

59. SREČANJE MLADIH RAZISKOVALCEV
SLOVENIJE

Zavorna pot pod drobnogledom

Raziskovalno področje:

Arhitektura, gradbeništvo ali

promet

Sekundarno področje:

Promet

Raziskovalna naloga

Avtorica:

Arya Štuhec Tivadar

Šola: OŠ Bojana Iliča Maribor

Mentor:

Jure Piki

Maribor, april 2025

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	8
1.1	Namen in cilji	9
1.2	Predvidevanja	10
1.3	Hipoteze	10
2	LEGO GRADNIKI IN NJIHOVA UPORABA	11
2.1	Sestavljanje enoslednega vozila	11
2.2	Preizkušanje zavorne poti	15
3	MERJENJA IN IZSLEDKI	19
4	ANALIZA REZULTATOV – DISKUSIJA	26
4.1	Vpliv težišča vozila	26
4.2	Vpliv hitrosti	27
4.3	Primerjava med sprednjo in zadnjo zavoro.....	27
4.4	Vpliv temperature na zavorno pot	27
4.5	Vpliv mase na zavorno pot.....	27
5	DRUŽBENA ODGOVORNOST.....	31
6	ZAKLJUČEK.....	32
7	VIRI IN LITERATURA	34
7.1	Viri slik	34
7.2	LITERATURA	34

KAZALO SLIK

Slika 1: Lego gradniki (lasten vir).....	12
Slika 2: enosledno vozilo, uporabljeno v raziskovalni nalogi (lasten vir).....	12
Slika 3: medosna razdalja enoslednega vozila (lasten vir)	13
Slika 4: dimenzije koles (lasten vir).....	13
Slika 5: zavorni sistem (lasten vir) Slika 6: zavorni sistem (lasten vir)	14
Slika 7: podlaga za meritve (lasten vir).....	15
Slika 8: merilnik temperature termodetektor Bosch universaltemp (lasten vir)	17
Slika 9: merilnik temperature termodetektor Bosch universaltemp (lasten vir)	17

KAZALO TABEL

Tabela 1: zbir povprečnih zavornih poti (lasten vir).....	19
Tabela 2: Vpliv težišča vozila, njegove hitrosti in načina zaviranja na zavorno pot pri nizkih temperaturah (lasten vir):	20
Tabela 3: Vpliv težišča vozila, njegove hitrosti in načina zaviranja na zavorno pot pri visokih temperaturah	21
Tabela 4: Primerjava zavorne poti pri različnih hitrostih, različnih težiščih ter načina zaviranja pri različnih temperaturah (lasten vir)	22
Tabela 5: Vpliv povečane mase pri različnem zaviranju na zavorno pot pri nizkih temperaturah (lasten vir)	23
Tabela 6: Vpliv povečane mase pri različnem zaviranju na zavorno pot pri visokih temperaturah (lasten vir)	24
Tabela 7: Primerjava zavorne poti pri povečani masi, različnem zaviranju pri različnih temperaturah (lasten vir)	25

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Vpliv težišča vozila, njegove hitrosti in načina zaviranja na zavorno pot pri nizkih temperaturah	20
Graf 2: Vpliv težišča vozila, njegove hitrosti in načina zaviranja na zavorno pot pri visokih temperaturah	21
Graf 3: Primerjava zavorne poti pri različnih hitrostih, različnih težiščih ter načina zaviranja pri različnih temperaturah.....	22
Graf 4: Vpliv povečane mase pri različnem zaviranju na zavorno pot pri nizkih temperaturah	23
Graf 5: Vpliv povečane mase pri različnem zaviranju na zavorno pot pri visokih temperaturah	24
Graf 6: Primerjava zavorne poti pri povečani masi, različnem zaviranju pri različnih temperaturah	25

POVZETEK

V raziskovalni nalogi sem preučevala zavorno pot enoslednega vozila, sestavljenega iz Lego komponent, pri različnih pogojih. Osredotočila sem se na vpliv hitrosti, temperature podlage, težišča vozila ter lege zavore (zaviranje s sprednjim ali zadnjim kolesom).

Opravila sem več kot 500 meritev. Rezultati so pokazali, da ima na dolžino zavorne poti največji vpliv hitrost vozila – večja kot je hitrost, daljša je zavorna pot. Prav tako so meritve pokazale, da temperatura podlage vpliva na trenje med kolesi in podlago, kar se odraža v različnih dolžinah zavorne poti.

Poleg tega je analiza meritev pokazala, da ima velik vpliv na varnost in učinkovitost zaviranja premik težišča. Kot najbolj varna, optimalna porazdelitev težišča pri enoslednem vozilu, se je izkazalo težišče na sredini vozila. To je kompromis med zelo učinkovitim zaviranjem s sprednjo zavoro in zelo stabilnim zaviranjem z zadnjo zavoro.

Z raziskavo želim prispevati tudi k ozaveščenju vrstnikov o prometni varnosti. Mladi vozniki pogosto podcenjujejo/mo pomen pravilnega zaviranja in prilagajanja vožnje v različnih razmerah. Rezultati moje raziskovalne naloge jasno kažejo, da lahko že manjše spremembe v težišču, hitrosti, temperaturi podlage ali načinu zaviranja pomembno vplivajo na varnost. Zato je ključno, da se predvsem mladi, neizkušeni vozniki pravočasno seznanimo, kako pravilno zavirati in se prilagajati različnim voznim pogojem.

Ključne besede: prometna varnost, zavorna pot, hitrost, težišče, temperatura, masa vozila, sprednja / zadnja zavora.

ABSTRACT

In my research project, I studied the braking distance of a single-track vehicle built with Lego components under different conditions. I focused on the influence of speed, ground temperature, vehicle's centre of gravity and brake position (front or rear wheel braking).

I took more than 500 measurements. The results showed that the vehicle speed has the biggest impact on the braking distance - the higher the speed, the longer the braking distance. The measurements also showed that the friction between the wheels and the ground is affected by the temperature of the ground, which results in different braking distances.

In addition, the analysis of the measurements shows that the centre of gravity displacement has a significant impact on safety and braking performance. The safest, optimal centre of gravity distribution for a single-track vehicle was found to be the centre of gravity. This is a compromise between very efficient front braking and very stable rear braking.

With this research project I wish to contribute to raising awareness of road safety among my peers. Young drivers often underestimate the importance of correct braking and adapting their driving in different situations. The results of my research clearly show that even small changes in centre of gravity, speed, road surface temperature or braking behaviour can have a significant impact on safety. It is therefore crucial that young, inexperienced drivers in particular, learn early on how to brake correctly and adapt to different driving conditions.

Keywords: road safety, braking distance, speed, centre of gravity, temperature, vehicle mass, front/rear brake.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, ki me je s svojimi dragocenimi nasveti in usmeritvami vodil skozi nalogo ter bil vedno na voljo, ko sem potrebovala pomoč.

Prav tako hvala staršema za podporo in motivacijo, saj sta me spodbujala skozi celoten proces raziskovanja.

1 UVOD

Sem navdušena kolesarka in redna udeleženka v prometu, saj kolo uporabljam za pot v šolo, na treninge in tudi za rekreacijo.

Konec letošnjega leta bom dopolnila 14 let, kar pomeni, da bom lahko začela voziti kolo z motorjem. Oče, motorist, me pogosto opozarja, da je vožnja z motorjem precej bolj zahtevna in nevarna kot vožnja s kolesom. Zavedam se, da so vozniki motornih koles še posebej ogroženi, zato je varnost v prometu zame izjemno pomembna tema.

Promet je vsakodnevni del našega življenja, vendar hkrati tudi eno največjih tveganj za nesreče. Vožnja z enoslednim vozilom zahteva veliko odgovornosti in znanja, saj so fizikalni zakoni, ki vplivajo na stabilnost in obvladovanje vozila, v tem primeru bistveno bolj kompleksni. Zavedanje, kako različni dejavniki vplivajo na zavorno pot in stabilnost vozila, je ključno za varnost voznika.

Kot mladi vozniki, ki šele vstopamo v svet motornih vozil, moramo razumeti, kako pomembno je poznavanje teh zakonitosti. Pomembno je tudi, da se zavedamo vpliva različnih sprememb v konfiguraciji vozila, kot so premiki težišča zaradi sovoznika ali prtljage, uporaba sprednje ali zadnje zavore... saj te spremembe močno vplivajo na obvladovanje vozila, še posebej pri zaviranju.

Glede na cilj raziskovanja sem si postavila sledeče raziskovalno vprašanje:

Kako različni dejavniki – hitrost vozila, temperatura podlage, položaj težišča in izbira zavore – vplivajo na dolžino zavorne poti enoslednega vozila?

1.1 Namen in cilji

S to raziskovalno nalogo želim dopolniti svoje razumevanje, kako različni dejavniki vplivajo na obvladovanje vozila in stabilnost pri zaviranju. V lanski raziskovalni nalogi sem se ukvarjala z raziskovanjem vpliva podlage (mokra, suha, peskasta, mastna podlaga) na zavorno pot, v letošnji nalogi pa me raziskava vodi v nove izzive.

Moji cilji pri raziskovalni nalogi so:

- Raziskati, kako hitrost vozila vpliva na dolžino zavorne poti.
- Ugotoviti, kakšen vpliv ima temperatura podlage na učinkovitost zaviranja.
- Preveriti, kako položaj težišča vozila in dodana masa vplivata na njegovo zaviranje.
- Primerjati učinkovitost sprednje in zadnje zavore.
- Ozavestiti pomen poznavanja zavorne poti za varno udeležbo v prometu.

Moja raziskava ni le raziskovalna naloga, ampak tudi prispevek k boljšemu razumevanju varnosti v prometu, zlasti za moje sošolce - vrstnike, mlade voznike, ki vstopamo v svet motornih vozil. Razumevanje fizikalnih pojavov, kot so zavorna pot, stabilnost vozila in vpliv različnih dejavnikov na vožnjo, je ključno za zagotavljanje večje varnosti v prometu. S pridobljenimi rezultati želim spodbuditi mlade voznike, da se bolj zavedamo pomena teh zakonitosti, ki neposredno vplivajo na našo varnost in se bolj preudarno lotimo uporabe enoslednih motornih vozil. Verjamem, da bo raziskava pripomogla k boljšemu razumevanju dinamike vožnje kolesa z motorjem ter k večji odgovornosti in pripravi na vožnjo v različnih pogojih, kar je izjemno pomembno, ko bomo prvič sedli za krmilo takega vozila. Z znanjem, pridobljenim pri tej raziskavi, želim prispevati k večji prometni varnosti, saj bomo lahko bolje prilagodili svoje vedenje na cesti in zmanjšali tveganje za nesreče.

1.2 Predvidevanja

Moja raziskovalna naloga temelji na poskusih. Opravila sem več kot 500 meritev. Pri tem sem se naučila novih metod raziskovanja. Naučila sem se tudi pravilno urejati in analizirati pridobljene podatke ter jih pravilno predstaviti.

Izhajajoč iz zgoraj omenjenih ciljev sem razmislila o glavnem raziskovalnem vprašanju, ki me bo vodilo pri raziskovanju različnih vplivov na zavorno pot enoslednega vozila; in to je:

Kako različni dejavniki – hitrost vozila, masa vozila, temperatura podlage, položaj težišča in izbira zavore – vplivajo na dolžino zavorne poti enoslednega vozila?

V okviru tega vprašanja so v razpravi ovrednotene naslednje hipoteze (H):

1.3 Hipoteze

H1:

Večji naklon vozišča poveča hitrost vozila in posledično podaljša zavorno pot.

H2:

Višja temperatura podlage povečuje statično trenje in zmanjšuje dolžino zavorne poti.

H3:

Sprememba težišča vozila vpliva na dolžino zavorne poti.

H4:

Zaviranje s sprednjim kolesom je učinkovitejše, kot zaviranje z zadnjim kolesom.

H5:

Dodana masa podaljša zavorno pot vozila.

2 LEGO GRADNIKI IN NJIHOVA UPORABA

Lego kocke imamo radi številni otroci pa tudi odrasli po vsem svetu. Njihova zgodovina sega v leto 1932, svoje ime pa so te znane kocke dobile dve leti kasneje: lastnik je svoje podjetje poimenoval LEGO, kar izhaja iz danskih besed »leg godt« in pomeni »dobro se igrati«.

Lego kocke so se kmalu uveljavile po vsej Evropi. Zanimivo je, da je osnovna LEGO kocka ostala enaka vse od svojega začetka. (The LEGO Group, 2018).

Za sestavljanje vozila sem uporabila gradnike iz zbirke Lego Mindstorms. To je izobraževalni robotski komplet, ki obsega klasične Lego kocke, dodane pa ima senzorje, motorje in programabilno enoto. Tudi brez programabilnih enot lahko Lego Mindstorms sestavljamo kot modele, raziskujemo prestavne mehanizme oz. ustvarimo preprosta vozila, ki se gibljejo s pomočjo ročnega pogona ali gravitacije.

2.1 Sestavljanje enoslednega vozila

Oblika in konstrukcija

Prvi korak raziskovalne naloge je bil sestavljanje enoslednega vozila. Vozilo je zasnovano tako, da se pelje naravnost, da je dovolj veliko in robustno, da ga lahko obtežim (analogija s kolesom z motorjem ter voznikom in sopotnikom), da ob sprožitvi zavore zablokira kolo in predvsem, da je tako stabilno, da se med vožnjo ne prevrže. Ob sestavljanju vozila sem se srečala z vprašanjem, kako vozilo obdržati pokonci oz. kako preprečiti, da bi padlo. Poskusila sem s pomožnimi kolesi, vendar je bilo na tak način vozilo preveč stabilno, zato sem se kasneje odločila za uporabo širših koles, ki so same po sebi zagotavljale, da se vozilo ne prekucne. Zavedala sem se, da bo zaradi širših pnevmatik oz. večje / širše površine stika s podlago, tudi zavorna pot nekoliko krajša, vendar je to veljalo pri vseh kombinacijah postavitve vozila in pri vseh temperaturah vedno enako, zato so rezultati »reprezentativni«.

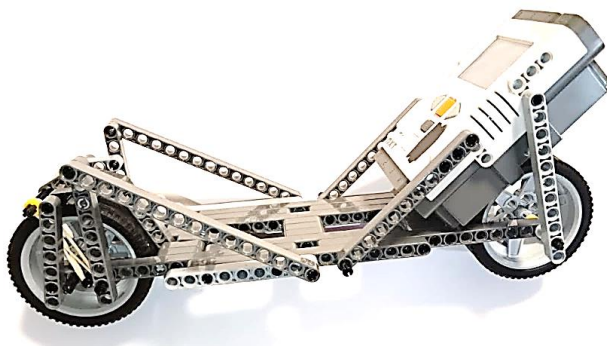
Za izdelavo vozila sem uporabila Lego gradnike iz zbirke Mindstorms:



Slika 1: Lego gradniki (lasten vir)

Opis gradnikov

Vozilo je sestavljeno iz številnih nosilcev, osi, spojnikov (povezovalnih gradnikov), iz dveh koles s pnevmatikami in elastik. Za obtežitev je uporabljena krmilna enota (zgolj zaradi možnosti spremembe težišča ter naknadno tudi za povečevanje mase). Vozilu sem dodala tudi zavorni mehanizem.

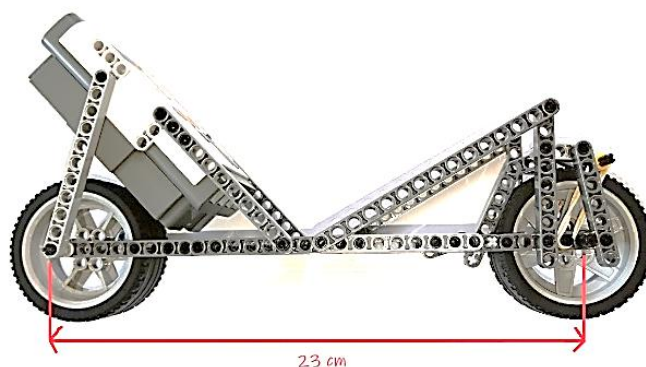


Slika 2: enosledno vozilo, uporabljeno v raziskovalni nalogi (lasten vir)

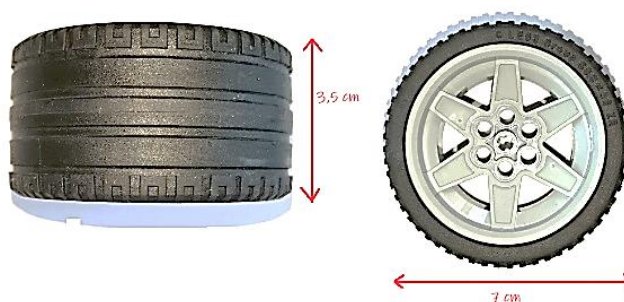
Vozilo v dolžino meri 30 cm, medosna razdalja znaša 23 cm, kolesa imajo premer 7 cm, širina koles s pnevmatikami znaša 3,5 cm.

Osnovno vozilo (brez dodatne obtežitve) je imelo maso 470 g – to je predstavljalo enosledno vozilo z voznikom.

Z dodatnim gradnikom (dodala sem še eno krmilo enoto) je vozilo tehtalo 670 g (dodatno maso sem pri meritvah označevala z M1) – tako obteženo vozilo predstavlja kompozicijo: vozilo + voznik + sopotnik.



Slika 3: medosna razdalja enoslednega vozila (lasten vir)



Slika 4: dimenzije koles (lasten vir)

Zavorni sistem

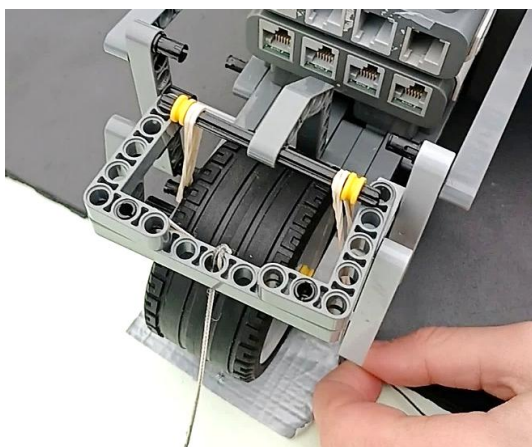
Prvotna ideja zavornega sistema je bila v trenutku ustaviti kolo, da lahko vozilo od označenega mesta zaradi vztrajnosti drsi po podlagi do ustavitve.

Za zaviranje sem najprej uporabila sistem vrvic in dveh vreten (ena na karoseriji, druga na kolesu). Pred startom sem vedno vrtela kolo tako dolgo, da je bila vrvica med vretenoma napeta. Po spustu se je vrvica na vretenu kolesa odvijala, ko je le-te zmanjkalo, je kolo zablokiralo. Dolžina vrvic je bila takšna, da je vozilo vedno prevozilo enako razdaljo, preden je začelo zavirati. Izkazalo se je, da prožnost vrvic vedno povzroči »povratek« vozila (vozilo se ni ustavilo na mestu, temveč se je zaradi elastičnosti vrvic nekoliko zapeljalo nazaj). Težje kot je bilo vozilo, večji je bil t.i.

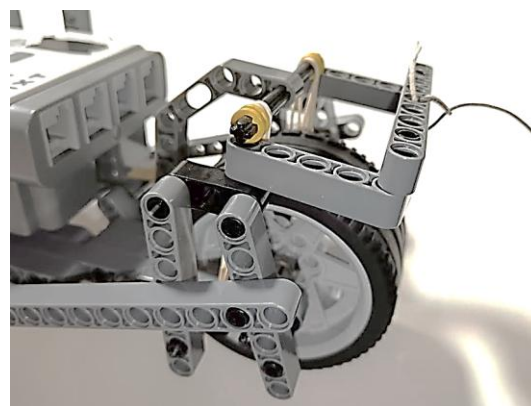
povratni sunek. Ker na ta način nisem dobila verodostojnih meritev, sem morala skonstruirati nov zavorni sistem, ki je temeljil na vzpostavitvi trenja na kolesu.

Zavorni sistem je sestavljen iz dveh delov:

- en del se nahaja na vozilu – ta del je sestavljen iz Lego gradnika v obliki črke L, ki je na eni strani vpet v karoserijo vozila, na drugi strani pa ima ta gradnik vstavljeno prečko, na katero je pritrjena elastika;
- drugi del zavornega sistema predstavljata zatič in vrvica, ki sta služila, da zavora na vozilu ni zavirala (da je bila napeta).



Slika 5: zavorni sistem (lasten vir)



Slika 6: zavorni sistem (lasten vir)

Ko je zmanjkalo vrvice (to pomeni, da je vozilo doseglo točko zaviranja – h_2), se je zaradi napete vrvice iztaknil zatič, elastika je potegnila zavoro (gradnik v obliki črke L) na pnevmatiko in povzročila močno trenje, ki je kolo v trenutku ustavilo. Vozilo je nato začelo drseti z blokiranim kolesom, dokler se ni ustavilo.

2.2 Preizkušanje zavorne poti

Priprava podlage in merjenje zavorne poti

Zavorna pot je razdalja, ki jo vozilo opravi od trenutka zaviranja do njegove zaustavitve. (Skupina Triglav, 2019)

Zavorno pot sem vedno merila na isti površini. Iz lanske raziskovalne naloge sem se naučila, da nečista (mokra, peskasta, mastna) podlaga vpliva na dolžino zavorne poti. Letos sem za vsa testiranja uporabila gladko, čisto površino in preučevala vpliv fizikalnih dejavnikov.

Vozilo je začelo z vožnjo pri startni črti (h_1) in začelo zavirati pri zavorni črti (h_2).



Slika 7: podlaga za meritve (lasten vir)

Vozilo se je gibalo različno hitro – pri večjem naklonu podlage se je gibalo hitreje, pri manjšem naklonu počasneje. Hitrost vozila sem izračunala s pomočjo spremembe potencialne energije.

Potencialna energija je vrsta energije, ki jo ima telo zaradi višine. (Repnik et al., 2014)

Za izračun hitrosti vozila iz spremembe višine sem uporabila zakon o ohranitvi energije. (OpenProf, 2022)

Predpostavila sem, da ni izgub zaradi trenja ali zračnega upora.

Začetna višina (h_1) je vrh klančine, kjer je vozilo startalo, končna višina (h_2) je pri črti, kjer je vozilo začelo zavirati: $\Delta h = h_1 - h_2$

Če se vozilo spusti z višje točke na nižjo, se potencialna energija pretvori v kinetično energijo. Začetna kinetična energija je 0, saj telo miruje:

$$\Delta W_p = \Delta W_k \quad \Longrightarrow \quad mg\Delta h = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1)$$

kjer je:

- m - masa vozila (kg),
- g - gravitacijski pospešek (približno 10 m/s^2),
- Δh - sprememba višine (m),
- v - hitrost vozila (m/s).

Ker se masa pojavi na obeh straneh enačbe, jo lahko okrajšamo: $g\Delta h = \frac{1}{2} v^2$ (2)

Od tu izrazimo hitrost: $v = \sqrt{2g\Delta h}$ (3)

Hitrosti, pri katerih sem opravljala meritve:

v_1 (naklon 15 cm, $\Delta h = 0,065 \text{ m}$) = $1,14 \text{ m/s} \approx 4,10 \text{ km/h}$

v_2 (naklon 20 cm, $\Delta h = 0,095 \text{ m}$) = $1,4 \text{ m/s} \approx 4,96 \text{ km/h}$

v_3 (naklon 25 cm, $\Delta h = 0,125 \text{ m}$) = $1,58 \text{ m/s} \approx 5,69 \text{ km/h}$

Vožnje sem opravila pri različnih konfiguracijah:

- težišče spredaj, težišče na sredini ali težišče zadaj;
- zavora na sprednjem ali zadnjem kolesu;
- tri različne hitrosti (ki sem jih dosegla z različnimi nakloni vozišča);
- dve različni temperaturi ($T_1 = 37^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ in $T_2 = 0^\circ\text{C}$)

Ko sem ugotovila, katera vrsta zaviranja je najučinkovitejša oz. optimalna (varno in hkrati hitro ustavljanje), sem v to konfiguracijo dodala še dodatno maso, ki je predstavljala sopotnika na enoslednem vozilu.

Statično trenje je tisto, ki preprečuje, da bi pnevmatike zdrsnile, in omogoča pospeševanje, zavijanje in običajno zaviranje. Ko pa pri zaviranju guma zdrsne, pride do drsnega trenja. (Arnes učilnice, 2020)

Temperaturo vozišča in pnevmatik sem izmerila z merilnikom temperature termodetektor Bosch universaltemp, ki s tehnologijo infrardečega laserja omogoča merjenje razpona temperatur od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Slika 8: merilnik temperature termodetektor Bosch universaltemp (lasten vir)



Slika 9: merilnik temperature termodetektor Bosch universaltemp (lasten vir)

Temperaturo podlage sem merila pred začetkom vsakega seta (10) meritev.

Za zagotovitev temperature podlage sem uporabila:

- za visoko temperaturo bližino kamina (po potrebi sem podlago in vozilo približala / oddaljila od izvora toplote)
- za nizko temperaturo pa sem meritve izvajala v zunanjem okolju, kjer je imelo ozračje
0°C, temperatura podlage pa je bila - 0,3°C.

Merila sem tudi temperaturo pnevmatik, ki je od temperature podlage odstopala za največ 2°C.

3 MERJENJA IN IZSLEDKI

»Če neko meritev večkrat ponovimo, dobimo pri vsaki ponovitvi te meritve praviloma nekoliko drugačen rezultat. Razlog za to je lahko površnost, zunanje okoliščine, nehote premaknemo merilo.

Napako, ki se pri meritvi pojavi zaradi tega, imenujemo slučajna napaka. Slučajno napako zmanjšamo tako, da napravimo čim več meritev.« (Mohorčič at al., 2014)

Slučajno napako sem zmanjšalo tako, da sem meritev pri določeni konfiguraciji ponovila desetkrat, kar pomeni, da sem skupno opravila **več kot 500 meritev**.

Dolžino zavorne poti sem izrazila kot povprečno dolžino zavorne poti in +/- absolutne vrednosti 2/3 najbolj natančnih meritev. (Univerza v Ljubljani, 2018)

Tabela 1: zbir povprečnih zavornih poti (lasten vir)

T = 37 °C	V ₁	V ₂	V ₃
	\bar{x} (cm)	\bar{x} (cm)	\bar{x} (cm)
ZAVORA SPREDAJ			
težišče spredaj	3,8	3,6	<i>padec</i>
težišče sredina	10,5	11,5	14,3
težišče sredina + M1	4,46	8	11,4
težišče zadaj	11,8	13,4	14,8
ZAVORA ZADAJ			
težišče spredaj	14,2	27,5	56,1
težišče sredina	14,2	13,9	19,2
težišče sredina + M1	7	13,3	25,2
težišče zadaj	7,8	10,9	16,7
T = 0°C	V ₁	V ₂	V ₃
	\bar{x} (cm)	\bar{x} (cm)	\bar{x} (cm)
ZAVORA SPREDAJ			
težišče spredaj	3,0	6,1	<i>padec</i>
težišče sredina	6,0	7,9	13,0
težišče sredina + M1	5,7	6,5	7,0
težišče zadaj	8,3	10,1	14,6
ZAVORA ZADAJ			
težišče spredaj	9,8	16	31,0
težišče sredina	9,0	13,2	20,9
težišče sredina + M1	7,8	12,3	17,4
težišče zadaj	6,5	7,0	10,5

v₁ = 4,10 km/h

v₂ = 4,96 km/h

v₃ = 5,69 km/h

Tabela 2: Vpliv težišča vozila, njegove hitrosti in načina zaviranja na zavorno pot pri nizkih temperaturah (lasten vir):

Hitrost [km/h]	Težišče	0°C Sprednja zavora [cm]	0°C Zadnja zavora [cm]
4,1	Tež. spr.	3	9,8
4,1	Tež. sred.	6	9
4,1	Tež. zad.	8,3	6,5
4,96	Tež. spr.	6,1	16
4,96	Tež. sred.	7,9	13,2
4,96	Tež. zad.	10,1	7
5,69	Tež. spr.	0	31
5,69	Tež. sred.	13	20,9
5,69	Tež. zad.	14,6	10,5

Graf 1: Vpliv težišča vozila, njegove hitrosti in načina zaviranja na zavorno pot pri nizkih temperaturah (lasten vir)

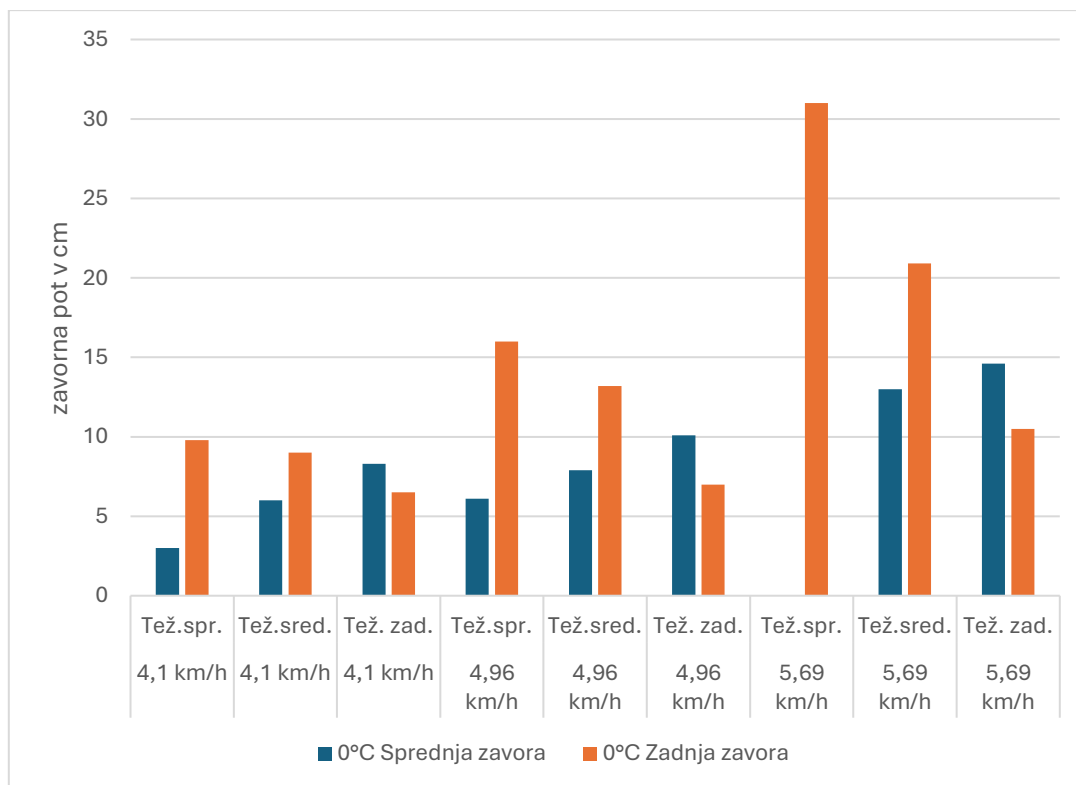


Tabela 3: Vpliv težišča vozila, njegove hitrosti in načina zaviranja na zavorno pot pri visokih temperaturah (lasten vir)

Hitrost [km/h]	Težišče	37°C Sprednja zavora [cm]	37°C Zadnja zavora [cm]
4,1	Tež. spr.	3,8	14,2
4,1	Tež. sred.	10,5	14,2
4,1	Tež. zad.	11,8	7,8
4,96	Tež. spr.	3,6	27,5
4,96	Tež. sred.	11,5	13,9
4,96	Tež. zad.	13,4	10,9
5,69	Tež. spr.	0	56,1
5,69	Tež. sred.	14,3	19,2
5,69	Tež. zad.	14,8	16,7

Graf 2: Vpliv težišča vozila, njegove hitrosti in načina zaviranja na zavorno pot pri visokih temperaturah (lasten vir)

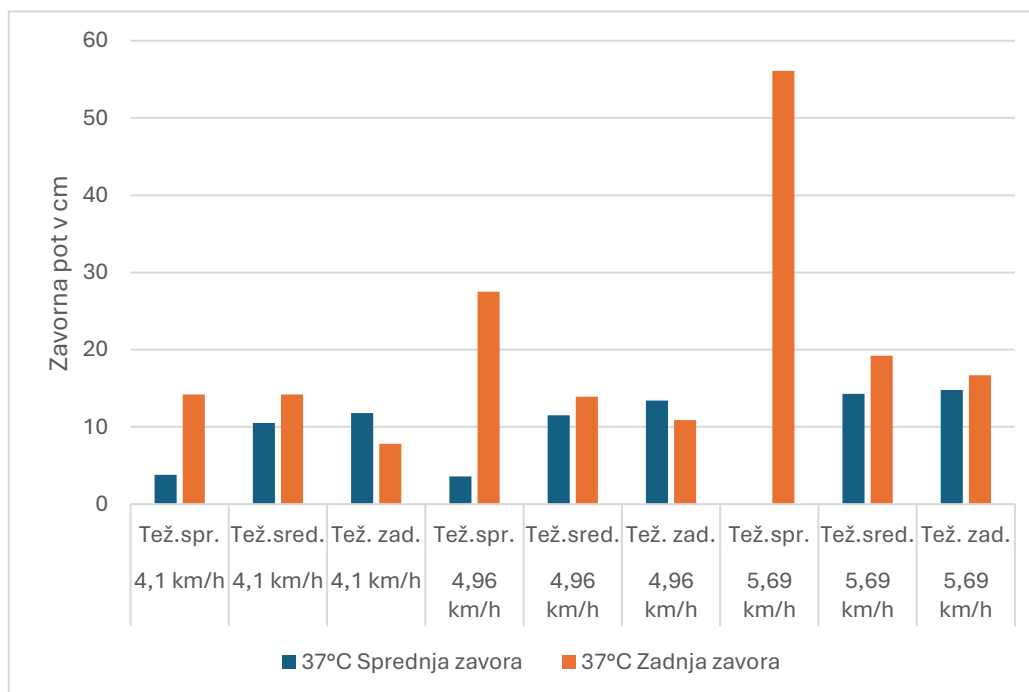


Tabela 4: Primerjava zavorne poti pri različnih hitrostih, različnih težiščih ter načina zaviranja pri različnih temperaturah (lasten vir)

Hitrost [km/h]	Težišče	0°C Sprednja zavora [cm]	0°C Zadnja zavora [cm]	37°C Sprednja zavora [cm]	37°C Zadnja zavora [cm]
4,1	Tež. spr.	3	9,8	3,8	14,2
4,1	Tež. sred.	6	9	10,5	14,2
4,1	Tež. zad.	8,3	6,5	11,8	7,8
4,96	Tež. spr.	6,1	16	3,6	27,5
4,96	Tež. sred.	7,9	13,2	11,5	13,9
4,96	Tež. zad.	10,1	7	13,4	10,9
5,69	Tež. spr.	0	31	0	56,1
5,69	Tež. sred.	13	20,9	14,3	19,2
5,69	Tež. zad.	14,6	10,5	14,8	16,7

Graf 3: Primerjava zavorne poti pri različnih hitrostih, različnih težiščih ter načina zaviranja pri različnih temperaturah (lasten vir)

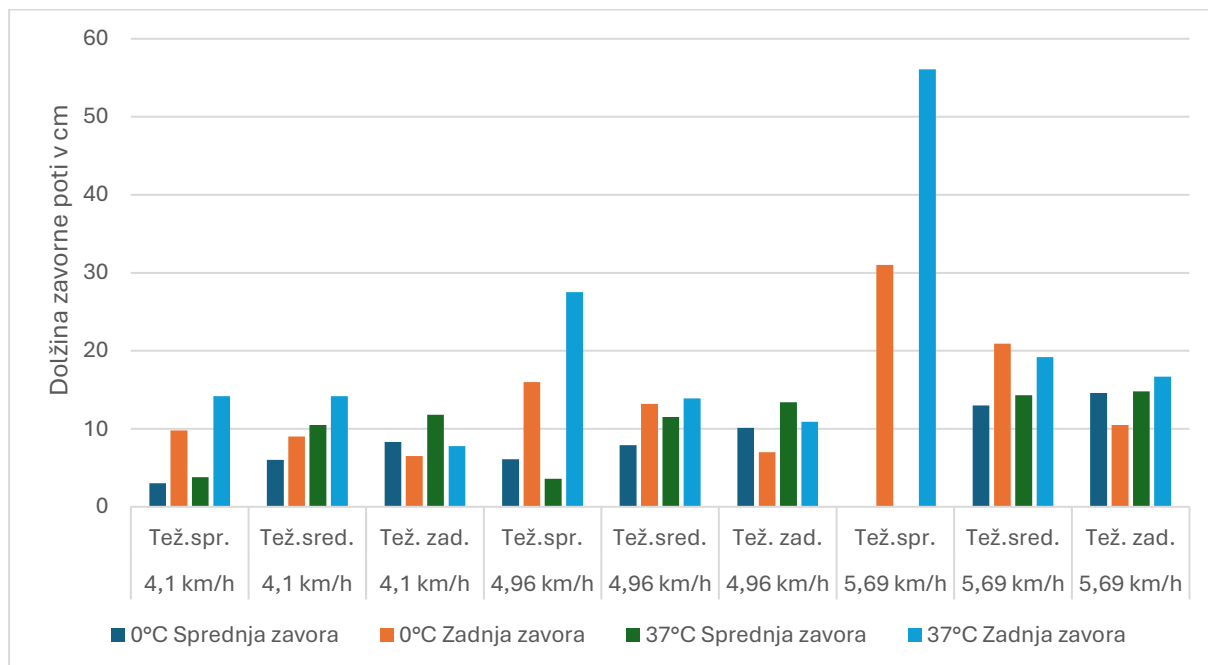


Tabela 5: Vpliv povečane mase pri različnem zaviranju na zavorno pot pri nizkih temperaturah (lasten vir)

Hitrost [km/h]	Masa	0°C Sprednja [cm]	0°C Zadnja [cm]
4,1	Normalna	8,3	9
4,1	Povečana	5,7	7,8
4,96	Normalna	10,1	13,2
4,96	Povečana	6,5	12,3
5,69	Normalna	13	20,9
5,69	Povečana	7	17,4

Graf 4: Vpliv povečane mase pri različnem zaviranju na zavorno pot pri nizkih temperaturah (lasten vir)

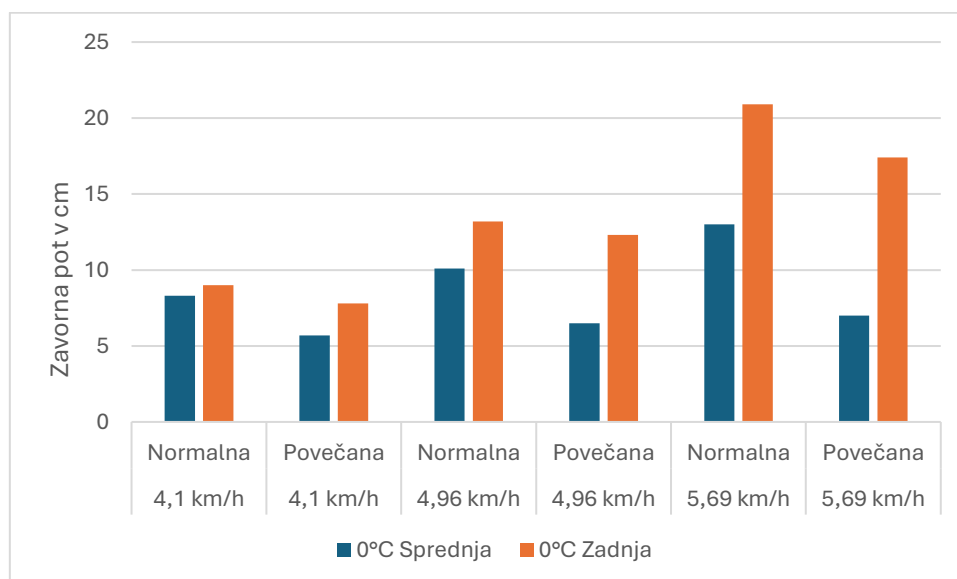


Tabela 6: Vpliv povečane mase pri različnem zaviranju na zavorno pot pri visokih temperaturah (lasten vir)

Hitrost [km/h]	Masa	37°C Sprednja [cm]	37°C Zadnja [cm]
4,1	Normalna	11,8	14,2
4,1	Povečana	4,46	7
4,96	Normalna	13,4	13,9
4,96	Povečana	8	13,3
5,69	Normalna	14,3	19,2
5,69	Povečana	11,4	25,2

Graf 5: Vpliv povečane mase pri različnem zaviranju na zavorno pot pri visokih temperaturah (lasten vir)

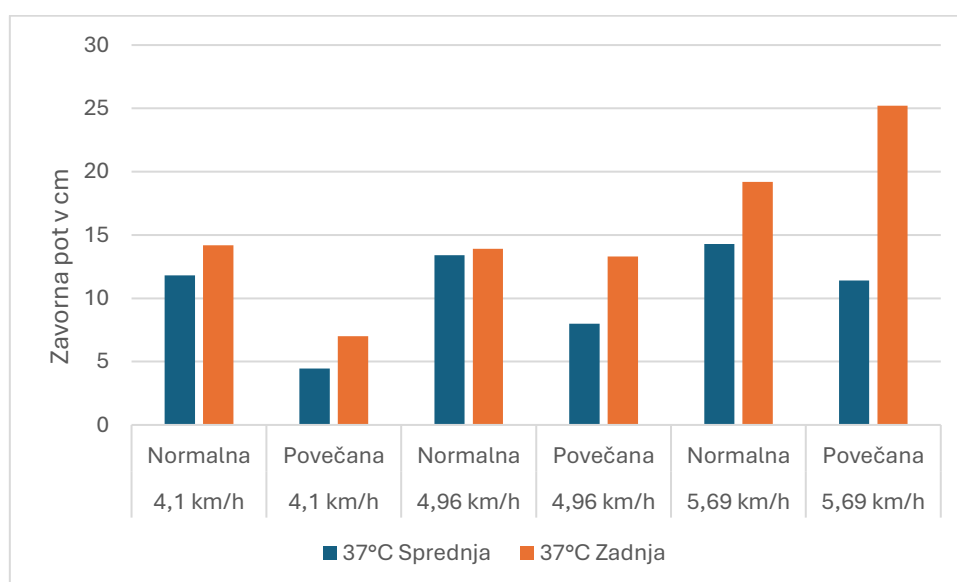
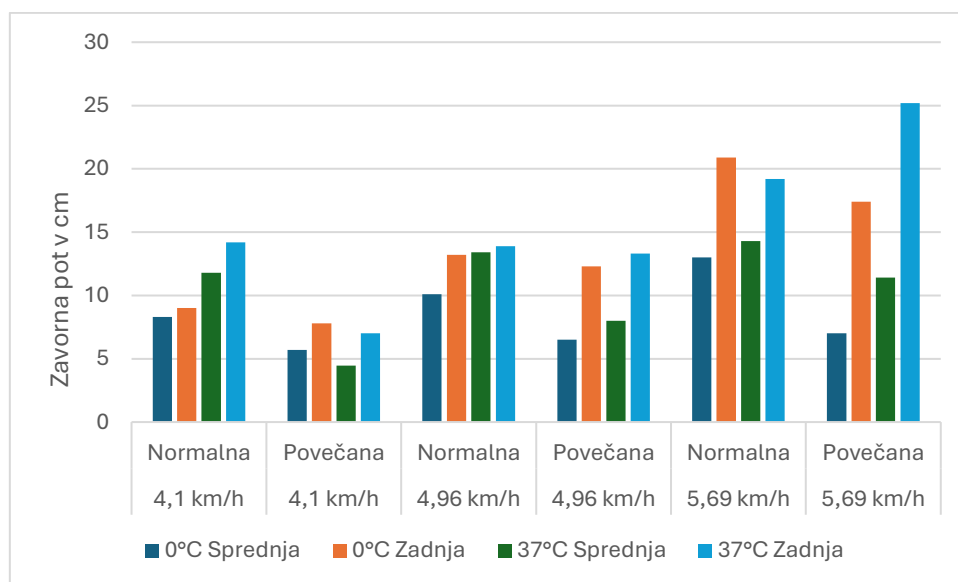


Tabela 7: Primerjava zavorne poti pri povečani masi, različnem zaviranju pri različnih temperaturah (lasten vir)

Hitrost [km/h]	Masa	0°C Sprednja [cm]	0°C Zadnja [cm]	37°C Sprednja [cm]	37°C Zadnja [cm]
4,1	Normalna	8,3	9	11,8	14,2
4,1	Povečana	5,7	7,8	4,46	7
4,96	Normalna	10,1	13,2	13,4	13,9
4,96	Povečana	6,5	12,3	8	13,3
5,69	Normalna	13	20,9	14,3	19,2
5,69	Povečana	7	17,4	11,4	25,2

Graf 6: Primerjava zavorne poti pri povečani masi, različnem zaviranju pri različnih temperaturah (lasten vir)



4 ANALIZA REZULTATOV – DISKUSIJA

Rezultate vseh meritev sem analizirala in jih med seboj primerjala. Osnovni cilj naloge je bil ugotoviti vpliv različnih fizikalnih dejavnikov na zavorno pot. Ti dejavniki so vključevali težišče vozila, hitrost, temperaturo podlage, način zaviranja in maso vozila.

Graf 3 prikazuje primerjavo zavorne poti pri različnih spremenljivkah (težišče, hitrost, način zaviranja – spredaj / zadaj pri različnih temperaturah) - na podlagi rezultatov, pridobljenih pri meritvah zaviranja enoslednega vozila pri nizkih temperaturah (0°C), lahko izpostavim več pomembnih vplivov.

4.1 Vpliv težišča vozila

Pri hitrosti 4,1 km/h je bila zavorna pot s sprednjo zavoro najkrajša, kadar je bilo težišče pomaknjeno naprej, medtem ko je zadnja zavora v enakih pogojih pokazala znatno daljšo zavorno pot.

Ko je težišče pomaknjeno nazaj, se zavorna pot s sprednjo zavoro nekoliko podaljša (v primerjavi s težiščem spredaj), medtem ko je pri zadnji zavori in težišču zadaj tudi krajša od zaviranja s sprednjo zavoro in težišče zadaj. To kaže, da premik težišča nazaj omogoča boljši oprijem zadnje zavore.

Pri višji hitrosti ($v_3 = 5,69$ km/h) je bil vpliv težišča še bolj izrazit. Pri zaviranju s sprednjo zavoro in pri težišču spredaj, zavorne poti nisem mogla izmeriti, saj se je vozilo tako hitro oz. sunkovito ustavilo, da je padlo, medtem ko se je zavorna pot pri težišču zadaj nekoliko podaljšala (14,6 cm). Pri zaviranju z zadnjo zavoro in težišču spredaj se je zavorna pot drastično podaljšala (31 cm), kar dokazuje, da pri napačno uporabljeni zavori glede na razporeditev težišča vozilo izgubi zmožnost učinkovitega ustavljanja.

Najbolj optimalna razporeditev se je tako izkazala postavitev težišča v sredini ne glede na to, ali je vozilo zaviralo s sprednjo ali zadnjo zavoro, saj se je učinkovito ustavilo (tudi pri največjih hitrostih ni prišlo do padca in tudi pri zaviranju z zadnjo zavoro zavorne poti niso bile predolge – bistveno krajše kot je bilo zaviranje z zadnjo zavoro in težiščem spredaj).

Podobne rezultate je moč razbrati tudi iz meritev pri višji temperaturi (37°C).

4.2 Vpliv hitrosti

Povečanje hitrosti je pri vseh načinih postavitve težišča podaljšalo zavorno pot, ne glede na to, ali je vozilo zaviralo s sprednjo ali zadnjo zavoro. Večja hitrost poveča kinetično energijo vozila, kar povzroči daljši čas ustavljanja in s tem razdaljo ustavljanja.

4.3 Primerjava med sprednjo in zadnjo zavoro

Sprednja zavora se je izkazala za učinkovitejšo pri nižjih hitrostih. Pri višjih hitrostih je zaviranje s sprednjo zavoro postalo »nevarno«, saj se je vozilo prevrglo. Učinkovitost zaviranja in varnost ustavljanja smo ohranili samo tako, da smo pomaknili težišče na sredino ali nazaj.

Analiza rezultatov zavorne poti kaže, da se z naraščanjem hitrosti zaviranje v splošnem podaljša. Iz tega, da se je vozilo prevrglo, lahko sklepam, da je ustavljanje bolj nevarno.

4.4 Vpliv temperature na zavorno pot

Temperatura igra pomembno vlogo pri zaviranju. Meritve so pokazale, da se je pri višji temperaturi pri isti konfiguraciji zavorna pot praviloma podaljšala, kar me je presenetilo.

Najboljši kompromis se je torej izkazala sredinska postavitev težišča, kjer se je zavorna pot sicer podaljšala v primerjavi s sprednjo postavitvijo težišča, a se je vozilo vedno varno ustavilo (se ni prekucnilo). Še vedno pa je bila zavorna pot v tem primeru krajša od zaviranja, kjer je bilo težišče zadaj.

4.5 Vpliv mase na zavorno pot

Ta rezultat me je presenetil, saj je v nasprotju tako s splošnim prepričanjem kot tudi s teoretičnimi trditvami, ki pravijo, da se z večjo maso zavorna pot praviloma podaljša oziroma da težje vozilo slabše zavira (AMZS Motorevija, 2016).

V moji raziskavi je bila z dodatno maso zavorna pot v večini primerov celo krajša, kar nakazuje, da v določenih pogojih povečana masa lahko izboljša oprijem koles s podlago (verjetno je dodatna masa povečala silo oziroma tlak koles na podlago, kar je izboljšalo oprijem in posledično zmanjšalo dolžino zaviranja).

Na kratko:

- Težišče spredaj je najbolj ugodno za čim krajšo zavorno pot, še posebej pri uporabi sprednje zavore, vendar se je izkazalo kot nevarno (vozilo je padalo).
- Težišče v sredini zagotavlja stabilno zaviranje, vendar z nekoliko daljšo zavorno potjo v primerjavi s težiščem in zavoro spredaj.
- Težišče zadaj povzroči najdaljšo zavorno pot, še posebej pri uporabi sprednje zavore.
- Nižje temperature (0°C) izboljšajo zavorno učinkovitost v primerjavi z višjimi temperaturami (37°C).
- Višje hitrosti znatno povečujejo zavorno pot.
- Večja masa (pri konfiguraciji: težišče na sredini) skrajša zavorno pot.

Hipoteza 1: *»Večji naklon vozišča poveča hitrost vozila in posledično podaljša zavorno pot.«*

Hipoteza je potrjena, saj so meritve pokazale, da se je hitrost vozila z večanjem naklona vozišča povečala, kar je vplivalo na daljšo zavorno pot. Na najmanjšem naklonu je bilo zaviranje najkrajše, medtem ko se je pri največjem naklonu zavorna pot podaljšala za več kot dvakrat. To potrjuje, da ima začetna hitrost vozila velik vpliv na dolžino zavorne poti. Pri vseh meritvah je bilo zaznano, da vozilo na večjem naklonu potrebuje več časa in razdalje za popolno zaustavitev. Zato je hipoteza 1 potrjena.

Hipoteza 2: *»Višja temperatura podlage povečuje statično trenje in zmanjšuje dolžino zavorne poti.«*

Hipoteza je zavrnjena, saj so rezultati meritev pokazali, da se je zavorna pot vozila pri višjih temperaturah podlage daljša pri nižji temperaturi. To pomeni, da je imela pnevmatika na toplejši podlagi slabši oprijem.

Hipoteza 3: *»Sprememba težišča vozila vpliva na dolžino zavorne poti.«*

Hipoteza je potrjena, saj sem z meritvami ugotovila, da je premik težišča s sprednje osi proti zadnji osi imel za rezultat daljšanje zavorne poti.

Hipoteza 4: *»Zaviranje s sprednjim kolesom je učinkovitejše kot zaviranje z zadnjim kolesom.«*

Hipoteza je potrjena, saj so rezultati meritev so pokazali, da je bilo zaviranje s sprednjim kolesom učinkovitejše kot zaviranje z zadnjim. Pri zaviranju samo z zadnjo zavoro je bila zavorna pot občutno daljša, kar potrjuje manjši učinek zadnje zavore pri zaustavljanju, sprednja zavora pa je omogočila krajšo zavorno pot.

Hipoteza 5: *»Dodana masa podaljša zavorno pot vozila.«*

Hipoteza je zavrnjena, saj rezultati meritev kažejo, da dodana masa ni povzročila daljše zavorne poti, ampak jo je v večini primerov celo skrajšala. Pri enaki postavitvi težišča so bile zavorne poti z dodatno maso krajše, tako pri zaviranju s sprednjo kot zadnjo zavoro in pri različnih temperaturah. Sklepam, da je dodatna masa povečala silo oziroma tlak koles na podlago, kar je izboljšalo oprijem in posledično zmanjšalo dolžino zaviranja.

Odgovor na ključno raziskovalno vprašanje:

»Kako različni dejavniki – hitrost vozila, masa vozila, temperatura podlage, položaj težišča in izbira zavore – vplivajo na dolžino zavorne poti enoslednega vozila?« sledi iz prikazanih rezultatov in preverjenih hipotez.

Rezultati so pokazali, da različni dejavniki vplivajo na dolžino zavorne poti enoslednega vozila na različne načine. Povečanje naklona vozišča poveča hitrost vozila, kar podaljša zavorno pot. Pri višjih temperaturah podlage je zavorna pot daljša, kar me je presenetilo, saj sem pred raziskavo menila, da imajo pri višjih temperaturah pnevmatike boljši oprijem in s tem skrajšajo zavorno pot.

Premik težišča s sprednje na zadnjo os je podaljšal zavorno pot, kar potrjuje vpliv težišča na zaviranje. Zaviranje s sprednjim kolesom je bilo učinkovitejše, saj je bila zavorna pot z uporabo sprednje zavore krajša kot pri zadnji. Dodana masa ni podaljšala zavorne poti, temveč jo je v večini primerov celo skrajšala, kar je v nasprotju z mojimi pričakovanji.

5 DRUŽBENA ODGOVORNOST

V raziskovalni nalogi sem uporabljala znanje, pridobljeno v šoli kot tudi iz različnih (predvsem spletnih) virov.

Naloga je zanimiva, ker sem se ukvarjala z resničnim, vsakdanjim problemom, ki zadeva vse uporabnike enoslednih vozil, predvsem pa mlade, neizkušene udeležence v prometu – varnost ustavljanja enoslednih vozil. S preprostimi, a preišljenimi poskusi sem pokazala, kako pomembni so dejavniki, kot so hitrost vožnje, temperatura podlage in razporeditev teže pri zaviranju.

Ugotovitve moje raziskave poudarjajo, da zavorna pot nikoli ni enaka in da lahko že majhne spremembe pogojev močno vplivajo na ustavljanje. To pomeni, da mora vsak voznik – bodisi kolesa, skiroja ali motorja – razmišljati vnaprej in prilagoditi vožnjo okoliščinam.

Družbena odgovornost v prometu se ne začne pri zakonih, temveč pri naši zavesti in previdnosti. Če razumemo fizikalne zakonitosti zaviranja in jih upoštevamo v praksi, lahko prispevamo k večji varnosti zase in za druge udeležence v prometu.

Moja raziskava me je naučila, da promet in predvsem varnost v prometu ni le stvar posameznika, temveč nas vseh skupaj.

6 ZAKLJUČEK

V moji raziskovalni nalogi z naslovom *Zavorna pot pod drobnogledom* sem preučevala, kako različni fizikalni dejavniki, kot so položaj težišča, hitrost, temperatura podlage in masa, vplivajo na zavorno pot enoslednega vozila, ki je bilo sestavljeno iz Lego komponent. Meritve so podale zanimive rezultate in omogočile podrobnejše razumevanje fizikalnih vplivov na zaviranje.

Rezultati raziskave so pokazali, da na zavorno pot enoslednega vozila pomembno vplivajo v prvi vrsti položaj težišča, hitrost, uporaba zavor (zavora spredaj / zadaj), del prispeva pa tudi temperatura podlage oz. vozišča, vsekakor pa je pomemben dejavnik tudi masa. Vsak od teh dejavnikov ima specifičen učinek, ki se med seboj prepleta, kar pomeni, da optimalno zaviranje ni preprosto, temveč je odvisno od več dejavnikov.

V grobem lahko rečemo, da je za najučinkovitejše ustavljanje najbolje imeti težišče na sredini in zavirati s sprednjo zavoro. Pri tem je pomembno vedeti, da višja kot je hitrost, bolj nevarno je zaviranje s sprednjo zavoro, zato je pomembna uporaba obeh zavor. Po mnenju novinarja, strokovnjaka za varno vožnjo, Kavčiča ter dolgoletnega inštruktorja varne vožnje v AMZS centru varne vožnje na Vranskem, Vojka Safrana, je uporaba obeh zavor nujna, zadnja zavora pa je naš rešitelj in ne sovražnik. (Kavčič, P. 2023)

Povečanje hitrosti je pričakovano podaljšalo zavorno pot, vendar so se pri višjih hitrostih izraziteje pokazale razlike med različnimi težiščnimi konfiguracijami. Pri najnižji hitrosti so bile razlike med posameznimi konfiguracijami manjše, pri najvišji hitrosti pa so postale izrazite.

Vpliv na dolžino zavorne poti ima tudi temperatura podlage. V nasprotju z mojimi pričakovanji so meritve pokazale, da je zaviranje pri nižji temperaturi (0 °C) pogosto učinkovitejše kot pri višji temperaturi (37 °C). Pri višji temperaturi se je zavorna pot pri večini meritev podaljšala, kar kaže na to, da višja temperatura lahko negativno vpliva na oprijem kolesa s podlago. Ta učinek je bil najbolj izrazit pri zaviranju z zadnjo zavoro in težiščem spredaj, kjer se je zavorna pot pri višjih hitrostih izrazito podaljšala.

Celotna raziskava je pokazala, da ni enotne idealne konfiguracije za najkrajšo zavorno pot, saj na optimalno izbiro vplivajo različni pogoji. Rezultati poudarjajo, kako

pomembno je razumevanje fizikalnih lastnosti zaviranja in prilagajanje načina zaviranja glede na okoliščine. Pravilna uporaba zavor igra ključno vlogo, ko pridemo v nevarno situacijo. (Javna agencija RS za varnost prometa, 2022)

Ta raziskovalna naloga je pokazala, da je položaj težišča ključnega pomena za optimizacijo zavornih lastnosti vozila.

Čeprav sem v tej raziskovalni nalogi prišla do nekaj zanimivih zaključkov, menim, da bi se dalo raziskavo še nadgraditi, na primer z uporabo različnih materialov za podlago ali s simulacijo zaviranja v realnih prometnih razmerah. Moji rezultati pa že zdaj potrjujejo, kako pomembno je razumevanje fizike zaviranja za varno vožnjo – tako za enosledna kot za vsa ostala vozila.

7 VIRI IN LITERATURA

7.1 Viri slik

Slika 1: Lego gradniki (lasten vir)	12
Slika 2: enosledno vozilo, uporabljeno v raziskovalni nalogi (lasten vir).....	12
Slika 3: Medosna razdalja enoslednega vozila (lasten vir)	13
Slika 4: dimenzije koles (lasten vir)	13
Slika 5: zavorni sistem (lasten vir).....	14
Slika 6: zavorni sistem (lasten vir).....	14
Slika 7: podlaga za meritve (lasten vir)	15
Slika 8: merilnik temperature termodetektor Bosch universaltemp (lasten vir)	17
Slika 9: merilnik temperature termodetektor Bosch universaltemp (lasten vir)	17

7.2 LITERATURA

- AMZS motorevija. (2016). *Kako varno voziti s sopotnikom na motorju?* Pridobljeno 5.1.2025 s <https://www.amzs.si/motorevija/mobilnost/nasveti/2016-03-01-kako-varno-voziti-s-sopotnikom-na-motorju>
- Arnes učilnice. (2020). Pridobljeno 18.12.2024 s https://ucilnice.arnes.si/pluginfile.php/238541/mod_resource/content/0/DELO_ENERGIJA_TEM_T_OPLOTA/TRENJE_DELO_ENERGIJA.pdf
- Javna agencija RS za varnost prometa. (2022). *Varno z motorjem*. Pridobljeno 5.1.2025 s https://www.avp-rs.si/wp-content/uploads/2022/03/5_nova_brosura_varno_z_motorjem1.pdf
- Kavčič, P. (2023). *O sprednji in zadnji zavori na motorju*. Pridobljeno 15.12.2024 s <https://vsebovredn.triglav.si/na-poti/sprednja-in-zadnja-zavora-na-motorju>
- Mohorčič, A. et al.(2014). VEGA: 1 i-učbenik za matematiko v 1. letniku gimnazije. Pridobljeno 20.12.2024 s <https://eucbeniki.sio.si/vega1/index.html>
- OpenProf. *Izrek o kinetični in potencialni energiji*. (2022). https://si.openprof.com/wb/potencialna_energija?ch=236
- Repnik et al. (2014). FIZIKA 9: I-učbenik za fiziko v 9. razredu osnovne šole <https://eucbeniki.sio.si/fizika9/188/index.html>
- Skupina Triglav. *Zavorna pot*. (2019) Pridobljeno 16.12.2024 s <https://vozimse.si/cpp/zavorna-pot/>

- The LEGO Group. *The LEGO Group History*. (2018). Pridobljeno 12.12.2024 s <https://www.lego.com/en-us/aboutus/lego-group/the-lego-group-history?locale=en-us>
- Univerza v Ljubljani. *O napakah v merjenju*. (2018). Pridobljeno 18.12.2024 s <http://sasa.musiclab.si/fizika/PPT/absolutnaRelativnaNapaka/absolutnaRelativnaNapaka.html>