

Universitatea Politehnică din București
Școala doctorală de Inginerie Electrică



Extinderea autonomiei automobilelor electrice cu ajutorul panourilor solare

Rezumatul tezei de doctorat

Autor:

Ing. Alexandru ȚURCANU

Coordonator științific

Prof. Dr. Ing. Aurelian CRĂCIUNESCU

BUCUREȘTI

2023

Cuprins

Capitolul 1 - Introducere	Pg.3
Capitolul 2 - Situația actuală a automobilelor electrice	Pg.3
2.1. Introducere	Pg.3
Capitolul 3 - Energia electrică obținută experimental de-a lungul traseului	Pg.4
3.1. Introducere	Pg.4
3.2. Configurația utilizată pentru captarea energiei solare	Pg.4
3.3. Achiziția datelor experimentale	Pg.5
3.4. Studiul extinderii capacității de captare a panourilor solare	Pg.5
Capitolul 4 - Energia electrică obținută prin simulare de-a lungul traseului	Pg.7
4.1. Introducere	Pg.7
4.2. Schema de simulare	Pg.7
4.3. Blocurile funcționale	Pg.8
4.4. Rezultatele experimentale	Pg.8
Capitolul 5 - Energia electrică obținută experimental în parcare	Pg.9
5.1. Alegerea condițiilor de desfășurare ale experimentului	Pg.9
5.2. Descrierea experimentului	Pg.9
5.3. Studiul extinderii capacității de captare a panourilor solare	Pg.10
Capitolul 6 - Energia electrică obținută prin simulare în parcare	Pg.11
6.1. Introducere	Pg.11
6.2. Schema de simulare	Pg.11
6.3. Rezultatele obținute prin simulare	Pg.12
Capitolul 7 - Extinderea autonomiei automobilelor electrice prin amplasarea panourilor fotovoltaice pe acoperișul acestora	Pg.13
7.1. Introducere	Pg.13
7.2. Selectarea automobilelor electrice pentru studiu	Pg.13
7.3. Suprafața disponibilă a acoperișului automobilelor electrice vs. Energia solară disponibilă	Pg.13
7.4. Consumul de energie electrică conform WLTP vs. Energia solară disponibilă – autonomia extinsă 1	Pg.14
7.5. Consumul de energie al automobilelor electrice supuse testelor ECE și EUDC vs. energia solară disponibilă – autonomia extinsă 2	Pg.15
Capitolul 8 - Plan de afaceri - stații mobile de încărcare pentru automobilele electrice	Pg.18
8.1 Date generale	Pg.19
8.2 Viziune, strategie	Pg.19
8.3 Cifra de afaceri previzionată și numărul de salariați	Pg.19
8.4 Structura de finanțare a proiectului de investiții	Pg.19
8.5 Graficul de realizare a investiției	Pg.20
8.6 Riscurile afacerii Proiecții financiare	Pg.20
Contribuții originale	Pg.21
Lista publicațiilor autorului	Pg.21

Capitolul 1- Introducere

În această lucrare, se prezintă un studiu asupra posibilității extinderii autonomiei automobilelor electrice prin amplasarea de panouri fotovoltaice pe acoperișul acestora. Studiul este compus dintr-o secțiune practică și una teoretică cu rolul de a valida experimentul.

În secțiunea practică a lucrării s-a realizat un ansamblu experimental cu ajutorul unui panou solar amplasat pe acoperișul unui automobil aflat în deplasare de-a lungul unui traseu impus și apoi în parcare, în municipiul Constanța. În urma experimentului s-a determinat puterea electrică și energia electrică obținută cu ajutorul panourilor solare. Cu ajutorul valorilor energiei obținute cu panourile solare, prin extrapolarea suprafeței de captare la suprafața acoperișurilor a 6 modele de automobile electrice, s-a obținut energia electrică maximă disponibilă prin utilizarea panourilor solare. Ulterior, cele 6 automobile electrice alese pentru studiu, au fost supuse testelor de performanță EUDC și ECE-15, pentru determinarea energiei electrice consumate. Prin asocierea valorilor energiei electrice disponibile obținute cu ajutorul panourilor solare și rezultatele energiei electrice consumate din timpul testelor de performanță, s-a determinat distanța care poate fi parcursă de fiecare model de automobil electric, doar cu ajutorul panourilor solare. Această distanță, reprezintă autonomia extinsă a automobilelor electrice prin amplasarea panourilor fotovoltaice pe acoperișul acestora.

În secțiunea teoretică a lucrării, s-au efectuat o serie de simulări cu ajutorul limbajului Matlab-Simulink, pentru obținerea puterii electrice și a energiei electrice, simulând condițiile din timpul experimentului practic. Prin compararea rezultatelor practice cu cele teoretice s-au obținut abateri rezonabile, care validează experimentul.

La sfârșitul lucrării s-a realizat un plan de afaceri pentru realizarea unor stații mobile de încărcare a automobilelor electrice, în scopul extinderii autonomiei acestora, până la primul punct de încărcare.

Capitolul 2 - Situația actuală a automobilelor electrice

2.1 Introducere

În tabelul 2.1, se vor prezenta 6 modele de automobile electrice de pe piața din România, din topul celor mai vândute automobile electrice ale anului 2022, cu caracteristicile necesare dezvoltării studiului forțelor rezistive.

Tabelul 2.1- Parametrii forțelor rezistive ai automobilelor electrice propuse pentru studiu

Tip automobil	Masa (kg)	Coef. aerodinamic	Aria frontala autovehicul (m ²)	Coef. rez. rulare
Hyundai Ioniq 5	1830-2115	0.288	2.64	0.0125
Renault Megane E-Tech	1708 kg	0.29	2.67	0.0125
Volkswagen E-Up	1160 kg	0.31	2.47	0.0125
Opel Corsa E	1455 kg	0.29	2.13	0.0125
Hyundai Kona Electric 2021	1685 kg	0.29	2.8	0.0125
Mazda MX-30	1660 kg	0.33	2.81	0.0125

Capitolul 3- Energia electrică obținută de-a lungul traseului

3.1 Introducere

În acest capitol se va prezenta un experiment practic de obținere a energiei solare cu ajutorul unui panou solar amplasat pe acoperișul unui vehicul care circulă pe un traseu din municipiul Constanța, pe o distanță totală de 11.6 km dus-întors (5.8 km dus-întors), într-un interval de 25 de minute.

3.2 Configurația utilizată pentru captarea energiei solare

Montajul experimental este compus dintr-un panou fotovoltaic de 15 Wpk, acumulator gel-plumb 12 V, 7 Ah, piranometru SM206-SOLAR pentru măsurarea radiației globale, termometru cu IR, controller solar, un telefon de tip smartphone cu o aplicație Android pentru măsurarea unghiului de înclinație a panoului solar, un dispozitiv pentru măsurat tensiunea electrică, curentul electric, puterea electrică și energia electrică produsă de panoul solar, denumit „battery meter”.

Energia produsă de panoul solar a fost stocată într-un acumulator de Pb, 12V, 7Ah, prin intermediul regulatorului de încărcare solar-charge controller, dispus în interiorul mașinii la pasagerul din dreapta. Regulatorul de încărcare programabil, sau controller-ul solar are implementat algoritmul PWM (Pulse Width Modulation), funcționează până la un curent maxim de 30 A este cu afișaj LCD și are două porturi USB.

3.3 Achiziția datelor experimentale

Pe parcursul călătoriei, pentru achiziția valorilor instantanee ale parametrilor electrici de pe modulul „Battery meter” și a valorilor instantanee ale radiației globale, s-a realizat o înregistrare video cu ajutorul unui telefon mobil, iar datele au fost prelucrate ulterior, pe baza înregistrarea video și introdusă într-un tabel.

Puterea teoretică, a fost obținută utilizând valorile înregistrate pentru radiația solară cu ajutorul contorului de energie solară în timpul călătoriei dus-întors. Puterea teoretică, a fost obținută cu ajutorul formulei 3.1.

$$P_{th} = \frac{\eta_p \cdot I_{r_{global}}}{1000} \quad (3.1)$$

unde P_{th} este puterea teoretică la 25°C, η_p este eficiența panoului solar, $I_{r_{global}}$ este radiația solară globală măsurată de contorul de energie solară. Rezultatele analizei între puterea teoretică și puterea generată în timpul călătoriei dus-întors, sunt evidențiate în Fig. 3.3.1.

Energia electrică obținută cu ajutorul panoului solar, pe timpul deplasării automobilului, s-a evidențiat funcție de timp, în fig. 3.3.2.

Pentru a calcula diferența dintre valorile înregistrate ale puterii teoretice și valorile puterii generate de panoul solar în timpul călătoriei, prin intermediul formulei 3.2, se calculează eroarea relativă în procente.

$$E_{rel} = \left(\frac{P_{th} - P_{ex}}{P_{ex}} \right) \cdot 100 \quad (3.2)$$

Unde E_{rel} este eroare relativă, P_{ex} este puterea generată de panoul solar în timpul călătoriei.

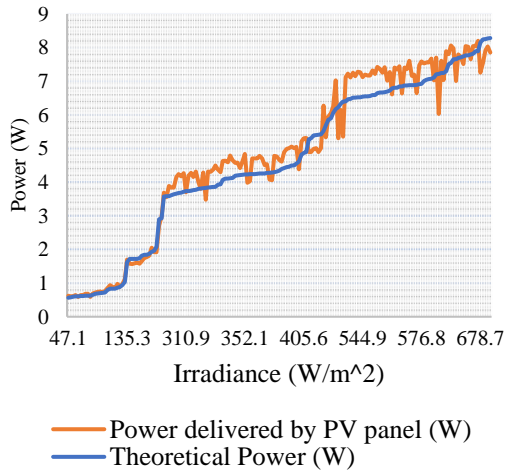


Fig. 3.3.1 – Puterea generată de panoul solar și puterea teoretică în funcție de radiația solară

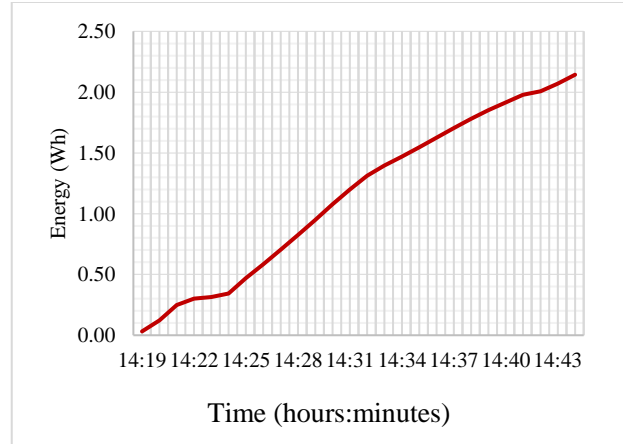


Fig. 3.3.2 – Cantitatea de energie obținută pe traseu

3.4 Studiul extinderii capacității de captare a panourilor solare

La realizarea studiului actual pentru estimarea suprafeței disponibile de captare a energiei solare s-au ales două cazuri. În primul caz, suprafața disponibilă pentru captare este reprezentată de suprafața acoperișului A_1 pe care se pot monta efectiv panouri fotovoltaice lipite de acoperiș, și este evidențiată prin formulele 3.7, 3.8, 3.9:

$$A_1 = L \cdot w_1 \quad (3.7)$$

$$A_1 = 1671 \text{ mm} \cdot 1024 \text{ mm} \quad (3.8)$$

$$A_1 \sim 1.7 \text{ m}^2 \quad (3.9)$$

În al doilea caz, suprafața disponibilă pentru captare A_2 , este reprezentată de suprafața acoperișului pe care se poate monta un suport tip “portbagaj” pe care se pot fixa panouri fotovoltaice, și este evidențiată prin formulele 3.10, 3.11, 3.12:

$$A_2 = L \cdot w_2 \quad (3.10)$$

$$A_2 = 1671 \text{ mm} \cdot 1197 \text{ mm} \quad (3.11)$$

$$A_2 \sim 2 \text{ m}^2 \quad (3.12)$$

Pentru a calcula energia obținută prin extensie 1, E_{1d} și 2 E_{2d} , s-au aplicat formulele de calcul 3.13, 3.14 :

$$E_{1d} = \frac{A_1 \cdot E_d}{A_{PV1}} \quad (3.13)$$

$$E_{2d} = \frac{A_2 \cdot E_d}{A_{PV1}} \quad (3.14)$$

Aplicând formulele 3.13 și 3.14, pe baza energiei obținute pe timpul deplasării s-au obținut valorile pentru energia prin extensie 1 și 2, valori care s-au introdus în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3- Energia extinsă obținută cu ajutorul panoului solar

Energia totală obținută (Wh)	Energia obținută Ed (Wh)	Energia obținută prin extensie 1 E1d (Wh)	Energia obținută prin extensie 2
	2.14	36.44	42.84

Pentru energia prin extensie 1, E_1 , s-a obținut valoarea de 36.44 Wh iar pentru energia prin extensie 2, E_2 valoarea de 42.84 Wh. Aceste valori indică potențialul energetic deosebit reprezentat de amplasarea panourilor fotovoltaice pe acoperișul automobilului pe durata deplasării acestuia.

Capitolul 4 - Energia electrică obținută prin simulare de-a lungul traseului

4.1 Introducere

În acest capitol se vor prezenta rezultatele valorilor puterii electrice obținute prin simulare, în vederea realizării unei comparații cu valorile puterii electrice obținute practic de-a lungul traseului, cu ajutorul panoului fotovoltaic montat pe acoperișul automobilului.

4.2 Schema de simulare

Pentru realizarea schemei de simulare, figura 4.1, s-a ales limbajul MATLAB/Simulink, pornind de la schema echivalentă pentru un ansamblu de celule fotovoltaice, figura 4.2.

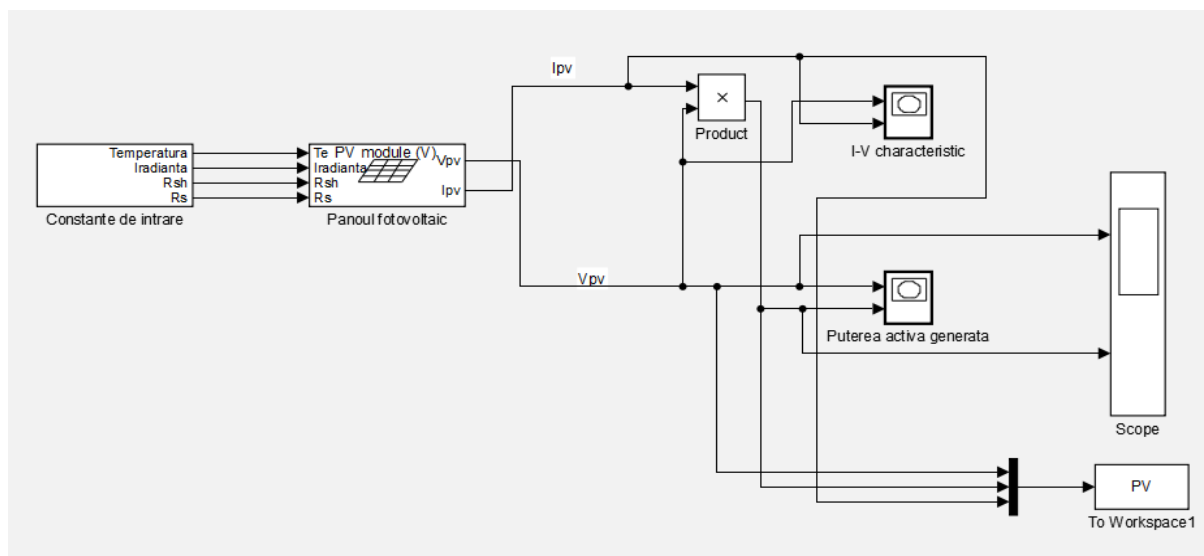


Fig. 4.1- Schema de simulare generală în Matlab-Simulink

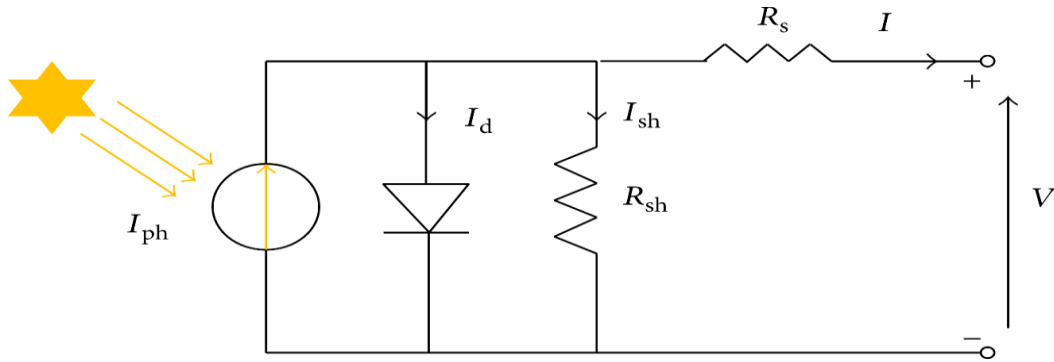


Fig. 4.2 – Schema electrică echivalentă de funcționare a celulelor fotovoltaice

Aplicând prima lege a lui Kirchhoff pentru un nod de rețea, se obține relația:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad 4.1$$

Din relația 4.1, se poate scrie curentul prin diodă I_d , în funcție de curentul de saturație, I_s , și se obține:

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{q(V + R_s I)}{K T N_s} \right) - 1 \right] - I_{sh} \quad 4.2$$

4.3 Blocurile funcționale

Schema de simulare, figura 4.1, este alcătuită din blocurile funcționale: blocul “Constante de intrare”, blocul „Panoul fotovoltaic”, blocul „Product”, blocurile „I-V characteristic”, și „Puterea electrică generată”, blocul „Scope” și blocul „PV, To Workspace”.

Blocul funcțional „Panoul fotovoltaic”, figura 4.4, a fost realizat pe baza formulelor 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 formule ce descriu funcționarea circuitului echivalent pentru celulele solare.

$$I_{ph} = (I_{sc} + K_i(T - 298.15)) \frac{G}{1000} \quad 4.3$$

$$I_s = I_{rs} \left(\frac{T}{T_n} \right)^3 \exp \left[\frac{q E_g \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right)}{nK} \right] \quad 4.4$$

$$I_{sh} = \frac{(V + I R_s)}{R_{sh}} \quad 4.5$$

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\exp \left(\frac{q V_{oc}}{n N_s K T} \right) - 1} \quad 4.6$$

Pentru a calcula I_d , s-a realizat blocul funcțional I_d , unde I_d este scris în funcție de curentul de saturație I_s , cu ajutorul ecuației 4.7:

$$I_d = I_s \left[\exp \left(\frac{q(V_{pv} + R_s I)}{nKT N_s} \right) - 1 \right] \quad 4.7$$

4.4 Rezultatele experimentale

Prin introducerea valorilor constantelor din tabelul 4.1, a variabilelor radiație solară și temperatura măsurată, s-a compilat schema de simulare fig. 4.1, și s-au obținut rezultatele din tabelul 4.3 pentru puterea electrică obținută practic, puterea electrică obținută prin simulare, și eroarea relativă, cu ajutorul relației 4.8.

$$E_r = \frac{P_{sim} - P_{pr}}{P_{sim}} \cdot 100 \quad (4.8)$$

Tabelul 4.1 - Valorile constantelor din schema de simulare

Mărimea de intrare	Descriere	Valoare
V_{OC}	Tensiune circuit deschis	13.5 V
I_{SC}	Curent de scurtcircuit	1.1 A
K	Constanta lui Boltzmann	$1.38 \cdot 10^{-23}$
N_s	Număr de celule în serie	24
N_p	Număr de celule în paralel	12
G	Radiația solară actuală	638 W/m ²
1000	Radiația solară de referință	W/m ²
K_i	Coeficient curent/temperatură	0.0017%/°C
T	Temperatura	298.15 °K
298.15	Temperatura de referință	298 °K
q	Sarcina electronului	$1.6 \cdot 10^{-19}$ C
E_g	Lățimea benzii interzise a semiconductorului	1.1 eV
n	Coeficient asociat purtătorilor de sarcina	1.3
R_s	Rezistența serie	24 mΩ
R_p	Rezistența paralel	6 kΩ

Tabelul 4.3 – Rezumatul valorilor obținute de-a lungul traseului vs. Simulare

Ora	Radiația solară W/m ²	Puterea practică (W)	Puterea simulare (W)	Eroarea relativa %
MEDIA ARITMETICA	388.09	4.85	4.42	10.37
MAXIM	690.9	8.2	7.87	12.17
MINIM	47.1	0.59	0.53	-10.16

Capitolul 5 - Energia electrică obținută în parcare

5.1 Alegerea condițiilor de desfășurare ale experimentului

În urma studiului realizat pentru determinarea locului de parcare, s-a ales locul de coordonate 44°12'14.9"N, 28°37'07.2"E, fig.5.4, și fig. 5.1. Automobilul a fost parcat cu partea din față orientată spre SW. Experimentul s-a desfășurat în ziua de 21 octombrie 2022, în intervalul orar

09:00-17:00, timp de 8 ore. Condițiile meteorologice au fost bune, cu cer senin și vânt slab. Panoul fotovoltaic a fost amplasat pe acoperișul automobilului, pe un cadru metalic reglabil pe înălțime, la 2 înclinații, de 45° , și respectiv 0° , pentru a putea compara valorile obținute pentru cele 2 unghiuri.

5.2 Descrierea experimentului

Pentru experiment s-a ales panoul fotovoltaic „Breckner 100 Wp”, monocristalin, cu o eficiență de 22%, calculată folosind puterea generată vs. suprafața panoului vs. radiația solară de referință (1000 W/m^2).

Ansamblul experimental, fig.5.1-a,b este format din: acumulator gel-plumb 12 V, 7 Ah, pentru stocarea energiei de la panoul solar, piranometru pentru măsurarea radianței solare, tip „Solar meter” SM 206-SOLAR, Controller solar, de tip PWM, pentru menținerea constantă a tensiunii și reglarea curentului pentru a controla procesul de încărcare al acumulatorului de 12 V, un echipament de măsurare denumit generic „battery meter” capabil să măsoare și să afișeze parametri precum: tensiunea electrică, curentul electric, puterea electrică, energia electrică, rezistența internă și ceasul aparatului, un termometru cu infraroșu pentru determinarea temperaturii panoului solar, un bec auto de 12V/55W cu rol de consumator, un smartphone pentru măsurarea unghiului de înclinație a panoului fotovoltaic, cu o aplicație Android instalată pentru a facilita măsurarea înclinației. Cantitatea de energie produsă cu ajutorul panoului solar a fost înregistrată de dispozitivul de măsurare tip „battery meter”, pentru unghiul de înclinație al panoului solar de 0° și 45° și afișată sub formă grafică funcție de timp, în Fig.5.4.

Prin reprezentarea puterii generate de panoul solar în timpul parcării, Fig.5.2, s-a evidențiat diferența dintre puterea generată la un unghi de înclinare de 0° și un unghi de înclinare de 45° .

Cantitatea de energie produsă cu ajutorul panoului solar a fost înregistrată de dispozitivul de măsurare tip „battery meter”, pentru unghiul de înclinație al panoului solar de 0° și 45° și afișată sub formă grafică funcție de timp, în Fig.5.3.



Fig.5.1 (a) – Realizarea montajului experimental



Fig. 5.1 (b) – Realizarea montajului experimental

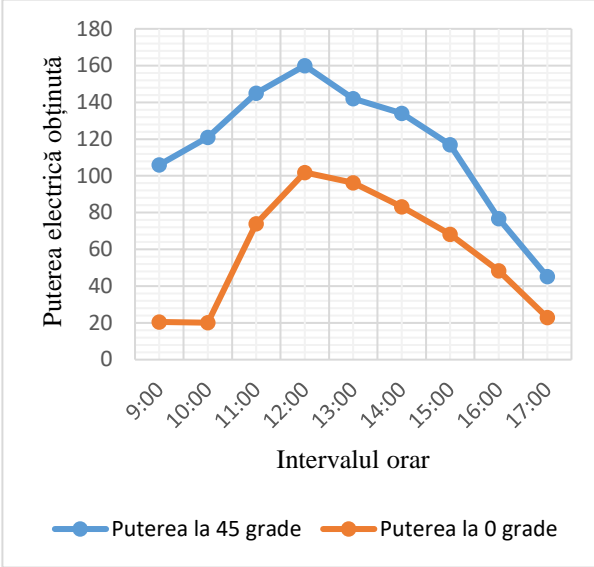


Fig. 5.2 – Puterea electrică obținută cu panoul solar înclinat la 0 și 45 grade

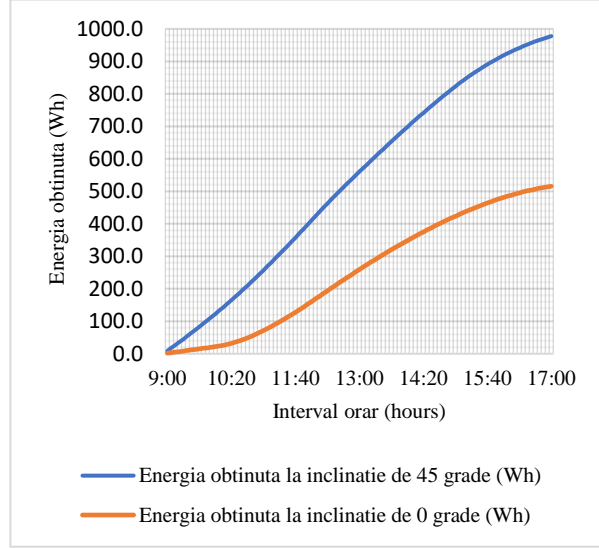


Fig. 5.3 – Energia electrică obținută cu panoul solar la 0 și 45 grade înclinare în parcare

5.3 Studiul extinderii capacității de captare a panourilor solare

Pentru a se crea o imagine de ansamblu asupra potențialului energetic oferit de amplasarea panourilor fotovoltaice pe acoperișul automobilelor, se va extinde capacitatea de captare energetică și în modul “parcare” după principiu aplicat în capitolul 3. În acest scop, se va calcula pe baza energiei obținută în parcare, E_p , valoarea energiei în extenso E_{p1} și E_{p2} .

La baza calculului acestor valori de energie se consideră aria panoului Breckner 100 W utilizat pentru captarea energiei în parcare, în valoare de 0.486 m^2 . Calculul potențialului energiei solare pe baza suprafeței acoperișului, formulele 5.1 și 5.2, duc la formarea unei imagini complete asupra potențialului solar de pe acoperișul automobilului, obținând valorile energiei din parcare. Trebuie menționat faptul că ziua aleasă este una însorită, iar potențialul energetic trebuie tratat diferit în funcție de condițiile atmosferice și anotimp.

$$E_{p1} = \frac{A_1 \cdot E_p}{A_{PV1}} \quad (5.1)$$

$$E_{p2} = \frac{A_2 \cdot E_p}{A_{PV1}} \quad (5.2)$$

unde E_{p1} și E_{p2} este energia obținută prin extinderea suprafeței de captare, E_p este energia obținută cu panoul solar în parcare, A_1 și A_2 sunt suprafețele extinse nr. 1 și 2 ale panourilor solare.

Pentru valorile obținute ale energiei în parcare E_p , în intervalul orar 09:00-17:00, s-au obținut valorile extinse ale energiei E_{p1} și E_{p2} la înclinarea panoului de 180° și 45° , tabelul 5.1.

Tabelul 5.1 – Energia electrică obținută în parcare prin extinderea suprafeței de captare

Energia electrică cu panoul solar la înclinarea de 45° E_p (Wh)	Energia electrică cu panoul solar la înclinarea de 180° E_p (Wh)	Energia electrică cu panoul solar la înclinarea de 45° E_{p1} (Wh)	Energia electrică cu panoul solar la înclinarea de 180° E_{p1} (Wh)	Energia electrică cu panoul solar la înclinarea de 45° E_{p2} (Wh)	Energia electrică cu panoul solar la înclinarea de 180° E_{p2} (Wh)
977.6	515.5	3419.6	1803.1	4023.0	2121.3

Cunoscând valorile energiei obținute în parcare și împreună cu valorile energiei obținute pe durata deplasării se poate estima o valoare totală a energiei obținute parcare + deplasare, valoare care va putea fi utilizată ulterior la calculele de estimare a prelungirii autonomiei. Valorile energiei electrice obținute, au fost înscrise în Tabelul 5.2.

Tabelul 5.2 – Energia electrică totală obținută prin extinderea suprafeței de captare

Energia electrică cu panoul solar la înclinația de 45° E_p+E_d (Wh)	Energia electrică cu panoul solar la înclinația de 180° E_p+E_d (Wh)	Energia electrică cu panoul solar la înclinația de 45° $E_{p1}+E_{d1}$ (Wh)	Energia electrică cu panoul solar la înclinația de 180° $E_{p1}+E_{d1}$ (Wh)	Energia electrică cu panoul solar la înclinația de 45° $E_{p2}+E_{d2}$ (Wh)	Energia electrică cu panoul solar la înclinația de 180° $E_{p2}+E_{d2}$ (Wh)
979.74	517.64	3456.04	1839.54	4065.84	2164.14

Valoarea obținută a energiei totale in extenso, $E_{p2}+E_{d2}$, în valoare de 4065.84 Wh, reprezintă un rezultat promițător pentru încărcarea suficientă a acumulatorilor automobilului pentru a-i prelungi autonomia cu distanța necesară parcurgerii drumului de acasă la serviciu și invers cel puțin într-o zi însorită, precum ziua în care s-a executat experimental.

Capitolul 6- Energia electrică obținută prin simulare în parcare

6.1 Introducere

În capitolul 6 s-au compilat valorile radiației solare și temperaturilor obținute practic din capitolul 5 cu ajutorul limbajului Matlab -Simulink conform schemei de simulare din figura 6.1, în scopul de a putea realiza o comparație între valorile obținute practic și prin simulare.

6.2 Schema de simulare

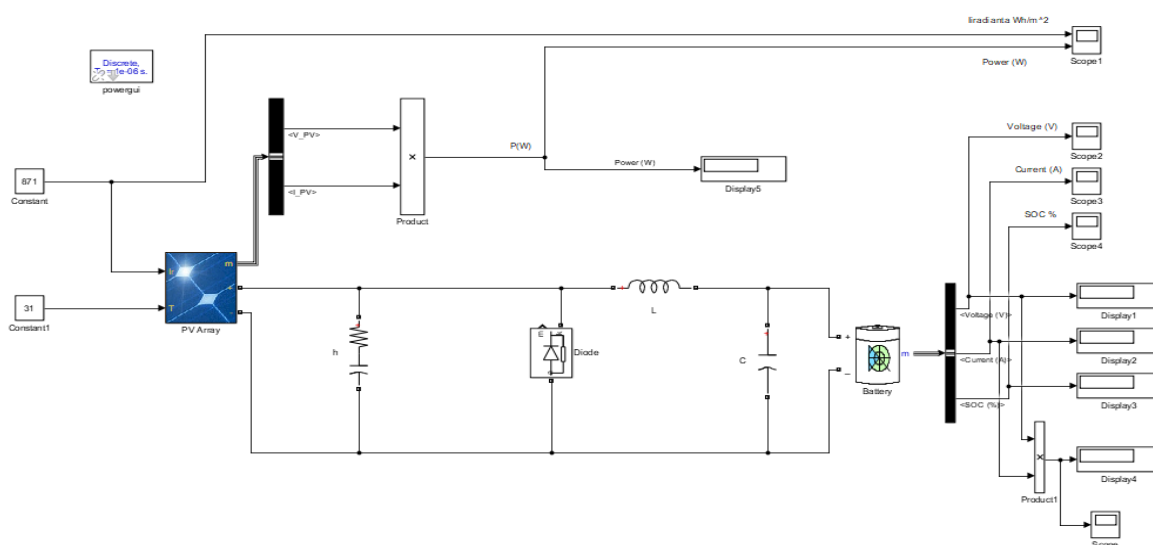


Fig.6.1-Schema de simulare pentru panoul solar amplasat pe acoperișul automobilului aflat în parcare

Schema de simulare, fig.6.1 este compusă din două blocuri de constante, radiația solară și temperatura, blocul funcțional reprezentat de acumulator „Battery”, blocul funcțional panou solar

„PV Array”, circuitul RLC, rezistor și condensator în paralel cu sursa de curent, bobina în serie dioda de protecție în paralel cu panoul solar, și un condensator de filtraj.

6.3 Rezultatele obținute prin simulare

După introducerea constantelor și variabilelor în schema de simulare, s-a procedat la compilarea schemei de simulare. Valorile obținute ale puterii electrice pentru fiecare valoare a radiației solare și a temperaturii panoului solar măsurată cu ajutorul piranometrului și termometrului IR, la înclinațiile panoului de 0° și 45° , au fost exportate într-un tabel Excel.

Energia electrică, exprimată în Wh, s-a calculat cu ajutorul ecuației 6.1, considerând puterea electrică constantă pe perioada celor 5 minute din intervalul de prelevare valori ale puterii electrice.

$$E_s = \int_0^t P_s(t) \cdot dt \quad (6.1)$$

unde E_s reprezintă energia obținută prin simulare, P_s este puterea electrică generată de panoul solar Breckner 100 Wp, iar dt este intervalul de timp în care s-a efectuat integrarea puterii electrice.

În figurile 6.2 - 6.3 s-au reprezentat grafic valorile din tabelul 6.1, realizând o comparație între valorile obținute practic și cele obținute prin simulare, atingându-se astfel scopul acestui capitol.

Din figura 6.2, Puterea electrică obținută la înclinația de 45° simulare vs. practic se poate remarca acuratețea rezultatelor obținute experimental practic în comparație cu cele obținute prin simulare, cele două curbe ale puterilor electrice mergând paralele la anumite intervale de timp iar la alte intervale de timp rezultatele simulării vs. practic fiind aproape egale.

Din figura 6.3 se evidențiază energia electrică obținută prin simulare la înclinațiile panoului Breckner 100 Wp, de 0° și 45° , funcție de timp, în intervalul orar 9:00 – 17:00. Se remarcă o valoare a energiei obținute de aproximativ 950 Wh cu panoul solar înclinat la 45° și o valoare aproximativă de 500 Wh pentru energia obținută cu panoul solar la înclinația de 0° .

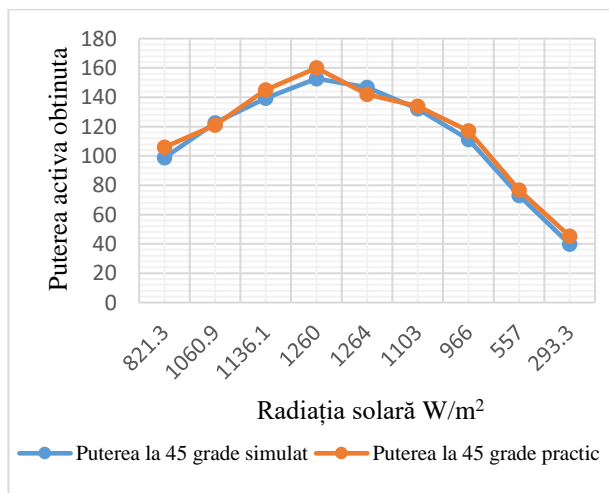


Fig. 6.2- Puterea electrică generată la înclinația de 45° simulare vs. practic

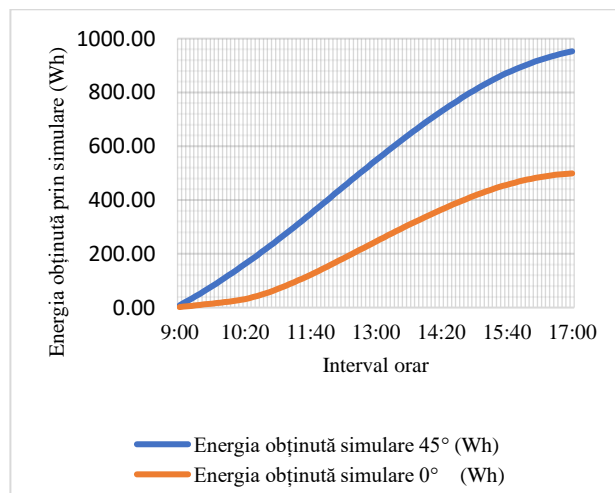


Fig. 6.3- Energia electrică obținută prin simulare la înclinația de 45° vs. 0°

Capitolul 7 - Extinderea autonomiei automobilelor electrice prin montarea panourilor fotovoltaice pe acoperișul acestora

7.1 Introducere

Capitolul 7 are ca scop final prezentarea rezultatelor obținute privind extinderea autonomiei a 6 automobile electrice prin amplasarea de panouri fotovoltaice pe acoperișul acestora.

7.2 Selectarea automobilelor electrice pentru studiu

Pentru alegerea mașinilor electrice pentru studiu s-a efectuat o consultare de piață în vederea identificării celor mai bine vândute automobile electrice din anul 2022 în România și s-a urmărit ca acestea să aparțină la diferiți producători de automobile și să fie din clase diferite. Pentru studiu au fost selectate următoarele automobile: Hyundai Ioniq 5, Renault Megane E-Tech, Volkswagen E-Up, Opel Corsa E, Hyundai Kona Electric 2021, Mazda MX-30.

7.3 Suprafața disponibilă a acoperișului automobilelor electrice vs. energia solară disponibilă

Pentru a obține potențialul de energie solară a 6 modele de mașini electrice utilizate pentru studiu, au fost utilizate valorile de energie electrică din tabelul 7.1.

Pentru a obține valorile din tabelul 7.1, s-a efectuat un experiment cu un panou solar plasat pe acoperișul automobilului personal. Automobilul personal a fost parcat în parcare rezidențială. Panoul fotovoltaic a fost montat pe un cadru mobil, cu posibilitate de înclinare la 2 unghiuri: 0° și 45° .

Experimentul s-a desfășurat în municipiul Constanța, România, într-o zi de 21 octombrie 2022, cu cer senin, în intervalul orar 09:00-17:00, în locul cu coordonatele $44^{\circ}12'14.9''N$, $28^{\circ}37'07,2''E$.

Dispozitivul experimental a fost format din următoarele părți componente: un cadru ajustabil pentru posibilitatea de înclinare a panoului solar, acumulator gel-plumb 12 V, 7 Ah pentru stocarea energiei obținute de panoul solar, contor de energie solară SM 206-SOLAR pentru măsurarea radiației solare globale, „battery meter” reprezentând un dispozitiv de măsurare capabil să afișeze tensiunea electrică, curentul electrică, puterea electrică, energia electrică, rezistența internă și timpul, termometru IR pentru măsurarea temperaturii panoului solar, controller-ul solar pentru menținerea constantă a tensiunii și reglarea curentului de la solar panou pentru a controla procesul de încărcare a bateriei de 12 V, un smartphone cu o aplicație Android instalată pentru măsurarea unghiului de înclinație a panoului solar pentru a-l regla la unghiul dorit.

Tabelul 7.1. Datele inițiale obținute pe timpul experimentului cu ajutorul panoului solar

Înclinația panou solar	Aria panoului solar APV (m2)	Energia totală obținută cu panoul solar 100Wp EPV (Wh)	Puterea totală generată de panoul solar 100Wp Ppeak (W)
45°	0.486	977.6 Wh	160 W
0°		515.5 Wh	101.87 W

7.4 Consumul mediu de energie electrică conform WLTP vs. energia solară disponibilă – autonomia extinsă 1.

O metodă simplă de estimare a numărului de kilometri pe care îi poate parcurge automobilul electric cu energia captată de la soare, este de a face un calcul pe baza consumului mediu de energie electrică declarat de producătorii automobilelor electrice, din tabelul 7.3. Cunoscând energia disponibilă de pe acoperiș, E_{roof} și consumul mediu de energie, E_c, se poate estima distanța care se poate străbate utilizând doar energia solară, D_{pv1}, calculată cu ușurință prin ecuația (7.1) și afișată în tabelul 7.2.

$$D_{pv1} = \frac{E_{roof} \cdot 100}{E_c} \cdot \frac{1}{1000} \quad (7.1)$$

Tabelul 7.2. Energia disponibilă pentru suprafața automobilelor electrice

Automobilul electric de studiat	Dimensiunile de bază (L·B·H) (mm)	Acoperișul automobilului A_{roof} (m²)	Energia disponibilă E_{roof} (Wh)
Hyundai Ioniq 5.58 kWh	4636x1890x1605	1.692	3403.496
Renault Meganne E-Tech	4199x 1768x1505	2.135	4294.601
Volkswagen E-Up	3600x1645x1492	1.688	3395.45
Opel Corsa E	4060x1765x1435	1.76	3540.28
Hyundai Kona Electric 2021	4205x1800x1565	1.738	3496.026
Mazda MX-30	4395x1848x1555	1.873	3767.582

Tabelul 7.3. Consumul mediu de energie al automobilului solar

EV model	Energia medie consumată conform testului (WLTP) E_c (Wh)	Energia disponibilă E_{roof} (Wh)	Autonomia extinsă 1 D_{pv1} (km)
Hyundai Ioniq 5	16.7 kWh/100 km	3403.496	20.38
Renault Meganne E-Tech	19 kWh/100 km	4294.601	22.60
Volkswagen E-Up	12.7-12.9 kWh/100 km	3395.45	26.32 - 26.74
Opel Corsa E	15.6-17.1 kWh/100 km	3540.28	20.70 - 22.69
Hyundai Kona Electric 2021	14.1 kWh/100 km ¹ / 14.3 kWh/100 km ²	3496.026	24.791, 24.452
Mazda MX-30	19 kWh/100 km	3767.582	19.83

7.5 Consumul de energie al automobilelor electrice supuse testelor ECE și EUDC vs. energia electrică disponibilă - autonomia extinsă 2.

7.5.1 Forțele rezistive

Pentru obținerea consumului de energie al automobilelor electrice, au fost utilizate următoarele ecuații care vor fi folosite pentru realizarea schemei de simulare :

$$\text{Forțele de rezistență la deplasare:} \quad F_{ri} = F_r + F_{aero} + F_p + F_a \quad (7.6)$$

$$\text{Forța de rezistență la rulare } F_r: \quad F_r = f \cdot m \cdot g \quad (7.7)$$

$$\text{Forța de rezistență aerodinamică } F_{aero} \text{ [16]: } F_{aero} = \frac{\rho}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot (v + v_0)^2 \quad (7.8)$$

$$\text{Forța de rezistență la urcare } F_p: \quad F_p = m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (7.9)$$

$$\text{Forța de inerție } F_a: \quad F_a = m \cdot a \quad (7.10)$$

$$\text{Putere la roți } P_w: \quad P_w = F_t \cdot v \quad (7.11)$$

$$\text{Consumul de energie } E_c(t): \quad E_c(t) = \int_0^t P_w \cdot dt \quad (7.12)$$

$$\text{Accelerația } a: \quad a = \frac{F_t - (F_{aero} + F_p + F_r)}{m} \quad (7.13)$$

$$\text{Viteza } v(t): \quad v(t) = \int_0^t a \cdot dt \quad (7.14)$$

$$\text{Distanța } D(t): \quad D(t) = \int_0^t v \cdot dt \quad (7.15)$$

Cuplul motor T din formula forței de tracțiune F_t :

$$F_t = \frac{T \cdot \eta \cdot i}{R_w} \quad (7.16)$$

7.5.2 Testele ECE și EUDC

În această secțiune, valorile vitezei au fost importate din registrul UNECE R101 și utilizate pentru a simula un ciclu urban și extraurban, pentru 6 automobile electrice selectate pentru acest studiu.

Tabelul 7.4 - Caracteristicile testelor ECE și EUDC

Caracteristică	Unitate de măsură	Testul ECE 15	Testul EUDC
Distanță	km	1.013	6.955
Durată	s	195	400
Viteza medie	km/h	18.7 (cu opriri)	62.6
Viteza maximă	km/h	50	120

Schema de simulare propusă oferă facilități pentru modificarea anumitor parametri constanți, cum ar fi masa vehiculului, înclinarea pantei, coeficientul de frecare la rulare, aria frontală proiectată, viteza vântului.

7.5.3 Simularea în MATLAB-Simulink a ciclurilor ECE și EUDC

Pentru a obține valorile ecuațiilor pentru bilanțul energetic al vehiculului electric a fost folosit ca și mediu de simulare, limbajul MATLAB-Simulink. Limbajul permite introducerea de blocuri funcționale, care simulează ecuațiile forțelor de rezistență la deplasare, cum ar fi: forța de rezistență aerodinamică, forța de inerție, forța de rezistență la rulare, forța de tracțiune, forța de rezistență la urcare.

Cu ajutorul schemei de simulare, Fig.7.1, s-au obținut valorile energiei consumate pe timpul testului EUDC, Fig.7.2, a energiei consumate pe timpul ciclului ECE, Fig.7.3, a puterii necesare la roți în ciclul EUDC, Fig.7.4 și în ciclul ECE, Fig. 7.5.

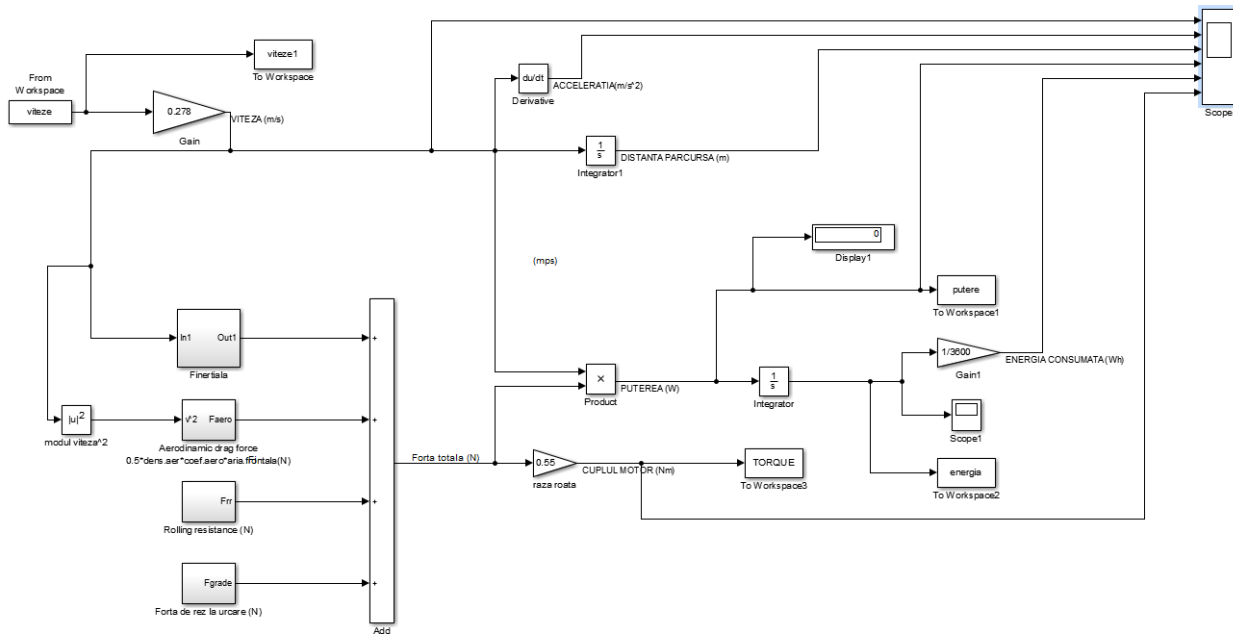


Fig. 7.1 - Schema de simulare în Matlab-Simulink

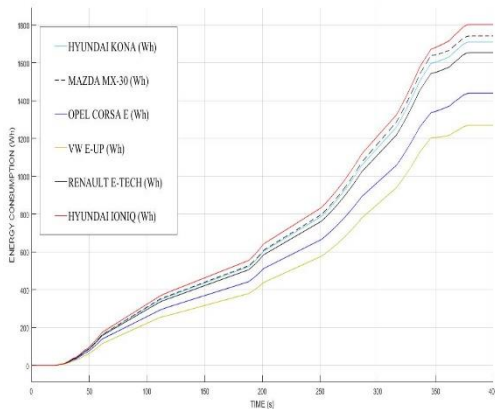


Fig. 7.2 - Grafic de simulare "Energia consumată funcție de timp" în scenariul EUDC

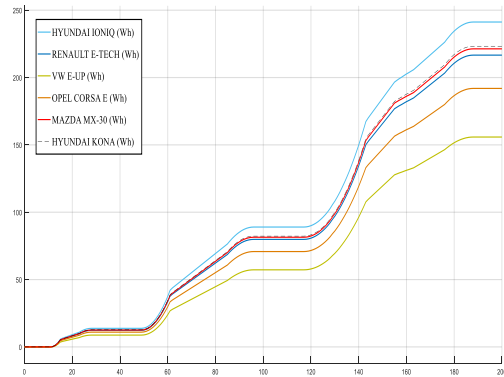


Fig. 7.3- Grafic de simulare pentru testul ECE-15: "Energia consumată funcție de timp"

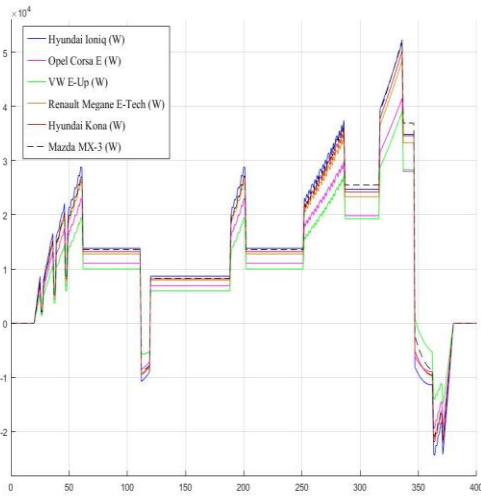


Fig. 7.4 - Grafic de simulare “Puterea electrică necesară la roți (W)” în scenariul EUDC

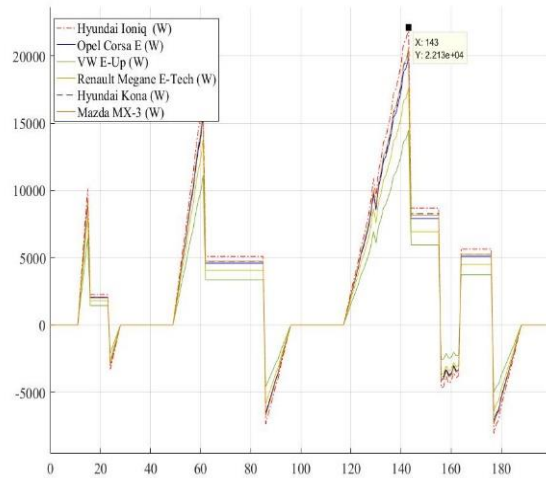


Fig. 7.5 - Grafic de simulare “Puterea electrică necesară la roți (W)” în scenariul ECE

7.5.4 Analiza dintre energia solară disponibilă de pe acoperișul automobilelor și consumul de energie

Pentru a determina distanța parcursă de ciclurile EUDC și ECE-15 de automobilele electrice, folosind energia obținută de la soare, este necesară o analiză comparativă între energia produsă de panoul fotovoltaic și energia consumată de automobilul electric .

Pentru a determina distanța totală parcursă funcție de energia disponibilă, $D_{pv2,3}$, s-a utilizat ecuația (7.17).

$$D_{pv2,3} = \frac{E_{roof} \cdot D_{eudc}, D_{ece}}{E_{c1}, E_{c2}} \quad (7.17)$$

Pentru a afișa relația dintre energia solară disponibilă și energia consumată în timpul ciclurilor EUDC și ECE-15, a fost creat tabelul 7.5.

Tabelul 7.5 - Energia disponibilă vs. energia consumată pentru diferite tipuri de automobile electrice

Model EV	Energia electrică disponibilă E_{roof} (Wh)	Energia electrică consumată (Wh)	
		Testul EUDC E_{c1} (Wh)	Testul ECE-15 E_{c2} (Wh)
Hyundai Ioniq 5	3403.5	1802.8	241.2
Renault Megane E-Tech	4294.6	1654.1	216.6
Volkswagen E-Up	3395.5	1269.1	155.8
Opel Corsa E	3540.3	1439.3	191.9
Hyundai Kona Electric 2021	3496	1710.1	223.3
Mazda MX-30	3767.6	1741.8	221.3

Tabelul 7.6 - Autonomia extinsă pentru diferite tipuri de automobile electrice

Model EV	Autonomia extinsă 2 pentru ciclul EUDC D_{pv2} (m)	Număr de cicluri EUDC completate	Autonomia extinsă 2 pentru ciclul ECE D_{pv3} (m)	Număr de cicluri ECE-15 completate
Hyundai Ioniq 5	18057.5	2.6	20085.1	19.8
Renault Megane E-Tech	18608.2	2.7	22077.3	21.8
Volkswagen E-Up	17107.5	2.5	18688.5	18.4
Opel Corsa E	14218.3	2.0	15859.6	15.7
Hyundai Kona Electric 2021	15044.0	2.2	17246.2	17.0
Mazda MX-30	18057.5	2.6	20085.1	19.8

Rezultatele autonomiei extinse pentru automobilele electrice studiate, ciclurile EUDC și ECE, au fost afișate în tabelul 7.6.

Capitolul 8 - Plan de afaceri - Stații mobile de încărcare pentru automobilele electrice

În cadrul proiectului A- SUCCES, în ultimul capitol al tezei de doctorat a fost necesar realizarea unui plan de afaceri, în scopul completării lucrării științifice cu o componentă economică, pentru a pune în aplicare abilitățile antreprenoriale dobândite în perioada desfășurării proiectului de dezvoltare a competențelor antreprenoriale, A-SUCCES.

8.1. Date generale

Numele complet al firmei: Green Mobility

Coordonatele firmei - Sediul social: Bd. Tomis nr.300, Bl.10b, Sc. A , parter, Mun. Constanța.

Puncte de lucru: A2, Tronson Constanța-Cernavoda, Cernavoda-Drajna, Drajna-București.

Forma juridică de constituire: S.R.L

Data înființării/Număr Registrul Comerțului: 01.10.2020

Activitatea principală a societății și codul CAEN aferent: Cod CAEN 3514 - Comercializarea energiei electrice.

Valoarea capitalului social: 200 RON.

8.2 Viziune, strategie

Planul de afacere conține măsuri concrete care vizează inovarea socială, dezvoltarea durabilă prin produse, tehnologii sau servicii și sprijinirea tranziției către o economie cu emisii scăzute de CO₂ și eficiente din punct de vedere al utilizării resurselor. Realizarea de stații mobile pentru

încărcarea autovehiculelor electrice reprezintă o formă de inovație, pentru dezvoltarea pieței de automobile electrice, cu zero emisii de CO2 .

8.3 Cifra de afaceri previzionată și numărul de salariați

Tabelul 8.1 - Cifra de afaceri previzionată și numărul de salariați

Obiective (indicatori țintă)	UM	2021	2022	2023
Cifra de afaceri, din care:	LEI	182 500	365 000	657 000
Profit	LEI	417	107 687	326 252
Număr de salariați	Număr persoane	3	3	3
Obiective (indicatori țintă)	UM	2021	2022	2023

8.4 Structura de finanțare a proiectului de investiții

Tabelul 8.2 - Structura de finanțare a proiectului de investiții

Sursa de finanțare	Fără TVA	
	lei	%
Credite bancare	115 000	24
AFN (Alocație financiară nerambursabilă)	245 000	50
Alte surse (aport propriu)	130 000	26
TOTAL valoare de investiție	490 000	100%

8.5 Graficul de realizare a investiției

Tabelul 8.3 - Graficul Gantt

Activitate prevăzută	Durata de realizare	Luna în care se va implementa											
		L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6	L 7	L 8	L 9	L 10	L 11	L 12
CERCETARE+CONSULTANȚA	1 lună	■											
INFIINȚARE+AMENAJARE	2 luni		■	■									
ACHIZIȚIE ECHIPAMENTE	3 luni				■	■	■						
ASAMBLARE+TESTARE	2 luni							■	■				
AUTORIZĂRI+PUBLICITATE	3 luni									■	■	■	
VÂNZARE	1 lună												■

Tabelul 8.4 - Grafic de implementare valoric – fără TVA

Activitate necesară	Total fără TVA, din care	Durata de implementare											
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12
CERCETARE+CONSULTANTA	10 000	■											
INFIINTARE+AMENAJARE	10 000		■	■									
ACHIZITIE ECHIPAMENTE	140 000				■	■	■						
ASAMBLARE+TESTARE	20 000							■	■				
AUTORIZARI+PUBLICITATE	50 000									■	■	■	
Total valoare	230 000												■

8.6 Riscurile afacerii

8.6.1 Riscuri majore identificate: Riscuri de piață, Riscuri financiare, Riscuri legislative.

8.6.2 Modalitățile de minimizare a primelor trei riscuri majore

Tabelul 8.5 - Modalitățile de minimizare a primelor trei riscuri majore

Nr. crt.	Denumire risc	Soluții de minimizare
1.	Defecțiuni mijloc de transport	Achiziția unui mijloc de transport în sistem de back-up.
2.	Apariția de competitori	Crearea de soluții pentru păstrarea clienților: -Acordarea de bonificații clienților fideli: reduceri de preț la un anumit număr de încărcări; -Consiliere service.
3.	Creștere preț energie	- Creștere preț încărcare acumulatori.

Contribuțiile originale

1. Obținerea energiei electrice prin amplasarea unui panou fotovoltaic pe acoperișul unui automobil în deplasare pe un traseu împus, din municipiul Constanța, și înregistrarea valorilor energiei electrice obținute, puterii electrice generate și radiației globale, de-a lungul traseului.
2. Proiectarea unui dispozitiv mecanic de principiu, facil de utilizat și având cost redus de fabricație pentru asigurarea înclinației panoului fotovoltaic la diferite unghiuri în scopul captării energiei maxime de la soare pe timpul staționării automobilului în parcare.
3. Obținerea energiei electrice prin realizarea unui experiment practic cu un panou fotovoltaic amplasat pe acoperișul unui automobil, la înclinații diferite, în condiții de staționare a automobilului în parcare, și înregistrarea valorilor energiei electrice obținute, puterii electrice generate și radiației globale cu automobilul în parcare.
4. Obținerea energiei consumate și puterii necesare la roți prin simularea scenariilor ECE-15 și EUDC la 6 modele de automobile electrice.
5. Extinderea autonomiei a 6 modele de automobile electrice prin amplasarea de panouri fotovoltaice pe acoperișul acestora.
6. Realizarea unui plan de afaceri pentru executarea unor stații mobile de încărcare a automobilelor electrice pentru reîncărcarea acumulatorilor automobilelor electrice.

Lista publicațiilor autorului

A. Articole în revistă

[1] **Alexandru Țurcanu** și Leonard Călin Valentin, „Dimensionarea sistemului de propulsie al unui vehicul electric. Studiu de caz”, APME, vol. 16, nr. 1, pp. 31–44, ian. 2020.

[2] **Alexandru Țurcanu** și Leonard Călin Valentin, „Modelarea în Matlab/Simulink a funcționării unui vehicul electric în diferite cicluri de acționare”, APME, vol. 16, nr. 1, pp. 18–30, ian. 2020.

B. Articole prezentate la conferințe internaționale

[1] **Alexandru Țurcanu**, "Experimental Determination of the Energy Provided by the Photovoltaic Panels Placed on the Roof of a Vehicle with an Imposed Route", The 13th International Symposium On Advanced Topics In Electrical Engineering, (ATEE), March 23-25, 2023, Bucharest, Romania, pp. 1-8, [doi: 10.1109/ATEE58038.2023.10108293](https://doi.org/10.1109/ATEE58038.2023.10108293).

[2] **Alexandru Țurcanu**, "Increasing the autonomy of electric cars using the energy provided by own photovoltaic panels", 2023 Fifth International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT 2023), February 22-24, 2023, Erode, Tamil Nadu, India, pp. 1-8, doi: [10.1109/ICECCT56650.2023.10179793](https://doi.org/10.1109/ICECCT56650.2023.10179793) .

[3] **Alexandru Țurcanu**, Aurelian Crăciunescu și Leonard Călin Dobre, "Floating photovoltaic power plants", 2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucharest, Romania, pp. 1-4, doi: [10.1109/ATEE52255.2021.9425257](https://doi.org/10.1109/ATEE52255.2021.9425257).