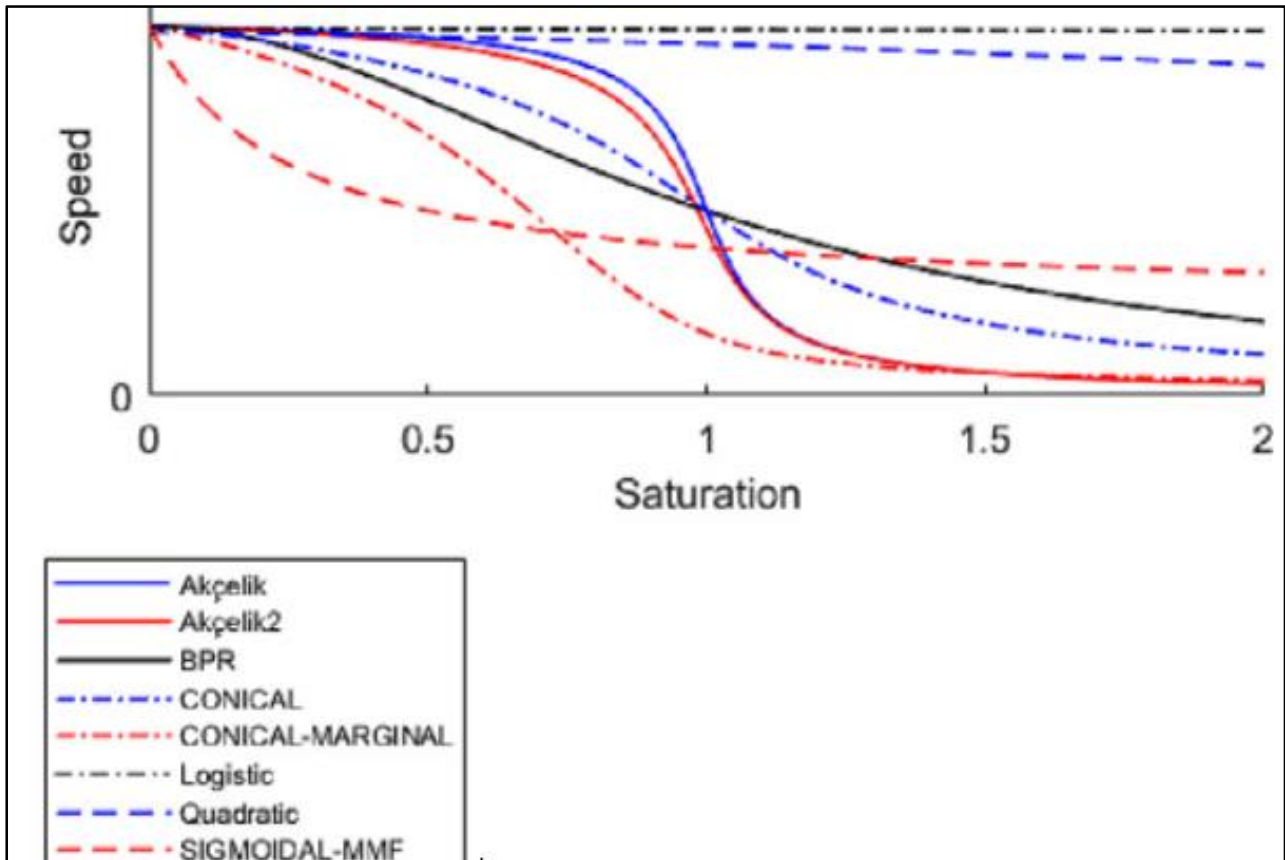


## Curbele Debit - Viteza si Curbele Debit – Timp

Curbele debit-viteză și curbele debit-timp sunt elemente fundamentale în modelarea traficului, având un rol esențial în distribuția și alocarea fluxurilor de trafic în cadrul rețelelor de transport.

Multitudinea de funcții matematice stau la baza construcției acestor curbe. Mai jos sunt explicate câteva dintre acestea:



**Figura 1** - Set de curbe de funcții de distribuție a vitezei (VDF - Velocity Distribution Functions)

Sursa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447923001685>

Figura de mai sus prezintă un set de curbe de funcții de distribuție a vitezei (VDF - Velocity Distribution Functions) în contextul traficului sau al mișcării parametrilor. Aceste curbe sunt folosite pentru a modela relația dintre viteză și saturație în sistemele de trafic, unde saturația poate fi definită ca fiind raportul dintre cerere și capacitatea unei anumite porțiuni de drum sau intersecție.

Pe grafic sunt reprezentate diferite modele de VDF, fiecare având un comportament caracteristic:

- ✚ Akçelik și Akçelik2: Se referă la modele propuse de un cercetător Rahmi Akçelik, având două variante diferite;
- ✚ BPR: Se referă la funcția propusă de Bureau of Public Roads, care este un model clasic utilizat în planificarea transportului pentru a descrie creșterea timpilor de călătorie pe măsură ce traficul se apropie de capacitate;
- ✚ CONICAL: O funcție care are forma unui con, indicând o creștere rapidă a timpului de călătorie după depășirea unui anumit nivel de saturație;

- ✚ CONICAL-MARGINAL: O variație a funcției conicale, posibil concentrându-se pe schimbările marginale ale vitezei;
- ✚ Logistic: O funcție logistică este o curbă în formă de S care se aplatizează la ambele capete, sugerând un impact mai mic al schimbărilor de saturație atât la niveluri scăzute cât și la niveluri înalte;
- ✚ Quadratic: O funcție cu un profil parabolic, indicând o creștere a timpului de călătorie proporțională cu pătratul nivelului de saturație;
- ✚ SIGMOIDAL-MMF: O variantă a funcției logistice care poate include efecte de saturație într-un mod mai complex.

Graficul arată cum viteza scade pe măsură ce saturația crește, ceea ce este tipic pentru traficul rutier; pe măsură ce o cale devine mai aglomerată (saturația se apropie de 1), viteza medie a vehiculelor scade. La saturația 1, capacitatea drumului este atinsă, iar viteza începe să scadă mai rapid pe măsură ce traficul devine supra-saturat.

Toate aceste funcții matematice care ajută la definirea curbelor debit - viteza trebuie alese și calibrate astfel încât să reprezinte cât mai realist relația dintre debitul de trafic și viteza aferentă rețelei rutiere naționale, unde se implementează specificul rețelei țării unde se utilizează modele de transport.

**In Modelul de Transport din cadrul CESTRIN, utilizăm următoarea funcție matematică de modelare a relației debit viteza, de tip Lohse:**

$$t_{cur} = \begin{cases} t_0 \cdot (1 + a \cdot sat^b), & sat \leq sat_{crit} \\ t_0 \cdot (1 + a \cdot (sat_{crit})^b) + a \cdot b \cdot t_0 \cdot (sat_{crit})^{b-1} \cdot (sat - sat_{crit}), & sat > sat_{crit} \end{cases}$$

Unde:

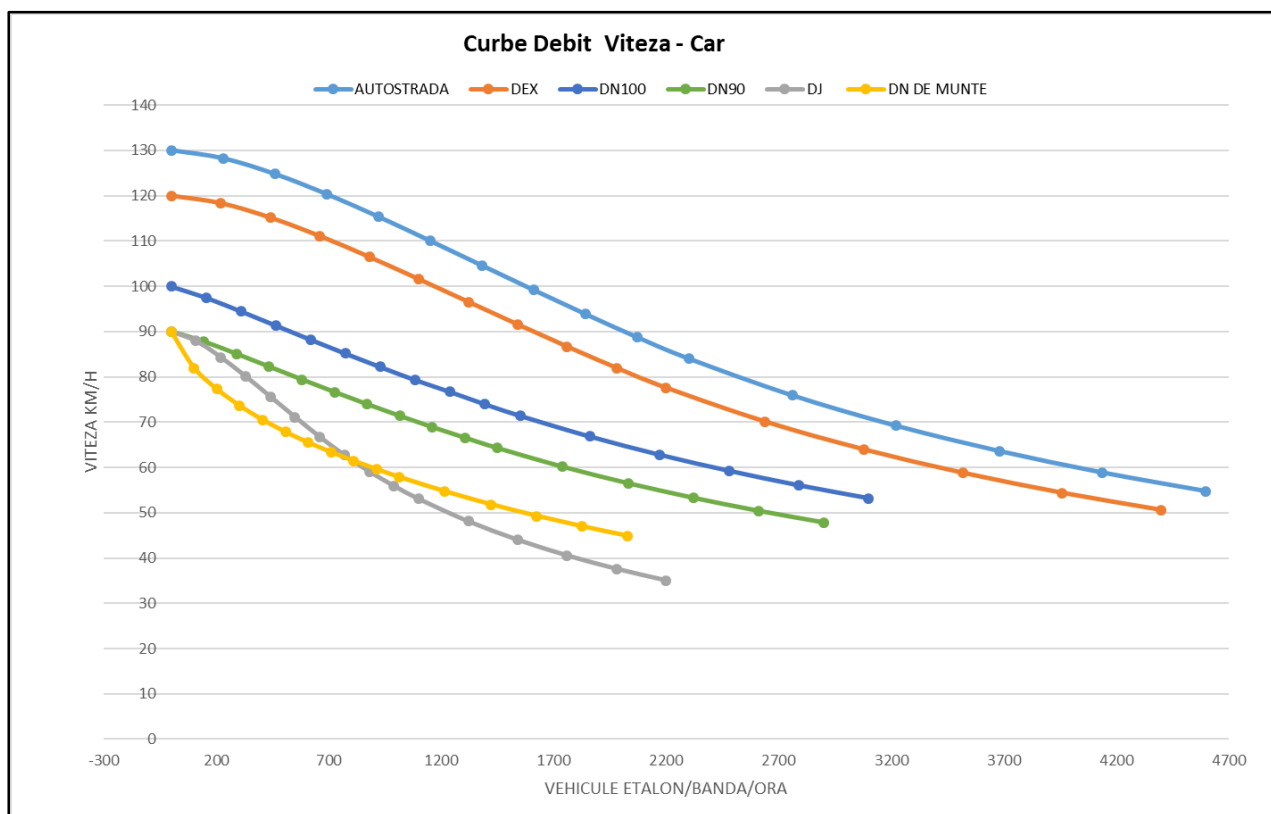
- ✓  $t_{cur}$  reprezintă timpul curent de parcurs al unui arc (artera);
- ✓  $t_0$  reprezintă timpul de parcurs al unui arc în condiții de flux liber;
- ✓  $a$  reprezintă lungimea perioadei de timp de analiza [ore];
- ✓  $b$  și  $c$  reprezintă parametri de calibrare a curbei;
- ✓  $sat$  reprezintă gradul de saturație al unui arc (artera).

Pentru diferite categorii de drumuri, au fost stabilite curbe specifice care descriu relația dintre debit (numărul de vehicule pe unitatea de timp) și viteză sau timp. Iată categoriile de drumuri pentru care aceste curbe sunt definite:

1. Autostrăzi;
2. Drumuri Expres
3. Drumuri naționale cu limită de viteză de 100 km/h;
4. Drumuri naționale cu limită de viteză de 90 km/h;
5. Drumuri Județene/Drumuri Comunale;
6. Drumuri de Munte.

Fiecare categorie de drum are caracteristici diferite, ceea ce necesită ajustarea curbelor pentru a reflecta comportamentul real al traficului. Aceste curbe sunt esențiale pentru planificarea și proiectarea infrastructurii rutiere, precum și pentru implementarea unor strategii eficiente de management al traficului.

## Curbele Debit-Viteză

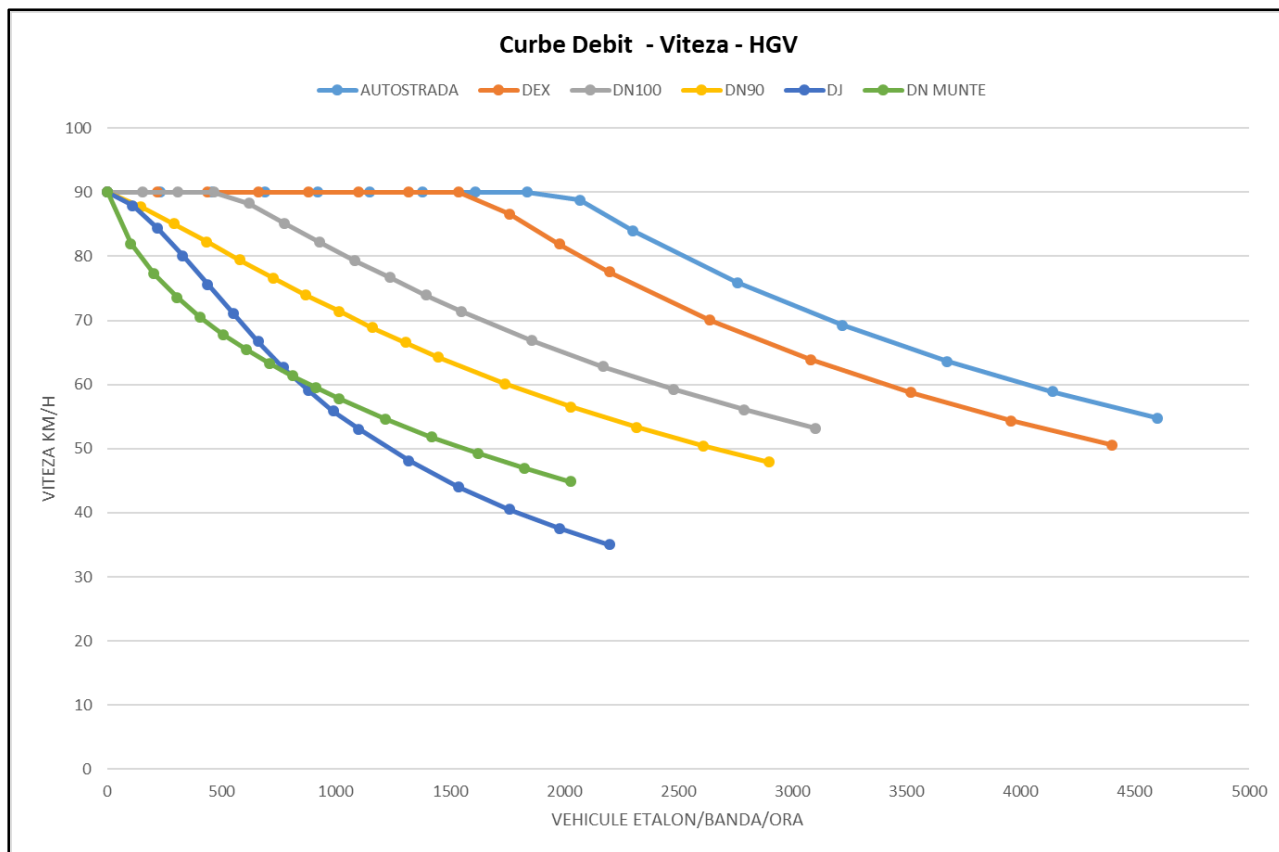


**Figura 2** - Curbele Debit-Viteză pentru Autoturisme

În graficul de mai sus sunt prezentate curbele debit-viteză utilizate în Modelul National de Transport pentru Autoturisme, pe diferite tipuri de drumuri. Curbele ilustrează relația dintre numărul de vehicule pe oră pe bandă (axa orizontală, denumită "vehicule etalon/banda/ora") și viteza în kilometri pe oră (axa verticală, denumită "viteza km/h"). Fiecare curbă este etichetată cu un tip de drum:

- ✓ **"AUTOSTRADA"** (albastru deschis): Reprezintă autostrăzile cu limită de viteză de 130 km/h;
- ✓ **"DEX"** (portocaliu): Reprezintă drumurile expres cu limită de viteză de 120 km/h;
- ✓ **"DN100"** (albastru închis): Drum Național cu limită de viteză de 100 km/h;
- ✓ **"DN90"** (verde): Drum Național cu limită de viteză de 90 km/h;
- ✓ **"DJ"** (galben): Drum Județean cu limită de viteză de 90 km/h, unde se observă că viteza scade semnificativ chiar și la un număr mai mic de vehicule;
- ✓ **"DN DE MUNTE"** (gri): Drum National de Munte cu limită de viteză de 90 km/h, unde viteza scade rapid chiar la un număr mic de vehicule, indicând posibil condițiile mai dificile de trafic datorate terenului montan.

Curbele sunt dispuse în așa fel încât cele corespunzătoare drumurilor cu capacitate mai mare de a menține viteza la un volum mare de trafic sunt mai sus și mai plate, în timp ce curbele pentru drumurile cu capacitate mai mică (cum ar fi drumurile județene și de munte) sunt mai înclinate și plasate mai jos pe grafic, indicând o scădere mai rapidă a vitezei pe măsură ce traficul crește.



**Figura 3 - Curbele Debit-Viteză pentru Vehicule de Marfă Grele**

În graficul de mai sus sunt prezentate curbele debit-viteză utilizate în Modelul National de Transport pentru vehiculele de tip HGV (Heavy Goods Vehicles - Vehicule de Marfă Grele). Curbele arată relația dintre densitatea traficului, exprimată ca număr de vehicule pe bandă pe oră (pe axa orizontală), și viteza medie a vehiculelor, exprimată în kilometri pe oră (pe axa verticală).

În grafic sunt reprezentate diferite tipuri de drumuri:

- ✓ "AUTOSTRADA" (albastru deschis);
- ✓ "DEX" (portocaliu);
- ✓ "DN100" (gri);
- ✓ "DN90" (galben);
- ✓ "DJ" (albastru închis);
- ✓ "DN DE MUNTE" (verde).

Curbele sunt dispuse pe grafic într-o manieră care reflectă faptul că autostrăzile pot susține viteze mai mari pentru vehiculele grele la volume mai mari de trafic, în timp ce drumurile județene și în special cele montane sunt mai sensibile la creșterea densității traficului.

## Curbele Debit-Timp

Pentru prima dată la nivel național, CETSRIN a dezvoltat asemenea curbe. În contextul Modelului de Transport, aceste curbe sunt indispensabile. Ele sunt folosite nu doar în cadrul modelului de transport, dar și pentru estimări predictive ale timpului de călătorie pe diferite drumuri, în diverse scenarii de creștere a volumului de trafic, servind în analize de amploare mai largă.

Aceste curbe ilustrează întârzierea, exprimată în secunde pe kilometru, care apare pe măsură ce crește debitul de trafic. Asemenea curbelor debit-viteză, și acestea au fost validate prin corelarea datelor modelului de transport cu timpurile de călătorie înregistrate în realitate, prin intermediul sistemelor de navigație precum Waze, Tom Tom și Google Maps.

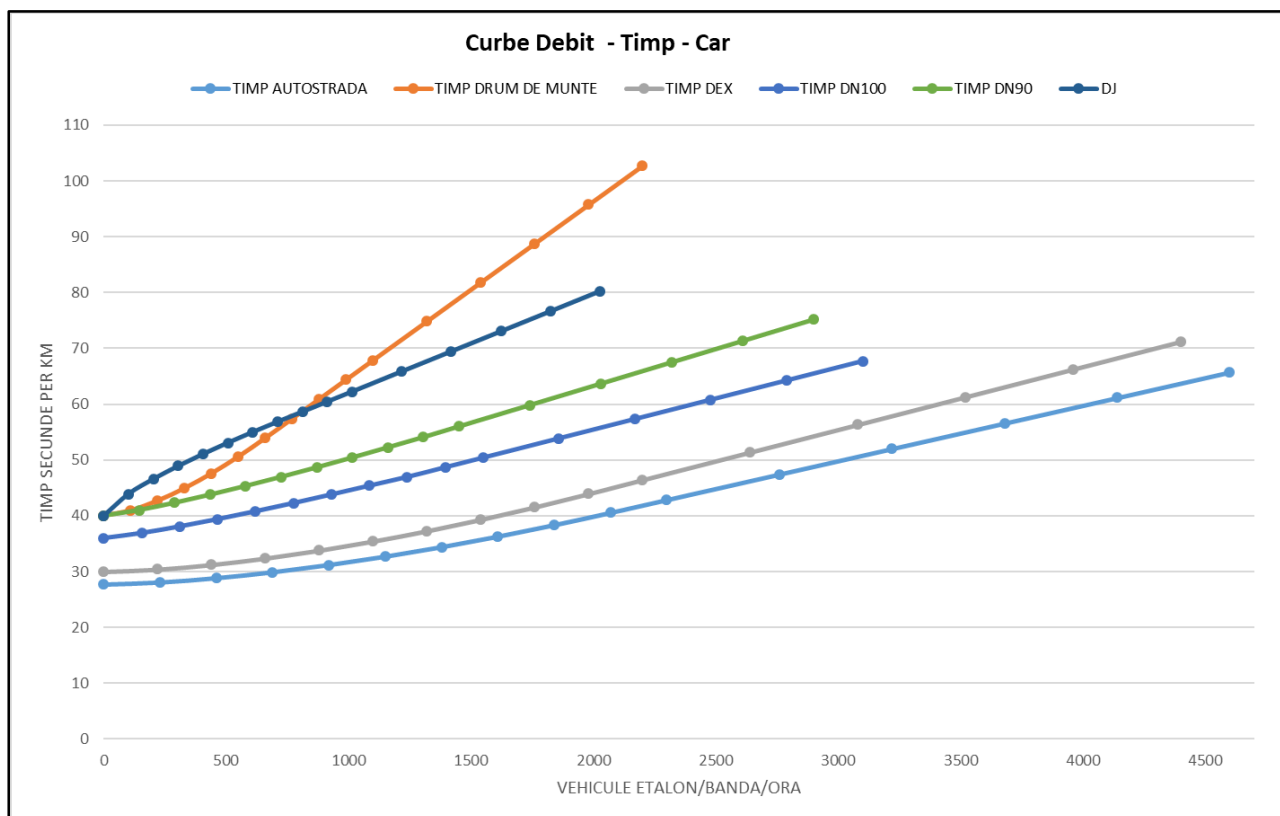


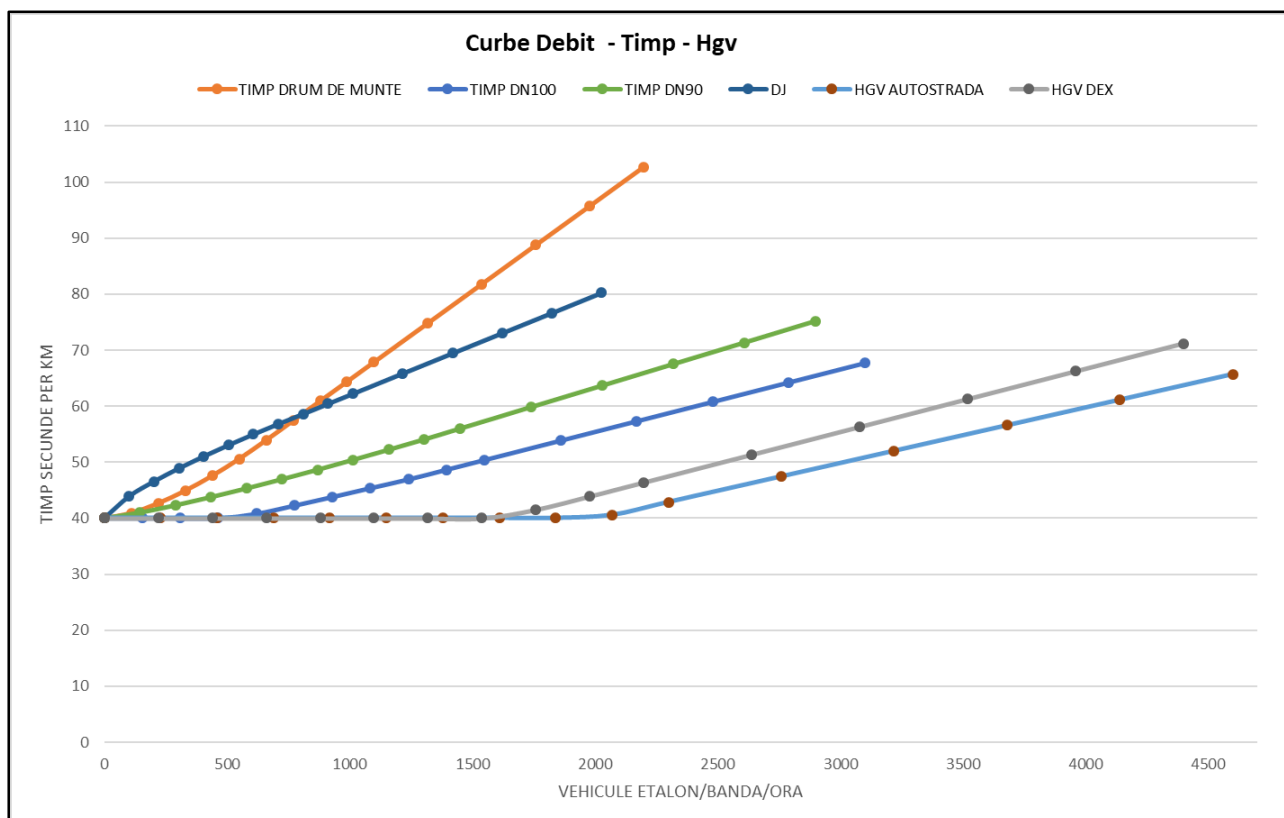
Figura 4 - Curbele Debit-Timp pentru Autoturisme

În graficul de mai sus sunt prezentate curbele debit-timp pentru autoturisme, care arată relația dintre densitatea traficului și timpul de călătorie. Pe axa orizontală este reprezentat numărul de vehicule pe bandă pe oră ("vehicule etalon/banda/ora"), iar pe axa verticală este indicat timpul de călătorie în secunde pe km ("timp secunde pe km").

Diferitele curbe reprezintă diferite tipuri de drumuri:

- ✓ **"TIMP AUTOSTRADA"** (albastru deschis): Această curbă arată timpul de călătorie pe autostradă, care crește gradual pe măsură ce traficul devine mai dens, însă într-un mod relativ lent comparativ cu celelalte tipuri de drumuri. Acest lucru sugerează că autostrăzile au o capacitate mai mare de a menține un timp scăzut de călătorie chiar și la volume mari de trafic.
- ✓ **"TIMP DRUM DE MUNTE"** (portocaliu): Această curbă ilustrează timpul de călătorie pe drumurile de munte, care crește rapid chiar și la volume de trafic reduse, reflectând condițiile mai dificile de trafic și impactul semnificativ asupra timpilor de călătorie.

- ✓ **"TIMP DEX"** (gri): Drumurile Expres, cu o creștere moderată a timpului de călătorie pe măsură ce traficul se intensifică;
- ✓ **"TIMP DN100"** (albastru închis): Reprezintă timpul de călătorie pe un Drum Național cu limită de viteză de 100 km/h, cu o creștere treptată a timpului pe măsură ce traficul crește;
- ✓ **"TIMP DN90"** (verde): Reprezintă timpul de călătorie pe un Drum Național cu o limită de viteză de 90 km/h, unde curba indică o creștere a timpului de călătorie cu creșterea traficului;
- ✓ **"DJ"** (albastru pigmentat): Indică timpul de călătorie pe drumurile județene, unde timpul crește rapid chiar și la un număr redus de vehicule, ceea ce sugerează o capacitate mai mică de a menține un timp scăzut de călătorie în condiții de trafic dens.



**Figura 5 - Curbele Debit-Timp pentru Vehicule de Marfă Grele**

În graficul de mai sus sunt prezentate curbele debit-timp pentru vehiculele grele (HGV - Heavy Goods Vehicles), care ilustrează relația dintre numărul de vehicule pe bandă pe oră (pe axa orizontală) și timpul de călătorie în secunde per kilometru (pe axa verticală) pe diferite tipuri de drumuri.

Curbele reprezentate sunt:

- ✓ **"TIMP DRUM DE MUNTE"** (portocaliu): Acesta arată o creștere rapidă a timpului de călătorie chiar și la un număr relativ mic de vehicule, indicând dificultatea deplasării pe drumurile montane pentru vehiculele grele;
- ✓ **"TIMP DN100"** (albastru închis): Aceasta curbă reprezintă Drum Național cu limită de viteză de 100 km/h, unde timpul de călătorie crește gradual pe măsură ce traficul se intensifică.
- ✓ **"TIMP DN90"** (verde): Aceasta curbă indică timpul de călătorie pentru Drum Național cu limita de viteză de 90 km/h, unde se observă o creștere progresivă a timpului de călătorie cu acumularea traficului.

- ✓ **"DJ"** (albastru pigmentat): Reprezintă Drum Județean, unde timpul de călătorie crește rapid chiar și pentru un trafic nu foarte dens, sugerând că aceste drumuri sunt mai puțin potrivite pentru traficul greu.
- ✓ **"HGV AUTOSTRADA"** (albastru deschis): Curba pentru autostrăzi ilustrează că timpul de călătorie crește mai lent în comparație cu celelalte tipuri de drumuri, arătând o capacitate mai bună de a gestiona volume mari de trafic pentru vehiculele grele.
- ✓ **"HGV DEX"** (gri): Aceasta ar putea reprezenta drumuri expres pentru vehicule grele, unde timpul de călătorie crește moderat cu creșterea numărului de vehicule.

Curbele sunt dispuse astfel încât să arate că drumurile cu capacitate mai mare (cum ar fi autostrăzile) au o creștere mai lentă a timpului de călătorie în raport cu creșterea traficului, în timp ce drumurile județene și de munte arată o sensibilitate mai mare la creșterea numărului de vehicule, ceea ce duce la creșteri mai rapide ale timpului de călătorie.