

Peștele robotic Fifi

Prof. ing. Mihai Agape

Palatul Copiilor Drobeta Turnu Severin, Filiala Orșova

La începutul anului 2021 am început dezvoltarea unui pește robotic, numit Fifi (**F**irst **F**ish). În acest articol prezint o parte din rezultatele obținute până în acest moment. Am inițiat dezvoltarea lui Fifi în cadrul proiectului „Școli de nouă generație în lumina Educației 4.0” (număr de referință 2019-1-TR01-KA229-075529_6), proiect finanțat în cadrul acțiunii cheie KA229 din cadrul programului Erasmus+ al Comisiei Europene.



Cofinanțat prin
programul Erasmus+
al Uniunii Europene

Sprrijinul acordat de Comisia Europeană pentru proiectul „Școli de nouă generație în lumina Educației 4.0” nu constituie o aprobare a conținutului acestui articol, care reflectă doar opinia autorului, iar Comisia nu poate fi trasă la răspundere pentru orice utilizare a informațiilor conținute în acesta.

În continuare voi prezenta principalele momente din dezvoltarea lui Fifi, în ordine cronologică.

Specificații pentru Fifi

Scopul proiectului Fifi este proiectarea, realizarea și testarea unui pește robotic cu un sistem de locomoție care să imite modul de deplasare al peștilor.

Specificații impuse pentru Fifi:

- Mediul robotului este apa dulce;
- Adâncimea minimă de scufundare de 1 m;
- Viteza minimă de deplasare înainte de 10 cm / s;
- Rotire către stânga / dreapta cu o viteză unghiulară minimă de 20° / s;
- Viteza minimă de scufundare de 5 cm / s;
- Păstrarea etanșeității cel puțin 100 min la o adâncimea de 1 m;
- Dimensiunile maxime de 20 cm x 12 cm x 8 cm;
- Comunicația prin Bluetooth;
- Realizarea componentelor mecanice prin imprimare 3D;
- Utilizarea de hardware și software open-source;
- Costul componentelor mai mic de 50 EUR;
- Utilizarea de senzori de distanță;
- Încărcarea wireless (opțional).

Înotătoare

Am decis o abordare minimalistă, prin alegerea numărului minim necesar de înotătoare care să asigure comportamentul dorit al robotului. De asemenea, înotătoarele sunt simple coli de plastic cu diferite forme asemănătoare celor reale, care oscilează în jurul unui ax.

Specificațiile dinamice impuse pentru Fifi pot fi satisfăcute prin utilizarea a două înotătoare, caudală și dorsală:

- înotătoarea caudală asigură propulsia peștelui înainte și rotirea în jurul axei verticale (stânga / dreapta);
- înotătoarea dorsală asigură scufundarea peștelui (jos); ridicarea la suprafață a peștelui (sus) se face datorită flotabilității pozitive a acestuia.

Există mai multe moduri de acționare a înotătoarelor. În secțiunea următoare voi prezenta câteva dintre soluțiile proiectate și testate.

Actuatoare pentru Fifi

Pentru acționarea înotătoarelor am folosit actuatoare pe care le-am numit în funcție de numele înotătoarelor pe care le acționează:

- actuatorul caudal acționează înotătoarea caudală prin rotirea acesteia în jurul unei axe verticale;
- actuatorul dorsal acționează înotătoarea dorsală prin rotirea acesteia în jurul unei axe orizontale.

Proiectarea lui Fifi este influențată în mare măsură de tipul actuatorilor alese pentru acționare. Am avut în vedere două variante de actuatoare:

- Servomecanisme de tip SG90 / MG90;
- Actuatoare magnetice.

Servomecanisme

Servomecanismele sunt ieftine, ușor de procurat și ușor de folosit. De aceea, servomecanismul a fost prima opțiune pentru actuatorii lui Fifi. Totuși, trebuie avut în vedere că robotul este subacvatic. Prin urmare, prima problemă care trebuie rezolvată este asigurarea etanșeității. În continuare voi descrie două dintre variantele proiectate și testate pentru a asigura etanșeitățile în cazul utilizării servomecanismelor:

- Transmiterea directă a mișcării și etanșarea cu inel O-ring.
- Transmiterea mișcării prin cuplaj magnetic.

Inițial am încercat transmiterea mișcării prin conectarea directă axului servomecanismului caudal la coadă. După cum se observă în Figura 1, servomecanismul albastru se află în interiorul peștelui verde. Mișcarea axului galben al servomecanismului este transmisă către coadă prin intermediul brațului negru fixat pe axul servomecanismului. Coda peștelui nu apare în Figura 1, dar ea se atașează rigid de brațul servomecanismului. Etanșarea se face în acest caz prin intermediul unui inel roșu de cauciuc. Inelul este plasat într-un locaș în peretele peștelui, astfel încât este presat ușor între fundul locașului și exteriorul porțiunii cilindrice a brațului servomecanismului, realizând astfel etanșarea. Am creat diferite modele pentru inele cu diferite diametre și grosimea secțiunii de 1 mm și 1,5 mm.

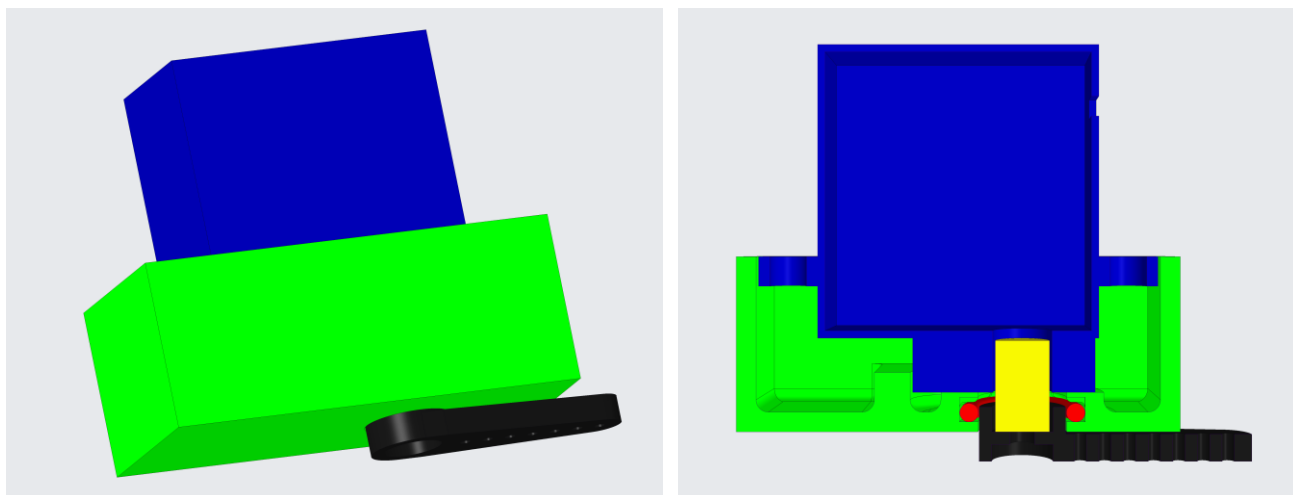


Figura 1 – Transmiterea directă a mișcării (vedere 3D și secțiune longitudinală verticală)

Pentru testarea soluției am realizat prototipul din Figura 2. Singura diferență față de modelul 3D din Figura 1 este utilizarea unui braț în cruce și nu a unui simplu. Am imprimat modelul 3D cu imprimanta Qidi 3D X-Plus, cu o grosime a stratului de 0,2 mm. Am testat mai multe versiuni ale designului cu etanșare prin o-ring pentru diferite tipuri de inele O-ring existente în comerț. Niciuna dintre versiuni nu a trecut testul etanșeității. Cel mai probabil, acest lucru se datorează faptului că dimensiunile componentelor folosite sunt mici, iar precizia obiectelor imprimate 3D nu este suficient de bună pentru a obține calitatea necesară asigurării etanșării.

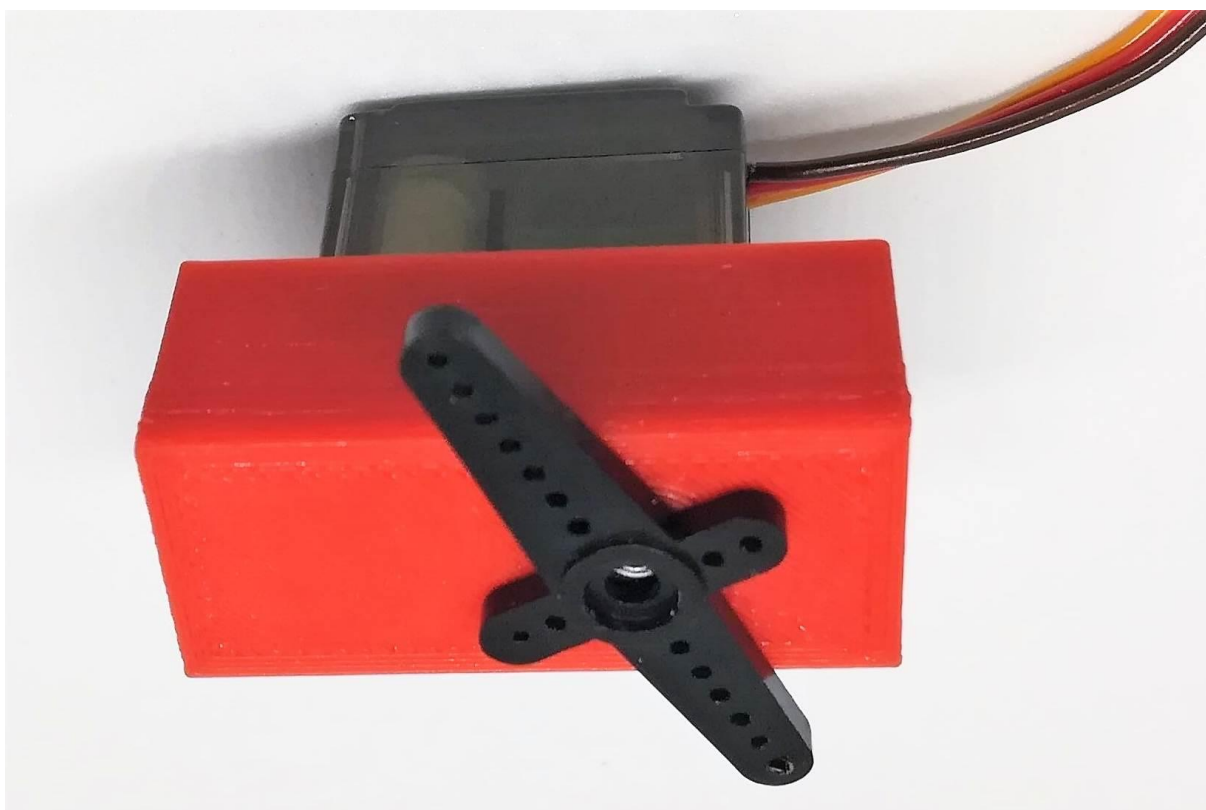


Figura 2 – Prototip pentru testarea etanșeității cu inel O-ring

Cea de a doua soluție testată folosește magneți pentru transmiterea mișcării de la servomecanism la coadă. De data aceasta am creat un model mai apropiat de realitate, pornind de la schița din Figura 3. Evident, am modelat doar partea necesară pentru efectuarea testelor, după cum se observă în Figura 4.

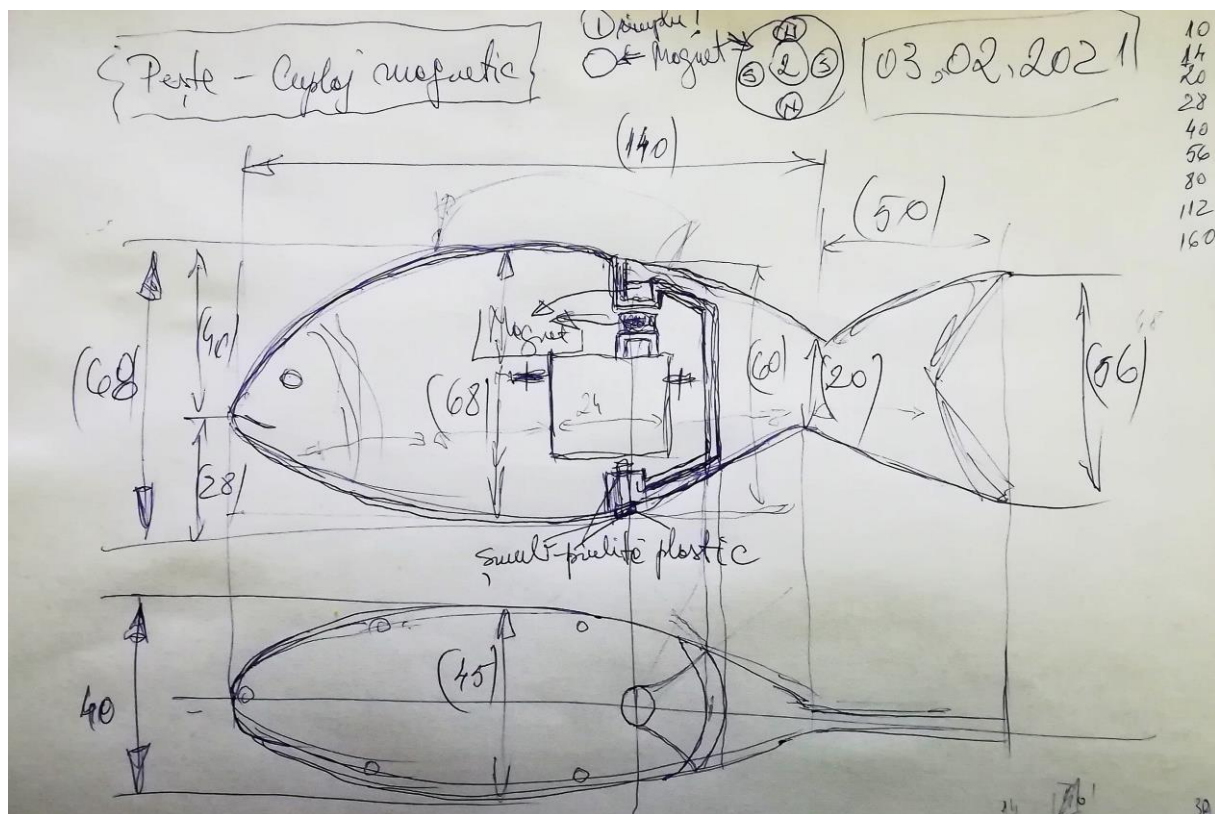


Figura 3 – Schița unui pește robotic cu un singur servomecanism, cu transmiterea mișcării prin cuplaj magnetic

Referitor la Figura 4, servomecanismul (albastru) este fixat în interiorul corpului verde al peștelui. De axul servomecanismului este prins prin intermediul brațului (negru al) servomecanismului un suport (galben) în care sunt 4 magneți cilindrici, dispuși circular uniform, cu polii alternând. În secțiunea din Figura 4 se văd doar 2 din cei 4 magneți. Coada este formată din două părți: superioară (de culoare roșie) și inferioară (de culoare mov). Cele două părți se assemblează cu șuruburi. Coada se poate roti coaxial cu axul servomecanismului. Pe partea inferioară a cozii se află 4 magneți dispuși pe partea inferioară a cozii, similar magneților de pe suport. Cei 4 magneți care se află pe suportul din interiorul corpului peștelui și cei 4 magneți exteriori fixați pe coadă se atrag și în acest fel transmit mișcarea de rotație de la axul servomecanismului la coadă.

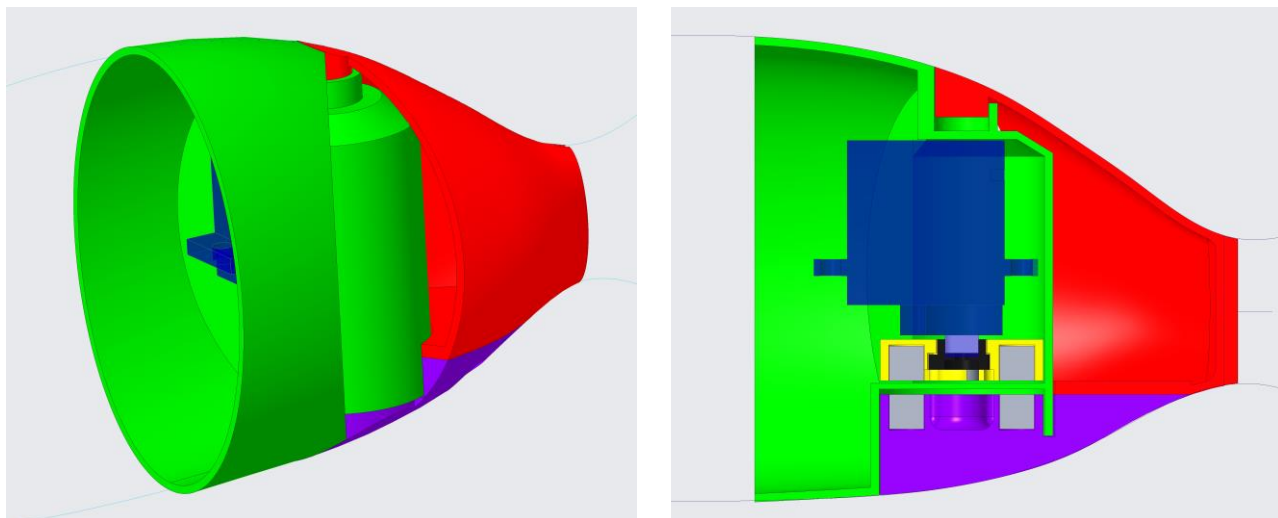


Figura 4 – Transmiterea mișcării prin cuplaj magnetic (vedere 3D și secțiune longitudinală verticală)

Pentru testarea soluției cu cuplaj magnetic am realizat prototipurile pentru coadă și pentru suportul magneților care se montează pe axul servomecanismului (Figura 5). Evident, cuplajul magnetic asigură etanșeitatea dar nu putem fi siguri că acest cuplaj magnetic poate transmite tot cuplul mecanic al servomecanismului. Am testat cuplajul magnetic pentru cazul utilizării unor magneți cilindrici neodim N35 cu diametrul de 5 mm și înălțimea de 5 mm. Pentru o distanță de aproximativ 2 mm între polii magneților magneții încep să piardă alinierea la cupluri destul de mici. Acest neajuns ar putea fi depășit prin folosirea unor magneți mai puternici (e.g. N50), mai mari (e.g. diametrul și / sau înălțimea mai mare) și prin micșorarea distanței dintre polii magneților până aproape de grosimea peretelui corpului peștelui (aproximativ 1,2 mm).



Figura 5 – Prototipuri pentru testarea cuplului transmis prin intermediul magneților

În concluzie, utilizarea cuplajului magnetic pentru transmiterea mișcării servomecanismului este o soluție bună în ceea ce privește asigurarea etanșării, adoptarea ei depinzând de cuplul mecanic care trebuie transmis. În final nu am adoptat această soluție din alt motiv: peștele robotic proiectat pentru un servomecanism SG90 ar fi avut în final dimensiuni mari. De aceea am căutat și alte soluții pentru actuatore, soluții care să-mi permită proiectarea unui pește robotic de dimensiuni mai mici.

Actuatore magnetice

O soluție promițătoare pentru acționarea înotătoarelor s-a dovedit a fi, așa cum am văzut în secțiunea anterioară, utilizarea unui servomecanism a cărui mișcare este transmisă prin cuplaj magnetic. Mergând pe aceeași idee, am decis să creez niște actuatore magnetice care ar rezolva problema etanșeității și care ar putea fi mai adecvate pentru construirea unui pește de dimensiuni mai mici.

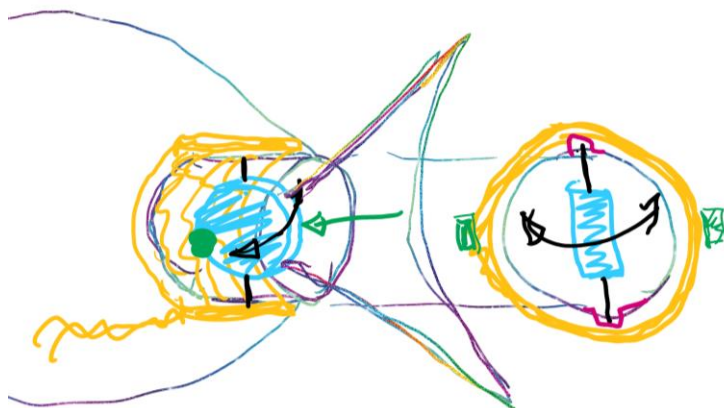


Figura 6 – Schița actuatorului magnetic caudal

Partea mecanică

În Figura 6 este schițat un actuator magnetic care acționează înotătoarea caudală. Actuatorul este format dintr-un magnet (albastru) care se rotește în interiorul unui solenoid (galben), sub influența câmpului magnetic din solenoid. Prin modificarea sensului și intensității curentului electric și din solenoid se poate modifica poziția magnetului în interiorul solenoidului. În afara magnetului principal, există și doi magneți (verzi) care se montează pe exteriorul solenoidului și au rolul de a regla poziția de echilibru a magnetului principal și de a crea un cuplu rezistent aproximativ proporțional cu unghiul magnetului față de poziția de echilibru.

Pornind de la schița din Figura 6 am creat prima versiune a modelului pentru actuatorul magnetic ca în Figura 7. Pentru o mai bună înțelegere a modelului, în Figura 8 sunt prezentate secțiunile longitudinale orizontale și verticale ale actuatorului magnetic.

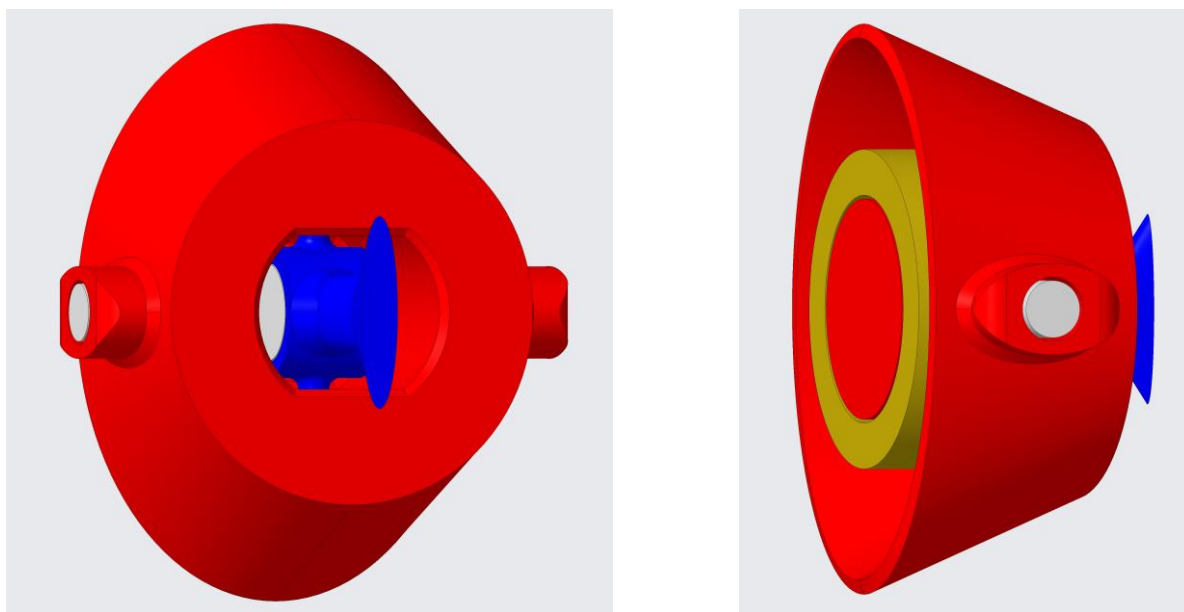


Figura 7 – Modelul 3D al primei versiuni a actuatorului magnetic caudal (stânga – exterior; dreapta – interior)

Actuatorul are un suport (roșu) pentru bobină, care la exterior are forma peștelui în zona caudală, iar la interior are un suport cilindric pe care se montează bobina (galbenă). În centrul bobinei se află magnetul principal (gri), care este montat pe un suport (albastru). Suportul magnetului are doi pini pentru cele două articulații care permit rotirea suportului și implicit a magnetului. Crearea cuplului rezistent pentru rotirea magnetului principal se realizează cu doi magneți cilindri mici (gri), dispuși coaxial cu magnetul principal în locașuri decupate în partea exterioară a suportului pentru bobină.

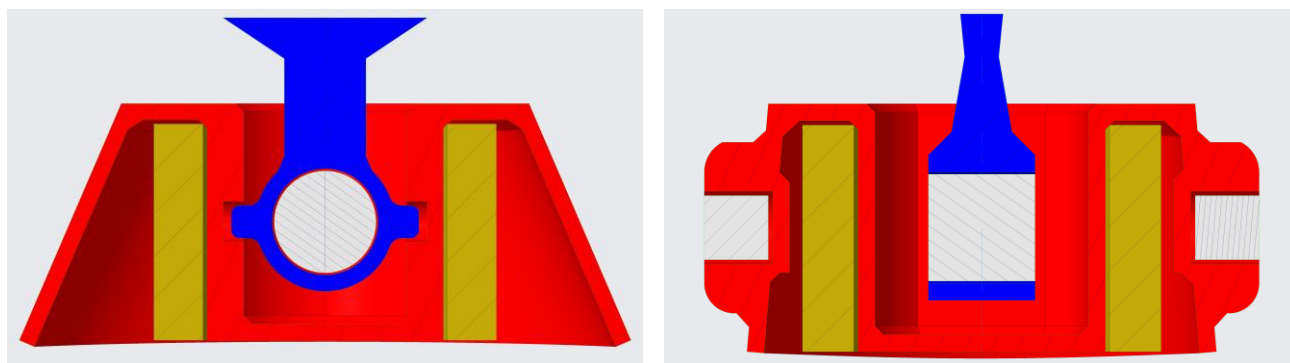


Figura 8 – Secțiuni longitudinale prin actuatorul magnetic (stânga – vertical; dreapta – orizontal)

Am imprimat 3D componentele actuatorului magnetic caudal cu filament PLA, la o rezoluție de 0,2 mm. Fiecare dintre cele două piese a fost imprimată cu suport. După cum se observă în Figura 9, pentru suportul magnetului am folosit 2 poziții de imprimare, fiecare cu avantajele și dezavantajele ei.



Figura 9 – Imprimarea 3D a componentele actuatorului magnetic

După prelucrări și finisări ale piesele imprimate 3D (Figura 10), am montat magnetul în interiorul suportului pentru magnet, iar apoi am introdus (forțat) suportul magnetului cu pinii în locașurile prevăzute în piesa care pe care se montează solenoidul (Figura 11). În locașurile exterioare am introdus magneții pentru crearea cuplului rezistent.



Figura 10 – Componentele imprimate 3D ale actuatorului după finisare.

Am realizat mai multe astfel de asamblări, unele dintre ele rotindu-se neașteptat de bine, având în vedere faptul că articulațiile folosite sunt rudimentare.



Figura 11 – Actuatorul magnetic asamblat, cu excepția solenoidului

Pentru obținerea unui actuator magnetic funcțional mai rămânea de adăugat solenoidul, a cărei proiectare și realizare va fi descrisă în secțiunea următoare.

Solenoidul

După cum am amintit deja, solenoidul are rolul de a produce câmpul magnetic care prin interacțiunea cu magnetul permanent creează cuplul activ al actuatorului.

Pentru proiectarea solenoidului am luat în considerare următoarele:

- Secțiunea bobinei trebuie să ocupe cât mai mult din suprafața disponibilă astfel încât să se maximizeze câmpul magnetic și prin urmare cuplul magnetic activ.
- Tensiunea de alimentare este de 5V.

Pornind de la restricțiile impuse am calculat numărul de spire al solenoidului și diametrul conductorului de bobinare. Am ales conductorul CuEm cu diametrul minim, care suportă curentul maxim prin solenoid.

Pentru bobinarea solenoidului am folosit o șurubelniță electrică cu cap hexagonal interior. Pentru a putea folosi această șurubelniță am proiectat un suport imprimat 3D, ca în Figura 12.

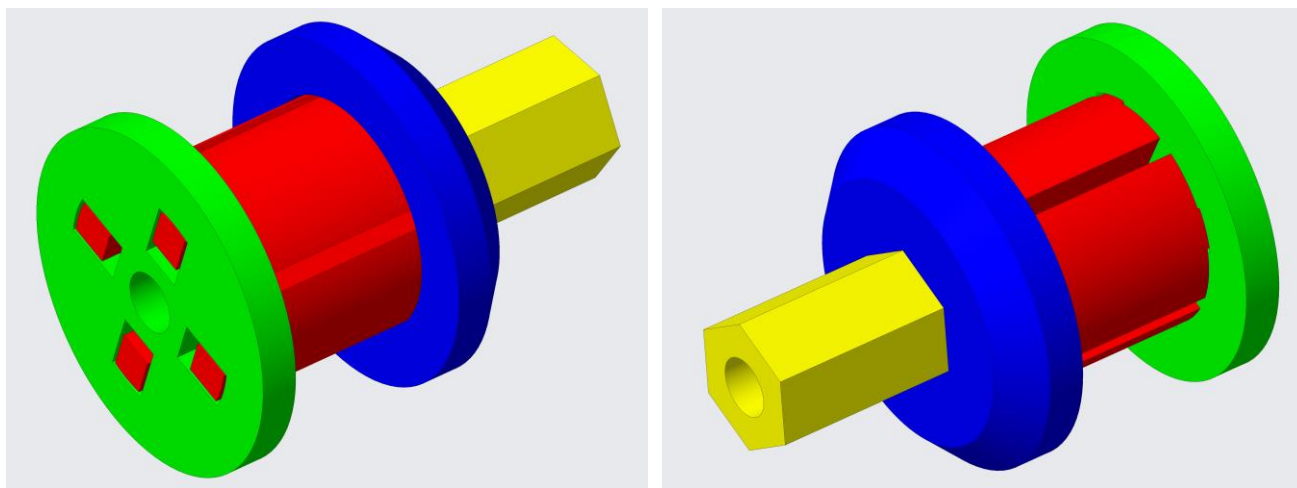


Figura 12 – Suport pentru bobinarea solenoidului cu o șurubelniță electrică

Nu am numărat spirele înfășurate pe bobină, ci am bobinat până la umplerea ferestrei de bobinare (Figura 13). După bobinare am măsurat rezistența solenoidului, care a fost apropiată de cea teoretică (calculată în timpul proiectării). Prin urmare, chiar dacă nu am folosit o mașină de bobinat automată, am obținut o bobină cu parametrii apropiați de cei calculați.



Figura 13 – Bobinarea solenoidului cu șurubelnița electrică și bobina obținută

După asamblarea bobinei pe actuatorul caudal (Figura 14) am testat funcționarea actuatorului prin alimentare la o tensiune reglabilă de 5V. Actuatorul s-a comportat conform așteptărilor. Cuplul activ pare destul de puternic, dar rămâne de văzut dacă este suficient de mare pentru a putea acționa înotătoarea caudală în apă.

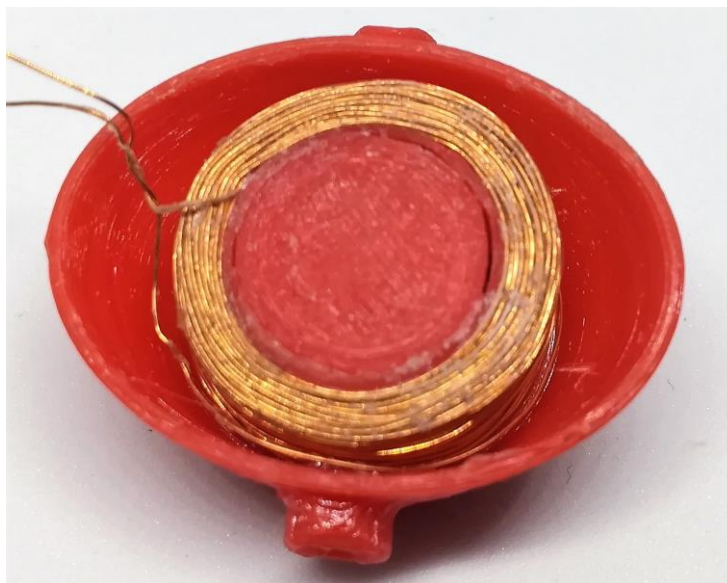


Figura 14 – Actuatorul magnetic caudal (varianta 1)

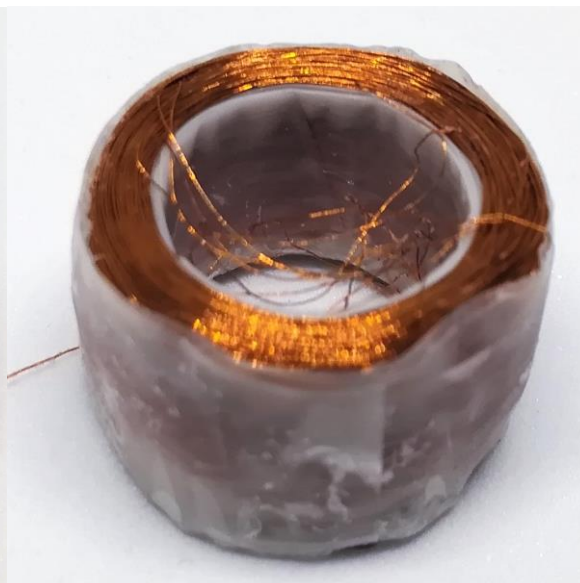


Figura 15 – Solenoid cu spire desprinse la capete

Inițial, am încercat rigidizarea spirelor solenoidului cu adeziv sau / și bandă adezivă. Aceste soluții s-au dovedit a fi nesatisfăcătoare, deoarece spirele de la capătul solenoidului se desprindeau, după cum se poate vedea în Figura 15. Problema a fost mai deranjantă în cazul unor conductoare de bobinaj cu diametrul mic, când spirele se încâlceau și bobina devenea inutilizabilă. Prin urmare, am decis utilizarea unor suporturi imprimate 3D pentru solenoid.

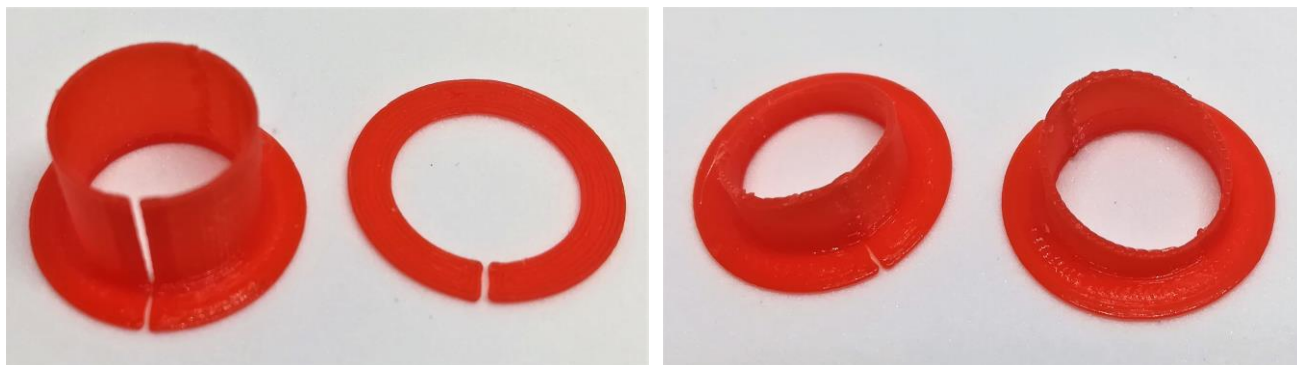


Figura 16 – Două tipuri de suporturi pentru solenoid

Prin bobinarea solenoidului pe suporturi am eliminat problema desprinderii și încălcirii spirelor solenoidului. Totuși, utilizarea suporturilor imprimate 3D are un dezavantaj: micșorează secțiunea ferestrei de bobinare și prin urmare micșorează și valoarea maximă a cuplului activ al actuatorului.

În Figura 16 se observă cele două tipuri de suporturi pentru solenoid pe care le-am proiectat și imprimat 3D. În final am optat pentru suportul obținut prin secționarea unui cilindru cu flanșe după un plan înclinat la un anumit unghi față de axul cilindrului (suportul situat în partea dreaptă în Figura 16).

Alegerea actuatorului pentru Fifi

În urma testelor efectuate, am considerat că utilizarea actuatorului magnetic pentru acționarea înotătoarelor peștelui robotic este o opțiune promițătoare. Evident, actuatorul caudal trebuie modificat pentru a putea fi utilizat la acționarea înotătoarei dorsale.

A doua variantă a actuatorului magnetic caudal este prezentată în Figura 17. Singura diferență față de prima variantă (Figura 14) este utilizarea unui solenoid bobinat pe un suport imprimat 3D.



Figura 17 – Actuator magnetic caudal (varianta 2)

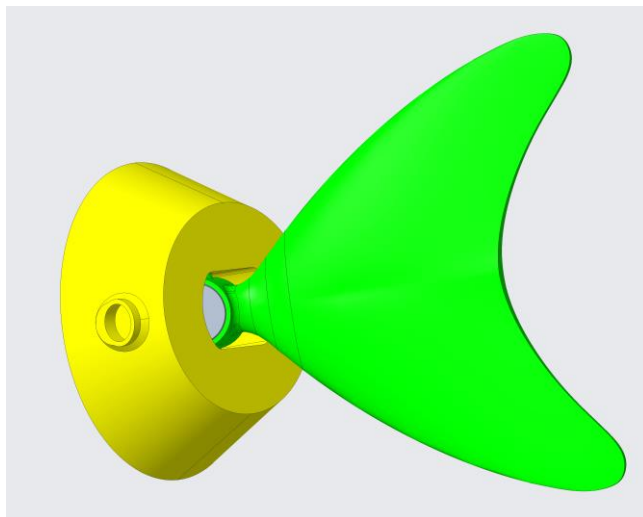


Figura 18 – Actuator magnetic caudal (varianta 3)

Am proiectat și o a treia variantă a actuatorului (Figura 18), la care înotătoarea caudală formează corp comun cu suportul magnetului. Am renunțat la aceasta deoarece am dorit să pot schimba ușor înotătoarele, pentru a testa performanțele în cazul diferitelor forme de înotătoare.

În final, am decis să folosesc cea de a doua variantă a actuatorului magnetic.

Modelul 3D al lui Fifi-12

După alegerea tipului de actuator am încercat să conturez o viziune de ansamblu. În această secțiune voi descrie succint etapele dezvoltării uneia dintre primele versiuni ale peștelui robotic, numită Fifi-12.

Am dorit să proiectez un model 3D al lui Fifi, care să utilizeze actuatorul magnetic caudal proiectat și testat anterior, care avea un magnet principal cilindric cu diametrul de 5 mm și înălțimea de 5 mm. În dorința de a obține un pește cât mai mic, am impus o lungime de 12 cm pentru pește. Așa cum ați anticipat, de la lungime vine și numele versiunii, Fifi-12.

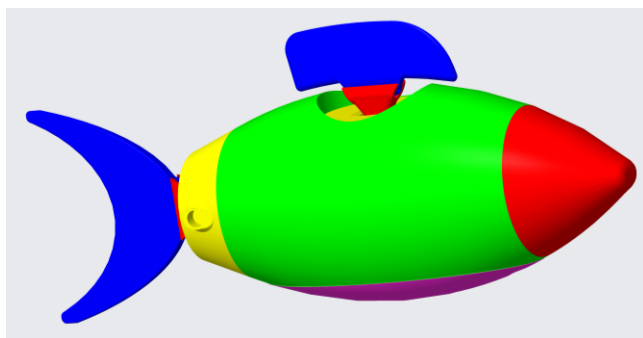


Figura 19 – Modelul 3D (stânga) și prototipul imprimat 3D (dreapta) al lui Fifi-12 (i.e. lungimea de 12 cm)

După cum se observă în Figura 19, modelul 3D al lui Fifi are următoarele părți:

- corpul (verde);
- actuatorul magnetic caudal (galben și roșu) și înotătoarea dorsală (albastră);
- actuatorul magnetic dorsal (galben și roșu) și înotătoarea dorsală (albastră);
- capul (roșu);
- capacul ventral detașabil (mov).

La această versiune am avut în vedere următorul mod de asamblare a componentelor:

- înotătoarele se atașează prin clipsare la actuatorii magnetice;
- actuatorii magnetice și capul se atașează prin lipire de corpul peștelui;
- partea electronică se introduce prin decuparea pentru capacul ventral;
- capacul se atașează cu șuruburi;

Singura îmbinare demontabilă este cea dintre capac și corpul peștelui. Pentru etanșarea acesteia se folosește un inel O-ring. Pentru îmbinările nedemontabile, etanșarea nu ar trebui să fie o problemă.

Pentru a înțelege mai bine modul în care este conceput modelul 3D, am prezentat în Figura 20 secțiuni longitudinale prin planul median vertical și cel orizontal. Există două secțiuni orizontale, una orientată în sus și cealaltă în jos.

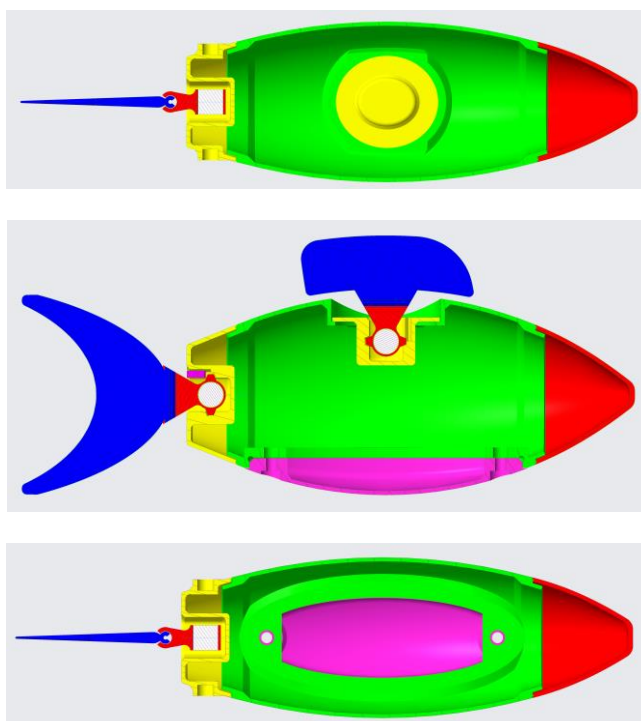


Figura 20 – Secțiuni longitudinale verticală (mijloc) și orizontale (sus și jos) prin modelul lui Fifi-12

După cum se observă în secțiunea orizontală situată în partea de sus în Figura 20, suportul solenoidului (galben) al actuatorului dorsal este eliptic și nu circular, așa cum era în cazul actuatorului caudal testat. Acest fapt se datorează faptului că după mai multe încercări am înțeles că pentru a obține lungimea dorită

(12 cm) pentru pește trebuie aduse modificări actuatorului magnetic. Prin urmare, am reproiectat actuatorul magnetic pentru a se potrivi mai bine formei peștelui. Principala modificare a fost utilizarea unui solenoid cu secțiune eliptică. Această modificare este discutată în secțiunea următoare.

Actuatoare magnetice eliptice

Pentru o mai bună adaptare a actuatorului magnetic la forma peștelui am decis proiectarea unui actuator magnetic cu secțiune eliptică a solenoidului, după cum se observă în Figura 21, în care sunt prezentate imagini ale actuatorului magnetic dorsal (fără bobină).

De asemenea, am făcut încă două modificări:

- Am prins înotătoarea (care nu apare în imagine) de suportul magnetului (galben) cu un șurub și o piuliță de plastic deoarece clipsarea folosită anterior nu asigura rigiditatea necesară. În desenele din Figura 21 se observă gaura pentru asamblarea demontabilă, dar piulița și șurubul nu apar.
- Am schimbat modul de asamblare al suportului magnetului (galben) prin utilizarea unui locaș în suportul bobinei (verde) care permite montarea ușoară a suportului magnetului și blocarea în poziția dorită cu o pană (roșie). Anterior, asamblarea suportului magnetului în suportul bobinei se făcea forțat.

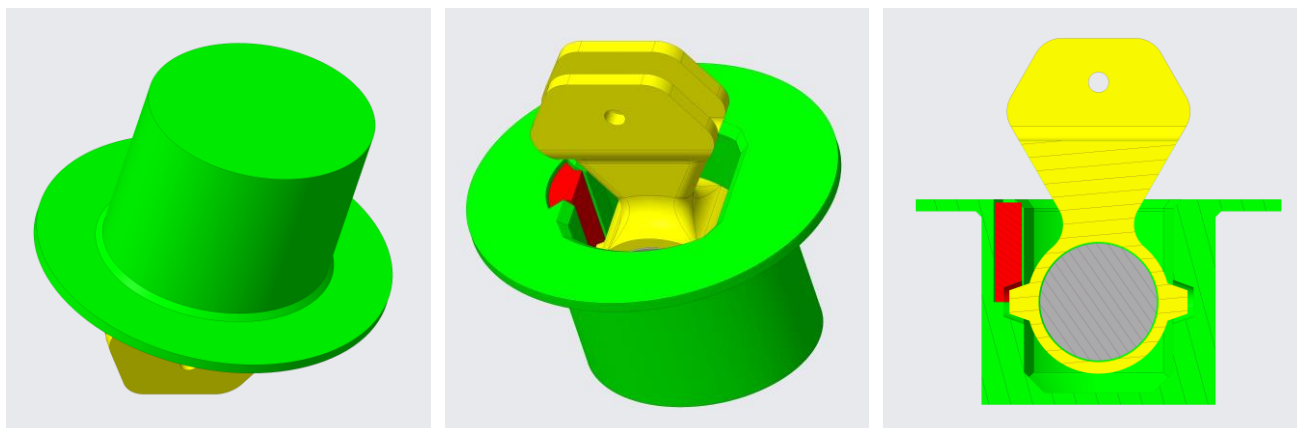


Figura 21 – Actuator dorsal eliptic (vederi 3D și în secțiune)

Rezultatele imprimării 3D a componentelor depind de modul în care acestea sunt poziționate pe suprafața de imprimare. După mai multe teste, cele mai bune rezultate le-am obținut pentru așezarea componentelor ca în Figura 22.



Figura 22 – Imprimarea componentelor 3D pentru actuatoarele magnetice

Am proiectat și realizat suporturi pentru bobinarea solenoidelor cu secțiune eliptică (Figura 23).



Figura 23 – Suporturi pentru bobinarea solenozilor cu secțiune eliptică

Am proiectat și realizat solenoizi cu secțiune eliptică pentru actuatore (Figura 24).

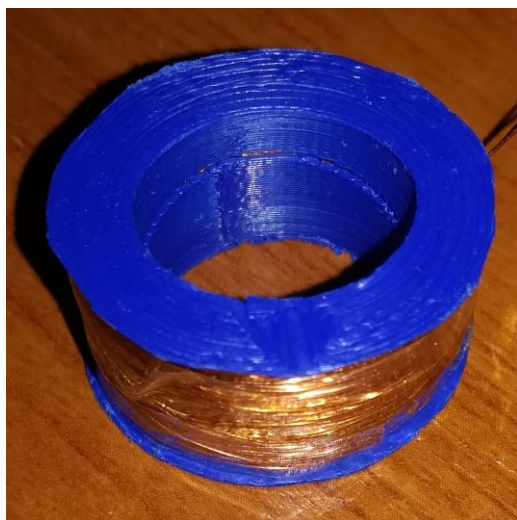


Figura 24 – Solenoizi cu secțiune eliptică

După asamblarea componentelor actatoarelor am fixat suportul magnetului în articulații prin lipirea penei (roșii) în locașul decupat în suportul solenoidului (Figura 25).



Figura 25 – Lipirea penei în locaș



Figura 26 – Actuator dorsal



Figura 27 – Actuator caudal

Atât actuatorul dorsal (Figura 26), cât și actuatorul caudal (Figura 27) erau pregătiți pentru testarea în apă. Un clip video cu testarea actuatorului caudal poate fi vizualizat la adresa <https://youtu.be/6eInDqomyrk>.

Odată rezolvată problema actatoarelor am reproiectat peștele robotic, așa cum voi descrie în secțiunea următoare.

Fifi-15

În această secțiune voi descrie succint proiectarea și realizarea prototipului Fifi-15, a cărui lungime este de 15 cm. Faptul că am modificat actuatorii magnetice pentru a se potrivi mai bine formei peștelui nu a fost suficient pentru a putea continua dezvoltarea unui pește robotic cu lungimea de 12 cm. Principalul motiv este faptul că decuparea pentru capacul ventral nu este suficient de mare pentru a permite instalarea ușoară a componentelor electronice ale robotului. Prin urmare, a trebuit să cresc lungimea robotului de la 12 cm la 15 cm.

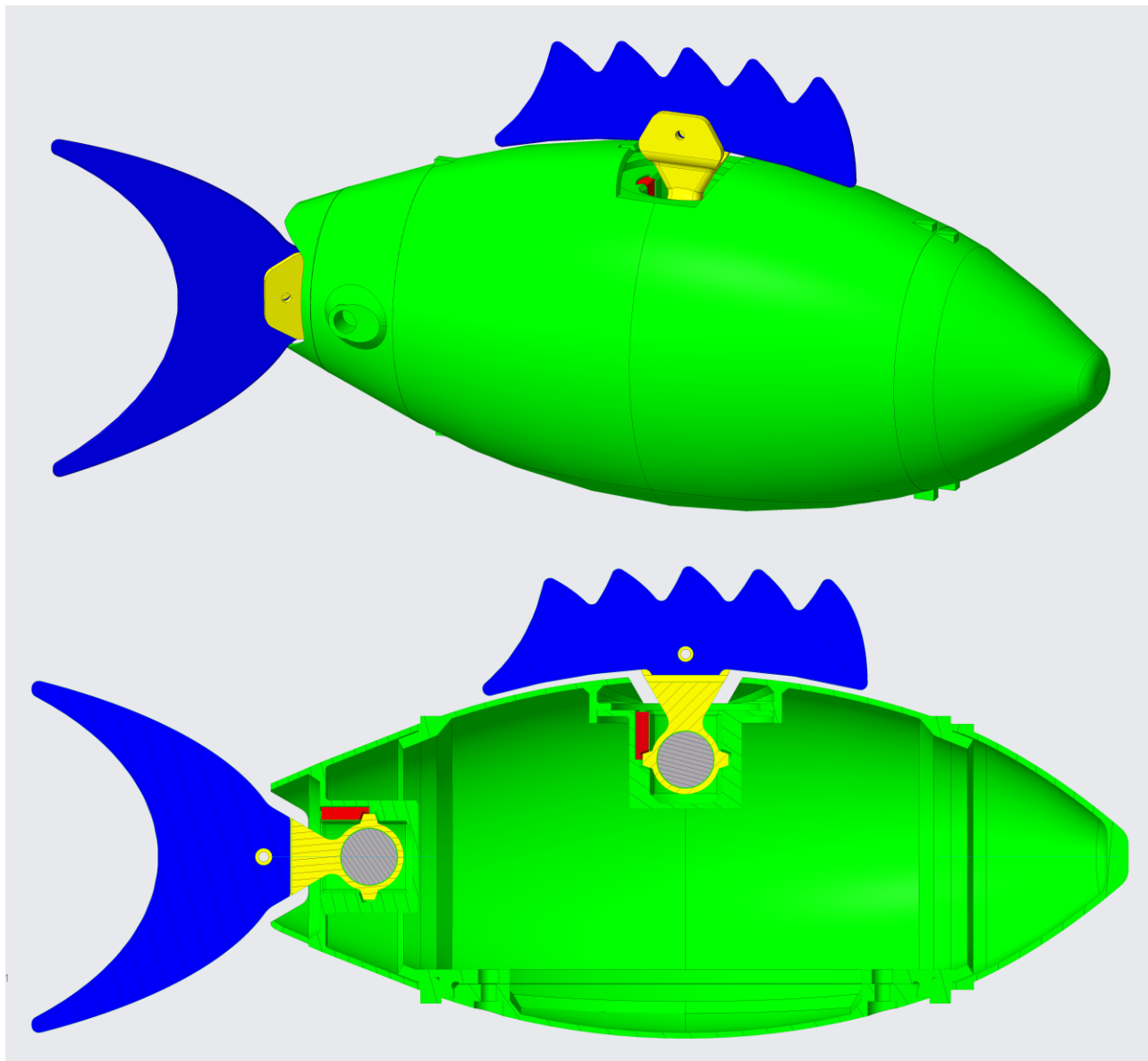


Figura 28 – Modelul 3D (sus) și secțiune longitudinală verticală prin modelul 3D al lui Fifi-15

După cum se observă în Figura 28, modelul lui Fifi-15 este similar cu modelul lui Fifi-12 (Figura 19 și Figura 20). Fifi-15 are următoarele modificări față de Fifi-12:

- Lungimea este de 15 cm și nu 12 cm.
- Actuatorii magnetice eliptice au modificările discutate în secțiunea „Actuatori magnetici eliptici” și folosesc magneți cilindrici mai mari, cu diametrul de 8 mm față de 5 mm și înălțimea de 6 mm față de 5 mm.

În continuare voi prezenta realizarea lui Fifi-15 fără a mai discuta despre actuatoarele magnetice, care au fost detaliate în secțiunea anterioară.



Figura 29 – Imprimarea 3D a corpului, capului și capacului

Corpul capul și capacul ventral au fost imprimate 3D cu filament PLA, la o rezoluție de 0,2 mm. Așezarea optimă pe patul de imprimare este cea din Figura 29. Toate cele trei componente necesită suport la imprimare. După înlăturarea suportului și finisarea componentelor imprimate 3D, am adăugat corpului cele două inserții filetate M2 (Figura 30), în care se vor înșuruba șuruburile care vor prinde capacul de corpul peștelui.



Figura 30 – Corp cu inserții filetate M2 pentru prinderea capacului

Am lipit actuatorul caudal, actuatorul dorsal și capul pe corpul peștelui cu adeziv epoxidic bicomponent. Deoarece componentele imprimate 3D au doar 2 – 3 straturi, apa ar trece prin ele, motiv pentru care am acoperit cu un strat subțire de adeziv epoxidic toată suprafața exterioară a peștelui. Rezultatul acoperirii nu arată prea bine din punct de vedere estetic. Pe viitor va trebui să identific soluții adecvate pentru impermeabilizarea obiectelor imprimate 3D.

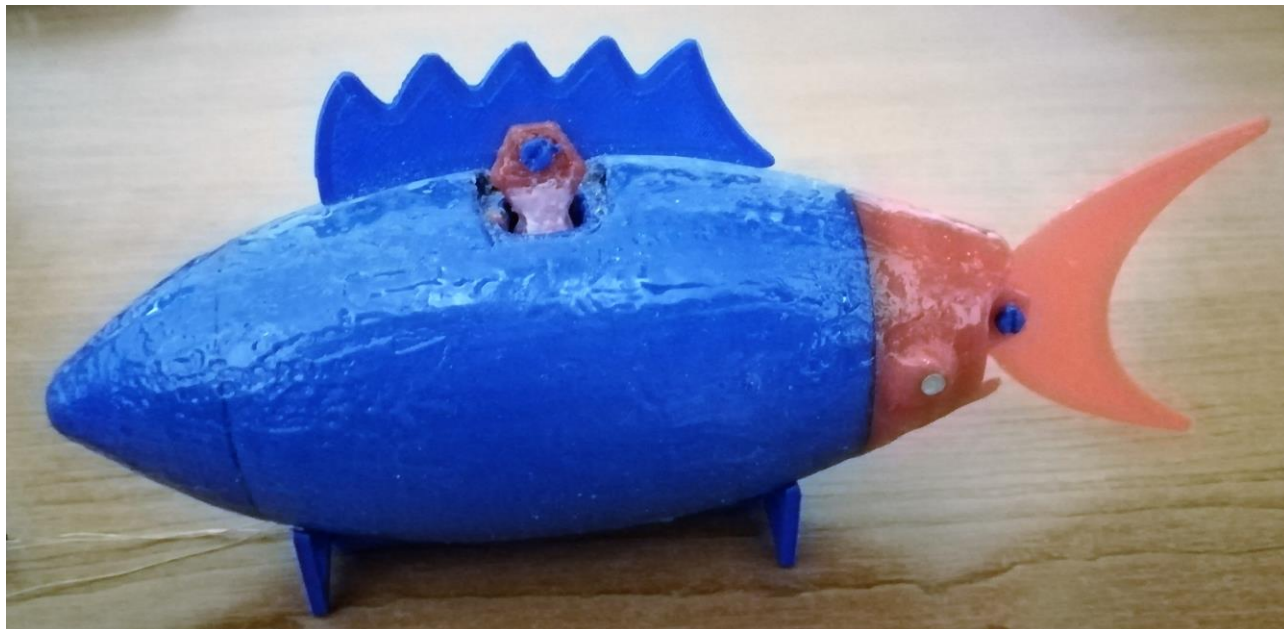


Figura 31 – Fifi-15 asamblat

Pentru a testa funcționarea lui Fifi-15 am creat, pe un breadboard, un montaj simplu cu o placă Arduino Nano și driver dual de motoare DRV8833 (Figura 32). Fiecare driver din circuitul integrat DRV8833 comandă câte unul dintre cele două actuatore. Driverul este controlat de pinii microcontrolerului Arduino, conform unui program simplu scris în Arduino.

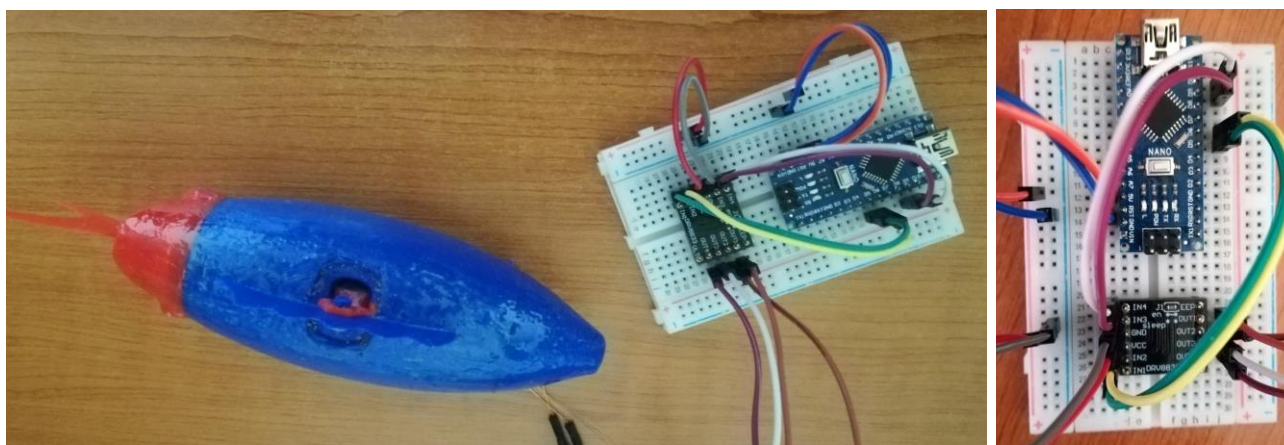


Figura 32 – Testarea lui Fifi-15 în aer

Fifi-15 a trecut testul „pe uscat” la care l-am supus, după cum se poate vedea din clipul video de la adresa <https://youtu.be/dLLmXdKa3lg>.

Următorul pas a fost testarea lui Fifi-15 în apă. Pentru aceasta am realizat un montaj electronic fără breadboard, ca în Figura 33. După cum se observă, nu am folosit decât cele 2 plăci—placa de dezvoltare Arduino Nano și driverul DRV8833—iar conexiunile le-am făcut prin lipire, în mod direct sau prin

intermediul unor fire. În acest mod am obținut un montaj destul de mic, care a intrat fără probleme în interiorul lui Fifi-15.

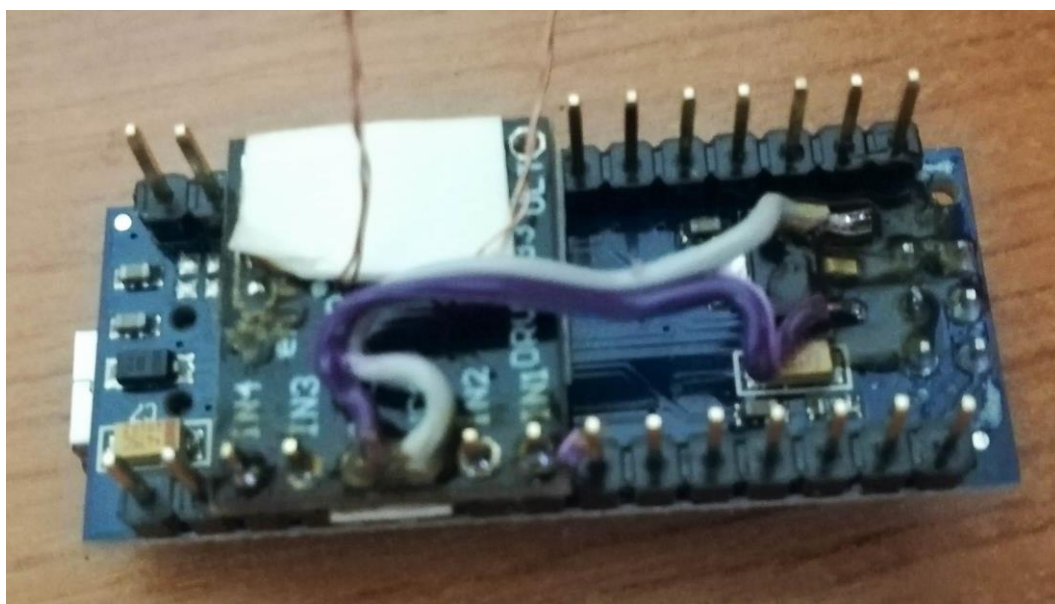


Figura 33 – Montajul electronic instalat în interiorul lui Fifi-15

Pe lângă montaj, am introdus în corpul peștelui și o baterie Li-Po cu 2 celule (Figura 34), pentru alimentare. Pe viitor s-ar putea dovedi mai potrivită utilizarea unei singure celule Li-Po și a unui convertor în comutație pentru obținerea tensiunii de alimentare dorite.

Pentru echilibrarea și obținerea flotabilității potrivite a peștelui am adăugat șuruburi și piulițe metalice M2 pe care le-am distribuit în capul peștelui și în capac (Figura 35). Masa suplimentară din cap asigură echilibrarea față-spate a peștelui, iar masa totală asigură flotabilitate. În urma testelor efectuate, am obținut flotabilitatea optimă—înotătoarea dorsală scufundată parțial—pentru o masă de 130 g (Figura 34).

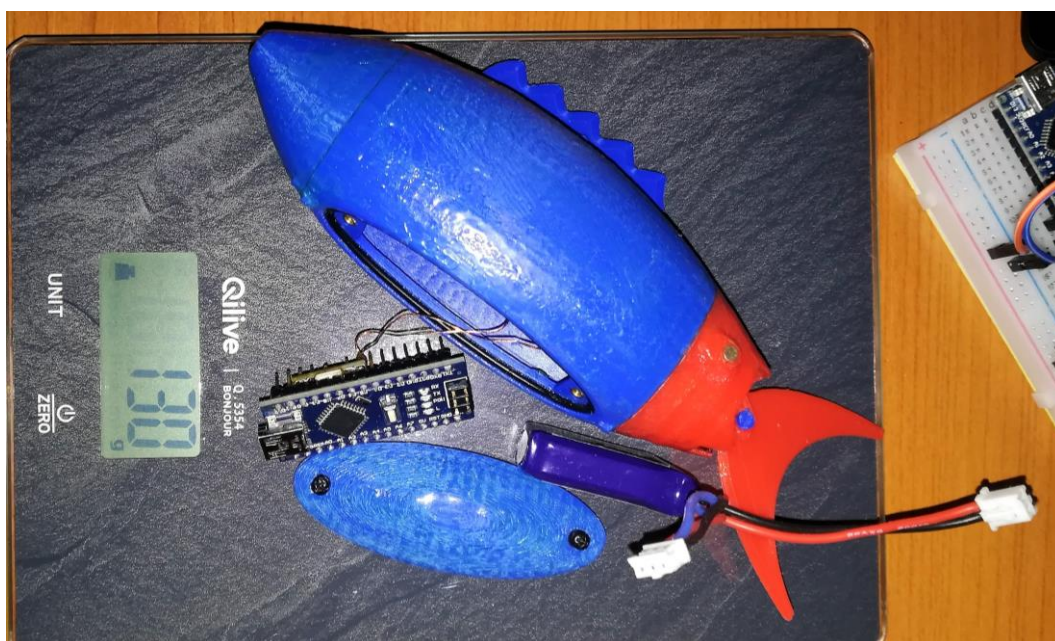


Figura 34 – Flotabilitatea optimă a lui Fifi-15 se obține pentru o masă totală de 130 g

După cum se observă în Figura 35, pentru etanșarea asamblării dintre capac și corp am folosit un șnur de cauciuc cu grosimea de 1,5 mm. Nu am putut folosi un inel O-ring deoarece nu se fabrică la dimensiunea

necesară. Principalul dezavantaj al utilizării șnurului vine din faptul că nu am găsit o modalitate de a lipi cele două capete ale șnurului și astfel, locul de îmbinare poate fi un loc prin care să intre apa în corpul peștelui. La viitoarele versiuni ale lui Fifi voi încerca să proiectez în așa fel încât să pot folosi inele din comerț.



Figura 35 – Fifi-15 cu montajul și bateria instalate

Cu ajutorul unui program simplu, scris în Arduino, l-am testat pe Fifi-15 pentru mersul înainte, rotirea la stânga, rotirea la dreapta și scufundare. Rezultatele au fost încurajatoare și se pot vedea în clipul video de la adresa <https://youtu.be/WQkzO7SjSzM>. Deși nu am putut testa adâncimea de scufundare, celelalte performanțe dinamice par să fi fost atinse. Din păcate, la finalul testului am descoperit că Fifi-15 avea apă în interiorul său, deci nu am reușit să rezolvăm problema etanșeității.

Concluzii

Să-l dezvolt pe Fifi a fost o aventură, pentru că nu aveam experiență anterioară nici în domeniul roboticii subacvatice și nici a biomimeticii. Pe parcursul dezvoltării lui Fifi am rezolvat cu succes o serie de probleme printre care:

- Proiectarea, realizarea și testarea unui actuator magnetic potrivit pentru acționarea înotătoarelor.
- Proiectarea, realizarea și testarea unui pește robotic simplu, cu două actuatore.

Succesul parțial înregistrat în dezvoltarea lui Fifi mă încurajează să încerc pe viitor proiectarea unei versiuni îmbunătățite, care să rezolve problemele semnalate și să adauge noi funcționalități:

- Asigurarea etanșării.
- Pornirea / oprirea alimentării cu un întrerupător adecvat funcționării subacvatice.
- Utilizarea de senzori optici cu laser pentru măsurarea distanței.
- Comunicația prin Bluetooth.
- Încărcarea wireless a acumulatorului.

Mai sunt necesare multe iterații până voi obține un pește cu performanțele amintite.

Sper ca acest articol să vă ajute în inițierea în domeniul roboticii subacvatice.