

# 1. Infografica în imprimarea 3D

Fabricarea obiectelor tridimensionale este un domeniu de studiu cu rădăcini adânci în istorie. În decursul timpului au fost dezvoltate mai multe tipuri de tehnologii care să permită crearea de obiecte solide cu diverse forme. Prin modul de utilizare a materialului în vederea obținerii formei obiectului tehnologiile se pot împărți în patru categorii:

1. Tehnologii de fabricare prin înlăturare de material (Subtractive technologies)
2. Tehnologii de fabricare prin adăugare de material (Additive technologies)
3. Tehnologii de fabricare prin reformarea materialului (Net shape technologies)
4. Tehnologii de fabricare constructive (Constructive technologies)

**1. Tehnologiile de fabricare prin înlăturare de material** sunt larg utilizate în prezent în diverse domenii ale creației industriale sau artistice. Caracteristic pentru aceste tehnologii este faptul că sunt mari consumatoare de materie primă și produc cantități importante de deșeurii. Fabricarea porneste de la un bloc de material solid (semifabricat) care are dimensiuni de gabarit mai mari decât obiectul ce trebuie realizat (sau cel puțin egale). Prelucrarea constă în înlăturarea succesivă și selectivă a unor mici bucăți din blocul de material astfel încât acesta să se apropie de forma și dimensiunile dorite.

Exemple din domeniul industrial:

- prelucrarea prin aschiere; strunjire, frezare, gaurire, rectificare;
- prelucrare prin electroeroziune

din domeniul artistic :

- sculptura în piatră, lemn

**2. Tehnologiile de fabricare prin adăugare de material** sunt definite prin termenul *Additive technologies(AM)* sau *Solid Freeform Fabrication(SFF)*. Ele permit construirea obiectelor prin adăugarea unor cantități mici de material în locații precise, cantitatea de material utilizată fiind astfel practic egală cu cantitatea cuprinsă în obiectul finit. Obiectul este constituit din mici entități primare cum ar fi picături sau straturi. Aceste metode de fabricare permit construirea unor obiecte oricât de complexe iar gama de materiale utilizabile deși relativ restrânsă în prezent, se lărgeste continuu.

**3. Tehnologiile de fabricare prin redistribuirea materialului** de asemenea utilizează o cantitate de material aproape egală cu cea a piesei finite. Aceste tehnologii folosesc o formă sau matrită pentru a asigura geometria finală a piesei realizate. Cantități dozate de materialele de pornire sub formă lichidă, vascoasă sau solidă sunt forțate să preia forma matritei sau formei de turnare.

Exemple: turnarea, deformarea plastică, injectarea materialelor plastice

**4. Tehnologiile de fabricare constructive** reprezintă de fapt tot niște procedee de tip aditiv prin care un obiect complex este realizat prin asamblare din componente de sine statătoare

realizate anterior cu ajutorul unor elemente de legatura. Componentele, simple sau complexe, ce participa la realizarea ansamblului pot fi realizate din același material sau din materiale diferite.

### Tehnologiile aditive

Fabricarea prin adaugare de material A.M. (Aditive Manufacturing) definește de fapt o întreaga gama de tehnologii aditive care permit fabricarea obiectelor cu forme complexe în mod secvențial din straturi paralele (orizontale) unite între ele. Această abordare a fabricării se pretează foarte bine la realizarea obiectelor fizice direct din surse de date CAD. Sistemele care utilizează principiul **Layered Manufacturing (LM)** sunt cunoscute de asemenea prin numele general **Free Form Fabrication (FFF)** (ceea ce semnifică fabricarea formelor complexe fără matrită), sau **Solid Freeform Fabrication (SFF)** (adică fabricarea solidelor fără matrită) sau **Rapid Prototyping (RP)** (în traducere-prototipare rapidă).

Numele procedeelelor specifice sunt utilizate adesea și ca sinonime pentru întregul domeniu de fabricare stratificată. Iată câteva denumiri de procedee SFF mai răspândite:

- SLA - stereolitografia (abrevierea definește de fapt aparatul care utilizează acest procedeu de fabricare stratificată)
- SLS - sinterizare selectivă cu laser
- FDM - modelare prin depunere din topitură
- LOM - fabricarea obiectelor din folii laminare
- 3DP - tipărire tridimensională

Fiecare din aceste tehnologii și multe altele care nu au fost menționate aici au punctele lor tari și slabe.

Fabricarea stratificată nu este o idee nouă așa cum s-ar putea lăsa impresia. Un exemplu al acestei abordări încă din antichitate îl constituie construcția piramidelor egiptene [1] (Fig. 1).

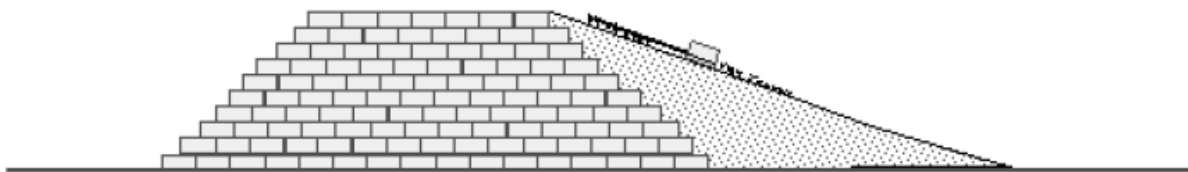


Fig. 1. Construcția stratificată a piramidelor.

Obiectivul A.M. este de a fi posibil să se fabrice piese tridimensionale cu forme complexe, direct din modele CAD, cu cât mai puține operații pregătitoare. O cale de realizare a acestora este utilizarea metodei **Layered Manufacturing LM (SFF)**. Operațiile ce trebuie realizate în cadrul acestei tehnologii sunt prezentate în figura 2.

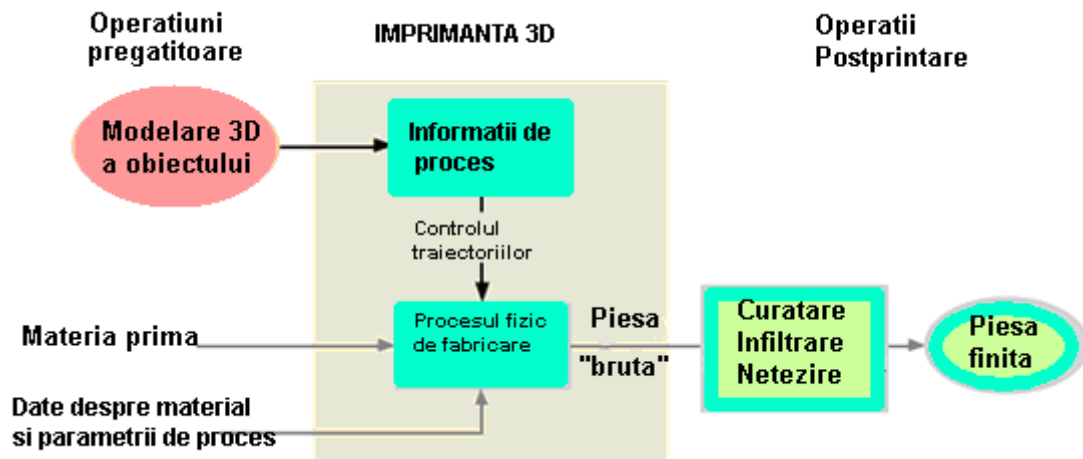


Fig. 2. Sistemul de Fabricație Aditivă

Metodologiile SFF au urmatoarele atribute:

- pot construi geometrii complexe 3D arbitrare;
- planificarea procesului este automata, bazat pe un model CAD;
- utilizeaza o masina generica de fabricare;
- nu necesita dispozitive de fixare specifice pentru piesa;
- nu necesita forme sau matrite;
- necesita pentru operare o interventie umana minima sau de loc.

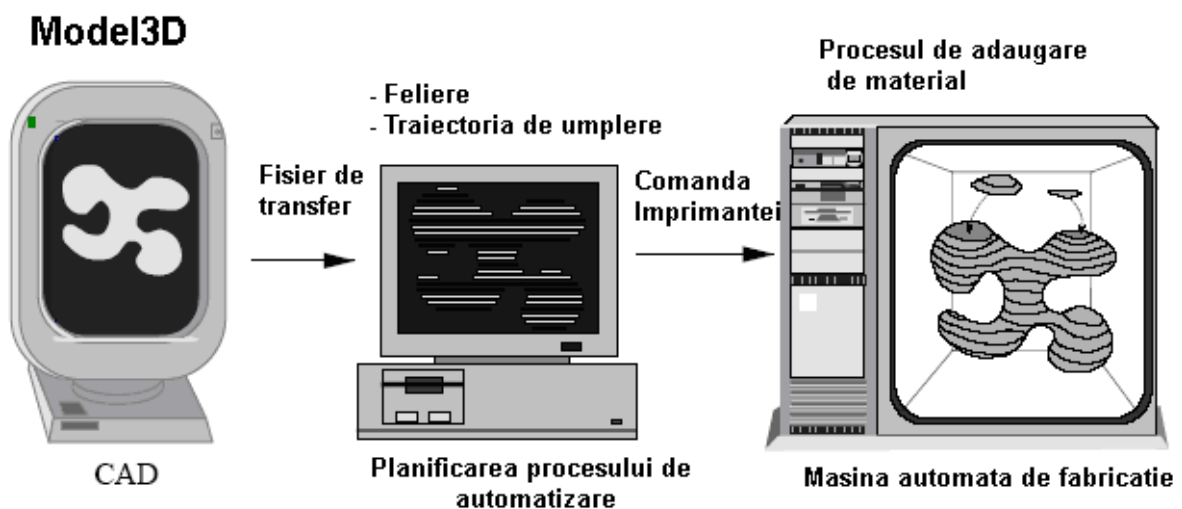


Fig. 3. SFF utilizand tehnologia fabricarii stratificate.

În cadrul acestei metode, un model CAD 3D solid al obiectului este descompus în straturi în 2,5D dimensiuni, adică straturi care pot fi reprezentate printr-o secțiune transversală plană cu o grosime uniformă asociată, figura 3.

Apoi planificatorul procesului de fabricare generează traiectorii pentru ghidarea procesului aditiv de material în scopul construirii fizice a acestor straturi într-o mașină automată de fabricare. Dacă este necesar sunt construite structuri de susținere simultan cu piesa pentru a susține anumite părți ale obiectului.

Fiecare strat fizic conține: secțiunea transversală utilă a piesei și stratul de material de susținere complementar, care este apoi depus și lipit de stratul precedent (Fig. 2.2a) utilizând una din cele câteva tehnologii de depunere și lipire disponibile.

Materialul suport are două roluri primare: întâi, el susține piesa, analog “fixării” din tehnicile de fabricare tradiționale; a doua, el servește ca substrat care susține “regiunile neconectate” și ca părțile atarnate să poată fi depuse.

Regiunile neconectate necesită acest suport cât timp ele nu sunt unite cu corpul principal până când straturile ulterioare sunt depuse. Altfel utilizarea a materialului suport este de a forma cavități închise în piesă.

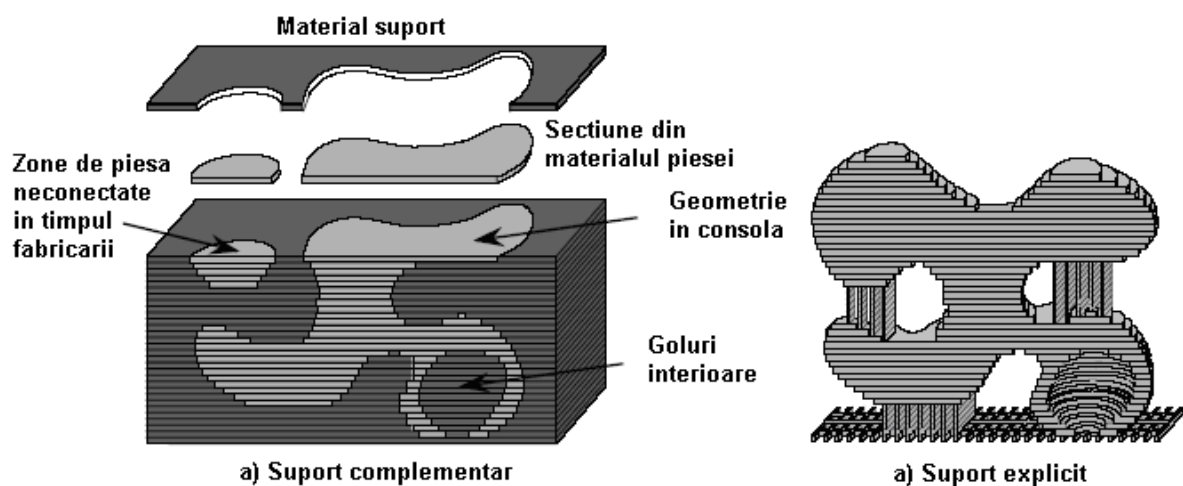


Fig. 4. Construcția piesei prin tehnologia A.M.: a) metoda suport complementar, b) metoda suport explicit

Alte sisteme A.M. utilizează structuri suport numai acolo unde este necesar, adică, pentru susținerea regiunilor interconectate și a părților atarnate (Fig. 4 b). Aceste structuri suport explicite sunt depuse din același material ca și obiectul care se creează, dar sunt create într-o formă care să permită îndepărtarea ușoară o dată ce piesa a fost realizată complet. De exemplu, ele pot fi depuse ca o structură cu pereți subțiri care se poate rupe ușor.

SFF poate fi planificat și executat rapid și automat, independent de forma piesei, pentru mai multe rațiuni:

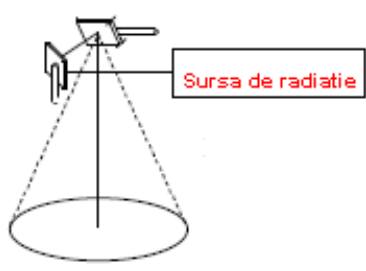
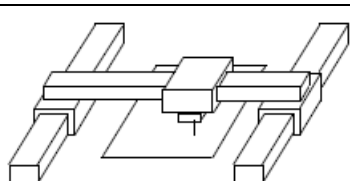
(1) operația de descompunere transformă geometrii complexe 3D în reprezentări simple 2½D,

(2) fixarea client nu este necesara,

(3) masina care implementeaza aceste sisteme este relativ usor de operat.

Practic implementarea prelucrării în straturi pentru necesitățile fabricării moderne au fost posibile prin câteva tehnologii, incluzând modelarea solidelor bazate pe CAD, lasere, tipărirea cu jet de cerneala, dispozitive de control a mișcării de înaltă performanță, integrată cu mai multe procese tradiționale de fabricare, cum ar fi metalurgia pulberilor, extrudarea, sudarea, prelucrarea CNC (control numeric), și litografie, într-un nou aranjament (Fig. 2.4).

**Tabelul 1.** Mecanismele de obținere al unui strat 2,5D al pieselor realizate prin Tehnologiile Aditive

Nr. Crt.	Mecanismul de operare	Tipuri de procedee
1.	 <p>Axa – Z, înălțime, acționare mecanică Axele – X, Y, acționare optică</p>	SLA – stereolitografia SLS - sinterizare selectivă cu laser
2.	 <p>Axele – X, Y, Z, acționare mecanică</p>	FDM - modelare prin depunere din topitură 3DP - tipărire tridimensională

În tabelul 1, sunt prezentate mecanismele de obținere al unui strat 2,5D al pieselor realizate prin tehnologiile aditive. În primul caz imaginea secțiunii 2D este realizată utilizând sisteme optice ( 2 axe optice), iar a treia axa este realizată cu sisteme mecanice. Cele mai utilizate sisteme optice folosesc tehnica oglinzilor galvanometrice pentru devierea unei raze laser.

În al doilea caz, toate cele trei axe sunt deservite de sisteme mecanice. De exemplu pentru definirea geometriei secțiunii (axele x-y ) se utilizează un sistem de indexare mecanic iar pentru deplasare pe a treia axa (z) un piston care se deplasează pe verticală.

## 2. Etapele transformării modelului geometric pentru imprimarea 3D

Modalitatea creării imaginii pe planul orizontal în Fig. 2, reprezintă modul de a defini imaginea secțiunii unui singur strat și este analoga definirii imaginii în tipărirea grafică 2D. Un mod de abordare este să utilizăm o imagine raster creată ca o serie de linii continue paralele Fig. 5b. Această metodă este utilizată în crearea de imagini TV și este de asemenea utilizată la monitoarele CRT ale calculatoarelor.

Metoda alternativă este să desenăm conturul imaginii cu o mișcare vectorială, ilustrată prin săgeți în Fig. 5a. Interiorul poate fi umplut în sistem raster sau mai uzual cu un model de hasurare. Acest sistem e utilizat de plotere (imprimante de mari dimensiuni) plane. Diferențele între aceste sisteme se reflectă în viteza de lucru și precizie. Sistemul raster este mai rapid deoarece nu se fac schimbări de direcție și oferă posibilitatea lucrului cu capete multiple care se deplasează paralel. Totuși sistemul raster produce contururi aproximative cu erori de discretizare mai ales pe marginile înclinate față de direcția de deplasare raster. Această situație este înlăturată prin sistemul vector care însă este mai lent.

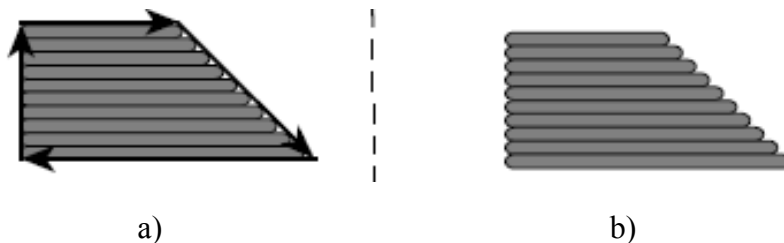


Fig. 5. Două abordări ale strategiei de imagine pentru un strat.  
a) Vectorizare exteriorului; b) Imagine raster

Un sistem A.M., Fig 1, se extinde dincolo de masina (SFF) și include operații premergătoare “pre-operations”, cum ar fi pregătirea datelor geometrice, cât și operații de post procesare, cum ar fi întărire finală, înlăturarea structurilor suport, și curățirea.

La operațiile premergătoare accentul este pus pe elementele care afectează forma piesei (interfețele de date (2D, 3D) ale masinii SFF; modul de reprezentare matematică a datelor geometrice (prin triunghiuri) și fișiere STL) și pe modificările necesare ce se aduc modelului geometric inițial, orientare, scalare, multiplicare, compensarea distorsiunilor, structuri suport. Acest model “pregătit” este utilizat apoi la generarea comenzilor de control a mișcării în cadrul echipamentului (scanare, feliere).

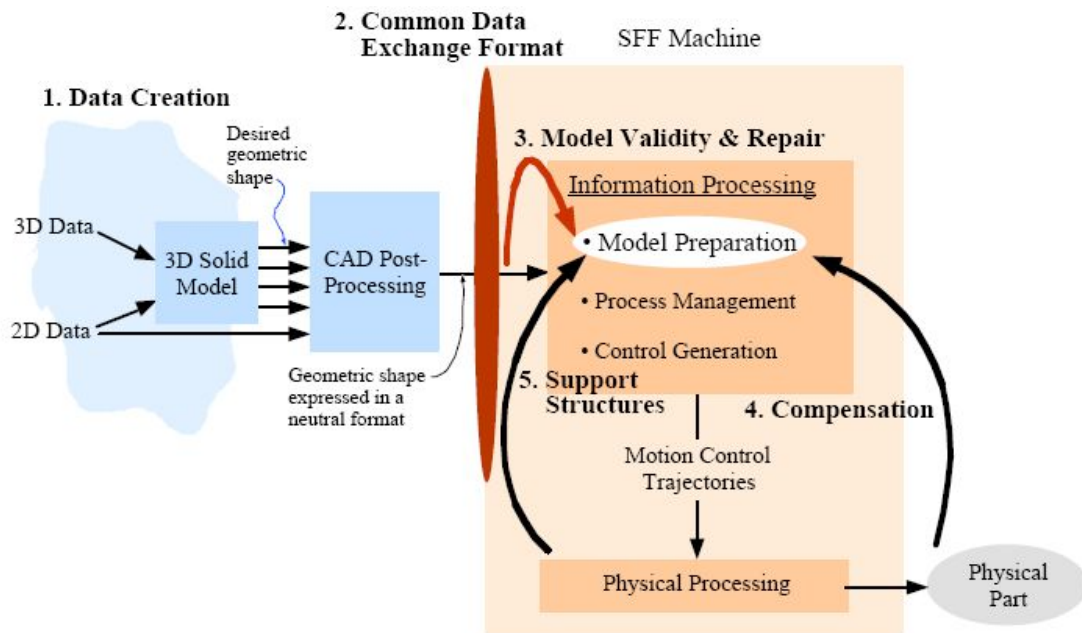


Fig. 6. Elemente lantului de fabricatie aditiva in care pot aparea modificari ale gemetriei

Figura 6 prezinta cele 5 elemente de baza ale masinii A.M. care afecteaza forma obiectului creat: (1) crearea datelor, (2) formate uzuale de schimb de date, (3) validitatea geometrica a modelului si repararea acestuia, (4) compensarea, si (5) structurile suport.

## 1. Crearea datelor

Primul pas in orice proces RP este crearea datelor geometrice, fie ca solid 3D intr-un program CAD, fie ca set de sectiuni 2D de la un dispozitiv de scanare. In fiecare caz datele trebuie sa reprezinte un model geometric valid; suprafata inconjuratoare sa delimiteze un volum finit, suprafata sa nu prezinte gauri si nici indoituri peste ea insasi (adica zone de grosime 0). Chiar si modelele tip coaja au un volum finit. Modelul este valid daca pentru orice punct din spatiul 3D se poate determina in mod unic daca se afla in interiorul sau in afara suprafetei inconjuratoare a obiectului.

Daca se furnizeaza masinii SFF date privind contururi 2D, aceste informatii implicite trebuie sa fie suficiente pentru definirea unui volum 3D valid.

## 2. Formate de schimb de date

Din ratiuni de competitivitate de piata si de prformanta, sistemele CAD utilizeaza o mare varietate de formate de transfer de date. Pentru a face fata acestei varietati fabricantii de masini SFF au impus ca toate modelele geometrice sa fie exprimate intr-un format neutru urmand ca producatorii de software CAD sa furnizeze postprocesoare pentru translatarea reprezentarilor CAD proprii in formatul neutru. Drept format neutru a fost ales formatul STL. Desi multi fabricanti de masini SFF ofera si formate proprii, toti accepta si formatul standard STL.

## Reprezentarea matematica prin fatete triunghiulare

S-a ales reprezentarea prin cele mai simple suprafete fateta triunghiulara. Aproximarea consta in impartirea suprafetei originale in triunghiuri interconectate.

## Reprezentarea datelor

Schema simpla de reprezentare a unui solid este sa se reprezinte suprafata ca o secventa de suprafete elementare (triunghiuri). Un element triunghiular e reprezentat ca o secventa de trei varfuri (vertex) si vectorul normalei spre exterior definit conform regulei mainii drepte in raport cu secventa de vertexuri. Aceasta reprezentare poarta numele de format **STL** si a fost introdusa initial de 3D Systems, Inc., in 1988. Ulterior a devenit formatul standard pentru transferul modelelor geometrice pentru masinile SFF.

Într-un fișier STL obiectul 3D este reprezentat ca o suprafață închisă formată din fațete triunghiulare, descrise la rândul lor de vârfuri. Poziționarea vârfurilor se realizează în sistemul cartezian tridimensional iar normala la suprafață se determină prin regula mâinii drepte. Vectorul normal la suprafață ne oferă informații cu privire la orientarea fațetei triunghiulare față de interiorului/exteriorului piesei. Pentru reprezentarea vârfurilor fațetelor se pot folosi coordonate pozitive și negative, iar fișierele STL nu conțin informații legate de scara sau unitățile de măsură utilizate pentru reprezentare.

Modelul STL reprezintă o aproximare a geometriei realizată pe baza ecuațiilor unor modele geometrice. De exemplu, o secțiune în plan a unei sfere transformată în model STL apare ca un model poligonal închis, care aproximează un cerc figura 7., iar o sfera este reprezentata aproximativ cu ajutorul unor fatete congruente, cu laturi doua cate doua comune.

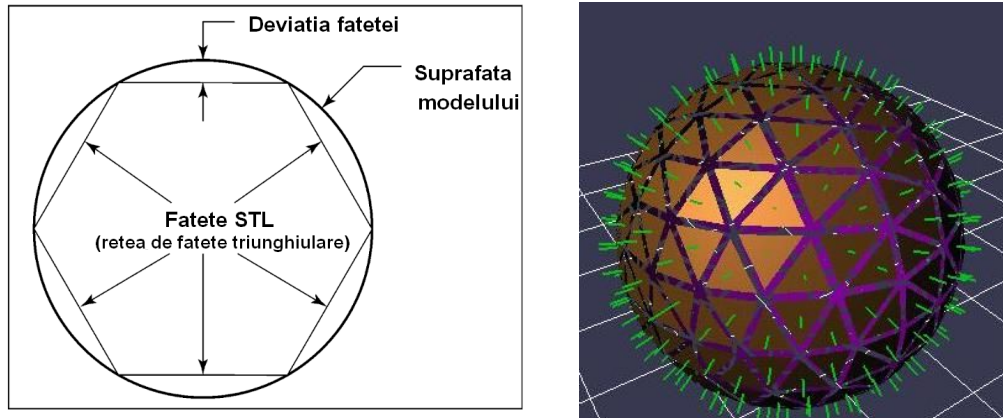


Fig. 7. Reprezentarea in plan a deviației unui model STL față de suprafața obiectului proiectat

## 3. Validarea si repararea modelului

Tebuie precizat ca, post-procesoarele CAD de fapt aproximeaza modelul geometric CAD (e.g., B-splines) prin figuri geometrice simple (triunghiuri), reprezentate matematic intr-un format dat: STL. Daca aceasta operatie de aproximare nu e facuta precis poate duce la



anomalii geometrice. Ca urmare multe masini SFF dispun de software de verificare a validitatii modelelor, figura 8. In cazul detectarii unor erori modelul trebuie reparat. acest lucru se poate face manual sau automat cu ajutorul unui software adecvat.

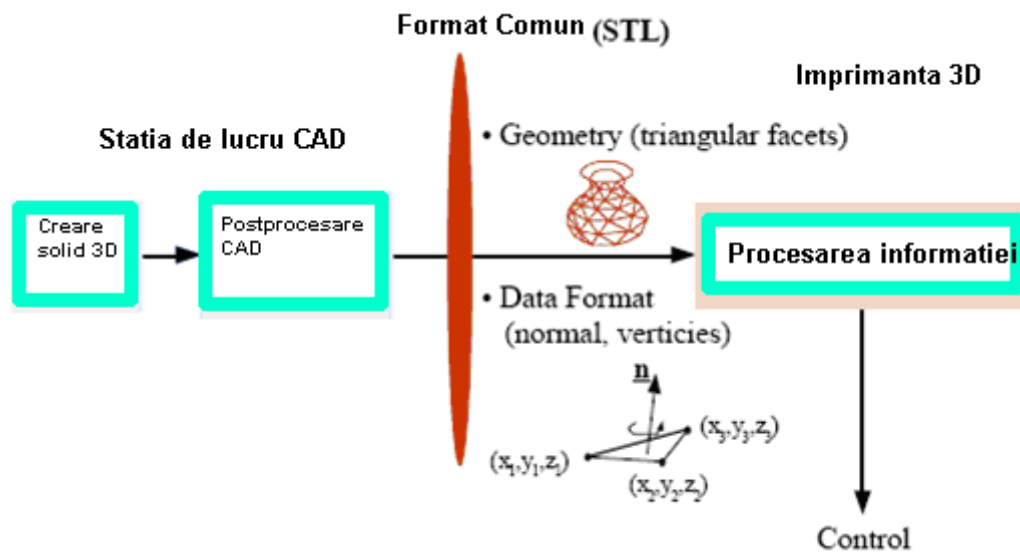


Fig. 8. Forma geometrica utilizata in formatul STL.

Chiar si in cazul modelelor valide sunt necesare o serie de operatii geometrice: orientare , scalare in raport cu spatiul de lucru al masinii, multiplicare.

Fig. 9 arata o serie de erori in triangularizarea unui model: fatete omise ceea ce creaza gauri in suprafata, conectari gresite intre suprafete adiacente cu curburi diferite. In formatul STL fiecare triunghi este definit independent astfel incat fiecare vertex este definit de mai multe ori. Datorita aproximărilor la conversia in model STL (cu fatete tringhiulare), este posibil ca două suprafete care de invecinează prin două curbe care au aceeasi ecuatie sa fie approximate cu fațete triunghiulare ale căror muchii adiacente sa fie definite de vertexuri diferite. Unele anomalii pot apare deoarece proiectantii nu au in vedere sau nu cunosc modul de procesare a modelului creat. Modelele solide complexe sunt create adesea prin alipirea unor solide ceea ce duce la aparitia unor suprafete coincidente, Fig. 9. In modelul CAD aceasta nu deranjeaza, însă la transformarea în format STL, pentru realizata piesei prin imprimare 3D poate cauza discontinuități, mici rupturi sau deformatii.

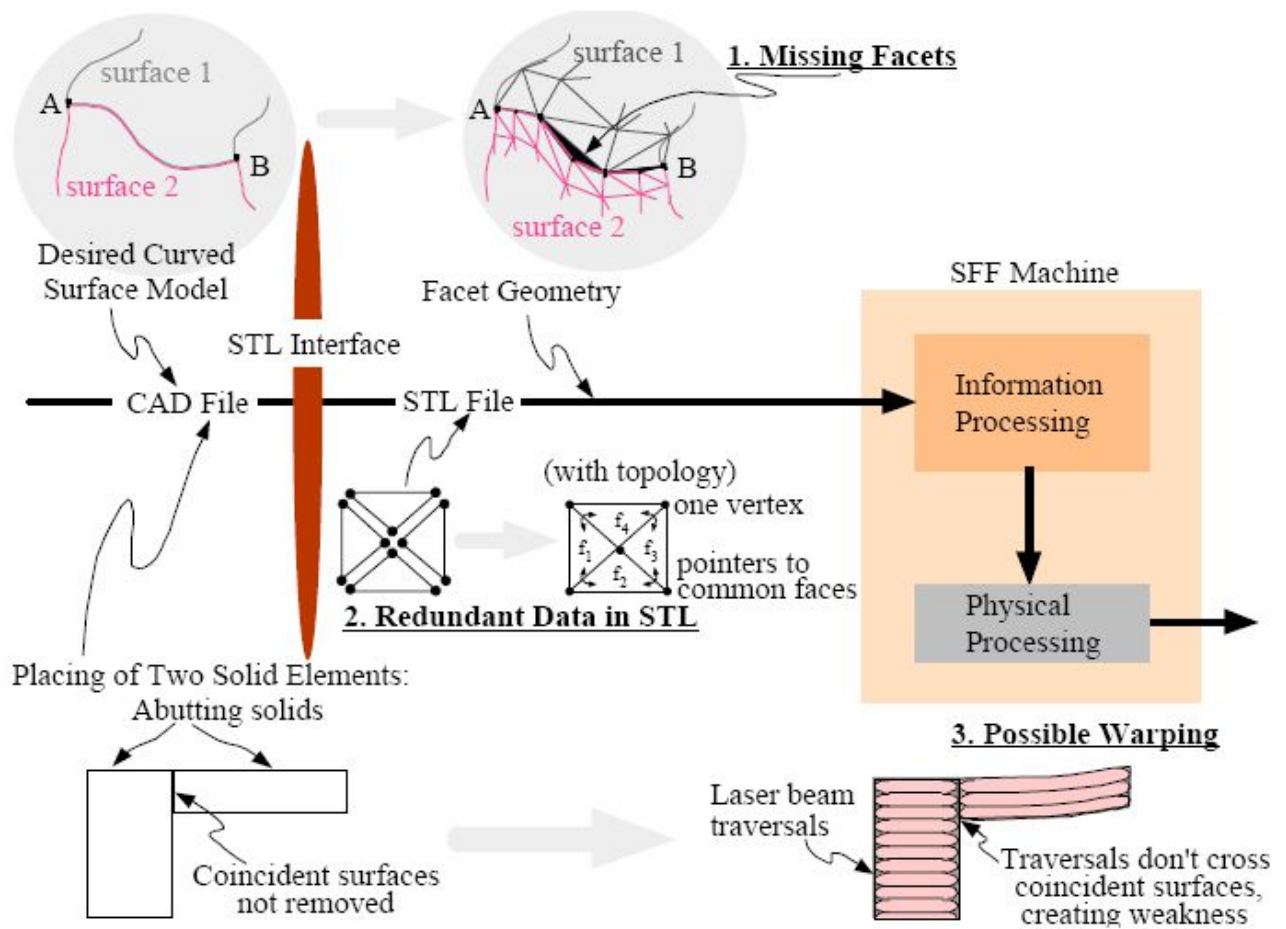


Fig. 9. Cauze tipice de erori.

#### 4. Compensarea

Forma modelului trebuie alterata pentru a compensa anomaliiile fizice care apar pe parcursul desfasurarii procesului de fabricare (contractii, deformari, rasuciri).

#### 5. Structurile support

Structurile sport sunt absolut necesare in procesele bazate pe lichid pentru a sustine partile suspendate sau in consola sau pentru a fixa piesa pe platforma de constructie. Exista software care pot genera automat structuri suport in vederea minimizarii consumului de material.

In cazul pieselor foarte precise trebuie facute iteratii avand in vedere ca structurile suport pot modifica conditiile de compensare stabilite anterior.

Viziunea lor optimista este impartasita si de futurologul sef al companiei Cisco, Dave Evans. "Ne indreptam spre o lume care va abandona modelul «one size fits all» in favoarea lui «one size fits one». Se va putea crea orice la comanda, toate obiectele fiind personalizate", afirma Evans. "Aşa cum astăzi considerăm absolut firesc să descărcăm

muzică de pe Internet, la fel vom privi în viitor descărcarea obiectelor fizice", susține Evans, adăugând că este posibil ca locuințele viitorului să includă câte o imprimantă 3D personală.

Credem că următorul pas în ceea ce privește copierea va fi dinspre digital spre forma fizică. **Credem că în scurt timp oamenii își vor tipări piesele de schimb pentru autovehicule și că în maxim 20 de ani ne vom descărca de pe internet pantofii**", anunță manifestul celor de la The Pirate Bay.