A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2012

POSIBILITĂŢI DE EVALUARE A PARAMETRILOR CAPACITĂŢII DE DEMARARE A AUTOVEHICULELOR

Adrian TODORUŢ, István BARABÁS, Nicolae CORDOŞ

POSSIBILITY OF EVALUATION OF THE AUTOMOTIVE START UP CAPACITY PARAMETERS

The paper presents some calculus algorithms of the automotive start up capacity. The method is aimed to be used for any type of autovehicles.

Cuvinte cheie: autovehicul, demaraj, algoritmi de calcul
Keywords: autovehicle, start up, calculus algorithms

1. Introducere

Studiul, evaluarea şi compararea capacităţii de demaraj a autovehiculelor presupune determinarea acceleraţiei, a timpului şi a spaţiului de demaraj.

2. Determinarea acceleraţiei

Dinamicitatea autovehiculului este caracterizată de forţa disponibilă (excedentară) F_{exc} folosită la învingerea rezistenţelor drumului şi rezistenţelor la demararea autovehiculului, dar aceasta nu poate fi folosită ca indicator de comparaţie pentru autovehiculele cu greutăţi diferite. Calităţile dinamice ale autovehiculului se apreciază cu ajutorul factorului dinamic D, care este o forţă excedentară specifică (parametru adimensional), dat de relaţia [1, 2, 3]:

$$D = \frac{F_{exc}}{G_a} = \frac{F_R - R_a}{G_a} = \frac{F_R - k_a \cdot S \cdot v_r^2}{G_a}, \quad (1)$$

în care: G_a este greutatea totală a autovehiculului, în N; F_R – forţa la roată, obţinută prin însumarea forţelor tangenţiale de la toate roţile motoare ale autovehiculului, în N; R_a – forţa de rezistenţă a aerului, în N; k_a – coeficientul aerodinamic, în kg/m^3; S – aria secţiunii transversale a autovehiculului, în m^2, ($S = k_S \cdot H \cdot E$, unde: k_S – coeficient de corecţie a ariei, cu valori între 0,90...0,95 în cazul autoturismelor și 1,05...1,10 în cazul autocamioanelor; H – înălţimea autovehiculului, în m; E – ecartamentul autovehiculului, în m); v_r – viteza relativă de deplasare a autovehiculului pe direcţia axei longitudinale a acestuia faţă de aer, în m/s (la calculul vitezei v_r se ţine seama de viteza v de deplasare a autovehiculului şi de viteza vântului v_v, astfel: $v_r = v + v_v$, dacă vântul bate în sens opus mişcării autovehiculului; $v_r = v - v_v$, dacă vântul bate în acelaşi sens cu mişcarea autovehiculului; $v_r = \sqrt{v^2 + v_v^2 + 2 \cdot v \cdot v_v \cdot \cos\alpha_v}$ dacă vântul bate sub un unghi α_v faţă de axa longitudinală a autovehiculului).

Având în vedere relaţia (1) şi bilanţul de tracţiune al autovehiculului, expresia factorului dinamic poate fi scrisă sub forma [1, 2, 3]:

$$D = \psi + \frac{1}{g} \cdot \delta_{rot} \cdot \frac{dv}{dt}, \quad (2)$$

în care: ψ este coeficientul de rezistenţă totală a drumului, care se calculează în funcţie de coeficientul f de rezistenţă la rulare, de înclinarea longitudinală a drumului şi se ţine seama de deplasarea autovehiculului pe rampă (+) sau pantă (–), ($\psi = f \cdot \cos\alpha \pm \sin\alpha$); g – acceleraţia gravitaţională, în m/s^2; δ_{rot} – coeficientul de influenţă a maselor în mişcare de rotaţie ale autovehiculului ($\delta_{rot} = 1 + \sigma \cdot i_{cv}^2$, unde i_{cv} este raportul de transmitere din cutia de viteze în treapta selectată, iar σ = 0,04...0,09).

La diferite turaţii n ale motorului ($n = n_{min}...n_{max}$) şi în diferite trepte j de viteză (j = 1...k; k – numărul treptelor de viteză din cutia de viteze), caracterizate de raportul de transmitere $i_{cv\,j}$, relaţia de calcul a factorului dinamic $D_{j,n}$ are forma [1, 2, 3]:

$$D_{j,n} = \frac{F_{R\,j,n} \cdot i_{cv\,j} - \dfrac{k_a \cdot S \cdot v_{r\,j,n}^2}{i_{cv\,j}^2}}{G_a}. \qquad (3)$$

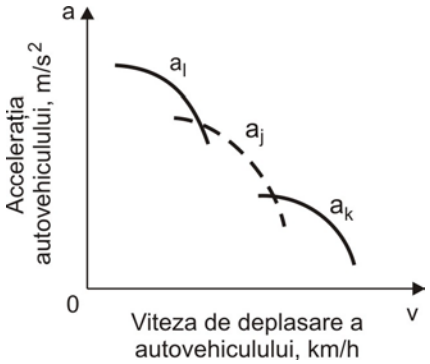


Fig. 1 Curbele acceleraţiei autovehiculului în funcţie de viteza de deplasare a acestuia, a = f(v)

Ţinând seama de relaţiile (1), (2), (3) şi de expresia generală a acceleraţiei (a = dv/dt), rezultă relaţia de calcul a acceleraţiei autovehiculului $a_{j,n}$ în treapta de viteze j, pe toată gama n de turaţii ale motorului:

$$a_{j,n} = (D_{j,n} - \psi) \cdot \frac{g}{\delta_{rot\,j}}. \qquad (4)$$

Dependenţa acceleraţiei autovehiculului $a_{j,n} = f(v_{j,n})$ faţă de viteza de deplasare corespunzătoare treptelor de viteză ($v_{j,n} = 0{,}377 \cdot r_d \cdot n / i_{t\,j}$, în km/h, unde r_d este raza dinamică a roţilor motoare, în m), când motorul funcţionează la n turaţii, este reprezentată în figura 1 [1, 2, 3].

3. Determinarea duratei de demarare

Durata de demarare (t_d) este intervalul de timp în care autovehiculul, pornind din loc, atinge viteza v_n, ($v_n \cong 0{,}9 \cdot v_{max}$). În zona ($0{,}9 \cdot v_{max} ... v_{max}$) acceleraţia este foarte mică, iar creşterea vitezei nu mai este perceptibilă. La v_{max}, inversul acceleraţiei fiind ∞, curba (1/a) tinde asimptotic către verticala dusă din această viteză (figura 2).

Având în vedere că dt = dv/a, se poate determina durata de demarare t_d necesară creşterii vitezei între limitele v_0 şi v_n:

$$t_d = \int_0^t dt = \int_{v_0}^{v_n} \frac{dv}{a}. \qquad (5)$$

Pentru determinarea duratei de demarare de la pornirea din loc până la v_n, se construieşte diagrama inversului acceleraţiei pentru toate treptele cutiei de viteze, considerându-se că trecerea de la o treaptă la

alta se face în momente optime, care se află la intersecţia curbelor inversului acceleraţiei la diferite trepte (figura 2) [1].

Se presupune că vitezele $v_{x_{(j-1),j}}$ (figura 2) se obţin la turaţia ($n_x \cong n_{ec}$). Turaţia n_{ec} caracterizează regimul economic de funcţionare a motorului și corespunde consumului specific efectiv minim de combustibil. Această turație este situată în zona optimă de schimbare a treptelor de viteză, între turația n_M corespunzătoare momentului efectiv maxim al motorului și turația n_P corespunzătoare puterii efective maxime a acestuia, mai aproape de turația n_P, în jurul valorii de 75 % din turaţia n_P.

Dacă trecerea de la o treaptă de viteză la alta s-ar realiza mai înainte sau mai târziu de punctele $x_{1,2}$, $x_{2,3}$, ..., $x_{(k-1),k}$ (figura 2), durata de demarare ar creşte, deoarece suprafaţa de integrare se măreşte cu porţiunile haşurate din diagramă.

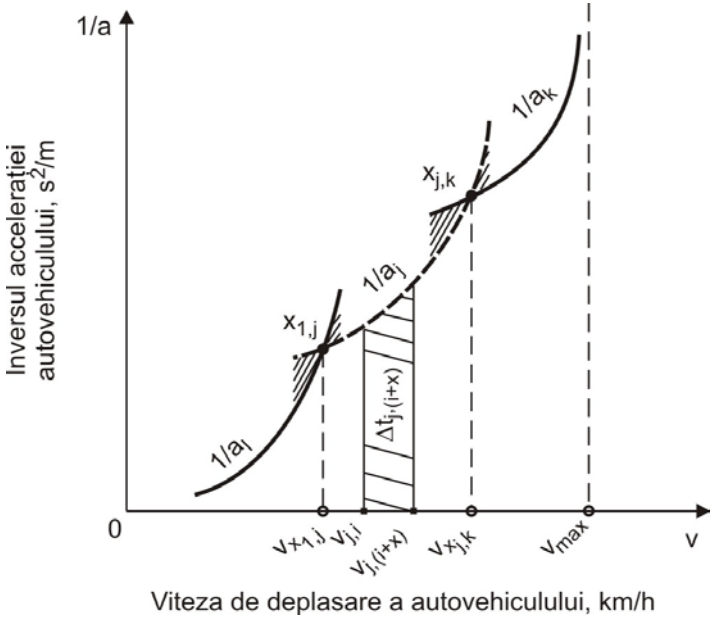


Fig. 2 Determinarea grafică a duratei totale de demarare a autovehiculului

La un autovehicul care are k trepte în cutia de viteze, durata totală de demarare se determină conform relaţiei:

$$t_d = \sum_{j=1}^{k} t_j \ , \qquad (6)$$

în care t_j este durata de demarare corespunzătoare treptei j de viteză,

$$t_j = \sum_{i=n_{min}}^{i_1} \Delta t_{j,(i+x)} \ , \qquad (7)$$

unde:

$$i_1 = \begin{cases} (n_x - x), \text{pentru } j = 1 \\ n_{min}, (n_{min} + x) \ldots (n_x - x), \text{pentru } 2 \le j \le (k-1) \\ n_{min}, \ (n_{min} + x) \ldots (0{,}9 \cdot n_{max} - x), \text{pentru } j = k \end{cases} . \quad (8)$$

Pentru determinarea grafică a duratei de demarare $t_d = f(v)$, creşterea x a turaţiei motorului se alege suficient de mică pentru a putea considera aria $\Delta t_{j,(i+x)}$ egală cu aria unui trapez (figura 2):

$$\begin{cases} \Delta t_{j,(i+x)} = \dfrac{v_{j,(i+x)} - v_{j,i}}{3{,}6} \cdot \dfrac{\dfrac{1}{a_{j,(i+x)}} + \dfrac{1}{a_{j,i}}}{2}, \ [s], \\ i = n_{min} \ldots i_1 \end{cases} \qquad (9)$$

în care: $v_{j,i}$ şi $v_{j,(i+x)}$ se exprimă în km/h, iar $a_{j,i}$ şi $a_{j,(i+x)}$ în m/s^2.

În funcţie de treapta de viteză considerată, durata de demarare se poate determina cu ajutorul relaţiei:

$$t_{j,(i+x)} = t_{(j-1),n_x} + \sum_{i=n_{min}}^{i_1} \Delta t_{j,(i+x)} \ , [s]. \qquad (10)$$

Cu relaţiile (9) şi (10) se obţin domeniile de valori limitate: $\Delta t_{j,(i+x)} \ge 0$; $t_{j,(i+x)} \ge 0$, în intervalul $v_{j,(i+x)} \ge v_{x_{(j-1),j}}$.

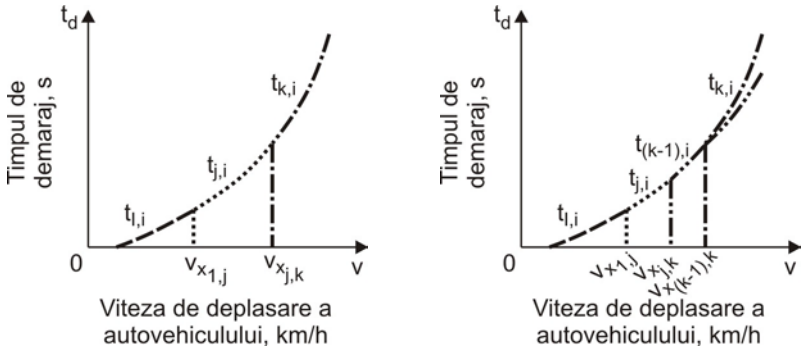
Ţinând seama de creşterea x a turaţiei motorului şi de treapta de viteză considerată, pentru a obţine curba de variaţie a duratei de demarare a autovehiculului în funcţie de viteza acestuia, ariile Δt ale trapezelor (figura 2) şi duratele de demarare se pot exprima conform relațiilor (11) și (12), cu ajutorul cărora se obţin domeniile de valori limitate: $\Delta t_{j_{tp,inf/sup}, i_{tp,inf/sup}} \ge 0$, $t_{j_{tp,inf/sup}, i_{tp,inf/sup}} \ge 0$, în intervalul

$v_{j_{tp,inf/sup},i_{tp,inf/sup}} \geq v_{(j_{tp,inf/sup}-1),n_x}$, unde $v_{(j_{tp,inf/sup}-1),n_x} \equiv v_{x_{(j_{tp,inf/sup}-1)},j_{tp,inf/sup}}$. În algoritmul de calcul se ține seama de faptul că ultima treaptă k din cutia de viteze este considerată priză directă (p.d.) sau suprapriză. Pentru o cutie de viteze cu suprapriză în treapta k (ultima), la care raportul de transmitere este subunitar, priza directă (p.d.) se consideră a fi realizată în penultima treaptă (k-1).

Curba de variaţie ale duratei de demarare a autovehiculului, în funcţie de viteza acestuia, se poate urmări în figura 3.

$$\begin{cases} \Delta t_{j_{tp,inf},i_{tp,inf}} = \dfrac{v_{j_{tp,inf},(i_{tp,inf}+x)} - v_{j_{tp,inf},i_{tp,inf}}}{3,6} \cdot \\ \cdot \dfrac{\dfrac{1}{a_{j_{tp,inf},(i_{tp,inf}+x)}} + \dfrac{1}{a_{j_{tp,inf},i_{tp,inf}}}}{2} \\ t_{j_{tp,inf},i_{tp,inf}} = t_{(j_{tp,inf}-1),(n_x-x)} + \sum_{i=n_{min}}^{i_{tp,inf}} \Delta t_{j_{tp,inf},i} \\ i_{tp,inf} = n_{min}, (n_{min}+x) \ldots (n_x - x) \\ j_{tp,inf} \leq (k-1), \text{pentru p.d.} \rightarrow \text{treapta k} \\ j_{tp,inf} \leq (k-2), \text{pentru p.d.} \rightarrow \text{treapta } (k-1) \end{cases} ; \qquad (11)$$

$$\begin{cases} \Delta t_{j_{tp,sup},i_{tp,sup}} = \dfrac{v_{j_{tp,sup},(i_{tp,sup}+x)} - v_{j_{tp,sup},i_{tr,sup}}}{3,6} \cdot \\ \cdot \dfrac{\dfrac{1}{a_{j_{tp,sup},(i_{tp,sup}+x)}} + \dfrac{1}{a_{j_{tp,sup},i_{tp,sup}}}}{2} \\ t_{j_{tp,sup},i_{tp,sup}} = t_{(j_{tp,sup}-1),(n_x-x)} + \sum_{i=n_{min}}^{i_{tp,sup}} \Delta t_{j_{tp,sup},i} \\ i_{tp,sup} = n_{min}, (n_{min}+x) \ldots (0,9 \cdot n_{max}) \\ j_{tp,sup} = k, \text{pentru p.d.} \rightarrow \text{treapta k} \\ j_{tp,sup} \geq (k-1), \text{pentru p.d.} \rightarrow \text{treapta } (k-1) \end{cases} . \qquad (12)$$



a) b)

Fig. 3 Curba variaţiei duratei de demarare a autovehiculului, în funcţie de viteza de deplasare a acestuia
a) – priza directă în treapta k; b) – priza directă în treapta (k-1)

4. Determinarea spaţiului de demarare

Pornind de la relaţia generală a vitezei autovehiculului (v = dS/dt), se poate determina lungimea spaţiului de demarare, corespunzătoare intervalului cuprins între timpul iniţial t_0 şi timpul final t_n:

$$S_d = \int_{t_0}^{t_n} v \cdot dt \,. \tag{13}$$

La un autovehicul care are k trepte în cutia de viteze, spaţiul total de demarare se determină conform relaţiei:

$$S_d = \sum_{j=1}^{k} S_j \,, \tag{14}$$

în care S_j este spaţiul de demarare corespunzător treptei j de viteză,

$$S_j = \sum_{i=n_{min}}^{i_1} \Delta S_{j,(i+x)} \,. \tag{15}$$

Pentru determinarea grafică a spaţiului de demarare $S_d = f(v)$, se urmăreşte aceeaşi procedură ca şi în cazul determinării duratei de demarare a autovehiculului, plecându-se de la rezultatele obţinute în

figura 3. În acest caz, într-o treaptă j de viteze, creşterea x a turaţiei motorului caracterizează o arie $\Delta S_{j,(i+x)}$, considerată tot ca şi aria unui trapez, în care înălţimea este $\Delta t_{j,(i+x)}$, iar bazele $v_{j,i}$ şi $v_{j,(i+x)}$ (figura 4):

$$\begin{cases} \Delta S_{j,(i+x)} = \dfrac{\Delta t_{j,(i+x)}}{2} \cdot \dfrac{v_{j,(i+x)} + v_{j,i}}{3,6}, \text{ [m]}, \\ i = n_{min} \ldots i_1 \end{cases} \tag{16}$$

în care: $v_{j,i}$ şi $v_{j,(i+x)}$ se exprimă în km/h, iar $\Delta t_{j,(i+x)}$ în s.

În funcţie de treapta de viteză considerată, spaţiul de demarare parcurs se poate determina cu ajutorul relaţiei:

$$S_{j,(i+x)} = S_{(j-1),n_x} + \sum_{i=n_{min}}^{i_1} \Delta S_{j,(i+x)}, \tag{17}$$

Cu relaţiile (16) şi (17) se obţin domeniile de valori limitate: $\Delta S_{j,(i+x)} \geq 0; S_{j,(i+x)} \geq 0$, în intervalul $v_{j,(i+x)} \geq v_{x_{(j-1),j}}$.

Ţinând seama de creşterea x a turaţiei motorului şi de treapta de viteză considerată, pentru a obţine curba de variaţie a spaţiului de demarare a autovehiculului în funcţie de viteza acestuia, ariile ΔS ale trapezelor (figura 4) şi duratele de demarare se pot exprima conform relațiilor (18) și (19), cu ajutorul cărora se obţin domeniile de valori limitate:

$$\Delta S_{j_{tp,inf/sup},i_{tp,inf/sup}} \geq 0, S_{j_{tp,inf/sup},i_{tp,inf/sup}} \geq 0,$$

în intervalul $v_{j_{tp,inf/sup},i_{tp,inf/sup}} \geq v_{(j_{tp,inf/sup}-1),n_x}$, unde $v_{(j_{tp,inf/sup}-1),n_x} \equiv v_{x_{(j_{tp,inf/sup}-1),j_{tp,inf/sup}}}$.

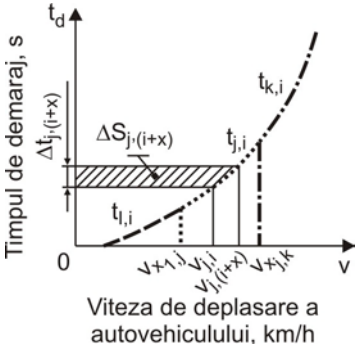


Fig. 4 Determinarea grafică a spaţiului total de demarare a autovehiculului

Curba variaţiei spaţiului de demarare a autovehiculului, în funcţie de viteza acestuia, se poate urmări în figura 5.

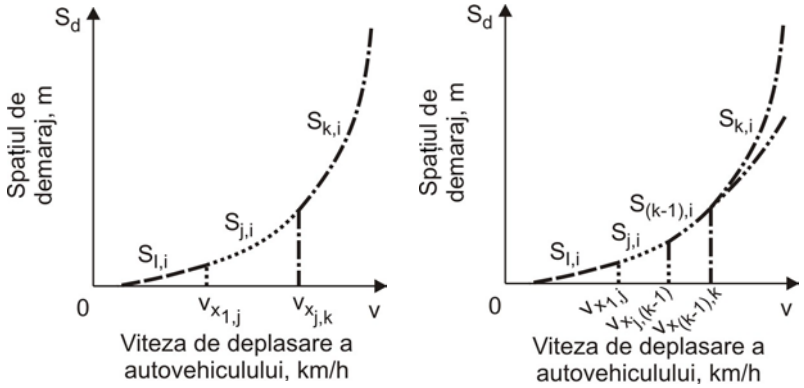
$$\begin{cases} \Delta S_{j_{tp,inf},i_{tp,inf}} = \dfrac{\Delta t_{j_{tp,inf},i_{tp,inf}}}{2} \cdot \\ \cdot \dfrac{v_{j_{tp,inf},(i_{tp,inf}+x)} + v_{j_{tp,inf},i_{tp,inf}}}{3,6} \\ S_{j_{tp,inf},i_{tp,inf}} = S_{(j_{tp,inf}-1),(n_x-x)} + \sum_{i=n_{min}}^{i_{tp,inf}} \Delta S_{j_{tp,inf},i} \\ i_{tp,inf} = n_{min}, (n_{min}+x)\ldots(n_x-x) \\ j_{tp,inf} \le (k-1), \text{pentru p.d.} \rightarrow \text{treapta } k \\ j_{tp,inf} \le (k-2), \text{pentru p.d.} \rightarrow \text{treapta } (k-1) \end{cases} ; \qquad (18)$$

$$\begin{cases} \Delta S_{j_{tp,sup},i_{tp,sup}} = \dfrac{\Delta t_{j_{tp,sup},i_{tp,sup}}}{2} \cdot \\ \cdot \dfrac{v_{j_{tp,sup},(i_{tp,sup}+x)} + v_{j_{tp,sup},i_{tr,sup}}}{3,6} \\ S_{j_{tp,sup},i_{tp,sup}} = S_{(j_{tp,sup}-1),(n_x-x)} + \sum_{i=n_{min}}^{i_{tp,sup}} \Delta S_{j_{tp,sup},i} \\ i_{tp,sup} = n_{min}, \ (n_{min}+x)\ldots(0,9 \cdot n_{max}) \\ j_{tp,sup} = k, \text{pentru p.d.} \rightarrow \text{treapta } k \\ j_{tp,sup} \ge (k-1), \text{pentru p.d.} \rightarrow \text{treapta } (k-1) \end{cases} . \qquad (19)$$

5. Concluzii

Aplicarea metodei dezvoltate permite determinarea parametrilor capacităţii de demarare a oricărui tip de autovehicul pe roţi, cu condiţia să se cunoască anumite date tehnice ale acestuia (puterea maximă a motorului şi turaţia corespunzătoare acesteia; momentul maxim dezvoltat de motor şi turaţia corespunzătoare acestuia; turaţia minimă și maximă a motorului; viteza maximă de deplasare; greutatea totală; numărul treptelor de viteze; organizarea cutiei de viteze – ultima treaptă k din cutia de viteze este priză directă sau suprapriză; parametrii dimensionali ai autovehiculului, mărcile anvelopelor cu care sunt echipate roţile motoare etc.). Pe baza

rezultatelor obţinute se poate aprecia şi compara capacitatea de demarare pentru diferite tipuri de autovehicule pe roţi.



a) b)

Fig. 5 Spaţiul total de demarare a autovehiculului,
în funcţie de viteza de deplasare a acestuia
a) – priza directă în treapta k; b) – priza directă în treapta (k-1)

BIBLIOGRAFIE

[1] Todoruţ, A., *Bazele dinamicii autovehiculelor. Algoritmi de calcul, teste, aplicaţii.* Editura Sincron, Cluj-Napoca, 2005.
[2] Untaru, M., ş.a., *Dinamica autovehiculelor pe roţi*. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti,1981.
[3] Untaru, M., ş.a., *Dinamica autovehiculelor*. Braşov, Universitatea din Braşov, sectorul Reprografie U02, 1988.

Conf.Dr.Ing. Adrian TODORUŢ,
Conf.Dr.Ing. István BARABÁS,
Dr. Ing. Nicolae CORDOŞ
Departamentul ART,
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
membri AGIR