

PRIGUŠENJE BUKE I VIBRACIJA NA TRAMVAJSKIM KOLOSIJECIMA

Noise and vibration damping on tramway tracks

Stjepan Deščak, univ. bacc. ing. aedif.

Leonard Cvitić, univ. bacc. ing. aedif.

Mentor: doc.dr.sc. Ivo Haladin



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
Zavod za prometnice

Zagrebački energetska tjedan
Stručni skup studenata fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
„Mi imamo rješenja: vizije novih generacija za zeleni razvoj“
Zagreb, 13.5.2019.



SADRŽAJ

- UVOD
- PREGLED KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA TRAMVAJSKIH KOLOSIJEKA
- METODE MJERENJA VIBRO-AKUSTIČKIH SVOJSTAVA KOLOSIJEKA
- MJERENJE BUKE PRI PROLASKU TRAMVAJSKIH VOZILA
- MJERENJE RAZINE VIBRACIJA TRAČNICE
- METODE MJERENJA STUPNJA PRIGUŠENJA VIBRACIJA
- ZAKLJUČAK



UVOD

LJUDSKA PERCEPCIJA VIBRACIJA

- Neželjena pojava u radnoj i životnoj okolini
- Smanjuje se kvaliteta života i efikasnost rada
- Vibracije koje najviše utječu na ljude su one pri frekvencijama 0,1 Hz do 80 Hz



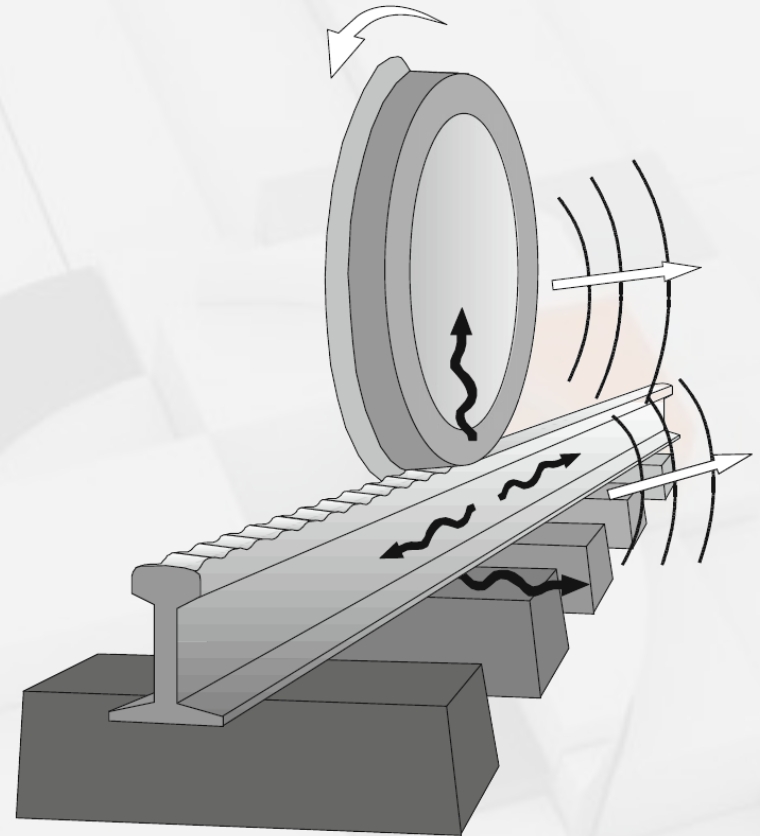
LJUDSKA PERCEPCIJA BUKE

- Neželjene čujne vibracije koje se šire zrakom nazivamo **bukom**
- Donja granica čujnih vibracija je oko 20 Hz



UVOD

- Prometovanje željezničkih vozila uzrokuje vibracije i buku koje se šire okolišem
 - VIBRACIJE – pojava periodičkog ili nasumičnog titranja tijela u odnosu na njegov ravnotežni položaj
 - BUKA – neželjeni zvuk (promjena tlaka uzrokovana vibracijama) koji se širi elastičnim medijem (zrak) od izvora (mjesto emisije) do slušatelja (mjesto imisije)



UVOD

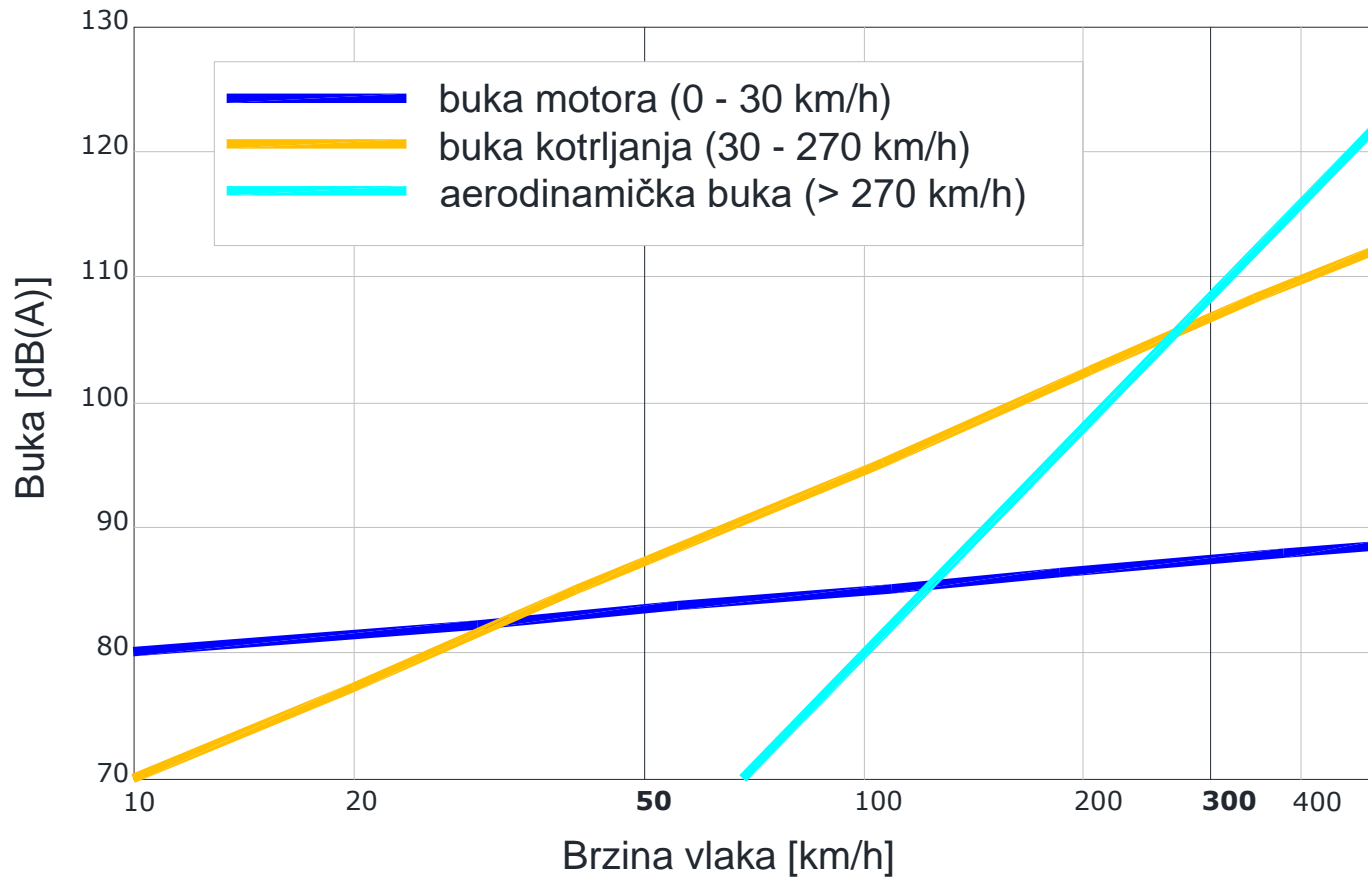
BUKA I VIBRACIJE OD TRAČNIČKOG PROMETA

- Od samih početaka, tračničke sustave, prati epitet bučnosti
- Od 60tih godina 20. stoljeća počinje se voditi više računa o suzbijanju buke i vibracija od tračničkih sustava
- **Pri izvođenju tračničke infrastrukture potrebno je voditi računa o vibroakustičkim svojstvima kolosijeka i širenju buke i vibracija u okoliš**
- U Europskoj uniji regulativa vezana za buku tračničkih vozila:
 - HRN EN ISO 3095:2013 Akustika – Oprema za željeznice – Mjerenje buke koju proizvode željeznička vozila, 2013.
 - HRN EN 15461:2011 Oprema za željeznice - Emisija buke - Određivanje dinamičkih svojstava za dionicu pruge kojom prolazi vlak pri mjerenju buke (HRN EN 15461:2008+A1:2010), 2011.
 - HRI CEN/TR 16891:2017 Željeznički sustavi – Akustika – Metoda mjerenja za kombiniranu hrapavost, stupnjeve dotrajnosti željezničkog gornjeg ustroja i prijenosne funkcije
 - HRN EN 15610:2009 Oprema za željeznice - Emisija buke - Mjerenje hrapavosti tračnica povezane sa stvaranjem buke pri vožnji željezničkih vozila, 2009.

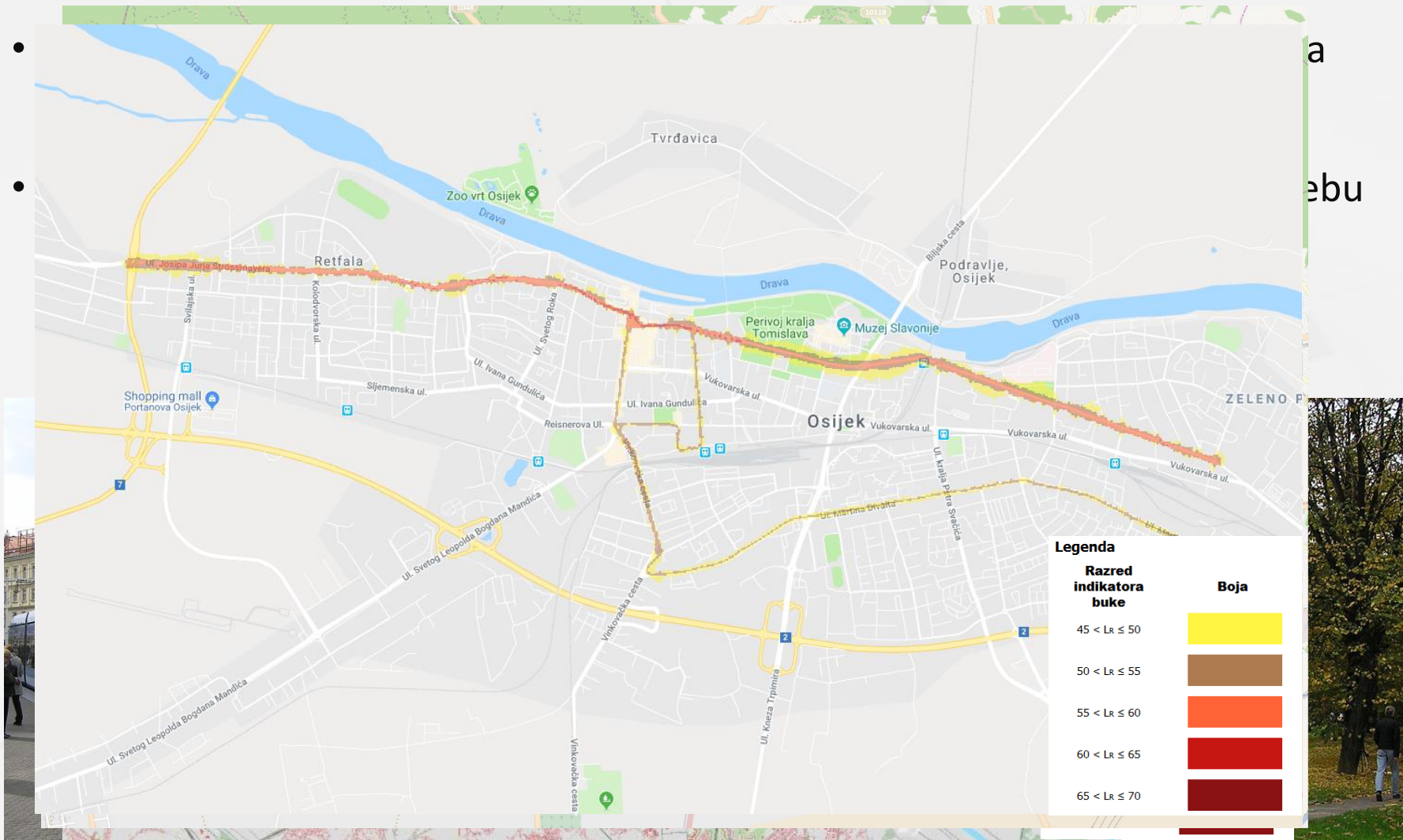


UVOD

- Buka koja se javlja pri prometovanju željezničkih vozila može se



UVOD



PREGLED KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA

...e kao kolosijek



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
Zavod za prometnice

Zagrebački energetski tjedan
Stručni skup studenata fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
„Mi imamo rješenja: vizije novih generacija za zeleni razvoj“
Zagreb, 13.5.2019.



PREGLED KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA

NAČINI ZATVARANJA KOLOSIJEKA

- Otvoreni kolosijek
- Poluotvoreni kolosijek (tucanik)
- Zatvoreni kolosijek (asfalt i ploče)

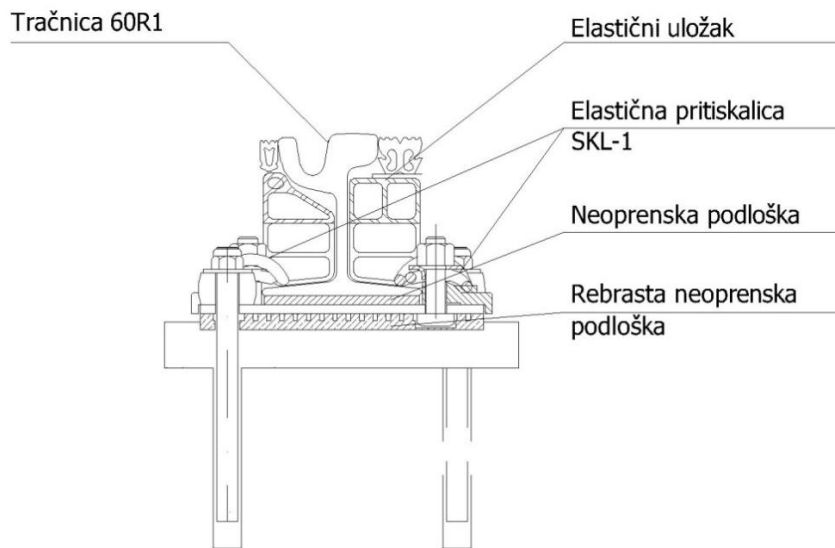


PREGLED KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA

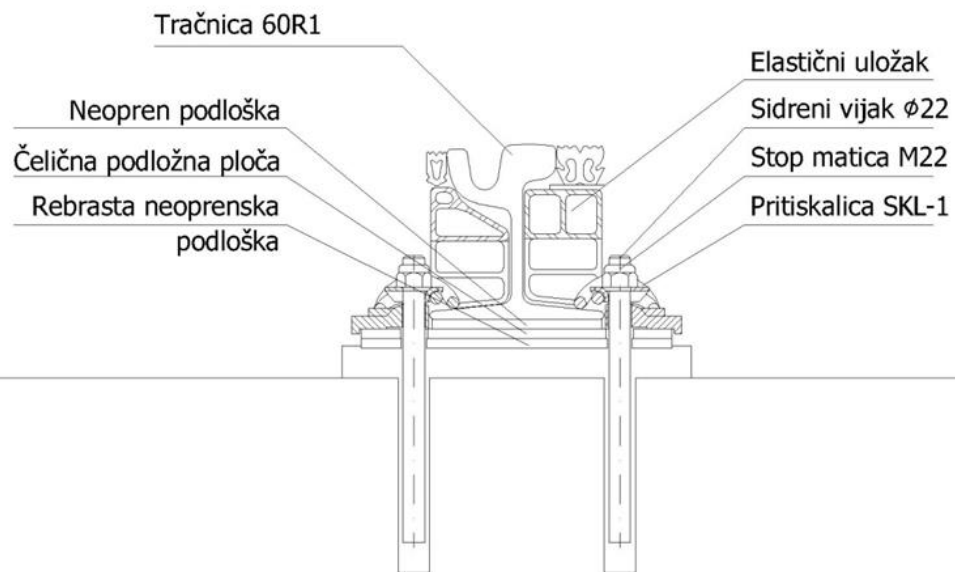
OSLANJANJE I PRIČVRŠĆENJE TRAČNICE NA PODLOGU

- Dvostruko elastični pričvrсни pribor (DEPP)
- Pričvrсни pribor povećane elastičnosti (PPE)

DEPP



PPE



Metode mjerenja vibro-akustičkih svojstava kolosijeka

- Mjerenje buke pri prolasku vozila
- Mjerenje razine vibracija pri prolasku vozila
- Određivanje dinamičkog odaziva kolosijeka pri prolasku vozila
- Određivanje dinamičkog odaziva kolosijeka udarnim čekićem
- Određivanje ravnosti vozne površine tračnica



Terenska mjerenja vibro-akustičkih svojstava

Mjerene veličine:

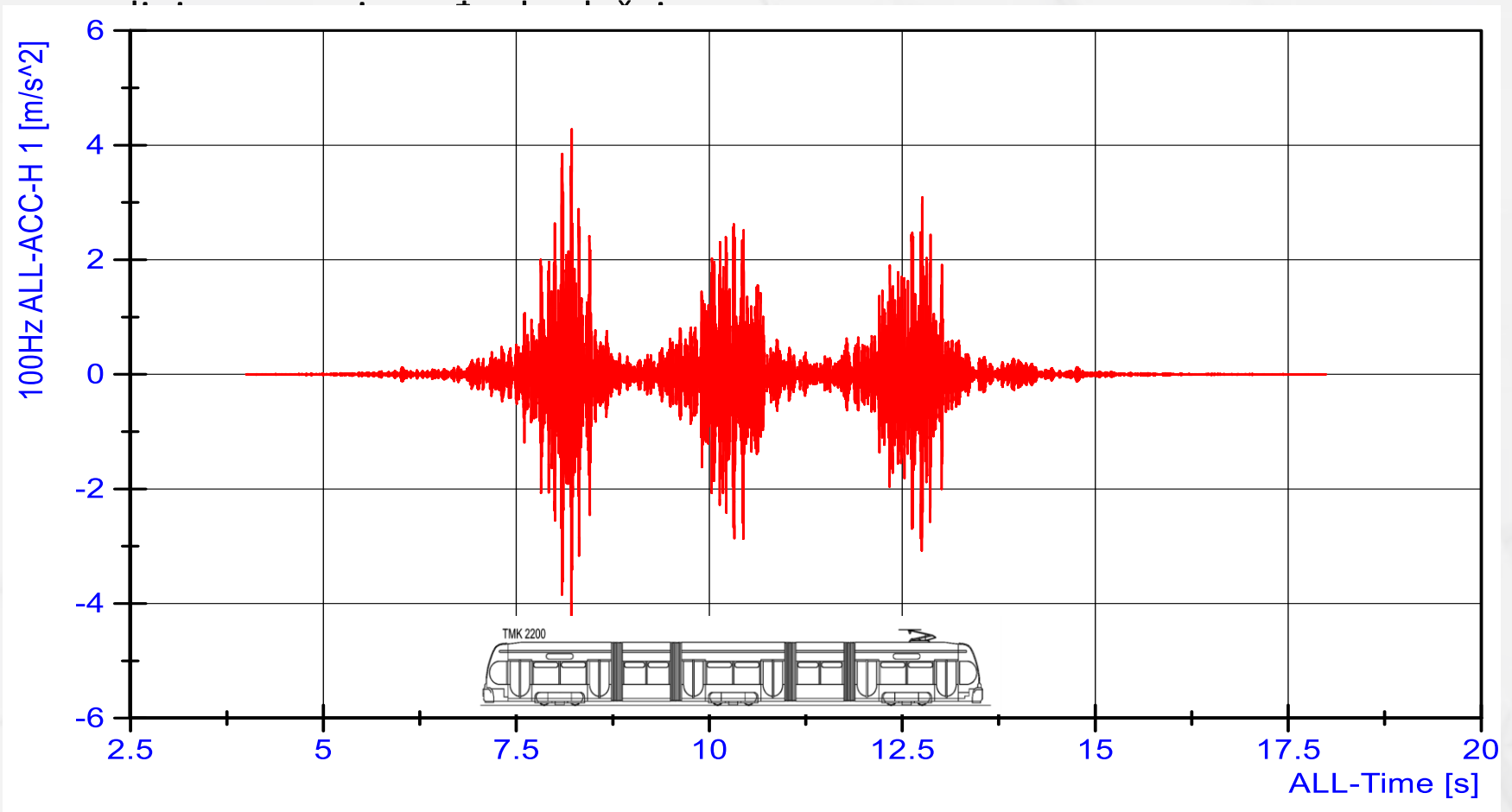
- ubrzanja tračnice – $a(t)$ [m/s^2]
- razina zvučnog tlaka – $p_A(t)$ [Pa]
- vrijeme prolaska vozila – t_p [s]
- duljina tračničkog vozila – l [m]
- broj osovina – N_{ax}
- brzina vozila – v [m/s]

- Zvučni tlak bilježi se mikrofonom postavljenim na udaljenosti 2,5m od osi kolosijeka, 1,2m visine



Terenska mjerenja vibro-akustičkih svojstava

- Ubrzanja tračnica bilježe se akcelerometrima postavljenim na tračnicu u



Primjer na jednoj mjernoj lokaciji

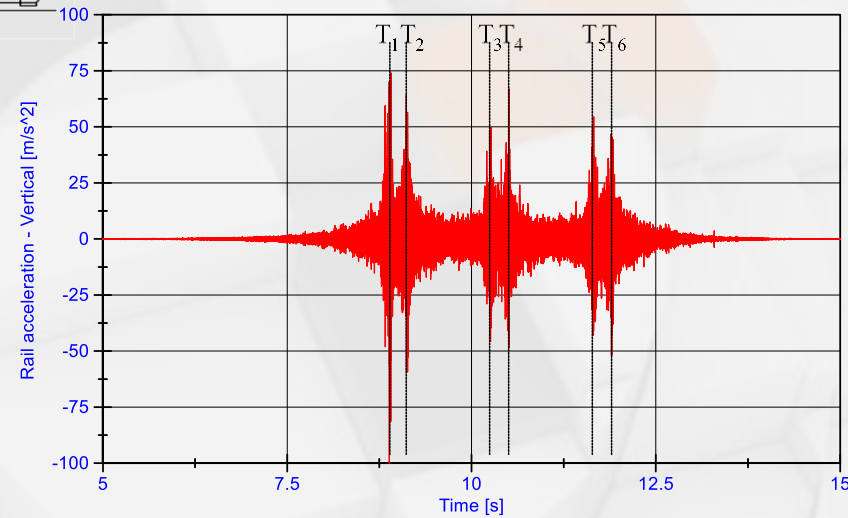
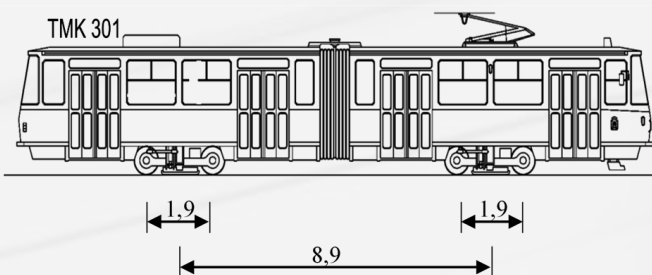
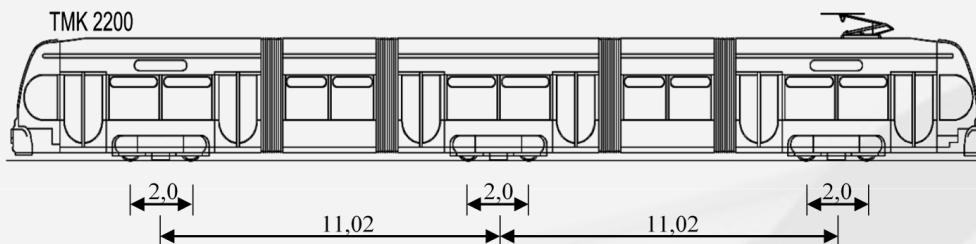
LOKACIJA 10	21.03.2019., 14:00	vedro, 13.2°C
		1033,7 hPa
		31% vlažnost
		vjetar: E, 1.6 m/s
Vrijeme	TRAM	Zapis
14:33	TMK 22110	10_1
14:34	TMK 205	10_2
14:34	TMK 2285	10_2
14:36	TMK 2212	10_3
14:39	TMK 2104	10_4
14:45	TMK 2262	10_5
14:45	TMK 2106	10_5
14:46	TMK 2230	10_6
14:50	TMK 2290	10_7
14:53	TMK 2256	10_8
14:55	TMK 2102	10_9
14:58	TMK 2104	10_10
15:00	TMK 2278	10_11
15:01	TMK 2285	10_12
15:03	TMK 2294	10_13
15:06	TMK 22100	10_14



Određivanje brzine prolaska tramvaja

- Iz vremenskog signala snimljenih vibracija
- Iz poznatih dimenzija vozila i razmaka osovina
- Određena je prosječna brzina prolaska
- Promatrani prolasci tramvaja pri brzini od ~ 30 km/h

$$v \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right] = 3,6 \cdot \frac{s \text{ [m]}}{t \text{ [s]}}$$



Određivanje razine buke pri prolasku vozila

Iz vremenskog signala zvučnog tlaka računata je ekvivalentna razina buke pri prolasku vozila prema izrazu:

$$L_{pAeq,Tp} = 10 \log \left(\frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} \right) [dB]$$

Gdje je:

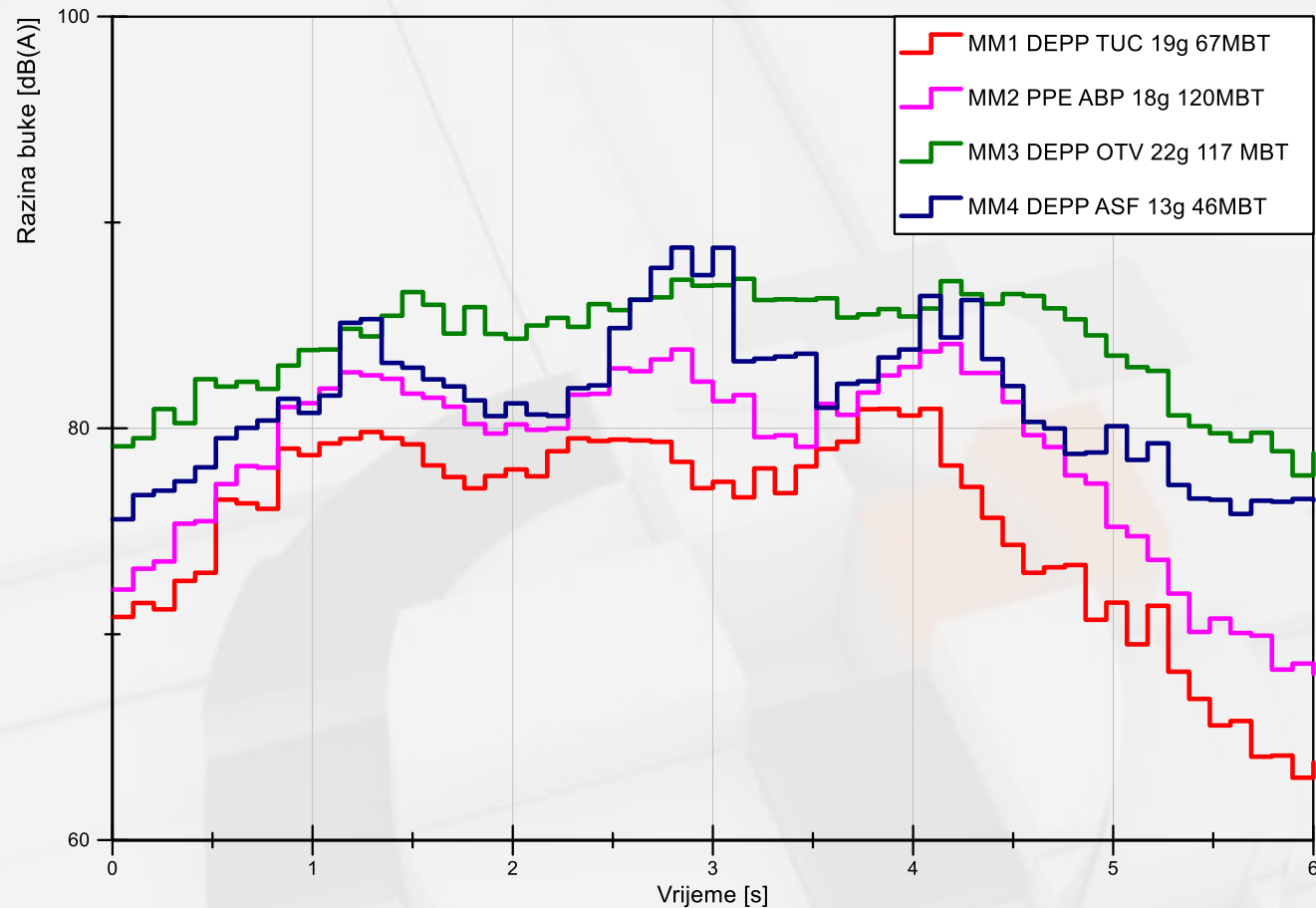
T_p [s] – vrijeme prolaska tramvaja (cca 3,8 s za tramvaj TMK 2200 pri 30 km/h)

p_A [Pa] – razina zvučnog tlaka na udaljenosti 2,5 m od osi kolosijeka, na visini 1,2 m

P_0 [Pa] – referentna razina zvučnog tlaka od 20 μ Pa

Određivanje razine buke pri prolasku vozila

Razina buke pri prolasku tramvaja tipa TMK2200



Određivanje razine buke pri prolasku vozila

Određene ekvivalentne razine buke za prolazak pojedinih tramvaja tipa TMK2200 pri brzini od 30km/h

Dionica	Opis	Brzina tramvaja [km/h]	Razina buke [dB(A)]
MM1	DEPP/Tucanik/19g/67MBT	30,27	78
MM2	PPE/AB Ploče/18g/120MBT	29,95	81
MM3	DEPP/Otvoreni/22g/117MBT	28,71	85
MM4	DEPP/Asfalt/13g/46MBT	30,42	83

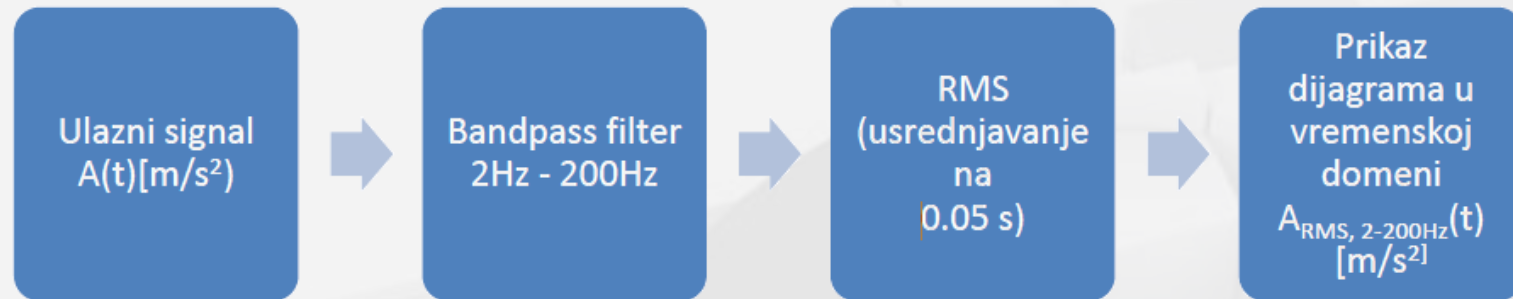
Nedostaci metode za primjenu u urbanim sredinama:

- Zavisnost od tipa tramvajskog vozila i brzine tramvajskog vozila
- Zavisnost o okolnoj buci (cestovna vozila)
- Zavisnost o reflektirajućim objektima (zgrade, kuće u blizini pruge)



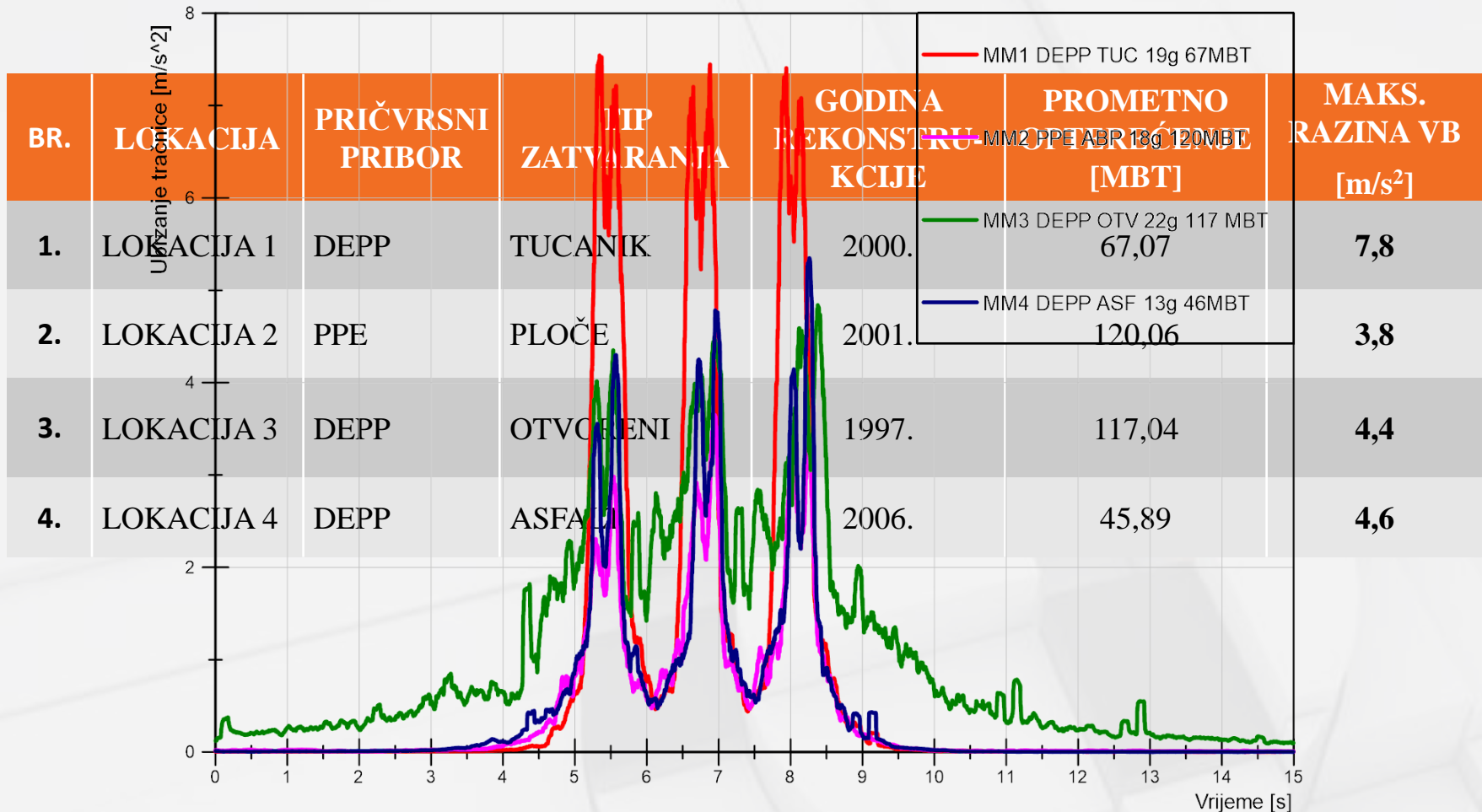
Određivanje razine vibracija tračnice

- Odabir signala za karakteristične dionice kolosijeka proveden je pregledom snimljenih zapisa i identifikacijom mjernih segmenata na kojima se tramvajsko vozilo kreće kolosijekom u pravcu, približnom brzinom od 30 km/h. Promatran je zapis dužine **15 s**.



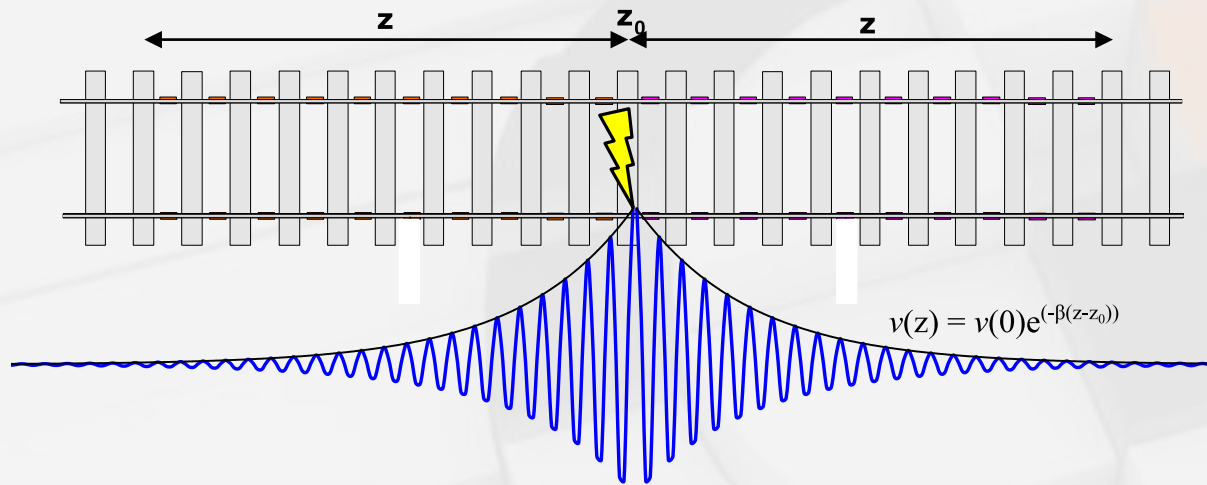
Određivanje razine vibracija tračnice

Razina vibracija pri prolasku tramvaja tipa TMK2200



Određivanje stupnja prigušenja pri prolasku vozila

- Stupanj prigušenja vibracija je vibro-akustičko svojstvo koje opisuje koliko je vibracija kolosijek u stanju apsorbirati
- Veći stupanj prigušenja znači apsorpiranje više energije što rezultira manje prenošenje vibracija na okolno tlo i manje buke u okoliš

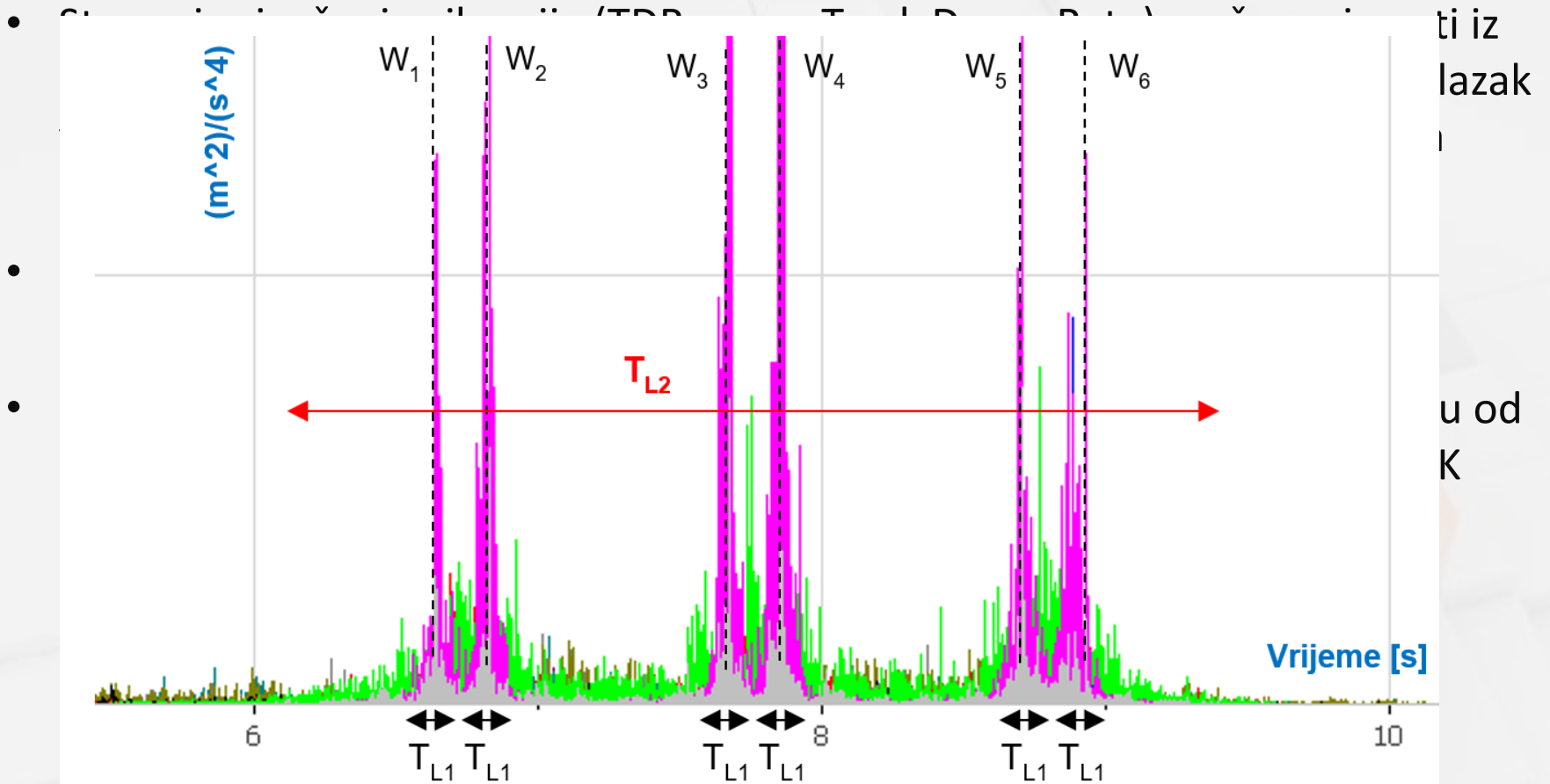


Određivanje stupnja prigušenja pri prolasku vozila

- Ispitivanje se vrši na tramvajskom kolosijeku pod prometom
- Ova metoda nije ovisna o tipu tramvajskog vozila, brzini prolaska vozila, niti o uvjetima u kojima se kolosijek nalazi
- Zahtjeva osigurati određene uvjete:
 - ispravno postaviti akcelometre,
 - poprečni presjek, krutost podloge, nagib tračnice, te sustav pričvršćenja moraju biti isti duž cijele ispitne dionice,
 - ispitna dionica mora biti zavarena u DTT,
 - minimalna udaljenost od zavara ne smije biti manja od 5 m
 - pričvrсни pribor na pragovima ne smije biti oštećen ili loše pritegnut



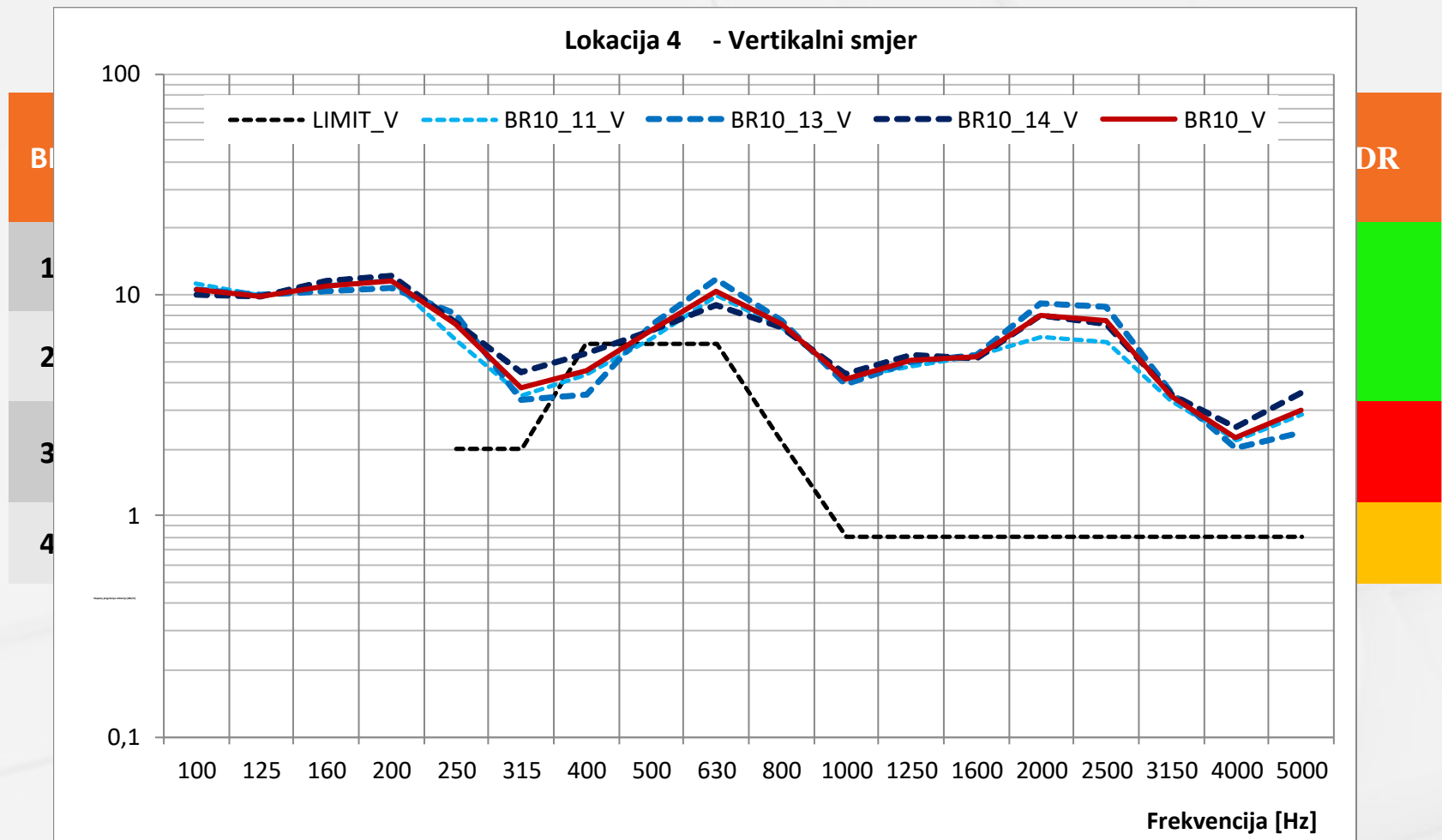
Određivanje stupnja prigušenja pri prolasku vozila



ti iz
lazak

u od
K

Određivanje stupnja prigušenja pri prolasku vozila

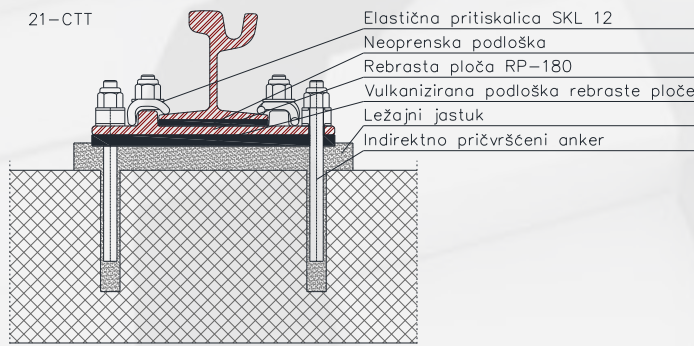
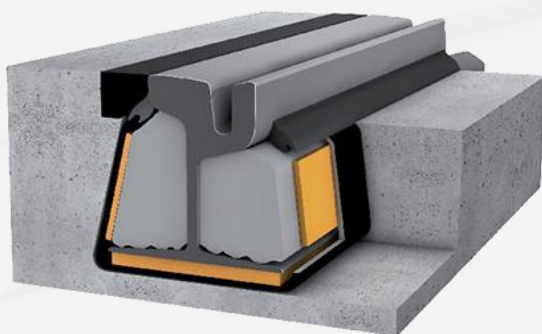


ZAKLJUČAK

BR.	LOKACIJA	TIP	TIP ZATVARANJA	GODINA REKONSTRUKCIJE	UKUPNO PROMETNO OPTEREĆENJE	TDR	RAZINA VB [m/s ²]	RAZINA BUKE [dB(A)]
1.	LOKACIJA 1	DEPP	TUCANIK	2000.	67,07		7,8	78
2.	LOKACIJA 2	PPE	PLOČE	2001.	120,06		3,8	81
3.	LOKACIJA 3	DEPP	OTVORENI	1997.	117,04		4,4	85
4.	LOKACIJA 4	DEPP	ASFALT	2006.	45,89		4,6	83

- Mjerenjem stupnja prigušenja moguće je najpouzdanije opisati vibroakustička svojstva tramvajskih kolosijeka
- Mjerenja su proporcionalna izmjerenim razinama buke, a ne ovise o brzini i tipu tramvajskog vozila te uvjetima u blizini tramvajskog kolosijeka

ZAKLJUČAK



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
Zavod za prometnice

Zagrebački energetska tjedan
Stručni skup studenata fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
„Mi imamo rješenja: vizije novih generacija za zeleni razvoj“
Zagreb, 13.5.2019.



HVALA VAM NA PAŽNJI!



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
Zavod za prometnice

Zagrebački energetska tjedan
Stručni skup studenata fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
„Mi imamo rješenja: vizije novih generacija za zeleni razvoj“
Zagreb, 13.5.2019.

