



Finansirano u okviru posebnog sporazuma o dodjeli bespovratnih sredstava br. 2018 / 402-850 iz Višekorisničkog programa EU IPA II za Albaniju, Bosnu i Hercegovinu, Sjevernu Makedoniju, Kosovo*, Crnu Goru i Srbiju

Investicijski okvir za Zapadni Balkan Instrument za infrastrukturne projekte Tehnička pomoć 8 (IPF 8)

TA2018148R0 IPA

Mediterranski koridor CVc, Bosna i Hercegovina – cestovna povezanost sa Hrvatskom, poddionica: Konjic (Ovčari) – tunel Prenj – Mostar sjever

Analiza neusklađenosti i Paket dokumentacije za objavljivanje iz Procjene utjecaja na okoliš i društvo (PUOD)

WB20-BiH-TRA-02 Komponenta 1

Knjiga 1: Studija o procjeni utjecaja na okoliš i društvo

Poglavlje 12 Vibracije

Oktober 2023.

Investicijski okvir za Zapadni Balkan (WBIF)

Instrument za infrastrukturne projekte

Tehnička pomoć 8 (IPF 8)

Infrastruktura: energija, okoliš, društvena, transportna i digitalna ekonomija

TA2018148 R0 IPA

Knjiga 1: Studija o procjeni utjecaja na okoliš i društvo

Poglavlje 12 Vibracije

Oktobar 2023. godine

Instrument za infrastrukturne projekte (IPF) je instrument tehničke pomoći Investicijskog okvira za Zapadni Balkan (WBIF) koji je zajednička inicijativa Europske unije, međunarodnih finansijskih institucija, bilateralnih donatora i vlada Zapadnog Balkana, a podržava društveno-ekonomski razvoj i pristupanje EU širom Zapadnog Balkana pružanjem finansijske i tehničke pomoći za strateška infrastrukturna ulaganja. Ova tehnička pomoć finansira se iz EU fondova.

Izjava o odricanju odgovornosti: Autori preuzimaju punu odgovornost za sadržaj ovog izvještaja. Iznesena mišljenja ne odražavaju nužno stav Europske unije ili Europske investicione banke.

BR. PROJEKTA

BR. DOKUMENTA.

WB20-BiH-TRA-02

VERZIJA	DATUM	OPIS	PRIPREMIO	PROVJERIO	ODOBRIO
1	25/09/2021	SPUOD	Tim eksperata	Irem Silajdžić Konstantin Siderovski	Richard Tadani
2	21/11/2022	SPUOD – Poglavlje 12 Buka	Tim eksperata	Irem Silajdžić	Richard Thadani
3	03/03/2023	SPUOD – Poglavlje 12 Buka	Tim eksperata	Irem Silajdžić	Richard Thadani
4	10/10/2023	SPUOD – Poglavlje 12 Buka	Tim eksperata	Irem Silajdžić	Richard Thadani

SADRŽAJ

12	Vibracije	8
12.1	Uvod	8
12.2	Trenutno stanje	8
12.3	Procjena potencijalnih utjecaja	32
12.3.1	Pregled potencijalnih utjecaja	32
12.3.2	Metodologija procjene	33
12.3.3	Procjena utjecaja vibracija	47
12.4	Mjere ublažavanja i poboljšanja	51

Popis tabela

Tabela 12-1: Detalji pregleda mjerenja	9
Tabela 12-2: Mjerna mjesta	10
Tabela 12-3: Vrste tla i instrumenti koji se koriste za mjerenja	11
Tabela 12-4: Ambijentalne vibracije duž trase izmjerene tokom obilaska na licu mjesta	12
Tabela 12-5: DIN 4150-3 ppv referentne vrijednosti za procjenu utjecaja kratkotrajnih vibracija na konstrukcije	34
Tabela 12-6: DIN 4150-3 ppv referentne vrijednosti za procjenu utjecaja kratkotrajnih vibracija na ukopane cjevovode	34
Tabela 12-7: Vodeće vrijednosti prolaznih vibracija za kozmetička oštećenja prema BS 7385-2	36
Tabela 12-8: Granice percepcije i smetnje zbog izloženosti vibracijama	36
Tabela 12-9: Emisije vibracija iz građevinskih mašina	37
Tabela 12-10: Različiti faktori koji utiču na nivo vibracija u građevinama	40
Tabela 12-11: Položaji tunela i mostova duž trase	41
Tabela 12-12: Lokacije mostova duž trase 'istočni pristupni put Konjic Sjever I/C'	42
Tabela 12-13: Lokacije tunela i mostova duž trase 'Obilaznica Konjica'.	42
Tabela 12-14: Procjene nivoa vibracija unutar zgrada za 12 mjernih mjesta	48
Tabela 12-15: Preporučene sigurnosne udaljenosti za obližnje zgrade i građevine	49
Tabela 12-16: Sažeti prikaz potencijalnih utjecaja vibracija i ocjena njihovog značaja prije ublažavanja	50

Popis slika

Slika 12-1: Mjerenje sjeverno od tunela Prenj i konjičke obilaznice	9
Slika 12-2: Mjerenje južno od tunela Prenj	9
Slika 12-3: 250 kg generator vibracija	13
Slika 12-4: Tačka 1 (blizu vijadukta 2 i istočnog ulaza u tunel T1) km 1+400	14
Slika 12-5: Tačka 2 (kod vijadukta 3 i tunela T1 zapadni ulaz) km 4+050	14
Slika 12-6: Tačka 3 (kod stope Viadukta 5 i naselja Podravac) km 5+650	15
Slika 12-7: Tačka 4 (kod stope Vijadukta 6, Tunela T2 i u naselju Mladeškovići) km 6+700	15
Slika 12-8: Tačka 5 (kod stope Viadukta 3 i naselja Polje Bijela) km 4+600	16
Slika 12-9: Tačka 6 (kod Nadvožnjaka-6) km 28+400	16
Slika 12-10: Tačka 7 (kod stope Viadukta 10 i naselja Dolac) km 26+550	17
Slika 12-11: Tačka 8 (kod stope Viadukta 9 i naselja Selište) km 24+600	17
Slika 12-12: Tačka 9 (kod Vijadukta i naselja Donje Selo) km 0+420 Obilaznica Konjic	18
Slika 12-13: Tačka 10 (kod Vijadukta i naselja Donje Selo) km 0+760 Obilaznica Konjic	18
Slika 12-14: Tačka 11 (kod početka trase) km 0+000	19
Slika 12-15: Tačka 12 (kod Vijadukta i naselja Ovčari) km 0+280	19
Slika 12-16: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #1	20
Slika 12-17: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #2	21
Slika 12-18: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #3	22
Slika 12-19: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #4	23
Slika 12-20: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #5	24
Slika 12-21: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #6	25
Slika 12-22: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #7	26
Slika 12-23: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #8	27

Slika 12-24: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #9	28
Slika 12-25: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #10	29
Slika 12-26: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #11	30
Slika 12-27: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #12	31
Slika 12-28: Kretanje čestica povezano sa različitim vrstama talasa	32
Slika 12-29: Vremensko kašnjenje povezano s različitim vrstama talasa	33
Slika 12-30: Krive vodećih vrijednosti DIN 4150-3 ppv date u tabeli 12-5	35
Slika 12-31: Vodeće vrijednosti prolaznih vibracija za kozmetička oštećenja prema BS 7385-2	35
Slika 12-32: Tipično snimanje vibracija	39
Slika 12-33: Vibracijsko žarište #1 – vijadukt 2 i sjeverni portal tunela T-1	44
Slika 12-34: Vibracijsko žarište #2 – vijadukt 3 i južni portal tunela T-1	44
Slika 12-35: Vibracijsko žarište #3 – vijadukt južno od Konjic Jug I/C	45
Slika 12-36: Vibracijsko žarište #5– vijadukt ~ 23+600	45
Slika 12-37: Vibracijsko žarište #6– vijadukt ~ 24+250	46
Slika 12-38: Vibracijsko žarište #7– vijadukt na 'istočni pristupni put za Konjic Sjever I/C'	46
Slika 12-39: Vibracijsko žarište #8 – vijadukt na 'Konjic Obilaznica' ~0+760	47
Slika 12-40: Vibracijsko žarište #9 – most na 'Konjic Obilaznica' ~0+420	47

12 Vibracije

12.1 Uvod

Ovo poglavlje daje pregled procjene mogućih utjecaja koji mogu proizaći iz vibracija emitovanih tokom faze izgradnje autoceste, a čiji su receptori stambeni objekti i stanovništvo (zajednica i radna snaga). Ne očekuju se utjecaji vibracija tokom faze korištenja autoceste.

Utjecaj vibracija tokom građevinskih radova procjenjuje se uzimajući u obzir trenutne okolišne i društvene uslove analizirane za područje istraživanja i, gdje je potrebno, predlažu se mjere ublažavanja.

Prikupljeni su svi raspoloživi projektni podaci potrebni za proračun utjecaja od vibracija, kao što su tipovi mašina na gradilištu tokom faze izgradnje, izvedbeni projekti temelja mostova i tunela nove autoceste, topografski podaci u blizini projekta itd.

Projektno područje uključuje obližnje stambene objekte i naselja duž trase između km 0+000 (čvor Ovčari) i km 35+950 (čvor Mostar sjever) i trasu obilaznice Konjic.

Ovo poglavlje treba čitati zajedno sa sljedećim poglavljima:

Poglavlje 1	Uvod
Poglavlje 2	O Projektu
Poglavlje 3	Detaljni opis Projekta
Poglavlje 4	Politički, zakonodavni i institucionalni kontekst
Poglavlje 5	Metodologija procjene utjecaja
Poglavlje 17	Kumulativni utjecaji
Poglavlje 18	Rezidualni utjecaji
Poglavlje 19	Plan za upravljanje okolišem i društvom (PUOD).

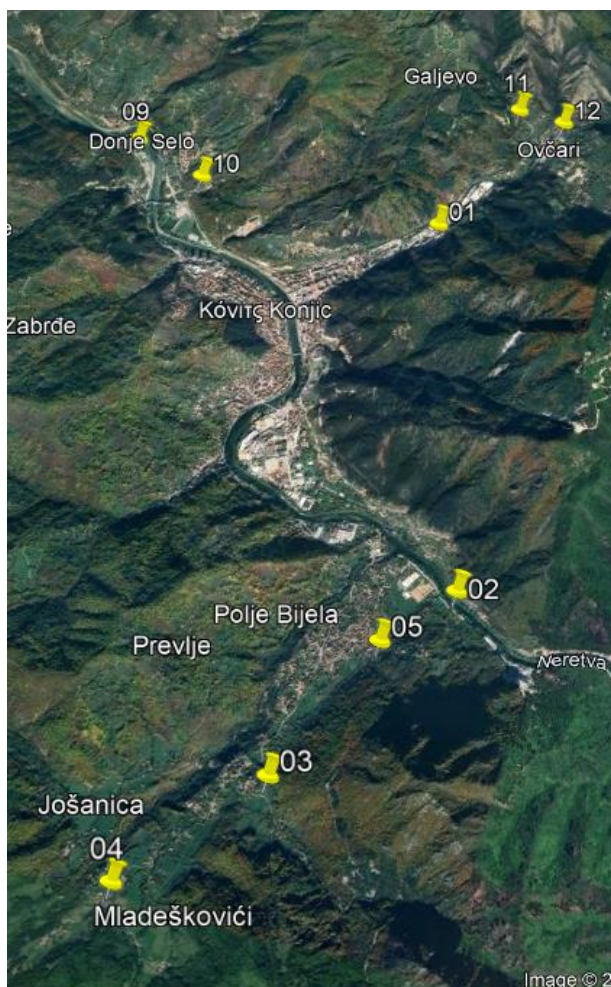
12.2 Trenutno stanje

U istraživanom području nisu identifikovani značajni izvori vibracija. Nisu uočeni rudarski radovi ili postrojenja teške industrije koji bi mogli biti stalni izvor vibracija. Preko trase na km 1+200 prolazi željeznička pruga, koja je izvor povremenih vibracija. Međutim, saobraćanje vozova je vrlo slabo, a u tom području se nalaze skladišta i industrijski objekti na udaljenosti do 100 m od trase, pa nema osjetljivih prijemnika.

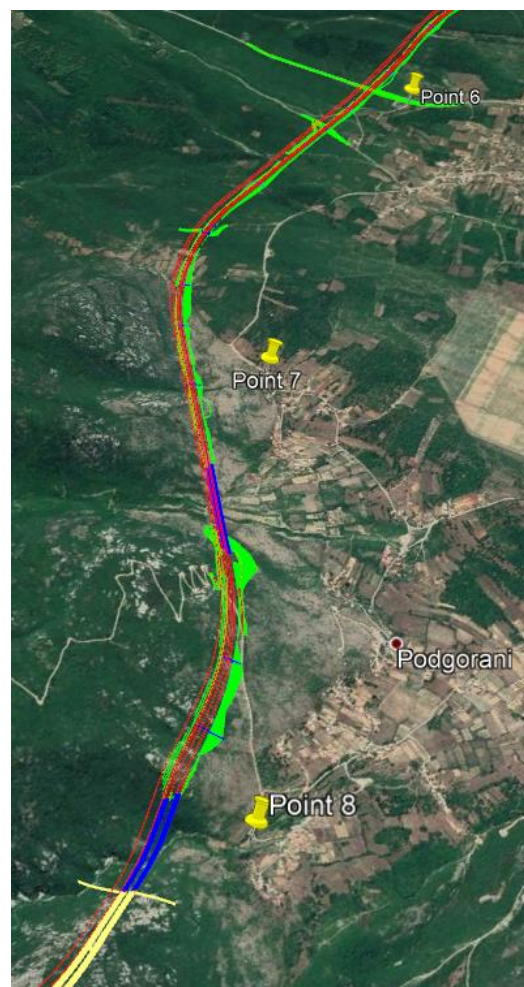
Radi modeliranja vibracija, izvršena su osnovna mjerenja na 12 mjernih mjesta duž Koridora. Detalji provedenih mjerenja su prikazani u tabeli 12-1 dok su mjerna mjesta prikazana na slikama 12-1 i 12-2.

Tabela 12-1: Detalji pregleda mjerenja

Datum:	26.03.2021 - 27.03.2021 i 19.07.2022.
Senzori:	3-osovinski geofon tip Woelfel model PE-6/U-B (S/N C5HV1) 3- osovinski geofon tip Norsonic model ZEB/GS3T (S/N 653)
Broj lokacija:	12 lokacija
N&V eksperti:	Eng. Alexandros Galatas / Eng. Iris Riga / Eng Georg Pagonakis



Slika 12-1: Mjerenje sjeverno od tunela Prenj i konjičke obilaznice



Slika 12-2: Mjerenje južno od tunela Prenj

Korišteni izvor vibracija je poseban vibrator za tlo koji stimulira tlo pokretnom masom od 250 kg (slika 12-3). Brzina vibracija mjerena je geofonima u blizini izvora i na udaljenosti do 40 m. Karakteristike i rezultati mjernog istraživanja prikazani su u nastavku.

Tabela 12-2: Mjerna mjesta

Lokacija	#	X	Y	Lokacija	#	X	Y
Lokacija #1	P100	6 498 079.36	4 835 112.63	Lokacija #5	P500	6 498 449.53	4 832 048.78
	P105	6 498 076.03	4 835 108.89		P505	6 498 452.51	4 832 044.77
	P110	6 498 072.71	4 835 105.16		P510	6 498 455.49	4 832 040.75
	P120	6 498 066.06	4 835 097.69		P520	6 498 461.45	4 832 032.72
	P140	6 498 052.76	4 835 082.75		P540	6 498 473.36	4 832 016.65
Lokacija #2	P200	6 498 820.65	4 832 473.45	Lokacija #6	P600	6 492 996.98	4 810 948.10
	P205	6 498 824.83	4 832 470.71		P605	6 492 997.94	4 810 953.01
	P210	6 498 829.02	4 832 467.97		P610	6 492 998.91	4 810 957.92
	P220	6 498 837.38	4 832 462.49		P620	6 493 000.84	4 810 967.73
	P240	6 498 854.11	4 832 451.53		P640	6 493 004.70	4 810 987.35
Lokacija #3	P300	6 498 035.87	4 831 093.19	Lokacija #7	P700	6 492 581.44	4 812 612.58
	P305	6 498 040.74	4 831 092.09		P705	6 492 582.44	4 812 607.68
	P310	6 498 045.62	4 831 090.99		P710	6 492 583.44	4 812 602.78
	P320	6 498 055.38	4 831 088.79		P720	6 492 585.43	4 812 592.98
	P340	6 498 074.88	4 831 084.38		P740	6 492 589.43	4 812 573.39
Lokacija #4	P400	6 497 339.11	4 830 335.67	Lokacija #8	P800	6 490 945.51	4 813 872.62
	P405	6 497 343.64	4 830 333.57		P805	6 490 944.75	4 813 877.56
	P410	6 497 348.18	4 830 331.46		P810	6 490 943.99	4 813 882.50
	P420	6 497 357.24	4 830 327.24		P820	6 490 942.46	4 813 892.38
	P440	6 497 375.38	4 830 318.82		P840	6 490 939.41	4 813 912.15
Lokacija #9	P900	6 495 827,47	4 835 454,29	Lokacija #11	P1100	6 498 421,59	4 836 152,92
	P905	6 495 831,34	4 835 451,12		P1105	6 498 420,74	4 836 157,85
	P910	6 495 835,21	4 835 447,96		P1110	6 498 419,89	4 836 162,78
	P920	6 495 842,95	4 835 441,63		P1120	6 498 418,18	4 836 172,63
	P940	6 495 858,44	4 835 428,97		P1140	6 498 414,76	4 836 192,34
Lokacija #10	P1000	6 496 370,21	4 835 208,35	Lokacija #12	P1200	6 498 744,50	4 836 124,70
	P1005	6 496 365,22	4 835 208,74		P1205	6 498 748,70	4 836 121,98
	P1010	6 496 360,24	4 835 209,12		P1210	6 498 752,89	4 836 119,26
	P1020	6 496 350,27	4 835 209,90		P1220	6 498 761,28	4 836 113,82
	P1040	6 496 330,33	4 835 211,44		P1240	6 498 778,06	4 836 102,94

Tabela 12-3: Vrste tla i instrumenti koji se koriste za mjerenja

Lokacija	Vrsta matičnog supstrata	Instrumenti
Lokacija #1	Riječni nekoherentan premaz sa šljunkom i pijeskom, pod je izrađen vjerovatno od rasjeda Trijaski dolomiti	Norsonic N-150 (S/N 30 višekanalni analizator) Woelfel PE-6/U-B (S/N C5HV1) 3-osni geofon Norsonic ZEB/GS3T (S/N 653) 3-osni geofon
Lokacija #2	Krupni šljunak i nekoherentni pijesak, pod se sastoji od dolomita	Norsonic N-150 (S/N 30 višekanalni analizator) Woelfel PE-6/U-B (S/N C5HV1) 3-osni geofon Norsonic ZEB/GS3T (S/N 653) 3-osni geofon
Lokacija #3	Prosijavanje i djelomično aluvijalno taloženje	Norsonic N-150 (S/N 30 višekanalni analizator) Woelfel PE-6/U-B (S/N C5HV1) 3-osni geofon Norsonic ZEB/GS3T (S/N 653) 3-osni geofon
Lokacija #4	Mješovito sitnozrnasto i krupnozrnasto tlo	Norsonic N-150 (S/N 30 višekanalni analizator) Woelfel PE-6/U-B (S/N C5HV1) 3-osni geofon Norsonic ZEB/GS3T (S/N 653) 3-osni geofon
Lokacija #5	Meka nekoherentna površina tla, podloga je čvrsta stijenska masa - dolomit	Norsonic N-150 (S/N 30 višekanalni analizator) Woelfel PE-6/U-B (S/N C5HV1) 3-osni geofon Norsonic ZEB/GS3T (S/N 653) 3-osni geofon
Lokacija #6	Debele škripaste i deluvijalne naslage, nekoherentni krupnozrnasti uglavnom vapnenački materijal	Norsonic N-150 (S/N 30 višekanalni analizator) Woelfel PE-6/U-B (S/N C5HV1) 3-osni geofon Norsonic ZEB/GS3T (S/N 653) 3-osni geofon
Lokacija #7	Vapnenačke kamene čvrste mase	Norsonic N-150 (S/N 30 višekanalni analizator) Woelfel PE-6/U-B (S/N C5HV1) 3-osni geofon Norsonic ZEB/GS3T (S/N 653) 3-osni geofon
Lokacija #8	Vapnenačke kamene čvrste mase	Norsonic N-150 (S/N 30 višekanalni analizator)

Lokacija	Vrsta matičnog supstrata	Instrumenti
		Woelfel PE-6/U-B (S/N C5HV1) 3-osni geofon Norsonic ZEB/GS3T (S/N 653) 3-osni geofon
Lokacija #9	Nepropusni miocenski sedimenti	Norsonic N-150 (S/N 30 višekanalni analizator) Woelfel PE-6/U-B (S/N C5HV1) 3-osni geofon Norsonic ZEB/GS3T (S/N 653) 3-osni geofon
Lokacija #10	Nepropusni miocenski sedimenti	Norsonic N-150 (S/N 30 višekanalni analizator) Woelfel PE-6/U-B (S/N C5HV1) 3-osni geofon Norsonic ZEB/GS3T (S/N 653) 3-osni geofon
Lokacija #11	Nepropusni miocenski sedimenti	Norsonic N-150 (S/N 30 višekanalni analizator) Woelfel PE-6/U-B (S/N C5HV1) 3-osni geofon Norsonic ZEB/GS3T (S/N 653) 3-osni geofon
Lokacija #12	Nepropusni miocenski sedimenti	Norsonic N-150 (S/N 30 višekanalni analizator) Woelfel PE-6/U-B (S/N C5HV1) 3-osni geofon Norsonic ZEB/GS3T (S/N 653) 3-osni geofon

Tabela 12-4: Ambijentalne vibracije duž trase izmjerene tokom obilaska na licu mjesta

Lokacija (stacionaža)	Najveća brzina čestice (mm/s)	Nivo percepcije (u skladu sa tabelom 12-8)
1+400	0,0063	Nije primjetna
4+050	0,0674	Nije primjetna
4+600	0,0069	Nije primjetna
5+650	0,0065	Nije primjetna
6+700	0,0054	Nije primjetna
24+600	0,0048	Nije primjetna

Lokacija (stacionaža)	Najveća brzina čestice (mm/s)	Nivo percepcije (u skladu sa tabelom 12-8)
26+550	0,0124	Nije primjetna
28+400	0,0287	Nije primjetna
0+240	0,0057	Nije primjetna
kb 0+000	0,0029	Nije primjetna
kb 0+800	0,0065	Nije primjetna
na 0+200	0,0129	Nije primjetna

kb: trasa 'Oblizanica Konjic'

na: trasa 'istočni pristupni put za Konjic Sjever I/C'



Slika 12-3: 250 kg generator vibracija

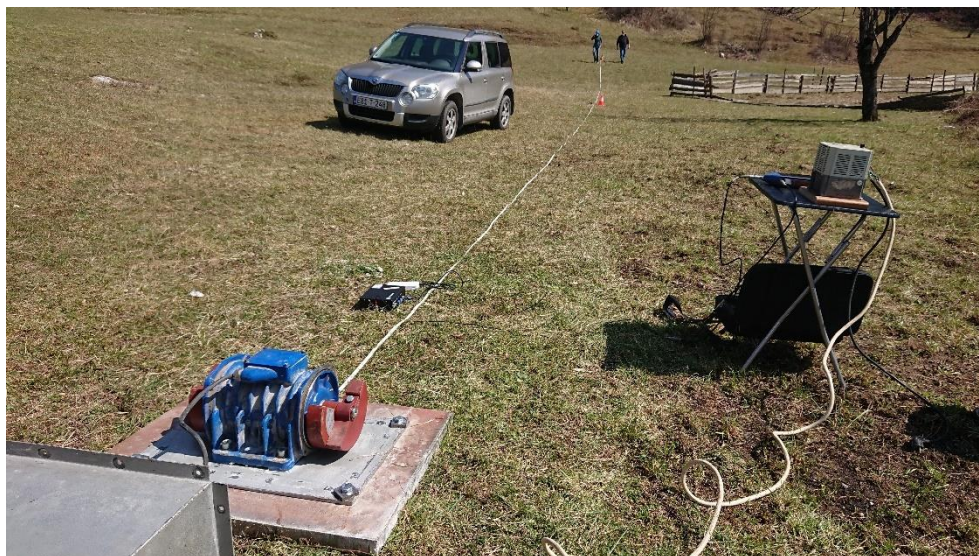
Slike od 12-16 do 12-23 pokazuju rezultirajuću prijenosnu brzinu vibracija u odnosu na frekvenciju na različitim udaljenostima od izvora, a nakon analize mjerenja pomoću posebnog softvera za analizu buke i vibracija MEDA.



Slika 12-4: Tačka 1 (blizu vijadukta 2 i istočnog ulaza u tunel T1) km 1+400



Slika 12-5: Tačka 2 (kod vijadukta 3 i tunela T1 zapadni ulaz) km 4+050



Slika 12-6: Tačka 3 (kod stope Viadukta 5 i naselja Podravac) km 5+650



Slika 12-7: Tačka 4 (kod stope Vijadukta 6, Tunela T2 i u naselju Mladeškovići) km 6+700



Slika 12-8: Tačka 5 (kod stope Viadukta 3 i naselja Polje Bijela) km 4+600



Slika 12-9: Tačka 6 (kod Nadvožnjaka-6) km 28+400



Slika 12-10: Tačka 7 (kod stope Viadukta 10 i naselja Dolac) km 26+550



Slika 12-11: Tačka 8 (kod stope Viadukta 9 i naselja Selište) km 24+600



Slika 12-12: Tačka 9 (kod Vijadukta i naselja Donje Selo) km 0+420 Obilaznica Konjic



Slika 12-13: Tačka 10 (kod Vijadukta i naselja Donje Selo) km 0+760 Obilaznica Konjic

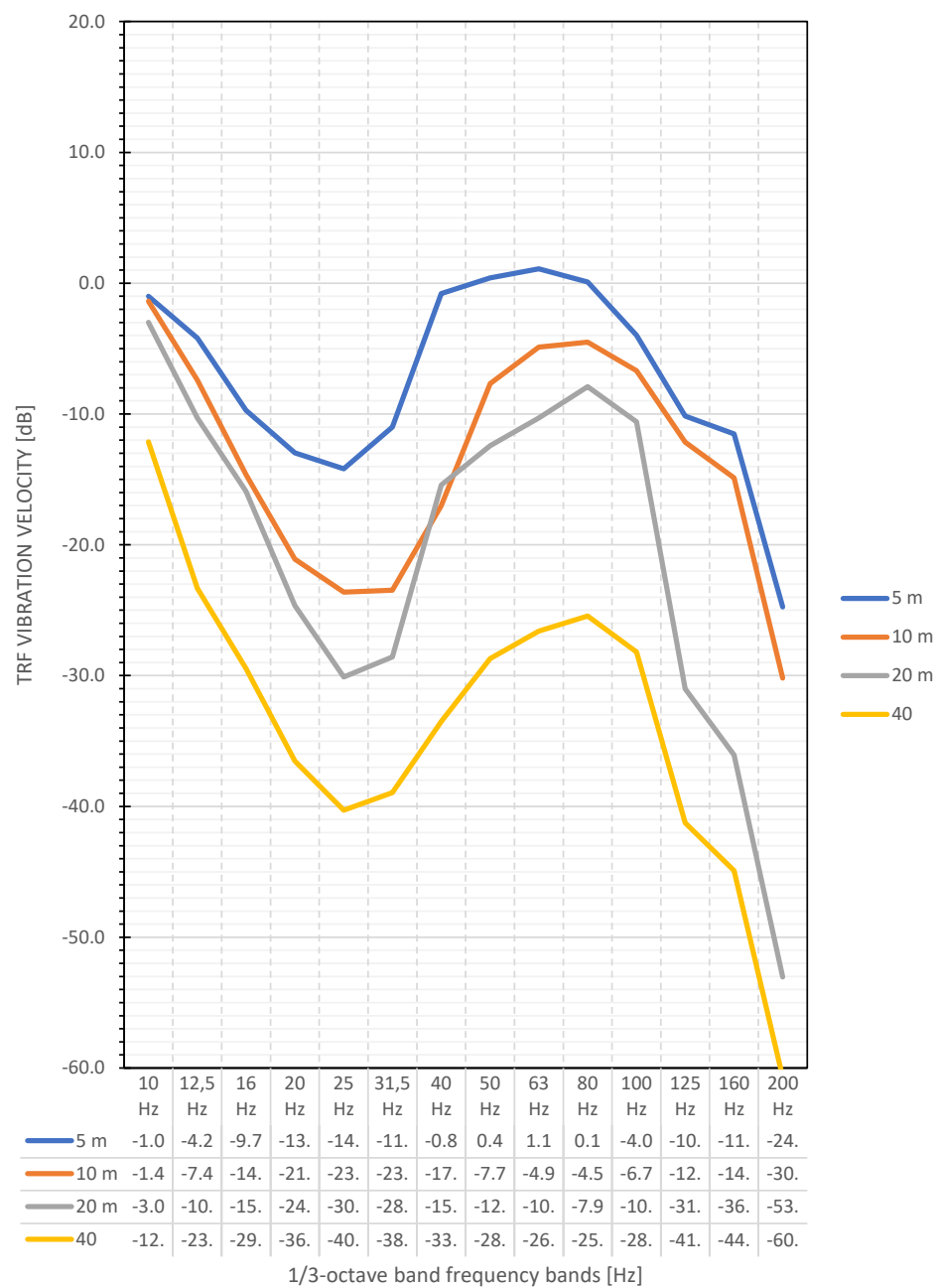


Slika 12-14: Tačka 11 (kod početka trase) km 0+000



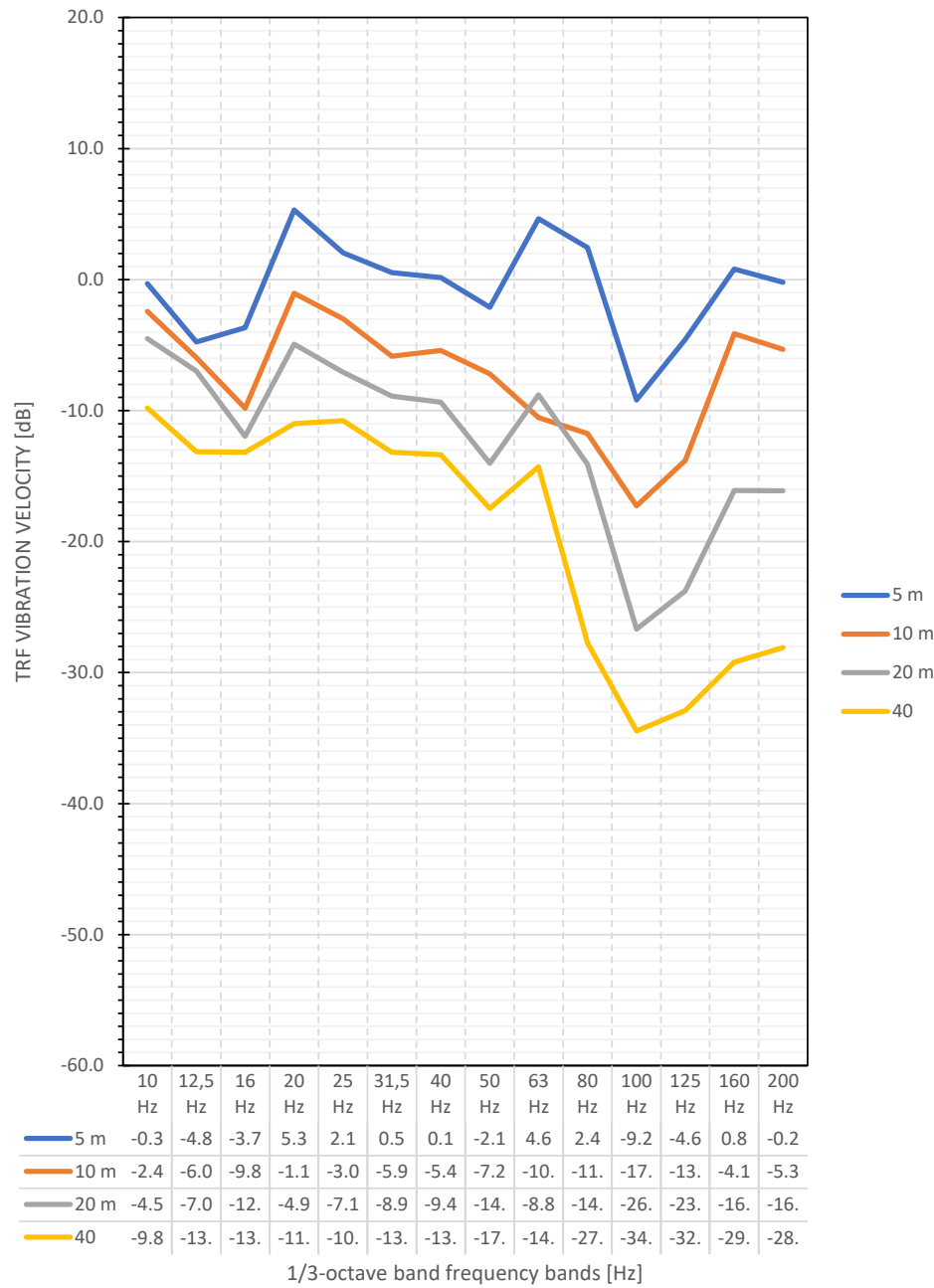
Slika 12-15: Tačka 12 (kod Vijadukta i naselja Ovčari) km 0+280

Point 1
BRIDGE M-2
TUNNEL T-1



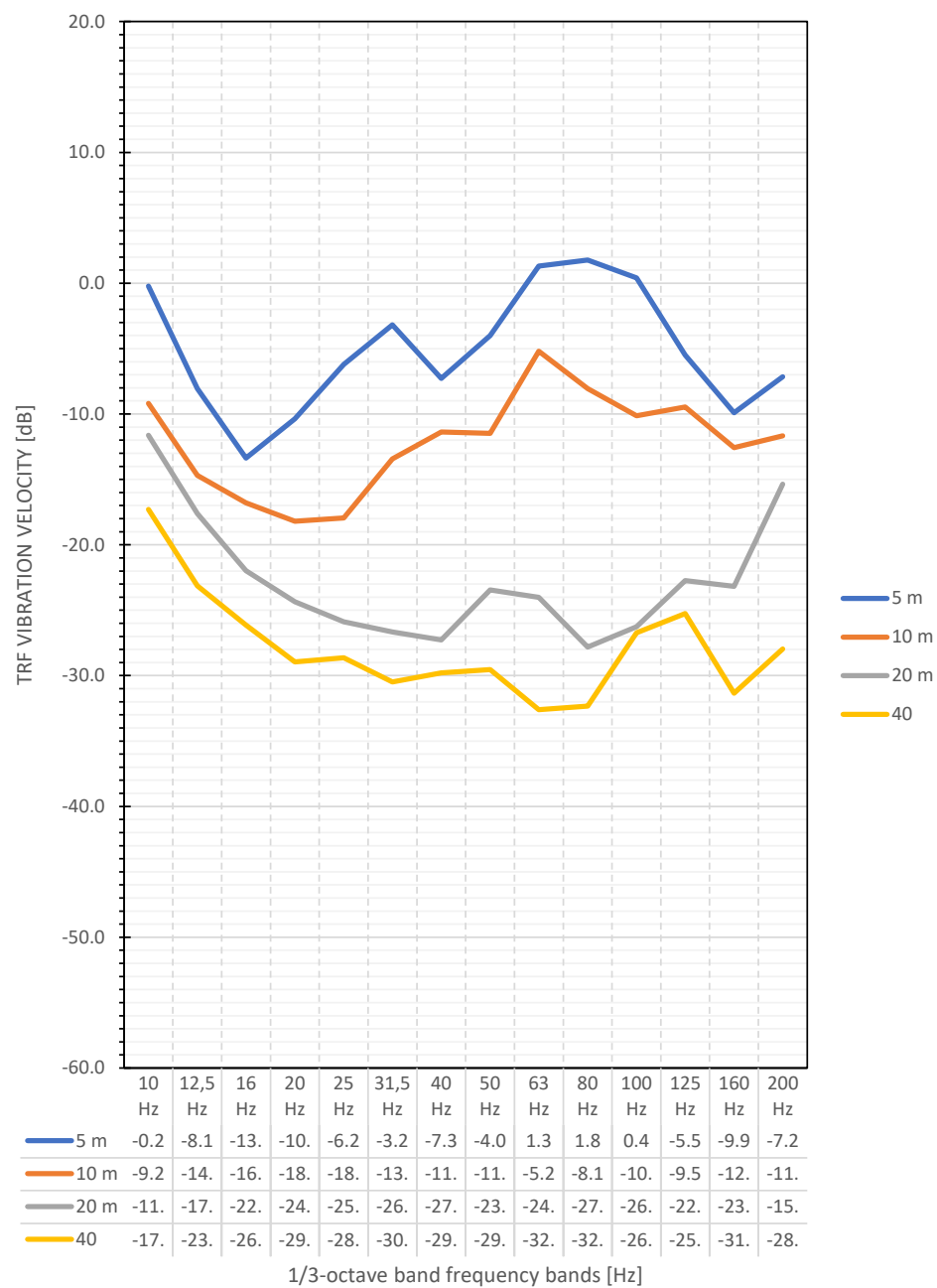
Slika 12-16: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #1

Point 2
TUNNEL T1
VIADUCT 3



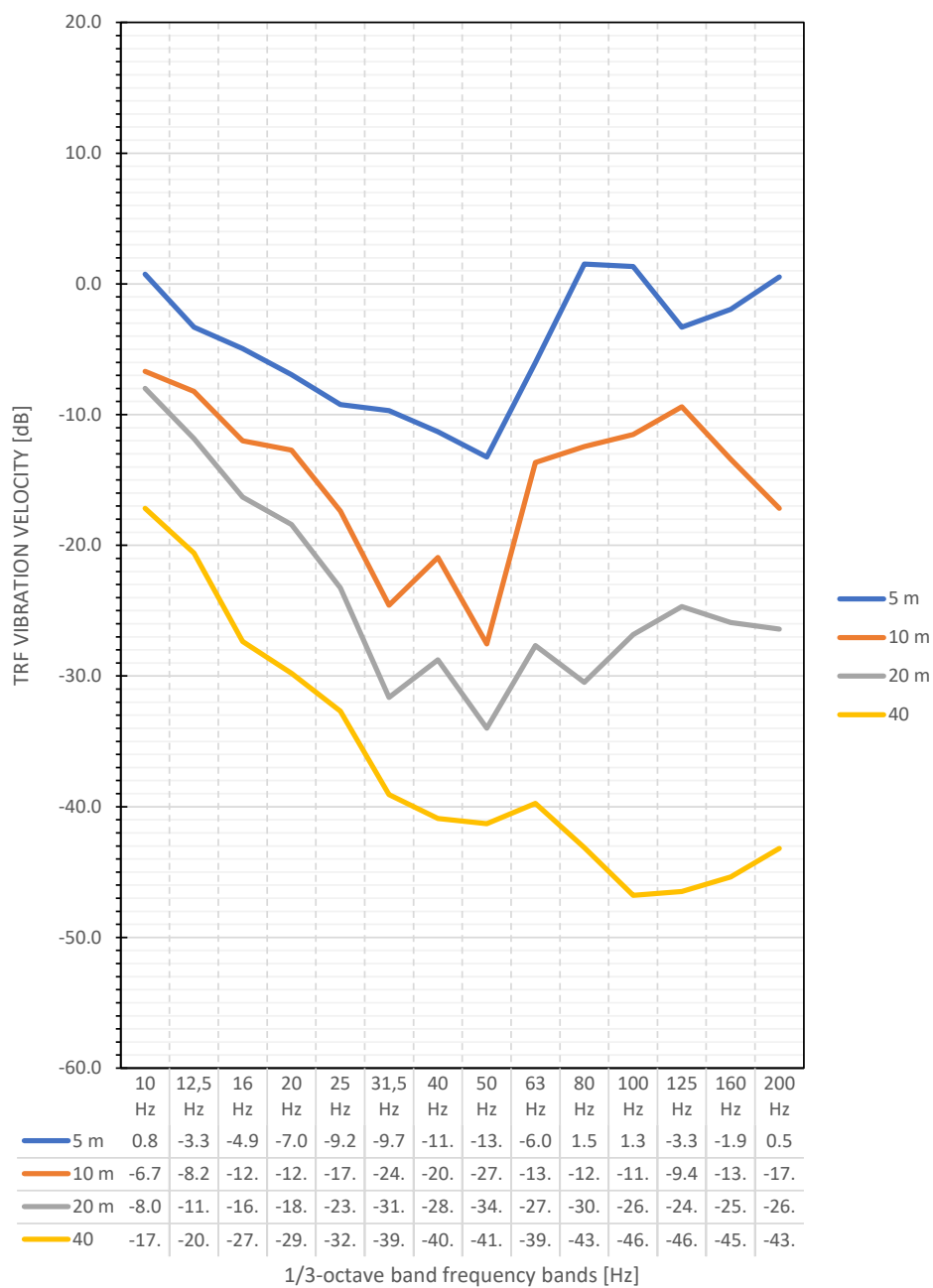
Slika 12-17: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #2

Point 3
VIADUCT 4
VIADUCT 5



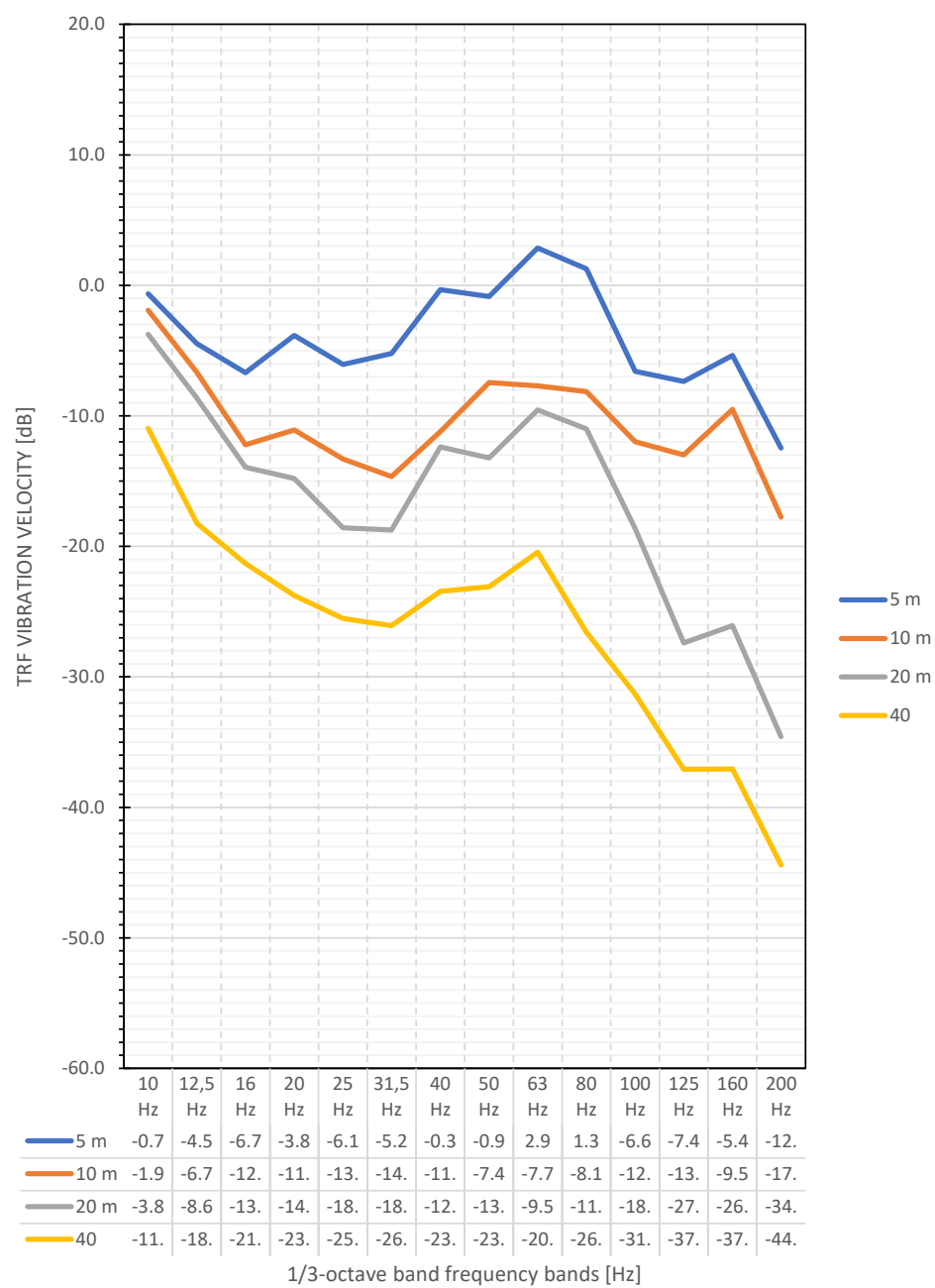
Slika 12-18: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #3

Point 4
VIADUCT 6
TUNNEL T-2



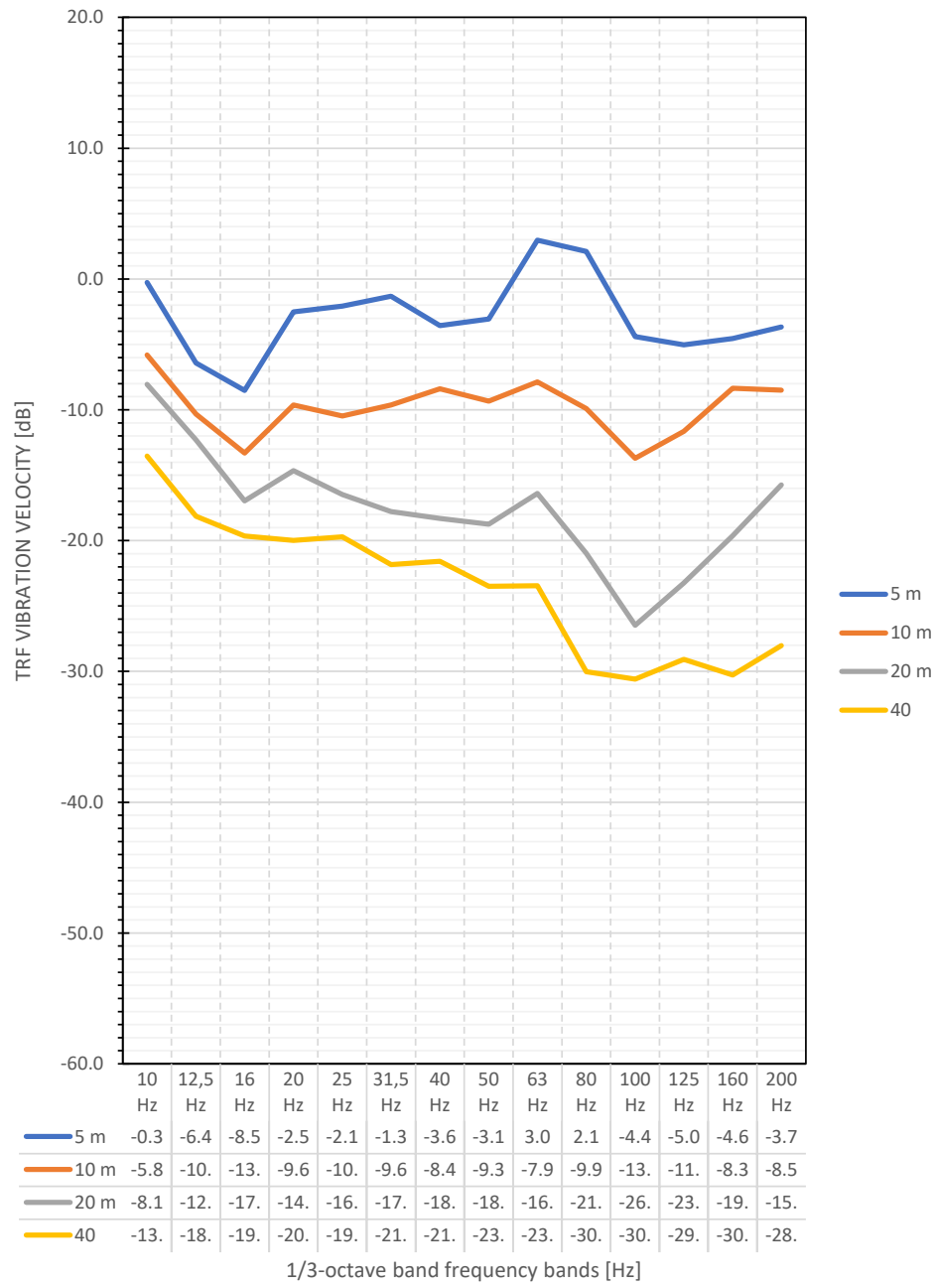
Slika 12-19: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #4

Point 5
VIADUCT 3



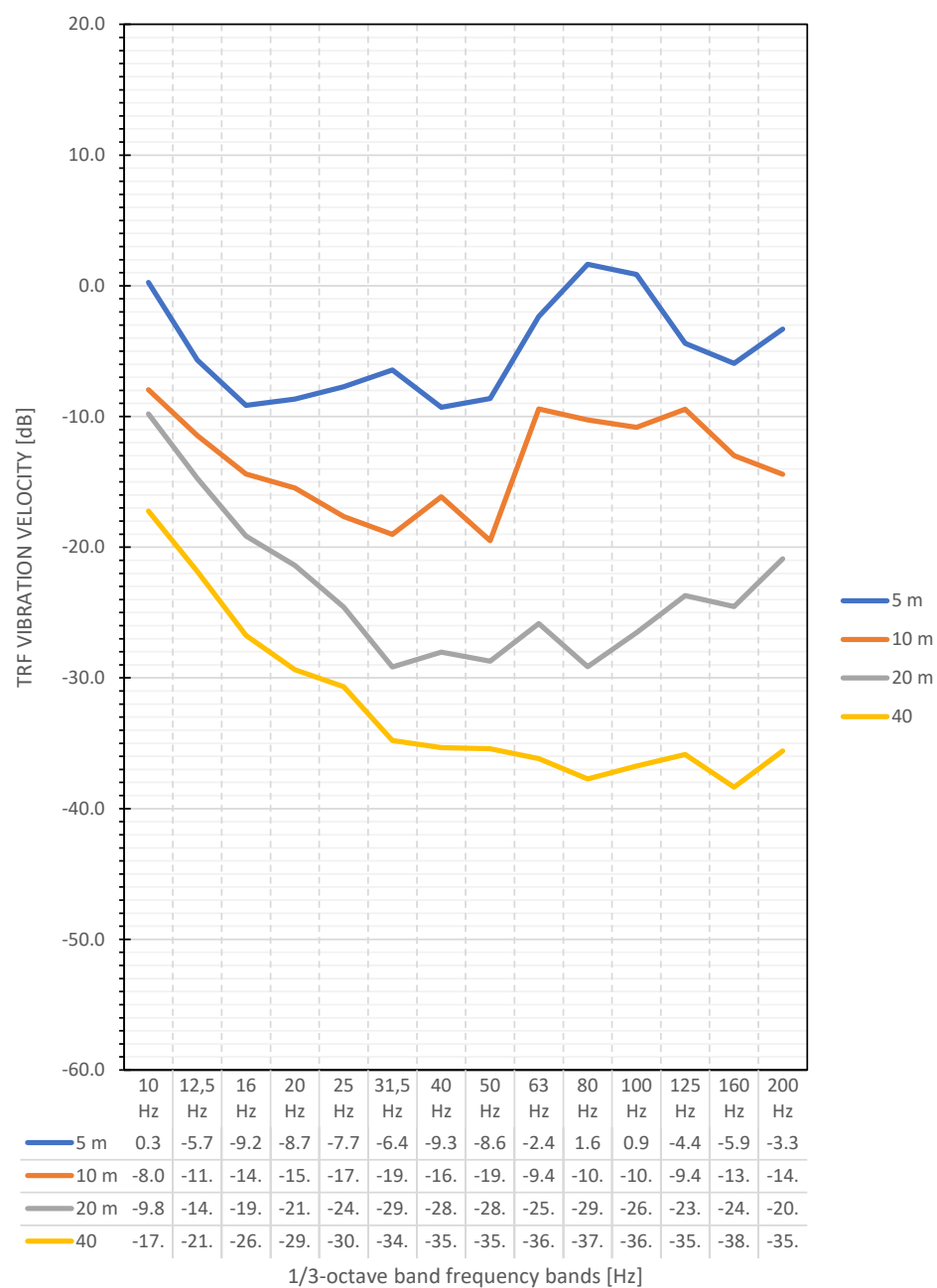
Slika 12-20: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #5

Point 6
VIADUCT 9



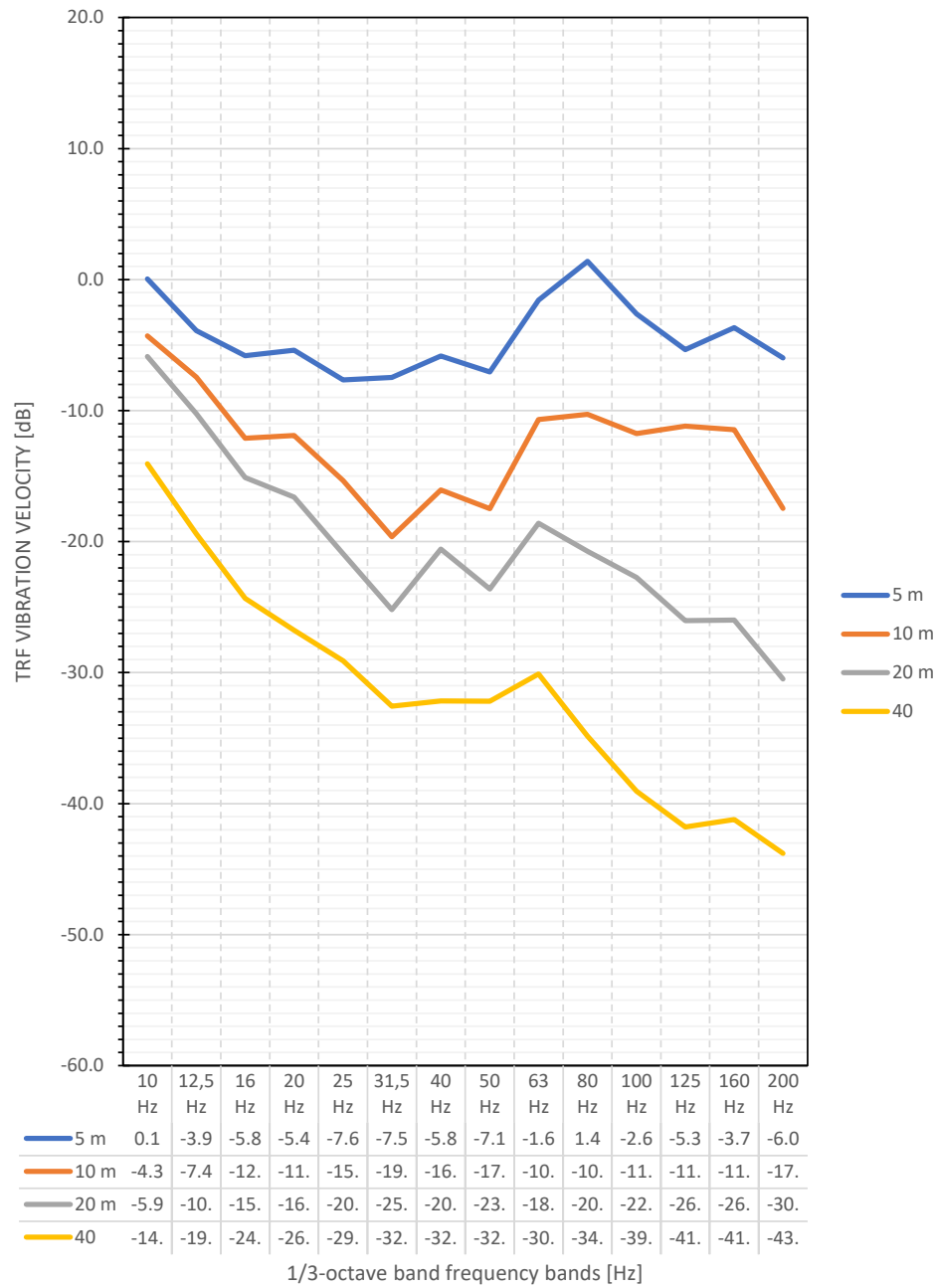
Slika 12-21: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #6

Point 7
VIADUCT 10



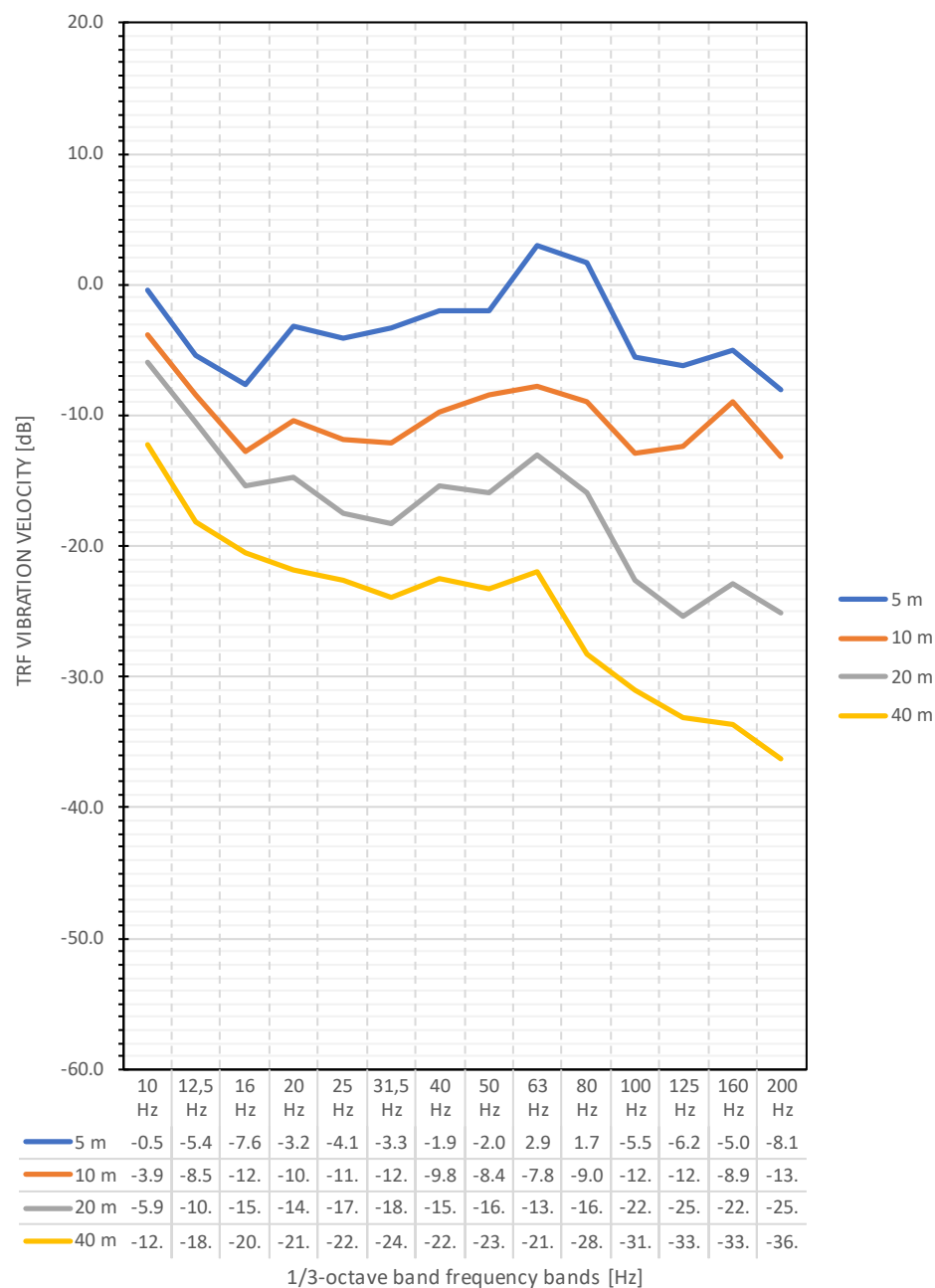
Slika 12-22: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #7

Point 8
VIADUCT 10
TUNNEL T5



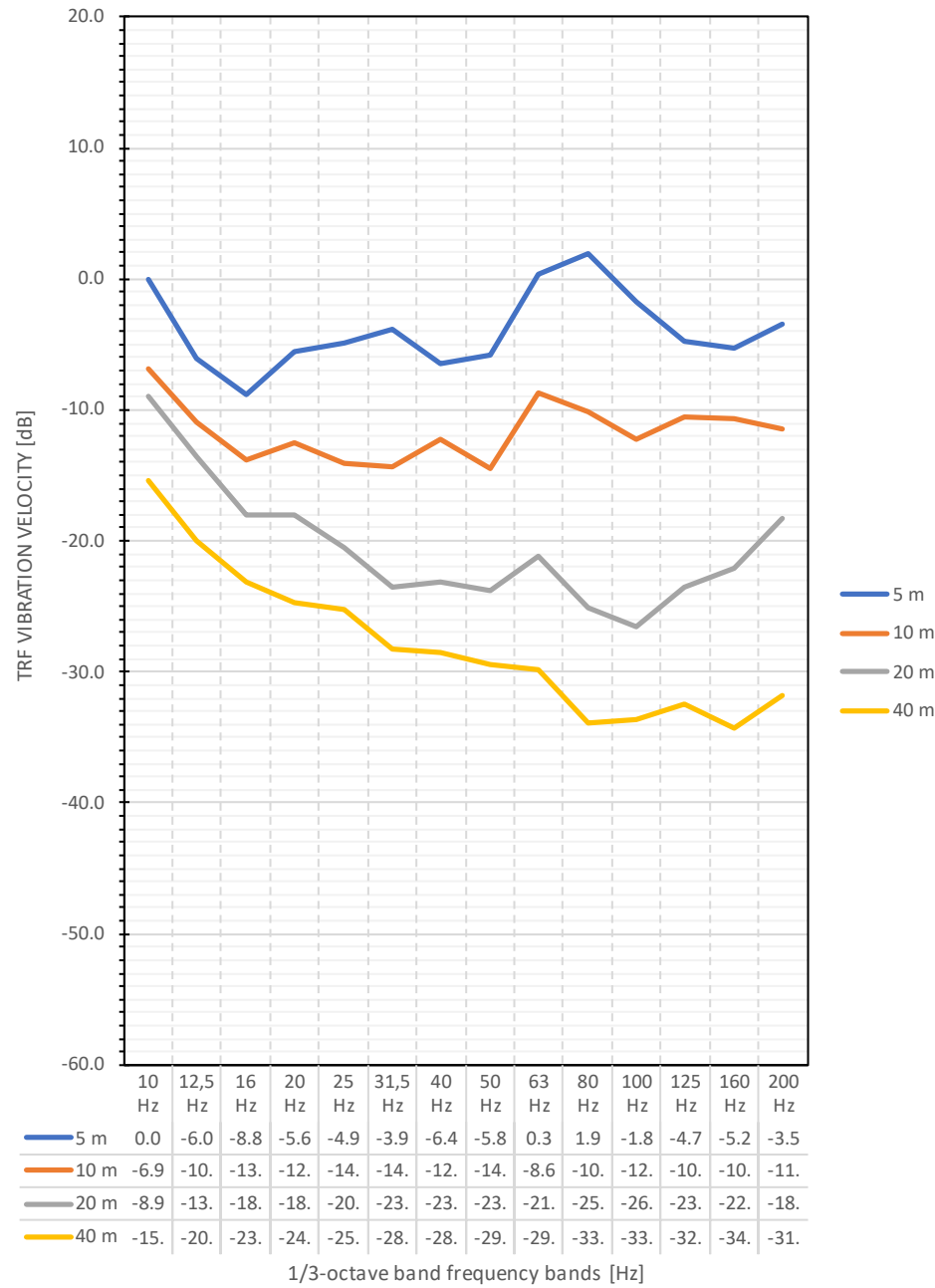
Slika 12-23: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #8

Point 9
 BRIDGE @0+420
 KONJIC BYPASS



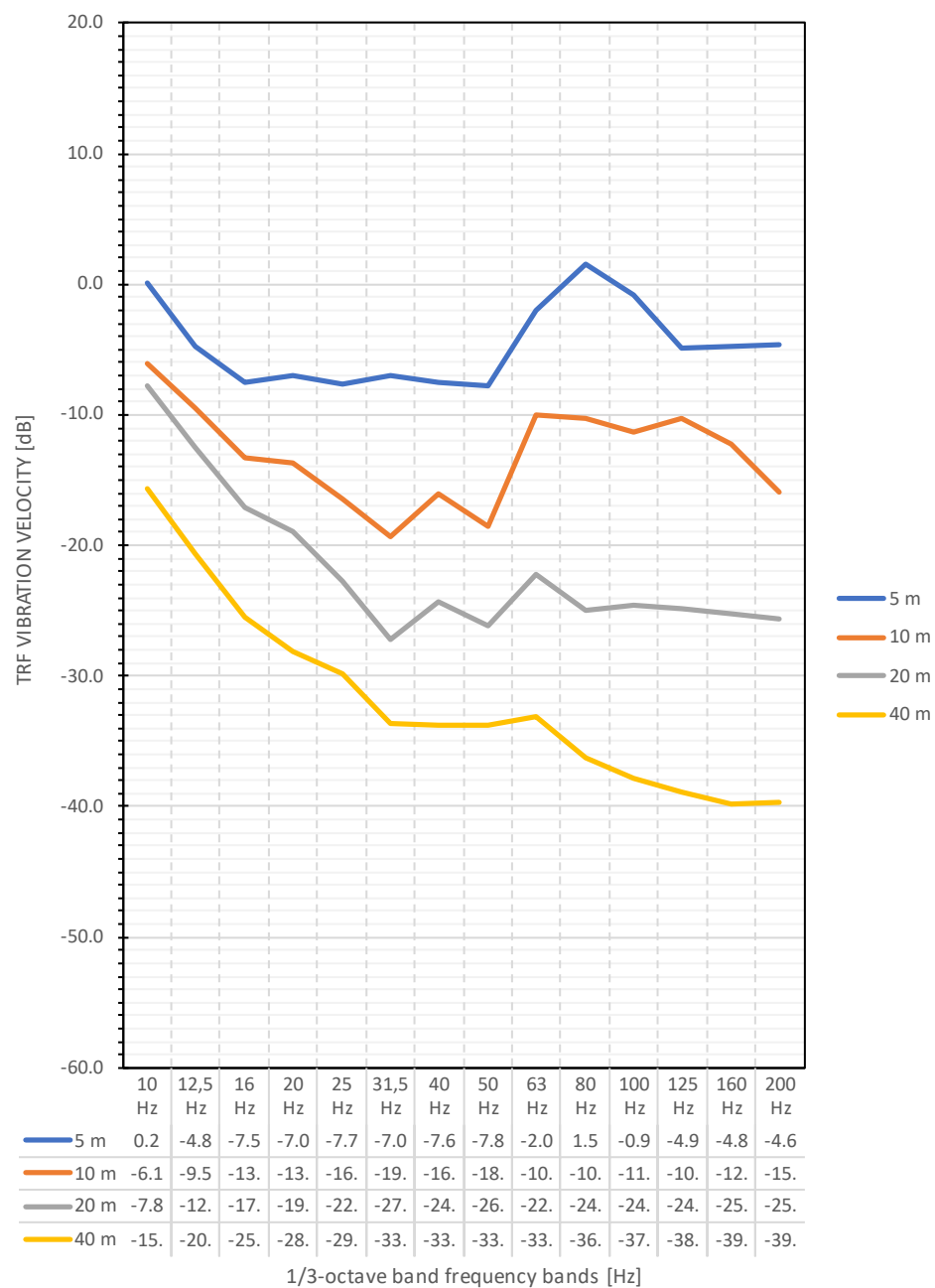
Slika 12-24: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #9

Point 10
BRIDGE @0+760
KONJIC BYPASS



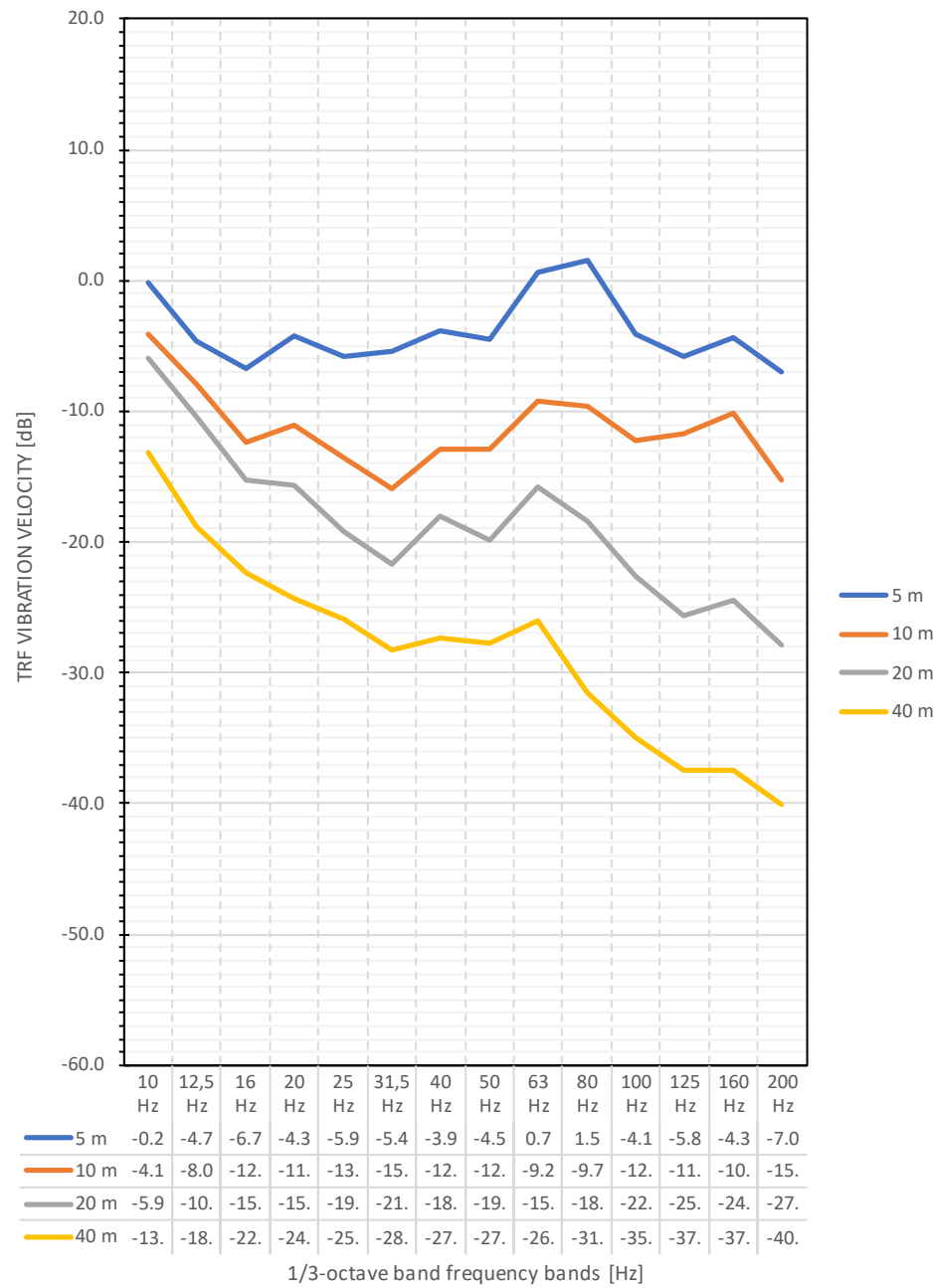
Slika 12-25: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #10

Point 11
 EXIT OF TUNNEL @0+000



Slika 12-26: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #11

Point 12
KONJIC NORTH I/C
BRIDGE



Slika 12-27: Prijenosna funkcija mjernih tačaka na lokaciji #12

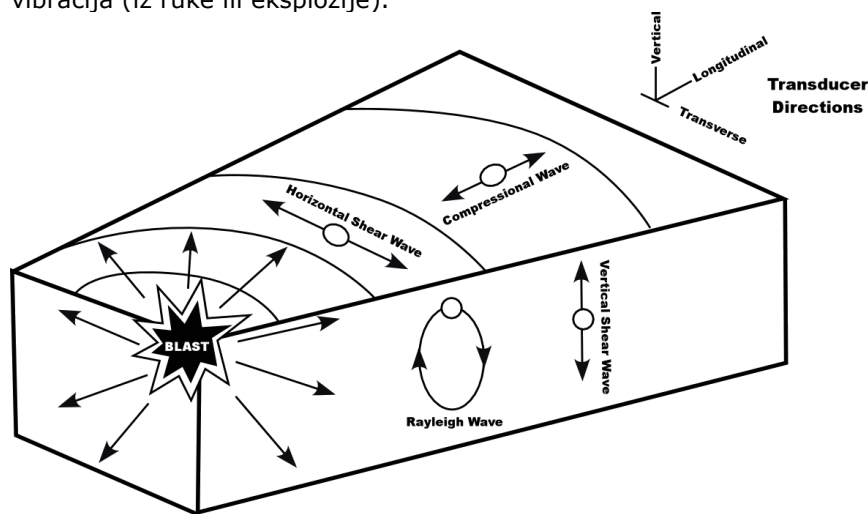
12.3 Procjena potencijalnih utjecaja

12.3.1 Pregled potencijalnih utjecaja

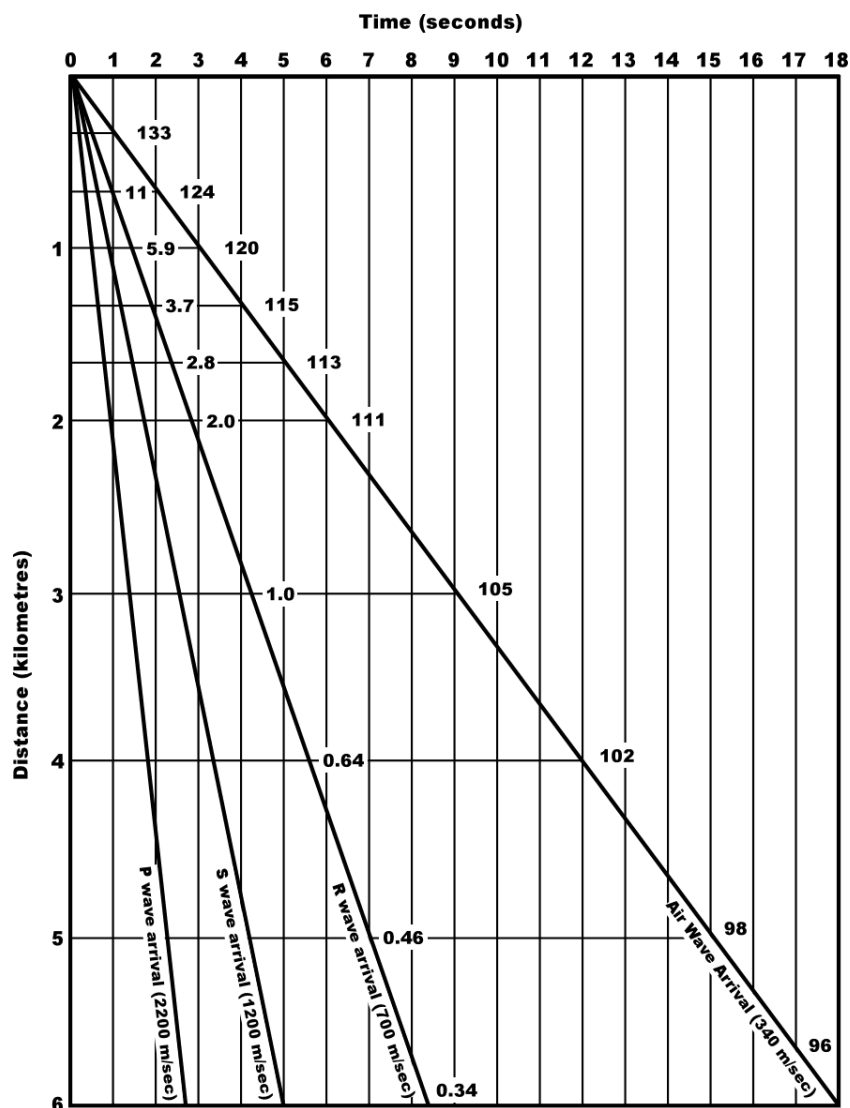
Vibracije i buka iz tla prisutni su u većini okruženja, ali u većini slučajeva nivoi koji dopiru do receptora obično su ispod percipiranih granica. Izvori koji mogu proizvesti primjetan nivo vibracija i buke na tlu su: transportni sistemi (željeznica i cesta pod određenim uslovima), rudarski radovi (uključujući eksplozije), gradilišta, rušenja, industrija, neke aktivnosti u stambenom okruženju i zabava.

Vibracije koje se prenose na tlo su oscilatorno kretanje tla u odnosu na statički ravnotežni položaj. Vibracija se prenosi kroz tlo u različitim vrstama talasa: tjelesni talasi (uzdužni i poprečni) i površinski talasi (Rayleigh, Love, itd.). Svaka vrsta (slika 12-28) ima drugačiju brzinu prenosa i različitu stopu smanjenja u odnosu na udaljenost od izvora (slika 12-29).

Utjecaj vibracija kreće se od neugodnosti kada su nivoi nešto iznad percepcije, do oštećenja na zgradama, te do urušavanja konstrukcija i zdravstvenih problema (vibracija bijelih prstiju itd.) kada su izložene vrlo visokim nivoima vibracija (iz ruke ili eksplozije).



Slika 12-28: Kretanje čestica povezano sa različitim vrstama talasa



Slika 12-29: Vremensko kašnjenje povezano s različitim vrstama talasa

12.3.2 Metodologija procjene

12.3.2.1 Zakonski okvir

Utjecaj vibracija na ljude ovisi o nivou izloženosti. U federalnom ili europskom zakonodavstvu ne postoji odredba za procjenu utjecaja vibracija na čovjeka, s obzirom na nelagodu u svakodnevnom životu (a ne za dugotrajno izlaganje okolini s jakim vibracijama gdje postoji rizik od zdravstvenih utjecaja).

Prema DIN 4150-3:2016: „Konstrukcijske vibracije, dio 3: Djelovanja vibracija na konstrukcije”¹, radi zaštite okoliša od izazivanja visokog nivoa vibracija od eksplozija koje mogu uzrokovati smetnje ili oštećenja obližnjih građevina, najveća dopuštena vršna brzina čestica ne smije prelaziti sljedeće vrijednosti, za različite vrste zgrada i ukopanih cjevovoda:

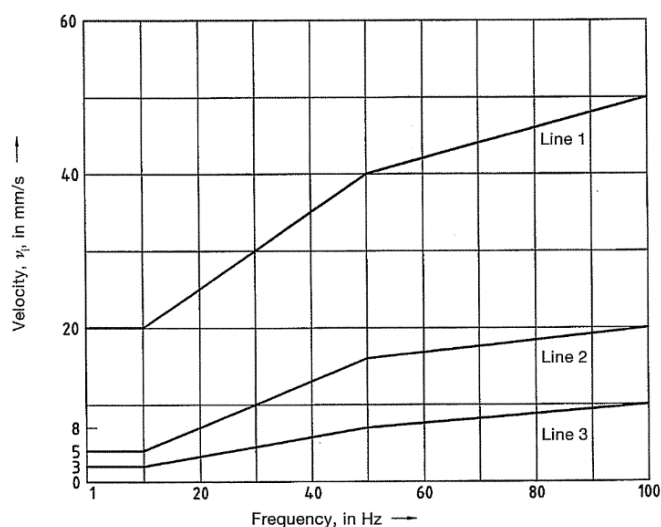
¹ DIN 4150-3: „Strukturalne vibracije 3. dio: Učinci vibracija na konstrukcije”, 2016

Tabela 12-5: DIN 4150-3 ppv referentne vrijednosti za procjenu utjecaja kratkotrajnih vibracija na konstrukcije

Red	Tip strukture	Referentne vrijednosti za brzinu, v_1 u mm/s			
		Vibracije temeljene na frekvenciji od			Vibracije na horizontalnoj ravni najvišeg sprata na svim frekvencijama
		1 - 10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100Hz*	
1	Građevine koje se koriste u poslovne svrhe, industrijske građevine i građevine sličnog dizajna	20	20-40	40-50	40
2	Stanovi i građevine sličnog dizajna i/ili namjene	5	5-15	15-20	15
3	Konstrukcije koje se zbog svoje posebne osjetljivosti na vibracije ne mogu svrstati u redove 1 i 2 i imaju veliku unutrašnju vrijednost (npr. građevine pod zaštitom).	3	3-8	8-10	8
*Na frekvencijama iznad 100 Hz vrijednosti navedene u ovoj koloni mogu se koristiti kao minimalne vrijednosti.					

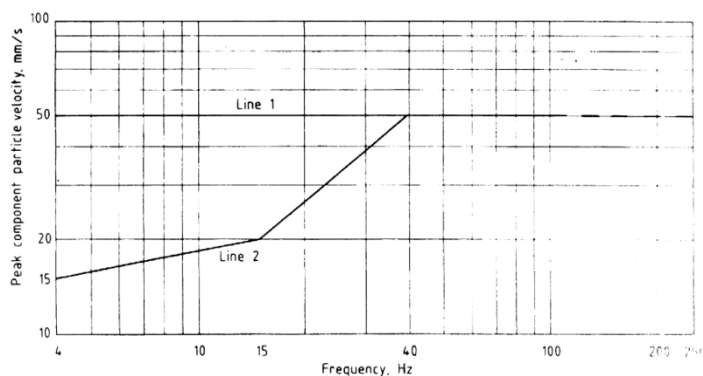
Tabela 12-6: DIN 4150-3 ppv referentne vrijednosti za procjenu utjecaja kratkotrajnih vibracija na ukopane cjevovode

Red	Materijal cijevi	Referentne vrijednosti za brzinu izmjerenu na cijevi v_1 u mm/s
1	Čelik (uključujući zavarene cijevi)	100
2	Glineni beton, armirani beton, prenapregnuti beton, metal (sa ili bez prirubnice)	80
3	Masonry - Zidarstvo (zidane cijevi), plastični	50



Slika 12-30: Krive vodećih vrijednosti DIN 4150-3 ppv date u tabeli 12-5

Obično nema većih oštećenja konstrukcija od vibracija tla, osim od eksplozija i potresa velike magnitude. Ipak, ponekad može doći do oštećenja na dijelovima obližnjih zgrada. Na osnovu britanskih standarda BS 7385-2:1993 "Procjena i mjerenje vibracija u zgradama. Vodič za nivo oštećenja uzrokovanih vibracijama tla"² i BS 5228-2:2009+Amnd1:2014 "Kodeks prakse za kontrolu buke i vibracija na građevinskim i otvorenim gradilištima – 2. dio: Vibracije"³, najveće dopuštene vrijednosti vršne brzine čestica da se ne prouzrokuju štete na različitim vrstama zgrada date su na slici 12-31 i u tabeli 12-7, što sugerira da nisu 'strožije' vrijednosti od DIN 4150.



Slika 12-31: Vodeće vrijednosti prolaznih vibracija za kozmetička oštećenja prema BS 7385-2

² Britanski standard BS 7385-2 "Procjena i mjerenje vibracija u zgradama. Vodič za nivo oštećenja od vibracija koje se prenose tlom", 1993

³ Britanski standard BS 5228-2 "Kodeks prakse za kontrolu buke i vibracija na građevinskim i otvorenim gradilištima – 2. dio: Vibracije", 2014

Tabela 12-7: Vodeće vrijednosti prolaznih vibracija za kozmetička oštećenja prema BS 7385-2

Red (slika 12-31)	Tip građevine	Najviša komponentna brzina čestica u frekvencijskom području dominantnog impulsa	
		4-15 Hz	15 Hz i iznad
1	Ojačane ili uokvirene konstrukcije Industrijske i teške poslovne građevine	50 mm/s na 4 Hz i iznad	
2	Neojačane ili lagano uokvirene konstrukcije Stambeni ili laki poslovni objekti	15 mm/s na 4 Hz	20 mm/s na 15 Hz
Napomena 1. Navedene vrijednosti su u temelju građevine.			
Napomena 2. Za red 2 na frekvencijama ispod 4 Hz, ne smije se prekoračiti maksimalni pomak od 0,6.			

Prema međunarodno prihvaćenim smjernicama (standardi BS 6472:1992, ISO 2631), granice u kojima se osjećaju vibracije su puno niže kao što je prikazano u tabeli u nastavku.

Tabela 12-8: Granice percepcije i smetnje zbog izloženosti vibracijama

Vršna brzina čestica (mm/s)	RMS ponderirano ubrzanje (m/s^2)	Nivo percepcije ⁴
0,10	< 0,01	Nije primjetno
0,15	0,015	Prag percepcije
0,35	0,015-0,02	Jedva primjetno
1,0	0,02-0,08	Lako uočljivo
2,2	0,08-0,315	Jako uočljivo
6,0	>0,315	Izuzetno uočljivo

Frekvencija pobude tla od građevinskih mašina obično leži u rasponu od 30 do 200 Hz, stoga se za ovu studiju uzima u obzir granica ppv ≤ 10 mm/s unutar obližnjih osjetljivih receptora. Granica je znatno iznad veličina oštećenja

⁴ Step en uočljivosti (na podovima zgrade) odnosi se na vibracije sa frekvencijama između 8 Hz i 80 Hz.

konstrukcije, iako će se tokom pojedinih radova osjetiti vibracije. Međutim, zbog kratkoročne prirode projekta, ne očekuje se da će izazvati široku smetnju.

12.3.2.2 Izvori vibracija tokom izgradnje

Građevinske aktivnosti uključuju određenu mehanizaciju koja proizvodi vibracije. Ministarstvo saobraćaja SAD-a daje katalog nivoa vibracija uzrokovanih građevinskim mašinama koji je prikazan u tabeli u nastavku⁵.

Tabela 12-9: Emisije vibracija iz građevinskih mašina

Oprema	ppv na 5m, [mm/s]	
Zabijač pilota (udarni)	gornji domet	38,557
	tipični	16,358
Zabijač pilota (akustični)	gornji domet	18,644
	tipični	4,318
<u>Spuštanje grajfera (potporni zid betoniran na način sidrenja)</u>		5,131
<u>Hydromillfrezna mašina (potporni zid betoniran na način sidrenja)</u>	u tlu	0,203
	u stijeni	0,432
Vibracioni valjak		5,334
<u>Velika ubodna mašina</u>		2,261
Veliki buldožer		2,261
Bušenje kesona		2,261
Natovareni kamioni		1,930
Udarni čekić		0,889
Mali buldožer		0,076

Drugi veliki izvor vibracija, koji se javlja u posebnim slučajevima tokom izgradnje tunela, je upotreba eksploziva. Tokom eksplozije, vibracije tla zrače iz bušotine sve manjim intenzitetom i s udaljenosti se smanjuju na nivo ispod percepcije. Međutim, može doći do pojačanja talasnog fronta vibracija tla ovisno o podlozi tla, strukturama stijena kao i uzorku bušenja i kašnjenja.

Brojni istraživači su ispitivali problem predviđanja vibracija tla i predložili različite formule. Sljedeće formule pokazuju različite pristupe koji se koriste:

- > Langeforsova formula (Langefors i Kihlstrom, 1973)

$$v = k \sqrt{\frac{Q}{D^{1.5}}}$$

- > Skalirana udaljenost kvadratnog korijena (United States Bureau of Mines (USBM), 1980; ICI, 1990; Australski standard (AS) 2187.2, 1993):

⁵ Ministarstvo saobraćaja SAD-a, "Federalna uprava za prijevoz. FTA-VA-90-1003-06 'Procjena utjecaja buke i vibracija u saobraćaju'", 2020.

$$v = k \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-e}$$

- > Treći korijen udaljenosti (Ambraseys/Hendron, 1968; Hendron/Oriand, 1972):

$$v = k \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-e}$$

gdje su:

v : vršna brzina čestice (mm/s)

$Q \geq 0$: trenutna masa naelektrisanja punjenja (kg)

$D > 0$: udaljenost (m)

$k \geq 0$: konstanta lokacije/faktor prenosa stijene za Langeforsovu formulu

$e > 0$: eksponent strane.

12.3.2.3 Definicije, osobine i mjerne jedinice vibracija/indikatora za procjenu vibracija u okolišu

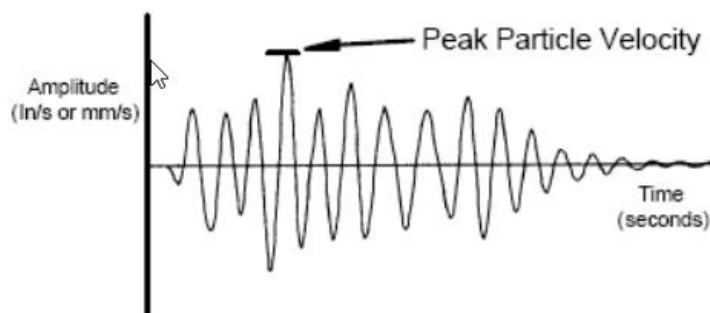
Mehaničke vibracije nastaju kada se na čvrsto tijelo primijeni sila te ono dobiva kinetičku i potencijalnu energiju. Dakle, vibracije se mogu mjeriti iz rezultata ovog prenosa snage, karakterisanog pomakom ravnotežne tačke (pomak u m), brzinom vibracije (brzinom u m/s) i ubrzanjem vibracije (ubrzanjem u m/s²). Pomak se mjeri duž definisane ose, dok se druge dvije vektorske veličine mjere u određenom referentnom sistemu (x, y, z). Sve tri veličine su zavisne od vremena i karakteriše ih trenutna vrijednost, njihova maksimalna vrijednost i njihova srednja kvadratna vrijednost.

Ove tri fizičke veličine (ubrzanje - brzina - pomak) nedvosmisleno su povezane na svakoj frekvenciji, pa stoga mjerenje bilo koje od njih može dati maksimalne ili efektivne vrijednosti druge dvije⁶. Međutim, odnos između ovih deskriptora može se mnogo razlikovati u različitim situacijama, ovisno o frekvencijskom sadržaju energije vibracije. Pod ukupnom vibracijom se smatra ukupna nefiltrirana vibracija u cijelom spektru. Reakcija ljudi, građevina i opreme na vibracije obično se opisuje u smislu brzine ili ubrzanja. Budući da ljudska osjetljivost na vibracije obično odgovara konstantnom nivou amplitude brzine vibracije, kao funkcija frekvencije unutar frekvencijskog raspona koji je od najveće važnosti za vibracije okoline koje proizvode željeznički tranzitni sistemi (tj. otprilike 8 do 100 Hz), brzina vibracije se koristi u ovoj analizi kao primarna mjera za procjenu utjecaja vibracija.

Maksimalna brzina čestica (ppv) je najprihvaćeniji i najkorišteniji pokazatelj nivoa vibracija. Većina propisa i standarda propisuje pragove vibracija u smislu

⁶ S obzirom na to, ubrzanje je povezano s brzinom kada se procjenjuje u frekvencijskim pojasevima (kao što su oktavni pojasevi ili pojasevi od 1/3 oktave), koristeći formulu, gdje je središnja frekvencija pojasa $a(t) = \frac{dv(t)}{dt} a = 2\pi f v f$

ppv. Za svaki snimljeni talasni oblik, maksimalna brzina čestice tokom ukupnog vremena snimanja smatra se najvišom (eng. peak) brzinom čestice (slika 12-32). Ova vrsta brzine čestica ne treba se miješati sa brzinom kojom se talas širi kroz medij (tj. informacije od interesa za seizmička istraživanja).



Slika 12-32: Tipično snimanje vibracija

Mjerenje vibracija može se izraziti na logaritamskoj skali s mjernom jedinicom u decibelima (dB) kako slijedi:

Nivo efektivnog ubrzanja vibracije:

$$L_a = 20 \log \frac{a_{rms}}{a_{ref}} = 10 \log \frac{\sqrt{\int_0^T a(t)^2 dt}}{a_{ref}^2}$$

Nivo efektivne brzine vibracije:

$$L_v = 20 \log \frac{v_{rms}}{v_{ref}} = 10 \log \frac{\sqrt{\int_0^T v(t)^2 dt}}{v_{ref}^2}$$

Za razliku od zvuka, gdje je referentna vrijednost akustičnog pritiska u cijelom svijetu definisana kao $p_{ref} = 20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ (prag osjetnog zvuka), ne postoji konzistentna referentna jedinica za vibracije. Uobičajene vrijednosti su:

$$a_{ref} = 10^{-6} \text{ m/sec}^2 \text{ and } v_{ref} = 10^{-9} \text{ mm/sec [ISO 1683:2008].}$$

12.3.2.4 Analiza proračuna i prijenosnih funkcija

Na vibracije tla utiču faktori koji se odnose na izvor (njegove emisije u frekvencijskoj domeni), put prijenosa (karakteristike tla) i receptore (interakcija tlo-struktura i projekti građevinske strukture).

Raspon rezonantne frekvencije za širenje (propagaciju) tla je od 0 do 10 Hz za kohezivna tla, a veće frekvencije su za tla od frikcionog materijala⁷. Za procjenu utjecaja vibracija na osjetljive receptore u blizini izvora koriste se računske metode koje omogućuju predviđanje nivoa vibracija koja će doći do prijemnika.

Parametri izvora dati su iz baza podataka o emisijama vibracija za različite mašine. Parametri širenja podrazumijevaju širenje kroz tlo/stijenu, kroz temelje građevine kao i kroz samu građevinu.

Postupak se zasniva na korištenju funkcije prijenosa brzine vibracija. Prijenosna funkcija u potpunosti definiše kompozitne karakteristike širenja vibracija između dvije tačke.

⁷ Natasha Zamani & Usama El Shamy, "Analiza širenja talasa u suhim granuliranim tlima korištenjem DEM simulacija", 2011

Formula koja izračunava nivo vibracija u zgradama je:

$$L_v = L_F + TF + C_{grad}$$

gdje su L_v najviši ili efektivni nivo brzine vibracije na receptoru (u dB), L_F nivo brzine vibracije na izvoru (u dB), TF je funkcija prijenosa brzine vibracije i C_{grad} faktor prilagodbe koji uzima u obzir interakciju između tla i strukture i pojačanja/povećanja vibracija od građevinskih komponenti (ploče itd.).

Izračunata procjena nivoa vibracija na receptoru se zatim uspoređuje s granicama vibracija primjenjivim na područje koje se proučava. Ako postoje područja u kojima je nivo iznad granica, moraju se osmisлити mjere ublažavanja.

- > Brzina vibracija na 5 m od izvora (L_F) je data u tabeli 12-9.
- > Funkcija prijenosa brzine vibracije (TF) mjeri se na licu mjesta (pogledati Poglavlje 12.2) na identificiranim žarišnim tačkama (pogledati Poglavlje 12.3.2.5, Istražena područja – osjetljivi prijemnici). Mjerenje prijenosnih funkcija i svi proračuni rade se sa sljedećim softverom: MEDA softver za prikupljanje i analizu vibracija, broj licence S087/604. Proračuni uključuju procjenu utjecaja na 10 m, 20 m i 40 m od izvora, na osnovu mjerenja 5 m od izvora, gdje je emisija izvora poznata.
- > Faktor prilagodbe C_{grad} je procijenjen iz bibliografije. Općenito, postoji pozitivan umetni gubitak od prijelaza vibracijskih talasa s tla na čvrste betonske temelje i pojačanje od temelja do gornjih spratova zbog strukturnih rezonancija (tabela 12-10). Za ovu studiju pretpostavlja se konzervativni scenarij -3 dB za SSI (zbog nepoznatog stanja i vrste obližnjih građevina) dok se za slabljenje i pojačanje "od poda do poda" zbog rezonancija podova, zidova i plafona, razmatra pojačanje od +6 dB (tabela 12-10).

Tabela 12-10: Različiti faktori koji utiču na nivo vibracija u građevinama

Faktor receptora	Prilagodba krivoj propagacije/širenja	Komentar
Spajanje sa temeljima građevine	Kuće sa drvenim okvirom -5dB	Opće pravilo nalaže da što je građevina teža veći je gubitak na spojci sa temeljem.
	(Jednospratne i dvospratne građevine) -7dB	
	(Trospratne i četverospratne građevine) -10dB	
	Velike građevine -10dB	
	Velike građevine na raširenim podlogama -13dB	
	Podloga na kamenu 0dB	
Slabljene od poda do poda	1-5 sprata od prizemlja -2dB/floor	Ovaj faktor objašnjava disperziju i slabljenje energije vibracije dok se širi kroz zgradu.
	5-10 sprata od prizemlja -1dB/floor	
Pojačanje zbog rezonancija		+6dB Stvarno pojačanje će imati velike varijacije zavisno od

Faktor receptora	Prilagodba krivoj propagacije/širenja	Komentar
podova, zidova i plafona		vrste konstrukcije. Pojačanje je manje u blizini spojke poda i zida i spojke zida i plafona.

12.3.2.5 Ulazni parametri

Identifikacija vibracijskih izvora

Vibracije konstrukcija, slične buci, uveliko zavise od specifične opreme i metoda rada koje se koriste. Vibracije pri gradnji mogu uzrokovati razne utjecaje, uključujući smetnje pri radu sa opremom osjetljivom na vibracije, nisku tutnjavu ili buku koja se prenosi tlom, vibracije koje ljudi mogu osjetiti na umjerenim nivoima i kozmetička oštećenja na zgradama na najvišim nivoima za vrlo specifične operacije tokom perioda izgradnje. Većina građevinskih procesa ne stvara dovoljno visoke nivoe vibracija da bi se približile granici oštećenja od pukotina; štaviše, konstrukcijska oštećenja su vrlo malo vjerojatna.

Budući da je gradnja kratkoročna – privremeni utjecaj, vibracije konstrukcije su procijenjene na mjestima gdje bi moglo doći do dugotrajne smetnje ili kozmetičkih oštećenja zgrade – na prijemnicima u blizini mostova i tunela za projekat. Drugi značajan izvor, zavisno od metoda i korištenih mašina, su vibracioni valjci tokom zbijanja tla.

Gledajući geometriju predloženog Projekta, preuzetu iz projektne dokumentacije, dužina dionice koja se razmatra za ovaj zadatak iznosi približno 36 km⁸ a projekat uključuje 5 tunela i 10 mostova-vijadukta, koji se smatraju žarištima za utjecaj vibracija tokom izgradnje zbog mašina koje se koriste za bušenje tunela i temelja mostova.

Tabela 12-11: Položaji tunela i mostova duž trase

Struktura	Stacionaža (km)	Opis
most	~1+250	maksimalna dužina 484 m
tunel	~2+600	maksimalna dužina 2.200 m
most	~3+950	maksimalna dužina 657 m
most	~5+750	maksimalna dužina 55 m
tunel	Tunel Prenj	ukupna dužina 10 km
most	~23+000	maksimalna dužina 360 m
tunel	~23+600	maksimalna dužina 857 m
most	~24+250	maksimalna dužina 334 m
most	~25+700	maksimalna dužina 430 m

⁸ Trasa ulazi u kanjon Konjičke Bijele i postepeno se uspinje prema tunelu Prenj koji je pravocrtno podzemni prelaz preko glavne planine. Po izlasku iz tunela Prenj, trasa se razvija sjeverno od područja iznad sela Dubrava iznad Selišta i Zelanike i postepeno se spušta u područje Bijelog Polja.

Struktura	Stacionaža (km)	Opis
tunel	~32+850	maksimalna dužina 2,250 m

Tabela 12-12: Lokacije mostova duž trase 'istočni pristupni put Konjic Sjever I/C'

Struktura	Stacionaža (km)	Opis
most	~0+280	dužina 150 m

Tabela 12-13: Lokacije tunela i mostova duž trase 'Obilaznica Konjica'.

Struktura	Stacionaža (km)	Opis
tunel	~2+260	dužina 800 m
most	~0+760	dužina 40 m
most	~0+420	dužina 331 m

Tipovi matičnog supstrata

Na osnovu Studije utjecaja na okoliš projekta⁹, vrste tla koje se susreću duž predmetne dionice su sljedeće:

Početak dionice trase ovog dijela autoceste do stacionaže km 1+200, čine dolomiti iz srednjeg perioda trijasa koji su izloženi vremenskim utjecajima duž glavnih pukotina i rasjeda. Površinski sloj se sastoji od nekoherentnog sitnozrnastog tla s prečnikom debljine u rasponu od 1 m do 3 m. Dolomiti kao osnovne stijene pripadaju čvrstim stijenama, a prema OTU klasifikaciji pripadaju kategoriji "A". Brojčana oznaka na IG karti je 2.

Od stacionaže km 1+200 do km 1+450, dolina rijeke Trešanice prekrivena je šljunkovitim i pješčanim nepovezanim slojem maksimalne debljine do 4 m. Dno ovog nekoherentnog tla vjerovatno je od neispravnih srednjotrijaskih dolomita. Zaobilaziti će se mostom, a nosivi stubovi trebaju biti bazirani na dolomitu.

Na stacionaži km 1+450 do km 3+800, trasa prolazi unutar dolomita. Masiv prolazi tunelom ispod kote Mejit i Orlovac i proteže se unutar dolomita cijelom svojom dužinom. Dolomiti pripadaju čvrstim stijenskim masama i prema OTU klasifikaciji spadaju u kategoriju "A", s brojčanom vrijednošću 2. Veći rasjed koji se javlja na km 2+500 do km 2+600 vjerovatno je uzrokovao značajnu degradaciju mase stijene i očekuje se detekcija srednje-čvrste stijenske mase, odnosno stijene kategorije "B" prema klasifikaciji OTU.

Od km 3+800 do km 4+500, rijeka Neretva se zaobilazi. Korito je napunjeno krupnim šljunkom i nekoherentnim pijeskom maksimalne debljine 7 m. Brojčana oznaka je 15. Dno se sastoji od dolomita (2).

Od km 4+500 do km 5+450 teren je izgrađen od čvrste stijenske mase – dolomita prekrivenog površinskim mekanim nekoherentnim tlom debljine 1 do 3 m. Dno je od dolomita koji pripada čvrstoj stijenskoj masi (2).

⁹ "ZAGREBINSPEKT" Ltd. MOSTAR, " AUTOCESTA NA KORIDORU Vc - STUDIJA UTJECAJA NA OKOLIŠ Dionica: Konjic (Petlja Ovčari) – Mostar Sjever ", 2016

Od km 5+450 do km 5+800 registrovane su krševite i djelomično aluvijalne naslage, koje spadaju u krupno zrnasto nekoherentno tlo s maksimalnom debljinom od 6 m (14).

Od km 5+800 do km 6+050, teren se sastoji od sedimentnih škriljaca iz perioda ranog trijasa, pjeskovitih vapnenaca i pješčenjaka prekrivenih do 3 m debelim sitnozrnim nekoherentnim tlom. Skup razbijenih fragmenata stijena u podnožju spadaju u polučvrstu podlogu i kategoriju "B" prema klasifikaciji OTU. Brojčana oznaka na IG karti je 12.

Od km 6+050 do km 6+800 teren je izgrađen od miješanog sitnozrnastog i krupnozrnastog tla (14) maksimalne debljine do 7 m.

Od km 7+600 i dalje do sjevernog portala tunela Prenj (T-3), teren je izgrađen od škriljaca iz perioda ranog trijasa (12). Sve do sjevernog portala tunela Prenj teren je izgrađen na području debelih naslaga krupnozrnastog nekoherentnog tla, uglavnom škripastog i ledenjačkog porijekla (14). Debljina ovih slojeva je vrlo velika i (kod ulaznog portala) bušenjem je određena debljina od preko 90 m.

Od južnog portala tunela Prenj (T-3) do stacionaže km 23+250 teren je izgrađen od grubog nekoherentnog tla ledenjačkog i kršnog porijekla i (14) uglavnom je zaobiđen. Debljina ovog nekoherentnog tla vjerovatno je veća od 10 m.

Od km 23+250 do km 26+800 trasa autoceste prolazi kroz čvrste vapnenačke mase (1), kategorije "A" prema OTU. Tunel Gradina na km 23+250 do km 24+050 cijelom svojom dužinom prolazi kroz čvrstu stijenu. Na km 24+130 do km 24+250 i km 25+500 do km 25+750 uglavnom se zaobilaze dva skupa razbijenih fragmenata stijena dugozrnatih nekohezivnih tala, uglavnom vapnenačkog sastava.

Od km 26+800 do km 31+500 trasa prolazi kroz gusta probirna tla (škripce) i deluvijalne naslage Bijelog Polja, nekoherentnog krupnozrnastog materijala uglavnom načinjenog od vapnenca. Procjena je, prema rezultatima lokalnog bušenja, da je debljina ovih slojeva raspona trase veća od 50 m.

Od km 31+350 do km 35+950, trasa prolazi kroz masiv vapnenca od čvrste stijene (1:03). Na ovom dijelu trase kroz čvrstu stijensku masu prolazi tunel Orlov Kuk koji se planira izgraditi u blizini izvorišta Bošnjaci-Potoci.

Istražena područja – osjetljivi prijemnici

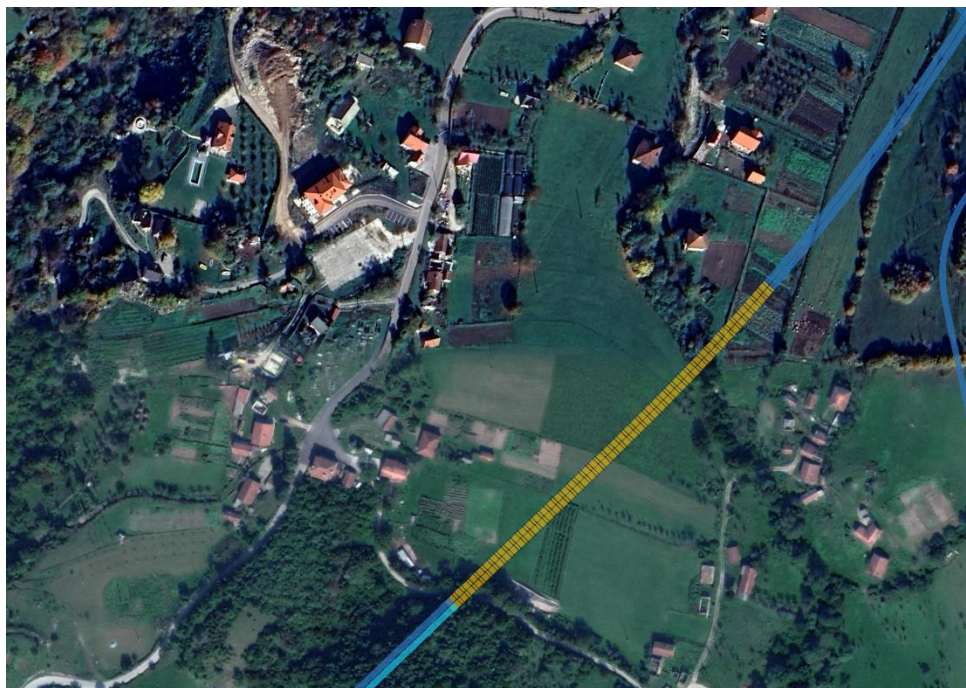
Kombinovanjem lokacija na kojima se očekuju velike emisije vibracija tokom izgradnje (tabela 12-11) s položajem osjetljivih prijemnika, sljedećih 8 žarišnih tačaka, prikazanih na slikama 12-33 do 12-40, je identifikovano za daljnja istraživanja.



Slika 12-33: Vibracijsko žarište #1 – vijadukt 2 i sjeverni portal tunela T-1



Slika 12-34: Vibracijsko žarište #2 – vijadukt 3 i južni portal tunela T-1



Slika 12-35: Vibracijsko žarište #3 – vijadukt južno od Konjic Jug I/C



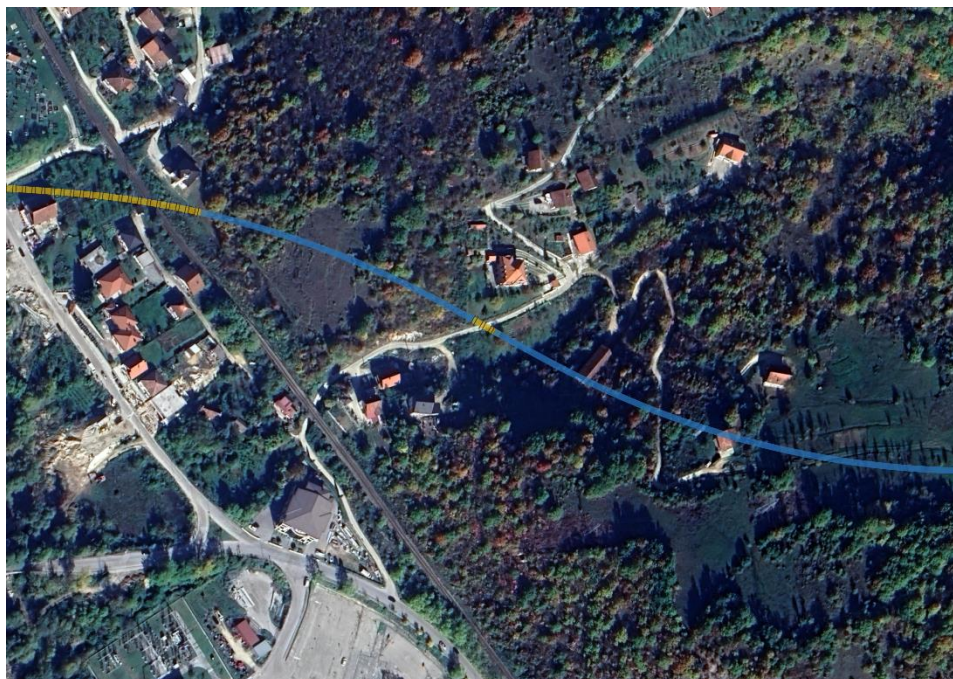
Slika 12-36: Vibracijsko žarište #5– vijadukt ~ 23+600



Slika 12-37: Vibracijsko žarište #6– vijadukt ~ 24+250



Slika 12-38: Vibracijsko žarište #7– vijadukt na 'istočni pristupni put za Konjic Sjever I/C'



Slika 12-39: Vibracijsko žarište #8 – vijadukt na 'Konjic Obilaznica' ~0+760



Slika 12-40: Vibracijsko žarište #9 – most na 'Konjic Obilaznica' ~0+420

12.3.3 Procjena utjecaja vibracija

Metodologija za procjenu vibracija u obližnjim stambenim objektima i drugim osjetljivim zgradama tokom građevinskih radova analizirana je u poglavlju 12.3.2 i rezultat je formule $L_v = L_f + TF + C_{build}$. Ulazni podaci u formuli proizlaze iz emisija vibracija strojeva (poglavlje 12.3.2.2), terenskih mjerenja vibracija odziva tla (poglavlje 12.2) i iz međudjelovanja tla i strukture (SSI) i

prigušenja vibracija unutar zgrada (poglavlje 12.3.2.4). Rezultati su sažeti u nastavku, u usporedbi s ograničenjem od 10 mm/s¹⁰.

Tabela 12-14: Procjene nivoa vibracija unutar zgrada za 12 mjernih mjesta

Pos	Mašine	ppv na 5m [mm/s]	ppv na 10m [mm/s]	ppv na 20m [mm/s]	ppv na 40m [mm/s]
VB1	zabijanje pilota	54.2982	29.9081	13.5814	2.0865
	bušenje, i dr.	26.0597	15.9781	7.0347	1.0288
VB2	zabijanje pilota	54.2982	24.2951	12.0265	6.7905
	bušenje, i dr.	26.0597	11.1951	4.5859	2.2911
VB3	zabijanje pilota	54.2982	27.7777	9.0140	3.5910
	bušenje, i dr.	26.0597	13.5771	4.7475	1.7532
VB4	zabijanje pilota	54.2982	16.0527	4.4029	1.2647
	bušenje, i dr.	26.0597	7.8650	1.7665	0.4690
VB5	zabijanje pilota	54.2982	24.6917	11.0140	3.2404
	bušenje, i dr.	26.0597	12.6539	5.0611	1.3338
VB6	zabijanje pilota	54.2982	25.1679	8.4106	4.0751
	bušenje, i dr.	26.0597	11.9604	3.9294	1.5852
VB7	zabijanje pilota	54.2982	20.2966	5.1334	1.7296
	bušenje, i dr.	26.0597	9.8680	2.4206	0.6873
VB8	zabijanje pilota	54.2982	18.6524	6.5257	1.9467
	bušenje, i dr.	26.0597	9.3248	2.7507	0.7425
VB9	zabijanje pilota	54.2982	24.4838	8.6820	3.5221
	bušenje, i dr.	26.0597	12.1968	3.8482	1.3950
VB10	zabijanje pilota	54.2982	21.9790	6.5232	2.6444
	bušenje, i dr.	26.0597	10.4977	3.0606	1.0387
VB11	zabijanje pilota	54.2982	19.3101	5.4565	1.7918
	bušenje, i dr.	26.0597	9.5429	2.3872	0.6883
VB12	zabijanje pilota	54.2982	21.0030	7.4652	2.5842
	bušenje, i dr.	26.0597	10.4531	3.2217	0.9950

Na osnovu gornjih rezultata, tabela 12-15 predstavlja preporučene sigurnosne udaljenosti za bušenje tunela i temelje mostova u identifikovanim žarištima vibracija.

¹⁰ kao što je spomenuto u poglavlju 12.3.2.1, granica ppv ≤ 10 mm/s je konzervativna vrijednost za strukturna oštećenja iako će se tokom određenih radova osjetiti vibracije unutar zgrada. Međutim, ako se radi o kratkotrajnoj i povremenoj prirodi projekta, ne očekuje se da će izazvati široku smetnju.

Tabela 12-15: Preporučene sigurnosne udaljenosti za obližnje zgrade i građevine

Lokacija	Preporučene sigurnosne udaljenosti za obližnje zgrade i građevine
Vijadukt 2	Zabijanje pilota $\geq 29\text{m}$ Bušenje i ostale građevinske aktivnosti $\geq 17\text{m}$
Tunel 1	Zabijanje pilota $\geq 29\text{m}$ Bušenje i ostale građevinske aktivnosti $\geq 17\text{m}$
Vijadukt 3	Zabijanje pilota $\geq 28\text{m}$ Bušenje i ostale građevinske aktivnosti $\geq 14\text{m}$
Most južno od Konjic Jug I/C	Zabijanje pilota $\geq 20\text{m}$ Bušenje i ostale građevinske aktivnosti $\geq 15\text{m}$
Vijadukt 9	Zabijanje pilota $\geq 28\text{m}$ Bušenje i ostale građevinske aktivnosti $\geq 17\text{m}$
Vijadukt 10	Zabijanje pilota $\geq 23\text{m}$ Bušenje i ostale građevinske aktivnosti $\geq 16\text{m}$
Most na istočnoj pristupnoj cesti za Konjic Sjever I/C	Zabijanje pilota $\geq 16\text{m}$ Bušenje i ostale građevinske aktivnosti $\geq 10\text{m}$
Most na obilaznici Konjic 0+420	Zabijanje pilota $\geq 22\text{m}$ Bušenje i ostale građevinske aktivnosti $\geq 15\text{m}$
Most na obilaznici Konjic 0+760	Zabijanje pilota $\geq 22\text{m}$ Bušenje i ostale građevinske aktivnosti $\geq 15\text{m}$

I na kraju, vezano za fazu sabijanja tla, koja će se desiti na svim lokacijama projekta, predlaže se da se ne koriste teški vibracioni valjci na udaljenosti manjoj od 17 m od bilo kog osjetljivog receptora. Za ova područja moraju se upotrijebiti druge metode sabijanja tla.

Napomena: Postojeći nivoi vibracija, uglavnom cestovnog saobraćaja, imaju zanemariv utjecaj na vibracije. Stoga se kumulativni model vibracija od saobraćaja na cestovnoj mreži i/ili drugih aktivnosti ne uzima u obzir.

Tabela 12-16 u nastavku daje sažetak utjecaja vibracija i procjenu njihovog značaja.

Tabela 12-16: Sažeti prikaz potencijalnih utjecaja vibracija i ocjena njihovog značaja prije ublažavanja

Faza	Vrsta potencijalnog utjecaja	Negativan / pozitivan	Jačina	Osjetljivost	Procjena utjecaja	Značaj (prije mjera ublažavanja)
Vibracije						
Predizgradnja	Nema utjecaja	-	-	-	-	-
Izgradnja	Konstruktivska oštećenja zbog opreme i načina rada uključujući upotrebu eksploziva	Negativan	Umjerena	Srednja	Umjeren	Značajan
Korištenje	Nema utjecaja	-	-	-	-	-

12.4 Mjere ublažavanja i poboljšanja

U prethodnom poglavlju analizirana je procjena očekivanih nivoa vibracija tokom izgradnje za različite faze i lokacije projekta. Postoje tri radnje za koje postoji mogućnost za povećanje vibracija iznad navedenih granica, što dovodi do široke smetnje i pritužbi lokalne zajednice: radovi na zabijanju pilota, radovi na bušenju i iskopu te korištenje teških vibratorskih valjaka za sabijanje tla.

Preporučene sigurnosne udaljenosti su između 16 m i 29 m za zabijanje pilota, između 10 m i 17 m za bušenje i 17 m za rad teških vibracionih valjaka. Detaljniji podaci o sigurnosnim udaljenostima su dati u tabeli 12-15.

Ukoliko su osjetljivi receptori utvrđeni unutar sigurnosnih tampon zona onda treba koristiti druge metode izgradnje, kao što su niskovibracijski akustični zabijači pilota ili prethodno kopanje rupa za pilote, mašine manje snage za kopanje, valjke za sabijanje bez vibracija i ostalo.

Ukoliko se koristi eksploziv za kopanje tunela, isto ograničenje najveće brzine čestice od 10 mm/s se primjenjuje na najbliže osjetljive receptore. Tuneli koji imaju osjetljive prijemnike u blizini su: T1, T2 i T5. Prije izgradnje, izvođač će dostaviti detaljnu studiju koja se bavi zemljištem u svakom području od interesa i eksplozivna punjenja koja namjerava koristiti. Kontrolirane eksplozije bi trebalo izvesti prije izgradnje kao test za potvrdu predviđanja Studije vezanih za nivo vibracija prema receptorima.

Svakako se preporučuje stalni nadzor vibracija tokom građevinskih radova kao i detaljna procjena stanja prije i poslije izgradnje te pregled pukotina za sve postojeće građevine na udaljenosti od 40 m od relevantnih radova.

Također je veoma važno, kako bi se izbjegle žalbe, razgovarati sa potencijalno pogođenim grupama stanovništva. Prije izvođenja bilo kojih aktivnosti koje će neizbježno proizvesti vibracije u blizini receptora koji su osjetljivi na buku i vibracije, oni trebaju biti unaprijed informisani o poslovima koji će se obaviti i očekivanom trajanju.

Sve mašine i oprema se moraju održavati na najvišim nivoima optimalnog rada. Mašine i građevinska operativa (uključujući bagere, drobilice, generatore za utovar/istovar, betonare i dr.) bit će postavljeni što je dalje moguće od područja osjetljivih na buku i vibracije.

U isto vrijeme, potrebno je planirati aktivnosti tako da se izbjegnu utjecaji npr. izbjegavanje istovremenog korištenja/rada opreme koja proizvodi vibracije te ne koristiti istu tokom sati odmora.

Izbor opreme će uzeti u obzir nivo vibracija. Tamo gdje je to moguće koristit će se oprema sa električnim motorom umjesto opreme sa dizel ili benzinskim motorima koja mora biti u skladu sa Direktivom 2000/14/EZ o projektovanoj buci iz građevinskih mašina. Preporučuje se redovno održavanje opreme i vozila u skladu sa preporukama proizvođača. Bilo koji pokvareni dio se mora odmah zamijeniti.

U slučaju pritužbe, izvor prekomjernih vibracija će biti identifikovan i procijenit će se mjere poput lokacije opreme i radnih sati iste.

Podrazumijeva se da će se redovito provjeravati da li se svim instalacijama, mašinama i vozilima upravlja učinkovito i u skladu sa specifikacijama proizvođača, od strane obučenih i kvalifikovanih operatera. Osim povećane sigurnosti, ovaj proces utiče i na pravilno održavanje i tiši rad mašina.

U slučaju da se zadrže sigurnosni odbojnici, vibracije koje se emituju tokom faze izgradnje neće uzrokovati stalne neugodne uslove (ometanja). Uslovi koji će se stvoriti bit će kratkoročni i reverzibilni.