

THE SURVEYOR PROJECT

OPTIMIZING FDM 3D PRINTING PARAMETERS FOR AEROSPACE

Cezar-Victor BORUGĂ, Alexandra Ana Maria PANAIT și Andrei Sebastian ALEXANDRU

Facultatea De Inginerie Aerospațială, Anul de studii 2, e-mail: borugacv@gmail.com

Conducători științifici: Prof. dr. ing. Cristian PETRE

Conf. dr. ing. Florin BACIU

The Surveyor Project was born out of necessity for a budget-oriented, long flight-time drone for surveilling difficult to access patches of land. During the design phase of the project, we came across a hurdle: the lack of data on the material we used for 3D printing. This paper describes the design process that was followed for the drone before we were aware of structure strength analysis, the structural strength calculations that followed, and the study into the tensile strength of PLA by manufacturer Plusivo.

Cuvinte cheie: Dronă, PLA, Imprimare 3D, Tractiune, Optimizare.

Introducere

Proiectul “Surveyor” a fost demarat în luna Iunie a anului 2019, între Anul I și Anul II de facultate al autorilor, înainte de începerea studiului Rezistenței Materialelor sau al Teoriei Elasticității, Solicitări Combinat. Pe măsură ce dobândeam abilități noi, adăugam și verificam structurile proiectate.

La începutul proiectului, scopul acestuia era proiectarea unei drone cu timp lung de zbor utilizând tehnologia de imprimare 3D FDM și debitarea materialelor prin utilizarea unui “fir încins” pentru monitorizarea aeriana a zonelor greu accesibile prin metode tradiționale.

Pe parcursul dezvoltării proiectului am sesizat o lipsă de informații legate de caracteristicile materialului folosit de noi pentru toate componentele imprimate 3D. Astfel a luat naștere latura de cercetare descrisă în Capitolul II al acestei lucrări.

Stadiul actual

Capitolul I: Studiu asupra rezistenței structurilor

Deoarece nu avem suficiente date despre termoplasticul PLA fabricat de Plusivo, vom putea face calcule de rezistență numai pentru lonjeroane și coadă, pe care le vom prezenta pe scurt în următoarele pagini.

Din moment ce structurile sunt deja proiectate, vom face calcule de verificare pentru toate componentele solicitate semnificativ. Astfel vom verifica și vom calcula deplasările pentru: lonjeroanele aripilor și coadă (țeava de carbon).

A. Lonjeroanele aripilor

Pentru simplificarea calculului lonjeroanelor aripilor, vom considera 75% din Portanță concentrată pe lonjeronul principal și 25% concentrată pe lonjeronul secundar. Cu aceste valori vom rezolva două probleme de încovoiere de bări drepte.

Vom considera forța distribuită:

$$F = \frac{\text{Portanța la zbor orizontal}}{\text{Lungimea aripii}} = \frac{16N}{150l} \quad (1)$$

unde $l = 10\text{mm}$.

Lonjeroanele sunt extruziuni de aluminiu cu $\sigma_a = 250\text{MPa}$ și $E = 69\text{GPa} = 69 \cdot 10^3\text{MPa}$. Lonjeroanele au aceeași lungime și sunt fixate în același mod în fuselaj, deci singurele diferențe sunt secțiunea și solicitarea.

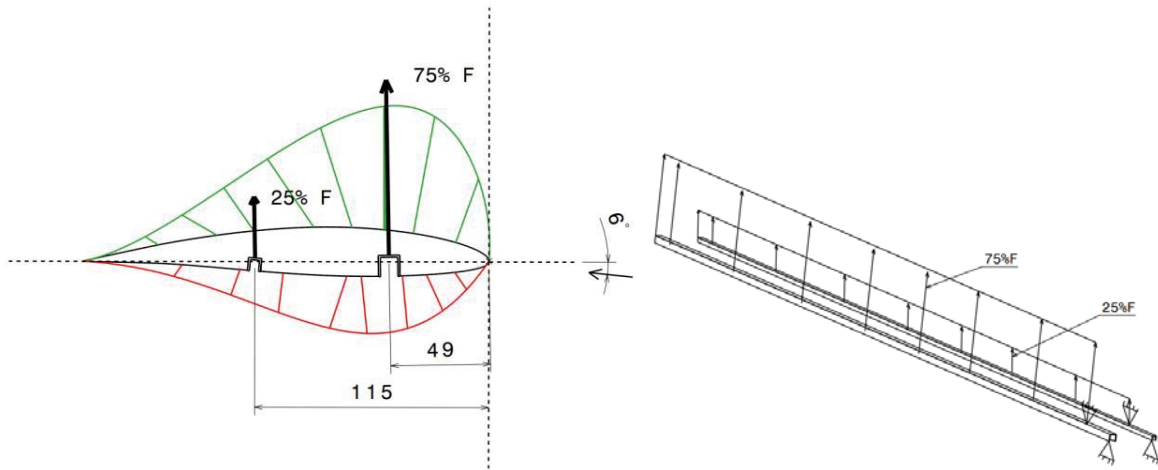


Fig. 1. Diagrama calitativă a distribuției de presiuni pe profil (stânga) și diagramă a distribuției de forțe pe lonjeroane (dreapta)

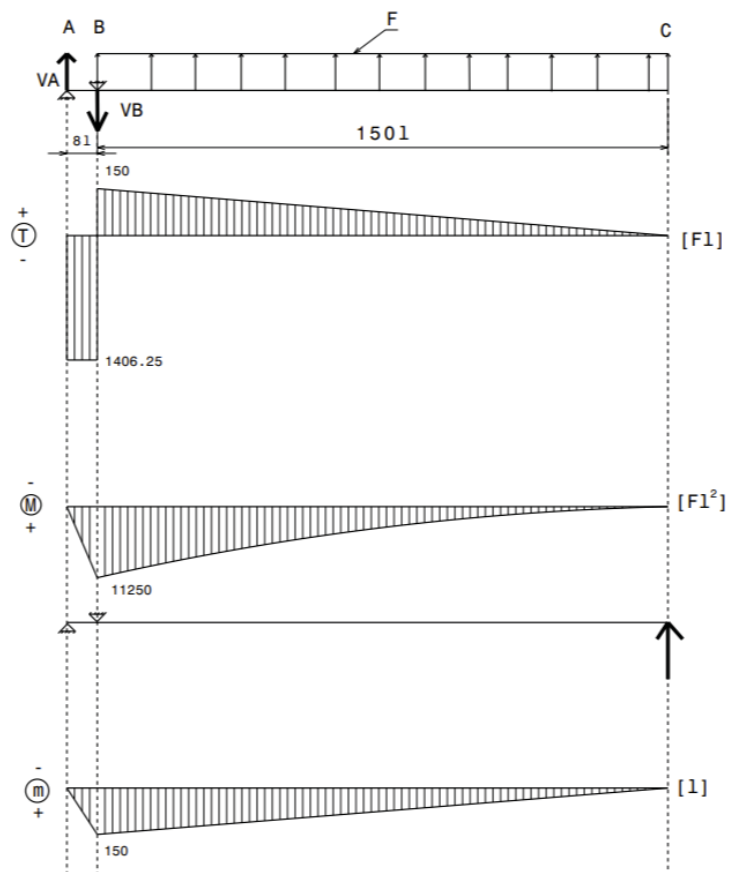


Fig. 2. Diagrama de eforturi pentru lonjeroane

Considerând $I_y = 283.048 \text{ mm}^4$ pentru lonjeroane vom avea:

$$W_y = \frac{I_y}{Z_{\max}} = 45.03 \text{ mm}^3 \quad (2)$$

$$\sigma_a = \frac{11250 * F_{\max} * 100\text{mm}^2}{45.03 \text{ mm}^3} \Rightarrow F_{\max} = \frac{\sigma_a * 45.03 \text{ mm}^3}{11250 * 100\text{mm}^2} = \frac{0.01\text{N}}{\text{mm}} = \frac{15\text{N}}{1500\text{mm}} \quad (3)$$

$$F_{\max} = \frac{1.529\text{kgf}}{\text{lonjeron}} = \frac{2.04\text{kgf}}{\text{aripa}} = \frac{4.08\text{kgf}}{\text{anvergura}} \quad (4)$$

Masa aeronavei este de aproximativ 3.2kg, deci forța G maximă suportată de lonjeronul principal este $\frac{4.08}{3.2} = 1.275G$.

La $G=1.275$, varfurile aripilor se vor deplasa vertical cu $\delta_c = 512.02\text{mm}$. Aceste valori sunt în realitate mai mici, deoarece mai sunt de luat în calcul și lonjeronul secundar și materialul din care sunt confecționate aripile.

Pentru lonjeronul secundar, vom considera aceeași distribuție de forțe și reazeme, dar altă secțiune și doar 25% din forța portantă aplicată. De asemenea vom considera: $Z_G = 2.375\text{mm}$; $Y_G = 3\text{mm}$; $I_y = 55.08\text{mm}^4$ și vom obține:

$$W_y = 15.19\text{mm}^3; \quad \sigma = 197.50\text{N/mm}^2; \quad F_{\max} = 4.16\text{kgf/anvergura}.$$

Deci, $G_{\max} = 1.26$. Această valoare trebuie să fie minim 3G pentru un aeromodel, deoarece datorită dimensiunii reduse vântul are efecte mult mai puternice și poate genera accelerații mari.

În urma calculelor, concluzionăm că ar fi prea periculos să lansăm acest aeromodel la greutatea de 3.2kg. Putem să scădem numărul de acumulatori de la bord, ceea ce ar reduce greutatea cu aproximativ 600g, dar ar reduce și timpul de zbor la o treime.

Singura opțiune rămasă este redimensionarea lonjeroanelor și alegerea unui alt profil, sau alegerea unui material mai rezistent.

B. Coadă (țeavă de carbon)

În cazul cozii, ne interesează doar deplasarea pe verticală, deoarece pot apărea efecte nedorite asupra caracteristicilor de zbor ale aeronavei dacă ampenajele se deplasează semnificativ pe verticală. În cazuri extreme, poate apărea inversiunea comenzilor profundorului.

Vom considera cazul la viteză maximă ($v_{\max}=15\text{m/s}$) și ampenajele braccate la maxim. În acest caz, avem $F = 4.72\text{N}$. Prin simplificarea problemei, considerăm $F = 4.72\text{N}/400\text{mm}$ o forță uniform distribuită pe axa suprafeței de control, poziționată la 55° față de planul XZ. Vom avea două astfel de forțe, câte una pe fiecare ampenaj.

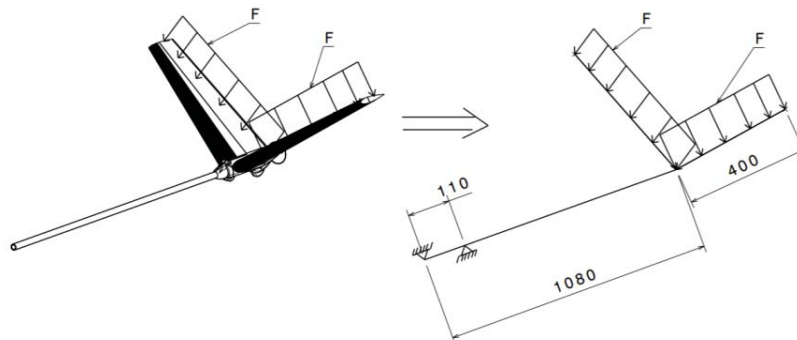


Fig. 3. Simplificarea distribuțiilor de forțe pe coadă

Din moment ce ne interesează deplasarea pe verticală, vom calcula forța care acționează pe Z.

Forța totală pe axa Z va fi $F_{tot} = 2 * F \cos(35^\circ) = 7.733N$. Din moment ce utilizăm o țevă din fibră de carbon, avem $E = 288 * 10^3 MPa$. Vom folosi de acum „F” ca notație a F_{tot} .

Materialul bării este fibra de carbon înfășurată, deci $\sigma_a = 570MPa$.

După efectuarea calculelor vom obține:

$$I_y = 1331.25 \text{ mm}^4; \quad W_y = 166.406 \text{ mm}^3; \quad \sigma = 50.188N/mm^2; \quad \delta = 0.3335 \text{ mm}$$

Deplasarea pe verticală a ampenajelor este nesemnificativă, iar bara rezistă.

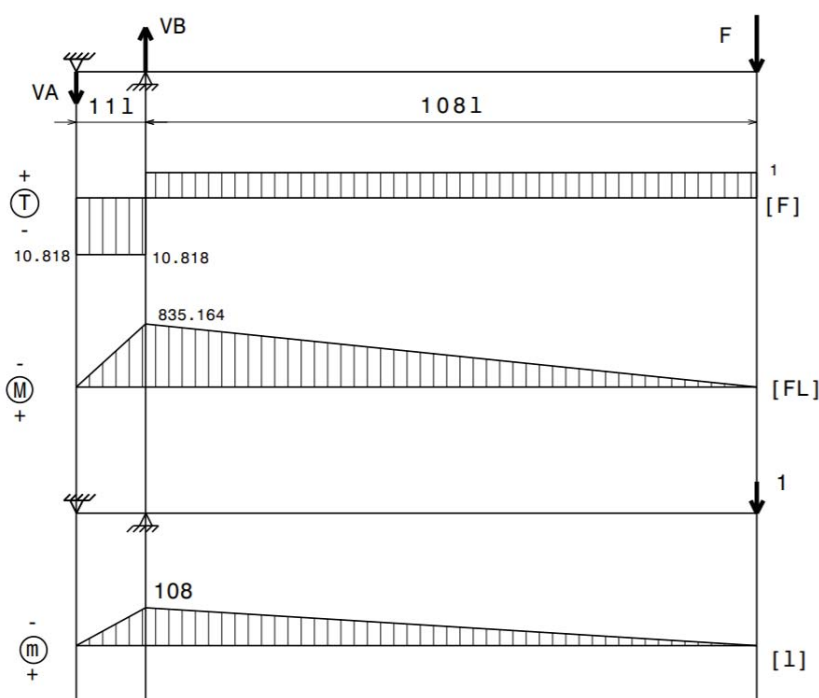


Fig. 4. Diagrama de eforturi pentru lonjeroane

Capitolul II: Optimizarea proceselor de imprimare 3D pentru domeniul aerospațial

Procesul de imprimare 3D FDM este flexibil. Fără a schimba componente ale imprimantei 3D, se pot modifica caracteristici numite “parametrii de imprimare” sau “setări de slicer”. Aceste setări afectează precizia dimensională, masa, timpul de printare și caracteristicile mecanice ale pieselor.

În cazul nostru, materialul utilizat este PLA (acid polilactic), un poliester termoplastice care se pretează excelent procesului de imprimare 3D FDM datorită gamei largi de temperaturi acceptate la duză (170°C-230°C) și faptul că nu emană vapori sau gaze toxice omului la aceste temperaturi, toate acestea la un cost redus.

Parametrii de imprimare care afectează cel mai mult caracteristicile produsului finit sunt: temperatura de extrudare, înălțimea stratului de extrudare, lățimea extruziunii, viteza de imprimare, procentajul de umplere, forma de umplere și numărul de pereți exteriori.

Pentru fiecare dintre parametrii enumerați anterior, am printat 4-5 seturi a câte trei epruvete la care am variat câte un singur parametru și pe care le folosim în teste de tracțiune pentru a deduce efectele asupra rezistenței la tracțiune a acestor parametrii.

Am reușit să obținem doar o parte din datele pe care doream să le includem în această lucrare, deoarece activitatea noastră avea loc în cadrul unui laborator din universitate. Așadar, vom analiza rezultatele încercărilor la tracțiune ale seturilor de probe **TE** (la care variază temperatura de extrudare), **PE** (la care variază numărul de pereți exteriori) și **PU** (la care variază procentajul de umplere).

Setul de probe TE

Analizând primul set de probe putem observa o valoare mare a coeficientului de variație și o rezistență relativ mică la tracțiune pentru probele TE01, TE02 și TE03, care au fost printate la 190°C. Acest lucru poate fi datorat adeziunii reduse între straturi, fenomen similar “lipiturilor reci” cu cositor. Între 210°C și 240°C se observă o scădere a coeficientului de variație și o fluctuație mică a rezistenței medii la tracțiune. Deoarece diferența între rezistența la tracțiune la 230°C și 240°C a materialului este mică (0.77 MPa) și la 240°C materialul începe să ardă în extrudor, vom considera temperatura optimă de printare a PLA-ului de la Plusivo 230°C.

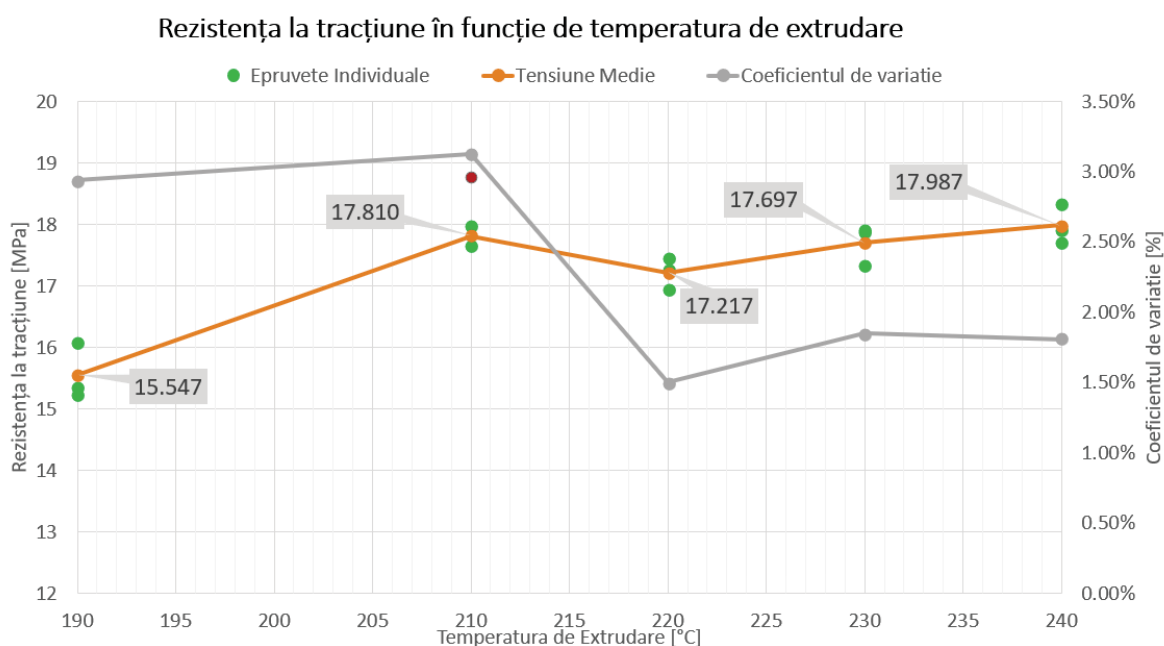


Fig. 5. Graficul rezistenței la tracțiune în funcție de temperatura de extrudare

Setul de probe PE

În setul de probe PE crește numărul de pereți exteriori de la 2 până la 8 pereți. Surprinzător, rezistența la tracțiune crește aproape liniar cu numărul de pereți.

Se observă că probele cu 8 pereți exteriori se apropie de performanța probelor cu 100% procentaj de umplere, în timp ce au mai puțin material în compoziția lor.

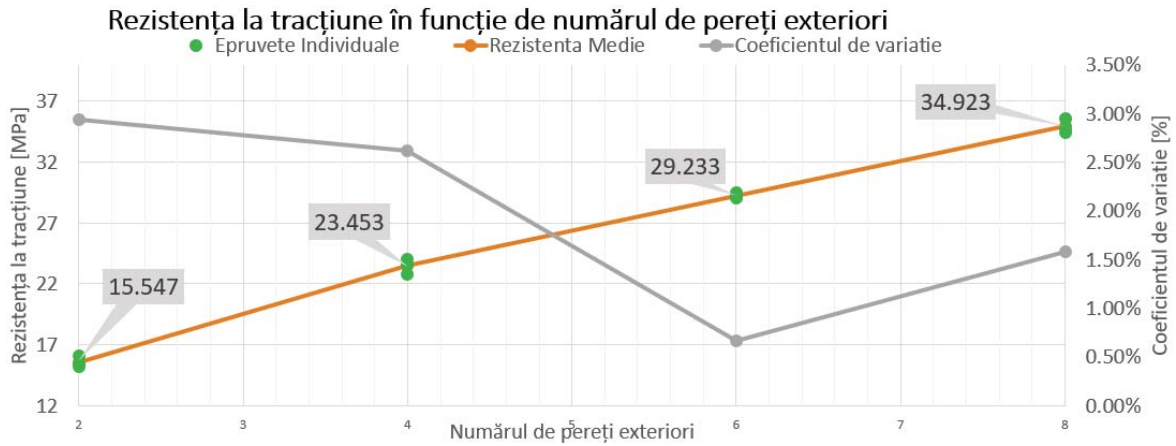


Fig. 6. Graficul rezistenței la tracțiune în funcție de numărul de pereți exteriori

Setul de probe PU

Putem observa o îmbunătățire foarte mică (0.604 MPa) a caracteristicilor între epruvetele cu 15% și 30% procentaj de umplere.

Dacă vom considera că epruvetele cu 100% umplere sunt formate din material omogen, putem spune că rezistența la tracțiune a PLA-ului de la Plusivo este de 40.187 MPa după ce a fost printat 3D.

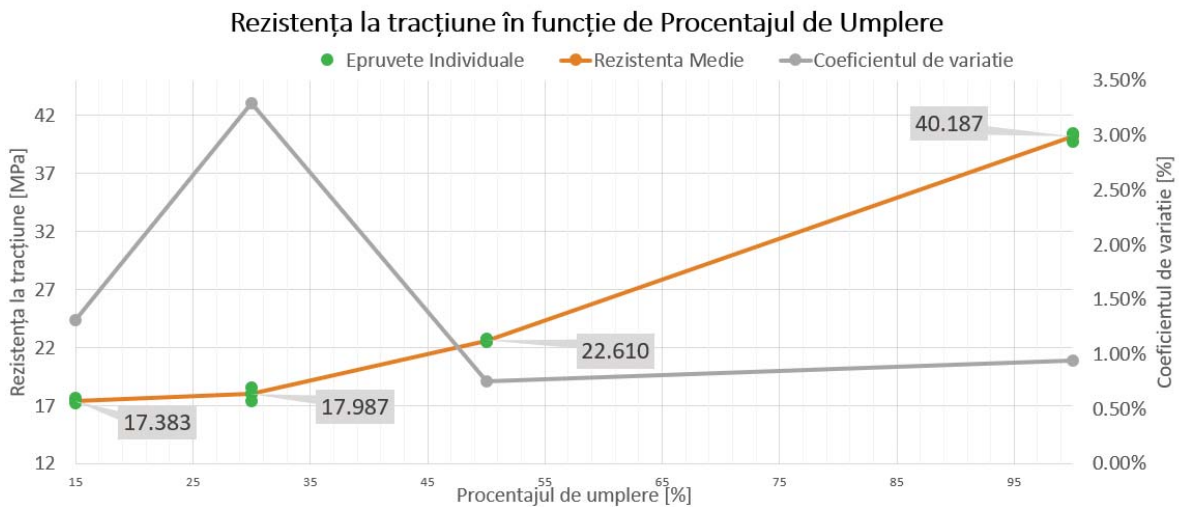


Fig. 7. Graficul rezistenței la tracțiune în funcție de procentajul de umplere

Din păcate aici se încheie capitolul de rezultate preliminare, din moment ce nu avem acces nici măcar la greutatea epruvetelor momentan, pentru a putea determina raportul de rezistență la tracțiune/masa piesei, care este scopul acestei lucrări de cercetare.

Concluzii

În momentul în care am luat deciziile de dimensionare a lonjeroanelor aripilor pentru proiectul Surveyor nu aflasem încă de conceptul de Rezistența Materialelor. Astfel, am ales greșit dimensiunile lonjeroanelor și va trebui să facem un calcul de dimensionare pentru valori corecte. Prin această experiență am conștientizat importanța studiului de Rezistență a Materialelor.

Primele 3 seturi de probe din acest studiu aduc informații valoroase nu numai pentru studenții ce utilizează materialul PLA de la Plusivo pentru prototipare și activități didactice, dar și pentru Inginerii Proiectanți care evită utilizarea materialului din cauza lipsei de informații.

La sfârșitul studiului vom avea suficiente date pentru a calcula parametrii optimi de printare pentru termoplasticul PLA produs de Plusivo, în contextul utilizării în domeniul aerospațial, unde nu rezistența este cea mai importantă, ci raportul de rezistență pe greutatea piesei.

Prin conceperea unui program de calcul vom ușura procesul de dimensionare a pieselor ce urmează a fi produse prin procesul de imprimare 3D din PLA, ceea ce ar putea încuraja utilizarea acestei tehnologii în locul metodelor de prelucrare manuală a altor materiale pentru a atinge același scop.

O dată cu redeschiderea universităților vom continua efectuarea încercărilor la tracțiune și analizarea datelor obținute. În unele cazuri, este posibil să fie necesară o cantitate mai mare de date, cum ar fi în graficul “Rezistența la tracțiune în funcție de Procentajul de Umplere”.

Dacă datele se dovedesc a fi utile și va exista timpul necesar, vom efectua și încercări la compresiune și răsucire.

Aceste date nu sunt foarte utile de sine stătătoare decât pentru analiza structurilor deja proiectate. Pentru optimizarea structurilor din faza de proiectare, planul nostru este să concepem un program de calcul în care să se încarce fișierul 3D al structurii, să se poziționeze de utilizator punctele sau ariile în care structura va fi solicitată, iar în urma rulării să returneze cei mai eficienți parametri de imprimare 3D din punct de vedere al raportului $\frac{\text{Rezistență la tracțiune}}{\text{Masă}}$ sau $\frac{\text{Rezistență la compresiune}}{\text{Masă}}$.

Bibliografie

1. <https://www.fargo3dprinting.com/advantages-disadvantages-direct-bowden-extrusion/direct-extruder-diagram/>
2. <https://blog.prusaprinters.org/everything-about-nozzles-with-a-different-diameter/>
3. <https://www.bestech.com.au/wp-content/uploads/Modulus-of-Elasticity.pdf>
4. <https://www.easycomposites.co.uk/#!/cured-carbon-fibre-products/carbon-fibre-tube/roll-wrapped-carbon-fibre-tube/carbon-fibre-tube-roll-wrapped-8mm.html>