

Parametre ovplyvňujúce spotrebu paliva automobilu

Matej Juraj · Elektrotechnika, Strojárstvo

20.03.2013



Nasledujúci príspevok pojednáva o fyzikálnych veličinách, ktoré vplyvajú na spotrebu motorového vozidla počas jazdy. Sú v ňom vysvetlené vplyvy jednotlivých fyzikálnych parametrov na reálnu aktuálnu spotrebu paliva automobilu počas bežnej prevádzky. V príspevku je odvodený vzťah z nameranej spotreby spaľovacieho motora v g/kWh pomocou premeny fyzikálnych jednotiek na výpočet aktuálnej spotreby paliva v litroch na 100 kilometrov jazdy.

Úvod

Spotreba paliva automobilu sa odvíja od viacerých prevádzkových parametrov. Jedným je spotreba spaľovacieho motora. Hovoríme o mernej spotrebe paliva označovanej ako m_{pe} a vyjadrujeme ju v jednotke (g/kWh). Vyjadruje koľko gramov paliva motor potrebuje pri konkrétnej záťaži na to, aby vyprodukoval výkon 1kW počas 1 hodiny. Ak by sme mali jeden a ten istý motor použitý v dvoch rôznych automobiloch, celková spotreba vozidla by bola odlišná pretože by počas jazdy prekonávali odlišné jazdné odpory, ale merná spotreba pri rovnakých zaťaženiach a otáčkach tých motorov musí byť rovnaká, sú to predsa totožné motory.

Vhodným preradovaním prevodových stupňov dokážeme vhodne zaťažovať motor, môžeme teda regulovať mernú spotrebu paliva motora a tým aj celkovú spotrebu vozidla. Druhým hľadiskom, ktorý ovplyvňuje celkovú spotrebu paliva budú teda parametre vozidla. Tie priamo súvisia s tým, aké jazdné odpory bude musieť vozidlo počas jazdy prekonávať a aký bude aktuálny potrebný výkon motora. Štýl jazdy je zohľadnený v jazdných odporoch, najmä v odpore zotrvačnosti.

Aký veľký je výkon, ktorý potrebujeme na prekonanie jazdných odporov, presne taký musí byť aj výkon na hnacích kolesách, ktorý musí dodať spaľovací motor. Rýchlosť jazdy je tiež veľmi významný prvok v spotrebe paliva. Čím rýchlejšie s vozidlom ideme, tým je vyšší odpor vzduchu a tým je aj potrebný vyšší výkon motora. Spotrebu paliva nám teda ovplyvňujú aktuálna merná spotreba paliva motora, aktuálny výkon motora a rýchlosť jazdy. Mernú spotrebu paliva ovplyvníme správnym preradovaním prevodových stupňov, výkon motora ovplyvníme práve vhodnou rýchlosťou a štýlom jazdy. Ako dokážeme premeniť spotrebu motora v g/kWh na spotrebu vozidla v l/100km?

1. Odvodenie vzťahu pre výpočet aktuálnej spotreby paliva

Nasledovným postupom si jednoduchou premenou fyzikálnych jednotiek prepočítame mernú spotrebu spaľovacieho motora m_{pe} na dráhovú spotrebu paliva automobilu S_p .

$$m_{pe} \left(\frac{g}{kWh} \right) \rightarrow S_p \left(\frac{l}{100km} \right)$$

$$\frac{g}{kWh} \rightarrow \frac{l}{100km}$$

Ak si mernú spotrebu paliva vynásobíme výkonom motora, teda si vzťah upravíme na: $m_{pe} \cdot P_m$ dostaneme jednotku spotreby v gramoch za hodinu:

$$\frac{g \cdot kW}{kWh} \rightarrow \frac{g}{h}$$

potom si túto spotrebu v gramoch za hodinu podelíme konštantou 1000 dostávame spotrebu paliva v kilogramoch za hodinu:

$$\frac{m_{pe} P_m}{1000}$$

jednotka sa teda upraví na:

$$\frac{g}{1000h} \rightarrow \frac{kg}{h}$$

kilogramy si zo vzťahu odstránime po podelení mernou hmotnosťou paliva:

$$\frac{m_{pe} P_m}{1000 \rho_{paliva}}$$

a dostávame jednotku:

$$\frac{kg \cdot m^3}{h \cdot kg} \rightarrow \frac{m^3}{h}$$

objem paliva v kubických metroch si nahradíme litrami vynásobením vzťahu konštantou 1000:

$$\frac{m_{pe} P_m}{\rho_{paliva}}$$

a dostávame jednotku:

$$\frac{l}{h}$$

ešte je potrebné vzťah podeliť rýchlosťou jazdy, čím odstránime z jednotky hodiny a nahradíme ich kilometrami:

$$\frac{m_{pe} P_m}{\rho_{paliva} \cdot v}$$

a dostávame jednotku v litroch na kilometer:

$$\frac{l \cdot h}{h \cdot km} \rightarrow \frac{l}{km}$$

takto sme sa dopracovali k spotrebe paliva v litroch na jeden kilometer jazdy. Ak potrebujeme spotrebu paliva vyjadriť na 100km jazdy, vynásobíme si tento vzťah konštantou 100 a dostávame spotrebu v litroch na 100km jazdy:

$$\frac{100m_{pe}P_m}{\rho_{paliva}\cdot v}$$

Výsledný vzorec na výpočet spotreby paliva v litroch na 100 kilometrov je teda:

$$S_p = \frac{100m_{pe}P_m}{\rho_{paliva}\cdot v} \quad (1)$$

Treba si však dať pozor, aby sme do vzorca zadávali mernú spotrebu m_{pe} v g/kWh, výkon P_m motora v kW, mernú hmotnosť paliva ρ_{paliva} v kg/m³ a rýchlosť jazdy v v km/h.

2. Vplyv jazdných odporov na spotrebu paliva automobilu

Ak sa pozrieme na náš výsledný vzorec (1) mohlo by sa zdať, že so zvyšovaním rýchlosti jazdy by mala spotreba paliva klesať. Treba si však uvedomiť, že so zvyšovaním rýchlosti jazdy nám narastajú aj jazdné odpory vozidla a rastie nám teda aj výkon motora P_m . Pozrime sa na výsledný vzťah podrobnejšie. Ako prvá vystupuje konštanta 100, tú nezmeníme, slúži na vyjadrenie spotreby na 100km jazdy, bez nej by sme vypočítali spotrebu počas jedného kilometra jazdy. Ďalej tam máme mernú spotrebu paliva m_{pe} , ktorá je však daná vlastnosťou motora a vyjadruje kolko gramov paliva motor potrebuje na výkon 1kW počas jednej hodiny pri rôznych zaťaženiach, dá sa vyčítať s úplnej charakteristiky motora.

Vodič môže aktuálnu mernú spotrebu paliva ovplyvňovať vhodným zaťažovaním motora správnym preradovaním prevodových stupňov. Táto téma je popísaná v článku „Spotreba paliva motorového vozidla“. Ďalej nám vo vzorci vystupuje merná hmotnosť paliva ρ_{paliva} , čo je však nemenná konštanta. Ostala nám rýchlosť jazdy v a výkon motora P_m . Rýchlosť jazdy si riadi vodič sám a tým ovplyvňuje aj aktuálny výkon motora. Rýchlosť jazdy a vhodné preradenie sú teda jediné dva spôsoby ako vodič môže počas jazdy ovplyvniť spotrebu paliva. Aktuálny výkon motora je daný aktuálnymi jazdnými odpormi.

Vozidlo počas rozbehu, ustálenej jazdy a brzdení musí prekonávať jazdné odpory a musí vynakladať rovnaký výkon, aký výkon je potrebný na ich prekonanie. Tento výkon vozidlu poskytuje spaľovací motor. Výkon motora je tak závislý od jazdných odporov, ktoré sú závislé od parametrov vozidla, rýchlosti a štýlu jazdy. Kým sa výkon motora dostane až ku kolesám musí prejsť cez celé prevodové ústrojenstvo (spojka, prevodovka, kĺby, hriadele, diferenciál), pričom sa časť tohto výkonu premení na teplo. Preto výkon motora je väčší ako je výkon na hnacích kolesách, ktorým sa prekonávajú jazdné odpory (odpor vzduchu, odpor valenia pneumatík, odpor zotrvačnosti a odpor do stúpania). Pohybová rovnica by sa teda mohla napísať nasledovne:

$$P_m \cdot \eta = P_k = P_{vz} + P_v + P_z + P_s \quad (2)$$

Slovne by sme tento vzorec mohli napísať ako: Výkon motora vynásobený účinnosťou prevodového mechanizmu je rovný výkonu na hnacích kolesách a ten sa musí rovnať

výkonom, ktoré sú potrebné na prekonanie jazdných odporov. Výkon potrebný na prekonanie odporu vzduchu P_{vz} vypočítame ako súčin odporu vzduchu a rýchlosti jazdy:

$$P_{vz} = F_{vz} \cdot v \quad (3)$$

Odpor vzduchu by sme vypočítali podľa nasledovného vzorca:

$$F_{vz} = \frac{1}{2} c_x \rho_{vzduchu} \cdot S \cdot v^2 \quad (4)$$

kde c_x je súčiniteľ odporu vzduchu, ktorý vyjadruje aerodynamický tvar karosérie, S je kolmý priemet čelnej plochy vozidla a v je rýchlosť vzduchu obtekajúca okolo karosérie, za bezvetria je rovná rýchlosti vozidla. Výkon potrebný na prekonanie odporu valenia pneumatík je daný súčinom odporu valenia pneumatík a rýchlosťou jazdy:

$$P_v = F_v \cdot v \quad (5)$$

Odpor valenia pneumatík vypočítame podľa nasledovného vzorca:

$$F_v = m \cdot g \cdot f_v \cdot \cos(\alpha) \quad (6)$$

kde m je hmotnosť vozidla, g je gravitačné zrýchlenie, f_v je súčiniteľ odporu valenia a α je uhol stúpania cesty. Výkon potrebný na prekonanie odporu zotrvačnosti je takisto daný súčinom odporu zotrvačnosti a rýchlosti jazdy:

$$P_z = F_z \cdot v \quad (7)$$

Odpor zotrvačnosti vypočítame ako:

$$F_z = m \cdot a \cdot \sigma \quad (8)$$

kde a je aktuálne zrýchlenie vozidla a σ je súčiniteľ vplyvu rotačných hmôt spaľovacieho motora, prevodového mechanizmu a kolies. Zrýchlenie vozidla je pri akceleráciách a deceleráciách vozidla v každom okamžiku iné a nie je teda konštantné. Keďže pri akcelerácii a decelerácii automobilu zrýchľujú okrem posuvných hmôt aj rotujúce hmoty, tieto sú zohľadnené súčiniteľom rotačných hmôt, ktorý je pre každý prevodový stupeň iný. Odpor zotrvačnosti pôsobí na vozidlo iba pri akceleráciách alebo decelerácii. Počas ustálenej jazdy na automobil pôsobia jedine odpor vzduchu a odpor valenia pneumatík. Ak neuvažujeme stúpanie cesty. Odpor stúpania je daný vzťahom:

$$F_s = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (9)$$

a výkon potrebný na jeho prekonanie:

$$P_s = F_s \cdot v \quad (10)$$

Ak si všetky tieto vzťahy zahrnieme do výsledného vzťahu pre výpočet spotreby paliva, spotreba paliva je teda daná nasledovným vzťahom:

$$\begin{aligned}
S_p &= \frac{100 \cdot m_{pe} \cdot P_m}{\rho_{paliva} \cdot v} = \frac{100 \cdot m_{pe} \cdot P_k}{\rho_{paliva} \cdot v \cdot \eta} = \\
&= \frac{100 \cdot m_{pe} \cdot (P_{vz} + P_v + P_z + P_s)}{\rho_{paliva} \cdot v \cdot \eta} = \frac{100 \cdot m_{pe} \cdot (F_{vz} \cdot v + F_v \cdot v + F_z \cdot v + F_s \cdot v)}{\rho_{paliva} \cdot v \cdot \eta} = \\
&= \frac{100 \cdot m_{pe} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot c_x \cdot \rho_{vzduchu} \cdot S \cdot v^3 + m \cdot g \cdot f_v \cdot \cos(\alpha) \cdot v + m \cdot a \cdot \sigma \cdot v + m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \cdot v \right)}{\rho_{paliva} \cdot v \cdot \eta} \quad (11)
\end{aligned}$$

Záver

Všimnime si, že výkon potrebný na prekonanie odporu vzduchu závisí od tretej mocniny rýchlosti. To v praxi znamená, že ak zdvojnásobíme rýchlosť jazdy, výkon motora ktorý je potrebný na jeho prekonanie musí byť až 8krát vyšší. Aj keď sa nám na prvý pohľad zdalo, že zvýšením rýchlosti by podľa odvodeného vzorca mala spotreba klesať, po jeho podrobnej analýze sme zistili, že to nemusí byť pravda.

Pri zvýšení rýchlosti jazdy sa zvýši aj potrebný výkon motora a to, aký to bude mať vplyv na spotrebu paliva bude ešte závislé na tom, ako sa to prejaví v mernej spotrebe paliva m_{pe} . Ak pri zvýšení rýchlosti jazdy merná spotreba poklesne o väčšiu hodnotu ako vzrastie výkon motora celková spotreba bude nižšia a ak potrebný výkon motora vzrastie viac ako klesne merná spotreba paliva bude celková spotreba vyššia. V praxi môže nastať aj situácia, keď so zvýšením rýchlosti spotreba paliva klesne. To je však vysvetlené v článku „Spotreba paliva motorového vozidla“.

Použitá literatúra

1. Ikrinský, A., Patek, P., Tichý, J.: Teória dopravných prostriedkov. - 2. vyd. - Bratislava: STU - Strojnícka fakulta, 1991. - 294 s.
2. Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel, Vydavateľstvo: František Vlk, 2003