

STUDIUL PRIVIND UTILIZAREA OPTIMIZĂRII TOPOLOGICE ȘI A DESIGNULUI GENERATIV LA PROIECTAREA ÎN MEDIUL CAD

THE USE OF GENERATIVE DESIGN AND TOPOLOGY OPTIMIZATION IN CAD ENVIRONMENT

ȘCHEAU Dumitru

Facultatea de Inginerie Industrială și Robotică, Specializarea: Inginerie Economică Industrială,
Anul: IV, e-mail: scheaudumitru@gmail.com

Conducător științific: Conf. Dr. ing. **Ionuț-Gabriel GHIONEA**

ABSTRACT: In this research paper I analyzed two options for creating parts using CAD environment software. The use of Generative Design and Topology Optimization is meant for parts that require an improvement of weight and the shape of the part without changing the role the it has in an assembly. Many design solutions are created when using Generative Design, these can vary depending on the material, constraints, loads and manufacturing method, it is up to the designer to choose the most suitable solution. The software tools available can significantly reduce the time a part spends in the design stage, improve the mass of the part and reduce the total manufacturing costs. At the end of the study, the parts met the imposed requirements and had a reduced mass of up to 60% of the initial part.

CUVINTE CHEIE: Generare, Fusion 360, proiectare, program CAD/CAM, optimizare topologică.

1. Introducere

Programarea asistată de calculator este un mediu care s-a dezvoltat într-un ritm constant în ultimii ani, reușind să încorporeze în programele software, cu fiecare iterație, cele mai inovatoare soluții pentru rezolvarea problemelor în procesul de proiectare. Obiectivul acestei lucrări este de a îmbunătăți designul unui produs în etapa de proiectare prin explorarea mai multor opțiuni ale formei și tehnologiei de realizare a acestuia, de asemenea se urmărește o eliminare substanțială a masei comparativ cu masa produsului inițial, păstrând un factor de siguranță corespunzător. Proiectarea în mediul CAD/CAM permite micșorarea timpului pe care un produs îl petrece în stadiul de proiectare și, mai apoi, în stadiul de realizare a acestuia, prin identificarea și eliminarea etapelor care sunt în neconcordanță cu noile modalități de realizare. În această lucrare soluțiile de design ale produsului studiat au fost obținute utilizând modulul Generative Design din cadrul Autodesk Fusion 360.

2. Stadiul actual

Proiectarea de produse este un proces iterativ care implică utilizarea unei cantități mari de informații legate de utilitatea finală, locul și funcția produselor într-un ansamblu. Mediul CAD/CAM/CAE (computer-aided design / computer-aided manufacturing / computer-aided engineering) permite crearea de prototipuri, produse finisate, ansambluri de piese și linii de producție în sisteme software integrate. Piața programelor de proiectare asistată de calculator este într-o continuă creștere, iar funcțiile pe care acestea le implementează oferă un avantaj competitiv, în special la scurtarea timpului de lansare a produsului pe piață.

2.1. Printare 3D și Mașini CNC

Tehnologiile noi de printare FDM, SLS, SLA au înregistrat progrese foarte mari, acestea devenind din ce în ce mai precise și mai accesibile din punct de vedere al prețului de achiziție. Avantajul pe care îl oferă aceasta piață este acela că permite fabricarea unor serii mici și mijlocii de produse fără a

mai avea nevoie de o linie de producție industrială. Realizarea unor produse într-un timp scurt, la costuri reduse comparativ cu opțiunile tradiționale și prototiparea rapida sunt atuurile pe care aceasta tehnologie de fabricare, le oferă utilizatorilor.

Mașinile CNC, pe de alta parte, continua să fie structura de rezistență pe care se sprijină cele mai multe companii industriale. Mediul CAM de proiectare permite inginerilor să realizeze produse care conțin forme și suprafețe care acum câțiva ani nu erau posibile, aceasta datorită programelor software noi și sculelor de o calitate înaltă.

2.2. Serviciile de Cloud și Designul Generativ

Designul Generativ nu utilizează metoda de analiză cu element finit, comparativ cu optimizarea topologică, în acest caz programul realizează o serie de iterații pornind de la un volum în care se stabilesc constrângeri și în care se încadrează viitoarea piesă. La designul generativ este eliminată etapa de creare a unui model discretizat. Datorită formelor neconvenționale pe care programul le oferă ca soluții de design, este nevoie de tehnologii de fabricație corespunzătoare, cum sunt printarea 3D cu pudră metalică, mașini CNC cu 5 axe sau turnarea în cochilie sub presiune a metalului topit. Designul Generativ oferă o gama mare de opțiuni când vine vorba de metode de fabricare, programul oferă soluții ținând seama de metoda de fabricare indicată, fie că este vorba de lungimea sculei așchietoare la mașini CNC sau unghiul maxim de inclinare pentru suprafețele pieselor realizate prin printare cu pudra metalică. Un studiu efectuat în Modulul Generative Design realizează minim 25 de iterații pentru fiecare piesă, iar un studiu conține minim 12 piese. Acest lucru permite reducerea timpului de proiectare prin faptul că oferă o gama foarte mare de piese la realizarea unui singur studiu, iar în cele mai multe cazuri soluția optimă este identificată utilizând unelte de filtrare a soluțiilor oferite, acestea pot fi volumul piesei, masa piesei, valoarea factorului de siguranță, metoda de fabricare și costul de fabricare.

Serviciile de Cloud ale softurilor de simulare oferă soluții de management al companiilor, spații colaborative de lucru pentru îmbunătățirea fluxului de muncă și putere de procesare foarte mare, limitată doar de conexiunea la internet. Serviciile de Cloud sunt o soluție optimă pentru companiile mici care nu își permit să investească sume uriașe din primii ani de activitate, iar soluțiile oferite de aceste servicii nu fac altceva decât să aducă utilizatorului unelte de care are nevoie pentru rezolvarea diferitelor probleme în proiectare și fabricare. În această lucrare s-au utilizat serviciile de Cloud ale Autodesk Fusion 360.

3. Utilizarea Optimizării Topologice și Designul Generativ în proiectarea unei piese

3.1. Analiza desenului de execuție

Studiul privind optimizarea topologică și design generativ se va face pentru piesa din desenul de execuție din figura 1. Această piesă face parte din construcția unei aeronave, din acest motiv se dorește îmbunătățirea formei piesei prin eliminarea unor zone de material păstrând un factor de siguranță de minim 1,4.

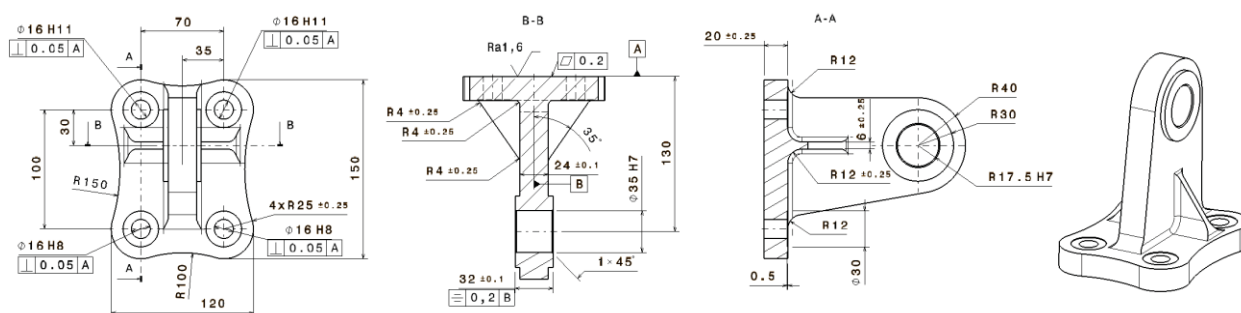


Fig. 1. Desen de execuție "Bridă R-01"

3.2. Optimizare Topologică

Optimizarea Topologică utilizează un model 3D, care este discretizat în elemente finite parabolice cu ajutorul softului Fusion 360 Simulation. Pentru această simulare piesa a fost discretizată în 2585454 de noduri și 1812884 de elemente tetraedrice, dimensiunea elementelor discretizate variază în funcție de zona în care se afla pe piesa.



Fig. 2. Modelul discretizat

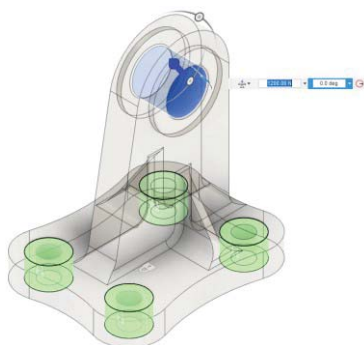


Fig. 3. Aplicarea forțelor

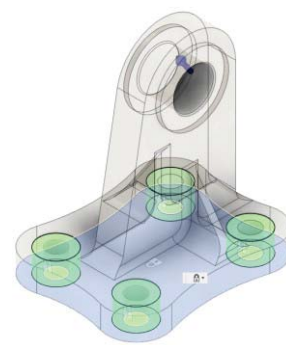


Fig. 4. Aplicarea constrângerilor

Modelul discretizat este fixat în cele 4 găuri de la baza piesei. Un alt pas important este alegerea materialului și aplicarea acestuia pe model. Materialul ales pentru această simulare este Ti-6Al-4V, acest aliaj de titan este unul din cele mai des utilizate materiale în industria aeronautică și aplicații biomecanice.

Tabelul 1.

Material	Densitate, g/cm ³	Modulul lui Young, GPa	Coefficientul lui Poisson	Rezistența întindere, MPa	Rezistența rupere, MPa	Duritate Rockwell C
Ti-6Al-4V	4,429	104	0,31	880	950	36

Proprietățile fizice și mecanice ale aliajului din Titan sunt prezentate în tabelul 1, acest material a fost selectat din librăria de materiale Fusion 360. Piesa este constrânsă în cele 4 găuri de la baza modelului discretizat, iar o forță de 1200N este aplicată pe interiorul suprafeței alezate Ø36 H7.

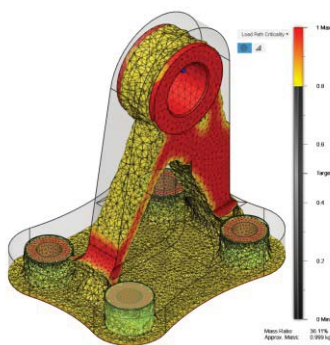


Fig. 5. Model Rezultat cu 36% din masa inițială

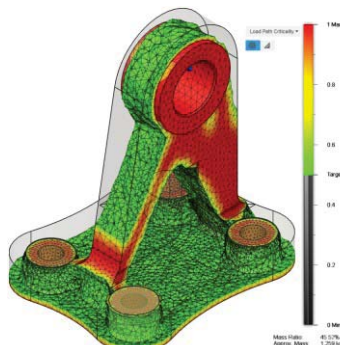


Fig. 6. Model Rezultat cu 45% din masa inițială

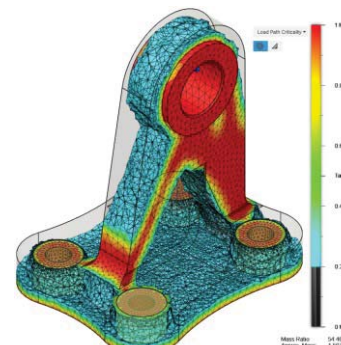


Fig. 7. Model Rezultat cu 54% din masa inițială

Modelul din figura 5 reprezintă punctul maxim de material care poate fi eliminat, dar analizând forma generată și nivelul de stres din piesă, deducem că această soluție nu este favorabilă în acest caz. În figura 6, avem o piesă care păstrează doar 45% din masa piesei de la care am pornit, aceasta poate fi o soluție optimă, dar din cauza valorii factorului de siguranță, s-a ales piesa din figura 7, aceasta păstrează 51% din masa originală și încărcarea pe suprafețe este mult mai mică comparativ cu piesa din figura 6, cu toate că diferența de masă dintre cele 2 este de doar 5%.

Următoarea etapă este cea în care promovăm unul din modelele simulate în funcție de masa pe care dorim să o obținem. Având în vedere zonele de stres maxim din figurile de mai sus am ales piesa din figura 7, cu 54% (1,507 kg) din masa piesei originale (2,767 kg).

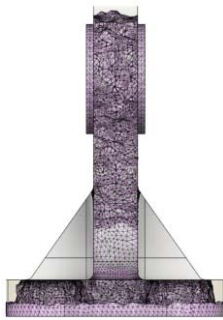


Fig. 8. Vedere de jos



Fig. 9. Vedere din lateral



Fig. 10. Piesa îmbunătățită

Pentru a micșora costurile de fabricație, am adoptat o metodă de proiectare care utilizează modelul generat pentru a identifica zonele de material care vor fi eliminate prin așchiere. Acest model poate fi realizat și prin printare 3D, dar această metodă nu este convenabilă în acest caz. În figura 10 este modelul construit după forma generată de către program, această piesa are o masă finală de 1,774 kg și elimină 35% din masa piesei originale păstrând aceleași caracteristici de funcționare.

3.3. Design Generativ

Designul Generativ are o altă abordare în realizarea simulărilor, acesta nu are neapărat nevoie de o piesa de la care să pornească forma soluției de design, este suficient să se stabilească constrângeri și limitări de suprafață pentru spațiul în care programul va construi piesa. Pentru realizarea studiului este necesar să construim corpuri separate care să indice programului în spațiul de lucru care sunt zonele ce trebuie păstrate și zonele limită, acestea sunt necesare pentru funcționarea corespunzătoare a ansamblului.

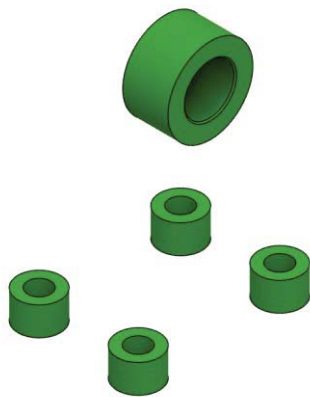


Fig. 11. Geometrii de conservare

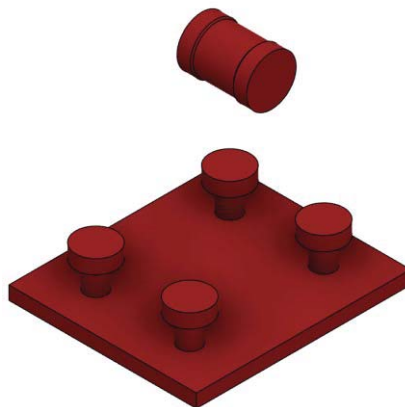


Fig. 12. Geometrii de limitare



Fig. 13. Piesa in spațiul de lucru

Corpurile din figurile de mai sus sunt poziționate pentru conservarea găurilor din piesa originală. Pentru acest studiu am stabilit materiale pentru construirea piesei, materialele corespund câte unei metode de fabricare. De asemenea am selectat 4 metode de fabricare, prima este fabricarea nerestricționată, cea de-a doua este fabricarea aditivă, următoarea metodă creează soluții ce pot fi realizate pe mașini CNC cu 5 axe, iar ultima metodă de fabricare este turnarea în cochilie a metalelor sub presiune.

Pentru acest studiu am obținut 40 de rezultate. Pentru identificarea soluțiilor avem la dispoziție mai multe filtre. Din graficul de mai jos putem observa că există soluții de piese din 4 tipuri de metale diferite care respectă condiția factorului de siguranță și care au o masă mai mică de 1,5 kg. În continuare se va selecta câte un rezultat pentru fiecare material.



Fig. 14. Graficul pieselor generate



Fig. 15. Piesă din Aluminiu 6061, Iterația 34



Fig. 16. Piesă din Inconel 718, Iterația 30



Fig. 17. Piesă din C60, Iterația 33



Fig. 18. Piesă din Titan 6Al-4V, Iterația 21

Din aceste 4 opțiuni am decis să aleg piesa din figura 18, datorită materialului și a modalității de fabricare pe strung CNC cu 5 axe sau printare metalică. Factorul de siguranță pentru această piesă este 2, iar greutatea ei este de 0,607 kg.

4. Analiza și compararea rezultatelor obținute

Rezultatele obținute în urma optimizării topologice și studiul de design generativ oferă o gama largă de piese. Realizarea analizei FEA pe piesa obținută prin design generativ, indică faptul că poate fi utilizată în ansamblul din care face parte, factorul de siguranță pentru acest model fiind 4. Fabricarea acestor piese este mult mai costisitoare decât piesa de la care am pornit studiul, dar aceste soluții sunt utile în cazurile în care este necesar ca greutatea totală a piesei să fie cât mai mică, neținând seama de costurile de fabricare. Aceste piese sunt utilizate în industria aeronautică, în producții de serie mică sau unicat, unde masa totală poate influența performanța produsului iar uneltele de modelare și simulare oferă soluții care creează un avantaj competitiv și îmbunătățesc calitatea finală a produsului din care fac parte.

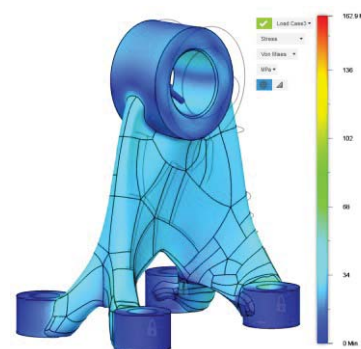
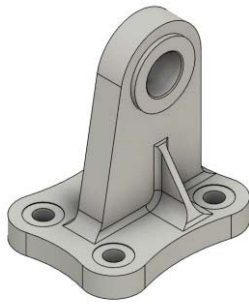


Fig. 19. Analiza FEA



Ti 6Al-4V
2,76 kg

Fig. 20. Piesa inițială



Ti 6Al-4V
1,75 kg

Fig. 21. Piesa Optimizată Topologic



Ti 6Al-4V
1,029 kg

Fig. 22. Piesa obținută prin Design Generativ

5. Concluzii

În această lucrare utilizând softuri de modelare și simulare am identificat următoarele:

- Utilizarea corespunzătoare a uneltelor de simulare poate reduce timpul de proiectare a produselor, cantitatea de material utilizată și costurile de producție;
- Optimizarea topologică poate reduce masa unei piese dintr-un ansamblu la jumătate păstrând în același timp toate caracteristicile funcționale și structurale ale acesteia;
- Utilizarea soluțiilor software de proiectare și simulare noi, poate fi destul de costisitoare, unele programe devin inaccesibile utilizatorilor din cauza costurilor foarte mari;
- Soluțiile de design create prin procesul de Optimizare Topologica sau Design Generativ nu sunt întotdeauna cea mai bună abordare în procesul de proiectare, de aceea trebuie identificate cazurile când aceste soluții pot avea impactul cel mai mare în etapa de proiectare;
- Designul Generativ oferă soluții inedite la problemele din etapa de proiectare, această metodă elimină o parte a procesului iterativ din proiectare, prin gama foarte mare de rezultate disponibile la realizarea primului studiu, iar aceste soluții de design pot fi transformate în produse utilizând mijloacele moderne de fabricare.

6. Bibliografie

- [1]. Andrew T Gaynor, Current and future trends in topology optimization for additive manufacturing 2018 ([10.1007/s00158-018-1994-3](https://doi.org/10.1007/s00158-018-1994-3))
- [2]. Ghionea, I.-G. (2007) Proiectare asistată în CATIA v5. Elemente teoretice și aplicații, Editura BREN, ISBN: 978-973-648-654-8, București, disponibil la: <http://www.catia.ro/download/democratia2.pdf>
- [3]. <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/generative-design>
- [4]. Iacob-L. S. (2017) TOPOLOGICAL OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE IN ENGINEERING
- [6]. Haibing Li, Roland Lachmayer, 2018, Generative Design Approach for Modeling Creative Designs
- [7]. Cheng HM. (2006) Generative Design in an Evolutionary Procedure. In: Van Leeuwen J.P., Timmermans H.J.P. (eds) Innovations in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning. Springer, Dordrecht