

DIMENSIONAREA SISTEMULUI DE PROPULSIE AL UNUI VEHICUL ELECTRIC. STUDIU DE CAZ

Drd. ing. Alexandru ȚURCANU

Drd. ing. Leonard Călin Valentin DOBRE;

Universitatea Politehnică București- Facultatea de Inginerie Electrică

Rezumat – Această lucrare își propune să prezinte modele matematice concrete, transpuse în scheme de simulare, pentru calculul forțelor care acționează asupra unui automobil la interacțiunea acestuia cu calea de rulare și atmosfera, pentru a putea dimensiona corect motorul electric și acumulatorii unui automobil electric. Pentru calculul acestor forțe s-a întocmit un tabel cu valori predefinite cum ar fi masa vehiculului, coeficientul de rezistență la rulare, raportul de angrenare, raza roții, și s-au utilizat aceste date pe tot parcursul lucrării. În a 2-a secțiune a lucrării s-au determinat valorile forțelor de rezistență care se opun înaintării vehiculului și forța de tracțiune necesară învingerii acestor forțe rezistive. Modelul matematic de calcul a fost compilat în Matlab și s-au obținut graficele din figurile 3-9.

1. INTRODUCERE

În ultimul deceniu s-a remarcat un trend ascendent de dezvoltare a pieței automobilelor electrice, în vederea sprijinirii tranziției către o economie cu emisii scăzute de CO₂ și eficiente din punct de vedere al utilizării resurselor [1]. Concomitent cu cercetările pentru înlocuirea combustibililor fosili, un accent deosebit se pune pe eficientizarea energetică. Pentru a se realiza o eficientizare energetică cât mai ridicată, în faza de proiectare a vehiculului, se realizează un studiu asupra interacțiunii vehiculului cu calea de rulare și atmosfera în scopul determinării forțelor care acționează asupra vehiculului [2]. Odată cu determinarea forțelor de rezistență la înaintare, se determină forța de tracțiune necesară deplasării vehiculului. Prin extrapolare, forțele rezistive și forța de tracțiune conduc la determinarea puterii necesare deplasării vehiculului. În acest scop, în lucrarea de față se prezintă formulele de calcul pentru determinarea forțelor rezistive care acționează asupra unui autovehicul electric și forța de tracțiune. Prin utilizarea valorilor din tabelul 1, și a formulelor matematice, s-au creat fișiere de tip M în Matlab pentru prezentarea sub formă grafică a rezultatelor obținute.

2. INTERACȚIUNEA AUTOMOBILULUI CU CALEA DE RULARE ȘI ATMOSFERA

Cu ajutorul studiului interacțiunii automobilului cu calea de rulare putem identifica forțele care acționează asupra automobilului.

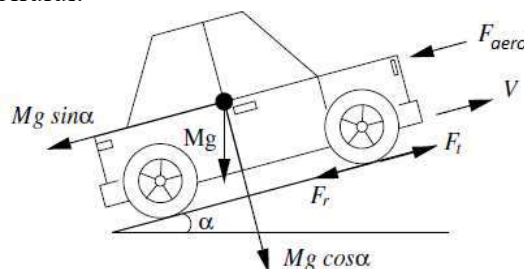


Fig. 1- Forțele care acționează la deplasarea unui automobil [2]

Aceste forțe ne vor ajuta mai târziu la dimensionarea componentelor (motor electric, acumulatori).

Tabel 1 – Specificații automobil

Coeficientul de rezistență la rulare	f	0,0055
Masa totală	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 inclinare 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

Ecuția generală a forțelor care acționează asupra unui automobil este [3]:

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

unde,

F_{ri} = forța de rezistență la înaintare;

F_r = forța de rezistență la rulare ;

F_{aero} = forța de rezistență aerodinamică;

F_p = forța de rezistență la urcare pantă ;

F_a = forța la accelerare;

Pentru deplasarea automobilului este necesară următoarea condiție:

$$F_t > F_r + F_{aero} + F_p + F_a \quad (2)$$

Unde,

F_t = forța de tracțiune

2.1. Forțe de rezistență la înaintare

2.1.1. Rezistența la rulare (F_r) este o forță cu acțiune permanentă la rularea roților pe un drum [4]. Cauzele fizice ale acestei rezistențe la înaintare sunt: deformarea cu histerezis a pneului, frecări superficiale între pneu și cale, frecările din lagărele roții, deformarea căii de rulare, percuția dintre elementele pneului și micro neregularitățile căii, efectul de ventuză produs de pofilele cu contur închis pe banda de rulare etc.[5]

Față de cauzele determinate, rezistența la rulare depinde de un număr mare de factori de influență, printre care cei mai semnificativi sunt: construcția pneului, viteza de deplasare, presiunea aerului din pneu, forțele și momentele ce acționează asupra roții [6].

În calculele de proiectare dinamică a autovehiculelor, rezistența la rulare este luată în considerare prin *coeficientul rezistenței la rulare* f , care reprezintă o forță specifică la rulare. Adoptând $f = 0.0055$ specific pentru un vehicul solar de curse și considerând un drum cu panta 0 se obține rezistența la rulare:

$$Fr = f \cdot m \cdot g \quad (3)$$

Astfel valoarea rezistenței la rulare se poate scrie:

$$Fr = 0.0055 \cdot 300 \cdot 9.8 = 16.17 \text{ N} \quad (4)$$

Sau se mai poate scrie sub forma:

$$Fr = Cr \cdot N \quad (5)$$

Unde,

Cr = coeficient de rulare

N = normala la suprafață

În figura 2 s-au prezentat valorile recomandate pentru coeficientul rezistenței la rulare pentru diferite categorii de vehicule, în vederea utilizării acestora la calculele de proiectare.

Presiunea pneurilor este un parametru important care influențează forța de rezistență la rulare, după masa vehiculului și coeficientul de frecare pe suprafața de rulare așa cum reiese din figura 3.

Pentru a obține graficul din figura 3, s-a utilizat următoarea relație în mediul de dezvoltare Matlab:

$$Cr = 0.005 + 1/p (0.01 + 0.0095 (v/100))^2 \quad (6)$$

unde,

p = presiunea din pneuri;

v = viteza vehiculului 16.6 m/s;

Cr = coeficientul de rulare.

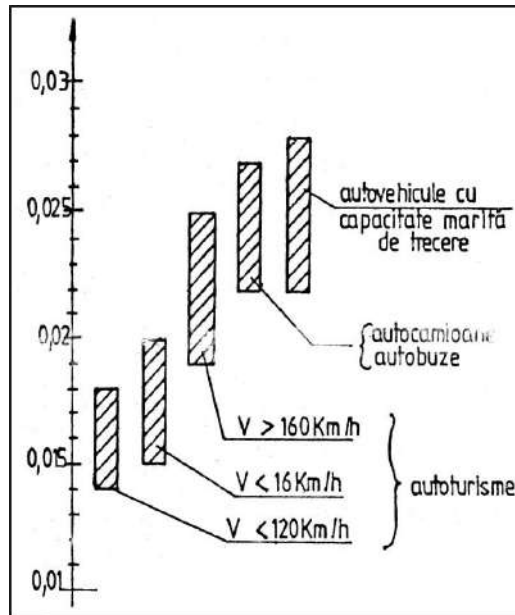


Fig. 2 - Valori recomandate pentru coeficientul rezistenței la rulare f [3]

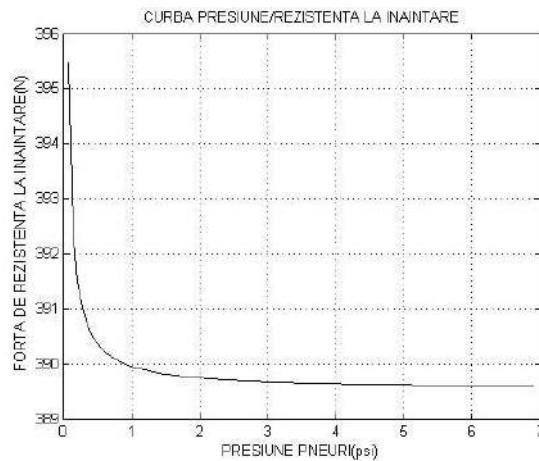


Fig. 3 - Graficul presiune pneuri-forță de rezistență la înaintare

2.1.2 Forța de rezistență aerodinamică este forța de semn contrar direcției de deplasare, ce acționează asupra corpurilor aflate în mișcare opunând rezistență prin intermediul curenților de aer. Aerodinamica este un factor foarte important în proiectarea autovehiculelor deoarece influențează în mod direct consumul de energie. Coeficientul aerodinamic este o măsură a eficienței aerodinamice a corpului studiat [7]. Forța aerodinamică F_{aero} este dată de relația:

$$F_{aero} = \frac{\rho}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot (v + v_0)^2 \quad (7)$$

Unde,

ρ = densitatea aerului;

C_d = coeficientul de rezistență al aerului;

A = aria frontală a autovehiculului;
 v = viteza autovehiculului;
 v_0 = viteza vântului din față.

Luând în considerare valorile din tabelul 1, pentru o valoare nulă a vitezei vântului obținem:

$$F_{aero} = 0.5 \cdot 1.22 \cdot 0.35 \cdot 1 \cdot 275.56 = 58.83 \text{ N} \quad (8)$$

Energia consumată pentru a compensa forța aerodinamică este un important aspect luat în considerație la dimensionarea motorului deoarece aceasta este direct proporțională cu pătratul vitezei, așa cum reiese din relația forței de rezistență aerodinamice. La viteze foarte mari consumul de energie datorat rezistenței la înaintare a forței aerodinamice poate ajunge chiar și la 50% din energia produsă de motor [6].

În figura 4 se arată influența vitezei vântului asupra forței de rezistență a aerului, asumând pentru acest studiu o înclinare a pantei de 10^0 , un interval de valori al vitezei vântului de la 1-10 m/s și viteza vehiculului de 16,6 m/s.

Graficul s-a obținut în Matlab, cu ajutorul formulei :

$$P_{cons} = F_{aero} \times v + F_r \times v + F_p \times v \quad (9)$$

Unde,

$$F_{aero} = \frac{\rho}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot (v + v_0)^2 \quad (10)$$

Cu v_0 = viteza vântului din față

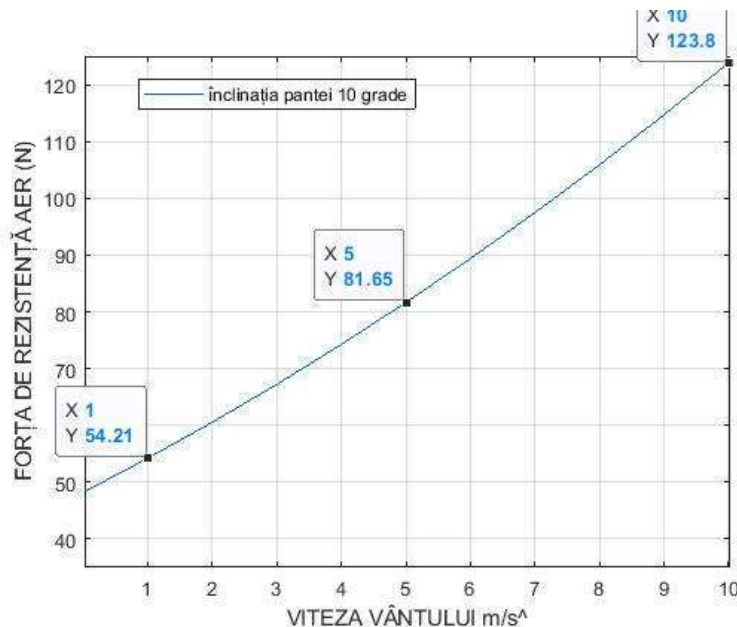


Fig. 4 Influența vitezei vântului asupra forței de rezistență a aerului

Conform graficului din fig.4 se observă că la o viteză a vântului de 1 m/s, forța de rezistență a aerului este de 54.21 N în timp ce la o viteză a vântului de 5 m/s se înregistrează o forță de rezistență egală cu 81.65 N. Valoarea maximă de 10 m/s a vântului, corespunde unei valori de 123.8 N, ceea ce ne arată influența vântului asupra forței de rezistență a aerului, cu datele considerate din tabelul .

2.1.3 Forța de rezistență la urcare (pantă)

La deplasarea autovehiculului pe căi cu înclinare longitudinală, figura 5, greutatea dă o componentă (F_p) după direcția deplasării, dată de relația :

$$F_p = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (11)$$

Această forță este o forță rezistentă la urcarea rampelor (de sens opus vitezei de deplasare) și o

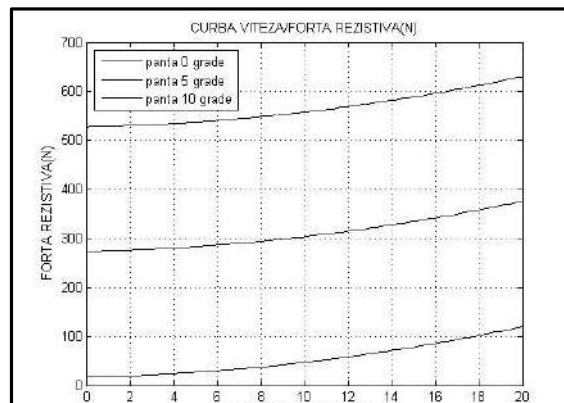


Fig. 5 - Graficul viteză – forță de rezistență la înaintare

forță activă la coborârea pantelor.

Alegerea unghiului de înclinare longitudinală a căii se face funcție de tipul și destinația automobilului [8].

Pentru unghiul de înclinare al pantei $\alpha = 0^0$ obținem:

$$F_p = 300 \cdot 9.8 \cdot 0 = 0 \quad (12)$$

$$F_p = 0 \text{ N} \quad (13)$$

În graficul din figura 5, s-a arătat influența unghiului de înclinare al pantei, asupra forței de rezistență totală la înaintare.

S-au luat ca exemple 3 valori ale unghiului de înclinare: 0^0 , 5^0 , 10^0 și s-a obținut cu ajutorul limbajului Matlab, graficul din figura 5. Se observă că la o viteză de 20 m/s, forța rezistivă este în jurul valorii de 120 N pentru o înclinație de 0^0 , 380 N la o înclinație de 5^0 și 620 N pentru o înclinație de 10^0 .

Ecuția generală a forței de rezistență la înaintare la viteză constantă se poate scrie:

$$F_{ri} = F_r + F_{aero} + F_p \quad (14)$$

$$F_{ri} = 0.005 + 1/p(0.01+0.0095 \cdot (v/100))^2 \cdot m \cdot g + 1/2 \rho \cdot C_d \cdot A \cdot (v+v_0)^2 + m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

Unde forța de rezistență la înaintare în cazul unui drum cu înclinare 0 și viteză constantă (acelerație nulă) este:

$$F_{ri} = 58,83+0+16.17 = 75 N \quad (15)$$

2.2. Calculul de tracțiune. Forța de tracțiune

Forța de tracțiune se comportă ca putere de propulsie pentru a învinge forțele de rezistență. Condiția minimă necesară pentru deplasarea autovehiculului este ca forța de tracțiune să fie mai mare decât forța de rezistență [9]:

$$F_t > F_{ri} \quad (16)$$

Viteza teoretică la care poate ajunge vehiculul este dată de relația:

$$v = \frac{2\pi \cdot R_d \cdot \eta}{i} \cdot n \quad (17)$$

$$v = 2 \cdot 3.14 \cdot 0.345 \cdot 0.95 \cdot 21.6/2.685$$

$$v = 16.6 \text{ m/s} \quad (18)$$

$$v = 58.24 \text{ km/h} \quad (19)$$

Unde,

i = raportul de angrenare conform tabel 1;

η = randamentul motorului electric;

n = turația motorului electric;

Pe baza acestei relații, și ținând cont de caracteristicile motorului CSIRO SCM 150, tabelul 2, cu ajutorul Matlab, s-au generat turații cuprinse între 16-40 rot/sec, și s-au obținut valorile vitezei vehiculului din figura 6.

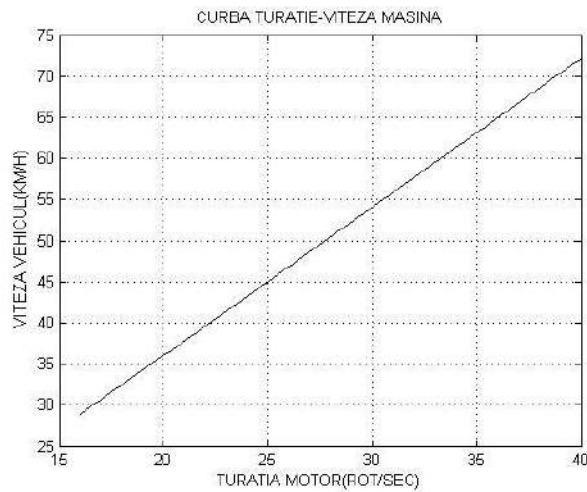


Fig. 6 Graficul turație motor – viteză vehicul

Pentru a calcula viteza vehiculului în funcție de caracteristicile motorului și a razei rotii s-a luat în considerare cazul motorului DC brushless CSIRO SCM 150. Din caracteristicile cuplu motor/viteză a acestuia, și considerând forța de rezistență minimă la înaintare de 75 N și raza roții de 0.35 m, s-a citit o valoare a turației motorului de aproximativ 1300 rpm respectiv 21.66 rot/sec.

Tabelul 2. Caracteristici motor CSIRO SCM 150 [8]

Peak Power	7,5 kW
Continuous power @ Vnom	3,75 kW
Speed @ Peak Power	1300 RPM
No-Load Speed	1700 RPM
Peak Torque @ I _{max} (T _p)	135 Nm
DC bus Voltage Nominal (V _{nom})	96 V
Weight	20 kg
Peak Power	7,5 kW

Se calculează viteza vehiculului în funcție de caracteristicile motorului. S-a luat în calcul, prin citirea graficului, ca și cuplul motor specific turației să fie îndeajuns de mare pentru a depăși forțele de rezistență la înaintare. Se obține:

$$T = Fr \times Rd \quad (20)$$

$$T = 75 \times 0.35 = 26.25 \text{ Nm} \quad (21)$$

Unde,

T = cuplul motor

Fr = forța totală de rezistență la înaintare

Rd = raza roții

Forța de tracțiune maxim dezvoltată sau forța la roată este dată de formula:

$$F_t = \frac{T \cdot \eta \cdot i}{R_d} \quad (22)$$

$$F_t = 132 \cdot 0.95 \cdot 2.685 / 0.345 = 975.93 \text{ N} \quad (23)$$

Unde cuplul motor, $T=132 \text{ Nm}$, tabelul 2, reprezintă cuplul motor maxim dezvoltat de motorul CSIRO SCM 150 cu un randament η de 0.95% și un raport de transmisie $i=2.685$.

Pe baza relației forței de tracțiune maxim dezvoltate s-a obținut graficul din figura 7.

2.3 Puterea dezvoltată

În acest subcapitol se studiază deplasarea automobilului la viteza maximă. Puterea necesară deplasării vehiculului la viteza maximă este :

$$P_{vmax} = P_r + P_{aero} + P_p \quad (24)$$

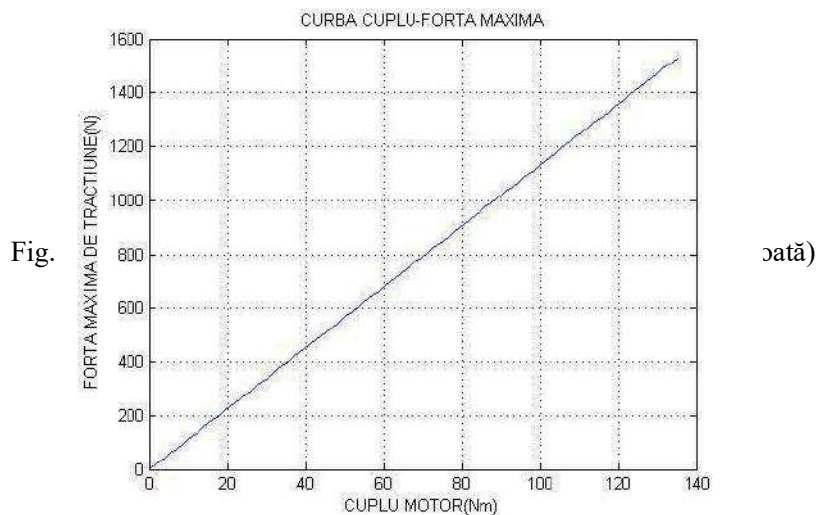
Unde,

P_r = puterea dezvoltată asociată forței de rezistență la rulare;

P_{aero} = puterea dezvoltată asociată forței aerodinamice;

P_p = puterea dezvoltată asociată forței de rezistență la urcare (pantă).

Puterea dezvoltată la viteza maximă se poate scrie ca:



$$P_{vmax} = (F_r \times v_{max}) + (F_{aero} \times v_{max}) + (F_p \times v_{max}) \quad (25)$$

Puterea dezvoltată la viteză maximă reprezintă de fapt puterea necesară a fi generată de motorul electric CSIRO SCM 150 alimentat de la acumulatori, pentru a atinge viteza maximă.

Se consideră următorul caz :

Viteza vântului din față = 0 m/s ;
Unghiul de înclinare al pantei = 0° ;
Accelerația vehiculului = 0 m/s² ;

Având în vedere că :

$$F_r = 16.17 \text{ N} \quad (4)$$

$$F_{aero} = 58.83 \text{ N} \quad (8)$$

$$F_p = 0 \text{ N} \quad (13)$$

Viteza instantanee: $v = 16.6 \text{ m/s}$ (la viteza de 60 km/h adică 16.6 m/s)

Rezultă :

$$P_{vmax} = 16.17 \times 16.6 + 58.83 \times 16.6$$

$$P_{vmax} = 268.42 + 976.578$$

$$P_{vmax} = 1244.99 \text{ W} \quad (26)$$

Din această relație mai putem deduce că intensitatea curentului la acumulatori, la viteza de 60 km/h, considerând tensiunea constantă de 48 V este :

$$I = P_{vmax} / U \quad (27)$$

$$I = 1244.99 / 48 = 25.93 \text{ A} \quad (28)$$

Accelerația determină mișcarea vehiculului și consumul de energie, fiind un aspect important în studierea bilanțului de puteri al autovehiculelor[10]:

Puterea necesară accelerării vehiculului solar este dată de relația :

$$P_{acc} = m \times a \times v \quad (29)$$

Unde a este accelerația vehiculului și reprezintă derivata vitezei în raport cu timpul,

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (30)$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (31)$$

Puterea folosită la roți este :

$$P_{out} = m \times \vec{a} \times \vec{v} + P_{vmax} \quad (32)$$

În figura 8, se evidențiază influența accelerației autovehiculului asupra puterii dezvoltate. Graficul s-a realizat cu ajutorul compilării fișierului M din Matlab.

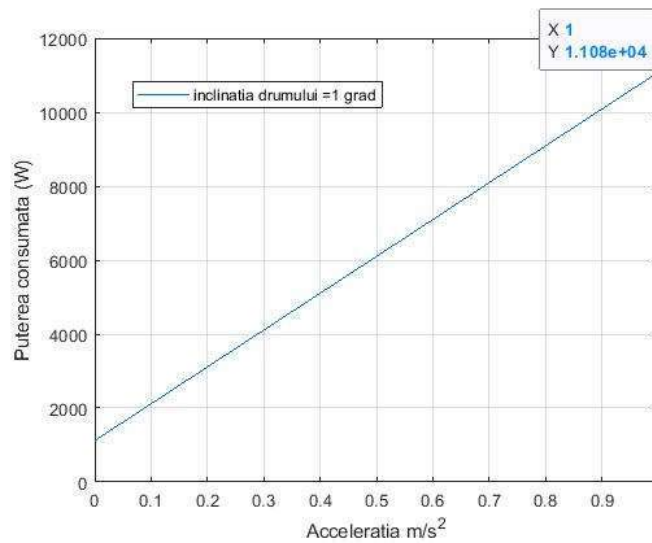


Fig.8 - Puterea dezvoltată în funcție de accelerația autovehiculului la o înclinație de 1° a pantei

Se observă, din figura 8, o putere dezvoltată de 2000 W la o accelerație de 0.1 m/s² pentru o înclinare a drumului de 1°, în timp ce la o accelerație de 1 m/s², puterea dezvoltată ajunge la o valoare aproximativă de 11 080 W. Acest rezultat înseamnă că dacă ne dorim ca autovehiculul propus să accelereze cu o valoare de 1 m/s² pe un drum o înclinare de 1°, este necesar un aport de putere din acumulatori de 11 080 W.

În cazul puterii dezvoltate funcție de viteza vehiculului și înclinația pantei, s-a obținut graficul din figura 9, asumând viteza vântului fiind nulă.

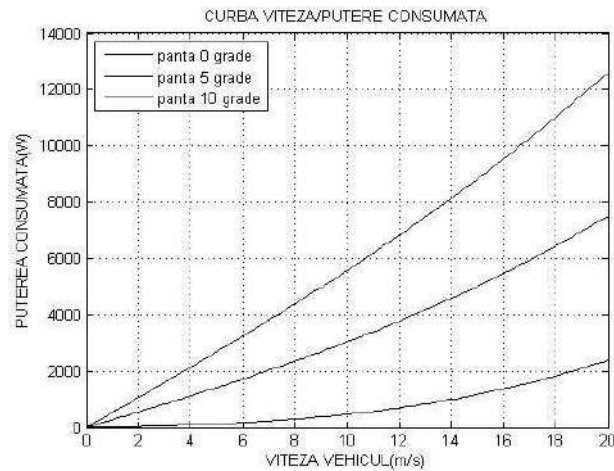


Fig.9 - Puterea dezvoltată în funcție de viteza autovehiculului la diferite înclinații ale pantei

Din figura 9, se evidențiază influența înclinației pantei asupra puterii dezvoltate, astfel că la o viteză de 18 m/s la o înclinație de 0° , puterea dezvoltată este în jurul valorii de 2000 W, la o înclinație de 5° este 6400 W, iar la o înclinație de 10° ajunge în jurul valorii de 11000 W.

2.4 Ecuația de mișcare pentru vehicul

Condiția de deplasare a vehiculului este ca forța de tracțiune să depășească forțele de rezistență, iar puterea motorului prin cuplul motor să fie mai mare decât puterea necesară la roți[7]:

$$F_t > F_{ri} \quad (33)$$

$$P_m > P_{roti} \quad (34)$$

Unde P_m = puterea motorului

Se va determina cu ajutorul trecerii la limită, puterea minimă P_{min} necesară deplasării vehiculului astfel:

$$\lim_{v \rightarrow 0} P_{nec} = \frac{P_{nec}(v) - P_{nec}(v_0)}{v - v_0} \quad (35)$$

Pentru cazul nostru relația devine :

$$\lim_{v \rightarrow 0} P_{cons} = \frac{P_{nec}(v) - P_{nec}(v_0)}{v - v_0} = \frac{284.84 \cdot v + 0.2135 \cdot v^3}{v}$$

$$\lim_{v \rightarrow 0} P_{nec} = 284,84 + 0,2135 \cdot v^2$$

$$\lim_{v \rightarrow 0} P_{nec} = 284,84W \quad (36)$$

de unde rezultă că puterea minimă necesară deplasării vehiculului este:

$$P_{min} = 284,84 \text{ W} \quad (37)$$

2.5 Ecuatiile de putere pentru vehiculul în mișcare uniform accelerată

Puterea necesară accelerării vehiculului solar este dată de:

$$P_{acc} = m \times a \times v \quad (38)$$

Unde a este accelerația vehiculului,

$$\vec{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (30)$$

Puterea folosită la roți este :

$$P_{out} = m \times a \times v + P_{vmax} \quad (32)$$

$$P_{out} = m \times a \times v + (F_{rr} \times v_{max}) + (F_{aero} \times v_{max}) + (F_p \times v_{max}) \quad (39)$$

Ecuția generală de putere devine în cazul mișcării uniform accelerate a vehiculului:

$$P_{out} = m \times a \times v + [0.005 + 1/p(0.01 + 0.0095(v/100))^2] \cdot N \cdot v + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot (v+v_0)^2 \times v \quad (40)$$

Unde,

N = normala la suprafață;

$v_0=0$.

3. CONCLUZII

În această lucrare s-a realizat un model de calcul a forțelor rezultante la interacțiunea unui autovehicul cu calea de rulare, și puterea dezvoltată asociată acestor forțe. Modelul de calcul este constituit etapizat. În prima etapă s-a întocmit un tabel cu parametrii inițiali ai vehiculului, tabel 1, apoi s-au prezentat formulele de calcul pentru determinarea forțelor de rezistență la înaintare, forța de tracțiune și puterea necesară deplasării vehiculului. Parametrii inițiali din tabelul 1 s-au introdus în formule și s-au obținut o serie de rezultate. Aceste rezultate s-au materializat prin exemplificări grafice sub formă de diagrame. Pentru determinarea anumitor rezultate a fost necesar alegerea unui anumit tip de motor. Astfel, s-a ales un motor electric ”în roată” și ”fără perii” model CSIRO SCM 150 cu specificațiile din tabelul 2. Cu ajutorul motorului, și ținând cont de parametrii din tabelul 1, s-a determinat o viteză maximă pe care o poate atinge vehiculul de 16.18 m/s echivalentul a 58.24 km/h. În ceea ce privește forța de tracțiune maxim dezvoltată de vehicul, s-a obținut o valoare de 1517.15 N, ținând cont de parametrii din tabelul 1 și 2. S-a determinat o

puterea maximă de 1244.99 W a vehiculului la o viteză constantă de 16.6 m/s, cu un unghi de înclinare nul, și viteza vântului din față de 0 m/s. S-a studiat și cazul vehiculului în accelerare de la 0 la 1 m/s², și s-a obținut o valoare maximă a puterii dezvoltate de 11 080 W corespunzătoare valorii de 1 m/s² și o înclinare a drumului de 1⁰.

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.

BIBLIOGRAFIE

- [1] 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;
- [2] Md. Junaid Akhtar, R.K Behera, S.K. Parida, Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology, Patna, India, 2015 – Propulsion System Design of Electric Vehicle;
- [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] Robert Pietracho, Leszecz 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;
- [6] Mario Porru, Alessandro Serpi, Andrea Floris, Alfonso Damiano, Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Cagliari, Cagliari, Italy, 2016 – Modelling and Real-Time Simulations of Electric Propulsion Systems;
- [7] James Larminie, Oxford Brookes University, Oxford, UK, John Lowry, Acenti Designs Ltd., UK, 2003 - Electric Vehicle Technology Explained;
- [8] 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;
- [9] 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;
- [10] Seref Soyulu, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, 2011: Electric vehicles – modelling and simulations.