

# CERCETĂRI PRIVIND VENTILATOARE MEDICALE FOLOSIND PROIECTARE GENERATIVĂ

## RESEARCH REGARDING MEDICAL VENTILATORS USING GENERATIVE DESIGN

BARAC Olgața-Elena, BĂLĂNESCU Denisa, DĂNĂILĂ Cătălina,  
GEAMBAȘU Mihaela-Roxana și IGNAT Robert<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultatea: IIR Specializarea: INPN, Anul de studii: I, e-mail:robertignat0@gmail.com

Conducător științific: Prof. Univ. **Constantin Gheorghe OPRAN**  
Dr.Ing. **Camelia ROȘIORU**

*ABSTRACT: This paper aims to bring different models of medical ventilators made by us in order to choose, based on several criteria, the ideal model in terms of cost, ease of manufacture and size. After choosing the starting model, a new product will be created by optimizing the functional and technical conditions using generative design. These optimizations conclude to a much more streamlined design with lighter parts.*

*KEY WORDS: generative design, medical ventilators, topology, model, product.*

### 1. Introducere

Lucrarea abordează într-un mod integrat și inovativ concepția ventilatoarelor medicale în scopul optimizării parametrilor tehnico-economici. Actual pe lângă firmele specializate pentru realizarea ventilatoarelor medicale, o bună parte din companiile multinaționale se ocupă de realizarea acestor aparate. Spre exemplu General Motors, Tesla și Ford au realizat un total de 75000 de ventilatoare.

În același timp, uzine impresionante deținute de companii precum Rolls-Royce, Siemence, Echipa de Formula 1 McLaren sunt puse la dispoziție și și-au schimbat fluxul tehnologic pentru realizarea de astfel de dispozitive.

Având în vedere acești factori, realizarea acestor dispozitive pare în zadar, așa că această lucrare se axează pe procesul de optimizare topologică și de proiectare generativă, care este mai puțin întâlnit la aceste tipuri de echipamente. [7]

### 2. Stadiul actual

În principal s-au analizat 5 modele de ventilatoare medicale, create de noi, cu avantajele și dezavantajele acestora, în urma cărora ne-am decis la unul singur în vederea realizării analizei topologice.

#### 2.1. Ventilator medical - concept 1

Dispozitivul din imaginea de mai jos (fig. 2.1.1) este gândit pentru cazurile urgente din spitale, atunci când pacientul suferă de insuficiență respiratorie. Este un dispozitiv de ventilare simplu, de dimensiuni mici, ușor de transportat și manevrat.

Acest dispozitiv a fost realizat cu ajutorul programului SOLIDWORKS, cu o idee simplă la bază, suflarea unui anumit volum de aer la un ritm specific. Balonul Ruben se comprimă pentru a împinge aer în plămâni pacientului, cu ajutorul clamelor de compresie, legate la roțițele acționate de un motor (fig.2.1.2).



Fig. 2.1.1 Concept 1 ventilator medical

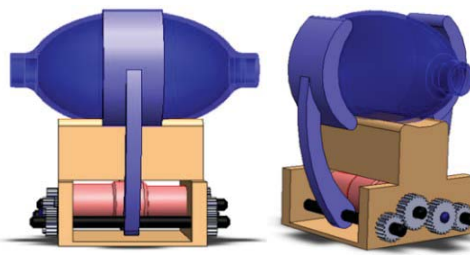


Fig.2.1.2 Mod de funcționare concept 1

Balonul Ruben poate fi acționat și manual, dar cu ajutorul clamelor de compresie și a motorului încorporat în dispozitiv, acesta este acționat mecanic, iar medicul se poate ocupa și de alte urgențe ale pacientului. Fiind mic și ușor de transportant, acest ventilator poate să fie încadrat în echipamentul obligatoriu dintr-o ambulanță.

Un dezavantaj al acestui dispozitiv este prezentat prin faptul că nu are o precizie foarte mare pentru a păstra constantă cantitatea de aer eliberată pe o perioadă îndelungată de timp (săptămâni), iar în acest caz dispozitivul trebuie să fie folosit cu atenție și de preferat, pe perioade scurte de timp, numai pentru urgențe.

## 2.2. Ventilator medical - concept 2

Acest concept (fig. 2.2.1.) a fost gândit în urma nevoii de ventilație mecanică pentru a ajuta la tratarea persoanele infectate cu SARS COVID-19, fiind necesar în lupta pacienților cu acest virus.

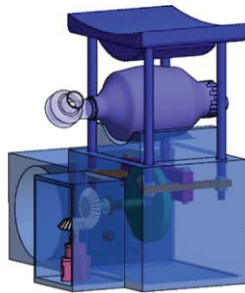


Fig 2.2.1. Concept 2 Ventilator medical

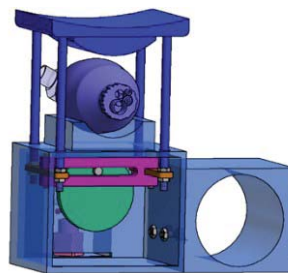


Fig.2.2.2 Mecanism camă-culisă concept 2

Conceptul a fost realizat în programul de modelare Autodesk Inventor, în care s-a ales un mecanism simplu, unde mișcarea de rotație a unui motor pas cu pas va fi modificată cu ajutorul unei came și a unei culise, care transformă mișcarea în una de translație. Acest concept se poate poziționa pe o suprafață orizontală.

Avantajul principal al acestui concept este faptul că are în componența sa piese simple din plastic, acestea putând fi realizate prin injecție sau FreeForming[9]. De asemenea, dispozitivul permite cu ajutorul motorului pas cu pas, modificarea turației în funcție de curba de referință ideală stabilită pentru presiune maximă/unitate de timp și frecvența respirației.

Un alt avantaj al dispozitivului este faptul că această camă (fig 2.2.2) a fost realizată pentru a putea permite modificarea cursei de lucru, din care se determină nivelul de oxigen din balonul Ruben, ceea ce reprezintă un avantaj necesar realizării unei cantități de oxigen optime.

Dezavantajul principal al acestui concept este apariția forței de frecare în anumite locuri, din cauza numărului foarte mare de mișcări și piese cu mișcări relative una față de cealaltă. Sunt multe puncte de frecare în care se pot uza cuplajele în timp, neputând fi garantată fiabilitatea conceptului într-un timp mai îndelungat.

### 2.3. Ventilator medical - concept 3

Acest dispozitiv a fost creat în vederea întrajutorării persoanelor care nu pot să respire fizic sau respiră insuficient.

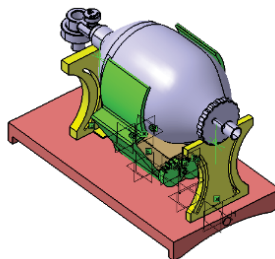


Fig.2.3.1 Concept 3 Dispozitiv Orizontal

Dispozitivul de mai sus, asigură ventilație mecanică prin deplasarea aerului îmbogățit cu oxigen în și din plămâni pentru a ajuta respirația unui pacient.

Acest ventilator medical a fost realizat cu ajutorul software-ului CATIA V5 [8].

Acesta funcționează cu ajutorul unui motor, care acționează cele două brațe, astfel se realizează compresia și decompresia, sau mai bine zis relaxarea balonului.

Unul din marele avantaje ale acestui ventilator constă în faptul că baloanele sunt de diferite dimensiuni, copil, adult, etc. și permit ventilatorului ajustarea acestuia astfel încât să se poată realiza compresia și relaxarea.

Nu s-a ales acest dispozitiv pentru a realiza optimizarea deoarece piesele au fost deja optimizate .

### 2.4. Ventilator medical - concept 4

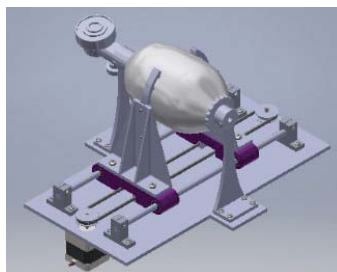


Fig. 2.4.1. Concept 4 ventilator medical

Principiul de funcționare al conceptului 4 este asemănător cu cel al unei imprimante 3D. Suportii cleștilor care apasă pe balonul de resuscitare sunt dispuși pe două ghidaje care culisează pe două tije prinse la capete pe placa de bază cu ajutorul unor elemente de fixare. Pentru a eficientiza ghidarea se folosesc rulmenți liniari, care au rolul de a transforma forța de frecare într-o forță radială cu ajutorul bilelor care intră în componența acestora, reducând astfel uzura. Rola conectată la motorul pas cu pas este pusă în mișcare și prin intermediul curelei de transmisie se realizează mișcarea de translație, necesară pentru comprimarea și destinderea balonului de resuscitare.

Unul dintre principalele avantaje îl reprezintă poziționarea pe orizontală care asigură stabilitatea dispozitivului. Un alt avantaj ar fi simplitatea mecanismului și a pieselor componente, care atrage după sine un cost de fabricație redus.

Printre dezavantaje enumerăm fiabilitatea scăzută cauzată de schimbarea repetată a sensului de rotație al motorului, dar și de uzura care poate interveni în timp asupra curelei de transmisie, determinând funcționarea improprie a mecanismului și implicit scăderea duratei sale de viață.

## 2.5. Ventilator medical - concept 5

Acest dispozitiv (fig. 2.5.1.) a fost gândit pentru posibilitatea de prindere atât pe o suprafață orizontală cât și pe o suprafață verticală (spre exemplu caroseria unei izolette sau ambulante).

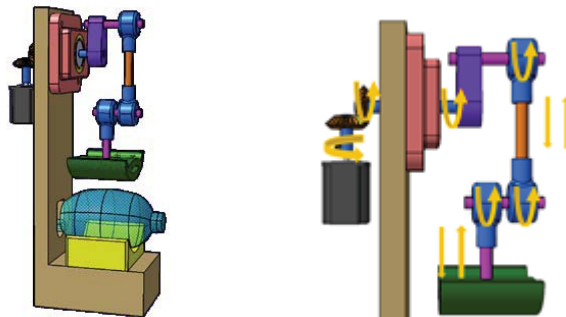


Fig.2.5.1. Concept 5 ventilator vertical Fig.2.5.2. Explicație mișcări concept 5

Dispozitivul a fost realizat în programul de modelare Catia [8], având în minte un mecanism simplu de modificare a direcției de rotație a unui motor și de transformare a mișcării din rotație în translație. O explicație grafică poate fi văzută în figura 2.5.2.

Avantajul principal al acestui dispozitiv este faptul că motorul ales va avea rotația doar într-un singur sens, eliminându-se astfel tensiunile care apar la schimbarea sensului de rotație.

Un alt avantaj al acestui design este ușurința de prelucrare a pieselor majore fie prin injecție, fie prin tehnologia FreeForming [9] a firmei ARBURG.

Dezavantajul principal pentru care nu s-a ales acest dispozitiv este fiabilitatea redusă datorată numărului foarte mare de mișcări și piese cu mișcări relative una față de cealaltă. Un alt dezavantaj este reprezentat de tije care vor trebui realizate cu un filet pe suprafața exterioară, ceea ce scade considerabil tehnologicitatea acestora.

## 3. Proiectarea generativă și optimizarea topologică aplicată la produse componente ale ventilatoarelor medicale

Proiectarea generativă și optimizarea topologică sunt aplicate în cadrul lucrării de cercetare în vederea reducerii costurilor, a greutății sau pentru a îmbunătăți performanța produselor (de exemplu creșterea frecvențelor naturale, reducerea deplasărilor). [10]

### 3.1. Proiectarea generativă și optimizarea topologică a piesei “Camă” din cadrul ventilatorului medical Concept 2

Din cadrul ansamblului “Ventilator Medical” face parte și piesa “Cama”, prezentată în figura de mai jos (fig.3.1.1), care realizează mișcarea de rotație pentru a transla elementul “Placă Superioară”.

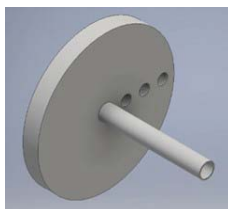


Fig. 3.1.1. Camă

Se dorește optimizarea piesei din cadrul ansamblului. Piesa a fost realizată și optimizată cu ajutorul programului Autodesk Inventor[11].

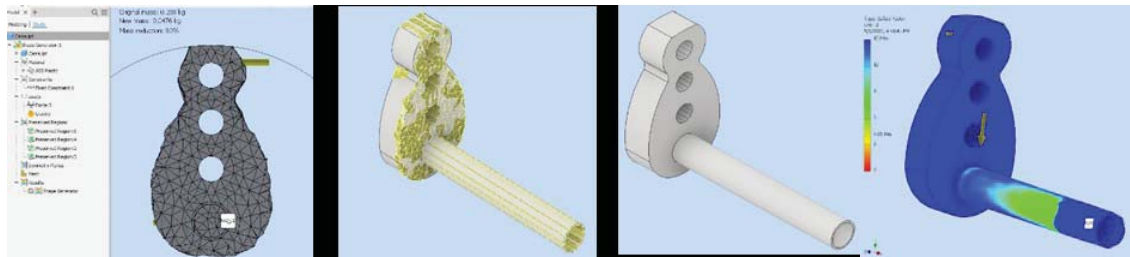


Fig. 3.1.2. Optimizarea piesei

Fig. 3.1.3. Simulare statică

În urma optimizării, masa piesei a fost redusă cu 80%, de la o greutate inițială de 0,238 kg, la o greutate de 0,048 kg. Putem să realizăm piesa prin injecție, folosind materialul ABS 10% fibră de sticlă [6]. Putem avea și o a doua variantă de optimizare, unde piesa să prezinte o rază de racordare, iar tija să fie plină în totalitate în vederea injectării acesteia într-o matriță [2].

Pentru a verifica dacă piesa este rezistentă, am realizat și o simulare a forțelor aplicate asupra piesei, pentru a verifica coeficientul de siguranță (fig. 3.1.3), iar după cum putem observa și în imaginea de mai sus, coeficientul de siguranță se află în limitele acceptabile.

### 3.2. Proiectarea generativă și optimizarea topologică a piesei “Placă Superioară” din cadrul ventilatorului medical Concept 2

În figura de mai jos este prezentată piesa “Placă superioară”. După cum sugerează și denumirea, această piesă are rolul de a comprima balonul Ruben prin mișcarea de translație prin turația și denumirea, această piesă are rolul de a comprima balonul Ruben prin mișcarea de translație prin turația motorului pas cu pas în funcție de curba de referință ideală stabilită pentru presiune maximă/unitate de timp și frecvența respirației.

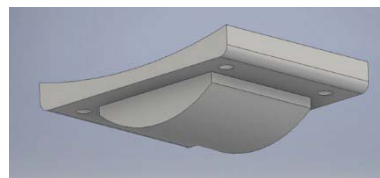


Fig. 3.2.1. Placă superioară

Această piesă a fost realizată cu ajutorul software-ului de proiectare Autodesk Inventor[11]. Având o formă inițială simplă, ea poate fi optimizată foarte ușor.

Optimizarea (fig. 3.2.2.) acestei piese a fost realizată, la fel ca și celelalte, aplicând forțe pe suprafața activă a piesei și setarea suprafețelor de reazem.

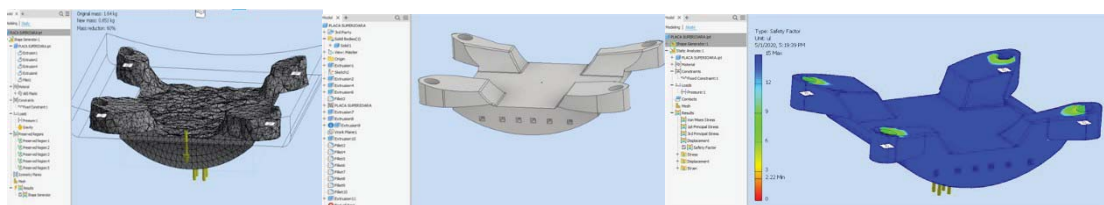


Fig. 3.2.2. Optimizare placă superioară

Fig. 3.2.3. Simularea statică a piesei

Piesa avea o greutate inițială de 1,64 kg, iar în urma optimizării am reușit să reducem masa piesei cu un procent de 60%, adică piesa în momentul actual are greutatea finală de 0,653 kg.

S-a realizat o simulare în care se va aplica o presiune pe partea inferioară a piesei (suprafață care intră în contact cu balonul Ruben), iar rezultatul indică un factor minim de siguranță de 2,22, unde pentru echipamentele medicale factorul minim de siguranță acceptabil este de 1,5. (figura 3.2.3).

### 3.3. Proiectarea generativă și optimizarea topologică a piesei “Suport Balon” din cadrul ventilatorului medical Concept 2

În componența ventilatorului medical mai sus ales, intră și suportul balonului. Cel mai important rol pe care acesta îl are în cadrul ansamblului, este acela de a susține balonul. Este o parte fixă a ansamblului, comparativ cu Placa Superioară care este mobilă și împinge balonul, practic face compresia și relaxarea acestuia.

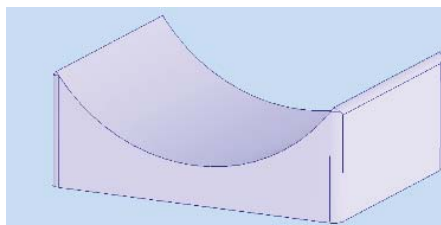


Fig. 3.3.1. Suport Balon 3D

Piesa este realizată cu ajutorul software-ului de proiectare Autodesk Inventor[11]. Forma acestuia nu este una complexă, din contră, una ușor de realizat, tocmai de aceea, în momentul optimizării topologice nu am întâmpinat probleme.

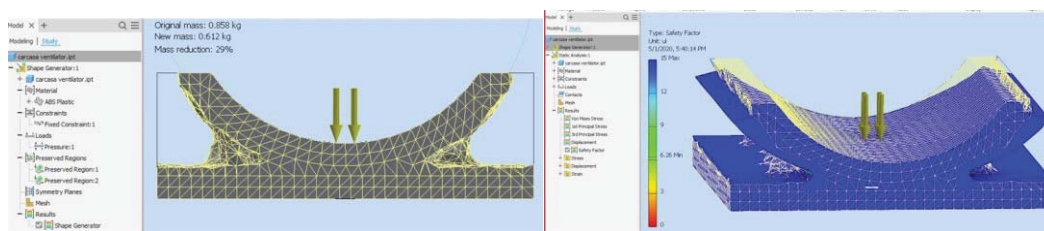


Fig. 3.3.2. Piesa Optimizată - Autodesk Inventor

Fig. 3.3.3. Optimizare Statică

Prin această optimizare, s-a redus masa piesei (fig.3.3.2) de la 0,858 kg la 0,612 kg, cu un procent de 29%. Rezultatul se poate observa în fig.3.3.3.

### 3.4. Proiectarea generativă și optimizarea topologică a piesei “Carcasă” din cadrul ventilatorului medical Concept 2

Carcasa asigură spațiul necesar pentru a monta componentele ventilatorului medical. Mai mult de atât, rolul ei fundamental în această aplicație este cel de protecție. De aceea este foarte important să fie proiectată astfel încât să reziste la eventualele solicitări mecanice la care ar putea fi supusă (vibrații, șocuri).

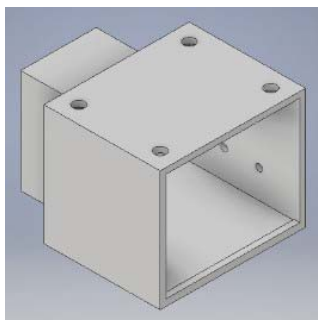


Fig. 3.4.1. Carcasă

Această piesă a fost optimizată topologic folosind funcția Shape Generator din Inventor [11]. Pentru realizarea studiului s-a definit materialul carcasei, s-au aplicat toate încărcările care acționează

asupra acesteia și s-au conservat anumite zone care asigură în cadrul ansamblului diferite roluri funcționale. În urma procesului de optimizare s-a obținut o scădere a masei cu un procent de 30%, rezultând o piesă care cântărește 1,88 kg față de 2,69 kg cât cântărea inițial.

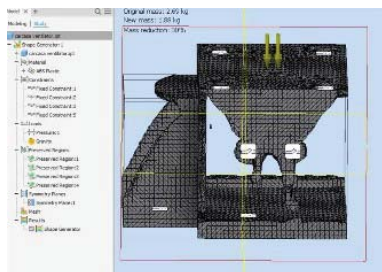


Fig. 3.4.2. Carcasă optimizată topologic

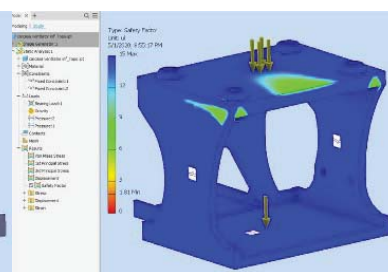
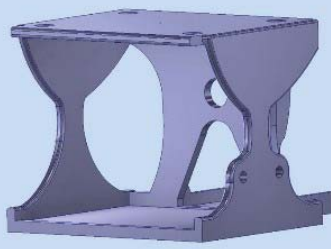


Fig.3.4.3. Analiza cu element finit carcasă

După optimizare, s-a realizat analiza cu element finit a piesei, unde s-a ținut cont de constrângerile din zonele celor 4 tije filetate și de forța exercitată de suportul pe care se sprijină balonul de resuscitare. A rezultat un factor de siguranță de 1,81.

### 3.5. Proiectarea generativă și optimizarea topologică a piesei “Suport Butelie Oxigen” din cadrul ventilatorului medical Concept 2

În figura de mai jos este prezentată piesa “Suport Butelie Oxigen”. După cum sugerează și denumirea, această piesă are rolul de a poziționa și menține butelia de oxigen lângă dispozitiv pentru a putea fi manipulate împreună.

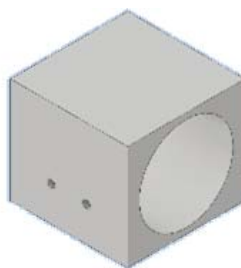


Fig. 3.5.1. Suport Butelie

Această piesă a fost realizată cu ajutorul software-ului de proiectare Autodesk Inventor [11]. Având o formă inițială foarte simplă, ea poate fi optimizată foarte ușor.

Optimizarea (fig. 3.5.2.) acestei ultime piese a fost realizată, la fel ca și celelalte, în programul Autodesk Inventor.

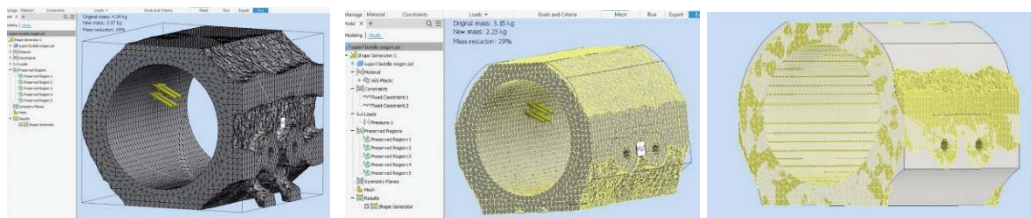


Fig.3.5.2. Optimizarea piesei

Prin această optimizare, s-a redus masa piesei cu 29%, de la 4,34 kg la 3,07 kg, iar pentru a ne asigura că piesa are un factor de siguranță acceptabil (pentru echipamente medicale se va considera mai mare ca 1,5) s-a realizat o simulare în care se va aplica o solicitare care să imite forța exercitată de greutatea buteliei, iar rezultatul se poate vedea în figura de mai jos.

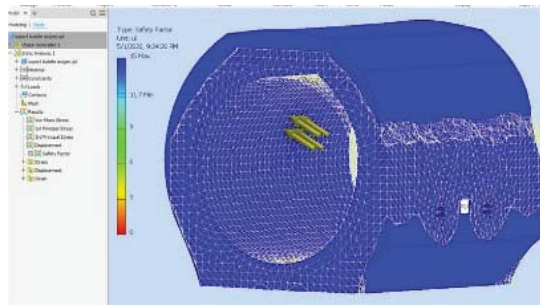


Fig. 3.5.3. Simulare statică

#### 4. Contribuția originală a lucrării

Contribuția originală a lucrării constă în faptul că s-au elaborat mai multe variante de dispozitive medicale, cu idei proprii, în care s-au analizat atât dezavantajele cât și avantajele acestora. Pe acest principiu, am mers mai departe cu un singur dispozitiv pentru care am făcut optimizarea topologică a pieselor. S-au redus masele, astfel încât vom folosi mult mai puțin material decât am preconizat la începutul lucrării. După mai multe încercări rezultatele sunt cele de mai sus.

#### 5. Concluzii

Datorită faptului că această lucrare își propune să aducă anumite contribuții pentru felul în care se pot realiza anumite piese din material polimeric [6][4][2], fie prin injecție în matrițe [2][3], fie prin tehnologia Freeform [9] a companiei Arburg, putem spune că folosind resurse precum puterea de procesare a unor calculatoare, și puțin know-how, putem elimina o mare parte din volumul de material al unor piese, și în final al unui ansamblu, în vederea reducerii costurilor totale.

#### 6. Bibliografie

- [1]. Dumitraș, C., Opran, C. (1994), *Prelucrarea materialelor compozite, ceramice și minerale*; Editura Tehnică, București, Romania; pp.336; ISBN 973-31-0602-X.
- [2]. Dumitrescu, A. Opran, C. (2002), *Materiale polimerice; Caracterizare, Proprietati, Prelucrare*; Oficiul de informare documentara pentru industrie, cercetare management; Bucuresti, Romania; pp. 137; ISBN 973-8001-32-3.
- [3]. Opran, C. (2017), *Tehnologia produselor din materiale avansate, Indrumar laborator*; Editura BREN; București, Romania; pp.158; ISBN 978-606-610-097-8; pp.158.
- [4]. Opran, C. (2016), *Tehnologii de injecție în matriță produse polimerice*; Editura Bren; Bucuresti, Romania; pp.252; ISBN 978-606-610-201-8; pp.253.
- [5]. Opran, C. (2014), *Tehnologii de injecție în matrițe, Indrumar proiectare*; Editura Bren; Bucuresti, Romania; pp.108; ISBN 978-606-610-085-4; pp.109.
- [6]. Opran, C., Nicolae, V., Racicovschi, V. (2004) *Biostructuri polimerice degradabile in mediu natural*; VASILE GOLDIS University Press; ARAD, Romania; pp.146; ISBN 973-664-041-8.
- [7]. Robinson, D. (2020) - "The companies repurposing manufacturing to make key medical kit during Covid-19 pandemic", NS Medical Devices.
- [8]. <https://www.3ds.com/products-services/catia/>, accesat la data de 02.03.2020
- [9]. <https://www.arburg.com/us/us/products-and-services/additive-manufacturing/freeformer-system/>, accesat la data de 02.03.2020
- [10] <https://www.inas.ro/ro/blog-arhive/optimizare-topologica-utilizand-ansys-aim>, accesat la data de 02.03.2020
- [11]. <https://www.autodesk.com/products/inventor>, accesat la data de 12.03.2020