

# Vučni proračun vozila Audi A4 B6

---

Ojdanić, Katarina

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:143:218743>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-24**

Repository / Repozitorij:

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



**VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU**

**ODJEL PROMET**

**PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ PROMET**

**Katrarina Ojdanić**

**Vučni proračun vozila Audi A4 B6**

**Završni rad**

Šibenik, rujan, 2021.



**VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU**

**ODJEL PROMET**

**PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ PROMET**

**Vučni proračun vozila Audi A4 B6**

**Završni rad**

**Kolegij:** Završni rad

**Mentor:** Luka Olivari, mag.ing.mech.

**Student:** Katarina Ojdanić

**Matični broj studenta:** 1219060541

Šibenik, rujan, 2021.

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, Katarina Ojdanić, studentica Veleučilišta u Šibeniku, JMBAG 1219060541 izjavljujem pod materijalnom i kaznenom odgovornošću i svojim potpisom potvrđujem da je moj završni rad na preddiplomskom stručnom studiju Promet pod naslovom: Vučni proračun cestovnog vozila Audi A4 B6 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, 29.9.2021.

Katarina Ojdanić



Veleučilište u Šibeniku

Završni rad

Odjel Promet

Preddiplomski stručni studij Promet

## VUČNI PRORAČUN CESTOVNOG VOZILA AUDI A4 B6

KATARINA OJDANIĆ

Uz cestu do ambulante 3, Kljaci, kojdanic97@gmail.com

U završnom radu napravljen je vučni proračun vozila Audi A4 B6. Proračunata je i grafički prikazana hiperbola vuče, te je izrađen vučni dijagram vozila. Proračunate su i grafički prikazane vrijednosti maksimalne brzine pri određenim otporima na temelju vučne karakteristike i u određenom stupnju prijenosa, maksimalni uspon koji vozilo može savladati čije vrijednosti ovise o uvjetima na cesti i karakteristikama vozila. Vučni proračun i grafički prikazi izrađeni su u računalnom programu MS Excel.

(40 stranica / 13 slika / 10 tablica / 10 literaturnih navoda / jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u digitalnom repozitoriju Knjižnice Veleučilišta u Šibeniku

Ključne riječi: vučni proračun, jednadžba kretanja vozila, Audi A4 B6

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

Rad je prihvaćen za obranu dana: 29.9.2021.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

Polytechnic of Šibenik

Batchelor Thesis

Department of Traffic

Professional Undergraduate Studies of Traffic

### **AUDI A4 B6 ROAD VEHICLE DYNAMICS CALCULATION**

KATARINA OJDANIĆ

Uz cestu do ambulante 3, Kljaci, kojdanic97@gmail.com

In the final paper, the vehicle dynamics calculation of the Audi A4 B6 was made. The traction hyperbola was calculated and graphically shown, and a traction diagram of the vehicle was made. The values of the maximum speed at certain resistances based on the traction characteristic and in a certain gear, the maximum ascent that the vehicle can overcome, the values of which depend on the road conditions and the characteristics of the vehicle, was calculated, and graphically displayed. Traction calculation and graphical representations were created in the computer program MS Excel.

(40 pages / 13 figures / 10 tables / 10 references / original in Croatian language)

Thesis deposited in Polytechnic of Šibenik Library digital repository

Keywords: vehicle dynamics calculation, vehicle equation of motion, Audi A4 B6

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

Paper accepted: 29.9.2021.

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. AUDI A4 B6.....	2
2.1.Karakteristike motora Audi A4 B6 85 KW .....	3
2.2. Mjere za smanjenje emisije motora .....	3
2.3. Transmisija motora .....	4
2.4. Vanjska Brzinska karakteristika motora .....	4
3. SILE OTPORA KRETANJA .....	7
3.1. Otpori kotrljanja.....	7
3.2. Otpor zraka .....	10
3.3. Otpori horizontalne površine .....	12
3.4. Otpori uspona.....	15
3.5. Otpor inercije .....	20
3.6. Otpori priključnog vozila.....	21
4. VUČNE SILE.....	23
4.1. Rezerva za ubrzanje .....	25
4.2. Vučna snaga.....	27
5. ZAKLJUČAK .....	31
Literatura: .....	32
PRILOZI.....	33
Popis tablica.....	33
Popis slika.....	33



# 1. UVOD

Vučnim proračunom se proračunavaju sile otpora koje treba savladati i mogućnosti vozila poput vučnih sila koje se ostvaruju u različitim stupnjevima prijenosa. U ovom završnom radu napravljen je vučni proračun cestovnog vozila Audi A4 B6. Sile otpora kotrljanja i zraka su proračunate za iznose brzina od 0 km/h do 200 km/h. Sila otpora uspona ne ovisi o brzini već samo o nagibu ceste po kojoj se vozilo kreće. Idealna vučna sila koja se ponaša po zakonu idealne hiperbole, ali se u praksi ne može ostvariti zbog ograničenog broja stupnjeva prijenosa mjenjača. Zbog toga će se izračunati vučne sile za svaki stupanj prijenosa, te brzine koje automobil može postići pri tim stupnjevima prijenosa.

Prvo i posljednje poglavlje su Uvod i Zaključak, u drugom poglavlju opisane su karakteristike automobila Audi A4 B6 za koji je izrađen proračun. Opisana je transmisija automobila, mjere za smanjenje emisije motora i vanjska brzinska karakteristika. U trećem poglavlju su izračunate sile otpora koje djeluju na automobil, poput sile otpora kotrljanja, zraka, uspona i inercije. Sila otpora priključnog vozila je teoretski opisana, ali nije proračunata budući da se za vozilo smatra da nema priključno vozilo. U četvrtom poglavlju opisane su vučne sile, rezerva za ubrzanje, te vučna snaga automobila.

## 2. AUDI A4 B6

Audi A4 (B6) je druga generacija Audija A4. Predstavljen je 2000. godine, a proizvodnja je započela 2001. godine. U usporedbi sa prethodnikom, unutrašnjost vozila je postala prostranija. Karoserija vozila je od nehrđajućeg čelika s dodatnim elementima aluminijskim, što dovodi do poboljšavanja performansi i smanjenja težine vozila. Školjka vozila je premazana cinkom radi usporenja procesa korozije. U seriji B6 su se ugrađivali benzinski četverocilindrični motori, šestercilindrični motori i osmocilindrični motori, te dizelski motori s 4 ili 6 cilindara. (Audi, 2002)



*Slika 1.* Audi A4 B6, Izvor: [wikipedia.org/wiki/Audi\\_A4](https://wikipedia.org/wiki/Audi_A4)

## 2.1. Karakteristike motora Audi A4 B6 85KW

Audi A4 B6 85kW ima četverocilindrični redni dizel motor s 2 ventila po cilindru, VGT<sup>1</sup> turbokompresor, direktno ubrizgavanje, CommonRail sustav... Turbokompresor se sastoji od kompresora, turbine i vratila koje spaja turbinu i kompresor te prenosi okretni moment na kompresor koji se nalazi na usisnoj grani motora. Turbina je smještena na ispušnoj grani motora te se pomoću ispušnih plinova zakreće. Na kućištu turbine se nalaze zakretna krilca kroz koja prolaze ispušni plinovi do turbine. Kod malih okreta motora krilca su pritisnuta kako bi mala količina ispušnih plinova dobila veće ubrzanje te lakše zaokrenula turbinu. Pri većem broju okretaja krilca su otvorena kako bi izašla veća količina plinova iz cilindra motora. Kompresor uvlači i tlači zrak pod tlakom u cilindar motora kako bi se povećala bazna snaga motora. Zbog velikog tlaka stvaraju se velike temperature zraka i obujam zraka se povećava. Kako bi se smanjila temperatura i obujam iza kompresora se ugrađuje hladnjak nabijenog zraka tkz. intercooler.<sup>2</sup>

CommonRail<sup>3</sup> sustav se koristi u vozilima na dizel pogon. Sustav se sastoji od visokotlačne pumpe, visokotlačnog voda, brizgaljki i upravljačke jedinice. Gorivo je potrebno ubrizgati u cilindar pod tlakom. Kod konvencionalnih sustava tlak goriva se mora formirati pojedinačno za svako ubrizgavanje. Kod CommonRail sustava ubrizgavanje goriva i formiranje tlaka su odvojeni te je gorivo za ubrizgavanje uvijek pod potrebnim tlakom. Formiranje tlaka se odvija u visokotlačnoj pumpi. Pumpa tlači gorivo kroz visokotlačni vod do brizgaljki koje brizgaju gorivo pod tlakom u cilindar.<sup>4</sup> (Grupa autora, 2006.)

## 2.2. Mjere za smanjenje emisije motora

Audi kompanija je u model B6 ugradila Euro 3 motor gdje se skoro prepolovila emisija ugljičnog monoksida ( $CO=0.64$ ), ugljikovodika + dušičnih oksida ( $HC+Nox=0.56$ ) i čestice čađe ( $PM=0.05$ ). Težnjom prema "čišćim" motorima pojavljuje se jedan novi produkt izgaranja, koji nije bio prisutan u starijim motorima, a to je dušični oksid. Kako bi se smanjile

---

<sup>1</sup> VGT(eng. VariableGeometry Turbo)- varijabna geometrija turbine

<sup>3</sup>Common Rail- visokotlačni vod

emisije štetnih plinova na motor se ugradio AGR ventil za povrat ispušnih plinova i oksidacijski katalizator za pretvaranje HC i CO u CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O. (Audi, 2002.)

### **2.3. Transmisija motora**

Automobil Audi A4 B6 ima prednji pogon s elektroničkim senzorom stabilizacije- ESC<sup>5</sup>. Kod kočenja određenog kotača u krivini ili nagle promijene smjera, automobil gubi stabilnost te može doći do zanošenja automobila. Elektronički senzor stabilizacije prepoznaje da automobil nije stabilan i automatski aktivira kočnicu na određenom kotaču, ili više njih, te time spriječiti gubitak kontrole nad automobilom. Ispred prednje osovine automobila se nalaze motor, jednodemelatarna spojka, potpuno sinkronizirani ručni mjenjač i osovinski prijenosnik prednje osovine. Prednost konstrukcije prednjeg pogona je manja težina vozila, jednostavna konstrukcija stražnje osovine, jednostavniji ispušni sustav, veći prtljažnik... Nedostatak konstrukcije je ograničen polumjer zaokretanje, sklonost zanošenju vozila, loša raspodjela težine (veće opterećenje na prednjim osovinama), veće trošenje pneumatika, itd. (Grupa autora 2006.) (Audi, 2002.)

### **2.4. Vanjska Brzinska karakteristika motora**

Vanjska brzinska karakteristika motora prikazuje odnos između snage motora, okretnog momenta i specifične potrošnje goriva ovisno o broju okretaja motora.

Na slici 2. prikazana vanjska brzinska karakteristika motora Audi A4 B6 85kW.

---

<sup>5</sup>ESC (eng. Electronic StabilityControl)

## 1,9 Liter Vierzylinder-TDI-Motor

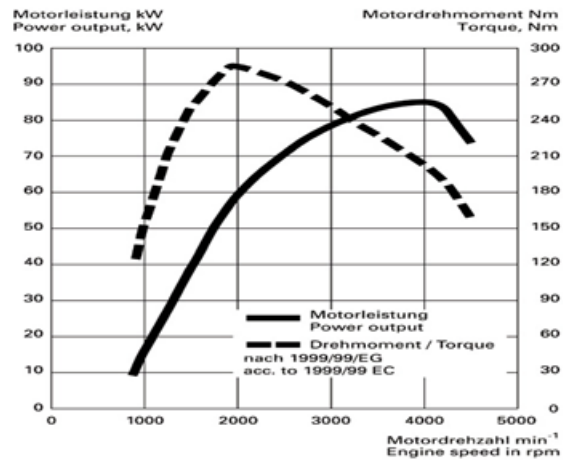
mit Pumpe-Düse-Hochdruckeinspritzung

1.9 litre four cylinder TDI engine  
with high-pressure pump-injector fuel injection

1.896 cm<sup>3</sup>  
85 kW (115 PS) bei 4.000 min<sup>-1</sup>  
285 Nm bei 1.900 min<sup>-1</sup>

1.896 cc  
85 kW (115 bhp) at 4,000 rpm  
285 Nm at 1,900 rpm

09/04



Slika 2. Vanjska brzinska karakteristika motora, Izvor:Audi.com, TechnischeDaten Audi A4 Limousine 1.9 TDI 85 kW. pdf

Sa slike 2. su očitani podatci koji se nalaze u tablici 1. Automobil postiže najveću snagu pri 4000 okr/min koja iznosi 85kW.

Tablica 1

Tablični prikaz vanjske brzinske karakteristike motora

n [okr/min]	Me [Nm]	Pe [kW]
1000	130	10
2000	287	60
3000	255	80
4000	203	85
5000	134	70

Izvor:Audi.com

U tablici 2. se nalaze podatci koji će se koristiti u proračunu.

Tablica 2.

*Karakteristike vozila*

Karakteristike vozila			Prijenosni omjer u mjenjaču		
$G=$	14420	N	$i_{I=}$	4,55	
$l_1=$	1,3	M	$i_{II=}$	2,36	
$l_2=$	1,2	M	$i_{III=}$	1,7	
$h_T=$	0,5	m <sup>2</sup>	$i_{IV=}$	1,24	
$c_x=$	0,36		$i_{V=}$	1	
$A=$	2,55	m <sup>2</sup>	<b>Prijenosni omjer u glavnom prijenosniku</b>		
$r_d=$	0,35		$i_{GP=}$	4,1	
Karakteristike puta			Prijenosni omjer u reduktoru		
$f_0=$	0,02		$i_{R=}$	1	
$C_1=$	5,42E-06		<b>Stupanj iskoristivosti transmisije</b>		
$C_2=$	1,05E-11		$\eta_{tr=}$	0,9	
$\varphi=$	0,8				

*Izvor: autor*

Gdje je:

Težina vozila  $G$  je 14 420 N, a udaljenost prednje osovine od težišta ( $l_1$ ) je 1,3 m. Razmak stražnje osovine od težišta ( $l_2$ ) iznosi 1.2m, dok je visina težišta ( $h_T$ ) 0.5 m. Koeficijent otpora zraka ( $c_x$ ) iznosi 0.36. Čelna površina automobila ( $A$ ) je 2.55 m<sup>2</sup>. Dinamički radijus kotača ( $r_d$ ) je 0.35 m. Koeficijent otpora kotrljanja ( $f_0$ ) iznosi 0.02 dok je koeficijent prijanjanja ( $\varphi$ ) 0.8.

### 3. SILE OTPORA KRETANJA

Vučnim proračunom vozila se provodi u svrhu utvrđivanja mogućnosti vozila. U ovom poglavlju rada napraviti će se vučni proračun za vozilo Audi A4 B6 sa 5-stupnjevitim mjenjačem. Proračunom će se utvrditi maksimalna brzina koju vozilo može postići u zadanim uvjetima ili maksimalni uspon koji vozilo može savladati ovisno o uvjetima na cesti i karakteristikama promatranog vozila. Maksimalna brzina vozila i maksimalni uspon koji vozilo može savladati ovise o vučnoj sili koja proizlazi iz snage motora. Uvjeti na cesti i karakteristike automobila, poput mase i oblika, se prikazuju silama otpora kretanja.

Zakovitost koja izražava jednakost vučne sile i sile otpora nazivamo jednačinu kretanja vozila. Jednačina kretanja vozila je zbroj svih otpora koji djeluju na vozilo - temeljni i dopunski otpori. Temeljni otpori uvijek djeluju na vozilo i stalno se suprotstavljaju kretanju vozila (otpor kotrljanja ( $F_k$ ) i otpor zraka ( $F_z$ )). Dopunski otpori su prisutni samo u posebnim slučajevima (otpor uspona ( $F_u$ ), otpor inercije ( $F_i$ ) i otpor vuče priključnog vozila ( $F_{pv}$ )) npr. dok je vozilo na usponu, dok ubrzava... Dopunski otpori mogu djelovati u istom ili suprotnom smjeru kretanja. (Đuranović, 2016.)

#### 3.1. Otpori kotrljanja

Otpor kotrljanja je posljedica deformacije na mjestu gdje pneumatik dodiriva površinu podloge. Postoje 4 slučaja kotrljanja kotača:

1. Kotrljanje apsolutno krutog kotača po apsolutno krutoj podlozi,
2. Kotrljanje krutog kotača po deformabilnoj podlozi,
3. Kotrljanje elastičnog kotača po krutoj podlozi,
4. kotrljanje elastičnog kotača po mekoj podlozi. (Đuranović, 2016.)

Kotrljanje apsolutno krutog kotača po apsolutno krutoj podlozi, u praksi, nije realno. Otpor kotrljanja u tom slučaju ne postoji, tj.  $F_k=0$ . Prilikom dodira pneumatika i podloge uvijek nastaje deformacija. U drugom slučaju su deformacije kotača zanemarive u usporedbi sa podlogom. U praksi je to slučaj kod željezničkog prometa, gdje se šine deformiraju pod pritiskom sile težine, preko kotača koji su kruti. Za proračun je korišten treći slučaj, gdje je

deformacija podloge zanemariva u odnosu na deformaciju kotača. Kotrljanje elastičnog kotača po krutoj podlozi ima veliku važnost u proračunima cestovnih vozila. Kod deformacije kotača, dodir s podlogom se ne ostvaruje u jednoj točki, već duž površine. Pri kotrljanju, dijelovi gazećeg sloja se ponašaju tako da jedan dio "ulazi" u dodir sa površinom, a drugi dio "izlazi" iz dodira sa površinom. Dijelovi koji "ulaze" u dodir sa površinom se zbijaju, a dijelovi koji "izlaze" se šire. Zbog toga se troši više rada na zbijanje, nego što se može dobiti širenjem. To se naziva histereza kotača. Ona se pojavljuje zbog toga što materijal pneumatika nije apsolutno elastičan. Histereza se može smanjiti izborom manje krutog materijala, te u određenim slučajevima histerezu možemo smanjiti tlakom u pneumaticima, tj. povećati tlak u njima. Četvrti je slučaj kotrljanje elastičnog kotača po mekoj podlozi tj. deformacije kotača i podloge su jednake. (Peršei Višnjić, 2005.)

Kotač je opterećen vlastitom težinom vozila ( $G = m * g$ ) u osi kotača. Kotač se deformira u ovisnosti o tlaku u pneumaticima. Što je tlak u pneumaticima veći manja je deformacija kotača, a što je tlak manji deformacija je veća te raste otpor kotrljanja ali je vožnja u automobilu udobnija. Koeficijent otpora kotrljanja ( $f$ ) ovisi o:

- izvedbi i kvaliteti pneumatika,tako pneumatici napravljeni od kvalitetnijeg materijala imaju manje unutarnje trenje, a time i manji koeficijent otpora kotrljanja
- promjeru i širini pneumatika- povećanjem širine pneumatike smanjuje se otpor kotrljanja,
- tlaku zraka u pneumaticima-što je veći tlak u pneumaticima, koeficijent otpora kotrljanja je manji,
- brzini vožnje- što je brzina veća veći je otpor kotrljanja,
- te ostalim faktorima poput temperature podloge, prijanjanju pneumatika i sl.

Formula za silu otpora kotrljanja je:

$$F_k = m * g * f [N]$$

gdje je:

m-masa vozila [kg]

g-ubrzanje zemljine sile teže [ $m/s^2$ ],  $g=9.81 m/s^2$



f- koeficijent otpora kotrljanja [-]

Tablica 3.

*Vrijednosti faktora i sile otpora kotrljanja u ovisnosti o brzini*

<b>v</b> <b>(km/h)</b>	<b>F</b> <b>(-)</b>	<b>F<sub>k</sub></b> <b>(N)</b>
<b>0</b>	0,020	288,4
<b>20</b>	0,020	290,0
<b>40</b>	0,020	291,9
<b>60</b>	0,020	295,1
<b>80</b>	0,021	300,9
<b>100</b>	0,022	311,4
<b>120</b>	0,023	329,2
<b>140</b>	0,025	357,5
<b>160</b>	0,028	400,1
<b>180</b>	0,032	461,4
<b>200</b>	0,038	546,3

*Izvor: autor*

Snaga ( $P_k$ ) potrebna za savladavanje sile otpora kotrljanja se dobije pomoću formule:

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

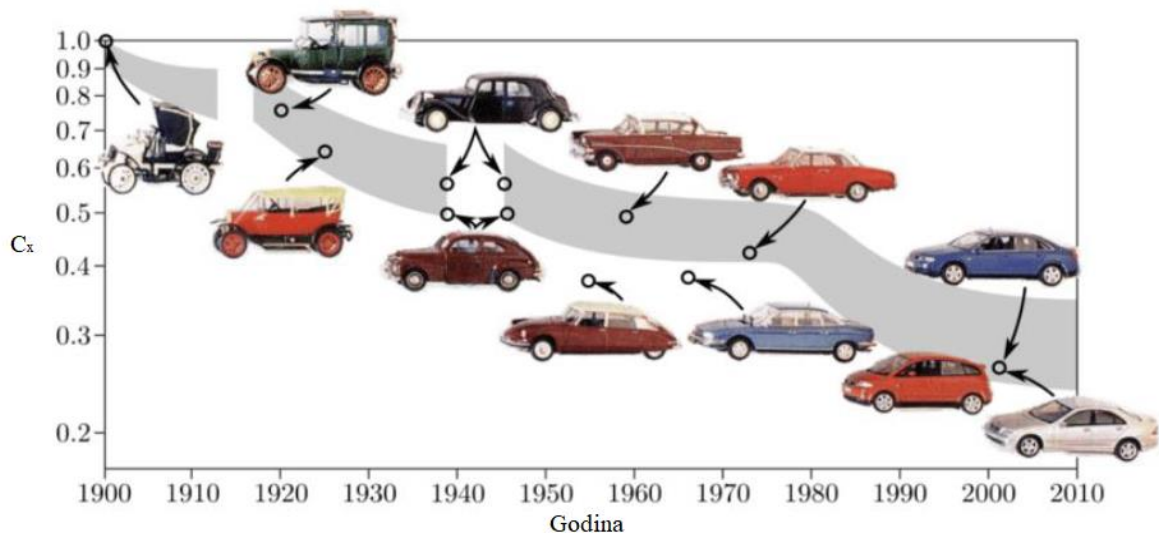
gdje je:

$F_k$ - otpor kotrljanja [N]

v - brzina vozila [m/s]

### 3.2. Otpor zraka

Pri gibanju vozila, vozilo "odguruje" zrak od sebe i stvara vrtloge. Dolazi do velike promijene tlaka zraka ispred i iza vozila (otpor oblika) i zbog strujanja čestica zraka po površini automobila (otpor trenja), nastaje sila otpora zraka ( $F_z$ ). Osim otpora trenja i otpora oblika, jedan dio otpora se stvara zbog prolaska kroz unutrašnjost automobila kao što su sustav za provjetravanje automobila, hladnjak, motor itd. Taj otpor se zove otpor prostrujavanja. Najveći dio otpora stvara oblik automobila, pa se dosta pažnje pridaje pri konstruiranju automobila. Najmanji koeficijent otpora zraka ima oblik kapljice. Idealan oblik automobila bi bio da je naprijed zaobljen, a nazad šiljast. Takav automobil je teško konstruirati, također nema stabilnost pri udaru bočnog vjetra. Koeficijent otpora zraka ( $C_x$ ) ovisi najviše o obliku vozila, čak i retrovizori, antene, krovni nosači ga povećavaju. Koeficijent otpora zraka se određuje ispitivanjem automobila u aerodinamičkom tunelu. U početku razvoja automobilske industrije, automobili su imali male brzine pa je otpor zraka bio zanemariv. Godinama su se automobili usavršavali, te su brzine bile veće te samim tim i otpor zraka je rastao. Zbog pojave naftne krize 1970. i 1980. godine porasla je cijena naftnih prerađevina i proradila je ekološka svijest da treba smanjiti potrošnju goriva u automobilima. Ogromno smanjenje koeficijenta otpora zraka se dogodio nakon toga. (Oremović, I. 2020)



Slika 3. Smanjenje koeficijenta otpora zraka kroz povijest, izvor: (Oremović, I. 2020)

Čelna površina vozila je visina i širina poprečnog presjeka vozila koja je direktno zahvaćena strujanjem zraka. Na silu otpora zraka također utječe i smjer vjetra, tj. dali se automobil giba u

smjeru vjetra ili u suprotnom smjeru. Gustoća zraka ovisi o nadmorskoj visini, temperaturi zraka, tlaku zraka i vlažnosti zraka. Za potrebe proračuna je korišteno  $\rho_z = 1.2 \text{ kg/m}^3$  pri standardnom atmosferskom tlaku, na nivou morske razine i pri temperaturi od 20°C. (Peršei Višnjic, 2005.)

Formula za silu otpora zraka glasi:

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

Gdje je:

$c_x$  – koeficijent otpora zraka [-]

$\rho_z$  – gustoća zraka [ $\text{kg/m}^3$ ]

$A$  – čelna površina automobila [ $\text{m}^2$ ]

$v$  – brzina vozila [ $\text{km/h}$ ]

U tablici 4. je prikazana ovisnost otpora zraka o brzini vozila. Može se uočiti kako brzina raste tako i otpor zraka raste.

Tablica 4.

*Ovisnost otpora zraka o brzini vozila*

$v$ (km/h)	$F_z$ (N)
<b>0</b>	0,0
<b>20</b>	17,0
<b>40</b>	68,0
<b>60</b>	153,0
<b>80</b>	272,0
<b>100</b>	425,0
<b>120</b>	612,0
<b>140</b>	833,0
<b>160</b>	1088,0
<b>180</b>	1377,0
<b>200</b>	1700,0

*Izvor: autor*

Potrebna snaga ( $P_z$ ) za savladavanje otpora zraka se izračunava pomoću izraza:

$$P_z = F_z \cdot v \text{ [W]}$$

Gdje je:

$F_z$ - sila otpora zraka[N]

$v$ - brzina vozila[km/h]

### 3.3. Otpori horizontalne površine

Otpori horizontalne površine se još nazivaju temeljni otpori. Kod gibanja vozila uvijek su pristupni otpori kotrljanja i otpori zraka. U tablici 5 se nalazi zbroj otpora zraka i kotrljanja ovisno o brzini.

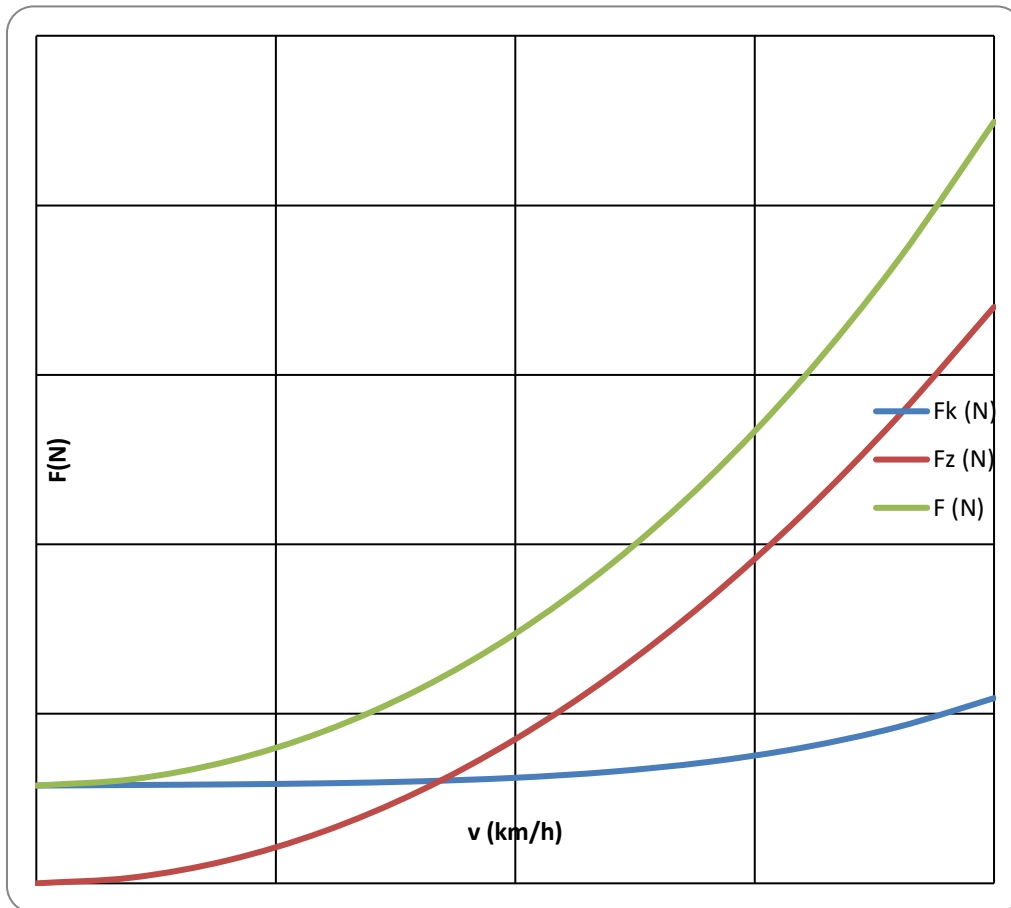
Tablica 5

*Otpor zraka i kotrljanja ovisno o brzini*

$v$ (km/h)	F (-)	$F_k$ (N)	$F_z$ (N)	F (N)
<b>0</b>	0,020	288,4	0,0	288,4
<b>20</b>	0,020	290,0	17,0	307,0
<b>40</b>	0,020	291,9	68,0	359,9
<b>60</b>	0,020	295,1	153,0	448,1
<b>80</b>	0,021	300,9	272,0	572,9
<b>100</b>	0,022	311,4	425,0	736,4
<b>120</b>	0,023	329,2	612,0	941,2
<b>140</b>	0,025	357,5	833,0	1190,5
<b>160</b>	0,028	400,1	1088,0	1488,1
<b>180</b>	0,032	461,4	1377,0	1838,4
<b>200</b>	0,038	546,3	1700,0	2246,3

*Izvor: autor*

U grafičkom prikazu podataka se uočava kako se ukupna sila otpora povećava s brzinom. Na slici 4. je prikazana sila kotrljanja (plava linija), sila otpora zraka (crvena linija) i ukupna sila otpora zraka i kotrljanja (zeleno linija). Na slici se može uočiti kako sila kotrljanja blago raste povećanjem brzine, dok sila otpora zraka ima nagli rast nakon 20km/h.



Slika 4. Grafički prikaz ukupne sile otpora i zraka ovisno o brzini, Izvor: autor

U tablici 6. prikazana je potrebna snaga za savladavanje otpora kotrljanja, otpora zraka te ukupna potrebna snaga za savladavanje temeljnih otpora.

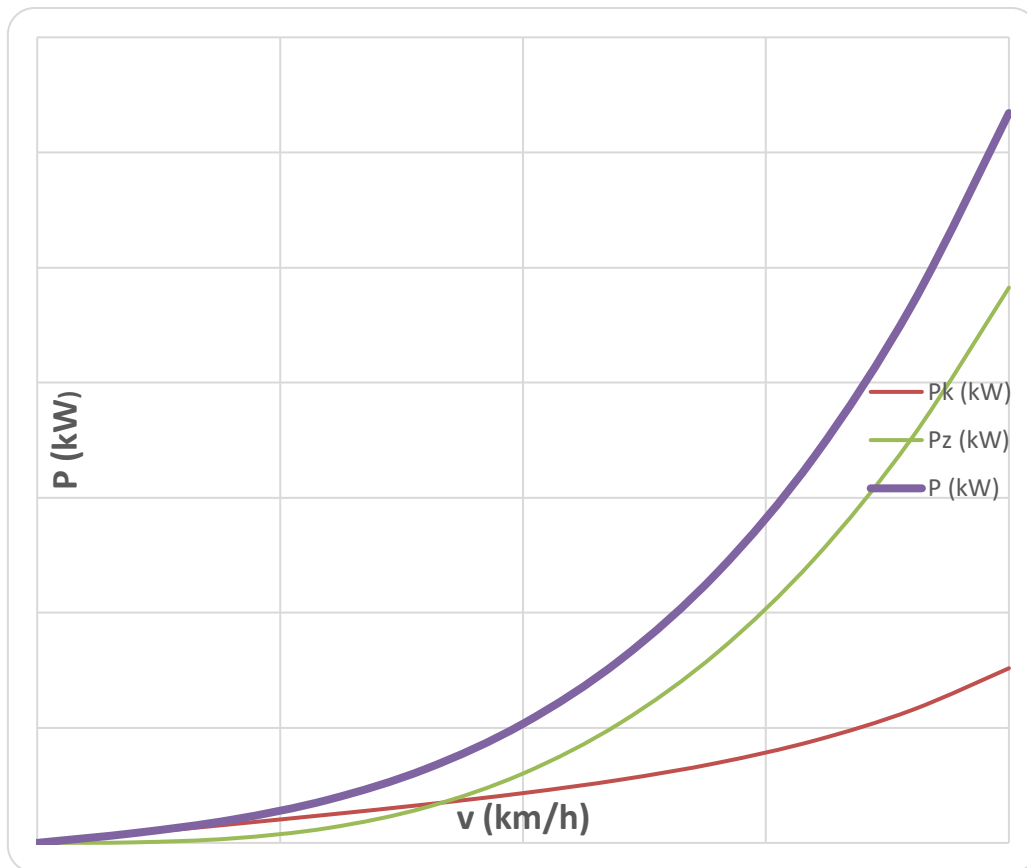
Tablica 6

*Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi*

v (km/h)	f [-]	P <sub>k</sub> (kW)	P <sub>z</sub> (kW)	P (kW)
<b>0</b>	0,020	0,0	0,0	0,0
<b>20</b>	0,020	1,6	0,1	1,7
<b>40</b>	0,020	3,2	0,8	4,0
<b>60</b>	0,020	4,9	2,6	7,5
<b>80</b>	0,021	6,7	6,2	12,9
<b>100</b>	0,022	8,6	12,1	20,7
<b>120</b>	0,023	11,0	20,8	31,8
<b>140</b>	0,025	13,9	33,1	47,0
<b>160</b>	0,028	17,8	49,4	67,2
<b>180</b>	0,032	23,1	70,3	93,4
<b>200</b>	0,038	30,3	96,5	126,8

*Izvor: autor*

U grafičkom prikazu podataka je prikazana ukupna snaga (ljubičasta linija) za savladavanje sile otpora kotrljanja i sile otpora zraka. Zelenom linijom je označena snaga potrebna za savladavanje sile otpora zraka, a crvenom linijom je označena snaga potrebna za savladavanje sile otpora kotrljanja.



Slika 5. Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi, Izvor: autor

### 3.4. Otpori uspona

Na usponu vozilo treba savladati temeljne otpore (otpor kotrljanja i otpor zraka) te otpor uspona. Pri izračunavanju sile otpora uspona, silu težine vozila treba rastaviti na dvije komponente: jedna komponenta je okomita na podlogu, a druga je paralelna s podlogom. Smjer komponente koja je paralelna s podlogom je suprotna smjeru kretanja vozila i ona predstavlja silu otpora uspona. Uspon je uzdužni nagib ceste koji se najčešće izražava u postocima. Uzdužni nagib je odnos visina na 100 m vodoravnog puta. (Đuranović, 2016.)

Formula za silu otpora uspona glasi:

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

Gdje je:

$F_u$ - sila otpora uspona[N]

G- težina vozila [N]

$\alpha$ -kut uspona [°]

Formula za snaga potrebnu za savladavanje otpora uspona glasi:

$$P_u = F_u \cdot v [W]$$

Gdje je:

$P_u$ - snaga potrebna za savladavanje otpora uspona [W]

$F_u$ - sila otpora uspona [N]

v- brzina vozila [km/h]

U tablici 7 te na slici 6. prikazani su rezultati proračuna ukupnih otpora kretanja za horizontalnu podlogu i na usponima od 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% i 70%. Prikazana je ovisnost sile otpora uspona o brzini vozila. Sila otpora uspona ne ovisi o brzini vozila nego o težini vozila i o postotku uspona.



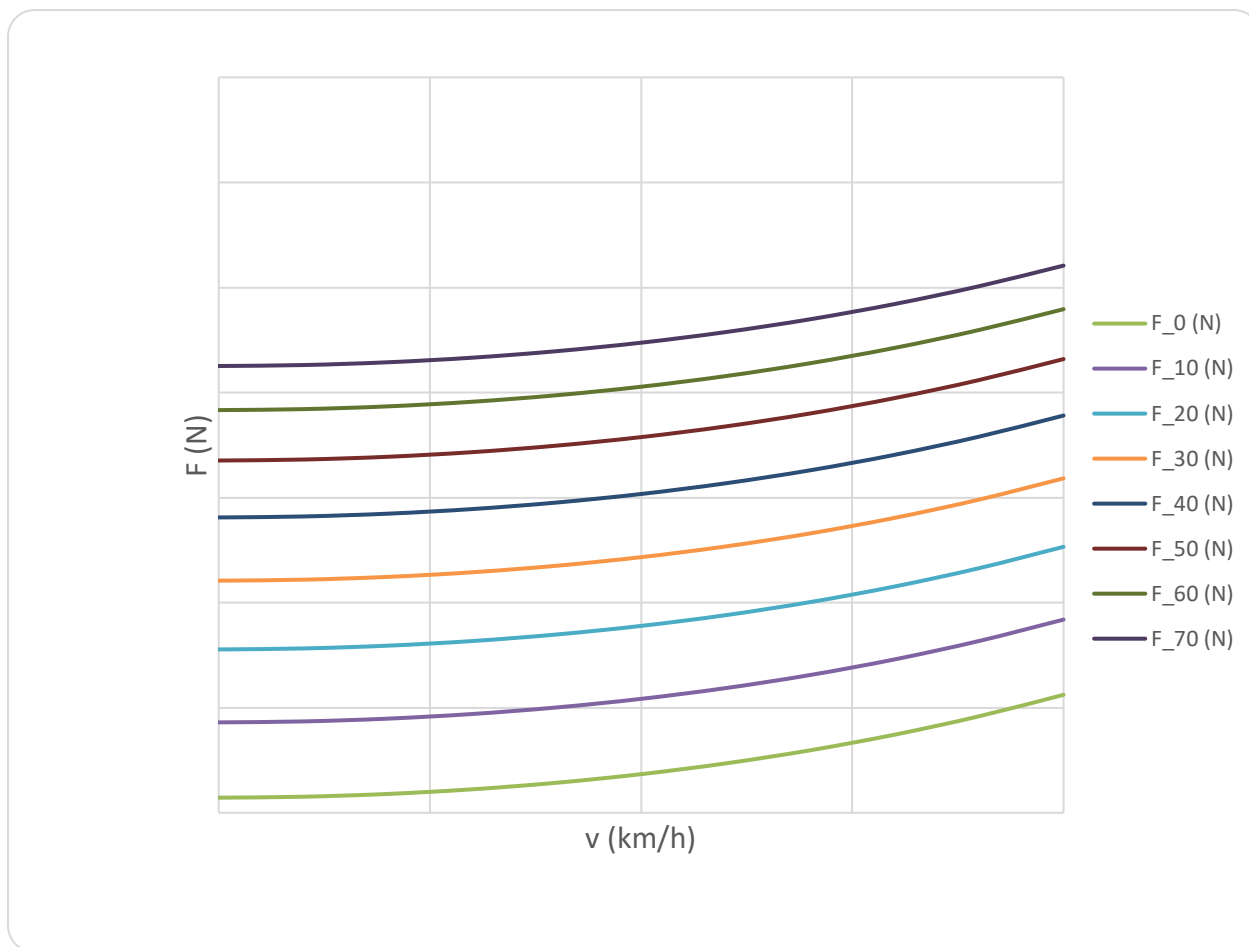
Tablica 7.

*Otpori kretanja na horizontalnoj podlozi i na usponima*

Uspon u %:		u=	0	10	20	30	40	50	60	70
Uspon u st.:		$\alpha=$	0	5,7	11,3	16,7	21,8	26,6	31,0	35,0
v (km/h)	f	Fz (N)	F_0 (N)	F_10 (N)	F_20 (N)	F_30 (N)	F_40 (N)	F_50 (N)	F_60 (N)	F_70 (N)
0	0,020	0,0	288,4	1721,8	3110,8	4419,8	5623,2	6706,8	7666,3	8505,6
20	0,020	17,0	307,0	1740,4	3129,4	4438,3	5641,7	6725,2	7684,7	8523,9
40	0,020	68,0	359,9	1793,3	3182,2	4491,2	5694,5	6777,9	7737,3	8576,5
60	0,020	153,0	448,1	1881,4	3270,3	4579,2	5782,4	6865,7	7825,0	8664,0
80	0,021	272,0	572,9	2006,2	3395,0	4703,7	5906,8	6989,9	7949,0	8787,8
100	0,022	425,0	736,4	2169,7	3558,3	4866,8	6069,5	7152,3	8111,0	8949,4
120	0,023	612,0	941,2	2374,4	3762,8	5070,8	6273,1	7355,2	8313,3	9151,0
140	0,025	833,0	1190,5	2623,6	4011,6	5319,0	6520,4	7601,6	8558,6	9395,2
160	0,028	1088,0	1488,1	2921,0	4308,4	5614,8	6815,0	7894,7	8850,1	9685,1
180	0,032	1377,0	1838,4	3271,0	4657,4	5962,5	7160,9	8238,5	9191,7	10024,3
200	0,038	1700,0	2246,3	3678,4	5063,7	6366,8	7562,7	8637,4	9587,5	10416,9
220	0,046	2057,0	2717,3	4148,8	5532,5	6833,0	8025,5	9096,4	10042,2	10867,3

*Izvor: autor*

Na grafičkom prikazu su prikazani ukupni otpori kretanja (os y), brzina vozila (os x) i iznos sila potrebnih za savladavanje uspona. Zelenom linijom je označena ukupna sila na horizontalnoj površini ( $u=0$ ). Na usponu od 10% ukupna sila je označena sa ljubičastom linijom. Plavom linijom je označena ukupna sila na 20% uspona. Narančastom linijom je označena ukupna sila na 30% uspona. Tamno plavom linijom je označena ukupna sila na 40% uspona. Tamno crvenom linijom je označena ukupna sila na 50% uspona. Tamno zelenom linijom je označena sila na 60% uspona i tamno ljubičastom linijom na 70% uspona.



Slika 6. Ukupni otpor kretanja na horizontalnoj podlozi i usponu , Izvor: autor

U tablici 8 prikazana potrebna snaga za savladavanje otpora na horizontalnoj podlozi i usponima.

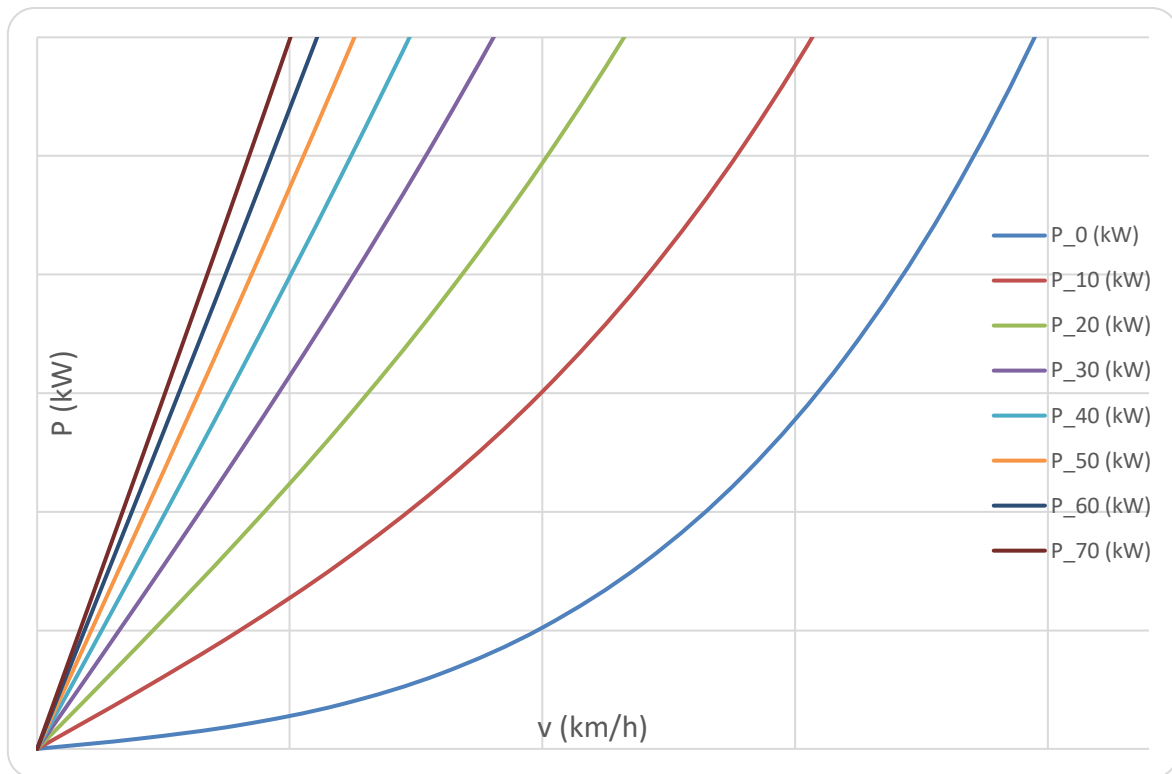
Tablica 8.

*Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi i na usponima*

Uspon u %: u=	0	10	20	30	40	50	60	70
Uspon u st.: a=	0	5,7	11,3	16,7	21,8	26,6	31,0	35,0
v (km/h)	P_0 (kW)	P_10 (kW)	P_20 (kW)	P_30 (kW)	P_40 (kW)	P_50 (kW)	P_60 (kW)	P_70 (kW)
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	1,7	9,7	17,4	24,7	31,3	37,4	42,7	47,4
40	4,0	19,9	35,4	49,9	63,3	75,3	86,0	95,3
60	7,5	31,4	54,5	76,3	96,4	114,4	130,4	144,4
80	12,7	44,6	75,4	104,5	131,3	155,3	176,6	195,3
100	20,5	60,3	98,8	135,2	168,6	198,7	225,3	248,6
120	31,4	79,1	125,4	169,0	209,1	245,2	277,1	305,0
140	46,3	102,0	156,0	206,8	253,6	295,6	332,8	365,4
160	66,1	129,8	191,5	249,5	302,9	350,9	393,3	430,5
180	91,9	163,5	232,9	298,1	358,0	411,9	459,6	501,2
200	124,8	204,4	281,3	353,7	420,1	479,9	532,6	578,7
220	166,1	253,5	338,1	417,6	490,4	555,9	613,7	664,1

*Izvor: autor*

Automobil ima najveću snagu od 85 kW. Na slici 7 se može uočiti da automobil na horizontalnoj površini (plava linija) može postići brzinu od cca 170 km/h. Na usponu od 10% (crvena linija) može postići brzinu od cca. 130 km/h. Na usponu od 20% (zelena linija) može postići brzinu od cca. 70km/h. Na usponu od 40% (plava linija) može postići brzinu od cca. 50km/h. Na usponu od 50% (narančasta linija) može postići brzinu od cca. 40 km/h. Na usponu od 60% (tamno plava linija) može postići brzinu od cca. 40km/h, dok na usponu od 70% (tamno crvena linija) može postići brzinu od cca. 30km/h. U teoriji automobil može savladati zadane uspone. U praksi takvi usponi nisu učestali. Maksimalni uspon može biti 12% u iznimnim situacijama. (Kobasić, 2013.)



Slika 7. Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi i usponima, Izvor: autor

### 3.5. Otpor inercije

Otpor inercije nastaje kada vozilo ubrzava ili usporava. Otpor inercije treba savladati inerciju masa koje se kreću rotacijski (kotači, koljenasto vratilo, zamašnjak, spojka...) te inerciju masa koje se kreću pravocrtno (II. Newtonov zakon). Po Newtonovom zakonu sila je jednaka umnošku mase i akceleracije. Toj sili po III. Newtonovom zakonu se suprotstavlja sila istog iznosa ali suprotnog smjera djelovanja. Sila inercije djeluje u težištu vozila te ima velik utjecaj na osovinsko opterećenje te utječe na potrošnju goriva. Pri ubrzanju vozila sila djeluje suprotno od smjera kretanja vozila, a pri kočenju sila inercije djeluje u istom smjeru kao i kretanje vozila.

Sila otpora inercije pri pravocrtnom gibanju masa iznosi:

$$F_{i,t} = m \cdot a = m \cdot dv/dt [N]$$

Moment tromosti pri rotacijskom gibanju iznosi:

$$M = I_z \cdot \varepsilon = I_z \cdot d\omega / dt [Nm]$$

Gdje je:

$m$  - masa vozila [kg]

$a$  - ubrzanje vozila [ $m/s^2$ ]

$\varepsilon$  - kutno ubrzanje [ $s^{-2}$ ]

$I_z$  - moment tromosti [ $mm^4$ ]

Otpor inercije rotirajućih masa, u praksi, uzima u obzir koeficijent rotirajućih masa vozila.

Izraz za ukupnu silu inercije glasi:

$$F_i = m * a * \delta \text{ [N]}$$

gdje je:

$\delta$ - koeficijent rotirajućih masa[-]

$a$ - akceleracija [ $m/s^2$ ]

Veličina koeficijenta rotirajućih masa ovisi o stupnju prijenosa mjenjača tj. u kojem se stupnju prijenosa vozilo kreće, pa je:

$\delta = 1,5 - 1,8$  za prvi stupanj prijenosa kod osobnih automobila

$\delta = 1,05 - 1,06$  za posljednji stupanj prijenosa kod osobnih automobila

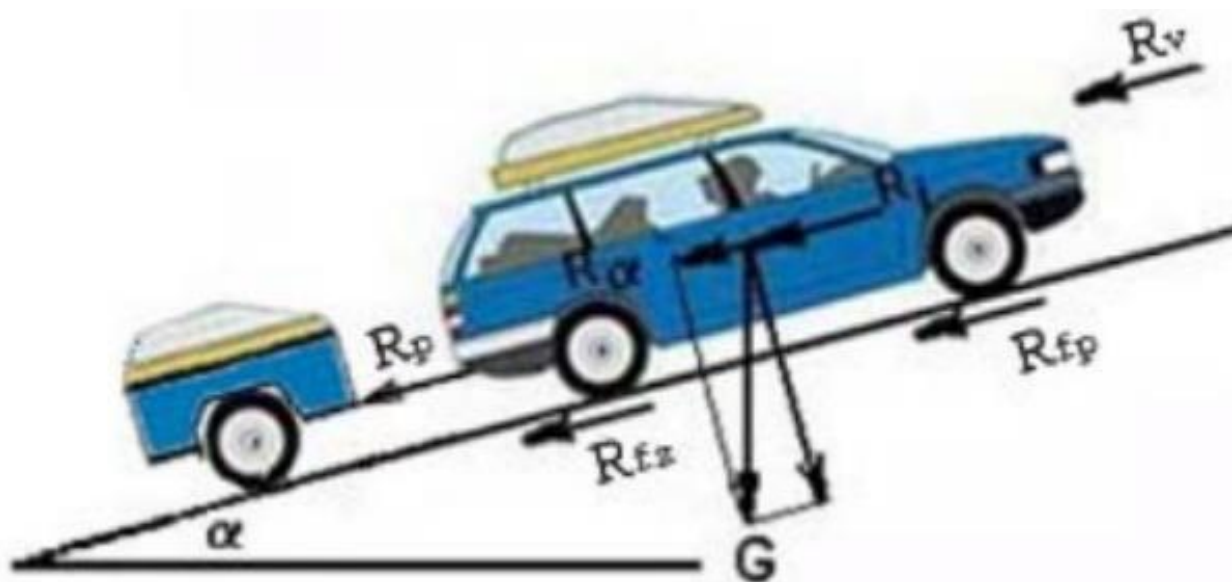
$\delta = 2,0 - 3,0$  za prvi stupanj prijenosa kod kamiona

$\delta = 1,06 - 1,08$  za posljednji prijenosa kod kamiona. (Vrhovski i Nikšić, 2000.)

### 3.6. Otpori priključnog vozila

Sila otpora priključnog vozila se proračunava samo kada vozilo za sobom vuče priključno vozilo (prikolica, labudica, radni stroj, poluprikolica...). Vozilu je potrebno više snage za savladavanje otpora. Također za priključno se vozilo računa posebno otpor zraka, otpor kotrljanja, otpor inercije i otpor uspona. Na slici 8. je prikazan automobil na uzbrdici koji vuče prikolicu. Automobilu se suprotstavlja otpor zraka  $F_z$ (na slici označeno s  $R_v$ ), otpor

kotrljanja  $F_k$  (na slici označeno s  $R_{fp}$  i  $R_{fz}$ ), otpor inercije  $F_i$  (na slici označeno s  $R_i$ ), otpor uspona  $F_u$  (na slici označeno s  $R_a$ ) i otpor priključnog vozila  $F_{pv}$  (na slici označeno s  $R_p$ ).



Slika 8. Automobil na usponu, zvor: Tatlić M, 2012.

## 4. VUČNE SILE

Na vozilo u pokretu djeluju otpori. Kako bi se vozilo moglo kretati željenim pravcem i željenom brzinom, otpori se moraju savladati vučnom silom. Iznos vučne sile mora biti veći od zbroja otpora koji djeluju u tom trenutku na vozilo. Na pogonskim kotačima (u ovom slučaju prednji pogon) se računaju vučne sile za svaki stupanj prijenosa mjenjača ( $i$ ). Prvi stupanj prijenosa mjenjača iznosi  $i_I = 4,55$ , drugi stupanj prijenosa mjenjača iznosi  $i_{II} = 2,36$ , treći stupanj prijenosa mjenjača iznosi  $i_{III} = 1,7$ , četvrti stupanj prijenosa mjenjača iznosi  $i_{IV} = 1,24$  i peti stupanj prijenosa mjenjača iznosi  $i_V = 1$ . Ukupni prijenos snage (transmisije) iznosi:

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

gdje je:

$i_{MJ}$  - prijenosni omjer mjenjača u zadanom stupnju prijenosa[-]

$i_{GP}$  - prijenosni omjer glavnog prijenosnika koji iznosi 4.1[-]

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

$i_r$  - prijenosni omjer redukcije[-]

Automobil Audi A4 B6 nema reduktor te je u proračun uvršteno  $i_r = 1$ .

Okretni moment motora se preko elemenata transmisije dovode do pogonskih kotača što se naziva motorna vučna sila. Izraz za motornu vučnu silu glasi:

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

gdje je:

$M_e$  - okretni moment motora [Nm]

$i_{tr}$  - prijenosni omjer transmisije u određenom stupnju prijenosa[-]

$\eta_{tr}$  - stupanj iskoristivosti transmisije iznosi 0.9

$r_d$ - dinamički radijus kotača iznosi 0.35m

Brzina vozila ovisi o stupnju prijenosa mjenjača i broju okretaja motora.

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

$v$ - brzina vozila [km/h]

$r_d$ - dinamički radijus kotača [m]

$n$  - broj okretaja [o/m]

Idealna hiperbola vuče je zamišljena krivulja pri maksimalnoj snazi motora u slučaju iskorištenja maksimalne snage motora u svim uvjetima vožnje.

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

Vučna snaga je odnos umnoška vučne sile i brzine i stupnja iskoristivosti transmisije.

Tablica 9.

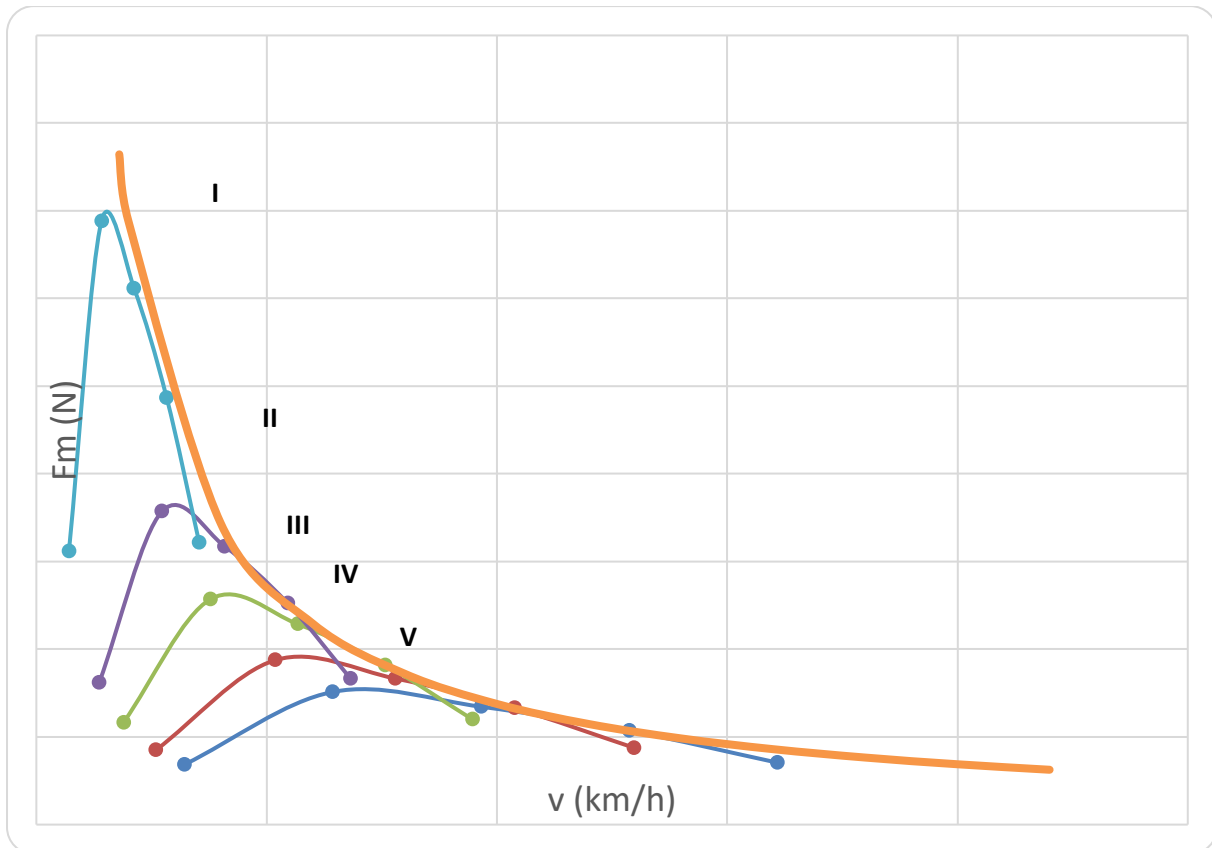
*Vučne sile u različitim stupnjevima djelovanja*

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)
			I. stupanj		II. stupanj		III. stupanj		IV. stupanj		V. stupanj	
<b>1000</b>	130	10	7,1	6236,1	13,6	3234,5	18,9	2330,0	26,0	1699,5	32,2	1370,6
<b>2000</b>	287	60	14,1	13767,4	27,3	7140,9	37,9	5143,9	51,9	3752,0	64,4	3025,8
<b>3000</b>	255	80	21,2	12232,4	40,9	6344,7	56,8	4570,3	77,9	3333,7	96,5	2688,4
<b>4000</b>	203	85	28,3	9737,9	54,5	5050,9	75,7	3638,3	103,8	2653,8	128,7	2140,2
<b>5000</b>	134	70	35,4	6428,0	68,2	3334,1	94,7	2401,7	129,8	1751,8	160,9	1412,7

Izvor: autor



U tablici 9. je prikazan proračun vučne sile u ovisnosti o brzini i stupnju prijenosa. Broj okretaja motora i moment motora je očitao na vanjskoj brzinskoj karakteristici.



Slika 9. Grafički prikaz idealne hiperbole i vučne sile, Izvor:autor

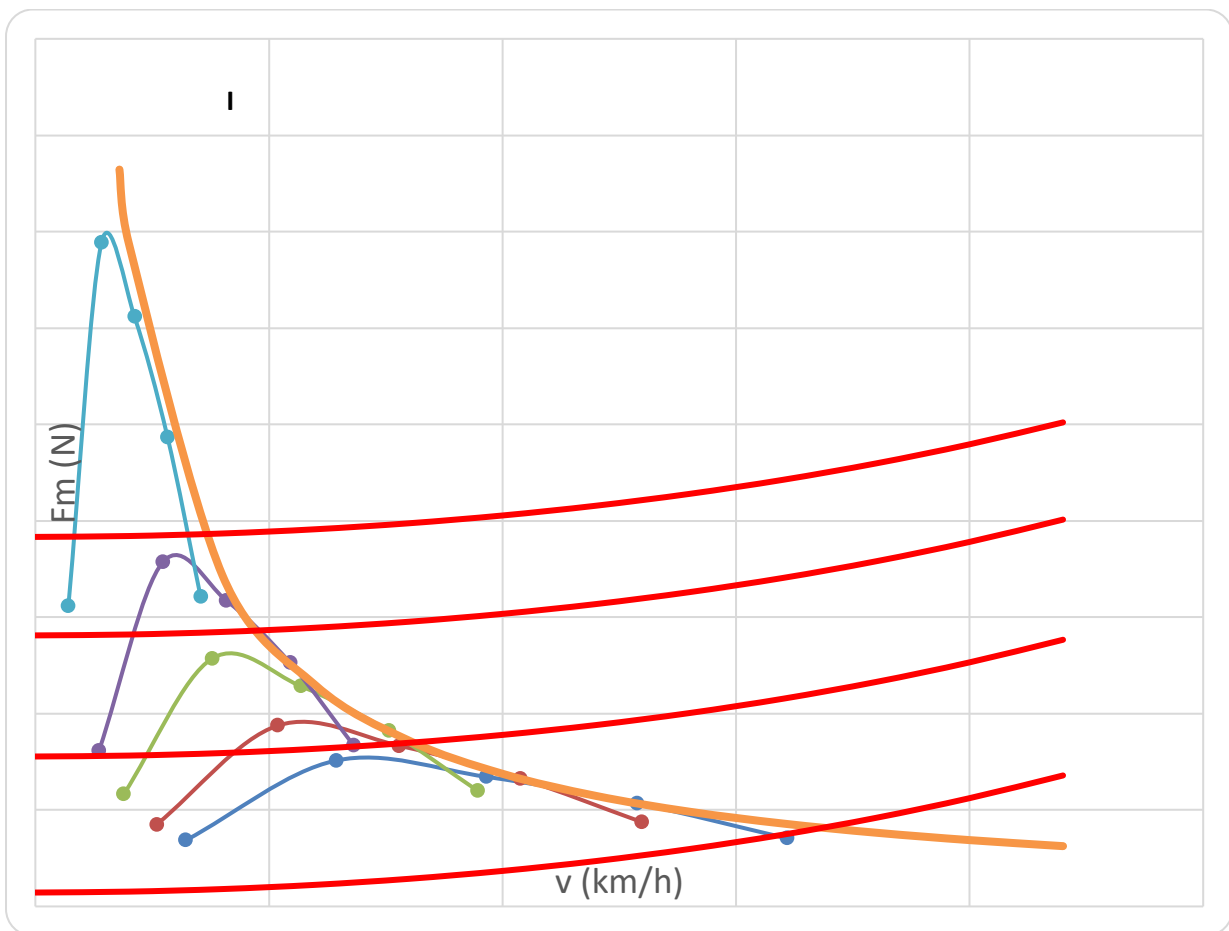
Na slici 9. je prikazana vučna sila automobila u zadanom stupnju prijenosa mjenjača. Idealna hiperbola vuče se mijenja po zakonu jednakostrane hiperbole. Iz dijagrama se može očitati da automobil može postići maksimalnu brzinu u V. stupnju prijenosa od cca 160km/h. Idealna hiperbola vuče je označena narančastom bojom.

#### 4.1. Rezerva za ubrzanje

Rezerva za ubrzanje je visinska razlika između određenog uspona i idealne hiperbole. Na slici xy ćemo zanemariti stupnjeve prijenosa i zamisliti da se vozilo kreće na usponu od 20% pri brzini od 50 km/h. Podignemo li okomitu crtu iz 50 km/h tako da siječe zadani uspon i idealnu hiperbolu, visinska razlika između idealne hiperbole i zadanog uspona je rezerva za

ubrzanje. Povećanjem brzine, otpor uspona se povećava, a vučna sila se smanjiva dok se ne uspostavi ravnotežno stanje, tj. dakle se idealna hiperbola i određeni uspon ne presjeku. U teoriji daljnji slučaj je moguć, ali u praksi nije moguće da je manja vučna sila od sile otpora uspona. (Perše, S. i Višnjic, V. 2005)

Na slici 10. grafički je prikazano koje brzine vozilo može postići na određenom usponu i u određenom stupnju prijenosa.



Slika 10. Grafički prikaz brzine u ovisnosti o usponu i stupnju prijenosa, Izvor: autor

Iz dijagrama se može zaključiti da je maksimalna brzina automobila 160 km/h, koja se postiže na horizontalnoj cesti u V. stupnju prijenosa. Uspon od 20% automobil može savladati u III. stupnju prijenosa, pri čemu je maksimalna brzina automobila 80 km/h. Uspon od 40% automobil može savladati u II. stupnju prijenosa pri čemu je maksimalna brzina automobila

45 km/h. Konačno, uspon od 60% automobil može savladati u I. stupnju prijenosa, pri čemu je brzina automobila 40 km/h.

## 4.2. Vučna snaga

Motorna vučna sila proizvodi vučnu snagu na pogonskim kotačima. Ona se prenosi sa motora na pogonske kotače. Zbog trenja u prijenosnicima snage (zupčanici, remenja..) gubi se dio snage. Izraz za vučnu snagu [N] glasi:

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

gdje je:

$\eta_{tr}$ - stupanj iskoristivosti transmisije u zadanom stupnju prijenosa mjenjača

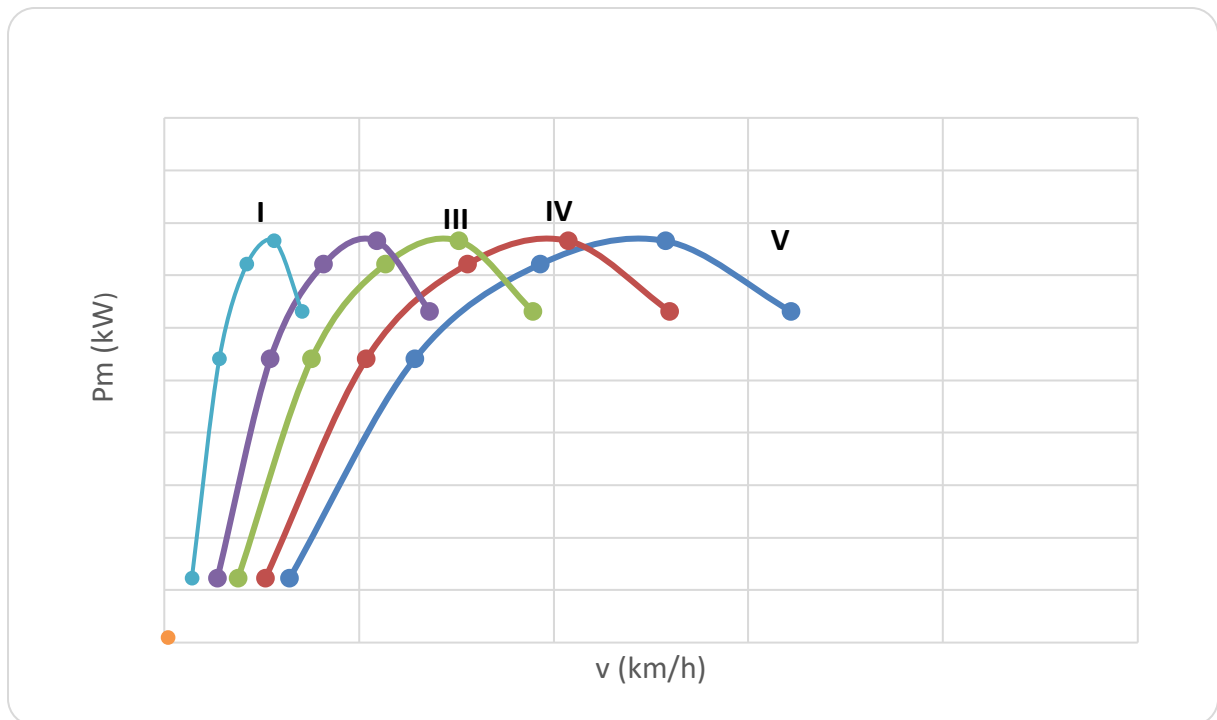
$P_e$ -efektivna snaga motora

Tablica 10.

*Vučna snaga na kotačima u ovisnosti od brzine vozila i stupnja prijenosa mjenjača*

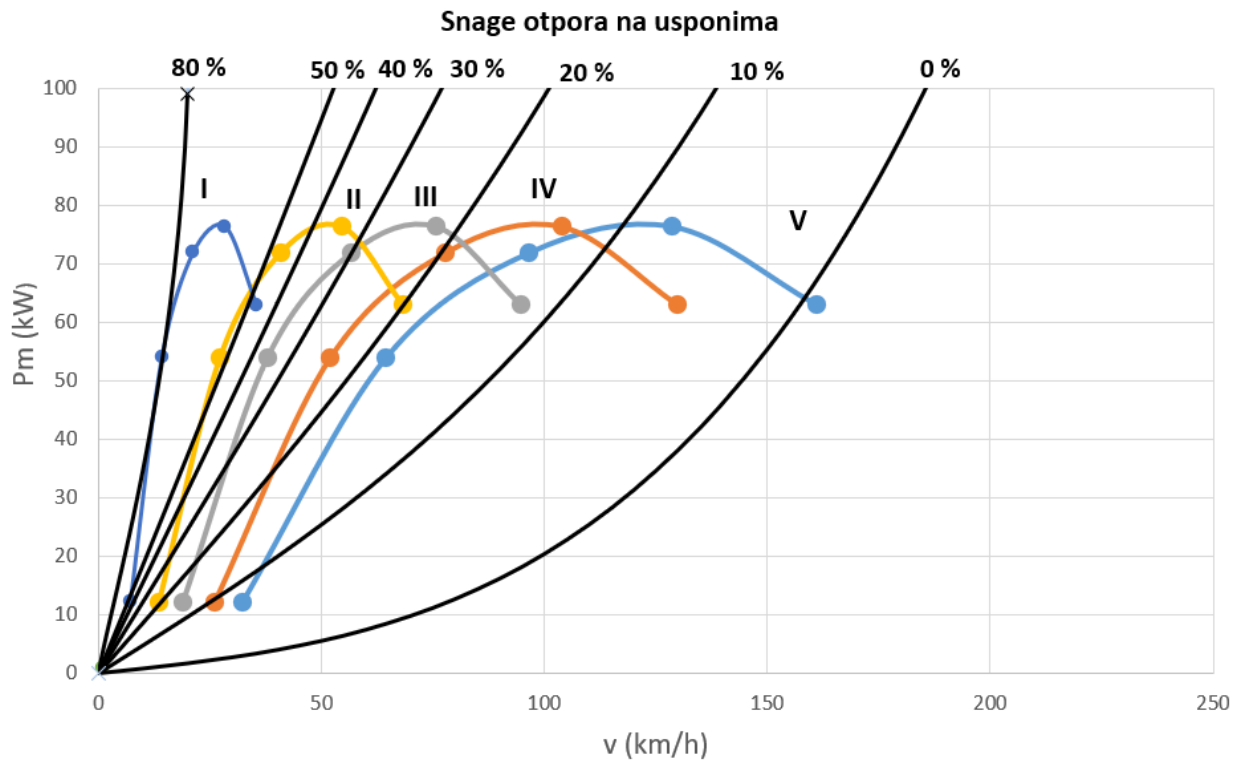
n (o/min)	Mm (Nm)	Pe (kW)	v (km/h)	Pv (kW)	v (km/h)	Pv (kW)	v (km/h)	Pv (kW)	v (km/h)	Pv (kW)	v (km/h)	Pv (kW)
			I. stupanj		II. stupanj		III. stupanj		IV. stupanj		V. stupanj	
1000	130	10	7,1	12,3	13,6	12,3	18,9	12,3	26,0	12,3	32,2	12,3
2000	287	60	14,1	54,1	27,3	54,1	37,9	54,1	51,9	54,1	64,4	54,1
3000	255	80	21,2	72,1	40,9	72,1	56,8	72,1	77,9	72,1	96,5	72,1
4000	203	85	28,3	76,5	54,5	76,5	75,7	76,5	103,8	76,5	128,7	76,5
5000	134	70	35,4	63,1	68,2	63,1	94,7	63,1	129,8	63,1	160,9	63,1

Izvor: autor



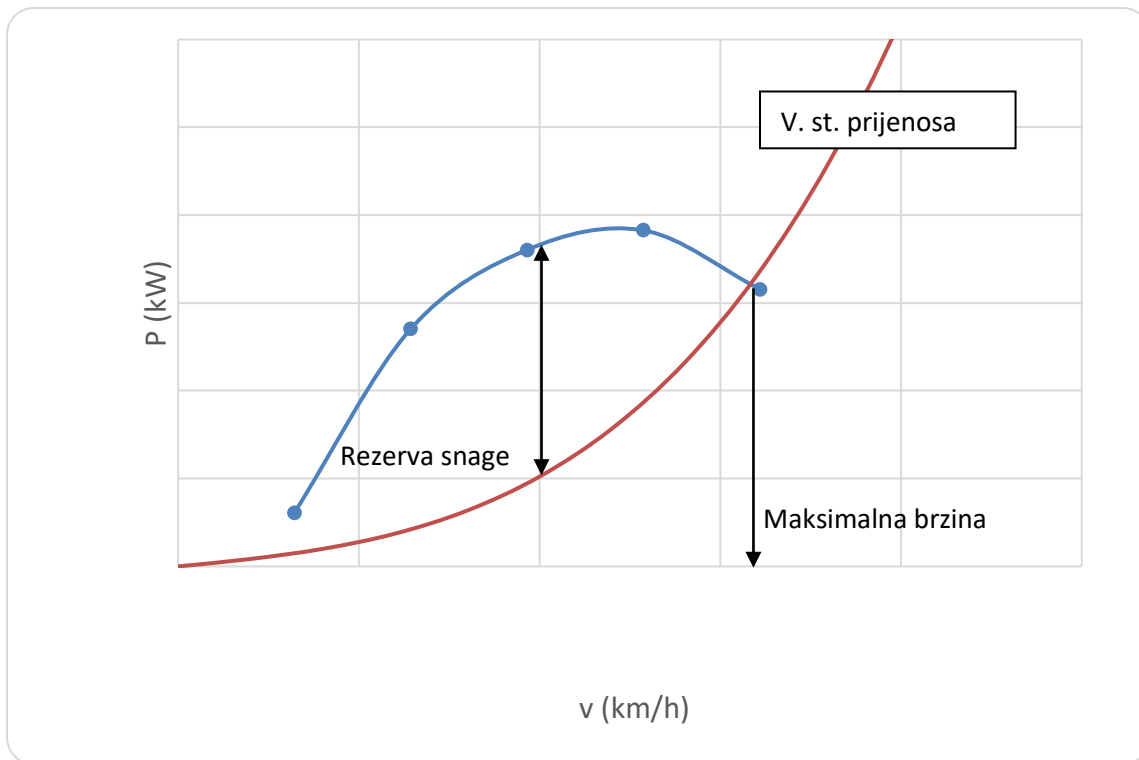
Slika 11. Grafički prikaz vučna snage na kotačima u ovisnosti od brzine vozila i stupnju prijenosa mjenjača, Izvor: autor

Na slici 11. je prikazana vučna snaga u ovisnosti o brzini vozila i stupnju prijenosa mjenjača. U prvom stupnju prijenosa mjenjača (plava linija) iznos maksimalne vučne snage je 76.5 N (konstanta) pri brzini od 28.3 km/h. U drugom stupnju prijenosa (ljubičasta linija) automobil postiže maksimalnu snagu pri brzini od 54.5 km/h, u trećem stupnju (zelena linija) pri brzini od 75.7 km/h, u četvrtom stupnju (crvena linija) 103.8 km/h i u petom stupnju prijenosa mjenjača (tamno plava linija) pri brzini od 128.7 km/h pri broju okretaja u iznosu od 4000 o/min (konstantno).



*Slika 12.* Bilanca snage, Izvor: autor

Na slici 12. je prikazana bilanca snage tj. grafički je prikazano kojom brzinom vozilo može ići na određenom usponu i u određenom stupnju prijenosa. Iz dijagrama se može zaključiti da vozilo može savladati maksimalni uspon od 80% i to u I. stupnju prijenosa pri brzini 10 km/h.



Slika 13. Maksimalna brzina Audiya A4 B6 u petom stupnju prijenosa, Izvor: autor

Na slici 13. je grafički prikazana rezerva snage za Audi A4 B6 u petom stupnju prijenosa mjenjača na horizontalnoj podlozi. Rezerva za ubrzanje može se također vidjeti iz bilance snage. Rezerva snage je razlika između potrebne snage za savladavanje otpora i ukupne raspoložive snage pri određenoj brzini. Maksimalna brzina se može očitati i iz ovog dijagrama te iznosi cca. 160 km/h.

## 5. ZAKLJUČAK

U završnom radu izrađen je vučni proračun za automobil Audi A4 B6. Izračunata je ukupna sila otpora, koja se sastoji od sile otpora kotrljanja, sile otpora zraka i sile otpora uspona. Nakon toga je izračunata idealna vučna sila koja se ponaša po zakonu idealne hiperbole koja se u praksi ne može ostvariti zbog fizikalnih ograničenja automobila. Također su izračunate vučne sile za svaki stupanj prijenosa, te brzine koje automobil može postići. Maksimalna brzina vozila u V. stupnju prijenosa mjenjača na horizontalnoj cesti iznosi 160 km/h. U III. stupnju prijenosa mjenjača automobil može savladati uspon od 20%, brzinom od 80 km/h, dok brzinom od 45 km/h može savladati uspon od 40% u II. stupnju prijenosa mjenjača. U I. stupnju prijenosa mjenjača, brzinom od 40 km/h, automobil može savladati uspon od 60%. Maksimalni uspon koji automobil može savladati je 80% pri brzini od 10km/h u I. stupnju prijenosa.

## Literatura:

- Cerovac V. (2001) *Tehnika i sigurnost prometa*, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti.
- Đuranović, S. (2016.) *Osnove strojarstva*, Šibenik, Veleučilište u Šibeniku.
- Grupa autora (2006) *Tehnika motornih vozila*, Zagreb, Hrvatska Obrtnička Komora, Pučko Otvoreno Učilište Zagreb
- Kobasić, D. (2013.) *Nastavno pismo za programe obrazovanja odraslih, Ceste i cestovni objekti*, Zagreb, Škola za cestovni promet Zagreb
- Mikulić, D. (2020) *Motorna vozila: Teorija kretanja i konstrukcija*, Velika Gorica, Veleučilište Velika Gorica
- Oremović, I. (2020) *Utjecaj elemenata karoserije automobila na potrošnju energije*, završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- Perše, S. i Višnjčić, V. (2005) *Strojarstvo u prometu*, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti.
- Stojić, B. (2012) *Teorija kretanja drumskih vozila, skripta*, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka
- The international Audi website (2002) TechnischeDaten Audi A4 Limousine 1.9 TDI 85 kW, Preuzetosa audi.com
- Vrhovski, D. i Nikšić, M. (2000) *Osnove strojarstva, zbirka riješenih zadataka*, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti Zagreb



## PRILOZI

### Popis tablica

Tablica 1. Tablični prikaz vanjske brzinske karakteristike motora.....	5
Tablica 2. Karakteristike vozila .....	6
Tablica 3. Vrijednosti faktora i sile otpora kotrljanja u ovisnosti o brzini.....	9
Tablica 4. Ovisnost otpora zraka o brzini vozila.....	11
Tablica 5. Otpor zraka i kotrljanja ovisno o brzini .....	12
Tablica 6. Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi.....	14
Tablica 7. Otpori kretanja na horizontalnoj podlozi i na usponima.....	17
Tablica 8. Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi i na usponima.....	19
Tablica 9. Vučne sile u različitim stupnjevima djelovanja .....	24
Tablica 10. Vučna snaga na kotačima u ovisnosti od brzine vozila i stupnja prijenosa mjenjača .....	27

### Popis slika

Slika 1. Audi A4 B6 .....	2
Slika 2. Vanjska brzinska karakteristika motora.....	5
Slika 3. Smanjenje koeficijenta otpora zraka kroz povijest .....	10
Slika 4. Grafički prikaz ukupne sile otpora i zraka ovisno o brzini .....	13
Slika 5. Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi.....	15
Slika 6. Ukupni otpor kretanja na horizontalnoj podlozi i usponu .....	18
Slika 7. Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi i usponima .....	20
Slika 8. Automobil na usponu .....	22
Slika 9. Grafički prikaz idealne hiperbole i vučne sile.....	25
Slika 10. Grafički prikaz brzine u ovisnosti o usponu i stupnju prijenosa .....	26
Slika 11. Grafički prikaz vučna snage na kotačima u ovisnosti od brzine vozila i stupnju prijenosa mjenjača .....	28
Slika 12. Bilanca snage .....	29
Slika 13. Maksimalna brzina Audija A4 B6 u petom stupnju prijenosa .....	30