



A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2011

SISTEME DE PROPULSIE HIBRIDE SOLUȚIE DE UTILIZARE EFICIENTĂ A ENERGIEI DISPONIBILE PE AUTOVEHICULELE RUTIERE

Corneliu JOLDOȘ, Ovidiu-Viorel ȘMADICI

HYBRID PROPULSION SYSTEMS AN EFFICIENT SOLUTION FOR ON –BOARD AUTO VEHICLE ENERGY

The paper summarizes the main solution for improving the motor vehicle fuel economy. The analyzed solutions are: transmission efficiency improvement, idle shut off, driving resistance improvement, load point deflection, regenerative braking, and exhaust gases energy recovery.

The potential of each solution is then use to demonstrate the advantages of hybrid propulsion systems. It is shown that, for a mild-hybrid passenger car, it is possible to achieve a 16 to 28 % cumulate fuel economy improvement.

Keywords: engine, energy, automotive, car, efficiency, fuel

Cuvinte cheie: motor, energie, autovehicule, automobile, randament, combustibil

1. Introducere

Poluarea mediului ambient, poluarea în centrele urbane, epuizarea resurselor minerale, încălzirea globală, minimalizarea gazelor emise de autovehicule asupra atmosferei terestre impun realizarea unor sisteme noi de propulsie care să determine o gestionare optimă a energiei disponibile pe autovehicul.

Prin implementarea sistemelor de propulsie hibride se obțin reducerea consumului de combustibil fosil (țiței) sub formă de

benzină și respectiv motorină, având ca rezultate reducerea costurilor de operare (utilizare) a autovehiculelor rutiere.

2. Randamentul global al conversiei energiei

Randamentul global al transformării energiei se consideră de la sursa primară (puț de sondă) până la utilizatorul final-roata automobilului (“well to wheel”). Există cel puțin trei etape în analiza transformării energiei în cazul unui automobil (autovehicul rutier).

Se pleacă de la o sursă primară de energie – combustibili fosili, energie solară, energie nucleară (care printr-un prim pas, este transformată într-o formă potrivită pentru a fi stocată la bordul autovehiculului), benzină, motorină, biocombustibil, hidrogen–transformarea “put–rezervor” (“well to tank”). Etapa următoare este transformarea în energie mecanică, din care o parte poate fi stocată în autovehicul sub formă de energie cinetică sau potențială pe fluxul rezervor–autovehicul (“tank to auto vehicle”). Etapa a treia este transformarea vehicul–roată (“vehicle to wheel”) determinată de parametrii autovehiculului și regimul de mișcare, fiind reprezentată prin conversia energiei mecanice în căldură și disiparea acesteia în mediul înconjurător, modificând local parametri de temperatură a mediului.

Analiza transformării energiei în cazul unui autovehicul rutier este esențială în determinarea efectelor asupra mediului ambient pe care îl pot avea diversele tehnologii folosite în lanțul energetic.

În tabelul 1 este prezentată emisia globală de CO₂ conform [1], pentru un autoturism din clasa medie echipat cu trei sisteme de propulsie convenționale care folosesc combustibili diferiți: motorină, benzină și gaz natural comprimat (C.N.G). În cazul studiului efectului de seră produs prin utilizarea automobilelor este și efectul pierderilor de metan din sistemul de alimentare (C.N.G) știind că metanul are un factor de influență superior, respectiv de 21 de ori mai mare ca și CO₂.

Tabelul 1

Tip combustibil	Titei		Gaz natural
	Benzină	Motorină	
Emisie CO ₂	25kg/100km	21kg/100km	20 kg/100 km
Transformare Randament	Rafinare transport		
	86 %	90 %	86 %
	Motor/Transmisie		
	m.a.s 17 %	m.a.c. 20 %	m.a.s (C.N.G)16 %
	Vehicul (m = 1600 kg, CxA = 0,86 f = 0,013)		
Energie consumată în ciclul MVEE-95	50 MJ/100 km		

3. Distribuția energiei disponibile pe autovehiculele rutiere

Pentru optimizarea utilizării energiei disponibile pe autovehicul se face analiza energetică prin studiul pierderilor în transmisie, rezistența la înaintare, contact cale de rulare – roată.

În tabelul 2 este prezentată distribuția energiei înmagazinate în rezervor pentru cele două situații ale deplasării autovehiculului rutier – regim urban respectiv de autostradă.

Autovehiculul rutier de referință este un autoturism din clasa medie produs în SUA (1994) pentru piața americană cu regimuri de deplasare în SUA [2].

Analizând distribuția energiei disponibile pe autovehiculul rutier, s-a constatat că metodele folosite pentru reducerea consumului de energie se pot grupa în:

- metode privind generarea energiei prin creșterea randamentului motorului, utilizarea motorului la regimuri cu randament mare, recuperarea de energie din gazele de evacuare, recuperarea energiei la frânare;

- metode privind reducerea consumului de energie prin întreruperea funcționării motorului la staționare, creșterea randamentului transmisiei, reducerea rezistenței la înaintare.

Tabelul 2

Tipul pierderi/Tipul circulației		Circulație urbană	Circulația pe autostradă
Energie disponibilă		100 %	100 %
MOTOR	Pierderi în motor	64,20 %	69,20 %
	Funcționare la relanti	17,20 %	3,60 %
	Sisteme auxiliare	2,20 %	1,50 %
Energie disponibilă		18,20 %	25,60 %
TRANSMISIE	Pierderi în transmisie	5,60 %	5,40 %
Energie disponibilă		12,60 %	20,20 %
VEHICUL	Rezistența aerului	2,60 %	10,90 %
	Rezistența la rulare	4,20 %	7,10 %
	Pierderi prin frânare	5,80 %	2,20 %

4. Creșterea randamentului motorului

În prezent rezerva de creștere a randamentului maxim al motoarelor cu ardere internă pentru autovehicule este minim.

De exemplu, un motor diesel modern pentru autoturisme, supraalimentat și având un sistem de recirculare al gazelor arse (EGR)

de presiune mare și unul de presiune mică, răcite cu lichid de răcire are un randament maxim de 44 %.

În cazul motoarelor diesel pentru autoturisme, creșterea randamentului maxim al motorului, comparând tehnologiile de la nivelul anilor '90 este de doar 1 %.

Creșterea randamentului motorului este în cazul funcționării la sarcini parțiale pentru motoarele cu aprindere prin scânteie. În cazul unui motor CSI (Compression and Spark Ignition) care folosește la sarcini mici și medii autoaprinderea controlată a amestecurilor omogene HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) iar la sarcini mari aprinderea prin scânteie a amestecurilor omogene HCSI (Homogeneous Charge Spark Ignition) s-a realizat o reducere a consumului de combustibil de până la 26 % față de un motor convențional cu injecție directă.

Și alte tehnologii disponibile la ora actuală și implementate pe autovehicule rutiere permit creșterea randamentului la sarcini parțiale:

- distribuția variabilă;
- suprimarea funcționării cilindrilor;
- injecția directă de benzină;
- mecanisme de modificare a raportului de comprimare.

5. Creșterea randamentului transmisiei

În cazul transmisiilor moderne care au un randament ridicat, există posibilități de creștere al acestuia în special când momentul de intrare în transmisie este redus, la utilizarea în circuitul urban, deoarece în acest caz randamentul global al transmisiei poate scădea sub 70 %.

Creșterea randamentului transmisiei se poate realiza prin folosirea de uleiuri cu vâscozitate scăzută OW, folosirea rulmenților cu frecări reduse, reducerea pierderilor datorate de pompa de ulei pentru transmisiile AT, CVT, DCT (6 trepte, ambreiaje umede) și măsuri pentru încălzirea rapidă a transmisiei.

În lipsa unor sisteme de management termic, există situația că orice reducere a pierderilor tinde să fie anulată în lipsa acestora.

În situația normală, randamentul transmisiei este determinat la 80-100 °C, nivel al temperaturii atins rar în condiții de funcționare normală.

În cazul ciclului MEDC și în lipsa unor sisteme suplimentare de încălzire, intervalul de temperatură în care funcționează transmisia este de 20-40 °C, în cazul celor manuale și până la 60 °C pentru celelalte tipuri. În situația comparării diverselor tipuri de transmisii, pe lângă

randamentul global al transmisiei se folosește și eficiența utilizării motorului.

În tabelul 3 sunt prezentate randamentul global al transmisiei (η_t) și eficiența utilizării motorului (η_{um}) pentru diverse tipuri de transmisii (AT, DCT, CVT).

Tabelul 3

Ciclul de testare	Tipul transmisiei	η_t %	η_{um} %
Autostradă	DCT (6 trepte)	95,40	81,20
LA4		95,50	85,80
Autostradă	AT (6 trepte)	93,10	86,90
LA4		92,30	87,70
Autostradă	CVT	88,40	90,20
LA4		89,60	93,20

6. Utilizarea motorului la regimuri cu randament mare (eficiență)

În cazul autoturismelor din clasa mică și medie echipate cu m.a.s., când motorul este utilizat doar la regimul economic, se obține o economie de 25-30 %.

Creșterea numărului de trepte ale cutiilor de viteze permite configurarea treptelor superioare (5-6) din punct de vedere al consumului de combustibil.

Pentru cutiile (schimbătoarele) de viteze manuale, un număr de 6 trepte de viteze constituie compromisul optim între operabilitate, consum de combustibil, sportivitate și confort. Pentru transmisiile automate numărul de trepte crește la 7 sau 8 și împreună cu schimbarea automată a treptelor permite maximizarea eficienței utilizării acestor cutii de viteze.

Pentru a estima gradul în care motorul este utilizat la regimurile de eficiență maximă se poate defini mărimea η_{um} , eficiența utilizării motorului:

$$\eta_{um} = \frac{\int (C_m) dt}{\int (C_r) dt} \times 100 [\%]$$

unde: C_m - Consumul minim de combustibil;
 C_r - Consumul real de combustibil.

Față de celelalte transmisii, transmisiile cu variație continuă (CVT) a raportului de transmitere asigură cel mai bun control al regimului de funcționare al motorului, dar randamentul scăzut în utilizare limitează economia de combustibil.

În cazul regimului de funcționare al motorului diesel în zona turațiilor mici se obține o scădere a consumului de combustibil de 9 %, dar și o creștere al consumului de NO_x de 200 %.

Prin utilizarea sistemelor de propulsie hibride se obține o eficiență a utilizării motorului, aceste sisteme permit prin folosirea sursei de energie reversibile, menținerea funcționării motorului în zona regimurilor economice.

Cu toate că anumite efecte ca: creșterea masei autovehiculelor, reducerea cilindrului motorului pentru un sistem cu hibridare electrică se obține o economie de combustibil de 5-19 % în ciclul urban (MEDC).

7. Recuperarea energiei la frânare

Prin utilizarea sistemelor de recuperare a energiei de frânare în cazul autovehiculelor electrice și a celor cu sisteme de propulsie hibride are loc economie de combustibil în cazul calculării conform ciclului mixt european de 5-9 %.

8. Recuperarea energiei gazelor de evacuare

Recuperarea unei părți a energiei gazelor de evacuare se poate face direct, prin turbine legate prin cuplaj la arborele cotit sau indirect prin folosirea sistemelor de generare a curentului electric.

Generatorul termoelectric este un sistem fără piese în mișcare bazat pe efectul SEEBECK care generează energie din căldura disipată prin gazele arse din motor. El poate fi integrat în sistemul de evacuare cu dispunere sub podea, în radiatorul de răcire al gazelor arse recirculate sau în catalizatorul cu 3 căi.

BMW, Bentley, DLR și Emitec au dezvoltat un generator integrat în EGR, care a adus o reducere a consumului de combustibil de 2 %.

9. Întreținerea funcționării motorului la staționare (stop and go)

Pierderile datorate funcționării motorului la relanti variază între 4-18 % în funcție și de turația utilizată în acel moment. Cu toate

acestea economia de combustibil în cazul întreruperii funcționării motorului la staționare este mult mai mare, fapt dat prin restricțiile impuse pentru întreruperea motorului (limita minimă de temperatură a motorului, necesitatea operării compresorului de aer condiționat) și de consumul de energie la pornirea motorului termic. Sunt eficiente numai opririle peste 5 secunde. În cazul autoturismului se obține o economie de 4 % iar pentru cele cu propulsie hibridă economia ajunge la 5-7 %, prin creșterea perioadei de întrerupere datorită demarării în mod pur electric.

10. Reducerea rezistenței la înaintare

Cunoscând că principalele componente ale rezistenței la înaintare se determină prin reducerea masei autovehiculului, reducerea coeficientului rezistenței la rulare, a coeficientului rezistenței aerului și a secțiunii transversale maxime a autovehiculului la economia de combustibil, pentru autovehiculele rutiere din clasa mică și medie în ciclul MVEC-A avem:

- 6-6,5 % pentru fiecare scădere a coeficientului aerodinamic cu 20 %;
- 6 % pentru fiecare scădere a coeficientului de rezistență la rulare cu 20 %;
- 8 % pentru fiecare scădere a masei automobilului cu 15 %.

Eficiența acestor măsuri este mai relevantă în cazul sistemelor hibride și electrice prin creșterea gradului de recuperare al energiei.

11. Economia de combustibil globală în cazul autovehiculelor rutiere hibride

Cele mai avansate sisteme de propulsie hibride sunt cele electrice. Autovehiculele hibride electrice (HEV) se împart în funcție de puterea electrică instalată, de funcțiile suplimentare și de capacitatea de stocare a energiei electrice, de economia de combustibil în 4 categorii: hibride minimale, hibride medii, hibride totale și hibride cu încărcarea bateriilor de la rețea (plug in).

Pentru o diferențiere corectă între aceste categorii se utilizează factorul de hibridare H , care se calculează în funcție de puterea motorului P_{mei} și a celui electric P_e .

Economia de combustibil în cazul celui hibrid minimal pornește de la 5 % și ajunge la 25 % în cazul unui automobil hibrid total.

12. Concluzii

■ Sistemele de propulsie hibride permit utilizarea unor metode eficiente de reducere a consumului de combustibil. Pentru un autoturism hibrid mediu sau total, reducerea consumului de combustibil este de 15-25 % fiind formată din:

- o reducere de 5-9 % obținută prin recuperarea energiei de frânare;
- o reducere de 5-7 % obținută prin întreruperea funcționării motorului la staționare;
- o reducere de 5-9 % obținută prin optimizarea motorului termic și a regimului de funcționare a acestuia.

BIBLIOGRAFIE

[1] Guzzella, L., Sciarretta, A., *Vehicle Propulsion Systems Introduction to Modeling and Optimization*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005.

[2] Amann, A., Charles, *The stretch for better passenger car fuel economy: a critical look*, Automotive Engineering international-February(part1)& March (part2), 1998.

[3] Bataus, M.V., Oprean, M., Panait, T., *The modern passenger cars. Fuel economy potential*, COMAT 2004, Breson 2004.

[4] Oprean, I.M., *Automobilul modern. Cerințe, Restricții, Soluții*. Editura Academiei Române, București, 2003.

[5] Negulescu, N., Constantin, P., Popa, M., *Motoare cu aprindere prin scânteie. Procese*. Editura MATRIX ROM, București, 2009.

[6] Georgescu, L., *Poluare și economie de combustibili la automobile*. Editura ALMA, Craiova, 2007.

[7] Marinescu, D.G., Tabacu, I., Tabacu, S., *Research Regarding the Development of a plug-in Hybrid Electric Vehicle*, FISITA Congress 2010 Budapest, Hungary.

Drd.Ing.Euring. Corneliu JOLDOȘ
membru AGIR
Ing. Ovidiu-Viorel ȘMADICI