



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA INFRASTRUKTURO  
DIREKCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA INFRASTRUKTURO

**CESTEL**

**AMZS**



# Zavorna pot

# Pregled vsebine

- Zakaj smo se lotili projekta?
- Raziskava strokovne literature.
- Definiranje pogojev za testiranje.
- Potek testiranja.
- Ugotovitve.



$$\text{Zavorna pot} = \frac{\text{hitrost}^2}{(2 \times \text{gravitacijski pospešek} \times \text{koeficient trenja})}$$



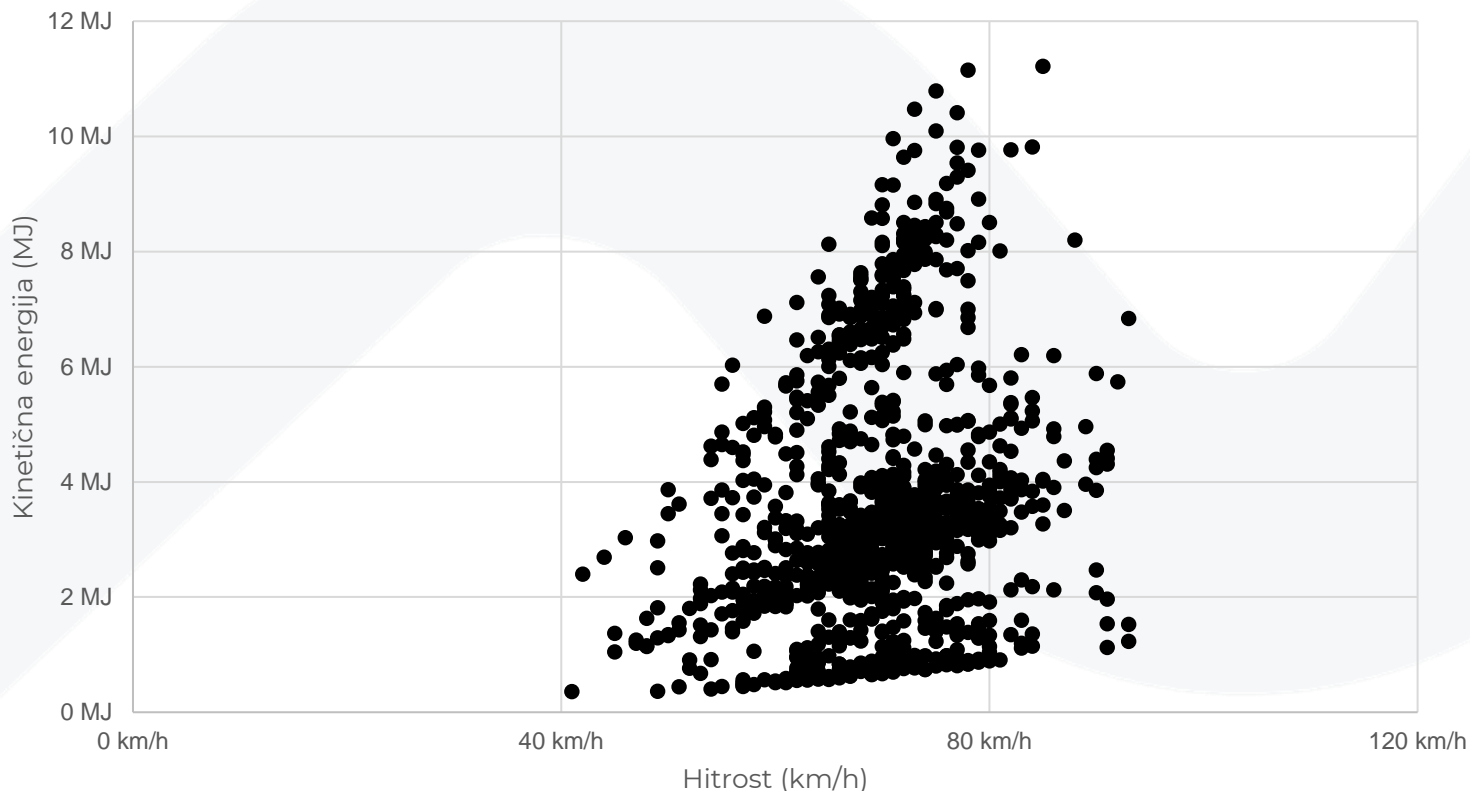
## Zakaj to temo raziskovati?

- Kinetična energija tovornih vozil je precej večja od energije osebnih vozil.
- Nesreče tovornih vozil imajo težje posledice.
- Zavorna pot je ključni dejavnik.
- Osnovna enačba zavorne poti neodvisna od mase vozila.



# Kinetična energija

Kinetična energija tovornih vozil



## Kinetična energija pri 80 km/h

Osebno vozilo	0,4 MJ
Tovorno vozilo, 13 t	3,2 MJ (x8)
Tovorno vozilo, 44 t	10,8 MJ (x27)



# Pregled literature

- Študije:
  - Study of Influence of Operating Parameters on Braking Distance
  - Driver Perception–Brake Response in Stopping Sight Distance Situations
  - Brake Reaction Times and Driver Behavior Analysis
  - Testing automobile braking parameters by varying the load weight
- Faktorji, ki vplivajo na zaviranje vozila:
  - hitrost,
  - kvaliteta pnevmatik,
  - stanje vozišča,
  - temperatura asfalta,
  - reakcijski čas,
  - **masa,**
  - itd.



# Zaviranje in masa

- Pogovor z vozniki tovornih vozil: zelo različna mnenja

- Wikipedia:  $d = \frac{v^2}{2\mu g}$

- Računalniška simulacija:

Simulation and Analysis on the Effect of Gross Vehicle Weight on Braking Distance of Heavy Vehicle

*„Considering speed alone is not enough to explain the actual situation on road safety particularly those involving heavy vehicles. **GVW is also important factor that needs to be considered in brake distance formula or model.** In an emergency situation, the overloaded truck will not be able to stop in the same distance as a non-overloaded truck, no matter how hard the driver tries.“*

- **Teorija je jasna: večja masa pomeni daljšo zavorno pot. Kaj pa praksa?**



# Zakaj Cestel?

- Tehtanje tovornih vozil s policijo in v prostem prometnem toku.
- Ogromno podatkov o preobremenitvah.
- 30 let izkušenj.
- Koristna raziskava za vse vpletene.



# Definiranje testiranja

---

Kako smo zasnovali testiranje?





## Določanje pogojev

---

- Lepo vreme.
- Nova vozila.
- Dobre pnevmatike.
- Dobro cestišče.
- Profesionalni vozniki.



# Izbor tovornih vozil

---

- Največkrat preobteženi.
- Najbolj pogosti tipi tovornih vozil.



# Izbrana vozila in teže

- 2-osno
- 4-osno
- 5-osno (cisterna)

- 80% obremenjenost
- 130% obremenjenost



# Izbrana vozila in teže



# Testiranje

---

Kako je potekal test?

- Center varne vožnje Vransko.
- Najboljši možni pogoji.

# AMZS



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA INFRASTRUKTURO

DIREKCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA INFRASTRUKTURO

**CESTEL**

**AMZS**



# Obtežitev tovornih vozil



**Pesek**



**Voda**



# Statično tehtanje vozil



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA INFRASTRUKTURO

DIREKCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA INFRASTRUKTURO

CESTEL

AMZS





## 2-osno vozilo

---

- Največja dovoljena masa: 18 t
- Obremenjen:  
15.000 kg = 83%
- Preobremenjen:  
21.100 kg = 117%
- Razlika v težah: **6,1 t**





## 4-osno vozilo

---

- Največja dovoljena masa: 32 t
- Obremenjen:  
25.800 kg = 81%
- Preobremenjen:  
40.600 kg = 127%
- Razlika v težah: **14,8 t**



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA INFRASTRUKTURO

DIREKCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA INFRASTRUKTURO

CESTEL

AMZS



# 5-osno vozilo

---

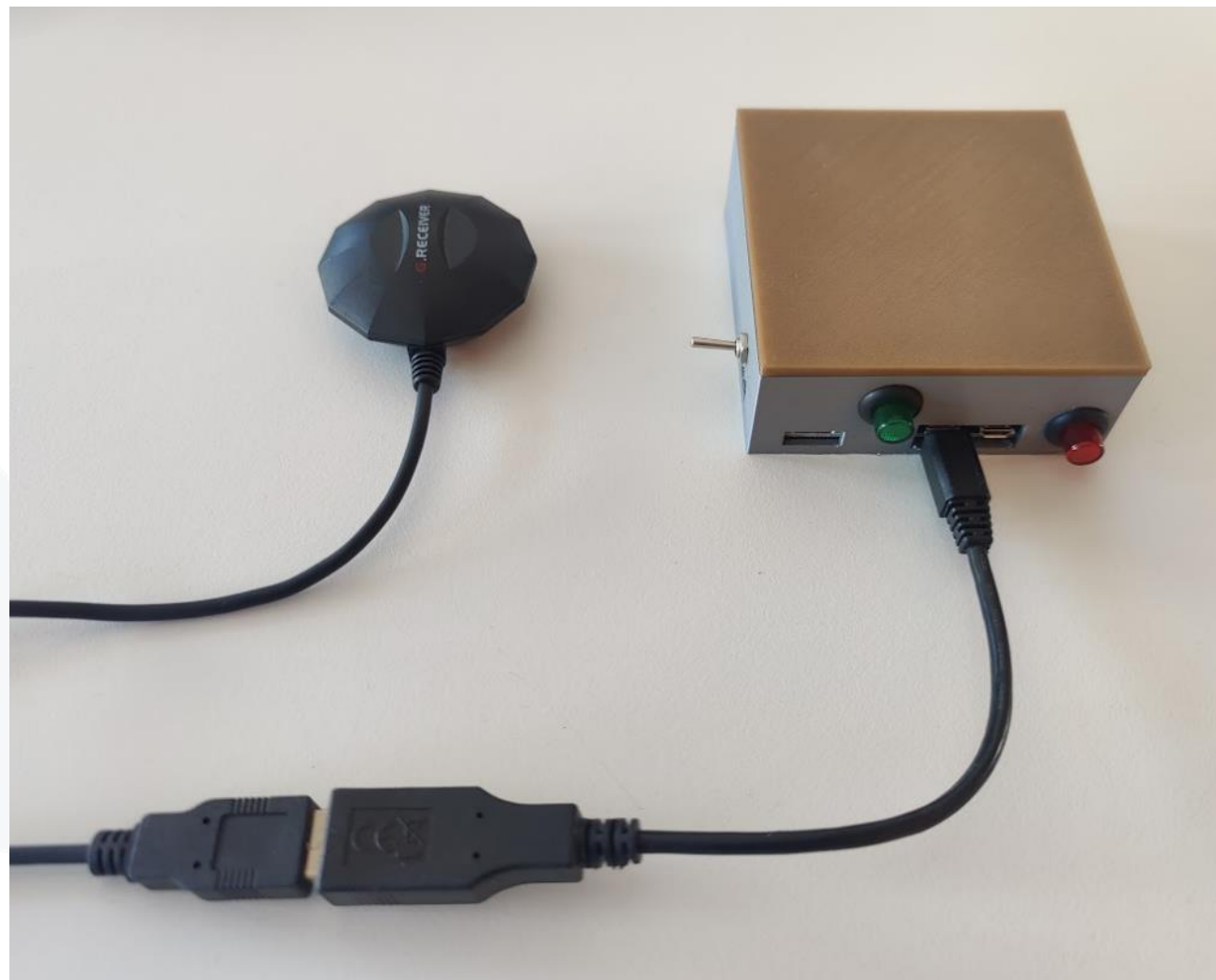
- Največja dovoljena masa: 40 t
- Obremenjen:  
33.700 kg = 84%
- Preobremenjen:  
51.500 kg = 129%
- Razlika v težah: **17,8 t**



# Merilniki pomika

---

- Nameščen v vsako vozilo.
- Meri hitrost.
- Meri pojemek.
- Meri GPS lokacijo.



# Hitrost vozil

- Ciljna hitrost pred zaviranjem je bila 80 km/h (merjeno z merilniki pomika).
- Nizek koeficient variacije (2%) – podatki malo razpršeni glede na povprečje.
- Lahko trdimo, da so imele vse vožnje primerljivo hitrost.

Podatki o hitrosti	
Povprečna hitrost	84,2 km/h
Standardni odklon	± 1,9 km/h
Koeficient variacije	2%



# Meritve temperature zavornih sistemov

---

- Pred vsako vožnjo.
- Temperature so se povečale tudi do 200°C.



# Detekcija točke zaviranja



Merjenje



Zaviranje



# Rezultati

---

Kakšne so ugotovitve?



# Opravljene vožnje



17 voženj (**14 upoštevanih**)



13 voženj (**12 upoštevanih**)



22 voženj (**20 upoštevanih**)



# Statistična primerjava

- Statistična primerjava s Studentovim T testom.
- Rezultate za 4- in 5-osno lahko statistično potrdimo s stopnjo zaupanja 95%. -> **Teža vpliva na zavoro pot!**
- Pri 2-osnem vozilu razlika ni statistično značilna.

Tip vozila	p-vrednost	Zaključek
2-osno vozilo	0,800095	Razlika ni statistično značilna
4-osno vozilo	0,000002	Razlika je statistično značilna
5-osno vozilo	0,002013	Razlika je statistično značilna



## 2-osno vozilo

- Teža ni imela bistvenega vpliva.
- Razlika v zavorni poti: 1%
- Velika razlika v temperaturi zavor.
- Temperatura zavor:
  - Min: 60°C
  - Max: 290°C

### 117% obtežitev

Število voženj	Zavorna pot
1	34,3 m
2	37,15 m
3	34,8 m
4	35,2 m
5	33,4 m
<b>Povprečje</b>	<b>34,9 m</b>

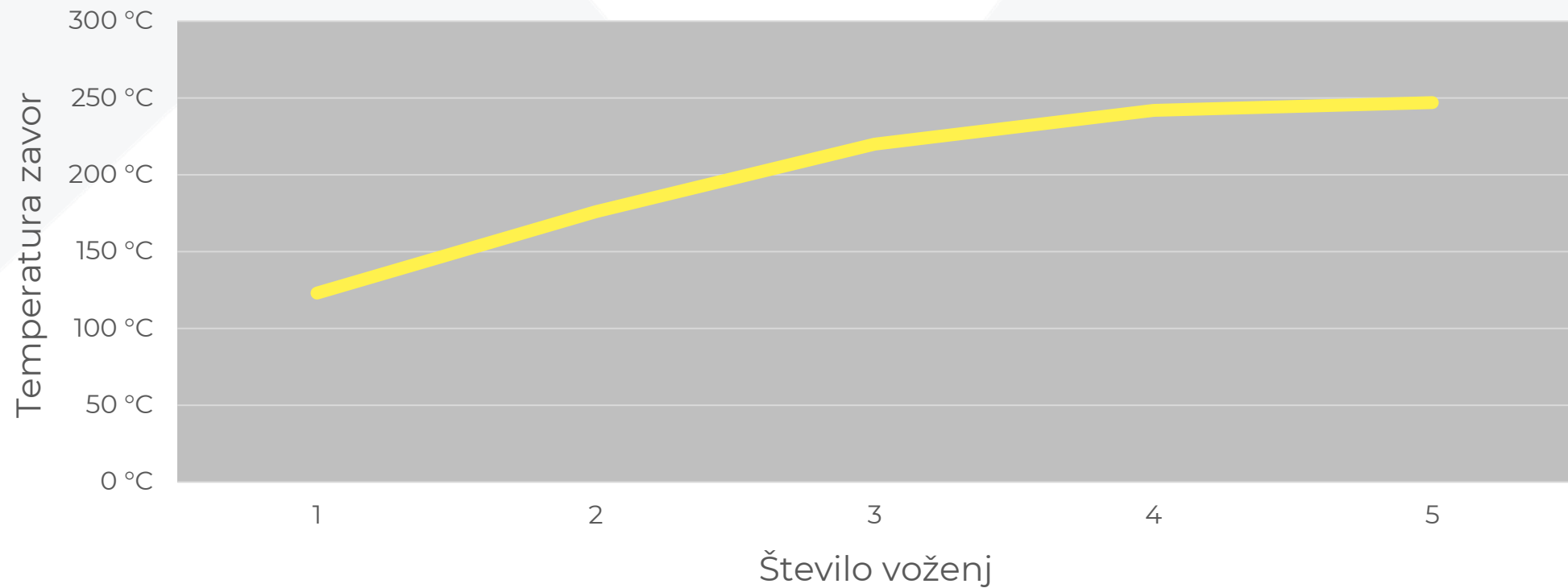
### 83% obtežitev

Število voženj	Zavorna pot
1	35,1 m
2	34,2 m
3	34,9 m
4	34,9 m
5	36,5 m
6	33,9 m
7	35,1 m
8	33,5 m
9	35 m
<b>Povprečje</b>	<b>34,8</b>



## 2-osno vozilo

- Velika razlika v temperaturi zavor.



# 4-osno vozilo

- Teža imela velik vpliv na zavorno pot.
- Razlika v zavorni poti: 23%.
- Velika razlika v zavorni poti.
- Temperatura zavor:
  - Min: 42°C
  - Max: 192°C

## 127% obtežitev

Število voženj	Zavorna pot
1	45,1 m
2	43,1 m
3	41,5 m
4	42,3 m
5	43 m
<b>Povprečje</b>	<b>43 m</b>

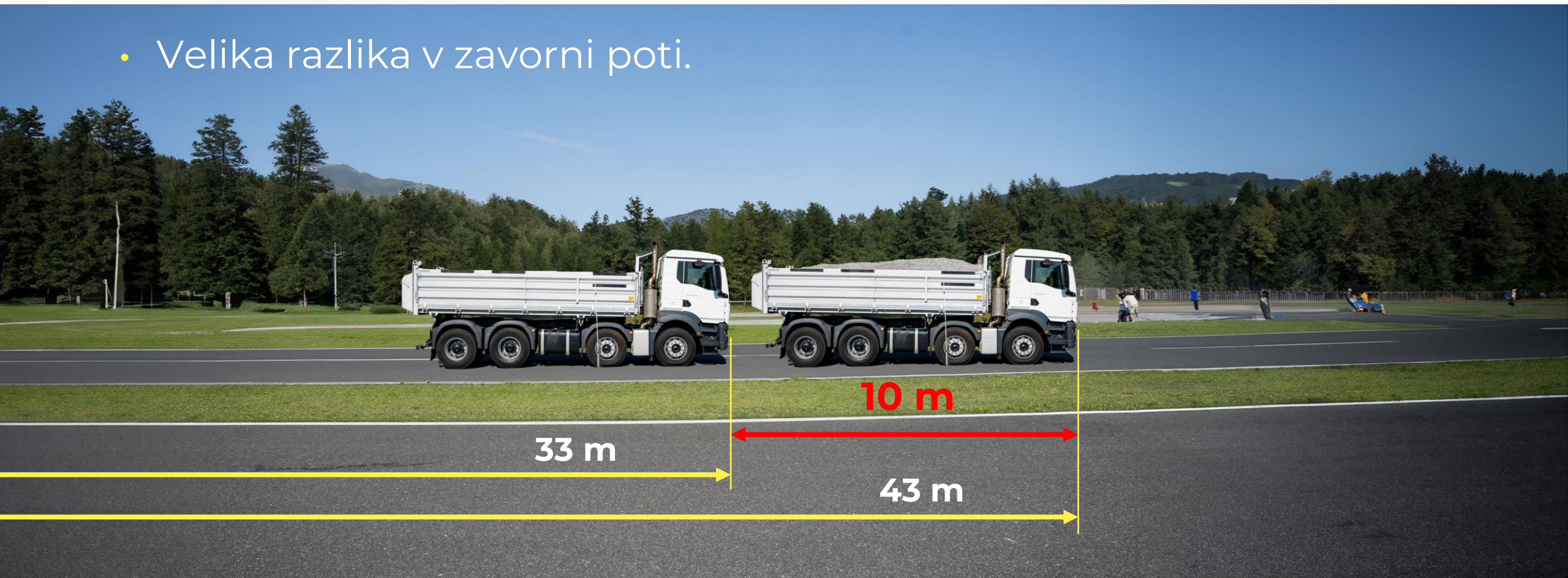
## 81% obtežitev

Število voženj	Zavorna pot
1	31,4 m
2	32,5 m
3	32,8 m
4	33,5 m
5	33,7 m
6	32,7 m
7	34,4 m
<b>Povprečje</b>	<b>33 m</b>



# 4-osno vozilo

- Velika razlika v zavorni poti.



# 5-osno vozilo

- Masa imela vpliv na zavorno pot.
- Razlika v zavorni poti 8%.
- Vpliv temperature na zavorno pot.
- Temperatura zavor:
  - Min: 68°C
  - Max: 254°C

## 129% obtežitev

Število voženj	Zavorna pot
1	40,4 m
2	41,2 m
3	40,2 m
4	42,1 m
5	43 m
6	41,8 m
7	45 m
8	46,1 m
9	45,8 m
10	46,7 m
<b>Povprečje</b>	<b>43,2</b>

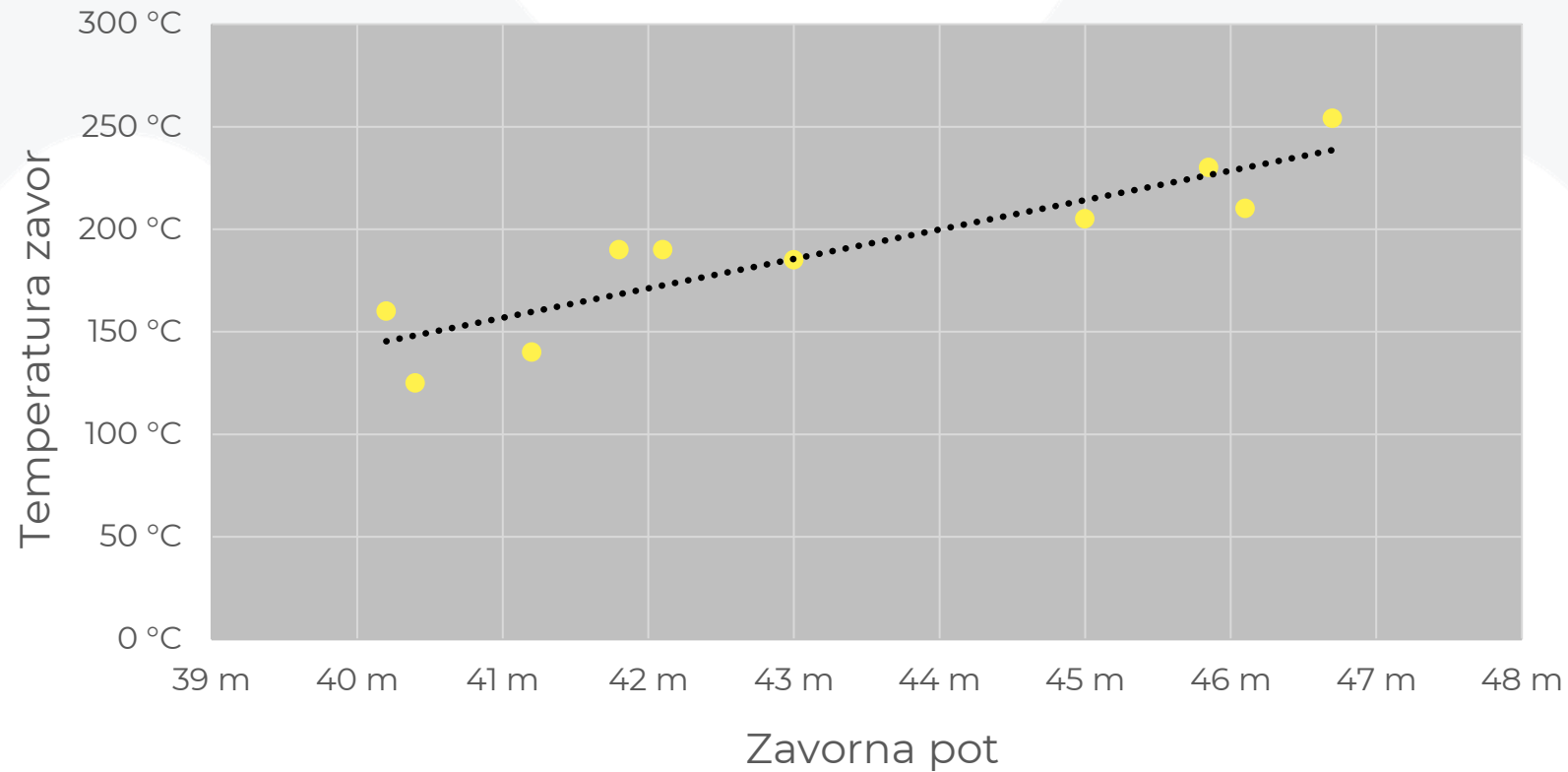
## 84% obtežitev

Število voženj	Zavorna pot
1	37,4
2	41
3	39,4
4	39,3
5	42
6	43,6
7	38,5
8	38,1
9	38,3
10	38,3
<b>Povprečje</b>	<b>39,6</b>



# 5-osno vozilo

- Vpliv temperature zavor na zavorno pot.





# Pomembno

- Masa ima vpliv na zavorno pot.
- Nujno potrebno izobraževanje vseh udeležencev v prometu.
- Nujno potrebno izobraževanje odločevalcev.



HVALA

