

UNIVERSITATEA “BABEȘ-BOLYAI” CLUJ-NAPOCA

FACULTATEA DE FIZICĂ

SPECIALIZAREA FIZICĂ - INFORMATICĂ

LUCRARE DE LICENȚĂ

Coordonator științific

Conf. dr. ing. Flaviu Turcu

Absolvent

Alexandru Croitoru

2024

UNIVERSITATEA “BABEȘ-BOLYAI” CLUJ-NAPOCA

FACULTATEA DE FIZICĂ

SPECIALIZAREA FIZICĂ - INFORMATICĂ

LUCRARE DE LICENȚĂ/DIPLOMĂ/ DISERTAȚIE

**DEZVOLTAREA ȘI OPTIMIZAREA UNUI SISTEM BIAXIAL DE URMĂRIRE
SOLARĂ**

Coordonator științific

Conf. dr. ing. Flaviu Turcu

Absolvent

Alexandru Croitoru

2024

Cuprins

Introducere	4
CAPITOLUL I	9
Fundamentele electricității: concepte și principii de bază	9
1.1 Material conductor, semiconductor sau izolator electric	9
1.2 Rezistori și tipuri de rezistori	11
1.3 Legea lui Ohm	14
1.4 Prima lege a lui Kirchhoff	14
1.5 Divizorul de tensiune.....	14
1.6 Puterea, energia și randamentul electric	15
CAPITOLUL II	17
Rezistența materialelor: analiza deformării materialelor	17
2.1 Obiectiv principal	17
2.2 Proprietățile materialelor, forțe exterioare și forțe interioare	17
2.3 Efortul unitar	19
2.4 Efecte și proprietăți mecanice ale filamentului PLA.....	20
CAPITOLUL III	23
Dezvoltarea prototipului experimental	23
3.1 Alegerea și utilizarea materialului în cadrul imprimantei 3D	23
3.2 Componente electronice și integrarea lor în prototipul dezvoltat	25
3.2.1 Placa de bază Arduino Uno Wifi R2	25
3.2.2 Modul GPS „NEO-6M”	26
3.2.3 Motorul servo „MG 996R”	26
3.2.4 Magnetometrul „HMC5883L”	28
3.2.5 Fotorezistențe.....	28
3.2.6 Panoul solar	30
3.3 Modelul CAD și prototipul fizic al panoului solar.....	31
3.4 Modelarea și implementarea software.....	34
Capitolul IV	43
Rezultate și Concluzii	43

Abstract

The purpose of this study is to address the need for a transition to renewable energy sources and a significant reduction of carbon dioxide emissions into the atmosphere. Given that climate change is a global threat, investing in this technology to optimize energy generation becomes a strategic priority.

The first objective is to introduce the field of renewable energy sources and study the fundamentals and principles of electronics, electricity, and mechanics to create a structural framework for this thesis. The study will be structured into four chapters, each addressing key aspects of these interconnected domains, thus providing a detailed understanding of the theoretical foundations necessary for the development and application of modern technologies in these sectors.

The second essential objective is the development of a prototype for a biaxial solar tracking system, integrating CAD design of the structure using SolidWorks. The programming of the electronic network and the system for validating and confirming the sun's position will be done in Python and Arduino. The CAD design stage facilitates a visual understanding of the entire system and offers both geometric optimization and prototype efficiency and durability. Programming in SQL Server, Python, and Arduino gives the tracking system the ability to interpret and react to real-time data obtained from sensors and to store information provided by the photovoltaic panel, ensuring efficient control of hardware components and flexible data analysis.

The final objective is supported by evaluating the project's maturity level using the TRL (Technology Readiness Level) method, initiated and used by NASA. This tool is beneficial with its nine levels, objectively measuring and observing the progress of a project. It is anticipated to achieve a TRL 2 level by creating a functional prototype that combines the advantages of various types of orbital calculation tracking systems and light sensor systems. Additionally, a comparison between the data recorded by this system and a fixed photovoltaic panel is desired to evaluate the efficiency and performance of the proposed solutions.

Thus, this thesis makes a significant contribution by introducing and evaluating an innovative tracking system that combines orbital calculation technologies and light sensors. Through simple determinations of light intensity, as well as the testing and development of such a system, the obtained results underscore the importance of integrating advanced technological solutions in optimizing solar energy capture.

Introducere

În contextul global al creșterii nevoii și consumului de energie, accentuat cu schimbările climatice și inițiativele pentru reducerea gazelor cu efect de seră, dezvoltarea capacităților de energie regenerabilă reprezintă o prioritate de grad zero.

Capacitatea de producție energetică solară fotovoltaică (FV) cumulată, instalată la nivel mondial, între 2000 și 2022 a crescut exponențial ajungând în 2022 la o valoare de 1177 gigawatt-ora. Cu toate acestea, producția de energie solară FV, din totalul producției din anul 2022 a reprezentat doar 4,5%. Mai mult, peste 60 % din producția de energie electrică se bazează pe combustibili fosili.

Dezvoltarea unor capacități pentru creșterea producției de energie solară FV reprezintă o prioritate atât pentru cercetarea fundamentală cât și pentru domeniul dezvoltării tehnologice. În acest context, lucrarea de față își propune dezvoltarea și optimizarea unui sistem mobil de urmărire solară pentru sistemele de producție energetice de tip FV.

Un prim obiectiv, este introducerea în domeniu al contextului surselor de energie regenerabilă, dar și studiul teoretic al principiilor din electronică, electricitate și mecanică care au stat la baza prototipului dezvoltat.

Al doilea obiectiv este dezvoltarea unui prototip al unui sistem mecanic automatizat de urmărire biaxială a traiectoriei soarelui.

În acest scop, programarea rețelei electronice și al sistemului de validare și confirmare a poziției soarelui în limbajul Python, respectiv Arduino. Proiectarea CAD reprezintă o etapă ce facilitează o înțelegere vizuală a întregului sistem și oferă o optimizare atât geometrică, cât și eficientă și durabilă prototipului. Programarea în limbajele SQL Server, Python și Arduino aduc sistemului de urmărire capacitatea de interpretare și reacționare a datelor în timp real obținute de senzori, cât și de memorare a informațiilor oferite de către panoul fotovoltaic, având un control eficient al componentelor hardware și o flexibilitate de analiză a datelor.

Un ultim obiectiv este susținut de evaluarea nivelului de maturitate al proiectului folosind metoda TRL (Technology Readiness Level), inițiată și utilizată de NASA. Acest instrument este benefic prin cele nouă nivele ale sale, măsurând și observând obiectiv progresul pe care îl face un proiect. De asemenea, se realizează o comparație între datele înregistrate de acest sistem și datele furnizate de un panou fotovoltaic fix, pentru a evalua eficiența și performanța soluțiilor propuse.

Lucrarea este structurată în patru capitole, fiecare abordând aspecte critice ale acestor domenii interconectate, oferind astfel o înțelegere detaliată a fundamentelor teoretice necesare pentru dezvoltarea și aplicarea tehnologiilor din ce în ce mai eficiente de producție energetică.

Astfel, această lucrare de licență aduce o contribuție privind introducerea și evaluarea unui sistem de urmărire, care îmbină tehnologiile de calcul orbital și senzorii de lumină.

Situația energetică la nivel global

Sectorul energetic global reprezintă una dintre cele mai mari forțe economice pe baza căruia se dezvoltă toate celelalte sectoare economico-sociale într-o totală dependență. În contextul creșterii continue a cererii de energie, această industrie se dovedește încă o dată ca fiind crucială în asigurarea necesităților de bază și a progresului economic. Conform publicației *Alternative Energy Futures* [1], energia este resursa absolut necesară pentru o creștere uniformă a economiei.

Producția de energie se află într-o creștere continuă, indusă de cererea în creștere, deoarece este alimentată de industrie, și astfel, datorită utilizării preponderente a hidrocarburilor, duce la creșterea gazelor cu efect de eliberare în atmosferă. Potrivit datelor din "World Energy & Climate Statistics" furnizate de Enerdata [1], statisticile realizate între 1990 și 2022 indică o creștere semnificativă atât în producția, cât și în consumul global de energie. Această tendință ascendentă a fost în special susținută de statele asiaticе, care urmăresc o creștere economică rapidă [1].

World

Trend over 1990 - 2022 - Mtoe

Benchmark countries

Breakdown by energy (2022) - Mtoe

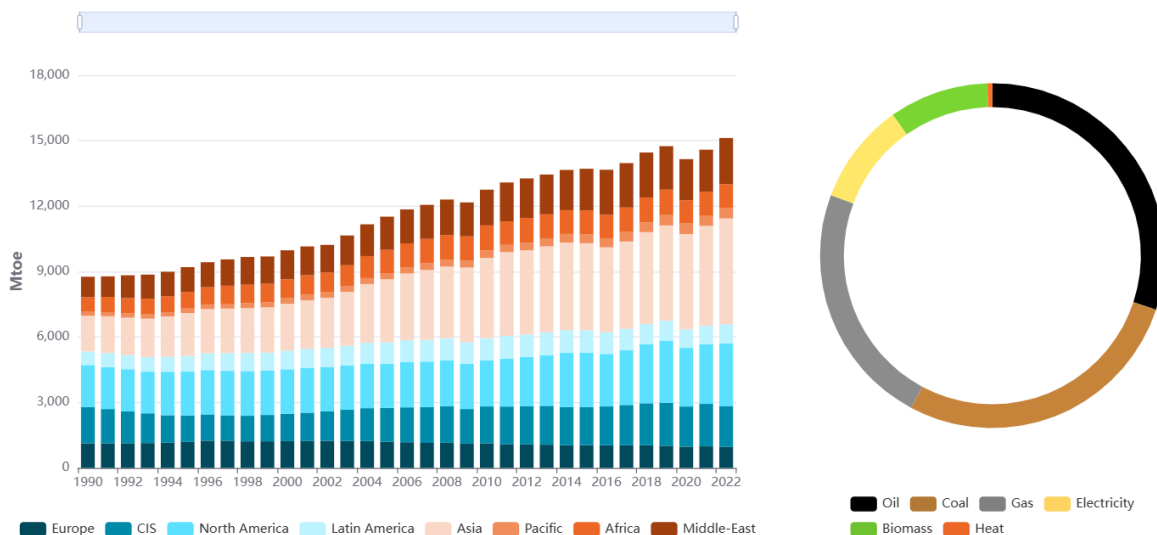


Fig. 1 – Parcursul producției de energie din anul 1990 până în 2022 [1]

Dioxidul de carbon rezultat în urma producției de energie electrică a fost recunoscut în ultimii ani ca o contribuție semnificativă pentru fenomenul de încălzire globală și astfel la schimbările atmosferice. Producerea acestor gaze este naturală, dar intervenția umană a susținut o creștere de la mijlocul secolului al XIX-lea până în zilele actuale. [2]

World

Trend over 1990 - 2022 - MtCO2

Benchmark countries

Breakdown by energy (2022) - MtCO2

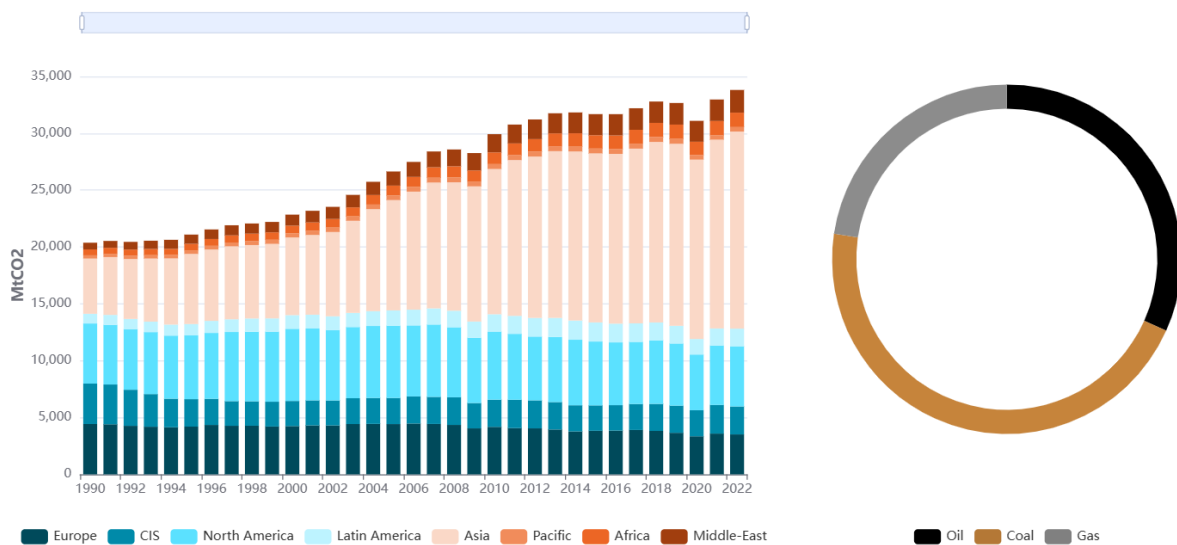


Fig. 2 – Parcursul emisiilor de dioxid de carbon din anul 1990 până în 2022 [1]

Dezvoltarea producției de energie verde trebuie să susțină, într-un final, pe mai departe creșterea economică, ducând astfel către eliminarea treptată a sectoarelor de producție energetică ce utilizează cărbune, petrol sau gaze. Alături de industria hidroenergetică și eoliană, centralele fotovoltaice se află în plină extindere, oferind soluții privind emisiile reduse și tehnologiile emergente aflate în plină expansiune. Energia eoliană și solară trebuie să redefinească modul în care se produce energie deoarece industria hidroenergetică întâmpină dificultăți din cauza limitărilor legate de disponibilitatea râurilor și barajelor. [3].

Cu toate acestea, din energia solară incidentă unui colector solar, doar între 15-50% este eficient colectată și convertită într-o formă utilizabilă, cauzată de pierderile din sistem.[4]

Conform studiilor, panourile fotovoltaice reprezintă o modalitate alternativă de generare a energiei electrice, caracterizată prin sustenabilitate și lipsa relativă a poluării. Totuși, pentru a crește eficiența acestei metode, se impune implementarea unui sistem tracker, care să asigure urmărirea continuă a poziției soarelui pe durata funcționării. S-a conturat o diferență semnificativă

între producția energetică cu sisteme de panouri fixe și respectiv mobile. Panourile fotovoltaice mobile, așa cum este ilustrat în studiul menționat, au evidențiat o producție constantă de putere între 30 și 35 de wați, în timp ce sistemul de panouri FV fix genera doar 20-25 de wați. Acest rezultat se datorează implementării senzorilor care detectează iradierea solară maximă și ajustează poziționarea panoului. Această scădere în eficiență a fost cauzată de faptul că soarele, deplasându-se pe partea opusă a panoului fix, a afectat capacitatea acestuia de a colecta în mod optim energia solară.

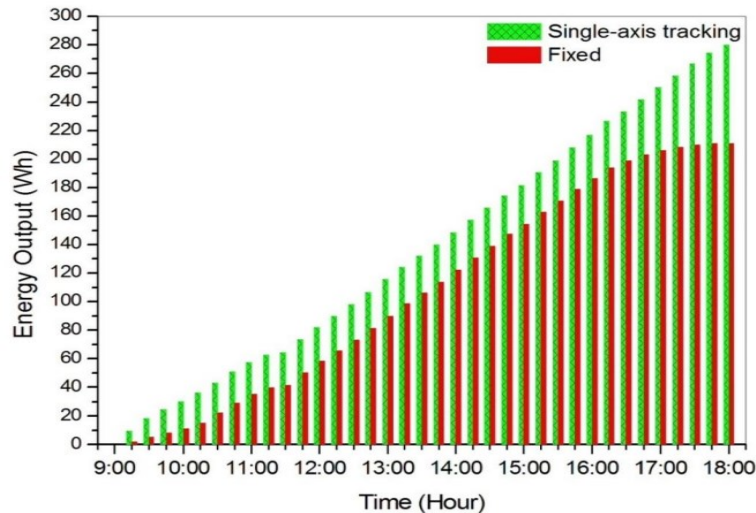


Fig. 3 – Reprezentare grafică a energiei produse de către sistemul tracking și cel fix [5]

Așadar, eficiența medie pentru un astfel de dispozitiv mobil a fost de 67,65% pe parcursul întregii zile, în comparație cu panoul fotovoltaic fix ce a înregistrat o eficiență medie de doar 51,65% pentru aceeași zi. [5][6]

În cadrul studiului de cercetare [6], unde puterea medie generată în zilele de testare este influențată semnificativ de condițiile meteorologice, observăm că sistemul static a furnizat aproximativ 146 Wh. În această situație, temperatura medie a panoului nu a depășit limita de funcționare de 50 °C. Sistemul mobil, sub aceleași condiții meteorologice, a înregistrat o performanță superioară, furnizând o putere medie de 163 Wh. Diferența zilnică exactă este evidențiată în tabelul de reprezentare a energiei produse, fig. 4, subliniind variația dintre cele două sisteme.

Day	Mobile Sist. energy (W h)	Static Sist. energy (Wh)	Gain (%)	Weather condition
13/jul	63.7	68.2	-7	Cloudy
14/jul	195.4	162.7	20	Scattered clouds
15/jul	195.2	166.7	17	Sunny
16/jul	177.0	149.3	19	Sunny
17/jul	200.7	174.1	15	Sunny
18/jul	149.9	159.2	-6	Scattered clouds
19/jul	100.1	100.5	0	Cloudy
20/jul	223.1	189.8	18	Sunny
Average	163.1	146.3	11	

Fig. 4 – Comparație între cantitatea de energie dezvoltată de un sistem mobil, respectiv staționar [6]

Din rezultatele obținute în cadrul celor două studii menționate, panourile fotovoltaice mobile se dovedesc a fi optime în condiții meteorologice variate. Atât în zona Malaieziei, cât și în condiții variabile de vreme, panourile mobile au produs cantități de energie mai mari în decursul unei zilei. [5][6]

CAPITOLUL I

Fundamentele electricității: concepte și principii de bază

Electricitatea este un fenomen fizic fundamental cauzat de prezența și mișcarea sarcinilor electrice. Fundamentele electricității includ concepte esențiale precum tensiunea (potențialul electric), curentul (fluxul de sarcini), rezistența (opoziția la fluxul de curent) și legea lui Ohm, care leagă aceste mărimi ($V = IR$). Tensiunea, măsurată în volți (V), determină forța care împinge curentul, măsurat în amperi (A), printr-un material cu o anumită rezistență, măsurată în ohmi (Ω).

1.1 Material conductor, semiconductor sau izolator electric

Conductivitatea electrică (σ) și rezistivitatea electrică (ρ) sunt proprietăți fundamentale ale materialelor care indică capacitatea acestora de a permite sau de a se opune trecerii curentului electric. Conductivitatea, măsurată în siemen pe metru (S/m), reflectă cât de ușor poate curge curentul printr-un material, în timp ce rezistivitatea, măsurată în ohmi-metri ($\Omega \cdot m$), arată cât de mult rezistă materialul la curent. Aceste două mărimi sunt invers proporționale ($\sigma = 1/\rho$), definind astfel comportamentul electric al materialelor: conductori (cu σ mare și ρ mică), semiconductori și izolatori (cu σ mică și ρ mare).

$$R = \frac{\rho * L}{A} \quad (1.1) ; \quad \rho = \frac{R * A}{L} \quad (1.2) ; \quad \rho = \frac{\Omega * m^2}{m} = \Omega * m \quad (1.3)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (1.4) \quad \sigma = \frac{1}{\Omega * m} = S * m^{-1} \quad (1.5)$$

Unde R este rezistența electrică măsurată în ohm, L este lungimea materialului măsurată în metri, A este aria materialului măsurată în metri pătrați și S (siemens) este conductivitatea electrică, mărime fizică inversă rezistenței electrice. [7]

Materialele conductoare permit trecerea curentului electric datorită structurii atomice. Aceștia sunt organizați astfel încât transferul electronilor de valență către atomii învecinați se fie permisă. Schimbul de electroni sub influența unui câmp electric se realizează ordonat de la polul negativ al sursei către polul pozitiv. Un exemplu de material conductor este cuprul (Cu), utilizat frecvent în inginerie electrică, precum cabluri de legătură, datorită conductivității sale.

Cupru (Cu) cu numărul atomic $Z = 29$;

Configurația electronică: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3d^{10} 4s^1$

Din configurație se observă că elementul are un singur electron de valență în stratul 4s. Materialul fiind un metal și banda de valență parțial ocupată, banda de conducție este foarte apropiată în termeni de nivel energetic sau chiar suprapusă acesteia, iar cu ajutorul unui câmp electric, iar electronii din stratul exterior, din banda de conducție, fiind slabi legați, vor contribui la conducție electrică.

Materialele izolatoare limitează fluxul curentului electric datorită structurii atomice la nivel energetic, existând o diferență de energie numită bandă interzisă, aflată între banda de valență și cea de conducție, diferență depășită de energia electronilor pentru a trece de aceasta. Exemplul unui izolator electric este clorura de sodiu NaCl.

$\left. \begin{array}{l} \text{Sodiu (Na) cu } Z = 11: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 \\ \text{Clor (Cl) cu } Z = 17: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5 \end{array} \right\}$	Atomi izolați
---	---------------

$\left. \begin{array}{l} \text{Sodiu (Na) cu } Z = 10: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^0 \\ \text{Clor (Cl) cu } Z = 18: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 \end{array} \right\}$	Cristalul NaCl
---	----------------

Banda de valență este total ocupată cu cele 6 stări ocupate, iar banda de conducție este goală sau aproape goală cu cele 2 stări libere.

Materialele semiconductoare se află între cele două caracteristici total opuse din punct de vedere al conducției electrice, fiind diferențiată de lățimea benzii interzise. Aceasta este diferența dintre energia benzii de valență (nivel de energie ocupat de electroni) și banda de conducție (energia minimă în care electronii liberi se pot deplasa sub acțiunea unui câmp electric). Un exemplu este elementul siliciu Si. [8]

Siliciu (Si) cu $Z = 14$:

Configurația electronică: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

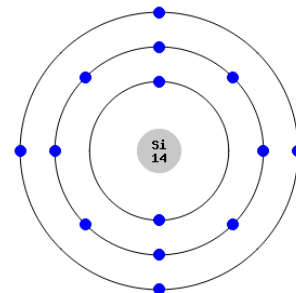


Fig. 1.1 – Atomul de Siliciu după modelul Bohr [9]

Acest element are 4 electroni de valență de pe straturile 3s și 3p. Acest semiconductor are banda de valență aproape complet ocupată, iar banda de conducție este aproape goală. [9]

Caracterizarea acestora se realizează cu ajutorul configurației electronice, de lățimea benzii interzise și de anumite măsurători precum diferențele benzii interzise dintre conductori, dielectricsi și semiconductori [10]:

Substanțe cu:

1. $\sigma \cong 10^6 - 10^7 S * m^{-1}$ sau $\Delta E_g = 0 eV$ Conductori sau metale;
2. $\sigma \cong 10^{-8} - 10^{-16} S * m^{-1}$ sau $\Delta E_g > 3 eV$ Izolatori sau dielectricsi;
3. $\sigma \cong 10^{-1} - 10^6 S * m^{-1}$ sau $0 eV < \Delta E_g < 3 eV$ Semiconductori;

1.2 Rezistori și tipuri de rezistori

Rezistorul este o componentă esențială în circuitele electrice sau electronice, caracterizată prin rezistența electrică pe care o oferă. O funcție a rezistorilor constă în limitarea curentului care se propagă într-o ramură a unui circuit, prevenind astfel posibilele scurtcircuite sau deteriorări ale componentelor. Rezistența electrică este determinată în mare măsură de frecvența cu care electronii se ciocnesc cu atomii materialului, cu cât aceste ciocniri sunt mai dese, cu atât rezistența electrică este mai mare. Din punct de vedere reprezentativ, există două figuri ale rezistoarelor, în formă dreptunghiulară, figura 1.2 și în formă zig-zag, figura 1.3. Ambele simboluri sunt veridice și acceptate. [10]



Fig. 1.2 – Rezistor schematic Zig-Zag

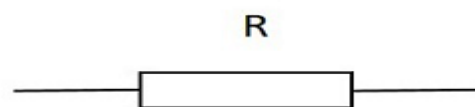


Fig. 1.3 – Rezistor schematic dreptunghiular

[11]

Din punct de vedere al căldurii dezvoltate datorită agitației termice pe un rezistor, Legea lui Joule, pentru metale rezistența crește liniar, dar pentru semiconductori rezistența scade exponențial:

1.2.1 Rezistența electrică pentru metale:

Rezistența crește liniar cu creșterea temperaturii.

$$R(T) = R_0 * (1 + \alpha * \Delta t) \quad (1.6);$$

$R(T)$ – Rezistența măsurată în ohm;

R_0 – Rezistența la o temperatură de referință măsurată în ohm;

α – coeficientul de temperatură; Δt – variația temperaturii în *grade celsius* ;

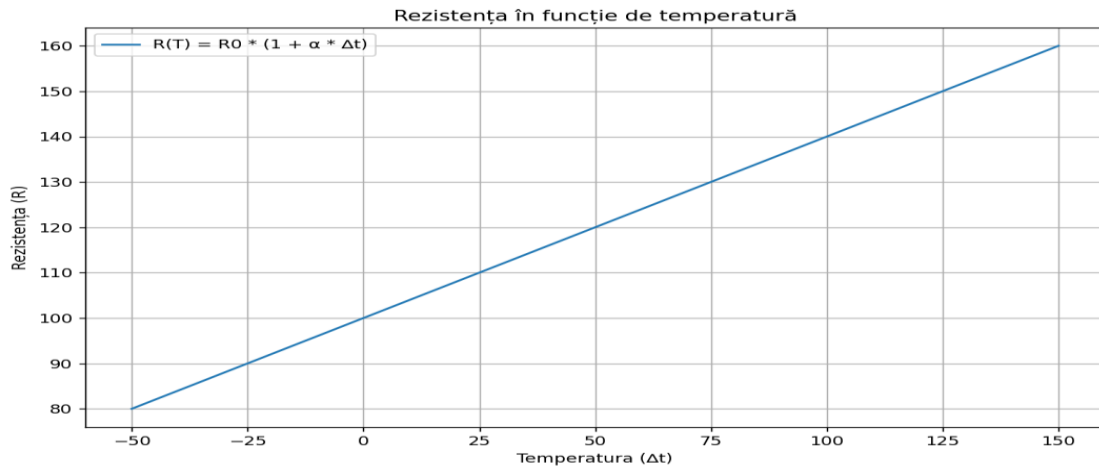


Fig. 1.4 – Rezistența rezistorului în funcție de temperatură (Sursă: Python)

1.2.2 Rezistența electrică pentru semiconductori:

Rezistența scade exponențial odată cu scăderea temperaturii.

$$R(T) = R_0 * e^{B/T} \quad (1.7) \rightarrow R(T) = R_0 * e^{Kb*B/Kb*T} = R_0 * e^{Ea/Kb*T} \quad (1.8)$$

$$\sigma = \frac{1}{R} * \frac{L}{S} = \frac{1}{R_0} * \frac{L}{S} * e^{-Ea/Kb*T} \quad (1.9) \rightarrow \sigma = e^{-Ea/Kb*T} * \sigma_0 \quad (1.10)$$

B – Caracteristică semiconductoare;

K_B - Constanta Boltzmann;

T – Temperatura;

E_a – Energia de activare

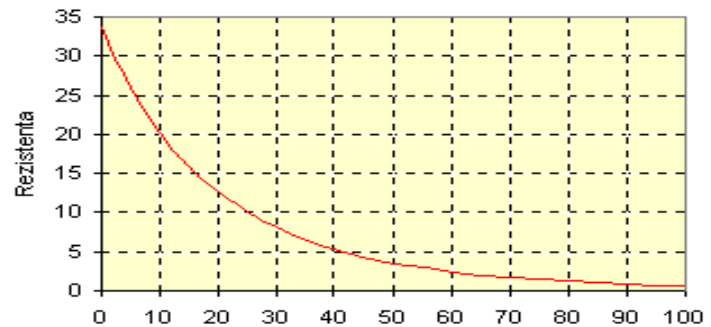


Fig. 1.5 – Rezistența semiconductorului în funcție de temperatură [12]

Din punct de vedere al tipurilor de rezistori, acestea sunt caracterizate după mărimea, rezistența și puterea maximă pe care o au. În vederea electronicii, rezistorii cu coduri de culori, au un sistem dezvoltat pentru identificarea valorii și toleranței rezistențelor bazat pe codul culorilor, figura 1.6.

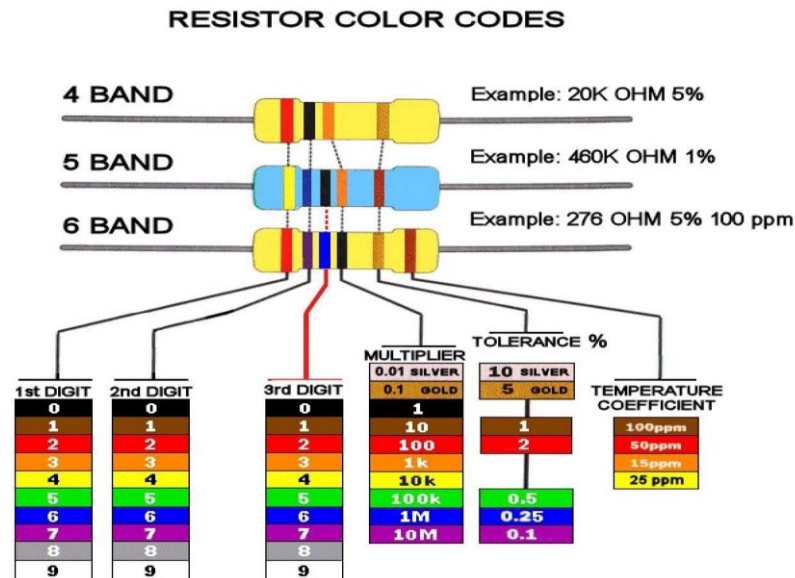


Fig. 1.6 – Codul culorilor pentru determinarea valorii unui rezistor [13]

Alături de mărimea și valoarea rezistenței, rezistorii prezintă alte caracteristici esențiale, precum:

- Toleranța: reprezintă procentul de diferență între valoarea nominală și valoarea reală a rezistenței;
- Coeficientul termic: indică variația rezistenței în funcție de temperatură;
- Frecvența de răspuns: reprezintă o caracteristică a rezistorului de a răspunde la schimbările rapide ale semnalului electric. Acest aspect se datorează capacității și inductivității parazite a rezistorului.

1.3 Legea lui Ohm

Legea lui Ohm sau legea conducției electrice reprezintă dependența dintre intensitatea curentului electric I , tensiunea electrică aplicată U și rezistența electrică echivalentă R a unui circuit. Acestea indică direct proporționalitatea curent-tensiune pentru un circuit sau ramură a unui circuit cu caracteristică voltamperică liniară. [14]

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.11) \text{ sau } U = I * R \quad (1.12)$$

$$[I]_{S,I} = A \text{ (ampere)}; [U]_{S,I} = V \text{ (volt)}; [R]_{S,I} = \Omega \text{ (ohm)};$$

1.4 Prima lege a lui Kirchhoff

Prima lege a lui Kirchhoff relatează principiul în care suma curenților intrați într-un nod de circuit este întotdeauna egală cu suma curenților care ies din nod. Însușirea tuturor curenților de intrare și de ieșire va reflecta veridicitatea legii deoarece suma curenților de intrare trebuie să fie egală cu suma curenților de ieșire. [14]

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0 \quad (1.13);$$

n - este numărul de ramuri de curenți care intră sau ies din nod;

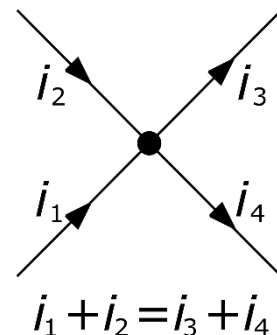


Fig. 1.7 – Exemplu al primei legi a lui Kirchhoff [14]

1.5 Divizorul de tensiune

Cunoscut și sub denumirea de divizor de potențial, acesta reprezintă diferența de potențial dintre 2 puncte datorită efectului de cădere de tensiune a componentelor conectate în serie. Potentiometrul este exemplul de bază pentru divizorul de tensiune deoarece o aplicare de tensiune la bornele sale va produce o tensiune de ieșire proporțională cu poziția indicatorului. [14]

V_{in} – Tensiunea de intrare

V_{out} – Tensiunea de ieșire;

R_1, R_2 – Rezistori;

$V_{in} = U_1 + U_2$ (1.13); Cu ajutorul formulei (1.12):

$$V_{in} = I * R_1 + I * R_2 = I * (R_1 + R_2) \quad (1.14)$$

$$I = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \quad (1.15)$$

Cunoscând intensitatea curentului electric și informația cum că aceasta este egală în ambele componente datorită conexiunii în serie, cu (1.11) se poate afla V_{out} care este și tensiunea de pe rezistența R_1 , dar și tensiunea pe rezistența R_2 , din figura 1.8:

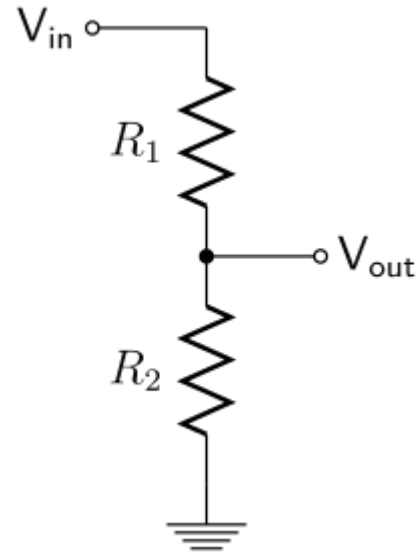


Fig. 1.8 Divizor de tensiune rezistiv [15]

$$I = \frac{U_2}{R_2} \rightarrow U_2 = V_{in} * \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.16); \quad I = \frac{U_1}{R_1} \rightarrow U_1 = V_{out} = V_{in} * \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1.17)$$

1.6 Puterea, energia și randamentul electric

1.6.1 Puterea electrică

Puterea electrică reprezintă viteza cu care energia este transferată prin producerea sau consumul acesteia.

$$P = U * I = I^2 * R = \frac{U^2}{R} \quad (1.18);$$

$$[P]_{S,I} = V * A = W;$$

1.6.2 Energia electrică

Reprezintă cantitatea produsă sau consumată de energie într-un anumit interval de timp. Aceasta este produsul puterii unei surse din punct de vedere al producerii, respectiv consumator pentru anumite obiecte instalate în circuit într-un timp stabilit.

$$W = P * \Delta t = U * I * \Delta t \quad (1.19);$$

$$[W]_{S,I} = W * s = V * A * s = J$$

1.6.3 Randamentul electric

Randamentul electric reprezintă raportul procentual dintre cantitatea de energie utilă produsă și cantitatea de energie electrică consumată într-un circuit electronic. Randamentul este exprimat în procente pentru a oferi o imagine în ansamblu a eficienței energetice a unui sistem.

$$\eta = \frac{P_{Util}}{P_{Total}} * 100\% \text{ (1.20)}; \eta = \frac{E_{Util}}{E_{Total}} * 100\% \text{ (1.21)}$$

η – randamentul;

P_{Util} sau E_{Util} – Puterea sau energia produsă;

P_{Total} sau E_{Total} – Puterea sau energia total consumată;

CAPITOLUL II

Rezistența Materialelor: Analiza deformării materialelor

2.1 Obiectiv principal

Rezistența materialelor reprezintă ramura mecanicii privind noțiunile de corp deformabil, potrivit ecuațiilor de echilibru care permit determinarea reacțiilor.

Acestea pot fi definite prin două aspecte principale, dimensionare și verificare. Dimensionarea stabilește relația dintre trei tipuri de mărimi: forțele aplicate, caracteristicile geometrice și rezistența mecanică, proprie a materialului ales. Acest caz reprezintă determinarea diferitelor caracteristici geometrice ale secțiunii, fiind date sarcinile și rezistența admisibilă aleasă. Verificarea folosește aceeași relație dintre cele trei mărimi, cu observația că se cunosc sarcinile și secțiunile, dar în momentul dorit se dorește calcularea mărimii mecanice numită tensiune sau efort unitar, ce trebuie comparată cu rezistența admisibilă a materialului.[16]

2.2 Proprietățile materialelor, forțe exterioare și forțe interioare

Privind materialul studiat și plecând de la teoria că orice material este deformabil, înlăturarea sarcinilor reprezintă o revenire la forma și dimensiunea inițială, observându-se o proprietate fundamentală numită elasticitate.

Din punct de vedere al forțelor aplicate, acestea se aplică pe o porțiune de pe suprafața exterioară a corpului și poartă numele de forțe de suprafață, sarcini sau forțe exterioare.

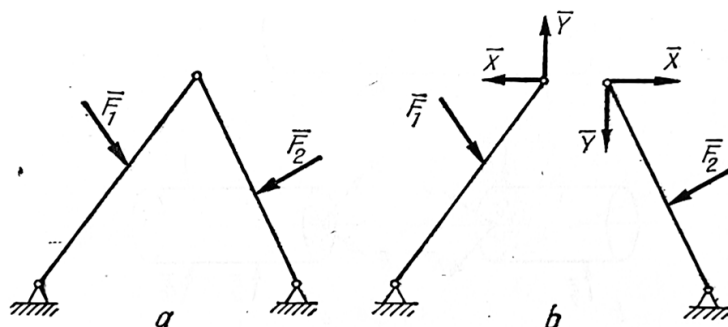


Fig. 2.1 – Reprezentare schematică al forțelor exterioare și calculul acestora prin metoda separării [16]

Sistemul de bare prezentat în figura 2.1 menține echilibrul prin intermediul componentelor X și Y ale forțelor F_1 și F_2 în urma separării. Aceste forțe se anulează în absența unei separări.

Forțele sunt considerate exterioare, deoarece acestea nu sunt induse de interacțiunile dintre particulele din interiorul unui singur corp, dar arată legătura dintre două corpuri separate. Forțele interioare arată acțiunea unei părți a corpului asupra celeilalte. Acestea pot fi puse în evidență numai prin separarea celor două părți ale corpului.

În cazul aplicațiilor care ținesc menținerea echilibrului ansamblului, metoda secțiunilor presupune separarea unui corp alcătuit din două părți, fapt ce ar duce la pierderea echilibrului. Pentru restabilirea echilibrului, în planul secțiunii se introduc forțe interioare, egale și de sensuri opuse.

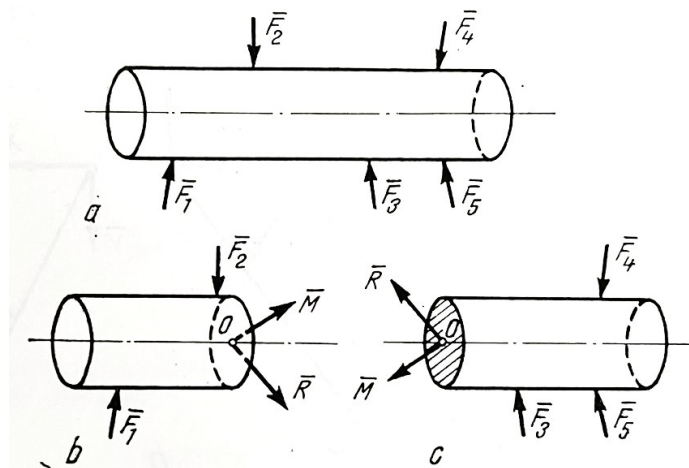


Fig. 2.2 – Reprezentare schematică al forțelor exterioare și interioare prin metoda secțiunilor [16]

Considerând bara din figura 2.2, a, supusă forțelor F_1, F_2, F_3, F_4 și F_5 care stabilesc echilibrul. Separând bara după un plan perpendiculară pe axa principală a barei, se formează corpurile b, respectiv c, și neintroducând o altă forță, cele două porțiuni nu vor fi în echilibru. Pentru restabilirea echilibrului este necesară implicarea în planul secțiunii a unei forțe R și a unui cuplu M . Mărimile sunt forțe interioare numite și eforturi. Acestea sunt echivalente pentru corpul b cu F_1, F_2 , respectiv corpul c cu F_3, F_4, F_5 , componentele fiind egale în modul și de sens contrar.

Scopul este determinarea unui cuplu, o forță și punctul de aplicare a acestora în vederea formării stării de echilibru. Prin urmare, R și M pot fi calculate din condițiile părții de corp asupra căreia se aplică.

Eforturile sunt considerate aplicate în centru de masă al secțiunii, cu direcții oarecare în spațiu și descompuse pe axe.

Rezultanta R este descompusă în forța normală N aplicată pe axa bării și forța tăietoare T în planul secțiunii.

Cuplul M se descompune în moment de răsucire M_t , vector dirijat de axă, și moment încovoietor M_i , aflat pe planul secțiunii.[16]

2.3 Efortul unitar

Mărimea efortului distribuit, aplicat pe unitatea de suprafață se numește efort unitar sau tensiune. Este o mărime fundamentală în studiul rezistenței materialelor, notată cu litera p , având aceeași direcție cu forța exercitată pe material, notată cu F . dS reprezintă aria secțiunii.

$$P = \frac{dF}{dS} \quad (2.1);$$

Având o direcție oarecare, se descompune pe direcția normale, numit și efort unitar normal notat cu σ , având efect de întindere sau compresiune, și componenta continuă pe planul secțiunii, numit efort unitar tangențial τ , având efect de tăiere sau lunecare.

Deformațiile depind de forma și de dimensiunile corpului, precum și de anumite caracteristici mecanice ale materialului. Cât timp tensiunile din material sunt inferioare limitelor de elasticitate, acestea sunt echilibrate datorită apariției tensiunilor din materialul asupra căruia se aplică. Din punct de vedere al deformațiilor prin deplasări, elastice sau neelastice, majoritatea punctelor sale își schimbă poziția. Din considerente a unei bare trasată după punctele Oab din figura 2.3, deformată sub efectul unei forțe perpendiculare pe axa principală a acesteia și având poziția finală $Oa'b'$, porțiunea Oa se deformează în timp ce porțiunea ab rămâne rectilinie, nedeformată. Punctul a deplasându-se în a' , punctul b în b' , iar punctul O rămânând în poziția sa inițială.[16]

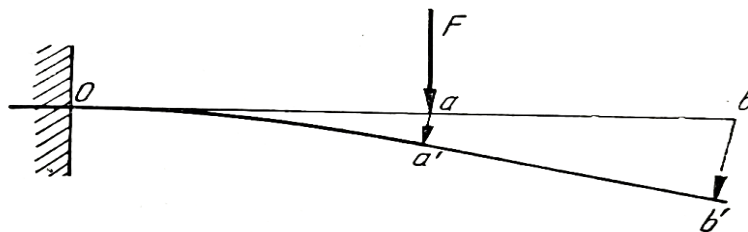


Fig. 2.3 – Reprezentare grafică a fenomenului de deplasare a unei bare sub acțiunea forței [16]

2.4 Efecte și proprietăți mecanice ale filamentului PLA

Având în vedere materialul filamentului de tip PLA, acid polilactic, datele despre tensiunea unitară, modulul de elasticitate și deplasarea maximă sunt cunoscute datorită temperaturii și vitezei pe care imprimanta 3D le-a utilizat pentru producerea prototipului operațional cu ajutorul experimentelor de întindere și compresiune.

Conform procesului de producție al unei structuri, din cauza temperaturii, modelului de umplere și vitezei de depunere atât pe strat, cât și pe masa imprimantei, componenta produsă va avea diferite forțe maxime aplicate, cât și elongații maxime. Având modelul din figura 2.4 pentru realizarea testelor de rezistență la rupere și forță maximă admisibilă, rezultatele prezintă o diferență majoră privind deviația standard al măsurărilor. Viteza de depunere este de 30 mm/s, realizându-se câte trei măsurători pentru o anumită temperatură propusă.

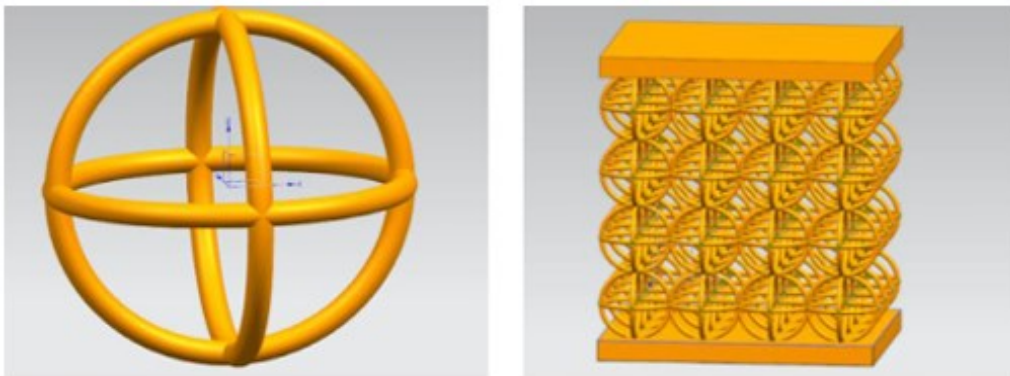


Fig. 2.4 – Reprezentare grafică a structurii prototipului realizat cercetării datelor de rezistență la rupere [17]

Structura rețelei a fost creată sub forma unor celule cu diametrul de 10 mm, având grosimea barei de 1 mm, compusă din 4x4x4 celule. Din punct de vedere al forței maxime admisibile, temperatura de 200 °C și viteza de depunere de 30 mm/s reprezintă rezistența optimă pe care acest tip de material îl oferă utilizat la imprimanta 3D, dar cu o deviere mult mai mare față de structura realizată la 210 °C. [17]

Maximum load (N)	Average value (N)	Standard deviation (N)
200488.18	509.45	23.72
30 542.54		
497.63		
210314.52	313.3	7.66
30 303.38		
322.01		
220325.46	374.72	38.34
30 379.71		
418.98		
230464.21	407.25	40.86
30 370.3		
387.25		
240428.90	412.95	17.53
30 388.54		
421.41		

Fig. 2.5 – Forța maximă și deviația standard la o temperatură constantă pentru diferențele de rezistență mecanică [17]

Conform unui alt model realizat pentru determinarea forței și elongației maxime, grosimea stratului și modelul de umplere sunt doi factori decizionali pentru a avea o rezistență mecanică cât mai mare.

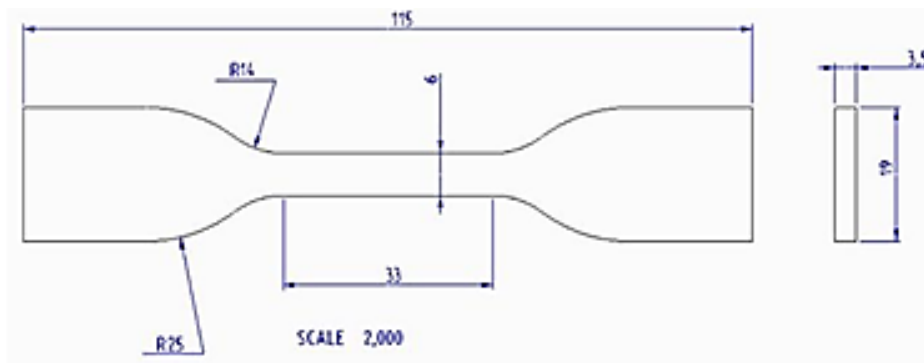


Fig. 2.6 – Desenului tehnic al schiței propuse la testele experimentale [18]

Testele de tracțiune au fost realizate pentru măsurarea rezistenței la tracțiune, rezistenței maxime la rupere și alungirii maxime. Modelele de umplere sunt de tipul zig-zag, grilă și triunghi, cu o viteză de printare de 50 mm/s și temperatură de 215 °C.

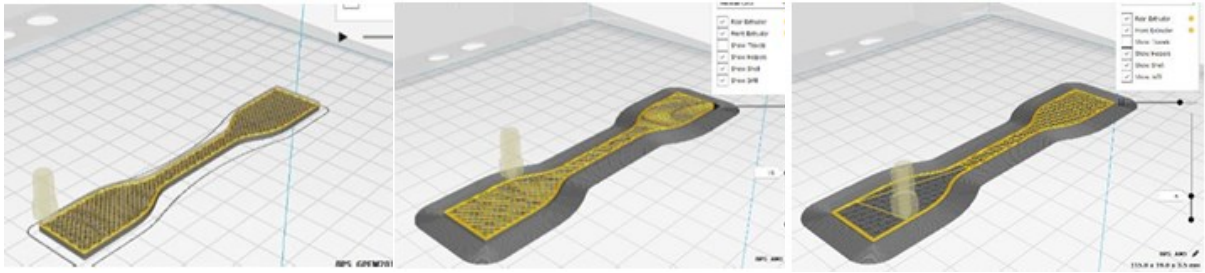


Fig. 2.7 – Reprezentare grafică în simulator
al celor trei tipuri de modele de umplere [18]

Tensiunile și elongațiile maxime observate în timpul celor trei teste de tracțiune, realizându-se media acestora sunt scrise în figura 2.8.

Model de umplere	Grosime strat (mm)	Forța maximă atinsă (N)	Elongația maximă (%)
Zig-Zag	0.1	446.52	2.85
Zig-Zag	0.15	528.07	3.64
Zig-Zag	0.2	576.97	4.45
Grilă	0.1	431.64	3.72
Grilă	0.15	521.66	4.26
Grilă	0.2	612.38	4.72
Triunghi	0.1	458.85	3.30
Triunghi	0.15	525.33	4.47
Triunghi	0.2	634.92	5.65

Fig. 2.8 – Reprezentare grafică a forței-
deflexiei rezultatelor experimentale ale celor trei
seturi de date [18]

Din rezultatele afișate, concluziile sunt că modelul de umplere triunghi și grosimea stratului de 0.2 mm oferă cele mai bune rezultate atât pentru forță, cât și pentru elongația maximă. Modelul zig-zag are cele mai mici valori medii ale forței maxime și elongației, fiind inefficientă pentru anumite prototipuri ce sunt supuse anumitor eforturi unitare mai mari.[18]

CAPITOLUL III

Dezvoltarea Prototipului Experimental

3.1 Alegerea și utilizarea materialului în cadrul imprimantei 3D

Această lucrare având scopul reducerii semnificative a emisiilor de dioxid de carbon, se utilizează materialul PLA datorită caracteristicilor sale ecologice, fiind biodegradabil și derivat din resurse regenerabile precum amidonul de porumb și trestia de zahăr. De asemenea, este ușor de folosit la temperaturi relativ scăzute, 180-220°C, reducând riscul de deformare și neemanând vapori nocivi sau mirosuri neplăcute, ceea ce-l face sigur pentru utilizare în spațiile închise.

Un mare dezavantaj al materialului este rezistența și durabilitatea scăzută. Față de ABS, spre exemplu, PLA este mai puțin potrivit pentru aplicațiile care necesită o rezistență la uzură crescută. De asemenea, fiind higroscopic, acesta absoarbe umiditatea din aer și fragilizează filamentul, producând posibilitatea de eșec la imprimare. În plus, este un material rigid, cu o flexibilitate limitată, având în calcul posibilitatea de rupere sau crăpare sub un anumit stres mecanic.[19][20]

Pentru utilizarea eficientă a imprimantei 3D, datele preluate indică prelucrarea optimă să se realizeze la temperatura de topire de 210°C, cu patul încălzit la 70°C, utilizând un model triunghi și o viteză de imprimare de 60 mm/s, datorită performanței ridicate a imprimantei care permite obținerea unei structuri bine definite la o viteză mai mare decât cea obișnuit propusă.

În analiza „Mechanical Properties of FDM Printed PLA”, deflexia reprezintă deplasarea unui punct dintr-o structură sub acțiunea unei forțe aplicate. Această măsurătoare este esențială pentru a înțelege comportamentul elastic și mecanic al materialelor supuse la stres și torsiune. Testele de îndoire în trei puncte sunt metode standardizate utilizate pentru a evalua proprietățile mecanice ale materialelor. În aceste teste, o piesă de material este susținută la ambele capete și o forță este aplicată la mijlocul mostrei.

În prima fază, s-a testat orientarea în trei moduri ale aceluiași model, cele mai bune rezultate în ceea ce privește forța maximă necesară pentru ruperea piesei fiind x-z.

Al doilea stadiu îl reprezintă deflexia pentru același corp cu modificarea vitezei de depunere pe strat, de la 30 mm/s la 90 mm/s.

Ultima etapă este reprezentată de temperatura de topire, 190°C, respectiv 230°C pentru a obține rezultatul cel mai potrivit. Testele de rezistență mecanică pentru materialul PLA sunt preluate din cadrul studiului de cercetare [21], reprezentând descrierea metodei de evaluare al performanțelor mecanice ale acestui tip de material.

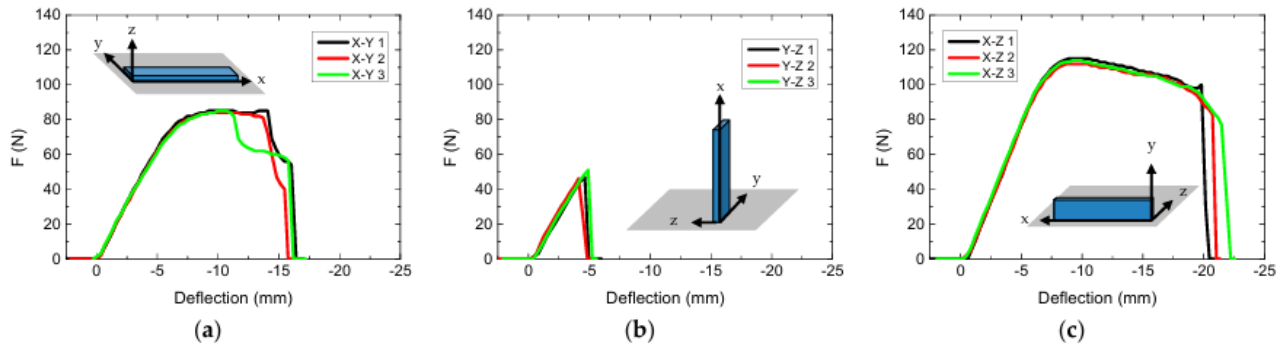


Fig. 3.1 – Reprezentare grafică a rezistenței la rupere pentru orientările a) x-y, b) y-z, c) x-z [21]

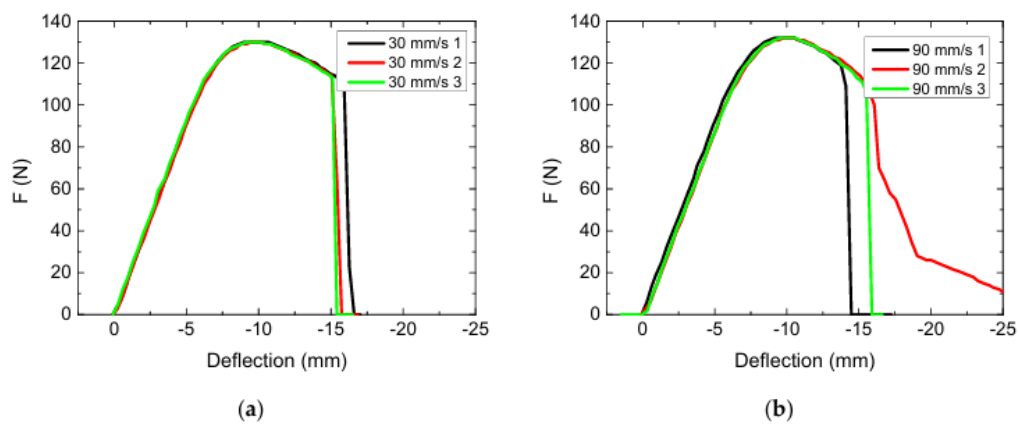


Fig. 3.2 – Reprezentare grafică a rezistenței la rupere pentru viteza de depunere [21]

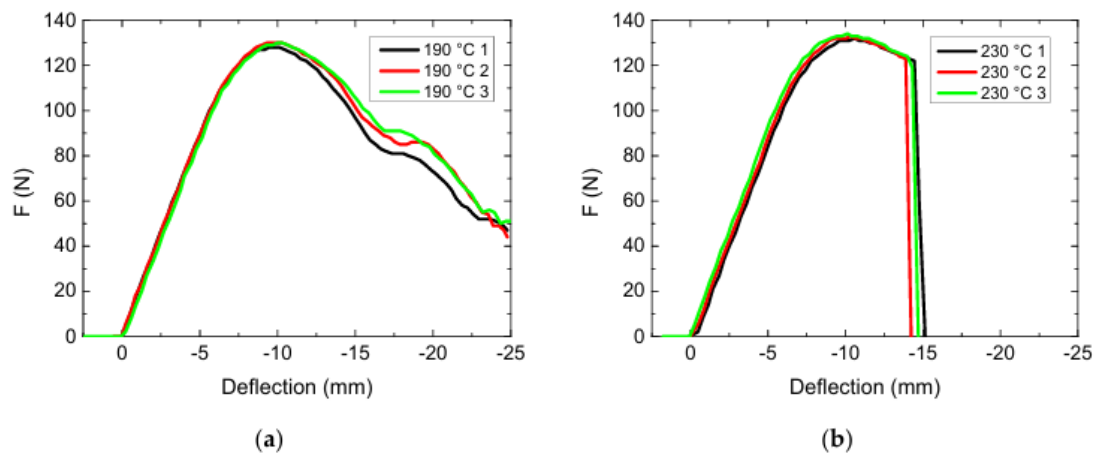


Fig. 3.3 – Reprezentare grafică a rezistenței la rupere de topire al materialului [21]

3.2 Componente electronice și integrarea lor în prototipul dezvoltat

Într-un context tehnologic în continuă evoluție, utilizarea componentelor electronice devine esențială pentru transformarea și modernizarea sistemelor mecanice manuale. Aceste componente nu doar că simplifică și automatizează procesele, dar și aduc numeroase avantaje care contribuie semnificativ la eficiența și calitatea sistemelor. Automatizarea unui sistem mecanic manual este o soluție eficientă și accesibilă. Costurile inițiale relativ scăzute și întreținerea minimă necesară fac din această abordare să fie o opțiune pentru diverse aplicații precum cea energetică.

Pentru acest prototip, interconectarea sistemului mecanic, electronic și electric se efectuează prin utilizarea plăcii Arduino Uno Wifi R2, care asigură controlul integral. Această placă oferă un punct central de comandă, facilitând coordonarea și comunicarea eficientă între toate componentele sistemului.

3.2.1 Placa de bază Arduino Uno Wifi R2

Acest tip de placă de bază este o variantă îmbunătățită a popularei plăci Arduino Uno, deoarece este dotată cu funcționalitățile WiFi și Bluetooth integrate. Este ideală pentru proiecte care necesită o conectare wireless și control de la distanță, funcționând prin preluarea semnalelor de intrare de la diverse componente electronice conectate, precum senzori și module de intrare, și procesate de microcontrolerul ATmega328P. S-a ales utilizarea acestui tip de plăci de bază în acest proiect deoarece se dorește conectarea dintre calculator și placă prin Bluetooth și WiFi, oferind suport pentru ambele tipuri de conectivitate și facilitând astfel transferul de date și comenzi între dispozitiv și computer. [22]

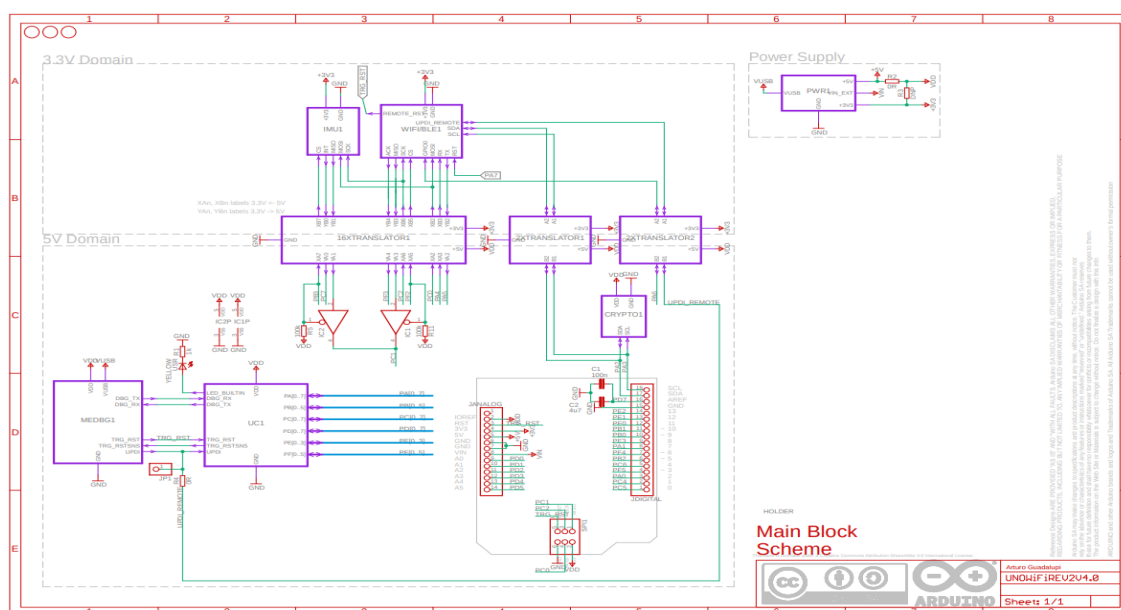


Fig. 3.4 – Schema electronică blocului principal al plăcii Arduino Uno [23]

3.2.2 Modul GPS „NEO-6M”

Se utilizează modulul GPS „NEO-6M” pentru aflarea poziției sistemului biaxial în timp real, fără ca utilizatorul să introducă manual informațiile despre locație. Prin acest mod, se permite o automatizare sporită a sistemului, asigurând o funcționare autonomă și precisă. Utilizarea modulului GPS elimină nevoia de intervenție umană, reducând astfel erorile și asigurând o operare eficientă și continuă. Modulul include un microcontroler GPS și o antenă ceramică integrată pentru recepția semnalelor, suportând protocoalele standard NMEA, UBX și oferind flexibilitate în integrarea cu diverse platforme hardware și software.

Acesta se remarcă prin caracteristicile de precizie și poziționare de până la 2,5 metri și un timp de captare și stabilire a conexiunilor cu semnalele sateliților pentru determinarea poziției exacte pe glob de aproximativ 27 de secunde pentru condițiile în care modulul nu are date stocate despre poziția acestuia și o secundă pentru o poziționare cu date deja existente. Modulul funcționează la o tensiune de alimentare de 3,3V până la 5V, prezentând un consum redus de energie și fiind ideal pentru aplicații portabile și proiectele alimentate cu baterii. Comunicarea se realizează prin interfața UART, Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, asigurând o integrare simplă cu microcontrolere și alte dispozitive electronice. [24]

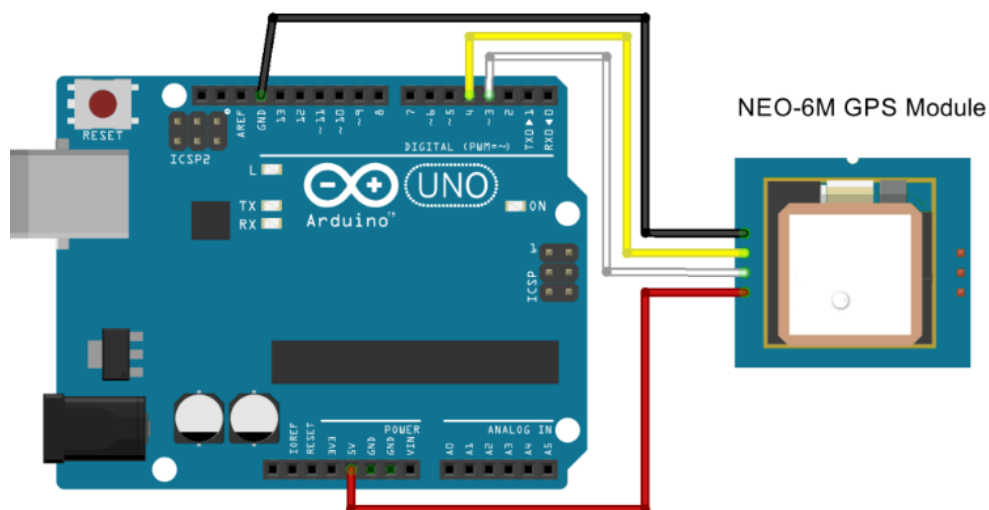


Fig. 3.5 – Schema de conectare a modulului
GPS la placa Arduino [25]

3.2.3 Motorul servo „MG 996R”

Se utilizează motorul servo datorită capacității de a oferi un cuplu ridicat și a posibilității de a realiza mișcări precise. În cazul sistemului, sunt existente două tipuri de motoare servo. Două motoare de 180° sunt utilizate pentru mișcarea în azimut al prinderii panoului solar, respectiv un

motor de 360° pentru mișcarea elevației al întregului sistem prin rotații constante. Aceste motoare oferă o manevrabilitate crescută și permit automatizarea completă a sistemului, eliminând necesitatea verificărilor constante privind unghiul de rotație. Aceasta se traduce într-o operare mai eficientă și precisă, asigurând că panoul solar este întotdeauna orientat în poziția optimă pentru captarea maximă a energiei solare. Automatizarea sistemului cu ajutorul acestor motoare servo reduce erorile umane și crește fiabilitatea și performanța pe termen lung.

Conform caracteristicilor tehnice, acestea au un cuplu maxim de 9.4 kg/cm la 4.8V, respectiv 12 kg/cm pentru MG 996R 180° și 13 kg/cm pentru MG996R 360° la tensiunea de 6V. Viteza de rotație este cuprinsă între 0.17 s / 60° la 4.8V, respectiv 0.14 s / 60° la 6V pentru ambele modele. Controlul poziției, viteza și direcția de rotație sunt controlate prin semnalele PWM, Pulse Width Modulation. [26]

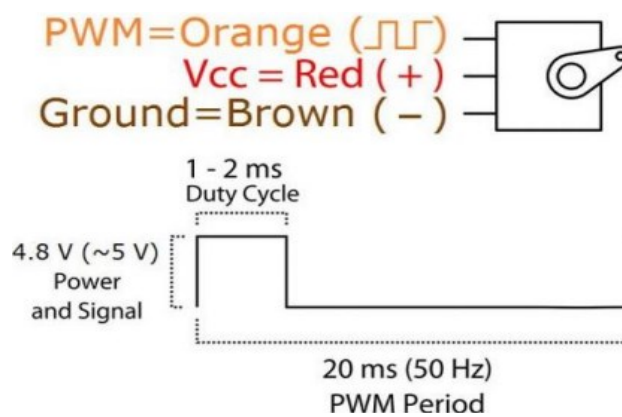


Fig. 3.6 - Reprezentare schematică privind controlul semnalelor PWM [26]

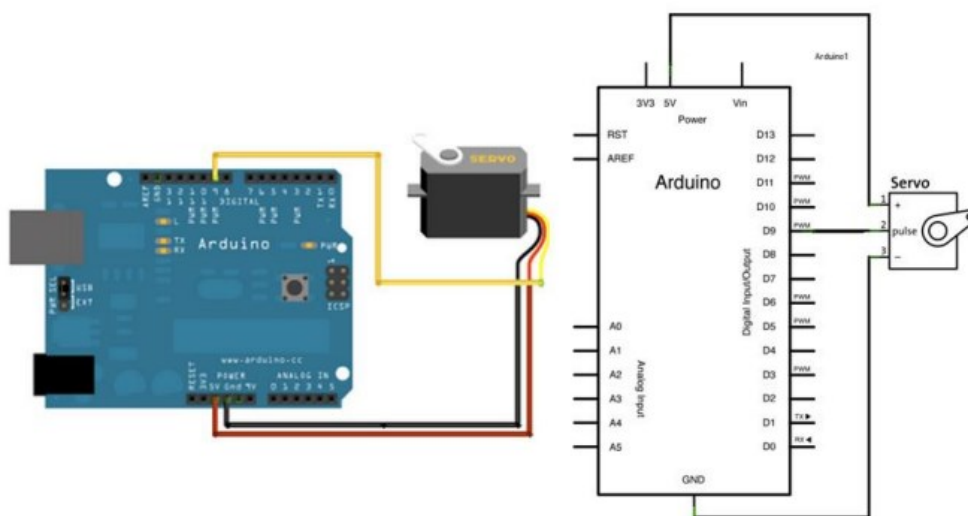


Fig. 3.7 – Reprezentare schematică de conectare a motorului la placa Arduino [26]

3.2.4 Magnetometrul „HMC5883L”

Este un senzor de câmp magnetic, triaxial, care permite măsurarea câmpurilor magnetice în trei direcții perpendiculare, X, Y și Z, fiind ideal pentru detectarea direcției și intensității câmpurilor magnetice din mediul înconjurător. Senzorul utilizează efectul Hall pentru a măsura variațiile câmpului magnetic și convertește aceste măsurători în semnale digitale care pot fi citite de un microcontroler.

Acest model este utilizat pentru a asigura orientarea corectă a sistemului în timpul utilizării, prevenind erorile legate de elevație, controlată de motorul servo 360°. Magnetometrul HMC5883L furnizează date precise despre orientare, care sunt esențiale pentru corectarea și stabilizarea direcției și vitezei de rotație ale motorului servo.

Din punct de vedere al calibrării, senzorul a fost rotit în toate direcțiile pentru a colecta toate datele necesare pentru compensarea erorilor magnetice locale, oferind erori de 1°-2°.

Gama de intensități ale câmpului magnetic pe care senzorul le poate detecta și măsura este cuprinsă între ± 1.3 gauss, câmpuri magnetice slabe precum cele generate de pământ ce determină orientarea și ± 8 gauss, câmpuri magnetice puternice generate de echipamente electrice sau magneți permanenți. [27]

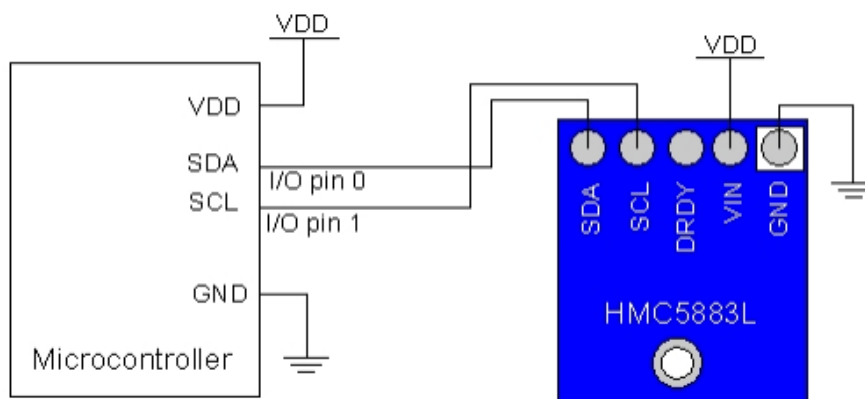


Fig. 3.8 - Reprezentare schematică de conectare a magnetometrului la placa Arduino [27]

3.2.5 Fotorezistențe

Fotorezistențele sunt senzori sensibili cu lungimea de undă de până la 600 nm, fiind ideale pentru detectarea intensității luminoase în spectrul vizibil. Acestea sunt verificate experimental prin expunerea fiecărei fotorezistențe la aceeași intensitate luminoasă, pentru a asigura acuratețea măsurătorilor și a reduce erorile în sistemul de verificare. În cadrul proiectului, se utilizează atât

rezistențe cât și fotorezistențe pentru a crea un divizor de tensiune pentru măsurarea intensității luminoase. Rezistențele utilizate au o valoare de 1000 ohmi, 1 k Ω , valoare aleasă pentru a simplifica calculul și pentru a asigura compatibilitatea optimă cu fotorezistențele. Divizorul de tensiune, este alimentat cu o tensiune constantă de 5V furnizată de placa Arduino, nu din panoul solar. Aceasta asigură stabilitatea și consistența măsurătorilor. În figura 3.2.5.1 este reprezentată conectarea divizoarelor de tensiune la placa Arduino.

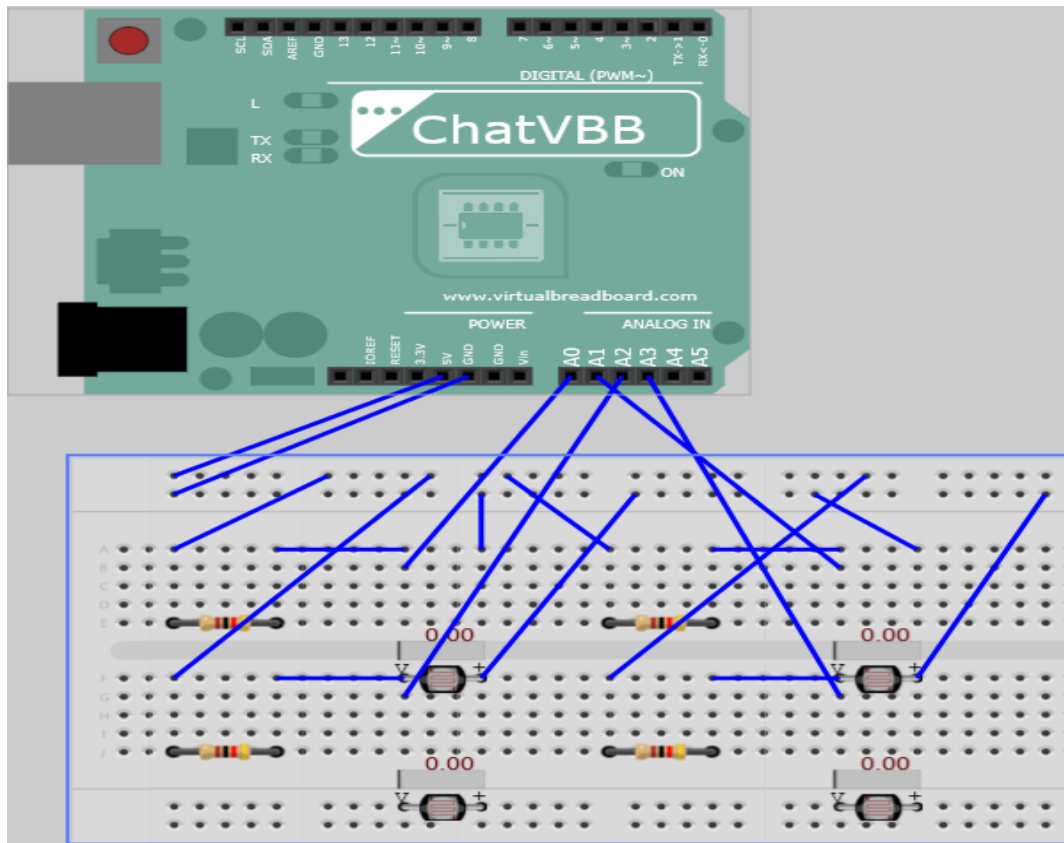


Fig. 3.9 – Schema electrică al divizorului de tensiune

(Sursă: Virtual BreadBoard)

În cadrul sistemului, patru fotorezistențe sunt utilizate pentru a determina dacă panoul solar este corect centrat, pe baza măsurătorilor de intensitate luminoasă. Fotorezistențele sunt notate astfel:

- Fotorezistor stânga-sus: V_1 ;
- Fotorezistor dreapta-sus: V_2 ;
- Fotorezistor stânga-jos: V_3 ;
- Fotorezistor dreapta-jos: V_4 ;

Algoritmul de calcul realizat pentru acest sistem de verificare este:

1. Diferența pe axa X:

$$\text{Diferența sus: } \Delta X_{\text{sus}} = |V_1 - V_2|$$

$$\text{Diferența jos: } \Delta X_{\text{jos}} = |V_3 - V_4|$$

2. Diferența pe axa Y:

$$\text{Diferența sus: } \Delta Y_{\text{stânga}} = |V_1 - V_3|$$

$$\text{Diferența jos: } \Delta Y_{\text{dreapta}} = |V_2 - V_4|$$

Verificare:

- $\Delta X_{\text{sus}} > \Delta X_{\text{jos}}$ coboară;
- $\Delta X_{\text{sus}} < \Delta X_{\text{jos}}$ urcă;

Verificare:

- $\Delta Y_{\text{stânga}} > \Delta Y_{\text{dreapta}}$ se îndreaptă spre stânga,
- $\Delta Y_{\text{stânga}} < \Delta Y_{\text{dreapta}}$ se îndreaptă spre dreapta

3.2.6 Panoul solar

Panourile solare sunt dispozitive optometrice ce permit conversia directă a energiei luminoase în energie electrică pe baza efectului fotovoltaic. Acestea sunt alcătuite din celule solare din siliciu purificat și dopate cu impurități, observându-se apariția unei tensiuni electromotoare într-o joncțiune p-n atunci când este iluminată.

Ca și principiu de funcționare, fotonii absorbiți de siliciu excită electronii bandei de valență și îi transferă în banda de conducție. Electronii excitați devin purtători liberi de sarcină, lăsând astfel goluri în banda de valență. Perechile electron-gol migrează către straturile dopate, generând curent electric prin joncțiunea p-n. Curentul produs este colectat prin conexiuni metalice. Eficiența acestuia scade odată cu creșterea temperaturii interne, fiind influențat totodată de temperatura ambientală și încălzirea panoului în timpul expunerii la soare. [28][29]

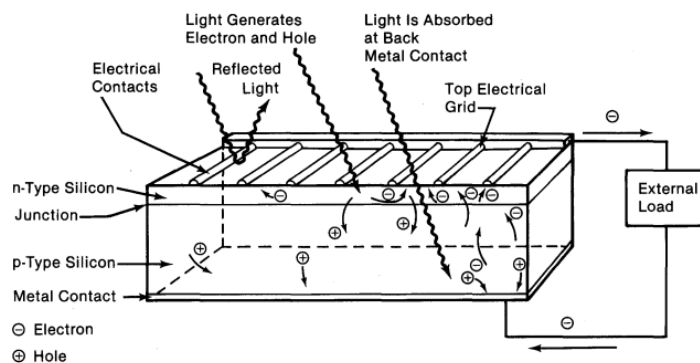


Fig. 3.10 – Reprezentare schematică a structurii și funcționării unei celule solare [29]

3.3 Modelul CAD și Prototipul Fizic al Panoului Solar

În faza inițială a proiectului, s-a realizat un model conceptual al sistemului de urmărire solară utilizând programul de proiectare SolidWorks. Acest model a inclus numai componentele esențiale, motoarele servo cu cuplul de 1 kg/cm, în stare inițială s-a considerat o greutate mult mai mică aplicată pe acestea, placa Arduino Uno, fotorezistențele alături de rezistențe și panoul fotovoltaic.

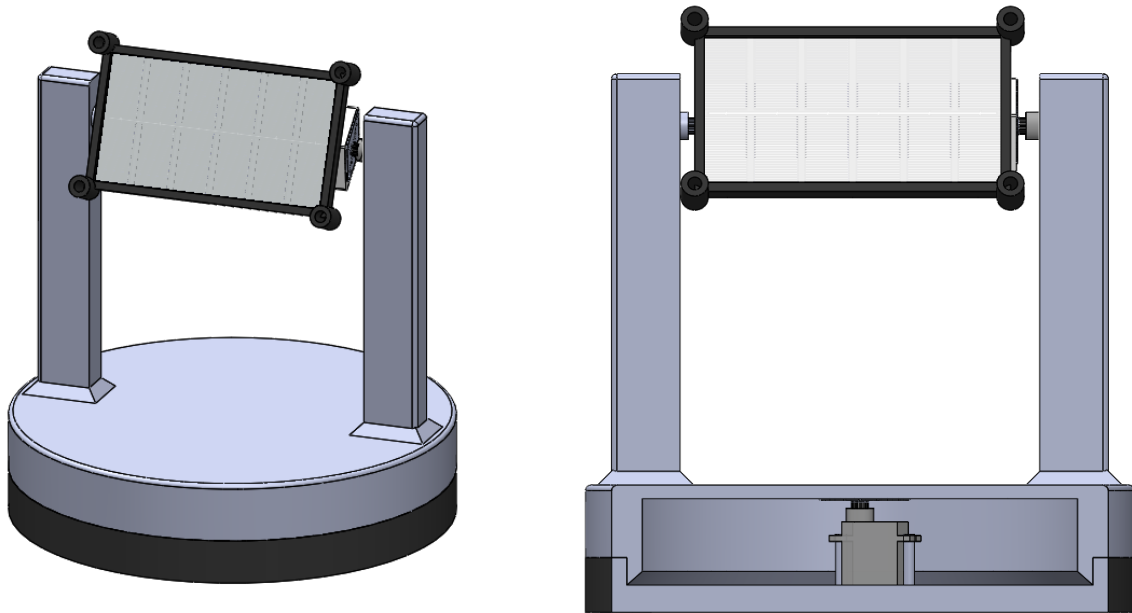


Fig. 3.11 – Prima iterație al sistemului
biaxial (Sursa: SolidWorks)

În prima iterație realizată, nu s-a ținut cont de frecările dintre material și de greutatea acestuia, în special în cazul cilindrului superior care susține cei doi stâlpi și panoul solar. Din cauza acestor considerente, prototipul nu a fost conceput să fie eficient. Partea cilindrică nu a fost concepută pentru a susține întreaga aparatură utilizată, creând probleme din cauza cablurilor existente. Din cauza forțelor de frecare, motorul servo nu poate efectua rotația necesară mișcării în azimut. De asemenea, greutatea componentelor și stabilitatea generală au fost afectate, evidențiind nevoia de revizuire a designului pentru a asigura funcționalitatea și eficiența sistemului.

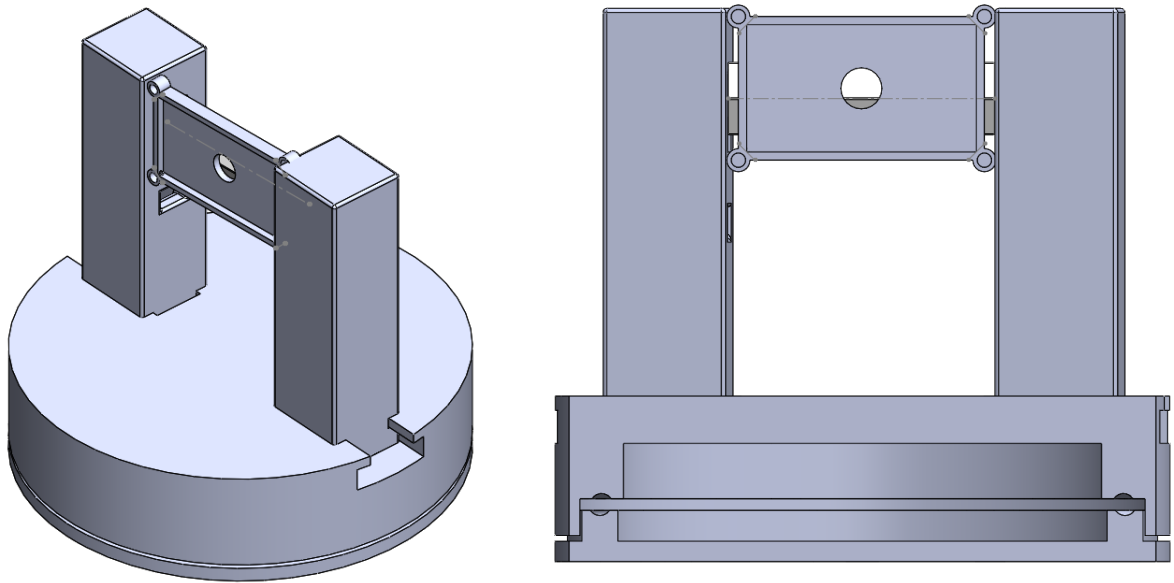


Fig. 3.12 – A doua iterație al sistemului
biaxial (Sursa: SolidWorks)

A doua iterație vine cu modificări și optimizări semnificative, abordând problemele frecării componente și dezvoltând sistemul astfel încât să poată fi asamblat și dezasamblat. În această iterație, cablurile de legătură sunt parțial ascunse, cele secundare fiind integrate în design, în timp ce cablurile principale sunt expuse pe placa de bază aflată în exteriorul cilindrului. Problema frecării dintre cei doi cilindri a fost soluționată prin utilizarea a 12 bile metalice cu diametrul de 10 mm, care diminuează atât suprafața de contact, cât și frecarea propriu-zisă. S-a observat în timpul testării că toate bilele sunt adunate într-un singur punct, ceea ce face ca sistemul să fie nefuncțional din cauza neacoperirii suprafeței de contact. Astfel, cilindrul inferior a fost reconfigurat folosind un lipici lichid din silicon, și împărțind spațiul de rulare al bilelor în 8 fragmente. Această metodă asigură o distribuție uniformă și reduce semnificativ frecarea, menținând stabilitate sistemului. Desenele tehnice ale componentelor CAD realizate în programul SolidWorks sunt ilustrate în anexa 1.

Unghiul pe care conturul tăiat îl are este de 120° , deoarece la 180° nu ar fi existat un contact eficient între bilă și cele două părți.

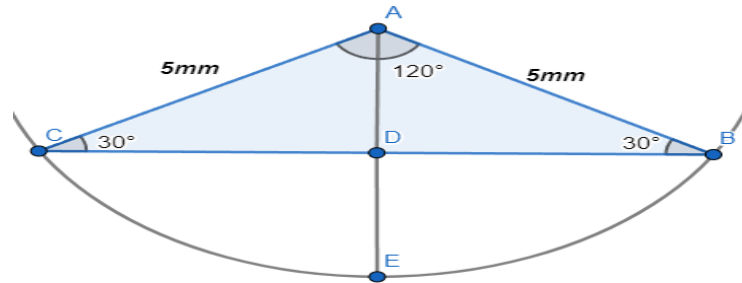


Fig. 3.13 – Modul de calcul al punctului central al bilei
(Sursa: geogebra)

Astfel, știind diametrul bilei de 10 mm, s-a realizat calculul pentru a afla punctul centrului bilei la acel unghi, optimizând contactul acestora.

$$\sin 30^\circ = \frac{AD}{5mm} \rightarrow \frac{1}{2} * 5mm = 2.5 mm = AD$$

CB reprezintă conturul pe care se dorește tăietura, AC, AB, AE reprezintă raza bilei, iar AD reprezintă înălțimea triunghiului realizat pentru aflarea punctului central al bilei.

Primul prototip a fost conceput cu un singur motor servo pentru elevație, rezultând o axă asimetrică și un unghi deviat de peste 8 grade. Inițial, cilindrul nu a putut fi realizat la imprimanta 3D disponibilă din cauza dimensiunii mici a patului de imprimare, ceea ce a făcut ca baza cilindrică să fie realizată din polistiren, însă efortul de compresiune și rezistența la tracțiune au fost mult prea mici pentru a fi eficiente, chiar și pentru un demo. Efortul maxim suportat de polistiren fiind de 70 kPa, a făcut ca prototipul să fie ineficient pentru scopurile proiectului.



Fig. 3.14 – Prima variantă
utilizată ca și prototip

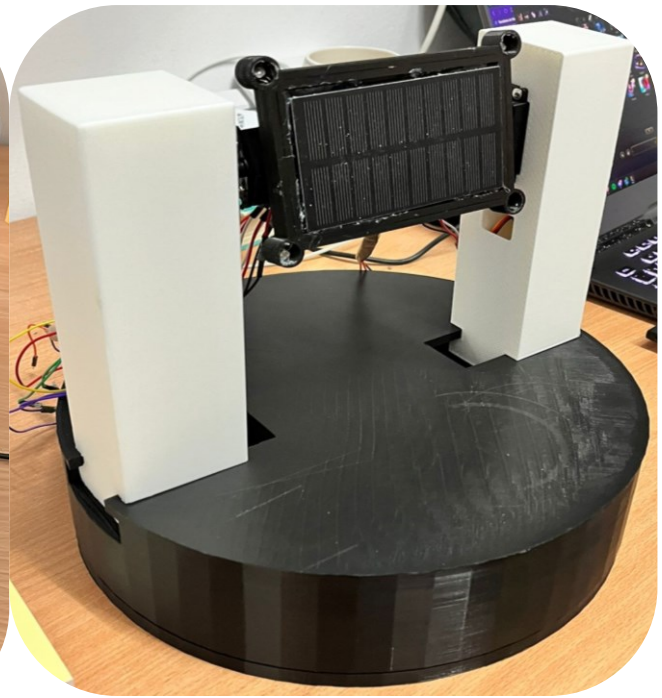


Fig. 3.15 – A doua
variantă utilizată ca și prototip

Cea de-a doua variantă realizată este prototipul final deoarece atinge toate optimizările necesare, având cea mai mare eficiență față de primul model. Frecările sunt minime datorită utilizării celor 12 bile metalice, iar axa pentru elevație este simetrică datorită incorporării a două motoare servo identice. Această iterație asigură o stabilitate și funcționalitate superioară datorită cilindrului care suportă sarcinile mecanice impuse de mișcarea panoului solar. Cilindrul a fost proiectat cu un spațiu suficient pentru a introduce toate componentele electronice necesare, asigurând protecția acestora.

3.4 Modelarea și implementarea software

Acest capitol abordează modelarea electronică sistemului, schema circuitului principal și conectarea componentelor la placa de bază Arduino Uno Wifi. Circuitul electronic include 2 motoare servo pentru mișcarea panoului solar în azimut și elevație, un magnetometru pentru asigurarea orientării precise, un modul GPS pentru determinarea poziției în timp real, 4 fotorezistențe și 4 rezistențe pentru măsurarea intensității luminoase și implicit ajustarea panoului solar în caz de erori sistematice, un panou solar de analiză și placa de bază Arduino Uno Wifi R2 care centralizează controlul sistemului. Această schemă este reprezentată de figura 3.16.

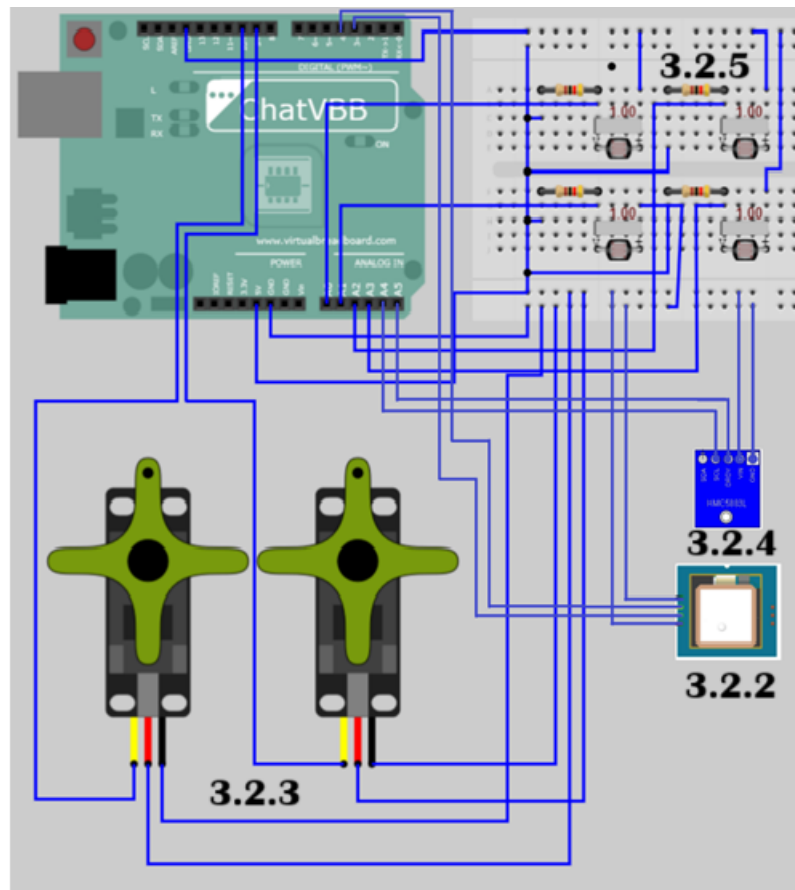


Fig. 3.16 – Schema circuitului electric al sistemului biaxial (Sursa: Virtual Breadboard, Canva)

Structura software a proiectului este compusă din trei programe principale: SQL Server, Python și Arduino C++. În aceste programe se includ importurile necesare pentru asigurarea legăturii dintre ele, dar și o bază de calcul și de gestiune a memoriei eficiente pe placă, cât și în baza de date.

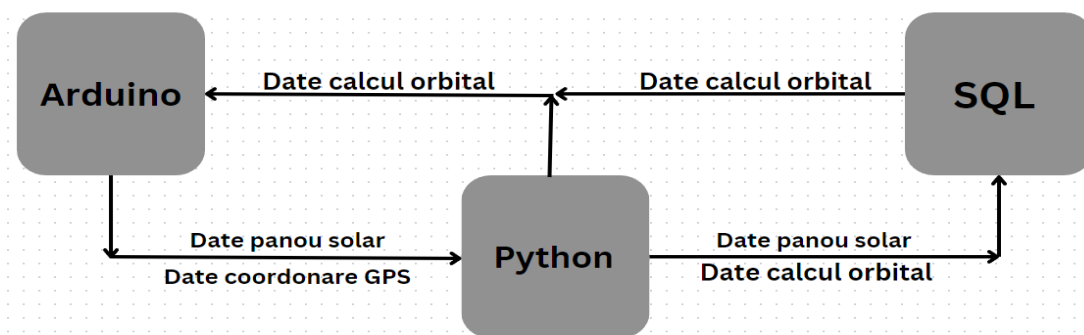


Fig. 3.17 – Diagrama bloc al sistemului software (Sursa: Canva)

Figura 3.18 ilustrează metoda de calcul pentru determinarea unghiului de elevație și azimut, simplificată prin utilizarea bibliotecilor. Importurile folosite sunt pentru calcul astronomic, gestionarea fusurilor orare și manipularea datelor și orelor. Funcția „Calcul_Orbital()” este creată pentru a putea fi apelată dintr-un program principal care gestionează toate funcțiile. Aceasta conține o listă goală pentru stocarea rezultatelor, incluzând data, ora, elevația și azimutul. Cu ajutorul bibliotecii ephemeris, locația este stabilită pe baza datelor furnizate de modulul GPS, obținându-se data curentă. Sunt introduse și orele de început și sfârșit, precum și intervalul fiecărui calcul. Ora exactă este localizată în funcție de fusul orar, GMT utilizat inițial, iar un ciclu while este utilizat pentru a calcula toate valorile necesare. Pe urmă, timpul în GMT este convertit în UTC, iar unghiurile sunt calculate și adăugate în lista inițial goală. [30] [31] [32]

```

1 import ephemeris
2 import pytz
3 from datetime import datetime, timedelta
4
5 usage
6 def Calcul_Orbital():
7     Lista_Rezultate = []
8
9     locatie = ephemeris.Observer()
10    locatie.lat = '45.65251'
11    locatie.lon = '25.61057'
12
13    data_ora_actuala = datetime.now().strftime('%Y/%m/%d')
14    fus_orar_GMT = pytz.timezone('Europe/Bucharest')
15
16    ora_incepere = 7
17    ora_terminare = 18
18    interval_timp = 15
19
20    timp_actual = datetime.strptime(__date_string: f"{data_ora_actuala} {ora_incepere:02d}:00:00", __format: '%Y/%m/%d %H:%M:%S')
21    timp_actual = fus_orar_GMT.localize(timp_actual)
22    timp_final = datetime.strptime(__date_string: f"{data_ora_actuala} {ora_terminare:02d}:00:00", __format: '%Y/%m/%d %H:%M:%S')
23    timp_final = fus_orar_GMT.localize(timp_final)
24
25    while timp_actual <= timp_final:
26        timp_UTC = timp_actual.astimezone(pytz.utc)
27
28        locatie.date = timp_UTC
29
30        soare = ephemeris.Sun(locatie)
31        soare.compute(locatie)
32
33        el = round(soare.alt * 180 / ephemeris.pi, 2)
34        az = round(soare.az * 180 / ephemeris.pi, 2)
35
36        Lista_Rezultate.append((timp_actual.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S'), el, az))
37
38        timp_actual += timedelta(minutes=interval_timp)
39
40    return Lista_Rezultate

```

Fig. 3.18 – Secvență de cod pentru calculul orbital

(Sursa: Python)

```
1 from datetime import datetime
2 import pyodbc
3
4 nume_server = r'DESKTOP-5AAU3II\SQLEXPRESS'
5 baza_date = 'Lucrare_Licenta'
6
7
8 1 usage
9 def insert_data(data):
10     try:
11         conn = pyodbc.connect('DRIVER={ODBC Driver 17 for SQL Server};SERVER=' + nume_server + ';DATABASE='
12                               + baza_date + ';Trusted_Connection=yes;')
13         cursor = conn.cursor()
14
15         for row in data:
16             datetime_val, elevatie, azimut = row
17             print(f"Inserting: datetime={datetime_val}, elevatie={elevatie}, azimut={azimut}") # Debugging statement
18             cursor.execute( sql: """
19                 INSERT INTO Date_Calcul_Orbital (datetime, elevatie, azimut)
20                 VALUES (?, ?, ?)
21                 """, *params: datetime_val, elevatie, azimut)
22
23         conn.commit()
24         print("Datele orbitale au fost introduse cu succes!")
25     except Exception as e:
26         print(f"Eroare: {e}")
27     finally:
28         cursor.close()
29         conn.close()
30
31 1 usage
32 def insert_date_panou_solar(volt, procent):
33     try:
34         conn = pyodbc.connect('DRIVER={ODBC Driver 17 for SQL Server};SERVER=' + nume_server + ';DATABASE='
35                               + baza_date + ';Trusted_Connection=yes;')
36         cursor = conn.cursor()
37
38         cursor.execute( sql: """INSERT INTO Informatii_Panou_Solar (datetime, volt, procent_iluminare) VALUES (?, ?, ?)""",
39                         *params: datetime.now(), volt, procent)
40
41         conn.commit()
42         print("Datele despre panoul solar au fost introduse cu succes!")
43     except Exception as e:
44         print(f"Eroare: {e}")
45     finally:
46         cursor.close()
47         conn.close()
```

Fig. 3.19 – Secvență de cod pentru conectarea Python la SQL Server
(Sursa: Python)

Figura 3.19 reprezintă conexiunea dintre limbajele de programare Python și SQL Server utilizând biblioteca „pyodbc”. În fiecare funcție, conexiunea este creată pentru siguranța sesiunilor de a rămâne închise după folosire și pentru nu bloca alte funcții apelate în „main()”. „insert_data(data)” este apelată o singură dată pentru a insera datele dintr-o listă, în timp ce „insert_voltage(volt, procent)” este apelată ciclic pentru a insera date de tensiune și procentajul de iluminare, astfel prevenind menținerea unei sesiuni deschise.

Cursorul, obiect utilizat conexiunilor, permite execuția comenzilor SQL și navigarea prin rezultate. Prin intermediul acestuia, datele din Python sau Arduino sunt trimise către baza de date. Metoda „try-except” este utilizată pentru a permite gestionarea erorilor fără a opri rularea codului, asigurând funcționarea continuă a prototipului. Blocul „finally” reprezintă închiderea cursorului și implicit al conexiunii, asigurând eliberarea resurselor și evitarea blocajelor în baza de date. [33]

```
1 import pyodbc
2 import serial
3 import time
4 from datetime import datetime
5 import Sql_Server
6
7 ser = serial.Serial('COM5', 9600)
8 time.sleep(3)
9
10 usage
11 def send_to_arduino(data):
12     ser.write(data.encode())
13     print("Trimitere către Arduino: " + data)
14     time.sleep(3)
15
16 usage
17 def get_data_from_arduino():
18     if ser.in_waiting > 0:
19         linie = ser.readline().decode('utf-8').rstrip()
20         return linie
21     return None
22
23 usage
24 def citire_voltaj():
25     try:
26         while True:
27             data = get_data_from_arduino()
28             if data is not None and "Tensiune:" in data and "Media12:" in data:
29                 parts = data.split(',')
30                 tensiune_intrare = float(parts[0].split(':')[1].strip())
31                 media = float(parts[1].split(':')[1].strip())
32                 media_procente = (media / 1023.0) * 100
33
34                 print(f"Tensiune măsurată: {tensiune_intrare:.2f} V")
35                 print(f"Media în procente: {media_procente:.2f}%")
36
37                 Sql_Server.insert_date_panou_solar(tensiune_intrare, media_procente)
38                 time.sleep(1)
39     except KeyboardInterrupt:
40         print("Închidere conexiune serială.")
41     finally:
42         ser.close()
43
44
```

Fig. 3.20 – Secvență de cod pentru trimiterea și primirea datelor din și către Arduino Uno la Python (Sursa: Python)

Figura 3.20 ilustrează transferul de date dintre Arduino Idle și Python. Bibliotecile introduse facilitează conexiunea dintre acestea și furnizează informații importante despre datele și orele necesare. Conexiunea serială este inițiată utilizând biblioteca „serial” pentru portul „COM5”, cu viteza de transmisie pe canalul de comunicație de 9600 baud. Funcțiile „send_to_arduino(data)” și „get_data_from_arduino()” sunt apelate pentru trimiterea, respectiv primirea datelor prin comunicarea serială, transformând informațiile din șiruri de caractere în octeți. Codificarea standard al șirurilor se realizează folosind „utf-8” deoarece conține majoritatea caracterelor în format binar. Funcția „citire_voltaj()” citește continuu informațiile primite de la panoul solar prin placa Arduino și le trimite bazei de date. Aceasta funcționează într-un ciclu infinit pentru a primi constant aceste date, calculând și procentajul de iluminare. Preluarea datelor se realizează prin descompunerea șirurilor de caractere transformate din octeți și separarea acestora, astfel încât să poată fi citite și procesate de funcție. [34] [35]

```

1 usage
41 def Arduino_Date_Unghi_Orbital():
42     server = r'DESKTOP-5AAU3II\SQLEXPRESS'
43     database = 'Lucrare_Licenta'
44
45     conexiune = pyodbc.connect('DRIVER={ODBC Driver 17 for SQL Server};SERVER=' + server +
46                               ';DATABASE=' + database + ';Trusted_Connection=yes;')
47     cursor = conexiune.cursor()
48
49     while True:
50         datetime_actual = datetime.now()
51         print(f'data si ora: {datetime_actual}')
52
53         cursor.execute("SELECT * FROM Date_Calcul_Orbital")
54         for row in cursor:
55             datetimeDB = row[1]
56             print(f'data si ora: {datetimeDB}')
57             elevatieDB = row[2]
58             azimutDB = row[3]
59
60             diferenta_timp = abs((datetime_actual - datetimeDB).total_seconds())
61
62             if diferenta_timp <= 15:
63                 send_to_arduino(f'{str(elevatieDB)}, {str(azimutDB)}')
64
65         time.sleep(10)
66
67     conexiune.close()
68     ser.close()

```

Fig. 3.21 – Transferul informațiilor calcului orbital către Arduino Idle (Sursa: Python)

Figura 3.21 ilustrează apelarea funcției „Arduino_Date_Unghi_Orbital()” pentru preluarea datelor de elevație, azimut, dată și oră din baza de date și transmiterea acestora către placa Arduino. Se realizează conectarea la baza de date, iar funcția menține un ciclu infinit pentru a verifica și trimite datele actualizate către Arduino la intervale de timp regulate.


```

1  import Calcul_Orbital
2  import Arduino
3  import Sql_Server
4  import threading
5
6  usage
7
8  def main():
9
10     Sql_Server.insert_data(Calcul_Orbital.Calcul_Orbital())
11
12     thread_calcul_orbital = threading.Thread(target=Arduino.Arduino_Date_Unghi_Orbital)
13     thread_date_voltaj = threading.Thread(target=Arduino.citire_voltaj)
14
15     thread_calcul_orbital.start()
16     thread_date_voltaj.start()
17
18     thread_calcul_orbital.join()
19     thread_date_voltaj.join()
20
21 if __name__ == "__main__":
22     main()

```

Fig. 3.22 – Apelarea funcțiilor de implementare pentru sistemul biaxial (Sursa: Python)

Figura 3.22 ilustrează apelarea tuturor funcțiilor implicate în procesul prototipului pentru funcționare. Biblioteca „threading” este utilizată pentru a permite rularea simultană a mai multor funcții, mai exact pentru citirea informațiilor de la panoul solar și trimiterea datelor orbitale. Această implementare asigură că ambele procese funcționează în paralel, fără a interfera una cu cealaltă. [36]

```

1  #include <Servo.h>
2  #include <QMC5883LCompass.h>
3
4  Servo Motor_Elevatie;
5  Servo Motor_Azimut;
6  QMC5883LCompass Magnetometru;
7
8  const int FotorezistorPin1 = A1;
9  const int FotorezistorPin2 = A2;
10
11 const int PanouSolarPin = A0;
12 const int Toleranta = 5;
13 const float Declinatie_Magnetica = 6.5;
14 float tensiune_intrare = 0.0;
15 const float tensiune_maxima_panou_solar = 6.0;
16
17 const float formula_divizor_tensiune_rezistente = 0.5;
18
19 float Azimut_Cautat = 0;
20 bool Date_Moi_Primate = false;
21
22 int Unghi_Curent_Azimut = 90;
23
24 void setup() {
25     Serial.begin(9600);
26     Motor_Elevatie.attach(9);
27     Motor_Azimut.attach(10);
28     Magnetometru.init();
29     Motor_Azimut.write(Unghi_Curent_Azimut);
30     Motor_Elevatie.write(0);
31 }

```

Fig. 3.23 Secvență de cod Arduino Idle privind setarea datelor inițiale (Sursa: Arduino Idle)

Figura 3.23 include bibliotecile pentru controlul servomotoarelor de elevație și azimut, precum și pentru magnetometru, care este un senzor electronic utilizat pentru verificarea unghiului azimutului trimis. În această secvență de cod, sunt definiți pinii analogici pentru măsurarea intensității luminoase cu ajutorul fotorezistorilor, A1 și A2, și pinul A0 care conectează panoul solar. De asemenea, sunt stabilite variabile pentru declinația magnetică și toleranță, necesare pentru corectarea diferenței de azimut detectată de busola electronică a magnetometrului. Pentru pinul A0, s-a realizat un divizor de tensiune ce calculează tensiunea de intrare pentru a evita depășirea tensiunii maxime admisibile pe pinul plăcii de bază. Funcția „setup()” inițializează comunicarea serială la 9600 baud, atașează motoarele servo la pinii digitali 9, respectiv 10, și inițializează magnetometrul. [37] [38] [39]

```

32
33 void loop() {
34   int senzor = analogRead(PanouSolarPin);
35   tensiune_intrare = ((senzor * tensiune_maxima_panou_solar) / 1023.0) / formula_divizor_tensiune_rezistente;
36
37   int fotorezistor1 = analogRead(FotorezistorPin1);
38   int fotorezistor2 = analogRead(FotorezistorPin2);
39   float Media = (fotorezistor1 + fotorezistor2) / 2.0;
40
41   Serial.print("Tensiune: ");
42   Serial.print(tensiune_intrare);
43   Serial.print(", Media: ");
44   Serial.println(Media);
45
46   delay(10000);
47
48   static unsigned long Timp_Ajustare_Ultimul = 0;
49   const unsigned long Timp_Ajustare = 100;
50
51   if (Serial.available() > 0) {
52     String input = Serial.readStringUntil('\n');
53     int Comm_Index = input.indexOf(',');
54     float elevatie = input.substring(0, Comm_Index).toFloat();
55     Azimut_Cautat = input.substring(Comm_Index + 1).toFloat();
56
57     Motor_Elevatie.write(elevatie);
58
59     Date_Noi_Primate = true;
60   }

```

Fig. 3.24 – Secvență de cod pentru citirea și convertirea datelor primite prin serial (Sursa: Arduino Idle)

Figura 3.24 utilizează funcția ciclică „loop()” pentru a citi tensiunea de la panoul solar și valorile fotorezistoarelor, calculând tensiunea de intrare și trimițând informațiile către baza de date. Procesarea datelor primite prin intermediul serialului se realizează prin verificarea disponibilității datelor „Serial.available() > 0”. Dacă sunt disponibile, acestea sunt citite până la întâlnirea caracterului „\n”. Datele primite sunt inițial stocate sub formă de string, după sunt separate și prelucrate pentru ca valorile de elevație și azimut să fie convertite în tipul float. Aceste valori sunt apoi transmise către motoarele servo pentru a ajusta poziția panoului solar. Indicatorul „Date_Noi_Primate” este setat la „true” pentru a semnala că au fost primite date noi. [40]

```

61
62 if (Date_Noi_Primate && millis() - Timp_Ajustare_Ultimul >= Timp_Ajustare) {
63   Timp_Ajustare_Ultimul = millis();
64
65   Magnetometru.read();
66
67   int Azimut = Magnetometru.getAzimuth();
68   if (Azimut < 0) {
69     Azimut += 360;
70   }
71
72   float Azimut_Ajustat = Azimut + Declinatia_Magnetica;
73   if (Azimut_Ajustat >= 360) {
74     Azimut_Ajustat -= 360;
75   }
76
77   Serial.print("Azimut ajustat: ");
78   Serial.print(Azimut_Ajustat);
79   Serial.println();
80
81   float Diferenta_Azimut = Azimut_Ajustat - Azimut_Cautat;
82   if (Diferenta_Azimut < 0) {
83     Diferenta_Azimut += 360;
84   }
85
86   if (Diferenta_Azimut > 180) {
87     Diferenta_Azimut = 360 - Diferenta_Azimut;
88   }

```

Fig. 3.25 – Secvență de cod pentru ajustarea azimutului pentru optimizarea unghiului calculat (Sursa: Arduino Idle)

Figura 3.25 este integrată în funcția „loop()” și reprezintă secvența de cod care verifică și ajustează azimutul. Aceasta realizează calcule pentru a corecta citirile azimutului obținute de la magnetometru, care pot varia de la -180 la 180 de grade. În plus, aplică declinația magnetică necesară pentru a corecta azimutul și pentru a obține un unghi cât mai precis.

```

89
90   Serial.print("Diferență azimut: ");
91   Serial.println(Diferenta_Azimut);
92
93   if (abs(Diferenta_Azimut) > Toleranta) {
94     if (Diferenta_Azimut > 0) {
95       Unghi_Curent_Azimut = min(Unghi_Curent_Azimut + 1, 180);
96     } else {
97       Unghi_Curent_Azimut = max(Unghi_Curent_Azimut - 1, 0);
98     }
99     Motor_Azimut.write(Unghi_Curent_Azimut);
100   } else {
101     Unghi_Curent_Azimut = 90;
102     Motor_Azimut.write(Unghi_Curent_Azimut);
103     Serial.println("Servo oprit");
104     Date_Noi_Primate = false;
105   }
106 }
107 }

```

Fig. 3.26 – Secvență de cod pentru modificarea unghiului pentru azimut la motorul servo (Sursa: Arduino Idle)

Figura 3.26 descrie secvența de cod din funcția „loop()” care ajustează unghiul motorului servo. Această ajustare se face prin rotația motorului la stânga sau la dreapta, în funcție de diferența de azimut. Codul verifică dacă diferența de azimut dintre valorile citite de magnetometru și azimutul dorit este mai mare decât toleranța admisă.

CAPITOLUL IV

Rezultate și concluzii

4.1 Rezultate experimentale

Măsurătorile au fost realizate în datele de 16.06.2024, 17.06.2024 și 18.06.2024, în Piața Consiliul Europei din municipiul Brașov, județul Brașov. Această locație a fost aleasă datorită spațiului pe care îl oferă. În datele respective, au fost înregistrate temperaturi medii de peste 30 de grade Celsius, cu cer parțial senin. Coordonatele locației au fost determinate inițial cu ajutorul modulului GPS, însă au fost introduse manual în codul Python din cauza descărcării bateriei interne după cele trei zile de utilizare.

În urma calculului orbital efectuate, s-au obținut următoarele date pentru elevația și azimutul Soarelui pe parcursul celor 3 zile. Datele furnizate sunt calculate la 15 minute pentru o precizie cât mai crescută

id	datetime	elevatie	azimut				
1	2024-06-16 07:00:00.000	13,5	70,19	31	2024-06-16 14:30:00.000	63,42	219,09
2	2024-06-16 07:15:00.000	15,97	72,65	32	2024-06-16 14:45:00.000	61,66	225,5
3	2024-06-16 07:30:00.000	18,48	75,11	33	2024-06-16 15:00:00.000	59,7	231,28
4	2024-06-16 07:45:00.000	21,02	77,57	34	2024-06-16 15:15:00.000	57,58	236,5
5	2024-06-16 08:00:00.000	23,59	80,04	35	2024-06-16 15:30:00.000	55,34	241,22
6	2024-06-16 08:15:00.000	26,17	82,54	36	2024-06-16 15:45:00.000	53	245,53
7	2024-06-16 08:30:00.000	28,78	85,07	37	2024-06-16 16:00:00.000	50,58	249,49
8	2024-06-16 08:45:00.000	31,39	87,66	38	2024-06-16 16:15:00.000	48,1	253,15
9	2024-06-16 09:00:00.000	34,01	90,31	39	2024-06-16 16:30:00.000	45,57	256,56
10	2024-06-16 09:15:00.000	36,63	93,05	40	2024-06-16 16:45:00.000	43	259,76
11	2024-06-16 09:30:00.000	39,24	95,89	41	2024-06-16 17:00:00.000	40,42	262,8
12	2024-06-16 09:45:00.000	41,83	98,86	42	2024-06-16 17:15:00.000	37,81	265,7
13	2024-06-16 10:00:00.000	44,41	101,98	43	2024-06-16 17:30:00.000	35,2	268,48
14	2024-06-16 10:15:00.000	46,96	105,3	44	2024-06-16 17:45:00.000	32,58	271,16
15	2024-06-16 10:30:00.000	49,46	108,84	45	2024-06-16 18:00:00.000	29,96	273,78
16	2024-06-16 10:45:00.000	51,91	112,65	46	2024-06-17 07:00:00.000	13,48	70,13
17	2024-06-16 11:00:00.000	54,29	116,79	47	2024-06-17 07:15:00.000	15,96	72,6
18	2024-06-16 11:15:00.000	56,58	121,32	48	2024-06-17 07:30:00.000	18,46	75,05
19	2024-06-16 11:30:00.000	58,76	126,31	49	2024-06-17 07:45:00.000	21	77,51
20	2024-06-16 11:45:00.000	60,79	131,82	50	2024-06-17 08:00:00.000	23,57	79,98
21	2024-06-16 12:00:00.000	62,65	137,94	51	2024-06-17 08:15:00.000	26,16	82,48
22	2024-06-16 12:15:00.000	64,29	144,72	52	2024-06-17 08:30:00.000	28,76	85,01
23	2024-06-16 12:30:00.000	65,66	152,19	53	2024-06-17 08:45:00.000	31,37	87,6
24	2024-06-16 12:45:00.000	66,72	160,31	54	2024-06-17 09:00:00.000	33,99	90,25
25	2024-06-16 13:00:00.000	67,41	168,96	55	2024-06-17 09:15:00.000	36,61	92,98
26	2024-06-16 13:15:00.000	67,71	177,95	56	2024-06-17 09:30:00.000	39,22	95,82
27	2024-06-16 13:30:00.000	67,6	187,01	57	2024-06-17 09:45:00.000	41,82	98,78
28	2024-06-16 13:45:00.000	67,08	195,85	58	2024-06-17 10:00:00.000	44,39	101,91
29	2024-06-16 14:00:00.000	66,18	204,23	59	2024-06-17 10:15:00.000	46,94	105,22
30	2024-06-16 14:15:00.000	64,95	212	60	2024-06-17 10:30:00.000	49,44	108,75

Fig. 4.1 – Rezultatele calculului orbital pentru ziua de 16, respectiv 17 iunie (Sursa: Sql Server)

id	datetime	elevatie	azimut				
61	2024-06-17 10:45:00.000	51,9	112,56	91	2024-06-18 07:00:00.000	13,46	70,08
62	2024-06-17 11:00:00.000	54,28	116,7	92	2024-06-18 07:15:00.000	15,93	72,54
63	2024-06-17 11:15:00.000	56,57	121,22	93	2024-06-18 07:30:00.000	18,44	75
64	2024-06-17 11:30:00.000	58,75	126,2	94	2024-06-18 07:45:00.000	20,98	77,46
65	2024-06-17 11:45:00.000	60,79	131,71	95	2024-06-18 08:00:00.000	23,55	79,93
66	2024-06-17 12:00:00.000	62,65	137,82	96	2024-06-18 08:15:00.000	26,13	82,43
67	2024-06-17 12:15:00.000	64,29	144,59	97	2024-06-18 08:30:00.000	28,73	84,96
68	2024-06-17 12:30:00.000	65,67	152,05	98	2024-06-18 08:45:00.000	31,35	87,54
69	2024-06-17 12:45:00.000	66,73	160,17	99	2024-06-18 09:00:00.000	33,96	90,19
70	2024-06-17 13:00:00.000	67,43	168,83	100	2024-06-18 09:15:00.000	36,58	92,92
71	2024-06-17 13:15:00.000	67,74	177,82	101	2024-06-18 09:30:00.000	39,19	95,76
72	2024-06-17 13:30:00.000	67,63	186,89	102	2024-06-18 09:45:00.000	41,79	98,72
73	2024-06-17 13:45:00.000	67,12	195,74	103	2024-06-18 10:00:00.000	44,37	101,84
74	2024-06-17 14:00:00.000	66,22	204,13	104	2024-06-18 10:15:00.000	46,92	105,15
75	2024-06-17 14:15:00.000	64,99	211,92	105	2024-06-18 10:30:00.000	49,42	108,68
76	2024-06-17 14:30:00.000	63,47	219,02	106	2024-06-18 10:45:00.000	51,88	112,48
77	2024-06-17 14:45:00.000	61,71	225,44	107	2024-06-18 11:00:00.000	54,26	116,61
78	2024-06-17 15:00:00.000	59,75	231,23	108	2024-06-18 11:15:00.000	56,55	121,13
79	2024-06-17 15:15:00.000	57,63	236,46	109	2024-06-18 11:30:00.000	58,74	126,1
80	2024-06-17 15:30:00.000	55,39	241,19	110	2024-06-18 11:45:00.000	60,78	131,6
81	2024-06-17 15:45:00.000	53,05	245,5	111	2024-06-18 12:00:00.000	62,64	137,7
82	2024-06-17 16:00:00.000	50,63	249,46	112	2024-06-18 12:15:00.000	64,29	144,47
83	2024-06-17 16:15:00.000	48,15	253,12	113	2024-06-18 12:30:00.000	65,67	151,92
84	2024-06-17 16:30:00.000	45,62	256,54	114	2024-06-18 12:45:00.000	66,74	160,03
85	2024-06-17 16:45:00.000	43,06	259,75	115	2024-06-18 13:00:00.000	67,45	168,69
86	2024-06-17 17:00:00.000	40,47	262,78	116	2024-06-18 13:15:00.000	67,76	177,69
87	2024-06-17 17:15:00.000	37,86	265,68	117	2024-06-18 13:30:00.000	67,66	186,76
88	2024-06-17 17:30:00.000	35,25	268,46	118	2024-06-18 13:45:00.000	67,15	195,62
89	2024-06-17 17:45:00.000	32,63	271,15	119	2024-06-18 14:00:00.000	66,26	204,03
90	2024-06-17 18:00:00.000	30,02	273,76	120	2024-06-18 14:15:00.000	65,03	211,83

Fig. 4.2 – Rezultatele calculului orbital pentru ziua de 17, respectiv 18 iunie (Sursa: Sql Server)

121	2024-06-18 14:30:00.000	63,51	218,94
122	2024-06-18 14:45:00.000	61,75	225,38
123	2024-06-18 15:00:00.000	59,8	231,18
124	2024-06-18 15:15:00.000	57,68	236,41
125	2024-06-18 15:30:00.000	55,44	241,15
126	2024-06-18 15:45:00.000	53,1	245,47
127	2024-06-18 16:00:00.000	50,68	249,43
128	2024-06-18 16:15:00.000	48,2	253,09
129	2024-06-18 16:30:00.000	45,67	256,51
130	2024-06-18 16:45:00.000	43,11	259,72
131	2024-06-18 17:00:00.000	40,52	262,76
132	2024-06-18 17:15:00.000	37,91	265,66
133	2024-06-18 17:30:00.000	35,3	268,44
134	2024-06-18 17:45:00.000	32,68	271,13
135	2024-06-18 18:00:00.000	30,07	273,74

Fig. 4.3 – Rezultatele calculului orbital pentru ziua de 18 iunie (Sursa: Sql Server)

Din datele furnizate pentru elevația și azimutul Soarelui în perioada 16.06.2024 - 18.06.2024, s-au generat graficele corespunzătoare pentru a ilustra evoluția acestor unghiuri în funcție de timp.

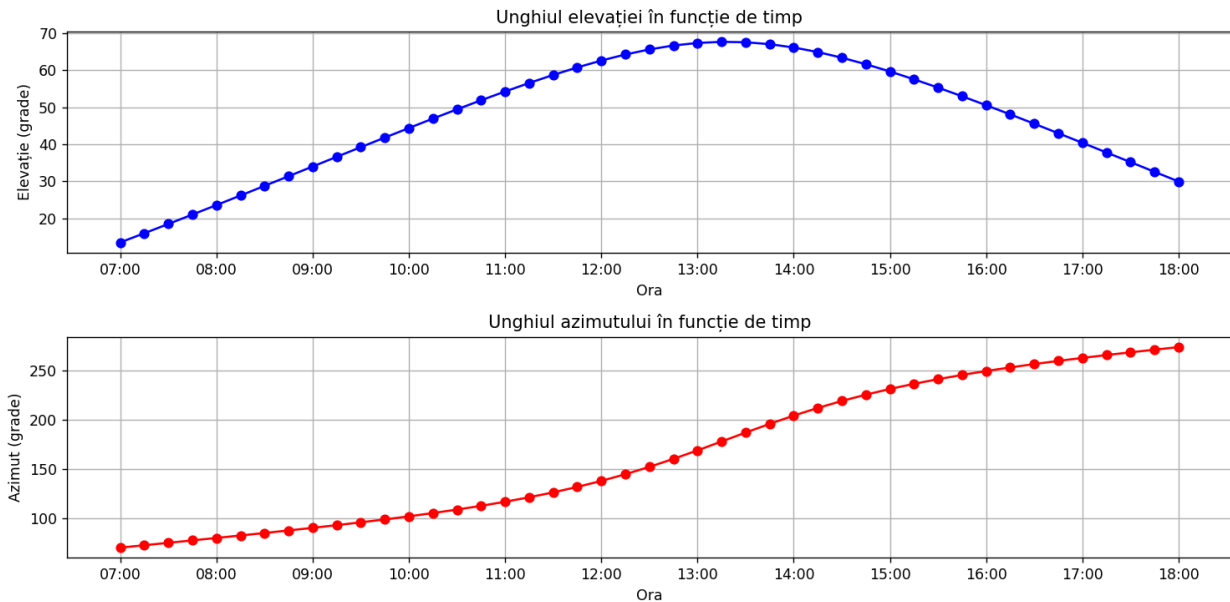


Fig. 4.4 – Reprezentare grafică al elevației și azimutului în funcție de intervalul orar 07:00-18:00 (Sursa: Python)

Graficul a fost realizat pe baza mediei celor 3 zile ale fiecărei ore deoarece unghiurile aveau o diferență maximă de 0.1 grade.

Variația elevației în funcție de timp ilustrează creșterea unghiului elevației pe parcursul dimineții, atingând un punct maxim în jurul prânzului, după care scade pe parcursul după-amiezii. Acest comportament este așteptat și corespunde mișcării Soarelui. Graficul azimutului în funcție de timp arată variația unghiului azimutului pe parcursul zilei. Azimutul crește monoton de la răsărit până la apus, ceea ce indică mișcarea aparentă a Soarelui pe cer de la est către vest.

În privința datelor colectate de către dispozitivele de determinare a iluminării de pe sistemul solar biaxial și panoul fotovoltaic fix, s-au obținut date. Pentru fiecare dintre cele 3 zile, s-au strâns 270 de înregistrări pe zi. Doar sistemul biaxial a fost echipat cu senzori de lumină, ceea ce a permis realizarea unei singure analize pentru procentul de iluminare. Din cauza volumului mare de date, datorat înregistrării măsurătorilor la fiecare 5 minute, s-a realizat o medie pentru cele trei zile. Datele au fost grupate în intervale de 30 de minute, iar pentru fiecare interval s-au calculat media tensiunii și media procentului de iluminare în cazul sistemului biaxial.

Panoul solar fix a fost poziționat astfel încât razele soarelui să fie perpendiculare pe suprafața panoului în intervalul orei 12. Această configurare a fost aleasă pentru a maximiza eficiența captării energiei solare în majoritatea parte a zilei.

	Interval	Medie_Tensiune	Medie_Procent_Iluminare
1	07:00 - 07:30	3,25	47,5
2	07:30 - 08:00	3,85	53,5
3	08:00 - 08:30	4,45	59,5
4	08:30 - 09:00	4	55
5	09:00 - 09:30	3,55	50,5
6	09:30 - 10:00	4,65	57,33333333333333
7	10:00 - 10:30	5,333333333333333	63,5
8	10:30 - 11:00	5,9	68
9	11:00 - 11:30	6	73,33333333333333
10	11:30 - 12:00	6	72,5
11	12:00 - 12:30	6	72,5
12	12:30 - 13:00	6	72,5
13	13:00 - 13:30	6	72,5
14	13:30 - 14:00	6	72,5
15	14:00 - 14:30	6	72,5
16	14:30 - 15:00	6	72,5
17	15:00 - 15:30	6	72,5
18	15:30 - 16:00	6	72,5
19	16:00 - 16:30	5,911666666666667	65
20	16:30 - 17:00	5,543333333333333	61,25
21	17:00 - 17:30	5,378333333333333	57,75
22	17:30 - 18:00	5,133333333333333	54,75

Fig. 4.5 - Datele preluate de sistemul biaxial (Sursa: Sql Server)

	Interval	Medie_Tensiune
1	07:00 - 07:30	2,88
2	07:30 - 08:00	3,13
3	08:00 - 08:30	3,7
4	08:30 - 09:00	3,8
5	09:00 - 09:30	3,64
6	09:30 - 10:00	3,99
7	10:00 - 10:30	4,64
8	10:30 - 11:00	5,12
9	11:00 - 11:30	6
10	11:30 - 12:00	6
11	12:00 - 12:30	6
12	12:30 - 13:00	6
13	13:00 - 13:30	6
14	13:30 - 14:00	6
15	14:00 - 14:30	6
16	14:30 - 15:00	6
17	15:00 - 15:30	6
18	15:30 - 16:00	5,45
19	16:00 - 16:30	5,02
20	16:30 - 17:00	4,79
21	17:00 - 17:30	3,98
22	17:30 - 18:00	3,5

Fig. 4.6 - Datelor preluate de panoul solar (Sursa: Sql Server)

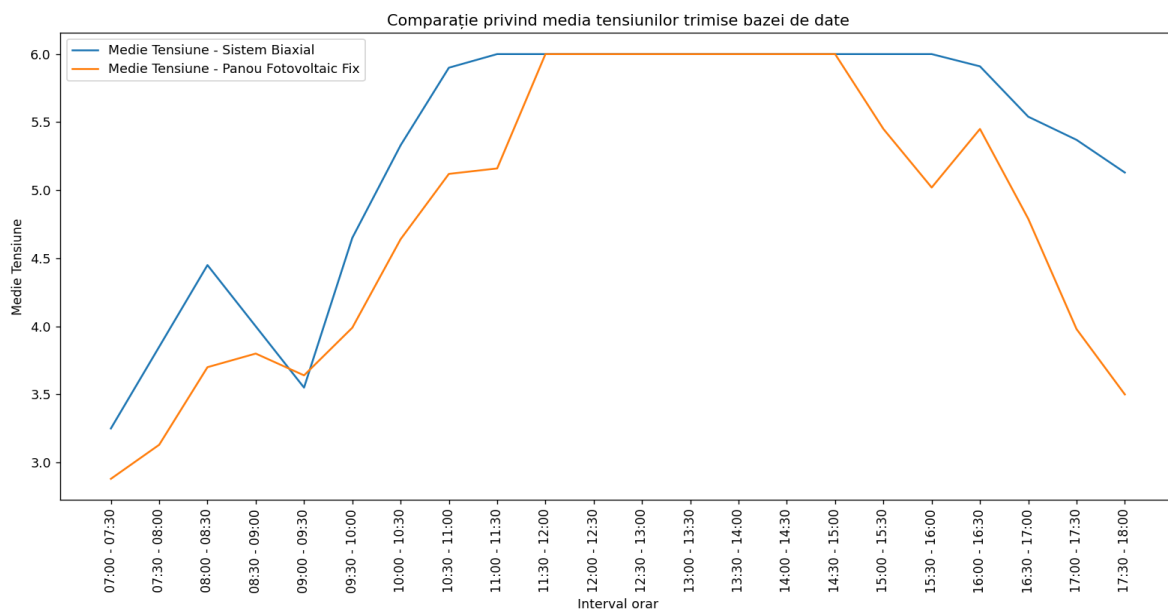


Fig. 4.7 – Reprezentare grafică al datelor preluate de cele două tabele (Sursa Python)

- ❖ Puterea electrică pentru panoul solar la tensiune maximă

$$P_{out} = V_{med_panou} * I = 0.7728 W$$

- ❖ Randamentul este $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} * 100 = 14.55\%$ pentru panoul solar la tensiune maximă;

S-a folosit tensiunea de la bornele panoului solar pentru măsurători deoarece curentul generat este direct proporțional cu intensitatea luminii incidente și tinde să nu fie la fel de stabil ca tensiunea în intervalul său maxim de operare. În anumite condiții, tensiunea variază liniar cu iluminarea, ceea ce permite o comparație mai ușoară între cele două sisteme. Pentru măsurători comparative, s-a presupus că intensitatea curentului electric este constantă datorită variațiilor foarte mici și mai ales datorită panoului solar care produce un curent relativ mic.

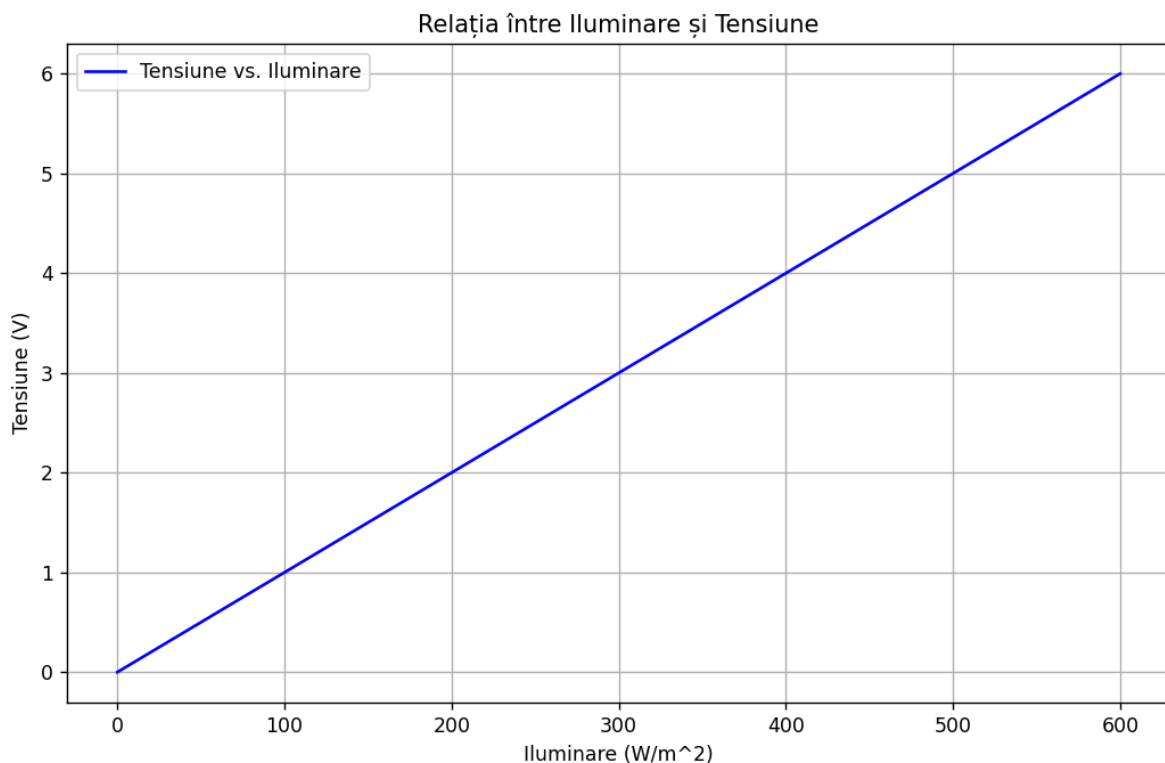


Fig. 4.9 – Reprezentare grafică a dependenței
dintre tensiune și iluminare

(Sursa: Python)

4.2 Concluzii

În contextul necesității de soluții eficiente pentru exploatarea energiei solare, această lucrare și-a propus dezvoltarea și implementarea unui sistem biaxial pentru panourile fotovoltaice. Sistemul realizat reprezintă o îmbunătățire față de sistemele fotovoltaice fixe, maximizând astfel expunerea la soare pe parcursul întregii zile, demonstrând un randament superior cu 13,06%.

Performanța sistemului biaxial este îmbunătățită datorită reducerii forțelor de frecare dintre componente, utilizând bile metalice care minimizează suprafața de contact și motoarelor servo 180 montate în stâlpii de susținere al panoului pentru a menține axa suportului simetrică, pentru o orientare solară a unghiurilor precisă.

Utilizarea plăcii Arduino Uno a permis flexibilitate în alegerea componentelor electronice și bibliotecilor necesare pentru dezvoltarea prototipului. Sistemul software include un algoritm de calcul orbital, care oferă date despre poziția soarelui. Aceste date sunt comparate cu înregistrările magnetometrului pentru mișcarea în azimut, permițând astfel o ajustare automată și precisă a panourilor. Senzorii de lumină sunt integrați pentru determinarea și monitorizarea procentul de lumină solară primită într-un interval de timp setat, informațiile evaluând eficiența energetică în timp real sistemului.

Avantajul sistemului biaxial este asupra zonelor cu spațiu limitat sau regiunilor cu condiții geografice care limitează razele solare să atingă panoul fotovoltaic numai în anumite momente ale zilei. Capacitatea sistemului biaxial de a urmări mișcarea soarelui pe două axe maximizează captarea razelor solare, astfel producția să realizeze energie electrică chiar și în condiții de iluminare fluctuantă. Acest prototip se dovedește ca o soluție eficientă pentru locații unde spațiul este restricționat și pentru regiuni cu expunere solară parțială pe parcursul zilei.

ANEXA 1

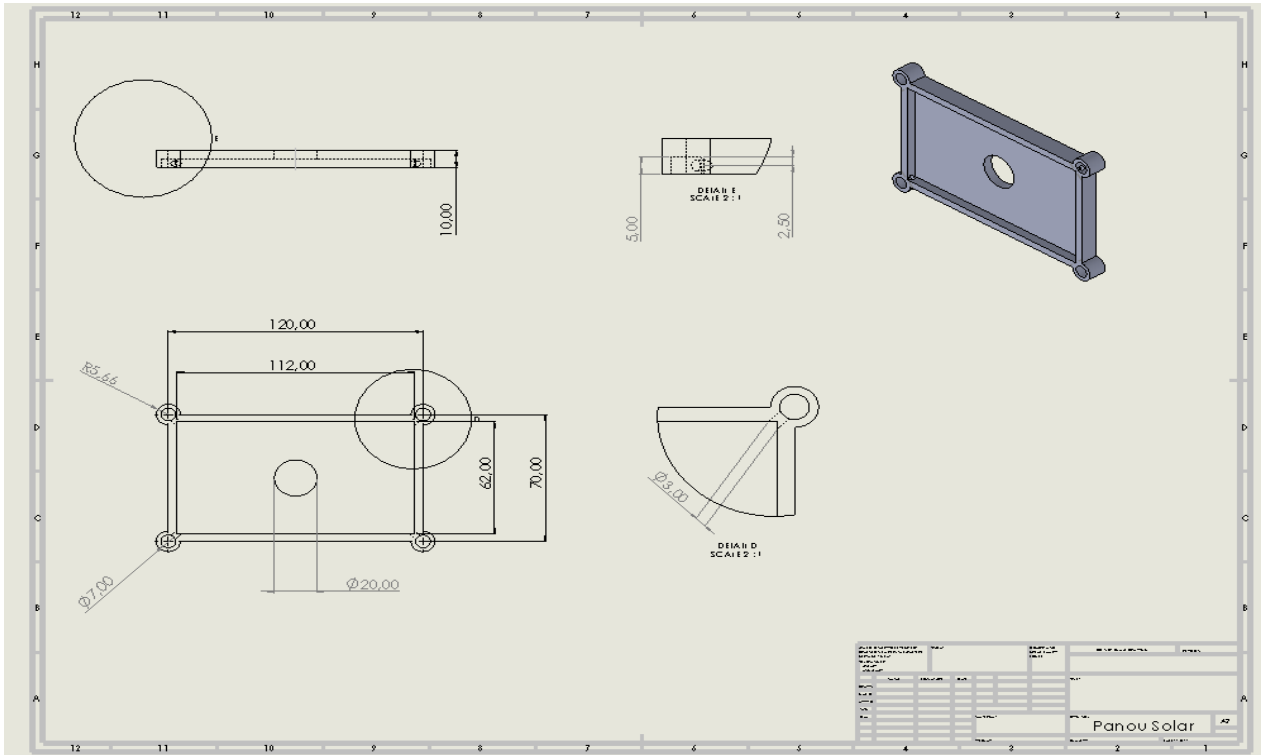


Fig. 1 – Desenul tehnic plăcii de susținere al panoului fotovoltaic (Sursa: SolidWorks)

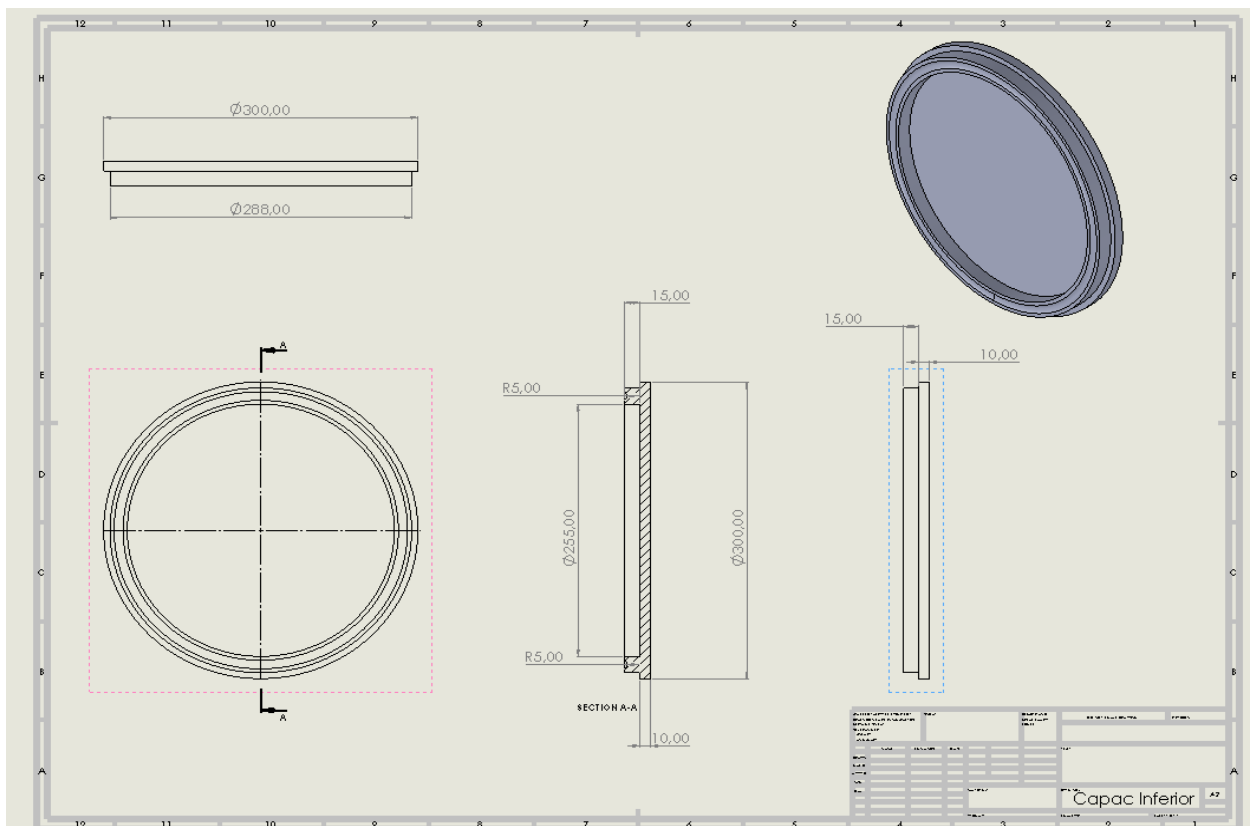


Fig. 2 – Desenul tehnic al capacului inferior care susține prototipul și menține motorul servo 360 (Sursa: SolidWorks)

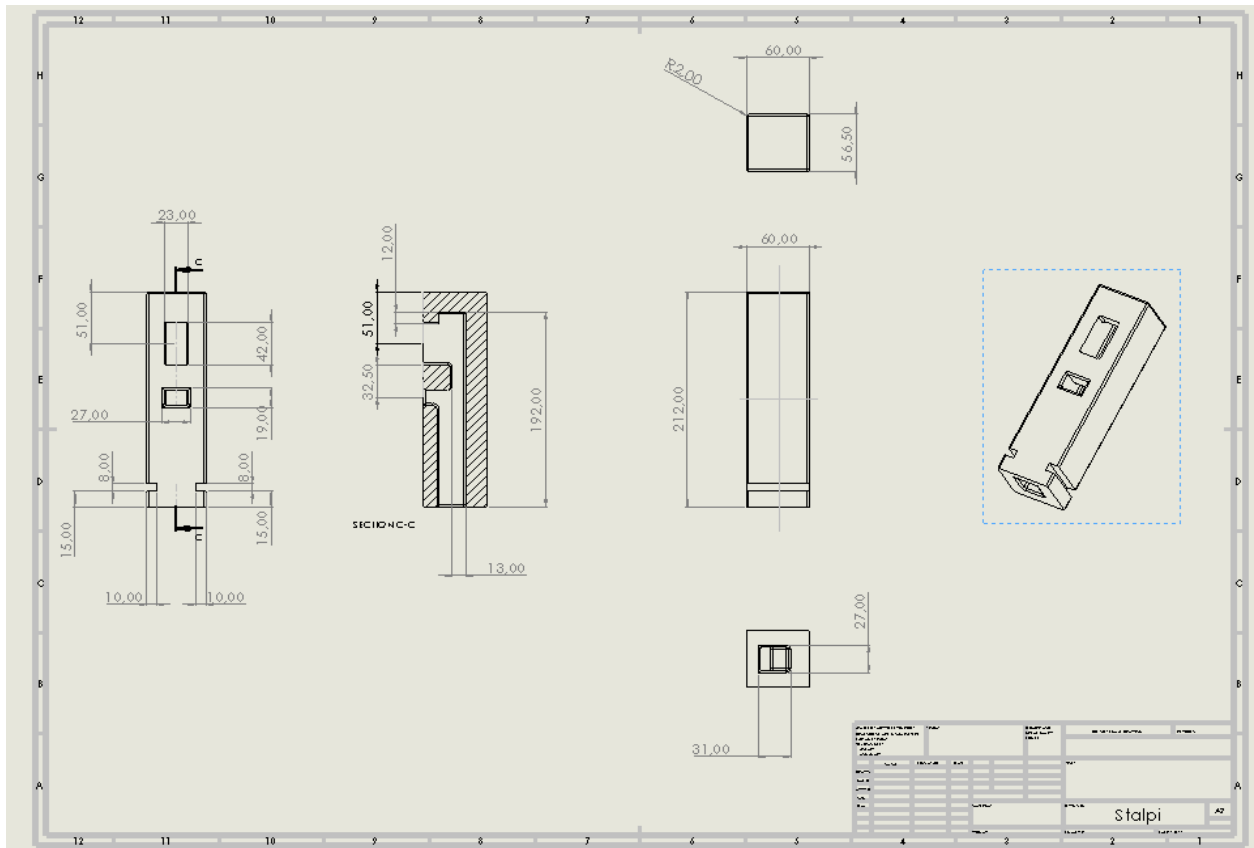


Fig. 3 – Stâlpii de susținere al panoului, utilizați pentru mișcarea de elevație cu ajutorul motorului servo 180 (Sursa: SolidWorks)

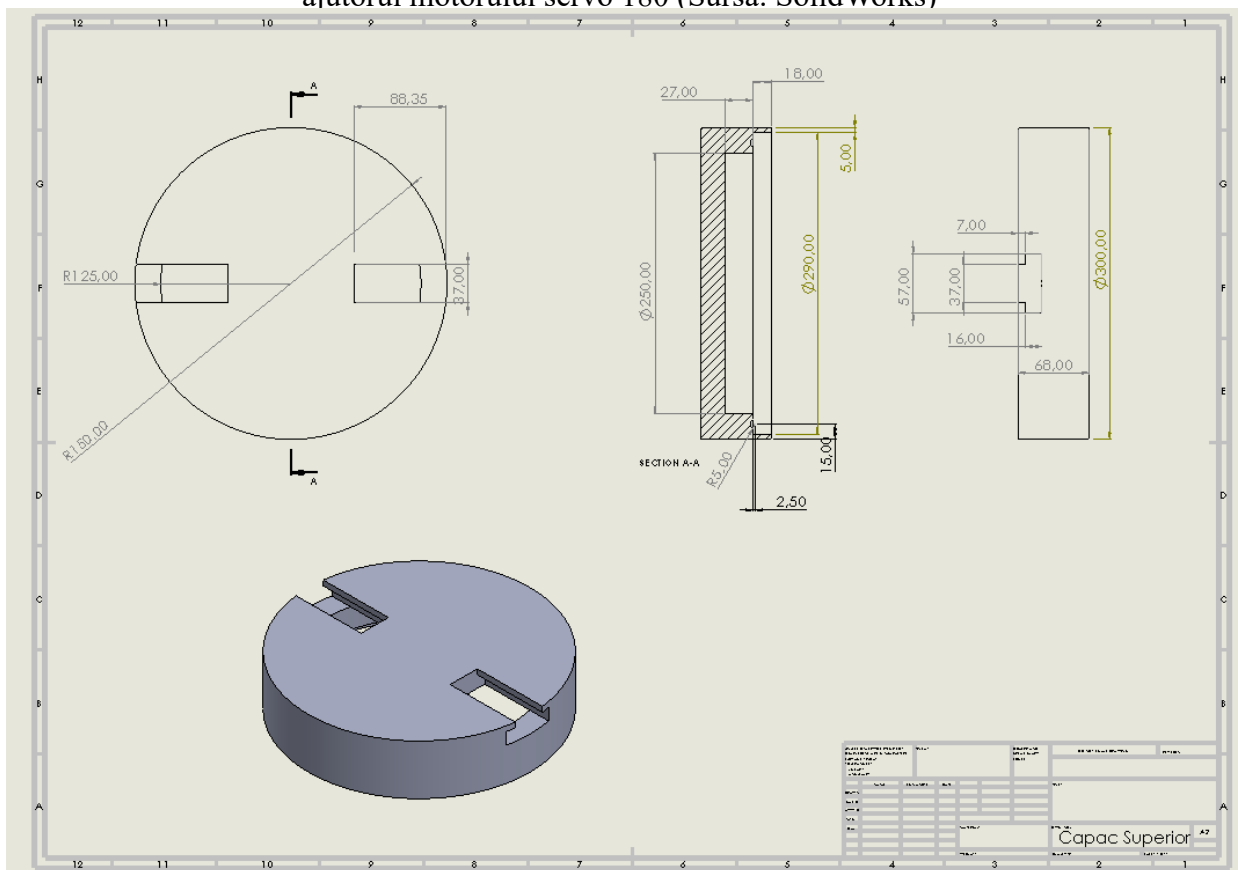


Fig. 4 – Capacul superior de susținere al celor doi stâlpi (Sursa: SolidWorks)

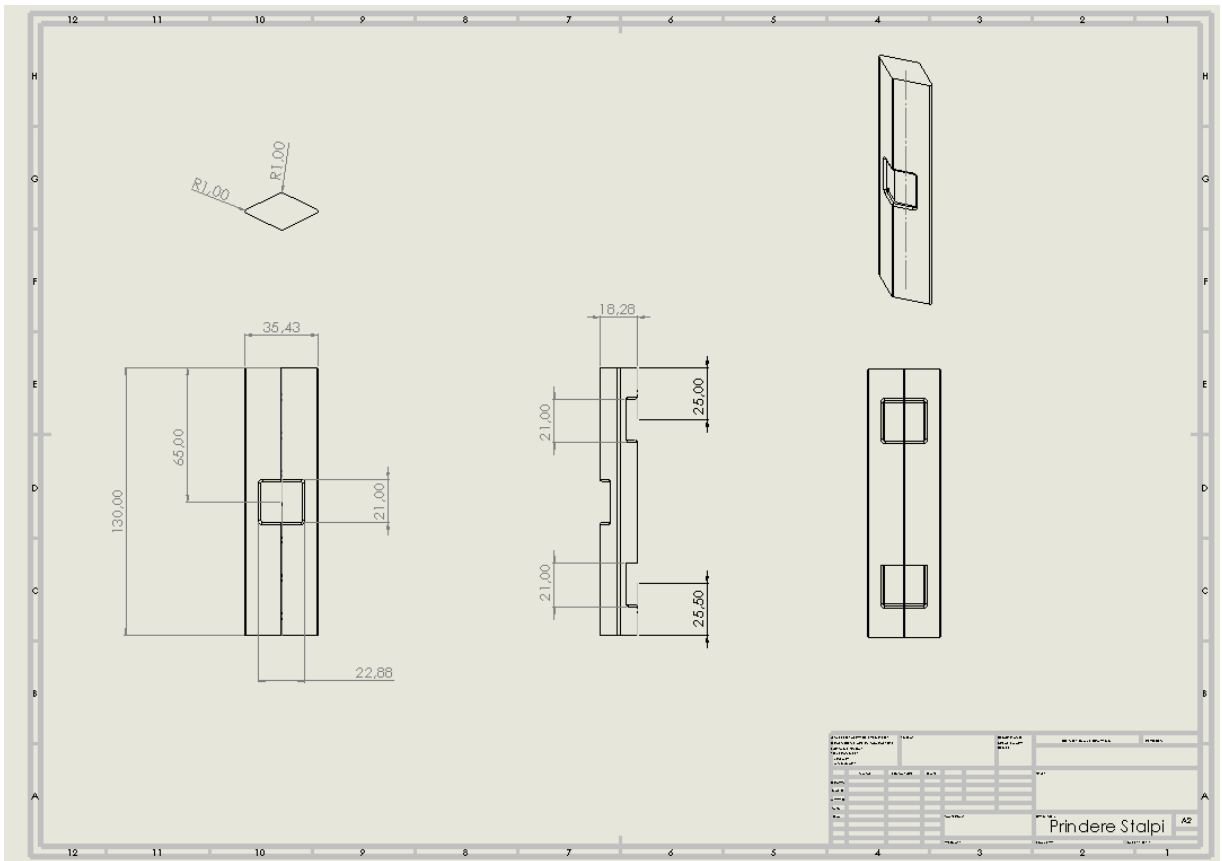


Fig. 5 – Suportul de susținere al panoului, legat la stâlpi (Sursa: SolidWorks)

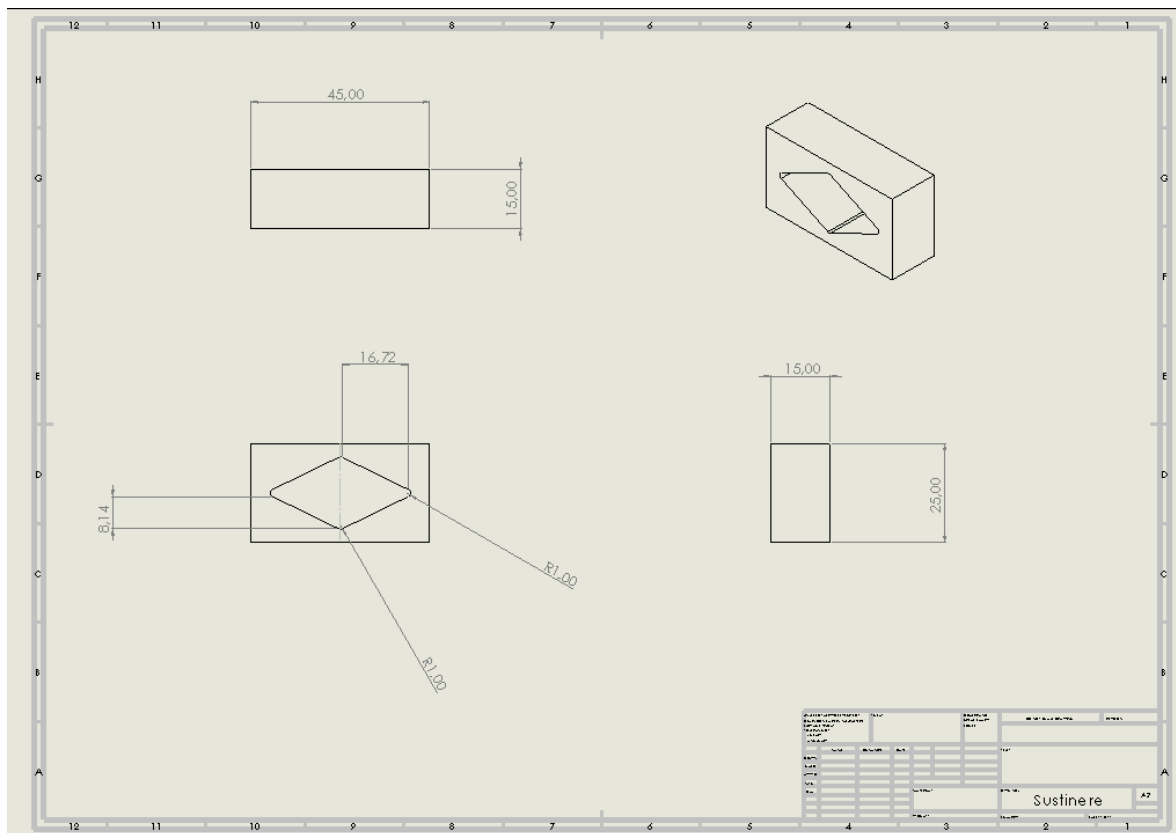


Fig. 6 – Suporturi de susținere al sistemului de fixare al panoului solar (Sursa: SolidWorks)

Bibliografie

- [1] <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-production.html>
(accesat la data 22.11.2023)
- [2] David Bodansky, Energy Consumption, American Association for the Advancement of Science, Vol. 242, No. 4877, 1988
- [3] John Chesshire, Alternative Energy Futures, Alexandrine Press, Vol. 5, 1979
- [4] Andrew Blakers, Learning from Fukushima, PETER VAN NESS and MEL GURTOV, 2017
- [5] M. Mahendran, Ong H.L., Giok Chui Lee, K. Thanikaikumar, An Experimental comparison study between Single-Axis Tracking and Fixed Photovoltaic Solar Panel Efficiency and Power Output: Case Study in East Coast Malaysia, Environmental Science, 2013
- [6] R.G. Vieira, Renewable and Sustainable Energy Reviews, ELSEVIER, vol. 64, 672-681, 2016
- [7] https://ro.wikipedia.org/wiki/Rezistivitate_electric%C4%83
(Accesat la data 27.03.2024)
- [8] <https://www.renovablesverdes.com/ro/materiale-conductoare-%C8%99i-izolante/>
(Accesat la data 27.03.2024)
- [9] <https://periodictable.chemicalaid.com/element.php/Si?lang=en>
- [10] <https://www.fizichim.ro/en/docs/fizica/clasa12/capitolul4-semiconductoare-aplicatii-in-electronica/IV-1-conductia-electrica-in-metale-si-semiconductori/IV-1-1-benzile-de-energie-si-clasificarea-solidelor-in-metale-semiconductori-si-izolatori/>
(Accesat la data de 27.03.2024)
- [11] Noel. M. Morris, MASTERING ELECTRONIC AND ELECTRICAL CALCULATIONS, MACMILLAN PRESS LTD, 1996

[12] users.utcluj.ro/~mbirlea/s/01s.htm

(Accesat la data de 28.03.2024)

[13] <https://diodaservice.ro/2018/11/12/codul-culorilor-rezistente/>

(Accesat la data de 28.03.2024)

[14] Daniel McBrearty, 8 - Voltage dividers, Editor(s): Daniel McBrearty, Electronics Calculations Data Handbook, Newnes, 1998,

[15] https://ro.wikipedia.org/wiki/Divizor_de_tensiune

(Accesat la data de 11.04.2024)

[16] GH. Buzdugan, Rezistența materialelor, Editura tehnică, București, 1980

[17] Can Tang, Junwei Liu, Yang Yang, Ye Liu, Shiping Jiang, Wenfeng Hao, Effect of process parameters on mechanical properties of 3D printed PLA lattice structures, Composites Part C: Open Access, Volume 3, 2020,

[18] Cho, Ei & Hein, Ho & Lynn, Zarni & Hla, Saw & Tran, Thanh. (2019), Investigation on Influence of Infill Pattern and Layer Thickness on Mechanical Strength of PLA Material in 3D Printing Technology, RMP Publications, volume 1, 27-37, 2019

[19] <https://overture3d.com/blogs/news/advantages-and-disadvantages-of-pla-material-in-3d-printing>

(Accesat la data de 04.06.2024)

[20] Singhvi MS, Zinjarde SS, Gokhale DV. Polylactic acid: synthesis and biomedical applications. J Appl Microbiol. 2019 Dec;127(6):1612-1626

[21] Chalgham, A.; Ehrmann, A.; Wickenkamp, I. Mechanical Properties of FDM Printed PLA Parts before and after Thermal Treatment. Polymers 2021

[22] <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-wifi-rev2>

(Accesat la data de 08.06.2024)

[23] <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-wifi-rev2/#features>

(Accesat la data de 08.06.2024)

[24] https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf

(Accesat la data de 09.06.2024)

[25] <https://randomnerdtutorials.com/guide-to-neo-6m-gps-module-with-arduino/>

(Accesat la data de 09.06.2024)

[26] https://www.handsontec.com/dataspecs/motor_fan/MG996R.pdf

(Accesat la data de 09.06.2024)

[27] <https://www.generationrobots.com/media/module%20boussole%203%20axes%20HMC5883L/29133-HMC5883L-Compass-Module-IC-Documentation-v1.0.pdf>

(Accesat la data de 09.06.2024)

[28] Kevin Krisciunas; How solar panels work, in theory and in practice. AIP Advances 1 August 2023; 13 (8): 085222.

[29] NREL, Basic Photovoltaic Principles and Methods, Technical Information Office, February 1982

[30] <https://rhodesmill.org/pyephem/>

(Accesat la data de 17.06.2024)

[31] <https://pypi.org/project/pytz/>

(Accesat la data de 17.06.2024)

[32] <https://www.geeksforgeeks.org/python-datetime-module/>

(Accesat la data de 17.06.2024)

[33] <https://pypi.org/project/pyodbc/>

(Accesat la data de 17.06.2024)

[34] <https://pyserial.readthedocs.io/en/latest/>

(Accesat la data de 17.06.2024)

[35] <https://docs.python.org/3/library/datetime.html>

(Accesat la data de 17.06.2024)

[36] <https://docs.python.org/3/library/threading.html>

(Accesat la data de 17.06.2024)

[37] <https://www.jameco.com/jameco/products/prodds/2150248.pdf>

(Accesat la data de 17.06.2024)

[38] <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/grove-3-axis-digital-compass-hmc5883l/>

(Accesat la data de 17.06.2024)

[39] <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/servo-motors/>

(Accesat la data de 17.06.2024)

[40] <https://www.arduino.cc/reference/en/language/variables/data-types/string/functions/substring/>

(Accesat la data de 17.06.2024)

Anexa 2

DECLARAȚIE PE PROPRIE RĂSPUNDERE

Subsemnatul, **Croitoru Alexandru**, declar că Lucrarea de licență/diplomă/disertație pe care o voi prezenta în cadrul examenului de finalizare a studiilor la Facultatea de **Fizică**, din cadrul Universității Babeș-Bolyai, în sesiunea **Iulie 2024**, sub îndrumarea **Conf. dr. ing. Flaviu Turcu**, reprezintă o operă personală. Menționez că nu am plagiat o altă lucrare publicată, prezentată public sau un fișier postat pe Internet. Pentru realizarea lucrării am folosit exclusiv bibliografia prezentată și nu am ascuns nici o altă sursă bibliografică sau fișier electronic pe care să le fi folosit la redactarea lucrării.

Prezenta declarație este parte a lucrării și se anexează la aceasta.

Data,

Nume,
Croitoru Alexandru

Semnătură

