

# Potrošnja goriva



# Potrošnja goriva

Ključni faktori:

## 1. ENERGIJA potrebna za kretanje vozila na određenoj deonici puta

- Povećanje  $E_K$  pri ubrzavanju,  $\Pi_\alpha$  pri penjanju, kompenzacija energetske gubitaka usled dejstva  $F_f$  i  $F_W$
- Zavisí od parametara vozila i njegove interakcije sa okolinom ( $c_W$ ,  $A$ ,  $G$ ,  $f$ )
- Zavisí od parametara voznog ciklusa (profil brzine u vremenu  $v=v(t)$ , uzdužni nagib podloge ( $\alpha=\alpha(s)$ ), promenljivost  $f$  (npr. uticaj krivina i dr.)...)

## 2. ENERGETSKA EFIKASNOST pogonskog motora

- $\eta_e$  odnosno  $g_e$ , intenzivno varira sa opterećenjem i brojem obrtaja

## 3. PARAMETRI TRANSMISIJE

- Raspoloživi prenosni odnosi i način njihovog korišćenja (uticaj na radni režim motora a time na njegovu energetske efikasnost)
- Energetski gubici u okviru same transmisije –  $\eta_{TR}$

## POTROŠNJA GORIVA – rezultat ukupnog dejstva ovih faktora

Za iskazivanje potrošenog goriva u jedinici mase ili zapremine potrebno je poznavati i karakteristike samog goriva ( $H_D$ ,  $\rho$ )

# Određivanje potrošnje goriva

## Praktičan pristup:

Energetska efikasnost motora obično se iskazuje kroz **specifičnu efektivnu potrošnju goriva**,  $g_E$ , obrnuto proporcionalnu stepenu korisnosti

$g_E \left[ \frac{\text{g}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \right]$  – količina goriva u jedinici mase (g, kg...) potrebna da se radom motora dobije 1 kWh mehaničke energije

Tokom eksploatacije motor radi na različitim režimima,  $g_E$  odnosno  $\eta_e$  značajno varira, u proseku se može smatrati:

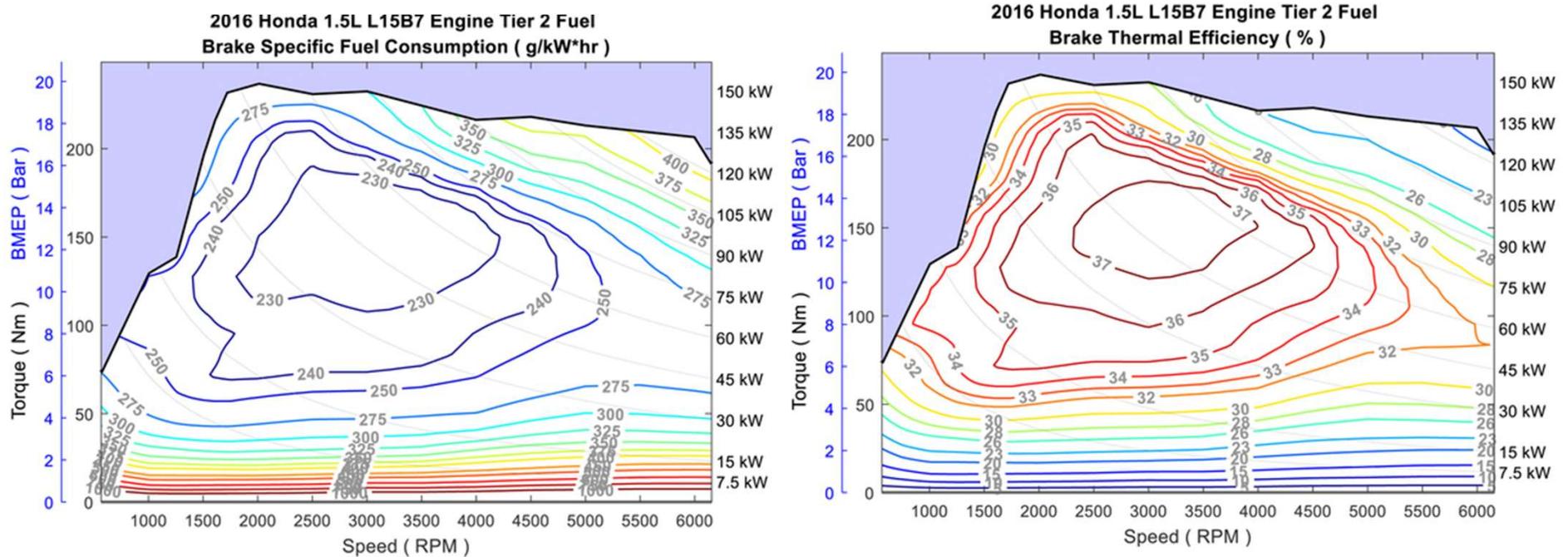
$\eta_{eSR} \sim 15 \div 20\%$  (srednja vrednost – nagrubo)

Maksimalne vrednosti stepena korisnosti motora – u optimalnoj radnoj tački:

$\eta_{eMAX} \sim 35\%$  (Oto motor)

$\eta_{eMAX} \sim 43\%$  (Dizel motor)

# Načini iskazivanja



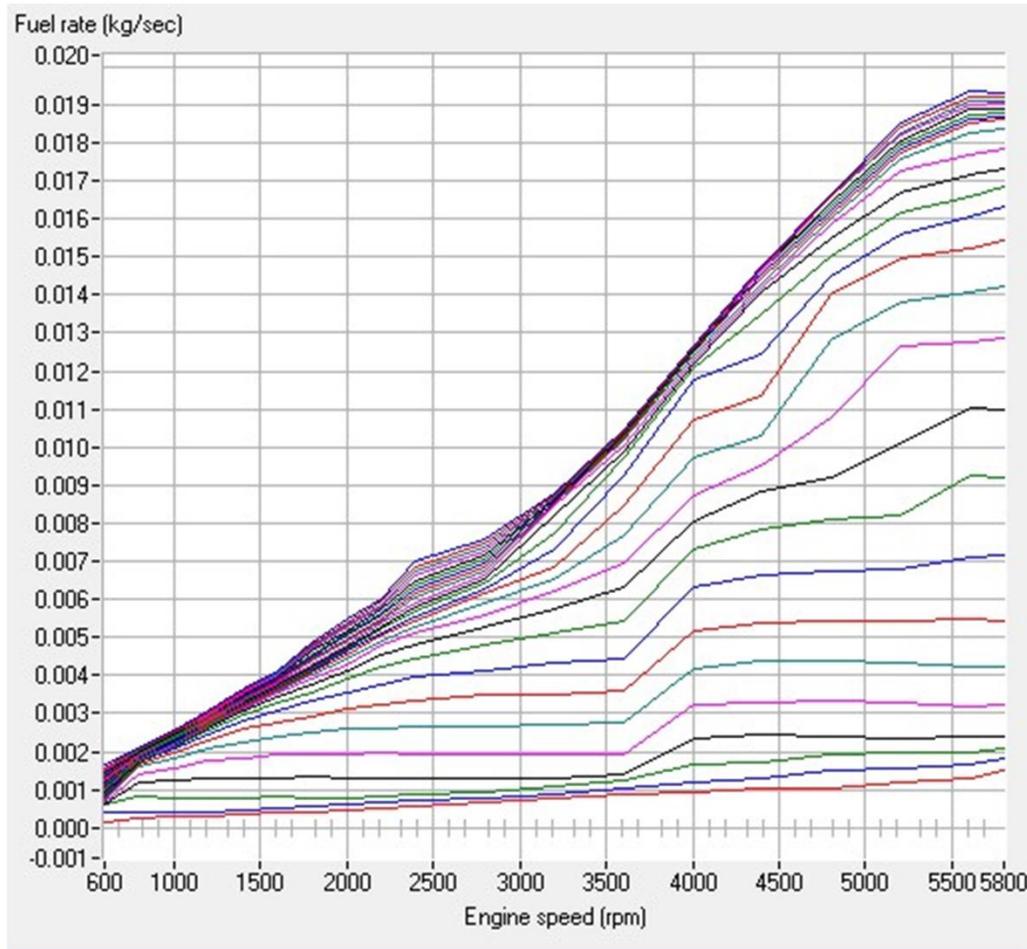
Izvor: <https://europepmc.org/article/PMC/6604863>

# Načini iskazivanja

Fuel mass flow rate [g/s]	Engine torque [Nm]	15.6	31.2	46.8	62.4	78	93.6	109.2	124.8	140.4	156	171.6
	MEP [bar]	1.03	2.06	3.09	4.12	5.16	6.19	7.22	8.25	9.28	10.31	11.34
Engine speed [rpm]	500	0.1389	0.2009	0.2524	0.3006	0.3471	0.4264	0.4803	0.5881	0.5881	0.6535	0.7188
	1000	0.2777	0.3659	0.4582	0.5587	0.6453	0.7792	0.8977	1.0325	1.1762	1.3069	1.4376
	1500	0.4166	0.5538	0.7057	0.8332	0.9557	1.0733	1.2127	1.3428	1.5438	1.9604	2.1564
	2000	0.5391	0.7188	0.9116	1.0913	1.2497	1.4115	1.5552	1.7774	2.029	2.3851	2.8752
	2500	0.633	0.8658	1.0904	1.2906	1.5111	1.6786	1.944	2.2217	2.4995	2.8997	3.594
	3000	0.7106	0.9949	1.2718	1.5193	1.7888	2.0878	2.3671	2.6661	2.9993	3.5286	4.3128
	3500	0.7433	1.0806	1.3722	1.7839	2.2013	2.549	2.8817	3.1562	3.5507	4.1739	5.0316
	4000	0.9475	1.2938	1.729	2.2087	2.5648	2.9993	3.3391	3.6855	4.2932	4.8355	5.7504
	4500	1.1027	1.6026	2.1525	2.5877	2.9957	3.4184	3.8852	4.4108	5.0151	5.6238	6.4692
	5000	1.5519	2.091	2.573	3.0222	3.4715	3.8717	4.4998	5.0642	5.7781	6.4528	7.188
	5500	1.8868	2.5517	3.1537	3.6479	4.0882	4.4206	5.2203	5.8941	6.55	7.2329	7.9068
	6000	2.0584	2.8817	3.5286	4.0775	4.5578	5.1165	5.6948	6.43	7.1455	7.8414	8.6256

Izvor: x-engineer.org

# Načini iskazivanja



Top row: throttle position (-); X Axis:  
engine speed (rpm); Rest: fuel rate (kg/sec)

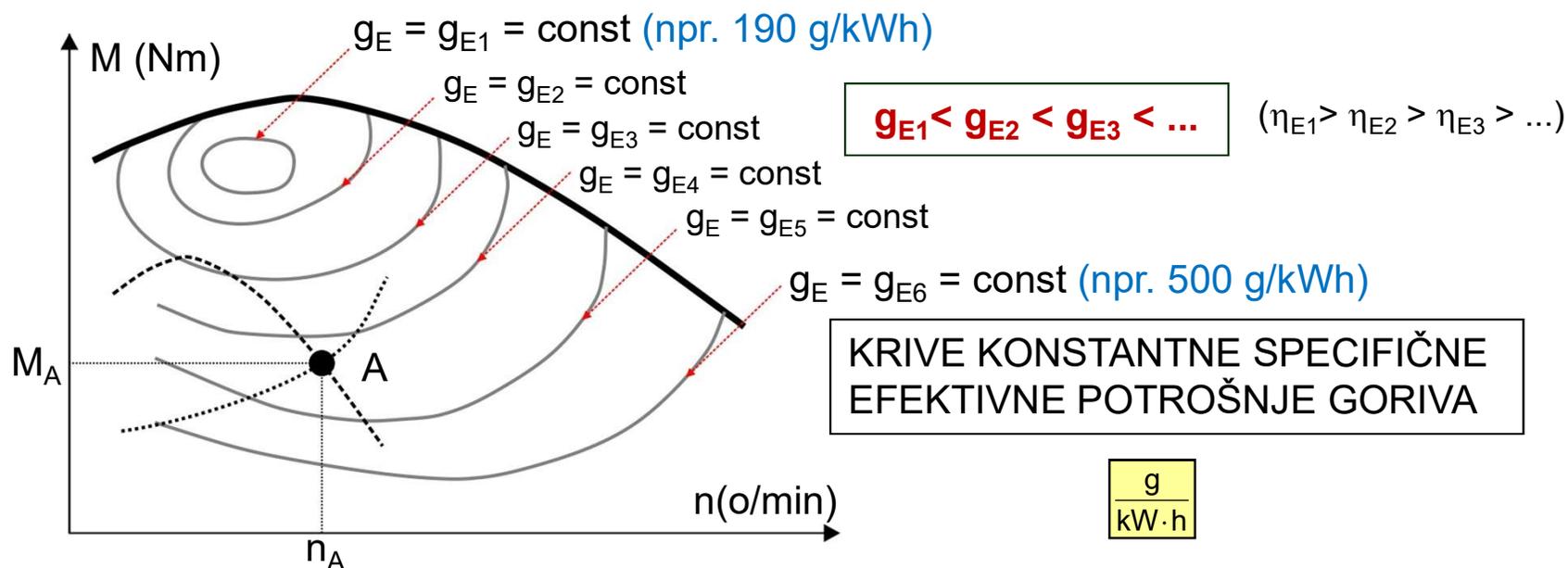
	X Axis	1	2	3
-	0	0	0.04	0.08
1	600	0.00016	0.0004	0.0006
2	800	0.00026	0.0004	0.0008
3	1000	0.00032	0.0004	0.00078
4	1200	0.00032	0.00042	0.00078
5	1400	0.00034	0.00046	0.00078
6	1600	0.0004	0.00052	0.0008
7	1800	0.00042	0.00056	0.00078
8	2000	0.00046	0.0006	0.00076
9	2200	0.0005	0.00066	0.00082
10	2400	0.00054	0.00072	0.00088
11	2800	0.00066	0.00078	0.00092
12	3200	0.00076	0.0009	0.00106
13	3600	0.00086	0.00104	0.00122
14	4000	0.00094	0.00118	0.00166
15	4400	0.00102	0.00118	0.00166
16	4800	0.00104	0.00118	0.00166
17	5200	0.00118	0.00118	0.00166

Izvor podataka:  
**CarSim**<sup>®</sup>  
Mechanical Simulation

Columns, rows: 26 19 Set Table Size  
Calculator Excel View 3D Map

## Praktično određivanje potrošnje goriva u ustaljenom režimu

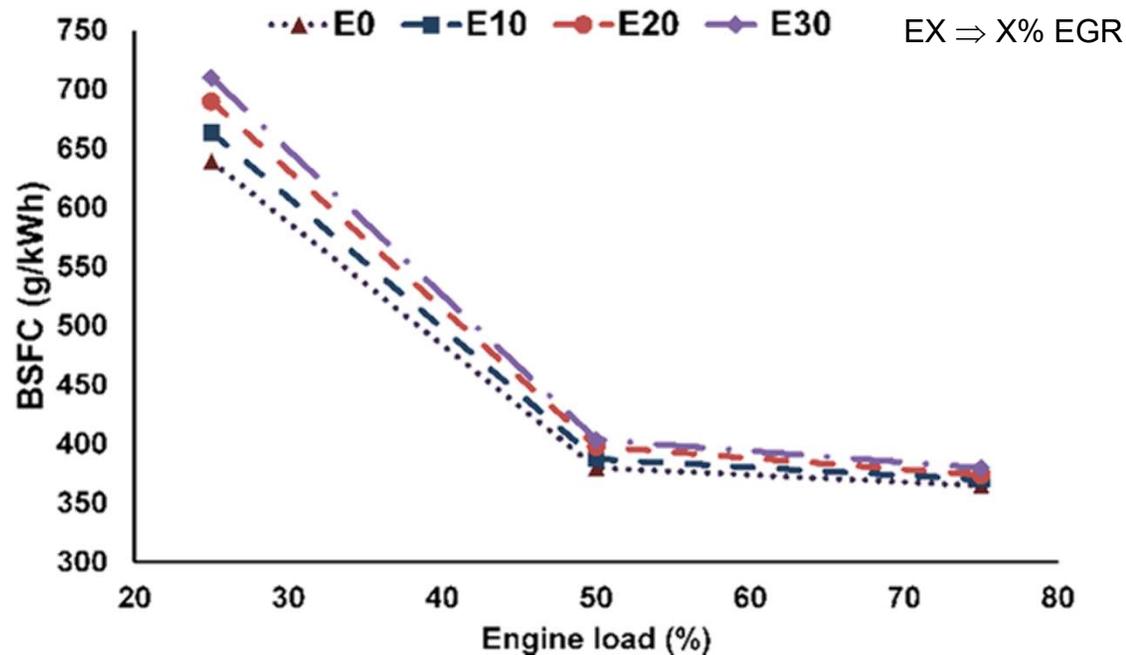
“ŠKOLJKASTI DIJAGRAM” – linije konstantne specifične efektivne potrošnje  $g_E$  [g/kWh] u zavisnosti od  $M$  i  $n$



Zone najviših stepena korisnosti odnosno minimalne specifične efektivne potrošnje po pravilu se nalaze u zoni većih opterećenja motora, blizu spoljne karakteristike.  
Na malim opterećenjima energetska efikasnost motora je po pravilu lošija.

## Praktično određivanje potrošnje goriva u ustaljenom režimu

Uticaj opterećenja motora na specifičnu efektivnu potrošnju  $g_E$  [g/kWh] (primer)



Mereno pri opterećenjima: **25%, 50%, 75%**

Motor: Lombardini diesel 510 cm<sup>3</sup>, 9 kW, jednocilindrični

Izvor: *Jaliliantabar, F. et al.*

## Praktično određivanje potrošnje goriva u ustaljenom režimu

### HIPERBOLE KONSTANTNE SNAGE

Jedan režim kretanja vozila definisan je parom  $F_{O1}, v_1$ .

Za ovaj režim potrebna snaga na točku vozila iznosi:  $P_{T1} = F_{O1} \cdot v_1 / 3600 = \text{const}$

Potrebna snaga motora iznosi:  $P_{MOT1} = P_{T1} / \eta_{TR} = \text{const}$

Pošto je  $P_{MOT} = M \cdot n / 9554$ , sledi:

$$P_{MOT} = P_{MOT1} = \text{const} \Rightarrow M \cdot n = \text{const}$$

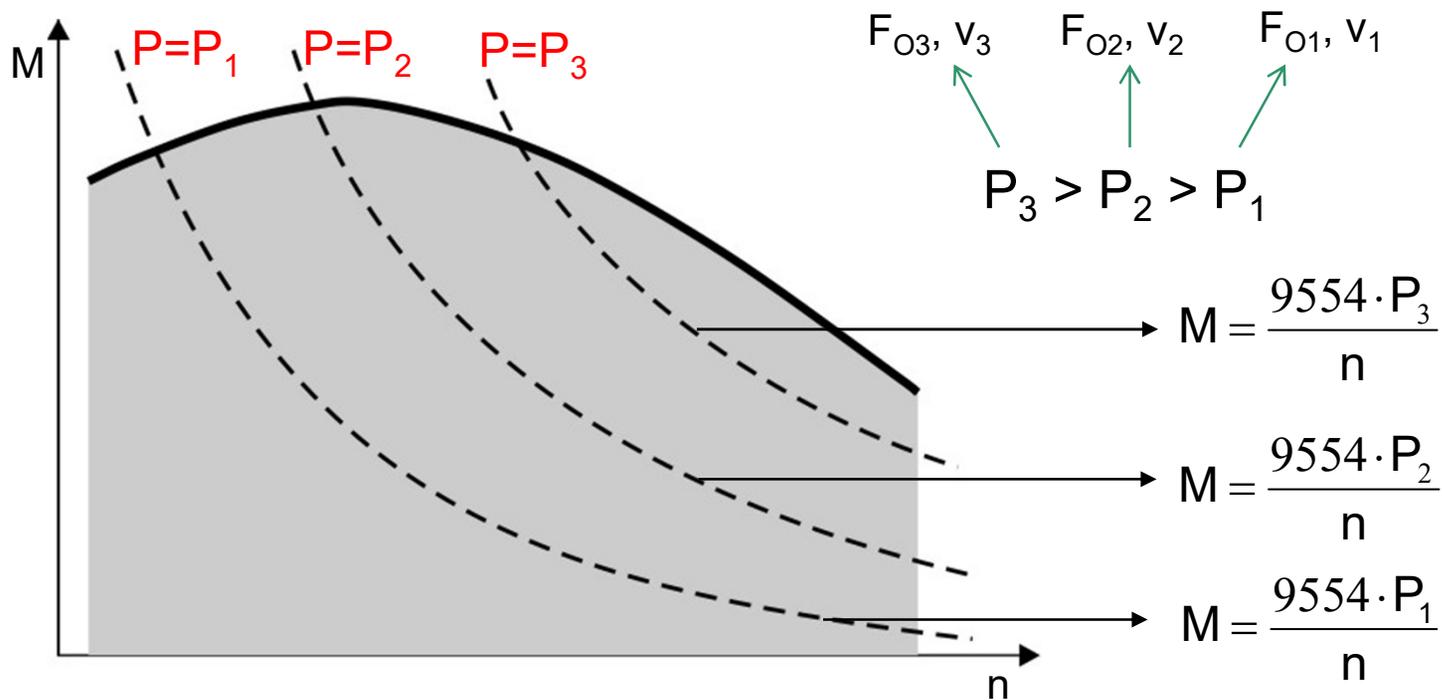
Odnosno: posmatrani režim kretanja vozila ( $F_{O1}, v_1$ ) se može realizovati pri bilo kojoj radnoj tački motora koja leži na hiperboli:  $M \cdot n = \text{const} = P_{MOT1}$

Hiperbola konstantne snage predstavlja krivu  $M \cdot n = \text{const}$  na dijagramskom prikazu karakteristike motora.

# Praktično određivanje potrošnje goriva u ustaljenom režimu

## HIPERBOLE KONSTANTNE SNAGE

$$M \cdot n = \text{const} \Rightarrow M = \frac{\text{const}}{n} \text{ - jednačina hiperbole}$$



**Napomena:** hiperbole konstantne snage nemaju veze sa karakteristikom motora!

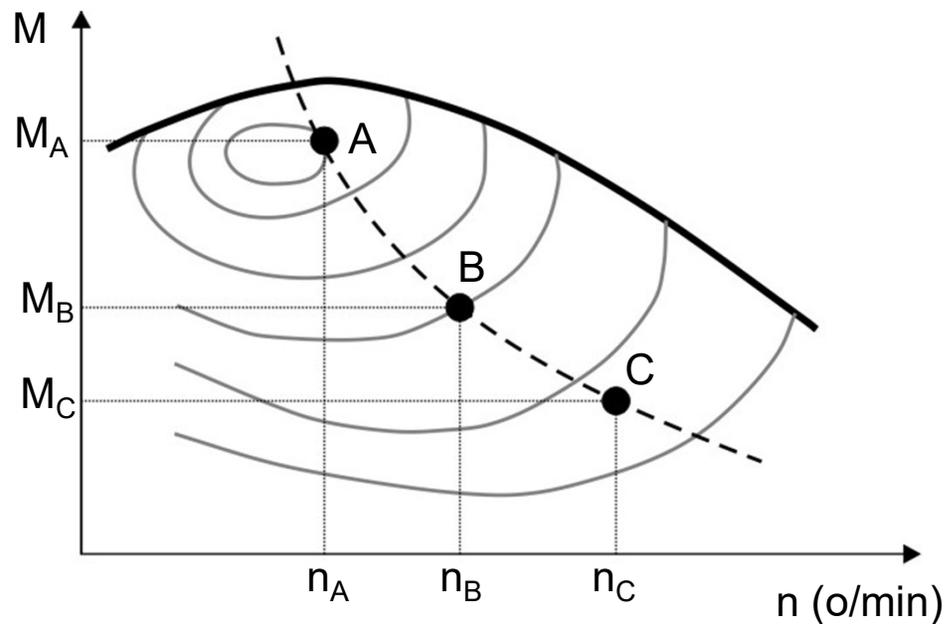
One samo daju podatke o mogućim kombinacijama  $M$  i  $n$  za realizaciju date kombinacije  $F_O$  i  $v$ .

# Praktično određivanje potrošnje goriva u ustaljenom režimu

## UTICAJ PRENOSNOG ODNOSA NA POTROŠNJU GORIVA

Posmatra se režim kretanja  $F_{O1}, v_1 \Rightarrow P_T = \text{const}, P = \text{const}$

$$P_A = P_B = P_C$$



Zadati režim kretanja vozila (npr:  $F_{O1}, v_1$ ) može se realizovati za bilo koji radni režim motora (tj. par  $M-n$ ) koji odgovara potrebnoj snazi, tj. radni režim motora može biti na bilo kojoj tački odgovarajuće hiperbole konstantne snage.

Za zadati režim kretanja vozila ( $F_{O1}, v_1$ ), režim rada motora ( $M, n$ ) jednoznačno je određen kada izaberemo prenosni odnos transmisije  $i_{TR}$ .

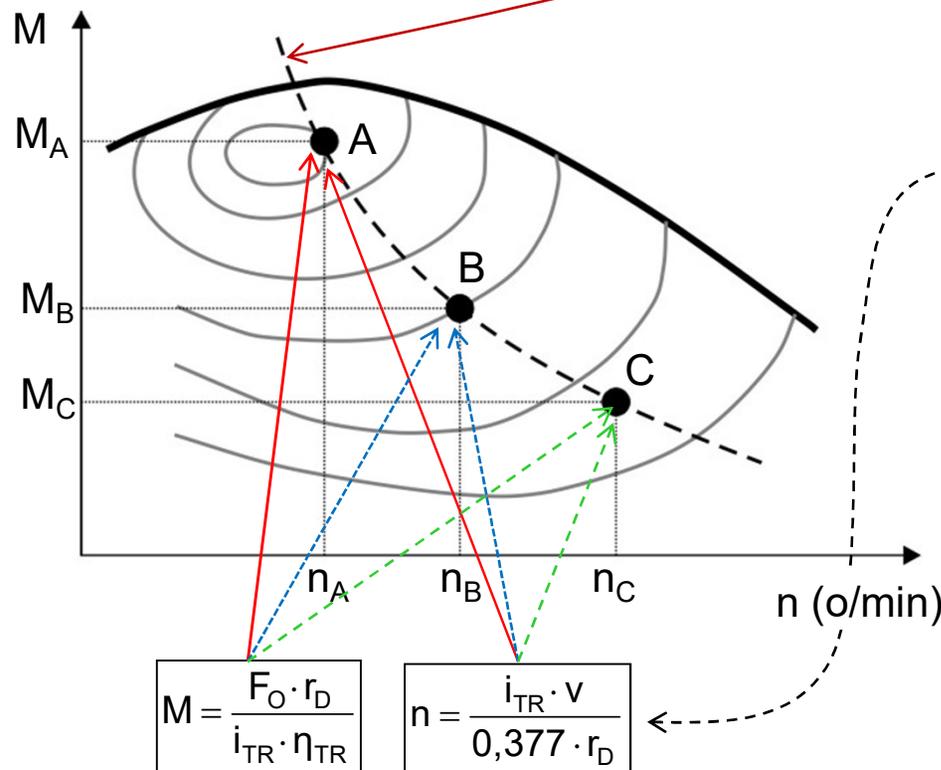
# Praktično određivanje potrošnje goriva u ustaljenom režimu

## UTICAJ PRENOSNOG ODNOSA NA POTROŠNJU GORIVA

Posmatra se režim kretanja  $F_{O1, V1}$

$$F_o = \frac{M \cdot i_{TR} \cdot \eta_{TR}}{r_D}$$

$$v = \frac{0,377 \cdot r_D \cdot n}{i_{TR}}$$



$$i_{TR} = i_{TR1} \Rightarrow M_A, n_A$$

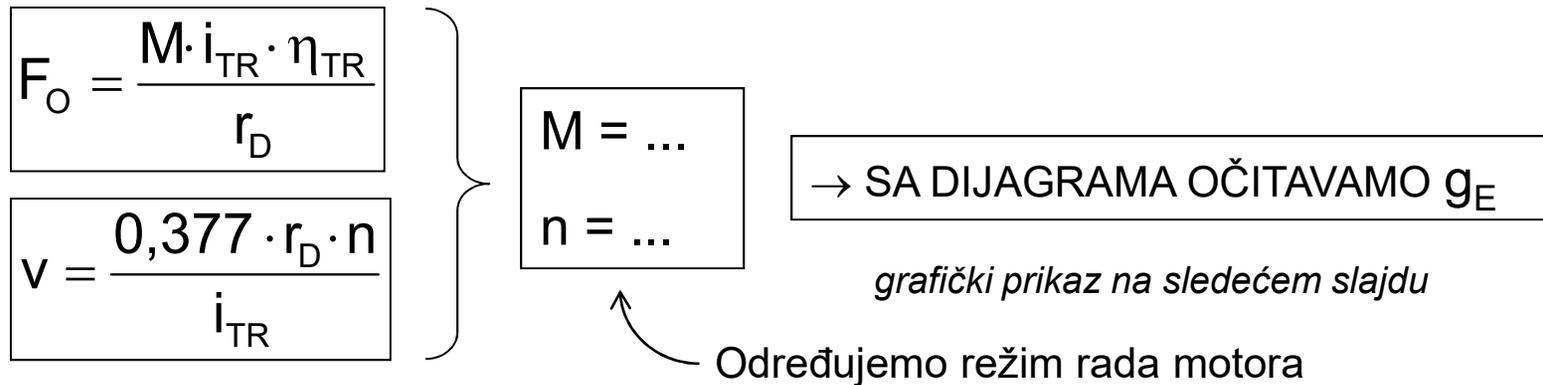
$$i_{TR} = i_{TR2} \Rightarrow M_B, n_B$$

$$i_{TR} = i_{TR3} \Rightarrow M_C, n_C$$

Adekvatnim izborom prenosnog odnosa moguće je, u okviru jednog režima kretanja vozila, izabrati režim motora sa boljim stepenom korisnosti. Takvi režimi se po pravilu nalaze u zoni većeg opterećenja  $\Rightarrow$  ovo se postiže manjim prenosnim odnosima (viši stepeni prenosa)

## Praktično određivanje potrošnje goriva u ustaljenom režimu

Kretanje vozila u stacionarnom režimu ( $F_O = \text{const}$ ,  $v = \text{const}$ )

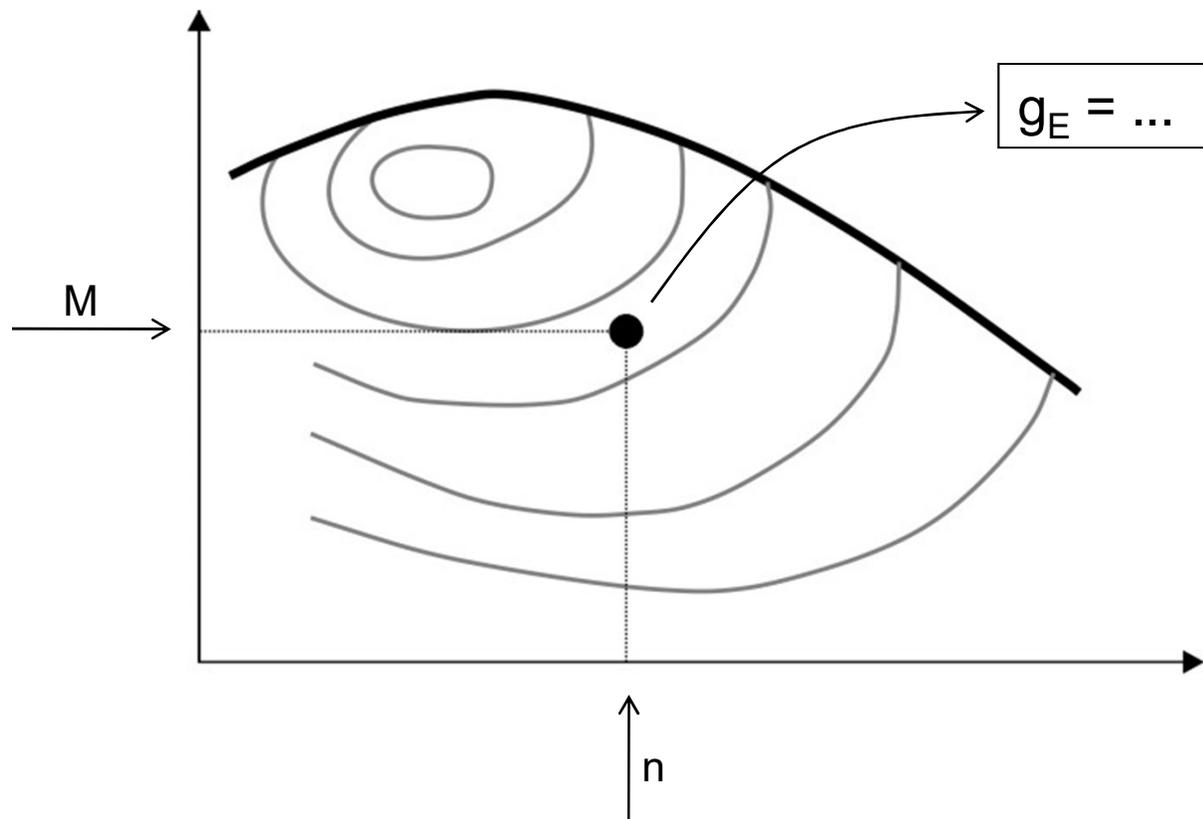


Parametri režima kretanja vozila (vrednosti za  $F_O$  i  $v$ ) moraju biti zadati kao ulazni podaci

(ili moramo raspolagati drugim podacima iz kojih ih možemo izračunati)

## Praktično određivanje potrošnje goriva u ustaljenom režimu

Kretanje vozila u stacionarnom režimu ( $F_o = \text{const}$ ,  $v = \text{const}$ )



# Izračunavanje potrošnje goriva

Kretanje vozila u stacionarnom režimu ( $F_o = \text{const}$ ,  $v = \text{const}$ )

Odredili smo:  $g_E \left[ \frac{\text{g}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \right]$

Za poznavanje količine (mase) potrošenog goriva moramo izračunati snagu motora:

$$P = \frac{M \cdot n}{9554}$$

KOLIČINA GORIVA POTROŠENOG U JEDINICI VREMENA:  $G_h = \frac{\frac{\text{g}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \cdot \text{kW}}{1000}, \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$

*(Note: In the original image, arrows point from 'g' to 'g/kW·h', from 'kW' to 'kW', and from 'g → kg' to the denominator '1000'.)*

# Izračunavanje potrošnje goriva

Kretanje vozila u stacionarnom režimu ( $F_O = \text{const}$ ,  $v = \text{const}$ )

$$G_h = \frac{g_E \cdot P}{1000}, \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

Postupak preračunavanja u [l/100km]:

Iz mase u zapreminu:

$$V_{\text{m}^3/\text{h}} = \frac{G_h}{\rho_{\text{gor}}}, \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \Rightarrow V_{\text{l/h}} = \frac{1000 \cdot G_h}{\rho_{\text{gor}}}, \left[ \frac{\text{l}}{\text{h}} \right]$$

m<sup>3</sup> → l

Iz vremena u pređeni put:

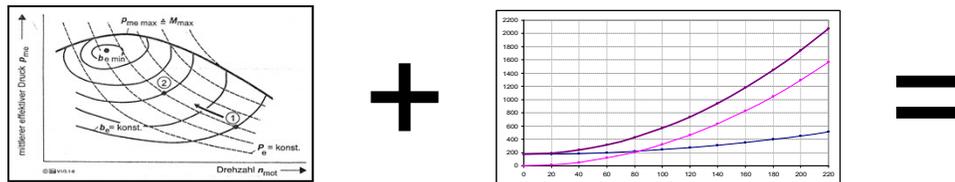
$$V_{\text{km}} = \frac{V_{\text{l/h}}}{v}, \left[ \frac{\text{l}}{\text{km}} \right] \Rightarrow V_{100\text{km}} = 100 \cdot V_{\text{km}}, \left[ \frac{\text{l}}{100\text{km}} \right]$$

$$V_{100\text{km}} = 100 \cdot \frac{g_E \cdot P}{\rho_{\text{gor}} \cdot v}$$

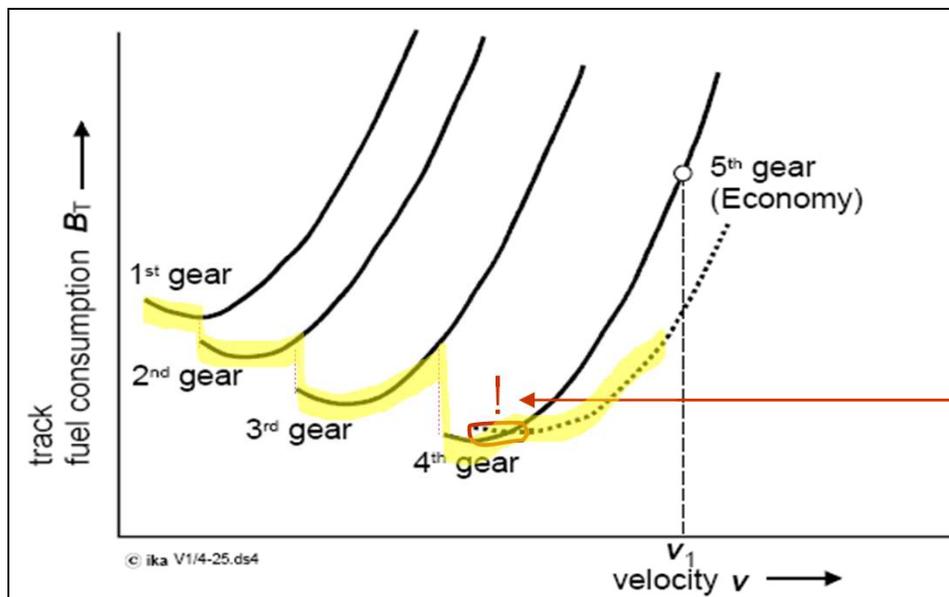
POTROŠNJA U [l/100km]

$g_e$  (g/kWh),  $P$  (kW),  $\rho_{\text{gor}}$  (kg/m<sup>3</sup>),  $v$  (km/h)

# Potrošnja goriva u stacionarnom režimu



## KRIVE POTROŠNJE GORIVA U ZAVISNOSTI OD BRZINE I STEPENA PRENOSA



Izvor: *Walentowitz*

I uštednom stepenu može doći do narušavanja optimalne ekonomičnosti ukoliko dođe do rada motora na režimu sa suviše velikim  $g_e$ !

Za svaki stepen prenosa postoji optimalna brzina sa stanovišta potrošnje, tako da sa smanjenjem brzine potrošnja raste zbog rada motora u području većih  $g_e$ !

Manja potrošnja goriva postiže se u višim stepenima prenosa zbog većeg opterećenja motora i odgovarajućih povoljnih vrednosti  $g_e$ , a ne zbog sniženja broja obrtaja!

# Potrošnja goriva u nestacionarnom režimu

$$F_O \neq \text{const}, v \neq \text{const} \text{ tj. } F_O = F_O(t), v = v(t), g_E = g_E(t)$$

$$P_T = \frac{dE_{\text{POG}}}{dt} \Rightarrow E_{\text{POG}} = \int_0^T P_T(t) \cdot dt = \int_0^T P_f(t) \cdot dt + \int_0^T P_W(t) \cdot dt + \int_0^T P_{\text{IN}}(t) \cdot dt + \int_0^T P_\alpha(t) \cdot dt$$

Pristup:

posmatrani interval  $(0 \div T)$  se deli na niz manjih podintervala,  $\Delta t_i$  ( $T_{i-1} \div T_i$ )

$$E_{\text{POG}} \approx \sum P_{fi} \Delta t_i + \sum P_{Wi} \Delta t_i + \sum P_{\text{IN}i} \Delta t_i + \sum P_{\alpha i} \Delta t_i$$

Praktična primena:

- Za svako  $\Delta t_i$  odredi se  $F_{oi}$ , uzimajući da tokom trajanja  $\Delta t_i$  približno važi:  
 $v_i \approx \text{const}, a_i \approx (v_{i-1} - v_i) / \Delta t_i$
- Za svaki od intervala  $\Delta t_i$  odredi se parcijalna potrošnja goriva  $Q_i$  prema prethodno prikazanom postupku
- Odredi se ukupna potrošnja goriva kao  $Q = \sum Q_i$

# Potrošnja goriva u nestacionarnom režimu

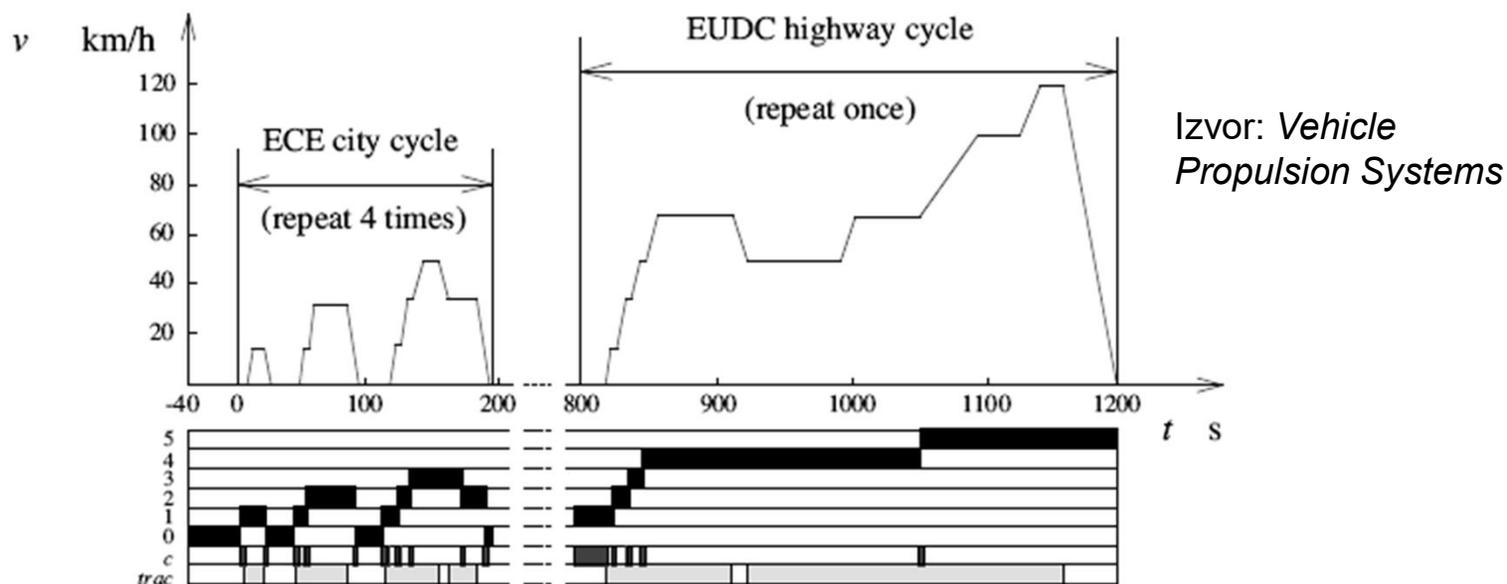
- Potrebno je poznavati vozni ciklus i uslove rada (profil brzine  $v=v(t)$  itd.)
- Parcijalni vremenski intervali  $\Delta t_i$  treba da budu što manji
- Obično veliki broj podintervala → neophodna upotreba računara
- U režimu usporenja potrebno je znati karakteristiku potrošnje goriva pri kočenju motorom ili radu na praznom hodu, udeo sile kočenja koji se ostvaruje frikcionim putem, karakteristike rekuperativnog sistema ukoliko postoji

Napomena: motor radi na nestacionarnom režimu – karakteristika odstupa od stacionarne → ali odstupanja nisu znatna (podaci stacionarne karakteristike su upotrebljivi u praksi); stvarna potrošnja u nestacionarnim uslovima je za 2-5% veća (*The Automotive Chassis Vol. 2*)

# Potrošnja goriva u nestacionarnom režimu

## Standardni vozni ciklusi

**INFORMATIVNO**



Izvor: *Vehicle Propulsion Systems*

**Fig. 2.6.** European test cycle MVEG-95, gears 1-5, “c”: clutch disengaged, “trac”: traction time intervals. Total length: 11.4 km, duration: 1200 s, average speed: urban 5.12 m/s, extra-urban 18.14 m/s, overall 9.5 m/s. The cycle includes a total of 13 gear shifts.

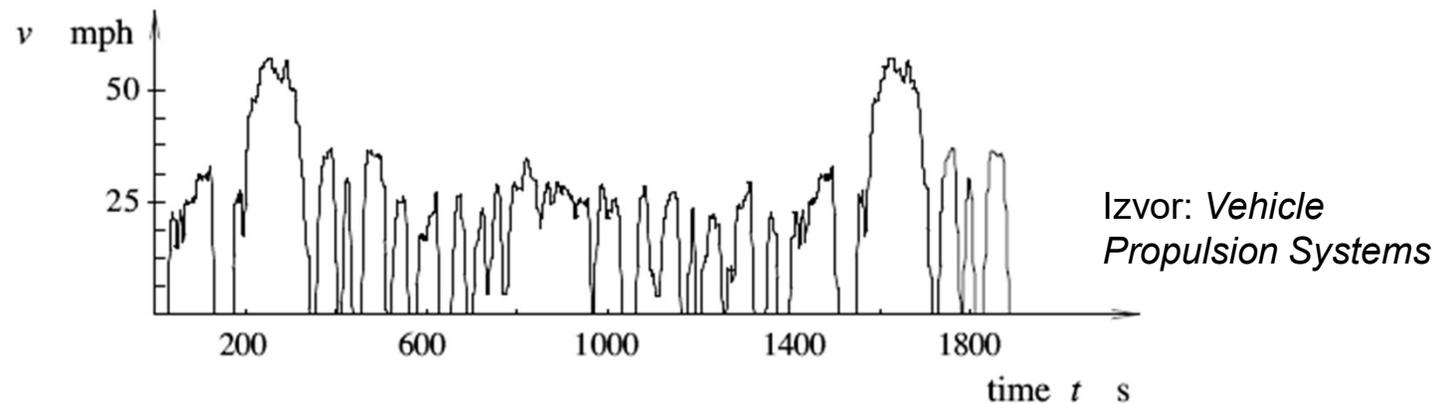
Standardni evropski vozni ciklus: MVEG-95 = 4xECE + 1xEUDC

Standardizovani ciklus omogućava međusobnu uporedivost potrošnje goriva kod različitih vozila.

# Potrošnja goriva u nestacionarnom režimu

## Standardni vozni ciklusi

**INFORMATIVNO**

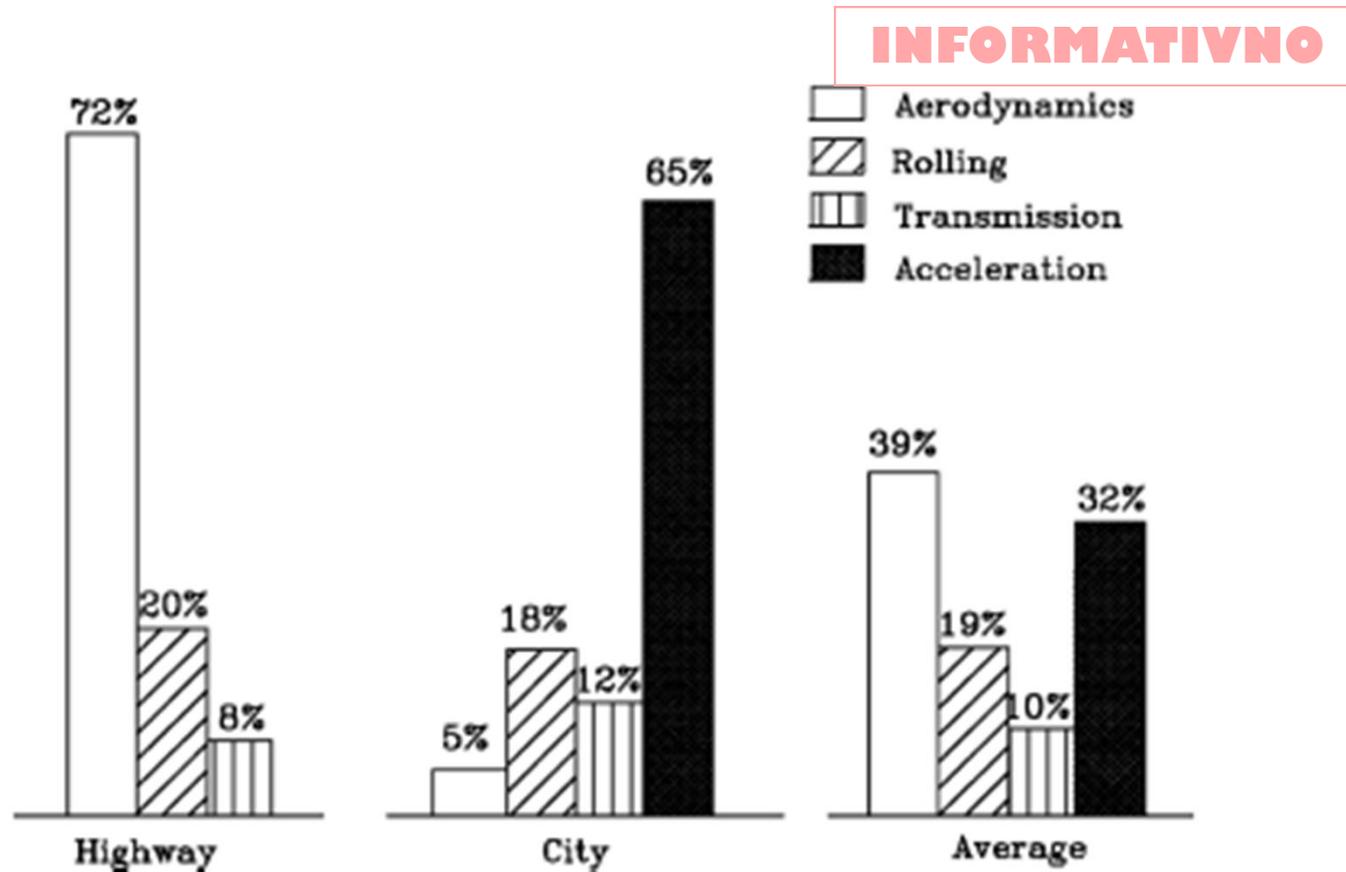


**Fig. 2.5.** US test cycle FTP-75 (Federal Test Procedure), length: 11.12 miles (17.8 km), duration: 1890 s, average speed: 21 mph (9.43 m/s).

Standardni SAD vozni ciklus

# Potrošnja goriva u nestacionarnom režimu

Struktura potrošnje goriva u različitim režimima kretanja - primer



Izvor: *The Automotive Chassis Vol.2*