

Vučni proračun vozila Mercedes B class

Soldo, Niko

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic of Šibenik / Veleučilište u Šibeniku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:143:173137>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-11**

Repository / Repozitorij:

[VUS REPOSITORY - Repozitorij završnih radova
Veleučilišta u Šibeniku](#)



VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU

ODJEL PROMET

STRUČNI STUDIJ PROMET

Niko Soldo

Vučni proračun vozila Mercedes B class

Završni rad

Šibenik, rujan, 2020.

VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU

ODJEL PROMET

STRUČNI STUDIJ PROMET

Vučni proračun vozila Mercedes B class

Završni rad

Kolegij: Završni rad

Mentor: mag. ing. Luka Olivari

Student: Niko Soldo

Matični broj studenta: 1219058312

Šibenik, rujan 2020.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. MERCEDES B CLASS	2
3. VUČNI PRORAČUN VOZILA	5
3.1. Jednadžba kretanja vozila	5
3.2. Sila otpora kotrljanja	7
3.3. Otpor zraka	12
3.4. Otpor uspona.....	16
3.5. Otpor inercije.....	19
3.6. Ukupni otpor	20
3.7. Sila vuče.....	22
3.8. Vučna značajka	25
4. ZAKLJUČAK	29
LITERATURA	30

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Veleučilište u Šibeniku

Završni rad

Odjel Promet

Preddiplomski stručni studij Promet

Vučni proračun vozila Mercedes B class

Niko Soldo

Donji Muć 155, 21203, Donji Muć soldoniko111@gmail.com

U radu su opisani i objašnjeni svi otpori koji se javljaju prilikom kretanja automobila. Napravljeni su dijagrami i tablice na temelju automobila Mercedes B class. Dijagramom vuče opisana je sila u ovisnosti stupnja prijenosa (također brzine i broja okretaja). Prikazani su iznosi sila otpora u ovisnosti o brzini i sili automobila.

(stranice 29/ slike14/ literaturnih navoda 0/ jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u: Knjižnici Veleučilišta u Šibeniku

Ključne riječi: otpori, Mercedes B class, dijagram vuče

Mentor: mag. ing. mech. Luka Olivari

Rad je prihvaćen za obranu: Da

BASIC DOCUMENTATION CARD

The Polytechnic in Šibenik

Final paper

Department of Traffic

Professional Undergraduate Studies of Traffic

Mercedes B class vehicle traction characteristics

Niko Soldo

Donji Muć 155, 21203, Donji Muć soldoniko111@gmail.com

The paper describes and explains all the resistances that occur when moving a car. Diagrams and tables were made based on the Mercedes B class car. The traction diagram describes the force as a function of gear (also speed and rpm). The amounts of resistance forces depending on the speed and force of the car are shown.

(pages29/ figures14/ references0/ original in croatian language)

Paper deposited in: Library of Polytechnic of Šibenik

Keywords: resistances, Mercedes B class, traction diagram

Supervisor: mag. ing. mech. Luka Olivari

Paperaccepted: Yes

1. UVOD

Automobil (samovoz) je motorno vozilo s karoserijom raznih oblika postavljenom na dvjema osovinama s četirima kotačima, a većinom se koristi za prijevoz putnika. Osim sjedala za vozača može imati najviše osam sjedala.

Razgovorno se u hrvatskome jeziku automobil najčešće naziva auto, a vrlo rijetko se koristi (iako nije nepoznat oblik) i samovoz, što je doslovni prijevod tuđice "automobil".

Razvoj današnjih automobila je počeo 1886. godine u Njemačkoj. Prvi automobil je konstruirao i napravio Karl Benz, 3. srpnja 1886. u Mannheimu. Kratko nakon toga su i Gottlieb Daimler i Wilhelm Maybach u blizini Stuttgarta kao i Siegfried Marcus u Beču proizveli svoje verzije automobila.

Prvu proizvodnju automobila na tekućoj traci počeo je Henry Ford 1913.

Cestovni promet je grana prometa koja se bavi prijevozom ljudi i dobara. Ovo je najraširenija grana prometa. Ova grana prometa je omogućila svim ljudima prijevoz do najudaljenijih i najmanjih područja i naselja. Sigurnost je najvažniji element prometa te uvelike ovisi o karakteristikama vozila. Vrlo je bitno planiranje putovanja koje uvelike ovisi o vremenu i raznim drugim čimbenicima.

Cilj ovoga rada je prikazati koje sve sile vozilo treba savladati da bi se kretalo. Prikazat će se iznosi sila koje se opiru kretanju vozila u raznim uvjetima. Bit će prikazana uloga mjenjača u eksploataciji vozila te dijagram vuče ovisno o stupnju prijenosa. Spomenut će se faktor prijanjanja te zašto je on važan. Iz svega toga se vidi da ništa nije idealno i da se za svaku radnju stvaraju određeni gubici.

Rad se sastoji od:

1. Uvod
2. Mercedes B class
3. Vučni proračun vozila
4. Zaključak

2. MERCEDES B CLASS

Sile otpora i vučne karakteristike prikazat će se na primjeru automobila Mercedes B class (slika 1). Prvi model ovog vozila je predstavljen 2005., kao produžena verzija A-klase druge generacije. Izvorna je imala standardnu i produženu verziju, a potom se proizvodila samo u jednoj, a mjesto produžene preuzela je B-klasa. Nasljednik je stigao 2011., s dvije bitne značajke – napustio je skupu koncepciju ‘sendvič podnice’, dakle koncipiran je klasičnije i racionalnije, a ima i vrlo dobra aerodinamička svojstva. Krajem prošle godine B-klasa je osvježena, odnosno redizajnirana i tada je pomalo nedorečen i bezličan stil poboljšan.

U automobilu s pogonom na prednje kotače motor okreće samo prednje kotače, a zadnji kotači idu zajedno u vožnju. FWD (forward-naprijed, u biti prednji pogon) automobilima je prednost što težina motora sjedi preko pogonskih kotača što nudi bolju vuču u lošim vremenskim uvjetima. Kako nema pogonskog vratila koje ide od mjenjača do stražnjih kotača, nema „grba“ unutar automobila što nudi više prostora za putnike straga. FWD automobili također su jeftiniji za izgradnju, jer se motor, mjenjač i pogonski sklop mogu svi proizvesti kao jedna cjelina. Iako sve to zvuči kao sjajna ideja FWD automobili imaju svojih nedostataka (uglavnom jer prednji dio automobila obavlja sav posao). Iako imaju dobre vozne karakteristike čak i u lošim vremenskim uvjetima, automobili s pogonom na prednjim kotačima teže savladavaju uspon jer im se težina jer se težina automobila premješta prema stražnjem istovarujući prednje gume.¹ U tablici 1 su napisane svi bitni podaci o vozilu, a na slici 2 je prikazana vanjska brzinska karakteristika Mercedes B class.

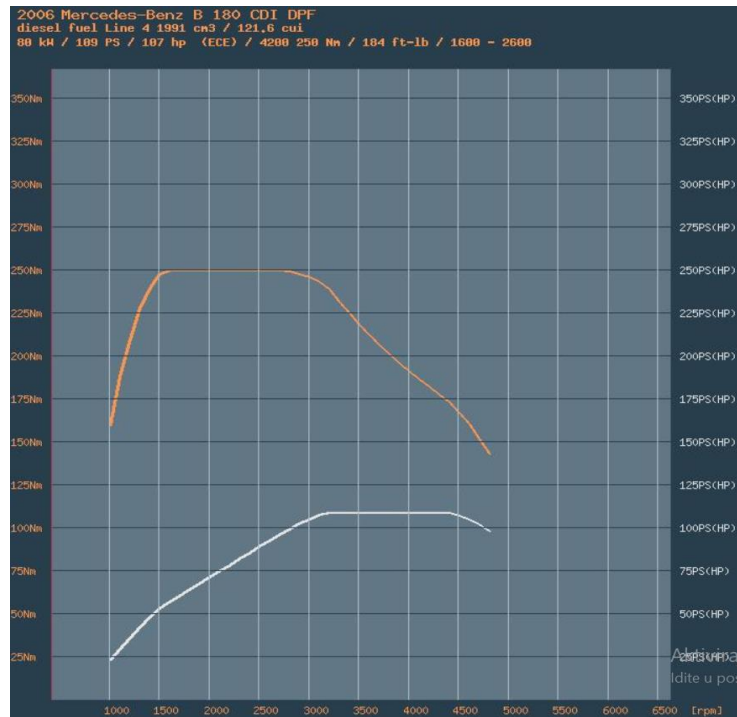
Slika 1. Mercedes B class



Izvor: <https://www.mojvolan.com/wp-content/uploads/2018/10/Mercedes-B-klasa-B-180-CDI-2011-10-1024x768.jpg>

¹ <https://autoportal.hr/aktualno/novosti/test-mercedes-benz-b180-cdi/>.

Slika 2. Vanjska brzinska karakteristika vozila pri punom opterećenju.



Izvor: <https://zir.nsk.hr/en/islandora/object/fpz%3A1790/datastream/PDF/view>.

Tablica 1. Podaci o vozilu koji su korišteni u proračunu

Podatci o vozilu			Prijenosni omjer glavnog prijenosnika			
			i_GP=	4,1		
f0=	0,02		Učinkovitost transmisije			
C1=	5,42E-06		Et_tr=	0,85		
C2=	1,05E-11		Dinamički radijus kotača			
G=	13031	N	rd=	0,35	M	
cw=	0,3					
A=	2,25	m ²	Prijenosni omjer mjenjača			
Pk=	80	kW	i_I=	4,55		
Raspodjela opterećenja po osovina			i_II=	2,36		
G1=	6231 N		i_III=	1,7		
G2=	6800 N		i_IV=	1,24		
			i_V=	1		

Izvor: autor

Masa vozila Mercedes B class je 1328 kilograma, a težina iznosi 13031 N. Čelna površina ovog automobila je 2.25 metara kvadratnih. Raspodjela opterećenja težine vozila po osovinaama je takva da je prednja osovina opterećena težinom od 6231 N, a stražnja 6800 N. Snaga motora ovog vozila je 80 kW. Koeficijent otpora zraka kod ovog automobila je 0.3, a faktor kotrljanja je 0.02.

Prijenosni omjer glavnog prijenosnika je 4.1, a učinkovitost transmisije 0.85. Dinamički radijus kotača je 0.35 metara.

Prijenosni omjer mjenjača za prvu brzinu iznosi 4.55, za drugu brzinu 2.36, za treću brzinu 1.7, za četvrtu brzinu 1.24, a za petu brzinu iznosi 1.

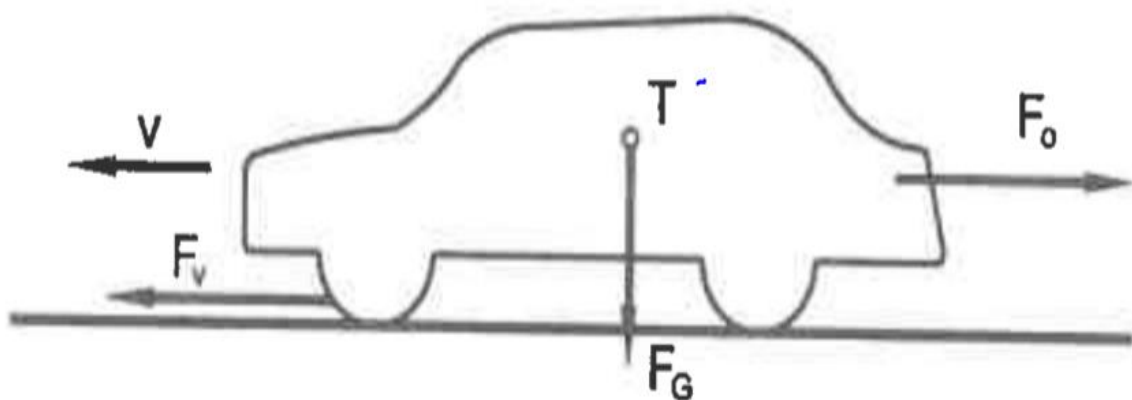
3. VUČNI PRORAČUN VOZILA

O ovom dijelu rada napraviti će se vučni proračun vozila Mercedes B class i vučni dijagram vozila s 5-stupanjskim mjenjačem. Proračun je strukturiran tako da će se prvo izračunati sve sile otpora koje djeluju na vozilo pri brzinama od 0 do 220 km/h, te će biti prikazane u dijagramima. Izračunati će se vučna sila u ovisnosti o brzini i prikazati u dijagramu kao idealna hiperbola vuče. Konačno će se izraditi vučni dijagram vozila s tim da će u dijagramu biti prikazane i maksimalne sile prijanjanja za tri različita slučaja (kretanje po novom i suhom asfaltu, kretanje po mokrom i istrošenom asfaltu i kretanje po snijegu).

3.1. Jednadžba kretanja vozila

Kretanjem vozila određenom brzinom v pojavljuju se sile koja se suprotstavlja kretanju i naziva se sila otpora (slika 3). Da bi se vozilo kretalo, vučna sila mora savladati silu otpora, to jest mora biti ista ili veća od sile otpora. Vozilo se kreće jednoliko ako je vučna sila jednaka sili otpora, a ako je vučna sila veća od sile otpora vozilo će ubrzavati. Jednadžba kretanja vozila izražava jednakost vučne sile i sile otpora. Otpori ovise o stanju i konstrukciji vozila, te o vrsti i stanju ceste po kojoj se automobil kreće. Sile otpora pri kretanju vozila su otpor kotrljanja (otpor pri kotrljanju), otpor zraka, otpor uspona i otpor inercije.

Slika 3. Sila otpora i sila vuče.



Izvor: Silvestar Perše, Vinko Višnjic - Strojarsstvo u prometu

Kao što je rečeno, jednađba kretanja vozila izražava jednakost vučne sile i ukupne sile otpora, te u svom najjednostavnijem obliku izgleda:

$$F_v = F_o$$

Gdje je:

F_v [N] – vučna sila

F_o [N] – ukupna sila otpora

Kada se svi utjecajni faktori u potpunosti raspišu, dobije se puni oblik jednađbe kretanja vozila koji izgleda:

$$\frac{P_M \cdot \eta_{MJ} \cdot \eta_D}{v} = m \cdot g \cdot f + \frac{1}{2} \cdot c_x \cdot \rho_z \cdot v^2 \pm m \cdot g \cdot u \pm m \cdot a \cdot \delta$$

Gdje je:

P_M [W] – snaga motora

η_{MJ} [] – faktor iskoristivosti mjenjača

η_D [] - stupanj djelovanja diferencijalnog mehanizma

f [] – koeficijent otpora kotrljanja

r_d [mm] – dinamički polumjer kotača

v $\left[\frac{m}{s}\right]$ – brzina kretanja

m [kg] – masa vozila

ρ_z $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ – gustoća zraka kroz koji se giba vozilo

c_x [] – koeficijent otpora zraka

u [%] – uspon

a $\left[\frac{m}{s^2}\right]$ – akceleracija vozila

δ [] – koeficijent rotirajućih masa.²

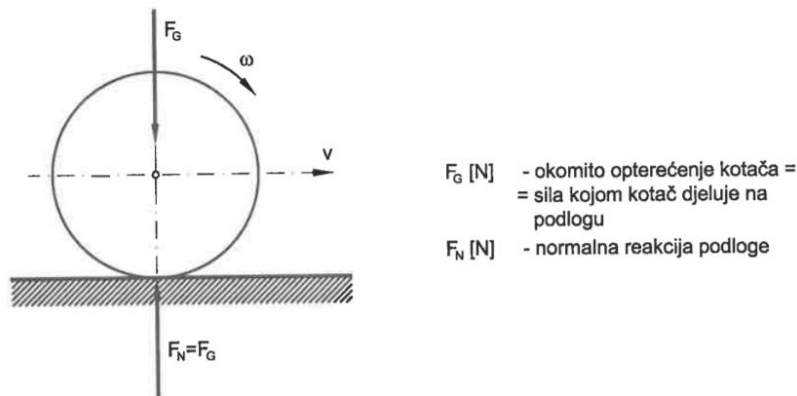
² Dinko Mikulić, Motorna Vozila, Teorija kretanja i konstrukcija, Veleučilište Velika Gorica, 2020

3.2. Sila otpora kotrljanja

Razlikuju se četiri vrste kotrljanja ovisno o deformaciji kotača i podloge po kojoj se vozilo kreće:

1. Kotrljanje apsolutno krutog kotača po apsolutnoj krutoj podlozi (ova vrsta kotrljanja je nerealna jer se tijela u dodiru uvijek deformiraju i otpor u ovom slučaju ne postoji, slika 4).

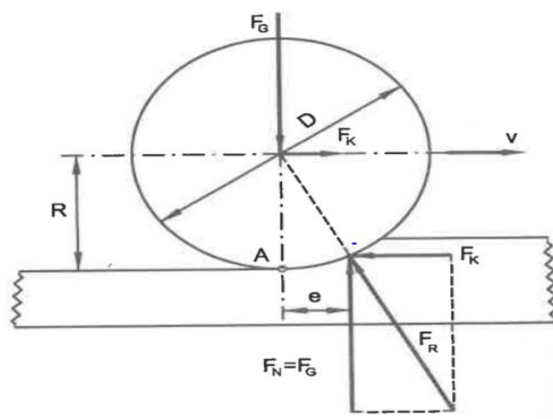
Slika 4. Kotrljanje apsolutno krutog kotača po apsolutno krutoj podlozi.



Izvor: Silvestar Perše, Vinko Višnjic - Strojarnstvo u prometu

2. Deformacije kotača su zanemarivo male u odnosu na deformaciju podloge – ovo je kotrljanje apsolutno krutog kotača po deformabilnoj podlozi (na primjer tračnička vozila, slika 5).

Slika 5. Kotrljanje apsolutno krutog kotača deformabilnoj podlozi.



Izvor: Silvestar Perše, Vinko Višnjic - Strojarnstvo u prometu

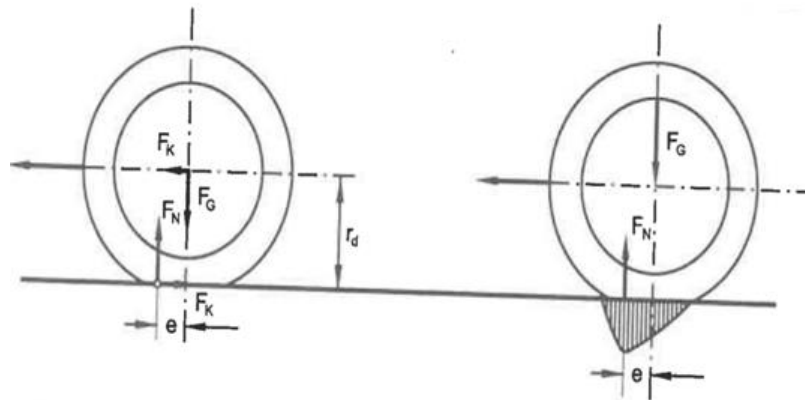
Djelovanjem okomitog opterećenja F_G tračnica se deformira. Sila F_R predstavlja reakciju podloge i ona se može rastaviti u komponentu $F_N = F_G$ suprotnu od smjera gibanja i naziva se sila otpora pri kotrljanju (otpor kotrljanju) koja se može savladati ako se u osi kotača doda jednako velika sila suprotnog smjera F_K .

Iz ravnoteže kotača se dobiva:

$$F_K * R = F_G * e \qquad F_K = \frac{F_G * e}{R} = \frac{F_G * e}{(D/2)} = F_G * f$$

3. Deformacije podloge zanemarivo su male u odnosu na deformaciju kotača (kotrljanje elastičnog kotača po apsolutnoj krutoj podlozi).

Slika 6. Kotrljanje nepogonskog kotača cestovnog vozila.



Izvor: Silvestar Perše, Vinko Višnjic - Strojarsvo u prometu

Na primjeru (slika 4) se vidi kotrljanje kotača opterećenog okomitim opterećenjem F_G koje se obavlja pod djelovanjem sile F_K koja djeluje na osovinu kotača u smjeru njegova kretanja i usporedno s vodoravnom podlogom. Kotač se giba jednoliko ($v = \text{konst.}$, pretpostavka). Reakcije podloge su F_N i F_K u ravnini podloge u smjeru suprotnim od kretanja. Hvatište normalne reakcije (točka A) pomaknuto je u smjeru kretanja za veličinu e jer pri kotrljanju elastičnog kotača dijelovi gazećeg sloja se dvojjako ponašaju (jedni ulaze u dodir, a drugi izlaze). Dijelovi koji ulaze u dodir se zbijaju dok dijelovi koji izlaze se šire.

Deformacijom gume stvara se histereza što znači da se na zbijanje troši veći rad od rada dobivenog pri širenju te je dijagram razdiobe tlaka nesimetričan u odnosu na okomitu os i pomaknut u smjeru gibanja.

Uvjet ravnoteže kotača: $F_K * r_d = F_N * e = F_G * e \quad F_K = F_G * e / r_d = F_G * f$

Sila otpora kotrljanja djeluje u osi kotača te je jednakog iznosa kao F_K , ali suprotnog smjera. Koeficijent otpora pri kotrljanju ovisi o histerezi (pojavljuje se jer materijal od kojeg je pneumatik napravljen nije apsolutno elastičan). Deformacije pneumatika izazivaju unutarnje trenje što dovodi do gubitka energije. Za određeni pneumatik histereza je manja ako je tlak u njemu veći. Povećanje tlaka zraka u pneumatiku utječe na smanjenje koeficijenta otpora pri kotrljanju jer se tako deformacije pneumatika smanjuju.

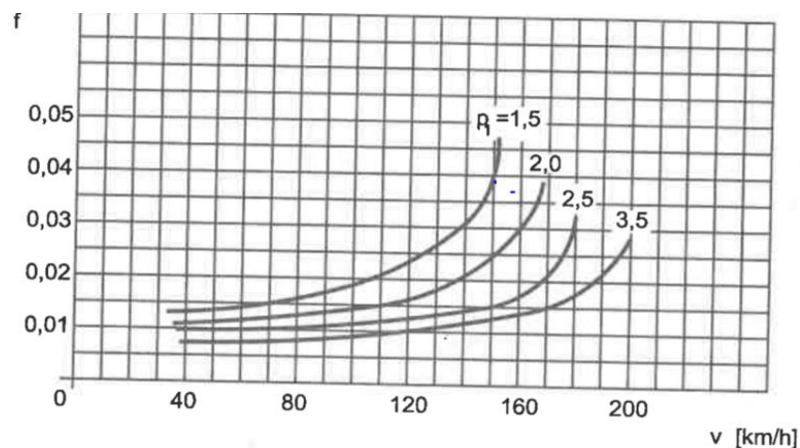
Izraz: $f = F_K/F_G = e/r_d$ pokazuje da se povećavanjem dinamičkog polumjera otpor kotrljanja smanjuje. Koeficijent otpora kotrljanja je konstantan do brzina 60 – 80 km/h, ali iznad tih brzina koeficijent f naglo raste u ovisnosti o brzini gibanja i tlaku zraka u gumama (slika 7).

Otpori kotrljanja gonjenog i pogonskog kotača nisu isti, ali su razlike male i zanemarive.

Ukupna sila otpora kotrljanja vozila: $F_K = f * \sum F_N = f * F_G = f * m * g$ gdje je $F_G = mg$ (N) – ukupna težina vozila.

Pri pokretanju vozila na usponu: $F_K = f * F_G * \cos \alpha$ približno $f * F_G = f * mg$ (N) gdje je α kut uspona. Na suvremenim cestama kut uspona je relativno mali pa $\cos \alpha$ iznosi 1. Koeficijent otpora pri kotrljanju također sadrži i ostale gubitke (trenje u ležajevima kotača, gubici uslijed udara u neravnine na cesti te gubici trenja u uzdužnim i poprečnim vezama polužja i ovješnja).³

Slika 7. Promjena koeficijenta otpora pri kotrljanju (f) u ovisnosti o brzini tlaku zraka u pneumatiku.



Izvor: Silvestar Perše, Vinko Višnjic - Strojarsstvo u prometu

³ Silvestar Perše, Vinko Višnjic - Strojarsstvo u prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2005

4. Deformacija kotača i podloge su veličine istog reda. To je kotrljanje elastičnog kotača po mekanom tlu i ovaj način kretanja se vidi kod vozila koja se kreću izvan cesta (izvancestovna ili terenska vozila).

Za potrebe vučnog proračuna vozila Mercedes B class, treći slučaj, odnosno kotrljanje elastičnog kotača po krutoj podlozi, najbolje opisuje stvarno stanje. U tom slučaju sila otpora kotrljanja se računa prema izrazu:

$$F_K = m * g * f$$

Gdje je:

F_K [N] – sila otpora kotrljanja

m [kg] – masa vozila

g [$\frac{m}{s^2}$] – ubrzanje Zemljine sile teže

f [] – faktor otpora kotrljanja.

U tablici 2 je prikazan izračun faktora otpora kotrljanja i sile otpora kotrljanja u ovisnosti o brzini vozila.

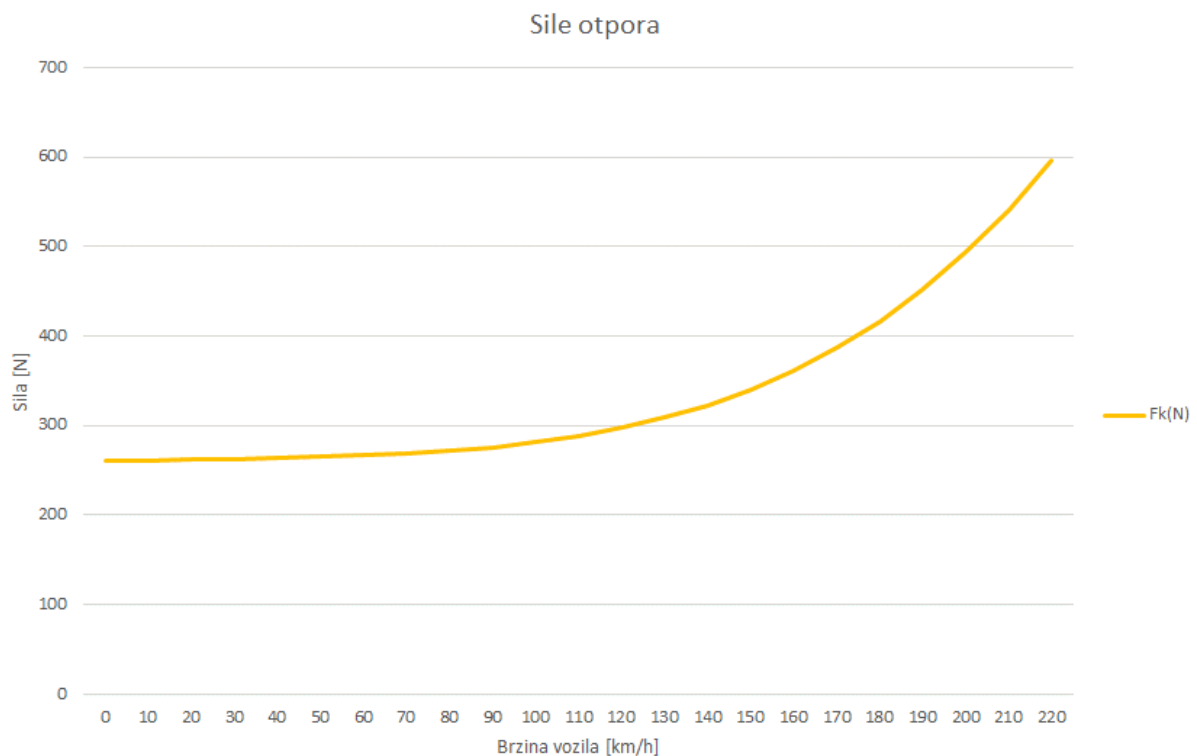
Tablica 2. Sila otpora kotrljanja.

v(km/h)	F	Fk(N)
0	0.0200	261
10	0.0201	261
20	0.0201	262
30	0.0202	263
40	0.0202	264
50	0.0203	265
60	0.0205	267
70	0.0206	269
80	0.0209	272
90	0.0212	276
100	0.0216	281
110	0.0221	288
120	0.0228	297
130	0.0237	309
140	0.0248	323
150	0.0261	340
160	0.0277	362
170	0.0297	387
180	0.0320	417
190	0.0347	452
200	0.0379	494
210	0.0416	542
220	0.0458	597

Izvor: autor

Na temelju podataka iz tablice 2 je napravljen dijagram 1 koji grafički prikazuje ovisnost sile otpora kotrljanja o brzini vozila.

Dijagram 1. Sila otpora kotrljanja za Mercedes B class.



Izvor: Autor

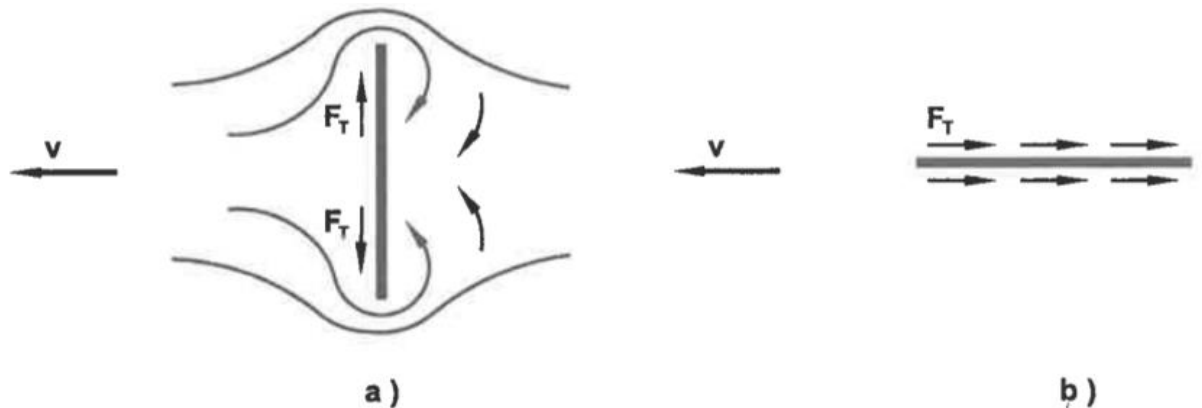
Na dijagramu 1 je prikazana sila otpora kotrljanja u ovisnosti o brzini vozila.

Iz formule $F_K = f * \sum F_N = f * F_G = f * m * g$ vidi se da sila otpora kotrljanja ovisi o masi vozila te specifičnom koeficijentu kotrljanja koji ovisi o vrsti automobila.

3.3. Otpor zraka

Zbog kretanja vozila kroz zrak stvara se otpor zraka. Otpor zraka nastaje jer se stvara razlika tlakova na prednjem i stražnjem dijelu vozila (otpor oblika) i zbog trenja između vozila i čestica zraka (otpor trenja).

Slika 8. Kretanje beskonačno tanke ploče kroz fluid.



Izvor: Silvestar Perše, Vinko Višnjić - Strojarsstvo u prometu

Na slici a) stvara se samo otpor oblika jer je sila trenja okomita na pravac kretanja te ona nema utjecaja na kretanje.

Na slici b) stvara se samo otpor trenja, a uz ove otpore u vozilu se stvara i otpor prostrujavanja (stvara se na otvorima za hlađenje i provjetravanje). Najveći utjecaj u otporu zraka ima otpor oblika (80 – 90%), dok na otpor trenja i prostrujavanja otpada 10 – 20%.

Ukupni otpor zraka: $F_z = C_x * A * \frac{v_{rx}^2}{2} * \rho_z$ gdje je:

F_z [N] – sila otpora zraka

ρ_z $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ – gustoća zraka kroz koji se giba vozilo

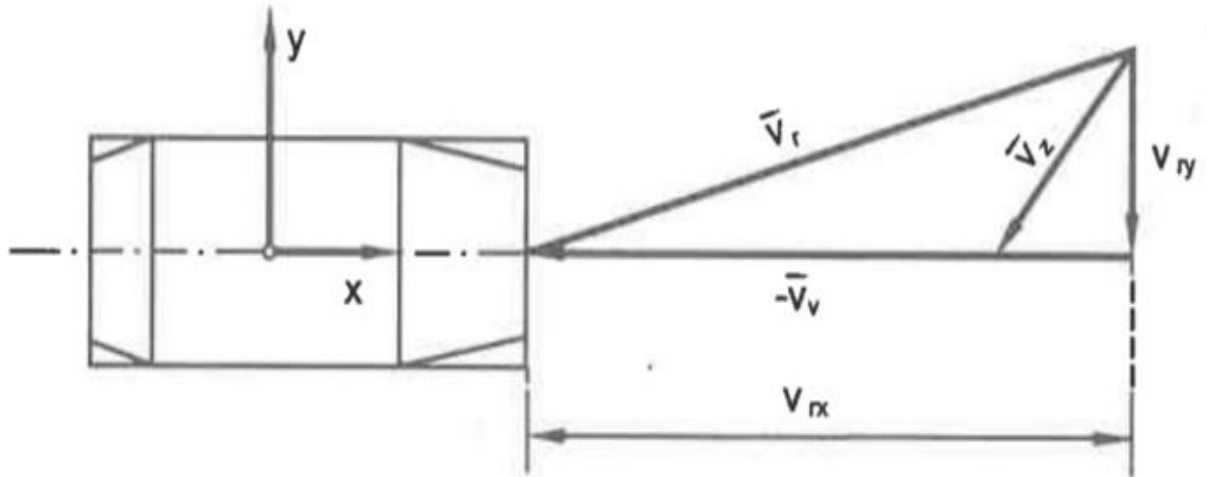
c_x [] – koeficijent otpora zraka

A [m²] – čelna površina

v_{rx} $\left[\frac{m}{s}\right]$ – rezultirajuća relativna brzina zraka u odnosu na automobil u pravcu uzdužne osi automobila

Relativna brzina zraka i vozila se dobije tako da se oduzme brzina vozila od brzine zraka ($v_r = v_z + v_v$ vektorski zbroj).

Slika 9. Određivanje relativne brzine zraka i vozila



Izvor: Silvestar Perše, Vinko Višnjic - Strojarsvo u prometu

Brzina v_r se sastoji od brzine v_{rx} koja djeluje u suprotnom smjeru od smjera kretanja vozila i od brzine v_{ry} koja djeluje u pravcu okomitom na pravac kretanja vozila (slika 9). Sila otpora zraka ovisi o brzini v_{rx} , a brzina v_{ry} stvara silu pritiska na bočnu površinu vozila (sila bočnog vjetra). Otpor zraka treba što više smanjiti što se može postići smanjivanjem koeficijenta otpora zraka C_x i čelne površine vozila A .⁴

U tablici 3 je izračunata sila otpora zraka vozila u ovisnosti o brzini vozila za vozilo Mercedes B class.

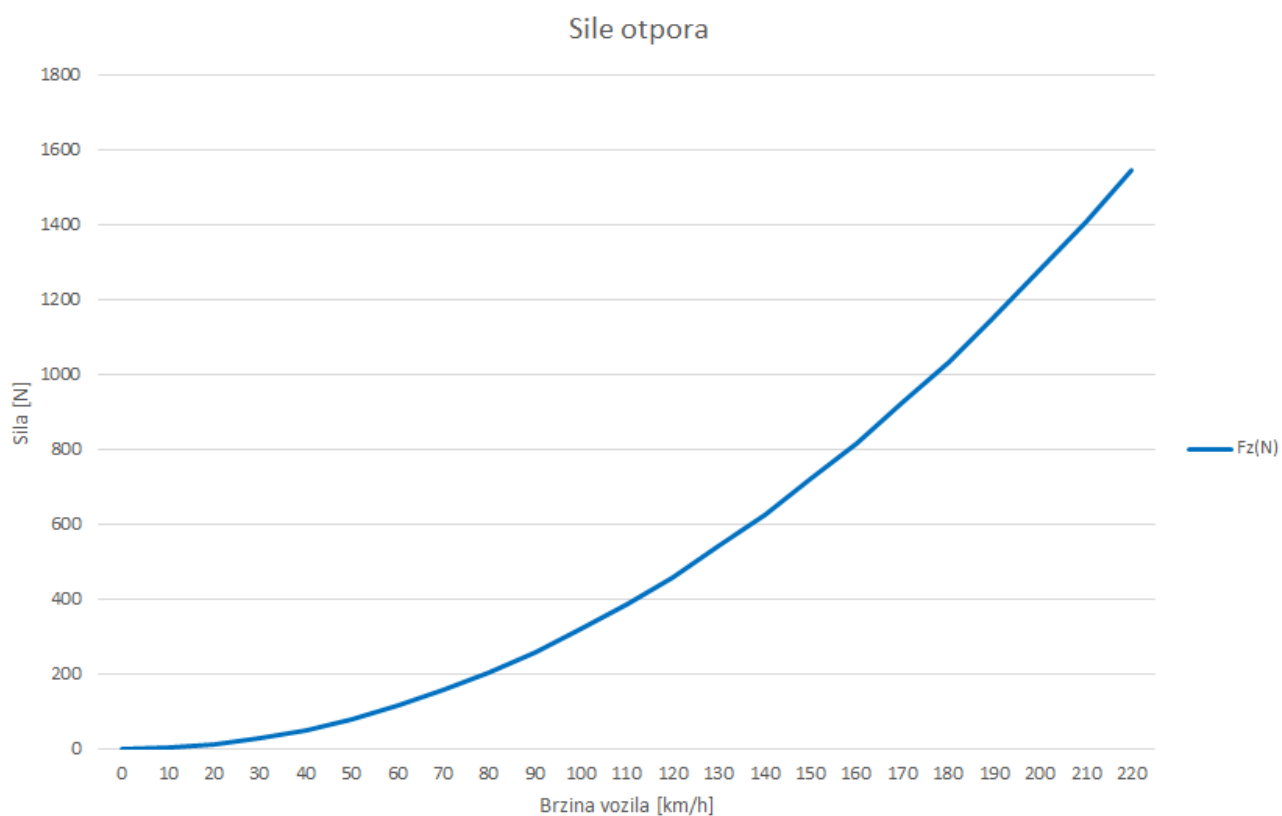
⁴ Silvestar Perše, Vinko Višnjic - Strojarsvo u prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2005

Tablica 3. Sila otpora zraka.

v(km/h)	F	Fz(N)
0	0,0200	0
10	0,0201	3
20	0,0201	13
30	0,0202	29
40	0,0202	51
50	0,0203	80
60	0,0205	115
70	0,0206	156
80	0,0209	204
90	0,0212	259
100	0,0216	319
110	0,0221	386
120	0,0228	460
130	0,0237	540
140	0,0248	626
150	0,0261	718
160	0,0277	817
170	0,0297	923
180	0,0320	1034
190	0,0347	1153
200	0,0379	1277
210	0,0416	1408
220	0,0458	1545

Izvor: autor

Dijagram 2. Sila otpora zraka za Mercedes B class



Izvor: autor

Dijagram 2 prikazuje ovisnost sile otpora zraka o brzini vozila.

Iz formule $F_z = C_x * A * \frac{\rho_z v^2}{2}$ vidi se da sila otpora zraka ovisi o čelnoj površini vozila, gustoći zraka i koeficijentu otpora zraka koji ovisi o brzini vozila.

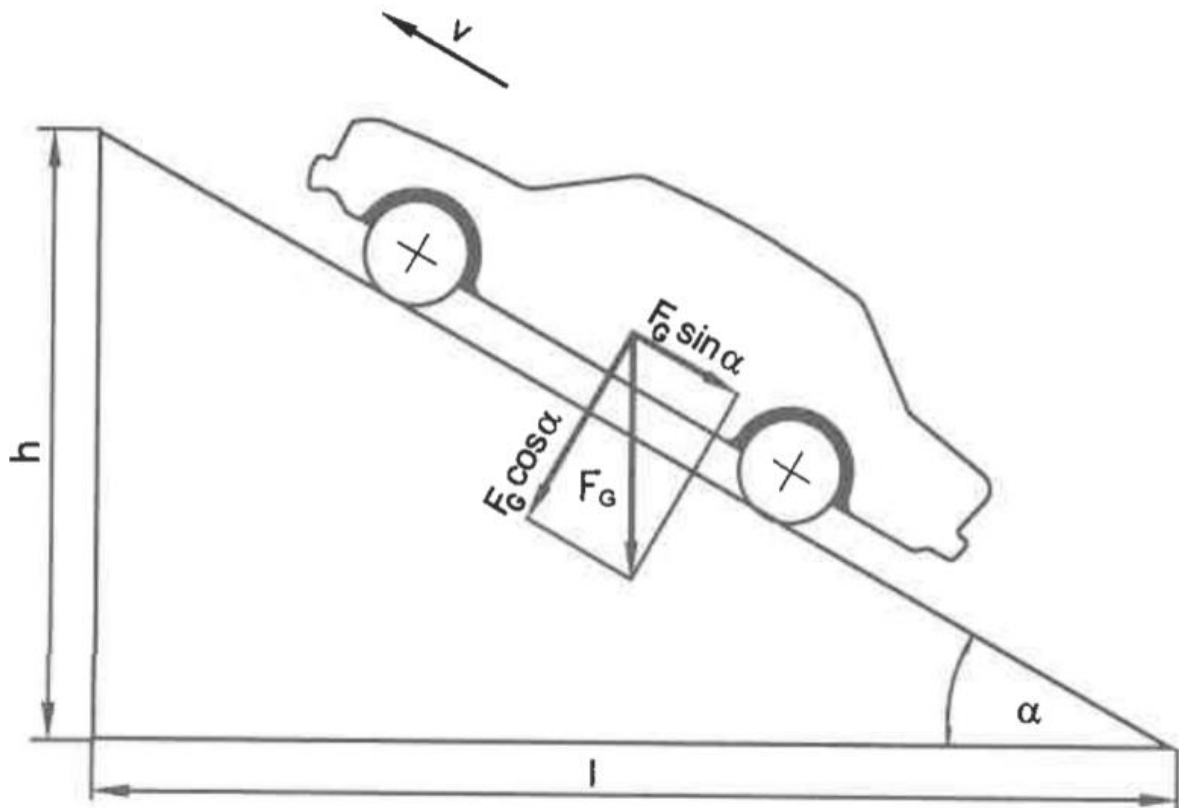
3.4. Otpor uspona

Uspon ceste je omjer visine za koju se vozilo povisilo i duljine koju je vozilo prešlo u horizontalnoj ravnini i izražava se u postotcima. Primjerice, nagib od 10% znači da se na 100 metara ceste, teren uzdiže ili spušta 10 metara.

Sila težine djeluje okomito na površinu zemlje, te je razdvajamo na dvije komponente (jedna okomita na podlogu i računa se preko $\cos \alpha$ i jedna paralelna s podlogom koja se može izračunati preko $\sin \alpha$). Kreće li se vozilo po usponu, njegovom kretanju se suprotstavlja komponenta težine koja je paralelna sa površinom ceste.

Otpor uspona je otpor koji se stvara pri kretanju vozila na usponu jer se tome suprotstavlja komponenta težine vozila koja je usporedna s cestovnom površinom (slika 10).

Slika 10. Vozilo na usponu.



Izvor: Silvestar Perše, Vinko Višnjic - Strojstvo u prometu

Sila otpora uspona: $F_u = F_G * \sin\alpha$ gdje je:

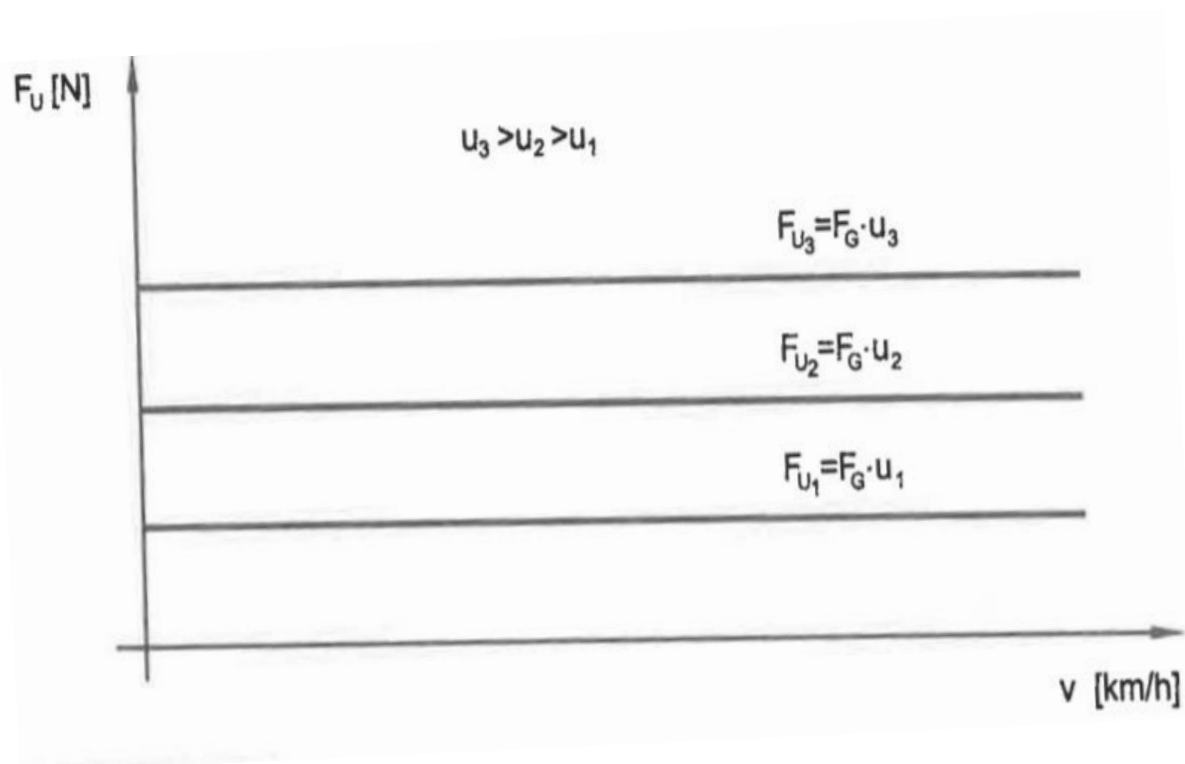
$F_u[N]$ – sila otpora uspona

α kut nagiba cestovne površine

$F_G[N]$ – sila teže.

Pri kretanju vozila na usponu sila koja djeluje okomito na cestovnu površinu manja je od težine vozila F_G i iznosi $F_G * \cos\alpha$ te stoga otpor kotrljanja pri kretanju vozila na usponu nije isti kao pri kretanju vozila na ravnoj cesti. Komponenta $F_G * \cos\alpha$ se smanjuje povećanjem uspona te se zbog toga povećanjem uspona smanjuje sila otpora kotrljanja u odnosu na veličinu otpora kotrljanja na ravnoj površini.

Slika 11. Ovisnost otpora uspona o brzini vozila.



Izvor: Silvestar Perše, Vinko Višnjić - Strojarsstvo u prometu

Sila otpora uspona $F_u = u * F_G$ je neovisna o brzini kretanja vozila (slika 11).

Ukupan otpor ceste: $F_p = F_K + F_u = f * F_G * \cos\alpha + F_G * \sin\alpha = F_G * (f * \cos\alpha + \sin\alpha)$.

Na nizbrdici sila otpora uspona ima smjer sličan smjeru gibanja vozila te je predznak negativan.

Kreće li se vozilo po usponu, njegovom kretanju se suprotstavlja komponenta težine koja je paralelna s površinom ceste.⁵

Dijagram 3. Sila otpora uspona za Mercedes B class.



Izvor: autor

Dijagram 3 prikazuje ovisnosti sile otpora uspona o brzini vozila i vidi se da sila otpora uspona ne ovisi o brzini vozila već o težini vozila i samom usponu. Sila otpora uspona se može računati: $F_u = u * F_G$ jer je tan kuta nagiba približno jednak sin kuta nagiba. Prikazane sile otpora uspona su pri usponu od 5 i 12 % te je u dijagramu 5 prikazano kako to utječe na ukupni otpor.

⁵ Dusan Simic - Motorna Vozila, Beograd, Naučna knjiga, 1988

3.5. Otpor inercije

Promjenom brzine kretanja vozila pojavljuju se inercijske sile koje su u translacijskom kretanju jednake umnošku mase i ubrzanja (ili usporenja).

Pri rotacijskom kretanju ovise o momentu inercije i kutnom ubrzanju, a inercijske sile i momenti su suprotnog smjera od smjera ubrzanja.

Sila otpora inercije: $F_{it} = m * a$ (N)

Inercijski moment: $M = I_z * \varepsilon = I_z * (d\omega/dt)$ (Nm)

Utjecaj otpora inercije rotirajućih masa se uzima u obzir koeficijentom rotirajućih masa vozila (δ -delta) te ukupna sila iznosi: $F_i = F_{it} + F_{ir} = \delta * m * a = \delta * m * (dv/dt)$ (N).

Veličine koeficijenta rotirajućih masa ovise o prijenosnom odnosu u mjenjaču:

- $\delta=1,5-1,8$ za prvi stupanj prijenosa u osobnih automobila
- $\delta=1,05-1,06$ za posljednji stupanj prijenosa u osobnih automobila
- $\delta=2-3$ za prvi stupanj prijenosa u kamiona
- $\delta=1,06-1,08$ za posljednji stupanj prijenosa u kamiona.

Sve sile oblika $m * a$ djeluju u težištu vozila (uključujući silu otpora inercije).⁶

⁶ Dusan Simic - Motorna Vozila, Beograd, Naučna knjiga, 1988

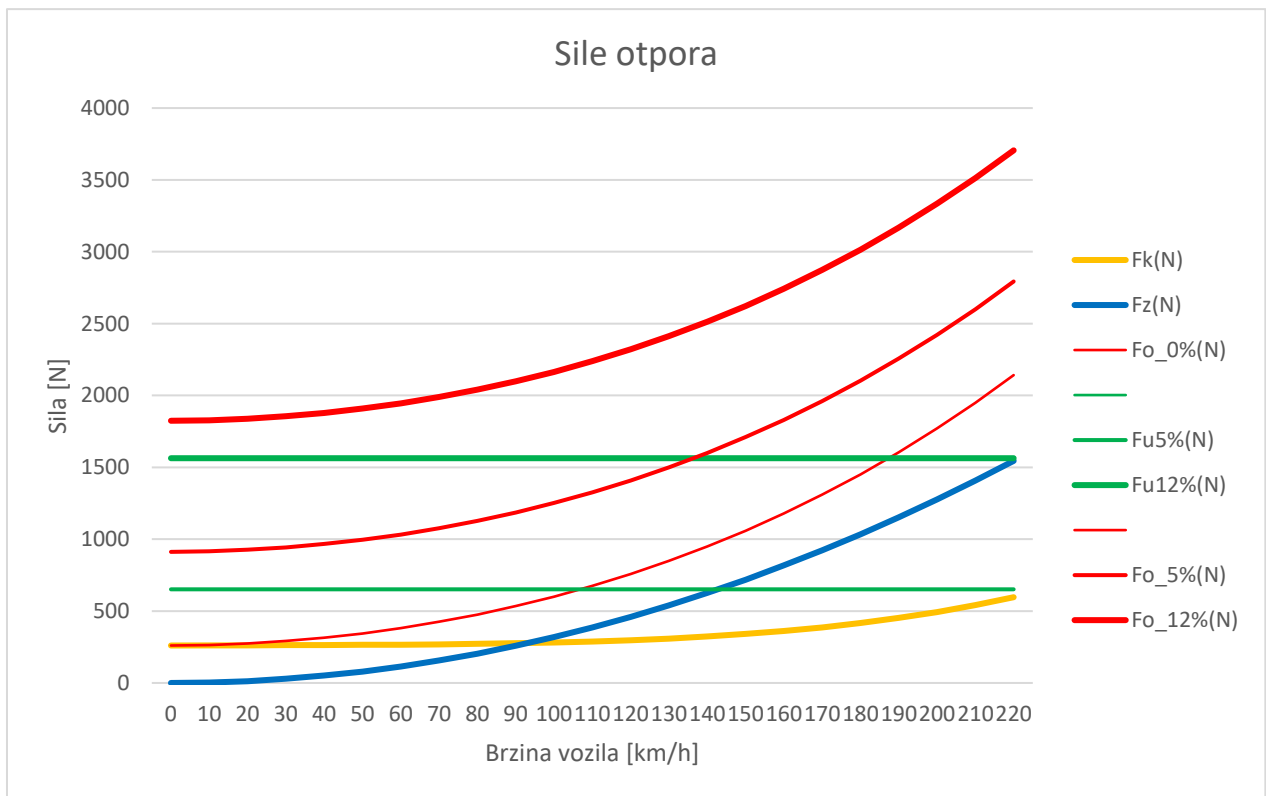
3.6. Ukupni otpor

Ukupna sila otpora pri kretanju vozila jednaka je sumi pojedinih otpora:

$$F_o = F_K + F_z + F_u + F_i.$$

Vučna sila mora biti veća ili jednaka zbroju sviju sila otpora kretanja da bi se vozilo (u ovom slučaju Mercedes B class) kretalo.

Dijagram 5. Sile svih otpora na vozilu Mercedes B class.



Izvor: autor

Dijagram 4 prikazuje sve sile otpora u ovisnosti o brzini vozila Mercedes B class.

U tablici 4 prikazani su svi otpori kretanja vozila u ovisnosti o brzini.

Tablica 4. Ukupne sile opora kretanja.

v(km/h)	f	Fk(N)	Fz(N)	Fo_0%(N)	Fu5%(N)	Fu12%(N)	Fo_5%(N)	Fo_12%(N)	Fv(N)
0	0,0200	261	0	261	651,55	1563,72	912	1824	#N/D
10	0,0201	261	3	265	651,55	1563,72	916	1828	#N/D
20	0,0201	262	13	275	651,55	1563,72	926	1839	#N/D
30	0,0202	263	29	292	651,55	1563,72	943	1855	9.600
40	0,0202	264	51	315	651,55	1563,72	966	1879	7.200
50	0,0203	265	80	345	651,55	1563,72	996	1909	5.760
60	0,0205	267	115	382	651,55	1563,72	1033	1945	4.800
70	0,0206	269	156	425	651,55	1563,72	1077	1989	4.114
80	0,0209	272	204	476	651,55	1563,72	1128	2040	3.600
90	0,0212	276	259	535	651,55	1563,72	1186	2098	3.200
100	0,0216	281	319	601	651,55	1563,72	1252	2164	2.880
110	0,0221	288	386	675	651,55	1563,72	1326	2238	2.618
120	0,0228	297	460	757	651,55	1563,72	1409	2321	2.400
130	0,0237	309	540	848	651,55	1563,72	1500	2412	2.215
140	0,0248	323	626	949	651,55	1563,72	1600	2513	2.057
150	0,0261	340	718	1059	651,55	1563,72	1710	2623	1.920
160	0,0277	362	817	1179	651,55	1563,72	1830	2743	1.800
170	0,0297	387	923	1310	651,55	1563,72	1961	2873	1.694
180	0,0320	417	1034	1451	651,55	1563,72	2103	3015	1.600
190	0,0347	452	1153	1605	651,55	1563,72	2256	3169	1.516
200	0,0379	494	1277	1771	651,55	1563,72	2422	3334	1.440
210	0,0416	542	1408	1950	651,55	1563,72	2601	3513	1.371
220	0,0458	597	1545	2142	651,55	1563,72	2794	3706	1.309

Izvor: autor

3.7. Sila vuče

Motor snage P_M daje snagu potrebnu za kretanje vozila i ona mora biti za gubitke u prijenosnom mehanizmu veća od snage na pogonskim kotačima. Snaga potrebna za kretanje vozila:

$$P_K = F_o * v \text{ (W)}$$

Gubici u prijenosnom mehanizmu: $\eta = \eta_{MJ} * \eta_D = P_K / P_M$

Snaga motora vozila je približno konstantna pa je i snaga na pogonskim kotačima približno konstantna.

Snaga na pogonskim kotačima jednaka je umnošku vučne sile i brzine vozila:

$$P_K = \eta_{MJ} * \eta_D * P_M = F_v * v$$

Vučna sila: $F_v = P_K / v = (\eta_{MJ} * \eta_D * P_M) / v$ – vučna sila se mijenja po zakonu jednakostrane hiperbole (idealna hiperbola vuče slika 14).

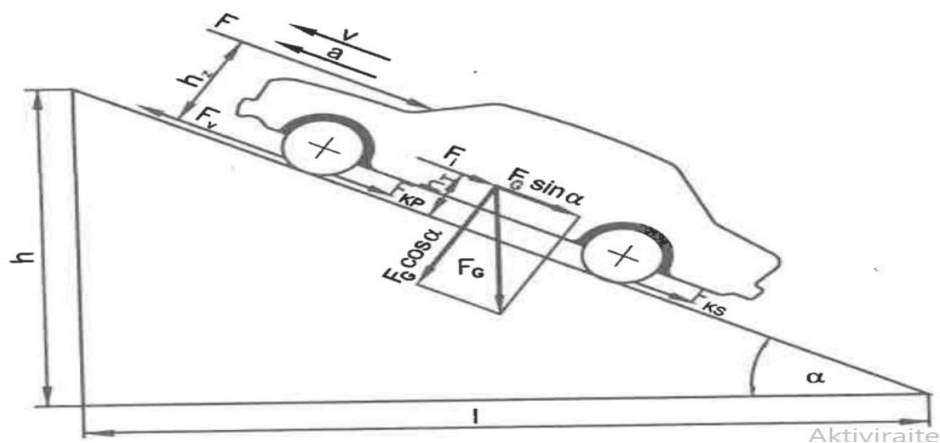
Poznato je da je suma svih sila na neko tijelo jednaka nuli pa proizlazi da je:

$$F_v - F_o = 0 \text{ tj. } F_v = F_o$$

Jednadžba kretanja vozila:

$$\frac{\eta_{MJ} * \eta_D * P_M}{v} = m * g * f + c_x * A * (v^2 / 2) * \rho_z + m * g * u + m * a$$

Slika 12. Prikaz djelovanja sila na vozilo u gibanju usponom.



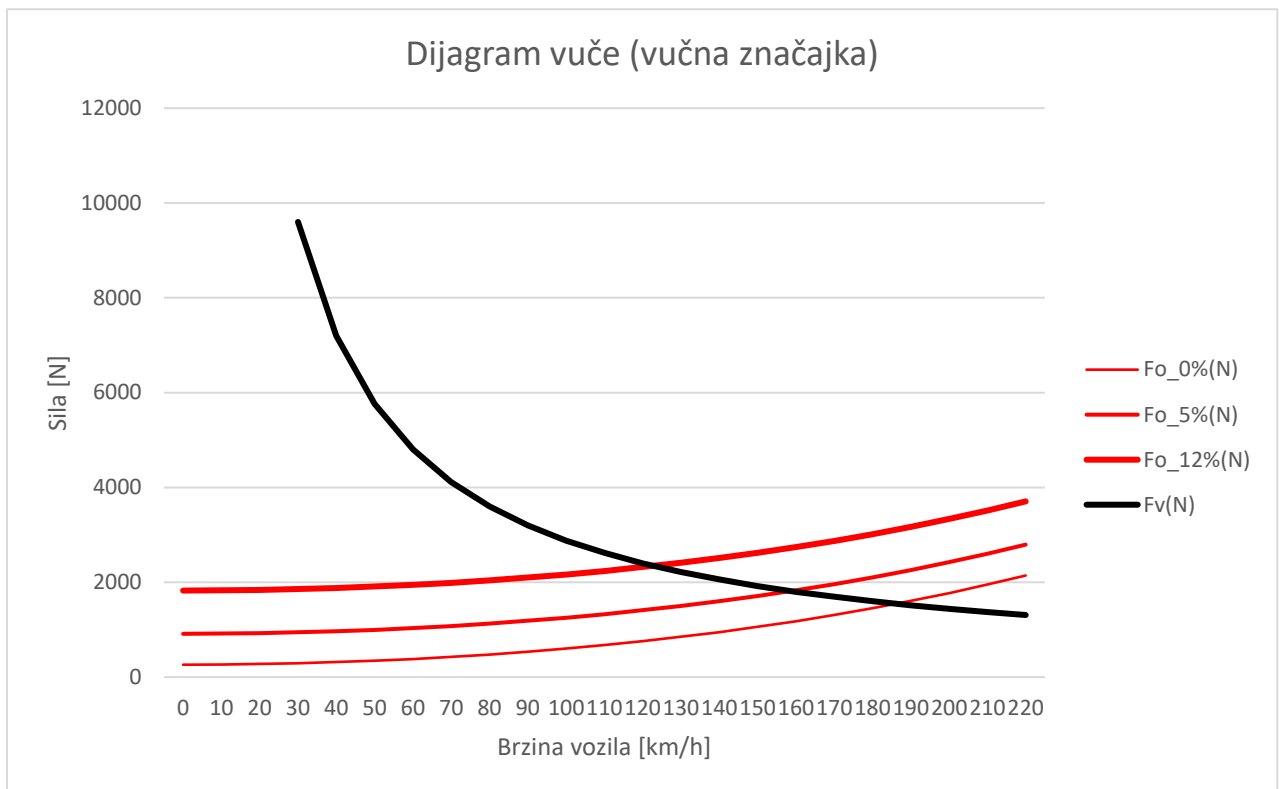
Izvor: Silvestar Perše, Vinko Višnjic - Strojstvo u prometu

Tablica 5. Sile vuče po stupnju prijenosa.

n(o/m in)	Mm(Nm)	Pe(k W)	v_I(k m/h)	Fm_I (N)	v_II(k m/h)	Fm_II (N)	v_III(k m/h)	Fm_III (N)	v_IV(k m/h)	Fm_IV (N)	v_V(k m/h)	Fm_V (N)
1000	160	18,0	7,1	7248, 8	13,6	3759, 8	18,9	2708,3	26,0	1975,5	32,2	1593, 1
2000	250	55,0	14,1	1132 6,3	27,3	5874, 7	37,9	4231,8	51,9	3086,7	64,4	2489, 3
3000	245	78,0	21,2	1109 9,7	40,9	5757, 2	56,8	4147,2	77,9	3025,0	96,5	2439, 5
4000	185	81,0	28,3	8381, 4	54,5	4347, 3	75,7	3131,5	103,8	2284,2	128,7	1842, 1
4500	175	78,0	31,8	7928, 4	61,4	4112, 3	85,2	2962,3	116,8	2160,7	144,8	1742, 5
5000			35,4	0,0	68,2	0,0	94,7	0,0	129,8	0,0	160,9	0,0
6000			42,4	0,0	81,8	0,0	113,6	0,0	155,7	0,0	193,1	0,0

Izvor: autor

Dijagram 6. Dijagram vuče.



Izvor: autor

Dijagram 6 je dijagram vuče i on pokazuje uvjet ravnoteže vučne sile i sile otpora pri punom opterećenju motora. Sila otpora zraka i sila otpora uspona iznose F_1 , a vučna je sila Fv_1 . Pošto je vučna sila veća od sile otpora, vozilo ubrzava te se u težištu vozila pojavljuje sila otpora inercije $m * a = Fv_1 - F_1$. Zbog ubrzavanja vozila, povećava se brzina vozila, vučna sila se smanjuje, a sila otpora se povećava dok se ne uspostavi ravnoteža pri brzini v_2 .

Jednadžba vučne bilance vozila:

$$\frac{MM * iM * iD * \eta M * \eta D}{r_d} = m * g * (f + \sin \alpha) + c_x * A * (v^2 / 2) * \rho_z + \delta * m * a$$

Otpor uspona se uzima predznakom plus (+), a otpor pri padu predznakom (-). Otpor inercije se uzima predznakom (+) ako vozilo ubrzava, a predznakom (-) ako vozilo usporava.

3.8. Vučna značajka

Maksimalni iznos vučne sile ovisi o dodiru pogonskih kotača i podloge i ograničen je silom trenja odnosno prianjanjem: $F_{vmax} = \mu * F_{GA}$

Slika 13. ovisnost vučne sile o stupnju prijenosa mjenjača.



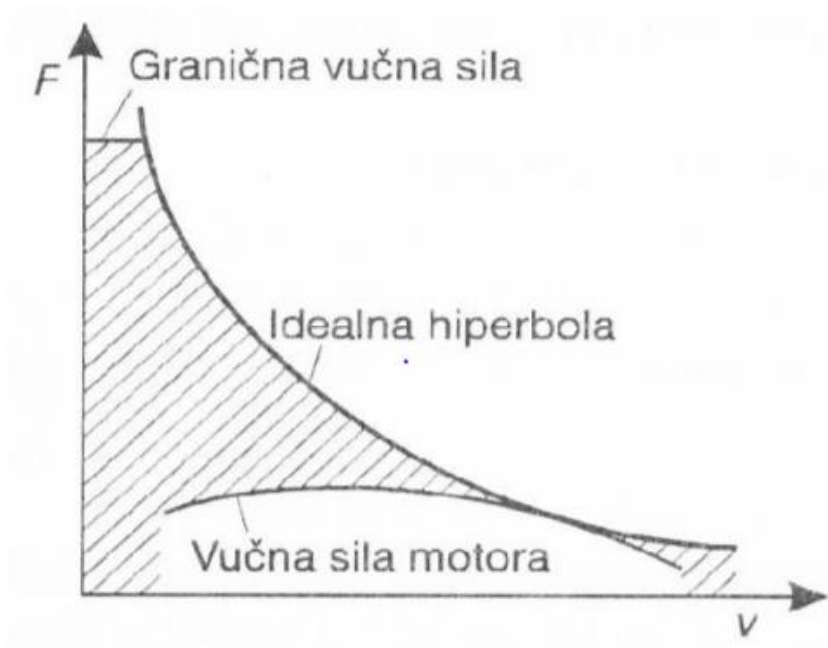
Izvor: Silvestar Perše, Vinko Višnjić - Strojstvo u prometu

Osnovne zadaće mjenjača:

- promjena vučne sile na pogonskim kotačem i njihove brzine što približnije toku hiperbole (slika 13)
- promjena smjera kretanja , odnosno hoda unatrag
- prekid prijenosa okretnog momenta, što je potrebno za rad motora na praznom hodu dok vozilo miruje i pri pokretanju motora, ako je spojka uključena
- prijenos okretnog momenta na ostale dijelove transmisije, odnosno pomoćne uređaje.⁷

⁷ Dinko Mikulić, Motorna Vozila, Teorija kretanja i konstrukcija, Veleučilište Velika Gorica, 2020

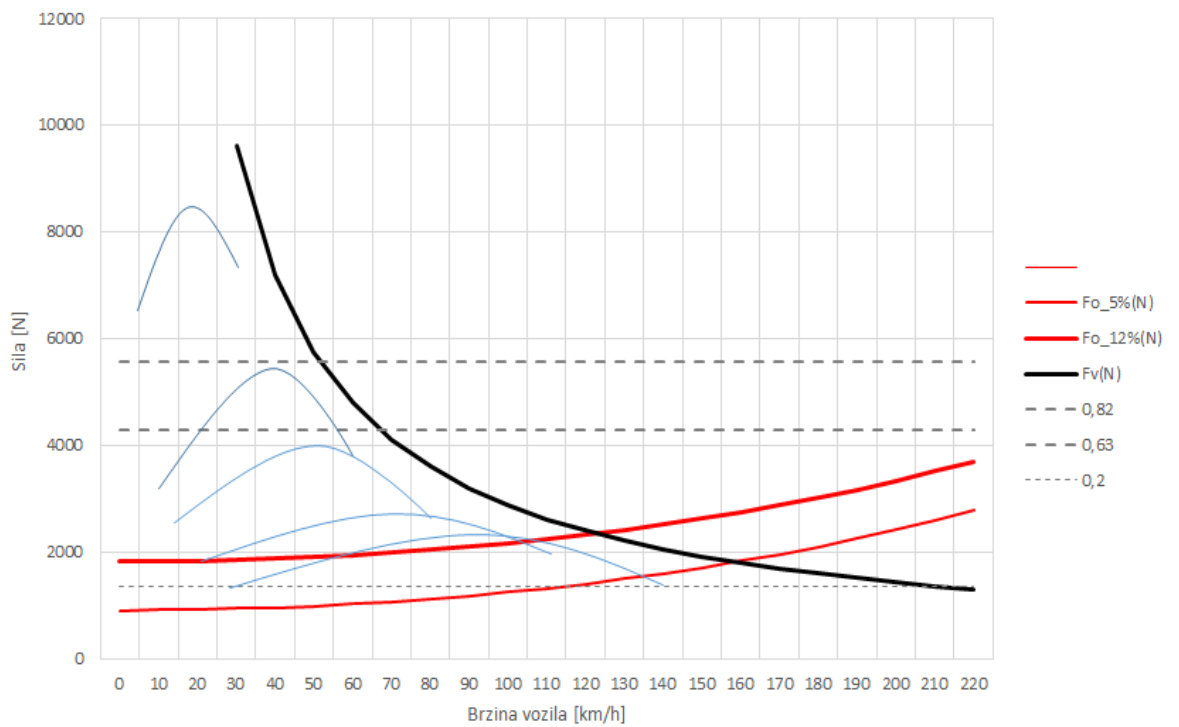
Slika 14. Idealna vučna sila i vučna sila motora.



Izvor: Silvestar Perše, Vinko Višnjic - Strojarnstvo u prometu

Dijagram 7. Dijagram vuče za Mercedes B class.

Dijagram vuče sa silama prianjanja



Izvor: autor

Na dijagramu 7 crna linija prikazuje vučnu silu automobila, a sive linije stupanj prijenosa mjenjača. Također prikazuje silu prianjanja gdje se vidi da uz preveliku vučnu silu automobil ne bi mogao krenuti jer bi došlo do proklizavanja. Dijagram je izrađen na temelju podataka u tablici 5. Tablica 6 prikazuje koeficijente prianjanja.

Vidi se da se u prvoj brzini uz silu nešto više od 8000 N može postići brzina od približno 25 km/h. U drugoj brzini uz silu od približno 5500 N možemo postići brzinu od 35 km/h.

U trećoj brzini uz silu od 4000 N možemo postići brzinu od 45 km/h. U četvrtoj brzini uz silu od približno 3000 N možemo postići brzinu od 80 km/h, dok u petoj brzini uz silu malo veću od 2000 N možemo postići brzinu od 100km/h.

4. ZAKLJUČAK

Sigurnost je najvažniji čimbenik u prometu. Povećanjem broja izgrađenih cesta povećao se broj automobila na cestama, a samim time i broj prometnih nesreća. Da bi se smanjio broj nastalih prometnih nesreća vrlo je bitno da vozači dobro poznaju svoj automobil.

S obzirom da prometne nesreće nastaju kao posljedica više međusobno povezanih čimbenik u prometom sustavu, u kibernetičkom sustavu vozač – vozilo – okolina, svakako da najvažniju ulogu ima vozač koji svojim osjetilima prima informacije iz okoline, te uzevši u obzir vozilo i prometne propise, određuje način kretanja vozila.

U radu su prikazani uvjeti kretanja vozila i koje se sve sile pritom moraju savladati. Pošto su prikazani idealni i stvarni uvjeti vidi se da postoje određena odstupanja jer ništa nije idealno. Prikazani su najoptimalniji uvjeti za kretanjem vozila ovisno o stupnju prijenosa te se može zaključiti da je faktor prijanjanja vrlo bitan prilikom kretanja vozila. Iz dijagrama vuče vidi se da velika sila nije uvijek poželjna i potrebna za kretanje, već je bitan faktor trenja između kotača i podloge kojom se vozilo kreće. Svako vozilo je zasebno i određeno svojim karakteristikama. Bitno je znati značajke vozila kako bi mu se produžio vijek trajanja.

LITERATURA

Knjige:

- [1] Dinko Mikulić, Motorna Vozila, Teorija kretanja i konstrukcija, Veleučilište Velika Gorica, 2020
- [2] Dusan Simic - Motorna Vozila, Beograd, Naučna knjiga, 1988
- [3] Silvestar Perše, Vinko Višnjić - Strojarsstvo u prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2005

Internetske stranice:

- [1]<https://autoportal.hr/aktualno/novosti/test-mercedes-benz-b180-cdi/>
- [2]<https://zir.nsk.hr/en/islandora/object/fpz%3A1790/datastream/PDF/view>

Popis slika:

Slika 1. Mercedes B class

Slika 2. Vanjska brzinska karakteristika vozila pri punom opterećenju

Slika 3. Sila otpora i sila vuče

Slika 4. Kotrljanje apsolutno krutog kotača po apsolutno krutoj podlozi

Slika 5. Kotrljanje apsolutno krutog kotača deformabilnoj podlozi

Slika 6. Kotrljanje nepogonskog kotača cestovnog vozila

Slika 7. Promjena koeficijenta otpora pri kotrljanju (f) u ovisnosti o brzini tlaku zraka u pneumatiku

Slika 8. Kretanje beskonačno tanke ploče kroz fluid

Slika 9. Određivanje relativne brzine zraka i vozila

Slika 10. Vozilo na usponu

Slika 11. Ovisnost otpora uspona o brzini vozila

Slika 12. Prikaz djelovanja sila na vozilo u gibanju usponom

Slika 13. ovisnost vučne sile o stupnju prijenosa mjenjača

Slika 14. Idealna vučna sila i vučna sila motora.