

PROTEZĂ GLEZNĂ INTELIGENTĂ EXPERIMENTALĂ BAZATĂ PE FLUIDE
INTELIGENTE (ESAP-SMAM)

1 PLATFORMA PENTRU DETERMINAREA EXPERIMENTALĂ A PARAMETRILOR PENTRU ELEMENTE TIP VALVĂ-STOP REOLOGICĂ (MAGNETOREOLOGICĂ ȘI ELECTROREOLOGICĂ)

Articulația realizată în cadrul proiectului este o articulație de rotație universală tip Hooke. Controlul dinamicii articulației se face hidraulic, fluidul de lucru fiind reologic.

Articulația este de tip pasiv, mișcarea fiind indusă de elementele exterioare la care este conectată. Controlul dinamicii mișcării se realizează printr-o valvă-stop reologică, externă articulației. Practic curgerea fluidului între elementele hidraulice ale articulației este controlată de curgerea fluidului prin valva-stop. Controlând dinamica curgerii fluidului controlăm practic dinamica mișcării articulației.

Distribuția reală a vitezei curgerii fluidului printr-o valvă stop magnetoreologică este puternic dependentă de y în centrul valvei, obținându-se valoarea maximă, cea care produce în general șocul pneumatic:

$$\gamma_c = \gamma_0 + \frac{\tau_0}{\eta} [y_0 - g]$$

în zonele laterale viteza va avea expresia:

$$\gamma(y) = \gamma_0(1 - \alpha y^2) + \frac{\tau_0}{\eta} [|y| - g]$$

Distribuția vitezei de-a lungul valvei va avea următoarea formă, relativ la variația lui y , respectiv τ :

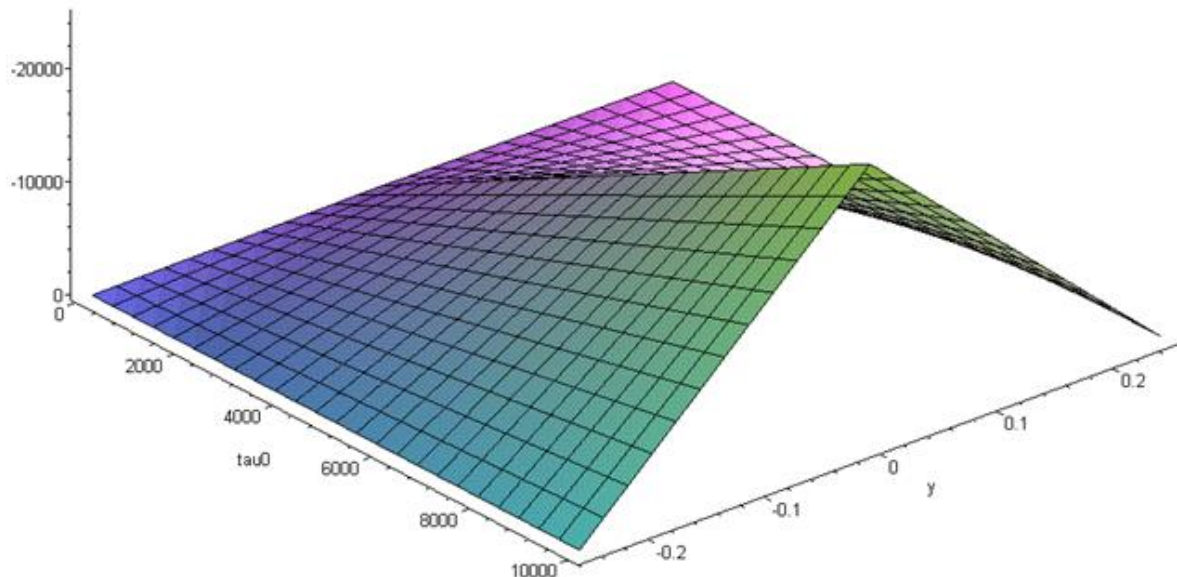


Figura 1.1. Distribuția vitezei de-a lungul valvei

Se observă că modelul matematic al curgerii este unul complex, chiar dacă anumite perturbații datorate curgerii vâscoase magnetoreologice au fost ignorate în calcul.

Deoarece pentru modelarea curgerii fluidelor magnetoreologice printr-o valvă-stop magnetoreologică este necesară determinarea experimentală a anumitor parametri am realizat Platforma pentru determinarea experimentală a parametrilor pentru elemente tip valvă-stop reologică.

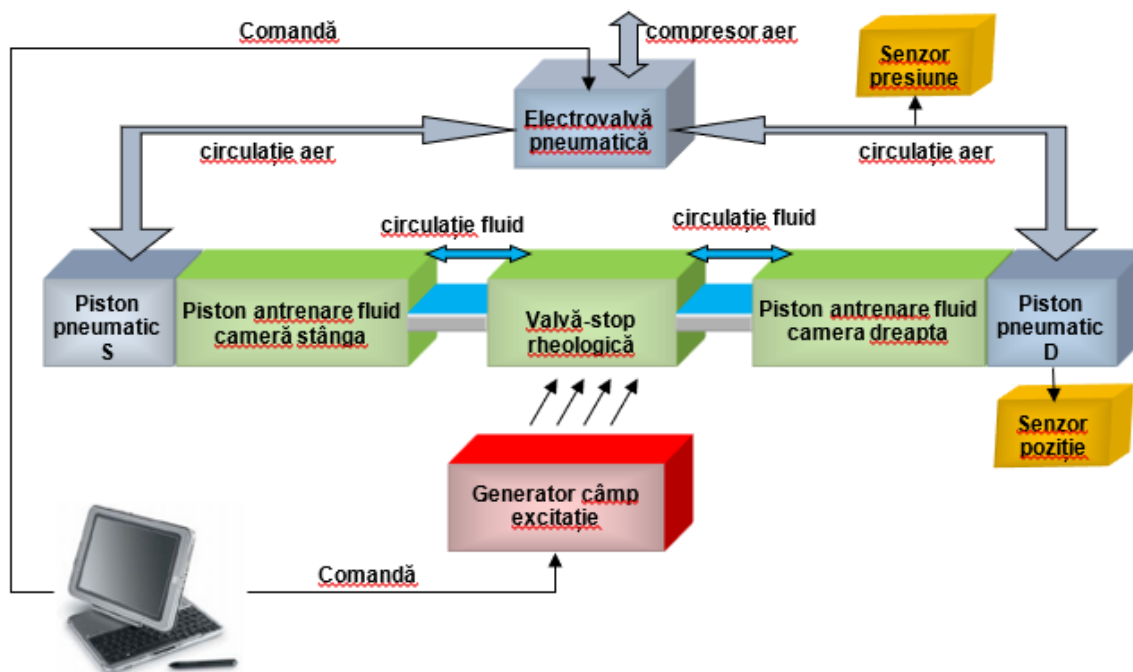


Figura 1.2. Schema generală a pentru determinarea experimentală a parametrilor pentru elemente tip valvă-stop reologică

Platforma realizată este formată dintr-un sistem pneumatic care angrenează un sistem hidraulic. Fluidul sistemului hidraulic este fluid magnetoreologic. Sistemul de control și achiziție este realizat cu sistemul Quanser. Pentru implementarea algoritmilor de control și achiziție s-a folosit softul Matlab-Simulink.

Platforma realizată, deși prototip, este perfect funcțională. Poate funcționa pentru determinarea parametrilor sau testarea oricărui tip de valve rheologice.

Generarea câmpului de excitație poate fi făcută cu o tensiune constantă, tensiune PWM sau o tensiune care variază conform unei legi de variație implementate în model.

Varianta aleasă pentru determinarea intensității câmpului magnetic, respectiv măsurarea acestuia, este mult mai precisă decât calculul unui electromagnet cu miez de ferită care necesită un volum de calcul destul de mare pentru timp real.

Modulele platformei pot fi schimbate separate de platformă și schimbate simplu și din punct de vedere mecanic cât și din punct de vedere electric.

Platforma poate face determinări repetitive, obligatorii pentru determinarea experimentală a parametrilor. S-a creat un program care permite afișarea datelor achiziționate pentru un parametru sub forma unei suprafețe 3D, ceea ce permite o vizualizare comparativă a datelor pentru achiziții multiple.

Datorită particularităților constructive această platformă induce erori de măsurare.

Acestea sunt datorate soluției constructive pentru pistoanele hidraulice.

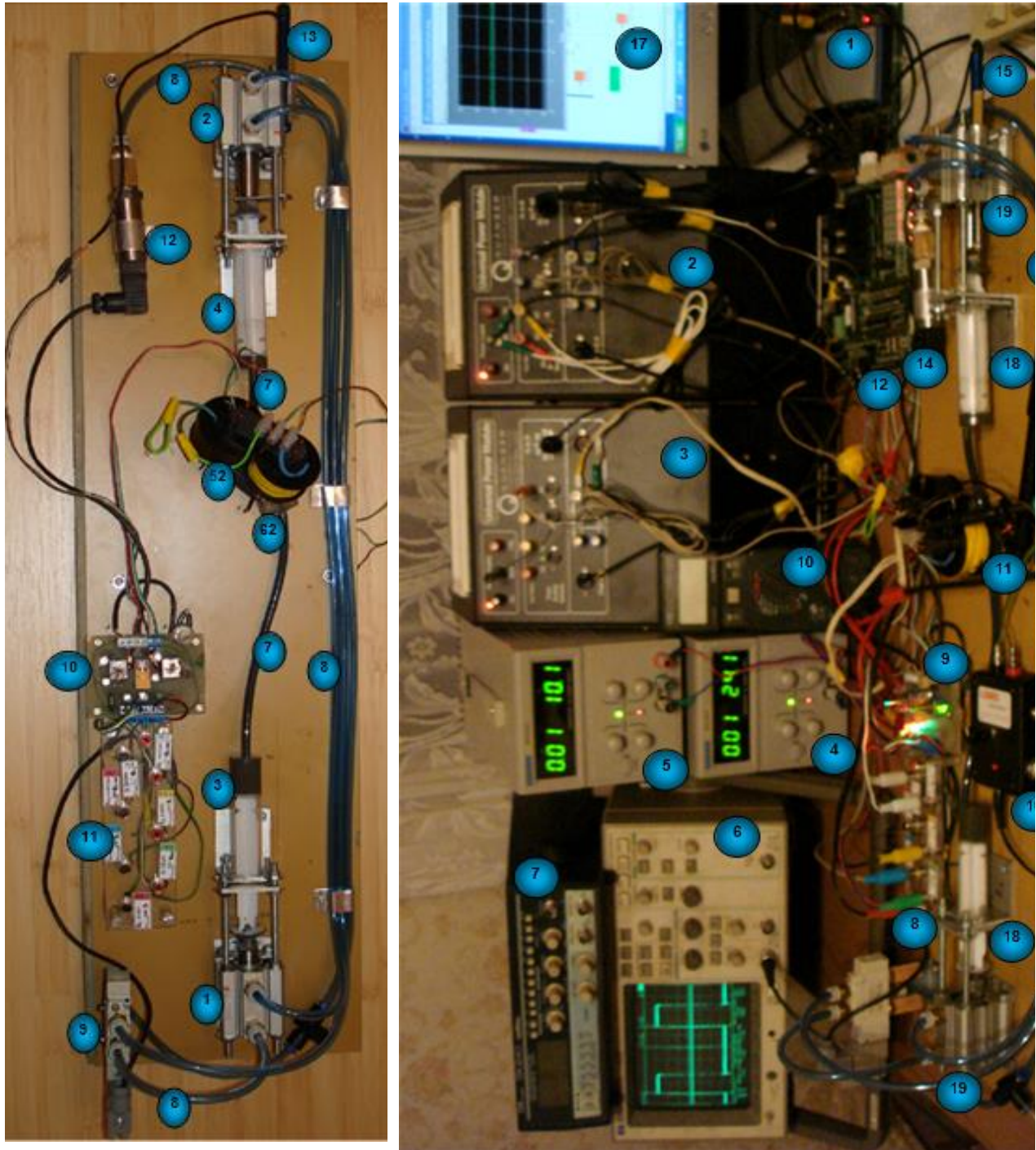


Figura 1.3. Vedere generală platformei și a a standului de probe

1- extensie placă achiziție; 2,3 - modul putere Quanser; 4,5 – surse de alimentare cc; 6 – osciloscop; 7 – generator semnal; 8 – placă conectori; 9 – placă comandă manuală; 10 – multimetru; 11 - valva rheologică + electromagnet; 12 – placă dezvoltare măsurare intensitate câmp magnetic; 13 – sondă câmp magnetic; 14 – senzor presiune; 15 – senzor deplasare; 16 – generator semnal PWM LORD; 17 – PC +sistem achiziție; 18 – piston hidraulic; 19 – piston pneumatic

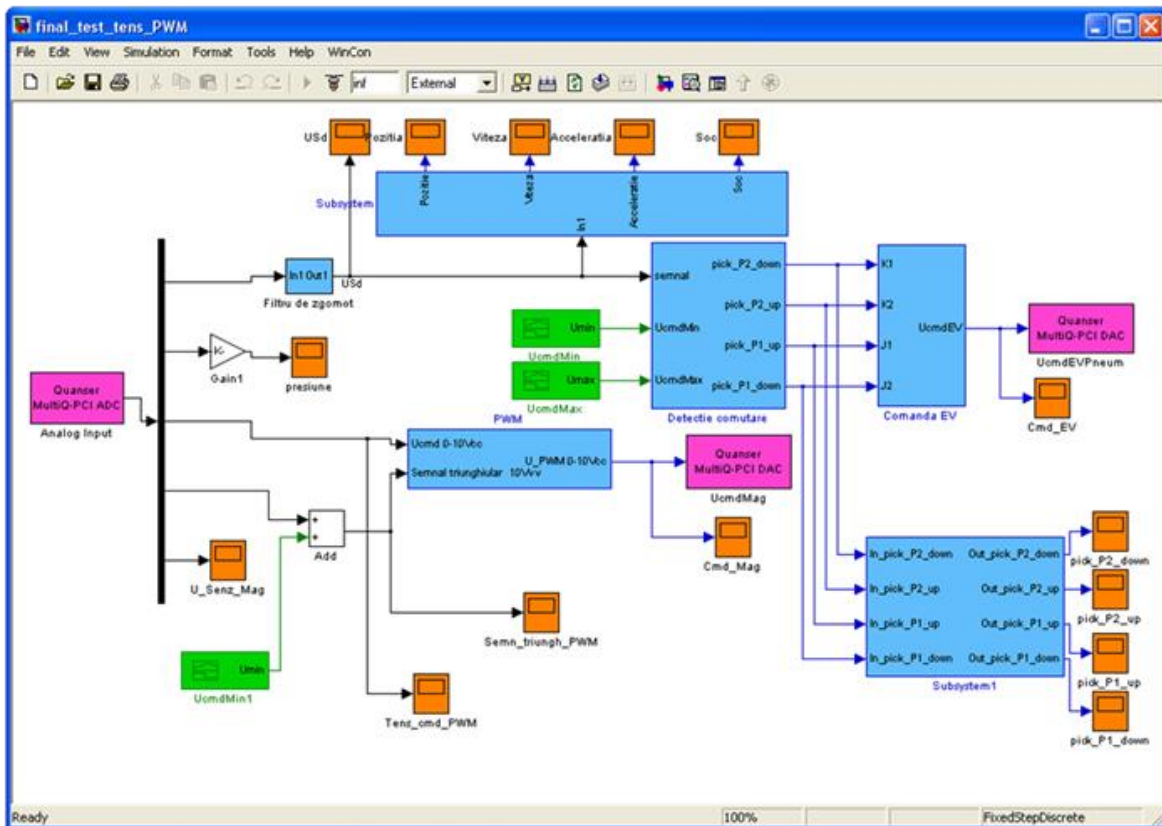


Figura 1.4. Schema bloc a modelului simulink

Aceste erori de măsurare au fost eliminate parțial printr-o soluție software. Deși continuă să existe, datorită valorilor mici (comparativ cu mărimile măsurate) nu alterează pachetul final de date, platforma fiind complet operativă pentru determinarea parametrilor valvelor.



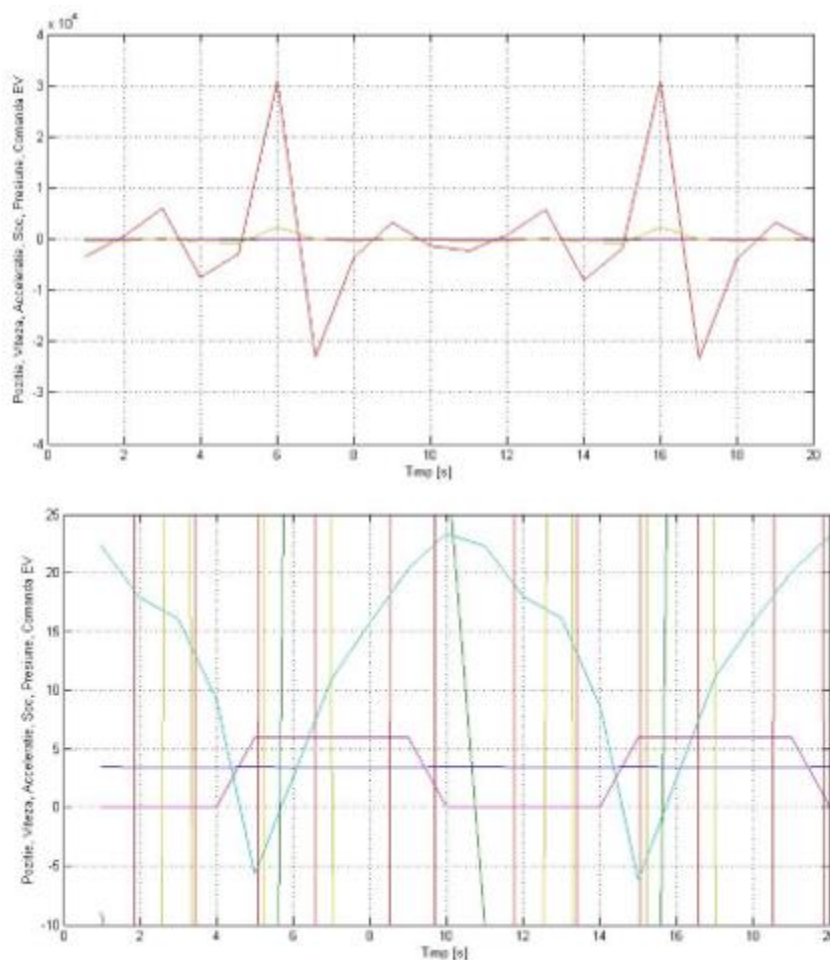
Figura 1.5. Modele constructive valve-stop magnetoreologice

Pentru studiu s-au construit diferite valve-stop magnetoreologice, folosind soluții constructive diferite: material – oțel, ferită, plastic, rășină; secțiuni diferite ale canalului de curgere – circulare, pătrate, rectangulare; forme diferite ale canalului de curgere – liniar, spirală, șerpuitor; coeficienți diferiți de rugozitate a pereților, unghiuri de aplicare diferite a câmpului de excitație. De asemenea câmpul de excitație a avut parametri diferiți: tensiunea de generare – continuă, cu frecvență variabilă, generat software, tip PWM; cu durate de timp diferite.

O parte din valvele testate, precum și un set reprezentativ de date obținute sunt prezentate în figuri..

Se observă că putem bloca curgerea fluidului folosind tensiuni și puteri mici ale câmpului de excitație. De asemenea viteza de reacție a fluidului oferă o dinamică foarte bună a sistemului.

Platforma realizată satisface obiectivele propuse, determinările comportării dinamice pentru diferite soluții constructive ale valvelor-stop magnetoreologice fiind relevante pentru alegerea soluției constructive optime a unei valve-stop. Pentru studiul unor variații ale câmpului magnetic de ordinul KHz-ilor este necesară reproiectarea platformei, deoarece în acest caz erorile de măsurare devin mărimi semnificative în sistem.



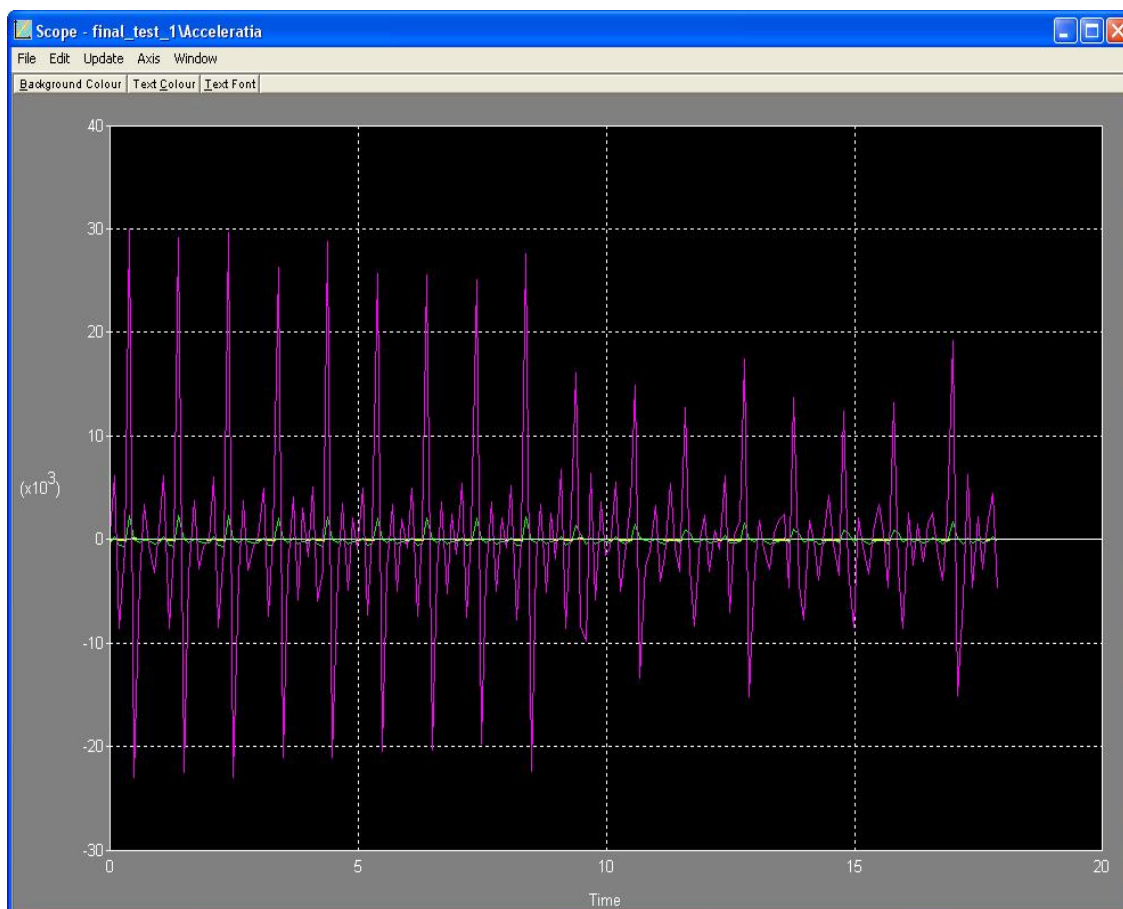


Figura 1.6. Variația în timp a mărimilor de comandă și a vitezei de curgere

Ca urmare a determinărilor făcute s-a demonstrat necesitatea realizării unei noi platforme, care să elimine erorile mecanice printr-o soluție hardware. A fost realizată o nouă platformă, similară ca structură cu platforma anterioară.

De asemenea s-a optat pentru o valva-stop cu canal de curgere transversal prin liniile de câmp, conform figurii. Generatorul câmpului magnetic este un electromagnet dublu de tip oală, pentru c.c., care închide liniile de câmp prin intermediul fluidului MR. Sistemul de control și achiziție a datelor are ca nucleu un microcontroler Arduino MEGA.

Schema bloc prezintă schema de ansamblu a platformei cu valve magneto-rheologice și interconectarea modulelor prin care un generator de presiune alimentează succesiv camerele unui cilindru pneumatic și un senzor de presiune. Pistonul pneumatic execută o mișcare dute-vino, de la cursa minimă spre maximă și invers. Pistonul cilindrului pneumatic este conectat rigid atât cu pistonul unui cilindru hidraulic cât și cu un senzor de deplasare liniar, rezistiv. Similar cu pistonul pneumatic și pistonul hidraulic efectuează o mișcare dute-vino, iar camerele acestuia sunt conectate cu o valva-stop MR. De asemenea în interiorul camerelor pistonului hidraulic se află fluidul MR care este circulat în instalație. La deplasarea pistonului cilindrului hidraulic, fluidul MR este deplasat dintr-o cameră în alta, prin valva-stop MR. Valva-stop MR este formată dintr-un canal de curgere (circular) care trece printr-un câmp magnetic generat de

doi electromagneți de tip oala, cc. La fiecare deplasare a pistonului pneumatic/hidraulic se achiziționează datele furnizate de la senzorul de presiune și senzorul de deplasare (funcție de timp). Scopul platformei este de a determina dependența dintre dinamica deplasării și presiune, funcție de intensitatea câmpului magnetic. Platforma este experimentală și demonstrează un concept de utilizare a lichidului magnetoreologic cu scopul de a fi integrat mai târziu într-o proteză medicală.

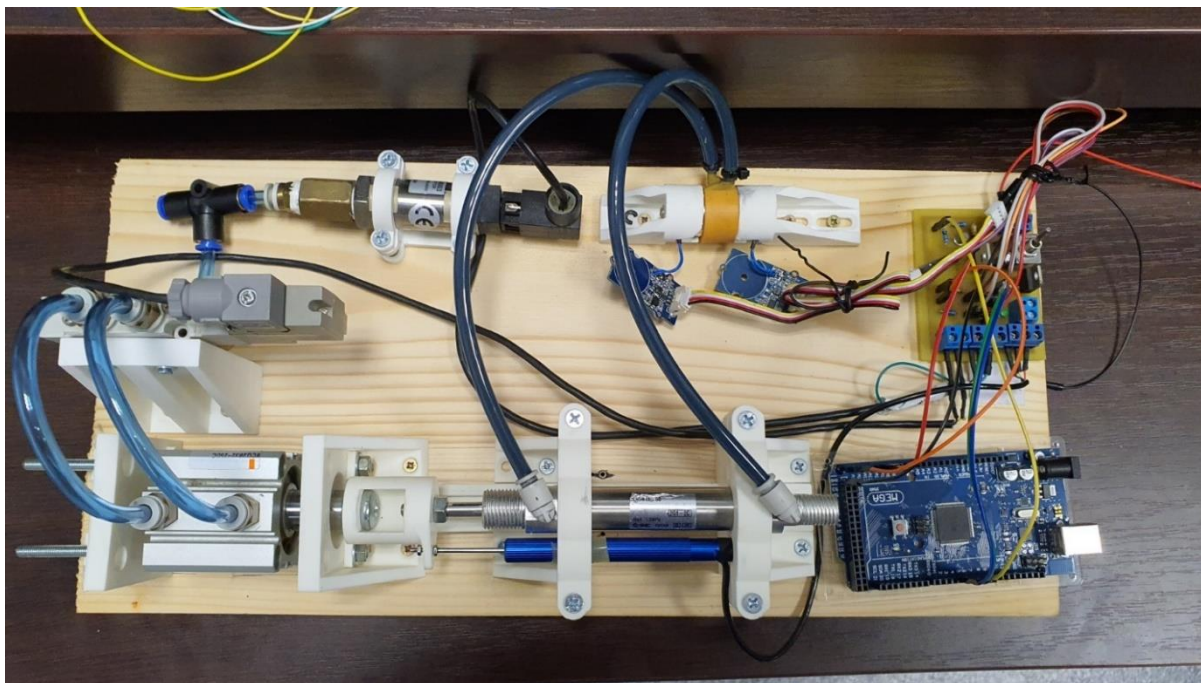


Figura 1.7. Platforma experimentală, versiune 2

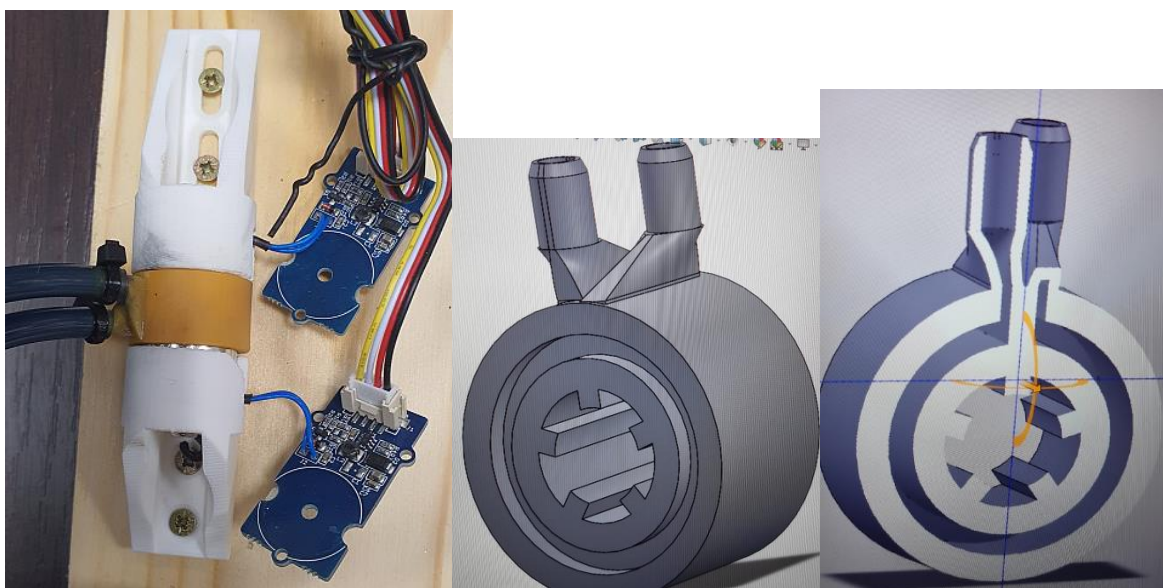


Figura 1.8. Valva-stop magnetoreologică cu generatorul câmpului de excitație

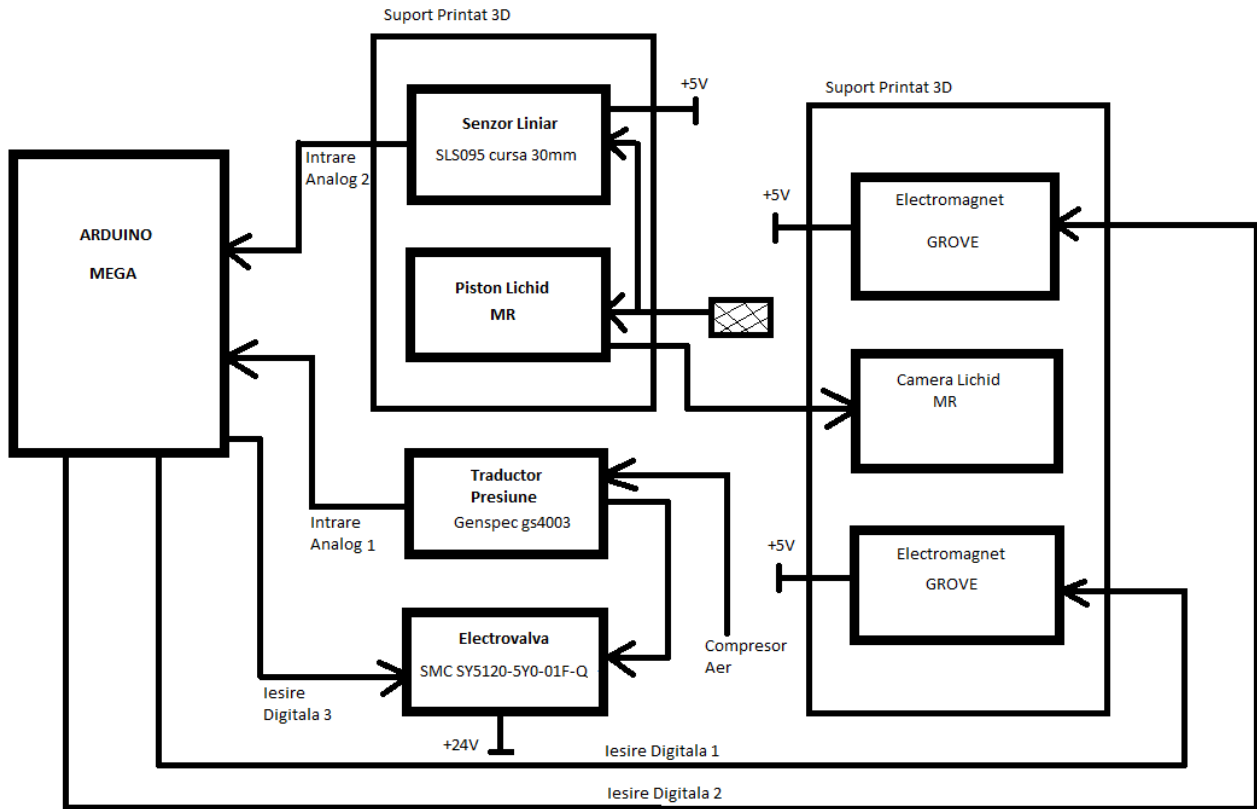


Figura 1.9. Schema generală sistemului de control și achiziție

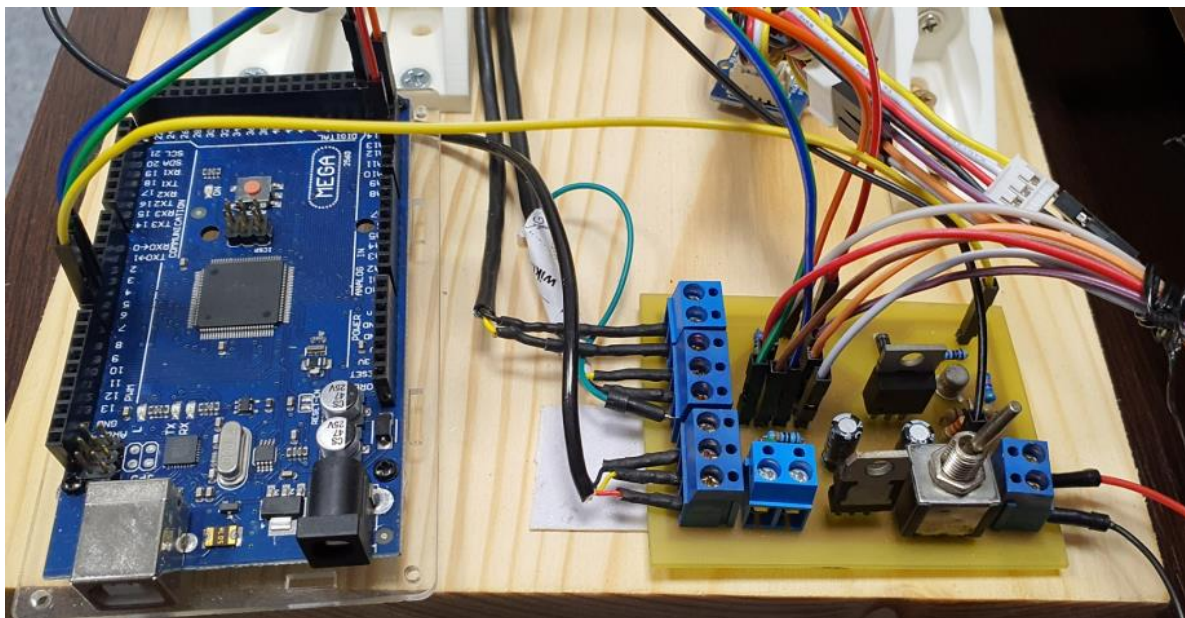


Figura 1.10. Sistemului de control și achiziție

2 SISTEM DE ACHIZIȚIE PENTRU DETERMINAREA FAZEI DE PĂȘIRE ȘI A CARACTERISTICILOR MERSULUI

Pentru realizarea protezei s-au făcut studii asupra piciorului (pentru gambă și laba piciorului) din punct de vedere anatomic, al cinematicii, al dinamicii, al forțelor și momentelor aplicate, cât și a mecanismului de pășire (raportată la mișcarea generală a corpului funcție de etapa de pășire).

S-a realizat studiul sistemului osos și muscular din alcătuirea piciorului, atât în repaus, cât și în timpul mersului.

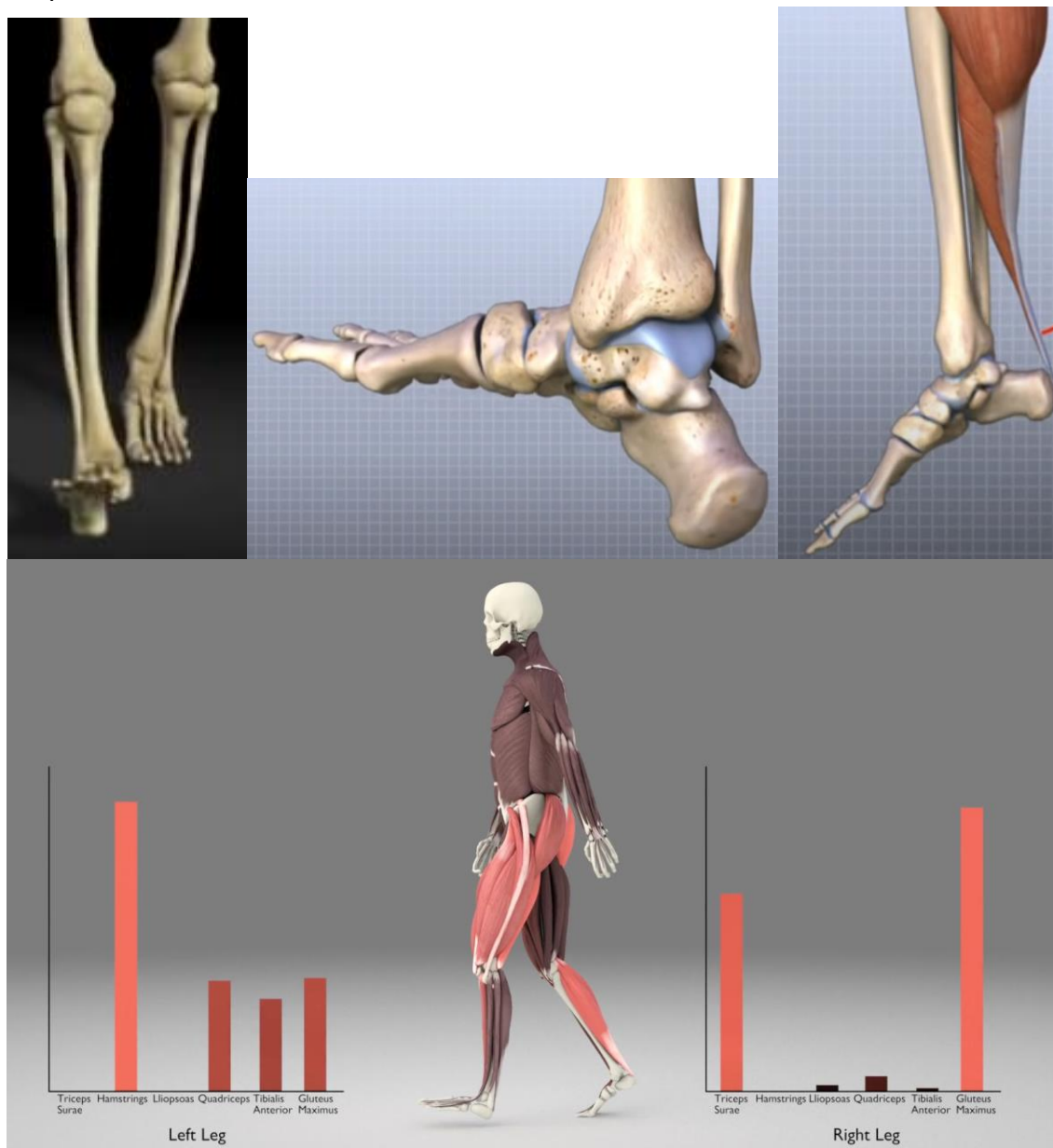


Figura 2.1. Distribuția senzorilor

S-au determinat: numărul de articulații și libertățile de mișcare ale acestora, sistemul de ligamente/tendoane/mușchi care le acționează, încărcările piciorului în repaus și în mișcare. Pentru aceste determinări s-au folosit filme documentare de pe internet. S-au realizat studii în colaborare cu alte universități și firme de profil.

De asemenea s-au realizat studii video, determinări folosind echipamente medicale din domeniul ortopedic pe un lot de 10 persoane, bărbați și femei. Aceste determinări s-au realizat pentru subiecți în repaus sau în diferite regimuri de mers. S-au testat diferite tipuri de încălțăminte, atât pentru a stabili modelul constructiv al protezei, cât și pentru adaptarea modelului acesteia cu perechea de încălțăminte a piciorului valid.



Figura 2.2. Studiul pășirii pentru diferite tipuri de încălțăminte

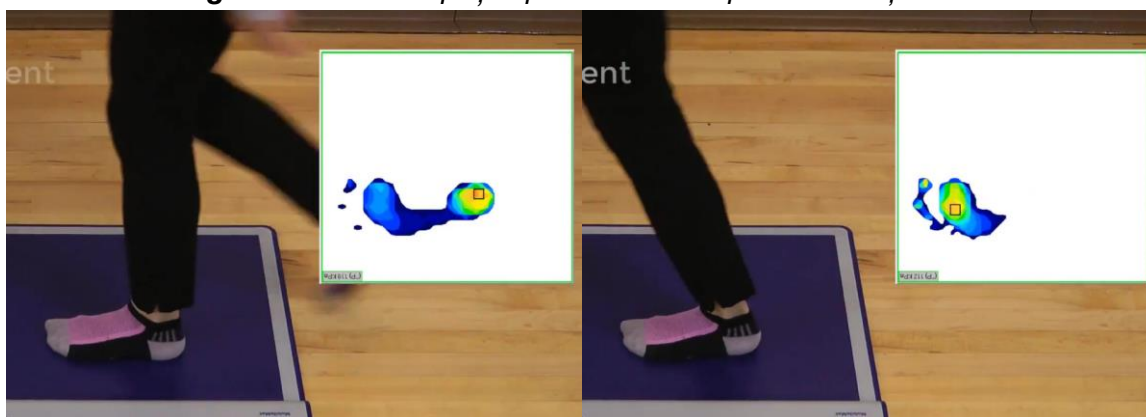


Figura 2.3. Încărcarea tălpii în timpul pășirii

După interpretarea rezultatelor obținute s-a stabilit necesitatea unui echipament dedicat achiziției parametrilor în timpul pășirii. Acesta va furniza suficiente date astfel încât să poată fi determinată faza pășirii, respectiv dacă piciorul este în aer sau în contact parțial sau total cu solul. Dacă contactul se face cu călcâiul, vârful sau toată talpa. Dacă piciorul efectuează o mișcare de amortizare sau de împingere. În funcție de aceste informații se poate pot prescrie parametrii cinematic ai protezei, pentru momentul de timp respectiv.

Pentru aceasta a-a realizat un sistem de achiziție pentru determinarea fazei de pășire și a caracteristicilor mersului.

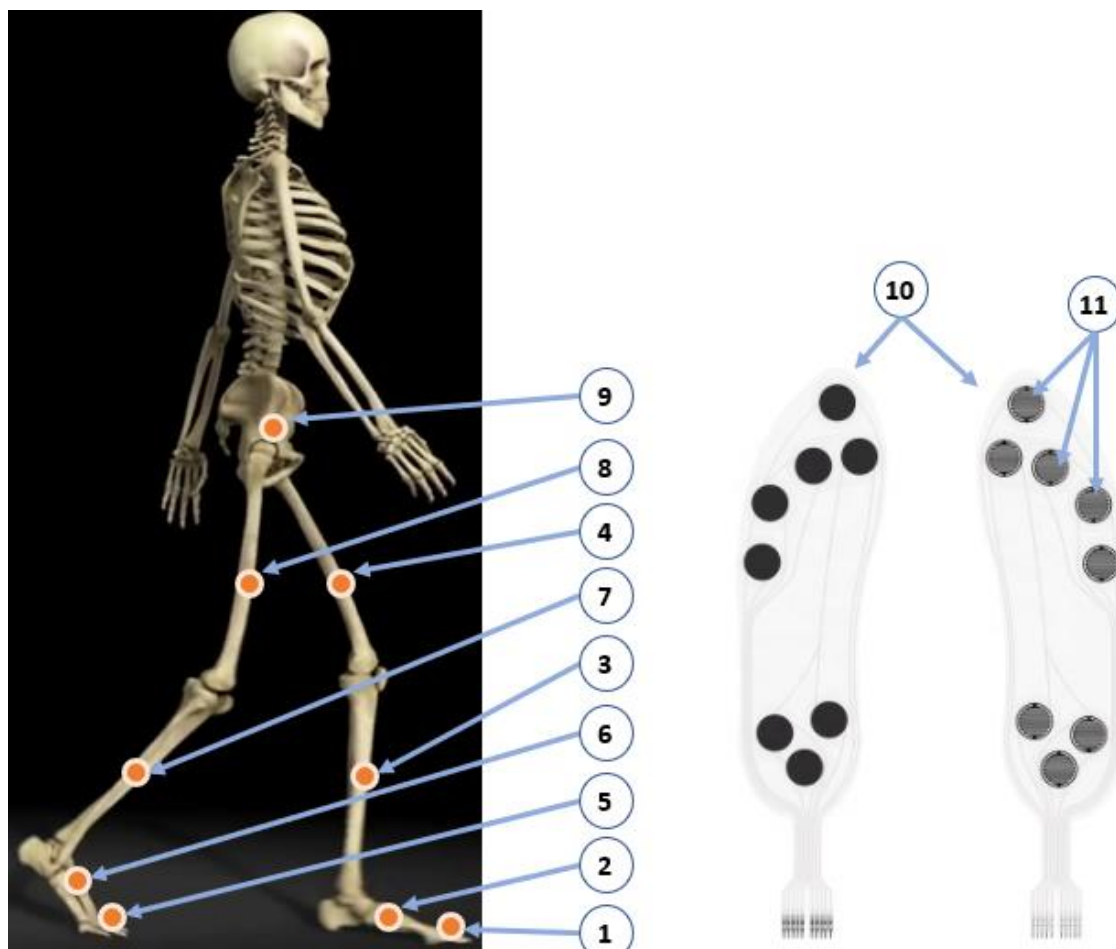


Figura 2.4. Distribuția senzorilor pentru sistem de achiziție pentru determinarea fazei de pășire și a caracteristicilor mersului; 1÷9 – senzori giroscopici cu accelerometru integrat; 10,11 – senzori de presiune rezistivi

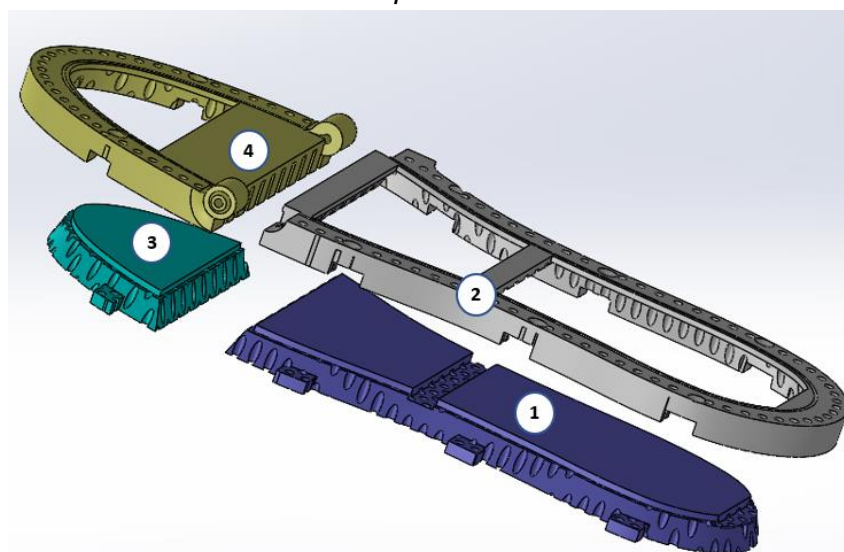


Figura 2.5. Componentele tălpii sandalei – proiectare Solidworks; 1-talpă călcâi; 2- ramă talpă călcâi 3-talpă vârful; 4-ramă talpă vârful

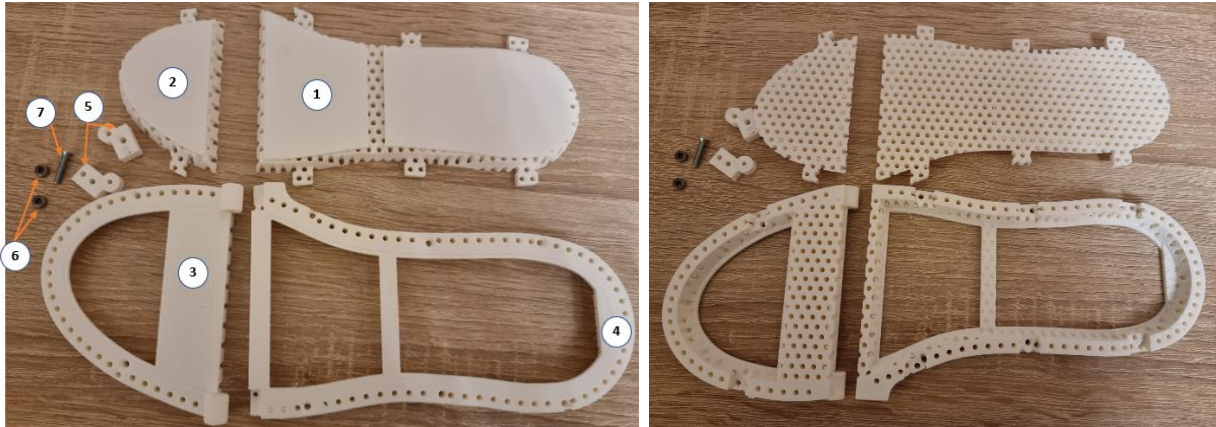


Figura 2.6. Componente talpă sanda, 1-modul călcâi, 2-modul vârf, 3-modul ramă vârf, 4-modul ramă călcâi, 5-componente articulație rotație, 6-lagăre de rostogolire, 7-șurub conectare – realizare prin imprimare 3D cu tehnologie FDM

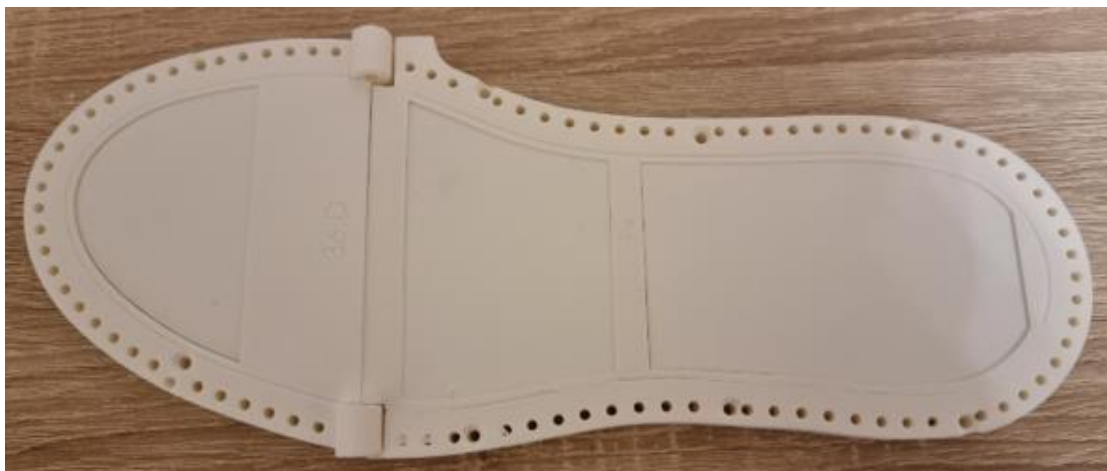


Figura 2.7. Versiunea finală a tălpii – vedere față – realizare prin imprimare 3D cu tehnologie FDM

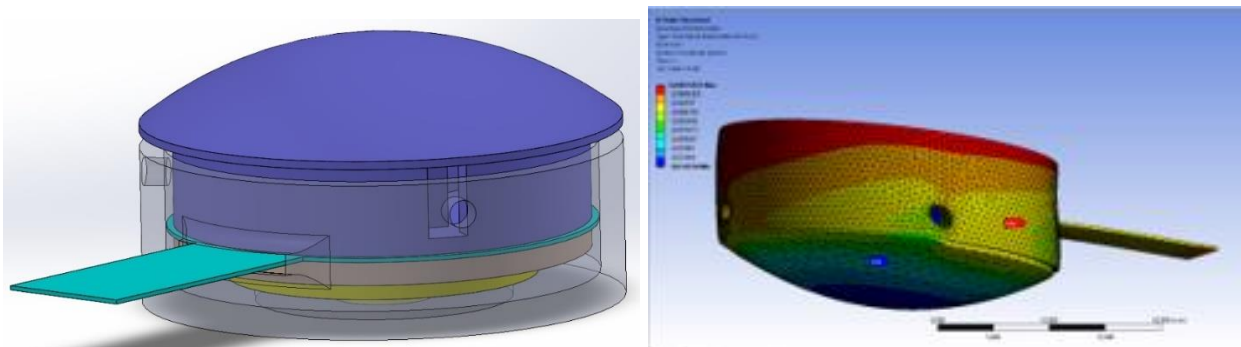


Figura 2.8. Modul senzor presiune/greutate, proiectare Solidworks, simulare încărcări Ansys



Figura 2.9 Talpă sanda cu rețeaua senzorială montată

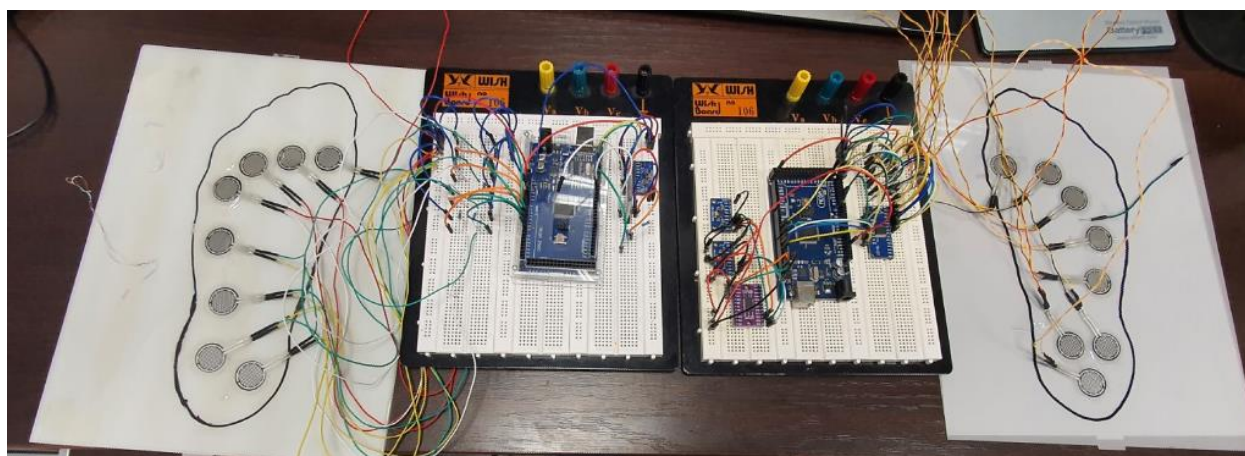


Figura 2.10. Sistemul de control și achiziție

Proiectarea componentelor mecanice s-a realizat în Solidworks, realizându-se simulări la încărcare pentru toate componentele. Simularea pentru încărcare a ansamblului s-a realizat în Ansys. Componentele au fost realizate prin prototipare în tehnologie FDM și SLA.

Sistemul de achiziție are ca nucleu un microprocesor Raspberry Pi, și două microcontrolere Arduino Mega. Softul realizat permite achiziția și interpretarea datelor. Pentru reprezentarea grafică a evoluției parametrilor este folosit softul Matlab-Simulink.

Sistemul este format din:

- Rețea senzorială pentru determinarea distribuției greutății în timpul pășirii. Aceasta este formată din 16 senzori rezistivi tip disc, câte 8 pe fiecare talpă.
- Rețea senzorială pentru determinarea cinematicii și dinamicii piciorului. Este formată din 9 senzori giroscopici cu accelerometru încorporat, câte 2 pe bala piciorului, unul pe gambă și unul pe coapsă, pentru fiecare picior, plus unul pe talie.
- Încălțăminte tip sanda pentru montarea senzorilor de presiune/greutate. Aceasta este formată dintr-o talpă rigidă articulată, un sistem de curele pentru prinderea pe picior, și un sistem mecanic pentru încorporarea senzorilor. Talpa are o structură tip fagure, având găuri filetate care permit montarea senzorilor în orice poziție pe talpă. De asemenea dispune de o ramă care permite montarea suporturilor pentru curele oriunde pe aceasta.

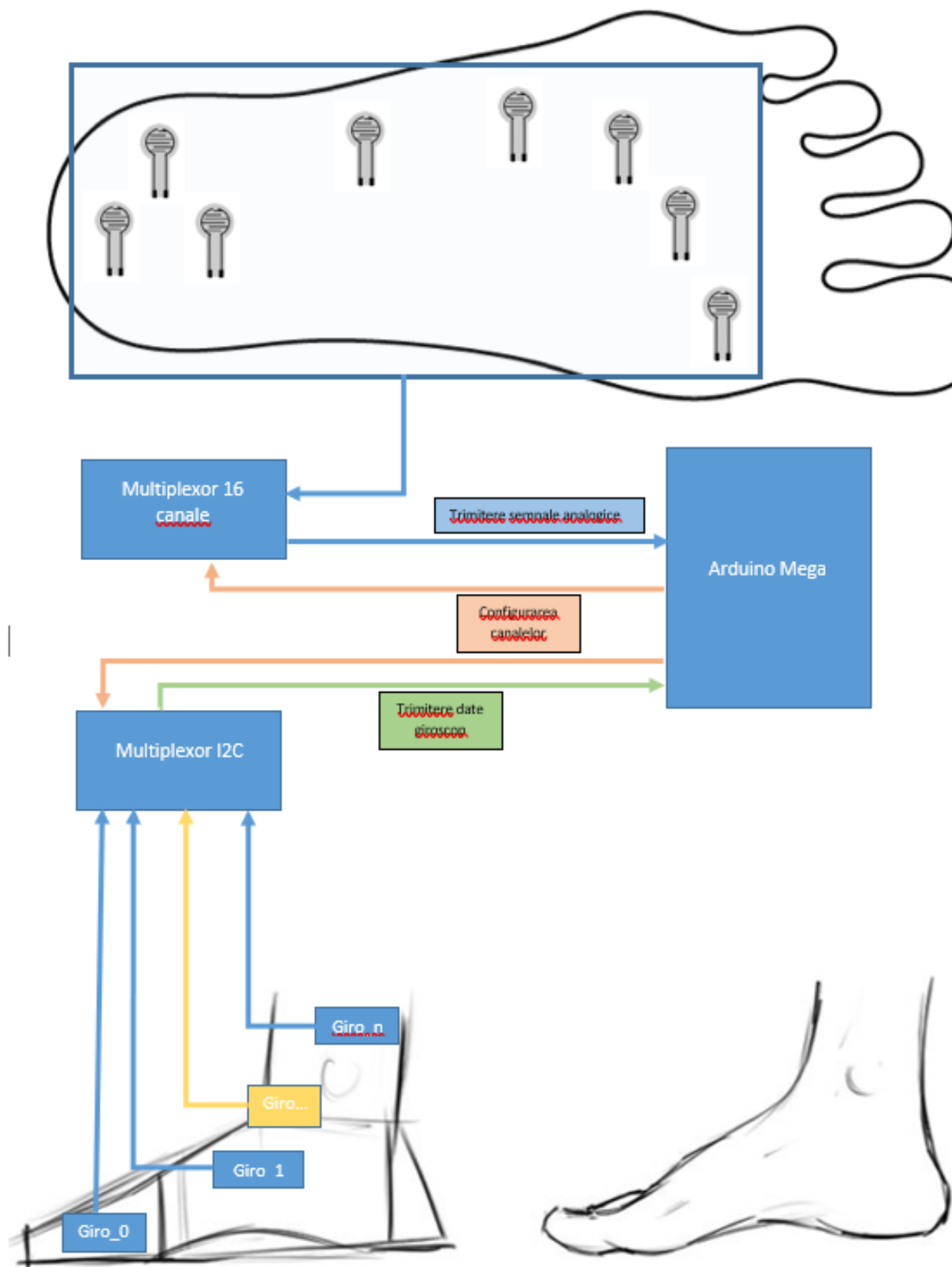


Figura 2.11. Schemă generală funcționare

```

66 float getFSR_0(char string)
67 {
68     //FSR_0
69     // analog voltage reading ranges from about 0 to 1023 which maps to 0V to 5V (= 5000mV)
70     // voltage measurement
71     int sum_0 = 0;
72     int sample_0 ;
73     for (int i = 0; i < 5; i++)
74     { // loop through reading raw adc values AVG_NUM number of times
75         sample_0 = analogRead(string);|           // read the input pin
76         sum_0 += sample_0;                       // store sum for averaging
77         //delay(1);                               // pauses for 20 microseconds
78     }
79     fsrReading_0 = sum_0 / 5;                     // divide sum by 5 to get average and return it
80
81     fsrVoltage_0 = (1100 / 1024.0) * fsrReading_0; //ranges from about 0 to 1023 which maps to 0V to 1.1V
82     // Serial.print("Voltage_0 reading in mV = ");
83     // Serial.println(fsrVoltage_0);
84
85     if (fsrVoltage_0 == 0)
86     {
87         //Serial.println("FSR_0 No pressure");
88     }
89     else {
90         /* The voltage = Vcc * R / (R + FSR) where R = 10K and Vcc = 5V
91            FSR = ((Vcc - V) * R) / V */
92         fsrResistance_0 = (5000 - fsrVoltage_0) * R / fsrVoltage_0; // fsrVoltage is in millivolts so 5V = 5000mV
93         //Serial.print("FSR_0 resistance in Kohms = ");
94         //Serial.println(fsrResistance_0/1000);
95         fsrConductance_0 = 1000000;
96         fsrConductance_0 /= fsrResistance_0 / 1000;
97         //Serial.print("Conductance in microMhos: "); // siemens value
98         //Serial.println(fsrConductance_0);
99         // Use the two FSR guide graphs to approximate the force
100        if (fsrConductance_0 <= 500) {
101            fsrForce_0 = fsrConductance_0 / 65.0; //default 60

```

Figura 2.12. Implementare Software

Sistem de achiziție pentru determinarea fazei de pășire și a caracteristicilor mersului realizat prezintă următoarele avantaje raportat la sistemele existente pe piață:

- este ieftin și are o structură simplă și robustă;
- este configurabil pentru orice mărire de încălțăminte, femeie sau bărbat;
- sistemul senzorial pentru determinarea încărcării poate fi reconfigurat pentru un număr mare de senzori, și permite, de asemenea, montarea în orice poziție pe talpă;
- precizia și dinamica datelor obținute sunt superioare scopului deservit;

3 ARTICULAȚIE UNIVERSALĂ DE TIP HOOKE CONTROLATĂ REOLOGIC

Articulația universală de tip Hooke a fost proiectată în Solidworks și simulată, ca încărcare, în Ansys. A fost prototipată 3D folosind atât tehnologia FDM cât și tehnologia SLA. Versiunea prototipată SLA corespunde mai bine cerințelor datorită rezoluției mai mari.

Deoarece etanșarea spațiilor între elemente nu este posibilă folosind acest tip de prototipare am proiectat garnituri folosind rășină flexibilă. Acestea, deși nu au fiabilitatea și robustețea unor garnituri de specializate, oferă un grad de etanșare suficient pentru a obține un prototip funcțional, pentru încărcări mici și medii.

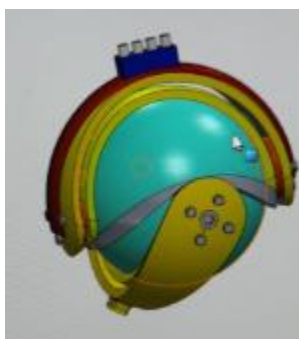


Figura 3.1. Articulația universală tip Hooke – proiectare Solidworks

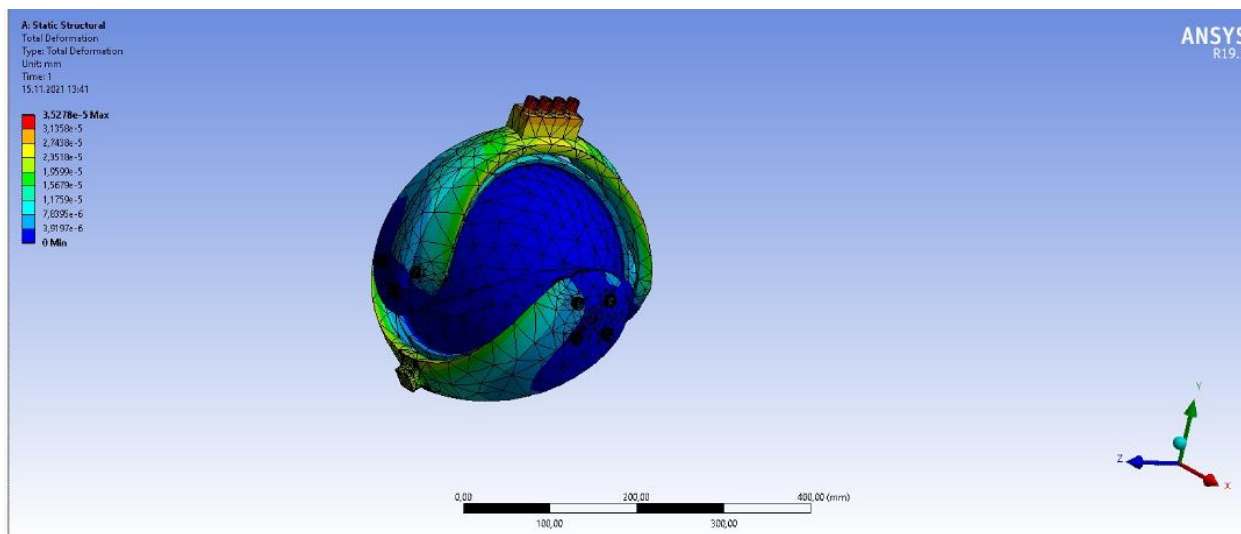


Figura 3.2. Deplasările totale maxime la nivelul sistemului protetic – simulare Ansys



Figura 3.3. Articulație generată tip Hooke, protipare tip SLA rășină

4 CONCLUZII

După analiza platformelor și echipamentelor descrise anterior putem enunța următoarele concluzii:

- Platforma pentru testarea și determinarea parametrilor valvelor-stop magnetoreologice răspunde cu succes cerințelor, putând face determinări repetate în diferite condiții de intrare, tocmai pentru a obține valorile medii ale parametrilor. Dacă la operațiile de schimbare a valvei de studiu se introduce involuntar aer în circuitul hidraulic acesta afectează major măsurătorile, deoarece aerul este compresibil; din acest motiv este necesară montarea unor filtre de aer în circuit, altfel eliminarea aerului se face foarte dificil și este nevoie de timp pentru “decantarea” acestuia.
- Echipamentul pentru determinarea fazei de pășire furnizează datele care descriu fidel mișcarea și încărcarea picioarelor în timpul mersului. Comparând cu pachete de date predefinite se poate determina cu precizie faza de pășire. Nu se poate determina cu precizie tipul mersului, erorile apărând la schimbarea regimului de mers, la oprire, pornire. Este necesară mărirea bazei de șabloane, sau implementarea unui algoritm cu autoînvățare. De asemenea acestea trebuie optimizate și particularizate pentru un pacient.
- Articulația universală tip Hook funcționează corect pentru presiuni/sarcini medii, deci demonstrează justetea principiului. Erorile apar datorită scăderii etanșeității la presiuni mari, datorită realizării prototipului în condiții de laborator. Și în aceste condiții articulația este funcțională pentru o persoană cu greutatea mai mică de 60 kg. Este necesară reproiectarea acesteia, cel puțin la nivelul degetelor, unde este necesară o articulație cilindrică. O articulație cilindrică poate oferi, de asemenea, și o etanșare mult mai bună.

În etapa următoare se urmărește:

- Optimizarea articulației universale tip Hooke. Realizarea unei configurații a protezei cu articulații cilindrice.
- Pe baza determinărilor realizate cu platforma pentru testarea și determinarea parametrilor valvelor-stop reologice se va optimiza valva-stop.
- Realizarea de achiziții de date pentru determinarea fazei pășirii, folosind un lot extins de subiecți.
- Determinarea relației dintre încălțăminte și tipul pășirii, prin folosirea a două rețele senzoriale pentru determinarea încărcării, pentru fiecare picior, una pe talpa piciorului și una pe talpa încălțăminteii.
- Realizarea efectivă a protezei cu trei articulații.