

MODELAREA ÎN MATLAB/SIMULINK A FUNCȚIONĂRII UNUI VEHICUL ELECTRIC ÎN DIFERITE CICLURI DE ACȚIONARE

Drd. ing. Alexandru ȚURCANU ;

Drd. ing. Leonard Călin Valentin DOBRE

Universitatea Politehnică București- Facultatea de Inginerie Electrică

Rezumat – Prin lucrarea prezentă, se dorește îmbunătățirea metodelor de proiectare dinamică a autovehiculelor electrice, prin crearea unor modele de simulare în Simulink. Modelele sunt reprezentate prin scheme de simulare care sunt constituite din blocuri de operatori matematici, interconectați pe baza formulelor de calcul matematic. Mărimile de intrare inițiale, specificate în tabelul 1, pot fi modificate ușor, oferind posibilitatea obținerii mai multor modele pentru diferite idei de proiectare. Rezultatele simulărilor sunt materializate în diagrame grafice și oferă date în timp virtual despre viteza vehiculului, accelerația, cuplul motor, puterea la roți, energia consumată și distanța parcursă. În prima schemă de simulare, variabila de intrare o reprezintă un generator de cupluri motor, cu valori cuprinse între 0-132 Nm. În a 2-a schemă de simulare, variabila de intrare este viteza, conform scenariului ciclului urban ECE-15.

1. INTRODUCERE

Încălzirea globală este unul din rezultatele gazelor cu „efect de seră” (dioxid de carbon, metan ș.a.) din atmosferă[1]. Aceste gaze rețin radiația infraroșie reflectată de pământ, păstrează energia în atmosferă, crescând temperatura[2]. Creșterea temperaturii de la nivelul Pământului are ca efecte distrugerea ecosistemelor și producerea unor dezastruri naturale ce afectează și populația planetei [2].

Autovehiculele cu motoare cu combustie internă (ICE) reprezintă în prezent o sursă majoră de poluare urbană [3]. Vehiculele electrice fac parte din singurul grup de automobile cu emisii ”0”. Totodată, vehiculele electrice reduc nivelul de poluare fonică [4]. Principala problemă cu care se confruntă automobilele electrice este autonomia scăzută datorită capacității scăzute de stocare a energiei în acumulatori[5]. În vederea creșterii autonomiei, una din soluții o reprezintă eficientizarea energetică prin dimensionarea corectă a componentelor unui vehicul electric. Pentru dimensionarea corectă a componentelor, este necesară cunoașterea consumului de energie și necesarului de putere la roți [4]. În această lucrare, sunt prezentate două modele de simulare a interacțiunii unui autovehicul cu calea de rulare și atmosfera pentru obținerea unor rezultate relevante asupra parametrilor de dinamică a automobilului la interacțiunea cu calea de rulare și atmosfera. Modelele de simulare sunt alcătuite din blocuri de operatori matematici. Unele blocuri sunt reprezentate din constante conform tabelului 1, altele din variabile de intrare și variabile de ieșire. În primul model de simulare, variabila de intrare este reprezentată de un bloc generator aleatoriu de valori ale cuplului motor, cu influență asupra variabilelor de ieșire : viteză, accelerație, puterea la roți, energia consumată, distanța parcursă. Timpul de simulare este de 20 secunde. În al doilea scenariu, este reprezentat un ciclu urban ECE-15, având ca variabilă de intrare viteza, reprezentată prin mai multe valori la diferite momente de timp. Aceste valori se găsesc în tabel 2. Rezultatele celor două scenarii de simulare sunt concretizate în mai multe diagrame grafice cu afișarea numerică pe grafic ale valorilor de interes.

2. SIMULAREA INTERACȚIUNII AUTOVEHICULULUI CU CALEA DE RULARE ȘI ATMOSFERA

2.1 Simularea prin generarea de cupluri motor aleatorii

Pentru simularea interacțiunii vehiculului cu calea de rulare și atmosfera s-a utilizat limbajul MATLAB/SIMULINK.

Schema de simulare este prezentată în anexa 1.

Pentru realizarea schemei de simulare utilizând Simulink s-au introdus valorile din tabelul 1.

Tabel 1 – Specificații automobil

| | | |
|---------------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Coeficientul de rezistență la rulare | f | 0,0055 |
| Masa totală cu șofer | m | 300 kg |
| Accelerația gravitațională | g | 9,8 m/s ² |
| Densitatea aerului | ρ | 1,22kg/m ³ |
| Coeficientul de rezistență al aerului | Cd | 0,35 |
| Aria frontală proiectată | A | 1 m ² |
| Raza rotii | R _d | 0,345 m |
| Raportul de angrenare | I | 2.685 |
| Viteza instantanee vehicul | v _{inst} | 16,6m/s |
| Viteza vântului | v ₀ | 0 m/s |
| Unghiul de înclinare al pantei | α | 0 |
| Turație motor la putere maximă | n | 21.6 rot/sec 1300 rot/min |
| Cuplul motor max. | T | 132 Nm |
| Randamentul motorului electric | η | 0,95 |

Pentru obținerea datelor de simulare s-au aplicat formulele menționate astfel:

- ✓ forța de rezistență la înaintare:

$$F_{ri} = F_r + F_{aero} + F_p + F_a \quad (1)$$

- ✓ forța de rezistență la rulare:

$$F_r = f \cdot m \cdot g \quad (2)$$

- ✓ forța de rezistență aerodinamică:

$$F_{aero} = \frac{\rho}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot (v + v_0)^2 \quad (3)$$

- ✓ forța de rezistență la urcare în pantă:

$$\vec{F}_p = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

- ✓ forța de rezistență la accelerație

$$\vec{F}_a = m \cdot \vec{a} \quad (5)$$

Suma blocurilor forțelor de rezistență se concretizează în valoarea forței de tracțiune F_t , care ne ajută să obținem următoarele:

- Puterea la roți: $Proti = \vec{F}_t \times \vec{v}_{inst} \quad (6)$

- Energia consumată:

$$Econs(t) = \int_0^t Proti \cdot dt \quad (7)$$

- *Accelerația* din relația:

$$a = \frac{F_t - (F_{aero} + F_p + F_r)}{m} \quad (8)$$

- *Viteza* :

$$\vec{v}(t) = \int_0^t \vec{a} \cdot dt \quad (9)$$

- *Distanța parcursă* :

$$\vec{s}(t) = \int_0^t \vec{v} \cdot dt \quad (10)$$

Pentru relațiile de putere și energie s-a scris puterea ca produs dintre suma forțelor rezistive și viteză iar energia prin integrarea puterii la roți [9].

Timpul virtual de simulare este de 20 secunde. În urma simulării s-au obținut următoarele rezultate evidențiate în figura 1.

Prin generarea de cupluri motor, se simulează comportarea automobilului la apăsarea pedalei de accelerație, rezultând diferite valori ale puterii la roți, energiei consumate, vitezei vehiculului și distanța parcursă de acesta, pe parcursul a 20 de secunde.

În figura 1 este prezentată simularea interacțiunii Simularea interacțiunii autovehiculului cu calea de rulare și atmosfera prin generarea de cupluri motor.

Axa X reprezintă axa timpului.

Axa Y reprezintă:

Secțiunea 1 - cuplul motor (Nm);
Secțiunea 2 - puterea la roți (kW);

Secțiunea 3 - energia consumată (kWh);

Secțiunea 4 - viteza vehicul (m/s);

Secțiunea 5 - distanța parcursă (m).

Pe parcursul a 20 de secunde respectând valorile de viteză și accelerație, vehiculul nostru va parcurge o distanță de 379.1 m și va consuma o cantitate de energie de 0.09 kWh

Astfel, putem concluziona faptul că pentru a deplasa autovehiculul cu o viteză de 35.44 m/s adică 127.58 km/h, avem nevoie de o putere furnizată de acumulatori și panouri solare de aproximativ 55 kW, în condiții ideale de vânt și fără înclinare a drumului.

Din figura 1 reiese că vehiculul atinge cuplul forță maxim de 132 Nm după 4 secunde, și are echivalent o putere la roți de 11.74 kW, o energie consumată de 2.7 Wh la o viteză a vehiculului de 7.74 m/s și o distanță parcursă de 10.08 m.

Vehiculul atinge puterea maximă la roți de 53.51 kW, la un cuplu motor de 131.4 N după 18.8 s, cu o viteză de 35.44 m/s (127.58 km/h) și parcurgând o distanță de 341.9 m.

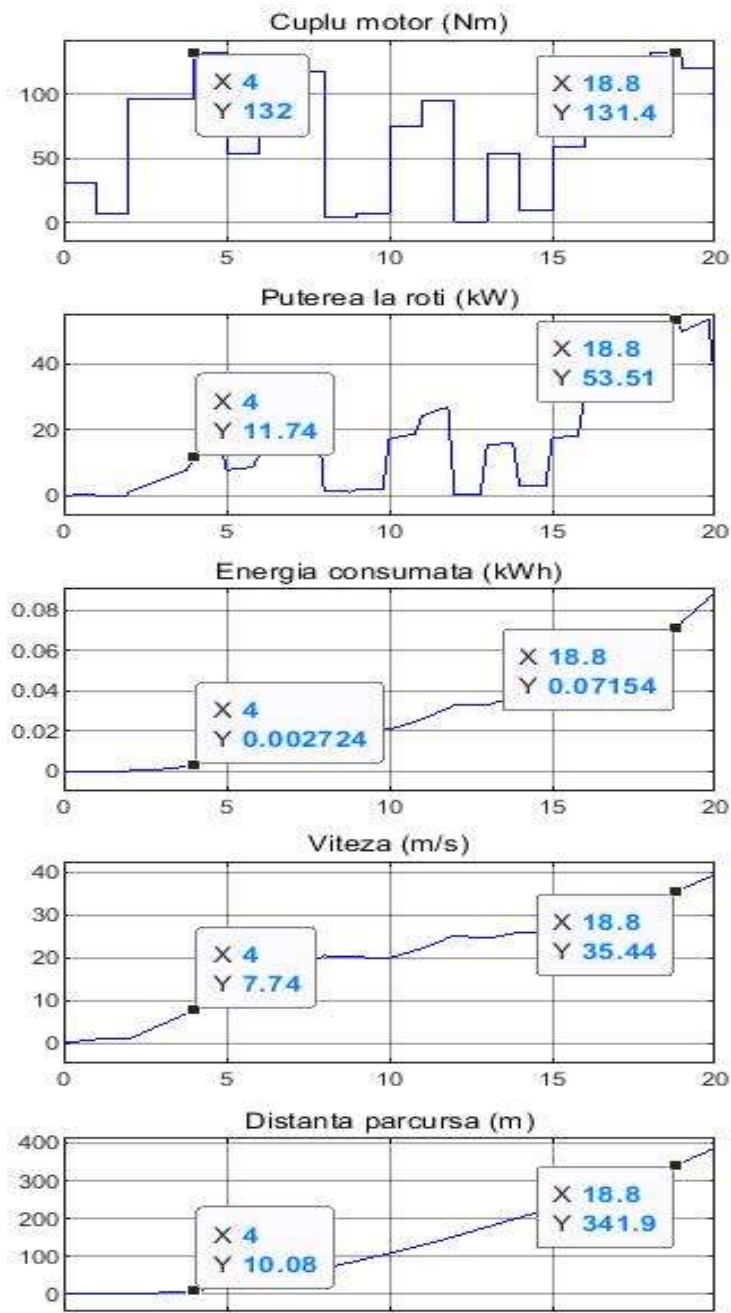


Fig. 1 – Simularea interacțiunii autovehiculului cu calea de rulare și atmosfera prin generarea de cupluri motor

2.2 Simularea scenariilor ECE 15 + EUDC / NEDC - figura 2, 3, 4, 5

NEDC: New European Driving Cycle

NEDC este un ciclu de condus, actualizat ultima dată în 1997, destinat să evalueze nivelurile de emisii ale motoarelor și economiei de combustibil la autoturisme (care exclude camioanele ușoare și vehiculele comerciale). [5]

WLTP înseamnă Procedura armonizată la nivel mondial de testare a autovehiculelor ușoare[6]. Aceasta va supune mașinile la o gamă mai largă de condiții de drum comparativ cu Noul Ciclu de Conducere European (NEDC), testul depășit pe care îl înlocuiește. [6]

Introduse în luna septembrie 2017, testele riguroase WLTP se desfășoară în condiții de laborator, sub supraveghere strictă[7]. Acestea măsoară economia de combustibil, emisiile de CO₂ și nivelul de poluare al autoturismelor[10]. De asemenea, va fi măsurat consumul de energie al vehiculelor electrice și reîncărcabile. Noile teste au ca scop crearea unei imagini mai realiste a performanței noilor vehicule în condiții de trafic normale [11].

Pentru simularea ciclului de test urban ECE-15, a fost necesară stabilirea unor valori ale vitezelor vehiculului specifice perioadei de timp pe care se desfășoară simularea. Astfel, s-au considerat valorile pentru viteză din tabelul 2, pentru un ciclu urban oarecare, cu parametrii vehiculului propus din tabelul 1. Schema de simulare, anexa 2, a fost construită în Simulink utilizându-se blocuri de operatori matematici. Timpul de simulare este de 200 secunde.

Pentru realizarea schemei de simulare, s-au introdus ca valori de intrare, următorii parametri:

- Viteza vehiculului prin importarea unui tabel în Excel cu valori ale vitezelor corespunzătoare unui ciclu urban – tabelul 2;
- Masa vehiculului din tabelul 1;
- Coeficientul aerodinamic din tabelul 1;
- Coeficientul de rezistență la rulare din tabelul 1;
- Raza roții din tabelul 1;
- Unghiul de înclinarea al drumului din tabelul 1;
- Viteza vântului din față din tabelul 1;
- Aria frontală vehicul din tabelul 1;
- Forțele de rezistență la înaintare conform relațiilor 1, 2, 3, 4, 5;
- Cuplul motor din formula forței de tracțiune:

$$F_t = \frac{T \cdot \eta \cdot i}{R_d} \quad (11)$$

- Accelerația vehiculului prin derivarea vitezei instantanee:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (12)$$

- Puterea la roți: $Proti = \vec{F}_t \times \vec{v}_{inst}$;
- Energia consumată din relația 7;
- Distanța parcursă conform relației 10.

Schema de simulare propusă ne oferă facilități pentru modificarea anumitor parametri constanți, cum ar fi masa vehiculului, înclinația pantei, coeficientul de frecare la rulare, aria frontală proiectată, viteza vântului[10].

În figura 2 s-a simulat ciclul urban ECE-15, privind energia consumată a autovehiculului cu caracteristicile de mai sus, cu o înclinație a pantei de 1° , iar în figura 3 cu înclinația pantei de 5° .

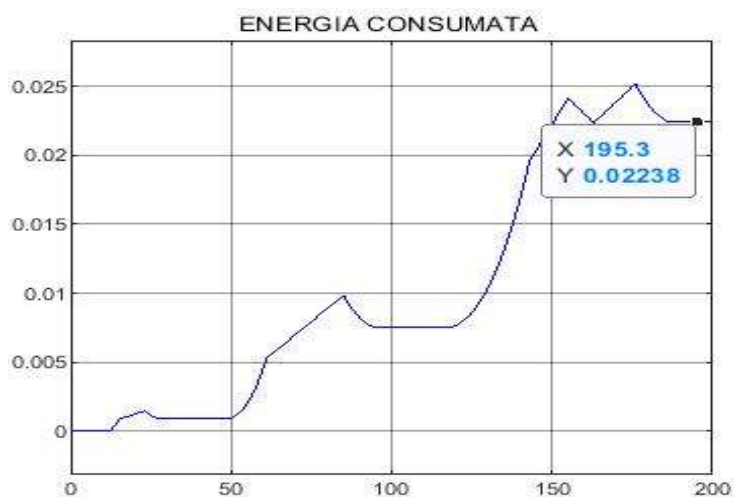


Fig. 2 - Energia consumată ciclul urban ECE-15 pantă 1°

Se observă că în figura 3, energia consumată atinge la timpul de simulare 195.3s, valoarea de 0.025 kW·195.3s în timp ce în figura 4 energia consumată atinge valoarea de 0.079 kW·195.4 secunde, de unde se poate evidenția influența înclinației pantei asupra consumului de energie.

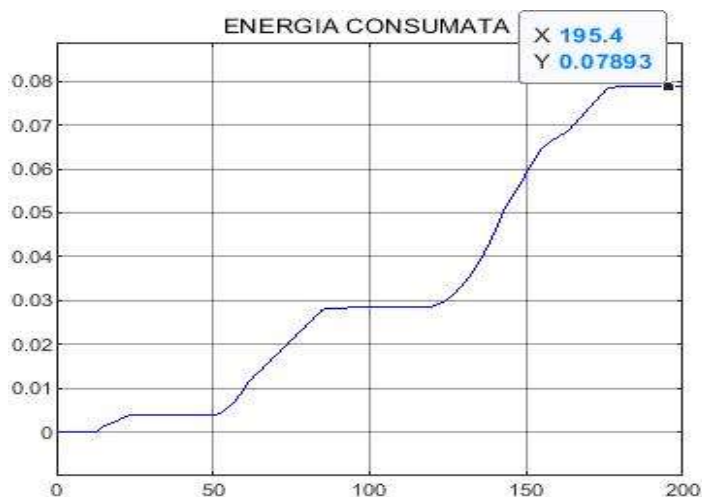


Fig. 3 - Energia consumată ciclul urban ECE-15 pantă 5°

În fig.4 și fig.5, se evidențiază influența masei autovehiculului asupra variabilelor: puterea la roți, cuplul motor și energia consumată pentru o valoare a masei vehiculului de 350 kg și una de 400 kg la o înclinație a drumului de 1°.

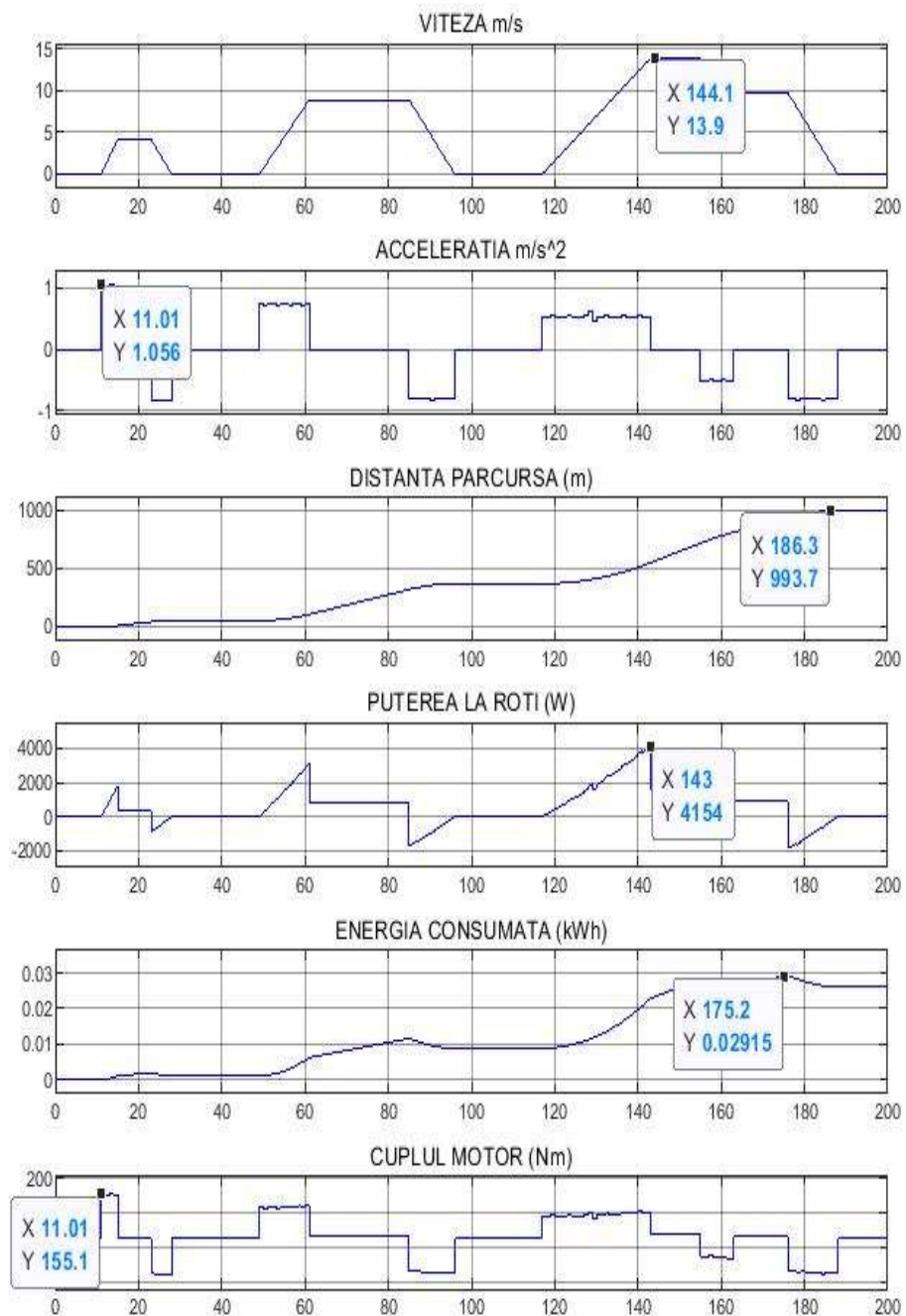


Fig.4 - Simulare ECE-15 cu masa autovehiculului de 350 kg

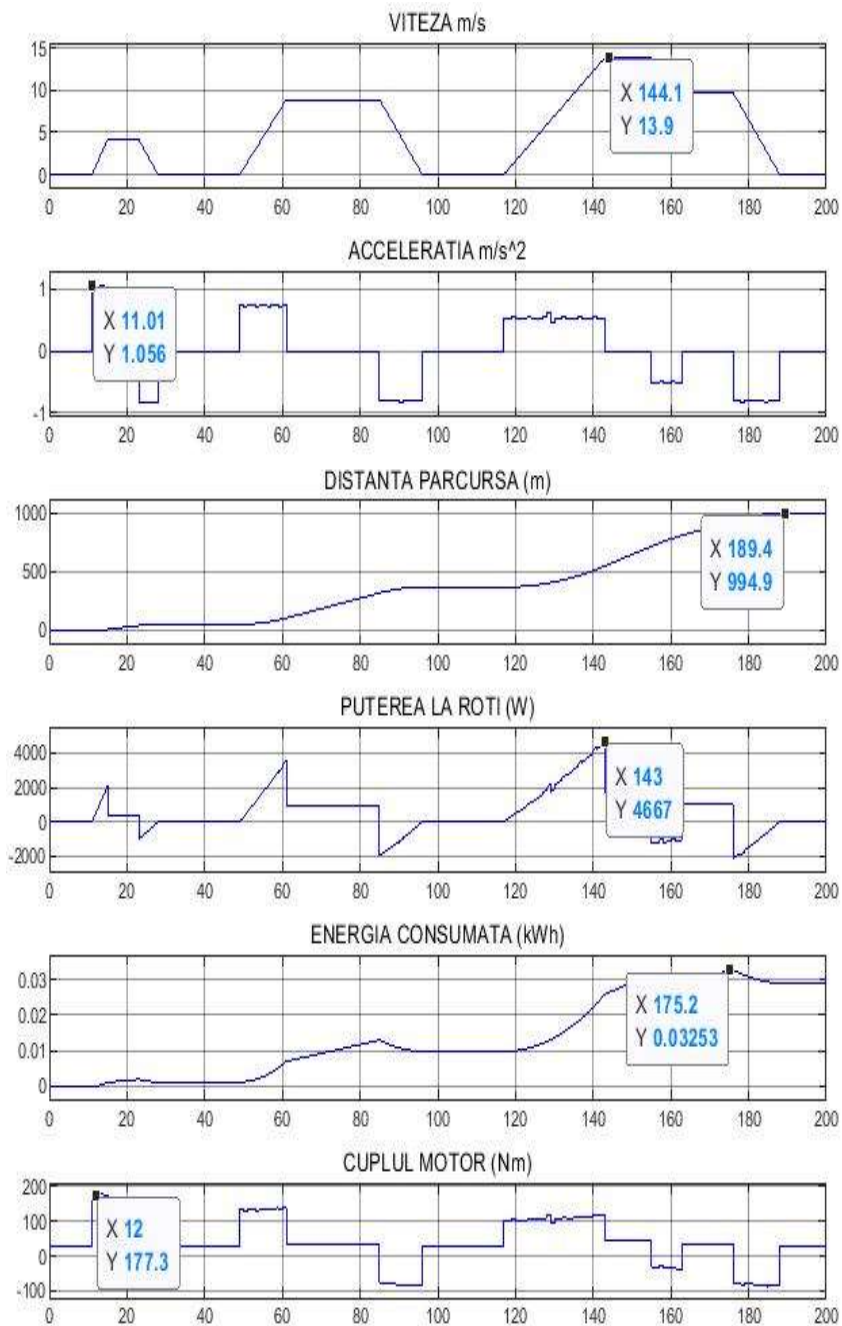


Fig.5 - Simulare ECE-15 cu masa autovehiculului de 400 kg

Din fig.4 și fig.5 putem trage următoarele concluzii:

- Valoarea puterii maxime la roți pentru vehiculul de 350 kg este de 4154 W, în timp ce pentru vehiculul de 400 kg este de 4667 W, ceea ce ne indică faptul că pentru alegerea acumulatorilor avem nevoie cel puțin 4.2 kW în cazul vehiculului cu masa de 350 kg și 4.7 kW pentru vehiculul cu masa de 400 kg, dacă vom considera înclinația drumului de 1°.
- Valoarea cuplului motor maxim este atins în jurul valorii de 155.1 Nm pentru vehiculul cu masa de 350 kg și 177.5 Nm pentru cel cu masa de 400 kg. Astfel, pentru propulsia vehiculului, la alegerea motorului electric, vom avea nevoie de un motor cu un cuplu motor maxim de cel puțin 160 Nm pentru vehiculul cu masa de 350 kg și 180 Nm pentru cel cu masa de 400 kg.

3. CONCLUZII

În această lucrare s-au realizat două modele de simulări cu ajutorul Simulink, pe baza cărora s-au obținut rezultate în timp virtual. Schemele de simulare au fost constituite pe baza modelelor matematice de proiectare dinamică a unui autovehicul. Rezultatele simulărilor sunt materializate în diagrame privind bilanțul de puteri și energie. Modelul întâi, a folosit ca variabilă de intrare un generator de cupluri motor, în care s-au generat cupluri 0-132 Nm echivalent cu apăsarea pedalei de accelerație. Modelul al 2-lea reprezintă un ciclu urban ECE-15, realizat pentru un studiu de consum energetic a unui autovehicul electric. Simularea utilizează ca variabile de intrare, un set de viteze corespunzătoare ciclului urban ECE-15. Ambele simulări sunt pe parcursul a 200 de secunde.

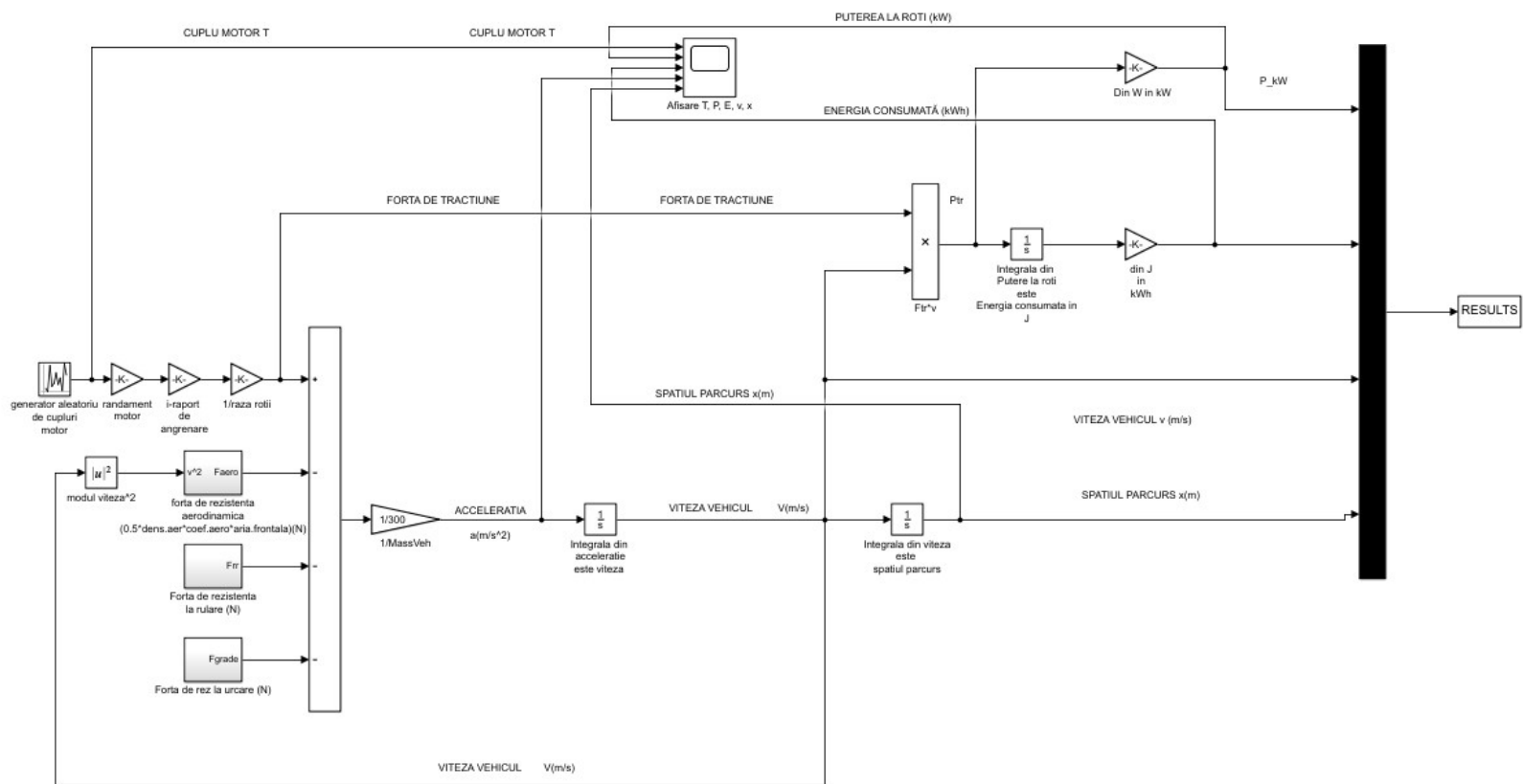
Rezultatele simulărilor stau la baza dimensionării motorului electric și a acumulatorilor unui vehicul electric. În lucrarea de față, s-a arătat cu ajutorul diagramelor și a calculelor, influența parametrilor precum: aria frontală a vehiculului, presiunea din pneuri, viteza vântului, înclinația drumului, coeficientul aerodinamic și coeficientul de rezistență la rulare, în bilanțul de putere și energie. Acest lucru ne ajută nu numai la dimensionarea precisă a acumulatorilor și a motorului electric, dar și la estimarea distanței rămase de parcurs până la epuizarea energiei din acumulatori și eficientizarea energetică prin identificarea valorilor optime de viteză și accelerație pentru mărirea autonomiei.

4. MULȚUMIRI

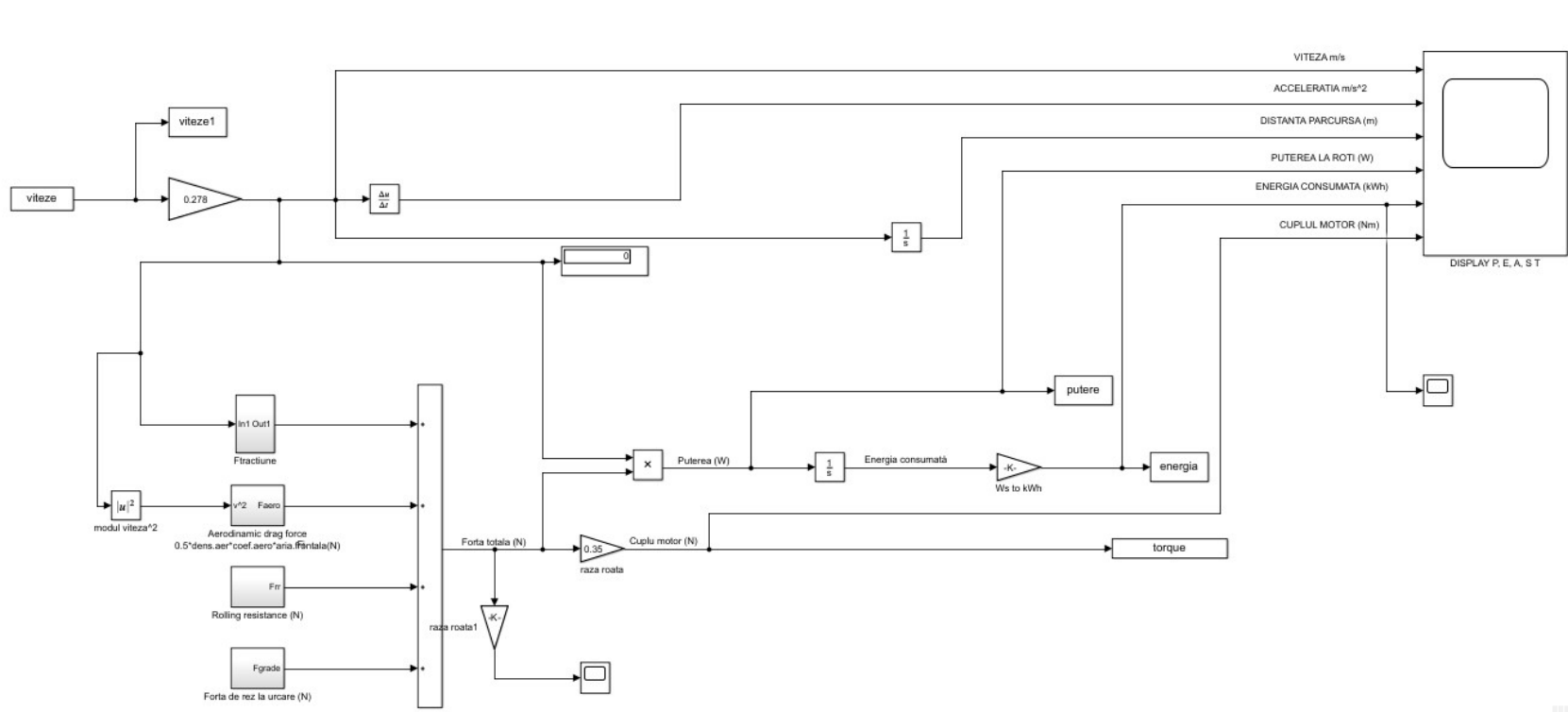
Rezultatele prezentate în acest articol au fost obținute cu sprijinul Ministerului Fondurilor Europene prin Programul Operațional Capital Uman, Contract nr. 51675/09.07.2019, cod SMIS 125125.

Tabelul 2. Valori ale vitezelor pentru scenariul ECE-15

| Timp s | Viteza km/h | Timp s | Viteza km/h | Timp s | Viteza km/h | Timp s | Viteza km/h | Timp s | Viteza km/h | Timp s | Viteza km/h |
|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
| 1 | 0 | 34 | 0 | 67 | 32 | 100 | 0 | 133 | 30.8 | 166 | 35 |
| 2 | 0 | 35 | 0 | 68 | 32 | 101 | 0 | 134 | 32.7 | 167 | 35 |
| 3 | 0 | 36 | 0 | 69 | 32 | 102 | 0 | 135 | 34.6 | 168 | 35 |
| 4 | 0 | 37 | 0 | 70 | 32 | 103 | 0 | 136 | 36.5 | 169 | 35 |
| 5 | 0 | 38 | 0 | 71 | 32 | 104 | 0 | 137 | 38.5 | 170 | 35 |
| 6 | 0 | 39 | 0 | 72 | 32 | 105 | 0 | 138 | 40.4 | 171 | 35 |
| 7 | 0 | 40 | 0 | 73 | 32 | 106 | 0 | 139 | 42.3 | 172 | 35 |
| 8 | 0 | 41 | 0 | 74 | 32 | 107 | 0 | 140 | 44.2 | 173 | 35 |
| 9 | 0 | 42 | 0 | 75 | 32 | 108 | 0 | 141 | 46.2 | 174 | 35 |
| 10 | 0 | 43 | 0 | 76 | 32 | 109 | 0 | 142 | 48.1 | 175 | 35 |
| 11 | 0 | 44 | 0 | 77 | 32 | 110 | 0 | 143 | 50 | 176 | 35 |
| 12 | 3.8 | 45 | 0 | 78 | 32 | 111 | 0 | 144 | 50 | 177 | 32.1 |
| 13 | 7.5 | 46 | 0 | 79 | 32 | 112 | 0 | 145 | 50 | 178 | 29.2 |
| 14 | 11.3 | 47 | 0 | 80 | 32 | 113 | 0 | 146 | 50 | 179 | 26.2 |
| 15 | 15 | 48 | 0 | 81 | 32 | 114 | 0 | 147 | 50 | 180 | 23.3 |
| 16 | 15 | 49 | 0 | 82 | 32 | 115 | 0 | 148 | 50 | 181 | 20.4 |
| 17 | 15 | 50 | 2.7 | 83 | 32 | 116 | 0 | 149 | 50 | 182 | 17.5 |
| 18 | 15 | 51 | 5.3 | 84 | 32 | 117 | 0 | 150 | 50 | 183 | 14.6 |
| 19 | 15 | 52 | 8 | 85 | 32 | 118 | 1.9 | 151 | 50 | 184 | 11.7 |
| 20 | 15 | 53 | 10.7 | 86 | 29.1 | 119 | 3.8 | 152 | 50 | 185 | 8.7 |
| 21 | 15 | 54 | 13.3 | 87 | 26.2 | 120 | 5.8 | 153 | 50 | 186 | 5.8 |
| 22 | 15 | 55 | 16 | 88 | 23.3 | 121 | 7.7 | 154 | 50 | 187 | 2.9 |
| 23 | 15 | 56 | 18.7 | 89 | 20.4 | 122 | 9.6 | 155 | 50 | 188 | 0 |
| 24 | 12 | 57 | 21.3 | 90 | 17.5 | 123 | 11.5 | 156 | 48.1 | 189 | 0 |
| 25 | 9 | 58 | 24 | 91 | 14.5 | 124 | 13.5 | 157 | 46.2 | 190 | 0 |
| 26 | 6 | 59 | 26.7 | 92 | 11.6 | 125 | 15.4 | 158 | 44.4 | 191 | 0 |
| 27 | 3 | 60 | 29.3 | 93 | 8.7 | 126 | 17.3 | 159 | 42.5 | 192 | 0 |
| 28 | 0 | 61 | 32 | 94 | 5.8 | 127 | 19.2 | 160 | 40.6 | 193 | 0 |
| 29 | 0 | 62 | 32 | 95 | 2.9 | 128 | 21.2 | 161 | 38.8 | 194 | 0 |
| 30 | 0 | 63 | 32 | 96 | 0 | 129 | 23.4 | 162 | 36.9 | 195 | 0 |
| 31 | 0 | 64 | 32 | 97 | 0 | 130 | 25 | 163 | 35 | | |
| 32 | 0 | 65 | 32 | 98 | 0 | 131 | 26.9 | 164 | 35 | | |
| 33 | 0 | 66 | 32 | 99 | 0 | 132 | 28.8 | 165 | 35 | | |



Anexa 1 – Schema de simulare a interacțiunii autovehiculului cu calea de rulare și atmosfera prin generarea de cupluri motor



Anexa 2 – Schema de simulare a interacțiunii autovehiculului cu calea de rulare și atmosfera
SCENARIUL URBAN ECE-15

BIBLIOGRAFIE

- [1] Robert Pietracho, Leszec Kasprzyk, Damian Burzynski, Institute of Electrical Engineering and Electronics Poznan University of Technology, Poznan, Poland, 2019 – Electrical propulsion systems in vehicles – an overview of solutions;
- [2] Anuja R. Jadhav ME (Embedded & VLSI) Department of Electronics & Telecommunication G. H. Raisoni Institute of Engineering and Technology, Pune, India, 2017 - Drive cycle analysis for electric vehicle using MATLAB;
- [3] Stefan Tabacu, Ion Tabacu, Tiberiu Macarie, Elena Neagu, Editura Universității din Pitești, 2004 - Dinamica autovehiculelor - Îndrumar de proiectare;
- [4] Bettes, William H – The aerodynamic drag of road vehicles, 1982 – Past, Present and Future, Engineering and science;
- [5] Ma Xianmin, Department of Automation, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi, China, 2002 – Propulsion System Control and Simulation of Electric Vehicle in Matlab Software Environment;
- [6] <https://www.mazda.ro/wltp/>;
- [7] <https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php#hev>;
- [8] https://www.mlelectronics.be/doc_downloads/hybride_voertuigen/specifications.pdf.
- [9] James Larminie, Oxford Brookes University, Oxford, UK, John Lowry, Acenti Designs Ltd., UK, 2003 - Electric Vehicle Technology Explained;
- [10] Juan Dixon, Alberto Zúñiga, Angel Abusleme and Daniel Soto, Department of Electrical Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2010 - Battery Powered Electric Car, Using Photovoltaic Cells Assistance;
- [11] M. A. Spina, R. J. de la Vega, S. R. Rossi, G. Santillán, R. C. Leegstra, C. Verucchi, F. A. Gachen, R. E. Romero, G. G. Acosta, Department of Electro-Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Olavarría, B7400JWI, Argentine, 2012 - Some Issues on the Design of a Solar Vehicle Based on Hybrid Energy System.