



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Zavod za prometnice

Kačićeva 26, 10000 Zagreb

tel./fax.: 01 4639 356

STUDIJA RAZVOJA TRAMVAJSKOG PROMETA GRADA ZAGREBA

ELABORAT I

Analiza stanja tramvajskog kolosijeka

SAŽETAK

Zagreb, srpanj 2019.



SAŽETAK

Temeljem Okvirnog sporazuma za Izradu studije razvoja tramvajskog prometa Grada Zagreba sklopljenog između naručitelja – Zagrebački električni tramvaj d.o.o., središnjeg tijela za nabavu – Grad Zagreb i izvršitelja – Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, pokrenut je postupak izrade Elaborata I – Analiza stanja tramvajskog kolosijeka, temeljem Ugovora-Narudžbenice 3-19/NOS-8-ZET/18. Građevinski fakultet nakon inicijalnog prikupljanja arhivskih i mjerenih podataka o kolosijeku proveo analizu stanja tramvajskog kolosijeka na ukupno 106.107,70 m tramvajskog kolosijeka u Zagrebu.

Izrada segmentirane baze ulaznih podataka

Segmentacija tramvajskih kolosijeka u Zagrebu provedena u okviru ovog istraživanja podrazumijeva postupak podjele linearne tračničke infrastrukture na segmente kolosijeka homogenih karakteristika obzirom na:

- periode eksploatacije segmenta te
- tip kolosiječne konstrukcije obzirom na ugrađen materijal i elemente donjeg i gornjeg ustroja kolosijeka te način zavarivanja tračnica.

Segmentacija je provedena na ukupno 106.107,70 metara tramvajskih kolosijeka u Zagrebu (91,6% ukupne mreže). Preostalih 8,4% mreže odnosi se na tramvajske kolosijeke duž Jadranskog mosta te Avenije Dubrovnik od Jadranskog mosta do zaokretnice Sopot (kolosijeci su isključeni iz segmentacije i analize zbog provedbe rekonstrukcije i dogradnje prometnih površina koja je u tijeku) te tramvajske kolosijeke u područjima križanja koji nisu u redovitoj uporabi.

Postupak podjele linearne tračničke infrastrukture na dionice kolosijeka homogenih karakteristika obzirom na periode eksploatacije i tip kolosiječne konstrukcije obzirom na ugrađen materijal i elemente donjeg i gornjeg ustroja kolosijeka te način zavarivanja tračnica pokazao je da se na analiziranom dijelu mreže ZETa nalazi ukupno **475 segmenata**.

Svatom identifikiranom segmentu dodijeljena oznaka (ime) koja se sastoji od sljedećih znakova:

- slovna oznaka identificira lokaciju segmenta na tramvajskoj mreži (D = dionica kolosijeka, K = križanje ili Z = zaokretnica),
- prva brojčana dvoznamenkasta oznaka identificira dionicu ulične mreže kojom se kolosijek proteže (na pr. D-17 = dionica kolosijeka duž Ul. grada Vukovara od Savske ceste do Avenije Marina Držića),

druga brojčana dvoznamenkasta oznaka identificira redni broj segmenta duž kolosijeka (na pr. D-17-05 = segment kolosijeka duž Ul. grada Vukovara u smjeru vožnje Sveučilišna aleja - Koranska ulica).

Vizualni pregled stanja kolosijeka

U sklopu analize stanja tramvajskog kolosijeka Zagrebačkog električnog tramvaja, izvršen je vizualni pregled kolosiječne konstrukcije u dužini od 107.8 km. Vizualni pregled proveden je kako bi se ustanovile određene pojave, nepravilnosti i opažanja koja nisu jasno vidljiva iz mjerenja mjernim uređajima te kako bi se sagledalo opće stanje tramvajskog kolosijeka u Gradu Zagrebu.



Na temelju vizualnog pregleda kolosijeka koji je proveden uz sklopu Studije razvoja tramvajskog prometa Grada Zagreba moguće je ustanoviti razne pojave na površini kolosijeka, koje mogu upućivati na stanje tračnica, zavarenih spojeva, skretnica, zatvaranja kolosijeka, propalih ležajeva, pričvrstnog pribora, problema u odvodnji, problema pri osiguravanju slobodnog profila vozila, i sl. Prikupljeno je ukupno 1802 minute snimaka cjelokupne tramvajske mreže iz kojih se jasno mogu detektirati kritične lokacije na kolosijeku. Ustanovljeno je da je stanje tračnica osobito narušeno u pojedinim stajalištima gdje dolazi do povećanog trošenja vozne površine tračnice uzrokovane kočenjem i pokretanjem tramvajskih vozila, dok je vozne površina tračnice često naborana na prilazima stajalištima. Na pojedinim dijelovima kolosijeka prisutno je značajno istrošenje tračnica. Također, na pojedinim lokacijama primijećen je problem s odvodnjom te zapunjavanjem tucanika sitnim frakcijama. Oštećenja poput propalih AB ploča, utonule tračnice ispod razine AB ploča, oštećenja na brtvljenim spojevima između asfalta i glave tračnice, propadanje asfaltnog sloja uslijed propadanja ležajeva mogu se primijetiti na zatvorenom tipu kolosijeka.

Otvoreni kolosijek vidljiv je isključivo na dionici tramvajskog kolosijeka na Mostu mladosti. Na zapadnom kolosijeku uočen je prekid tračnica širine cca 4 cm koji je izveden neposredno prije središnje mosne dilatacije. Takav prekid izaziva značajne dinamičke udare na kolosijek i mosnu konstrukciju prilikom prolaska tramvajskog vozila. Na izvedenom prekidu tračnica, također je vidljiva neispravno uzemljenje tračnica.

Analiza geometrije kolosijeka

Mjerenja ovih parametara kolosiječne geometrije provedena su pomoću elektroničkih mjernih kolica TEC-1000 poljskog proizvođača P.U.T. GRAW sp. z o.o. na svih 475 segmenata odnosno 106 km tramvajskog kolosijek uključenih u analizu. Analiza proračunanih vrijednosti sintetiziranog pokazatelja stanja geometrije kolosijeka W pokazala je da je duž:

- **21.895 km (20.6%)** kolosijeka stanje geometrije kolosijeka u eksploataciji jednako stanju koje očekujemo neposredno nakon njegove izgradnje, popravka ili rekonstrukcije,
- **22.057 km (20.8%)** kolosijeka zabilježeno dobro stanje geometrije kolosijeka u eksploataciji,
- **24.213 km (22.8%)** kolosijeka zabilježeno zadovoljavajuće stanje geometrije kolosijeka u eksploataciji,
- **20.151 km (19.0%)** kolosijeka zabilježeno zadovoljavajuće stanje geometrije kolosijeka u eksploataciji, ali uz nužan oprez i pojačano praćenje i održavanje,
- **17.791 km (16.8%)** kolosijeka zabilježeno loše stanje geometrije kolosijeka u eksploataciji koje zahtijeva rekonstrukciju kolosijeka.

Za potrebe izrade prijedloga dinamike provedbe rekonstrukcije segmenata kolosijeka obzirom na stanje geometrije, promatrani su segmenti na kojima je analiza pokazala nepovoljnu vrijednost sintetiziranog pokazatelja stanja geometrije kolosijeka ($W > 0.6$), Tablica 1.

Tablica 1. Pregled duljina i udjela tramvajskih kolosijeka na kojima su proračunane vrijednosti sintetiziranog pokazatelja stanja geometrije kolosijeka $W > 0.6$

Raspon $W > 0.6$	Km kolosijeka sa $W > 0.6$	Udio kolosijeka sa $W > 0.6$
------------------	----------------------------	------------------------------



W = 0.6 - 0.7	5.944	33.4%
W = 0.7 - 0.8	3.889	21.9%
W = 0.8 - 0.9	5.178	29.1%
W = 0.9 - 1.0	2.781	15.6%

Na tim je segmentima razmatran odnos utvrđenog stanja geometrije i karakteristika segmenata pri čemu su obzir su uzete podjednako građevinske i eksploatacijske karakteristike: tip konstrukcije donjeg i gornjeg ustroja te lokacija segmenta (duž zaokretnice, križanja ili dionice) i period eksploatacije izrađen u godinama eksploatacije segmenta.

Kako bi se utvrdio učinak pojedine građevinske i eksploatacijske karakteristike segmenta kolosijeka na degradaciju njegove geometrije, u obzir je uzet odnos udjela pojedine identificirane građevinske i eksploatacijske karakteristike kolosijeka na čitavoj analiziranoj mreži (N) i udjela određene karakteristike segmenata u promatranoj grupi segmenata s vrijednostima $W > 0.6$ (S). Ovaj odnos je to veći što je učinak promatrane karakteristike na stanje geometrije kolosijeka izraženiji.

Tablica 2. Rangiranje dinamike provedbe rekonstrukcije segmenata kolosijeka kojima su proračunate vrijednosti sintetiziranog pokazatelja stanja geometrije kolosijeka $W > 0.6$ obzirom na građevinske karakteristike

Donji ustroj kolosijeka	Km kolosijeka u mreži	Udio ustroja u mreži (N)	Km kolosijeka $W > 0.6$	Udio ustroja na kolosijecima $W > 0.6$ (S)	Odnos S/N
TUC	6.287	5.9%	6.040	33.9%	5.7
AB	99.820	94.1%	11.751	66.1%	0.7
Sustav ugradnje kolosijeka	Km kolosijeka u mreži	Udio sustava u mreži (N)	Km kolosijeka $W > 0.6$	Udio sustava na kolosijecima $W > 0.6$ (S)	Odnos S/N
PRAG	0.613	0.6%	0.613	3.4%	6.0
TUC	5.376	5.1%	5.243	29.5%	5.8
ZG-2	0.531	0.5%	0.414	2.3%	4.7
ZG-3/1	3.326	3.1%	2.281	12.8%	4.1
R. BET.	0.298	0.3%	0.184	1.0%	3.7
ZG-3/2	26.813	25.3%	6.040	33.9%	1.3
DEPP	54.173	51.1%	4.222	23.7%	0.5
Postupak zavarivanja tračnica	Km kolosijeka u mreži	Udio postupka u mreži (N)	Km kolosijeka $W > 0.6$	Udio postupka na kolosijecima $W > 0.6$ (S)	Odnos S/N
REL	51.071	48.1%	9.764	54.9%	1.1
AT	43.091	40.6%	7.436	41.8%	1.0
PPŽ	4.217	4.0%	0.591	3.3%	0.8

Tablica 3. Rangiranje dinamike provedbe rekonstrukcije segmenata kolosijeka kojima su proračunate vrijednosti sintetiziranog pokazatelja stanja geometrije kolosijeka $W > 0.6$ obzirom na eksploatacijske karakteristike

Lokacija kolosijeka	Km kolosijeka u mreži	Udio lokacije u mreži (N)	Km kolosijeka $W > 0.6$	Udio lokacije kolosijeka $W > 0.6$ (S)	Odnos S/N
Duž zaokretnica	6.077	5.7%	4.603	25.9%	4.5
Duž križanja	5.185	4.9%	2.689	15.1%	3.1
Duž dionica	94.846	89.4%	10.500	59.0%	0.7



Period eksploatacije kolosijeka [god]	Km kolosijeka u mreži	Udio perioda u mreži (N)	Km kolosijeka W > 0.6	Udio perioda kolosijeka W > 0.6 (S)	Odnos S/N
30 - 35	2.206	2.1%	1.969	11.1%	5.3
>35	0.911	0.9%	0.797	4.5%	5.2
25 - 30	4.698	4.4%	2.343	13.2%	3.0
10 - 15	16.752	15.8%	3.293	18.5%	1.2
20 - 25	26.795	25.3%	4.852	27.3%	1.1
5 - 10	14.051	13.2%	1.865	10.5%	0.8
15 - 20	23.861	22.5%	2.130	12.0%	0.5
< 5	16.833	15.9%	0.543	3.1%	0.2

Pri planiranju održavanja i rekonstrukcije prednost je potrebno dati segmentima kolosijeka onih građevinskih i eksploatacijskih karakteristika za koje su utvrđene veće vrijednosti odnosa N/S, posebice $N/S > 2$, jer one ukazuju na izrazito nepovoljan odnos zastupljenosti određenog tipa segmenta i kvalitete njegove geometrije. To su najprije segmenti sa donjim ustrojem od tucanika te starijim sustavima ugradnje tračnica (na pragovima, u tucaniku, primjenom sustava ZG-2 i ZG-3/1), duž zaokretnica i križanja te segmenti perioda eksploatacije dužeg od 25 godina.

Analiza vremenskog profila vibracija u tramvajskom vozilu

Vibracije tramvajskog vozila izmjerene su uslijed kretanja tramvaja dionicama tramvajskih kolosijeka. Ovakvo ispitivanje daje detaljan uvid u dinamiku kretanja tramvajskog vozila po postojećoj kolosiječnoj infrastrukturi, ukazuje na nepravilnosti na kolosijeku, sigurnost prometovanja vozila i udobnost vožnje. U svrhu usporedbe ekvivalentnih razina ubrzanja na svim definiranim segmentima tramvajskog kolosijeka dužim od 50 m gdje je bilo moguće ostvariti kontinuiranu brzinu vožnje u intervalu od min. 10 s (ukupno 206 segmenata kolosijeka) izračunani su indeksi mirnoće hoda i indeksi udobnosti vožnje u granicama od 0 do 1, gdje vrijednost 0 predstavlja najnižu ekvivalentnu razinu ubrzanja, a vrijednost 1 najvišu ekvivalentnu razinu ubrzanja. Veće vrijednosti indeksa mirnoće hoda ukazuju na veće nepravilnosti u geometriji kolosijeka, naboranosti tračnica i stanja zavora, dok veće vrijednosti udobnosti vožnje ukazuju na utjecaj stanja kolosijeka na dinamičko ponašanje sanduka vozila. Tablica 4 prikazuje udio kolosijeka s obzirom na različite vrijednosti indeksa mirnoće hoda i udobnosti vožnje temeljenog na ekvivalentnim razinama vibracija.

Tablica 4. Pregled duljina i udjela tramvajskih kolosijeka u ovisnosti o izmjerenim ekvivalentnim razinama vibracija na segmentima

Indeks udobnosti vožnje / mirnoće hoda	Stanje vibracija prilikom prolaska tramvajskog vozila	Indeks mirnoće hoda		Indeks udobnosti vožnje	
		Duljina l [m]	%	Duljina l [m]	%
0.00 - 0.19	Vrlo mala razina vibracija	13,388.37	13	15,668.09	15
0.20 - 0.39	Zadovoljavajuća razina vibracija	34,387.28	33	35,871.30	34
0.40 - 0.59	Osjetne vibracije vozila na segmentu	33,017.51	31	24,229.27	22
0.60 - 0.79	Značajne vibracije vozila na	9,908.60	9	13,488.80	13



	segmentu				
0.80 - 1.00	Vrlo velike vibracije vozila na segmentu	2,282.20	2	3,726.50	4

Kategorije indeksa udobnosti vožnje veće od 0.6, gdje se pojavljuju vrlo velike razine vibracija osovinjskih postolja i sanduka vozila ukazuju na dionice kolosijeka koje su prioritetne za održavanje odnosno rekonstrukciju. Na dionicama sa indeksom između 0.4 i 0.6 potrebno je uz pojačani nadzor nad kolosijekom voditi računa o održavanju vozne površine tračnica i stanju zavara tračnica kako vibracije ne bi utjecale na udobnost vožnje i okolne objekte uz tramvajski kolosijek.

Od ukupne duljine kolosijeka, na 13 km, odnosno na 12% nije provedena analiza ekvivalentnih razina vibracija s obzirom da su u tim slučajevima segmenti bili prekratki za uspješno provođenje ovakve analize. Na tim segmentima moguće je promatrati prekoračenja Sperlingovog indeksa udobnosti vožnje i mirnoće hoda koji upućuje na diskretne lokacije pojave degradacije kolosijeka. Grafički prikaz Sperlingovog indeksa vidljiv je u prilogima 4.1 – 4.47. Ovakav tip analize pogodan je za lokacije okretišta, križališta, cestovnih prijelaza i sl. gdje dolazi do ubrzane degradacije kolosiječnog gradiva. Sperlingov indeks mirnoće hoda > 3 ukazuje na značajniju degradaciju kolosijeka.

Određivanje dinamičkih svojstava kolosijeka

Stupanj prigušenja vibracija određivan je metodom prolaska tračničkih vozila (eng. *Pass By*) preko točke na tračnici gdje se postavljaju akcelerometri u horizontalnom i vertikalnom smjeru na 10 odabranih lokacija. Na temelju uvida u rezultate stupnja prigušenja vibracija može se zaključiti sljedeće:

- Veliku ulogu na prigušenje vibracija ima tip zatvaranja kolosijeka,
- Najbolje stanje tramvajskog kolosijeka u pogledu prigušenja utvrđeno je na lokacijama gdje je zatvaranje kolosijeka ostvareno tucanikom ili asfaltom.
- Također, vrlo dobra svojstva pokazuju kolosijeci zatvoreni asfaltom te kolosijeci sa sustavom PPE zatvoreni pločama
- Nešto lošije stanje kolosijeka u pogledu prigušenja utvrđeno je na lokacijama gdje je zatvaranje kolosijeka ostvareno AB pločama preko kojih se odvija cestovni promet
- Najlošije stanje kolosijeka u pogledu prigušenja utvrđeno je na lokaciji gdje je kolosijek otvorenog tipa zbog čega je ovakav rezultat očekivan.

Važno je napomenuti kako su donje granične vrijednosti stupnja prigušenja vibracija uzete iz preporuka danih za klasične kolosijeke, a ne za tramvajske (budući da za tramvajske ne postoje iskustvene preporuke). Smatra se da bi granične vrijednosti stupnja prigušenja vibracija za tramvajske kolosijeke imale nešto veće iznose prigušenja budući da su tramvajski kolosijeci isključivo dio urbanih sredina te pruga prolazi neposrednom blizinom stambenih objekata, zbog čega je problem buke i vibracija izraženiji nego kod klasičnih kolosijeka.

Nadalje, analizom rezultata utvrđeno je kako način zatvaranja kolosijeka ima veći utjecaj na stupanj prigušenja vibracija nego sustav pričvršćenja kolosijeka. Dodatno, starost kolosijeka, tj. prometno opterećenje nema nužno negativan utjecaj na stupanj prigušenja vibracija, pogotovo na kolosijecima u tucaniku, gdje se zbog zapunjavanja šupljina sitnijom granulacijom ostvaruje bolje prigušenje buke i



vibracija. Takvo stanje, naravno, upitno je s aspekta odvodnje i korozije elemenata gornjeg ustroja kolosijeka.

Analiza poprečnih profila tračnica, skretnica i sklopova

Mjerna mjesta poprečnih presjeka tračnica su određena kako bi se nakon provedene analize rezultata mjerenja dobilo stvarno stanje istrošenja tračnica, srišta skretnica i križališta. Izvršena su mjerenja 406 poprečnih presjeka (profila) tračnica u krivinama, 498 poprečnih presjeka (profila) tračnica u srištima skretnica te 328 poprečnih presjeka (profila) tračnica u križalištima. Na cjelokupnoj tramvajskoj mreži ukupno je izmjereno 1232 profila.

Analizom izmjerenih poprečnih presjeka tračnica na 46 lokacija utvrđeno je stvarno stanje tramvajskih tračnica u sklopovima skretnica i križališta te u krivinama radijusa manjeg od 250 m na tramvajskoj infrastrukturi u gradu Zagrebu.

Veličina istrošenja tračnica ovisi o periodu eksploataciji, veličini prometnog opterećenja, provedenim radovima na sanaciji (nadovarivanju), kvaliteti tračnica te prisutnim dinamičkim udarima uzrokovanim nepravilnostima na voznoj površini tračnice i kotačima.

Visinsko istrošenje vanjskih tračnica u krivini kreće se od 0 mm do 24.46 mm, a bočno istrošenje od 0 do 19.57 mm. Kod unutarnjih tračnica u krivinama visinsko se istrošenje kreće od 0 do 11.15 mm, a bočno istrošenje od 0 do 10.45 mm.

Dubina žlijeba na tračnicama u skretnicama kod 50% žlijebova tračnica premašuje maksimalnu dopuštenu vrijednost visinskog istrošenja od 6 mm, dok je kod 33% žlijebova tračnica u križalištima izmjerena dubina žlijeba veća od dopuštenih 6 mm.

Analiza buke pri prometovanju tramvajskih vozila

Mjerenje buke provedeno je u putničkom prometu tramvajskog vozila te u okolišu uslijed prolaska tramvaja na kritičnim lokacijama. Radi lakše usporedbe rezultata definirano je šest kategorija bučnosti obzirom na dobivene vrijednosti ekvivalentnih razina buke:

U putničkom prostoru vozila:

- $L_{A,eq} \leq 69,9 \text{ dB(A)}$;
- $70,0 \text{ dB(A)} \leq L_{A,eq} \leq 72,4 \text{ dB(A)}$;
- $72,5 \text{ dB(A)} \leq L_{A,eq} \leq 74,9 \text{ dB(A)}$;
- $75,0 \text{ dB(A)} \leq L_{A,eq} \leq 77,4 \text{ dB(A)}$;
- $77,5 \text{ dB(A)} \leq L_{A,eq} \leq 79,9 \text{ dB(A)}$;
- $L_{A,eq} \geq 80,0 \text{ dB(A)}$.

O okolini tramvajsko kolosijeka:

- $L_{A,eq} < 59,9 \text{ dB(A)}$;
- $60,0 \text{ dB(A)} \leq L_{A,eq} \leq 69,9 \text{ dB(A)}$;
- $70,0 \text{ dB(A)} \leq L_{A,eq} \leq 79,9 \text{ dB(A)}$;
- $80,0 \leq L_{A,eq} \leq 89,9 \text{ dB(A)}$;
- $L_{A,eq} \geq 90,0 \text{ dB(A)}$.

Mjerenja u putničkom prometu tramvajskog vozila su provođena u tramvaju NT 2200 (gar. br. 2284) koji je konstantnom brzinom od 20 km/h prometovao po svim kolosijecima tramvajske mreže Grada Zagreba. Ekvivalentna razina buka u putničkom prostoru ispitnog tramvaja za vrijeme stajanja iznosila je 56,2 dB(A), a najmanja izmjerena ekvivalentna razina buke u putničkom prostoru tramvaja pri brzini od 20 km/h 67,7 dB(A). Razlika između navedenih razina veća je od 10 dB(A), što je skladu s preporukama norme HRN EN ISO 3381:2005. Postotak trase na kojoj je zabilježena određena kategorija bučnosti prikazan je u sljedećoj tablici.



Tablica 5. Analiza bučnosti u tramvajskom vozilu

Kategorija Bučnost	Duljina trase	
	Duljina [m]	Postotak
$L_{A,eq} \leq 69,9 \text{ dB(A)}$;	2,089.25	2
$70,0 \text{ dB(A)} \leq L_{A,eq} \leq 72,4 \text{ dB(A)}$;	38,230.71	41
$72,5 \text{ dB(A)} \leq L_{A,eq} \leq 74,9 \text{ dB(A)}$	42,703.57	46
$75,0 \text{ dB(A)} \leq L_{A,eq} \leq 77,4 \text{ dB(A)}$	8,545.63	9
$77,5 \text{ dB(A)} \leq L_{A,eq} \leq 79,9 \text{ dB(A)}$	944.29	1
$L_{A,eq} \geq 80,0 \text{ dB(A)}$	607.08	1

Razina buke izvan vozila mjerena je na 33 lokacije i ukupno 231 mjernom mjestu. Kategorije bučnosti zajedno sa postotkom mjernih mjesta koje spadaju u određenu kategoriju prikazani su u sljedećoj tablici.

Tablica 6. Bučnost u okolišu prilikom prolaska tramvajskog vozila

Kategorija Bučnost	Mjerna mjesta	
	Broj mjernih mjesta	Postotak mjernih mjesta
$L_{A,eq} \leq 59,9 \text{ dB(A)}$;	8	3 %
$60,0 \text{ dB(A)} \leq L_{A,eq} \leq 69,9 \text{ dB(A)}$;	58	25 %
$70,0 \text{ dB(A)} \leq L_{A,eq} \leq 79,9 \text{ dB(A)}$	132	57 %
$80,0 \text{ dB(A)} \leq L_{A,eq} \leq 89,99 \text{ dB(A)}$	31	13 %
$L_{A,eq} \geq 90,0 \text{ dB(A)}$	2	1 %

Kako je vidljivo u tablici, u većini promatranih krivina malih polumjera ekvivalentna razina buke prilikom prolaska tramvaja iznosila je između $70,0 \text{ dB(A)}$ i $79,9 \text{ dB(A)}$. Kritične lokacije s razinama buke većim od 80 dB(A) prikazane su u prilogu 7.2. Temeljem rezultata spektralne analize može se zaključiti da se visokofrekventna buka cviljenja u krivinama malih polumjera najčešće javlja u pojasu frekvencija između 500 Hz i 630 Hz . U takvim krivinama preporučeno je podmazivanje tračnica u svrhu smanjenja trenja između kotača i tračnice.

Na kritičnim lokacijama koje se nalaze u neposrednoj blizini objekata u kojima ljudi rade i borave, a ekvivalentna razina buke prelazi 75 dB(A) preporuča se provedba dodatnih mjerenja razina buke na mjestu imisije te, prema potrebi, primjena odgovarajućih mjera zaštite od buke na izvoru (kolosijeku).

Analiza tramvajskih stajališta

Na cjelokupnoj tramvajskoj mreži u Zagrebu ukupno se nalazi 258 tramvajskih stajališta. S obzirom na ukupnu duljinu tramvajske pruge od 116 km , stajalište se nalazi u prosjeku na svakih 421 m . Statistička analiza stajališta provedena je na osnovu detaljnog vizualnog pregleda prilikom terenskog obilaska te ulaznih podataka dobivenih od strane ZET-a. Prilikom analize u obzir su uzeti sljedeći parametri:

- Položaj stajališta,
- Duljina stajališta (perona),



- Širina stajališta (perona),
- Visina stajališta (perona),
- Udaljenost rubnjaka na stajalištu od osi kolosijeka,
- Postojanje info stupa,
- Nadstrešnica,
- Zaštitne ograde.

Analizom tramvajskih stajališta ustanovljeno je da je svako stajalište označeno jednom od 9 vrsta info stupova, od kojih 2 vrste sadrže sustav za informiranje putnika (displej) o vremenu dolaska tramvajskih vozila na stajalište. Ove dvije vrste info stupa (Info – ND 1 te Info – ND 2) su postavljene na 34% stajališta.

Na 67% stajališta je izvedena nadstrešnica. Postoji 8 različitih tipova nadstrešnica, pri čemu je najzastupljenija nadstrešnica tipa Europlakat (59%).

Tek na 62% stajališta koja se nalaze u zasebnom pojasu izvedena je zaštitna ograda koja je prema Pravilniku o tehničkim uvjetima i elementima za projektiranje, izgradnju i rekonstrukciju željezničke pruge gradske željeznice obavezna.

Veoma je mali broj stajališta čija je duljina i širina manja od minimalnih vrijednosti. To su uglavnom stajališta smještena u zasebnom tijelu. Međutim, veliki problem predstavljaju stajališta smještena u zoni pločnika, kojima je teško odrediti njihovu duljinu i širinu s obzirom da nisu ocrтана na pločniku. U mnogim slučajevima ovakvih stajališta, njihova oprema (nadstrešnica, info stupovi) zauzima mjesto na pločniku čime je otežano kretanje pješaka.

Izrada GIS baze izmjerenih podataka i parametara

Geografski informacijski sustav (GIS) je sustav za upravljanje prostornim podacima i osobinama pridruženih njima. U najstrožem smislu to je računalni sustav sposoban za integriranje, spremanje, uređivanje, analiziranje i prikazivanje geografskih informacija. U općenitijem smislu GIS je oruđe "pametne karte" koje dopušta korisnicima stvaranje interaktivnih upitnika (istraživanja koja stvara korisnik), analiziranje prostornih informacija i uređivanje podataka.

Tram-GIS je sustav specijalizirane namjene, za prikupljanje, obradu, analizu i prikazivanje prostornih podataka o tramvajskoj infrastrukturalnoj mreži. Sustav je baziran na mrežnom GIS softveru GIS Cloud, koji podatke sprema u „oblak“ te im je moguće pristupiti sa bilo kojeg računala/mobitela/tableta spojenog na Internet.

Na temelju prikupljenih i obrađenih podataka u sklopu izvještaja izrađena je GIS baza u programskom okruženju GISCloud. Prikupljeni i obrađeni podaci podijeljeni su u slojeve sukladno elaboratu:

1. Segmentacija
2. Vizualni pregled
3. Geometrija kolosijeka
4. Vibracije prilikom prolaska vozila
5. Dinamički odaziv kolosijeka
6. Poprečni profili tračnica, skretnica i sklopova
7. Buka
8. Tramvajska stajališta