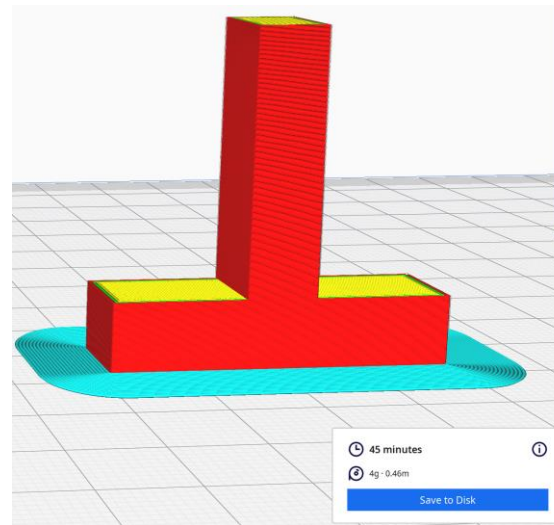
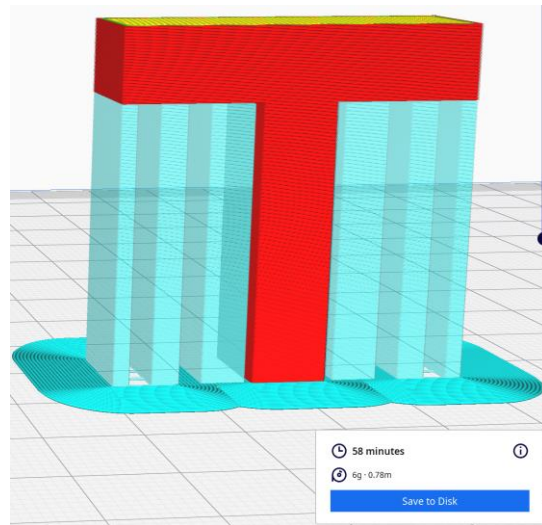
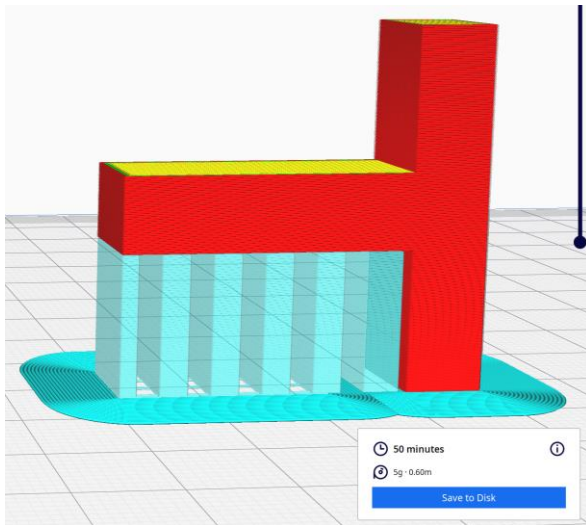


Modele de umplere. Sursa imaginii:  
<https://support.ultimaker.com>



## Importanța orientării obiectelor

- Orientarea obiectului în timpul imprimării 3D poate avea un impact semnificativ asupra calității imprimării, a duratei de imprimare, a cantității de material utilizat etc. În multe cazuri, orientarea defectuoasă a piesei duce la eșecul imprimării.





## Pregătirea modelului 3D pentru imprimare - Slicere

- Există mai multe slicere disponibile care pot fi utilizate la imprimarea MEX. Unele dintre cele mai populare sunt prezentate în tabelul de mai jos.

Nume	Link	Tip
Ultimaker Cura	<a href="https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura">https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura</a>	Gratuit, open-source
PrusaSlicer	<a href="http://www.prusa3d.com/prusaslicer/">www.prusa3d.com/prusaslicer/</a>	Gratuit, open-source
Simplify3D	<a href="http://www.simplify3d.com/">www.simplify3d.com/</a>	Cu plată
MatterControl		Gratuit, open-source
Slic3r	<a href="https://slic3r.org/">https://slic3r.org/</a>	Gratuit, open-source
OctoPrint	<a href="https://octoprint.org/">https://octoprint.org/</a>	Gratuit
AstroPrint	<a href="http://www.astroprint.com/">www.astroprint.com/</a>	Freemium



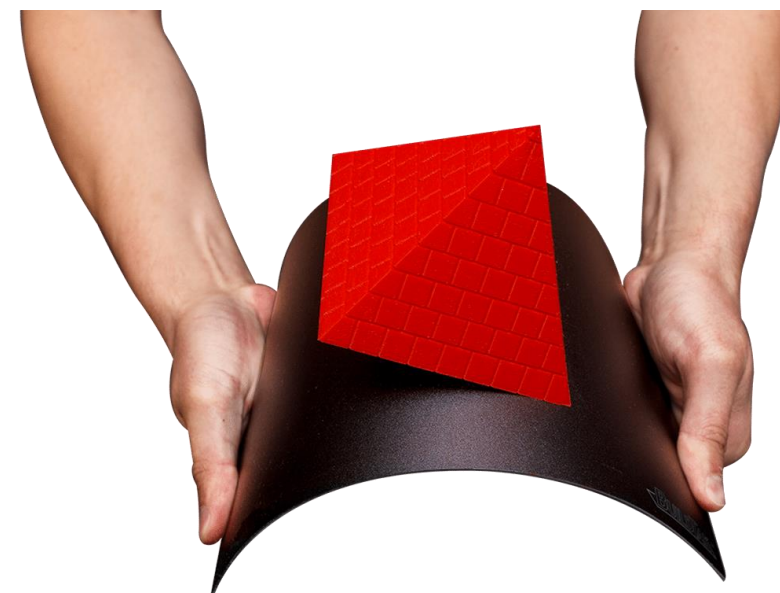
## Configurarea imprimantei și imprimarea 3D

- Configurarea imprimantei poate varia în funcție de model, dar de obicei include:
  - Curățarea mesei de imprimare
  - Nivelarea/calibrarea mesei de imprimare
  - Încărcarea materiei prime
- După configurare poate începe imprimarea 3D. Este în principal un proces automatizat, care necesită doar o monitorizare superficială.



## Îndepărtarea pieselor și post-procesare

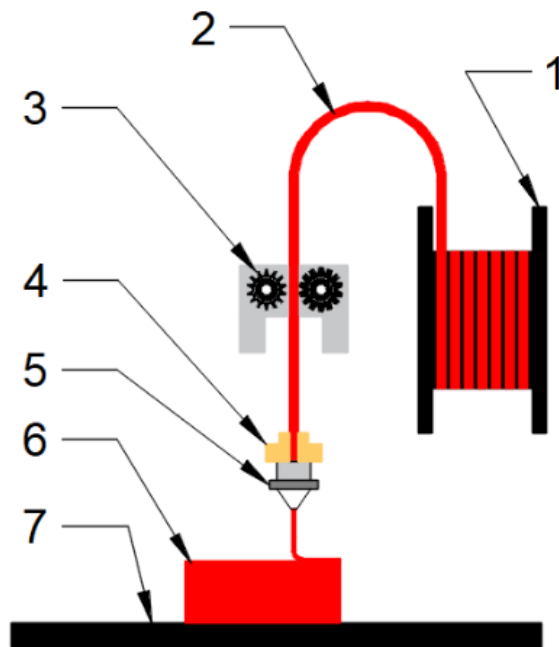
- După ce imprimarea 3D este finalizată, se scot piesele din imprimantă cu ajutorul unui cuțit sau al unei raclete. Unele imprimante 3D au suprafețe de printare flexibile detașabile care permit îndepărtarea mai ușoară a pieselor, prin simpla îndoire a suprafeței.
- Piesele imprimate MEX pot necesita unele operațiuni de post-procesare, cum ar fi:
  - îndepărtarea structurilor de suport
  - șlefuirea, lustruirea, vopsirea, placarea etc.



Suprafață de construcție flexibilă - Sursa:  
<https://buildtak.eu/>

## Echipamente MEX

**Imprimantele 3D FFF/FDM sunt cele** mai comune tipuri de imprimante 3D care utilizează MEX. Principalele lor componente sunt schematizate în imaginea de mai jos.

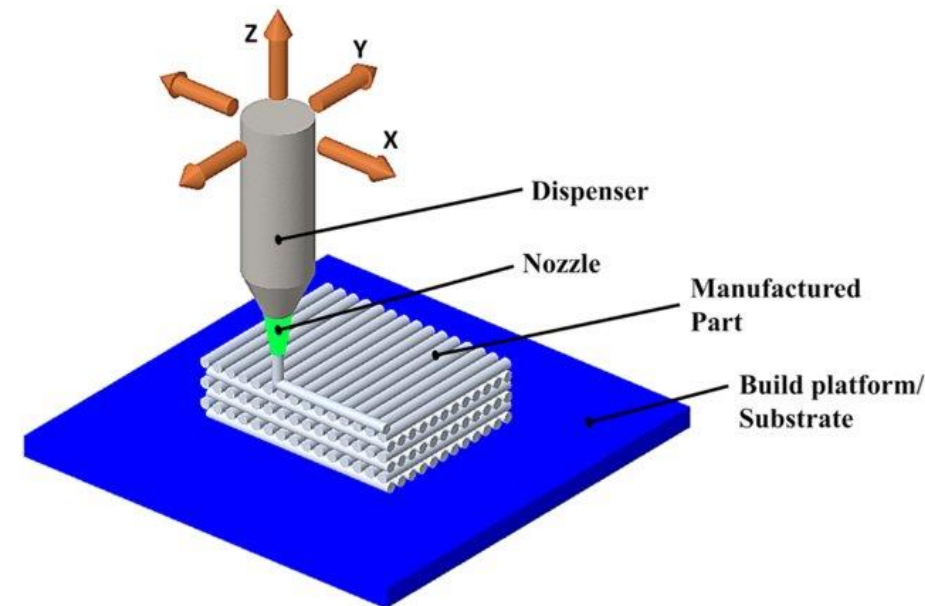


- 1 - bobină de filament
- 2 - filament
- 3 - extruder
- 4 - încălzitor
- 5 - cap de imprimare  
(duză)
- 6 - piesă imprimată 3D
- 7 - masă imprimare



## Echipamente MEX

- **Imprimantele 3D DIW** distribuie o "cerneală" lichidă prin duze mici, cu debit controlat, urmând trasee definite digital pentru a construi structuri 3D strat după strat.
- Cerneala se solidifică pentru a forma obiecte 3D, fie prin evaporarea lichidului, fie prin gelifiere, fie prin schimbarea de fază indusă de temperatură sau de un solvent.





## Parametrii care afectează procesul de imprimare

MEX implică diverși parametri care afectează procesul de imprimare:

- **Parametrii de proces:** unghiul/lățimea rasterului, grosimea stratului, orientarea obiectului, viteza de imprimare, densitatea/modelul umplerii, temperatura de extrudare.
- **Parametrii de mediu:** temperatura mesei de imprimare, temperatura incintei, umiditate, oxigen etc.
- **Alți parametri de imprimare:** diametrul duzei, culoarea materialului, diametrul filamentului, umiditatea filamentului etc.



## Parametrii care afectează procesul de imprimare

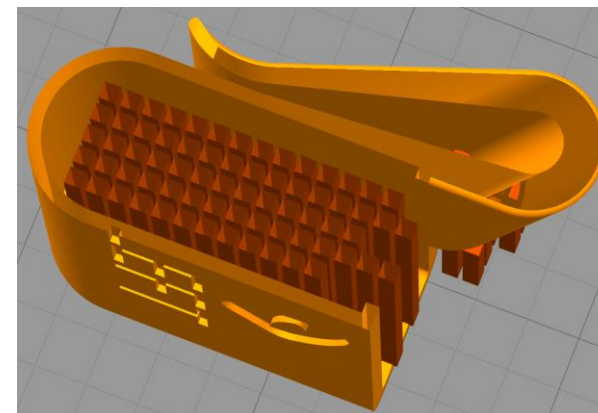
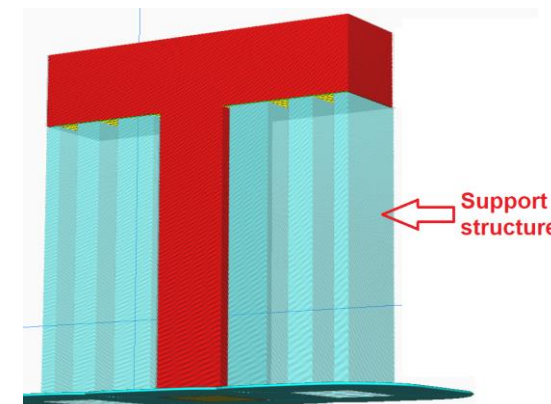
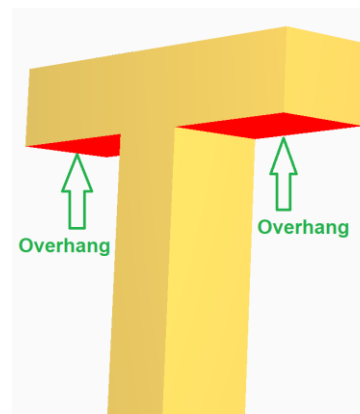
Alte aspecte care pot afecta, de asemenea, procesul de imprimare 3D:

- Condițiile în care a fost fabricat și depozitat filamentul
- Calitatea fișierului de imprimare 3D (STL, OBJ, AMF sau 3MF)
- Utilizarea materialului suport (poate afecta calitatea suprafeței și comportamentul mecanic)
- Numărul de piese printate simultan
- Tipul de echipament de imprimare 3D
- Utilizarea incintelor închise
- Îmbătrânirea materialelor
- Tratamentele post-procesare
- Condițiile și durata de depozitare a materiilor prime



## Structuri de suport

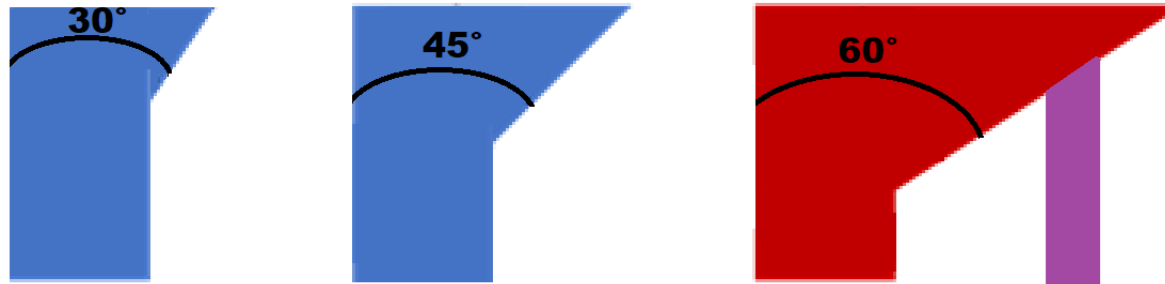
- Deoarece în MEX un strat este adăugat peste stratul anterior, fiecare strat nou trebuie să fie susținut de cel de sub el.
- Astfel, fiecare strat poate fi doar puțin mai mare decât cel anterior, pentru a preveni căderea.
- În cazul în care există o consolă abruptă sau zone nesusținute, sunt necesare structuri de suport.
- Structurile de suport acționează ca o schelă pentru obiect în timpul imprimării 3D și sunt îndepărtate după ce imprimarea este finalizată.





## Structuri de suport

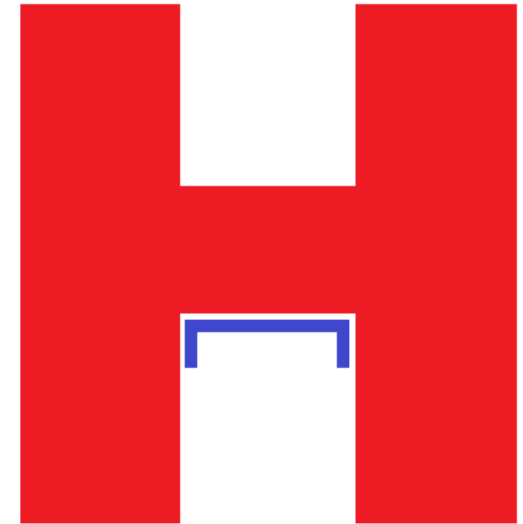
- Este necesară o structură de suport atunci când părți ale piesei se extind la un unghi mai mare de  $45^\circ$ .
- Uneori este posibil să se evite structurile de suport prin alegerea unei orientări diferite a piesei.
- Utilizarea materialului de suport poate influența calitatea suprafeței și comportamentul mecanic al produselor.





## Bridging

- Bridging în MEX este un proces care extrudează material pentru a conecta orizontal două puncte fără a fi nevoie de o structură de suport.
- Funcționează numai pentru distanțe scurte.
- Setările imprimantei AM sunt foarte importante pentru un bridging bun, în special cele legate de răcirea piesei, debitul de material, temperatura capului de imprimare și viteza de imprimare.





## Repetabilitatea procesului

- Repetabilitatea în MEX este capacitatea sistemului AM de a produce rezultate constante, de fiecare dată.
- Este o problemă critică, în special în cazul fabricării de produse finite. Controlul procesului este crucial pentru o bună repetabilitate.
- Unii dintre factorii care pot influența repetabilitatea sunt:
  - Calitatea materiei prime
  - Calitatea mașinii AM
  - Calibrarea mașinii
  - Post-procesarea

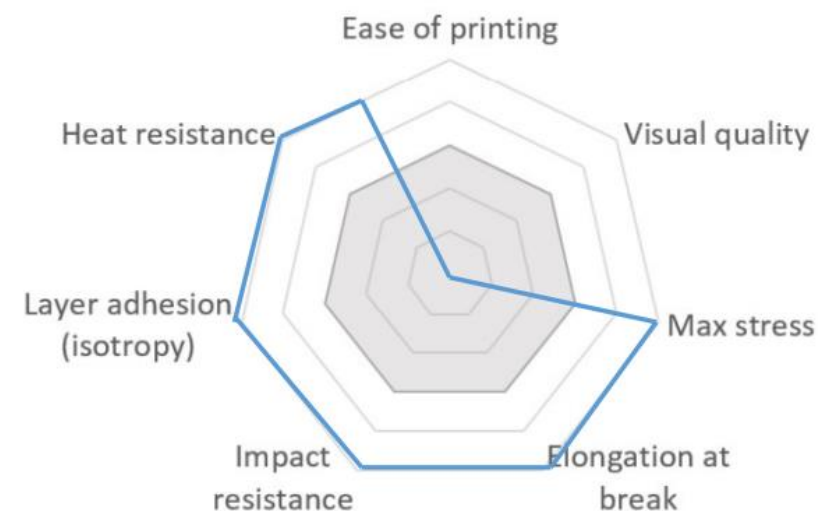
## 2.2 Prezentare generală a materialelor polimerice, a proprietăților și aplicațiilor acestora





## Proprietățile mecanice ale piesei imprimată

- **Tensiunea maximă:** tensiunea maximă la care poate fi supus obiectul înainte de a se rupe atunci când se trage încet de el.
- **Alungirea la rupere:** lungimea maximă la care obiectul a fost întins înainte de rupere
- **Rezistența la impact:** energia necesară pentru a sparge un obiect sub un impact brusc
- **Aderența straturilor (izotropie):** cât de bună este aderența dintre straturile de material



<https://www.skills4am.eu/documents/CU/69/Design%20for%20PBF%20Polymer.pdf> - pagina 23



## Proprietățile mecanice ale piesei construite

- Proprietățile mecanice ale piesei imprimate MEX depind de:
  - proprietățile materialului de bază
  - caracteristicile imprimantei 3D
  - parametrii de proces
  - tratamentele de post-procesare
- Alți factori de-a lungul lanțului de producție pot avea un impact semnificativ: fabricarea filamentelor, geometria, îmbătrânirea materialelor, depozitarea materialelor etc.
- Rezistența la tracțiune, compresiune și flexiune sunt cele mai importante proprietăți mecanice ale pieselor MEX.

## Materialle procesabile cu MEX - materiale speciale

Materialle speciale sunt materiale MEX create pentru cazuri de utilizare specifice.

- **Turnare:** materiale concepute pentru a produce modele de sacrificiu pentru turnare.
- **Suprafețe netede:** materiale care permit netezirea ușoară a suprafeței piesei (de exemplu, folosind alcool sau alți solvenți).
- **Piese flexibile:** materiale concepute pentru a produce piese cu o flexibilitate asemănătoare cauciucului.
- **Materialle de suport:** special concepute pentru structuri de suport, care sunt ușor de îndepărtat manual sau care pot fi dizolvate în apă sau în alți solvenți.



## Material procesabile cu MEX - materiale speciale

- **Conductoare de electricitate:** materiale concepute pentru a conduce electricitatea.
- **Strălucire în întuneric:** materiale fosforescente.
- **Aplicații magnetice:** materiale MEX care sunt atrase de câmpurile magnetice.
- **Termocromic:** materiale MEX care își schimbă culoarea în funcție de temperatură.
- **Argilă/ceramică:** materiale concepute pentru fabricarea de obiecte cu proprietăți asemănătoare lutului.

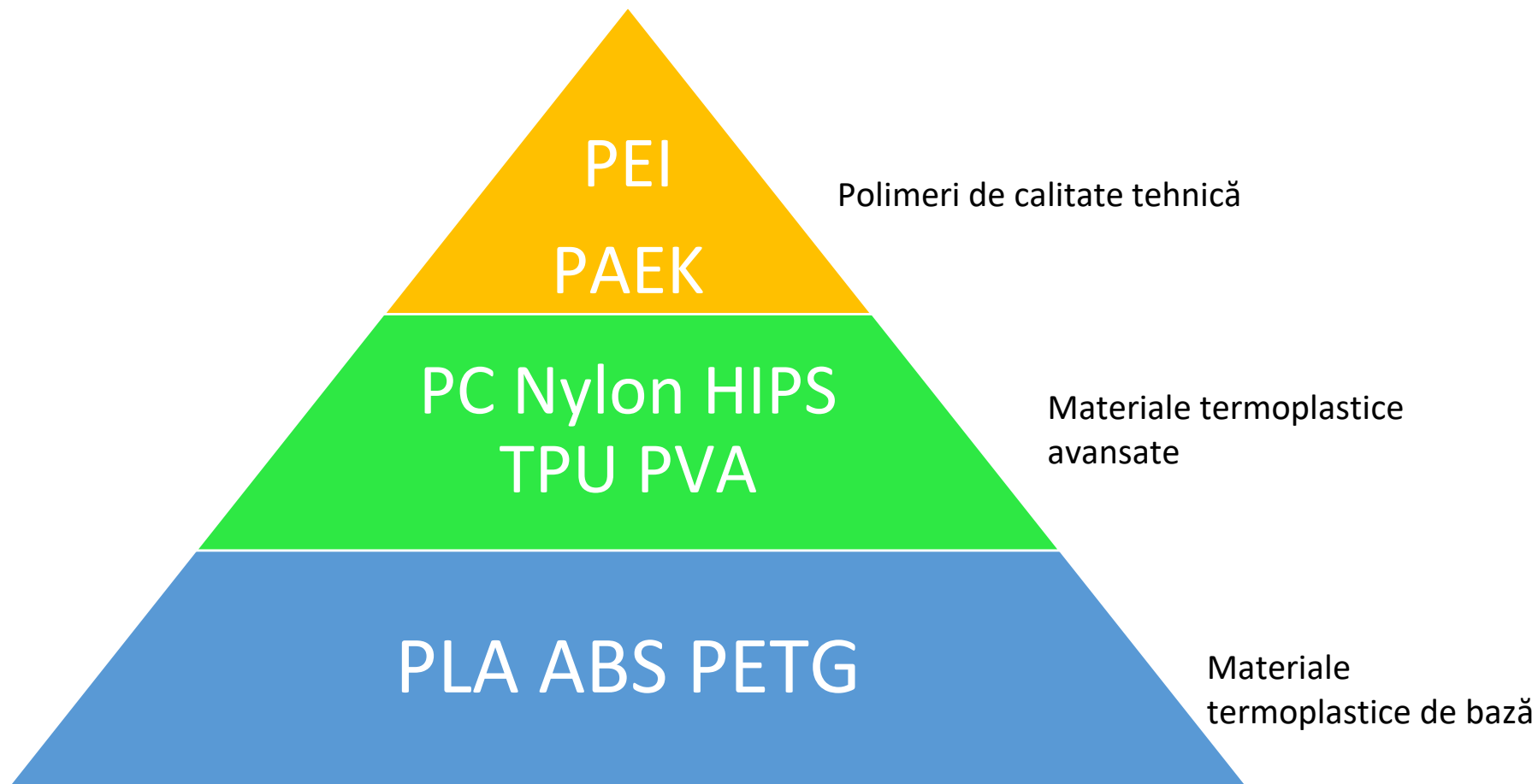


# Material procesabile cu MEX: materiale termoplastice

- Un termoplastic este un polimer care devine moale la o anumită temperatură și se întărește la răcire.
- În procesul MEX, materialele termoplastice sunt utilizate sub formă de filament și peleți.
- Toate materialele standard menționate anterior (PLA, ABS, Nylon etc.) sunt termoplastice.



# Materialle polimerice procesabile cu MEX





## Polimeri în MEX: materiale termoplastice de bază

- Sunt cele mai răspândite materiale MEX
- Ușor și ieftin de procesat și produs în masă
- Relativ ușor de imprimat 3D, chiar și pe imprimantele 3D pentru începători
- Nu sunt potrivite pentru majoritatea mediilor de producție.
- Sunt folosite în principal pentru prototiparea rapidă
- Cele mai comune materiale din această categorie sunt PLA, ABS și PETG.



## Materialle termoplastice de bază

- **PLA** (acid polilactic): material foarte popular pentru MEX datorită prețului său moderat, ușurinței de utilizare, proprietăților mecanice relativ bune și naturii organice. Este ușor de reciclat și reutilizat.
- **ABS** (acrilonitril butadien-stiren): un material comun pentru MEX, ieftin, rezistent la căldură și la impact. Mai dificil de utilizat și emite fumuri toxice în timpul imprimării 3D.
- **PET** (polietilen tereftalat): un material destul de comun pentru MEX, în special variantele PETG și PETT. PETG combină puterea, rezistența la temperatură și durabilitatea ABS-ului cu ușurința de utilizare a PLA-ului. PETT este rezistent, sigur pentru alimente și transparent.



## Materialle termoplastice de bază

- **Nylon** (poliamidă): oferă rezistență, flexibilitate și durabilitate excelente.
- **PC** (policarbonat): un material de înaltă performanță, foarte durabil și rezistent atât la căldură, cât și la impact fizic. Poate fi transparent.
- **TPE** (Elastomeri termoplastici): materiale foarte flexibile și durabile. Unul dintre cele mai utilizate tipuri de TPE este TPU (Poliuretanic termoplastic).
- **PP** (polipropilenă): oferă o rezistență excepțională la oboseală și tenacitate, dar poate fi greu de imprimat.



## Polimeri în MEX: Termoplastice de calitate tehnică

- Proprietăți superioare în comparație cu termoplasticele de bază
- Mult mai puțin răspândite decât termoplasticele de bază
- Excelente pentru aplicații industriale
- Proprietăți bune de rezistență termică
- Această categorie de materiale include PEI (sau ULTEM) și PAEK (PEKK, PEEK).



## Polimeri de calitate tehnică

- **PAEK** (poliariletercetonă): o familie de materiale termoplastice cu stabilitate la temperaturi ridicate și rezistență mecanică mare. Aceasta include polieter eter cetonă (PEEK) și polietercetonă (PEKK).
- **PEI** (polieterimidă): un termoplastic tehnic de înaltă performanță, de culoare chihlimbar sau transparentă. ULTEM este denumirea comercială a filamentelor PEI disponibile în prezent pe piață.



## Polimeri în MEX: Materiale termoplastice avansate

- Au una sau două caracteristici excelente, fiind astfel foarte utile în aplicații specifice.
- Exemple:
  - **Nylon** - are o durabilitate extremă și o rezistență chimică remarcabilă, dar rezistență, rigiditate și rezistență la căldură scăzute. Este utilizat în aplicații în care flexibilitatea și durabilitatea sunt cele mai importante.
  - **Policarbonat (PC)** - este destul de puternic și rezistent la căldură, dar durabilitatea și rezistența sa chimică sunt doar moderate.
  - **Materiale termoplastice flexibile (TPU)**
  - **Materiale de suport (HIPS, PVA)**



## Materialie termoplastice avansate

- **Materialie conductoare:** Materiale prelucrabile MEX care pot conduce electricitatea.
- **Strălucirea în întuneric:** polimeri infuzați cu materiale fosforescente.
- **Materialie magnetice:** Materiale prelucrabile MEX care sunt atrase de câmpurile magnetice.
- **Termocromic:** Materiale prelucrabile MEX care își schimbă culoarea în funcție de schimbările de temperatură.
- **Argilă/ceramică:** un amestec de argilă și polimer care poate fi utilizat pentru fabricarea de obiecte cu proprietăți asemănătoare cu cele ale argilei.



## Material termoplastice avansate

- **HIPS** (High-Impact Polystyrene): un material care se dizolvă în soluție de limonenă și este utilizat ca material de suport, în special pentru ABS.
- **PVA** (alcool polivinilic): un material solubil în apă care este utilizat ca material de suport.
- **Ceară/ turnabilă**: materiale asemănătoare cu ceara utilizate pentru crearea de modele de sacrificiu pentru turnare.



## Polimeri în MEX: Materiale compozite

- Piesele imprimate 3D realizate din polimeri puri au rezistență și durabilitate reduse, ceea ce limitează utilizarea lor pe scară largă, în special în aplicațiile industriale.
- Materialele compozite obținute prin încorporarea în polimer a unor particule, fibre sau nanomateriale pentru ranforsare pot avea proprietăți structurale sau funcționale mai bune decât cele ale oricăruia dintre constituenți. Acest lucru permite fabricarea de piese MEX cu performanțe mecanice ridicate și funcționalitate excelentă.
- MEX este capabil să fabrice piese cu structuri compozite complexe, cu dimensiuni și geometrie precise, fără pierderi de material.



## Materialle compozite

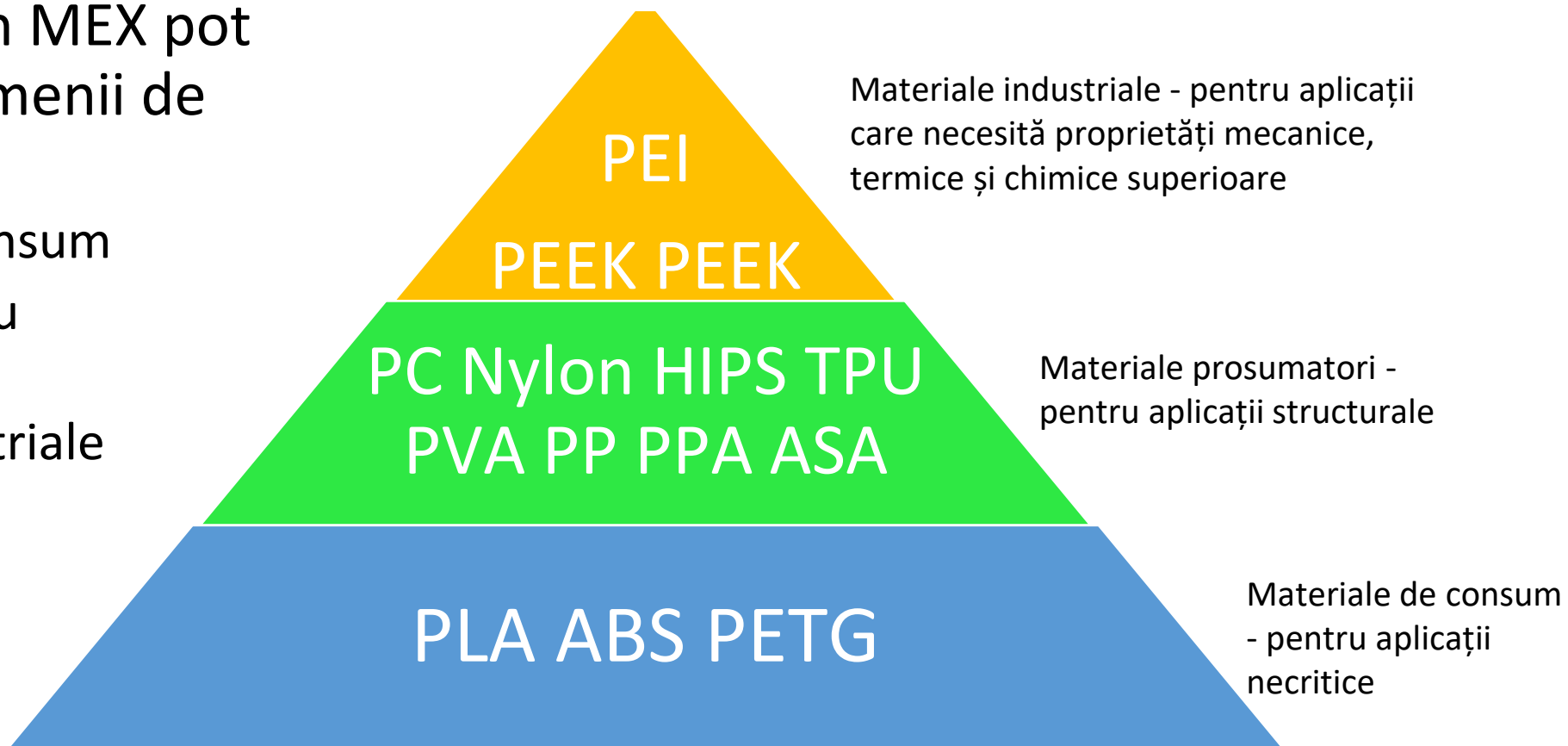
- **Filament cu fibră de carbon:** compozite cu matrice polimerică, armată cu fibre de carbon, extrem de rigide, cu o greutate relativ mică.
- **Filament cu fibră de sticlă:** compozite cu matrice polimerică armată cu fibre de sticlă, rigide, durabile, cu rezistență ridicată la impact și la temperatură.
- **Polimeri cu infuzie de lemn:** pentru fabricarea de obiecte care arată și se simt ca lemnul.
- **Polimeri cu infuzie de metal:** pentru piese estetice și funcționale. Se poate utiliza bronz, alamă, cupru, aluminiu, oțel inoxidabil și multe alte metale.



## Selecția materialelor

- Polimerii utilizați în MEX pot fi împărțiți în 3 domenii de utilizare:

1. Materiale de consum
2. Materiale pentru prosumatori
3. Materiale industriale





## Selecția materialelor

- **Materiale de consum:** pot fi prelucrate de imprimante 3D cu costuri reduse, sunt ușor de imprimat, au proprietăți mecanice mediu-joase și temperaturi maxime de utilizare scăzute, costuri reduse.
- **Materiale pentru prosumatori:** performanțe superioare, cerințe mai stricte pentru imprimantele 3D.
- **Materiale industriale:** performanțe excelente, necesită temperaturi de proces foarte ridicate, scumpe.



## Selecția materialelor

- Selecția materialelor este o etapă a procesului de proiectare. Pe baza nevoilor de proiectare, a mediului de lucru și a condițiilor de încărcare a piesei, se poate găsi compromisul corect oferit de selecția actuală de materiale procesabile cu MEX.
- Principalii factori care trebuie luați în considerare la selectarea materialului sunt:
  - Proprietățile mecanice
  - Temperatura maximă de utilizare
  - Printabilitatea
  - Aspectul estetic
  - Costul



Acest proiect a fost finanțat cu suportul Comisiei Europene. Această publicație reflectă exclusiv opiniile autorului, și Comisia nu poate fi considerată responsabilă pentru orice utilizare a informațiilor pe care le conține.  
ERASMUS+: 2021-1-CZ01-KA220-VET-000033007.

