

Usporedba vučnog proračuna Alfa Romeo 147 i Alfa Romeo Spider

Dujmović, Hrvoje

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:143:154767>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-21**

Repository / Repozitorij:

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



VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU
ODJEL PROMET
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ

Hrvoje Dujmović

USPOREDBA VUČNOG PRORAČUNA
ALFA ROMEO 147 I ALFA ROMEO SPIDER

Završni rad

Šibenik, 2022.

VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU
ODJEL PROMET
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ

USPOREDBA VUČNOG PRORAČUNA
ALFA ROMEO 147 I ALFA ROMEO SPIDER

Završni rad

Kolegij: Teorija kretanja vozila

Mentor(ica): Luka Olivari, mag. ing. mech., pred.

Student(ica): Hrvoje Dujmović

Matični broj studenta(ice): 002319531

Šibenik, lipanj 2022.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

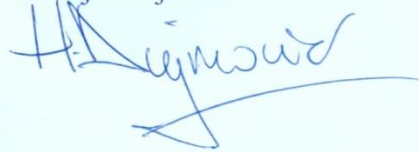
Ja, Hrvoje Dujmović, student Veleučilišta u Šibeniku, JMBAG 0023019531, izjavljujem pod materijalnom i krivičnom odgovornošću i svojim potpisom potvrđujem da je moj završni rad na preddiplomskom stručnom studiju Promet pod naslovom: Usporedba vučnog proračuna Alfa Romeo 147 i Alfa Romeo Spider isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja na objavljenu literaturu, 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 korišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj viskokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Šibeniku, lipanj 2022.

Hrvoje Dujmović

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'H. Dujmović', with a long horizontal flourish extending to the right.

USPOREDBA VUČNOG PRORAČUNA ALFA ROMEO 147 I ALFA ROMEO SPIDER

HRVOJE DUJMOVIĆ

ALBERTA HALLERA 21, 23000 ZADAR

geometarzd@gmail.com

U ovom radu napravljeni su proračuni dinamike vozila za vozila Alfa Romeo 147 i Alfa Romeo Spider. Za svako vozilo izračunata je maksimalna brzina s različitim otporima kretanju i brzina pri različitim prijenosnim omjerima. Također, izračunat je i maksimalni uspon koji vozila mogu svladati ovisno o karakteristikama vozila i uvjetima na cesti. Za svako vozilo a svi izračuni, tablice i dijagrami izrađuju se pomoću računalnog programa MS Excel.

(37 stranica / 23 slika / 12 tablica / 5 literaturnih navoda / jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u digitalnom repozitoriju Knjižnice Veleučilišta u Šibeniku

Ključne riječi: vučni proračun, jednadžba kretanja vozila, alfa romeo

Mentor(ica): Luka Olivari, mag. ing. mech., pred.

Rad je prihvaćen za obranu dana: 15.06.2022.

TRACTION CALCULATION COMPARISON OF ALFA ROMEO 147 AND ALFA ROMEO SPIDER

HRVOJE DUJMOVIĆ

ALBERTA HALLERA 21, 23000 ZADAR

geometarzd@gmail.com

Vehicle dynamics calculations for Alfa Romeo 147 and Alfa Romeo Spider vehicles were made in this paper. For each vehicle, maximum velocity with different motion resistances and velocity at different transmission ratios were calculated. Also, the maximum ascent that vehicles can overcome depending on the characteristics of the vehicle and road conditions have been calculated. For each vehicle a All calculations, tables and diagrams are made using an MS Excel computer program.

(37 pages / 23 figures / 12 tables / 5 references / original in Croatian language)

Thesis deposited in Polytechnic of Šibenik Library digital repository

Keywords: vehicle dynamcs, vehicle equation of motion, alfa romeo

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

Paper accepted: 15.06.2022.

Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. KARAKTERISTIKE VOZILA | 2 |
| 2.1. ALFA ROMEO SPIDER | 2 |
| 2.2. ALFA ROMEO 147 | 5 |
| 3. OTPORI KRETANJU VOZILA..... | 9 |
| 3.1. Sila otpora kotrljanja..... | 10 |
| 3.2. Sila otpora zraka | 14 |
| 3.3. Otpori horizontalne površine | 18 |
| 3.4. Otpori uspona..... | 20 |
| 3.5. Otpor inercije | 24 |
| 4. VUČNE SILE I SNAGA | 26 |
| 3.1. Ukupni otpori | 26 |
| 3.2. Vučne sile..... | 26 |
| 3.3. Vučna snaga..... | 29 |
| 5. ZAKLJUČAK..... | 34 |
| LITERATURA | 35 |
| PRILOZI | 36 |
| Popis tablica..... | 36 |
| Popis slika | 36 |

1. UVOD

Cestovni promet po svojoj definiciji je prometna grana kojom se organizirano obavlja prijevoz ljudi i roba različitim vrstama cestovnih vozila, a sam razvoj cestovnog prometa uvjetovan je razvojem prometne mreže cesta i prometnica. Sukladno tome dolazi i do razvoja različitih vrsta vozila kojima se obavljaju različite djelatnosti iz domene cestovnog prometa. Svaka pojedina vrsta vozila se razlikuje prema svojoj namjeni, obliku, konstrukcijskim i ostalim značajkama, koje omogućavaju njegovu upotrebu zadanim uvjetima.

U današnje doba, cestovna vozila su osnovno sredstvo kretanja, te daljnji razvoj i upotreba iziskuju neprestano istraživanje i pronalaženje novijih, energetski efikasnijih konstrukcijskih rješenja. Današnja vozila su od svojih početaka u 19. Stoljeću do danas znatno napredovala u svakom pogledu.

Jedan od tehničkih aspekata koji se mora sagledati pri konstrukciji vozila je i njegov vučni proračun sila vozila, kojim se utvrđuju različite mogućnosti vozila s obzirom na utjecaj sila koje vozilo mora svladati pri svom kretanju.

U ovom završnom radu će biti izrađena dva proračuna vučnih sila. Jedan za vozilo razvijeno sredinom 20. Stoljeća, Alfa Romeo Spider, proizveden 1973. Godine, a drugi za moderno vozilo, razvijeno početkom 21. Stoljeća, Alfa Romeo 147, proizveden 2008. Godine. Ova dva vozila su odabrana iz razloga što je svako od tih vozila u svojoj vremenskoj epohi predstavljalo vrhunac razvoja tadašnje tehnologije. Njihove glavne razlike su vrijeme proizvodnje, vrsta pogonskog goriva motora, snaga, položaj pogonske osovine, te tehnološka i konstrukcija dostignuća primjenjena u konstrukciji vozila. Uspoređivanjem rezultata dobivenih ovim proračunom se jasno može vidjeti napredak tehnoloških i konstrukcijskih rješenja, koja omogućuju bolja dinamička svojstva modernih vozila.

Proračuni će biti grafički prikazani u tablicama i dijagramima.

Struktura rada...Ovaj rad se sastoji od pet poglavlja, od kojih se prvo i posljednje odnose na uvod i na zaključak. U drugom poglavlju ovog rada su opisane tehničke karakteristike vozila za koje su izrađeni vučni proračuni, te karakteristike puta. U trećem poglavlju su opisane, izračunate, te uspoređene sile i otpori kretanju vozila, a u četvrtom poglavlju su izračunate, prikazane i uspoređene motorne vučne sile i snaga vozila.

2. KARAKTERISTIKE VOZILA

2.1. ALFA ROMEO SPIDER

Alfa Romeo Spider je klasičan kabriolet, dvosjed, sa motorom smještenim naprijed i pogonom na stražnjim kotačima. Prvi puta je predstavljen 1966. Godine na sajmu automobila u Ženevi, te se proizvodio sve do 1994. Godine u ukupno četiri različite generacije. Zanimljivo je da automobil u početku nije bio dobro prihvaćen, te je njegov dizajn u nekim dijelovima smatran besmislenim. Ipak, s obzirom na vrijeme kada je vozilo nastalo, Spider je imao poprilično naprednu tehnologiju kao što su aluminijski blok motora sa dva bregasta vratila, mjenjač sa pet stupnjeva prijenosa, te disk kočnice na sva četiri kotača. Budući će se u ovom završnom radu raditi proračun vučnih sila za vozilo iz druge generacije u nastavku će nešto više biti rečeno o toj seriji.

Druga serija ovih vozila se proizvodila od 1970. Godine pa do 1983. Godine, sa motorima zapremina od 1.3 litre pa 2.0 litre raspona snage od 76 kW(104 KS) do 98 kW(134KS). Modeli ove serije u odnosu na prvu seriju su doživjeli određene dizajnerske promjene, koje su se uglavnom odnosile na vanjski izgled vozila, povećanje zapremine prtljažnika, te dizajnerske promjene u unutrašnjosti vozila. Tijekom godina proizvodnje ove serije vozila, u proizvodnji su bile različite edicije ovoga modela, koje su se razlikovale od standardnih u nekim estetskim detaljima poput čvrstoga podiznog krova, koji je kasnije i serijski ugrađivan na vozila. Od sredine 70ih godina u ove modele se također serijski ugrađuje i dva mala sjedala straga, pa tako sada spider postaje četverosjed. Specijalno izdanje ovoga modela pojavilo se 1978.godine, kada se vozač Formule 1 pridružio Alfa Romeo timu. Ukupno je proizvedeno samo 350 primjeraka ovoga modela, koji je imao promjene kozmetičke naravi.

U ovom završnom radu će biti napravljen proračun vučnih karakteristika vozila opremljenog četverocilindričnim benzinskim motorom zapremine 1.3 litre, snage 76kW(104 KS), okretnog momenta 137 Nm, pri 6000 okr/min



Slika 1: Alfa Romeo Spider , izvor: autor

Tablica 1. Podaci korišteni za vozilo Alfa Romeo Spider

| KARAKTERISTIKE VOZILA ALFA ROMEO SPIDER | | | PRIJENOSNI OMJERI U MJENJAČU | |
|--|----------|-------|---|-------|
| $G =$ | 9900 | N | $i-I =$ | 3.304 |
| $l_1 =$ | 1350 | mm | $i-II =$ | 1.988 |
| $l_2 =$ | 900 | mm | $i-III =$ | 1.35 |
| $h_t =$ | 0.5 | m^2 | $i-IV =$ | 1 |
| $c_x =$ | 0.45 | | $i-V =$ | 0.86 |
| $A =$ | 1.75 | m^2 | PRIJENOSNI OMJER U GLAVNOM PRIJENOSNIKU | |
| $r_d =$ | 0.33 | m | $i-GP =$ | 4.555 |
| KARAKTERISTIKE PUTA | | | STUPANJ ISKORISTIVOSTI TRANSMISIJE | |
| $C_1 =$ | 5.42E-06 | | $\eta_{tr} =$ | 0.9 |
| $C_2 =$ | 1.05E-11 | | | |
| $\varphi =$ | 0.8 | | | |
| $f_0 =$ | 0.02 | | | |

Izvor: https://www.automobile-catalog.com/car/1973/65255/alfa_romeo_spider_1300_junior.html

Gdje je:

| | | |
|-----------|-------------------|---|
| G | [N] | <i>težina vozila</i> |
| l_1 | [mm] | <i>udaljenost prednje osovine od težišta</i> |
| l_2 | [mm] | <i>udaljenost stražnje osovine od težišta</i> |
| h_T | [m] | <i>visina težišta</i> |
| C_x | | <i>koeficijent otpora zraka</i> |
| A | [m ²] | <i>čelna površina automobila</i> |
| r_d | [m] | <i>dinamički radijus kotača</i> |
| f_o | | <i>koeficijent otpora kotrljanja</i> |
| φ | | <i>koeficijent prljanja</i> |

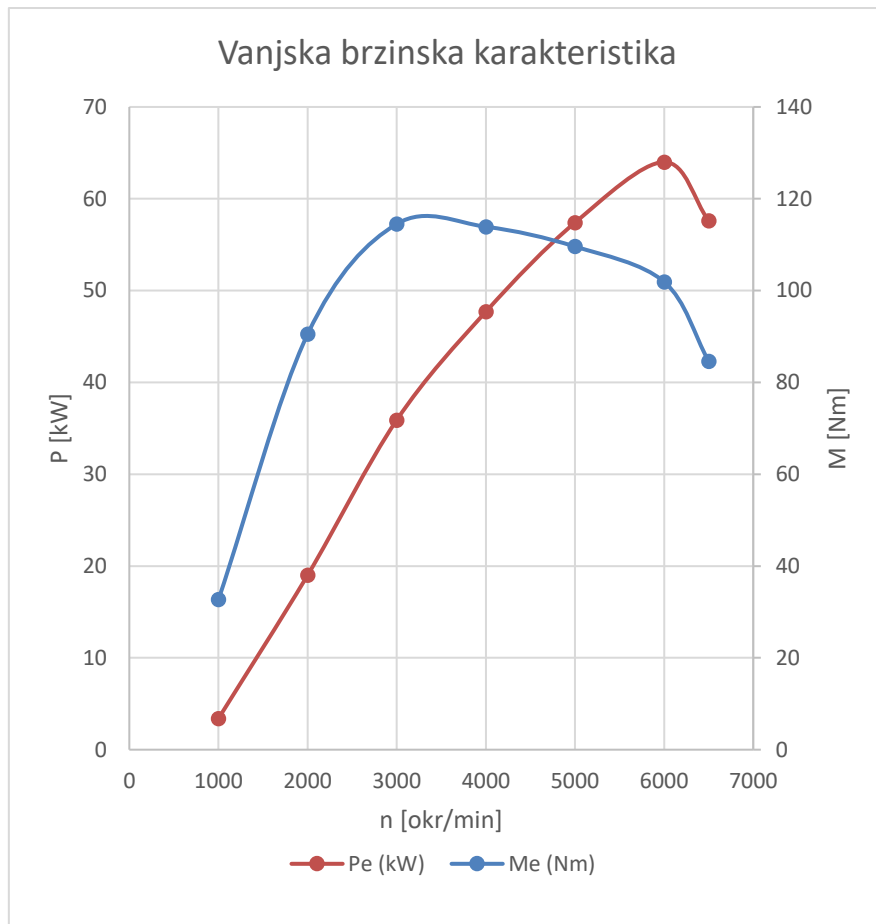
Vrijednosti kao što su težina vozila, koeficijent otpora zraka, čelna površina vozila, te podaci o vanjskoj brzinskoj karakteristici motora korištene prilikom izrade proračuna u ovom radu su preuzete iz službenih podataka proizvođača vozila, dok su ostale vrijednosti pretpostavljene te su kao takve korištene pri izradi proračuna.

Proračun je izrađen s pretpostavkom da se vozilo giba suhom asfaltnom podlogom, te su vrijednosti koeficijenata otpora kotrljanja i prljanja preuzete iz tablica.

Tablica 2. Tablični prikaz vanjske brzinske karakteristike motora Alfa Romeo Spider

| n (o/min) | Me (Nm) | Pe (kW) |
|------------------|----------------|----------------|
| 1000 | 33 | 3,4 |
| 2000 | 91 | 19 |
| 3000 | 115 | 35,9 |
| 4000 | 114 | 47,7 |
| 5000 | 110 | 57,4 |
| 6000 | 102 | 64 |
| 6500 | 85 | 57,6 |

Izvor: https://www.automobile-catalog.com/car/1973/65255/alfa_romeo_spider_1300_junior.html



Slika 2: Grafički prikaz vanjske brzinske karakteristike motora na temelju tablice 2, izvor: autor

2.2. ALFA ROMEO 147

Alfa Romeo 147 spada u male obiteljske automobile. Prvi put je predstavljena 2000. Godine, na Salonu automobila u Torinu, kao zamjena za postojeće modele 145/146, te je odmah sljedeće godine bila proglašena europskim automobilom godine.

U ponudi su bili modeli sa troje i petero vrata, sa 1.6 i 2.0 litreni twin spark četverocilindričnim benzinskim motorima, 3.2 litreni benzinski V6 motor u GTA verziji, te 1.9 litreni turbo dieselskim motorom. Benzinski motori su isporučivali snagu u rasponu od 77kW (105KS) do 184kW (250KS), a dieselski snage od 74kW(100KS) do 125kW (170 KS).

Nakon četiri godine proizvodnje, 2004. Godine napravljen je redizajn modela. Osim klasičnog vanjskog redizajna modela, sada su u ponudi bili noviji i jači dieselski motori, te poboljšan ovjes.

U ovom završnom radu će biti napravljen vučni proračun vozila opremljen turbo dieselskim četverocilindričnim motorom zapremine 1.9 litre, snage 88kW (120KS), okretnog momenta od 280 Nm pri 2000 okr/min.



Slika 3: Alfa Romeo 147, izvor: autor

Tablica 3. Podaci korišteni za vozilo Alfa Romeo 147

| KARAKTERISTIKE VOZILA ALFA ROMEO 147 | | | PRIJENOSNI OMJERI U MJENJAČU | |
|---|----------|----------------|---|-------|
| $G =$ | 12458,7 | N | $i-I =$ | 3.8 |
| $l_1 =$ | 1527.6 | mm | $i-II =$ | 2.235 |
| $l_2 =$ | 1018.4 | mm | $i-III =$ | 1.36 |
| $h_t =$ | 0.5 | m ² | $i-IV =$ | 0.971 |
| $c_x =$ | 0.32 | | $i-V =$ | 0.763 |
| $A =$ | 2.07 | m ² | PRIJENOSNI OMJER U GLAVNOM PRIJENOSNIKU | |
| $r_d =$ | 0.43 | m | $i-GP =$ | 3.35 |
| KARAKTERISTIKE PUTA | | | STUPANJ ISKORISTIVOSTI TRANSMISIJE | |
| $f_0 =$ | 0.02 | | $\eta_{tr} =$ | 0.9 |
| $C_1 =$ | 5.42E-06 | | | |
| $C_2 =$ | 1.05E-11 | | | |
| $\varphi =$ | 0.8 | | | |

Izvor: https://www.automobilecatalog.com/car/2008/1184585/alfa_romeo_147_1_9_jtdm_moving.html

Gdje je:

| | | |
|-----------|-------------------|--|
| G | [N] | težina vozila |
| l_1 | [mm] | udaljenost prednje osovine od težišta |
| l_2 | [mm] | udaljenost stražnje osovine od težišta |
| h_T | [m] | visina težišta |
| C_x | | koeficijent otpora zraka |
| A | [m ²] | čelna površina automobila |
| r_d | [m] | dinamički radijus kotača |
| f_o | | koeficijent otpora kotrljanja |
| φ | | koeficijent prijanjanja |

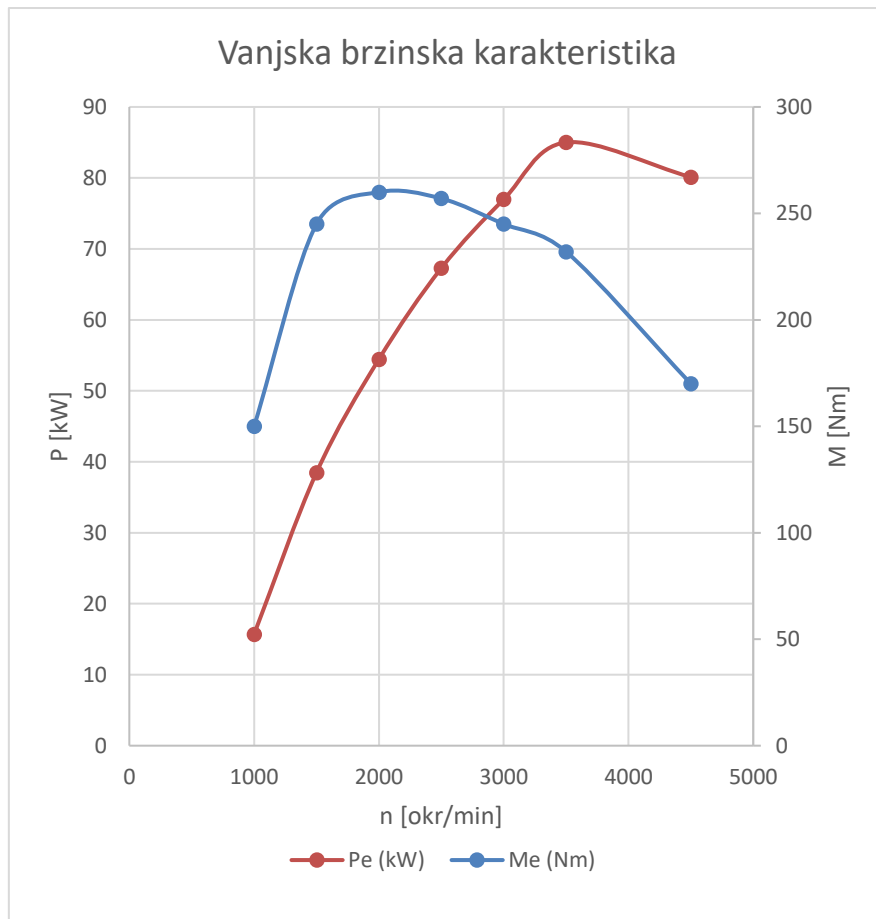
Kao i slučaju kod prvog vozila vrijednosti za težinu vozila, koeficijent otpora zraka, čelna površinu vozila, te podaci o vanjskoj brzinskoj karakteristici motora korištene prilikom izrade proračuna u ovom radu su preuzete iz službenih podataka proizvođača vozila, a ostale vrijednosti pretpostavljene te su kao takve korištene pri izradi proračuna. Također, proračun je izrađen s pretpostavkom da se vozilo gibalo pod istim uvjetima podloge.

Tablica 4. Tablični prikaz vanjske brzinske karakteristike motora Alfa Romeo 147

| n (o/min) | Me (Nm) | Pe (kW) |
|-----------|---------|---------|
| 1000 | 138 | 14,4 |
| 1500 | 245 | 38,4 |
| 2000 | 280 | 58,6 |
| 2500 | 276 | 72,2 |
| 3000 | 263 | 82,5 |
| 3500 | 240 | 88 |
| 4400 | 179 | 82,4 |

Izvor:

https://www.automobilecatalog.com/car/2008/1184585/alfa_romeo_147_1_9_jtdm_moving.html



Slika 4: Grafički prikaz vanjske brzinske karakteristike motora na temelju tablice 3, izvor: autor

3. OTPORI KRETANJU VOZILA

Kretanje motornih vozila se zasniva na vučnoj sili kotača vozila, kojom se svladavaju sile otpora kretanju vozila, te se tako vozilu omogućava kretanje u željenom smjeru, željenom brzinom, tj. ubrzanjem.

Općenito se sile otpora mogu podijeliti na unutrašnje i vanjske sile otpora kretanju vozila.

Unutrašnje sile otpora kretanju nastaju zbog gubitaka u sustavima transmisije, te se one za potrebe proračuna objedinjuju i aproksimiraju stupnjem iskoristivosti transmisije.

Vanjske sile otpora kretanju vozila su sile koje se suprotstavljaju vozilu pri kretanju, te se mogu podijeliti na:

- osnovne sile
- dopunske sile.

Osnovne sile se javljaju kod svakog kretanja vozila, te mu se stalno suprotstavljaju, tj. Djeluju u suprotnom smjeru (npr. Sila otpora kotrljanja (F_k), sila otpora zraka (F_z)), dok se dopunske sile javljaju samo u posebnim slučajevima (npr. sila otpora uspona (F_u), sila otpora inercije (F_i), sila otpora vuče priključnog vozila (F_{pv})).

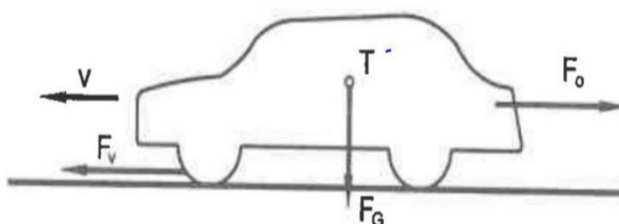
Kako bi se postiglo kretanje vozila, vučna sila vozila mora svladati sile otpora kretanju vozila, odnosno vučna sila mora biti veća ili jednaka sili otpora kretanju vozila.

U slučaju kada je vučna sila jednaka sili otpora, tada se vozilo kreće jednoliko, a onda kada je vučna sila veća od sile otpora, tada će se vozilo ubrzavati.

Otpori koji djeluju na kretanje vozila ovise o više različitih faktora, kao što su stanje i konstrukcija vozila, vrsta i stanje podloge po kojoj se vozilo kreće.

U ovom završnom radu će biti obrađene osnovne sile otpora, koje se javljaju u najopćenitijem slučaju kretanja vozila, a to su:

- sila otpora kotrljanja (F_k)
- sila otpora zraka (F_z)
- sila otpora uspona (F_u)
- sila otpora inercije (F_i)



Slika 5. Prikaz vučne sile i sile otpora, Izvor: (Perše i Višnjić, 2005)

3.1. Sila otpora kotrljanja

Kako bi se kotač mogao ravninski gibati, odnosno kotrljati po određenoj podlozi, potrebno je postojanje tangencijalne, tj. uzdužne sile između kotača i podloge. Za nastanak ove sile potrebno je trenje odnosno prijanjanje između kotača i podloge, tj. sila trenja kotrljanja (otpora kotrljanja).

Ukoliko između kotača i podloge na kojoj se kotač nalazi ne postoji sila trenja, te na taj kotač počne djelovati pogonski moment M , tada će taj kotač zbog djelovanja kutnog ubrzanja kao posljedice pogonskog momenta proklizavati u mjestu. U slučaju da na kotač u stanju mirovanja, djeluje sila u smjeru gibanja, bez postojanja pogonskog momenta, tada bi se kotač translacijski klizao po podlozi. Ako bi pak, na kotač koji miruje djelovala sila u pravcu gibanja, a u slučaju da nema pogonskog momenta, kotač bi se translacijski klizao po podlozi.

U ovisnosti o deformacijama kotača i podloge po kojoj se kotač kotrlja, razlikuju se četiri slučaja kotrljanja:

- kotrljanje apsolutno krutog kotača po apsolutno tvrdoj podlozi
- kotrljanje krutog kotača po deformabilnoj podlozi (deformacije kotača su zanemarivo male u odnosu na deformacije podloge (tračnička vozila, kotrljanje pneumatika visokog tlaka po mekoj podlozi i sl.))
- kotrljanje elastičnog kotača po krutoj podlozi: deformacije podloge su zanemarivo male u odnosu na deformacije kotača (pneumatik - asfalt)
- kotrljanje elastičnog kotača po mekoj podlozi: deformacije kotača i podloge su veličine istog reda (terenska, izvancestovna vozila). (Đuranović, 2016.)

Budući prilikom dodira kotača (pneumatika) i podloge uvijek dolazi do deformacije, postojanje prvog slučaja u praksi nije realno. Također, promotri li se priroda drugoga slučaja kotrljanja kotača po podlozi, uočava se da su deformacije kotača zanemarive u usporedbi sa podlogom, te se taj slučaj koristi u željezničkom prometu kod kojega se šine deformiraju ispod težine krutih kotača.

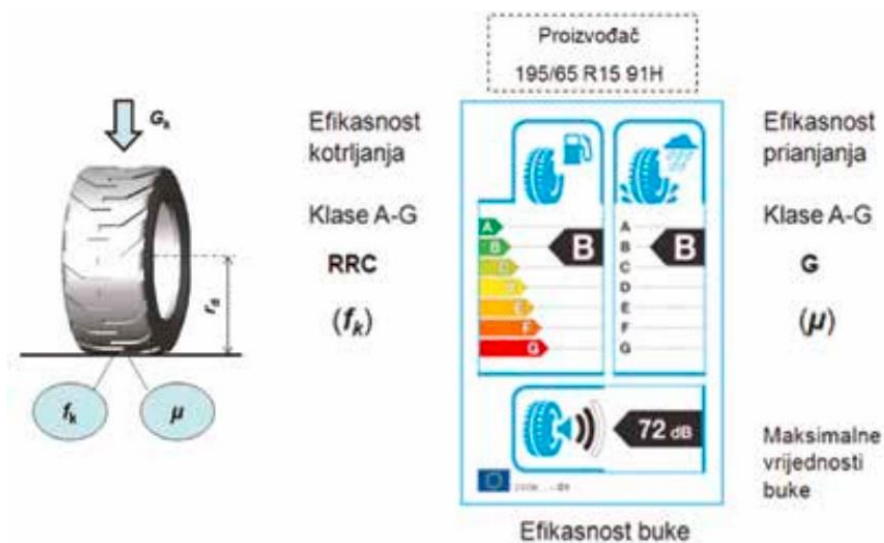
Za izradu proračuna u ovom završnom radu koristimo treći slučaj, kotrljanje elastičnog kotača po krutoj podlozi, pri čemu se javljaju deformacije kotača (pneumatika), a same deformacije podloge su zanemarive.

Prilikom ovakvog kotrljanja, kod kojega dolazi do deformacije kotača, javlja se pojava koja se naziva histereza kotača. Dijelovi gazećeg sloja pneumatika, koji dolaze u kontakt s podlogom se zbijaju, a dijelovi koji izlaze iz kontakta se šire.

Pri tome se utroši više rada na zbijanje pneumatika nego što se dobije njegovim širenjem, tj. dolazi do gubitka uložene energije i povećanja otpora kotrljanja. Do ove pojave dolazi jer pneumatik nije apsolutno elastičan, a pojava histereze se može smanjiti izborom elastičnijeg materijala za izradu pneumatika, odnosno povećanjem tlaka u pneumaticima.

Pri kontaktu pneumatika i podloge, mogu se promatrati dvije sljedeće veličine:

- koeficijent otpora kotrljanja - F_k
- koeficijent prijanjanja - μ



Slika 6. Prikaz koeficijenta otpora kotrljanja i koeficijenta prijanjanja, Izvor: (Mikulić, 2020)

Koeficijent otpora kotrljanja (F_k) ovisi o više parametara, a to su:

- konstrukcijske karakteristike pneumatika
 - izvedba i kvaliteta pneumatika
 - geometrijski oblik pneumatika (promjer i širina)
- eksploatacijske karakteristike pneumatika
 - tlak zraka u pneumaticu
 - brzina vožnje
 - temperatura pneumatika
- izvedba i stanje kolnika
 - otpor klizanja u kontaktnoj površini
 - otpor na neravnoj podlozi (povećava se djelovanje deformacije pneumatika)
 - otpor uranjanja kotača i deformacija podloge (Đuranović, 2016.)

Koeficijent prijanjanja (μ) ovisi o:

- stanju pneumatika
- stanju površine puta (trošnost, suho, vlažno, mokro)

Sila otpora kotrljanju računa se pomoću izraza:

$$F_k = m \cdot g \cdot f \text{ [N]}$$

Gdje je:

F_k – sila otpora kotrljanja

m – masa vozila [kg]

g – sila teža [m/s^2] $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

f – koeficijent otpora kotrljanja

| 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 | suh | 0,30 |
| | vlažan | 0,10 |
| Snijeg | do 50 mm | 0,25 |
| | do 100 mm | 0,38 |
| Led | - | 0,018-0,02 |

Slika 7.. Koeficijent otpora kotrljanja, Izvor: (Mikulić, 2020)

Snaga (P_k) koja je potrebna za svladavanje sile otpora računata se iz sljedećeg izraza:

$$P_k = F_k \cdot v [W]$$

gdje je:

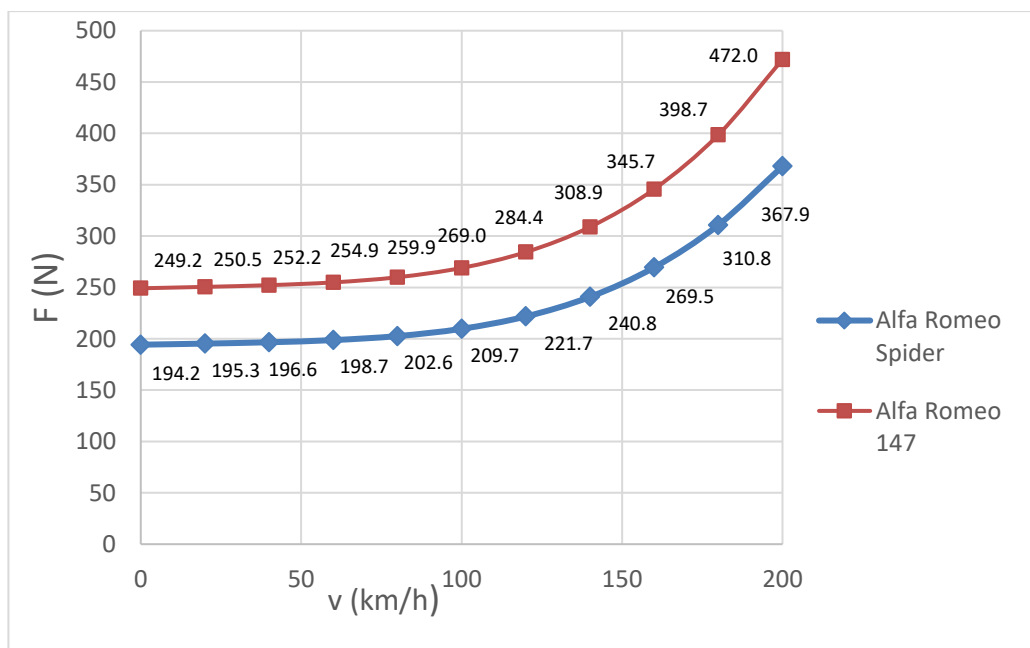
F_k – sila otpora kotrljanja [N]

v – brzina kretanja vozila [m/s]

Tablica 5. Otpor kotrljanja za vozilo Alfa Romeo 147 i Alfa Romeo Spider

| v (km/h) | F _k (N) | v (km/h) | F _k (N) |
|----------|--------------------|----------|--------------------|
| 0 | 249,2 | 0 | 194,2 |
| 20 | 250,5 | 20 | 195,3 |
| 40 | 252,2 | 40 | 196,6 |
| 60 | 254,9 | 60 | 198,7 |
| 80 | 259,9 | 80 | 202,6 |
| 100 | 269,0 | 100 | 209,7 |
| 120 | 284,4 | 120 | 221,7 |
| 140 | 308,9 | 140 | 240,8 |
| 160 | 345,7 | 160 | 269,5 |
| 180 | 398,7 | 180 | 310,8 |
| 200 | 472,0 | 200 | 367,9 |

Izvor: autor



Slika 8. Grafički prikaz otpora kotrljanja, Izvor: autor

3.2. Sila otpora zraka

Poznato je da se kretanju krutog tijela kroz medij (npr. voda, zrak) suprotstavlja sila otpora medija kroz koji se to tijelo kreće. Upravo zbog te pojave, prilikom konstrukcije vozila, nastoji se konstruirati odnosno dizajnirati takav oblik vozila koji će stvarati što manji otpor kretanju, odnosno koeficijent otpora zraka.

Vozilo svojim kretanjem 'gura' zrak ispred sebe, a iza sebe stvara zračne vrtloge. Na taj način se javljaju dvije vrste otpora kretanju:

- otpor oblika, manifestira se velikom razlikom tlaka ispred i iza vozila
- otpor sile trenja, nastaje zbog strujanja čestica zraka po površini vozila

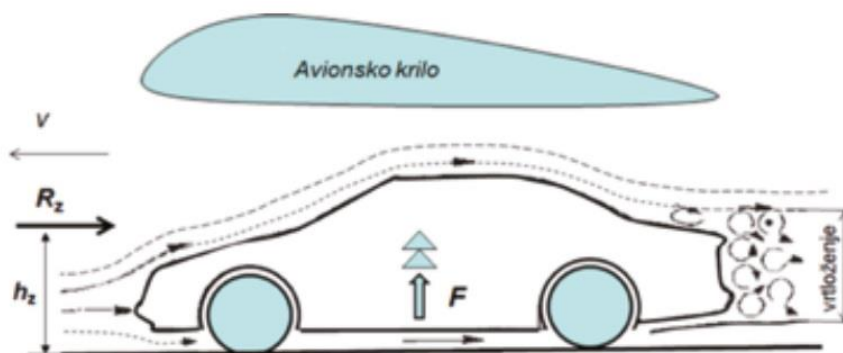
Ova dva otpora zajedno stvaraju silu otpora zraka (F_z).

Osim ova dva navedena otpora pojavljuju se još i unutarnji otpori, koji se stvaraju prolaskom zraka na otvorima za hlađenje i provjetravanje vozila.

Pojava otpora zraka vrlo je značajna, te je jedan od značajnih elementa koji imaju utjecaj na potrošnju goriva, emisiju štetnih plinova, te na dinamičko ponašanje vozila na cesti. Iz tih razloga se nastoje konstruirati što aerodinamičnija vozila.

Najidealniji oblik vozila bi bio onaj koji bi imao oblik kapljice, tj. poprečnog presjeka krila aviona, koji bio bio naprijed zaobljen, a nazad zašiljen.

Međutim, takav automobil je teško konstruirati, a isto tako je nestabilan pri djelovanju sile bočnog vjetra.

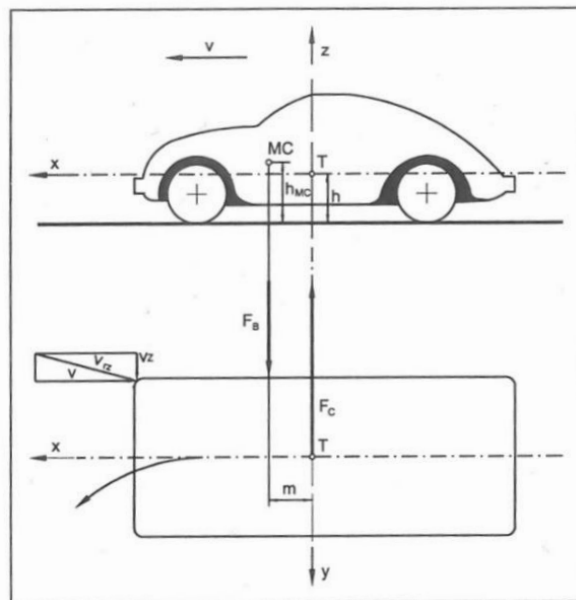


Slika 9. Prikaz strujanja zraka oko vozila, Izvor: (Mikulić, 2020)

Sile bočnog vjetra na vozilo djeluju točku MC, koju nazivamo metacentar. Kod vozila koja bi

bila konstruirana prema obliku kapi, ta točka bi se nalazila ispred točke težišta vozila (T), dok bi se kod vozila koja su što se tiče aerodinamike, nepovoljnije konstruirana, ta bi se točka nalazila iza točke težišta vozila (T).

Kako je vidljivo na slici 6., pri djelovanju bočnog vjetra na vozilo koje je aerodinamički povoljnije konstruirano, pojavljuje se moment $F_b m$, u odnosu na okomitu os vozila koja prolazi kroz njegovo težište te nastoji zakrenuti prednji dio vozila u smjeru djelovanja bočnog vjetra. Događa se da će se zbog elastične deformacije pneumatika vozio prijeći iz pravocrtnog u krivocrtno gibanje, te na taj način omogućit nastajanje centrifugalne sile F_c , usmjerene u suprotnom smjeru djelovanja bočnog vjetra, te će na taj način stvorit moment koji će nastojati skrenuti vozilo u smjeru djelovanja vjetra.

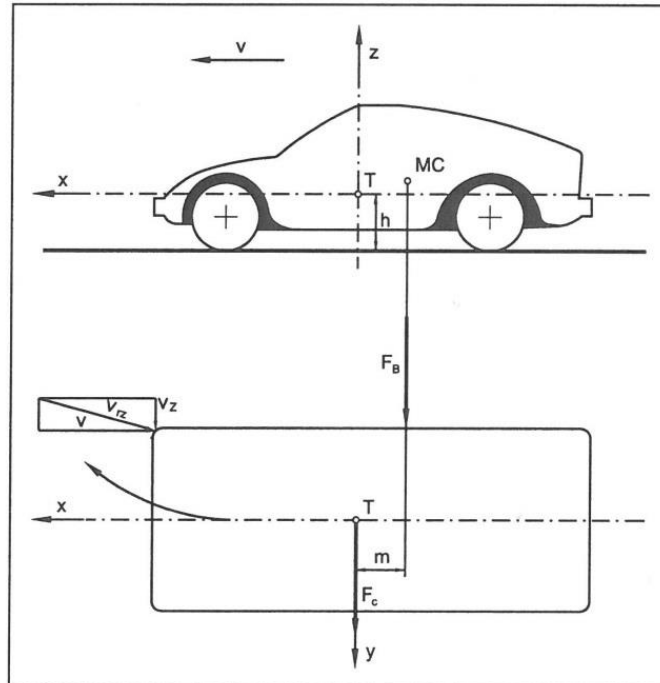


Slika 10. Prikaz sile djelovanja bočnog vjetrana vozilo boljeg aerodinamičkog oblika,

Izvor: (Perše i Višnjić, 2005)

Međutim, ukoliko se metacentar nalazi iza točke težišta, kao kod vozila koje je u smislu aerodinamike nepovoljnije konstruirano, tada pri djelovanju sile bočnog vjetra F_b dolazi do nastanka momenta sile $F_b m$, koji nastoji zakrenuti vozilo u suprotnom smjeru od djelovanja bočnoga vjetra.

Tako nastaje centrifugalna sila F_c , koja će imati isti smjer kao i bočni vjetar, te će nastojati smanjiti započeto skretanje vozila. Može se zaključiti kako smještanje metacentra u stražnji dio školjke vozila, iza točke težišta, povećava njegovu stabilnost pri djelovanju naleta bočnog vjetra.



Slika 11. Prikaz sile djelovanja bočnog vjetrana vozilo boljeg nepovoljnijeg aerodinamičkog oblika, Izvor: (Perše i Višnjić, 2005)

Kako bi u praksi bilo moguće izračunati silu otpora zraka, koristi se sljedeći izraz:

$$F_z = C_x \cdot \rho_z \cdot \frac{v^2}{2} \cdot A \text{ [N]}$$

Gdje je:

C_x – koeficijent otpora zraka

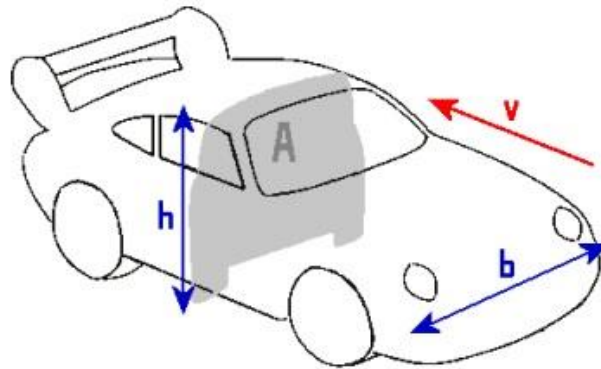
ρ_z – gustoća zraka [kg/m^3]

v – brzina vozila [km/h]

A – čelna površina vozila [m^2]

Koeficijent otpora zraka (C_x) u najvećoj mjeri ovisi o obliku vozila, a određuje se ispitivanjem vozila u aerodinamičkom tunelu.

Čelna površina vozila (A) je definirana dimenzijama visine i širine poprečnoga presjeka vozila, na koju djeluje strujanje zraka, kako je prikazano na slici 7.



Slika 12. Prikaz čelne površine vozila, Izvor: (Đuranović, 2016)

Snaga potrebna za svladavanje otpora zraka se izračunava iz sljedećeg izraza:

$$P_Z = F_Z \cdot v [W]$$

Gdje je:

F_Z – sila otpora zraka [N]

v – brzina vozila [km/h]

Tablica 6. Prikaz sile otpora zraka u ovisnosti o brzini

| Alfa Romeo 147 | |
|----------------|--------------------|
| v (km/h) | F _Z (N) |
| 0 | 0,0 |
| 20 | 12,2 |
| 40 | 48,8 |
| 60 | 110,4 |
| 80 | 196,3 |
| 100 | 306,7 |
| 120 | 441,6 |
| 140 | 601,1 |
| 160 | 785,1 |
| 180 | 993,6 |
| 200 | 1226,7 |

| Alfa Romeo Spider | |
|-------------------|--------------------|
| v (km/h) | F _Z (N) |
| 0 | 0,0 |
| 20 | 14,6 |
| 40 | 58,3 |
| 60 | 131,3 |
| 80 | 233,3 |
| 100 | 364,6 |
| 120 | 525,0 |
| 140 | 714,6 |
| 160 | 933,3 |
| 180 | 1181,3 |
| 200 | 1458,3 |

Izvor : autor

3.3. Otpori horizontalne površine

Otpori kretanju koji se pojavljuju kod horizontalne površine se nazivaju temeljni otpori, a pri gibanju vozila stalno su prisutni otpori kotrljana i otpori zraka.

Tablica 7. Prikaz ukupnih otpora na horizontalnoj podlozi u ovisnosti o brzini

Alfa Romeo 147

| v (km/h) | f | F _k (N) | F _z (N) | F (N) |
|----------|--------|--------------------|--------------------|--------|
| 0 | 0,0200 | 249,2 | 0,0 | 249,2 |
| 20 | 0,0201 | 250,5 | 12,2 | 262,7 |
| 40 | 0,0202 | 252,2 | 48,8 | 301,0 |
| 60 | 0,0205 | 254,9 | 110,4 | 365,3 |
| 80 | 0,0209 | 259,9 | 196,3 | 456,2 |
| 100 | 0,0216 | 269,0 | 306,7 | 575,7 |
| 120 | 0,0228 | 284,4 | 441,6 | 726,0 |
| 140 | 0,0248 | 308,9 | 601,1 | 909,9 |
| 160 | 0,0277 | 345,7 | 785,1 | 1130,8 |
| 180 | 0,0320 | 398,7 | 993,6 | 1392,3 |
| 200 | 0,0379 | 472,0 | 1226,7 | 1698,6 |

Alfa Romeo Spider

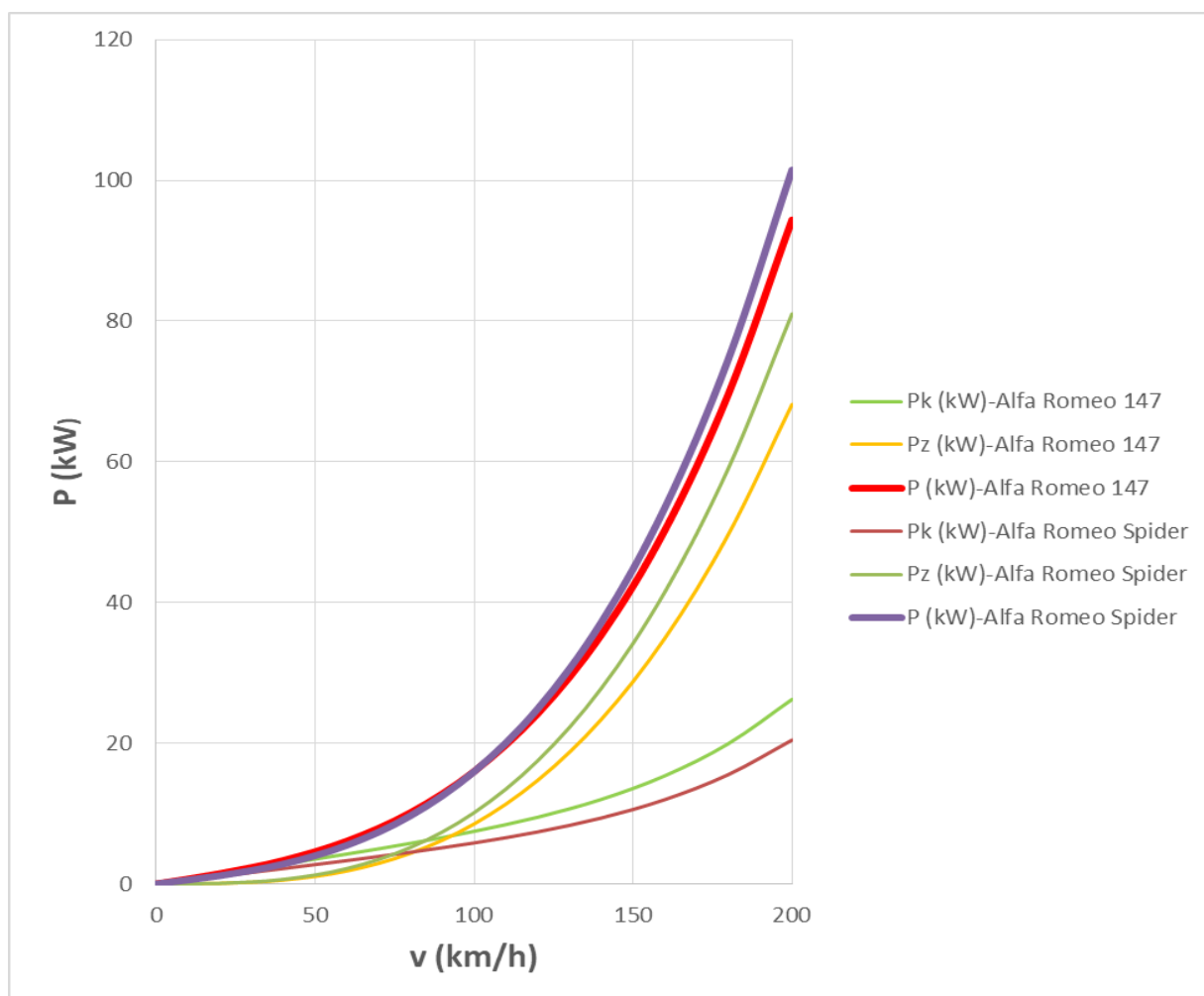
| v (km/h) | f | F _k (N) | F _z (N) | F (N) |
|----------|--------|--------------------|--------------------|--------|
| 0 | 0,0200 | 194,2 | 0,0 | 194,2 |
| 20 | 0,0201 | 195,3 | 14,6 | 209,9 |
| 40 | 0,0202 | 196,6 | 58,3 | 254,9 |
| 60 | 0,0205 | 198,7 | 131,3 | 330,0 |
| 80 | 0,0209 | 202,6 | 233,3 | 436,0 |
| 100 | 0,0216 | 209,7 | 364,6 | 574,3 |
| 120 | 0,0228 | 221,7 | 525,0 | 746,7 |
| 140 | 0,0248 | 240,8 | 714,6 | 955,4 |
| 160 | 0,0277 | 269,5 | 933,3 | 1202,8 |
| 180 | 0,0320 | 310,8 | 1181,3 | 1492,0 |
| 200 | 0,0379 | 367,9 | 1458,3 | 1826,3 |

Izvor: autor

Tablica 8. Snaga potrebna za svladavanje otpora kotrljanja i otpora zraka

| Alfa Romeo 147 | | | | Alfa Romeo Spider | | | |
|----------------|---------|---------|--------|-------------------|---------|---------|--------|
| v (km/h) | Pk (kW) | Pz (kW) | P (kW) | v (km/h) | Pk (kW) | Pz (kW) | P (kW) |
| 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 20 | 1,4 | 0,1 | 1,5 | 20 | 1,1 | 0,1 | 1,2 |
| 40 | 2,8 | 0,5 | 3,3 | 40 | 2,2 | 0,6 | 2,8 |
| 60 | 4,2 | 1,8 | 6,1 | 60 | 3,3 | 2,2 | 5,5 |
| 80 | 5,8 | 4,4 | 10,1 | 80 | 4,5 | 5,2 | 9,7 |
| 100 | 7,5 | 8,5 | 16,0 | 100 | 5,8 | 10,1 | 16,0 |
| 120 | 9,5 | 14,7 | 24,2 | 120 | 7,4 | 17,5 | 24,9 |
| 140 | 12,0 | 23,4 | 35,4 | 140 | 9,4 | 27,8 | 37,2 |
| 160 | 15,4 | 34,9 | 50,3 | 160 | 12,0 | 41,5 | 53,5 |
| 180 | 19,9 | 49,7 | 69,6 | 180 | 15,5 | 59,1 | 74,6 |
| 200 | 26,2 | 68,1 | 94,4 | 200 | 20,4 | 81,0 | 101,5 |

Izvor: autor

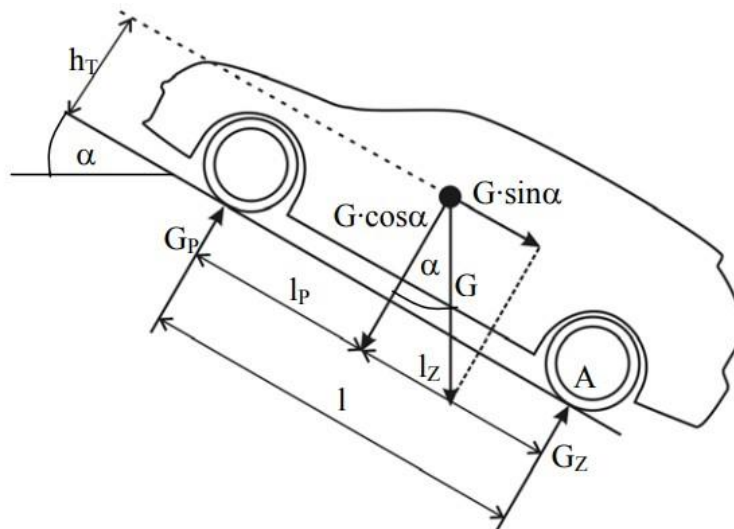


Slika 13. Grafički prikaz snage otpora na horizontalnoj podlozi, Izvor: autor

3.4. Otpori uspona

Sila otpora uspona nastaje onda kad se vozilo giba po podlozi koja se nalazi pod određenim uzdužnim nagibom, odnosno usponom. Uspon se označava oznakom kuta (α) ili je češće izražen postotkom (%), a izračunava se kao odnos visine puta na 100m vodoravnog puta.

Pri takvom gibanju vozilo mora savladati temeljne otpore (otpor kotrljanja te otpor zraka) Prilikom izračunavanja sile otpora zbog uspona, potrebno je silu težine vozila, koja djeluje u težištu, rastaviti na dvije komponente - jednu u pravcu okomitom na podlogu i drugu paralelnu s podlogom, vidljivo na slici 11. Upravo ta sila, koja je paralelna s podlogom predstavlja otpor.



Slika 14 . Prikaz otpora uspona, Izvor: (Stojić, 2012)

Sila otpora uspona je jednaka umnošku težine vozila i kutu uspona, te formula za izračun sile otpora uspona glasi:

$$F_U = G \cdot \sin\alpha \text{ [N]}$$

Gdje je:

F_U – sila otpora uspona [N]

G – težina vozila [N]

α – kut uspona [°]

Snaga potrebna za svladavanje sile otpora uspona se izračunava pomoću izraza:

$$P_z = F_z \cdot v [W]$$

Gdje je:

F_z – sila otpora zraka [N]

v – brzina vozila [km/h]

Tablica 9. Otpori na horizontalnoj podlozi i na usponima

| Alfa Romeo 147 | | | | | | | |
|----------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Uspon | | | | | | |
| u (%)= | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| α (°)= | 0 | 5,7 | 11,3 | 16,7 | 21,8 | 26,6 | 31,0 |
| v (km/h) | F_0 (N) | F_10 (N) | F_20 (N) | F_30 (N) | F_40 (N) | F_50 (N) | F_60 (N) |
| 0 | 249,2 | 1487,6 | 2687,7 | 3818,6 | 4858,4 | 5794,6 | 6623,6 |
| 20 | 262,7 | 1501,2 | 2701,2 | 3832,2 | 4871,9 | 5808,0 | 6637,0 |
| 40 | 301,0 | 1539,4 | 2739,5 | 3870,3 | 4910,0 | 5846,1 | 6675,0 |
| 60 | 365,3 | 1603,7 | 2803,7 | 3934,6 | 4974,1 | 5910,1 | 6738,9 |
| 80 | 456,2 | 1694,6 | 2894,5 | 4025,2 | 5064,7 | 6000,5 | 6829,1 |
| 100 | 575,7 | 1814,0 | 3013,8 | 4144,3 | 5183,5 | 6119,0 | 6947,3 |
| 120 | 726,0 | 1964,3 | 3163,8 | 4294,0 | 5332,7 | 6267,7 | 7095,4 |
| 140 | 909,9 | 2148,1 | 3347,3 | 4476,9 | 5514,9 | 6449,0 | 7275,9 |
| 160 | 1130,8 | 2368,7 | 3567,4 | 4696,2 | 5733,1 | 6666,0 | 7491,5 |
| 180 | 1392,3 | 2630,0 | 3827,9 | 4955,4 | 5990,8 | 6921,9 | 7745,4 |
| 200 | 1698,6 | 2936,0 | 4132,8 | 5258,7 | 6291,9 | 7220,5 | 8041,3 |

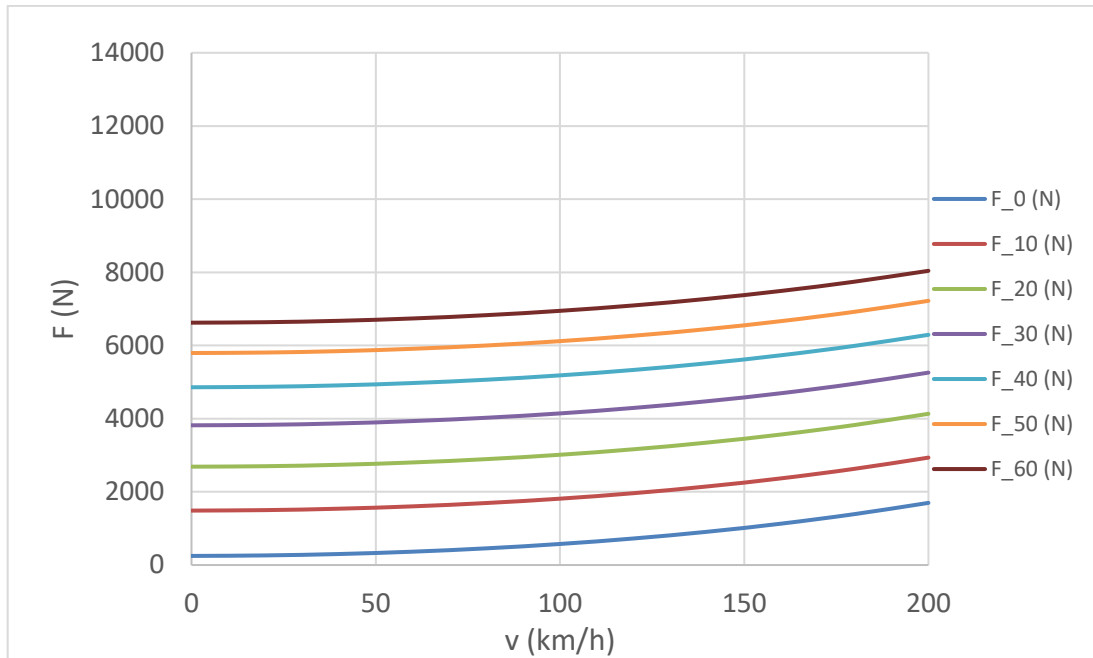
Izvor: autor

Tablica 10. Otpori na horizontalnoj podlozi i na usponima

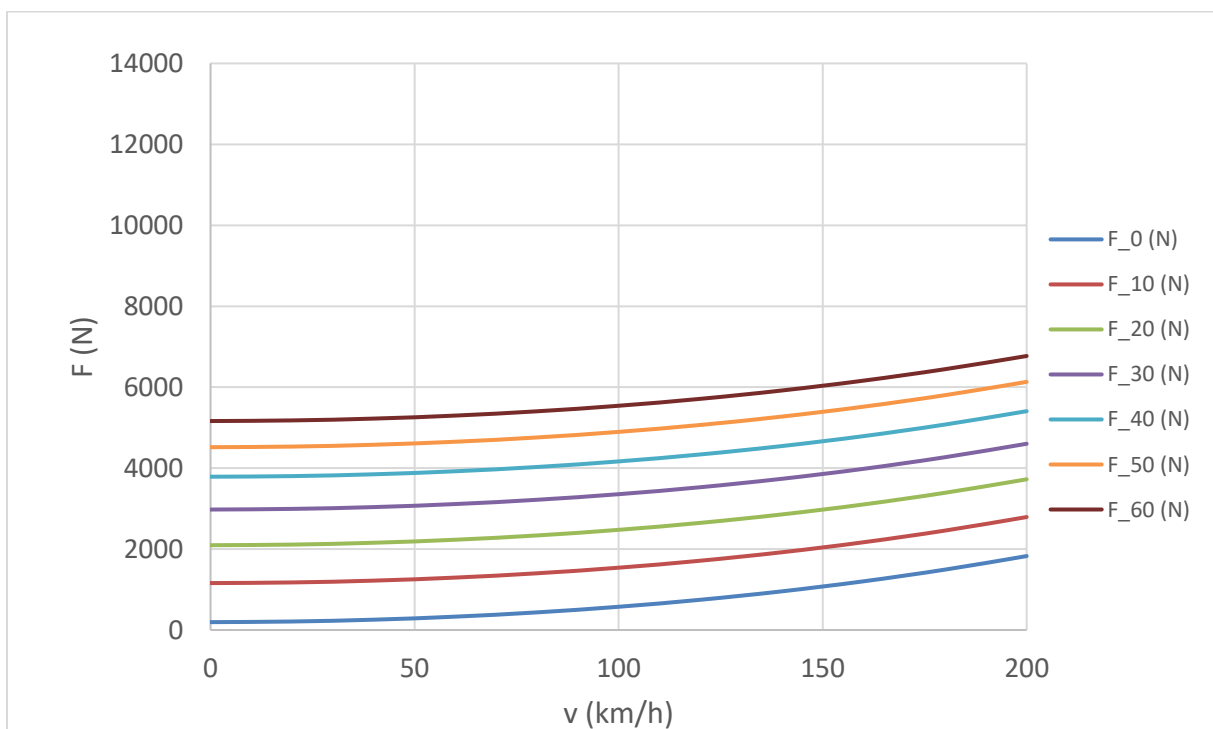
| Alfa Romeo Spider | | | | | | | |
|-------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Uspon | | | | | | |
| u (%)= | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| α (°)= | 0 | 5,7 | 11,3 | 16,7 | 21,8 | 26,6 | 31,0 |
| v (km/h) | F_0 (N) | F_10 (N) | F_20 (N) | F_30 (N) | F_40 (N) | F_50 (N) | F_60 (N) |
| 0 | 194,2 | 1159,6 | 2095,1 | 2976,7 | 3787,3 | 4517,0 | 5163,3 |
| 20 | 209,9 | 1175,3 | 2110,8 | 2992,3 | 3802,8 | 4532,6 | 5178,8 |
| 40 | 254,9 | 1220,3 | 2155,8 | 3037,3 | 3847,8 | 4577,5 | 5223,7 |
| 60 | 330,0 | 1295,4 | 2230,8 | 3112,3 | 3922,7 | 4652,3 | 5298,4 |
| 80 | 436,0 | 1401,3 | 2336,7 | 3218,1 | 4028,4 | 4757,9 | 5403,8 |
| 100 | 574,3 | 1539,6 | 2474,9 | 3356,1 | 4166,2 | 4895,4 | 5541,1 |
| 120 | 746,7 | 1712,0 | 2647,1 | 3528,0 | 4337,8 | 5066,6 | 5711,8 |
| 140 | 955,4 | 1920,5 | 2855,3 | 3735,9 | 4545,1 | 5273,2 | 5917,8 |
| 160 | 1202,8 | 2167,9 | 3102,3 | 3982,2 | 4790,5 | 5517,7 | 6161,2 |
| 180 | 1492,0 | 2456,8 | 3390,6 | 4269,6 | 5076,7 | 5802,5 | 6444,5 |
| 200 | 1826,3 | 2790,8 | 3723,8 | 4601,4 | 5406,9 | 6130,7 | 6770,6 |

Izvor: autor

U tablicama 9. i 10. prikazani su otpori sile uspona u rasponu od 0% do 60%, a sile otpora uspona prikazane su u ovisnosti o brzini gibanja vozila. Analizom podatka iz tablice, može se zaključiti kako sile otpora uspona nisu ovisne o brzini gibanja vozila, nego ovisi o veličini (postoku) uspona, te težini vozila.



Slika 15. Grafički prikaz sile otpora uspona na horizontalnoj podlozi i na usponu za vozilo Alfa Romeo147, Izvor: autor



Slika 16. Grafički prikaz sile otpora uspona na horizontalnoj podlozi i na usponu za vozilo Alfa Romeo Spider, Izvor: autor

Usporede li se podaci iz prethodna dva grafa, može zaključiti kako na vozilo Alfa Romeo 147 djeluje znatno veći otpor, te on na svom maksimalnom usponu iznosi 8757,9 N.

U slučaju kod vozila Alfa Romeo Spider, taj otpor je nešto manji, te na svom maksimalnom usponu iznosi 8585,8 N.

Razlog tome je taj što je prvo vozilo teže od drugoga, pa samim time ima i veći iznos otpora.

Tablica 11. Snaga potrebna za svladavanje otpora na horizontalnoj podlozi i usponu za vozilo Alfa Romeo 147

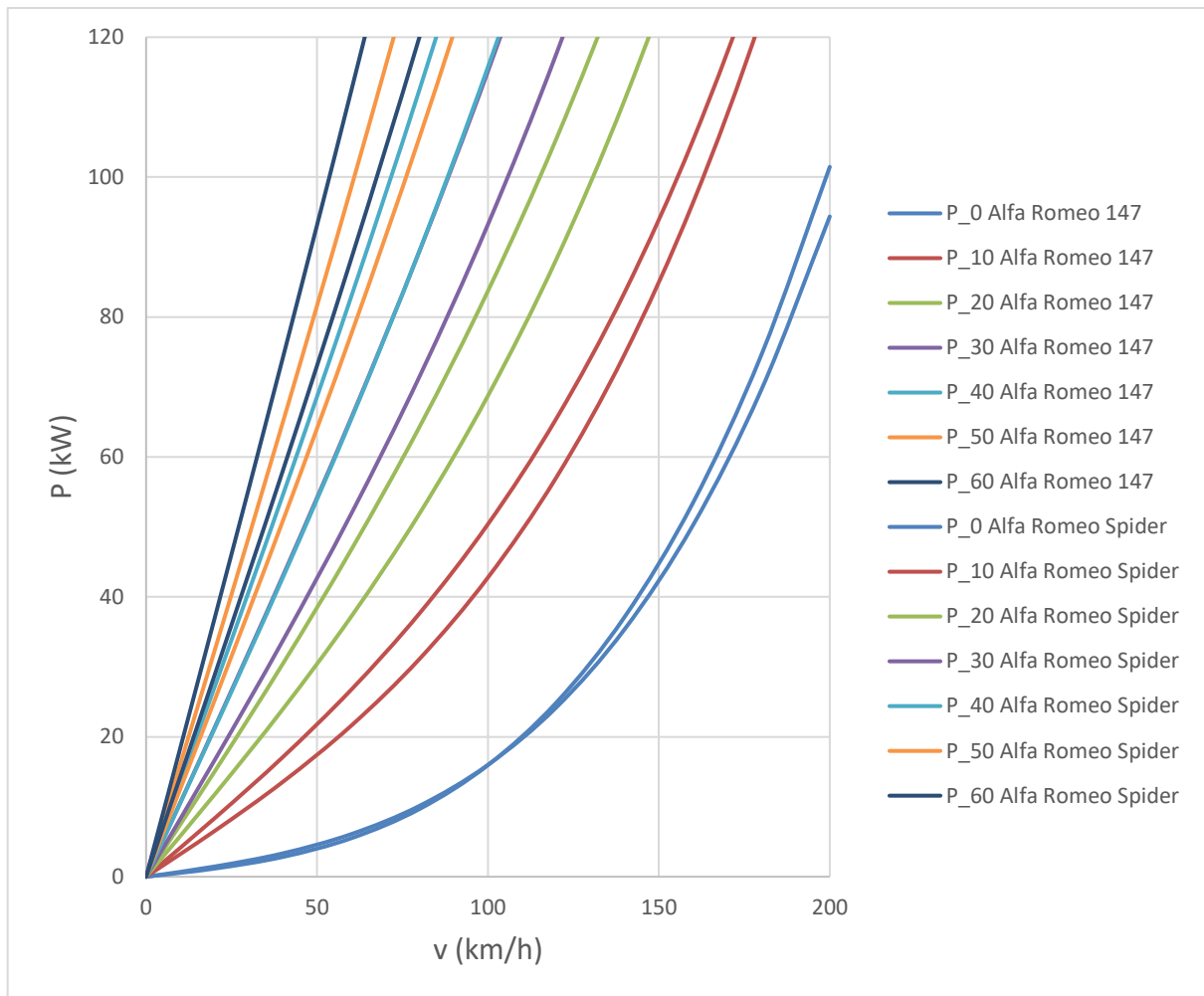
| u (%)= | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| α (°)= | 0 | 5,7 | 11,3 | 16,7 | 21,8 | 26,6 | 31,0 |
| v (km/h) | P_0 | P_10 | P_20 | P_30 | P_40 | P_50 | P_60 |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 20 | 1,46 | 8,34 | 15,01 | 21,29 | 27,07 | 32,27 | 36,87 |
| 40 | 3,34 | 17,10 | 30,44 | 43,00 | 54,56 | 64,96 | 74,17 |
| 60 | 6,09 | 26,73 | 46,73 | 65,58 | 82,90 | 98,50 | 112,32 |
| 80 | 10,14 | 37,66 | 64,32 | 89,45 | 112,55 | 133,34 | 151,76 |
| 100 | 15,99 | 50,39 | 83,72 | 115,12 | 143,99 | 169,97 | 192,98 |
| 120 | 24,20 | 65,48 | 105,46 | 143,13 | 177,76 | 208,92 | 236,51 |
| 140 | 35,39 | 83,54 | 130,17 | 174,10 | 214,47 | 250,80 | 282,95 |
| 160 | 50,26 | 105,28 | 158,55 | 208,72 | 254,80 | 296,27 | 332,95 |
| 180 | 69,61 | 131,50 | 191,39 | 247,77 | 299,54 | 346,09 | 387,27 |
| 200 | 94,37 | 163,11 | 229,60 | 292,15 | 349,55 | 401,14 | 446,74 |

Izvor: autor

Tablica 12. snaga potrebna za svladavanje otpora na horizontalnoj podlozi i usponu za vozilo Alfa Romeo Spider

| u (%)= | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| α (°)= | 0 | 5,7 | 11,3 | 16,7 | 21,8 | 26,6 | 31,0 |
| v (km/h) | P_0 | P_10 | P_20 | P_30 | P_40 | P_50 | P_60 |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 20 | 1,17 | 6,53 | 11,73 | 16,62 | 21,13 | 25,18 | 28,77 |
| 40 | 2,83 | 13,56 | 23,95 | 33,75 | 42,75 | 50,86 | 58,04 |
| 60 | 5,50 | 21,59 | 37,18 | 51,87 | 65,38 | 77,54 | 88,31 |
| 80 | 9,69 | 31,14 | 51,93 | 71,51 | 89,52 | 105,73 | 120,08 |
| 100 | 15,95 | 42,77 | 68,75 | 93,23 | 115,73 | 135,98 | 153,92 |
| 120 | 24,89 | 57,07 | 88,24 | 117,60 | 144,59 | 168,89 | 190,39 |
| 140 | 37,15 | 74,69 | 111,04 | 145,29 | 176,75 | 205,07 | 230,14 |
| 160 | 53,46 | 96,35 | 137,88 | 176,98 | 212,91 | 245,23 | 273,83 |
| 180 | 74,60 | 122,84 | 169,53 | 213,48 | 253,83 | 290,12 | 322,22 |
| 200 | 101,46 | 155,04 | 206,88 | 255,64 | 300,38 | 340,59 | 376,14 |

Izvor: autor



Slika 17. Grafički prikaz snage otpora kretanja na horizontalnoj podlozi i na usponima, Izvor: autor

3.5. Otpor inercije

Do pojave otpora inercije, odnosno inercijalnih sila, dolazi prilikom ubrzavanja ili usporavanja gibanja vozila, odnosno pri svakoj promjeni brzine gibanja.

Pri translacijskom gibanju vozila, ove sile su jednake umnošku mase i ubrzanja odnosno usporavanja vozila, dok pri rotacijskom gibanju ovise o momentu inercije i kutnom ubrzanju, pri čemu su inercijske sile i momenti suprotnog smjera od ubrzavanja vozila.

Sila otpora inercije se računa iz izraza:

$$F_{it} = m \cdot a [N]$$

Gdje je:

m – masa vozila [kg]

a – ubrzanje vozila [m/s^2]

Pri rotacijskom gibanju moment tromosti definiran je formulom koja glasi :

$$M = I_z \cdot \varepsilon = I_z \cdot \frac{d\omega}{dt} [Nm]$$

Gdje je:

I_z – moment tromosti [mm^4]

ε – kutno ubrzanje [s^{-2}]

a – ubrzanje vozila [m/s^2]

m – masa vozila [kg]

Izraz koji se koristi za izračun otpora inercije rotirajućih masa glasi:

$$F_i = m \cdot a \cdot \delta [N]$$

Gdje je:

δ – koeficijent rotirajućih masa [–]

a – ubrzanje vozila [m/s^2]

m – masa vozila [kg]

koji zbog kompliciranosti izračunavanja rotacijskih sila u obzir uzima koeficijent rotirajućih masa δ , koji ovisi prijenosnom odnosu u mjenjaču, te se za taj iznos uvećava inercija translacije.

4. VUČNE SILE I SNAGA

3.1. Ukupni otpori

Kako bi se vozilo moglo kretati, vučna sila mora svladati sve otpore kretanju vozila, prethodno opisane u ovom završnom radu. Pogonska sila mora biti veća ili jednaka od ukupnog otpora kretanju koji djeluju na vozilo.

Ukupni otpori se izračunavaju pomoću sljedećeg izraza:

$$F_0 = F_k + F_Z + F_U + F_{it} \text{ [N]}$$

3.2. Vučne sile

Izračun vučnih sila na vozilu se vrši na pogonskim kotačima vozila i to za svaki stupanj prijenosa posebno. U ovom završnom radu su izrađeni i uspoređene vučne sile za dva vozila, od kojih jedno ima pogon na prednje kotače, a drugo na stražnje kotače.

Za izračun prijenosa snage putem transmisije se koristi sljedeći izraz:

$$i_{tr} = i_{mj} \cdot i_{gp} \cdot i_r$$

Gdje je:

i_{MJ} – prijenosni omjer mjenjača u određenom stupnju prijenosa [–]

i_{gp} – prijenosni omjer glavnog prijenosnika [–]

i_r – prijenosni omjer redukcije [–]

Vučna sila nastaje kao rezultat okretnog momenta motora, koji se pomoću elemenata transmisije dovodi do pogonskih kotača vozila.

Motorna vučna sila se računa iz izraza:

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

Gdje je:

M_e – okretni moment motora [Nm]

i_{tr} – prijenosni omjer mjenjača u određenom stupnju prijenosa [–]

η_{tr} – stupanj iskoristivosti transmisije [–]

r_d – dinamički radijus kotača

Brzina gibanja vozila ovisi o broju okretaja motora te stupnju prijenosa u transmisiji, a njen izračun se vrši iz izraza:

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

Gdje je:

r_d – dinamički radijus kotača

n – broj okretaja o/m

i_{MJ} – prijenosni omjer mjenjača u određenom stupnju prijenosa[–]

i_{gp} – prijenosni omjer glavnog prijenosnika[–]

Idealna vučna sila se prikazuje u F-v dijagramu hiperbolom vuče, te se još naziva i idealnom hiperbolom.

Predstavlja teorijsku ovisnost vučne sile na kotaču u ovisnosti o brzini kretanja, uz pretpostavku da je najveća snaga motora P_{max} dostupna u cijelom području brzina kretanja vozila i uz uzimanje u obzir gubitaka u transmisiji.(Đuranović, 2016.)

Izračun vučne snage vrši se iz izraza:

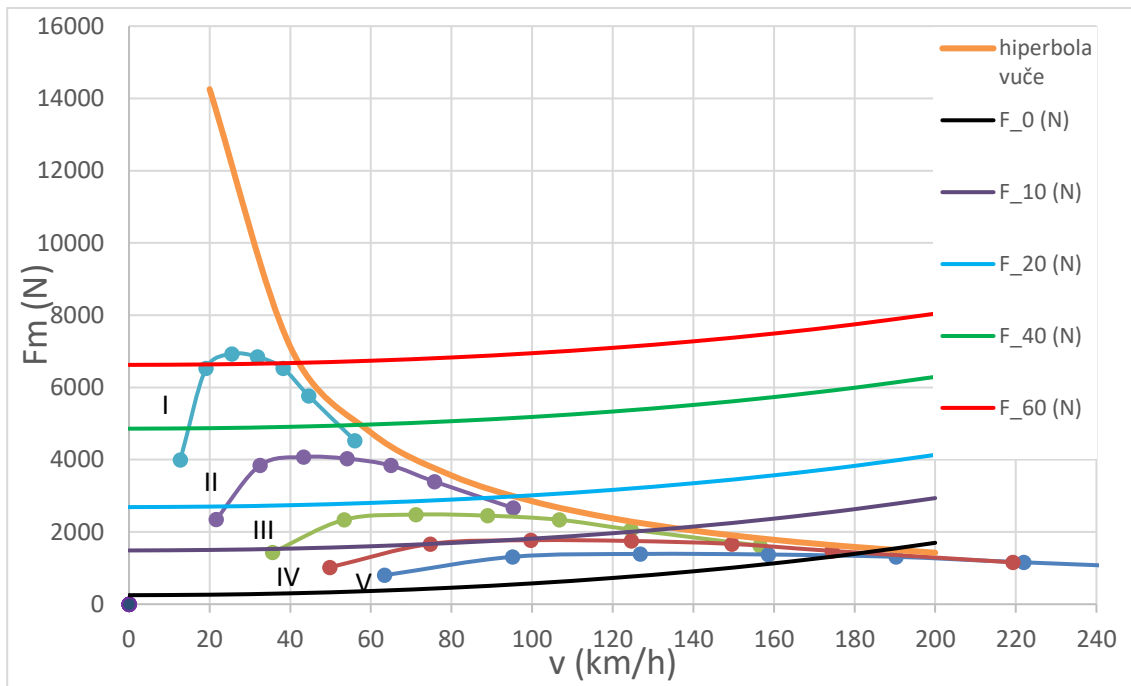
$$P_{e_{max}} = \frac{F_v \cdot v}{\eta_{tr}}$$

Gdje je :

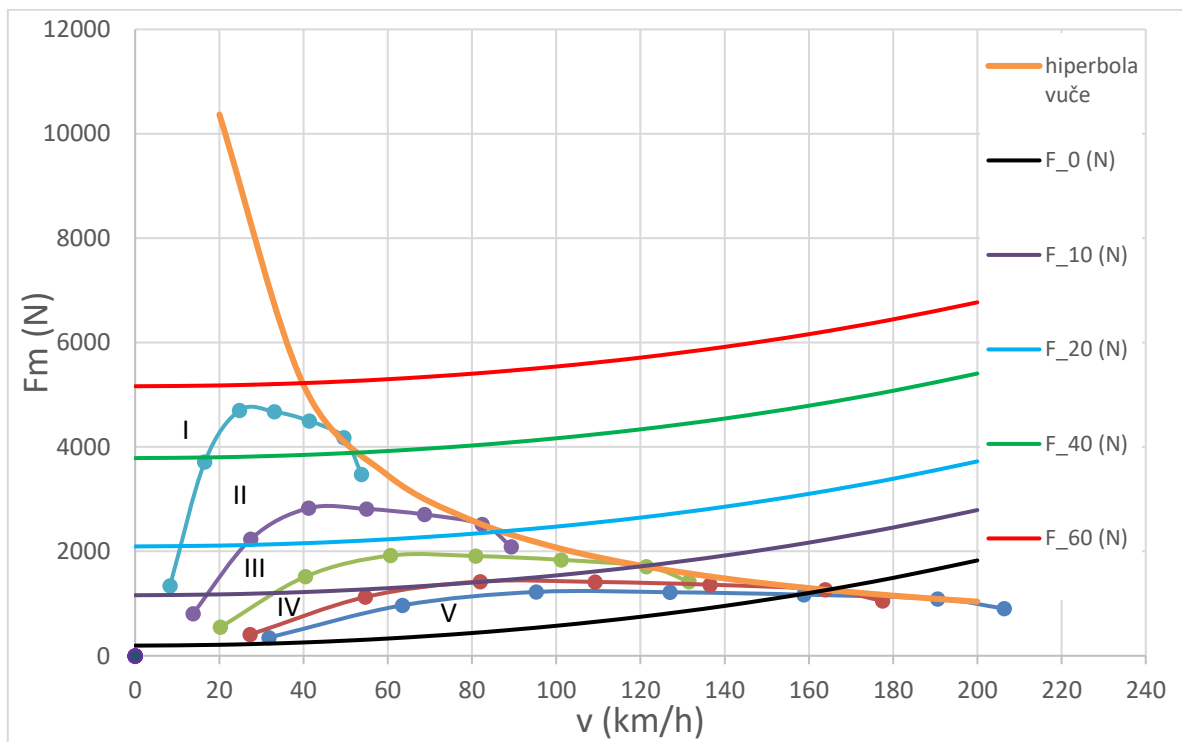
F_v – vučna sila [N]

v – brzina vozila [m/s]

η_{tr} – stupanj iskoristivosti transmisije [–]



Slika 18. Grafički prikaz idealne hiperbole vuče za vozilo Alfa Romeo 147 , Izvor: autor



Slika 19. Grafički prikaz idealne hiperbole vuče za vozilo Alfa Romeo Spider , Izvor: autor

Na slikama 18. i 19. prikazane su idealne hiperbole vuče, vučne sile za vozila u zadanom stupnju prijenosa, maksimalnom okretnom momentu, te sile otpora.

Iz dijagrama na slici 18., za vozilo Alfa Romeo 147 se može očitati kako vozilo u petom stupnju prijenosa, na usponu od 0% može postići maksimalnu brzinu od cca 180 km/h, što je manje nego je službeno deklarirano.

Na slici 19. je prikazan dijagram za vozilo Alfa Romeo Spider iz kojeg se može očitati kako maksimalna brzina vozila u petom stupnju prijenosa, na usponu od 0% iznosi cca 160 km/h, što je također manje nego što je službeno deklarirano.

Mogući razlog što su maksimalne brzine iz proračuna manje od deklariranih je zbog toga što su neke vrijednosti u proračunima pretpostavljene. Kada bi se smanjio faktor otpora kotrljanja, npr. korištenjem boljih pneumatika ili kretanjem vozila po cesti s manjim otporom, vozila bi mogla postići deklariranu brzinu.

3.3. Vučna snaga

Vučnu snagu proizvodu vučna sila motora, te se ona putem elemenata transmisije prenosi na pogonske kotače vozila. Za vrijeme prijenosa zbog nastanka trenja koje se javlja između prijenosnika snage (remenje, zupčanici...) dolazi do gubitaka u prijenosu.

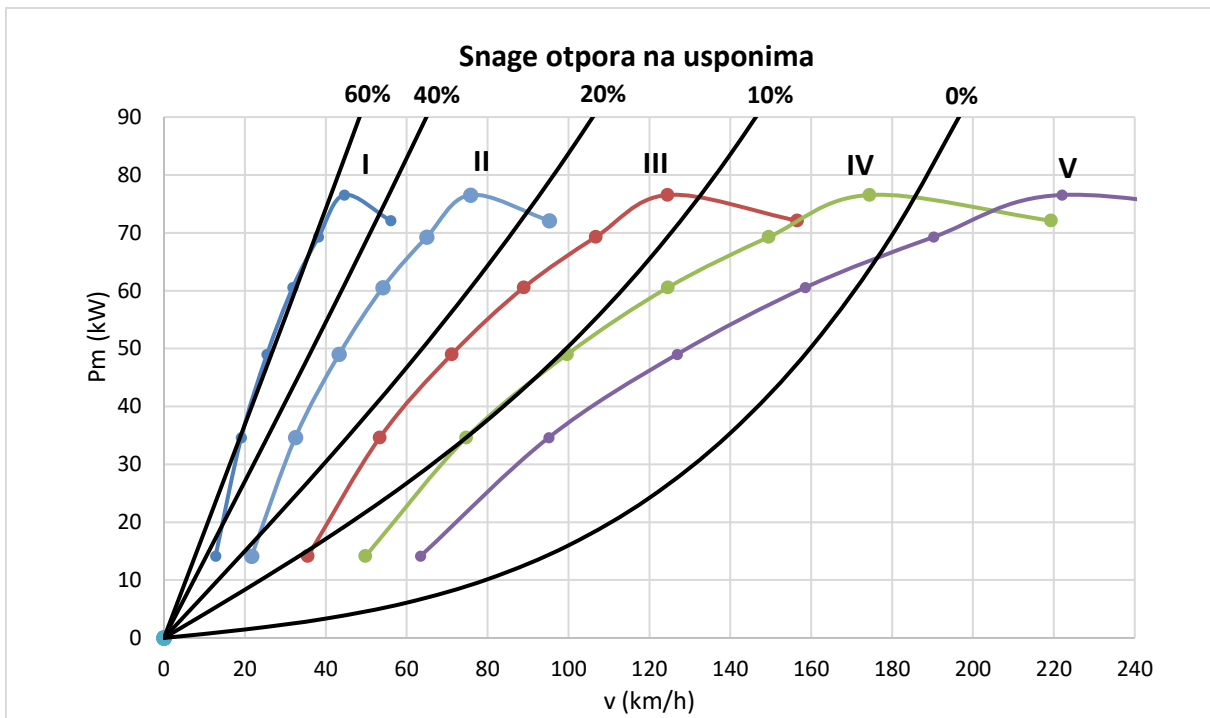
Vučna snaga se računa pomoću izraza:

$$P_m = \eta_{tr} \cdot P_e$$

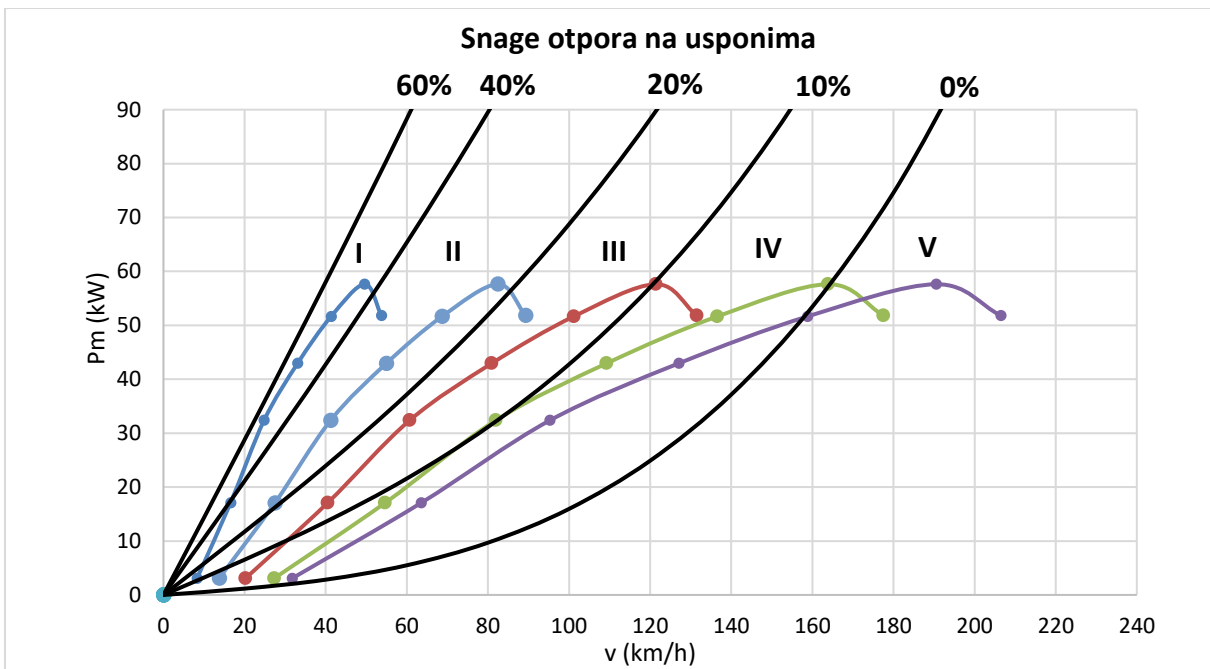
Gdje je:

η_{tr} – iskoristivost transmisije u određenom stupnju prijenosa

P_e – efektivna snaga motora



Slika 20. Grafički prikaz bilance snage za vozilo Alfa Romeo 147, Izvor: autor



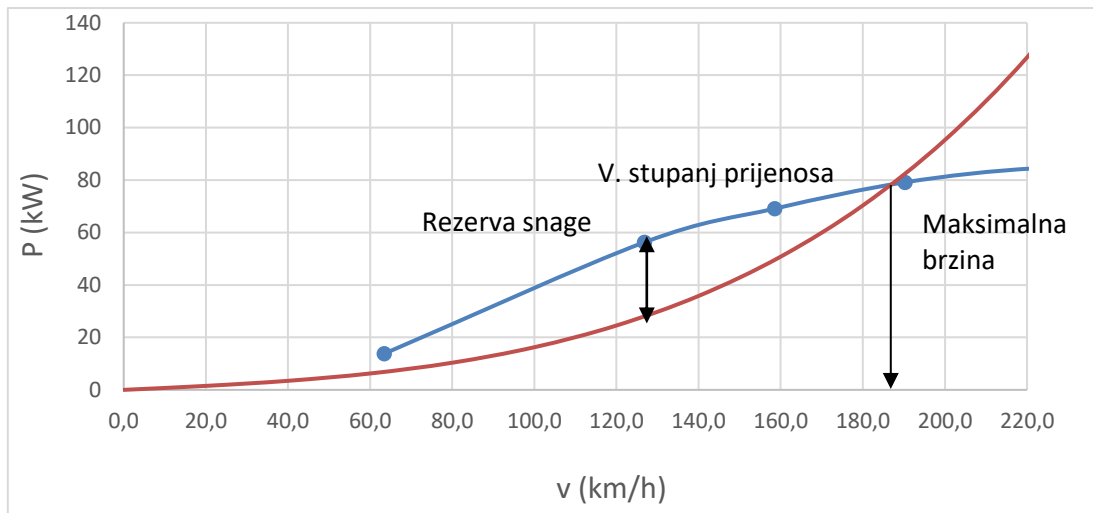
Slika 21. Grafički prikaz bilance snage za vozilo Alfa Romeo Spider, Izvor: autor

Na slikama 20. i 21. grafički su prikazane bilance snage za oba vozila. Iz dijagrama je razvidno kojom brzinom se pojedino vozilo može kretati na određenom stupnju uspona, te u određenom stupnju prijenosa.

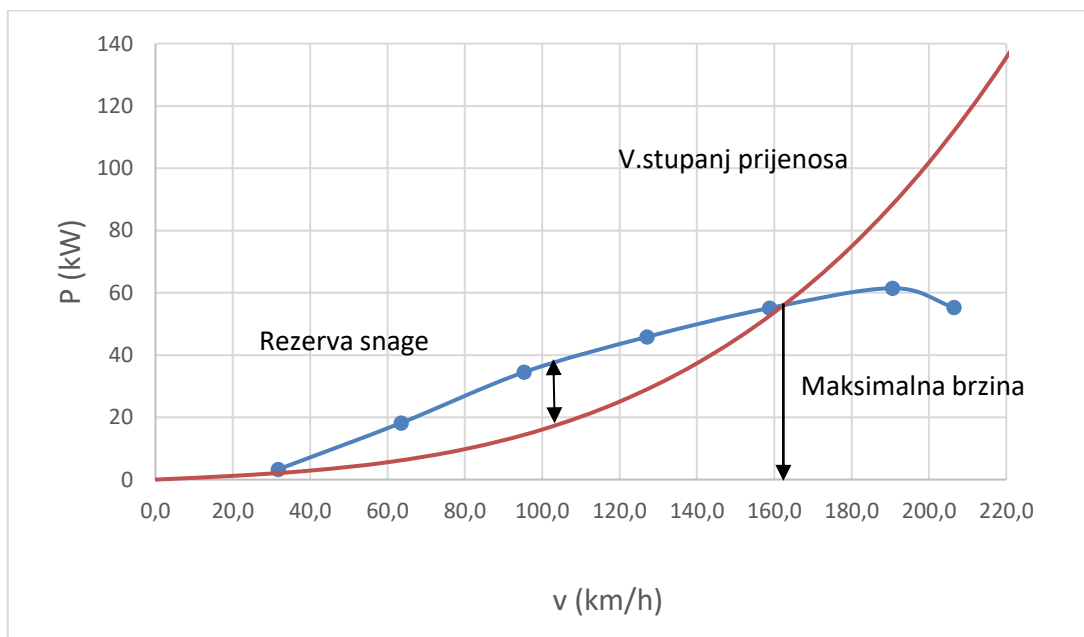
Na slici 20. razvidno je da vozilo Alfa Romeo 147, na usponu od 0%, postiže veću maksimalnu brzinu u IV. nego u V. stupnju prijenosa. Također u IV. stupnju prijenosa svađava maksimalan uspon od 10%, a maksimalnu brzinu na usponu od 10% postiže u III. stupnju prijenosa, te ona iznosi cca 125 km/h. Iz dijagrama je vidljivo da vozilo može u I. stupnju prijenosa svađati nešto veći uspon od 60 %.

Iz dijagrama na slici 21. može se očitati da vozilo Alfa Romeo Spider, na usponu od 0%, postiže veću maksimalnu brzinu u IV. stupnju prijenosa nego što je za isti uspon potiče u V. stupnju prijenosa. U IV. stupnju prijenosa vozilo može svađati maksimalan uspon od 10% , maksimalnu brzinu na takvom usponu postiže u III. stupnju prijenosa, te ona iznosi cca 120 km/h. Iz dijagrama se može očitati da vozilo može u I. stupnju prijenosa svađati uspon nešto manji od 60 %.

Iz ova dijagrama su razvidne bolje karakteristike vozila Alfa Romeo 147, budući se ipak radi o novijem i modernijem vozilu, koje je pokretano sa snažnijim turbo motorom.



Slika 22. Maksimalna brzina za vozilo Alfa Romeo 147 u petom stupnju prijenosa, Izvor: autor



Slika 23. Maksimalna brzina za vozilo Alfa Romeo Spider u petom stupnju prijenosa, Izvor: autor

Rezerva snage se može opisati kao razlika između potrebne snage za svladavanje otpora i ukupne raspoložive snage pri određenoj brzini. Rezerva snage se može iskoristiti za ubrzanje vozila. Kako vozilo povećava svoju brzinu, raste i potrebna snaga za svladavanje otpora. Vozilo može ubrzavati sve dok se raspoloživa snaga i snaga potrebna za svladavanje otpora ne izjednače. Na grafu je to točka sjecišta dvije krivulje, te se spuštanjem okomice na x os (brzina automobila) može grafički očitati maksimalna brzina koju vozilo postiže.

Slike 22. i 23. grafički prikazuju rezerve snage za vozila u petom stupnju prijenosa, na horizontalnoj podlozi. Iz dijagrama za vozilo Alfa Romeo 147 se može očitati da pri brzini od 100 km/h na horizontalnoj cesti potrebna snaga za svladavanje otpora iznosi 18 kW, a vozilo može ostvariti 40 kW.

U istim uvjetima, iz dijagrama za vozilo Alfa Romeo Spider, iz dijagrama se može očitati da je pri brzini od 100km/h potrebna snaga za svladavanje otpora iznosi 17 kW, a vozilo može ostvariti 37 kW.

Usporede li se vrijednosti očitane sa grafova, može se vidjeti kako vozilo Alfa Romeo 147 ima veću rezervu snage, te postiže veću krajnju brzinu u petom stupnju prijenosa.

Iz dijagrama je vidljivo da za vozilo Alfa Romeo 147 maksimalna brzina u V. stupnju prijenosa na usponu od 0% iznosi cca 185 km/h, dok je ta brzina za vozilo Alfa Romeo Spider pri istim uvjetima iznosi cca 165 km/h.

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu izrađeni su i uspoređeni vučni proračuni za vozila Alfa Romeo Spider i Alfa Romeo 147. Za svaki od ova dva vozila proračuni su napravljeni posebno, za identične uvjete gibanja suhom asfaltnom podlogom.

Kako bi se jasnije vidjele i istaknule razlike u mogućnostima svladavanja sila otpora kretanju su odabrana dva vozila, čija je osnovna razlika njihovo vrijeme proizvodnje odnosno konstrukcije. Tako je Alfa Romeo Spider, vozilo proizvedeno 70ih godina XX stoljeća, sa benzinskim motorom smještenim sprijeda, uparenim sa peterostupanjskim ručnim mjenjačem, te pogonom na stražnjoj osovini. Drugo vozilo, Alfa Romeo 147 je vozilo relativno novijeg godišta, proizvedeno i konstruirano početkom XXI stoljeća, sa turbo-dieselskim motorom, uparenim sa peterostupanjskim ručnim mjenjačem, te pogonom na prednjoj osovini.

Usporedbom izračunatih vrijednosti kroz grafove i tablice, vidljivo je kako ipak novije i modernije vozilo može postići veću maksimalnu brzinu, te je općenito daje bolje rezultate pri svladavanju otpora kretanju vozila.

LITERATURA

1. Cerovac V. (2001) Tehnika i sigurnost prometa, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti.
2. Đuranović, S. (2016.) Osnove strojarstva, Šibenik, Veleučilište u Šibeniku.
3. Mikulić, D. (2020) Motorna vozila: Teorija kretanja i konstrukcija, Velika Gorica, Veleučilište Velika Gorica. .
4. Perše, S. i Višnjić, V. (2005) Strojarnstvo u prometu, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti.
5. Stojić, B. (2012) Teorija kretanja drumskih vozila, skripta, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka.

Internetske stranice:

1. <https://tehnika.lzmk.hr/cestovni-promet/>
2. <https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Alfa-Romeo/M6286/Spider-Series-2>
3. <https://www.hemmings.com/stories/2021/06/30/a-brief-history-of-the-alfa-romeo-spider>
4. <https://www.cars-directory.net/car-specs/alfa-romeo/147/>

PRILOZI

Popis tablica

| | |
|--|----|
| <i>Tablica 1. Podaci korišteni za vozilo Alfa Romeo Spider</i> | 3 |
| <i>Tablica 2. Tablični prikaz vanjske brzinske karakteristike motora Alfa Romeo Spider</i> | 4 |
| <i>Tablica 3. Podaci korišteni za vozilo Alfa Romeo 147</i> | 6 |
| <i>Tablica 4. Tablični prikaz vanjske brzinske karakteristike motora Alfa Romeo 147</i> | 7 |
| <i>Tablica 5. Otpor kotrljanja za vozilo Alfa Romeo 147 i Alfa Romeo Spider</i> | 13 |
| <i>Tablica 6. Prikaz sile otpora zraka u ovisnosti o brzini</i> | 17 |
| <i>Tablica 7. Prikaz ukupnih otpora na horizontalnoj podlozi u ovisnosti o brzini</i> | 18 |
| <i>Tablica 8. Snaga potrebna za svladavanje otpora kotrljanja i otpora zraka</i> | 19 |
| <i>Tablica 9. Otpori na horizontalnoj podlozi i na usponima</i> | 21 |
| <i>Tablica 10. Otpori na horizontalnoj podlozi i na usponima</i> | 21 |
| <i>Tablica 11. Snaga potrebna za svladavanje otpora na horizontalnoj podlozi i usponu za vozilo Alfa Romeo 147</i> | 23 |
| <i>Tablica 12. snaga potrebna za svladavanje otpora na horizontalnoj podlozi i usponu za vozilo Alfa Romeo Spider</i> | 23 |

Popis slika

| | |
|---|----|
| <i>Slika 1: Alfa Romeo Spider , izvor: autor</i> | 3 |
| <i>Slika 2: Grafički prikaz vanjske brzinske karakteristike motora na temelju tablice 2, izvor: autor</i> | 5 |
| <i>Slika 3: Alfa Romeo 147, izvor: autor</i> | 6 |
| <i>Slika 4: Grafički prikaz vanjske brzinske karakteristike motora na temelju tablice 3, izvor: autor</i> | 8 |
| <i>Slika 5. Prikaz vučne sile i sile opora, Izvor: (Perše i Višnjić, 2005)</i> | 9 |
| <i>Slika 6. Prikaz koeficijenta otpora kotrljanja i koeficijenta prijanjanja, Izvor: (Mikulić, 2020)</i> | 11 |
| <i>Slika 7.. Koeficijent otpora kotrljanja, Izvor: (Mikulić, 2020)</i> | 12 |
| <i>Slika 8. Grafički prikaz otpora kotrljanja, Izvor: autor</i> | 13 |
| <i>Slika 9. Prikaz strujanja zraka oko vozila, Izvor: (Mikulić, 2020)</i> | 14 |
| <i>Slika 10. Prikaz sile djelovanja bočnog vjetrana vozilo boljeg aerodinamičkog oblika,</i> | 15 |
| <i>Slika 11. Prikaz sile djelovanja bočnog vjetrana vozilo boljeg nepovoljnijeg aerodinamičkog oblika, Izvor: (Perše i Višnjić, 2005)</i> | 16 |
| <i>Slika 12. Prikaz čelne površine vozila, Izvor: (Đuranović, 2016)</i> | 17 |
| <i>Slika 13. Grafički prikaz snage otpora na horizontalnoj podlozi, Izvor: autor</i> | 19 |
| <i>Slika 14. Prikaz otpora uspona, Izvor: (Stojić, 2012)</i> | 20 |
| <i>Slika 15. Grafički prikaz sile otpora uspona na horizontalnoj podlozi i na usponu za vozilo Alfa Romeo147, Izvor: autor</i> | 22 |
| <i>Slika 16. Grafički prikaz sile otpora uspona na horizontalnoj podlozi i na usponu za vozilo Alfa Romeo Spider, Izvor: autor</i> | 22 |
| <i>Slika 17. Grafički prikaz snage otpora kretanja na horizontalnoj podlozi i na usponima, Izvor: autor</i> | 24 |
| <i>Slika 18. Grafički prikaz idealne hiperbole vuče za vozilo Alfa Romeo 147 , Izvor: autor</i> | 28 |
| <i>Slika 19. Grafički prikaz idealne hiperbole vuče za vozilo Alfa Romeo Spider , Izvor: autor</i> | 28 |
| <i>Slika 20. Grafički prikaz bilance snage za vozilo Alfa Romeo 147, Izvor: autor</i> | 30 |
| <i>Slika 21. Grafički prikaz bilance snage za vozilo Alfa Romeo Spider, Izvor: autor</i> | 30 |
| <i>Slika 22. Maksimalna brzina za vozilo Alfa Romeo 147 u petom stupnju prijenosa, Izvor: autor</i> | 32 |
| <i>Slika 23. Maksimalna brzina za vozilo Alfa Romeo Spider u petom stupnju prijenosa, Izvor: autor</i> | 32 |