Tehnologii de Fabricație Aditivă

Curs 4: Proiectarea pentru Fabricația Aditivă (DfAM)

Regândirea Ingineriei: De la Constrângeri la Posibilități

Titular curs: Prof. dr. ing. **Daniel-Constantin ANGHEL**
Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București
Facultatea: Mecanică și Tehnologie
Program de Master: Ingineria și Managementul Fabricației Produselor

NotebookLM

De la DfM la DfAM: O Nouă Filozofie a Proiectării

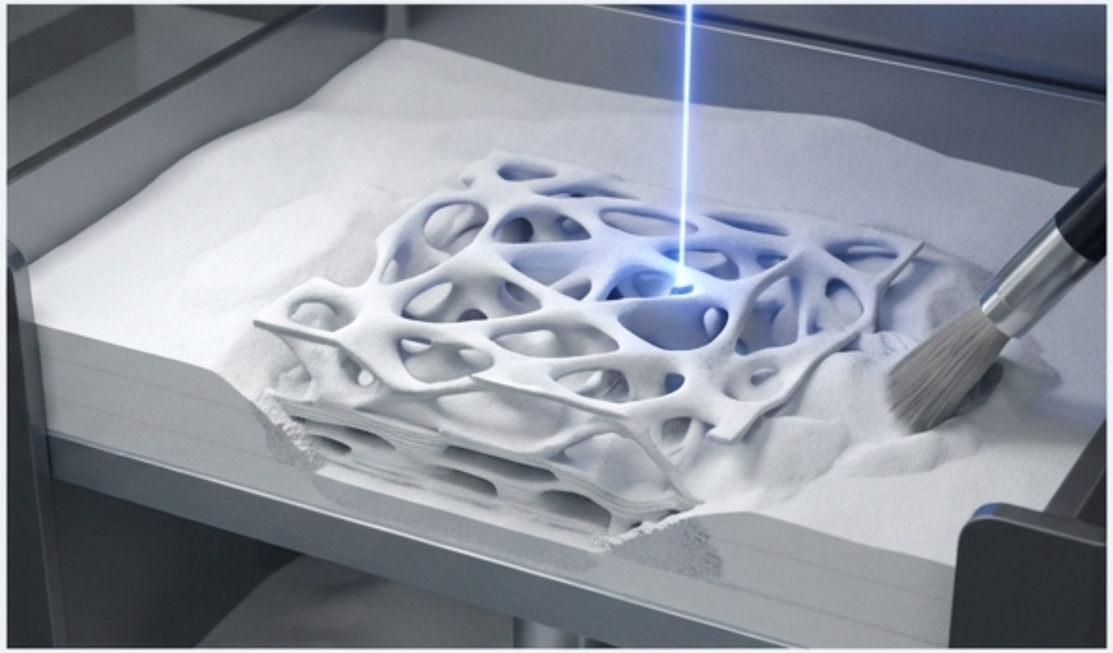
Proiectare Clasică (DfM)

„Proiectăm pentru a putea fabrica.”

- Logica este **substractivă**: pornim de la un bloc și eliminăm material.
- Forma este dictată de constrângerile sculelor (freze, burghie).
- Exemple de constrângeri: unghiuri de degajare, raze de racordare, evitarea subcotărilor.

Proiectare pentru Fabricație Aditivă (DfAM)

„Fabricăm ceea ce proiectăm.”



- Logica este **aditivă**: construim piesa strat cu strat.
- Funcția dictează forma, nu scula.
- Complexitatea geometrică este (aproape) gratuită.

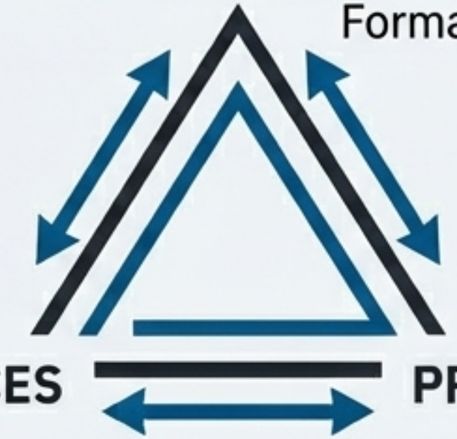
NotebookLM

Ce Este DfAM? Definiția și Principiile Fundamentale

„DfAM este o metodologie de proiectare care utilizează libertățile de formă ale fabricației aditive pentru a maximiza performanța funcțională a piesei, luând în considerare simultan constrângerile intrinseci ale procesului.”

PROIECTARE

Forma, optimizarea, funcționalitatea.



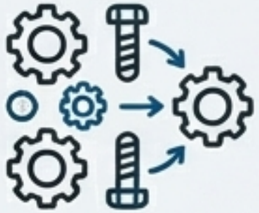
Tehnologia AM (FDM, SLA etc.), parametrii, materialul.

PROCES

PRODUS

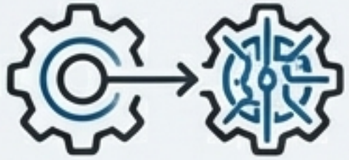
Proprietăți mecanice, acuratețe dimensională, calitatea suprafeței.

Reducerea masei (Lightweighting)



Consolidarea pieselor (Part Consolidation)

Personalizare în masă (Mass Customization)

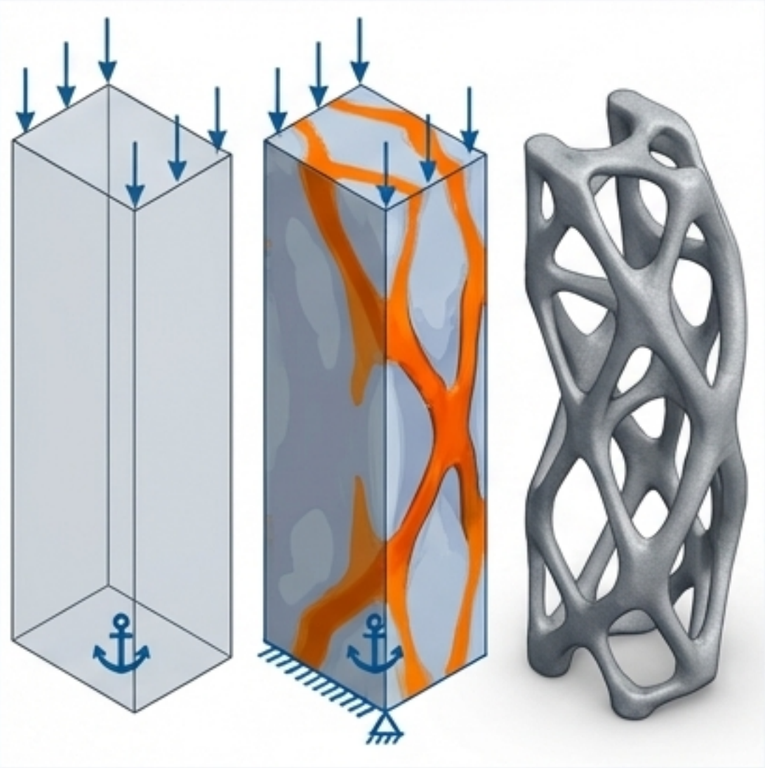


Funcționalitate îmbunătățită (Enhanced Functionality)

NotebookLM

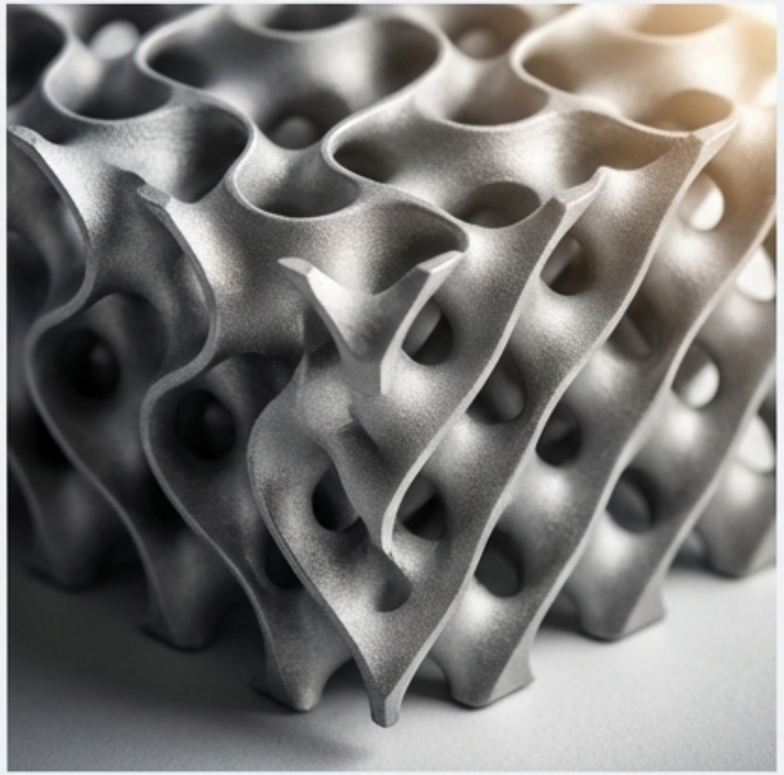
Libertăți de Formă: Când Complexitatea Devine un Avantaj

Optimizarea Topologică



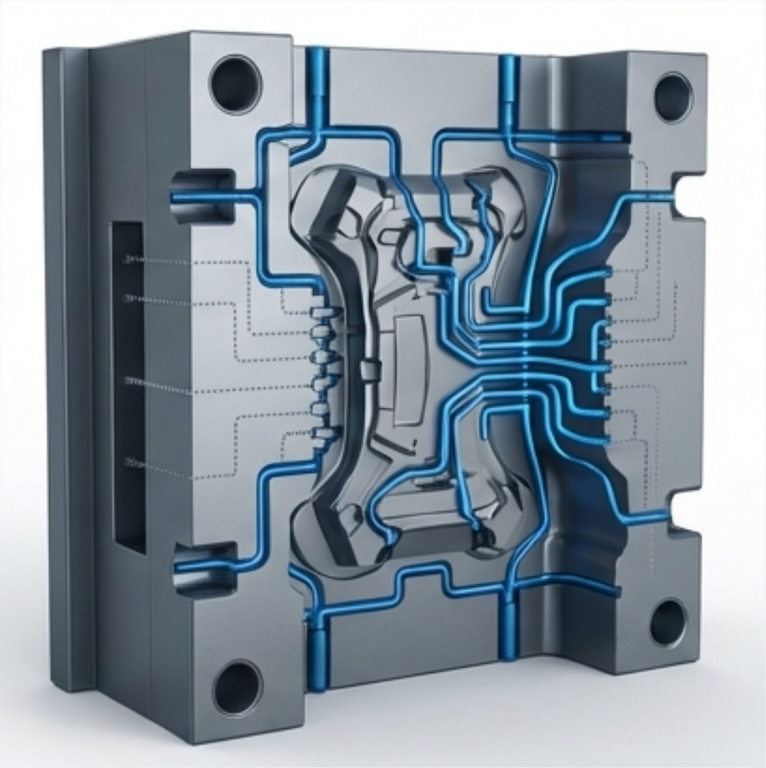
„Eliminarea materialului acolo unde nu este necesar, păstrând rezistența structurală.”

Structuri Lattice (Zabrele)



„Micro-arhitecturi interne pentru absorbția de șocuri, transfer termic sau osteointegrare (implanturi medicale).”

Canale Interne Conforme

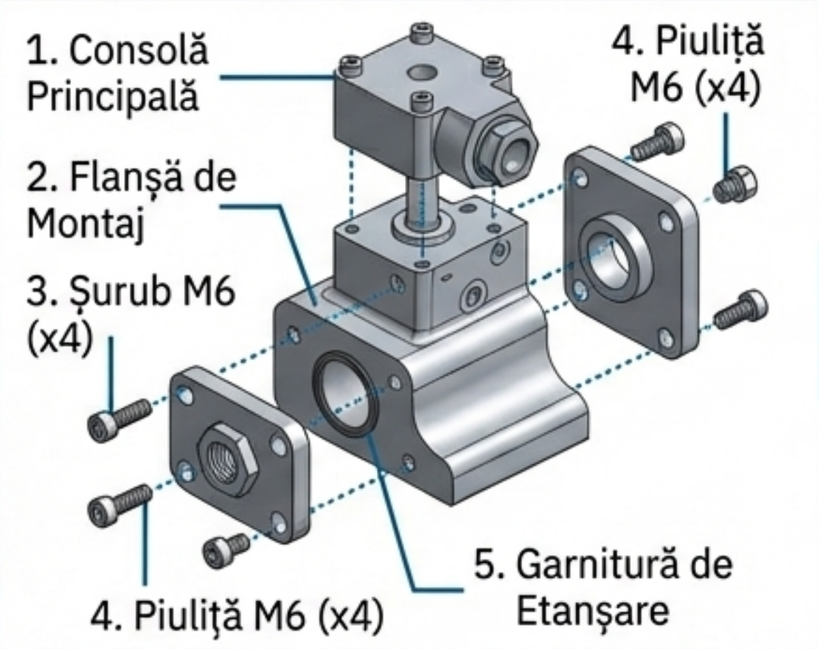


„Integrarea de funcționalități direct în corpul piesei.”

NotebookLM

Libertăți Funcționale: De la Ansambluri Complexe la Piese Unice

Înainte: Ansamblu Complex



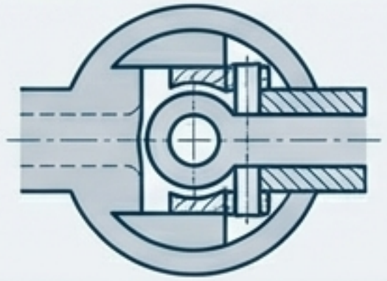
După: Piesă Unică Consolidată

Beneficii

- Reduce masa totală.
- Elimină timpul și costurile de asamblare.
- Reduce numărul de puncte de potențială cedare.
- Simplifică lanțul de aprovizionare.

Concept Avansat: Mecanisme Ne-asamblabile

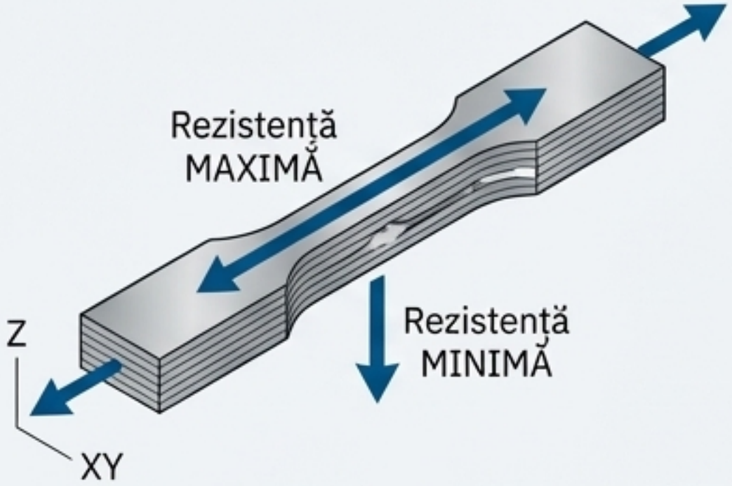
Referință la studiul Prof. Anghel (processes-09-00925), care demonstrează cum articulațiiile și cuplele cinematice pot fi printate direct în stare funcțională, eliminând complet asamblarea.



NotebookLM

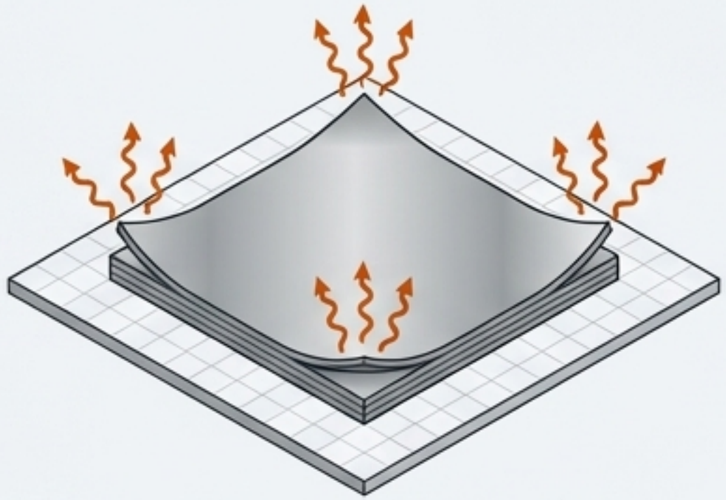
Noile Reguli ale Jocului: Constrângerile Tehnologice Fundamentale

Anizotropia



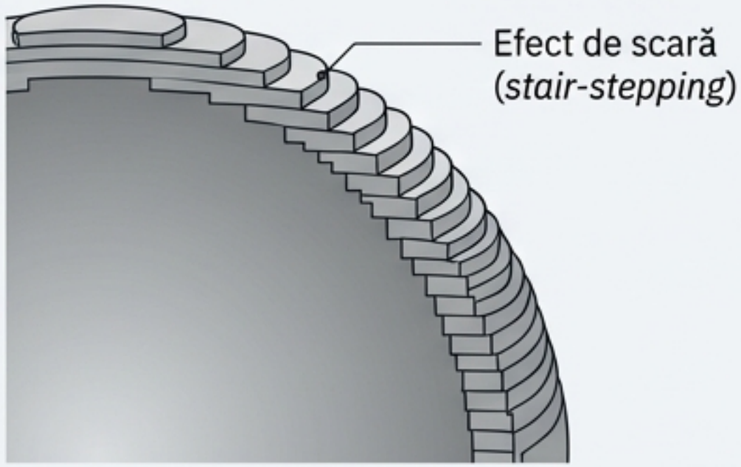
„Piesele printate au un ‘fir’, similar cu lemnul. Proprietățile mecanice depind de direcția de fabricație.”

Stres Termic și Deformații (Warping)



„Răcirea neuniformă a straturilor duce la tensiuni interne care pot deforma piesa.”

Rezoluție și Acuratețe Dimensională



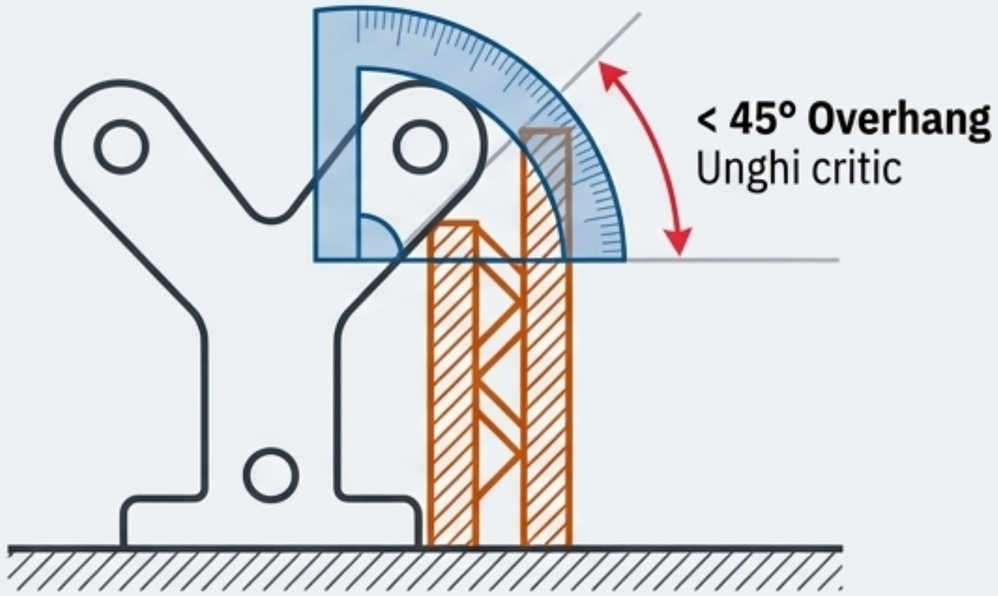
„Geometriile curbe sunt aproximate prin straturi discrete, creând ‘efectul de scară’ (*stair-stepping*).”

Acest fenomen introduce abateri dimensionale, un concept-cheie analizat în studiul de caz (manuscript_final.pdf) ce va fi prezentat ulterior.

NotebookLM

Taxa pe Gravitație: Rolul și Impactul Structurilor de Suport

De ce sunt necesare?



„Orice suprafață a piesei cu un unghi mai mic de 45° față de orizontală (*overhang*) necesită o structură de susținere pentru a nu se prăbuși în timpul printării.”

Costul Suporturilor

„Suporturile nu sunt gratuite. Ele introduc costuri și compromisuri.”

Timp: Creșterea duratei de printare.

Material: Consum suplimentar de material care va fi aruncat.

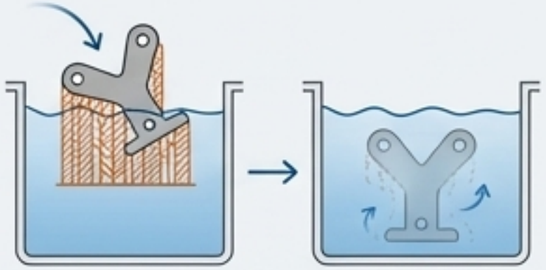
Muncă: Necesită post-procesare manuală pentru îndepărtare.

Calitate: Lasă urme și afectează finisarea suprafeței de contact.

Bonus Section

Soluții Tehnologice

O soluție tehnologică pentru a facilita post-procesarea este utilizarea materialelor de suport solubile, precum PVA (Alcool Polivinilic), care se dizolvă în apă.

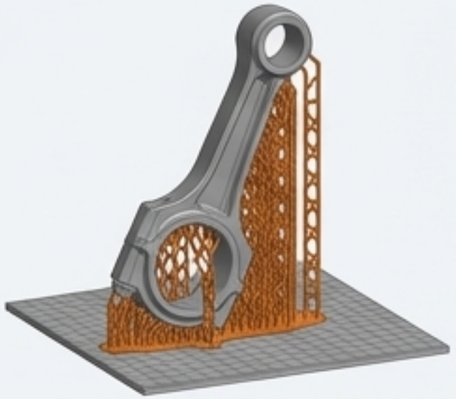


„Obiectivul inginerului: Proiectează pentru a minimiza sau elimina nevoia de suporturi.”

NotebookLM

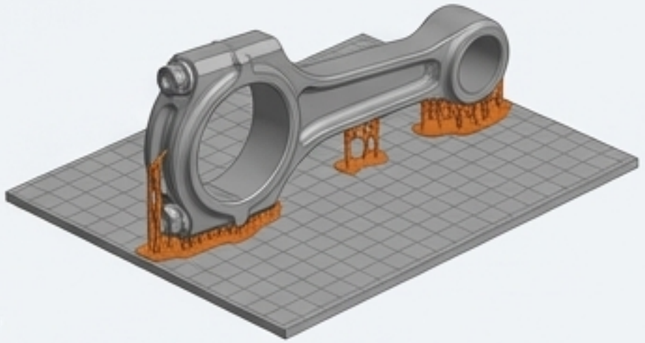
Orientarea Piesei: Cea Mai Importantă Decizie în DfAM

Orientarea A



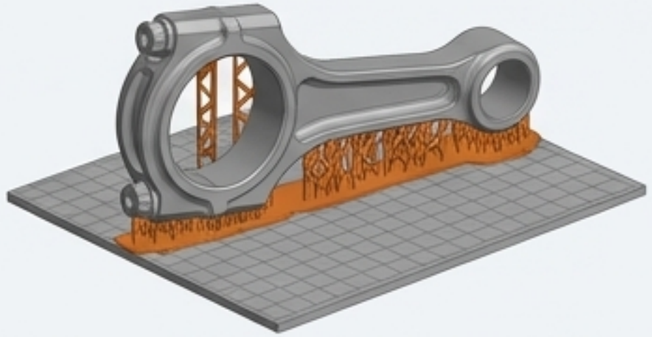
Orientare Verticală: Rezistenţă maximă de-a lungul axei principale, dar timp şi volum de suport excesive.

Orientarea B

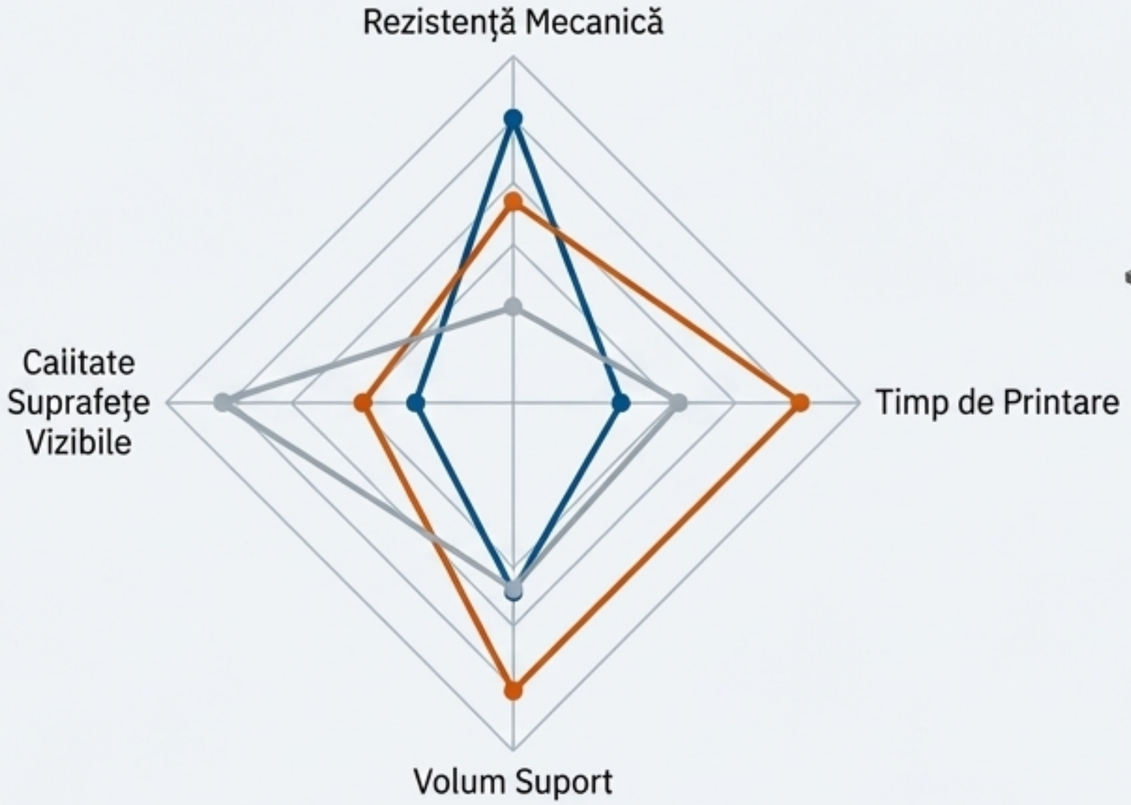


Orientare pe Muchie: Timp de printare şi volum de suport minime, compromis la rezistenţă.

Orientarea C



Orientare pe Faţă: Calitate superioară a suprafeţelor vizibile, necesită suporturi moderate.



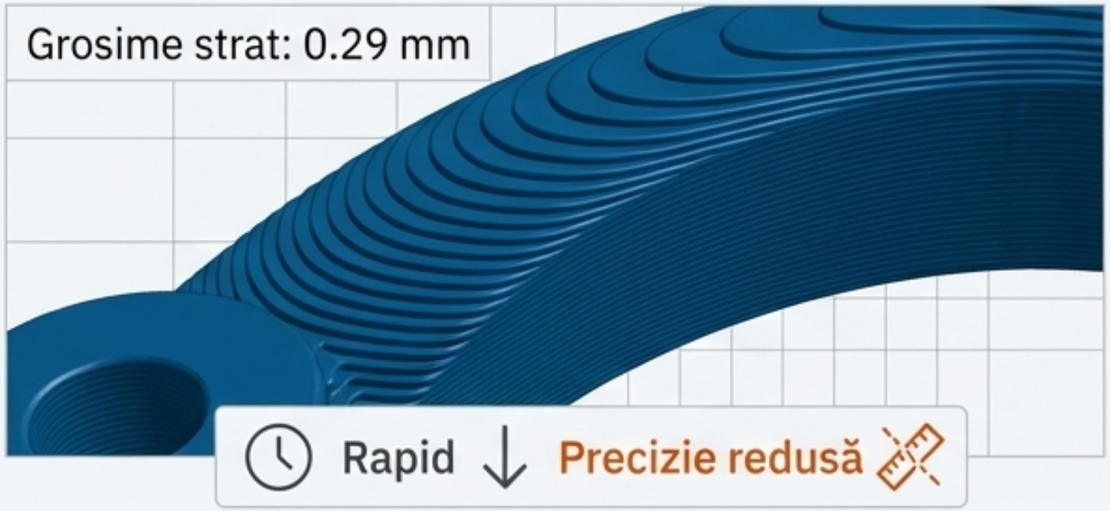
- Orientarea A: Maxim Rezistenţă, Mult Suport
- Orientarea B: Optim Timp/Suport, Rezistenţă Medie
- Orientarea C: Calitate Maximă, Rezistenţă Slabă

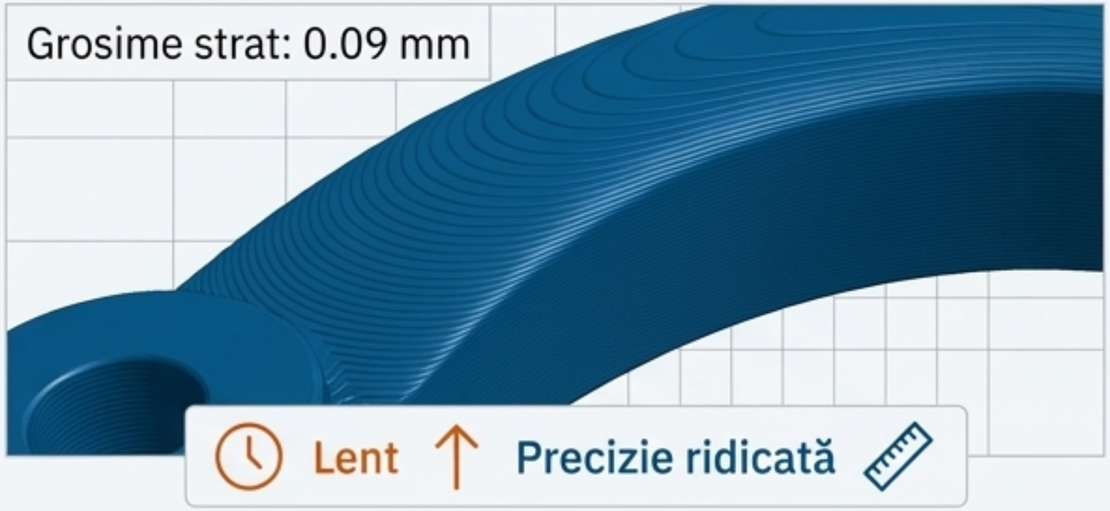
Concluzia Inginerească: „Nu există o orientare ‘perfectă’. Există doar o orientare ‘optimă’ pentru cerințele specifice ale aplicației.”

NotebookLM

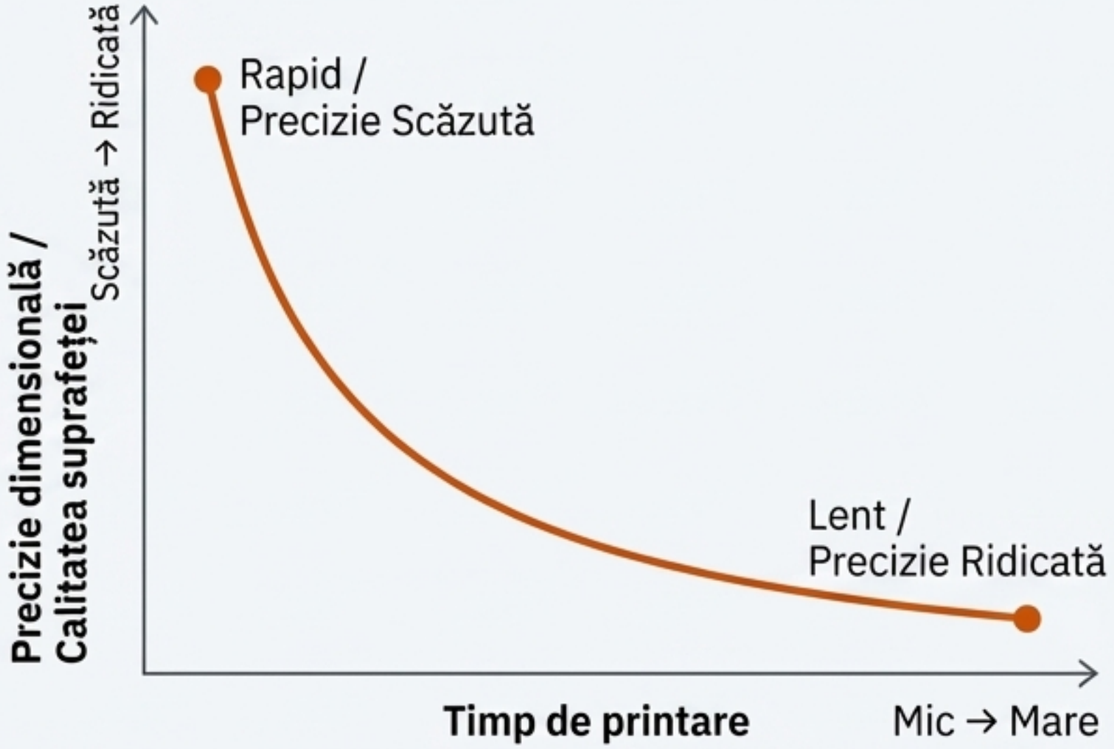
Grosimea Stratului: Compromi sul între Viteză și Precizie

Comparație Vizuală





Grafic de Compromis



Context Inginieresc: „Alegerea grosimii stratului depinde de scopul piesei: prototip rapid de formă (strat gros) vs. componentă funcțională finală cu toleranțe strânse (strat subțire).”

NotebookLM

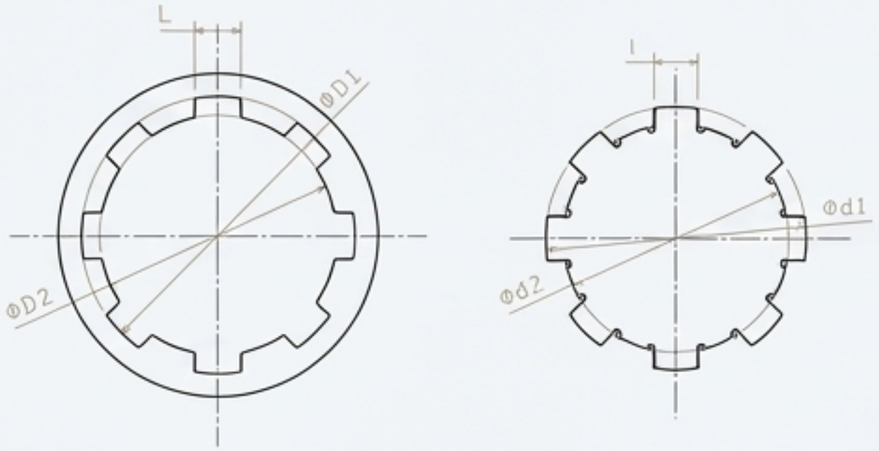
Studiu de Caz: Analiza Acurateței Dimensionale a Arborilor Canelați

Sursă: Rizea, A.-D.; Banică, C.-F.; ...; Anghel, D.-C. Dimensional Accuracy Analysis of Splined Shafts and Hubs... *Appl. Sci.* 2025.

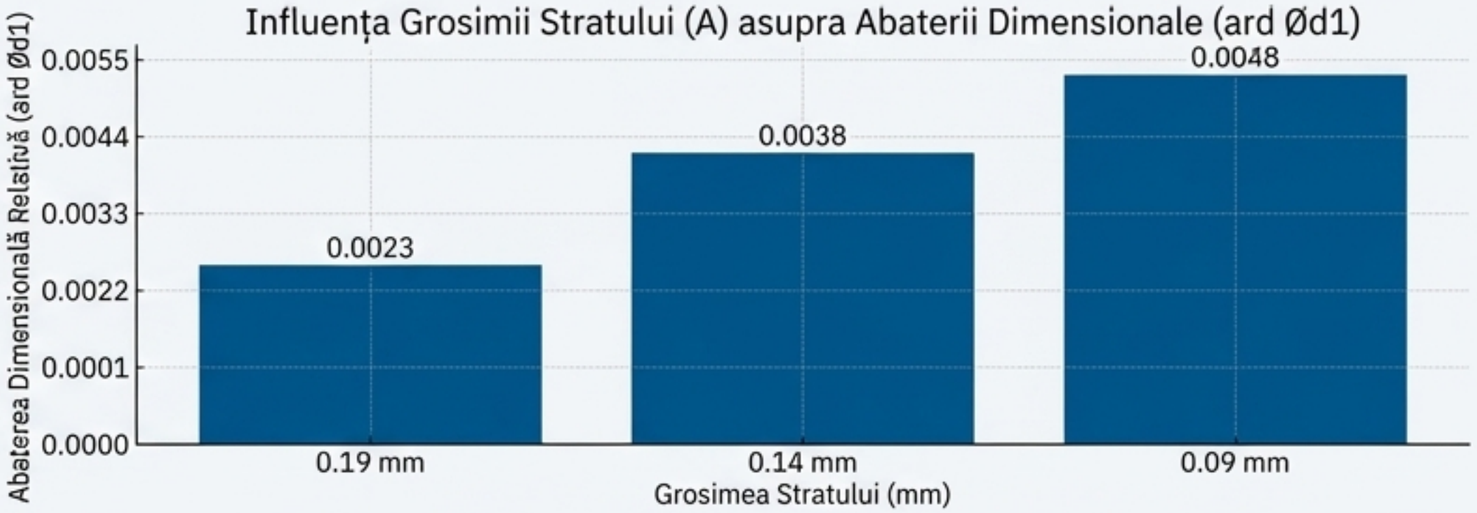
Obiectivul Studiului: „Investigarea influenței parametrilor de printare FDM (grosimea stratului, densitatea umplerii) asupra abaterilor dimensionale ale arborilor și butucilor canelați.”

Metodologie (simplificat):

„Piese proiectate în CATIA, fabricate din Z-PLA și măsurate cu o mașină de măsurat în coordonate (CMM) de înaltă precizie.”



Rezultat Cheie:



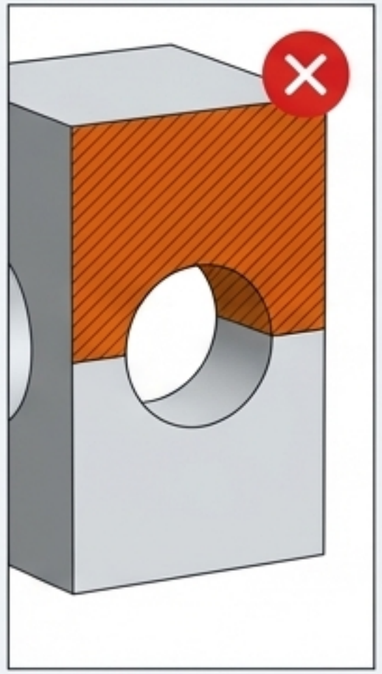
Concluzie Practică:

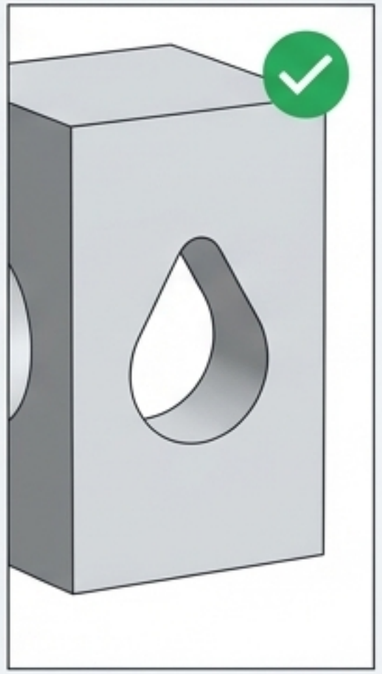
„Studiul demonstrează empiric că pentru componente funcționale cu toleranțe strânse, o grosime mai mică a stratului este esențială pentru a minimiza erorile dimensionale.”

NotebookLM

Proiectare Inteligentă: Tehnici de Optimizare Geometrică

Tehnica 1: Proiectarea pentru Auto-susținere (Self-supporting)

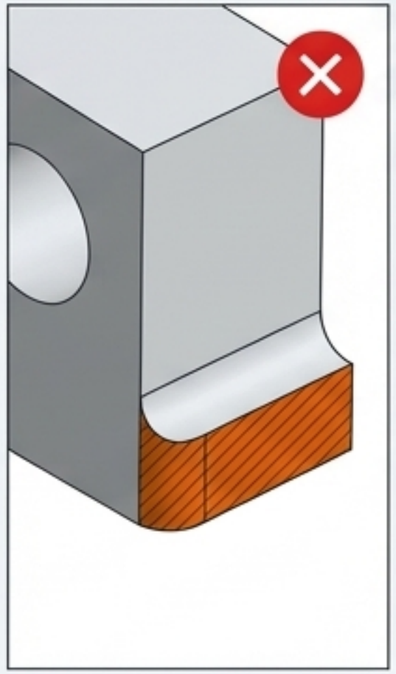


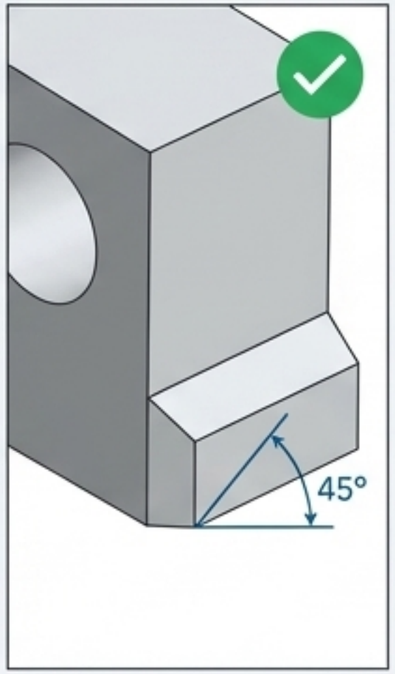


Problemă **Soluție**

Modificaţi găurile orizontale în forme auto-susţinute.

Tehnica 2: Utilizarea Unghiurilor de 45°

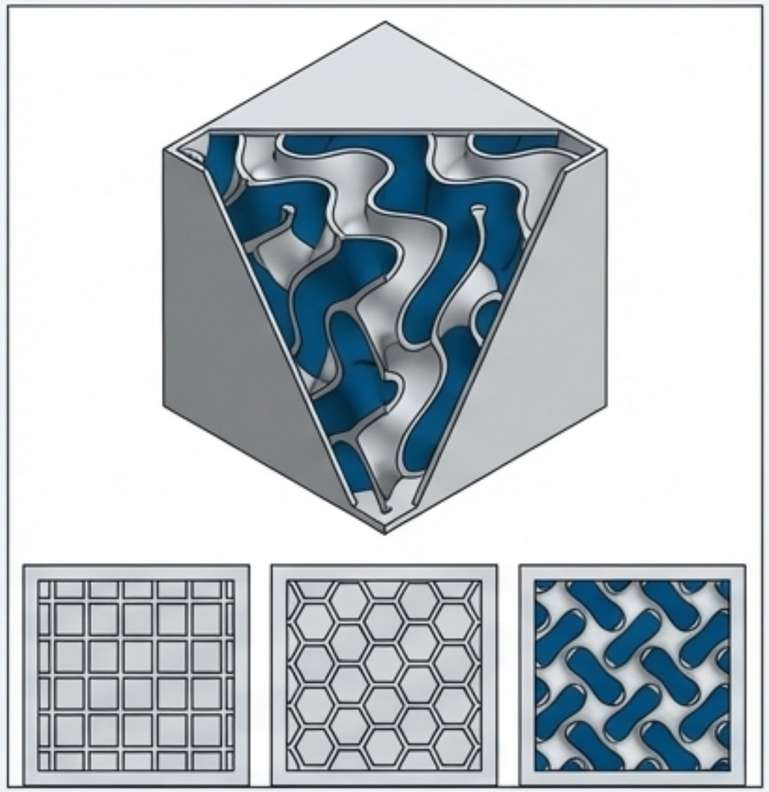




Evită **Preferă**

Înlocuiţi razele de racordare inferioare cu teşituri la 45°.

Tehnica 3: Reducerea Masei prin Umplere (Infill)



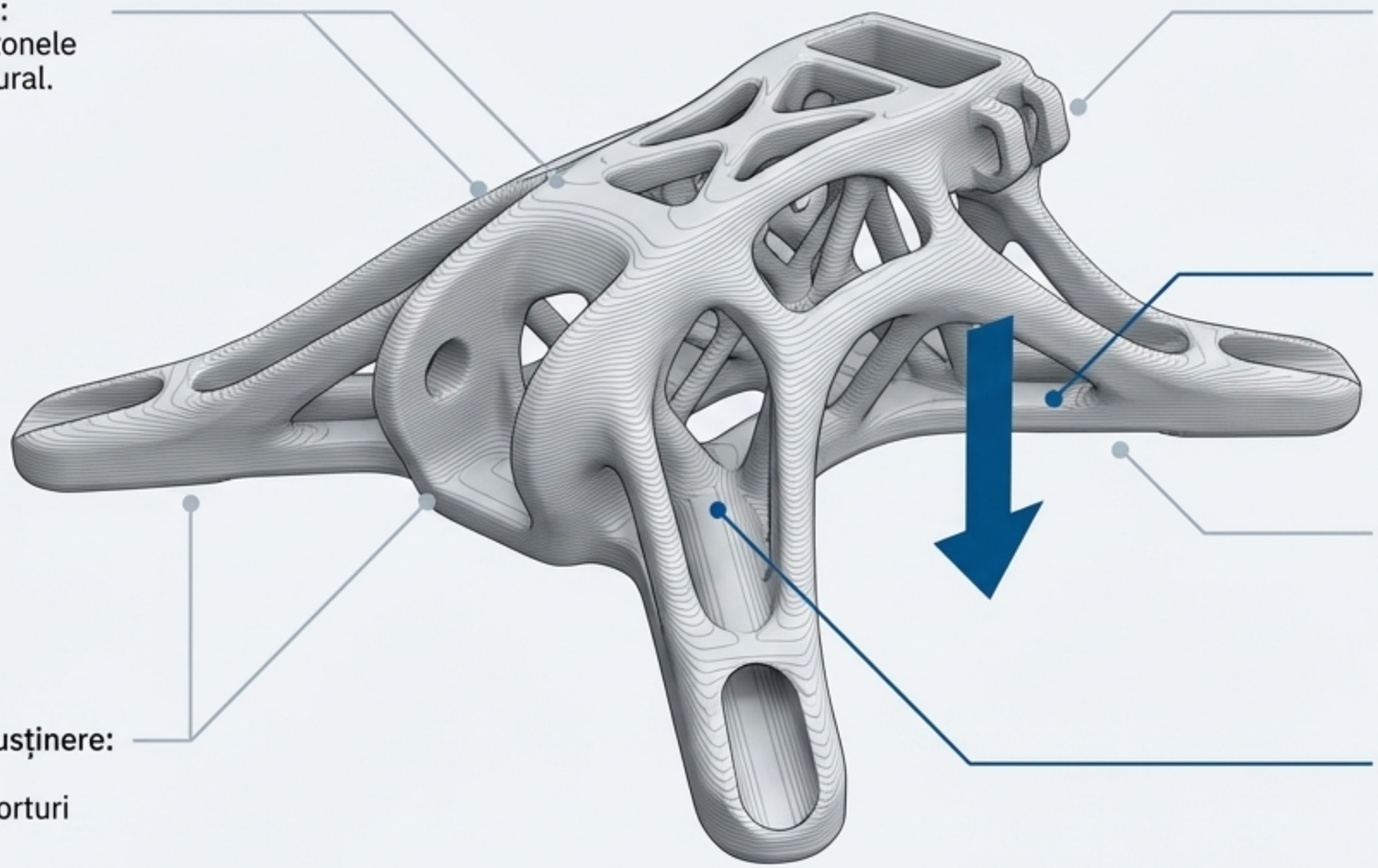
„Pereţii solizi sunt rareori necesari. Utilizaţi modele de umplere interne pentru a reduce materialul și timpul, menținând rigiditatea.”

NotebookLM

DfAM în Acțiune: Anatomia unei Piese Optimizate

1. Optimizare Topologică:
Material prezent doar în zonele unde este necesar structural.

2. Consolidarea Pieselor:
Funcţii multiple (suport, clemă) integrate într-o singură componentă.



3. Orientare Optimală:
Orientată pentru a plasa sarcina maximă în planul XY, cel mai rezistent.

4. Design pentru Auto-susținere:
Toate unghiurile > 45°, eliminând nevoia de suporturi interne.

4. Design pentru Auto-susținere:
Toate unghiurile > 45°, eliminând nevoia de suporturi interne.

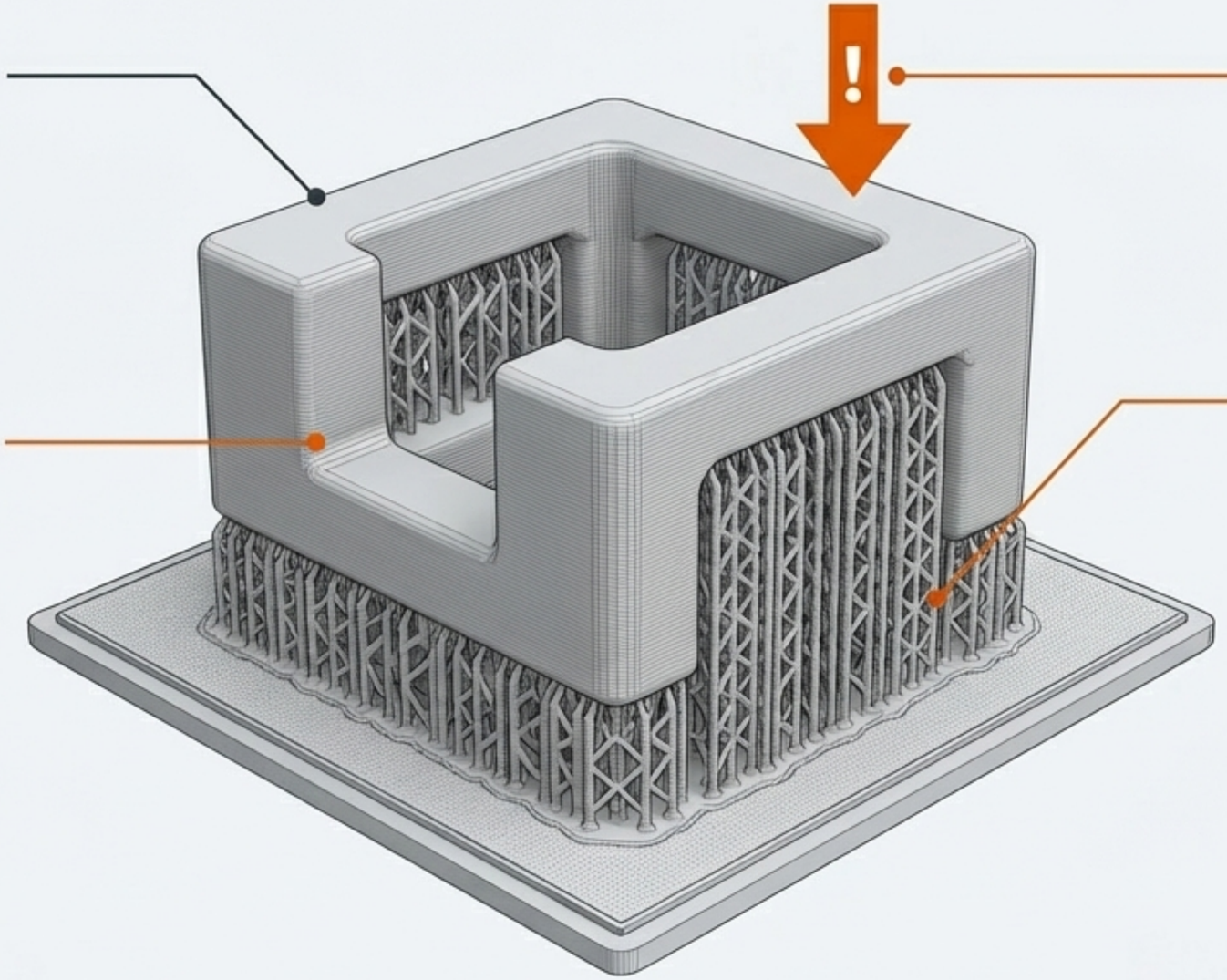
5. Canale Interne:
Funcţionalitate internă complexă pentru răcire sau managementul cablurilor.

NotebookLM

Capcane de Evitat: Când Gândirea Tradițională Eșuează

⚠️ **Masă Excesivă:** Greutate inutilă, consum mare de material şi timp.

⚠️ **Muchii Ascuţite de 90°:** Concentrator de stres şi punct slab între straturi.



⚠️ **Orientare Greşită:** Sarcina principală este perpendiculară pe straturi, riscând delaminarea.

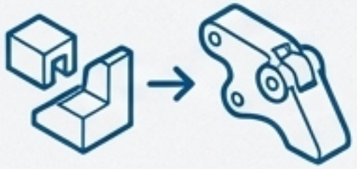
⚠️ **Dependenţă Masivă de Suporturi:** Necesită o cantitate uriaşă de suport, compromiţând finisarea şi irosind ore şi material.

NotebookLM

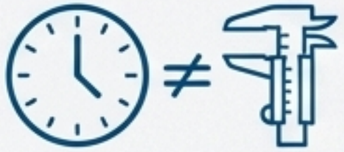
DfAM: Lista de Verificare a Inginerului

Funcția dictează forma?

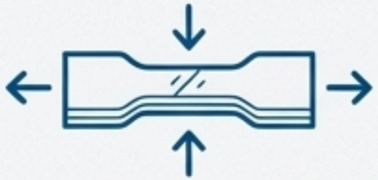
Am minimizat suporturile prin modificări geometrice?



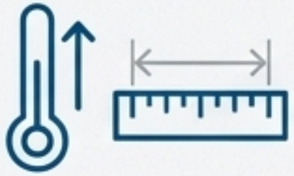
Pot consolida piese pentru a elimina asamblarea?



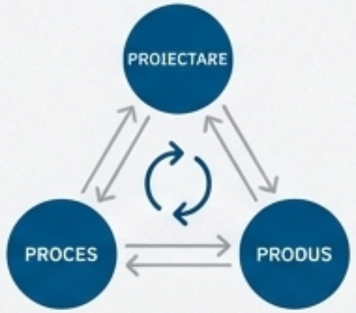
Care este compromisul optim între viteză și precizie pentru această piesă?



Cum afectează orientarea rezistența și calitatea?



Cum voi gestiona constrângerile termice și acuratețea dimensională?



NotebookLM

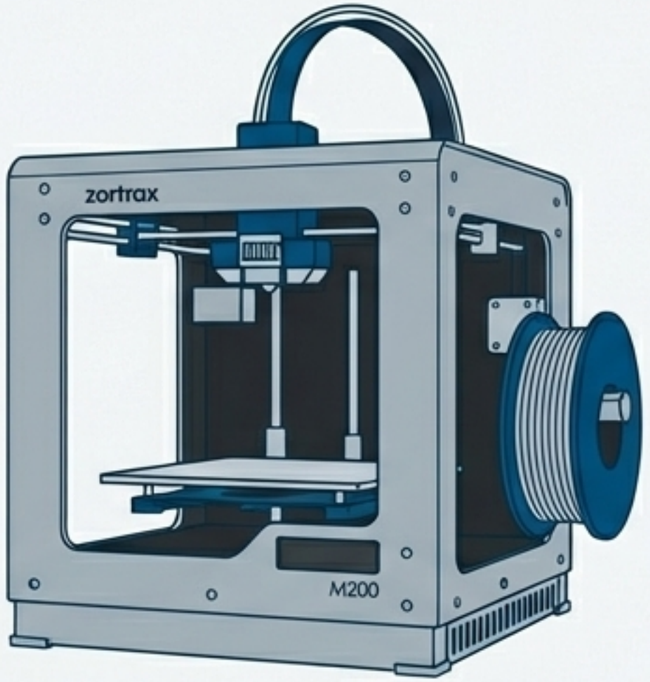
Gândire Critică și Pregătire pentru Laborator

Întrebări de Reflecție

1. Pentru componenta din proiectul dumneavoastră, identificați **3 modificări de design** care ar **reduce dependența de structurile de suport**, fără a compromite funcționalitatea.
2. Analizați un obiect de uz comun (ex: o carcasă de telecomandă). Cum l-ați **reproiecta** folosind principiile **DfAM** de consolidare a pieselor și optimizare a masei?
3. Justificați alegerea **grosimii stratului** și a **orientării** pentru prototipul pe care îl veți realiza în laborator, având în vedere cerințele de rezistență și toleranță ale acestuia.

Legătura cu Activitățile Practice

Conceptele discutate astăzi constituie baza pentru activitățile de laborator și pentru dezvoltarea proiectului de semestru. Aplicați lista de verificare DfAM în etapa de modelare CAD.



NotebookLM