

# Vučni proračun cestovnog vozila Volkswagen Caddy

---

**Sardelić, Jelena**

**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:143:037252>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-01**

*Repository / Repozitorij:*

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



**VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU**  
**ODJEL PROMET**  
**PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ**

**Jelena Sardelić**

**VUČNI PRORAČUN CESTOVNOG VOZILA**  
**VOLKSWAGEN CADDY**

**Završni rad**

Šibenik, 2021.

- ova stranica je namjerno ostavljena prazna

**VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU**  
**ODJEL PROMET**  
**PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ**

**VUČNI PRORAČUN CESTOVNOG VOZILA**  
**VOLKSWAGEN CADDY**

**Završni rad**

**Kolegij:** Teorija kretanja vozila

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

**Student(ica):** Jelena Sardelić

**Matični broj studenta(ice):**1219060536

Šibenik, rujan, 2021.

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, Jelena Sardelić, studentica Veleučilišta u Šibeniku, JMBAG 1219060536 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 Volkswagen Caddy 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, 14.9.2021.

Jelena Sardelić



## **VUČNI PRORAČUN CESTOVNOG VOZILA VOLKSWAGEN CADDY**

JELENA SARDELIC

Ulica 67. broj 1, [jelkica.sardelic123@gmail.com](mailto:jelkica.sardelic123@gmail.com)

Vučnim proračunom vozila se utvrđuju mogućnosti cestovnog vozila, poput maksimalne brzine koju vozilo može postići ili maksimalnog uspona koji vozilo može savladati, u ovisnosti o uvjetima na cesti i performansama samog vozila. U završnom radu napravljen je vučni proračun vozila Volkswagen Caddy. Svi otpori koji se javljaju prilikom kretanja vozila su opisani, proračunati i grafički prikazani u dijagramima. Proračunata je i grafički prikazana hiperbola vuče, te je izrađen vučni dijagram vozila. Vučni proračun i grafički prikazi izrađeni su u računalnom programu MS Excel.

(41 stranica / 22 slike / 10 tablica / 8 literaturnih navoda / jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u digitalnom repozitoriju Knjižnice Veleučilišta u Šibeniku

Ključne riječi: vučni proračun, jednadžba kretanja vozila, Volkswagen Caddy

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

Rad je prihvaćen za obranu dana: 14.9.2021.

## **VOLKSWAGEN CADDY ROAD VEHICLE DYNAMICS CALCULATION**

JELENA SARDELIC

Ulica 67. broj 1, [jelkica.sardelic123@gmail.com](mailto:jelkica.sardelic123@gmail.com)

The vehicle dynamics calculation determines the capabilities of the road vehicle, such as the maximum speed that the vehicle can reach or the maximum climb that the vehicle can overcome, depending on the road conditions and the performance of the vehicle itself. In the final work, the traction calculation of the Volkswagen Caddy was made. All driving resistances that occur when the vehicle is moving are described, calculated, and graphically shown in diagrams. The traction hyperbola was calculated and graphically shown, and a traction diagram of the vehicle was made. Traction calculation and graphical representations were created in the computer program MS Excel.

(41 pages / 22 figures / 10 tables / 8 references / original in Croatian language)

Thesis deposited in Polytechnic of Šibenik Library digital repository

Keywords: vehicle dynamics calculation, vehicle equation of motion, Volkswagen Caddy

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

Paper accepted: 14.9.2021.

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. Karakteristike vozila .....	2
1.2. Transmisija .....	3
1.3. Vanjska brzinska karakteristika motora .....	4
1.4. Karakteristike puta .....	6
2. OTPORI KRETANJA.....	8
2.1. Otpori kotrljanja.....	9
2.2. Otpori zraka.....	10
2.3. Otpori uspona .....	14
2.4. Otpori inercije .....	17
2.5. Otpori priključnog vozila .....	18
3. VUČNE SILE I SNAGA .....	19
3.1. Jednadžba kretanja vozila .....	19
3.2. Vučne sile .....	19
3.3. Rezerva za ubrzanje .....	22
3.4. Vučna snaga .....	23
3.5. Sile prijanjanja.....	26
3.6. Vučni dijagram .....	29
4. ZAKLJUČAK .....	31
LITERATURA .....	32
PRILOZI .....	33
Popis tablica .....	33
Popis slika.....	33



# 1. UVOD

Prijevoz ljudi i dobara motornim vozilima nazivamo cestovnim prometom. Cestovni promet je najzastupljenija i najviše korištena grana prometa. Sve većim razvojem prometnica tako i sve većim korištenjem automobila, javlja se važnost sigurnosti i zaštite prometa. Svakodnevno se događaju prometne nezgode i nesreće, a njih možemo spriječiti tako da vozač ima znanja za prometne propise i prometnu kulturu te mora dobro poznavati svoj automobil. Cesta također mora imati svoje čimbenike po kojima mora zadovoljavati uvjete sigurnosti. Vozilo ima svoje značajke i karakteristike koje je potrebno znati za idealno i sigurno korištenje. U radu su prikazane karakteristike vozila i puta, te otpori koji utječu na kretanje vozila. Na kretanje vozila također utječe vučna snaga i sile koje se moraju savladati. Navedene karakteristike, sile i otpori prikazani su u dijagramima i tablicama. Prikazani su stvarni i idealni uvjeti pa možemo zaključiti da stvarni uvjeti odstupaju od idealnih. Faktor prijanjanja je važan kod kretanja vozila u određenom stupnju prijenosa koji ovisi o snazi vozila te puta. Također je važnost skrenuta na to da nije potrebna velika sila za kretanje kretanjeveć je važna podloga po kojom se vozilo kreće te faktor trenja. Svako vozilo je zasebno sa svojim karakteristikama, no bitno je znanje, vještina te kultura vozača.

Volkswagen Caddy je automobil koji je na tržište izašao 1978. godine kao vozilo za prijevoz robe. Nastao je na temelju modela Golf, no u početku nije bio prilagođen za putnike. Tek 2000. godine u prodaju izlaze vozila za putnike i za gospodarstvo. Tvrtka Volkswagen ima 5 generacija VW Caddy, a vozilo opisano u radu spada u treću generaciju automobila. Treća generacija se proizvodila od 2003. do 2014. godine u Poljskoj, a ukupna prodaja u svijetu je 1,6 milijuna vozila. Caddy iz treće generacije je dizajniran na temelju Golfa 5 i 6 te originalnom Touranu.

Osim što se opisuje vozilo, cilj ovog rada je prikaz kretanja vozila u ovisnosti o silama tj. koje sile vozilo treba savladati da bi se kretalo. Rad se sastoji od četiri poglavlja, a u prvom su prikazane karakteristike vozila i puta, vanjska brzinska karakteristika motora te transmisija. U drugom poglavlju su detaljno opisane sile otpora kotrljanja, zraka, uspona i inercije, to su sile koje se suprotstavljaju kretanju automobila. U trećem poglavlju se prikazuje jednadžba kretanja vozila, a to je zbroj svih otpora koji utječu na vozilo. Također se opisuje i vučna sila koja mora savladati sve otpore vožnje da vi se vozilo kretalo.

## 1.1. Karakteristike vozila

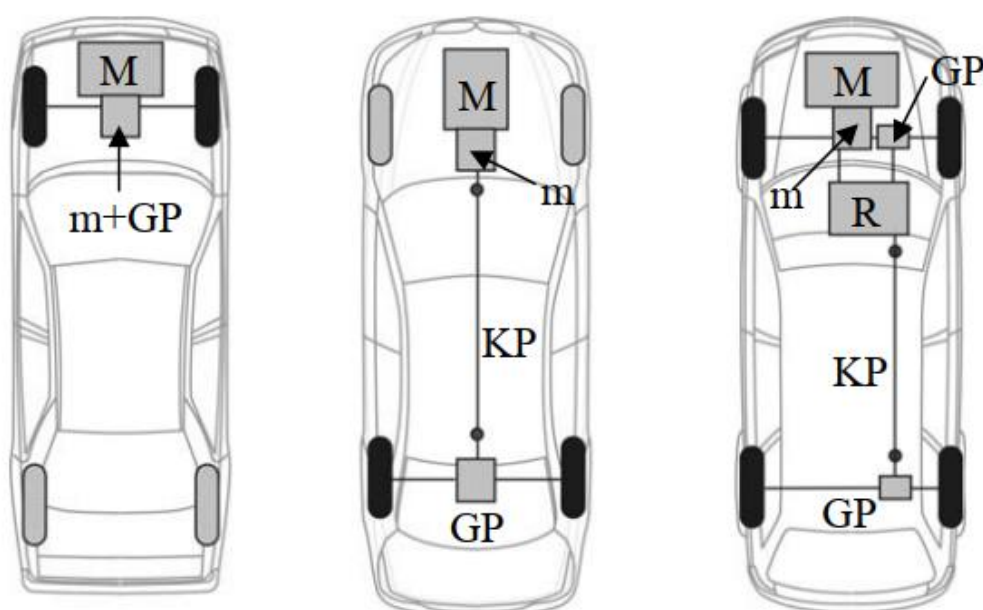
Vučni proračun je obračunat na osobnom vozilu Volkswagen Caddy. Slika vozila prikazana je na slici 1.1. Vozilo je iz 2013. godine te spada u treću generaciju VW Caddyja (2010.-2015.) Težina vozila iznosi  $G = 14200 \text{ N}$ , a pod tim se podrazumijeva da se ukupna težina vozila prenosi preko osovine na podlogu. Čelna površina je veličina vozila koja je direktno zahvaćena strujanjem zraka, a ona iznosi  $A = 2,95 \text{ m}^2$ . Dinamički radijus kotača je  $r_d = 0,35 \text{ m}$ . Udaljenost težišta od prednje osovine je označena s  $l_1$  i iznosi 1,1 m, a udaljenost težišta od stražnje strane s  $l_2$  i ona iznosi 1m. S oznakom  $h_T$  označena je visina težišta vozila, to jest udaljenost težišta vozila od podloge po kojoj se vozilo kreće, a ono iznosi 0,50 m. Koeficijent otpora zraka iznosi  $c_x = 0,48$ , a nalazi se u poglavlju 2.2. gdje se opisuje sila otpora zraka.



Slika 1.1. Volkswagen Caddy, Izvor: autor

## 1.2. Transmisija

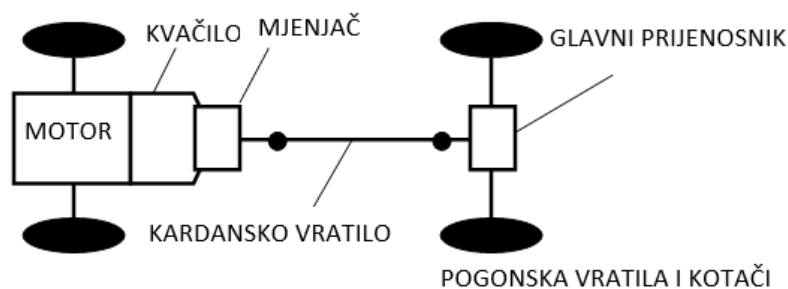
Transmisija motornog vozila, ima zadatak da prenese snagu, to jest okretni moment od motora do pogonskih kotača. Snaga se motora, pomoću transmisije, prilagođava vanjskim otporima kretanja. (Mikulić, 2020) Uz pomoć transmisije vrši se transformacija broja okretaja i momenta koji se prenose od pogonskog motora na kotače. Transmisija se sastoji od sustava mehaničkih elemenata, poput spojke, mjenjača, kardanskog vratila, razvodnika snage, glavnog prijenosnika. Kod putničkih cestovnih vozila, postoje pogon na prednje kotače, pogon na stražnje kotače i pogon na sva četiri kotača, kao što je prikazano na slici 1.2.



Slika 1.2. Vrste pogona putničkih cestovnih vozila, Izvor: Stojić, 2012

Kod pogona na prednjim kotačima transmisija je najjednostavnija i se sastoji od spojke, mjenjača, i glavnog prijenosnika. Kod pogona na stražnjim kotačima transmisija se sastoji od spojke, mjenjača, glavnog prijenosnika i kardanskog vratila. Kod pogona na sva četiri kotača transmisija je najkompleksnija, tj. ima najviše elemenata, i sastoji se od spojke, mjenjača, glavnog prijenosnika, razvodnika snage i kardanskog vratila. Kod transmisije snage od motora do pogonskih kotača neizbježni su gubici u prijenosu. Općenito, što je složeniji koncept transmisije veći su gubici u prijenosu. (Stojić, 2012.) Pretvorba parametara snage, tj. momenta i broja okretaja, ne vrši se u svim elementima transmisije, nego samo u se u

glavnom prijenosniku, mjenjaču i razvodniku snage ako postoji. Spojka prvenstveno služi za uključivanje i isključivanje prijenosa snage s motora na kotače vozila. U spojci se ne vrši promjena parametara snage niti ima velikih energetske gubitaka kod potpuno uključene spojke. Mjenjač je najvažniji element transmisije za promjenu parametara snage. Najčešće, mjenjači imaju 5 ili 6 stupnjeva prijenosa, te mogućnost promjene smjera vozila (vožnja u natrag). Kardanski prijenosnik između udaljenih prijenosnika omogućuje prijenos snage. Glavni prijenosnik je osovinski reduktor najvećeg prijenosnog omjera u transmisiji vozila, on smanjuje izlazni broj okretaja jer se najviše povećava okretni moment. (Mikulić 2020)



Slika 1.3. Shema transmisije za VW Caddy, Izvor: autor

Vozilo Volkswagen Caddy ima četiri kotača i dva pogonska kotača što znači da vozilo ima stražnji pogon 4x2, kao što je prikazano na slici 1.3. To ovisi kako se snaga motora raspodjeljuje do kotača. Stupanj iskoristivosti transmisije je  $\eta_{tr} = 0,85$ . Pretpostavlja se da je jednak stupanj djelovanja transmisije u svim stupnjevima prijenosa u mjenjaču. Glavni prijenosnik vozila ima prijenosni omjer:

$i_{GP} = 4,10$ , mjenjač je mehanički i ima 5 stupnjeva prijenosa i sljedeće prijenosne omjere:  
 $i_{MJ I} = 4,55, i_{MJ II} = 2,36, i_{MJ III} = 1,70, i_{MJ IV} = 1,24, i_{MJ V} = 1,00$

### 1.3. Vanjska brzinska karakteristika motora

Vanjska brzinska karakteristika je grafički prikaz odnosa efektivne snage motora, odnosno efektivnog okretnog momenta u ovisnosti o broju okretaja koljenastog vratila. Vanjska brzinska karakteristika se određuje eksperimentalno, za svaki motor zasebno. Ispitivanje se provodi na ispitnom stolu tako da se pri punoj dobavi motora kočnicom ograničava broj okretaja, a mjere se izlazne vrijednosti. Vanjska brzinska karakteristika je jedna od najvažnijih značajki motora s unutrašnjim izgaranjem koja se koristi za vučni proračun vozila. Dieselskim motorom obujma  $1598 \text{ cm}^3$ , te snagom motora od 75 kW, vozilo se

pokreće. Maksimalni okretni moment motora je 220 Nm pri 3000 o/min. Okretni moment motora  $Me$  u Nm izračunat je izrazom:

$$Me = \frac{Pe}{\omega_m} = \frac{Pe}{\frac{\pi \cdot n}{30}}$$

gdje je:

$Pe$ - snaga motora [W]

$\omega_m$  – brzina vrtnje motora [rad/s]

$n$  - broj okretaja [o/min]

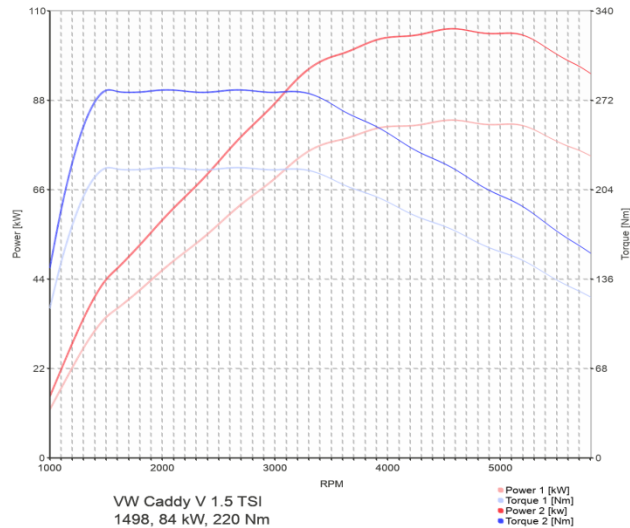
U tablici 1.1. te dijagramom na slici 1.3. prikazana je vanjska brzinska karakteristika za Volkswagen Caddy.

Tablica 1.1.

*Tablični prikaz vanjske brzinske karakteristike motora*

n [okr/min]	Me [Nm]	Pe [kW]
<b>1000</b>	130	10
<b>2000</b>	200	44
<b>3000</b>	220	70
<b>4000</b>	200	75
<b>5000</b>	190	70
<b>6000</b>	100	65
<b>6600</b>	90	60

*Izvor: autor*



Slika 1.4. Dijagram vanjske brzinske karakteristike motora, Izvor: www.cpa-chiptuning.sg

### 1.4. Karakteristike puta

Proračun se vrši za vozilo koje se kreće po suhoj asfaltnoj podlozi s različitim stupnjevima nagiba. Za asfaltnu podlogu smatra se da je u dobrom stanju, tj. da je podloga nova i gruba, što osigurava dobro prianjanje automobilskih guma na podlogu. Prema tablici (Novosel, 2015) asfaltna podloga uračunava se u vučne karakteristike vozila sa sljedećim vrijednostima:

- koeficijent otpora kotrljanja pri malim brzinama:  $f_0=0,02$
- koeficijent prianjanja/adhezije:  $\varphi=0,8$ .

Tablica 1.2.

#### Ovisnost koeficijenta prianjanja o vrsti stanju podloge

Vrsta kolničkog zastora	Stanje kolničkog zastora	Granične vrijednosti	Prosječna vrijednost
Beton	Suh, nov, grub	0,73– 0,90	0,82
	Suh, star, istrošen, glatki	0,65– 0,80	
	Mokar, star, istrošen, glatki	0,41– 0,67	
Asfalt	Suh, nov, grub	0,72 – 0,87	0,80
	Suh, star, istrošen, glatki	0,70– 0,89	
	Mokar, star, istrošen, glatki	0,53– 0,73	
Makadam	Suh, tvrd, prašnjav	0,41– 0,55	0,48
	Vlažan, tvrd, blatnjav	0,37– 0,47	
	Mokar, tvrd, pješčan	0,27– 0,43	
Snijeg	Utrti suhi	0,13– 0,19	0,16
	Rasuti suhi	0,12– 0,16	
	Raskvašeni mokri	0,18– 0,22	

Izvor: Novosel, 2015

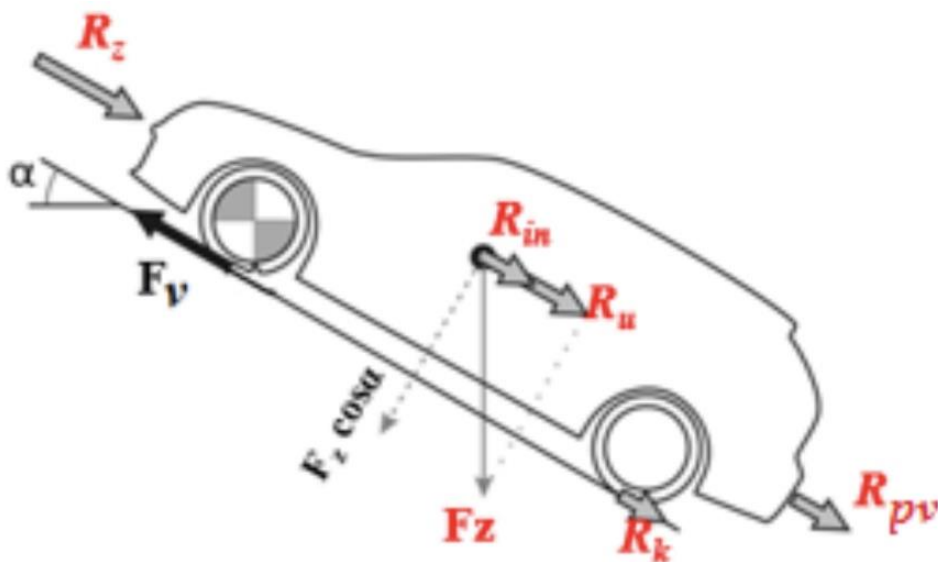
Otpor prilikom kotrljanja kotača nastaje zbog neelastičnosti automobilske gume, tj. pneumatika. Pri kotrljanju automobilske gume, energija se troši na sabijanje gume u zahvatu s podlogom, a pri izlasku dijela automobilske gume iz zahvata energija se dobiva. Budući da automobilska guma nije savršeno elastična, kada guma ulazi u zahvat s podlogom troši se više energije nego što se dobije prilikom širenja gume, tj. prilikom izlaska iz zahvata. Ova pojava se naziva histereza pneumatika. Otpor pri kotrljanju iskazuje se uz pomoć veličine koja se naziva koeficijent otpora kotrljanja. Koeficijent otpora kotrljanja, međuostalim, ovisi i o vrsti podloge, tlaku zraka u penumatiku, i brzini kretanja vozila. (Perše i Višnjic, 2005)

Vučne karakteristike se računaju za **uspone puta** od  $u=0\%$ , do 70%. Usponi puta detaljno su opisani u poglavlju 2.3. Otpori uspona.

## 2. OTPORI KRETANJA

Pri kretanju vozila javljaju se određene sile otpora koje se otežavaju kretanje, tj. suprotstavljaju se kretanju vozila. Sile otpora mogu se podijeliti na unutrašnje sile otpora i vanjske sile otpora. Unutrašnje sile su one koje nastaju zbog gubitaka u sustavu transmisije. Za potrebe proračuna, sve unutrašnje sile se objedinjuju i aproksimiraju stupnjem iskoristivosti transmisije. Za stupanj iskoristivosti transmisije Volkswagen Caddy je uzeta vrijednost 85%. Vanjske sile otpora su one sile koje su suprotstavljaju vozilu pri kretanju, a ovise o samoj konstrukciji automobila i uvjetima na cesti. U nastavku rada, kada se govori o otporima, prvenstveno se misli na vanjske sile otpora.

Vanjske sile otpora mogu se podijeliti na temeljne (koje se javljaju pri svakom kretanju vozila) i dopunske (koje se javljaju samo u posebnim situacijama). U temeljne sile otpora spadaju sila otpora kotrljanja i sila optora zraka, a u dopunske spadaju sila otpora uspona, inercije i prkiljučnog vozila. Temeljne sile otpora javljaju se pri svakom gibanju vozila. Dopunske sile otpora javljaju se samo u posebnim slučajevima, tako se na primjer sila otpora uspona javlja samo kada se vozilo kreće po usponu, a sila otpora inercije samo kada vozilo ubrzava. Za potreba proračuna sila priključnog vozila se neće uzeti u obzir. (Đuranović, 2016.)



Slika 2.1. Sile otpora kretanja koje djeluju na vozilo u kretanju, Izvor: Đuranović



## 2.1. Otpori kotrljanja

Između kotača i podloge s kojom je kotač u kontaktu ne postoji trenje, tj. ne može se pojaviti tangencijalna reakcija između kotača i podloge u bilo kakvim vanjskim djelovanjem. Neće doći do translacijskog gibanja kotača, ako na mirujućem kotaču počne djelovati pogonski moment  $M$ . Kotač će se, zbog kutnog ubrzanja okretati u mjestu tj. proklizivati će u odnosu na podlogu. Da bi se kotač ravno kotrljao po podlozi važno je postojanje tangencijalne sile, odnosno postojanje sile trenja kotrljanja. Deformacija pneumatika i podloge uzrokovana je otporom kotrljanja. Koeficijent otpora kotrljanja ovisi o deformaciji gume, radijusu kotača, vrsti podloge, brzini vozila te tlaku zraka u pneumaticima. (Đuranović, 2016)

Koeficijent otpora kotrljanja se povećava s brzinom prema formuli:

$$f = f_0 + C_1 \cdot v + C_2 \cdot v^4$$

gdje je:

$v$ - brzina u km/h

Usvajaju se sljedeće vrijednosti za koeficijente  $C_1$  i  $C_2$ :

$$C_1 = 5,42 \cdot 10^{-6}$$

$$C_2 = 1,05 \cdot 10^{-11}$$

Sile otpora kotrljanja  $F_k$  u N je jednaka:

$$F_k = G \cdot \cos \alpha \cdot f$$

gdje je:

$G$  - težina vozila [N]

$\alpha$ -kut uspona puta [°]

Snaga  $P_k$  u W potrebna za savladavanje otpora kotrljanja jednaka je:

$$P_k = F_k \cdot v$$

gdje je:

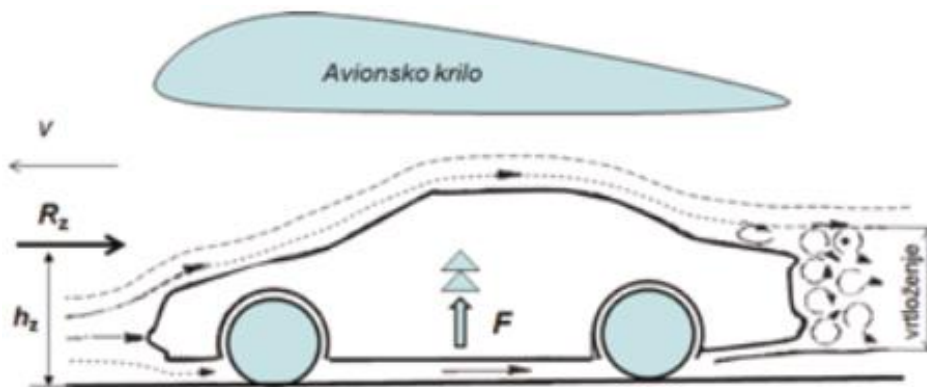
$F_k$ - otpor kotrljanja [N]

$v$  - brzina vozila [m/s]

U tablici 2.1. prikazan je izračun faktora otpora kotrljanja i sile otpora kotrljanja u ovisnosti o brzini vozila. Na temelju podataka iz tablice 2.1. izrađen je dijagram na slici 2.3. koji grafički prikazuje ovisnost sile otpora kotrljanja o brzini vozila. Potrebna snaga za savladavanje otpora kotrljanja na horizontalnoj podlozi prikazana je u tablici 2.2. i dijagramom na slici 2.4.

## 2.2. Otpori zraka

Strujanjem zraka oko vozila, uz vozilo se formira granični sloj u kojem je brzina promjenjiva. Oblik automobila je sličan aerodinamičkom obliku avionskih krila. To znači da prednji dio vozila presijeca zračne struje i ujedinjuje zrak na prednjoj površini vozila, bočna linija vozila oblikuje strujanje zraka i izaziva otpore trenja te stvaranjem podtlaka u stražnjem djelu vozila uzrokuje se turbulentno strujanje zraka i otpori kretanja. Prilikom stvaranja tlakova, vozilo, tijekom vožnje odguruje zrak oko sebe i stvara vrtloge. Dakle, otporom oblika vozila, otporom trenja te otporom prostrujavanja nastaje sila otpora zraka koja predstavlja otpor zraka kretanjem tijela.(Đuranović, 2016.)



Slika 2.2. Strujanje zraka oko vozila, Izvor: Mikulić

Horizontalna, vertikalna i poprečna aerodinamičnost vozila vrlo je važna za procjenu sigurnosti vozila te mjeru otpora zraka. Sila u otporu zraka djeluje iz prednje površine vozila na određenoj visini vozila. Položaj se određuje na temelju oblika površine na koju djeluje dinamička sila. Otpor zraka jednak je na pritisku zraka na čelnu površinu vozila i na aerodinamičnost vozila. Čelnopovršina vozila je širina i visina vozila koja je izravno zahvaćena strujanju zraka. Smanjenjem koeficijenta zraka povećava se aerodinamičnost vozila.

Sila otpora zraka  $F_z$  u N računa se prema:

$$F_z = \frac{1}{2} \rho_z \cdot v^2 \cdot c_x \cdot A$$

gdje je:

$\rho_z$  – gustoća zraka u  $\text{kg/m}^3$  i za standardne uvjete  $\rho_z = 1,2 \text{ kg/m}^3$

$c_x$  –koeficijent otpora zraka koji je usvojen i iznosi  $c_x = 0,41$

$A$ – čelna površina u  $\text{m}^2$  koja je zadana i iznosi  $A=2,5 \text{ m}^2$

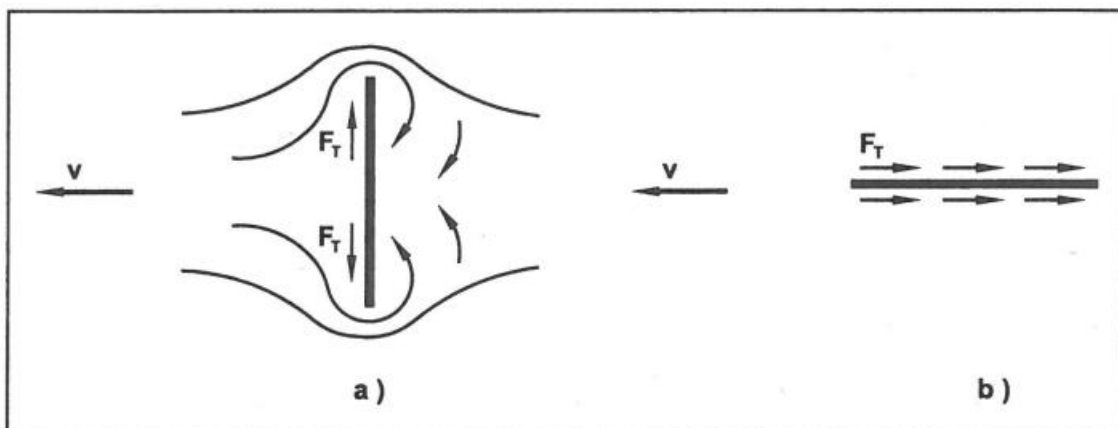
Snaga  $P_z$  u W potrebna za savladavanje otpora zraka:

$$P_z = F_z \cdot v$$

gdje je:

$v$ - brzina vozila u [m/s]

Otpor zraka stvara se zbog kretanje vozila kroz zrak. Stvaranjem razlike tlakova na prednjem i stražnjem dijelu vozila i stvaranjem trenja između čestica zraka i vozila nastaje otpor zraka. Na slici 2.3. prikazano je kretanje tijela kroz zrak. Pod a) se stvara otpor oblika jer je sila trenja okomita na pravac pa ona nema utjecaja na kretanje. Pod b) se stvara otpor trenja.



Slika 2.3. Kretanje tijela kroz zrak, Izvor: Perše

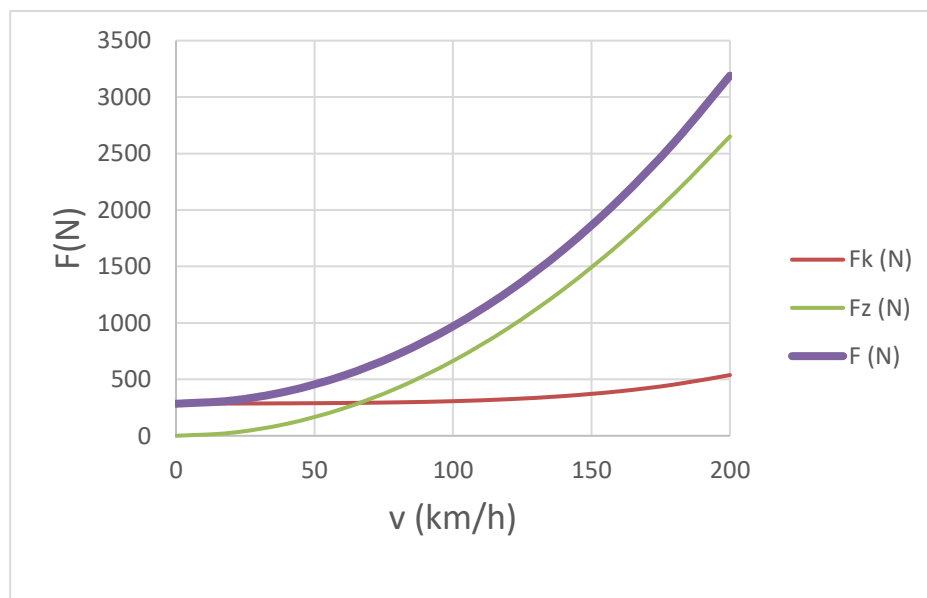
U tablici 2.1. prikazana je izračunata sila otpora zraka u ovisnosti o brzini vozila za vozilo VW Caddy. U dijagramu na slici 2.4. na temelju tablice 2.1. prikazana je ovisnost faktora otpora kotrljanja o brzini, sile otpora kotrljanja o brzini, sile otpora zraka o brzini i zbroj sile otpora kotrljanja i sile otpora zraka. U posljednjem stupcu je prikazana sila  $F$  koja predstavlja zbroj temeljnih otpora kretanju, tj. zbroj sile otpora kotrljanja i otpora zraka.

Tablica 2.1.

*Ovisnost sile otpora kotrljanja i sile otpora zraka o brzini vozila na horizontalnoj površini*

v (km/h)	F	Fk (N)	Fz (N)	F (N)
<b>0</b>	0,020	284,0	0,0	284,0
<b>20</b>	0,020	285,6	26,5	312,1
<b>40</b>	0,020	287,5	106,1	393,5
<b>60</b>	0,020	290,6	238,7	529,2
<b>80</b>	0,021	296,3	424,3	720,6
<b>100</b>	0,022	306,6	663,0	969,6
<b>120</b>	0,023	324,2	954,7	1278,8
<b>140</b>	0,025	352,1	1299,4	1651,4
<b>160</b>	0,028	394,0	1697,2	2091,2
<b>180</b>	0,032	454,4	2148,0	2602,4
<b>200</b>	0,038	538,0	2651,8	3189,8

Izvor: autor



Slika 2.4. Ukupni otpori kretanja VW Caddyja na horizontalnoj podlozi, Izvor: autor

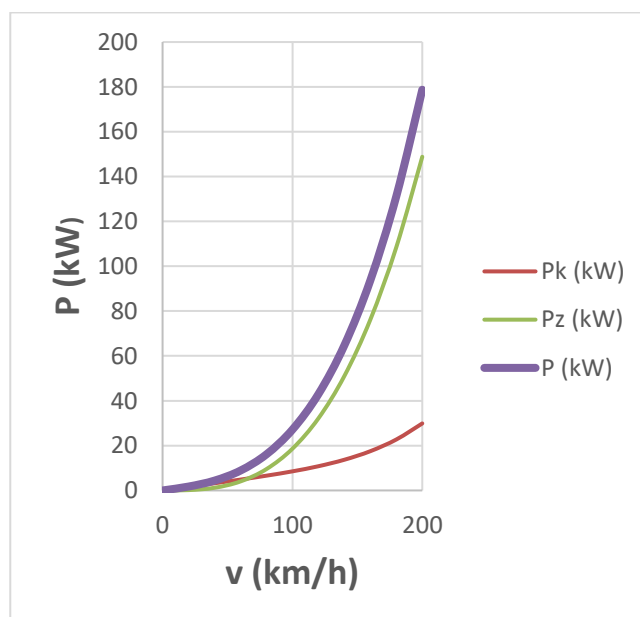
U tablici 2.2. prikazana je potrebna snaga za savladavanje otpora kotrljanja, otpora zraka i ukupna potrebna snaga za savladavanje temeljnih otpora, a na slici 2.5. je grafički prikaz potrebne snage za savladavanje otpora u ovisnosti o brzini.

Tablica 2.2.

*Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi*

<b>v(km/h)</b>	<b>f</b>	<b>P<sub>k</sub> (kW)</b>	<b>P<sub>z</sub> (kW)</b>	<b>P (kW)</b>
<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	1,2	4,4
<b>60</b>	0,020	4,8	4,0	8,9
<b>80</b>	0,021	6,6	9,5	16,1
<b>100</b>	0,022	8,5	18,6	27,1
<b>120</b>	0,023	10,8	32,1	43,0
<b>140</b>	0,025	13,7	51,1	64,7
<b>160</b>	0,028	17,5	76,2	93,7
<b>180</b>	0,032	22,7	108,5	131,2
<b>200</b>	0,038	29,9	148,8	178,7

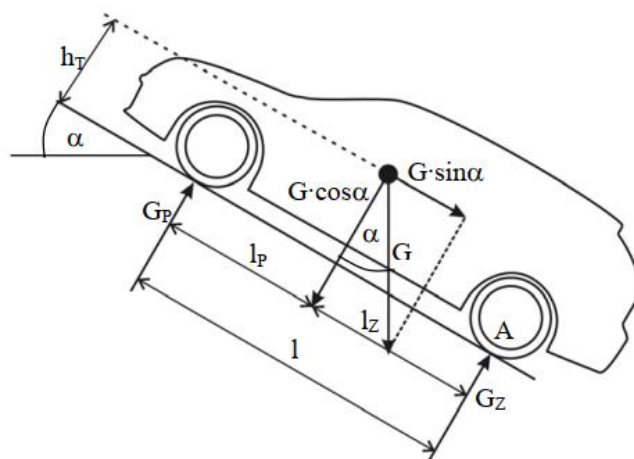
Izvor: autor



Slika 2.5. Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi, Izvor: Autor

### 2.3. Otpori uspona

Gibanjem vozila na usponu potrebno je savladati otpor uspona. Izračunavanjem sile otpora zbog uspona, potrebno je rastaviti silu težine vozila na dvije komponente. Sile djeluju u težištu, pa jedna ide u pravcu okomitom na podlogu, a druga je paralelna s podlogom (slika 2.1.). Sila koja je paralelna s podlogom predstavlja otpor vozila na usponu. Težina vozila što djeluje u smjeru puta usmjerena je suprotno od smjera gibanja vozila na usponu. (Đuranović, 2016.)



Slika 2.6. Sila otpora uspona, Izvor: Stojić, 2012.

Sila otpora za savladavanje uspona  $F_u$  u N je jednaka:

$$F_u = G \cdot \sin \alpha$$

Snaga  $P_u$  u W potrebna za savladavanje otpora zbog uspona:

$$P_u = F_u \cdot v$$

gdje je:

$G$ - težina vozila u [N]

$v$ - brzina vozila u [m/s]

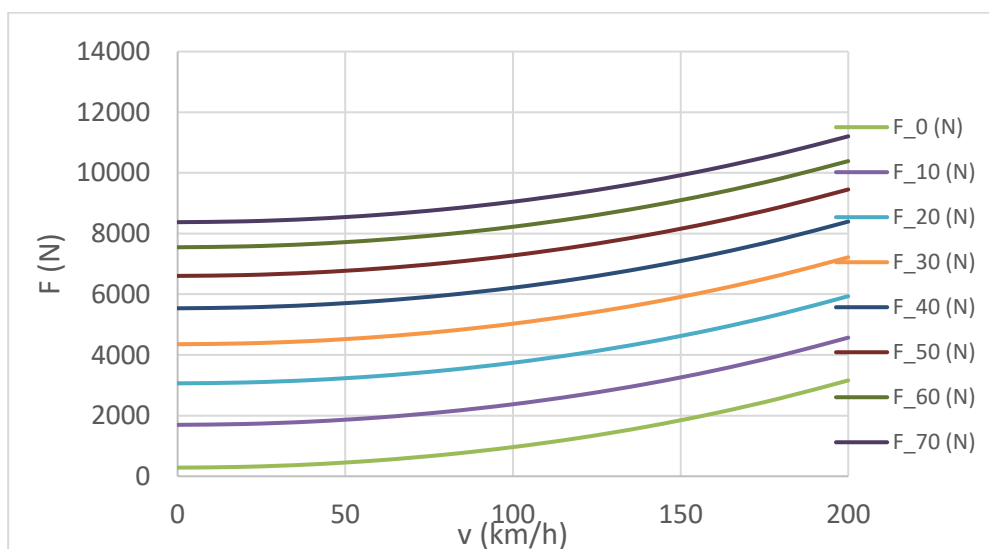
U tablici 2.3. te na slici 2.7. prikazani su rezultati proračuna ukupnih otpora kretanja za horizontalnu podlogu i na usponima od 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% i 70%. Prikazana je ovisnost sile otpora uspona o brzini vozila VW Caddy. Sila otpora uspona ne ovisi brzini vozila nego o težini vozila i o postotku uspona.

Tablica 2.3.

*Otpori kretanja na horizontalnoj podlozi i na usponima*

Uspon u %:			0	10	20	30	40	50	60	70
u=										
Uspon u st.:			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	284,0	1695,5	3063,3	4352,4	5537,4	6604,5	7549,4	8375,8
20	0,020	26,2	311,8	1723,3	3091,1	4380,1	5565,1	6632,1	7576,9	8403,3
40	0,020	104,9	392,3	1803,9	3171,6	4460,6	5645,5	6712,4	7657,2	8483,6
60	0,020	236,0	526,6	1938,1	3305,8	4594,6	5779,5	6846,3	7791,0	8617,2
80	0,021	419,6	715,8	2127,3	3494,9	4783,7	5968,4	7035,0	7979,4	8805,4
100	0,022	655,6	962,2	2373,6	3741,1	5029,6	6214,0	7280,2	8224,3	9049,9
120	0,023	944,0	1268,2	2679,5	4046,7	5334,8	6518,7	7584,4	8527,8	9352,7
140	0,025	1284,9	1636,9	3048,1	4415,0	5702,4	6885,5	7950,2	8892,6	9716,5
160	0,028	1678,2	2072,3	3483,2	4849,4	6136,0	7317,8	8381,1	9321,9	10144,2
180	0,032	2124,0	2578,4	3989,1	5354,4	6639,6	7819,6	8880,8	9819,5	10639,4
200	0,038	2622,2	3160,2	4570,5	5934,6	7217,8	8395,4	9453,8	10389,4	11206,1
220	0,046	3172,9	3823,1	5232,8	6595,3	7876,0	9050,3	10104,9	11036,3	11848,7

Izvor: autor



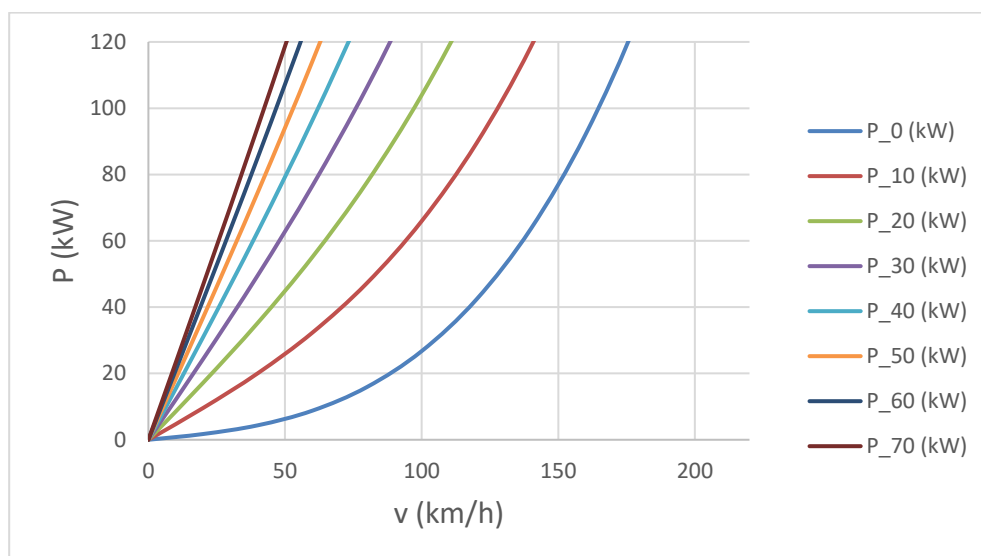
Slika 2.7. Otpori kretanja na horizontalnoj podlozi i na usponima, Izvor: autor

Tablica 2.4.

*Snaga otpora 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)	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	9,6	17,2	24,3	30,9	36,8	42,1	46,7
	40	4,4	20,0	35,2	49,6	62,7	74,6	85,1	94,3
	60	8,8	32,3	55,1	76,6	96,3	114,1	129,8	143,6
	80	15,9	47,3	77,7	106,3	132,6	156,3	177,3	195,7
	100	26,7	65,9	103,9	139,7	172,6	202,2	228,5	251,4
	120	42,3	89,3	134,9	177,8	217,3	252,8	284,3	311,8
	140	63,7	118,5	171,7	221,8	267,8	309,2	345,8	377,9
	160	92,1	154,8	215,5	272,7	325,2	372,5	414,3	450,9
	180	128,9	199,5	267,7	332,0	391,0	444,0	491,0	532,0
	200	175,6	253,9	329,7	401,0	466,4	525,2	577,2	622,6
	220	233,6	319,8	403,0	481,3	553,1	617,5	674,4	724,1

Izvor: autor



Slika 2.8. Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi i na usponima, Izvor: autor



Potrebna snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi i na usponima vozila VW Caddy prikazana je u tablici 2.4. i na dijagramu na slici 2.8.

## 2.4. Otpori inercije

U nestacioniranim uvjetima rada javlja se otpor inercije. Otpor inercije je posljedica inercijskih sila kod ubrzavanja. Ubrzanjem vozila pogon mora translacijski ubrzati masu vozila te rotacijski ubrzati sve rotirajuće dijelove, a to su pneumatici, prijenosnici snage te mase koje rotiraju. Svojom momentom tromosti rotirajući dijelovi se također opiru promjeni. Iz snage koja je preostala nakon savladavanja stacionarnih otpora određuje se mogućnost ubrzanja vozila. Stoga zaključujemo da promjenom brzine kretanja inercijske sile translacijskog kretanja jednake su umnošku ubrzanja i mase, a pri rotacijskom kretanju umnošku momenta inercije s obzirom na os oko koje rotira ( $I_z$ ) i kutnog ubrzanja ( $\epsilon$ ). (Đuranović, 2016)

Sila otpora inercije pri translacijskom kretanju vozila:

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

Moment tromosti pri rotacijskom gibanju:

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

gdje je:

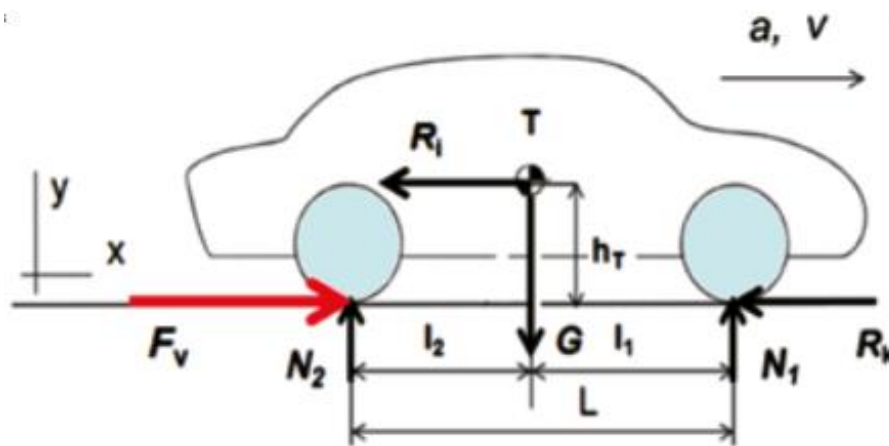
m - masa vozila [kg]

a - ubrzanje vozila [m/s<sup>2</sup>]

$\epsilon$  - kutno ubrzanje [s<sup>-2</sup>]

$I_z$  - moment tromosti [mm<sup>4</sup>]

Sila otpora inercije je pozitivna kada vozilo ubrzava, a kad vozilo usporava onda je negativna. Što znači da kada vozilo ubrzava, sila otpora inercije je usmjerena suprotno brzini vozila i suprotstavlja se gibanju, a kod usporavanja tj. kočenja, sila otpora ubrzanja je usmjerena u smjeru brzine i pospješuje gibanje – što je neželjena pojava prilikom kočenja.



Slika 2.9. Otpor ubrzanju vozila, Izvor: Mikulić

## 2.5. Otpori priključnog vozila

Sila otpora priključnog vozila proračunava se samo u slučaju kada cestovno vozilo za sobom vuče i priključno vozilo bez vlastitog pogonskog motora. Priključno vozilo može biti prikolica, poluprikolica, kamp kućica, ili radni stroj. Za izradu vučnog proračuna cestovnog vozila uobičajeno je da se otpori priključnog vozila pridodaju otporima kretanja vozila. Tako se težina prikolice, pridodaje ukupnoj težini vozila za određivanje sile otpora kotrljanja i sile otpora uspona. Za proračun sile optora inercije, u obzir se uzima dodatna masa priključnog vozila. Što se tiče proračuna sile otpora zraka, empirijski se sila otpora zraka za vozilo uvećava za 30% za terenska vozila, odnosno 15% za cestovna vozila koja vuku lake prikolice. Kada cestovno vozilo vuče kamp prikolicu, čija je čelna površina veća nego čelna površina vozila koje je vuče otpor zraka se uvećava za 30%. Što se tiče proračuna VW Caddy, uzeto je da nema priključnog vozila, pa time niti sila otpora priključnog vozila.

### 3. VUČNE SILE I SNAGA

#### 3.1. Jednadžba kretanja vozila

Zbroj svih otpora koji utječu na vozilo u kretanju podrazumijevamo pod bilancom vuče. Otpori koji utječu na vozilo u pokretu su: otpor kotrljanja  $F_k$ , otpor zraka  $F_z$ , otpor uspona  $F_u$  i otpor inercije i tromosti  $F_{it}$ . (Đuranović, 2016)

$$F_0 = F_k + F_z + F_u + F_{it} [N]$$

Vučna sila mora savladati sve otpore vožnje da bi se vozilo moglo kretati, odnosno pogonska sila mora biti veća ili jednaka od ukupnog otpora vožnje koji djeluje na vozilo.

#### 3.2. Vučne sile

Na pogonskim kotačima realizira se vučna sila vozila. Sila kod pogona 4x2 se prenosi na prednje ili stražnje kotače. Za svaki stupanj prijenosa u mjenjaču računaju se vučne sile na pogonskim kotačima. Prvi stupanj iznosi  $i_I = 4,55$ , drugi  $i_{II} = 2,36$ , treći iznosi  $i_{III} = 1,7$ , četvrti iznosi  $i_{IV} = 1,24$  dok peti stupanj iznosi  $i_V = 1$ . Ukupni prijenosni omjer snage to jest transmisije jednak je: (Mikulić, 2020)

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

gdje je:

$i_{MJ}$ - prijenosni omjer u mjenjaču određenom stupnju prijenosa

$i_{GP}$ - prijenosni omjer glavnog prijenosnika iznosi 4,1

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

$i_R$  - prijenosni omjer u određenom stupnju redukcije

Vozilo je opremljeno s reduktorom i ono ima dva prijenosna omjera. Onaj koji je stalno uključen nazivamo direktan prijenos, a onaj s redukcijom koji se uključuje po potrebi nazivamo prijenosni omjer  $i_R > 1$ . Za svaki prijenosni omjer u reduktoru i mjenjaču kod vozila s reduktorom, vučne sile se računaju posebno. Motorna vučna sila  $F_m [N]$  je sila motora koja je svedena na pogonske kotače izražena iz obodne sile koja potječe od momenta motora.

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

Gdje je:

$M_e$  - okretni moment motora [Nm]

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

$\eta_{tr}$  - stupanj djelovanja transmisije iznosi 0,85

$r_d$  - dinamički radijus kotača iznosi 0,35 [m]

Za određenu brzinu vozila prikazuje se motorna vučna sila. Brzina vozila ovisi od broja okretaja motora i stupnju prijenosa u mjenjaču. Brzina vozila  $v$  u km/h jednaka je:

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

$n$  - broj okretaja [o/m]

$r_d$  - dinamički radijus kotača [m]

$i_{MJ}$ ,  $i_{GP}$  - prijenosni odnosi u mjenjaču u određenom stupnju prijenosa i u reduktoru teglavnom prijenosniku

Brzinska karakteristika je važan faktor kod pogonskog motora. Ona prikazuje grafički prikaz funkcije efektivne snage motora, efektivnog okretnog momenta motora i potrošnje goriva, a to ovisi o broju okretaja motora pri opterećenju motora. Brzinska karakteristika podrazumijeva iznos obrtnog momenta za bilo koji broj okretaja između minimalnog ili maksimalnog uz rad motora. U motornim vozilima nalaze se pogonski motori, a oni imaju sljedeće karakteristike: snaga i obrtni moment (maksimalna vrijednost i brzinska karakteristika, djelovanje transmisije, potrošnja goriva, dimenzije i masa motora, emisija goriva, karakteristike i raspoloživost goriva, pouzdanost i vijek trajanja te udobnost, buka i vibracije.

Na maksimalnoj snazi motora idealni mjenjač daje obodnu silu na pogonskim kotačima, to još nazivamo idealna hiperbola vuče, a jednaka je:

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

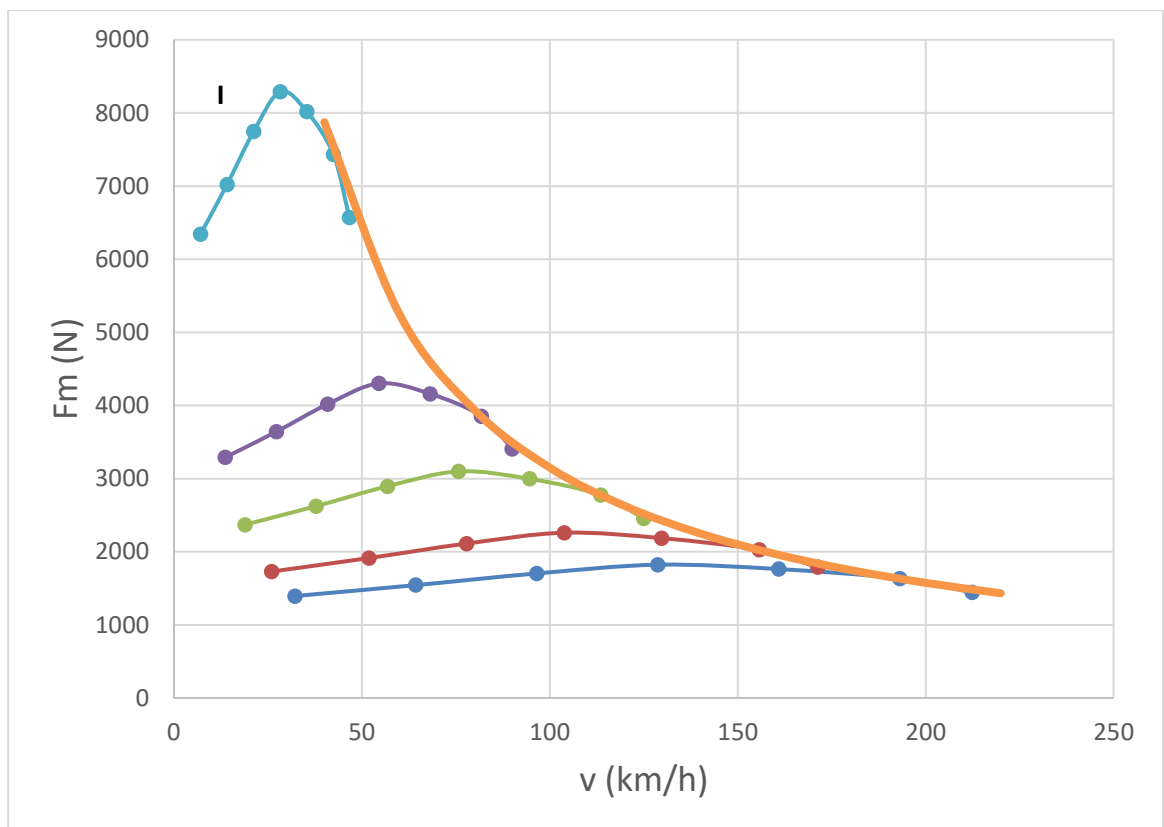
U tablici 3.1. su prikazani proračuni motornih vučnih sila u funkciji od brzine vozila pri određenim stupnjevima prijenosa u mjenjaču. Na slici 3.1. dijagramom se prikazuje vučne sile pri različitim stupnjevima prijenosa u mjenjaču te idealnu hiperbolu vuče koja predstavlja vučnu silu idealnog mjenjača pri radu motora na maksimalnoj snazi. Idealna hiperbola je označena naračastom bojom.

Tablica 3.1.

*Motorne vučne sile na kotačima u različitim stupnjevima prijenosa*

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	
1000	140	14,7	7,1	6342,7	13,6	3289,8	18,9	2369,8	26,0	1728,6	32,2	1394,0
2000	155	32,4	14,1	7022,3	27,3	3642,3	37,9	2623,7	51,9	1913,8	64,4	1543,4
3000	171	53,7	21,2	7747,2	40,9	4018,3	56,8	2894,5	77,9	2111,3	96,5	1702,7
4000	183	76,6	28,3	8290,8	54,5	4300,3	75,7	3097,7	103,8	2259,5	128,7	1822,2
5000	177	92,6	35,4	8019,0	68,2	4159,3	94,7	2996,1	129,8	2185,4	160,9	1762,4
6000	164	103	42,4	7430,0	81,8	3853,8	113,6	2776,1	155,7	2024,9	193,1	1633,0
6600	145	100,2	46,7	6569,2	90,0	3407,3	124,9	2454,4	171,3	1790,3	212,4	1443,8

Izvor: autor

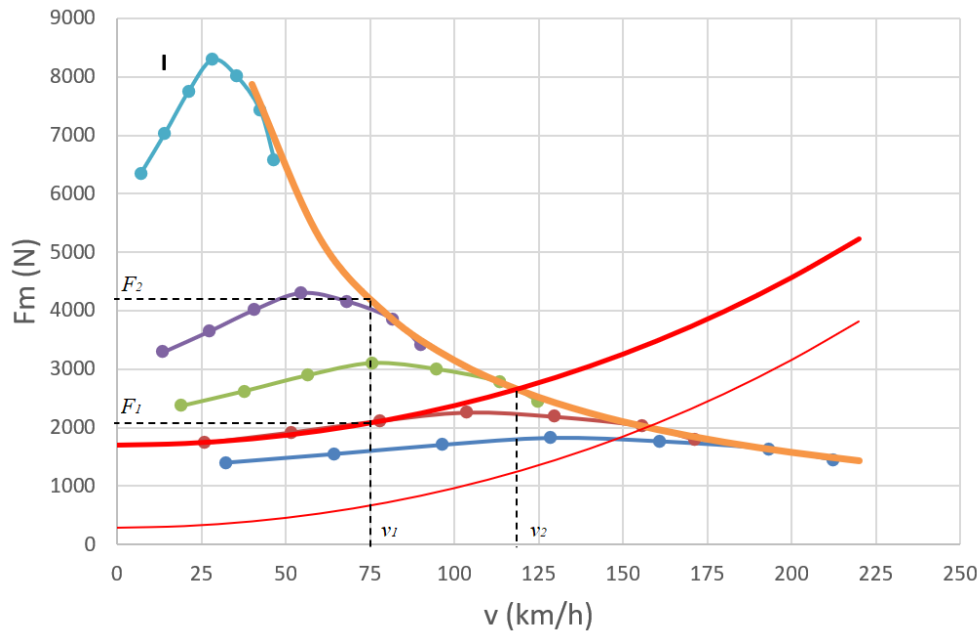


Slika 3.1. Vučne sile i idealna hiperbola vuče, Izvor: autor

### 3.3. Rezerva za ubrzanje

Na slici 3.2. su prikazane vučne sile u ovisnosti o brzini i stupnju prijenosa (svijetlo plava, ljubičasta, zelena, smeđa i tamno plava linija), idealna hiperbola vuče (narančasta linija), i sile otpora. Tankom crvenom linijom je prikazana ukupna sila otpora na horizontalnoj cesti, dakle cesti bez uspona. Debelom crvenom linijom je prikazana ukupna sila otpora pri usponu od 10%. Preko dijagrama se može objasniti koncept rezerve za ubrzanje. Ako se vozilo kreće brzinom  $v_1 = 75$  km/h, tada će ukupna sila otpora na cesti uspona 10% iznositi  $F_1 = 2100$  N. Gledajući idealnu hiperbolu vuče, vidi se da ovo vozilo pri brzini  $v_1$  može savladati maksimalnu silu otpora  $F_2 = 4100$  N, što znači da postoji određena rezerva za ubrzanje koja iznosi  $F_2 - F_1 = 2000$  N. Dakle, vozilo može savladati silu otpora ubrzanja i povećavati svoju brzinu. Kako se vozilu povećava brzina, raste i ukupna sila otpora, a vučna sila se smanjuje. Vozilo će ubrzavati sve dok se linija sile otpora i linija idealne hiperbole vuče ne presjeku, tj. dok vozilo ne postigne brzinu  $v_2 = 120$  km/h. Iz dijagrama se zaključuje da se ovo vozilo po usponu od 10% može kretati maksimalnom brzinom od 120 km/h.

Ako se vozilo kreće po horizontalnoj cesti, maksimalna brzina vozila se može dobiti tako da se očita brzina vozila gdje se presjecaju ukupna sila otpora na horizontalnoj cesti i idealna hiperbola vuče, što iznosi 155 km/h. Budući da se vučna sila ne ponaša prema zakonu idealne hiperbole, nego je ograničena prijenosnim omjerom u određenom stupnju prijenosa, stvarna maksimalna brzina vozila u stvari se očitava na sjecištu vučne sile u petom stupnju prijenosa (tamno plava linija) i ukupne sile otpora na horizontalnoj cesti (tanka crvena linija) iz čega se vidi da je ovo vozilo u stvari može postići maksimalnu brzinu od 150 km/h.



Slika 3.2. Uz objašnjenje rezerve za ubrzanje, Izvor: autor

### 3.4. Vučna snaga

Vučna snaga je snaga koju proizvodi motorna vučna sila na pogonskim kotačima. Ona se prenosi od motora do pogonskih kotača u određenom stupnju prijenosa i ona je jednaka: (Mikulić, 2020)

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

Gdje je:

$P_e$  - snaga motora [W]

$\eta_{tr}$  - stupanj djelovanja transmisije u određenom stupnju prijenosa

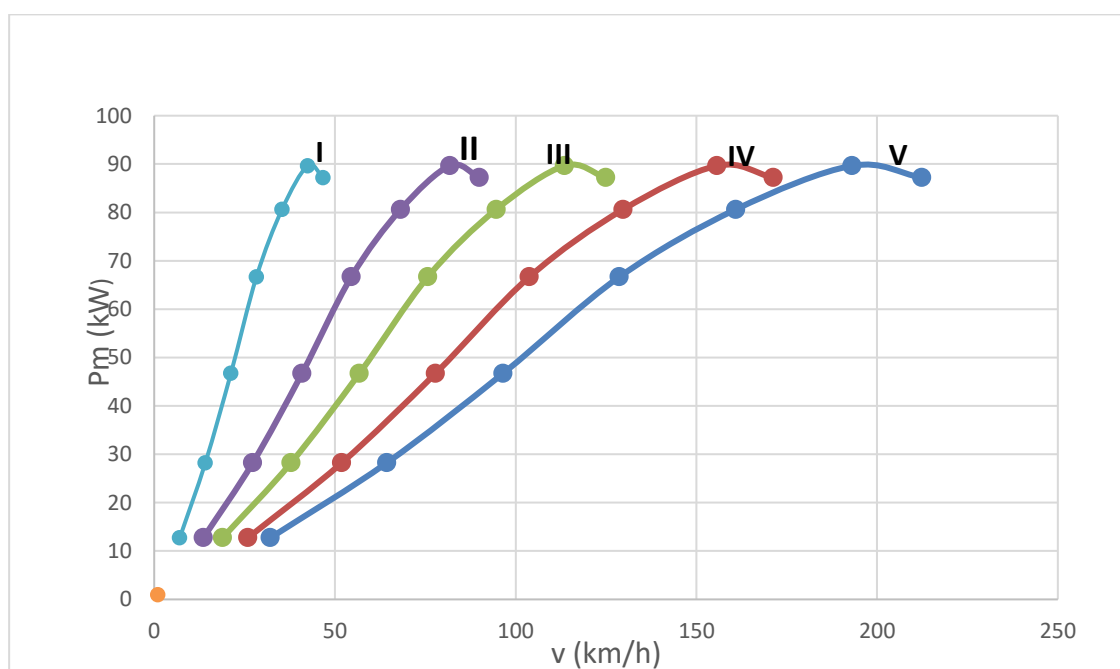
Za svaki broj okretaja motora  $n$  potrebno je izračunati brzinu vozila  $v$ , ako se prikazuje ovisnost snage vuče  $P_m$  u pojedinom stupnju prijenosa u mjenjaču. Također se prikazuje i snaga  $P_m$  za tu brzinu. U tablici 3.2. i na slici 3.. prikazan je izračun snage na pogonskim kotačima u ovisnosti od brzine vozila i u različitim stupnjevima prijenosa u mjenjaču.

Tablica 3.2.

*Vučne snage na kotačima u ovisnosti od brzine vozila i u različitim stupnjevima prijenosa*

n(o/ min)	Mm( Nm)	Pe(k W)	v (km/ h)	Pv (W)	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	140	14,7	7,1	12,8	13,6	12,8	18,9	12,8	26,0	12,8	32,2	12,8
2000	155	32,4	14,1	28,2	27,3	28,2	37,9	28,2	51,9	28,2	64,4	28,2
3000	171	53,7	21,2	46,7	40,9	46,7	56,8	46,7	77,9	46,7	96,5	46,7
4000	183	76,6	28,3	66,7	54,5	66,7	75,7	66,7	103,8	66,7	128,7	66,7
5000	177	92,6	35,4	80,6	68,2	80,6	94,7	80,6	129,8	80,6	160,9	80,6
6000	164	103	42,4	89,7	81,8	89,7	113,6	89,7	155,7	89,7	193,1	89,7
6600	145	100, 2	46,7	87,2	90,0	87,2	124,9	87,2	171,3	87,2	212,4	87,2

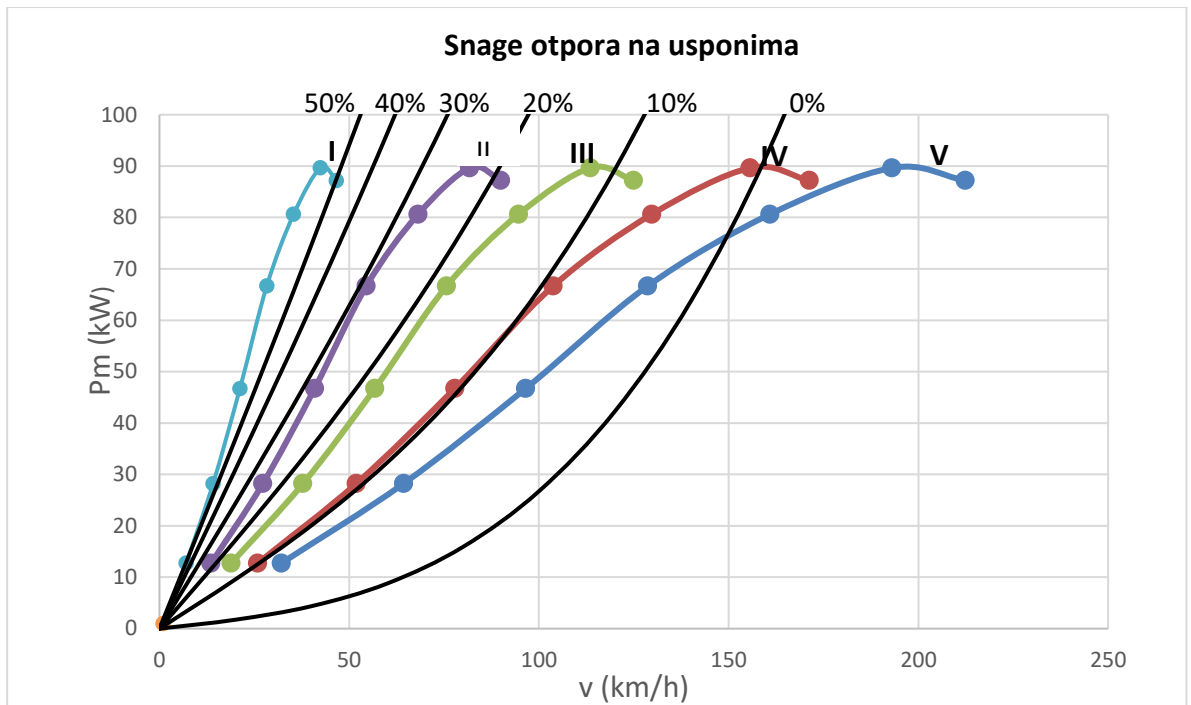
Izvor: autor



Slika 3.3. Vučna snaga u ovisnosti o brzini vozila i u različitim stupnjevima prijenosa, Izvor: autor

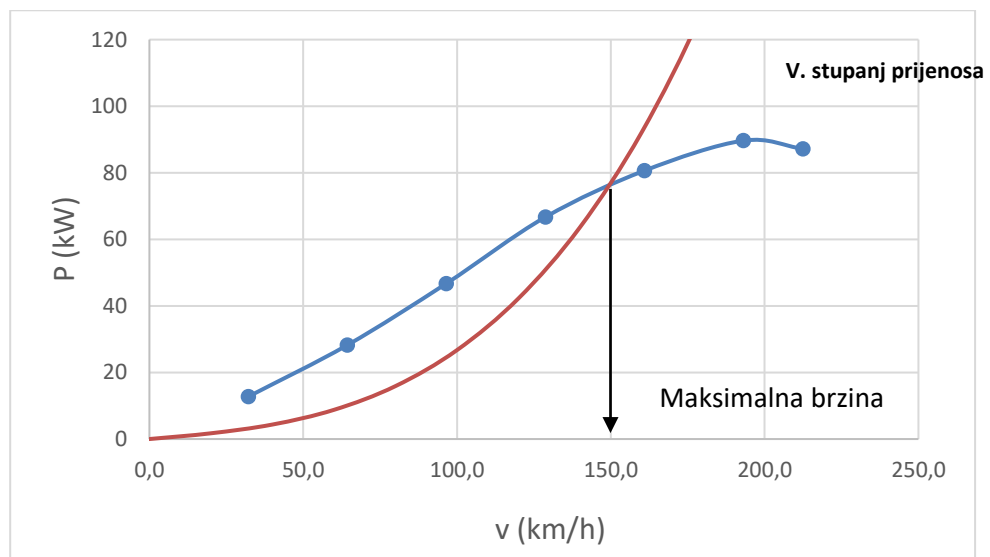
Nakon prikazanog dijagrama., može se prikazati bilanca snage tj, na dijagramu vučne snage mogu se ucrtati snage otpora kretanja pri usponima, dijagram 7. Najveće moguće brzine vozila u pojedinim stupnjevima prijenosa na određenim usponima se također mogu isčitati sa dijagrama na slici 3.4.





Slika 3.4. Bilanca snage, Izvor: autor

Na dijagramu na slici 3.4. je prikazana bilanca snage za kretanje VW CADDY u V. stupnju prijenosa i na ravnoj podlozi. Pri maksimalnoj brzini vozila od 150 km/h snaga na pogonskim kotačima jednaka je snazi otpora kretanja.



Slika 3.5. Maksimalna brzina VW CADDY u petom stupnju prijenosa na horizontalnoj podlozi, Izvor: autor

### 3.5. Sile prianjanja

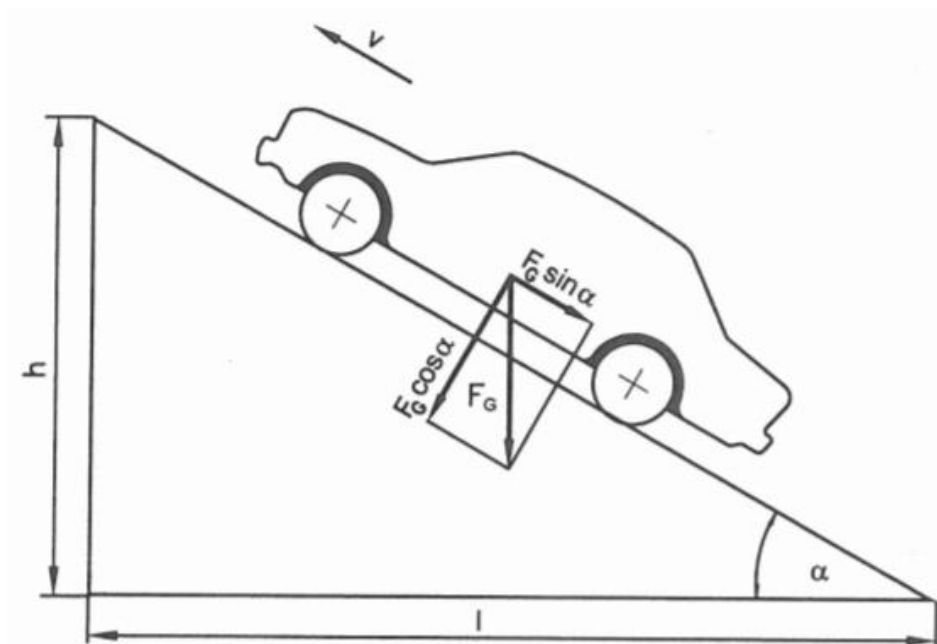
Pri kretanju motornog vozila na njega djeluju sile otpora vožnje koje se moraju svladati vučnom silom. Osovinske sile (težina vozila, osovinsko opterećenje), vanjske sile (otpori kotrljanja, otpor zraka...) i unutarnje sile (vučna sila, kočna sila...) su sustav sila koje djeluju na vozilo. Sve sile koje djeluju na vozilo imaju utjecaj na osovinsko opterećenje pa tako i na performanse vozila. Na slici 3.1. prikazano je motorno vozilo pri kretanju u usponu te sile koje djeluju na njega. Statičke reakcije tla tj. okomite reakcije tla računaju se za vozilo koje stoji zakočeno na uzbrdici. (Mikulić, 2020)

Statičke reakcije tla na uzbrdici pri zakočenom vozilu su jednake:

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

a na horizontalnoj podlozi vrijedi:

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



Slika 3.6. Vozilo u usponu, Izvor Perše, S. i Višnjic, V.

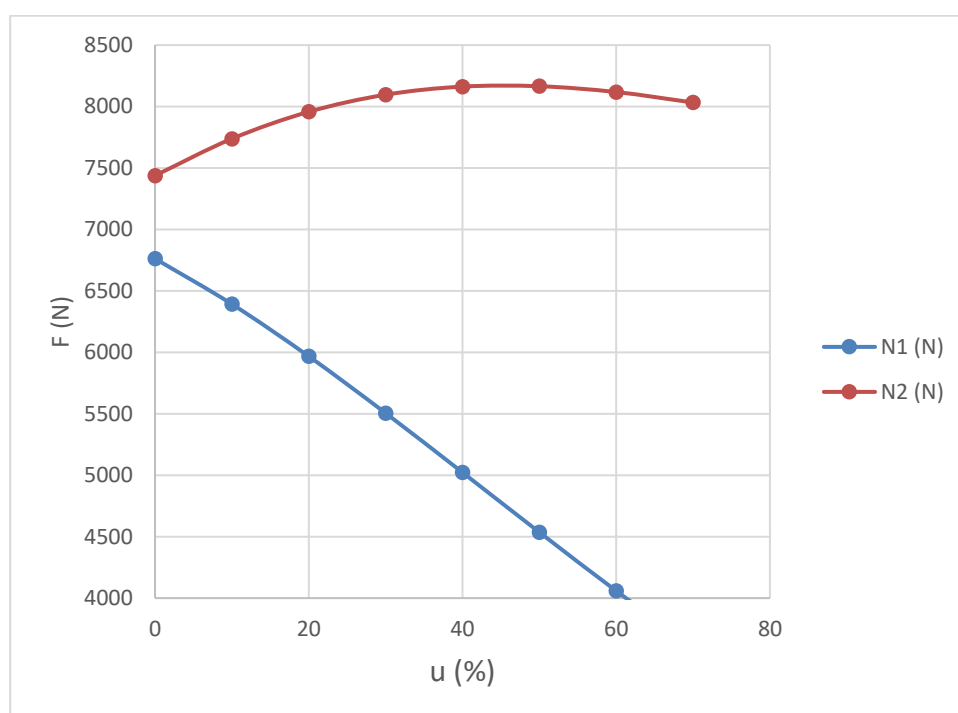
U ovom slučaju vertikalne statičke reakcije tla na horizontalnoj podlozi su  $N_1 = 8680 \text{ N}$ ;  $N_2 = 8820 \text{ N}$ . Na tablici 3.3. i na slici 3.6. prikazane su promjene statičkih reakcija na usponu.

Tablica 3.3

*Statičke reakcije tla na uzbrdici*

u (%)	N <sub>1</sub> (N)	N <sub>2</sub> (N)
0	6762	7438
10	6392	7738
20	5968	7957
30	5505	8096
40	5023	8162
50	4536	8165
60	4059	8118
70	3601	8032

*Izvor: autor*



*Slika 3.7.. Statičke reakcije tla na uzbrdici, Izvor: autor*

U slučaju kada se promjene vrijednosti statičkih reakcija tla  $N_1$  i  $N_2$  kod kretanja vozila onda to nazivamo dinamičkom reakcijom tla. Maksimalna motorna vučna sila koja se može postići, a da ne dođe do proklizavanja na pogonskim kotačima ovisi o vertikalnim reakcijama na pogonskim kotačima i koeficijenta prijanjanja  $\varphi$ .

Za razliku od motorne vučne sile  $F_m$ , vučna sila  $F_{v2}$  na pogonskim kotačima sa stražnjim pogonom se definira:

$$F_{v2} = F_m - F_{k2}$$

i predstavlja tangencijalnu reakciju tla koja je usmjerena u smjeru kretanja vozila. Maksimalna vrijednost vučne sile koja put može prihvatiti mora bit manja ili jednaka sili

prianjanja:

$$F_{v2} \leq F_{\varphi} = N_2 \cdot \varphi$$

gdje je :

$F_{k2}$  - sila otpora kotrljanja na stražnjim kotačima

$\varphi$  - koeficijent prianjanja, usvojen je  $\varphi = 0,8$  što znači da se kreće po suhom asfaltnom putu

$N_2$  - dinamička reakcija tla na pogonskim kotačima

Najveća moguća motorna vučna sila, s obzirom na koeficijent prianjanja se računa:

$$F_m \approx F_v = N_2 \cdot \varphi$$

Kod VW Caddy se radi o stražnjem pogonu, te za vozilo vrijede formule:

$N_1$

$$G \cdot \cos\alpha \frac{l_2}{l - \varphi \cdot h_T}$$

$N_2$

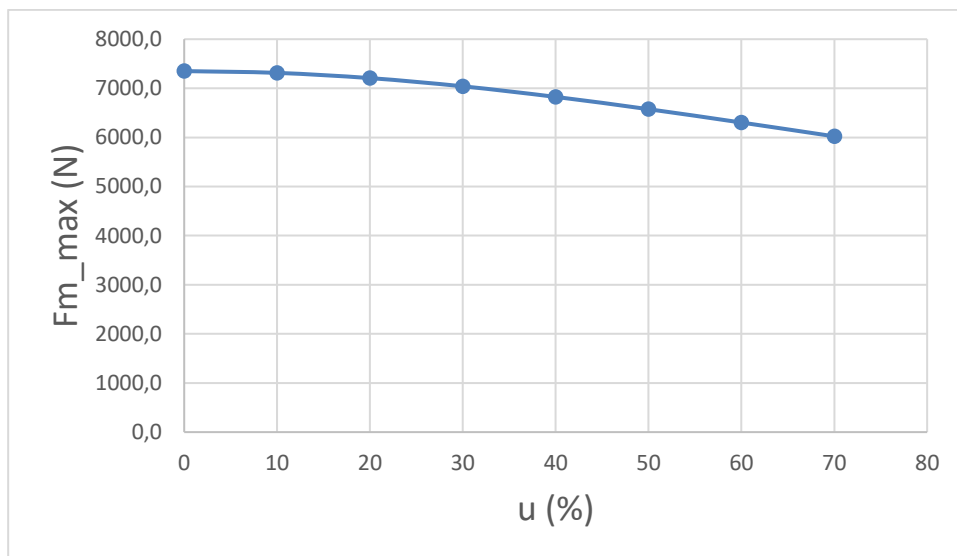
$$G \cdot \cos\alpha \frac{l_1}{l - \varphi \cdot h_T}$$

Tablica 3.4.

*Sile prianjanja na usponima za stražnji pogon*

Uspon u %: u=	0	10	20	30	40	50	60	70	
Kut u st. :α=	0,0	5,7	11,3	16,7	21,8	26,6	31,0	35,0	
v (km/h)	f	Fm_max (N)	Fm_max (N)	Fm_max (N)	Fm_max (N)	Fm_max (N)	Fm_max (N)	Fm_max (N)	
0		7350,6	7314,1	7207,8	7040,6	6824,8	6574,6	6303,1	6021,8
20		7350,6	7314,1	7207,8	7040,6	6824,8	6574,6	6303,1	6021,8
40		7350,6	7314,1	7207,8	7040,6	6824,8	6574,6	6303,1	6021,8
60		7350,6	7314,1	7207,8	7040,6	6824,8	6574,6	6303,1	6021,8
80		7350,6	7314,1	7207,8	7040,6	6824,8	6574,6	6303,1	6021,8
100		7350,6	7314,1	7207,8	7040,6	6824,8	6574,6	6303,1	6021,8
120		7350,6	7314,1	7207,8	7040,6	6824,8	6574,6	6303,1	6021,8
140		7350,6	7314,1	7207,8	7040,6	6824,8	6574,6	6303,1	6021,8
160		7350,6	7314,1	7207,8	7040,6	6824,8	6574,6	6303,1	6021,8
180		7350,6	7314,1	7207,8	7040,6	6824,8	6574,6	6303,1	6021,8
200		7350,6	7314,1	7207,8	7040,6	6824,8	6574,6	6303,1	6021,8
220		7350,6	7314,1	7207,8	7040,6	6824,8	6574,6	6303,1	6021,8

Izvor: autor



Slika 3.8 Maksimalne motorne vučne sile s obzirom na koeficijent prljanjanja na različitim usponima, Izvor: autor

Prikazane su vrijednosti maksimalnih motornih vučnih sila na stražnji pogon vozila koje podnosi tlo bez proklizavanja, s usvojenim koeficijentom prljanjanja  $\varphi = 0,8$ .

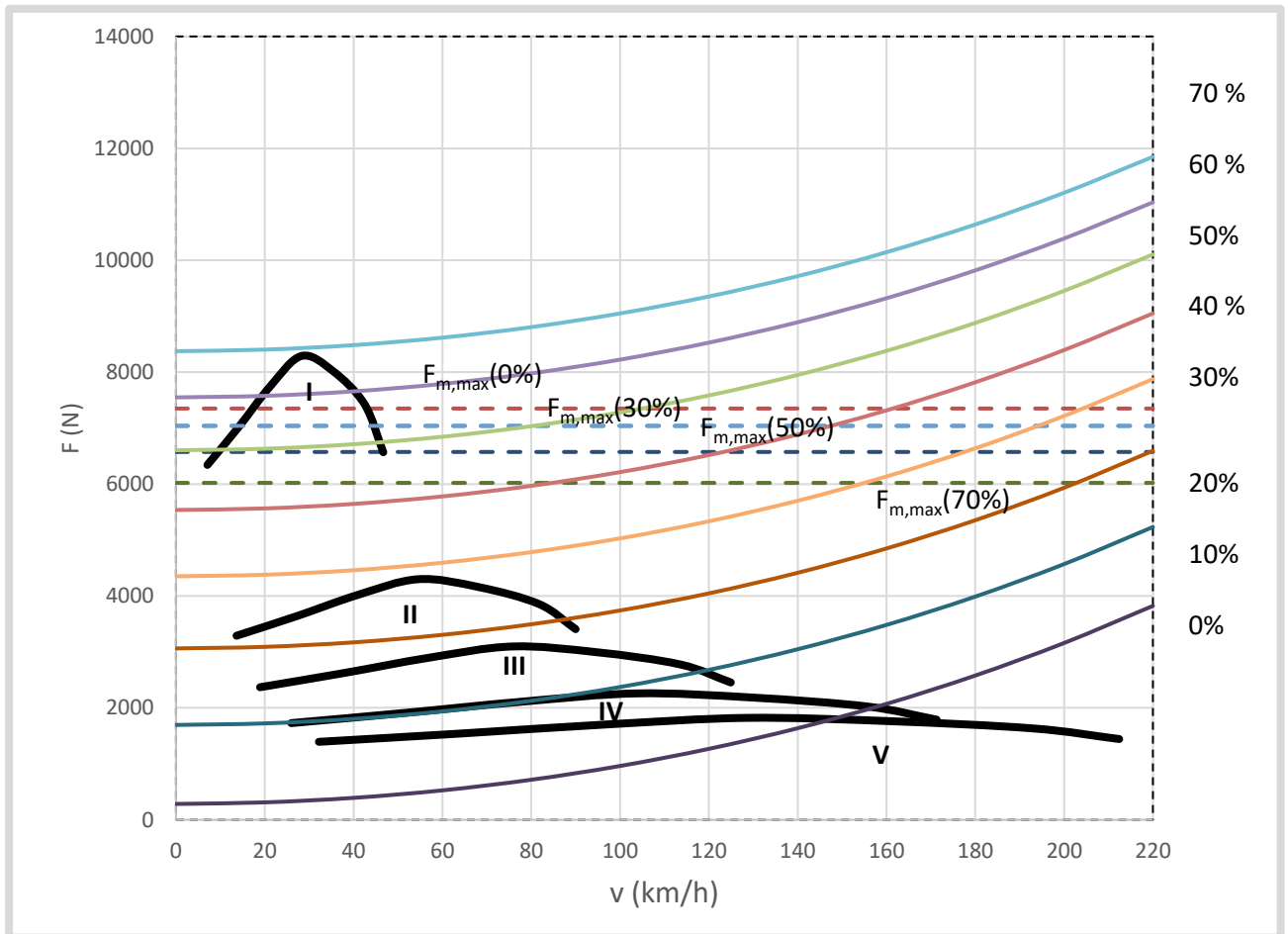
### 3.6. Vučni dijagram

Na vučnom dijagramu, slika 4.4., prikazane su ukupne sile otpora za uspone od 0% (horizontalna cesta) do 70%, vučne sile za sve stupnjeve prijenosa, te maksimalne sile prljanjanja za horizontalnu cestu, cestu uspona 30%, cestu uspona 50% i cestu uspona 70%.

Vozilo teoretski može savladati uspon od gotovo 70% u prvom stupnju prijenosa. Stvarni uspon koji vozilo može savladati je ograničen silom prljanjanja, te iako vozilo u teoriji može ostvariti dovoljnu vučnu silu u prvom stupnju prijenosa, sila prljanjanja koja se prenosi na podlogu nije dovoljna za pokretanje vozila i dolazi do proklizavanja pogonskih kotača. Maksimalni uspon koji vozilo može savladati je 50% s graničnom brzinom od 80 km/h. Iz vučnog dijagrama se mogu točno očitati maksimalne motorne vučne sile, a da ne dođe do proklizavanja pogonskih kotača zbog premalog koeficijenta prljanjanja. Maksimalna vučna sila u prvom stupnju prijenosa ne može se prenjeti na podlogu čak niti na horizontalnoj cesti. Veća sila prljanjanja može se postići većim koeficijentom prljanjanja koji ovisi o vrsti podloge i pneumatika, ili s pogonom na sva četiri kotača.

Iz dijagrama se može očitati da se maksimalna brzina vozila na horizontalnoj cesti postiže u četvrtom, a ne u petom stupnju prijenosa i iznosi 160 km/h. Maksimalna brzina na

horizontalnoj cesti u petom stupnju prijenosa iznosi 150 km/h. Kada bi podloga imala manji otpor, vozilo bi moglo postići veće brzine u petom stupnju prijenosa.



Slika 4.4. Vučni dijagram Izvor: autor

## 4. ZAKLJUČAK

U radu je napravljen vučni proračun za VW Caddy, vozilo koje spada u treću generaciju automobila koja se proizvodila od 2003. do 2014. godine. Za izradu proračuna i grafičkih prikaza korišten je MS Excel. Vučnim proračunom utvrđene su mogućnosti cestovnog vozila VW Caddy, kao što su maksimalna brzina na horizontalnoj cesti, maksimalni uspon koji vozilo može savladati i sile pranja. Proračunom je utvrđeno da je maksimalna brzina za zadane uvjete po horizontalnoj cesti u petom stupnju prijenosa 150 km/h, ali da se u četvrtom stupnju prijenosa na horizontalnoj cesti može postići veća brzina od 160 km/h. Maksimalni uspon koji vozilo može savladati je 50% i ograničen je silom pranja, a ne snagom automobila.

## LITERATURA

- Cerovac V. (2001) *Tehnika i sigurnost prometa*, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti.
- Đuranović, S. (2016.) *Osnove strojarstva*, Šibenik, Veleučilište u Šibeniku.
- Mikulić, D. (2020) *Motorna vozila: Teorija kretanja i konstrukcija*, Velika Gorica, Veleučilište Velika Gorica.
- Novosel, D. (2015) *Analiza materijal valjaka za mjerenje kočne sile, diplomski rad*, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje
- Performancediagram VW Caddy (2021) [www.cpa-chiptuning.sg](http://www.cpa-chiptuning.sg) Dostupno na: [www.cpa-chiptuning.sg/chiptuning-VW-Caddy-3-2K-1-2-TSI/motortuning\\_2477.htm](http://www.cpa-chiptuning.sg/chiptuning-VW-Caddy-3-2K-1-2-TSI/motortuning_2477.htm)
- Perše, S. i Višnjic, V. (2005) *Strojarstvo u prometu*, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti.
- Stojić, B. (2012) *Teorija kretanja drumskih vozila, skripta*, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka
- Vrhovski D. i Nikšić M. (2000) *Osnove strojarstva, zbirka riješenih zadataka*, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti.



## **PRILOZI**

### **Popis tablica**

Tablica 1.1. *Tablični prikaz vanjske brzinske karakteristike motora*

Tablica 1.2. *Ovisnost koeficijenta prijanjanja o vrsti stanju podloge*

Tablica 2.1. *Ovisnost sile otpora kotrljanja i sile otpora zraka o brzini vozila na horizontalnoj površini*

Tablica 2.2. *Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi*

Tablica 2.3. *Otpori kretanja na horizontalnoj podlozi i na usponima*

Tablica 2.4. *Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi i na usponima*

Tablica 3.1. *Motorne vučne sile na kotačima u različitim stupnjevima prijenosa*

Tablica 3.2. *Vučne snage na kotačima u ovisnosti od brzine vozila i u različitim stupnjevima prijenosa*

Tablica 3.3. *Statičke reakcije tla na uzbrdici*

Tablica 3.4. *Sile prijanjanja na usponima za stražnji pogon*

### **Popis slika**

Slika 1.1. *Volkswagen Caddy*

Slika 1.2. *Vrste pogona putničkih cestovnih vozila*

Slika 1.3. *Shema transmisije za VW Caddy*

Slika 1.4. *Dijagram vanjske brzinske karakteristike motora*

Slika 2.1. *Sile otpora kretanja koje djeluju na vozilo u kretanju*

Slika 2.2. *Strujanje zraka oko vozila*

Slika 2.3. *Kretanje tijela kroz zrak*

Slika 2.4. *Ukupni otpori kretanja VW Caddyja na horizontalnoj podlozi*

Slika 2.5. *Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi*

Slika 2.6. *Sila otpora uspona*

Slika 2.7. *Otpori kretanja na horizontalnoj podlozi i na usponima*

Slika 2.8. *Snaga otpora kretanja na horizontalnoj podlozi i na usponima*

Slika 2.9. *Otpor ubrzanju vozila*

Slika 3.1. *Vučne sile i idealna hiperbola vuče*

Slika 3.2. *Uz objašnjenje rezerve za ubrzanje*

Slika 3.3. *Vučna snaga u ovisnosti o brzini vozila i u različitim stupnjevima prijenosa,*

Slika 3.4. *Bilanca snage*

*Slika 3.5. Maksimalna brzina VW CADDY u petom stupnju prijenosa na horizontalnoj podlozi*

*Slika 3.6. Vozilo u usponu*

*Slika 3.7. Statičke reakcije tla na uzbrdici*

*Slika 3.8 Maksimalne motorne vučne sile s obzirom na koeficijent prljanjanja na različitim usponima*

*Slika 4.4. Vučni dijagram*