

Vučni proračun cestovnog vozila Mazda 6

Klarić, Lucija

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:143:514449>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**

Repository / Repozitorij:

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



**VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU
ODJEL PROMETNIH STUDIJA
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ**

Lucija Klarić

VUČNI PRORAČUN CESTOVNOG VOZILA MAZDA 6

Završni rad

Šibenik, 2024.

VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU
ODJEL PROMETNIH STUDIJA
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ

VUČNI PRORAČUN CESTOVNOG VOZILA MAZDA 6

Završni rad

Kolegij: Teorija kretanja vozila

Mentor: Luka Olivari, mag. ing. mech., v. pred.

Studentica: Lucija Klarić

Matični broj studentice: 1219064813

Šibenik, 07. 2024.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, Lucija Klarić, student/ica Veleučilišta u Šibeniku, JMBAG 1219064813 izjavljujem pod materijalnom i kaznenom odgovornošću i svojim potpisom potvrđujem da je moj završni rad na preddiplomskom/specijalističkom diplomskom stručnom studiju Prometa pod naslovom: Vučni proračun_isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada, te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Šibeniku, 09.07.2024.

Student/ica:

Lucija Klarić



Vučni proračun cestovnog vozila Mazda 6

Lucija Klarić

Stankovci 334A 23422 Stankovci , lucaklaric@gmail.com

U završnom radu napravljen je vučni proračun cestovnog automobila Mazda 6. Vučni proračun se koristi za izračunavanje brzina kretanja, ubrzanja i maksimalnih uspona koje vozilo može savladati pri različitim otporima kretanju ovisno o svojim karakteristikama i uvjetima na cesti. U završnom radu su opisane sve bitne karakteristike automobila, također opisana je transmisija kao i pripadajuće vučne sile, sile otpora, efektivna snaga motora i ubrzanje pri različitim brzinama kretanja. Za izradu vučnog proračuna i grafičkih prikaza korišten je program Microsoft Excel.

(33 stranica / 24 slika / 14 tablica / 6 literaturnih navoda / jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u digitalnom repozitoriju Knjižnice Veleučilišta u Šibeniku

Ključne riječi: vučni proračun, idealna hiperbola vuče, jednadžbe kretanja vozila

Mentor: Luka Olivari, mag. ing. mech., v. pred.

Rad je prihvaćen za obranu dana: 9.7.2024.

Šibenik University of Applied Sciences

Batchelor Thesis

Department of Traffic Studies

Professional Undergraduate Studies of Traffic

Mazda 6 vehicle dynamics calculation

Lucija Klarić

Stankovci 334A, 23422 Stankovci, lucaklaric@gmail.com

In the final paper, a traction calculation was performed for a Mazda 6 road vehicle. The vehicle dynamics calculation is used to determine the speeds, accelerations, and maximum inclines that the vehicle can overcome under different resistance conditions depending on its characteristics and road conditions. The final paper describes all the essential characteristics of the vehicle, as well as the transmission and the corresponding traction forces, resistance forces, effective engine power, and acceleration at different speeds. Microsoft Excel was used for the traction calculation and graphical representations.

(33 pages / 24 figures / 14 tables / 6 references / original in Croatian language)

Thesis deposited in Polytechnic of Šibenik Library digital repository

Keywords: vehicle dynamics calculation, ideal traction hyperbola, vehicle motion equation

Supervisor: Luka Olivari, mag. ing. mech., v. pred.

Paper accepted: 9.7.2024.

Sadržaj:

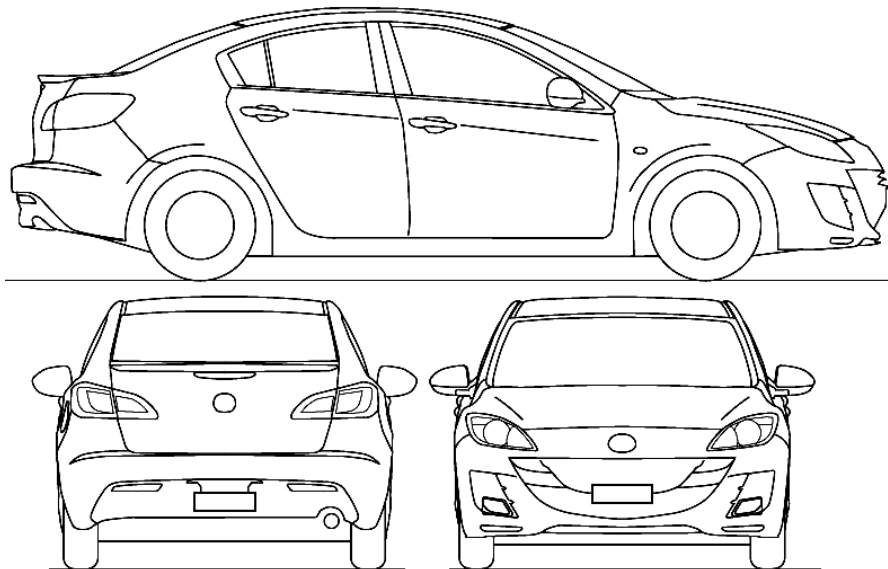
1. UVOD	2
2. KARAKTERISTIKE AUTOMOBILA	3
3. TRANSMISIJA.....	4
3.1. GUBITCI U TRANSMISIJI.....	6
3.2. KOEFICIJENT PRIANJANJA	6
4. KOEFICIJENT OTPORA KOTRLJANJA.....	7
5. VANJSKA BRZINSKA KARAKTERISTIKA MOTORA	8
6. OTPORI KRETANJA	10
7. SNAGA	13
8. MOTORNE VUČNE SILE.....	15
9. BILANCA SNAGE.....	17
10. SILE PRIANJANJA	20
11. VUČNI DIJAGRAM.....	24
12. UBRZANJE	26
13. ZAKLJUČAK	32
14. LITERATURA.....	33

1. UVOD

Jedan od ključnih aspekata analize automobila je vučni proračun, koji uključuje detaljnu evaluaciju snage motora, prijenosnih omjera, otpora kretanja, te gubitaka u transmisiji. U ovom radu će biti prikazan vučni proračun za vozilo marke Mazda 6, proizvedeno 2008. godine, s ciljem razumijevanja i analize njegovih karakteristika u različitim uvjetima vožnje. Koristit će se će podatke dostupne na internetskim stranicama za proračun otpora kotrljanja, otpora zraka i ukupnog otpora kretanja vozila. U radu će biti prikazane prijenosne karakteristike za svaki stupanj prijenosa, kao i gubici u transmisiji koji se javljaju uslijed trenja. Analizirat će se koeficijent prijanjanja i koeficijent otpora kotrljanja, te će biti prikazani grafički i tablični rezultati za različite brzine i uspone. Vanjska brzinska karakteristika motora je također ključni element u analizi vučnog proračuna. Ova karakteristika uključuje efektivnu snagu motora, efektivni moment motora i specifičnu efektivnu potrošnju goriva. Osim toga, u radu će biti detaljno analizirani otpori kretanja vozila, uključujući otpor kotrljanja, otpor zraka i otpor uspona. Na temelju ovih podataka, bit će izračunata potrebna snaga za prevladavanje ovih otpora pri različitim brzinama i usponima. Također, bit će prikazane motorne vučne sile za svaki stupanj prijenosa, te će biti napravljena bilančna analiza snage. Konačno, sila prijanjanja, koja je ključna za osiguranje stabilnosti i sprečavanje proklizavanja vozila, bit će analizirana i prikazana za različite uspone. Rezultati vučnog dijagrama omogućit će donošenje zaključaka o performansama vozila i njegovim maksimalnim brzinama u različitim uvjetima. Cilj ovog rada je pružiti sveobuhvatnu analizu karakteristika automobila Mazda 6 iz 2008. godine, kroz detaljan vučni proračun i analizu ključnih parametara koji utječu na njegove performanse.

2. KARAKTERISTIKE AUTOMOBILA

U svom radu prikazat će se vučni proračun vozila marke Mazda 6. Automobil je proizveden 2008 godine. Mazda 6 je elegantan i dinamičan sedan srednje veličine, koji se proizvodi od 2002. godine i prošao je kroz nekoliko generacija. Poznata po svom atraktivnom dizajnu koji prati filozofiju KODO dizajna, Mazda 6 nudi sofisticiranu unutrašnjost sa visokokvalitetnim materijalima i naprednim tehnološkim karakteristikama poput infotainment sistema i brojnih sigurnosnih funkcija. Dostupna je s različitim motorima, uključujući benzinske i dizelske opcije, koji pružaju dobar balans između snage i ekonomičnosti. Mazda 6 je hvaljena zbog svojih sportskih performansi, udobne vožnje i pouzdanosti, čineći je popularnim izborom među vozačima koji traže spoj stila, performansi i praktičnosti.



Slika 1. Skica Mazde 6

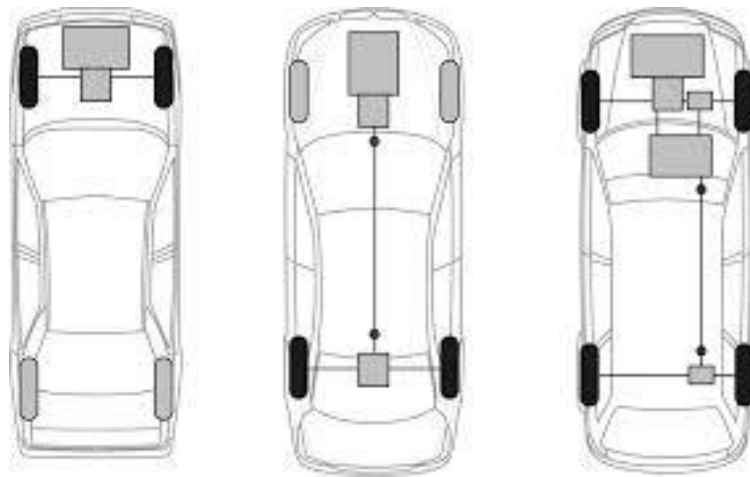
Izvor: <https://getoutlines.com/blueprints/8932/2009-mazda-3-s2-4-door-sedan-blueprints>

Karakteristike vozila koje su bile potrebne za izračun vučnog proračuna su sljedeće:

- Težina vozila – $G = 14580 \text{ N}$
- Razmak prednje osovine od težišta – $l_1 = 1,27 \text{ m}$
- Razmak stražnje osovine od težišta – $l_2 = 1,40 \text{ m}$
- Visina težišta – $ht = 0,67 \text{ m}^2$
- Koeficijent otpora zraka - $C_x = 0,31$
- Čelna površina vozila – $A = 2,25 \text{ m}^2$
- Dinamički radijus kotača $r_d = 0,32$

3. TRANSMISIJA

Transmisija je prijenos snage motora do kotača. Neki od osnovnih dijelova su spojka, mjenjački prijenosnik, kardanski prijenosnik, glavni prijenosnik i razdjelnik snage. Spojka mjenjača omogućuje najprije odvajanje mjenjača od motora pri pokretanju motora i njihovo spajanje te pokretanje vozila, zatim promjenu stupnjeva prijenosa u mjenjaču. Mjenjački prijenosnik promjenom stupnja prijenosa osigurava vučne sile i brzine vozila. Kardanski prijenosnik je prijenos snage između sklopova transmisije čije se osi ne poklapaju, a njihov je položaj promjenjiv. Glavni prijenosnik s povećanjem prijenosa io povećava se rezerva snage, što omogućuje veća ubrzanja vozila, a brzina vozila se neznatno mijenja. Razdjelnik snage kao mjenjač ima dva stupnja prijenosa, direktni (D) i reducirani (R), koji se spajaju zupčastom spojnicom. Time se povećava broj stupnjeva prijenosa, što je važno za terenske uvjete kretanja. (Mikulić, 2020.)



Slika 2. Prijenosi snage

Izvor: <https://drumskavozila.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/05/skripta-uputstvo-za-vucni-proracun-saobracaj.pdf>

Slika 2. nam prikazuje tri različite konfiguracije pogonskih sistema u automobilima. Na lijevoj strani je prikazan automobil s prednjim pogonom (FWD), gdje je motor smješten naprijed, a snaga se prenosi na prednje kotače. U sredini je automobil s pogonom na stražnje kotače (RWD), gdje je motor također naprijed, ali snaga se prenosi na stražnje kotače preko kardanskog vratila. Na desnoj strani je prikazan automobil s pogonom na sve kotače (AWD), gdje je snaga raspoređena na sva četiri kotača, s motorom smještenim naprijed i složenijim prijenosnim sistemom koji povezuje sve kotače. Mazda 6 ima prvi slučaj pogonskog sistema.

Transmisija Mazde 6 sastoji se od nekoliko ključnih komponenti koje omogućavaju prijenos snage s motora na kotače. Glavni elementi transmisije uključuju kvačilo (spojku), mjenjač (prijenos), diferencijal, kardansko vratilo (u slučaju RWD ili AWD), te pogonske osovine. Spojka omogućava privremeno odvajanje motora od prijenosnog sistema kako bi se promijenile brzine ili zaustavilo vozilo. Mjenjač mijenja omjere prijenosa kako bi optimizirao performanse vozila pri različitim brzinama. Diferencijal omogućava različitim kotačima da se vrte različitim brzinama, posebno pri skretanju.

Parametri snage koje transmisija transformira uključuju moment i i broj okretaja motora (kutna brzina). Moment je mjera sile koja uzrokuje rotaciju motora, dok broj okretaja ili kutna brzina predstavlja brzinu rotacije motora, izraženu u okretajima po minuti (RPM). Transmisija mijenja ove parametre kako bi osigurala optimalnu snagu i efikasnost pri različitim uvjetima vožnje. Formula koja se upotrebljava za izračun prijenosnih odnosa:

$$i_{TR} = i_m \cdot i_{GP}$$

U ovom slučaju iznosi prijenosnih omjera u pojedinom stupnju prijenosa su sljedeći:

- $i_I = 3,454$
- $i_{II} = 1,842$
- $i_{III} = 1,31$
- $i_{IV} = 0,97$
- $i_V = 0,795$
- $i_{VI} = 0,717$

Dok je iznos glavnog prijenosnog omjera sljedeći:

- $i_{GP} = 3,198$

3.1. Gubitci u transmisiji

Gubitci u transmisiji su neizbježni dio prijenosa snage od motora do kotača i manifestiraju se kao smanjenje efektivne snage dostupne na kotačima u odnosu na izlaznu snagu motora., a do njih dolazi prilikom trenja. Određuju se usporedbom snage koju motor proizvodi i snage koja stiže do kotača. Razlika između ovih dviju vrijednosti predstavlja ukupne gubitke u transmisiji, uključujući mehaničke, toplinske i hidrauličke gubitke.

Orijentacijske tipične vrijednosti stupnja prijenosa korisnosti pojedinih komponenata transmisije:

- mjenjač - $\eta_M = 0,94 - 0,98$
- kardanski prijenosnik - $\eta_{KP} = 0,98 - 1$
- glavni prijenosnik - $\eta_{GP} = 0,94 - 0,98$
- razvodnik snage - $\eta_R = 0,96 - 0,98$

U ovom slučaju uzete su sljedeće vrijednosti:

$$\eta_M = 0,95$$

$$\eta_{KP} = 0,99$$

Za izračunati stupanj iskoristivosti transmisije potrebna je sljedeća formula:

$$\eta_{tr} = \eta_M \cdot \eta_R = 0,94$$

3.2. Koeficijent prianjanja

Koeficijent prianjanja ovisi o velikom broju faktora. Prianjanje ovisi o stanju podloge, vrsti i stanju pneumatika, materijalu sloja protektora, tlaku zraka u gumama, brzini vozila i drugim uvjetima. Praktično, koeficijent prianjanja određuje se eksperimentalno. Testirano vozilo težine (G) s određenim gumama na određenoj podlozi vuče se zakočeno (preko dinamometra) vučnim vozilom. Na dinamometru se očita sila, nakon čega se izračuna koeficijent prianjanja. Odredili smo ga s pomoću tablice koja se nalazi u skripti Motorna vozila (Mikulić, 2020).

$$\varphi = 0,8$$

Ova vrijednost predstavlja hrapavi asfalt na suhoj podlozi.

4. KOEFICIJENT OTPORA KOTRLJANJA

Koeficijent otpora kotrljanja ovisi o deformaciji pneumatika (Δr), radijusu kotača (r_d), vrsti podloge, tlaku zraka u pneumatiku i brzini vozila. Radijalni pneumatici imaju manji otpor kotrljanju od dijagonalnih, kao i niskoprofilni od standardnih pneumatika. (Mikulić. 2020.) Koeficijenti C_1 i C_2 su empirijski određeni parametri koji se koriste u matematičkom modelu za opisivanje otpora kotrljanja kao funkcije brzine vozila. Oni se često dobivaju eksperimentalnim putem, kroz testiranja guma i vozila u različitim uvjetima, te se koriste za preciznije proračune u simulacijama i analizi performansi.

Koeficijent otpora kotrljanja f ovisi o brzini vožnje te će u Tablici 2. biti prikazan u izračunu za brzine od 0 do 220 km/h.

Određen je prema tablici odabrala sam asfalt.

PODLOGA		f_k
Asfalt	odličan	0,010
	srednji	0,015
	slabi	0,020
Beton	odličan	0,012
	srednji	0,017
	slabi	0,022
Makadam	odličan	0,016
	srednji	0,023
	oštećen	0,37
Kocka	-	0,043
Livada	suho	0,10
Pijesak	suho	0,30
	vlažan	0,10
Snijeg	do 50 mm	0,25
	do 100 mm	0,38
Led	-	0,018-0,02

Slika 3. Tablica koeficijent otpora kotrljanja

Izvor: <https://repozitorij.vus.hr/islandora/object/vus%3A2062/datastream/PDF/view>

$$f_o = 0,0015$$

$$C_1 = 5,42E^{-6}$$

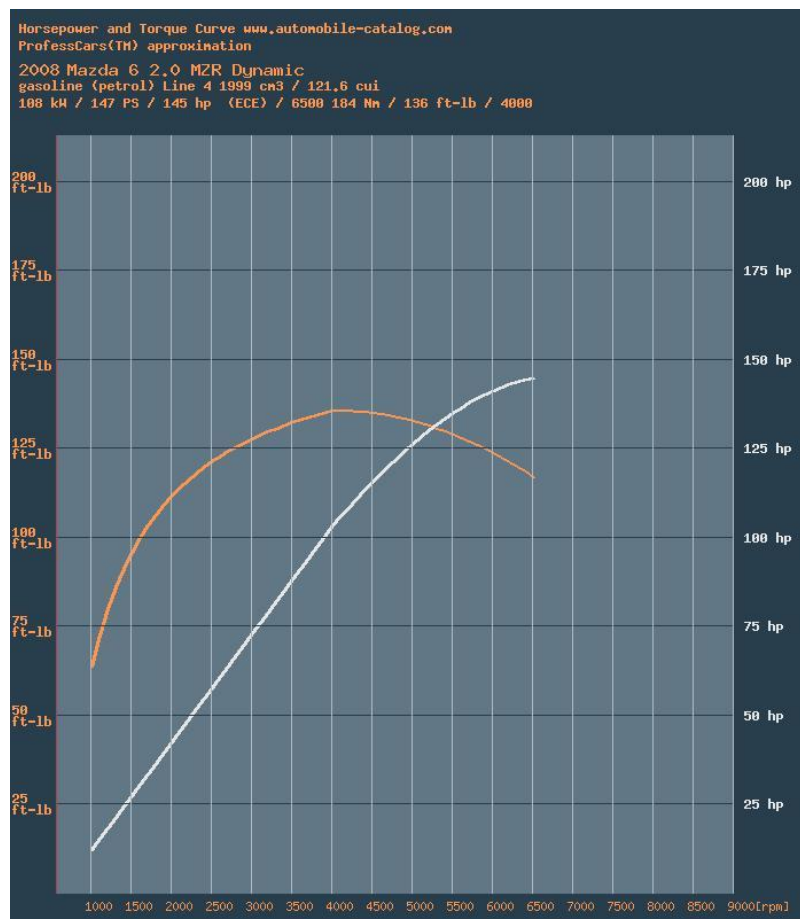
$$C_2 = 1,05E^{-11}$$

5. VANJSKA BRZINSKA KARAKTERISTIKA MOTORA

Brzinska karakteristika motora je najvažnija karakteristika pogonskog motora. Vanjska brzinska karakteristika opisuje odnos između brzine vrtnje elektromotora i okretnog momenta koji motor proizvodi pri različitim opterećenjima. U osnovi, ova karakteristika pokazuje kako se brzina motora mijenja s promjenom opterećenja, što je ključno za razumijevanje performansi i efikasnosti elektromotora u praktičnim primjenama. Sastoji se od tri glavna pokazatelja:

- efektivna snaga motora: P_e [W]
- efektivni moment motora: $M_e = P_e / \omega$ [Nm]
- specifična efektivna potrošnja goriva: $G_e = G_h / P_e$ [g/kWh]

Za određivanje efektivne snage motora i efektivni moment motora koristi se grafički prikaz vanjske brzinske karakteristike motora.



Slika 4. vanjska brzinska karakteristika

Izvor: [https://www.automobile-](https://www.automobile-catalog.com/curve/2008/1685615/mazda_6_2_0_mzr_dynamic.html#google_vignette)

[catalog.com/curve/2008/1685615/mazda_6_2_0_mzr_dynamic.html#google_vignette](https://www.automobile-catalog.com/curve/2008/1685615/mazda_6_2_0_mzr_dynamic.html#google_vignette)

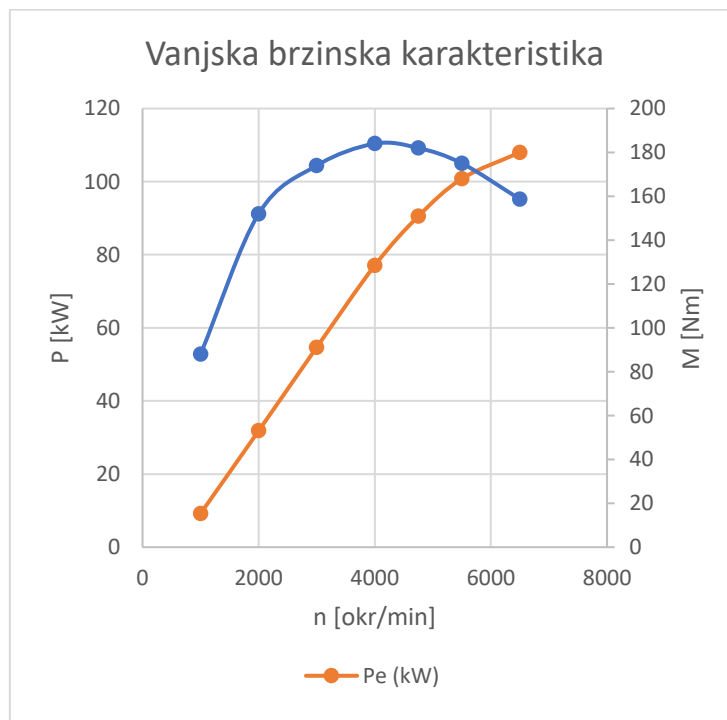
Iz grafa se vidi da je snaga motora najveća pri 108 kW, dok je najveći okretni moment pri 184 Nm na 4000 o/min.

Potrebnu tablicu izračunati će s vrijednostima sa slike, a očitane su vrijednosti snage, momenta i broja okretaja u sljedećim karakterističnim točkama:

- n_{min} – minimalan broj okreta motora
- n_{max} – broj okreta pri kojem motor dostiže maksimalnu vrijednost
- n_{pmax} – broj okreta pri kojem snaga motora dostiže maksimalnu vrijednost
- M_{max} – maksimalni okretni moment motora
- P_{max} – maksimalna snaga motora

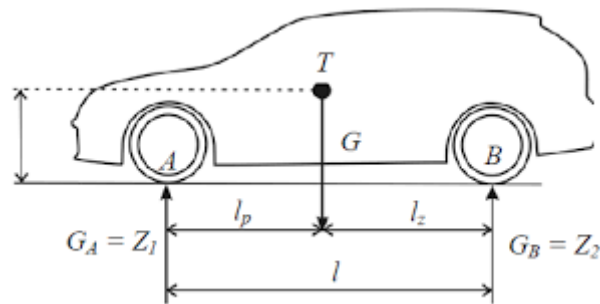
n (o/min)	Me (Nm)	Pe (kW)
1000	88	9
2000	152	32
3000	174	55
4000	184	77
4750	182	91
5500	175	101
6500	159	108

Tablica 1.



Slika 5. grafički prikaz vanjske brzinske karakteristike
izvor: vlastita slika

6. OTPORI KRETANJA



Slika 6. vozilo na horizontalnoj podlozi

Izvor: <https://vts.edu.rs/wp-content/uploads/2020/03/MOTORNA-VOZILA-PREDAVNJA-06.04.2020..pdf>

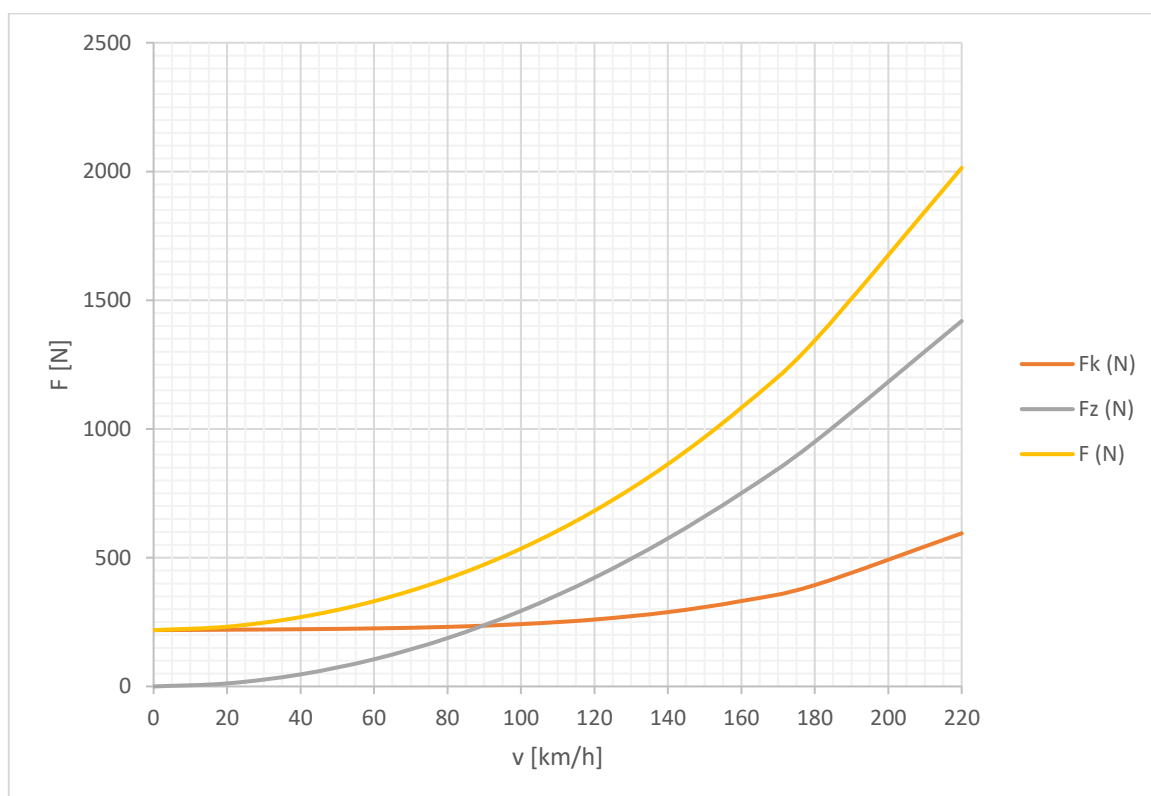
Otpori kretanja vozila u ovom slučaju računaju se za brzine od 0 km/h do 220 km/h, točne vrijednosti računati će se za karakteristične točke (0, 20, 40, 60 km/h...) a ostale vrijednosti bit će aproksimirane i prikazane na grafu. Na usponima od 0%, 3%, 6%, 12%, 15%, 30%, itd. usponi su uzeti prema onima koje najčešće se susreću na prometnicama.

Da bi se izračunalo ukupan otpor kretanja F mora se izračunati koeficijent otpora kotrljanja f_0 , otpor kotrljanja F_k , otpor zraka F_z i otpor uspona F_u .

- Koeficijent otpora kotrljanja - $f_0 = f_0 + C_1 \cdot v + C_2 v^4$
- Otpor kotrljanja - $f_k = G \cdot f$
- Otpor zraka - $f_z = \frac{1}{2} \cdot \rho_z \cdot v^2 \cdot C_x \cdot A$
- Otpor uspona - $f_u = G \cdot \sin \alpha$
- Otpor kretanja - $F = f_k + f_z + f_u$

v (km/h)	f	F_k (N)	F_z (N)	F (N)
0	0,0150	218,7	0,0	218,7
20	0,0151	220,3	11,7	232,0
40	0,0152	222,3	46,9	269,2
60	0,0155	225,4	105,6	331,0
80	0,0159	231,3	187,7	418,9
100	0,0166	241,9	293,2	535,1
120	0,0178	259,9	422,2	682,1
140	0,0198	288,6	574,7	863,3
160	0,0227	331,7	750,6	1082,3
180	0,0270	393,6	950,0	1343,6
220	0,0408	594,7	1419,1	2013,8

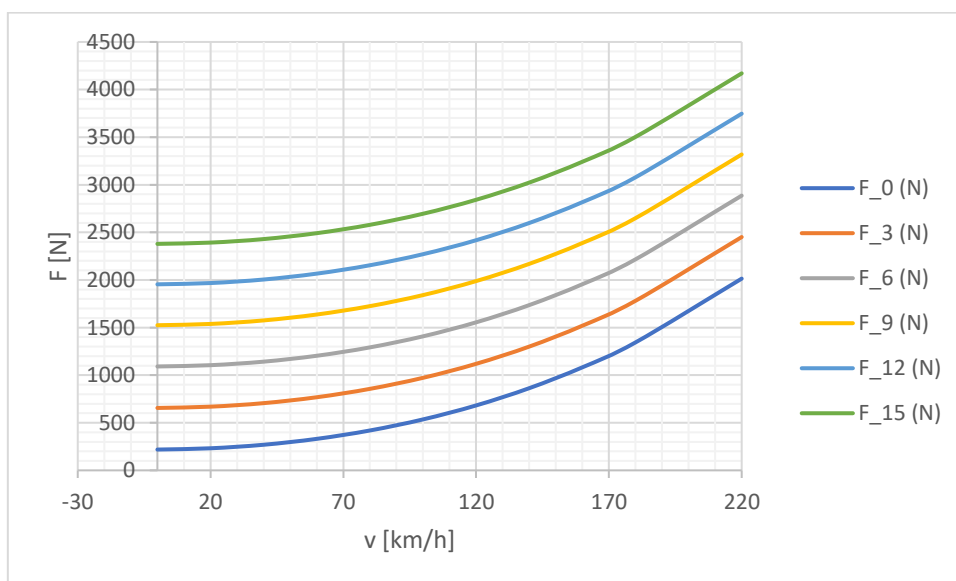
Tablica 2.



Slika 7. Otpori kretanja na horizontalnoj podlozi
izvor: vlastita slika

Uspon						
u (%)=	0	3	6	9	12	15
α (°)=	0	1,7	3,4	5,1	6,8	8,5
v (km/h)	F_0 (N)	F_3 (N)	F_6 (N)	F_9 (N)	F_12 (N)	F_15 (N)
0	218,7	655,8	1091,5	1524,7	1954,3	2379,1
20	232,0	669,1	1104,9	1538,1	1967,6	2392,4
40	269,2	706,3	1142,0	1575,2	2004,7	2429,5
60	331,0	768,1	1203,8	1637,0	2066,5	2491,3
80	418,9	856,0	1291,8	1724,9	2154,4	2579,2
100	535,1	972,2	1407,9	1841,1	2270,5	2695,2
120	682,1	1119,2	1554,9	1988,0	2417,4	2842,1
140	863,3	1300,3	1736,0	2169,0	2598,3	3022,9
160	1082,3	1519,3	1954,9	2387,9	2817,1	3241,4
180	1343,6	1780,7	2216,1	2649,0	3078,0	3502,1
220	2013,8	2450,8	2886,0	3318,4	3746,7	4170,1

Tablica 3.



Slika 8. otpori kretanja prema nagibu
izvor: vlastita slika

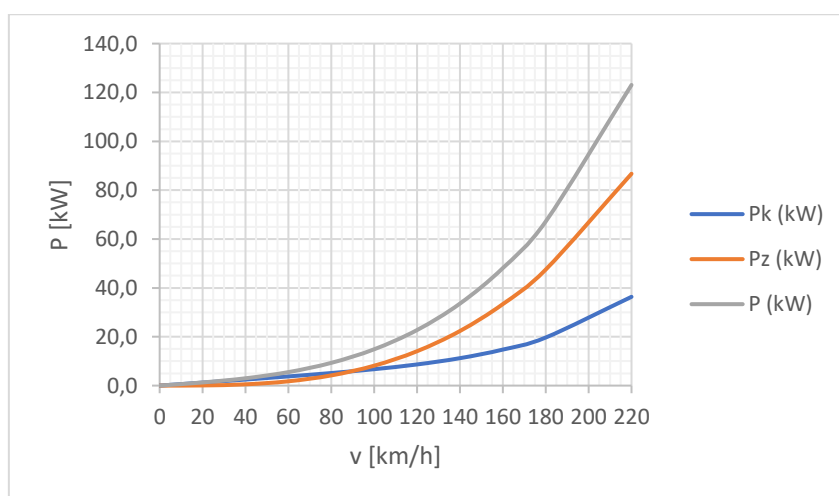
7. SNAGA

Za svako svladavanje sila potrebna je neka snaga, tako u našem slučaju snaga potrebna za svladavanje otpora kotrljanja P_k , zraka P_z , odnosno uspona P_u . Svaka od njih je različita u različitim brzinama, također i na različitim usponima. Za uspone se može reći da idu od 0% do 15% što znači da idu od 0° do maksimalnog kuta od 8,5°. Brzine i usponi su jednaki kao i kod kretanja vozila.

- Snaga kotrljanja - $P_k = F_k \cdot v \cdot \frac{1}{3600}$
- Snaga zraka - $P_z = F_z \cdot v \cdot \frac{1}{3600}$
- Snaga uspona - $P_u = F_u \cdot v \cdot \frac{1}{3600}$
- Ukupna snaga - $P = P_k + P_z + P_u$

v (km/h)	P _k (kW)	P _z (kW)	P (kW)
0	0,0	0,0	0,0
20	1,2	0,1	1,3
40	2,5	0,5	3,0
60	3,8	1,8	5,5
80	5,1	4,2	9,3
100	6,7	8,1	14,9
120	8,7	14,1	22,7
140	11,2	22,3	33,6
160	14,7	33,4	48,1
180	19,7	47,5	67,2
220	36,3	86,7	123,1

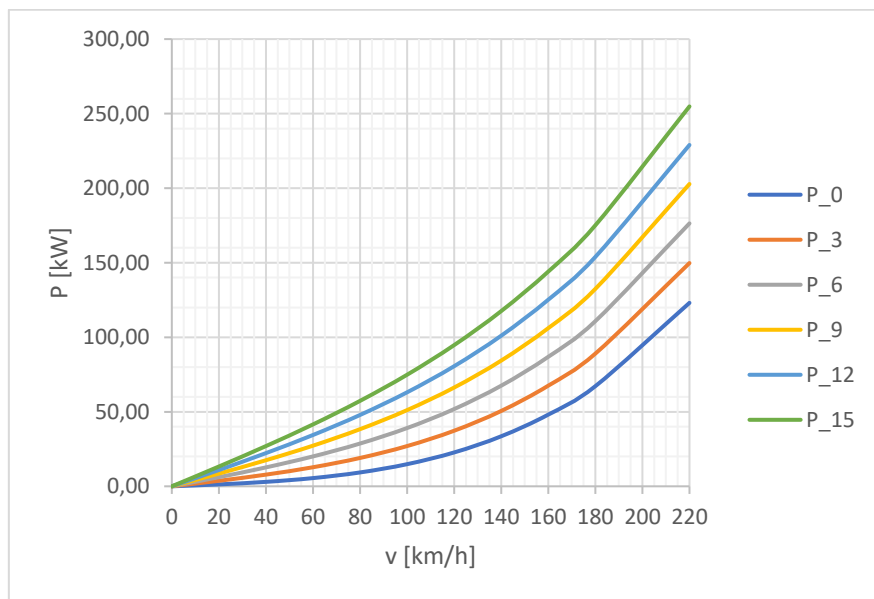
Tablica 4.



Slika 9. snaga otpora kretanja na horizontalnoj površini
izvor: vlastita slika

u (%)=	0	3	6	9	12	15
α (°)=	0	1,7	3,4	5,1	6,8	8,5
v (km/h)	P_0	P_3	P_6	P_9	P_12	P_15
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	1,29	3,72	6,14	8,54	10,93	13,29
40	2,99	7,85	12,69	17,50	22,27	26,99
60	5,52	12,80	20,06	27,28	34,44	41,52
80	9,31	19,02	28,71	38,33	47,88	57,32
100	14,86	27,01	39,11	51,14	63,07	74,87
120	22,74	37,31	51,83	66,27	80,58	94,74
140	33,57	50,57	67,51	84,35	101,05	117,56
160	48,10	67,53	86,89	106,13	125,20	144,06
180	67,18	89,03	110,81	132,45	153,90	175,10
220	123,07	149,77	176,37	202,79	228,97	254,84

Tablica 5.



Slika 10. snaga otpora kretanja prema nagibima
izvor: vlastita slika

8. MOTORNE VUČNE SILE

Idealna hiperbola vuče je vučna karakteristika za slučaj konstantne maksimalne snage. Ona predstavlja imaginarnu krivulju vučne sile za slučaj mogućnosti iskorištenja maksimalne raspoložive snage motora u svim režimima vožnje. (Mikulić, 2020.) Predstavlja imaginarnu krivulju koja je granična vrijednost za sve uvijete vožnje.

$$F_v = \frac{P_{emax} \cdot \eta_{tr}}{v}$$

v (km/h)	Fv (N)
20	18274
40	9137
60	6091
80	4568
100	3655
120	3046
140	2611
160	2284
180	2030
220	1661

Tablica 6.

Vučne sile na pogonskim kotačima računaju se posebno za svaki stupanj prijenosa.

$$i_{tr} = i_{MJ} \cdot i_{GP}$$

Prijenosni omjer transmisije u pojedinom stupnju prijenosa i_{tr} potreban je kako bi izračunao motornu vučnu silu F_m . Također mu je potreban okretni moment motora M_e , stupanj iskoristivosti transmisije η_{tr} i dinamički radijus kotača r_d .

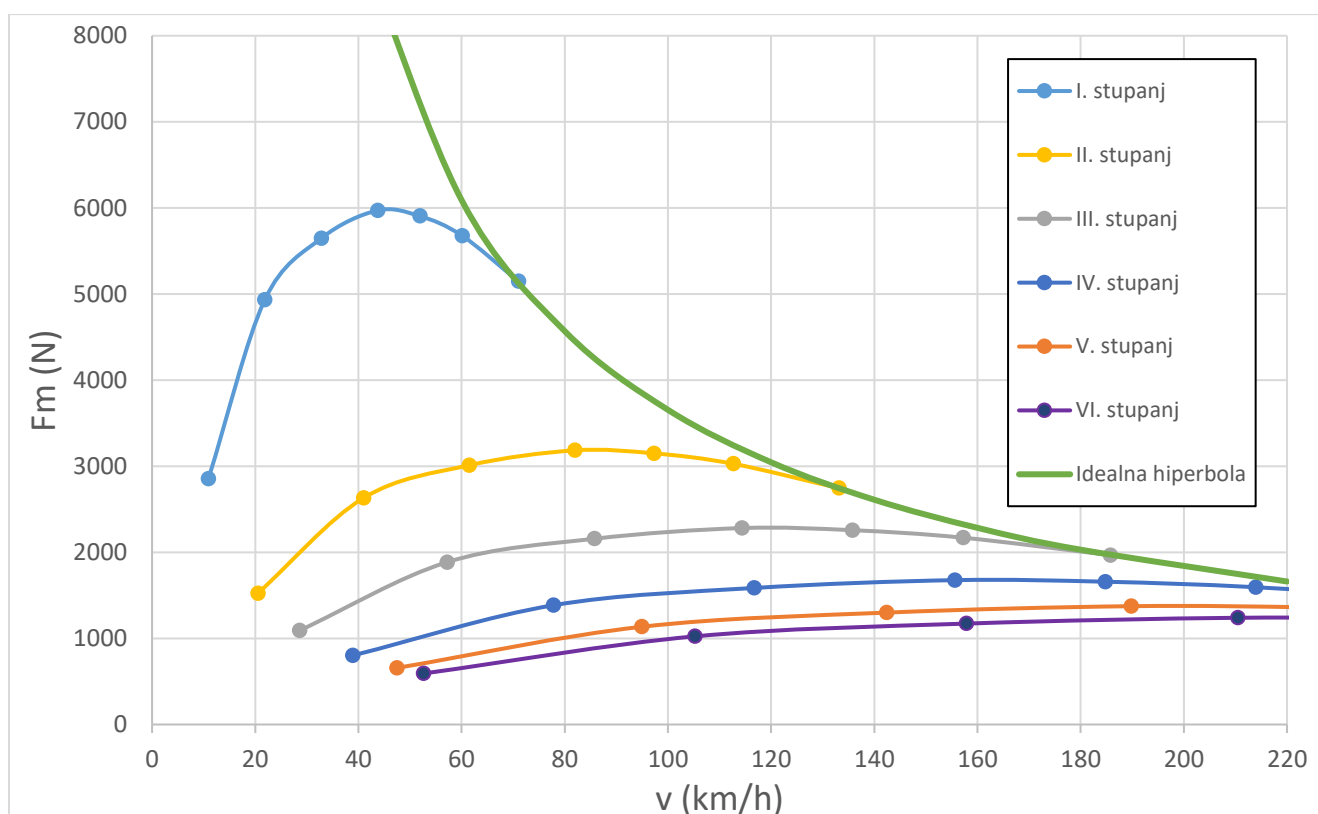
$$F_m = \frac{M_e \cdot \eta_{tr} \cdot i_{tr}}{r_d}$$

Kako bi dobio dijagram idealne vuče potrebno je još izračunati brzinu u određenom stupnju prijenosa. Računa se po formuli:

$$v = 0,377 \cdot \frac{r_d \cdot n}{i_i \cdot i_{GP} \cdot i_R}$$

n(o/min)	Mm(Nm)	Pe(kW)	v (km/h)	Fm (N)	v (km/h)	Fm (N)	v (km/h)	Fm (N)	v (km/h)	Fm (N)	v (km/h)	Fm (N)	v (km/h)	Fm (N)
			I. stupanj		II. stupanj		III. stupanj		IV. stupanj		V. stupanj		VI. stupanj	
1000	88	9	10,9	2855	20,5	1523	28,6	1091	38,9	802	47,5	657	52,6	593
2000	152	32	21,8	4932	41,0	2630	57,2	1885	77,8	1385	94,9	1135	105,2	1024
3000	174	55	32,8	5646	61,4	3011	85,7	2158	116,7	1586	142,4	1299	157,8	1172
4000	184	77	43,7	5970	81,9	3184	114,3	2282	155,6	1677	189,8	1374	210,5	1239
4750	182	91	51,9	5905	97,3	3149	135,7	2257	184,7	1658	225,4	1359	249,9	1226
5500	175	101	60,1	5678	112,6	3028	157,2	2170	213,9	1595	261,0	1307	289,4	1179
6500	159	108	71,0	5148	133,1	2746	185,8	1967	252,8	1446	308,4	1185	342,0	1069

Tablica 7.



Slika 11. motorne vučne sile u različitom stupnju prijenosa s idealnom hiperbolom vuče
izvor: vlastita slika

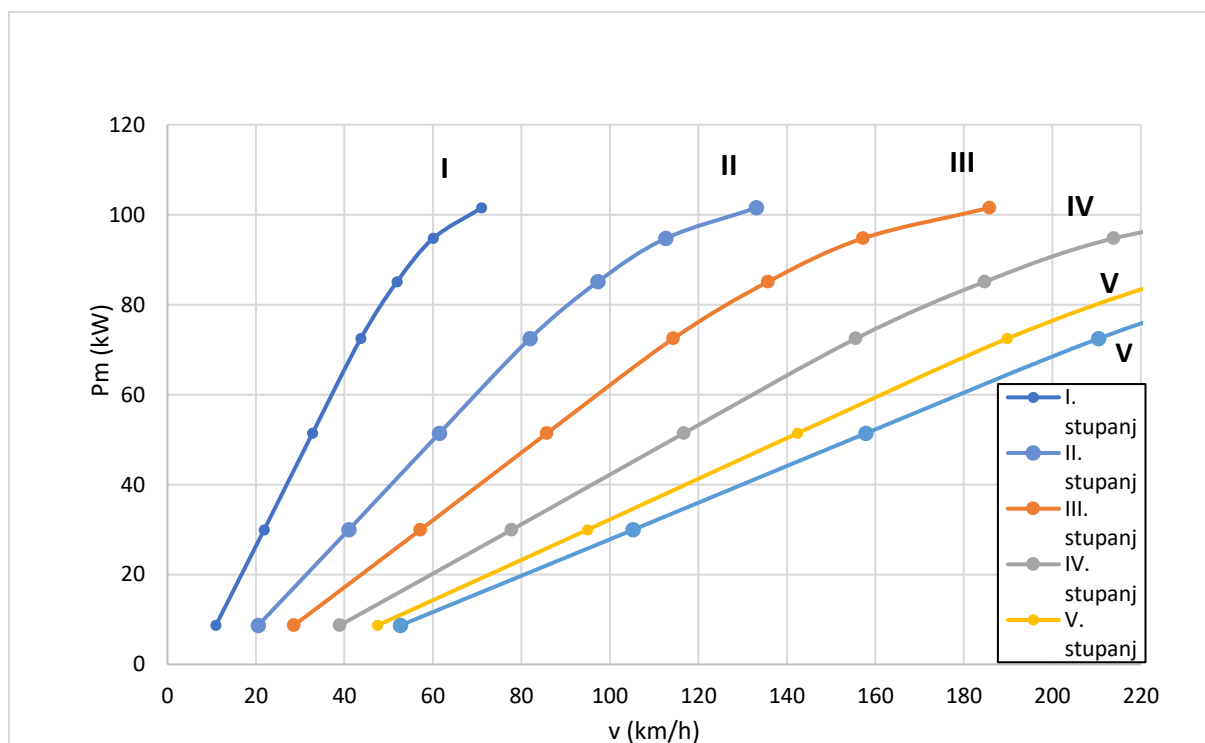
9. BILANCA SNAGE

Analizira ravnotežu između snage koju motor automobila generira i snage potrebne za prevladavanje različitih otpora tijekom vožnje. Ova analiza uključuje snagu potrebnu za prevladavanje aerodinamičkog otpora, otpora kotrljanja, trenja u komponentama prijenosnog sustava, te inercije pri ubrzanju, kako bi se osigurala efikasna i optimalna upotreba motora. Za izračun je potrebna sljedeća formula:

$$P_v = F_m \cdot v \cdot \frac{1}{3600}$$

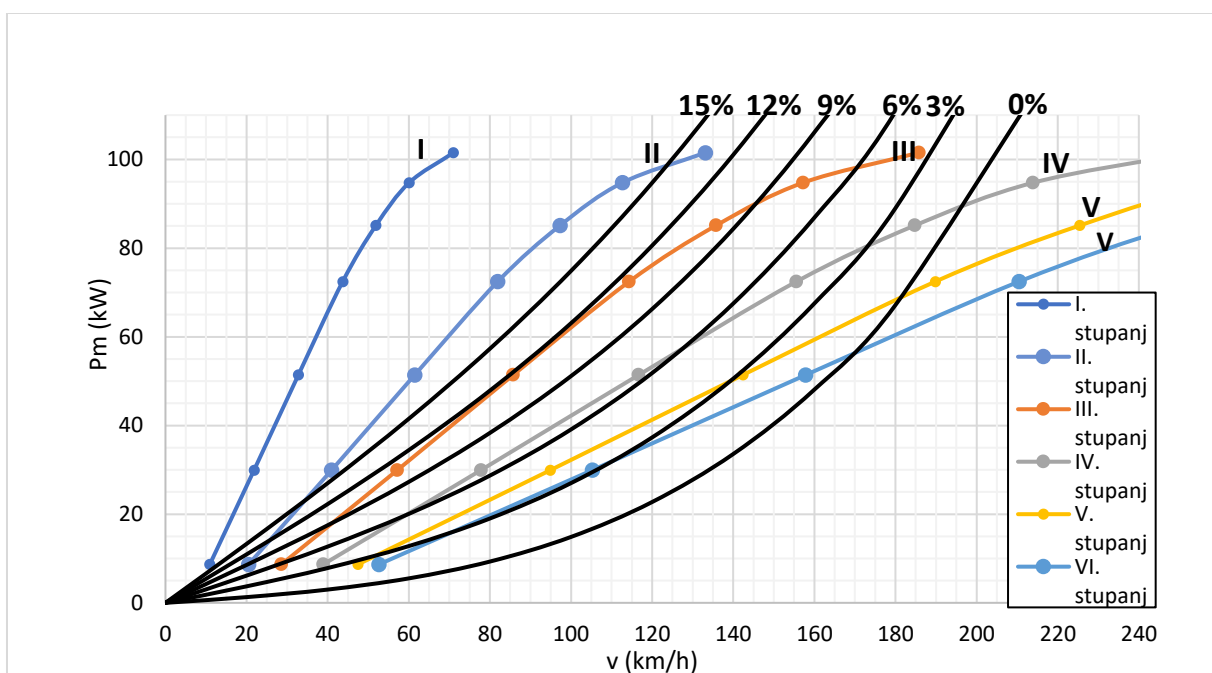
n(o/min)	Mm(Nm)	Pe(kW)	v (km/h)	Pv (kW)	v (km/h)	Pv (kW)	v (km/h)	Pv (kW)	v (km/h)	Pv (kW)	v (km/h)	Pv (kW)	v (km/h)	Pv (kW)
			I. stupanj		II. stupanj		III. stupanj		IV. stupanj		V. stupanj		VI. stupanj	
1000	88	9	10,9	9	20,5	9	28,6	9	38,9	9	47,5	9	52,6	9
2000	152	32	21,8	30	41,0	30	57,2	30	77,8	30	94,9	30	105,2	30
3000	174	55	32,8	51	61,4	51	85,7	51	116,7	51	142,4	51	157,8	51
4000	184	77	43,7	72	81,9	72	114,3	72	155,6	72	189,8	72	210,5	72
4750	182	91	51,9	85	97,3	85	135,7	85	184,7	85	225,4	85	249,9	85
5500	175	101	60,1	95	112,6	95	157,2	95	213,9	95	261,0	95	289,4	95
6500	159	108	71,0	102	133,1	102	185,8	102	252,8	102	308,4	102	342,0	102

Tablica 8.



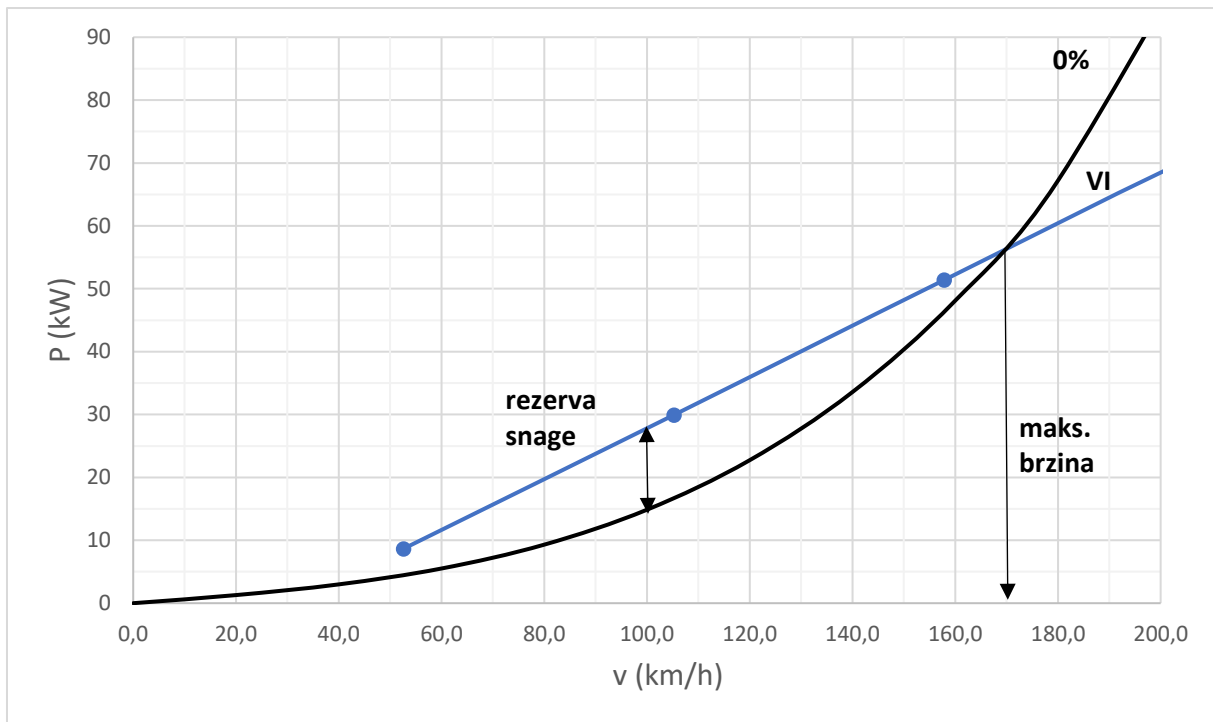
Slika 12. bilanca snage
izvor: vlastita slika

Iz ovog dijagrama vidljiv je odnos brzine vozila i snage za pojedini stupanj prijenosa. Dok je na sljedećem dijagramu prikazan odnos u pojedinom stupnju prijenosa i njihova maksimalna brzina na različitim usponima. Vidljivo je da na 0% (horizontalna podloga) najveća brzina koju automobil postiže je 197 km/h u IV stupnju prijenosa. Na 3% postiže brzinu od 174 km/h u IV stupnju prijenosa, na 6% brzina je 170 km/h u III stupnju prijenosa, na 9% je 146 km/h u III stupnju prijenosa, dok na 12% ne može odrediti najveću brzinu jer se linije ne sijeku nego prate jedna drugu. I na usponu od 15% brzina ide do 124 km/h u II stupnju prijenosa.



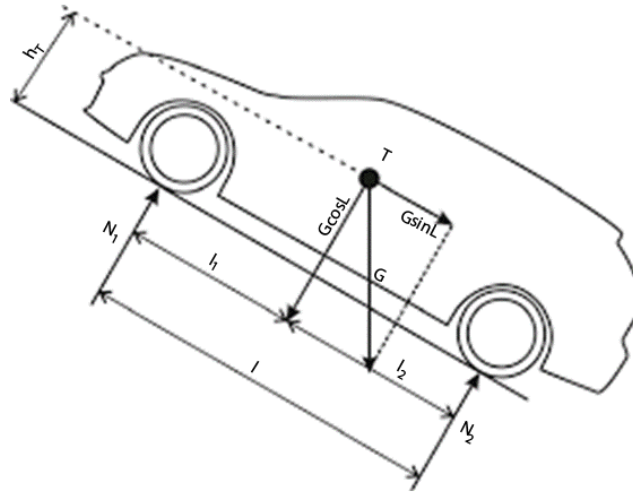
Slika 13. bilanca snage s usponima
izvor: vlastita slika

Na slici 14. prikazan je VI stupanj prijenosa i 0% uspona. Maksimalna brzina koju automobil može razviti u VI stupnju na horizontalnoj podlozi u ovom slučaju je 171km/h. Pri brzini kretanja od 100 km/h prikazana je rezerva snage za ubrzanje, tj. razlika između raspoložive snage motora i potrebne snage za savladavanje otpora pri toj brzini.



Slika 14. rezerva snage
izvor: vlastita slika

10. SILE PRIANJANJA

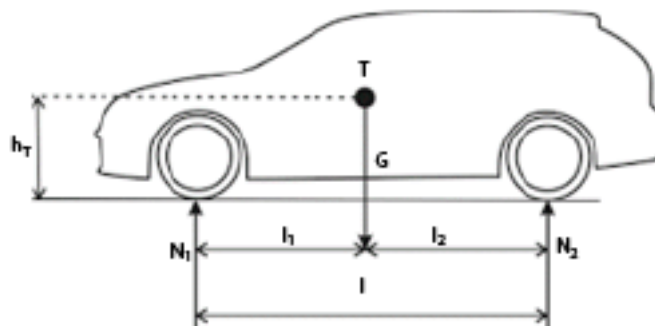


Slika 15. automobil na usponu

izvor: <https://tkdv.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/02/teorija-kretanja-drumskih-vozila-skripta.pdf>

Na slici 15. prikazan je automobil na usponu. Na automobil djeluju sile koje su na slici označene strelicama. Statičke reakcije tla okomite su na podlogu i u slučaju kada ima uspon računaju se prema sljedećim formulama:

$$N_1 = \frac{G \cos \alpha \cdot l_1 - G \sin \alpha \cdot h_t}{l}; \quad N_2 = \frac{G \cos \alpha \cdot l_1 + G \sin \alpha \cdot h_t}{l}$$



Slika 16. automobil na horizontalnoj podlozi

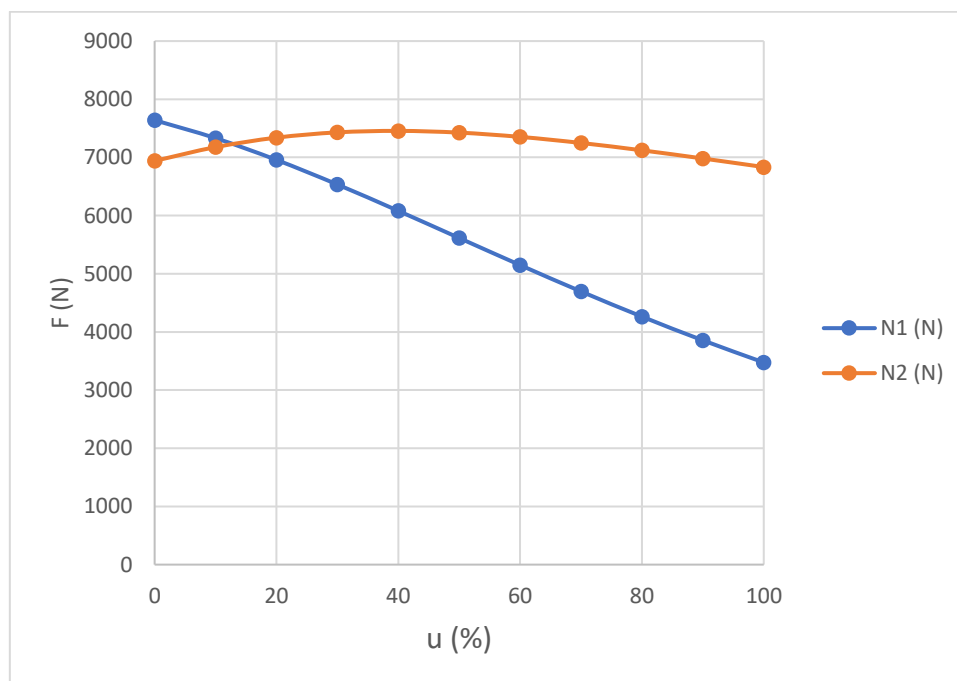
Izvor: <https://tkdv.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/02/teorija-kretanja-drumskih-vozila-skripta.pdf>

Dok se na horizontalnoj podlozi računa prema formuli:

$$N_1 = G \frac{l_2}{l}; N_2 = G \frac{l_1}{l}$$

u (%)	α (°)	N ₁ (N)	N ₂ (N)
0	0,0	7640	6940
10	5,7	7331	7177
20	11,3	6957	7340
30	16,7	6535	7430
40	21,8	6081	7456
50	26,6	5615	7426
60	31,0	5149	7353
70	35,0	4696	7248
80	38,7	4263	7122
90	42,0	3856	6982
100	45,0	3475	6834

Tablica 9.



Slika 17. sile pritanjanja na usponima
izvor: vlastita slika

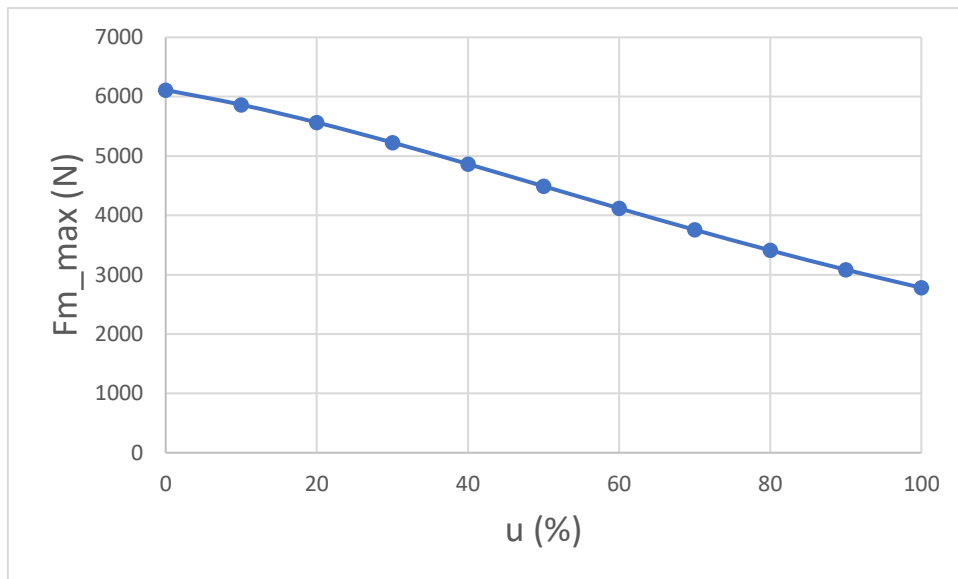
Iz tablice 9. se vidi da su vertikalne statičke reakcije tla na horizontalnoj podlozi $N_1 = 7640 \text{ N}$ i $N_2 = 6940 \text{ N}$. Tablica također prikazuje vertikalne statičke reakcije za pojedini stupanj uspona. Usponi idu od 0% do 100%. Vertikalne statičke reakcije su potrebne kako bi se izračunala maksimalna vučna sila za prednji pogon u ovom slučaju. Maksimalna vučna sila je blokiranje diferencijala bez obzira na koji je pogon automobil, a ona ovisi o vertikalnim statičkim reakcijama kako ne bi došlo do proklizavanja ili prevrtanja automobila. Iz tablice i grafa se vidi kako je sila prijanjanja manja što je uspon veći.

Računa se prema formulama:

- Prednji pogon - $Fm_{max} = N_1 \cdot \varphi$
- Zadnji pogon - $Fm_{max} = N_2 \cdot \varphi$
- Pogon 4x4 - $Fm_{max} = (N_1 + N_2) \cdot \varphi$

		Pogon
		Prednji
u (%)	α (°)	Fm_max (N)
0	0,0	6112
10	5,7	5865
20	11,3	5566
30	16,7	5228
40	21,8	4865
50	26,6	4492
60	31,0	4119
70	35,0	3757
80	38,7	3411
90	42,0	3084
100	45,0	2780

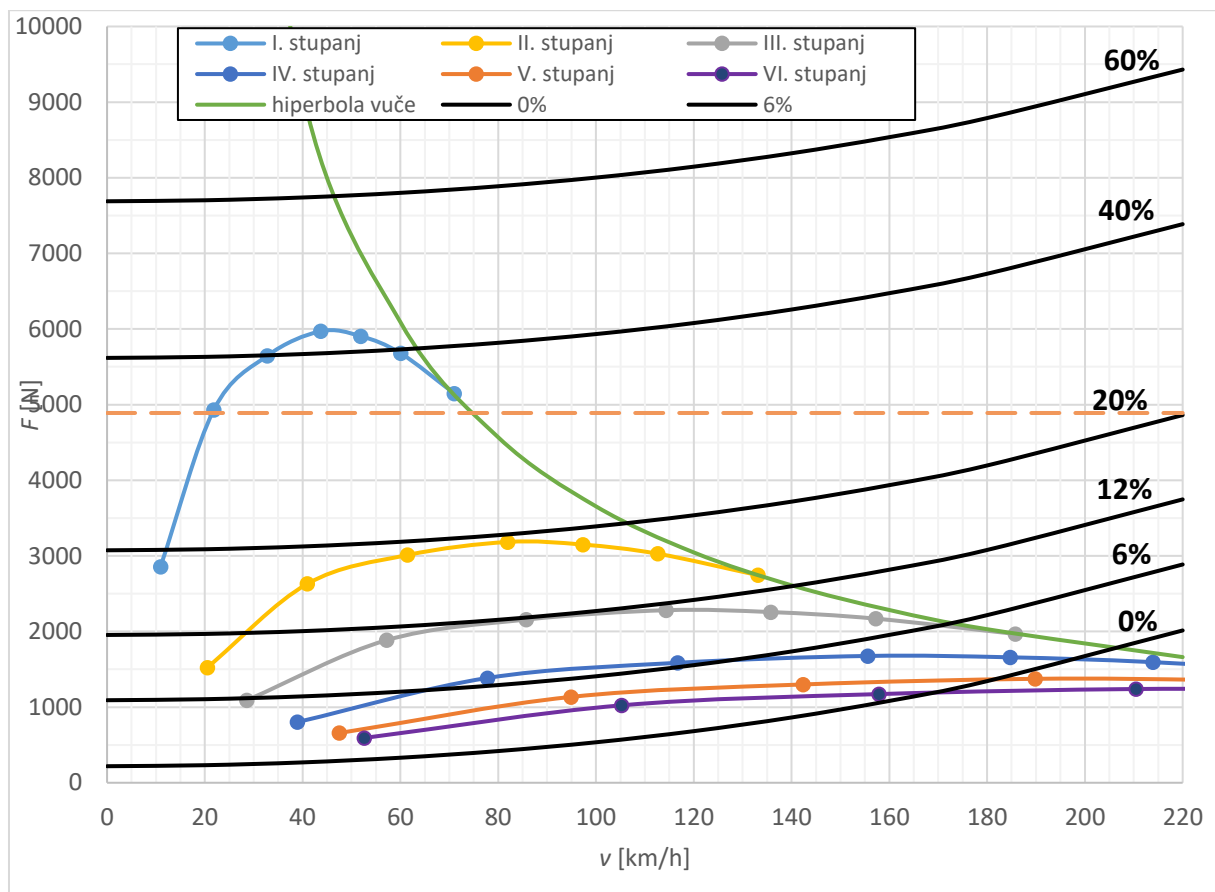
Tablica 10.



*Slika 18. maksimalna vučna sila
Izvor: vlastita slika*

11. VUČNI DIJAGRAM

Vučni dijagram je najvažniji dio ovog proračuna koji objedinjuje na jednom mjestu ukupne sile otpora pri različitim usponima, idealnu hiperbolu vuče, vučne sile u pojedinim stupnjevima prijenosa, te silu prijanjanja na horizontalnoj podlozi. Iz njega se mogu zaključiti bitne karakteristike vozila koje su opisane u daljnjem tekstu.



Slika 19. Vučni dijagram
Izvor: vlastita slika

Može se komentirati kako je teorijska maksimalna brzina 225 km/h gdje se siječe idealna hiperbola i horizontalna podloga. Na horizontalnoj liniji 0% moguće razviti najveću brzinu od 197 km/h u IV. stupnju ubrzanja. Dalje vidi da na 6% uspona najveća brzina koju može postići je 165 km/h u III. stupnju ubrzanja, dok na 12% linija uspona i II. stupanj ubrzanja se poklapaju ali nigdje se ne sijeku da bi mogao odrediti koja je točno brzina maksimalna. Na usponu od 20% nema stupanj uspona koji se siječe s stupnjem ubrzanja kao i kod uspona od 60%. Još ostaje komentirati stupanj uspona od 40% koji se siječe sa I. stupnjem ubrzanja na brzini od 60 km/h. Svaki stupanj prijenosa se dodiruje s idealnom hiperbolom vuče što znači da je kapacitet

motora dobro iskorišten. Maksimalna sila prijanjanja iznosi 4889,5 N što znači da se na podlogu mogu prenijeti gotovo sve vučne sile, izuzev vučne sile u prvom stupnju prijenosa pri brzinama od 20 do 75 km/h. Prijenos vučne sile na podlogu u prvom stupnju prijenosa može se osigurati sa smanjenom dobavom motora, tj. ne potpunim pritiskanjem papučice gasa u prvom stupnju prijenosa.

12. UBRZANJE

Ubrzanje je promjena njegove brzine tijekom vremena i ključni je faktor u vučnom proračunu. Kada automobil ubrzava, motor mora proizvesti dodatnu snagu kako bi prevladao ne samo stalne otpore kao što su aerodinamički otpor i otpor kotrljanja, već i inerciju vozila. Za izračunati ubrzanje automobila potreban je dinamički faktor. Posebno se računa za svaki stupanj prijenosa i koristimo težinu vozila i odnos motorne vučne sile na kotačima.

$$D = \frac{F_v - F_z}{G}$$

Kada smo dobili dinamički faktor možemo izračunati ubrzanje automobila prema formuli:

$$a = \frac{D - f}{\delta} g$$

Faktor rotirajućih masa za svaki stupanj prijenosa računa se po formuli:

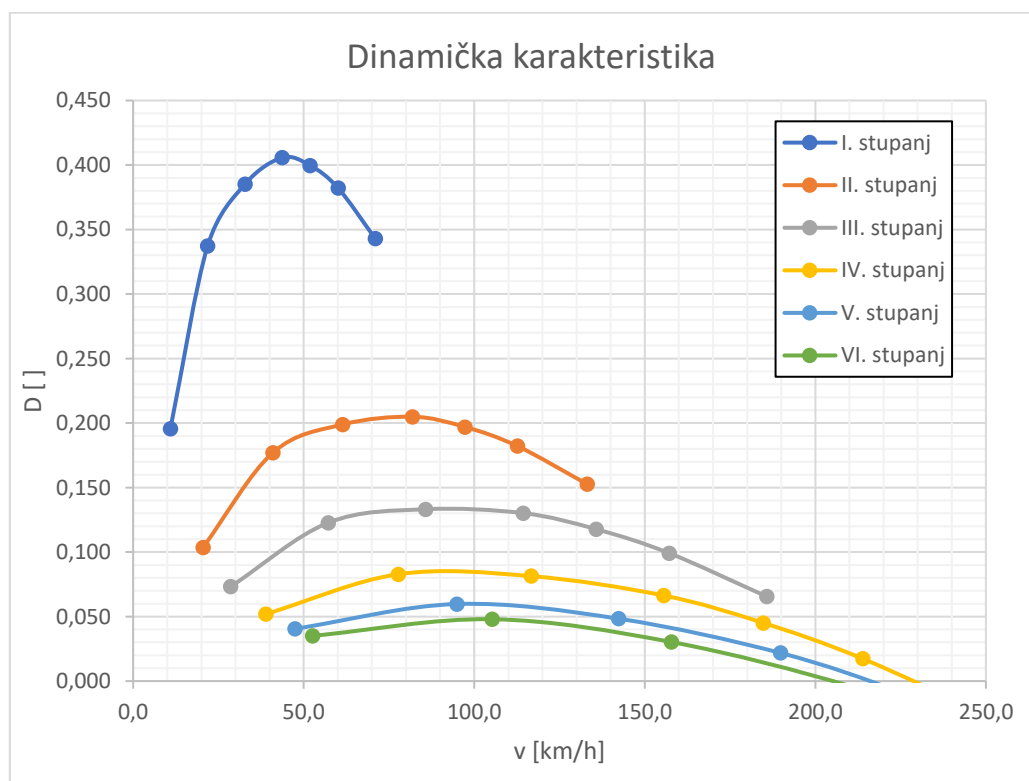
$$\delta = 1,03 + 0,0018 \cdot i_{tr}^2$$

Faktor rotirajućih masa	
$\delta(I)=$	1,250
$\delta(II)=$	1,092
$\delta(III)=$	1,062
$\delta(IV)=$	1,047
$\delta(V)=$	1,042
$\delta(VI)=$	1,039

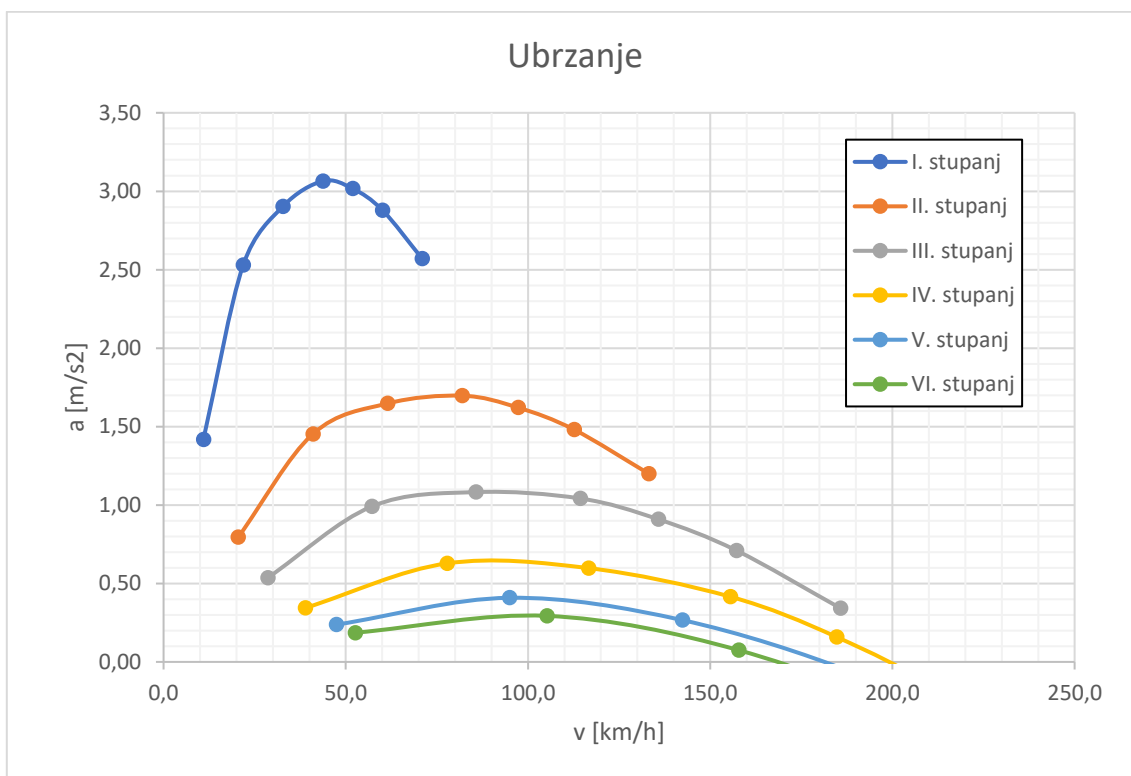
Tablica 11.

n (o/min)	v (km/h)	F _m (N)	F _z (N)	f	D	a (m/s ²)	v (km/h)	F _m (N)	F _z (N)	f	D	a (m/s ²)
I. stupanj						II. stupanj						
1000	10,9	2855	3,5	0,015	0,196	1,42	20,5	1523	12,3	0,015	0,104	0,79
2000	21,8	4932	14,0	0,015	0,337	2,53	41,0	2630	49,2	0,015	0,177	1,45
3000	32,8	5646	31,5	0,015	0,385	2,90	61,4	3011	110,7	0,015	0,199	1,65
4000	43,7	5970	56,0	0,015	0,406	3,06	81,9	3184	196,8	0,016	0,205	1,70
4750	51,9	5905	78,9	0,015	0,400	3,02	97,3	3149	277,5	0,016	0,197	1,62
5500	60,1	5678	105,8	0,015	0,382	2,88	112,6	3028	372,0	0,017	0,182	1,48
6500	71,0	5148	147,8	0,016	0,343	2,57	133,1	2746	519,6	0,019	0,153	1,20
III. stupanj						IV. stupanj						
1000	28,6	1091	23,9	0,015	0,073	0,54	38,9	802	44,3	0,015	0,052	0,34
2000	57,2	1885	95,8	0,015	0,123	0,99	77,8	1385	177,4	0,016	0,083	0,63
3000	85,7	2158	215,5	0,016	0,133	1,08	116,7	1586	399,1	0,018	0,081	0,60
4000	114,3	2282	383,2	0,017	0,130	1,04	155,6	1677	709,5	0,022	0,066	0,42
4750	135,7	2257	540,3	0,019	0,118	0,91	184,7	1658	1000,6	0,028	0,045	0,16
5500	157,2	2170	724,4	0,022	0,099	0,71	213,9	1595	1341,5	0,038	0,017	0
6500	185,8	1967	1011,8	0,029	0,066	0,34	252,8	1446	1873,6	0,059	0	0
V. stupanj						VI. stupanj						
1000	47,5	657	66,0	0,015	0,041	0,24	52,6	593	81,2	0,015	0,035	0,19
2000	94,9	1135	264,1	0,016	0,060	0,41	105,2	1024	324,7	0,017	0,048	0,29
3000	142,4	1299	594,2	0,020	0,048	0,27	157,8	1172	730,5	0,022	0,030	0,07
4000	189,8	1374	1056,3	0,030	0,022	0	210,5	1239	1298,6	0,037	0	0
4750	225,4	1359	1489,5	0,043	0	0	249,9	1226	1831,3	0,057	0	0
5500	261,0	1307	1997,1	0,065	0	0	289,4	1179	2455,2	0,090	0	0
6500	308,4	1185	2789,3	0,112	0	0	342,0	1069	3429,2	0,160	0	0

Tablica 12.



Slika 20. dinamička karakteristika
Izvor: vlastita slika



Slika 21. ubrzanje
Izvor: vlastita slika

Maksimalni uspon u pojedinom stupnju prijenosa				
	Dmax	f	u [%]	α [°]
I. st	0,406	0,015	39,0%	21,32
II. st	0,205	0,016	18,9%	10,70
III. st	0,133	0,016	11,7%	6,68
IV. st	0,081	0,018	6,4%	3,65
V. st	0,060	0,016	4,3%	2,48
VI. st	0,048	0,017	3,1%	1,78
Maksimalni uspon prije prevrtanja				
			u [%]	α [°]
			280,3%	70,4
Maksimalni uspon prije proklizavanja				
			u [%]	α [°]
			35,2%	19,4

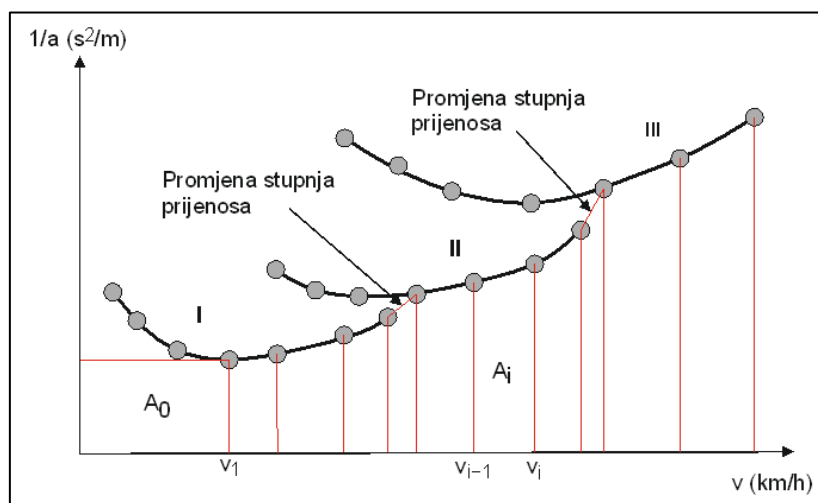
Tablica 13.

U tablici se vidi dinamički faktor i koeficijent otpora kotrljanja kao i maksimalni usponi za pojedini stupanj prijenosa prikazani u postotcima i u kutovima. U I. stupnju prijenosa najveći uspon koji automobil može prijeći je 39,0%, svaki sljedeći stupanj prijenosa ima manji postotak koji je moguće savladati u većem stupnju prijenosa brzine. Iz tablice se također može zaključiti da je maksimalni uspon automobila prije nego dođe do prevrtanja 280,3% što je izračunato prema formuli:

$$tg\alpha = \frac{l_z}{h_T}$$

Također u tablici je vidljiv i maksimalni stupanj uspona prije proklizavanja automobila koji iznosi 35,2% a računa se prema formuli za prednji pogon kotača:

$$tg\alpha = \frac{\varphi l_z - fl}{l + \varphi h_T}$$



Slika 22. Određivanje vremena za prijeđeni put ubrzanja
Izvor: vlastita fotografija

Slika 22. prikazuje kako se može izračunati potrebno vrijeme za ubrzanje. U daljnjem testu prikazat će se kako izračunati vrijeme ubrzanja ovog automobila do brzine od 100km/h. Kod izračuna vremena za ubrzanje vozila pretpostavlja se da stupnjevi prijenosa mijenjaju u viši stupanj u trenutku kad se postigne maksimalna brzina u tom stupnju, također pretpostavlja se da automobil neće proklizati.

Vrijeme ubrzanja $V_0 = 0 \text{ km/h}$ do V_1 se računa prema formuli (površina pravokutnika):

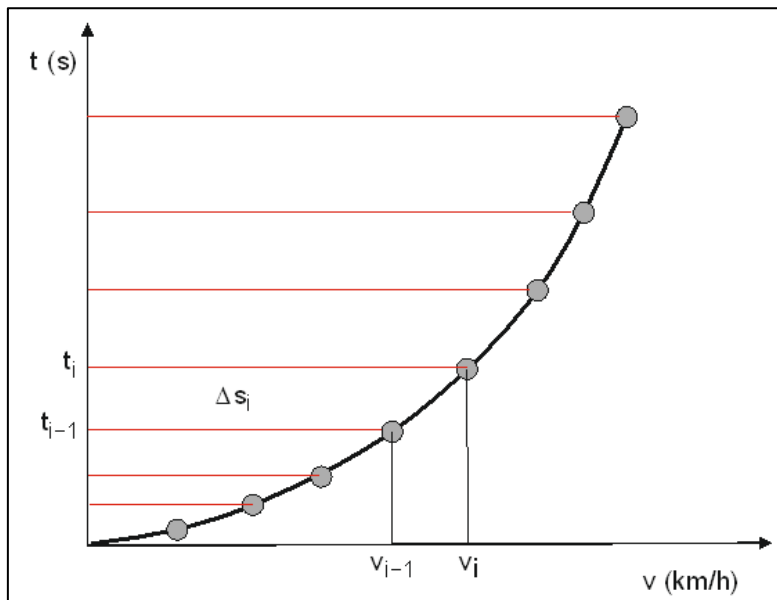
$$\Delta t_0 = v_1 \cdot \frac{1}{a_1}$$

Vrijeme ubrzanja od V_{i-1} do v_i se računa prema formuli (površina trapeza):

$$\Delta t = \frac{V_i - V_{i-1}}{3,6} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{a_i} + \frac{1}{a_{i-1}} \right)$$

Ukupno vrijeme ubrzanja računa se od $V = 0 \text{ km/h}$ do V_1 prema formuli:

$$t = \int_0^v \frac{1}{a} \cdot dv \approx \sum A_i = \sum (v_i - v_{i-1}) \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{a_i} + \frac{1}{a_{i-1}} \right)$$



Slika 23. Određivanje prijeđenog puta
Izvor: vlastita slika

Da bi izračunali prijeđeni put za vrijeme ubrzanja od V_{i-1} do V_1 potrebna je formula:

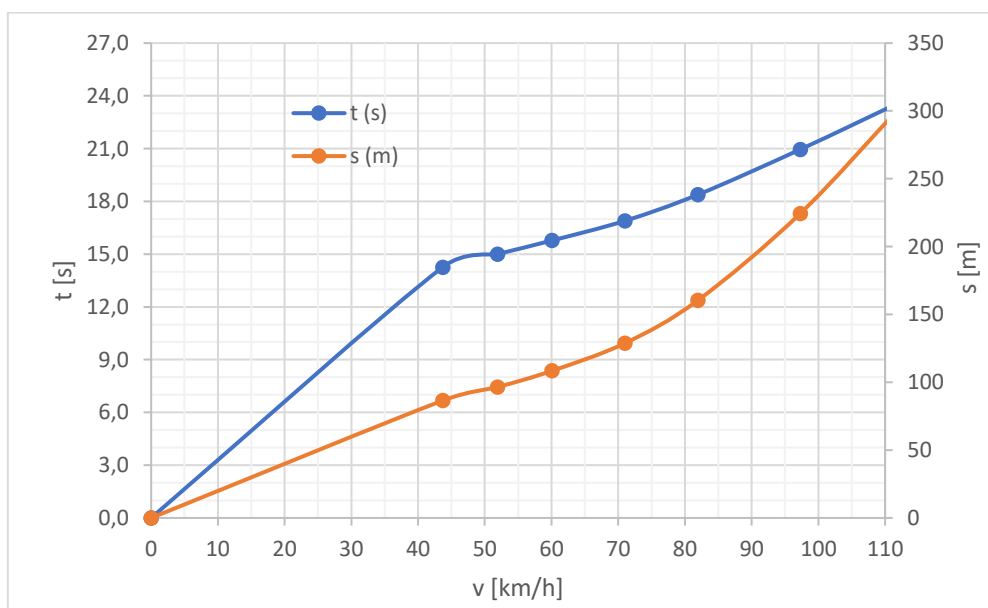
$$\Delta s_i = (t_i - t_{i-1}) \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{v_i + v_{i-1}}{3,6} \right)$$

Ukupan prijeđeni put od $V=0$ do V_1 izračunavamo po formuli:

$$s = \sum \Delta s_i$$

St. prijenosa	v (km/h)	1/a (s ² /m)	Δt (s)	t (s)	Δs (m)	s (m)
	0	0	0,0	0,0	0	0
I. st.	43,7	0,326	14,255	14,255	86,50	86,50
	51,9	0,331	0,748	15,004	9,93	96,43
	60,1	0,347	0,772	15,776	12,01	108,44
	71,0	0,389	1,117	16,893	20,34	128,77
II.st.	81,9	0,589	1,485	18,378	31,54	160,31
	97,3	0,617	2,573	20,952	64,05	224,36
	112,6	0,675	2,757	23,709	80,38	304,74

Tablica 14.



Slika 24. Ubrzanje vozila do 100 km/h
Izvor: vlastita slika

Tablica prikazuje put i vrijeme potrebno da bi automobil napravio ubrzanje od 0 km/h do 100 km/h zapravo u ovom slučaju automobilu je potrebno 14,225 s da krene iz točke u prvom stupnju prijenosa gdje je najveće ubrzanje (odnosno najmanji 1/a) od 43,7 km/h, a put koji prijeđe za to vrijeme je 86,50 m. Da bi automobil postigao brzinu preko 100 km/h potrebno je vrijeme od 23,709 s i put od 304,74 m a brzina koju u tom trenutku postiže je 112,6 km/h.

13. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je vučni proračun za vozilo marke Mazda 6 proizvedeno 2008. godine. Detaljnim analizama i proračunima, uključujući karakteristike vozila, transmisije, koeficijente otpora i snage, dobio je uvid u performanse vozila u različitim uvjetima vožnje.

- Vanjska brzinska karakteristika motora – Prikazane su ključne pokazatelje efektivne snage i momenta motora te njihov utjecaj na performanse vozila.
- Otpore kretanja – Izračunao je ukupne otpore kretanja pri različitim brzinama i nagibima, uključujući otpor kotrljanja, otpor zraka i otpor uspona.
- Snage otpora kretanja – Izračunao je potrebne snage za savladavanje otpora kretanja pri različitim brzinama i nagibima, što je omogućilo detaljan pregled energetske potrebe vozila.
- Motorne vučne sile – Prikazao je vučne sile motora u različitim stupnjevima prijenosa i usporedili ih s idealnom hiperbolom vučne sile.
- Sile prijanjanja – Izračunao je vertikalne statičke reakcije tla i maksimalne vučne sile za prednji pogon, što je važno za razumijevanje stabilnosti i prijanjanja vozila na različitim nagibima.
- Vučni dijagram – Na kraju, prikazao je vučni dijagram koji sumira sve prethodne analize i prikazuje maksimalne brzine i vučne sile vozila u različitim uvjetima.

Ovi proračuni pokazali su da Mazda 6 može postići teoretsku maksimalnu brzinu od 225 km/h na idealnoj horizontalnoj podlozi, dok je stvarna maksimalna brzina na horizontalnoj podlozi 197 km/h u četvrtom stupnju prijenosa. Performanse vozila značajno opadaju s povećanjem nagiba ceste, što je posebno vidljivo pri većim nagibima gdje maksimalne brzine znatno opadaju.

Ovaj rad pruža temeljitu analizu i razumijevanje performansi Mazda 6 vozila, što može biti korisno za daljnje tehničke analize, optimizacije i praktične primjene u području automobilske industrije. Prikazani rezultati omogućuju bolje planiranje i prilagodbu vozila različitim voznim uvjetima, te ističu važnost preciznog proračuna vučnih i otpornih sila za postizanje optimalnih performansi i sigurnosti vozila.

14. LITERATURA

1. Olivari L. (2023), Teorija kretanja vozila: zbirka zadataka i vučni proračun, Veleučilište u Šibeniku, Šibenik
2. Mikulić D. (2020), Motorna vozila, Teorija kretanja i konstrukcija, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica (<https://vvg.hr/app/uploads/2020/03/MOTORNA-VOZILA-2020-Mikulic.pdf>)
3. Stojić B. (2012.), Teorija kretanja drumskih vozila (radna verzija), Novi Sad <https://tkdv.files.wordpress.com/2012/02/teorija-kretanjadrumskih-vozilaskripta.pdf>.
4. Simić D. (1997), Motorna vozila, Beograd: Naučna knjiga, Beograd
5. Mehanika kotrljanja točka <https://tkdv.files.wordpress.com/2012/03/p01-kotrljanje-elasticnogtocka-i-otpor-kotrljanja.pdf>.
6. Otpori kretanja motornog vozila: otpor vazduha, 2011. <http://mehanizacija.ftn.uns.ac.rs/wpcontent/uploads/2021/02/DV-TKDV-02-aerodinamika.pdf>.