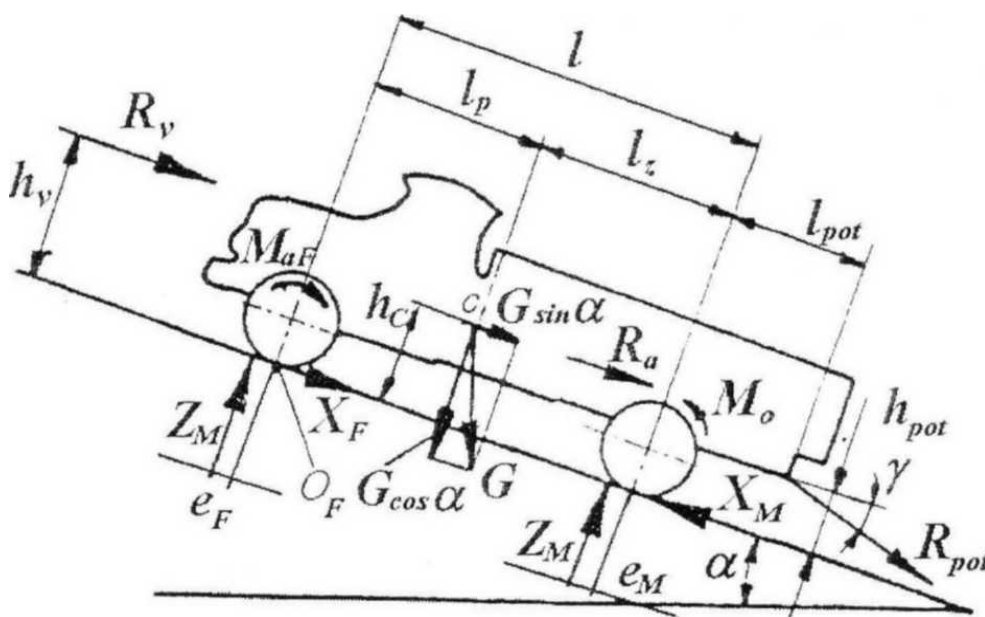


GRANIČNE PERFORMANSE MOTORNIH VOZILA

Propulzija motornih vozila ostvaruje se "odupiranjem" kretača o tlo, odnosno složenim procesom prijanjanja kretača i tla. Nivo ovog prijanjanja zavisi od više činilaca a najviše od vrste kretača, njegovog korisnog opterećenja i vrste, kvaliteta i stanja tla po kojem se vozilo kreće. To znači da ovi činioci određuju i maksimalne vučne sile, a time i maksimalne performanse vozila. Drugim rečima, vozilo ne može da ostvari viši nivo performansi od onog koji je diktiran veličinom sila prijanjanja, bez obzira na veličinu dovedenog obrtnog momenta na pogonske točkove. Ove maksimalne performanse, diktirane prijanjanjem kretača na određenom tlu nazivaju se granične performanse motornih vozila. One su posebno značajne za vozila na točkovima, te će se prvo za ovaj slučaj analizirati.

S obzirom da se granične performanse odnose na uslove kretanja vozila, dakle za slučaj kada na vozilo deluju različiti otpori koji se suprotstavljaju kretanju, a koji izazivaju i određene promene normalnih reakcija pojedinih kretača, analiza graničnih performansi mora da se zasniva na. tzv. dinamičkim opterećenjima kretača, odnosno osovina vozila.



Slika 1

Na Slici 1 prikazana je shema vozila sa pogonom na zadnjim točkovima, koje se kreće ubrzano na usponu α . Na vozilo, pored ukupne mase, deluju i otpori vazduha, ubrzanja i kotrljanja. Osim toga, komponenta težine $G \cdot \sin \alpha$ deluje kao otpor uspona, a pretpostavljen je i otpor na poteznici R_{pot} , koji deluje pod uglom γ (na primer, od prikolice).

Normalne reakcije tla, tj. dinamička opterećenja osovina ovog vozila mogu lako da se odrede iz uslova ravnoteže sila i momenata, na sledeći način:

$\sum M_{O_F} = 0$ daje:

$$\begin{aligned} Z_M \cdot (l - e_M) - (R_a - R_u) \cdot h_C - R_v \cdot h_v - G \cdot l_p \cdot \cos \alpha - \\ - Z_F \cdot e_F - R_{pot} \cdot h_{pot} \cdot \cos \gamma - R_{pot} \cdot (l + l_{pot}) \cdot \sin \gamma - M_{aF} = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$\sum X = 0$ daje:

$$X_M = R_a + R_u + R_v + X_F + R_{pot} \cdot \cos \gamma \quad (2)$$

$\sum Z = 0$ daje:

$$Z_M + Z_F = G \cdot \cos \alpha + R_{pot} \cdot \sin \gamma \quad (3)$$

Odavde se određuju Z_M i Z_F odnosno obe tražene veličine. Za poseban slučaj koji se u ovakvim analizama obično posmatra, kada je

$$Z_M \cdot e_M = Z_F \cdot e_F \approx 0 \quad ; \quad h_v = h_C \quad ; \quad M_{aF} \approx 0 \quad ; \quad \gamma = 0$$

dobijaju se sledeći izrazi:

$$\begin{aligned}
 Z_M &= \frac{1}{l} \cdot \left[G \cdot l_p \cdot \cos \alpha + (R_a + R_u + R_v) \cdot h_C + R_{pot} \cdot h_{pot} \right] \\
 Z_F &= \frac{1}{l} \cdot \left[G \cdot l_z \cdot \cos \alpha - (R_a + R_u + R_v) \cdot h_C - R_{pot} \cdot h_{pot} \right]
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Ako se, pored ovoga usvoji da se kretanje ostvaruje na ravnom putu ($\alpha = 0$), konstantnom brzinom ($R_a = 0$), bez prikolice ($R_{pot} = 0$) izrazi (4) prelaze u oblik:

$$\begin{aligned}
 Z_M &= \frac{G \cdot l_p + R_v \cdot h_C}{l} \\
 Z_F &= \frac{G \cdot l_z - R_v \cdot h_C}{l}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Na isti način se određuju dinamičke reakcije tla i za druge režime kretanja vozila, odnosno za druge vrste otpora.

Dinamičke reakcije (4) se razlikuju od statičkih. Ukupna masa vozila preraspodeljuje se na drugi način pri dinamičkoj ravnoteži vozila. Ova preraspodela se najbolje karakteriše odnosom dinamičkih reakcija prema odgovarajućoj statičkoj reakciji.

U slučaju dvoosovinskog vozila sa zadnjim pogonskim točkovima - koeficijent preraspodele mase prednje osovine

$$m_p = \frac{Z_F}{G_p}$$

a koeficijent preraspodele zadnje osovine

$$m_z = \frac{Z_M}{G_z}$$

Često se ovi koeficijenti koriste pri približnim proračunima vučno-dinamičkih svojstava vozila. Karakteristični podaci o ovim koeficijentima dati su u Tabeli 1.

Tabela 1

Uslovi kretanja	m_p	m_z
Ubrzanje sa maksimalnim ubrzanjem	0,85 - 0,90	1,05 - 1,12
Granični usponi putničkih i teretnih vozila povećane prohodnosti	0,75 - 0,80	1,08 - 1,12
	0,85 - 0,90	1,05 - 1,10
	0,40 - 0,60	1,18 - 1,22
Kočenje maksimalnim intenzitetom	1,40 - 1,20	0,65 - 0,75
Kočenje na nizbrdici	3,40 - 1,60	0,45 - 0,55

Poznavajući normalne dinamičke reakcije tla, mogu lako da se odrede i maksimalne vrednosti vučnih sila pri kretanju vozila po tlu koje u spoju sa njegovim kretačima daje maksimalni koeficijent prijanjanja φ . Za primer sa Slike 1, koji odgovara vozilu sa pogonom na zadnje točkove, za $\gamma = 0$; biće:

$$\sum M_{O_F} = 0$$

$$Z_{M\varphi} \cdot l - (R_a + R_u + R_v) \cdot h_C - G \cdot \cos \alpha \cdot l_p - R_{pot} \cdot h_{pot} = 0 \quad (7)$$

$$\sum X = 0$$

$$X_{M_{\max}} - R_a - R_u - R_v - X_F - R_{pot} = 0 \quad (8)$$

pošto je:

$$X_{M_{\max}} = X_{M\varphi z} \cdot \varphi \quad (9)$$

i

$$X_F = Z_F \cdot f = (G \cdot \cos \alpha - Z_{M\varphi}) \cdot f \quad (10)$$

gde su sa $Z_{M\varphi}$ i $X_{M\varphi}$ označene normalna i tangenta reakcija tla na granici prijanjanja, biće:

$$Z_{M\varphi} \cdot \varphi - R_a - R_u - R_v - (G \cdot \cos \alpha - Z_{M\varphi}) \cdot f - R_{pot} = 0 \quad (11)$$

odnosno:

$$Z_{M\varphi} \cdot (\varphi + f) - R_a - R_u - R_v - G \cdot \cos \alpha \cdot f - R_{pot} = 0$$

Unošenjem vrednosti $(R_a + R_u + R_v)$ iz izraza (11) u izraz (7) dobija se posle sređivanja:

$$Z_{M\varphi} = \frac{G \cdot \cos \alpha \cdot (l_p - f \cdot h_c) - R_{pot} \cdot (h_c - h_{pot})}{l - (\varphi + f) \cdot h_c} \quad (12)$$

što na osnovu jednačine (9) daje maksimalnu vučnu silu u obliku:

$$X_{M\varphi z} = \varphi \cdot \frac{G \cdot \cos \alpha \cdot (l_p - f \cdot h_c) - R_{pot} \cdot (h_c - h_{pot})}{l - (\varphi + f) \cdot h_c} \quad (13)$$

Ako je $f \approx 0$ i $R_{pot} = 0$ biće:

$$X_{M\varphi z} = \varphi \cdot \frac{G \cdot l_p \cdot \cos \alpha}{l - \varphi \cdot h_c} \quad (14)$$

odnosno za kretanje po horizontalnom putu ($\alpha = 0$)

$$X_{M\varphi z} = \varphi \cdot \frac{G \cdot l_p}{l - \varphi \cdot h_c} \quad (15)$$

Na isti način se analiziraju i drugi mogući slučajevi pogona. Za pogon na prednje točkove se dobija:

$$X_{M\varphi p} = \varphi \cdot \frac{G \cdot \cos \alpha \cdot (l_z + f \cdot h_c) - R_{pot} \cdot (h_c - h_{pot})}{l + (\varphi + f) \cdot h_c} \quad (16)$$

odnosno za $f \approx 0$, $R_{pot} = 0$ i $\alpha = 0$

$$X_{M\varphi p} = \varphi \cdot \frac{G \cdot l_z}{l + \varphi \cdot h_c} \quad (17)$$

a za pogon na sve točkove:

$$X_{M\varphi z, p} = \varphi \cdot G \cdot \cos \alpha \quad (18)$$

odnosno za $\alpha = 0$

$$X_{M\varphi z, p} = \varphi \cdot G \quad (19)$$

Neophodno je da se istakne da je ostvarivanje maksimalne vučne sile pri pogonu na sve točkove, prema izrazu (18), odnosno (19), uslovljeno postojanjem blokiranog razvoda snage na pogonske mostove ili punom srazmerom dovedenih momenata i dinamičkih reakcija (kod diferencijalnog razvoda), odnosno:

$$\frac{M_{op}}{M_{oz}} = \frac{Z_{\varphi p}}{Z_{\varphi z}} = \frac{\frac{G \cdot \cos \alpha \cdot (l_z - \varphi \cdot h_c)}{l}}{\frac{G \cdot \cos \alpha \cdot (l_p + \varphi \cdot h_c)}{l}} = \frac{l_z - \varphi \cdot h_c}{l_p + \varphi \cdot h_c} \quad (20)$$

Na osnovu graničnih vrednosti vučnih sila mogu lako da se odrede sve druge granične performanse vozila, na primer maksimalna, tj. granična brzina, granično ubrzanje itd. Odgovarajući izraz za ova izračunavanja dati su u Tabeli 2, a u

daljem se, objašnjenja radi, prikazuje postupak određivanja granične brzine za slučaj zadnjeg pogona.

Polazi se od toga da je:

$$X_{M\varphi z} = \sum R$$

odnosno za slučaj ravnog puta, rada vozila bez prikolice i konstantne brzine (granična brzina mora biti konstantna!) biće:

$$X_{M\varphi z} = \varphi \cdot \frac{G \cdot (l_p - f \cdot h_c)}{l - (\varphi + f) \cdot h_c} = G \cdot f + k \cdot A \cdot V_\varphi^2 \quad (21)$$

odnosno:

$$k \cdot A \cdot V_\varphi^2 = G \cdot \left[\frac{\varphi \cdot (l_p - f \cdot h_c)}{l - (\varphi + f) \cdot h_c} - f \right] \quad (22)$$

Odavde se zanemarivanjem člana sa f^2 dobija:

$$V_\varphi = \sqrt{\frac{G \cdot (\varphi \cdot l_p - f \cdot l)}{k \cdot A \cdot [l - (\varphi + f) \cdot h_c]}} \quad (23)$$

Tabela 2

Veličina i uslovi	Pogon	Pogonski točkovi		
		Zadnji	Prednji	Zadnji i prednji
<u>Brzina</u> V_φ $a = 0$ $R_{\text{pot}} = 0$ $V = \text{const.}$ $M_f \approx 0$		$\sqrt{\frac{G \cdot (\varphi \cdot l_p - f \cdot l)}{k \cdot A \cdot [l - (\varphi + f) \cdot h_c]}}$	$\sqrt{\frac{G \cdot (\varphi \cdot l_z - f \cdot l)}{k \cdot A \cdot [l + (\varphi + f) \cdot h_c]}}$	$\sqrt{\frac{G \cdot (\varphi - f)}{k \cdot A}}$
<u>Ubrzanje</u> a_φ $\alpha = 0$ $R_{\text{pot}} = 0$ $R_v \approx 0$ $M_f \approx 0$		$\frac{g \cdot (\varphi \cdot l_p - f \cdot l)}{l - (\varphi + f) \cdot h_c}$	$\frac{g \cdot (\varphi \cdot l_z - f \cdot l)}{l + (\varphi + f) \cdot h_c}$	$g \cdot (\varphi - f)$
<u>Uspon</u> u_φ $R_{\text{pot}} = 0$ $R_v \approx 0$ $V = \text{const.}$ $M_f \approx 0$		$\frac{\varphi \cdot l_p - f \cdot l}{l - (\varphi + f) \cdot h_c} \cdot 100$	$\frac{\varphi \cdot l_z - f \cdot l}{l + (\varphi + f) \cdot h_c} \cdot 100$	$(\varphi - f) \cdot 100$
<u>Otpor na poteznici</u> R_{pot} $\alpha = 0$ $R_v \approx 0$ $\gamma = 0$ $V = \text{const.}$ $h_p \approx h_c$		$\approx \frac{G \cdot (\varphi \cdot l_p - f \cdot l)}{l - (\varphi + f) \cdot h_{\text{pot}}}$	$\approx \frac{G \cdot (\varphi \cdot l_z - f \cdot l)}{l + (\varphi + f) \cdot h_{\text{pot}}}$	$G \cdot (\varphi - f)$
<u>Težina prikolice</u> G_φ $\alpha = 0$ $R_v \approx 0$ $\gamma = 0$ $V = \text{const.}$ $h_p \approx h_c$		$G \cdot \frac{\varphi \cdot l_p - f \cdot l}{[l - (\varphi + f) \cdot h_{\text{pot}}] \cdot f}$	$G \cdot \frac{\varphi \cdot l_z - f \cdot l}{[l + (\varphi + f) \cdot h_{\text{pot}}] \cdot f}$	$G \cdot \frac{\varphi - f}{f}$

POGON MOTORNIH VOZILA

Pogonske sile koje se od pogonskog agregata-motora dovode do kretača treba da budu veće ili jednake silama otpora ali i manje ili jednake maksimalnim silama prijanjanja. Na osnovu ovoga se mogu ostvariti veoma različite performanse, kako sa stanovišta vučno-dinamičkih karakteristika tako i u pogledu ekonomičnosti pogona i drugih osobina vozila.

Važno je istaći da na performanse vozila ne utiče samo maksimalna snaga motora već i njegove osobine pri delimičnom opterećenju i pri različitim režimima rada.

Prvi korak ka sagledavanju vrste i karakteristika pogonskog agregata koji treba ugraditi u vozilo je poznavanje zakona kretanja vozila.

Za kretanje transportnih vozila neophodno je kretaču da se dovede obrtni moment, odnosno snaga:

$$P_o = M_o \cdot \omega_t = F_o \cdot r_d \cdot \omega_t = F_o \cdot V$$

Osim zahteva u pogledu performansi, pogonski agregati motornih vozila treba da zadovolje i druge brojne zahteve, među kojima se posebno ističu:

- što manje zagađenje okoline izduvnim gasovima i bukom,
- korišćenje jeftinih goriva i ekonomičnost njihove potrošnje,
- lakoća startovanja,
- elastičnost (prilagodljivost) promena otpora kretanju,
- jednostavno održavanje i rukovanje,
- mali gabariti i laka ugradnja,
- niska cena.

Svi ovi zahtevi su često međusobno oprečni, zbog čega je nemoguće da budu u celosti zadovoljeni jednom određenom vrstom motora, te se nameće potreba pravljenja kompromisa.

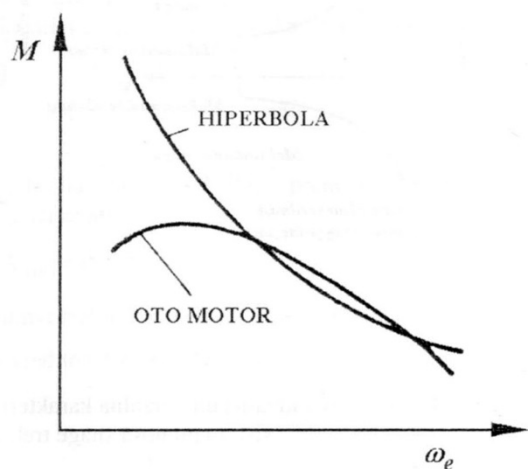
Danas postoje različite mogućnosti pogona (motori sa unutrašnjim sagorevanjem, hibridi, elektro pogon,...).

Motori sa unutrašnjim sagorevanjem

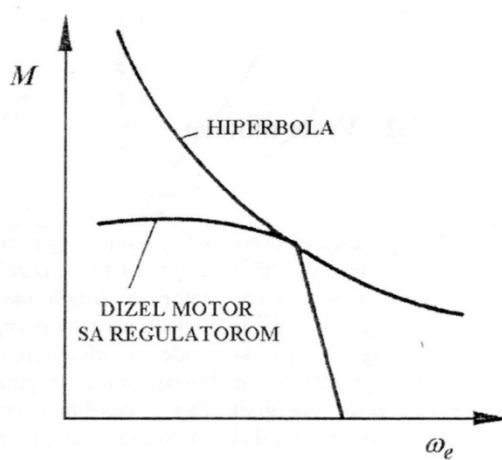
Imaju niz povoljnih karakteristika za ugradnju na vozilo. Relativno laki, jednostavni za ugradnju, relativno ekonomični i pogodni za rukovanje i održavanje. Problemi sa izduvnom emisijom, rezervama goriva. Primena drugih goriva može da umanja nedostatke motori SUS (tečni vodonik, gasovita goriva).

Osim nedostataka u odnosu na pogonsko gorivo, motori SUS imaju i određene nedostatke i u pogledu zadovoljenja funkcionalnih zahteva, odnosno usklađenosti sa idealnim karakteristikama pogonskog agregata.

Spoljne brzinske karakteristike Oto i Dizel motora (odstupanje obrtnog momenta od hiperbole vuče). Ovi nedostaci mogu da se neutrališu određenim konstrukcijskim merama (uvođenje menjačkog prenosnika).



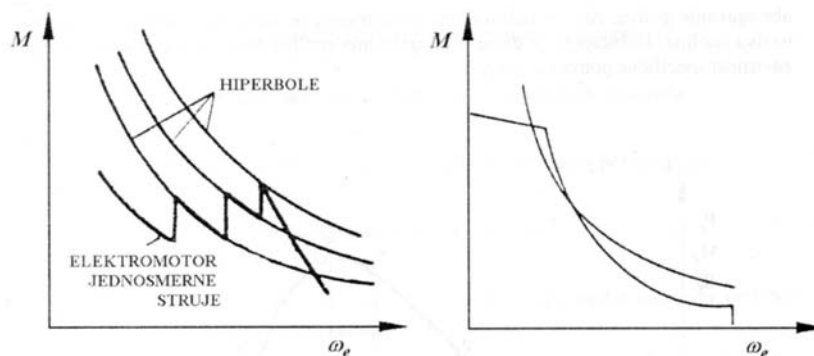
Slika 2



Slika 3

Elektromotori

Elektromotori su posebno interesantni za primenu na motornim vozilima. Pored energetske povoljnosti, primena elektro pogona na vozilima je pogodna i sa stanovišta zadovoljenja funkcionalnih zahteva tj. usklađivanja sa zahtevima idealne karakteristike pogonskog agregata.

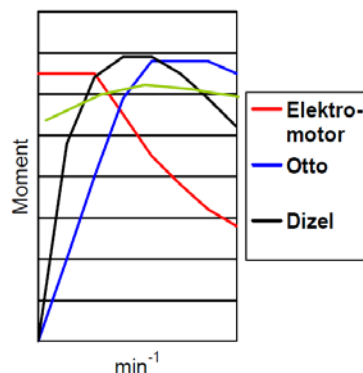


Slika 4

Hibridni pogon

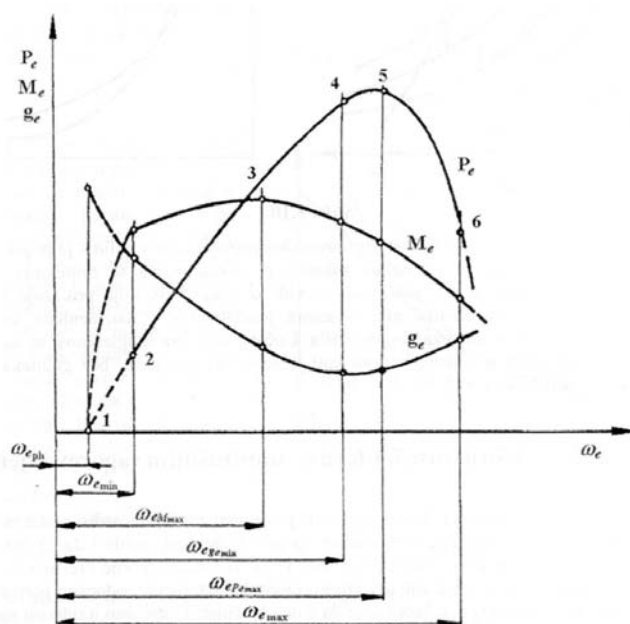
Hibridni pogon predstavlja simbiozu dve različite vrste pogonskih agregata, pri čemu je danas najzastupljenija kombinacija motora SUS i elektromotora.

Obrtni moment Otto motora i elektromotora dopunjuju jedan drugog. Elektromotor kompenzuje mali obrtni moment Otto motora pri malom broju obrtaja. Otto motor kompenzuje pad obrtnog momenta elektromotora pri većem broju obrtaja.



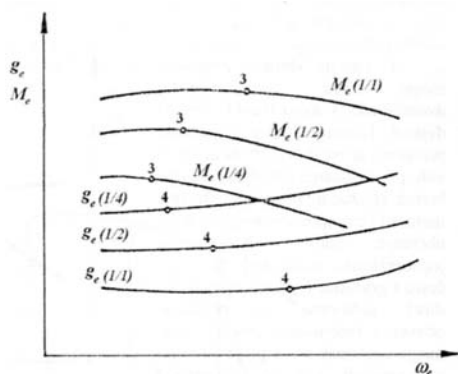
Slika 5

Performanse motora SUS se obično analiziraju pomoću dijagrama koji pokazuju promenu pojedinih veličina pri promeni ugaone brzine. Ovi dijagrami se nazivaju brzinske ili regulatorske karakteristike. One pokazuju promenu efektivne snage i efektivnog obrtnog momenta pri promenama ugaone brzine za određeni položaj leptira karburatora ili zupčaste letve za ubrizgavanje goriva. Ako se radi o najvećem punjenju motora onda se brzinska karakteristika naziva **spoljna**.



Slika 6

Motori SUS retko rade sa maksimalnim punjenjem, već najčešće sa delimičnim (parcijalna karakteristika). MSUS se vrlo često opremaju i uređajima za kontrolu punjenja motora tzv. regulatorima (dizel motor). Njihov zadatak je da spreči prekomerno povećanje ugaone brzine tj. oštećenja motora koja tako mogu da nastanu.



Slika 7

Osnovna koncepcija kretanja motornih vozila je zasnovana na principu delovanja obrtnog momenta na kretače (pogonske točkove ili gusenice). Propulzivna sila koja pokreće vozilo tj. savlađuje otpore njegovom progresivnom kretanju se javlja u vidu tangencijalne reakcije tla a predstavlja posledicu uzajamnog delovanja kretača i tla.

Obrtni moment motora doveden od motora do kretača se naziva pogonskim momentom. U slučaju ustaljenog – stacionarnog rada motora, kada se motorno vozilo kreće ravnomerno, između pogonskog momenta i obrtnog momenta postoji zavisnost:

$$M_O = M_e \cdot i_{uk} M_{ruk} \quad i_{uk} = i_m \cdot i_0 \cdot i_{rp} \cdot i_{br} \quad M_{ruk} = M_{rmp} + M_{rzp} + M_{rpm} + M_{rbr}$$

Gubici snage koji se javljaju u sistemu za prenos snage pri kretanju motornih vozila obično se izražavaju preko stepena korisnog dejstva pojedinih sklopova ili preko ukupnog stepena korisnosti transmisije, koji se definiše odnosom dovedene snage kretaču P_O i efektivne snage motora P_e .

$$\eta_p = \frac{P_O}{P_e} = 1 - \frac{P_{tr}}{P_e} \quad \eta_p = \frac{P_O}{P_e} = 1 - \frac{M_{ruk}}{M_e \cdot i_{uk}}$$

Mehanički stepen korisnosti sistema za prenos snage zavisi od čitavog niza faktora, a pre svega od broja parova spregnutih zupčanika, od vrste zupčanika, od broja i tipa ležaja, vratila, zaptivača, viskoznosti maziva, količine maziva, broja obrtaja vratila, veličine obrtnog momenta, od broja i vrste zglobnog prenosnika (0,82-0,9).