

# PÕHIPROJEKT DPS3 MUUGA-SOODEVAHE

## VIBRATSIOON. MÕJUDE HINNANGU ARUANNE

# MASTER DESIGN DPS3 MUUGA-SOODEVAHE

## VIBRATION IMPACT ASSESSMENT REPORT






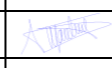
Kaasrahastatav ELi Euroopa  
ühendamise rahastust

Ainuvastutus käesoleva väljaande eest lasub autoril.  
Euroopa Liit ei vastuta selles sisalduva teabe mistahes kasutamise eest.



Co-financed by the Connecting Europe  
Facility of the European Union

The sole responsibility of this publication lies with the author.  
The European Union is not responsible for any use that may be made of the information contained therein.

<p>LEPING Nr. / CONTRACT No. 8/2019/EE-3 PROJEKTI Nr. / PROJECT No. RBDTDEEDS2DPS3</p>  <p>KUJUNDUSE NIMI / DESIGN NAME PROJEKTEERIMIS- JA PROJEKTEERIMISJÄRELEVALVETEENUSED UUE TRASSI EHTUSEKS LÕIGUS TALLINNAST RAPLANI DESIGN AND DESIGN SUPERVISION SERVICES FOR THE CONSTRUCTION OF THE NEW LINE FROM TALLINN TO RAPLA ARHIIV Nr. / ARCHIVE No. P/100687</p>	TELLIJA / CLIENT	KONSULTANT / CONSULTANT	DATA / DATE	2023-11	DOKUMENDI NIMI / DOCUMENT NAME										
	<p>RB Rail AS Satekles iela 2B, Rīga, Latvija, LV-1050 Phone: +371 6696 7171 e-mail: info@railbaltica.org Register code: 40103845025</p>	 <p>IDOM, Consulting, Engineering, Architecture S.A.U. Avenida Zarandoa 23, 48015 Bilbao, Spain Phone: +34 94 479 76 00 e-mail: info@idom.com Register code: A48283964</p>	DOKUMENDI STATUS / DOCUMENT STATUS ESITATUD KINNITAMISEKS / ISSUED FOR APPROVAL			RW0600. RAUDTEE ALATES PRIORITEETLÕIGU ALGUSEST KUNI SAKU KOHALIKU PEATUSENI (0+000-8+650). VIBRATSIOON. MÕJUDE HINNANGU ARUANNE / RW0600. RAILWAY LINE FROM THE BEGINNING OF THE PRIORITY SECTION TO SAKU LOCAL STOP (0+000-8+650). VIBRATION IMPACT ASSESSMENT REPORT									
			KUTSE. / QUALIF.	NIMI / NAME	ALLKIRI / SIGN.	PROJEKTI KOOD / PROJECT CODE	ASUKOHT / LOCATION			DISTSIPLIINI KOOD / DISCIPLINE CODE			EST / ENG		
			KOOSTAJA ORIGINATOR	E. Moreno		PROJEKT ID PROJECT ID	LÕIGU ID SECTION ID	ALALÕIGU ID SUB-SECT. ID	OSA SÜSTEEM VOL. SYST.	TSOON ZONE	ASUKOHT LOCATION	RBR KOOD RBR CODE	KOHALIK KOOD LOCAL CODE	PROJEKTI ETAPP PROJECT STAGE	
			KONTROLLIJA CHECKER	J. Bernabeu		RBDTD-EE	DS2	DPS3	ZZZZ	ZZ	ZZZZ	RW	TR	MD	
ÜLEVAATAJA REVIEWER	A. Martin		DOKUMENDI KOOD / DOCUMENT CODE									LEHEKÜLG / PAGE	LEHED / PAGES	REVISIOON / REVISION	
KOOSKÕLASTAJA APPROVER	E. Rico		RBDTD-EE-DS2-DPS3_IDO_ZZZZ-ZZ_ZZZZ_RP_RW-TR_MD_00007									1	77	002	

**Projekti nimi:** Projekteerimis- ja projekteerimisjärevalve teenus uue trassi ehituseks lõigus Pärnust Raplani




**Project title:** Design and design supervision services for the construction of the new line from Pärnu to Rapla




**Projekteerimisteenused:** Põhiprojekt. DPS3 Muuga-Soodevahe

**Design Service:** Master Design. DPS3 Muuga-Soodevahe

**Dokumendi pealkiri:** RBDTD-EE-DS2-DPS3\_IDO\_ZZZZ-ZZ\_ZZZZ\_RP\_RW-TR\_MD\_00007\_001.docx

**Document title:** RBDTD-EE-DS2-DPS3\_IDO\_ZZZZ-ZZ\_ZZZZ\_RP\_RW-TR\_MD\_00007\_001.docx

Ver.:	Kuupäev:	Dokumendi status:	Koostanud	Kontrollinud	Heaks kiitnud	Vastu võtnud
1	13/11/2023	Esitatud	Enrique Moreno	Jorge Bernabeu	Enrique Rico	
	Allkirjad:					

Rev.:	Date:	Doc Status:	Prepared	Checked	Approved	Accepted
1	13/11/2023	Submitted	Enrique Moreno	Jorge Bernabeu	Enrique Rico	
	Signatures:					

## SISUKORD

1	SISSEJUHATUS .....	7
1.1	ÜLEVAADE .....	7
1.2	LÜHENDID JA AKRONÜÜMID .....	8
1.3	MÕISTED .....	8
1.4	VIITEDOKUMENDID .....	9
2	NÕUDED .....	11
3	PROJEKTI ALUS .....	13
3.1	VEEREMI SIMULATSIOON .....	13
3.2	RÖÖBASTEE DÜNAAMILINE KÄITUMINE .....	14
3.3	VIBRATSIOONI LEVIMINE PINNASE KAUDU .....	15
3.4	VIBRATSIOON HOONETES .....	16
4	ARVUTUSLIKUD PARAMEETRID .....	17
4.1	VEEREM .....	17
4.2	RÖÖBASTEE PEALISEHITIS .....	19
4.3	PINNASE OMADUSED POTENTSIAALSELT TUNDLIKES PIIRKONDADES .....	19
4.4	VIBRATSIOONI EELDUSED .....	28
5	ENNUSTUSTE TULEMUSED .....	29
5.1	PROJEKTEERITAVA RAUDTEE VIBRATSIOONITASEMED .....	29
5.2	OLEMASOLEV JA ESILEKUTSUTUD VIBRATSIOONITASE .....	32
6	JÄRELDUSED .....	34

## LISAD

LISA I. PINNASE ISELOOMUSTUS JA OLEMASOLEVA VIBRATSIOONI MÕÕTMINE

## JOONISED

Joonis 1. Melise (2008) välja töötatud mitmekehalise süsteemi näide dünaamiliseks iseloomustamiseks .....	13
Joonis 2. Rööbastee arvutamise mudeli skeem .....	14
Joonis 3. Veehoidla, Maardu linn, Harju maakond, 74117 .....	21
Joonis 4. Murulaugu, & Kүүslaugu & Porrulaugu, Maardu linn, Harju maakond, 74117 .....	21

PROJEKTI Nr. / PROJECT No. RBDTDEEDS2DPS3  
PÕHIPROJEKT / MASTER DESIGN

## CONTENTS

1.	INTRODUCTION .....	7
1.1	OVERVIEW .....	7
1.2	ABBREVIATIONS AND ACRONYMS .....	8
1.3	TERMS AND DEFINITIONS .....	8
1.4	REFERENCES .....	9
2.	REQUIREMENTS .....	11
3.	DESIGN BASIS .....	13
3.1	ROLLING STOCK SIMULATION .....	13
3.2	DYNAMIC BEHAVIOR OF THE TRACK .....	14
3.3	VIBRATION PROPAGATION THROUGH SOIL .....	15
3.4	VIBRATION WITHIN BUILDINGS .....	16
4.	DESIGN PARAMETERS .....	17
4.1	ROLLING STOCK .....	17
4.2	RAIL SUPERSTRUCTURE .....	19
4.3	SOIL PROPERTIES AT POTENTIAL SENSITIVE AREAS .....	19
4.4	VIBRATIONS ASSUMPTIONS .....	28
5.	RESULTS OF PREDICTIONS .....	29
5.1	DESIGNED RAILWAY VIBRATION LEVELS .....	29
5.2	CURRENT VS INDUCED VIBRATION LEVELS .....	32
6.	CONCLUSIONS .....	34

## APPENDICES

APPENDIX I. SOIL CHARACTERIZATION

## FIGURES

Figure 1. Example of multibody system developed by Melis (2008) for dynamic characterization .....	13
Figure 2. Scheme of track calculation model .....	14
Figure 3. Veehoidla, Maardu linn, Harju maakond, 74117 .....	21
Figure 4. Murulaugu, & Kүүslaugu & Porrulaugu, Maardu linn, Harju maakond, 74117 .....	21
Figure 5. 6, Veneküla tee, Vão, Veneküla, Tallin, Rae vald, Harju maakond, 75325 .....	22

DOKUMENDI KOOD / DOCUMENT CODE	LEHEKÜLG / PAGE	LEHED / PAGES	REVISIOON / REVISION
RBDTD-EE-DS2-DPS3_IDO_ZZZZ-ZZ_ZZZZ_RP_RW-TR_MD_00007	3	77	001

Joonis 5. 6, Veneküla tee, Vão, Veneküla, Tallinn, Rae vald, Harju maakond, 75325.....	22	Figure 6. Lepiku tee, Veneküla, Rae vald, Harju maakond, 75325 .....	22
Joonis 6. Lepiku tee, Veneküla, Rae vald, Harju maakond, 75325.....	22	Figure 7. 6, Varivere tee, Soodevahe küla, Rae vald, Harju maakond, 75322 .....	23
Joonis 7. 6, Varivere tee, Soodevahe küla, Rae vald, Harju maakond, 75322 .....	23	Figure 8. 5, Raudtee, Ülejõe küla, Lagedi, Rae vald, Harju maakond, 75323 .....	23
Joonis 8. 5, Raudtee, Ülejõe küla, Lagedi, Rae vald, Harju maakond, 75323 .....	23	Figure 9. Loss Factor adjustment – Soil test data processed 08-EE2_DPS3 (For illustration only).....	25
Joonis 9. Kaoteguri korrigeerimine – pinnasekatsete andmete töötlemine 08-EE2_DPS3 (ainult illustratsiooniks).....	25	Figure 10. Loss Factor adjustment – Soil test data processed 09-EE2_DPS3 (For illustration only).....	25
Joonis 10. Kaoteguri korrigeerimine – pinnasekatsete andmete töötlemine 09-EE2_DPS3 (ainult illustratsiooniks) .....	25	Figure 11. Loss Factor adjustment – Soil test data processed 11-EE2_DPS3 (For illustration only).....	26
Joonis 11. Kaoteguri korrigeerimine –pinnasekatsete andmete töötlemine 11-EE2_DPS3 (ainult illustratsiooniks) .....	26	Figure 12. Loss Factor adjustment – Soil test data processed 18-EE2_DPS3 (For illustration only).....	26
Joonis 12. Kaoteguri korrigeerimine – pinnasekatsete andmete töötlemine 18-EE2_DPS3 (ainult illustratsiooniks) .....	26	Figure 13. Loss Factor assigned to ground locations – Soil test data processed .....	27
Joonis 13. Pinnasealadele määratud kaotegur – pinnasekatsete andmete töötlemine.....	27	Figure 14. Simulation of the vibration behaviour of HST at 3m from the track (Reference soil).....	29
Joonis 14. Kiirrongi vibratsioonikäitumise simuleerimine rööbasteest 3 m kaugusel (võrdluspinnas ...)	29	Figure 15. Simulation of the vibration behaviour of Freight train at 3m from the track (Reference soil).....	30
Joonis 15. Kaubarongi vibratsioonikäitumise simuleerimine rööbasteest 3 m kaugusel (võrdluspinnas) .....	30	Figure 16. Lav – distance evolution of the most restrictive train (Without correction factors) .....	30
Joonis 16. Lav- kõige piiravama rongi kauguse muutumine (ilma parandusteguriteta).....	30	Figure 17. Lav – Summary of the in situ vibration measurements (12-EE2-DPS3) .....	32
Joonis 17. Lav – kohapealsete vibratsioonimõõtmiste kokkuvõte (12-EE2-DPS3) .....	32	Figure 18. Lav – Summary of the in situ vibration measurements (14-EE2-DPS3) .....	33
Joonis 18. Lav – kohapealsete vibratsioonimõõtmiste kokkuvõte (14-EE2-DPS3) .....	33	Figure 19. Lav – Summary of the in situ vibration measurements (17-EE2-DPS3) .....	33
Joonis 19. Lav – kohapealsete vibratsioonimõõtmiste kokkuvõte (17-EE2-DPS3) .....	33	Figure 20. General view of the studied region .....	37
Joonis 20. Uuritava piirkonna üldvaade .....	37	Figure 21. Relative location of the relevant points for the measurement (dimensions in meters) .....	38
Joonis 21. Vastavate mõõtmispunktide suhteline paiknemine (mõõdud meetrites) .....	38	Figure 22. Evolution of the total vibration levels during a single event .....	39
Joonis 22. Üldise vibratsioonitaseme levik ühe sündmuse korral.....	39	Figure 23. Spectra for the maximum total level instants .....	40
Joonis 23. Maksimaalsete üldise taseme juhtude spektrid.....	40	Figure 24. Location of the measurement 08-EE2_DPS3_G_1.....	41
Joonis 24. Mõõtmise asukoht 08-EE2_DPS3_G_1 .....	41	Figure 25. Location of the measurement 09-EE2_DPS3_G_2.....	42
Joonis 25. Mõõtmise asukoht 09-EE2_DPS3_G_2 .....	42	Figure 26. Location of the measurement 10-EE2_DPS3_G_3.....	42
Joonis 26. Mõõtmise asukoht 10-EE2_DPS3_G_3.....	42	Figure 27. Location of the measurement 11-EE2_DPS3_G_4.....	43
Joonis 27. Mõõtmise asukoht 12-EE2_DPS3_G_4.....	43	Figure 28. Location of the measurement 13-EE2_DPS3_G_5.....	43
Joonis 28. Mõõtmise asukoht 13-EE2_DPS3_G_5.....	43	Figure 29. Location of the measurement 15-EE2_DPS3_G_6.....	44
Joonis 29. Mõõtmise asukoht 15-EE2_DPS3_G_6.....	44	Figure 30. Location of the measurement 18-EE2_DPS3_G_8.....	44
Joonis 30. Mõõtmise asukoht 18-EE2_DPS3_G_8.....	44	Figure 31. Measurement setup at 08-EE2_DPS3_G_2 .....	46
Joonis 31. Mõõtesüsteem punktis 08-EE2_DPS3_G_2 .....	46	Figure 32. Measurement setup at 09-EE2_DPS3_G_2 .....	47
Joonis 32. Mõõtesüsteem punktis 09-EE2_DPS3_G_2 .....	47	Figure 33. Measurement setup at 10-EE2_DPS3_G_3 .....	48
Joonis 33. Mõõtesüsteem punktis 10-EE2_DPS3_G_3 .....	48	Figure 34. Measurement setup at 11-EE2_DPS3_G_4 .....	49
Joonis 34. Mõõtesüsteem punktis 11-EE2_DPS3_G_4 .....	49	Figure 35. Measurement setup at 13-EE2_DPS3_G_5 .....	50
Joonis 35. Mõõtesüsteem punktis 13-EE2_DPS3_G_5 .....	50	Figure 36. Measurement setup at 15-EE2_DPS3_G_6 .....	51
Joonis 36. Mõõtesüsteem punktis 15-EE2_DPS3_G_6 .....	51	Figure 37. Measurement setup at 18-EE2_DPS3_G_8 .....	52
Joonis 37. Mõõtesüsteem punktis 18-EE2_DPS3_G_8 .....	52	Figure 38. Vibration spectra analyser .....	54
Joonis 38. Vibratsioonispektri analüsaator.....	54	Figure 39. Values of the $\alpha$ coefficient at location 08-EE2_DPS3_G-1.....	56
		Figure 40. Values of the mean spectra in the vertical direction at 08-EE2_DPS3_G-1 .....	57
		Figure 41. Values of the mean spectra in the transversal direction at 08-EE2_DPS3_G-1 .....	57
		Figure 42. Values of the mean spectra in the longitudinal direction at 08-EE2_DPS3_G-1 .....	58

Joonis 39. $\alpha$ teguri väärtused asukohas 08-EE2_DPS3_G-1 .....	56
Joonis 40. Keskmiste spektrite väärtused vertikaalsuunas punktis 08-EE2_DPS3_G-1 .....	57
Joonis 41. Keskmiste spektrite väärtused ristsuunas punktis 08-EE2_DPS3_G-1 .....	57
Joonis 42. Keskmiste spektrite väärtused pikisuunas punktis 08-EE2_DPS3_G-1 .....	58
Joonis 43. $\alpha$ teguri väärtused asukohas 09-EE2_DPS3_G-2 .....	58
Joonis 44. Keskmiste spektrite väärtused vertikaalsuunas punktis 09-EE2_DPS3_G-2 .....	59
Joonis 45. Keskmiste spektrite väärtused ristsuunas punktis 09-EE2_DPS3_G-2 .....	59
Joonis 46. Keskmiste spektrite väärtused pikisuunas punktis 09-EE2_DPS3_G-2 .....	60
Joonis 47. $\alpha$ teguri väärtused asukohas 10-EE2_DPS3_G-3 .....	60
Joonis 48. Keskmiste spektrite väärtused vertikaalsuunas punktis 10-EE2_DPS3_G-3 .....	61
Joonis 49. Keskmiste spektrite väärtused ristsuunas punktis 10-EE2_DPS3_G-3 .....	61
Joonis 50. Keskmiste spektrite väärtused pikisuunas punktis 10-EE2_DPS3_G-3 .....	62
Joonis 51. $\alpha$ teguri väärtused asukohas 11-EE2_DPS3_G-4 .....	62
Joonis 52. Keskmiste spektrite väärtused vertikaalsuunas punktis 11-EE2_DPS3_G-4 .....	63
Joonis 53. Keskmiste spektrite väärtused ristsuunas punktis 11-EE2_DPS3_G-4 .....	63
Joonis 54. $\alpha$ teguri väärtused asukohas 13-EE2_DPS3_G-5 .....	64
Joonis 55. Keskmiste spektrite väärtused vertikaalsuunas punktis 13-EE2_DPS3_G-5 .....	64
Joonis 56. Keskmiste spektrite väärtused ristsuunas punktis 13-EE2_DPS3_G-5 .....	65
Joonis 57. Keskmiste spektrite väärtused pikisuunas punktis 13-EE2_DPS3_G-5 .....	65
Joonis 58. $\alpha$ teguri väärtused asukohas 15-EE2_DPS3_G-6 .....	66
Joonis 59. Keskmiste spektrite väärtused vertikaalsuunas punktis 15-EE2_DPS3_G-6 .....	66
Joonis 60. Keskmiste spektrite väärtused ristsuunas punktis 15-EE2_DPS3_G-6 .....	67
Joonis 61. Keskmiste spektrite väärtused pikisuunas punktis 15-EE2_DPS3_G-6 .....	67
Joonis 62. $\alpha$ teguri väärtused asukohas 18-EE2_DPS3_G-8 .....	68
Joonis 63. Keskmiste spektrite väärtused vertikaalsuunas punktis 18-EE2_DPS3_G-8 .....	68
Joonis 64. Keskmiste spektrite väärtused ristsuunas punktis 18-EE2_DPS3_G-8 .....	69
Joonis 65. Keskmiste spektrite väärtused pikisuunas punktis 18-EE2_DPS3_G-8 .....	69
Joonis 66. Mõõtmise asukoht 12-EE2_DPS3_V_1 .....	72
Joonis 67. Mõõtmise asukoht 14-EE2_DPS3_V_2 .....	73
Joonis 68. Mõõtmise asukoht 14-EE2_DPS3_V_2 .....	74

## TABELID

Tabel 1. Vibratsiooni piirväärtused (sotsiaalministri määrus RLT 2002, 62, 931) .....	12
Tabel 2. Vibratsioon hoonetes .....	16
Tabel 3. Kiirrongi parameetrid .....	18

Figure 43. Values of the $\alpha$ coefficient at location 09-EE2_DPS3_G-2 .....	58
Figure 44. Values of the mean spectra in the vertical direction at 09-EE2_DPS3_G-2 .....	59
Figure 45. Values of the mean spectra in the transversal direction at 09-EE2_DPS3_G-2 .....	59
Figure 46. Values of the mean spectra in the longitudinal direction at 09-EE2_DPS3_G-2 .....	60
Figure 47. Values of the $\alpha$ coefficient at location 10-EE2_DPS3_G-3 .....	60
Figure 48. Values of the mean spectra in the vertical direction at 10-EE2_DPS3_G-3 .....	61
Figure 49. Values of the mean spectra in the transversal direction at 10-EE2_DPS3_G-3 .....	61
Figure 50. Values of the mean spectra in the longitudinal direction at 10-EE2_DPS3_G-3 .....	62
Figure 51. Values of the $\alpha$ coefficient at location 11-EE2_DPS3_G-4 .....	62
Figure 52. Values of the mean spectra in the vertical direction at 1011-EE2_DPS3_G-4 .....	63
Figure 53. Values of the mean spectra in the transversal direction at 11-EE2_DPS3_G-4 .....	63
Figure 54. Values of the $\alpha$ coefficient at location 13-EE2_DPS3_G-5 .....	64
Figure 55. Values of the mean spectra in the vertical direction at 13-EE2_DPS3_G-5 .....	64
Figure 56. Values of the mean spectra in the transversal direction at 13-EE2_DPS3_G-5 .....	65
Figure 57. Values of the mean spectra in the longitudinal direction at 13-EE2_DPS3_G-5 .....	65
Figure 58. Values of the $\alpha$ coefficient at location 15-EE2_DPS3_G-6 .....	66
Figure 59. Values of the mean spectra in the vertical direction at 15-EE2_DPS3_G-6 .....	66
Figure 60. Values of the mean spectra in the transversal direction at 15-EE2_DPS3_G-6 .....	67
Figure 61. Values of the mean spectra in the longitudinal direction at 15-EE2_DPS3_G-6 .....	67
Figure 62. Values of the $\alpha$ coefficient at location 18-EE2_DPS3_G-8 .....	68
Figure 63. Values of the mean spectra in the vertical direction at 18-EE2_DPS3_G-8 .....	68
Figure 64. Values of the mean spectra in the transversal direction at 18-EE2_DPS3_G-8 .....	69
Figure 65. Values of the mean spectra in the longitudinal direction at 18-EE2_DPS3_G-8 .....	69
Figure 66. Location of the measurement 12-EE2_DPS3_V_1 .....	72
Figure 67. Location of the measurement 14-EE2_DPS3_V_2 .....	73
Figure 68. Location of the measurement 17-EE2_DPS3_V_3 .....	74

## TABLES

Table 1 Vibration limits values (RLT 2002, 62, 931 of the Minister of Social Affairs) .....	12
Table 2 Vibration within buildings .....	16
Table 3 High speed train parameters .....	18
Table 4 Freight train parameters (RIVAS, 2012) .....	19
Table 5 Sensitive areas .....	20
Table 6 Measurements locations .....	24
Table 7 Loss Factor assigned to ground locations – Soil test data processed .....	27

Tabel 4. Kaubarongi parameetrid (RIVAS, 2012).....	19	Table 8 Vibration measurement location .....	28
Tabel 5. Tundlikud alad.....	20	Table 9 Maximum and minimum vibration levels measured at sensitive areas .....	28
Tabel 6. Mõõtmiste asukohad.....	24	Table 10 Compliance distance of the vibration regulation.....	31
Tabel 7. Pinnasealadele määratud kaotegur - pinnasekatsete andmete töötlemine.....	27	Table 11 Information and locations of the measurement locations .....	41
Tabel 8. Vibratsiooni mõõtmiskoht.....	28	Table 12 Buildings information .....	45
Tabel 9. Tundlikes piirkondades mõõdetud maksimaalne ja minimaalne vibratsioonitase.....	28	Table 13 Existing vibration sources .....	45
Tabel 10. Vibratsiooni reguleerimise nõuetelevastav kaugus.....	31	Table 14 Accelerometers information .....	53
Tabel 11. Mõõtmiste andmed ja asukohad.....	41	Table 15 Triaxial accelerometer information.....	54
Tabel 12. Hoonete andmed.....	45	Table 16 Values of the $\alpha$ coefficient (1/2) .....	55
Tabel 13. Praegused vibratsiooniallikad.....	45	Table 17 Values of the $\alpha$ coefficient (2/2) .....	56
Tabel 14. Kiirendusmõõturite andmed .....	53	Table 18 Information and locations of the current railway line .....	71
Tabel 15. Kolmeteljelise kiirendusmõõturi andmed .....	54	Table 19 Distances of accelerometers to the nearest axis of the railway track .....	71
Tabel 16. $\alpha$ teguri väärtused (1/2).....	55	Table 20 Results for 12-EE2_DPS3_v_1.....	75
Tabel 17. $\alpha$ teguri väärtused (2/2).....	56	Table 21 Results for 14-EE2_DPS3_v_2.....	75
Tabel 18. Olemasoleva raudteeliini teave ja asukohad .....	70	Table 22 Results for 17-EE2_DPS3_v_3.....	76
Tabel 19. Kiirendusmõõturite kaugused lähimast raudtee teljest.....	71		
Tabel 20. 12-EE2_DPS3_v_1 tulemused.....	75		
Tabel 21. 14-EE2_DPS3_v_2 tulemused.....	75		
Tabel 22. 17-EE2_DPS3_v_3 tulemused.....	76		

## 1 SISSEJUHATUS

### 1.1 ÜLEVAADE

Käesolev dokument sisaldab uue Tallinn-Rapla raudteeliini ehitamiseks koostatud põhiprojekti (projekt RBDTDEEDS2DPS3) etapis läbi viidud projekti prioriteetse lõigu 3 (DPS3) vibratsiooni mõjude hinnangu aruannet.

Selle uuringu eesmärgiks on teha kindlaks raudteed ümbritsevas keskkonnas tekkiv vibratsioon ja kavandada vajadusel vajalikud vibratsiooni leevendusmeetmed. Seega on selle uuringu tulemuseks projekteeritava raudtee poolt tundlikele hoonetele tekitatavate vibratsioonitasemete kindlakstegemine ja vibratsiooni leevendusmeetmete kavandamine.

Nii on võimalik kindlaks määrata uue projekteeritava raudteeliini mõju võrreldes olemasoleva olukorraga.

Vibratsiooniuring koosneb järgnevatest osadest:

- ehitusuuringud (SI)
  - tegelik aruanne: sisaldab ainult SI tulemusi, mitte nende tõlgendusi või vibratsiooni mõju hinnangulisi prognoose. Mõõtmised hõlmavad nii pinnases levimise kirjeldust kui ka vibratsioonitasemeid käesoleva projekti alla kuuluvates tundlikes piirkondades. See teave esitatakse käesoleva dokumendi lisas I.
- vibratsiooni mõju hindamise aruanne
  - Tulevase raudtee tekitatava vibratsiooni prognoosimine kohapealsete uuringute sisendeid mudeli piires arvesse võttes. Selles dokumendis on välja toodud järeldused vibratsiooni leevendusmeetmete rakendamise vajaduse kohta.

Selle eesmärgi saavutamiseks on kehtestatud kohalike õigusaktidega kehtestatud vibratsiooninõuded. Seejärel analüüsitakse kohalike vibratsiooninõudeid ja vibratsiooni ennustumudeli tulemusi võrreldes vibratsiooni leevendusmeetmete võtmise vajadust. Lõpuks, kui tundlikku piirkonda mõjutavad ka olemasolevad vibratsiooniallikad, võrreldakse olemasolevaid vibratsioonitasemeid projekteeritava raudtee põhjustatud tasemetega. Mudel põhineb veeremi omaduste, konkreetsete raudteelõigu eripära, pinnase levimisomaduste ja tundlike hoonete omaduste arvestamisel. Nendes kohtades, kus vibratsiooni leevendusmeetmete võtmine on vajalik, kavandatakse need vastavalt tehnilistele ja majanduslikele kriteeriumitele.

Vibratsiooni hindamise valdkonnas puudub analüüsi läbiviimiseks standardiseeritud ennustumudel ja seetõttu pole ka spetsiaalset kommertstarkvara, mis võimaldaks vibratsioonimõjude prognoosivat hindamist. Need põhjused on ajendanud IDOMi välja töötama oma tööriista, mis sisaldab kõige otstarbekamat tunnustatuimast rahvusvahelisest teaduskirjandusest leitavat meetodikat ning sisaldab ka standarditega ISO-2631 ja DIN-4150 kehtestatud nõudeid ja toiminguid.

Selle analüüsi jaoks valitud vibratsioonimudel on mitme arvutusmeetodi kombinatsioon ning seda kirjeldatakse alljärgnevates peatükkides. Mudel sisaldab järgmist:

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 OVERVIEW

This document makes up the vibration assessment analysis of the Master Design stage for the Design Priority Section 3 (DPS3) for the design of the new line from Tallinn to Rapla (Project RBDTDEEDS2DPS3).

The purpose of this study is to determine the vibration induced by the railway in its surrounding and, if needed, design the required vibration mitigation measures. Therefore, the result of this study is the vibration levels generated by the designed railway at sensitive buildings and the design of the vibration mitigation measures.

Therefore, it will be possible to determine the impact of the new designed railway line comparing to the current situation.

The vibration study is composed by the following parts:

- Site Investigations (SI)
  - Factual report: it contains only the results of the SI, neither the interpretation of them or the vibration impact assessment prediction. The measures cover both the ground propagation characterization and the vibration levels at the sensitive areas which are inside the scope of this project. This information is included in the Appendix I of this document.
- Vibration impact assessment report
  - Prediction of the induced vibration by the future railway considering the inputs from the SI within the model. The conclusions about the need of vibration mitigation measured are presented in this document

To achieve that goal, the vibration requirements established by the local legislation are set. Afterwards, the need of vibration mitigation measures is analysed by the comparison between the local vibration requirements and the results of the vibration prediction model. Finally, if a sensitive area is also affected by current vibration sources, a comparison between the current vibration levels and those induced by the designed railway are compared. The model is based on the consideration of the characteristics of the rolling stock, the specific track sections, the soil propagation properties and the characteristics of the sensitive buildings. In those places where a vibration mitigation measure is needed, it is designed according to technical and economic criteria.

In the field of vibrations assessment, there is no standardized prediction model to carry out the analysis, and therefore, there is no specialized commercial software to carry out predictive vibration impact assessments. These reasons have led IDOM to develop its own tool, which includes the most useful methodology that can be found in the most acceptable international scientific literature and include also the requirements and procedures established by ISO-2631 and by DIN-4150.

The vibration model selected for this analysis is a combination of several calculation methods, as it will be described in the following sections. The model includes:

DOKUMENDI KOOD / DOCUMENT CODE	LEHEKÜLG / PAGE	LEHED / PAGES	REVISIOON / REVISION
RBDTD-EE-DS2-DPS3_IDO_ZZZZ-ZZ_ZZZZ_RP_RW-TR_MD_00007	7	77	001

- „analüütilised mudelid”, et määratleda veeremi dünaamiline kirjeldus, rööbastee käitumine ja pinge levimine platvormis;
- „empiiriline ja poolanalüütiline mudel”, et määrata vibratsiooni levimine pinnases;
- „statistilised mudelid“ maapinnal tekkinud müra määratlemiseks hoonetes.

Viimaste hulgas on esile tõstetud Melise (2008), Esveldi (2001) ja Barkani (1962) pakutavad mudelid või lihtsustatud meetod (FTA/FRA 2012). Mudeli sisendandmed põhinevad olemasoleva projekti väljatöötamisel. Kui teave pole kättesaadav, tehakse eeldused konservatiivse kriteeriumi alusel.

Üldtulemusena on seal kuni kaheksa tundlikku piirkonda umbes 100 m raadiuses mõlemal pool rööbasteed (-0+250–10+000). Nendes hoonetes on raudtee põhjustatud vibratsioonitasemed kõik nõutavates piirides. Järelikult pole sellel projekti prioriteetsel lõigul vaja vibratsiooni leevendavaid meetmeid rakendada.

## 1.2 LÜHENDID JA AKRONÜÜMID

DIN	Deutsches Institut für Normung (Saksamaa Standardimisinstituut)
FTA	Ameerika Ühendriikide föderaalne transiidiamet
FRA	Föderaalne raudteeamet
HST	Kiirrong
ISO	Rahvusvaheline Standardiorganisatsioon
N/A	Ei kohaldata
RIVAS	Raudtee põhjustatud vibratsiooni vähendamise lahendused - koostööprojekt
ToR	Rööpa ülaosa

## 1.3 MÕISTED

Mõjutatud piirkonnad	Tundlikud alad, kus raudtee tekitatud vibratsiooni tase ületab nõutavaid vibratsiooni piirmäärasid. Seega rakendatakse vibratsiooni leevendavaid meetmeid.
Detsibellid (dB)	See on logaritmiline skaala heli/vibratsiooni amplituudi kirjeldamiseks. Bel on kahe akustilise suuruse suhte logaritm, väljendatuna võimsusena ja detsibell on 1/10 bel.
Sagedus	Perioodilise signaali võnkumise kiiruse või kiiruse mõõt, väljendatuna tsüklites sekundi kohta või Hz. Heli-ja vibratsiooni puhul väljendatakse suurus tavaliselt sagedusribades (1/1 oktaavi või 1/3 oktaavi).

- “Analytical models” to define dynamic characterization of rolling stock, track behavior and platform stress propagation.
- “Empirical and semi-analytical model” to define vibration ground propagation.
- “Statistical models” to define ground borne noise in buildings.

Amongst the latter, models proposed by Melis (2008), Esveld (2001) and Barkan (1962) or the simplified method (FTA/FRA 2012) have been highlighted. Input data to feed model are based on current design development. Where information is not available, assumptions will be made based on a conservative criterion.

As a global result, there is up to 8 sensitive area, within the approximate range of 100m both sides of the track (-0+250 to 10+000). The vibration levels induced by the railway at these buildings are all under the required limits. Consequently, there is no need of vibration mitigation measures along this DPS.

## 1.2 ABBREVIATIONS AND ACRONYMS

DIN	Deutsches Institut für Normung (German Institute for Standardization)
FTA	Federal Transit Administration of United State of America
FRA	Federal Railroad Administration
HST	High Speed Train
ISO	International Organization for Standardization
N/A	Not Applicable
RIVAS	Railway Induced Vibrations Abatement Solutions – Collaborative Project
ToR	Top of Rail

## 1.3 TERMS AND DEFINITIONS

Affected areas	Sensitive areas where the vibrations levels induced by the railway exceed the required vibrations limits. Hence, vibration mitigation measures are applied.
Decibels (dB)	It is a logarithmic scale to describe the amplitude of the sound/vibrations. The bel is logarithm of the ratio of the two acoustic quantities expressed in the form of power and decibel is 1/10 bel.
Frequency	The measure of the rapidity or speed of fluctuations of a periodic signal, expressed in cycles per second or Hz. In sound and vibration matters, magnitudes are usually expressed on frequency bands (1/1 octaves or 1/3 octaves).



Tundlikud alad	Piirkonnad, mida raudtee tekitatud vibratsioon võib mõjutada. Seetõttu viiakse läbi pinnaseuuringud, et selgitada välja pinnase omadused seoses vibratsiooni levimisega. Tundlikeks aladeks peetakse kõiki sotsiaalministri RLT 2002, 62, 931 määruses esitatud ehitisi ja ruume, mis asuvad umbes 100 m kaugusel mõlemal pool raudteed. Üks tundlik ala võib koosneda ühest hoonest või hoonete rühmast. Kui tundlik ala on mõjutatud olemasolevast vibratsioonist, viiakse lisaks pinnase iseloomustusele läbi olemasoleva vibratsiooni mõõtmised.
Pinnase iseloomustus	Vibratsiooni leviku mõõtmise katseprotseduur seisneb põhimõtteliselt haamrilöögi või raskuse langetamises maapinnale ning maapinnale avalduva jõu ja reaktsiooni mõõtmises erinevatel kaugustel löögikohast. Katse eesmärk on luua vibratsioonimpulsse, mis liiguvad allikast vastuvõtjani, kasutades sama teed, mida läbib transiidisüsteemi vibratsioon. Ülekande mobiilsus väljendab suhet sisendvibratsiooni ja maapinna vibratsiooni vahel.
Olemasoleva vibratsiooni mõõtmised	Katsemenetlus olemasolevate vibratsioonitasemete mõõtmiseks tundlikel aladel, mida mõjutab mõni olemasolev vibratsiooniallikas.
Heli	Heli on vibratsioonihäire, mis ergastab kuulmismehhanisme, ja mis edastatakse ettearvataval viisil vastavalt keskkonnale, mille kaudu see levib. Selleks, et see oleks kuuldav, peab häire jääma sagedusvahemikku 20 Hz kuni 20 000 Hz.
Ülekandumise mobiilsus	Ülekandumise mobiilsus on sageduse ja kauguse (allikast) funktsioon. Punktallika ülekandumise mobiilsust kasutatakse lühikese pikkusega allikate jaoks, näiteks üksikud sõidukid või sambad, mis toetavad tõstetud ehitisi.
Vibratsioon	Vibratsioon on mehaaniline laine, mis on seotud võnkumisega, mida see materjali abil levitas. Võnkumised võivad olla perioodilised või juhuslikud ja sarnaselt heliga on sagedusel suur tähtsus. Kõige tavalisem kasutusala on vahemikus 1Hz kuni 80Hz või 125Hz. Kõige tajutavam siseruumides tekkiv vibratsioon on põhjustatud hoone sees olevatest allikatest, nagu mehaaniliste seadmete töö, inimeste liikumine või uste paugutamine.

Sensitive areas	Areas that could be affected by the vibrations generated by the railway. Therefore, ground investigations are carried out to characterize the soil properties regarding the vibration's propagation. They are considered as sensitive areas all the buildings and premises presented in the RLT 2002, 62, 931 of the Minister of Social Affairs which are in a range of around 100m both sides of the railway line. One sensitive area can be composed by either one building or a group of buildings. In addition to ground characterization, if the sensitive area is affected by current vibrations, current vibration measurements are carried out.
Soil characterization	The test procedure to measure vibration transfer mobility, basically consists of using an impact hammer or dropping a heavyweight on the ground and measuring the force into the ground and the response at several distances from the impact. The goal of the test is to create vibration pulses that travel from the source to the receiver using the same path that will be taken by the transit system vibration. The transfer mobility expresses the relationship between the input vibration and the ground-surface vibration.
Current vibrations measurements	The test procedure to measure the current vibration levels at sensitive areas which are affected by an existing vibrations source.
Sound	Sound is vibrational disturbance, exciting hearing mechanisms, transmitted in a predictable manner determined by the medium through which it propagates. To be audible the disturbance must fall within the frequency range 20Hz to 20,000Hz.
Transfer mobility	The transfer mobility is a function of both frequency and distance from the source. Point-source transfer mobility is used for sources with short lengths, such as single vehicles or columns supporting elevated structures.
Vibration	Vibration is a mechanical wave related to oscillations phenomena that it propagated by material. The oscillations may be periodic or random and like sound, the frequency domain has a great importance. The most common range of use is between 1Hz to 80Hz or 125Hz. Most perceptible indoor vibration is caused by sources within a building such as the operation of mechanical equipment, movement of people, or slamming of doors.

## 1.4 VIITEDOKUMENDID

### 1.4.1 SEONDUVAD DOKUMENDID

- [1]. Rail Baltica: raudtee opereerimiskava koostamine. Uuringu lõpparuanne (15. november 2018)
- [2]. Projekteerimisjuhise: Üldised nõuded RBDG-MAN-012-0109.
- [3]. Projekteerimisjuhise: Raudtee pealisehitis rööbastega. RBDG-MAN-014-0101.

## 1.4 REFERENCES

### 1.4.1 RELATED DOCUMENTS

- [1]. Rail Baltica: Preparation of the Operational Plan of the Railway. Final Study Report (15<sup>th</sup> November (2018)
- [2]. Design guidelines: General requirements RBDG-MAN-012-0109
- [3]. Design guidelines: Railway Superstructure – Track RBDG-MAN-014-0101

#### 1.4.2 STANDARDID

DIN 4150-1	Struktuuri tekitatav vibratsioon. Põhimõtted ja vibratsiooni parameetrite mõõtmine.
DIN 4150-2	Struktuuri tekitatav vibratsioon. Inimeste kokkupuude vibratsiooniga hoonetes.
DIN 4150-3	Struktuuri tekitatav vibratsioon. Vibratsiooni mõju ehitistele.
ISO 2631-1	Mehaaniline vibratsioon ja löök. Inimeste kokkupuute hindamine kogu keha mõjutava vibratsiooniga. Üldnõuded
ISO 2631-2	Mehaaniline vibratsioon ja löök. Inimeste kokkupuute hindamine kogu keha mõjutava vibratsiooniga. Vibratsioon hoonetes (1 Hz kuni 80 Hz)
Sotsiaalministri määrus 2002, 62, 931	Vibratsiooni piirväärtused elamutes ja ühiskasutusega hoonetes ning vibratsiooni mõõtmise meetodid

#### 1.4.3 VIIDATUD KIRJANDUS

Barkan, D.D. (1962). *Dynamics of bases and foundations*

Bedford, A. and Drumheller, D.S. (1996). Introduction to elastic wave propagation, *John Wiley & Sons*. Hoboken, USA

D'Avillez, Jorge, 2013. Routine procedure for the assessment of rail-induced vibration. Thesis. Loughborough University.

Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track, MRT-Productions*. The Netherlands.

Ewing, W.M., Jardetzky, W.S and Press, F. (1657). *Elastic waves in layered media*. MacGraw-Hill, New York, USA.

FRA-US DOT, 2012. High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment. Harris Miller Miller & Hanson, Inc.

Fryba, L. (1999). *Vibration of Solids and Structures under Moving Load*. London.

Melis, M. (2008). *Apuntes de introducción a la dinámica vertical de la vía ya las señales digitales en ferrocarriles*. Universidad Politécnica de Madrid—Cátedra de Ferrocarriles, Madrid.

MILLER, G. F., PURSEY, H. and BULLARD, Edward Crisp, 1955. On the partition of energy between elastic waves in a semi-infinite solid. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences. 6 December 1955. Vol. 233, no. 1192, p. 55–69.

RIVAS (2012) *Train Induced Ground Vibration - characterization of vehicle parameters from test data and simulations. Deliverable 5.2. RIVAS\_UIC\_WP5\_D5\_2\_V01*. International Union of Railways (UIC).

Timoshenko, S., Young, D. H. and Weaver W., (1954). *Vibration Problems in Engineering, John Wiley & Sons*.

#### 1.4.2 STANDARDS

DIN 4150-1	Structural vibration – Principles and measurement of vibration parameters.
DIN 4150-2	Structural vibration – Human exposure to vibration in buildings.
DIN 4150-3	Structural vibration – Effects of vibration on structures.
ISO 2631-1	Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – General requirements
ISO 2631-2	Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)
RLT 2002, 62, 931 of the Minister of Social Affairs	Vibration limits in residential and communal buildings and methods for measuring vibration

#### 1.4.3 BIBLIOGRAPHY

Barkan, D.D. (1962). *Dynamics of bases and foundations*

Bedford, A. and Drumheller, D.S. (1996). Introduction to elastic wave propagation, *John Wiley & Sons*. Hoboken, USA

D'Avillez, Jorge, 2013. Routine procedure for the assessment of rail-induced vibration. Thesis. Loughborough University.

Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track, MRT-Productions*. The Netherlands.

Ewing, W.M., Jardetzky, W.S and Press, F. (1657). *Elastic waves in layered media*. MacGraw-Hill, New York, USA.

FRA-US DOT, 2012. High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment. Harris Miller Miller & Hanson, Inc.

Fryba, L. (1999). *Vibration of Solids and Structures under Moving Load*. London.

Melis, M. (2008). *Apuntes de introducción a la dinámica vertical de la vía ya las señales digitales en ferrocarriles*. Universidad Politécnica de Madrid—Cátedra de Ferrocarriles, Madrid.

MILLER, G. F., PURSEY, H. and BULLARD, Edward Crisp, 1955. On the partition of energy between elastic waves in a semi-infinite solid. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences. 6 December 1955. Vol. 233, no. 1192, p. 55–69.

RIVAS (2012) *Train Induced Ground Vibration - characterization of vehicle parameters from test data and simulations. Deliverable 5.2. RIVAS\_UIC\_WP5\_D5\_2\_V01*. International Union of Railways (UIC).

Timoshenko, S., Young, D. H. and Weaver W., (1954). *Vibration Problems in Engineering, John Wiley & Sons*.

Yang, CY. (1986). Random Vibration of Structures. *John Wiley & Sons*. London.

#### 1.4.4 LINGID

Kodulehekülg 1 [https://www.renfe.com/viajeros/nuestros\\_trenes/alvias130\\_ficha.html](https://www.renfe.com/viajeros/nuestros_trenes/alvias130_ficha.html)

## 2 NÕUDED

Eestis on vibratsiooninõuded kehtestatud sotsiaalministri määrusega RLT 2002, 62, 931.

Selle määrusega kehtestatakse inimeste tervisekahjustuste ja ebameeldivate aistingute vältimiseks üldvibratsiooni piirväärtused elamutes ja ühiskasutusega hoonetes ning vibratsiooni mõõtmise meetodid.

Määruses kasutatavate terminite sisu seletatakse järgmiselt:

- vibrokiirendus ( $\alpha$ ): vektoriaalne suurus, mis iseloomustab vibratsiooni kiiruse muutumist ajas, väljendatakse parameetri ruutkeskmise väärtusega,  $m/s^2$
- sagedus-korrigeeritud vibrokiirendus ( $\alpha_w$ ): vibrokiirenduse ruutkeskmine väärtus, arvutatakse valemi järgi:

$$\alpha_w = \left[ \sum_i (w_i * \alpha_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{eq. (1)}$$

Kus:

- $\alpha_w$  on sagedus-korrigeeritud vibrokiirendus [ $m/s^2$ ]
  - $w_i$  on i-nda 1/3-oktaavriba kaalufaktor ISO 2631-1 järgi;
  - $\alpha_i$  on vibrokiirenduse ruutkeskmine väärtus 1/3-oktaavribas [ $m/s^2$ ]
- Vibrokiirenduse tase ( $L_\alpha$ ): kiirendus lävisuuruse suhtes detsibellides (dB), mis arvutatakse järgmise valemi abil:

$$L_\alpha = 20 * \lg \frac{\alpha}{\alpha_0} \quad \text{eq. (2)}$$

Kus:

- $L_\alpha$ : on kiirendus lävisuuruse suhtes detsibellides (dB)
- $\alpha$  vibrokiirenduse väärtus [ $m/s^2$ ]
- $\alpha_0$  vibrokiirenduse lävisuurus:  $1 \times 10^{-6}$  [ $m/s^2$ ]

Yang, CY. (1986). Random Vibration of Structures. *John Wiley & Sons*. London.

#### 1.4.4 LINKS

Website 1 [https://www.renfe.com/viajeros/nuestros\\_trenes/alvias130\\_ficha.html](https://www.renfe.com/viajeros/nuestros_trenes/alvias130_ficha.html)

## 2. REQUIREMENTS

Vibration requirements in Estonia are introduced by the regulation RLT 2002, 62, 931 of the Minister of Social Affairs.

This Regulation establishes limit values for overall vibration in dwellings and common buildings and methods of measuring vibration to prevent damage to human health and nuisance.

The main terms used in this Regulation are explained as follow:

- Vibration acceleration ( $\alpha$ ): vector size which represents the change in the velocity of vibration over time, expressed as a root mean square of the parameter [ $m/s^2$ ]
- Frequency-corrected vibration acceleration ( $\alpha_w$ ): means the root mean square value of vibration acceleration calculated using the following formula:

$$\alpha_w = \left[ \sum_i (w_i * \alpha_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{eq. (8)}$$

Where:

- $\alpha_w$  is the frequency-corrected vibration acceleration [ $m/s^2$ ]
  - $w_i$  is the weighting factor of the 1/3 octave band according to ISO 2631-1
  - $\alpha_i$  root mean square value of vibration acceleration in the 1/3 octave band [ $m/s^2$ ]
- Vibration acceleration level ( $L_\alpha$ ): a threshold acceleration in decibels (dB), calculated using the formula:

$$L_\alpha = 20 * \lg \frac{\alpha}{\alpha_0} \quad \text{eq. (9)}$$

Where:

- $L_\alpha$ : is the threshold acceleration in decibels (dB)
- $\alpha$  vibration acceleration value [ $m/s^2$ ]
- $\alpha_0$  vibration acceleration threshold:  $1 \times 10^{-6}$  [ $m/s^2$ ]

Vibratsiooni piirväärtused päeval (07.00–23.00) ja öisel (23.00–07.00) ajal on esitatud Table 1. Üldvibratsiooni piirväärtuste aluseks on ISO 2631-2: 1989 baaskõver.

Hooned ja ruumid	Vibratsiooni toimeaeg	Vibrokiirenduse piirväärtused $a_v$ , (m / s <sup>2</sup> )	Vibrokiirenduse tasemete piirväärtused $L_{av}$ , (dB)
<b>Olemasolevad (juba ehitatud hooned)</b>			
1. Elamute, ühiselamute ja hoolekandeesutuste, koolieelsete lasteasutuste elu-, rühma- ja magamistoad	Päeval	$1,26 \times 10^{-2}$	82
	Öösel	$8,83 \times 10^{-3}$	79
2. Majutustevõtete majutusruumid	Päeval	$1,26 \times 10^{-2}$	82
	Öösel	$8,83 \times 10^{-3}$	79
3. Tervishoiuteenuse osutamise ruumid, v. a haiglapaladid	Päeval ja öösel	$1,26 \times 10^{-2}$	82
4. Haiglapaladid	Päeval ja öösel	$8,83 \times 10^{-3}$	79
5. Õppeasutuste ruumid, kus toimub õppetöö	Päeval	$1,26 \times 10^{-2}$	82
6. Bürood ja haldushooned	Päeval	$2,52 \times 10^{-2}$	88
<b>Projekteeritavad (uued tulevased hooned)</b>			
1. Elamute, ühiselamute ja hoolekandeesutuste, koolieelsete lasteasutuste elu-, rühma- ja magamistoad	Päeval	$8,83 \times 10^{-3}$	79
	Öösel	$6,31 \times 10^{-3}$	76
2. Haiglapaladid	Päeval ja öösel	$6,31 \times 10^{-3}$	76

Tabel 1. Vibratsiooni piirväärtused (sotsiaalministri määrus RLT 2002, 62, 931)

Selle uuringu eesmärk on täita olemasolevate hoonete kõige piiravamaid väärtuseid, need on:

- Kategooriad 1, 2 ja 4:  $L_a \leq 79$  dB (viide  $10^{-6}$  m/s<sup>2</sup>)
- Kategooriad 3 ja 5:  $L_a \leq 82$  dB (viide  $10^{-6}$  m/s<sup>2</sup>)
- Kategooria 6:  $L_a \leq 88$  dB (viide  $10^{-6}$  m/s<sup>2</sup>)

Tuleb märkida, et seda indeksit korrigeeritakse sageduse puhul vastavalt standardile ISO 2631-1.

Üksnes viitena lisatakse teave kategooria „Projekteeritavad (uued hooned)” samaväärsse piirmäära vastavuse kauguse kohta.

The vibration limit values for day (07:00-23:00) and night (23:00-07:00) are given in the Table 1. The limit values for overall vibration are based on the ISO 2631-2: 1989 reference curve.

Buildings and premises	Vibration duration	Limit values for vibration acceleration $a_v$ , (m / s <sup>2</sup> )	Limit values for vibration acceleration levels $L_{av}$ , (dB)
<b>Existing (Buildings already built)</b>			
1. Living, group and bedroom housing, dormitories and care institutions, pre-school institutions	Day to	$1.26 \times 10^{-2}$	82
	Night	$8.83 \times 10^{-3}$	79
2. Accommodation for accommodation establishments	Day to	$1.26 \times 10^{-2}$	82
	Night	$8.83 \times 10^{-3}$	79
3. Premises for the provision of health care, v. a hospital ward	Day and night	$1.26 \times 10^{-2}$	82
4. Hospital wards	Day and night	$8.83 \times 10^{-3}$	79
5. Premises of educational institutions where studies take place	During the day	$1.26 \times 10^{-2}$	82
6. Offices and administrative buildings	During the day	$2.52 \times 10^{-2}$	88
<b>Designable (New future buildings)</b>			
1. Living, group and bedroom housing, dormitories and care institutions, pre-school institutions	Day to	$8.83 \times 10^{-3}$	79
	Night	$6.31 \times 10^{-3}$	76
2. Hospital wards	Day and night	$6.31 \times 10^{-3}$	76

Table 1 Vibration limits values (RLT 2002, 62, 931 of the Minister of Social Affairs)

The target of this study is to meet the most restrictive values for the buildings already built, they are:

- Category 1, 2, and 4:  $L_a \leq 79$ dB (ref. to  $10^{-6}$  m/s<sup>2</sup>)
- Category 3 and 5:  $L_a \leq 82$ dB (ref. to  $10^{-6}$  m/s<sup>2</sup>)
- Category 6:  $L_a \leq 88$ dB (ref. to  $10^{-6}$  m/s<sup>2</sup>)

It must be noted that this index is weighted in the frequency domain according to ISO 2631-1.

Only as a reference, some information about the compliance distance of the equivalent limit for the category of “Designable (new buildings)” will be included.

### 3 PROJEKTI ALUS

Vibratsioon koosneb kiiresti võnkuvast liikumisest. Kuid inimese reaktsioon vibratsioonile on keskmise liikumise funktsioon pikema (kuid siiski lühikese) aja jooksul, näiteks ühe sekundi jooksul. Inimese reaktsiooni ennustamiseks vibratsioonile kasutatakse tavaliselt liikumise ruutkeskmise (RMS) amplituudi sekundi jooksul. Mugavuse huvides kasutatakse vibratsiooni kirjeldamiseks võrdlustaseme suhtes detsibelli. Selles analüüsis kasutatakse vibratsiooni ühikut detsibelli (dB) kiirenduse võrdlusväärtuse suhtes ( $\alpha_0$ ).

Arvutatud vibratsioonitasemeid väljendatakse kiirendusvibratsiooni spektrina vahemikus 1–80 Hz ja neid võrreldakse vibratsiooni hindamise kriteeriumidega vastavalt kohalikele nõuetele ja ISO 2631-le.

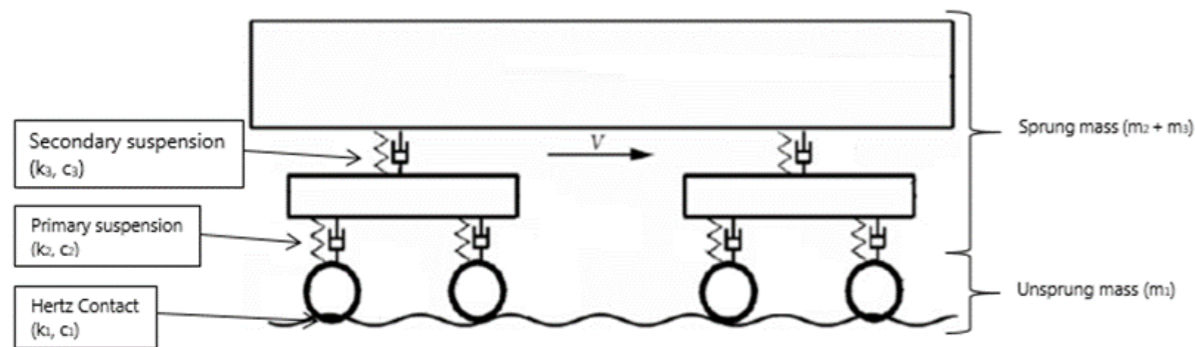
Piirkondades, kus hoonete vibratsiooni tase ei vasta vibratsiooninõuetele, pakutakse välja vibratsiooni leevendav meede (näiteks elastomeersed matid).

Nagu eelmistes lõikudes märgitud, arvutatakse raudtee poolt põhjustatud maapinnalt levivad vibratsioonid, kasutades poolanalüütilist mudelit, mis põhineb kolmel erineval lähenemisviisil, sõltuvalt hinnatava mehhanismi tüübist. Neid mudeleid kirjeldatakse allpool.

#### 3.1 VEEREMI SIMULATSIOON

Veeremi põhjustatud dünaamilisi ergastusi simuleeritakse, võttes arvesse veeremi põhiomadusi, näiteks vedrustatud ja vedrustamata massid, Hertzi kontakt ning esmase ja sekundaarse vedrustuse jäikus ja summutus.

Veeremi mudel põhineb Melise (2008) pakutud mudelil. See analüütiline mudel koosneb järgnevalt:



Joonis 1. Melise (2008) välja töötatud mitmekehalise süsteemi näide dünaamiliseks iseloomustamiseks

Peamine arvutuse väljatöötamiseks vajalik sisend on rööpa karedus, mis vastutab vedrustamata massi tekitatud dünaamilise ergastuse eest. Rööpa karedust on simuleeritud, kasutades teiste autorite seas Yang (1986) ja Fryba (1999) välja töötatud stohastilisel mudelil põhinevat võimsuse spektraalse tiheduse funktsiooni (PSD). Seega saadakse rööpa ebaregulaarsused järgmiselt:

$$r_v(x) = \sum_{k=1}^N a_k \cos(\omega_k x + \phi_k) \quad \text{eq. (3)}$$

### 3. DESIGN BASIS

Vibration consists of rapidly fluctuating motions. However, human response to vibration is a function of the average motion over a longer (but still short) time, such as one second. The root mean square (RMS) amplitude of a motion over a one-second period is commonly used to predict human response to vibration. For convenience, decibel notation is used to describe vibration relative to a reference level. This analysis uses the unit of vibration decibels (dB) relative to a reference acceleration value ( $\alpha_0$ ).

The calculated vibration levels are expressed as acceleration vibration spectra in the range 1-80 Hz and are compared with the vibration assessment criteria according to the local requirements and the ISO 2631.

In those areas where the vibration level into the buildings does not meet the vibration requirement criteria, a vibration mitigation measure (elastomeric mats, for instance) will be proposed.

As indicated in the previous sections, predictive railway-induced ground-borne vibrations are calculated by using a semi-analytical model based on three different approaches, depending on the type of mechanism to be assessed. These models are described below.

#### 3.1 ROLLING STOCK SIMULATION

The dynamic excitations caused by rolling stock will be simulated considering the key features of rolling stock, such as: sprung and unsprung masses, Hertz contact and, the stiffness and damping of the primary and secondary suspension.

The rolling stock model is based on the model proposed by Melis (2008). It is an analytical model with the following arrangement:

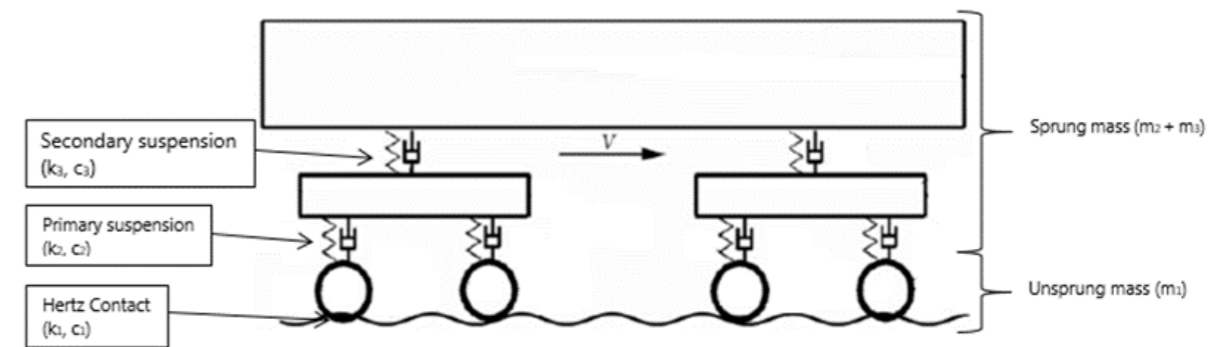


Figure 1. Example of multibody system developed by Melis (2008) for dynamic characterization

The main input necessary to develop the calculation is the rail roughness, which will be responsible of the dynamic excitation produced by the unsprung mass. Rail roughness has been simulated using a power spectral density function (PSD) based on a stochastic model, developed by Yang (1986) and Fryba (1999), among other authors. Hence, the rail irregularities are given by:

$$r_v(x) = \sum_{k=1}^N a_k \cos(\omega_k x + \phi_k) \quad \text{eq. (10)}$$

Analüüsi näidatakse kolmanda järgu diferentsiaalvõrrandite süsteemina, mis tuleb lahendada integreerimismeetodite abil. Selleks kasutatakse lõplike diferentside meetodit (FDM).

Raudteeveeremi ja rööbastee eralduspunkt on ratta ja rööpa kontakt. Hertzi teooria (1887) selgitab, mis selles kontaktis juhtub: ratta ja rööpa terase elastne deformatsioon loob elliptilise kontaktpinna. Kontakti ellipsi mõõtmed määratakse kontakthalale mõjuva normaaljõu abil, samas kui ellipsitelgede suhe sõltub ratta- ja rööpaprofiilide põhikõverustest (Esveld, 2001).

Ratta ja rööpa vaheline kontakt modelleeritakse, võttes arvesse ainult ratta ja rööpa vahelist tavakontakti. Jäikust saab tuletada Hertzi teooriast. Eeldades ringikujulist kontaktpinda ja võttes arvesse teiste raadiuste geomeetrilist keskmist, saab selle valemi määrata järgmiselt (Esveld, 2001):

$$k_H = \sqrt[3]{\frac{3E^2Q\sqrt{R_{wheel}R_{railprof}}}{2(1-\nu^2)^2}} \quad \text{eq. (4)}$$

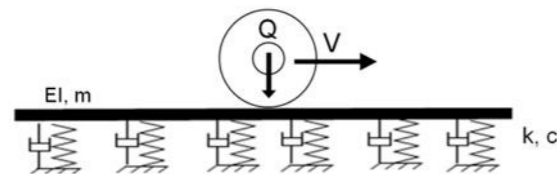
Kus:

- E: elastsusmoodul
- $\nu$ : Poissoni tegur
- Q: ratta vertikaalne koormus
- $R_{wheel}$ : ratta raadius
- $R_{railprof}$ : rööpapea raadius

### 3.2 RÖÖBASTEE DÜNAAMILINE KÄITUMINE

Rööbastee dünaamiliste koormuste arvestamisel eeldatakse tavaliselt, et koormus on statsionaarne. Sõidukiirus mõjutab siiski sõiduki ja rööbastee dünaamilist vastasmõju, kuna koormuse rakenduspunkt liigub koos sõidukiirusega. Timoshenko (1954) uuris seda probleemi summutuseta elastse toetusega rööpa puhul. Hiljem lisas Fryba (1999) ka summutuse mõju (Figure 2).

Üldjuhtumiks peetakse elastsel vundamendil asetsev üks tala, millel on summutus vastavalt Figure 2. Talale rakendab koormust liikuv vertikaalne koormus.



Joonis 2. Rööbastee arvutamise mudeli skeem

Selle süsteemi lahendamiseks kasutatakse keerulisi arvutusi, et saada numbrilised tulemused, selle asemel, et kõigepealt otseselt tuletada dünaamiliste läbipainete analüütiline avaldis.

Probleemi diferentsiaalvõrrand on järgmine:

$$EI \frac{\partial^4 y(x, t)}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} + c \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} + k y(x, t) = 0 \quad \text{eq. (5)}$$

The analysis is shown as system of third order differential equations, which must be solved using integration methods. For this purpose, it will be used a finite difference method (FDM).

The separation between rail vehicle and track is the contact between wheel and rail. The Hertz theory (1887) explain what happens in this contact: the elastic deformation of the steel of the wheel and the rail creates an elliptic contact area. The dimension of the contact ellipse is determined by the normal force on the contact area, while the ratio of the ellipse axes depends on the main curvatures of the wheel and rail profiles (Esveld, 2001).

The contact between the wheel and the rail is modelled considering only the normal contact between the wheel and the rail. The stiffness can be derived from Hertz's theory. Assuming a circular contact area and adopting the geometric mean of the other radii, this formula can be established (Esveld, 2001):

$$k_H = \sqrt[3]{\frac{3E^2Q\sqrt{R_{wheel}R_{railprof}}}{2(1-\nu^2)^2}} \quad \text{eq. (11)}$$

Where:

- E: modulus of elasticity
- $\nu$ : Poisson's ratio
- Q: vertical wheel load
- $R_{wheel}$ : radius wheel
- $R_{railprof}$ : radius railhead

### 3.2 DYNAMIC BEHAVIOR OF THE TRACK

When considering dynamic track loads it is usually assumed that the load is stationary. However, the running speed has a certain influence on the dynamic interaction between vehicle and track because the point of application of the load moves with the running speed. Timoshenko (1954) examined this problem for an undamped elastically supported rail. Later Fryba (1999) included the influence of damping as well (Figure 2).

The general case is considered on a single beam on elastic foundation with damping according to the Figure 2. The beam is loaded by a moving vertical load.

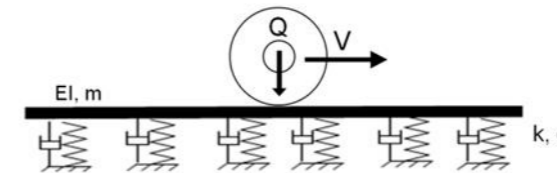


Figure 2. Scheme of track calculation model

The way to solve this system is by using complex calculations in order to obtain numerical results, rather than first explicitly deriving the analytical expression for the dynamic deflections.

The differential equation of the problem is the following:

$$EI \frac{\partial^4 y(x, t)}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} + c \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} + k y(x, t) = 0 \quad \text{eq. (12)}$$

Kus:

- El: rööpa paindejäikus [Nm<sup>2</sup>]
- m: rööbastee mass pikkuse ühiku kohta [kg/m]
- k: toe jäikus pikkuse ühiku kohta [N/m<sup>2</sup>]
- c: toe summutus pikkuse ühiku kohta [Ns/m<sup>2</sup>]
- y: rööpa vertikaalne liikumine [m]

Ratta liikuvat koormust arvestatakse piiritingimusega.

Selle mudeli abil on liinil kasutatava veeremi dünaamiliste simulatsioonitulemuste põhjal võimalik saada raudtee poolt põhjustatud maapinnas tekkivate vibratsioonide täpne prognoos.

Nendel juhtudel, kui vibratsiooni leevendamiseks on vaja elastset matti, loetakse see selle jäikuseks ja sumbumiseks vastavalt materjali omadustele, asukohale ja mõõtmetele. Seetõttu kohandatakse rööbastee mass, jäikus ja summutus rööbastee enda ehituse järgi.

### 3.3 VIBRATSIOONI LEVIMINE PINNASE KAUDU

Poolruumi ergastus tekitab kolme tüüpi lainet: pikisuunaline, P; põikisuunaline, S; ja Rayleigh' laine, R; nagu on dokumenteeritud Bedford (1996). Oma omaduste tõttu on igal lainetüübil laine kuju levimise tõttu spetsiifiline vibratsioonenergia sumbumise suhe, mida sümboliseerib geomeetiline sumbumine  $\gamma$ .

Teine vibratsioonenergia sumbumise mehhanism, mis osaleb maapinnas pinnase kaudu leviva vibratsiooni levimisel, on pinnas geoloogilise koostise mõju. Nende mõjude arvestamiseks lisatakse arvutusmudelisse mõiste, mida nimetatakse pinnasematerjali summutamiseks või mehaaniliseks sumbumiseks, seda tähistab  $\alpha$  [m<sup>-1</sup>] ja see esindab maapinna mehaaniliste omaduste tõttu kaotatud energiat.

Arvestades pinnase eelnimetatud käitumist, põhineb kavandatud levimismudel poolruumi nihkevõrranditel, mida käsitletakse järgmiselt: lõpmatu, homogeenne, isotroopne ja lineaarselt elastne; mis määrab pinna vertikaalse nihkevõrrandi tulenevalt poolruumi pinnale vertikaalselt rakendatud punktallikast, ja hindab vaba ruumi piirkonnas maapinnas levivat vibratsiooni (Barkan, 1962; Ewing, 1967).

Pinna vertikaalse nihke võrrand arvestab pinnase viskoelastset käitumist materjali summutusteguri abil. Barkani võrrand:

$$a_b = a_a \left(\frac{r_a}{r_b}\right)^\gamma e^{\alpha(r_a - r_b)} \quad \text{eq. (6)}$$

Kus:

- $r_a$ ;  $r_b$ : kaugus allikast (raudteeinfrastruktuur) punktideni A ja B [m]
- $a_a$ ;  $a_b$ : vibrokiirenduse tasemed punktis [m / s]
- $\gamma$  on geomeetiline sumbumistegur [mõõtmeteta]
- $\alpha$ : on materjali sumbumistegur [m<sup>-1</sup>], mida saab määratleda sageduse funktsioonina:

eq. (7)

Where:

- El: rail bending stiffness [Nm<sup>2</sup>]
- m: track mass per unit length [kg/m]
- k: support stiffness per unit length [N/m<sup>2</sup>]
- c: support damping per unit length [Ns/m<sup>2</sup>]
- y: rail vertical movement [m]

The moving wheel load will be accounted as a boundary condition.

By means of this model, it is possible to obtain an accurate prediction of railway-induced ground-borne vibrations base on the dynamic simulation results of the rolling stock used in the line.

For those cases where a vibration mitigation measure as a resilient mat is required, it is considered its stiffness and damping according to the material properties, location and dimensions. Therefore, the track mass, stiffness and damping are adapted to the track structure itself.

### 3.3 VIBRATION PROPAGATION THROUGH SOIL

Half-space excitation generates three types of wave: longitudinal, P; transverse, S; and Rayleigh, R; as documented by Bedford (1996). Due to its own characteristics, each type of wave has a specific vibration energy attenuation ratio due to the spreading of the wave's form, symbolized by the geometric damping,  $\gamma$ .

Another vibration energy attenuation mechanism, which is involved in the ground-borne vibration propagation through soil, is the effect of the soil's geological composition. In order to consider these effects, a term called soil material damping or mechanical attenuation, designated by  $\alpha$  [m<sup>-1</sup>] and representing the lost energy due to ground mechanical characteristics, is added to the calculation model.

Considering the aforementioned behaviour of the soils, the proposed propagation model is based on the displacement equations of a half-space, considered as: infinite, homogeneous, isotropic and linearly elastic; which determines the vertical surface displacement equation due to a point source vertically applied to the half-space surface, and assesses the free field ground borne vibration (Barkan, 1962; Ewing, 1967).

The equation for vertical surface displacement considers the soil's viscoelastic behaviour by means of its material damping coefficient. Barkan's equation is given by:

$$a_b = a_a \left(\frac{r_a}{r_b}\right)^\gamma e^{\alpha(r_a - r_b)} \quad \text{eq. (13)}$$

Where:

- $r_a$ ;  $r_b$ : distance to points A and B from the source (railway infrastructure) [m]
- $a_a$ ;  $a_b$ : acceleration vibration levels at point [m/s]
- $\gamma$  is the geometric attenuation coefficient [dimensionless]
- $\alpha$ : is the material attenuation coefficient [m<sup>-1</sup>], which can be defined as a function of frequency:

eq. (14)

$$\alpha = \frac{\eta \pi f}{c}$$

- f: sagedus [Hz]
- $\eta$ : pinnase kaotegur [mõõdetamata]
- c: pinnalaine kiirus [m/s]

### 3.4 VIBRATSIOON HOONETES

USA Föderaalne Raudteeamet (FRA) ja Föderaalne Transiidiamet (FTA) on vibratsiooni levimise arvutamiseks välja töötanud ammendava ennustusmeetodi. Antud juhul kasutatakse ainult neid tegureid mis mõjutavaid hooneid.

Vibratsiooniennergia ülekandumise maapinnast hoonetesse võib jagada kolmeks: maapinna-hoone vundamendi sidestus, energia levimine vertikaalsel ehituskonstruksioonil, mida nimetatakse korruselt-korrusele levimiseks, ja energia levimine horisontaalsetes ehituskonstruksioonides, mida nimetatakse põranda kaudu levimiseks. Nii maapinna-hoone vundamendi sidestus kui ka korruselt-korrusele levimismehhanismid hõlmavad tavaliselt vibratsiooni energia summutamist, kolmas mehhanism aga tavaliselt energia võimendamist.

Föderaalne Transiidiamet kehtestab oma dokumendis „Transiidi müra ja vibratsiooni mõju hindamine“ väärtuste juhendi, milles kirjeldatakse ülalnimetatud võimendus- ja summutamismehhanisme (Table 2). Need FTA/FRA pakutavad väärtused ei sõltu sagedusest ega ole kooskõlas teiste teadlaste, nagu Auersch, saadud tulemustega, kuid nende kasutamine on laialdaselt levinud ja need annavad täpseid tulemusi.

Vibratsioonisündmus	Eripärad	Korrigeerimine (dB)
Sidestumine hoone vundamendiga	Puitkarkassmajad	-5
	1-2-korruseline müüritis	-7
	3-4-korruseline müüritis	-10
	Suur müüritis vaiadel	-10
	Suur müüritis taldmikel	-13
	Vundament kalju sees	0
	Korruselt korrusele sumbumine	1–5 korrust maapinnast kõrgemal
5–10 korrust maapinnast kõrgemal		-1 igal korrusel
Põrandate, seinte ja lagede resonantsidest tulenev võimendus	---	+6

Table 2. Vibratsioon hoonetes

$$\alpha = \frac{\eta \pi f}{c}$$

- f: the frequency [Hz]
- $\eta$ : the soil loss factor [dimensionless]
- c: surface wave velocity [m/s]

### 3.4 VIBRATION WITHIN BUILDINGS

U.S. Federal Railroad Administration (FRA) and Federal Transit Administration (FTA) have developed a complete prediction method to calculate vibration propagation. In this case, the only factors used are those that affecting to buildings.

The vibration energy transmission from ground to buildings can be divided into three main parts: ground-building foundation coupling, energy propagation along the vertical building structure, known as floor-to-floor propagation and energy propagation along the horizontal building structure, known as floor propagation. Both ground-building foundation coupling, and floor-to-floor propagation mechanisms usually involve vibration energy attenuation while the third mechanism usually involves energy amplification.

Federal Transit Administration in its document Transit Noise and Vibration Impact Assessment establishes a guideline of values, which describes the aforementioned amplification and attenuation mechanisms (Table 2). These values provided by FTA/FRA are not frequency dependence and are not align with the results obtained by other researchers, as Auersch, however their use is widely extended and provide accurate results.

Vibration event	Particularities	Correction (dB)
Coupling to building foundation	Wood frame houses	-5
	1-2 Story masonry	-7
	3-4 Story masonry	-10
	Large masonry on piles	-10
	Large masonry on spread footings	-13
	Foundation in rock	0
	Floor to floor attenuation	1 to 5 floors above grade
5 to 10 floors above grade		-1 each floor
Amplification due to resonances of floors, walls and ceilings	---	+6

Table 2 Vibration within buildings



## 4 ARVUTUSLIKUD PARAMEETRID

Järgmistes peatükkides esitatakse vibratsiooni hindamise uuringus arvesse võetud parameetrite väärtused, lähtudes projekti hetkeseisust. Kui teave pole kättesaadav, tehakse eeldused konservatiivse kriteeriumi alusel.

### 4.1 VEEREM

Rail Baltica koridoris kasutatav veerem ei ole selles projekti etapis täielikult määratletud. Kuid dokument [1] esitab võimaliku kasutatava veeremi võrdlusaluse, nii et seda käsitletakse kasutatavate rongitüüpide võrdlusalusena.

Maksimaalset projektkiirust arvestatakse vastavalt dokumendile [2]:

- Reisirongide max projektkiirus: 249 km/h
- Kaubarongide max projektkiirus: 120 km/h

#### 4.1.1 KIIRRONG

Vibratsiooni hindamise uuringus arvestati kiirrongiga Train Talgo 250, mis on üks neljast mudelist, mis on välja toodud dokumendi [1] ettepanekus pikamaa reisijateveo kohta, sest need vastavad peamistele nõuetele.

Veeremi modelleerimisel arvestatavad kiirrongi Train Talgo 250 väärtused on esitatud Table 3 (Melis, 2008; veebileht 1):

Veeremi omadused		Rong Talgo 250	
<b>Vaguni kere</b>			
Vaguni pikkus	m	20,7	
Pöördvankrite arv	-	2	
Pöördvankri pikkus	m	2,8	
Pöördvankrite vaheline kaugus:	m	10,7	
Vaguni kere mass	kg	72000	
Sekundaarse vedrustuse jäikus ( $k_3$ , $c_3$ )	N/m	5,97E+05	
Sekundaarse vedrustuse viskoosne summutus ( $c_3$ )	Ns/m	5,00E+04	
<b>Rongiteljed</b>			
1. telje mass	kg	1516	
2. telje mass	kg	1516	
3. telje mass	kg	1516	

PROJEKTI Nr. / PROJECT No. RBDTDEEDS2DPS3  
PÕHIPROJEKT / MASTER DESIGN

## 4. DESIGN PARAMETERS

The following chapters present the values of the parameters considered in the vibration assessment study based on current design development. Where information is not available, assumptions will be made based on a conservative criterion.

### 4.1 ROLLING STOCK

The rolling stock that will be used in the Rail Baltica corridor is not completely defined at this project stage. However, the document [1] present a benchmark of the potential rolling stock to be used, so it is considered as a reference of the train types that will be used.

The maximum design speed is considered according to the document [2]:

- Maximum design speed for passengers' trains: 249 km/h
- Maximum design speed for freight's trains: 120 km/h

#### 4.1.1 HIGH SPEED TRAIN

The high-speed train considered for the vibration assessment study is the train Talgo250, which is one of the four models pointed out in the Proposal for Long Distance Passenger Service of the document [1] because of meet the main requirements.

The values of the Train Talgo 250 consider in the rolling stock modelling are presented in Table 3 (Melis, 2008; Website 1):

Rolling stock features		Train Talgo 250	
<b>Car body</b>			
Train car length	m	20,7	
Number of Bogies	-	2	
Bogie length	m	2,8	
Distance between bogies	m	10,7	
Mass of car body	kg	72000	
Stiffness of secondary suspension ( $k_3$ )	N/m	5,97E+05	
Viscous damping of secondary suspension ( $c_3$ )	Ns/m	5,00E+04	
<b>Train axles</b>			
Mass of axle 1	kg	1516	
Mass of axle 2	kg	1516	

DOKUMENDI KOOD / DOCUMENT CODE	LEHEKÜLG / PAGE	LEHED / PAGES	REVISIOON / REVISION
RBDTD-EE-DS2-DPS3_IDO_ZZZZ-ZZ_ZZZZ_RP_RW-TR_MD_00007	17	77	001

4. telje mass	kg	1516
Hertz jäikus ( $k_1$ )	N/m	1,40E+09
Viskoosne summutamine rööbas-ratas ( $c_1$ )	Ns/m	1,00E-03
<b>Pöördvankrid</b>		
1. pöördvankri mass	kg	2798
2. pöördvankri mass	kg	2798
Primaarse vedrustuse jäikus ( $k_2$ )	N/m	1,69E+06
Primaarse vedrustuse viskoosne summutus ( $c_2$ )	Ns/m	5,20E+04

Tabel 3. Kiirrongi parameetrid

Mass of axle 3	kg	1516
Mass of axle 4	kg	1516
Hertz stiffness ( $k_1$ )	N/m	1,40E+09
Viscous damping rail-wheel ( $c_1$ )	Ns/m	1,00E-03
<b>Bogies</b>		
Mass of bogie 1	kg	2798
Mass of bogie 2	kg	2798
Stiffness of primary suspension ( $k_2$ )	N/m	1,69E+06
Viscous damping of primary suspension ( $c_2$ )	Ns/m	5,20E+04

Table 3 High speed train parameters

#### 4.1.2 KAUBARONG

Kaubaronge ei peeta spetsiifiliseks rongiliigiks, kuid neile on rakendatud RIVASe (2012) tehtud uuringu tulemusi, mis on saadud veeremi mõju põhjalikus analüüsis raudtee põhjustatud vibratsiooni kohta maapinnas.

Kaubavagunil on Y25 pöördvankrid. Y25 pöördvanker on tavaline kaubavanker, mis sisaldab üheastmelist primaarset vedrustust. Kaubavaguni sekundaarse vedrustuse puudumist võetakse arvesse sellega, et sekundaarse vedrustuse jäikusele  $k_2$  seatakse kõrge väärtus. Vaadeldavad parameetrite väärtused on esitatud Table 4 (RIVAS, 2012):

Veeremi omadused		Kaubavagun, Y25 pöördvankrid	
<b>Vaguni kere</b>			
Pöördvankrite arv	-	2	
Pöördvankri pikkus	m	1,8	
Pöördvankrite vaheline kaugus:	m	8,9	
Vaguni kere mass	kg	90156	
Sekundaarse vedrustuse jäikus ( $k_3$ , $c_3$ )	N/m	5,00E+07	
Sekundaarse vedrustuse viskoosne summutus ( $c_3$ )	Ns/m	2,00E+04	
<b>Rongiteljed</b>			
1. telje mass	kg	1425	
2. telje mass	kg	1425	
3. telje mass	kg	1425	
4. telje mass	kg	1425	
Hertz jäikus ( $k_1$ )	N/m	1,50E+09	
Viskoosne summutamine rööbas-ratas ( $c_1$ )	Ns/m	1,00E-03	

#### 4.1.2 FREIGHT TRAIN

For the case of the freight trains, it is not considered an specific train type but it is implemented the results from the study carried out by RIVAS (2012), which is the result of a deep analysis regarding the influence of the Rolling Stock in the Railway induced ground vibration.

The freight wagon has Y25 bogies. The Y25 bogie is a common freight bogie that includes a single-stage primary suspension. The absence of a secondary suspension for the freight vehicle is accounted for by setting the secondary suspension stiffness  $k_2$  to a high value. The parameter values considered are presented in the Table 4 (RIVAS, 2012):

Rolling stock features		Freight wagon, Y25 bogies	
<b>Car body</b>			
Number of Bogies	-	2	
Bogie length	m	1,8	
Distance between bogies	m	8,9	
Mass of car body	kg	90156	
Stiffness of secondary suspension ( $k_3$ )	N/m	5,00E+07	
Viscous damping of secondary suspension ( $c_3$ )	Ns/m	2,00E+04	
<b>Train axles</b>			
Mass of axle 1	kg	1425	
Mass of axle 2	kg	1425	
Mass of axle 3	kg	1425	
Mass of axle 4	kg	1425	
Hertz stiffness ( $k_1$ )	N/m	1,50E+09	

Pöördvankrid		
1. pöördvankri mass	kg	2072
2. pöördvankri mass	kg	2072
Primaarse vedrustuse jäikus ( $k_2$ )	N/m	5,50E+06
Primaarse vedrustuse viskoosne summutus ( $c_2$ )	Ns/m	4,00E+04

Tabel 4. Kaubarongi parameetrid (RIVAS, 2012)

Viscous damping rail-wheel ( $c_1$ )	Ns/m	1,00E-03
Bogies		
Mass of bogie 1	kg	2072
Mass of bogie 2	kg	2072
Stiffness of primary suspension ( $k_2$ )	N/m	5,50E+06
Viscous damping of primary suspension ( $c_2$ )	Ns/m	4,00E+04

Table 4 Freight train parameters (RIVAS, 2012)

## 4.2 RÖÖBASTEE PEALISEHITIS

Raudtee omadused muutuvad piki trassi: lõigu tüüp, liikluse tüüp, sõidukiirus, pealisehituse elemendid jne. Seetõttu tuleb pealisehituse projekteerimisparameetrites arvestada trassi eripäradega tundlike piirkondade läheduses.

Põhitrassi puhul on vastavalt dokumentidele [3] ja **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** raudteeliini põhiomadused järgmised:

- Rööpmelaius: 1435 m
- Rööbas: pidev keevirööbas profiil EN 60
- Kinnitusdetailid: elastsed kinnitusdetailid, mis on paigaldatud betoonliipritele
- Liiprid: eelpingestatud monoplokk-betoonliiprid vahemaaga 600 mm (teljest teljeni)
- Ballast: liipri all oleva ballastikihi paksus peab olema muldkehas vähemalt 30 cm ja ehitistel 35 cm

Kui ei ole täpsustatud teisiti, eeldatakse, et rööbastee vertikaalne jäikus põhitrassil on järgmine:

- Rööbastee vertikaalne jäikus: 80 kN/mm

## 4.3 PINNASE OMADUSED POTENTIAALSELT TUNDLIKES PIIRKONDADES

Esiteks on vaja kindlaks teha, millised on tundlikud piirkonnad, mida raudtee tekitatud vibratsioon võib mõjutada. Vibratsioonitasemed sõltuvad paljudest parameetritest: veeremi omadused, rööbastee omadused, pinnase omadused, kaugus allikast jne. Kiirraudtee ja kaubaveo liikluse korral on ballastrajal erinevate seadustega nõutavad tavapärased vibratsioonitasemed täidetud kaugusel alla 80 m rööbasteest. Tundlikeks piirkondadeks peetakse kõiki sotsiaalministri RLT 2002, 62, 931 määruses esitatud ehitisi ja ruume, mis asuvad umbes 100 m kaugusel mõlemal pool raudteed. Selle DPS-i tundlikud piirkonnad on toodud peatükis 4.3.1

Teiseks, nendes tundlikes piirkonnas tekitatud vibratsiooni tasemete määramiseks on vaja teada allika ja vastuvõtjate vahelise maapinna omadusi. Vibratsiooni levimise mudel põhineb Barkani avaldisel (eq. (13) ja eq. (14)). Seetõttu on levimisanalüüsi läbiviimiseks vaja kohapealsete katsetega määratleda eq. (14) kaotegur ( $\eta$ ). Tehtud katsete üksikasjalik selgitus on esitatud dokumendis lisa Katsete peamised tulemused ja nende tõlgendused on esitatud järgnevalt peatükis.

Lõpuks, kui mõningatel tundlikest aladest leidub olemasolevaid vibratsiooniallikaid, viiakse läbi kehtivate vibratsioonitasemete mõõtmine. Mõõtekohad on määratletud järgnevalt peatükis ja mõõtmisi kirjeldab üksikasjalikult lisa.

## 4.2 RAIL SUPERSTRUCTURE

The railway properties change along the line: section type, traffic type, operational speed, superstructure elements, etc. Therefore, the superstructure design parameters shall consider the particularities that the track can present near to the sensitive areas.

For the main line, according to the documents [3] and **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, the main features of the railway line are:

- Track gauge: 1,435 m
- Rail: continuous welded rail profile EN 60
- Fasteners: elastic fasteners fitted on concrete sleepers
- Sleepers: Mono-block pre-stressed concrete sleepers with a sleeper spacing of 600mm (from axle to axle)
- Ballast: The thickness of ballast layer under sleeper bottom shall be minimum 30 cm on embankment and 35cm on structures

Unless otherwise stated, the vertical track stiffness in the main line is assumed as the following:

- Vertical track stiffness: 80 kN/mm

## 4.3 SOIL PROPERTIES AT POTENTIAL SENSITIVE AREAS

Firstly, it is necessary to determine what are the sensitive areas that could be affected by the vibrations generated by the railway. The vibration levels depend on many parameters: rolling stock properties, track characteristics, soils properties, distance to the source, etc. However, in the case of high speed and freight railway traffic in ballast track, the usual vibration levels required by different legislations are satisfied in a distance lower than 80m to the track. Therefore, to define what zones could be sensitive areas, they are considered all the buildings and premises presented in the RLT 2002, 62, 931 of the Minister of Social Affairs which are in a range of around 100m both sides of the railway line. The sensitive areas of this DPS are declared in the chapter 4.3.1

Secondly, to determine the vibration levels induced at these sensitive areas it is necessary to characterize the ground between the source and the receivers. The vibration propagation model is based on Barkan expression (eq. (13) and eq. (14)). Therefore, to carry out the propagation analysis is necessary to define the loss factor ( $\eta$ ) of the eq. (14) the through tests in-situ. A detailed explanation about the tests carried out is given in the Annex. The main tests result, and its interpretation are presented in the following chapter.

#### 4.3.1 TUNDLIKUD ALAD

Tundlikud piirkonnad, mida raudtee tekitatud vibratsioon selles CO-s võib mõjutada, on esitatud Table 5:

Address	Pikett (varu)	Kaugus hoonest lähima rööbasteeni (m)	Tüüpiline mõõtepunkt	Korruste arv	Peamine kasutusala // Tüpoloogia
Veehoidla, Maardu linn, Harju maakond, 74117, Eesti	-0+250 / 0+100 (paremal)	85 / 100	08-EE2_DPS3 09-EE2_DPS3	1	Elamu kergmüüritis
Murulaugu, & Kүүslaugu, Maardu linn, Harju maakond, 74117, Eesti	0+700 / 0+860 (paremal)	80 / 100	10-EE2_DPS3	1	Elamu kergmüüritis
Porrulaugu, Maardu linn, Harju maakond, 74117, Eesti	0+860 / 1+040 (paremal)	25 / 50	10-EE2_DPS3 11-EE2_DPS3	1	Elamu kergmüüritis
6, Veneküla tee, Vao, Veneküla, Tallin, Rae vald, Harju maakond, 75325, Eesti	7+680 / 7+730 (vasakul)	20 / 50	13-EE2_DPS3	0	Põllumajandushoone kergmüüritis
Uuesauna, Lepiku tee, Soodevahe küla, Veneküla, Rae vald, Harju maakond, 75325, Eesti	9+070 / 9+130 (vasakul)	60 / 90	15-EE2_DPS3	1	Elamu puitkarkass
Aaviku, Lepiku tee, Veneküla, Rae vald, Harju maakond, 75325, Eesti	9+160 (vasakul)	100	15-EE2_DPS3	1	Elamu puitkarkass
6, Varivere tee, Soodevahe küla, Rae vald, Harju maakond, 75322, Eesti	9+900 / 10+000 (vasakul)	30 / 75	15-EE2_DPS3 18-EE2_DPS3	1	Elamu kergmüüritis
5, Raudtee, Ülejõe küla, Lagedi, Rae vald, Harju maakond, 75323, Eesti	10+300 (L1520) (vasakul)	35 / 95	18-EE2_DPS3	1	Elamu puitkarkass

Märkus: Üks tundlik piirkond võib koosneda ühest hoonest või hoonete rühmast. Iga mõõtmispunkt esindab üht tundlikku piirkonda.

Tabel 5. Tundlikud alad

Olemasolev kaubaraudtee mõjutab peaaegu iga tundlikku kohta.

Hoonekonstruktsiooni osas on tuvastatud kõige rohkem 1-2-korruselisi kergmüüritis, ülejäänud on puitkarkassid.

Finally, if in some of the sensitive areas there is a current vibration source measurement of the current vibration levels are carried out. These locations are specified in the following and the measurement are detailed in the Annex.

#### 4.3.1 SENSITIVE AREAS

The sensitive areas that could be affected by the vibrations generated by the railway in this CO are presented in the Table 5:

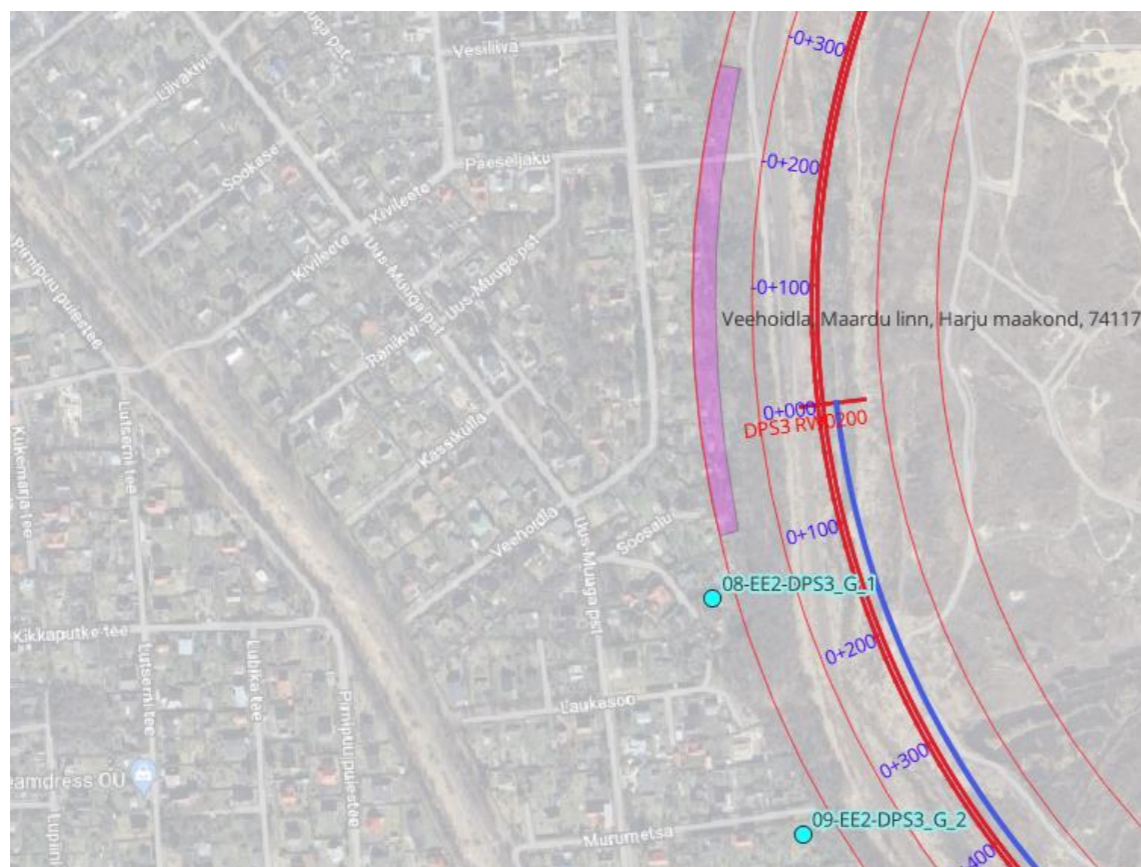
Address	Chainage (margin)	Distance from the building to closest track (m)	Representative measurement point	Nº of storeys	Main use // Typology
Veehoidla, Maardu linn, Harju maakond, 74117, Estonia	-0+250 / 0+100 (Right)	85 / 100	08-EE2_DPS3 09-EE2_DPS3	1	Residential light masonry
Murulaugu, & Kүүslaugu, Maardu linn, Harju maakond, 74117, Estonia	0+700 / 0+860 (Right)	80 / 100	10-EE2_DPS3	1	Residential light masonry
Porrulaugu, Maardu linn, Harju maakond, 74117, Estonia	0+860 / 1+040 (Right)	25 / 50	10-EE2_DPS3 11-EE2_DPS3	1	Residential light masonry
6, Veneküla tee, Vao, Veneküla, Tallin, Rae vald, Harju maakond, 75325, Estonia	7+680 / 7+730 (Left)	20 / 50	13-EE2_DPS3	0	Agricultural building light masonry
Uuesauna, Lepiku tee, Soodevahe küla, Veneküla, Rae vald, Harju maakond, 75325, Estonia	9+070 / 9+130 (Left)	60 / 90	15-EE2_DPS3	1	Residential wooden-frame
Aaviku, Lepiku tee, Veneküla, Rae vald, Harju maakond, 75325, Estonia	9+160 (Left)	100	15-EE2_DPS3	1	Residential wooden-frame
6, Varivere tee, Soodevahe küla, Rae vald, Harju maakond, 75322, Estonia	9+900 / 10+000 (Left)	30 / 75	15-EE2_DPS3 18-EE2_DPS3	1	Residential light masonry
5, Raudtee, Ülejõe küla, Lagedi, Rae vald, Harju maakond, 75323, Estonia	10+300 (L1520) (Left)	35 / 95	18-EE2_DPS3	1	Residential wooden-frame

Remark: One sensitive area can be composed by either one building or a group of buildings. Each measurement point is representative of a single sensitive area.

Table 5 Sensitive areas

Almost every sensitive location is affected by a current goods railway line.

Regarding the structure of the buildings, the building identified are 1 to 2 storey light masonry mostly and the others are wooden-framed.



Joonis 3. Veehoidla, Maardu linn, Harju maakond, 74117

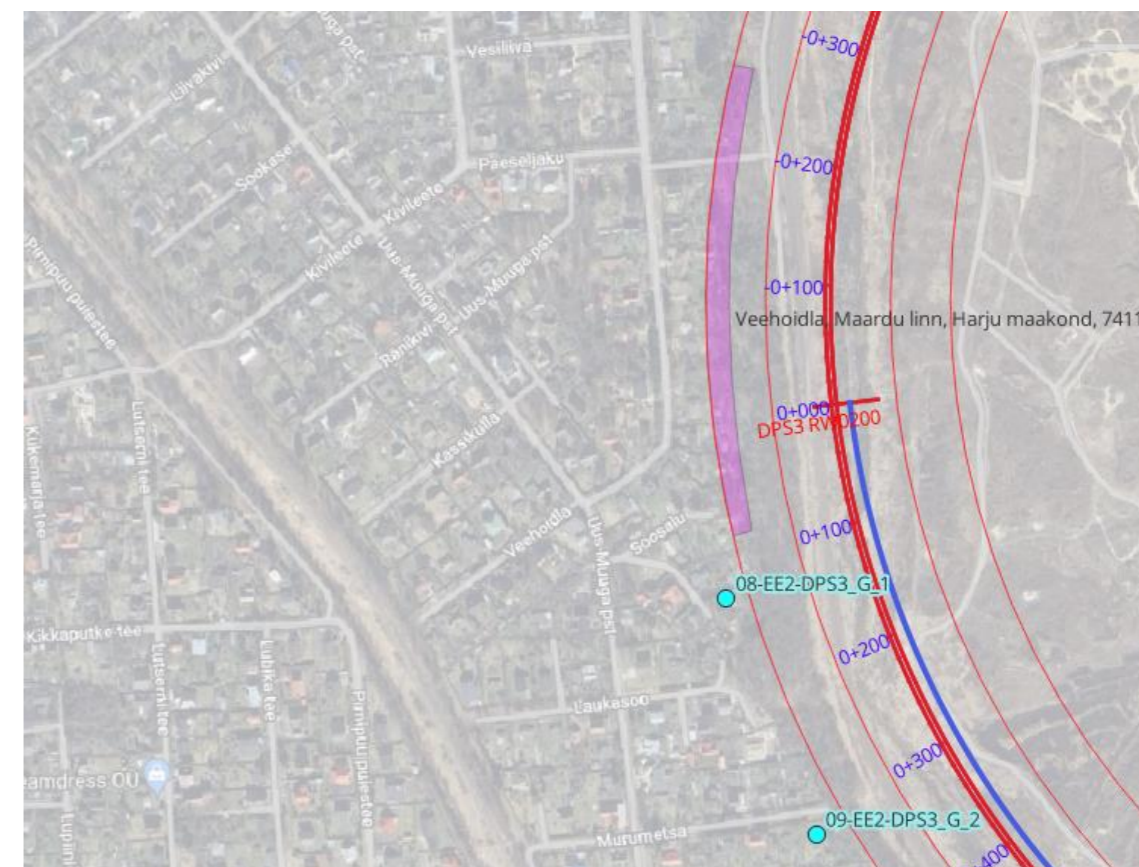


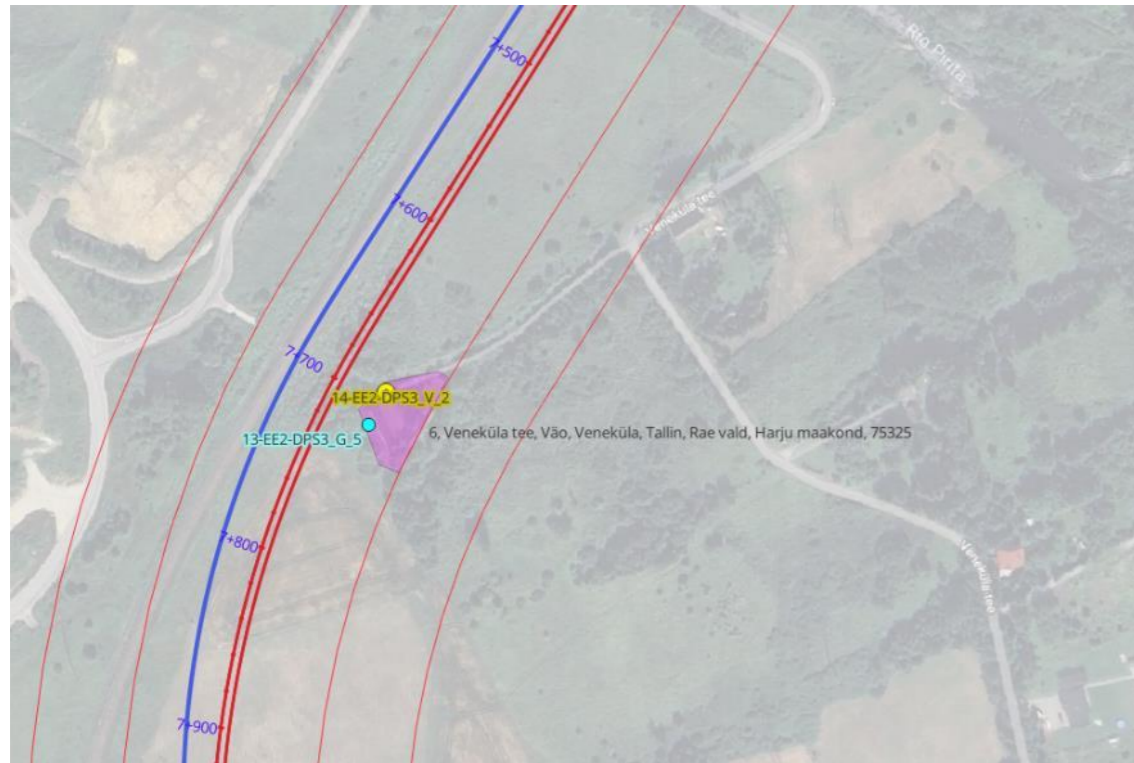
Figure 3. Veehoidla, Maardu linn, Harju maakond, 74117



Joonis 4. Murulaugu, & Kүүлslaugu & Porrulaugu, Maardu linn, Harju maakond, 74117



Figure 4. Murulaugu, & Kүүлslaugu & Porrulaugu, Maardu linn, Harju maakond, 74117



Joonis 5. 6, Veneküla tee, Vão, Veneküla, Tallinn, Rae vald, Harju maakond, 75325

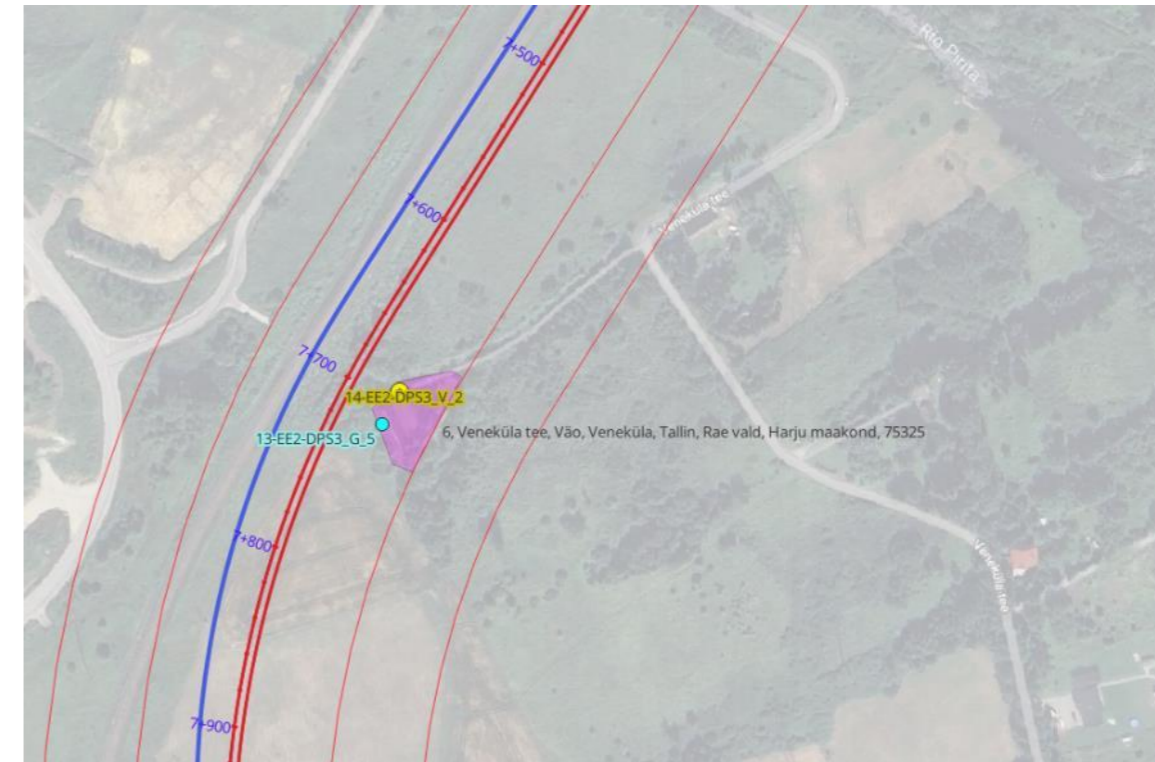
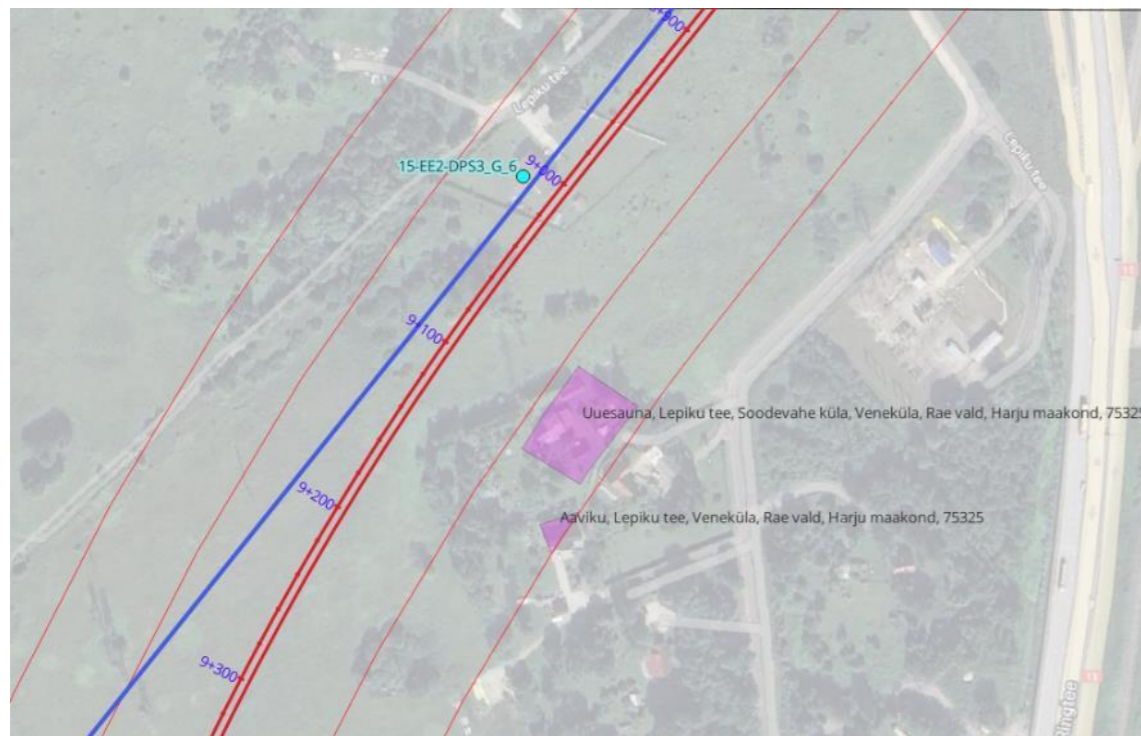


Figure 5. 6, Veneküla tee, Vão, Veneküla, Tallin, Rae vald, Harju maakond, 75325



Joonis 6. Lepiku tee, Veneküla, Rae vald, Harju maakond, 75325

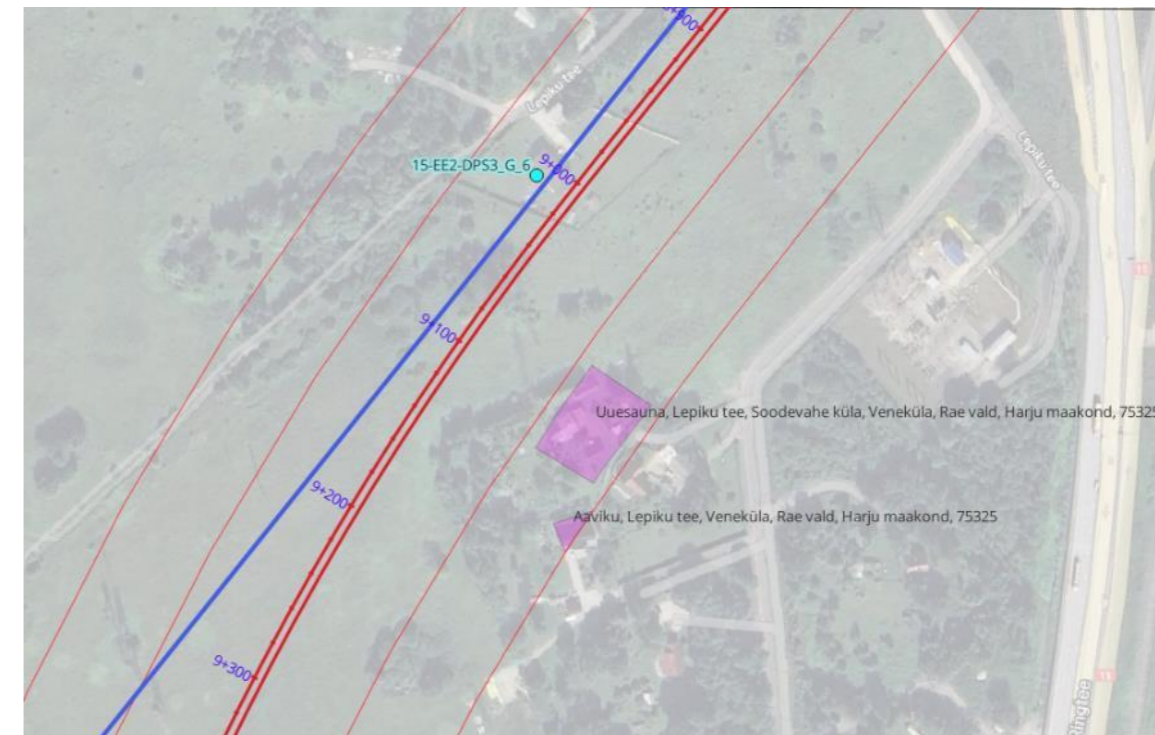


Figure 6. Lepiku tee, Veneküla, Rae vald, Harju maakond, 75325



Joonis 7. 6, Varivere tee, Soodevahe küla, Rae vald, Harju maakond, 75322



Figure 7. 6, Varivere tee, Soodevahe küla, Rae vald, Harju maakond, 75322



Joonis 8. 5, Raudtee, Ülejõe küla, Lagedi, Rae vald, Harju maakond, 75323



Figure 8. 5, Raudtee, Ülejõe küla, Lagedi, Rae vald, Harju maakond, 75323

#### 4.3.2 PINNASE ISELOOMUSTUS

Mõõtekohtade asukohad ja teave on üksikasjalikult kirjeldatud Tabel 6:

Mõõtmiskoht	Algusaeg	UTM tsoon	X UTM	Y UTM	Suund	Vasaralöögid	Temperatuur (°C)	Suhteline õhuniiskus (%)	Tuulekiirus (m/s)
08-EE2_DPS3_G_1	20.10.2020 14.45	35V	384829	6594617	vertikaalne	20	11	58	0,9
08-EE2_DPS3_G_1	22.10.2020 15.02	35V	384829	6594617	ristsuunaline	6	11	58	0,9
08-EE2_DPS3_G_1	22.10.2020 15.12	35V	384829	6594617	pikisuunaline	6	11	58	0,9
09-EE2_DPS3_G_2	21.10.2020 16.59	35V	384864	6594420	vertikaalne	14	9	59	1,1
09-EE2_DPS3_G_2	21.10.2020 17.11	35V	384864	6594420	ristsuunaline	6	9	59	1,1
09-EE2_DPS3_G_2	21.10.2020 17.15	35V	384864	6594420	pikisuunaline	6	9	59	1,1
10-EE2_DPS3_G_3	21.10.2020 15.40	35V	385123	6594149	vertikaalne	19	10	55	1,0
10-EE2_DPS3_G_3	21.10.2020 15.49	35V	385123	6594149	ristsuunaline	6	10	55	1,0
10-EE2_DPS3_G_3	21.10.2020 15.52	35V	385123	6594149	pikisuunaline	6	10	55	1,0
11-EE2_DPS3_G_4	20.10.2020 10.46	35V	385359	6593958	vertikaalne	20	8,9	62	0,6
11-EE2_DPS3_G_4	21.10.2020 15.25	35V	385359	6593958	ristsuunaline	6	8,9	62	0,6
11-EE2_DPS3_G_4	21.10.2020 15.25	35V	385359	6593958	pikisuunaline	6	8,9	62	0,6
13-EE2_DPS3_G_5	21.10.2020 13.05	35V	382285	6590107	vertikaalne	20	11,1	58	1,1
13-EE2_DPS3_G_5	21.10.2020 13.20	35V	382285	6590107	ristsuunaline	6	11,1	58	1,1
13-EE2_DPS3_G_5	21.10.2020 13.24	35V	382285	6590107	pikisuunaline	6	11,1	58	1,1
15-EE2_DPS3_G_6	21.10.2020 11.31	35V	381706	6588976	vertikaalne	13	9,8	57,	0,7
15-EE2_DPS3_G_6	21.10.2020 11.42	35V	381706	6588976	ristsuunaline	6	9,8	57	0,7
15-EE2_DPS3_G_6	21.10.2020 01151	35V	381706	6588976	pikisuunaline	6	9,8	57	0,7
18-EE2_DPS3_G_8	21.10.2020 09.19	35V	382093	6587026	vertikaalne	20	8,6	60	1,2
18-EE2_DPS3_G_8	21.10.2020 09.33	35V	382093	6587026	ristsuunaline	6	8,6	60	1,2
18-EE2_DPS3_G_8	21.10.2020 09.39	35V	382093	6587026	pikisuunaline	6	8,6	60	1,2

Tabel 6.Mõõtmiste asukohad

#### 4.3.2 GROUND CHARACTERIZATION

The locations and information of the measurement locations are detailed in the Table 6:

Measurement location	Beginning Time	UTM zone	X UTM	Y UTM	Direction	Hammer impacts	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Wind Speed (m/s)
08-EE2_DPS3_G_1	20/10/2020 14:45	35V	384829	6594617	vertical	20	11	58	0,9
08-EE2_DPS3_G_1	22/10/2020 15:02	35V	384829	6594617	transversal	6	11	58	0,9
08-EE2_DPS3_G_1	22/10/2020 15:12	35V	384829	6594617	longitudinal	6	11	58	0,9
09-EE2_DPS3_G_2	21/10/2020 16:59	35V	384864	6594420	vertical	14	9	59	1,1
09-EE2_DPS3_G_2	21/10/2020 17:11	35V	384864	6594420	transversal	6	9	59	1,1
09-EE2_DPS3_G_2	21/10/2020 17:15	35V	384864	6594420	longitudinal	6	9	59	1,1
10-EE2_DPS3_G_3	21/10/2020 15:40	35V	385123	6594149	vertical	19	10	55	1,0
10-EE2_DPS3_G_3	21/10/2020 15:49	35V	385123	6594149	transversal	6	10	55	1,0
10-EE2_DPS3_G_3	21/10/2020 15:52	35V	385123	6594149	longitudinal	6	10	55	1,0
11-EE2_DPS3_G_4	20/10/2020 10:46	35V	385359	6593958	vertical	20	8,9	62	0,6
11-EE2_DPS3_G_4	21/10/2020 15:25	35V	385359	6593958	transversal	6	8,9	62	0,6
11-EE2_DPS3_G_4	21/10/2020 15:25	35V	385359	6593958	longitudinal	6	8,9	62	0,6
13-EE2_DPS3_G_5	21/10/2020 13:05	35V	382285	6590107	vertical	20	11,1	58	1,1
13-EE2_DPS3_G_5	21/10/2020 13:20	35V	382285	6590107	transversal	6	11,1	58	1,1
13-EE2_DPS3_G_5	21/10/2020 13:24	35V	382285	6590107	longitudinal	6	11,1	58	1,1
15-EE2_DPS3_G_6	21/10/2020 11:31	35V	381706	6588976	vertical	13	9,8	57,	0,7
15-EE2_DPS3_G_6	21/10/2020 11:42	35V	381706	6588976	transversal	6	9,8	57	0,7
15-EE2_DPS3_G_6	21/10/2020 01151	35V	381706	6588976	longitudinal	6	9,8	57	0,7
18-EE2_DPS3_G_8	21/10/2020 09:19	35V	382093	6587026	vertical	20	8,6	60	1,2
18-EE2_DPS3_G_8	21/10/2020 09:33	35V	382093	6587026	transversal	6	8,6	60	1,2
18-EE2_DPS3_G_8	21/10/2020 09:39	35V	382093	6587026	longitudinal	6	8,6	60	1,2

Table 6 Measurements locations

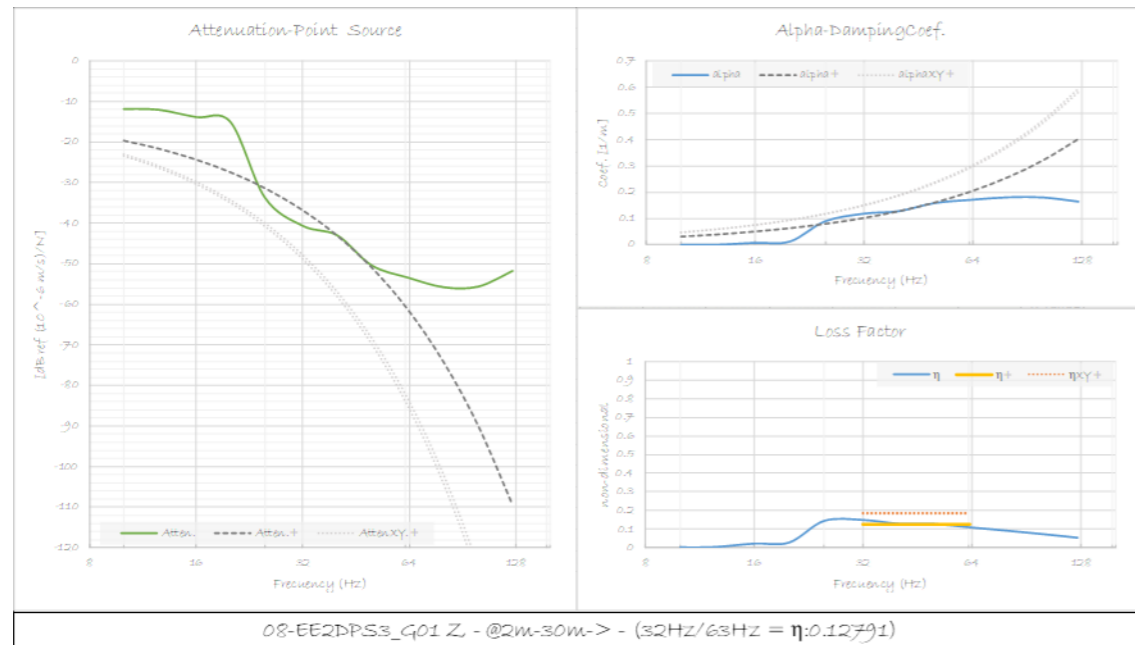
Vibratsiooniuringute tulemusel määratakse punkti 3.3 eq. (14) kaotegur ( $\eta$ ). Arvestades Lisas I: Pinnase iseloomustus esitatud uuringute tulemusi, on maapinna omadused mõõtmispunktides esitatud Table 7.

Ainult illustreerivalt võib näha mudeli mõningaid kohandamisi pinnase omadustega järgmistel joonistel:

The vibrations investigations lead to the definition of the loss factor ( $\eta$ ) of the eq. (7) of section 3.3. Considering the results of the investigations presented in the Appendix I: soil characterization, the properties of the ground at the measurements points are presented in the Table 7.

As a illustration only, it might be seen some model's adjustments with the ground characterization in the following figures:





Joonis 9. Kaateguri korrigeerimine – pinnasekatsete andmete töötlemine 08-EE2\_DPS3 (ainult illustatsiooniks)

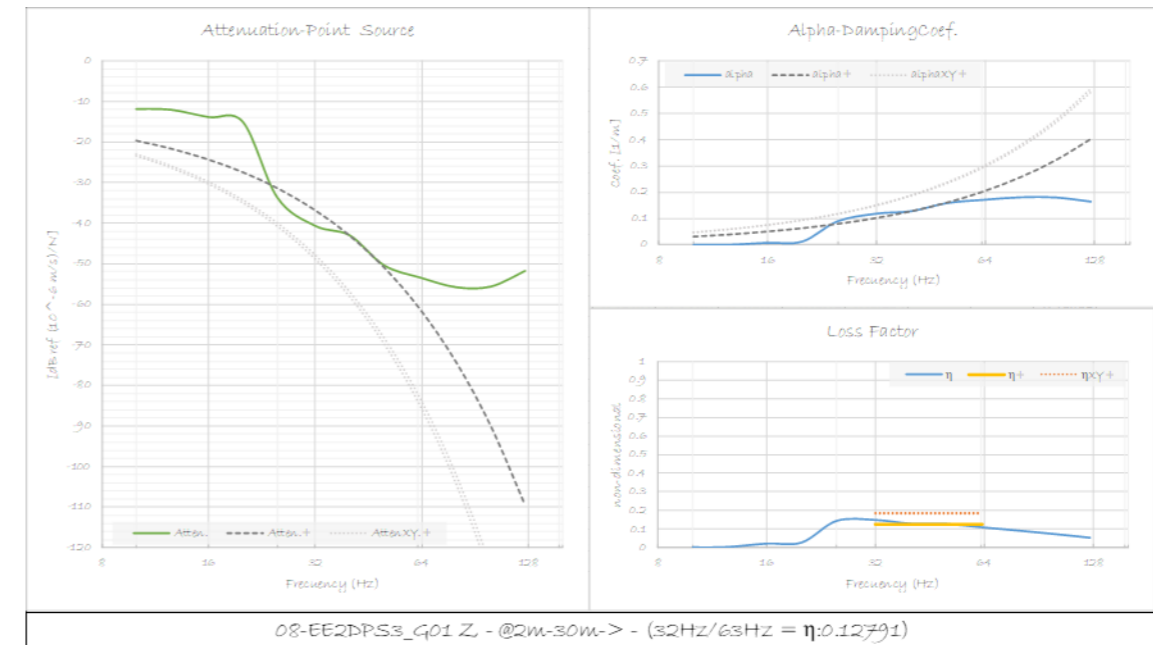
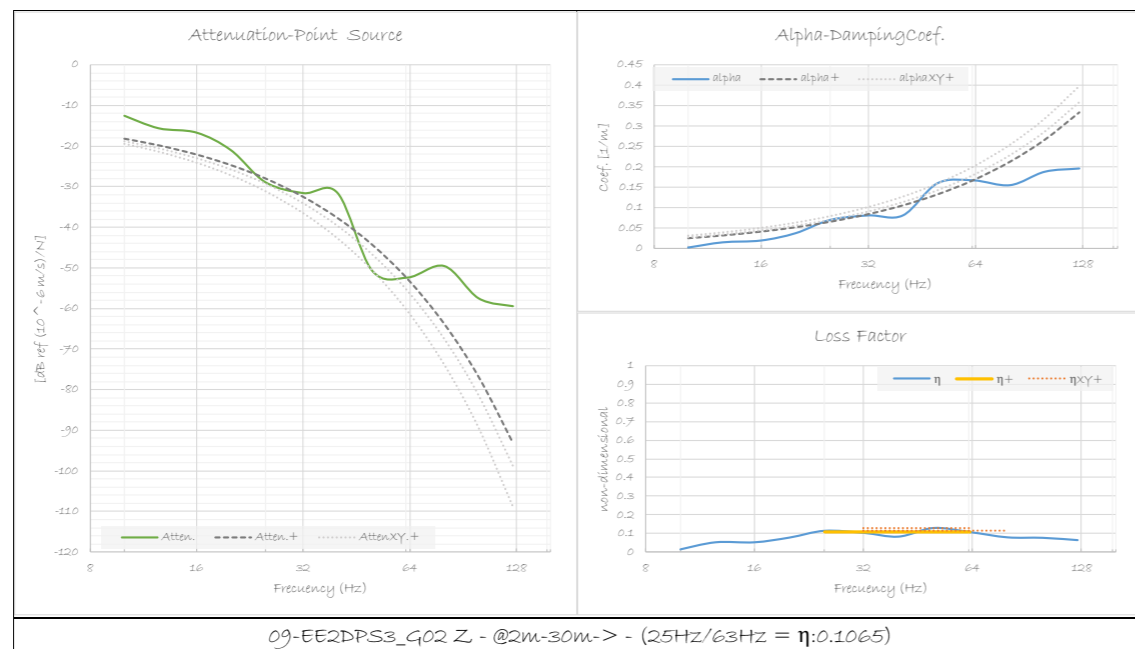


Figure 9. Loss Factor adjustment – Soil test data processed 08-EE2\_DPS3 (For illustration only)



Joonis 10. Kaateguri korrigeerimine – pinnasekatsete andmete töötlemine 09-EE2\_DPS3 (ainult illustatsiooniks)

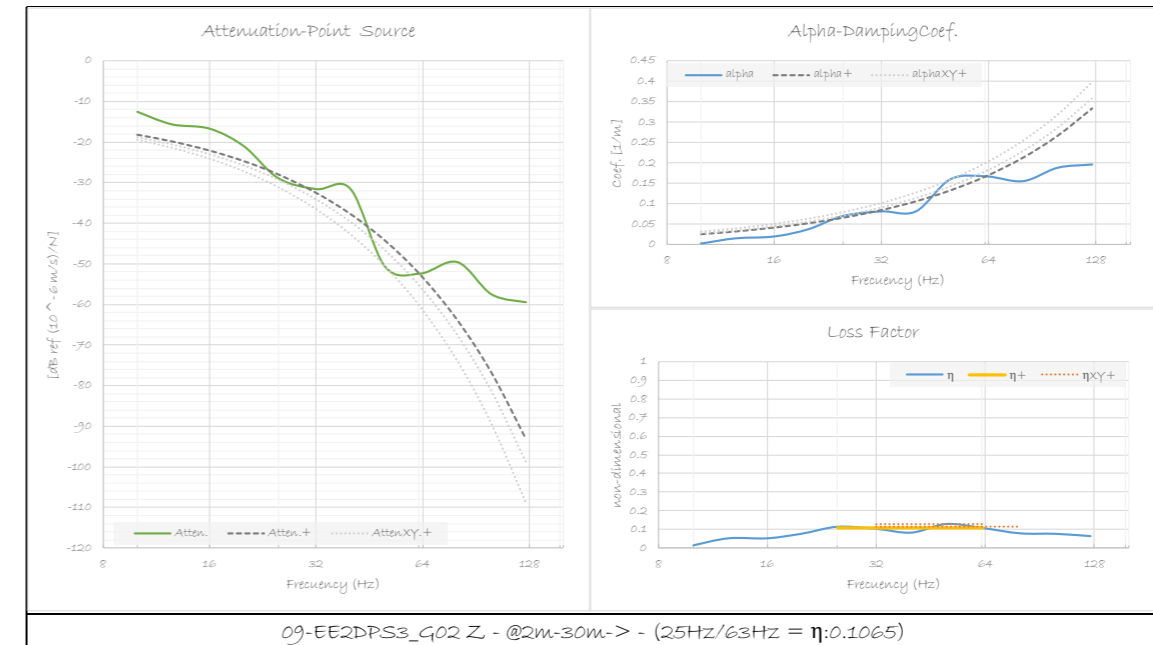
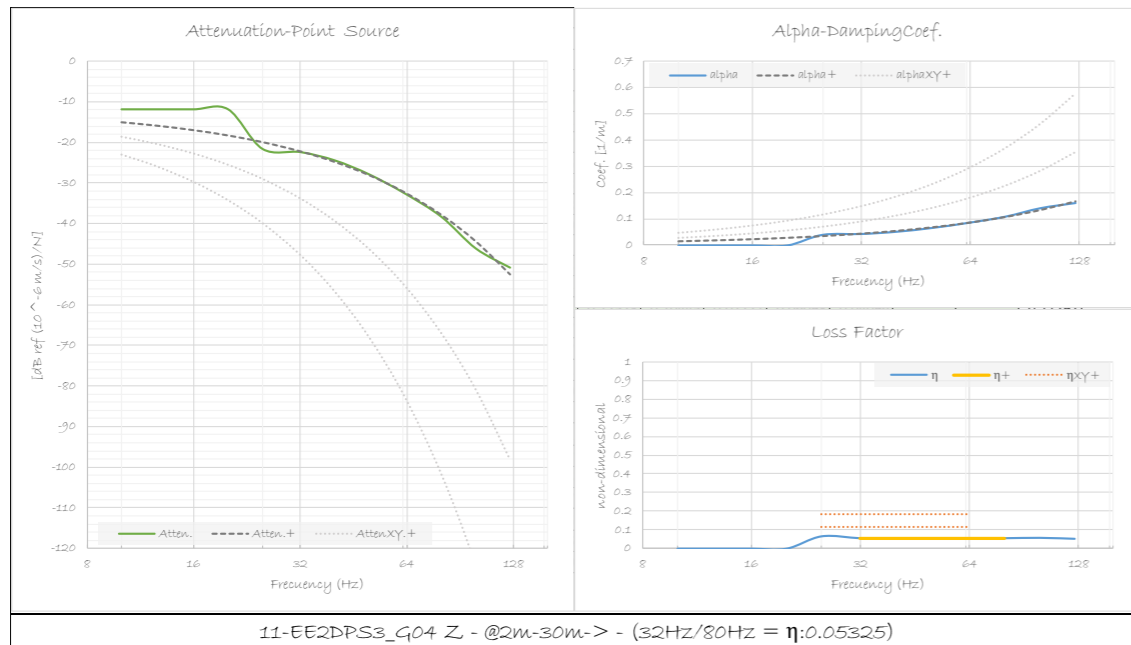


Figure 10. Loss Factor adjustment – Soil test data processed 09-EE2\_DPS3 (For illustration only)



Joonis 11. Kaoteguri korrigeerimine – pinnasekatsete andmete töötlemine 11-EE2\_DPS3 (ainult illustatsiooniks)

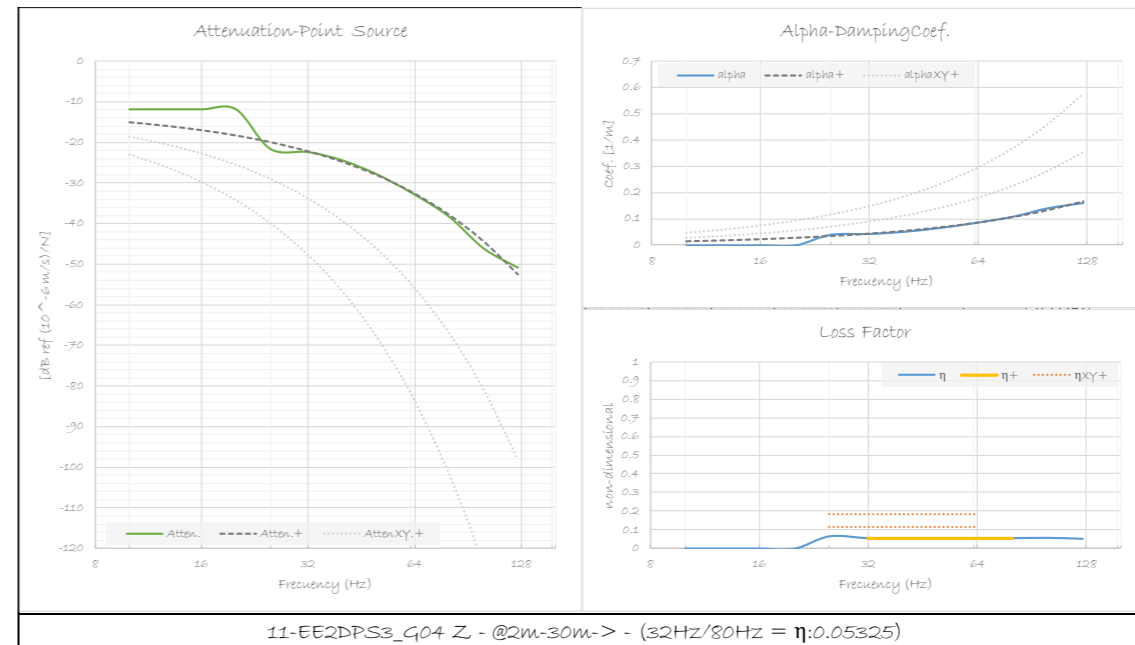
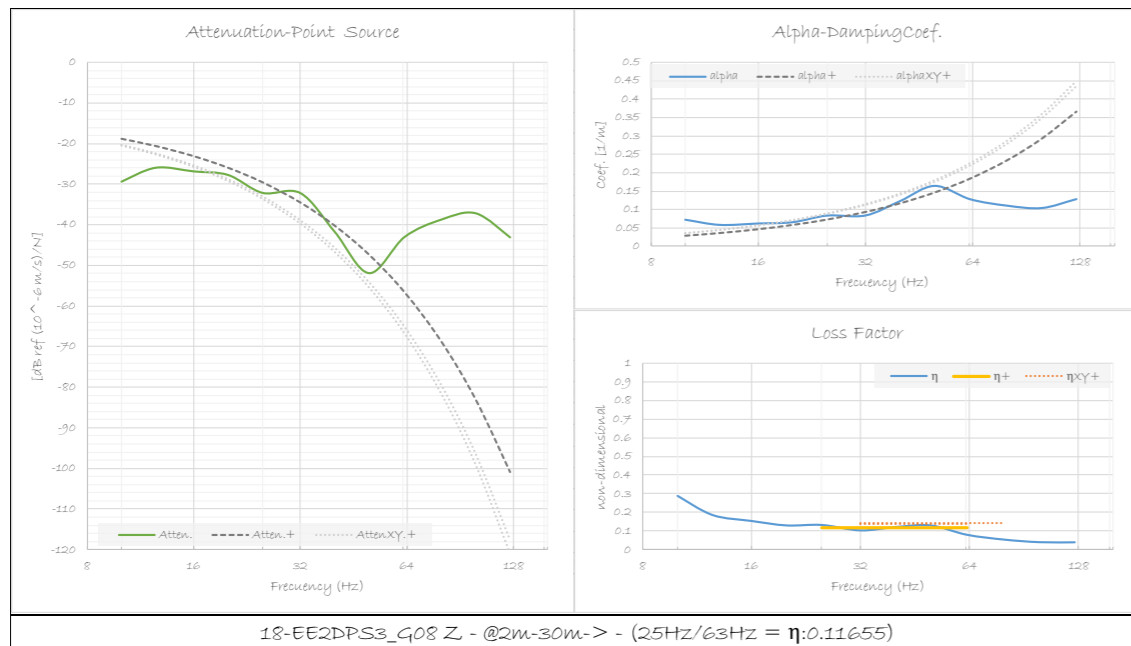


Figure 11. Loss Factor adjustment – Soil test data processed 11-EE2\_DPS3 (For illustration only)



Joonis 12. Kaoteguri korrigeerimine – pinnasekatsete andmete töötlemine 18-EE2\_DPS3 (ainult illustatsiooniks)

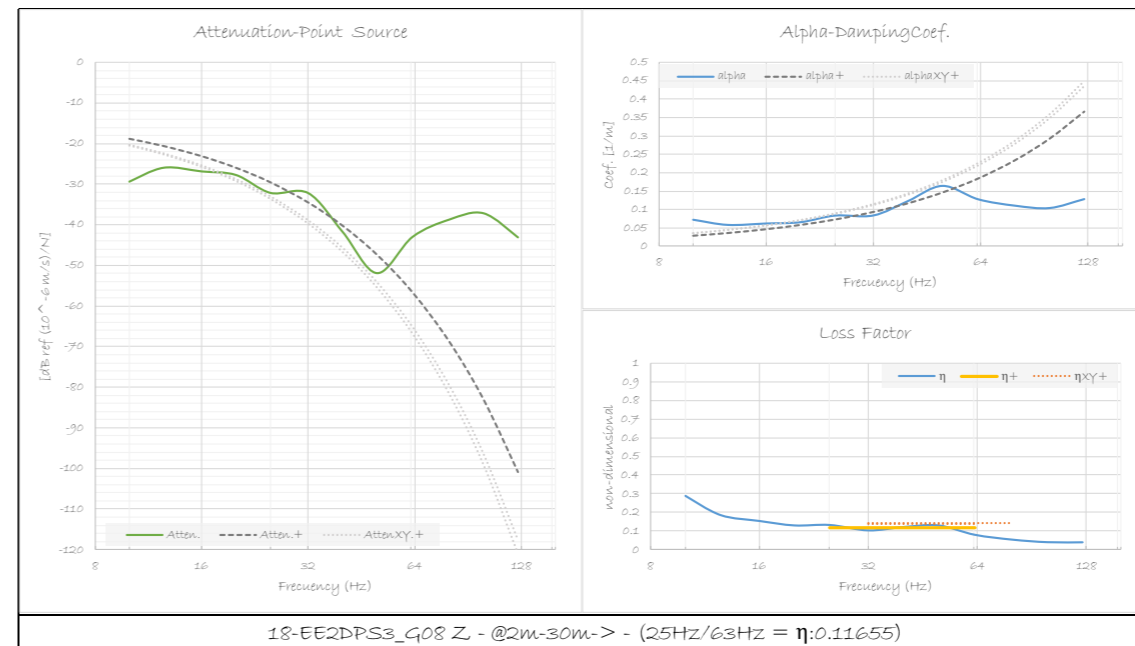


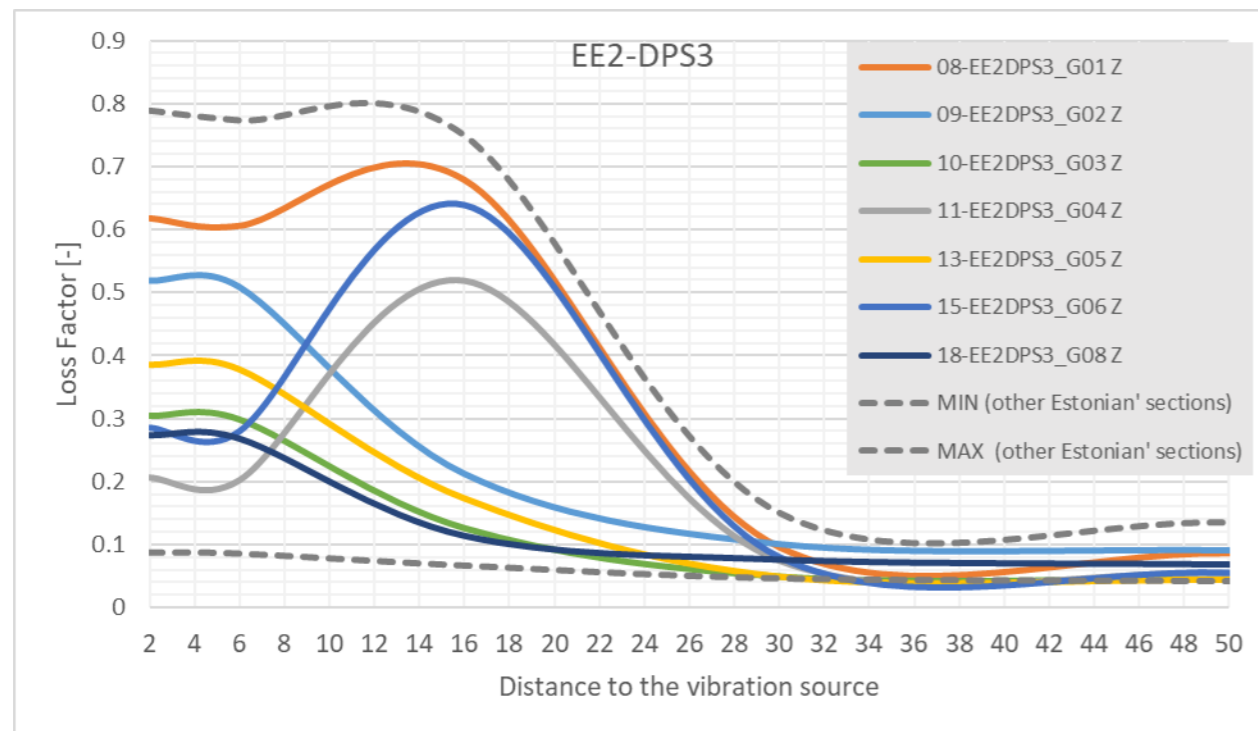
Figure 12. Loss Factor adjustment – Soil test data processed 18-EE2\_DPS3 (For illustration only)

Need väärtused on toodud Tabel 7:

Pinnasetüüp	0 kuni 6 m	6 kuni 16 m	16 kuni 30 m
08-EE2_DPS3	0,606476	0,6793552	0,0959353
09-EE2_DPS3	0,5094712	0,2118719	0,1012236
10-EE2_DPS3	0,2985661	0,1255475	0,0485776
11-EE2_DPS3	0,2025835	0,518327	0,0754481
13-EE2_DPS3	0,3788552	0,1741479	0,0509427
15-EE2_DPS3	0,2799587	0,6391558	0,0806659
18-EE2_DPS3	0,2674278	0,1143745	0,0769229

Tabel 7. Pinnasealadele määratud kaotegur - pinnasekatsete andmete töötlemine

Need mõõtmised esindavad tundlikke piirkondi, kuid asetades mõõtmised laiemasse konteksti, on need seni võetud võrdlusena maksimum- ja miinimumparameetriteks, mis on saadud erinevatest teistes Eesti projekti prioriteetsetes lõikudes teostatud mõõtmistest.



Joonis 13. Pinnasealadele määratud kaotegur – pinnasekatsete andmete töötlemine

These values are collected in the Table 7:

Soil Test	From 0 to 6m	From 6 to 16m	From 16 to 30m
08-EE2_DPS3	0.606476	0.6793552	0.0959353
09-EE2_DPS3	0.5094712	0.2118719	0.1012236
10-EE2_DPS3	0.2985661	0.1255475	0.0485776
11-EE2_DPS3	0.2025835	0.518327	0.0754481
13-EE2_DPS3	0.3788552	0.1741479	0.0509427
15-EE2_DPS3	0.2799587	0.6391558	0.0806659
18-EE2_DPS3	0.2674278	0.1143745	0.0769229

Table 7 Loss Factor assigned to ground locations – Soil test data processed

These measurements are representative of the sensitive areas themselves but trying to put these measurements in a wide context, it has been included as a reference, maximum and minimum parameters extracted from different measurements carried out in other different DPS within Estonia, up to now.

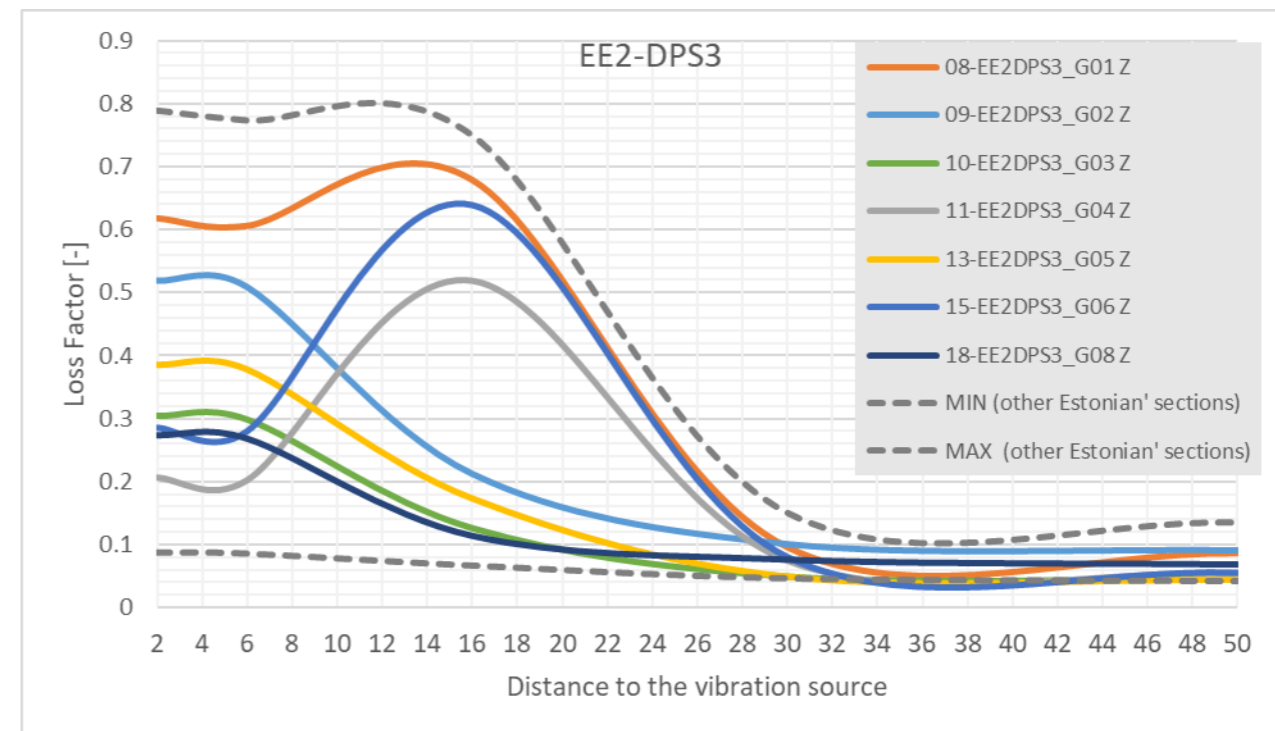


Figure 13. Loss Factor assigned to ground locations – Soil test data processed

#### 4.3.3 OLEMASOLEVA VIBRATSIOONI MÕÕTMINE

Mõõtekohtade asukohad ja teave on kokkuvõtlikult toodud käesolevas tabelis:

Mõõtmiskoht	Algusaeg	UTM tsoon	X UTM	Y UTM	Suund	Vasaralöögid	Temperatuur (°C)	Suhteline õhuniiskus (%)	Tuulekiirus (m/s)
12-EE2-DPS3_V_1	20.10.2020 15.55	35V	385352	6593953	385369	6593958	10,3	59	1,1
14-EE2-DPS3_V_2	21.10.2020 13.38	35V	382284	6590107	382259	6590122	10	58	0,7
17-EE2-DPS3_V_3	20.10.2020 17.44	35V	381928	6587862	381895	6587860	9,2	61	0,9

Tabel 8. Vibratsiooni mõõtmiskoht

Järgmine tabel näitab maksimaalset ja minimaalset mõõdetud vibratsioonitaset maapinnal (ilma hoonetest või täiendavatest ehitistest tuleneva parandustegurita) tundlikes piirkondades, kus see on olemasoleva raudteeliini lähedal. Täpsem teave on toodud lisas I.

Mõõtmiskoht	Address	Liikluse tüüp	Max/Min Law
12-EE2_DPS3_V_1	Porrulaugu 12; Maardu; 74117 Harju maakond	Kaubavedu	76,7 / 88,3
14-EE2_DPS3_V_2	Pae; Veneküla; 75325 Harju maakond	Rongiga läbisõitu ei mõõdetud	52,4 / 64,6 dB
17-EE2_DPS3_V_3	75325 Harju maakond, Eesti	Rongiga läbisõitu ei mõõdetud	67,3 / 71,5 dB

Tabel 9. Tundlikes piirkondades mõõdetud maksimaalne ja minimaalne vibratsioonitase

#### 4.4 VIBRATSIOONI EELDUSED

Regulatsiooninõuete tagamiseks on läbi viidud arvutused, milles hinnati vertikaalse vibratsiooni osakaalu vastava indeksina.

Raudteelt pärineva vibratsiooniga seotud mitmekordsete kohapealsete mõõtmiste järelduste kohaselt on kõige esinduslikum parameeter vertikaalse vibratsiooni indeks, jättes kõrvale põiki- või pikisuunalise vibratsiooni parameetri osakaalu kaugväljas. Sarnast lähenemisviisi on kirjeldatud FRA viitedokumendis FRA-US DoT (2012), milles näidatakse, et ainult vertikaalse vibratsiooni mõõtmisest piisab, et iseloomustada vibratsioonikäitumist, mis tuleneb vertikaalse indeksi suuremast vibratsiooniamplituudist võrreldes põiki-/pikisuunaliste indeksitega, samuti vertikaalsete võnkumiste tõhusama ülekandumisega vundamentidesse. Lisaks sellele ja arvestades muid täiendavaid viiteid – D’Avillez (2013) ja Miller, Pursey, Bullard (1955), muudab põik-/pikisuunalise võnkumise (nihke-/survetugevuse) erinev käitumine võrreldes vertikaalse võnkumisega (Rayleigh) viimase levimise lihtsaks.

Kaugvälja eelduse kohaselt liigub erinevate allikate hinnangul 67,4% ergastuse punktpinnalt kiiratud koguenergiast läbi Rayleigh lainete abil. Vastuvõtja (st hoonete) puhul on pinnaliikluse mõju korral Rayleighi laine kõige tõenäolisem laine tüüp, mida möödub rong tekitab.

#### 4.3.3 CURRENT VIBRATION MEASUREMENT

The locations and information of the measurement locations are summarized in this table:

Measurement location	Beginning Time	UTM zone	X UTM	Y UTM	Direction	Hammer impacts	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Wind Speed (m/s)
12-EE2-DPS3_V_1	20/10/2020 15:55	35V	385352	6593953	385369	6593958	10,3	59	1,1
14-EE2-DPS3_V_2	21/10/2020 13:38	35V	382284	6590107	382259	6590122	10	58	0,7
17-EE2-DPS3_V_3	20/10/2020 17:44	35V	381928	6587862	381895	6587860	9,2	61	0,9

Table 8 Vibration measurement location

The following table collects the maximum and minimum vibration levels measured, on the ground (no correction factor due to buildings or additional structures), at the sensitive areas where there is a close existent railway line. Detailed information is provided in the Appendix I.

Measurement location	Address	Traffic type	Max/Min Law
12-EE2_DPS3_V_1	Porrulaugu 12; Maardu; 74117 Harju maakond	Freight	76.7 / 88,3
14-EE2_DPS3_V_2	Pae; Veneküla; 75325 Harju maakond	No pass by train measured	52.4 /64.6 dB
17-EE2_DPS3_V_3	75325 Harju maakond, Estonia	No pass by train measured	67.3 /71.5 dB

Table 9 Maximum and minimum vibration levels measured at sensitive areas

#### 4.4 VIBRATIONS ASSUMPTIONS

Calculations have been carried out assessing the vertical vibration contribution as the relevant index to guarantee the regulation requirements.

According to the conclusions of multiples in-situ measurements, related to vibrations from railways, the most representative parameter is the vertical vibration index, dismissing the contribution of the transversal or longitudinal vibration parameter in the far-field. A similar approach is described in the FRA's reference document FRA-US DoT (2012) pointing out the sufficiency of measure vertical vibration only, to characterize the vibration behaviour due to the greater vibration amplitudes of the vertical index versus transversal/longitudinal indexes, as well as the more efficient transmission to the foundations of the vertical oscillations. Moreover, and considering other additional references D’Avillez (2013) and Miller, Pursey, Bullard (1955) the different behavior in the propagation of the transversal/longitudinal oscillation (shear/compressive) against the vertical oscillation (Rayleigh) make easy the propagation of the last one.

Under the far-field assumption, different sources estimate that 67.4% of the total energy radiated from the point-surface of excitation is travelling through Rayleigh waves. Concerning a receptor (i.e. buildings), when under the influence of surface traffic, Rayleigh wave is the most relevant wave types that a passing train induces.

Lisaks tuleb arvutustes arvestada teatud eeldustega, et saaks rakendada erinevaid mudeleid ja kohandustegureid, nagu on kirjeldatud ülaltoodud lõikudes. Need eeldused põhinevad konservatiivsetel kriteeriumidel ja on kokku võetud järgmiselt:

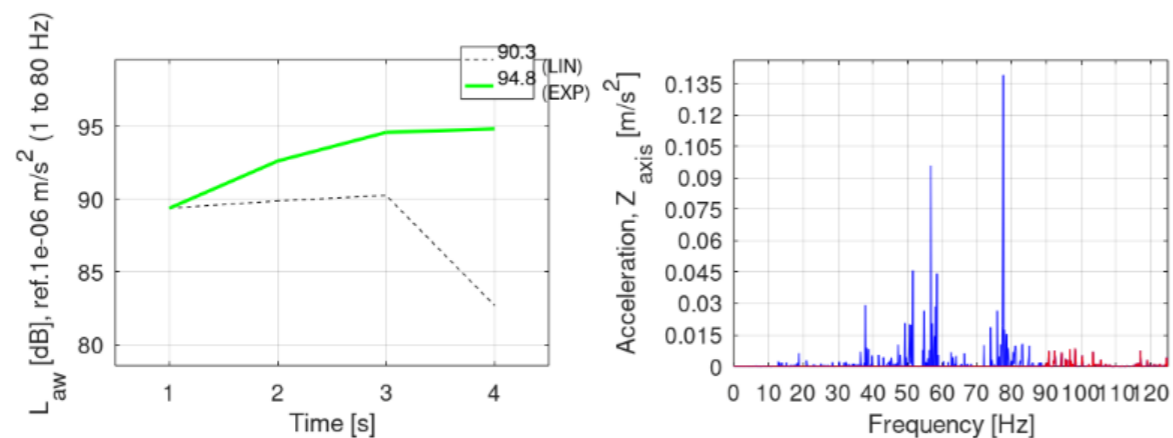
- Sõltuvalt projektist või asendiplaanist on alapid, mis kulgevad viaduktil, teekallakul, lahtisel süvendil, peatuses, kaetud süvendil või tunnelis. See teave on arvutusmudelisse lisatud. Arvesse võetakse ka rööbastee seadmed nagu pöörmed.
- Ehitise vundamendiga sidestuse korral ütlen üldreegel, et mida raskem on konstruktsioon, seda suurem on vibratsiooni vähenemine. Antud hinnangu puhul on seda tegurit kohandatud vastavalt ehitise olemusele.
- Hooned: Arvesse on võetud võimendumist ja sumbuvus. Sõltuvalt iga hoone maapinnast kõrgemal asuvate korruste arvust vähendab hajutatust levivat vibratsioonienergiat. Seega, mida kõrgem on hoone, seda suurem on sumbuvus energia hajutamise tõttu üle kogu hoone. Arvutustes on iga hoone hindamispunktiks loetud üks korrus (sumbuvus -2 dB).
- Lisaks võib hinnata ka resonantsnähtuste tõttu pörandates ja seintes tekkinud võimendumist. Ehituskonstruktsiooni, eriti pörandate resonantsid põhjustavad sellist vibratsiooni võimendamist (võimendumine + 6 dB).

## 5 ENNUSTUSTE TULEMUSED

### 5.1 PROJEKTEERITAVA RAUDTEE VIBRATSIOONITASEMED

Tulemuste edastamise automatiseerimiseks on meie ennustustööriistas kasutatud kõiki varasemaid kaalutlusi/eeldusi. Arvutused on läbi viidud tundliku hoone/piirkondade kohta, mis on tuvastatud rööbastest 100 m ulatuses.

See hinnang on tehtud kiirrongide ja kaubarongide kohta. Veeremi simulatsioonide väljund, arvestades rööbastee dünaamilist käitumist, on koondatud järgmistesse teabelehtedesse (Figure 14 ja Figure 15):



Joonis 14. Kiirrongi vibratsioonikäitumise simuleerimine rööbastest 3 m kaugusel (võrdluspinnas)

In addition, it is necessary to consider certain assumptions in the calculations to apply the different models and the adjustment factors, as described in the above sections. These assumptions are based on conservative criteria and are summarized as follows:

- Depending on the design or the layout, there are areas that run on viaduct, at grade, open cut, station, cut & cover or tunnel. This information has been included in the calculation model. Moreover, track devices as turnouts are also considered.
- In case of coupling to building foundation, the general rule is the heavier the construction is, the higher the vibration reduction is. For this assessment, this factor is adapted according to the building structure nature.
- Buildings: Amplification and attenuation have been considered. Depending on the number of floors above the ground level of each building, scattering phenomena reduces the vibrational energy that is propagating. Hence, the taller the building is, the more attenuation phenomena occurs by dispersion of energy through the building. Calculations have considered one floor (-2dB of attenuation) as the evaluation point of every buildings.
- Furthermore, amplification generated in the floors and walls, due to resonance phenomena also could be estimated. Resonances of the building structure, particularly the floors, will cause this kind of vibration amplification. (+6dB of amplification).

## 5. RESULTS OF PREDICTIONS

### 5.1 DESIGNED RAILWAY VIBRATION LEVELS

All previous considerations/assumptions have been implemented in our prediction tool to automate the delivery of results. Calculations have been performed around the sensitive building/areas identified in the range of 100m far from the track.

This assessment has been made for HST and Freight trains. The output of the rolling stock simulations, considering the dynamic behaviour of the track, have been condensed in the following datasheets (Figure 14 and Figure 15):

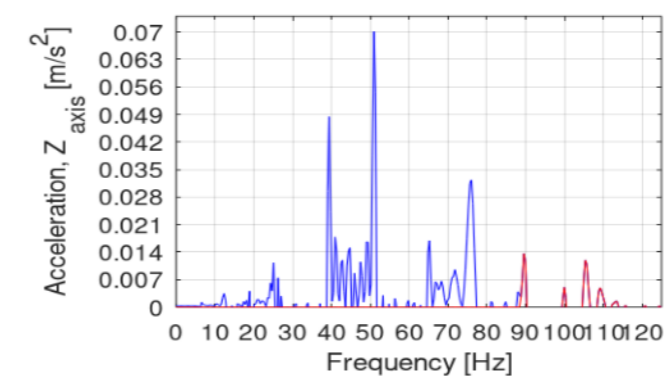
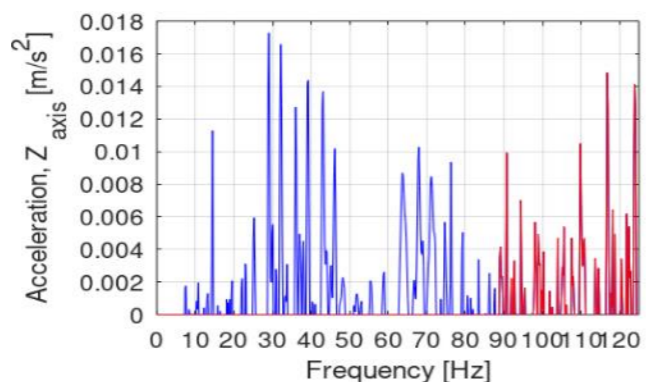


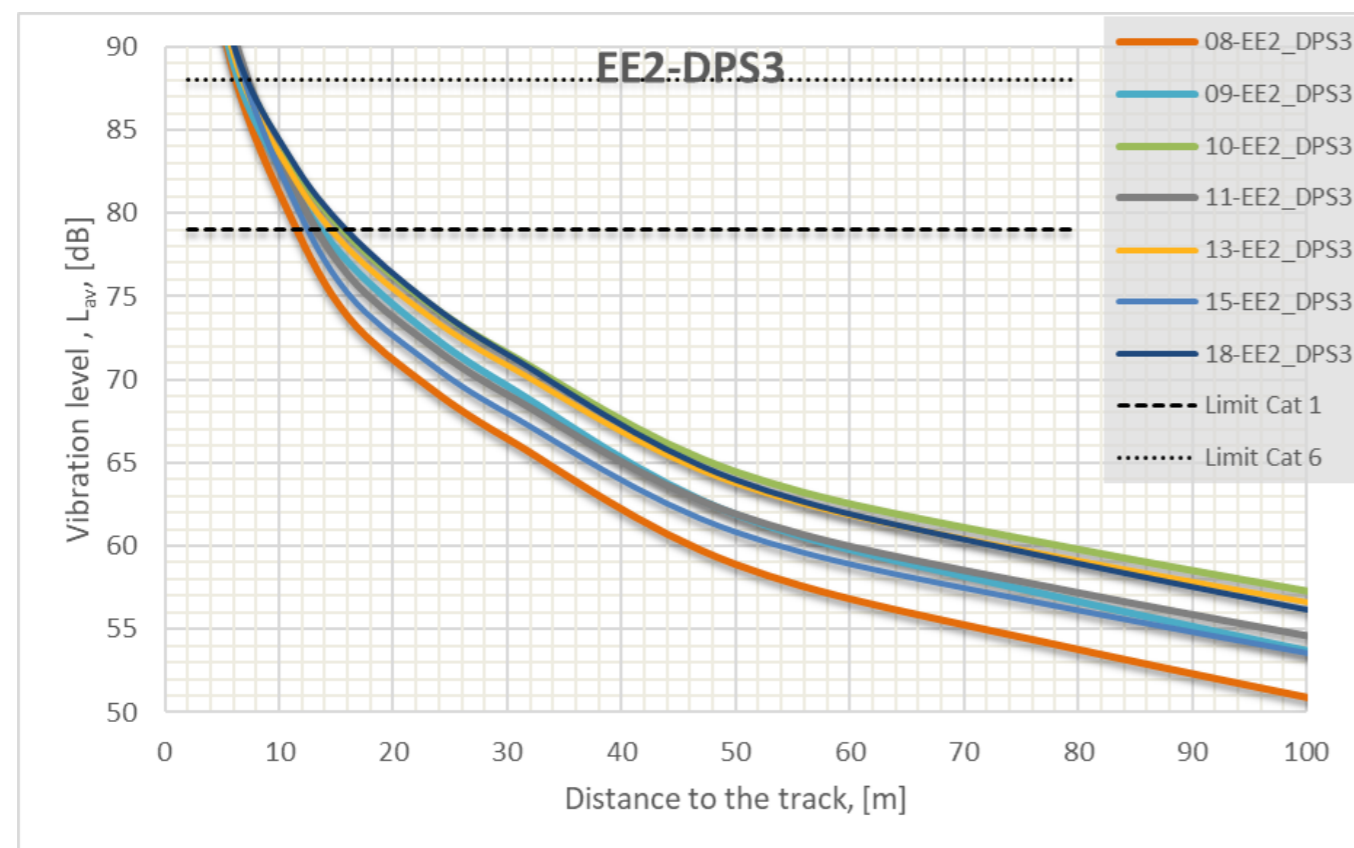
Figure 14. Simulation of the vibration behaviour of HST at 3m from the track (Reference soil)



Joonis 15. Kaubarongi vibratsioonikäitumise simuleerimine rööbasteest 3 m kaugusel (võrdluspinnas)

Järgmiseks sammuks on nende vibratsioonitasemete levitamine pinnase kaudu vastavalt eelnevalt kirjeldatud vibratsiooni levimise mehhanismile ja pinnase omadustele, et määrata reguleerimisindeksi ( $L_{av}$ ) muutumine koos vibratsiooniallika kaugusega (Figure 16). Selgituseks ei sisalda Figure 16 parandustegureid, mis on seotud hoone vundamendi, ehitiste jms sidestumisega, seega kujutab see pilt vaheetappi lõpptulemuse saavutamisel.

Kaasatud on kaks erinevat vibratsiooni piirmäära. Eesti seadusandluses (eelkõige büroo- ja haldushoonete puhul) on kasutusel kategooria 1 elamute puhul öösel ja kategooria 6 kui maksimaalne vibratsiooni piirmäär.



Joonis 16. Lav- kõige piiravama rongi kauguse muutumine (ilma parandusteguriteta)

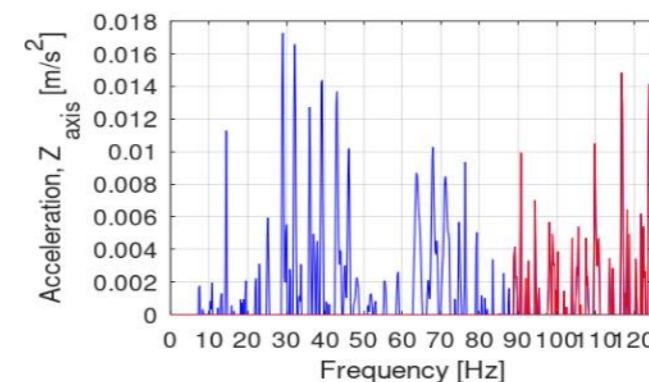


Figure 15. Simulation of the vibration behaviour of Freight train at 3m from the track (Reference soil)

Afterwards, the next step is to propagate these vibrations levels through the soil according to the vibration propagation mechanism and soil properties described previously to get the evolution of the regulation index ( $L_{av}$ ) with the distance to the vibration source (Figure 16). As clarification, no correction factors regarding the coupling to building foundation, buildings and similar are included in the Figure 16, so this picture represents an intermediate step to the final result.

Two different vibration limits have been included. Category 1 for housing at night period and Cat 6 as the maximum vibration limit considered in the Estonian regulation (specifically for Offices and administrative buildings).

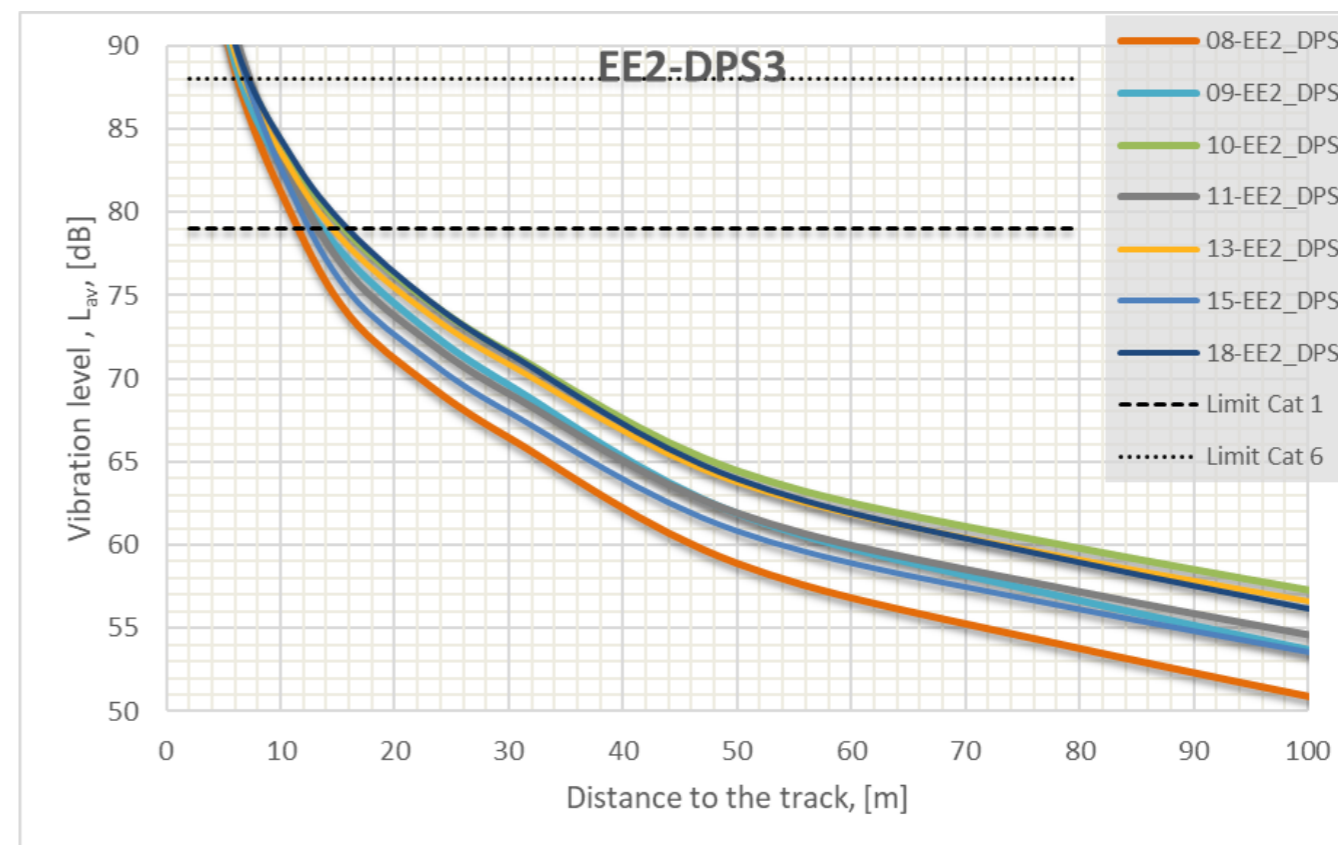


Figure 16. Lav – distance evolution of the most restrictive train (Without correction factors)

Lõpuks, arvestades eespool kirjeldatud parandustegureid ja eeldusi (osad 3.4 ja 4.4), võiks vibratsiooni ennustusmudeli tulemused kokku võtta vahemaana, et järgida tabelis Tabel 10: väljatoodud ettekirjutusi:

Mõõtmispunkt	Pk (varu)	Kaugus tundlikust hoonest lähima rööbastee keskpunktini (m)	Vahemaa, kus vibratsioon saavutab taseme Law = 79 dB	Vahemaa, kus vibratsioon saavutab taseme Law = 88 dB	Nõutavad on vibratsiooni leevendusmeetmed
Veehoidla, Maardu linn, Harju maakond, 74117, Eesti	-0+250 / 0+100 (paremal)	85	9-12	N/A	EI
Murulaugu, & Küüslaugu, Maardu linn, Harju maakond, 74117, Eesti	0+700 / 0+860 (paremal)	80	13	N/A	EI
Porrulaugu, Maardu linn, Harju maakond, 74117, Eesti	0+860 / 1+040 (paremal)	25	11-13	N/A	EI
6, Veneküla tee, Vao, Veneküla, Tallin, Rae vald, Harju maakond, 75325, Eesti	7+680 / 7+730 (vasakul)	20	N/A	5-7	EI
Uuesauna, Lepiku tee, Soodevahe küla, Veneküla, Rae vald, Harju maakond, 75325, Eesti	9+070 / 9+130 (vasakul)	60	12	N/A	EI
Aaviku, Lepiku tee, Veneküla, Rae vald, Harju maakond, 75325, Eesti	9+160 (vasakul)	100	12	N/A	EI
6, Varivere tee, Soodevahe küla, Rae vald, Harju maakond, 75322, Eesti	9+900 / 10+000 (vasakul)	30	11-13	N/A	EI
5, Raudtee, Ülejõe küla, Lagedi, Rae vald, Harju maakond, 75323, Eesti	10+300 (L1520) (vasakul)	35	15	N/A	EI

(\*) Vahemaad vastavalt seadusele, mis sätestab kasutusega seotud maksimaalseks vibratsiooni piirväärtuseks 88 dB, ei ole olemasolevas määruses konkreetselt kirjeldatud. Mittetundlikud hooned

Tabel 10. Vibratsiooni reguleerimise nõuetelevastav kaugus

Sellest tulenevalt on vahemaa, mille korral määrusega sätestatud vibratsiooni piirväärtused on täidetud, lühemad vahemaast hoonete ja rööbastee vahel, määruses sätestatud vibratsioonitasemed on selle DPS-i piires täielikult täidetud, seega pole selle DPS-i jaoks vaja rakendada vibratsiooni leevendavaid meetmeid.

Finally, considering the correction factors and assumptions described before (Sections 3.4 and 4.4), the results of the prediction vibration model could be summarized as a distance to comply with the regulation presented in the Table 10:

Measurement point	Pk (margin)	Dist. from the sensitive building to centre of the closest track (m)	Distance where vibration reach Law=79dB	Distance where vibration reach Law=88dB	Vibration mitigation measure needed
Veehoidla, Maardu linn, Harju maakond, 74117, Estonia	-0+250 / 0+100 (Right)	85	9-12	N/A	NO
Murulaugu, & Küüslaugu, Maardu linn, Harju maakond, 74117, Estonia	0+700 / 0+860 (Right)	80	13	N/A	NO
Porrulaugu, Maardu linn, Harju maakond, 74117, Estonia	0+860 / 1+040 (Right)	25	11-13	N/A	NO
6, Veneküla tee, Vao, Veneküla, Tallin, Rae vald, Harju maakond, 75325, Estonia	7+680 / 7+730 (Left)	20	N/A	5-7 (*)	NO
Uuesauna, Lepiku tee, Soodevahe küla, Veneküla, Rae vald, Harju maakond, 75325, Estonia	9+070 / 9+130 (Left)	60	12	N/A	NO
Aaviku, Lepiku tee, Veneküla, Rae vald, Harju maakond, 75325, Estonia	9+160 (Left)	100	12	N/A	NO
6, Varivere tee, Soodevahe küla, Rae vald, Harju maakond, 75322, Estonia	9+900 / 10+000 (Left)	30	11-13	N/A	NO
5, Raudtee, Ülejõe küla, Lagedi, Rae vald, Harju maakond, 75323, Estonia	10+300 (L1520) (Left)	35	15	N/A	NO

(\*) Distance for complying with Law 88dB as the maximum vibration limit associated with uses do not describe specifically in the current regulation. No sensitive buildings

Table 10 Compliance distance of the vibration regulation

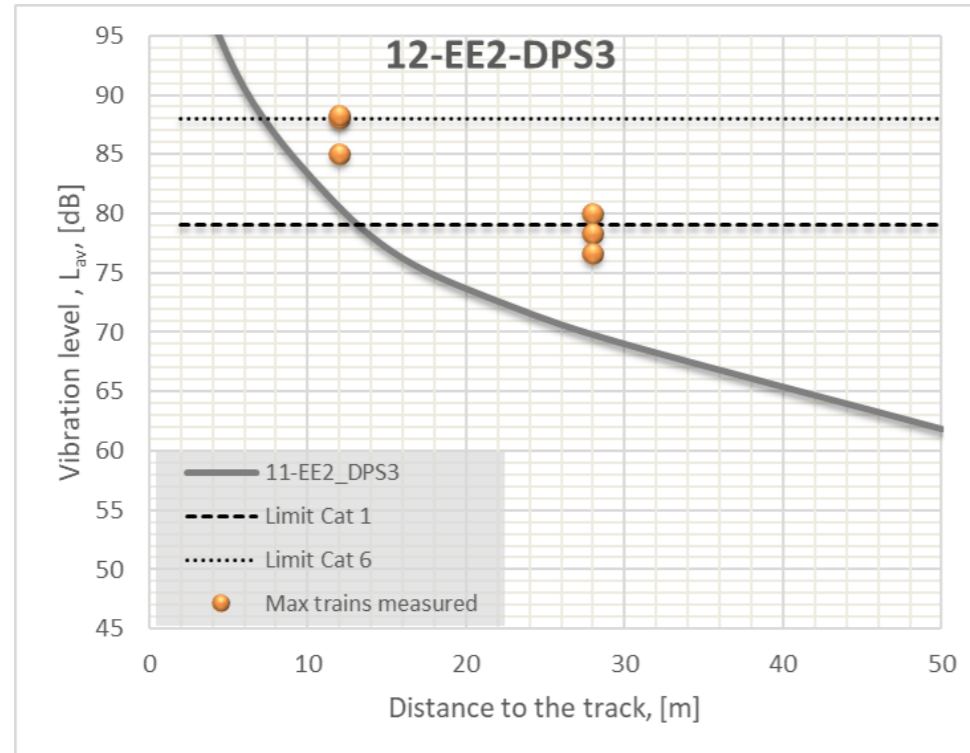
Consequently, the distance where the vibration limits set by the regulation is met are lower than the distance between the buildings and the track, the vibration levels set in the regulation are fully complied along this DPS, so no vibration mitigation measures are needed for this DPS.

## 5.2 OLEMASOLEV JA ESILEKUTSUTUD VIBRATSIOONITASE

Käesolevas projekti prioriteetses lõigus valiti olemasolevate vibratsiooniallikate mõõtmiseks kolm kohta ja mõõtmistulemused on kokku võetud joonistel 17 kuni 19 ning üksikasjalikumalt lisas I.

Järgmistel joonistel on toodud mõõdetud vibratsiooniallikad võrreldes pinnases levimise katse tulemustega, samuti iga positsiooni regulatiivsed piirväärtused.

Märkused, et mõõtmise ajal ei mõjutanud sõitvad rongid positsioone 14 ja 17.



Joonis 17. Lav – kohapealsete vibratsioonimõõtmiste kokkuvõte (12-EE2-DPS3)

## 5.2 CURRENT VS INDUCED VIBRATION LEVELS

In this DPS, 3 locations were chosen to measure the current vibration sources and the measurement results are summarized in Figures 17 to 19, and in a more detailed way in the Annex I.

The following figures show the measured vibration sources in comparison to the soil propagation test results, as well as the regulatory limits for every positions.

Remarks that during measurement time, positions 14 and 17 were not affected by running trains.

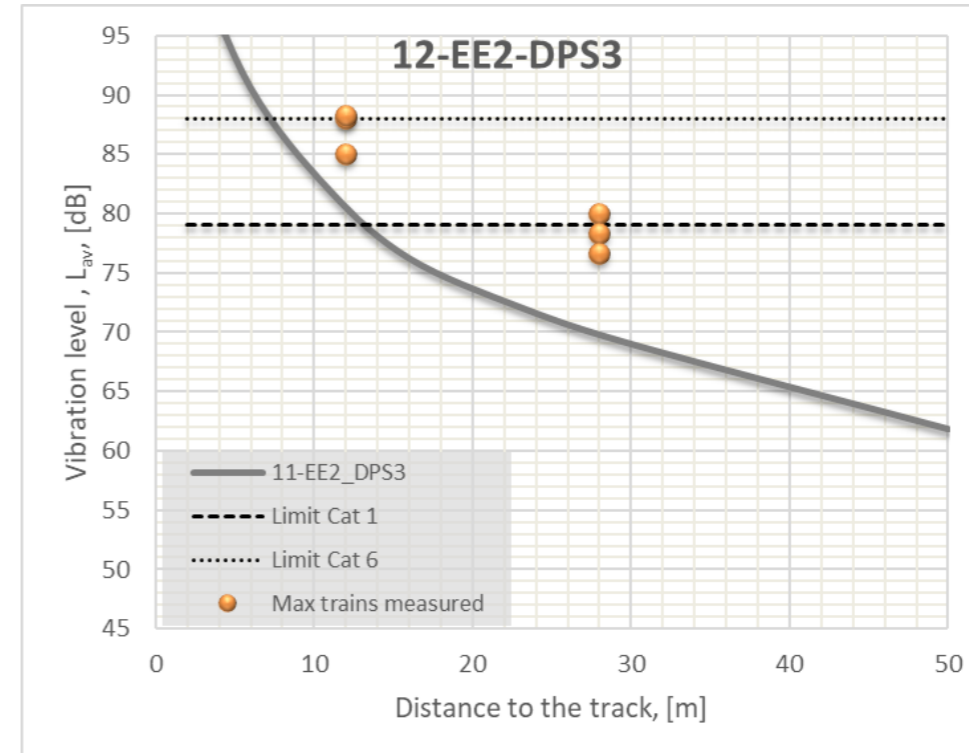
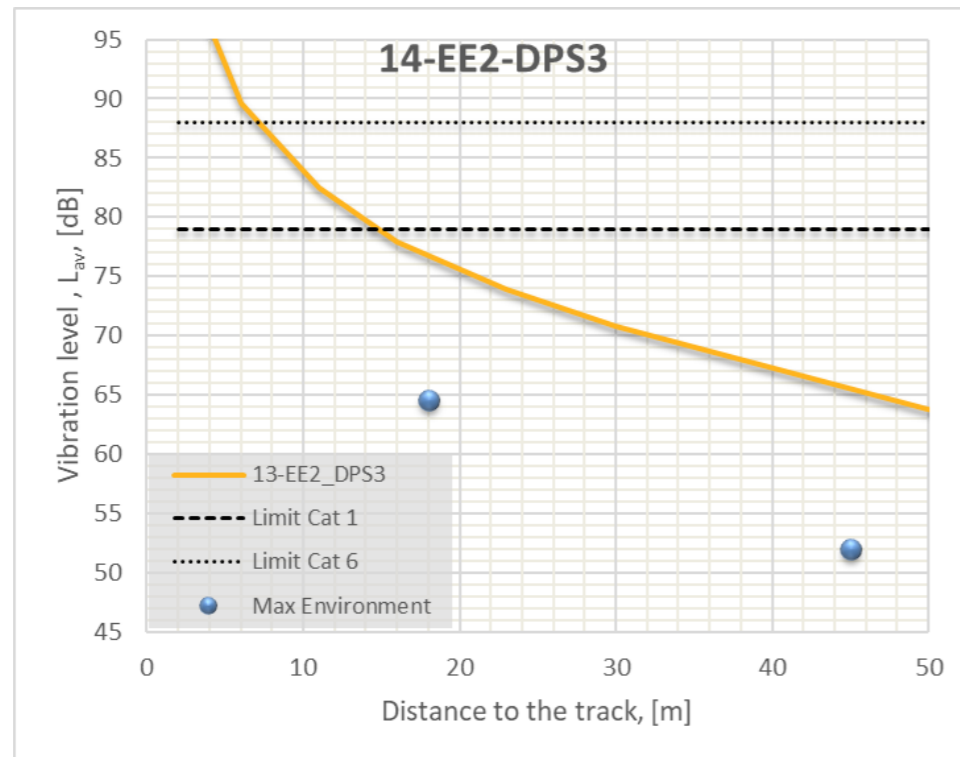


Figure 17. Lav – Summary of the in situ vibration measurements (12-EE2-DPS3)





Joonis 18. Lav – kohapealsete vibratsioonimõõtmiste kokkuvõte (14-EE2-DPS3)

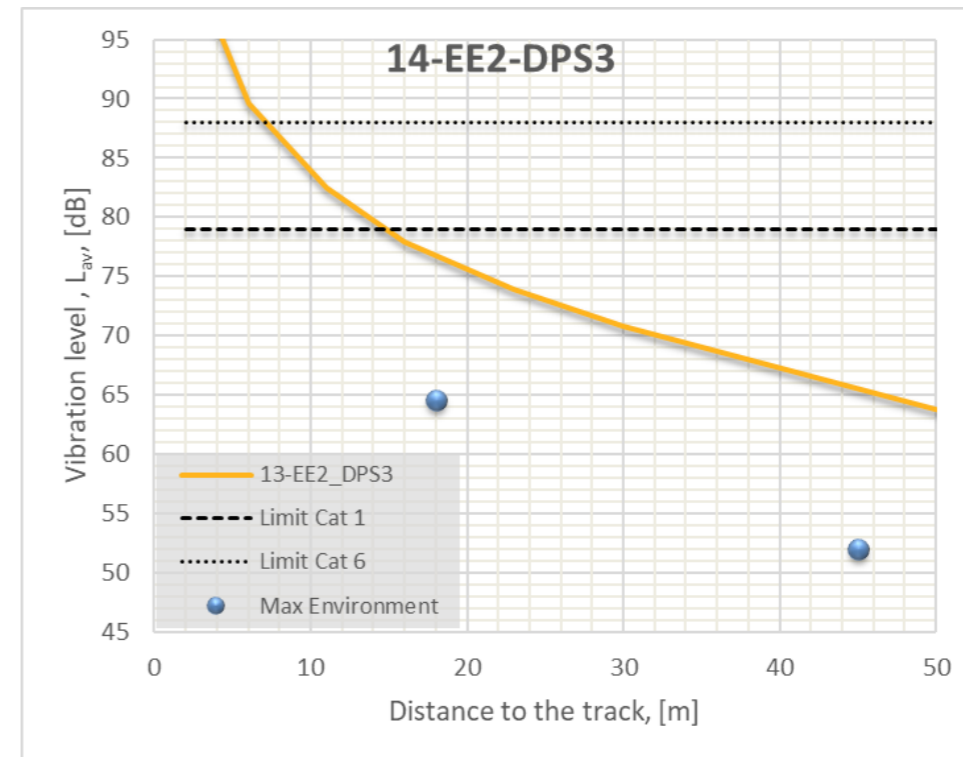
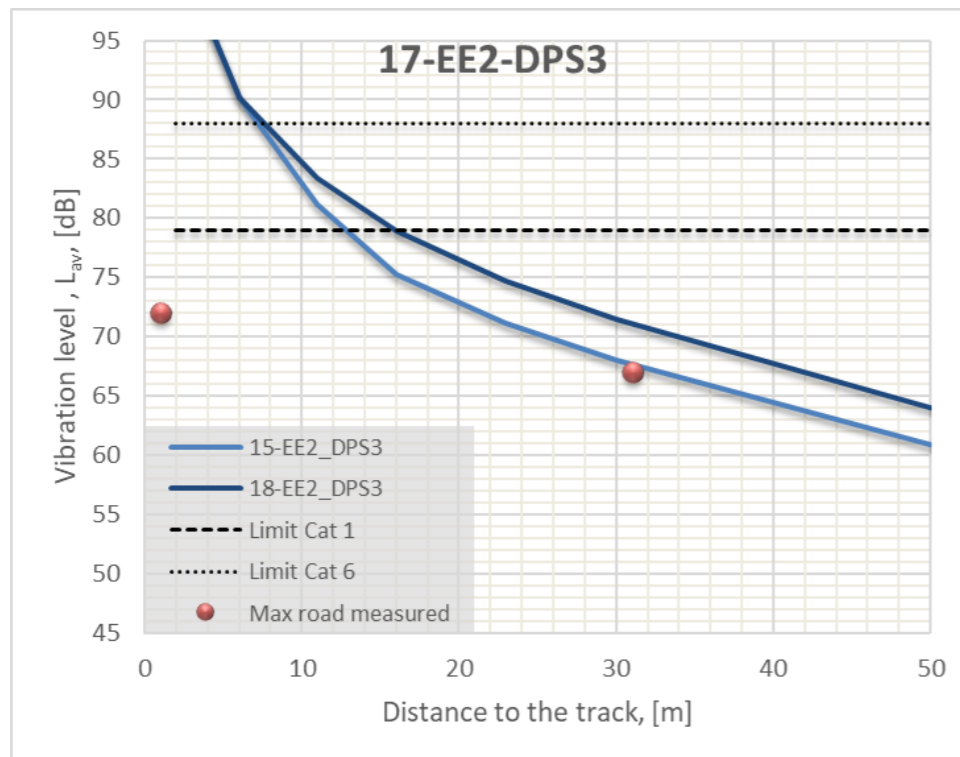


Figure 18. Lav – Summary of the in situ vibration measurements (14-EE2-DPS3)



Joonis 19. Lav – kohapealsete vibratsioonimõõtmiste kokkuvõte (17-EE2-DPS3)

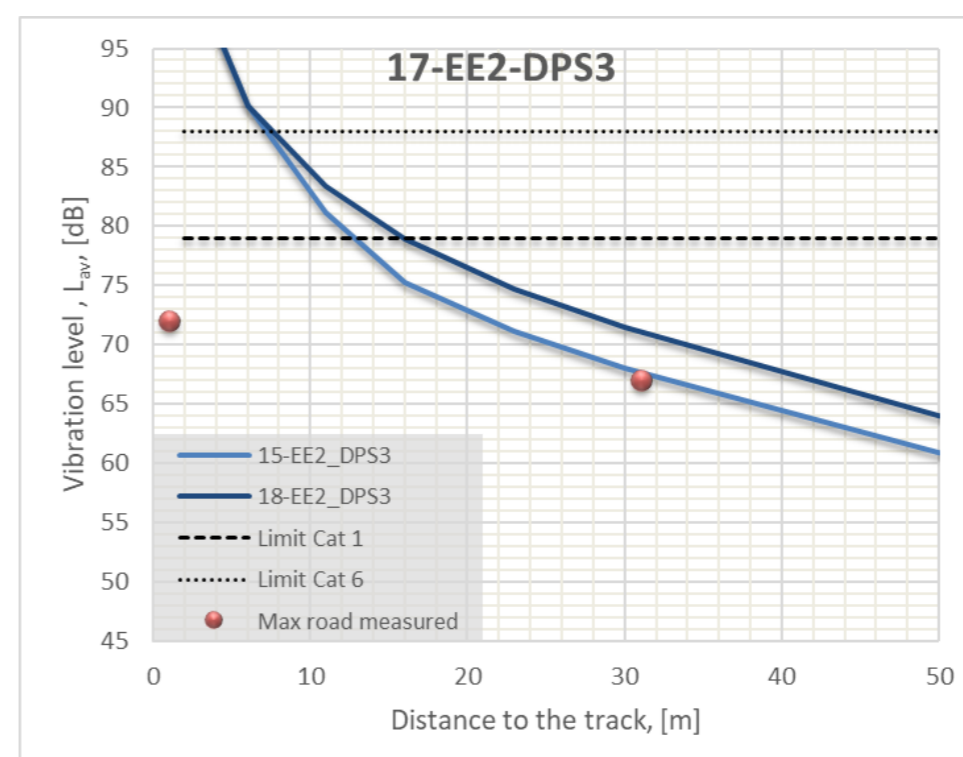


Figure 19. Lav – Summary of the in situ vibration measurements (17-EE2-DPS3)

## 6 JÄRELDUSED

Vibratsiooni mõju peetakse rahvatervise valdkonnas oluliseks teemaks. Euroopa ja Eesti standardid kehtestavad vibratsiooniallikate levitatava vibratsiooni piirväärtused elamutes ja ühiskondlikes hoonetes. Selle uuringu eesmärk on täita olemasolevate hoonete kõige piiravamaid väärtuseid vastavalt sotsiaalministri määrusele RLT 2002, 62, 931. Sellest tulenevalt on kohustuslik hinnata raudteeliini tekitatud vibratsiooni ja tagada, et tundlike piirkondade vibratsioonitasemed jäävad seatud piiridesse, ja vajaduse korral rakendada asjakohaseid vibratsiooni leevendavaid meetmeid.

Vibratsiooni hindamise valdkonnas puudub analüüsi läbiviimiseks standardiseeritud ennustumudel ja seetõttu pole ka spetsiaalset kommertstarckvara, mis võimaldaks vibratsioonimõjude prognoosivat hindamist. Need põhjused on ajendanud IDOMi välja töötama oma tööriista, mis sisaldab kõige otstarbekamat tunnustatuimast rahvusvahelisest teaduskirjandusest leitavat meetodikat ning sisaldab ka standarditega ISO-2631 ja DIN-4150 kehtestatud nõudeid ja toiminguid. Selle analüüsi jaoks valitud vibratsioonimudel on mitme arvutusmeetodi kombinatsioon. Mudel sisaldab veeremi dünaamiliste omaduste, rööbastee käitumise ja platvormi pinge levimise määratlemiseks analüütilisi mudeleid, empiirilist ja poolanalüütilist mudelit vibratsiooni maapinna leviku määratlemiseks ja statistilisi mudeleid maapinnas leviva müra määratlemiseks hoonetes.

See hinnang on tehtud kiirrongide ja kaubarongide kohta. Mudeli projekteerimisparameetrid täpsustatakse projekti käsiloleva etapi põhjal. Kui teave pole kättesaadav, tehakse eeldused konservatiivse kriteeriumite alusel. Peale selle on levikuanalüüsi tegemiseks vaja määratleda pinnase omadused allika ja tundlike piirkondade vahelisel alal. Tundlikeks piirkondadeks peetakse kõiki sotsiaalministri RLT 2002, 62, 931 määruses esitatud olemasolevate ehitiste ja ruumide kategooriaid, mis asuvad umbes 100 m kaugusel mõlemal pool raudteed. Seetõttu on läbi viidud kohapealsed uuringud, et määratleda kaotegur ( $\eta$ ), mis iseloomustab maapinna käitumist seoses vibratsiooni levimisega antud DPS tundlike piirkondade lähedal.

Käesolevas projekti prioriteetses lõigus on piketis -0+250 kuni piketini 10+300 tuvastatud raudtee kummastki küljest 100 m raadiuses kaheksa peamiselt elamukasutusega tundlikku piirkonda. Vibratsioonianalüüsi tulemused juhtisid tähelepanu sellele, et kõige rangem nõutav vibratsiooni piirväärtus (elumajade korral) saavutatakse objekti seisukorda ja hoone ehitust arvestades 9–15 m kaugusel, sõltuvalt pinnase tüübist. Hetkel avaldab raudteeliiklus nendele tundlikele piirkondadele rohkem mõju, kui eeldatavast pärast käesoleva projekti rajamist.

**Pärast kõiki neid järeldusi võib väita, et Eestis kehtivas määruses sätestatud vibratsioonipiirangutele vastamiseks ei ole vaja uue raudteeliini ehitamisel marsruudil Tallinn-Rapla projekti prioriteetse lõigu nr 3 põhiprojekti etapis paigaldada vibratsiooni kontrollimisemeid<sup>1</sup>.**

## 6. CONCLUSIONS

The vibration impact is considered as an important subject inside the scope of the public health. European and Estonian standards set limit values for the vibrations emitted by sources in residential and public buildings. The target of this study is to meet the most restrictive values for the buildings already built according to the RLT 2002, 62, 931 of the Minister of Social Affairs. Consequently, it is mandatory to evaluate the vibration induced by the railway line and guarantee that the vibrations levels at sensitive areas are under the set limits and, if necessary, to apply the pertinent vibration mitigation measures.

In the field of vibrations assessment, there is no standardized prediction model to carry out the analysis, and therefore, there is no specialized commercial software to carry out predictive vibration impact assessments. These reasons have led IDOM to develop its own tool, which includes the most useful methodology that can be found in the most acceptable international scientific literature and also include the requirements and procedures established by ISO-2631 and by DIN-4150. The vibration model selected for this analysis is a combination of several calculation methods. The model includes analytical models to define the dynamic properties of rolling stock, track behavior and platform stress propagation, empirical and semi-analytical model to define vibration ground propagation and statistical models to define ground borne noise in buildings.

This assessment has been made for HST and Freight trains. The design parameters of the model are specified based on the current design development. Where information is not available, assumptions are made based on a conservative criterion. Moreover, to carry out the propagation analysis is necessary to define the soil properties between the source and the sensitive areas. They are considered as sensitive areas all the categories of the buildings already built presented in the RLT 2002, 62, 931 of the Minister of Social Affairs which are in a range of around 100m both sides of the railway line. Therefore, in-situ investigations have been made to define the loss factor ( $\eta$ ) which characterize the ground behaviour regarding the vibration propagation near to the sensitive areas of this DPS.

In this DPS have been identified 8 sensitive area with mostly residential use between PK -0+250 and PK 10+300 within a range of 100m both sides of the tracks. The results of the vibration analysis point out that the most restrictive vibration limit required (for housing uses) is reached between 9 to 15m pending to the soil type, site conditions and building construction. Currently, these sensitive areas are exposed to railway traffic even higher than the expected after the construction of this project.

**After all these conclusions, it can be asserted that it is not necessary to install vibration control measures in the Master Design stage for the Design Priority Section 3 of the new line from Tallinn to Rapla to comply with the vibration limits set in Estonian regulation<sup>1</sup>.**

LISAD

APPENDICES

PROJEKTI Nr. / PROJECT No. RBDTDEEDS2DPS3  
PÕHIPROJEKT / MASTER DESIGN

DOKUMENDI KOOD / DOCUMENT CODE	LEHEKÜLG / PAGE	LEHED / PAGES	REVISIOON / REVISION
RBDTD-EE-DS2-DPS3_IDO_ZZZZ-ZZ_ZZZZ_RP_RW-TR_MD_00007	35	77	001

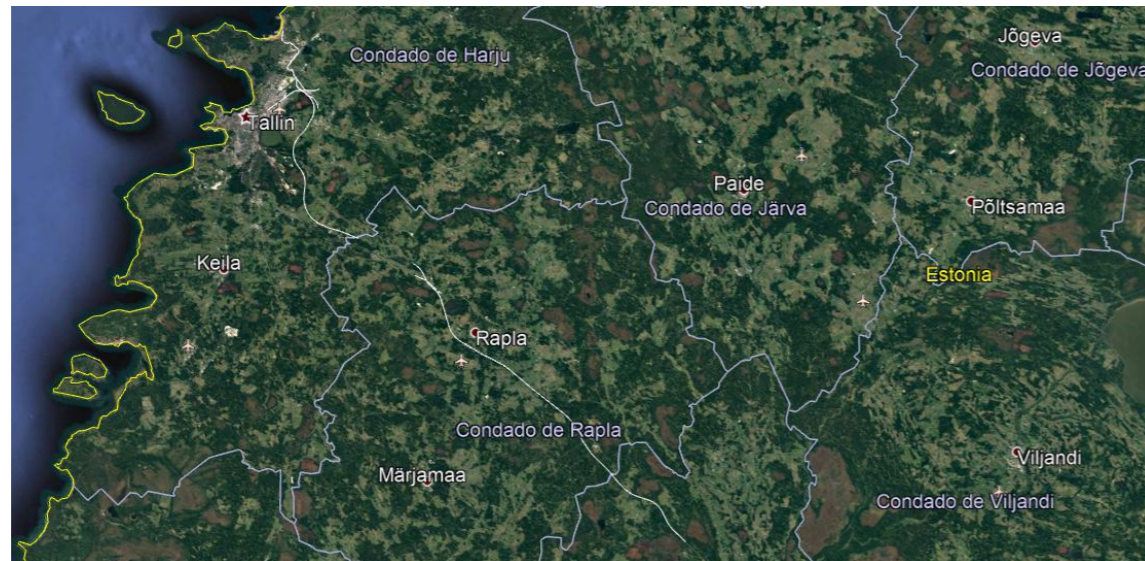
LISA I: PINNASE ISELOOMUSTUS JA OLEMASOLEVA  
VIBRATSIOONI MÕÕTMINE

APPENDIX I: GROUND CHARACTERIZATION AND  
CURRENT VIBRATION MEASUREMENT

## 1. SISSEJUHATUS

### 1.1 ÜLEVAADE

Rail Baltica on Euroopa Liidu projekt, millega luuakse kiire raudteeühendus Baltimaade pealinnade vahele. Käesoleva osa alla kuulub Tallinn-Rapla raudteeliini (projekt RBDTDEEDS2DPS3) kogu DPS3 lõik. Tööde selle osa illustratiivne üldpilaan esitatakse allpool:



Joonis 20. Uuritava piirkonna üldvaade

### 1.2 OTSTARVE

Käesolev lisa kirjeldab pinnase omadustega seotud vibratsioonikatsete tulemusi, samuti olemasoleva vibratsiooni mõõtmisi. Kohapealsed uuringud viisid IDOM-i nimel läbi firma ACUSTTEL müra- ja vibratsioonikonsultandid.

Mõõtmiste eesmärk on iseloomustada pinnase vibratsioonikäitumist, nii et projekti töötapis saaks selle ülekanduvust pinnase kaudu leviva müra- ja vibratsioonitaseme prognoosimisel arvestada.

Mõnes kohas mõõdetakse olemasolevad vibratsioonitasemed ka rongide möödumisel.

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 OVERVIEW

Rail Baltica is a European Union project which will provide a fast rail connection between the Baltic capitals. The scope of this part in situ campaign is the whole DPS3 of the railway line from Tallinn to Rapla (Project RBDTDEEDS2DPS3). An illustrative general plan of this part of the works is presented below:

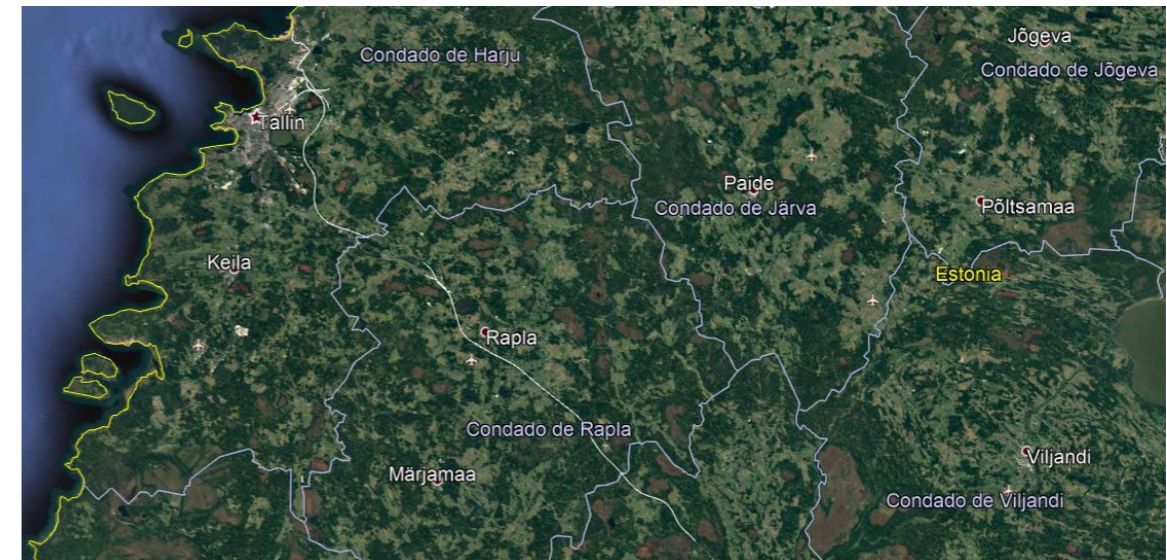


Figure 20. General view of the studied region

### 1.2 PURPOSE

vibration measurements. The site investigation has been carried out on behalf of IDOM by ACUSTTEL, Noise and Vibration Consultants.

The purpose of these measurements is to characterize the vibratory behaviour of the grounds, so that their transmissibility can be considered in the prediction of the ground-borne noise and vibration levels in the operating phase of the project.

At some points, the current vibration levels will also be measured with the passing of trains.

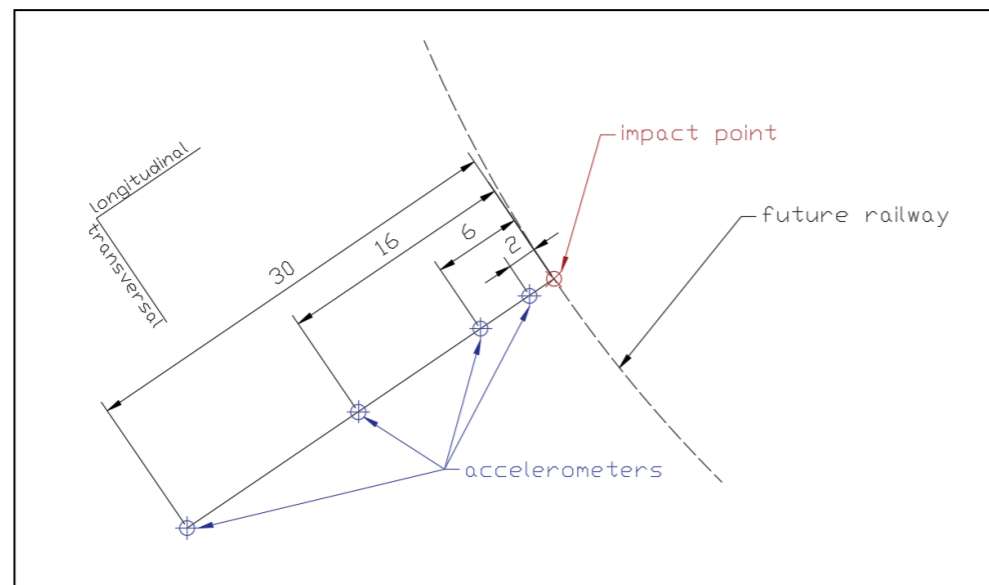
## 2. PINNASE VIBRATSIOONI UURING

### 2.1 METOODIKA

Pinnaseandmete mõõtmise protseduur hõlmab maapinna löömist vasaraga tulevase raudtee trassi teljoone lähedal asuvates asukohtades koos samaaegse vibratsioonivastuse registreerimisega 4 kiirendusmõõturiga, mis on paigaldatud maapinnale kindlatel kaugustel (2, 6, 16 ja 30 meetrit löögipunktist) trassi teljoone suhtes perpendikulaarsel joonel, mis algab vasaralöövide punktist. Seadmete proovivõtmise sagedus on 48 kHz ning 1/3 oktaavi vibratsioonispektrid salvestatakse iga 20 ms intervalli järel.

Vibratsiooni mõõdetakse järjest järgmises kolmes ortogonaalses suunas: vertikaalne (raskusjõu suund), ristsuunaline kiirendusmõõturite joone suhtes ning pikisuunaline kiirendusmõõturite joone suhtes (vt joonist allpool), muutuva vasaralöövide arvuga, kokku ligikaudu 20 iga suuna osas ning kolmes suunas.

Seda on kujutatud järgmisel joonisel:



Joonis 21. Vastavate mõõtmispunktide suhteline paiknemine (mõõdud meetrites)

Pärast mõõtmiste teostamist andmed töödeldakse, et saada pinnase neeldumistegur ( $\alpha$ ) vastavalt järgmisele võrrandile vibratsiooni leviku kohta pinnases (Barkani võrrand):

$$a_b = a_a \cdot \left(\frac{r_a}{r_b}\right)^\gamma \cdot e^{\alpha \cdot (r_a - r_b)}$$

Parameetrid on järgmised:

- $a_a$  ja  $a_b$  on kiirenduse väärtused, mis on registreeritud punktides "a" ja "b".
- $r_a$  ja  $r_b$  on kaugused löögipunktist punktideni "a" ja "b".
- $\gamma$  on geomeetiline sumbumistegur, mis sõltub vibratsiooniallika tüübist ja levikust. Antud juhul on see punktlöögikoormuse korral eeldatavalt väärtusega 0,5.
- $\alpha$  on materjali neeldumistegur.

## 2. GROUND VIBRATION CHARACTERIZATION SURVEY

### 2.1 METHODOLOGY

The ground characterization measurement procedure consists of impacting the ground with a hammer at locations close to the future alignment of the railway while recording the vibration response with 4 accelerometers installed on the ground at fixed distances (2, 6, 16 and 30 meters from the impact point) along a line perpendicular to the alignment that starts at the point of the hammer impacts. The equipment has a sampling frequency of 48 kHz and the 1/3 octave vibration spectra are saved every 20 ms interval.

The vibrations are measured sequentially in the following three orthogonal directions: vertical (direction of gravity), transversal to the line of accelerometers and longitudinal to the line of accelerometers (see figure below) with a variable number of hammer impacts around 20 in total of the 3 directions being registered for each direction.

This is illustrated in the following figure:

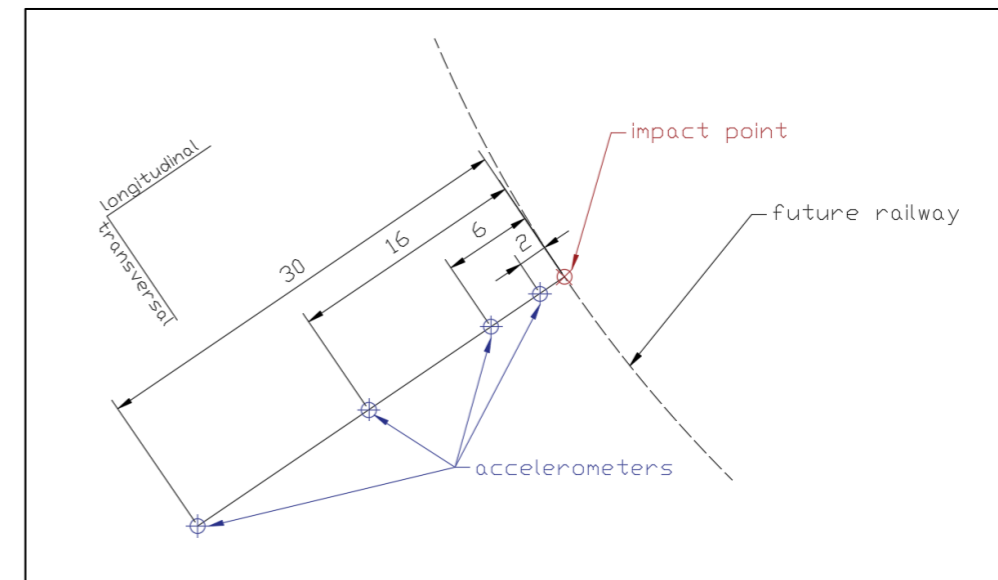


Figure 21. Relative location of the relevant points for the measurement (dimensions in meters)

After the measurements are completed, the data is processed in order to obtain the absorption coefficient of the grounds ( $\alpha$ ) according to the following formula for the propagation of the vibrations on the grounds (Barkan expression):

$$a_b = a_a \cdot \left(\frac{r_a}{r_b}\right)^\gamma \cdot e^{\alpha \cdot (r_a - r_b)}$$

In which the parameters are the following:

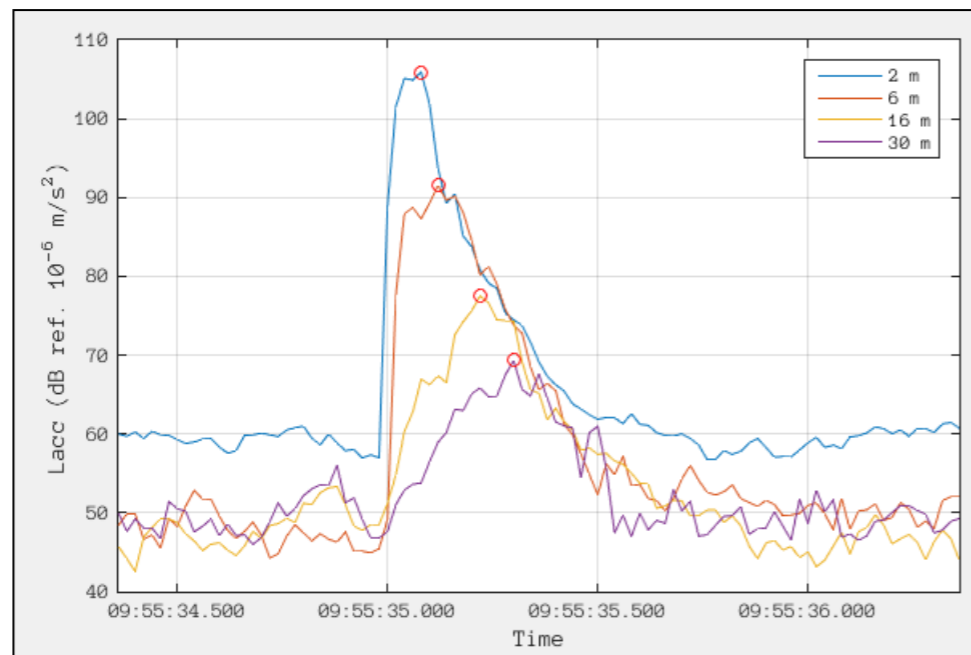
- $a_a$  and  $a_b$  are the values of acceleration recorded in points "a" and "b".
- $r_a$  and  $r_b$  are the distances from the impact point to points "a" and "b".

Kuna võrrandis on tarvis kiirenduse väärtusi 2 punkti vahel, arvestatakse neeldumisteguri arvutamisel järgnevat punktide paare:

- 2 m ja 6 m
- 6 m ja 16 m
- 16 m ja 30 m

$\alpha$  tegurid arvutatakse vastavate 1/3 oktaavi kesksageduste vahemiku jaoks: 10 Hz kuni 125 Hz.

Järgnevalt on toodud üksiku mõõtmise näide. Kõigepealt on järgneval joonisel, mis vastab ühele löögile, näidatud üldise vibratsioonikiirenduse taseme levik (ilma kaalumiseteta) iga 20 ms järel, mõõdetuna ühes suunas (z) erinevatel kiirendusmõõturitel, kusjuures nende maksimumväärtused on tähistatud punaselt:



Joonis 22. Üldise vibratsioonitaseme levik ühe sündmuse korral

Järgnevalt on toodud näide eelmisel joonisel punaselt tähistatud juhtude täielikud kaalumata spektrid:

- $\gamma$  is the geometric attenuation coefficient, dependent on type of vibration source and propagation. In this case, for a point impact load, it will be assumed to have a value of 0.5.
- $\alpha$  is the material absorption coefficient.

Since the expression needs the values of acceleration between 2 points, the following pairs of points will be considered for the calculations of the absorption coefficient:

- 2 m and 6 m
- 6 m and 16 m
- 16 m and 30 m

The  $\alpha$  coefficients will be calculated for the range of 1/3 octave central frequencies of interest: from 10 Hz to 125 Hz.

An example of a single measurement is shown here. First the next figure corresponding to one impact shows the evolution of the total vibration acceleration levels (with no weighting) every 20 ms measured in one direction (z) at the different accelerometers with their maximum values highlighted with a red marker:

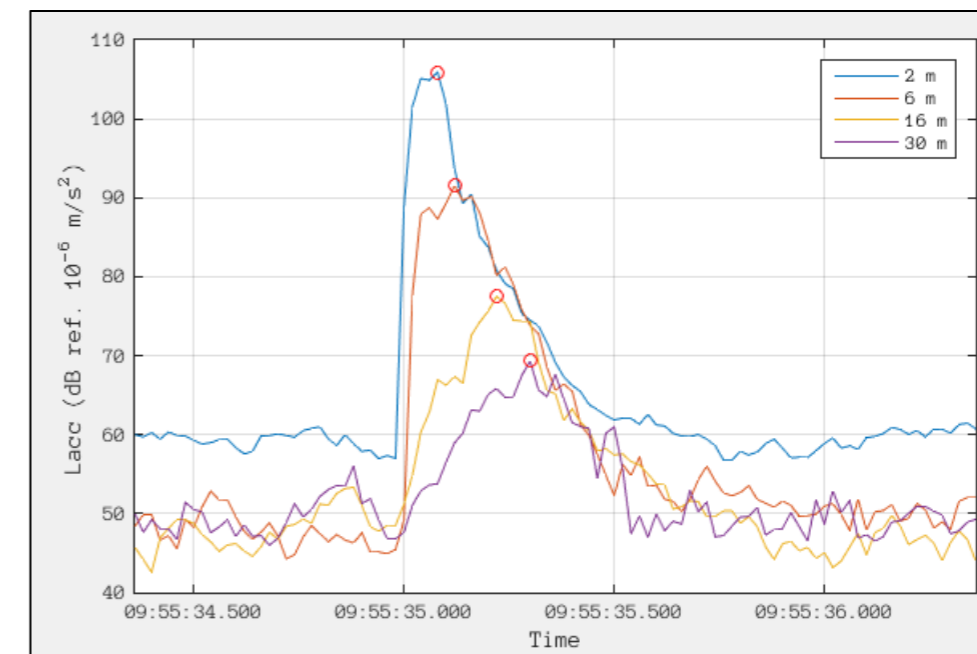
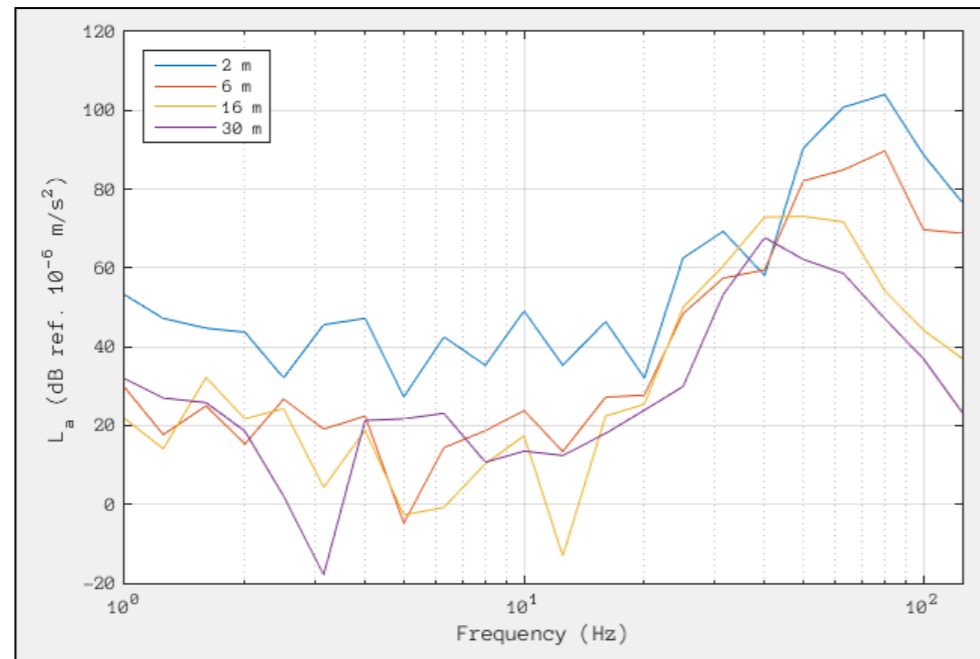


Figure 22. Evolution of the total vibration levels during a single event

Now, an example of the full unweighted spectra of the instants marked in red in the previous figure is also shown below:



Joonis 23. Maksimaalsete üldise taseme juhtude spektrid

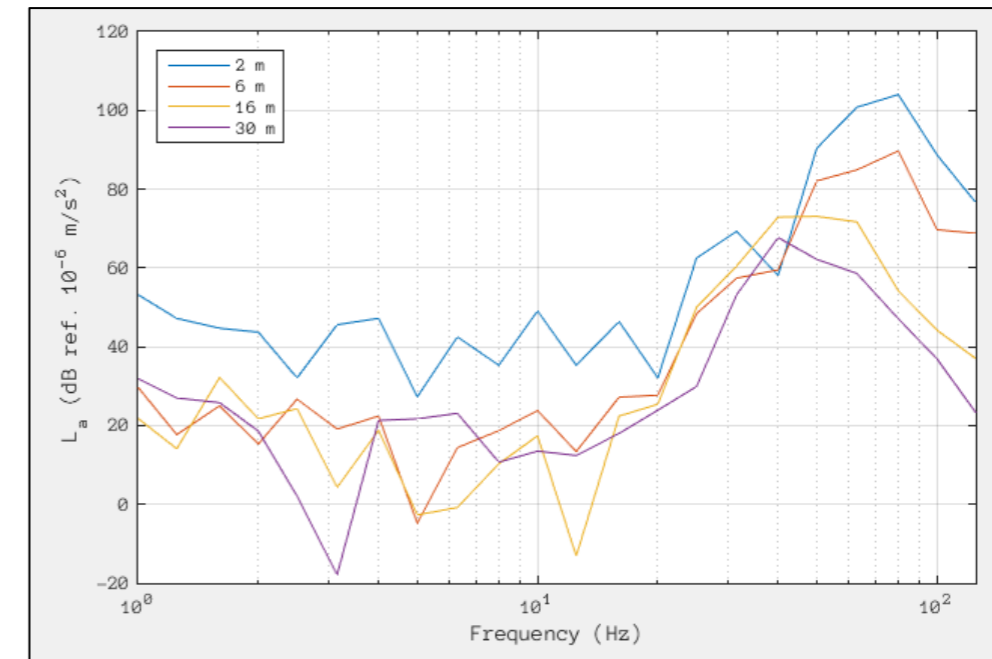


Figure 23. Spectra for the maximum total level instants

Eeltoodud spektrite põhjal saab kergesti määrata  $\alpha$  tegurid iga löögi korral ning lõpptulemuseks on kõikide löökide keskmine väärtus igas suunas, igal kiirendusmõõturite paaril (2 kuni 6 m, 6 kuni 16 m ja 16 kuni 30 m) igas asukohas.

Thus, from the spectra shown above, the  $\alpha$  coefficients can be easily determined for each impact and the final result will be the mean value of all the impacts for each direction, each pair of accelerometers (2 to 6 m, 6 to 16 m and 16 to 30 m) at each location.

## 2.2 MÕÕTMISTE ANDMED JA ASUKOHAD

Mõõtekohtade asukohad ja teave on üksikasjalikult kirjeldatud järgnevas tabelis ning joonisel:

Mõõtmiskoht	Algusaeg	UTM tsoon	X UTM	Y UTM	Suund	Vasaralöögid	Temperatuur (°C)	Suhteline õhuniiskus (%)	Tuulekiirus (m/s)
08-EE2_DPS3_G_1	20.10.2020 14.45	35V	384829	6594617	vertikaalne	20	11	58	0,9
08-EE2_DPS3_G_1	22.10.2020 15.02	35V	384829	6594617	ristsuunaline	6	11	58	0,9
08-EE2_DPS3_G_1	22.10.2020 15.12	35V	384829	6594617	pikisuunaline	6	11	58	0,9
09-EE2_DPS3_G_2	21.10.2020 16.59	35V	384864	6594420	vertikaalne	14	9	59	1,1
09-EE2_DPS3_G_2	21.10.2020 17.11	35V	384864	6594420	ristsuunaline	6	9	59	1,1
09-EE2_DPS3_G_2	21.10.2020 17.15	35V	384864	6594420	pikisuunaline	6	9	59	1,1
10-EE2_DPS3_G_3	21.10.2020 15.40	35V	385123	6594149	vertikaalne	19	10	55	1,0
10-EE2_DPS3_G_3	21.10.2020 15.49	35V	385123	6594149	ristsuunaline	6	10	55	1,0
10-EE2_DPS3_G_3	21.10.2020 15.52	35V	385123	6594149	pikisuunaline	6	10	55	1,0
11-EE2_DPS3_G_4	20.10.2020 10.46	35V	385359	6593958	vertikaalne	20	8,9	62	0,6
11-EE2_DPS3_G_4	21.10.2020 15.25	35V	385359	6593958	ristsuunaline	6	8,9	62	0,6
11-EE2_DPS3_G_4	21.10.2020 15.25	35V	385359	6593958	pikisuunaline	6	8,9	62	0,6

## 2.2 INFORMATION AND LOCATIONS OF THE MEASUREMENTS

The locations and information of the measurement locations are detailed in the following table and figure:

Measurement location	Beginning Time	UTM zone	X UTM	Y UTM	Direction	Hammer impacts	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Wind Speed (m/s)
08-EE2_DPS3_G_1	20/10/2020 14:45	35V	384829	6594617	vertical	20	11	58	0,9
08-EE2_DPS3_G_1	22/10/2020 15:02	35V	384829	6594617	transversal	6	11	58	0,9
08-EE2_DPS3_G_1	22/10/2020 15:12	35V	384829	6594617	longitudinal	6	11	58	0,9
09-EE2_DPS3_G_2	21/10/2020 16:59	35V	384864	6594420	vertical	14	9	59	1,1
09-EE2_DPS3_G_2	21/10/2020 17:11	35V	384864	6594420	transversal	6	9	59	1,1
09-EE2_DPS3_G_2	21/10/2020 17:15	35V	384864	6594420	longitudinal	6	9	59	1,1
10-EE2_DPS3_G_3	21/10/2020 15:40	35V	385123	6594149	vertical	19	10	55	1,0
10-EE2_DPS3_G_3	21/10/2020 15:49	35V	385123	6594149	transversal	6	10	55	1,0
10-EE2_DPS3_G_3	21/10/2020 15:52	35V	385123	6594149	longitudinal	6	10	55	1,0
11-EE2_DPS3_G_4	20/10/2020 10:46	35V	385359	6593958	vertical	20	8,9	62	0,6
11-EE2_DPS3_G_4	21/10/2020 15:25	35V	385359	6593958	transversal	6	8,9	62	0,6

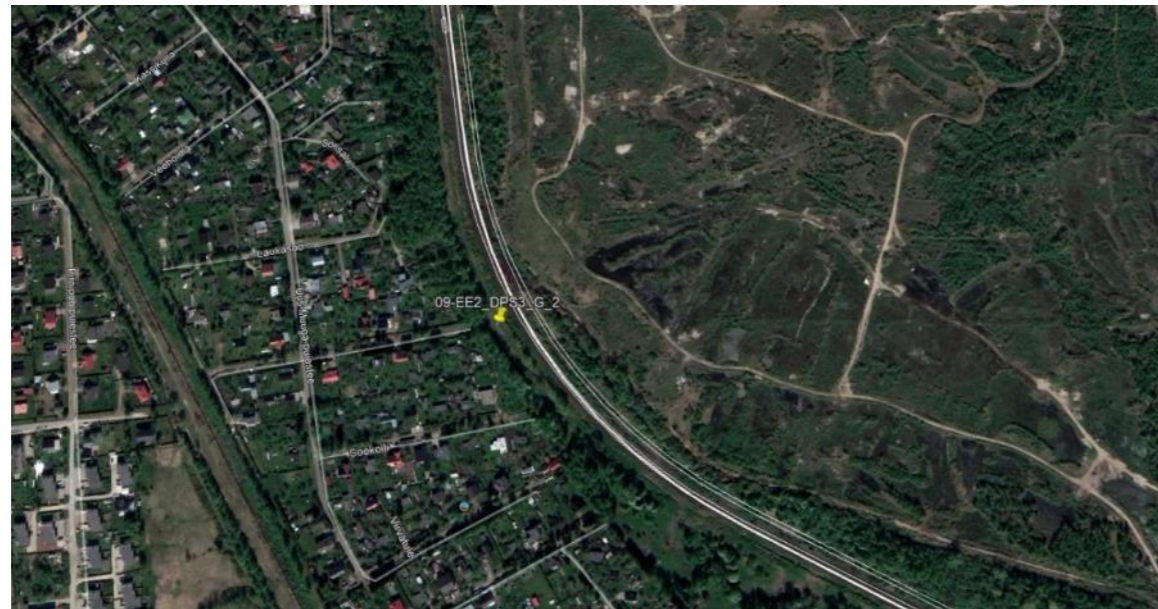


13-EE2_DPS3_G_5	21.10.2020 13.05	35V	382285	6590107	vertikaalne	20	11,1	58	1,1
13-EE2_DPS3_G_5	21.10.2020 13.20	35V	382285	6590107	ristsuunaline	6	11,1	58	1,1
13-EE2_DPS3_G_5	21.10.2020 13.24	35V	382285	6590107	pikisuunaline	6	11,1	58	1,1
15-EE2_DPS3_G_6	21.10.2020 11.31	35V	381706	6588976	vertikaalne	13	9,8	57,	0,7
15-EE2_DPS3_G_6	21.10.2020 11.42	35V	381706	6588976	ristsuunaline	6	9,8	57	0,7
15-EE2_DPS3_G_6	21.10.2020 01151	35V	381706	6588976	pikisuunaline	6	9,8	57	0,7
18-EE2_DPS3_G_8	21.10.2020 09.19	35V	382093	6587026	vertikaalne	20	8,6	60	1,2
18-EE2_DPS3_G_8	21.10.2020 09.33	35V	382093	6587026	ristsuunaline	6	8,6	60	1,2
18-EE2_DPS3_G_8	21.10.2020 09.39	35V	382093	6587026	pikisuunaline	6	8,6	60	1,2

Tabel 11. Mõõtmiste andmed ja asukohad

11-EE2_DPS3_G_4	21/10/2020 15:25	35V	385359	6593958	longitudinal	6	8,9	62	0,6
13-EE2_DPS3_G_5	21/10/2020 13:05	35V	382285	6590107	vertical	20	11,1	58	1,1
13-EE2_DPS3_G_5	21/10/2020 13:20	35V	382285	6590107	transversal	6	11,1	58	1,1
13-EE2_DPS3_G_5	21/10/2020 13:24	35V	382285	6590107	longitudinal	6	11,1	58	1,1
15-EE2_DPS3_G_6	21/10/2020 11:31	35V	381706	6588976	vertical	13	9,8	57,	0,7
15-EE2_DPS3_G_6	21/10/2020 11:42	35V	381706	6588976	transversal	6	9,8	57	0,7
15-EE2_DPS3_G_6	21/10/2020 01151	35V	381706	6588976	longitudinal	6	9,8	57	0,7
18-EE2_DPS3_G_8	21/10/2020 09:19	35V	382093	6587026	vertical	20	8,6	60	1,2
18-EE2_DPS3_G_8	21/10/2020 09:33	35V	382093	6587026	transversal	6	8,6	60	1,2
18-EE2_DPS3_G_8	21/10/2020 09:39	35V	382093	6587026	longitudinal	6	8,6	60	1,2

Table 11 Information and locations of the measurement locations



Joonis 24. Mõõtmise asukoht 08-EE2\_DPS3\_G\_1



Figure 24. Location of the measurement 08-EE2\_DPS3\_G\_1



Joonis 25. Mõõtmise asukoht 09-EE2\_DPS3\_G\_2

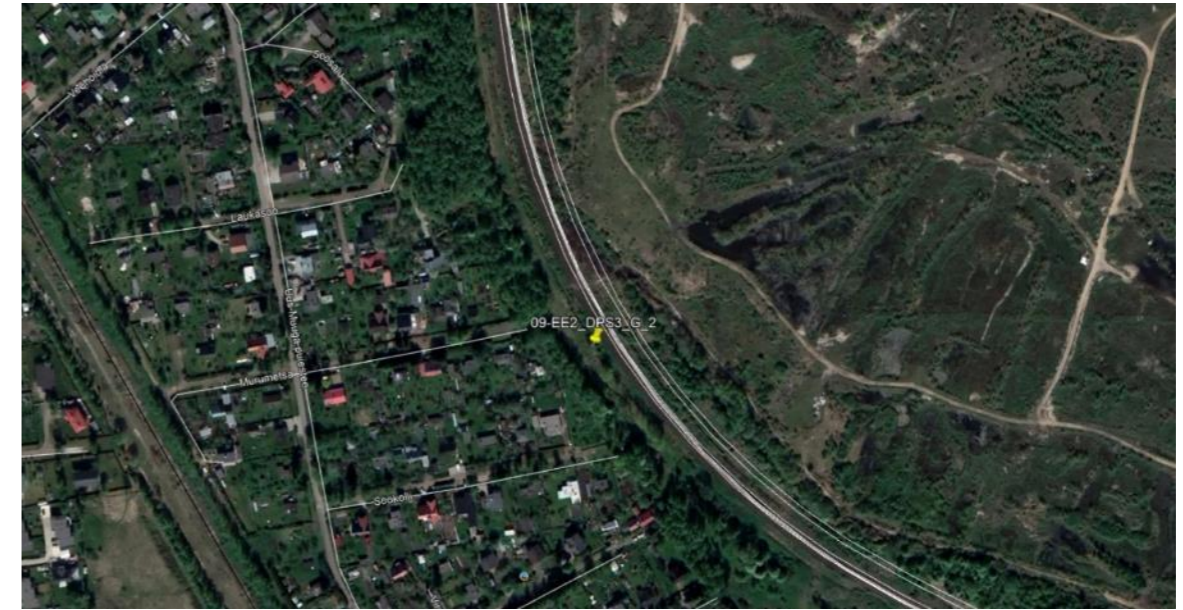


Figure 25. Location of the measurement 09-EE2\_DPS3\_G\_2



Joonis 26. Mõõtmise asukoht 10-EE2\_DPS3\_G\_3



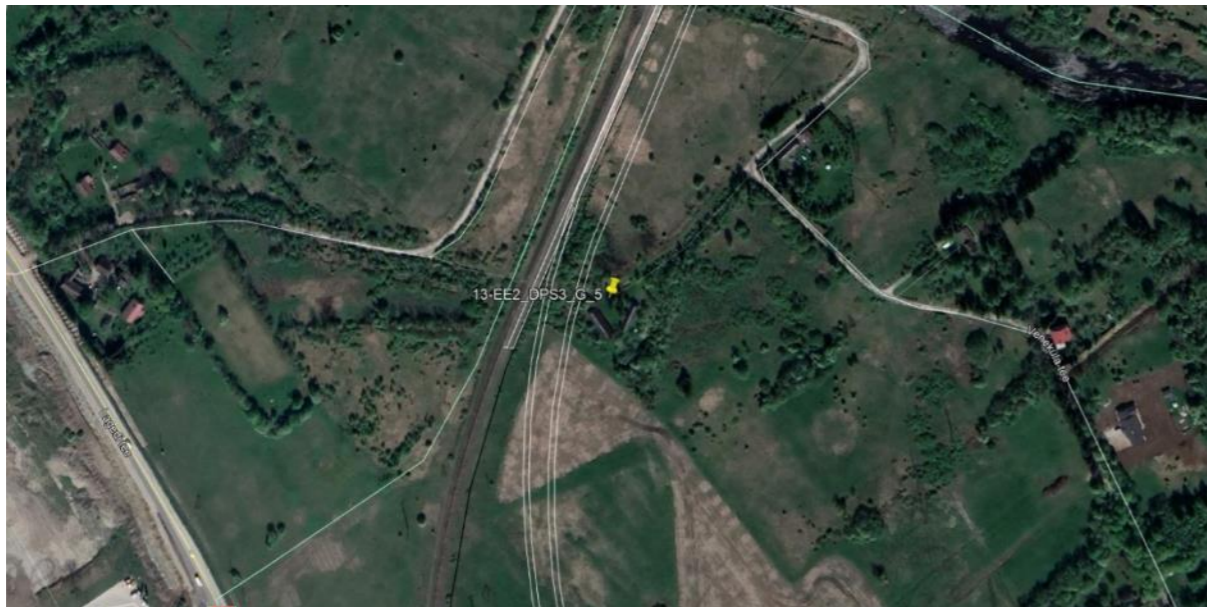
Figure 26. Location of the measurement 10-EE2\_DPS3\_G\_3



Joonis 27. Mõõtmise asukoht 12-EE2\_DPS3\_G\_4



Figure 27. Location of the measurement 11-EE2\_DPS3\_G\_4



Joonis 28. Mõõtmise asukoht 13-EE2\_DPS3\_G\_5

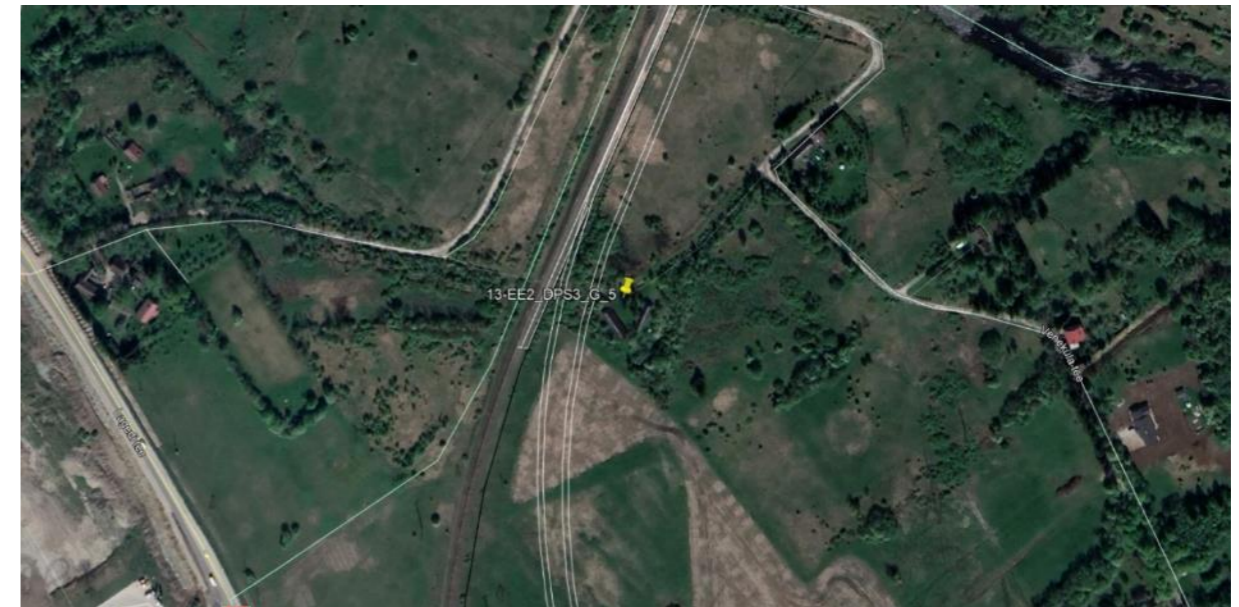


Figure 28. Location of the measurement 13-EE2\_DPS3\_G\_5



Joonis 29. Mõõtmise asukoht 15-EE2\_DPS3\_G\_6



Figure 29. Location of the measurement 15-EE2\_DPS3\_G\_6



Joonis 30. Mõõtmise asukoht 18-EE2\_DPS3\_G\_8



Figure 30. Location of the measurement 18-EE2\_DPS3\_G\_8

Järgnevalt on toodud tabel hoonetega mõõtmispunktide lähedal:

Mõõtmispunkt	X UTM (tsoon 35)	Y UTM (tsoon 35)	Korruste arv	Kasutusotstarve
08-EE2-DPS3_G_1	384759	6594599	1	Elamu
09-EE2-DPS3_G_2	384825	6594399	1	Elamu

PROJEKTI Nr. / PROJECT No. RBDTDEEDS2DPS3  
PÕHIPROJEKT / MASTER DESIGN

DOKUMENDI KOOD / DOCUMENT CODE	LEHEKÜLG / PAGE	LEHED / PAGES	REVISIOON / REVISION
RBDT-EE-DS2-DPS3_IDO_ZZZZ-ZZ_ZZZZ_RP_RW-TR_MD_00007	44	77	001

10-EE2-DPS3_G_3	385128	659407	1	Elamu
11-EE2-DPS3_G_4	385353	6593943	2	Elamu
13-EE2-DPS3_G_5	382274	6590090	1	Põllumajandushoone
15-EE2-DPS3_G_6	381750	6588978	2	Elamu
18-EE2-DPS3_G_8	382021	6587038	1	Elamu

*Tabel 12. Hoonete andmed*

Hooned on valdavalt 1-2-korruselised kergmüüritised, ülejäänud on puitkarkassid.

Olemasolevad vibratsiooniallikad mõõtmiskohtade lähedal:

Mõõtmispunkt	Olemasolevad vibratsiooniallikad
08-EE2-DPS3_G_1	Olemasolev kaubaraudtee
09-EE2-DPS3_G_2	Olemasolev kaubaraudtee
10-EE2-DPS3_G_3	Olemasolev kaubaraudtee
11-EE2-DPS3_G_4	Olemasolev kaubaraudtee
13-EE2-DPS3_G_5	Olemasolev kaubaraudtee
15-EE2-DPS3_G_6	Keskmise liikluskoormusega piirkondlik maantee 300 m kaugusel
18-EE2-DPS3_G_8	Olemasolev kaubaraudtee

*Tabel 13. Praegused vibratsiooniallikad*

Järgnevalt on toodud mõned fotod mõõtevahenditest erinevates punktides:

A table detailing the buildings close to the measurement points is also shown next:

Measurement Point	X UTM (Zone 35)	Y UTM (Zone 35)	Nº Floors	Use
08-EE2-DPS3_G_1	384759	6594599	1	Residential
09-EE2-DPS3_G_2	384825	6594399	1	Residential
10-EE2-DPS3_G_3	385128	659407	1	Residential
11-EE2-DPS3_G_4	385353	6593943	2	Residential
13-EE2-DPS3_G_5	382274	6590090	1	Agricultural building
15-EE2-DPS3_G_6	381750	6588978	2	Residential
18-EE2-DPS3_G_8	382021	6587038	1	Residential

*Table 12 Buildings information*

All the buildings seem to be light masonry houses.

As for current sources of vibrations near the measurement locations:

Measurement Point	Current sources of vibrations
08-EE2-DPS3_G_1	Current railway line of goods
09-EE2-DPS3_G_2	Current railway line of goods
10-EE2-DPS3_G_3	Current railway line of goods
11-EE2-DPS3_G_4	Current railway line of goods
13-EE2-DPS3_G_5	Current railway line of goods
15-EE2-DPS3_G_6	Regional road with medium volume of traffic at 300 m distance
18-EE2-DPS3_G_8	Current railway line of goods

*Table 13 Existing vibration sources*

Some of the photographs of the measurement setup at the different points are also shown hereafter:



Joonis 31. Mõõtesüsteem punktis 08-EE2\_DPS3\_G\_2

Figure 31. Measurement setup at 08-EE2\_DPS3\_G\_2



Joonis 32. Mõõtesüsteem punktis 09-EE2\_DPS3\_G\_2

Figure 32. Measurement setup at 09-EE2\_DPS3\_G\_2



Joonis 33. Mõõtesüsteem punktis 10-EE2\_DPS3\_G\_3

Figure 33. Measurement setup at 10-EE2\_DPS3\_G\_3





Joonis 34. Mõõtesüsteem punktis 11-EE2\_DPS3\_G\_4

Figure 34. Measurement setup at 11-EE2\_DPS3\_G\_4



Joonis 35. Mõõtesüsteem punktis 13-EE2\_DPS3\_G\_5

Figure 35. Measurement setup at 13-EE2\_DPS3\_G\_5



Joonis 36. Mõõtesüsteem punktis 15-EE2\_DPS3\_G\_6

Figure 36. Measurement setup at 15-EE2\_DPS3\_G\_6







Joonis 37. Mõõtesüsteem punktis 18-EE2\_DPS3\_G\_8

Figure 37. Measurement setup at 18-EE2\_DPS3\_G\_8

### 2.3 SEADMED

Kasutatud on järgnevaid üheteljelisi kiirendusmõõtureid:

Tundlikkus (mV/(m/s <sup>2</sup> ))	Foto	Kaugus kuni löögini (m)	Mudel // seerianumber
9,93		2	PCB 356A15 // 74953
1007		6	PCB 393B12 // 34051
1048		16	PCB 393B12 // 55158
1052		30	PCB 393B12 // 55157

Tabel 14. Kiirendusmõõturite andmed


### 2.3 EQUIPMENT

The accelerometers monoaxial used are the following:

Sensitivity (mV/(m/s <sup>2</sup> ))	Photograph	Distance to impact (m)	Model // serial number
9.93		2	PCB 356A15 // 74953
1007		6	PCB 393B12 // 34051
1048		16	PCB 393B12 // 55158
1052		30	PCB 393B12 // 55157

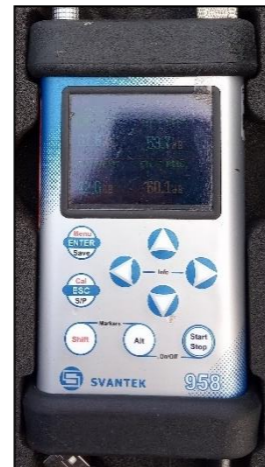
Table 14 Accelerometers information

Kasutatud on järgnevat kolmeteljelist kiirendusmõõturit:

Tundlikkus (mV/(m/s <sup>2</sup> ))	Foto	Mudel // seerianumber
101,94		SV84 // H3396

*Tabel 15. Kolmeteljelise kiirendusmõõtuuri andmed*


Kiirendusmõõturite signaalide registreerimiseks kasutatud vibratsioonispektrite analüsaator on Svantek SVAN 958A, seerianumber 69053.



*Joonis 38. Vibratsioonispektri analüsaator*

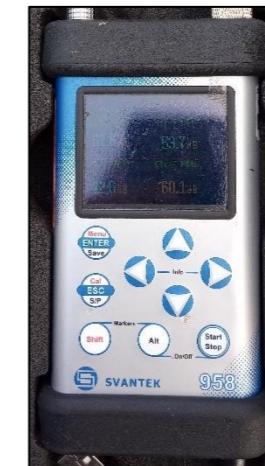
Lisaks on kalibreerimiseks kasutatud vibratsiooni kalibreerimiseadet Svantek mudel SV111, seerianumber 30590, ning erinevaid tarvikuid nagu GPS, kaugusmõõtur, fotokaamera jt.

The accelerometer triaxial used are the following:

Sensitivity (mV/(m/s <sup>2</sup> ))	Photograph	Model // serial number
101,94		SV84 // H3396

*Table 15 Triaxial accelerometer information*

The vibration spectra analyser used to register the accelerometers signals is the Svantek SVAN 958A, with serial number 69053.



*Figure 38. Vibration spectra analyser*

The vibration calibrator Svantek model SV111, with serial number 30590, has been also used for the calibration, as well as accessories like GPS, distance meter, photo camera, etc.

## 2.4 TULEMUSED

Käesoleva uuringu tulemused on keskmised  $\alpha$  tegurid erinevates mõõtepunktidest, ettenähtud sagedusvahemikus. Need on toodud tabelis ja joonistel allpool: Keskmised spektrid igas suunas (x, y, z), millest on arvatud  $\alpha$  tegurid, on samuti toodud allpool igas asukohas.

Mõõtmispunkt	Kaugus	Suund	1/3 oktaavi sagedusriba kesksagedus (Hz)											
			10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125
08-EE2-DPS3_G_1	2 m kuni 6 m	vertikaalne	0,19	0,27	0,24	0,30	0,51	0,60	0,66	0,45	0,37	0,31	0,26	0,44
08-EE2-DPS3_G_1	6 m kuni 16 m	vertikaalne	0,32	0,40	0,43	0,35	0,61	0,65	0,60	0,89	0,93	0,88	0,95	0,81
08-EE2-DPS3_G_1	16 m kuni 30 m	vertikaalne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08-EE2-DPS3_G_1	2 m kuni 6 m	ristsuunaline	0,02	0,40	0,41	0,29	0,48	0,50	0,57	0,51	0,58	0,63	0,46	0,46
08-EE2-DPS3_G_1	6 m kuni 16 m	ristsuunaline	0,36	0,44	0,42	0,42	0,66	0,70	0,68	0,96	0,94	0,82	0,94	0,83
08-EE2-DPS3_G_1	16 m kuni 30 m	ristsuunaline	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08-EE2-DPS3_G_1	2 m kuni 6 m	pikisuunaline	0,04	0,30	0,33	0,28	0,35	0,37	0,51	0,57	0,37	0,37	0,44	0,35
08-EE2-DPS3_G_1	6 m kuni 16 m	pikisuunaline	0,44	0,46	0,46	0,42	0,74	0,80	0,73	1,02	1,00	0,87	0,94	0,79
08-EE2-DPS3_G_1	16 m kuni 30 m	pikisuunaline	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
09-EE2-DPS3_G_2	2 m kuni 6 m	vertikaalne	0,26	0,25	0,27	0,34	0,36	0,43	0,38	0,34	0,31	0,34	0,36	0,46
09-EE2-DPS3_G_2	6 m kuni 16 m	vertikaalne	0,01	0,01	0,00	0,00	0,10	0,15	0,19	0,37	0,39	0,38	0,47	0,45
09-EE2-DPS3_G_2	16 m kuni 30 m	vertikaalne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
09-EE2-DPS3_G_2	2 m kuni 6 m	ristsuunaline	0,18	0,33	0,45	0,44	0,67	0,61	0,64	1,11	1,25	1,25	1,25	1,18
09-EE2-DPS3_G_2	6 m kuni 16 m	ristsuunaline	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,11	0,14	0,08	0,09	0,22	0,23
09-EE2-DPS3_G_2	16 m kuni 30 m	ristsuunaline	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00
09-EE2-DPS3_G_2	2 m kuni 6 m	pikisuunaline	0,28	0,25	0,24	0,25	0,15	0,25	0,30	0,16	0,07	0,00	0,27	0,37
09-EE2-DPS3_G_2	6 m kuni 16 m	pikisuunaline	0,00	0,04	0,00	0,02	0,12	0,14	0,13	0,16	0,19	0,32	0,27	0,19
09-EE2-DPS3_G_2	16 m kuni 30 m	pikisuunaline	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,22	0,30	0,23	0,19	0,16
10-EE2-DPS3_G_3	2 m kuni 6 m	vertikaalne	0,04	0,05	0,03	0,12	0,23	0,23	0,23	0,20	0,20	0,29	0,36	0,37
10-EE2-DPS3_G_3	6 m kuni 16 m	vertikaalne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,09	0,21	0,20	0,23	0,18	0,20
10-EE2-DPS3_G_3	16 m kuni 30 m	vertikaalne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,05	0,00
10-EE2-DPS3_G_3	2 m kuni 6 m	ristsuunaline	0,00	0,00	0,13	0,17	0,35	0,25	0,30	0,44	0,49	0,02	0,02	0,00
10-EE2-DPS3_G_3	6 m kuni 16 m	ristsuunaline	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,18	0,21	0,24	0,16	0,33	0,27	0,16
10-EE2-DPS3_G_3	16 m kuni 30 m	ristsuunaline	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,07	0,14	0,17	0,06	0,06	0,17
10-EE2-DPS3_G_3	2 m kuni 6 m	pikisuunaline	0,01	0,00	0,04	0,02	0,10	0,25	0,43	0,55	0,48	0,10	0,17	0,26
10-EE2-DPS3_G_3	6 m kuni 16 m	pikisuunaline	0,00	0,00	0,00	0,05	0,14	0,14	0,12	0,15	0,16	0,38	0,32	0,16
10-EE2-DPS3_G_3	16 m kuni 30 m	pikisuunaline	0,00	0,03	0,00	0,00	0,06	0,06	0,05	0,12	0,08	0,01	0,08	0,14
11-EE2-DPS3_G_4	2 m kuni 6 m	vertikaalne	0,00	0,00	0,01	0,08	0,22	0,20	0,15	0,00	0,02	0,11	0,20	0,39
11-EE2-DPS3_G_4	6 m kuni 16 m	vertikaalne	0,51	0,50	0,48	0,43	0,49	0,52	0,51	0,61	0,64	0,61	0,66	0,62
11-EE2-DPS3_G_4	16 m kuni 30 m	vertikaalne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11-EE2-DPS3_G_4	2 m kuni 6 m	ristsuunaline	0,04	0,04	0,00	0,04	0,21	0,15	0,07	0,00	0,07	0,01	0,04	0,15
11-EE2-DPS3_G_4	6 m kuni 16 m	ristsuunaline	0,29	0,20	0,36	0,31	0,23	0,30	0,39	0,58	0,56	0,53	0,52	0,45
11-EE2-DPS3_G_4	16 m kuni 30 m	ristsuunaline	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11-EE2-DPS3_G_4	2 m kuni 6 m	pikisuunaline	0,20	0,00	0,00	0,00	0,01	0,17	0,30	0,14	0,32	0,28	0,09	0,16
11-EE2-DPS3_G_4	6 m kuni 16 m	pikisuunaline	0,21	0,28	0,27	0,27	0,33	0,35	0,41	0,58	0,58	0,49	0,46	0,42
11-EE2-DPS3_G_4	16 m kuni 30 m	pikisuunaline	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 16.a teguri väärtused (1/2)

## 2.4 RESULTS

The results of this study are the mean  $\alpha$  coefficients at the different measurement locations, for the range of frequencies of interest. They are shown in the table and figures below: The mean spectra in each direction (x, y, z), from which the  $\alpha$  coefficients are calculated, are also shown below at each location.

Measurement pt.	Distance	Direction	1/3 octave band central frequency (Hz)											
			10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125
08-EE2-DPS3_G_1	from 2 m to 6 m	vertical	0,19	0,27	0,24	0,30	0,51	0,60	0,66	0,45	0,37	0,31	0,26	0,44
08-EE2-DPS3_G_1	from 6 m to 16 m	vertical	0,32	0,40	0,43	0,35	0,61	0,65	0,60	0,89	0,93	0,88	0,95	0,81
08-EE2-DPS3_G_1	from 16 m to 30 m	vertical	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08-EE2-DPS3_G_1	from 2 m to 6 m	transversal	0,02	0,40	0,41	0,29	0,48	0,50	0,57	0,51	0,58	0,63	0,46	0,46
08-EE2-DPS3_G_1	from 6 m to 16 m	transversal	0,36	0,44	0,42	0,42	0,66	0,70	0,68	0,96	0,94	0,82	0,94	0,83
08-EE2-DPS3_G_1	from 16 m to 30 m	transversal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08-EE2-DPS3_G_1	from 2 m to 6 m	longitudinal	0,04	0,30	0,33	0,28	0,35	0,37	0,51	0,57	0,37	0,37	0,44	0,35
08-EE2-DPS3_G_1	from 6 m to 16 m	longitudinal	0,44	0,46	0,46	0,42	0,74	0,80	0,73	1,02	1,00	0,87	0,94	0,79
08-EE2-DPS3_G_1	from 16 m to 30 m	longitudinal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
09-EE2-DPS3_G_2	from 2 m to 6 m	vertical	0,26	0,25	0,27	0,34	0,36	0,43	0,38	0,34	0,31	0,34	0,36	0,46
09-EE2-DPS3_G_2	from 6 m to 16 m	vertical	0,01	0,01	0,00	0,00	0,10	0,15	0,19	0,37	0,39	0,38	0,47	0,45
09-EE2-DPS3_G_2	from 16 m to 30 m	vertical	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
09-EE2-DPS3_G_2	from 2 m to 6 m	transversal	0,18	0,33	0,45	0,44	0,67	0,61	0,64	1,11	1,25	1,25	1,25	1,18
09-EE2-DPS3_G_2	from 6 m to 16 m	transversal	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,11	0,14	0,08	0,09	0,22	0,23
09-EE2-DPS3_G_2	from 16 m to 30 m	transversal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00
09-EE2-DPS3_G_2	from 2 m to 6 m	longitudinal	0,28	0,25	0,24	0,25	0,15	0,25	0,30	0,16	0,07	0,00	0,27	0,37
09-EE2-DPS3_G_2	from 6 m to 16 m	longitudinal	0,00	0,04	0,00	0,02	0,12	0,14	0,13	0,16	0,19	0,32	0,27	0,19
09-EE2-DPS3_G_2	from 16 m to 30 m	longitudinal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,22	0,30	0,23	0,19	0,16
10-EE2-DPS3_G_3	from 2 m to 6 m	vertical	0,04	0,05	0,03	0,12	0,23	0,23	0,23	0,20	0,20	0,29	0,36	0,37
10-EE2-DPS3_G_3	from 6 m to 16 m	vertical	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,09	0,21	0,20	0,23	0,18	0,20
10-EE2-DPS3_G_3	from 16 m to 30 m	vertical	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,05	0,00
10-EE2-DPS3_G_3	from 2 m to 6 m	transversal	0,00	0,00	0,13	0,17	0,35	0,25	0,30	0,44	0,49	0,02	0,02	0,00
10-EE2-DPS3_G_3	from 6 m to 16 m	transversal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,18	0,21	0,24	0,16	0,33	0,27	0,16
10-EE2-DPS3_G_3	from 16 m to 30 m	transversal	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,07	0,14	0,17	0,06	0,06	0,17
10-EE2-DPS3_G_3	from 2 m to 6 m	longitudinal	0,01	0,00	0,04	0,02	0,10	0,25	0,43	0,55	0,48	0,10	0,17	0,26
10-EE2-DPS3_G_3	from 6 m to 16 m	longitudinal	0,00	0,00	0,00	0,05	0,14	0,14	0,12	0,15	0,16	0,38	0,32	0,16
10-EE2-DPS3_G_3	from 16 m to 30 m	longitudinal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06	0,05	0,12	0,08	0,01	0,08	0,14
11-EE2-DPS3_G_4	from 2 m to 6 m	vertical	0,00	0,00	0,01	0,08	0,22	0,20	0,15	0,00	0,02	0,11	0,20	0,39
11-EE2-DPS3_G_4	from 6 m to 16 m	vertical	0,51	0,50	0,48	0,43	0,49	0,52	0,51	0,61	0,64	0,61	0,66	0,62
11-EE2-DPS3_G_4	from 16 m to 30 m	vertical	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11-EE2-DPS3_G_4	from 2 m to 6 m	transversal	0,04	0,04	0,00	0,04	0,21	0,15	0,07	0,00	0,07	0,01	0,04	0,15
11-EE2-DPS3_G_4	from 6 m to 16 m	transversal	0,29	0,20	0,36	0,31	0,23	0,30	0,39	0,58	0,56	0,53	0,52	0,45
11-EE2-DPS3_G_4	from 16 m to 30 m	transversal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11-EE2-DPS3_G_4	from 2 m to 6 m	longitudinal	0,20	0,00	0,00	0,00	0,01	0,17	0,30	0,14	0,32	0,28	0,09	0,16
11-EE2-DPS3_G_4	from 6 m to 16 m	longitudinal	0,21	0,28	0,27	0,27	0,33	0,35	0,41	0,58	0,58	0,49	0,46	0,42
11-EE2-DPS3_G_4	from 16 m to 30 m	longitudinal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00

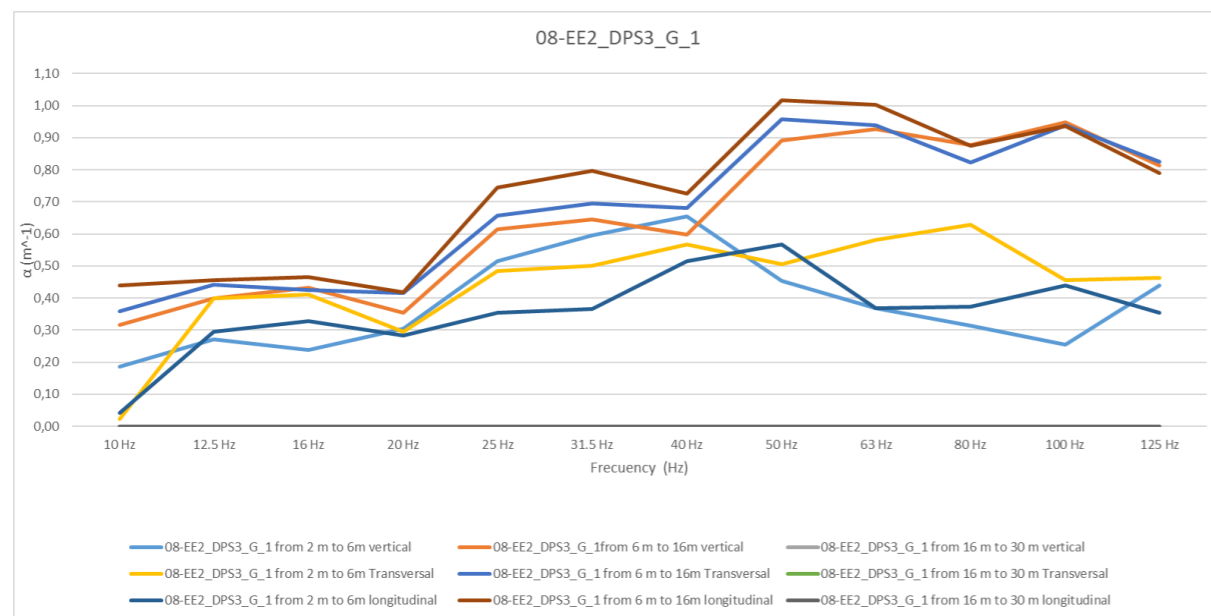
Table 16 Values of the  $\alpha$  coefficient (1/2)

Mõõtmispunkt	Kaugus	Suund	1/3 oktaavi sagedusriba kesksagedus (Hz)											
			10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125
13-EE2-DPS3_G_5	2 m kuni 6 m	vertikaalne	0,25	0,22	0,25	0,34	0,25	0,33	0,40	0,48	0,50	0,69	0,72	0,61
13-EE2-DPS3_G_5	6 m kuni 16 m	vertikaalne	0,01	0,01	0,02	0,00	0,03	0,09	0,12	0,29	0,33	0,24	0,23	0,27
13-EE2-DPS3_G_5	16 m kuni 30 m	vertikaalne	0,04	0,04	0,02	0,02	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
13-EE2-DPS3_G_5	2 m kuni 6 m	ristsuunaline	0,62	0,58	0,70	0,44	0,43	0,40	0,32	0,02	0,00	0,34	0,49	0,43
13-EE2-DPS3_G_5	6 m kuni 16 m	ristsuunaline	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,31	0,29	0,45	0,51	0,36	0,22	0,19
13-EE2-DPS3_G_5	16 m kuni 30 m	ristsuunaline	0,06	0,06	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13-EE2-DPS3_G_5	2 m kuni 6 m	pikisuunaline	0,12	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,32	0,34	0,03	0,10	0,10
13-EE2-DPS3_G_5	6 m kuni 16 m	pikisuunaline	0,06	0,18	0,15	0,16	0,30	0,35	0,36	0,38	0,28	0,26	0,29	0,25
13-EE2-DPS3_G_5	16 m kuni 30 m	pikisuunaline	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15-EE2-DPS3_G_6	2 m kuni 6 m	vertikaalne	0,48	0,52	0,57	0,55	0,34	0,33	0,34	0,30	0,40	0,37	0,22	0,18
15-EE2-DPS3_G_6	6 m kuni 16 m	vertikaalne	0,23	0,27	0,29	0,24	0,45	0,56	0,62	0,89	0,81	0,75	0,79	0,72
15-EE2-DPS3_G_6	16 m kuni 30 m	vertikaalne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15-EE2-DPS3_G_6	2 m kuni 6 m	ristsuunaline	0,51	0,51	0,39	0,17	0,07	0,00	0,05	0,20	0,40	0,52	0,50	0,44
15-EE2-DPS3_G_6	6 m kuni 16 m	ristsuunaline	0,24	0,23	0,31	0,35	0,54	0,58	0,64	0,81	0,76	0,60	0,62	0,60
15-EE2-DPS3_G_6	16 m kuni 30 m	ristsuunaline	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15-EE2-DPS3_G_6	2 m kuni 6 m	pikisuunaline	0,07	0,17	0,23	0,20	0,21	0,27	0,12	0,18	0,78	0,91	0,22	0,44
15-EE2-DPS3_G_6	6 m kuni 16 m	pikisuunaline	0,41	0,44	0,41	0,42	0,68	0,74	0,76	1,02	0,89	0,75	0,76	0,65
15-EE2-DPS3_G_6	16 m kuni 30 m	pikisuunaline	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18-EE2-DPS3_G_8	2 m kuni 6 m	vertikaalne	0,64	0,56	0,58	0,47	0,26	0,08	0,31	0,46	0,42	0,46	0,16	0,33
18-EE2-DPS3_G_8	6 m kuni 16 m	vertikaalne	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,12	0,14	0,10	0,06	0,04	0,13	0,12
18-EE2-DPS3_G_8	16 m kuni 30 m	vertikaalne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,06	0,06	0,13	0,10	0,06	0,07	0,08
18-EE2-DPS3_G_8	2 m kuni 6 m	ristsuunaline	0,47	0,27	0,35	0,34	0,29	0,34	0,39	0,75	0,89	0,69	0,35	0,35
18-EE2-DPS3_G_8	6 m kuni 16 m	ristsuunaline	0,00	0,02	0,00	0,04	0,15	0,18	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01
18-EE2-DPS3_G_8	16 m kuni 30 m	ristsuunaline	0,00	0,00	0,00	0,03	0,12	0,10	0,13	0,13	0,17	0,09	0,11	0,08
18-EE2-DPS3_G_8	2 m kuni 6 m	pikisuunaline	0,57	0,50	0,36	0,30	0,26	0,33	0,50	0,72	0,88	0,75	0,35	0,44
18-EE2-DPS3_G_8	6 m kuni 16 m	pikisuunaline	0,00	0,00	0,00	0,04	0,23	0,20	0,18	0,16	0,09	0,05	0,15	0,13
18-EE2-DPS3_G_8	16 m kuni 30 m	pikisuunaline	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00

Tabel 17.a teguri väärtused (2/2)

Measurement pt.	Distance	Direction	1/3 octave band central frequency (Hz)											
			10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125
13-EE2-DPS3_G_5	from 2 m to 6 m	vertical	0,25	0,22	0,25	0,34	0,25	0,33	0,40	0,48	0,50	0,69	0,72	0,61
13-EE2-DPS3_G_5	from 6 m to 16 m	vertical	0,01	0,01	0,02	0,00	0,03	0,09	0,12	0,29	0,33	0,24	0,23	0,27
13-EE2-DPS3_G_5	from 16 m to 30 m	vertical	0,04	0,04	0,02	0,02	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
13-EE2-DPS3_G_5	from 2 m to 6 m	transversal	0,62	0,58	0,70	0,44	0,43	0,40	0,32	0,02	0,00	0,34	0,49	0,43
13-EE2-DPS3_G_5	from 6 m to 16 m	transversal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,31	0,29	0,45	0,51	0,36	0,22	0,19
13-EE2-DPS3_G_5	from 16 m to 30 m	transversal	0,06	0,06	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13-EE2-DPS3_G_5	from 2 m to 6 m	longitudinal	0,12	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,32	0,34	0,03	0,10	0,10
13-EE2-DPS3_G_5	from 6 m to 16 m	longitudinal	0,06	0,18	0,15	0,16	0,30	0,35	0,36	0,38	0,28	0,26	0,29	0,25
13-EE2-DPS3_G_5	from 16 m to 30 m	longitudinal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15-EE2-DPS3_G_6	from 2 m to 6 m	vertical	0,48	0,52	0,57	0,55	0,34	0,33	0,34	0,30	0,40	0,37	0,22	0,18
15-EE2-DPS3_G_6	from 6 m to 16 m	vertical	0,23	0,27	0,29	0,24	0,45	0,56	0,62	0,89	0,81	0,75	0,79	0,72
15-EE2-DPS3_G_6	from 16 m to 30 m	vertical	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15-EE2-DPS3_G_6	from 2 m to 6 m	transversal	0,51	0,51	0,39	0,17	0,07	0,00	0,05	0,20	0,40	0,52	0,50	0,44
15-EE2-DPS3_G_6	from 6 m to 16 m	transversal	0,24	0,23	0,31	0,35	0,54	0,58	0,64	0,81	0,76	0,60	0,62	0,60
15-EE2-DPS3_G_6	from 16 m to 30 m	transversal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15-EE2-DPS3_G_6	from 2 m to 6 m	longitudinal	0,07	0,17	0,23	0,20	0,21	0,27	0,12	0,18	0,78	0,91	0,22	0,44
15-EE2-DPS3_G_6	from 6 m to 16 m	longitudinal	0,41	0,44	0,41	0,42	0,68	0,74	0,76	1,02	0,89	0,75	0,76	0,65
15-EE2-DPS3_G_6	from 16 m to 30 m	longitudinal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18-EE2-DPS3_G_8	from 2 m to 6 m	vertical	0,64	0,56	0,58	0,47	0,26	0,08	0,31	0,46	0,42	0,46	0,16	0,33
18-EE2-DPS3_G_8	from 6 m to 16 m	vertical	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,12	0,14	0,10	0,06	0,04	0,13	0,12
18-EE2-DPS3_G_8	from 16 m to 30 m	vertical	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,06	0,06	0,13	0,10	0,06	0,07	0,08
18-EE2-DPS3_G_8	from 2 m to 6 m	transversal	0,47	0,27	0,35	0,34	0,29	0,34	0,39	0,75	0,89	0,69	0,35	0,35
18-EE2-DPS3_G_8	from 6 m to 16 m	transversal	0,00	0,02	0,00	0,04	0,15	0,18	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01
18-EE2-DPS3_G_8	from 16 m to 30 m	transversal	0,00	0,00	0,00	0,03	0,12	0,10	0,13	0,13	0,17	0,09	0,11	0,08
18-EE2-DPS3_G_8	from 2 m to 6 m	longitudinal	0,57	0,50	0,36	0,30	0,26	0,33	0,50	0,72	0,88	0,75	0,35	0,44
18-EE2-DPS3_G_8	from 6 m to 16 m	longitudinal	0,00	0,00	0,00	0,04	0,23	0,20	0,18	0,16	0,09	0,05	0,15	0,13
18-EE2-DPS3_G_8	from 16 m to 30 m	longitudinal	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00

Table 17 Values of the a coefficient (2/2)



Joonis 39. a teguri väärtused asukohas 08-EE2\_DPS3\_G-1

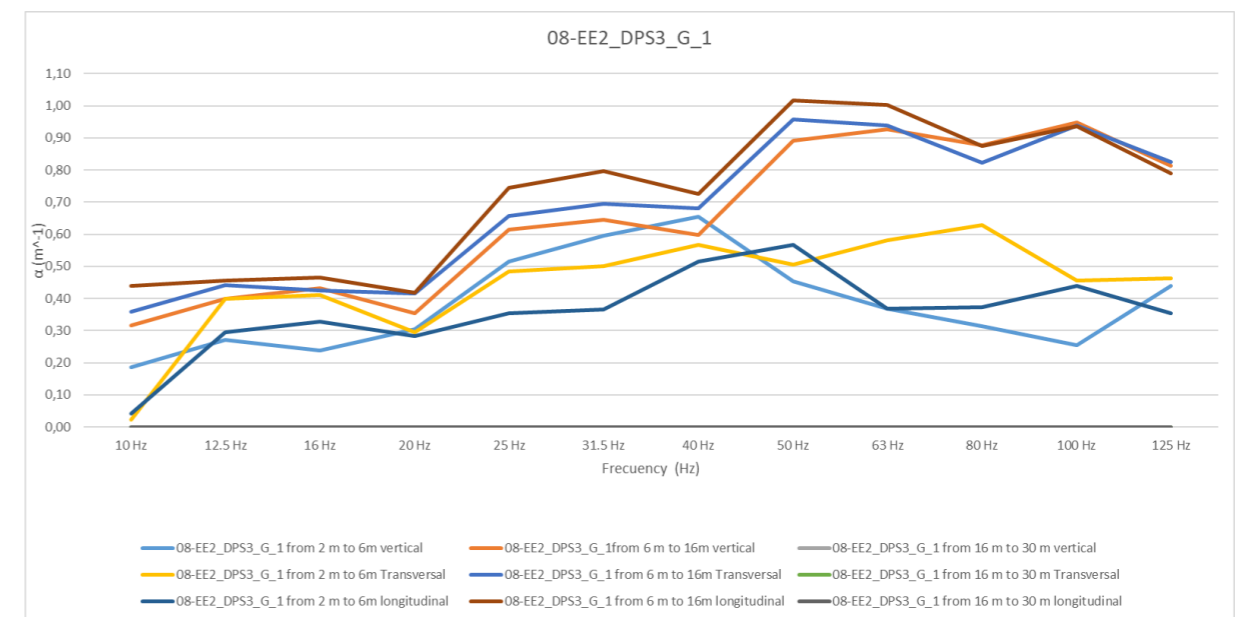
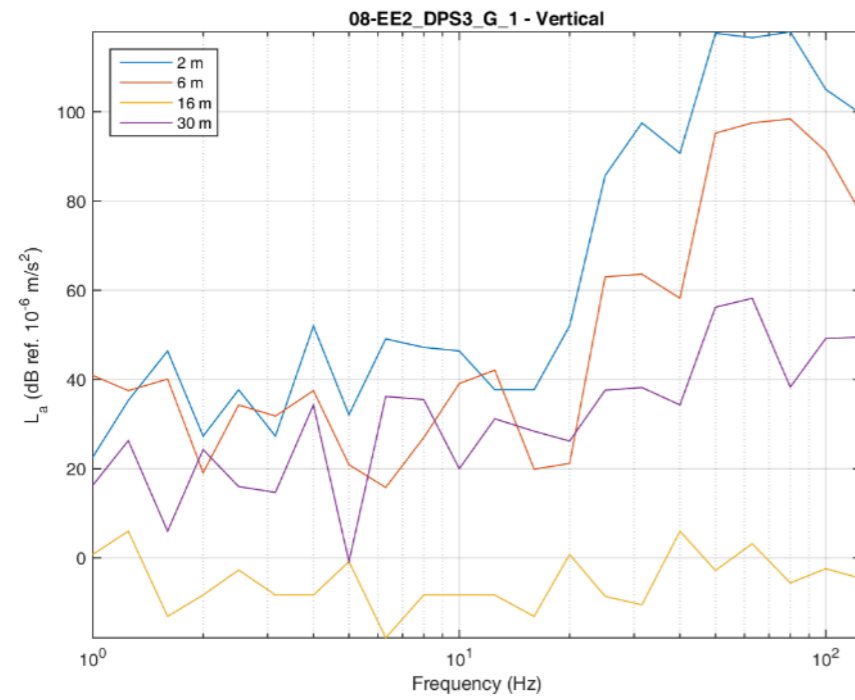


Figure 39. Values of the a coefficient at location 08-EE2\_DPS3\_G-1





Joonis 40. Keskmiste spektrite väärtused vertikaalsuunas punktis 08-EE2\_DPS3\_G-1

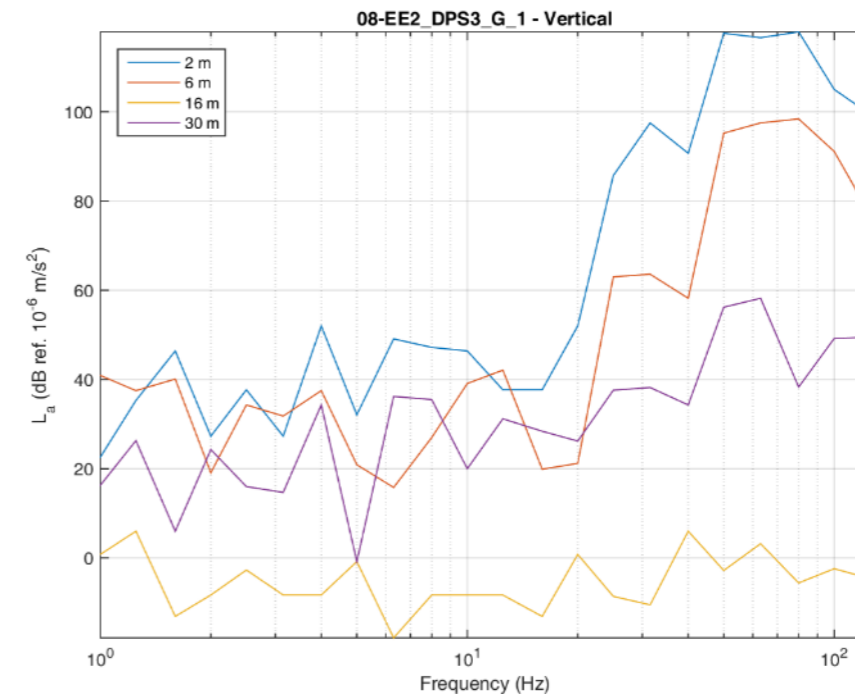
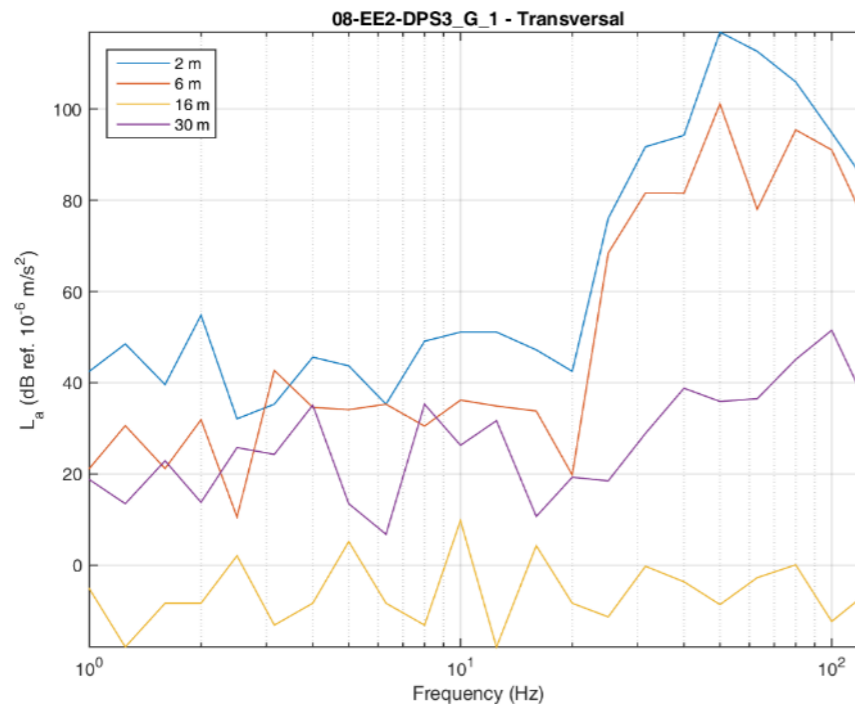


Figure 40. Values of the mean spectra in the vertical direction at 08-EE2\_DPS3\_G-1



Joonis 41. Keskmiste spektrite väärtused ristsuunas punktis 08-EE2\_DPS3\_G-1

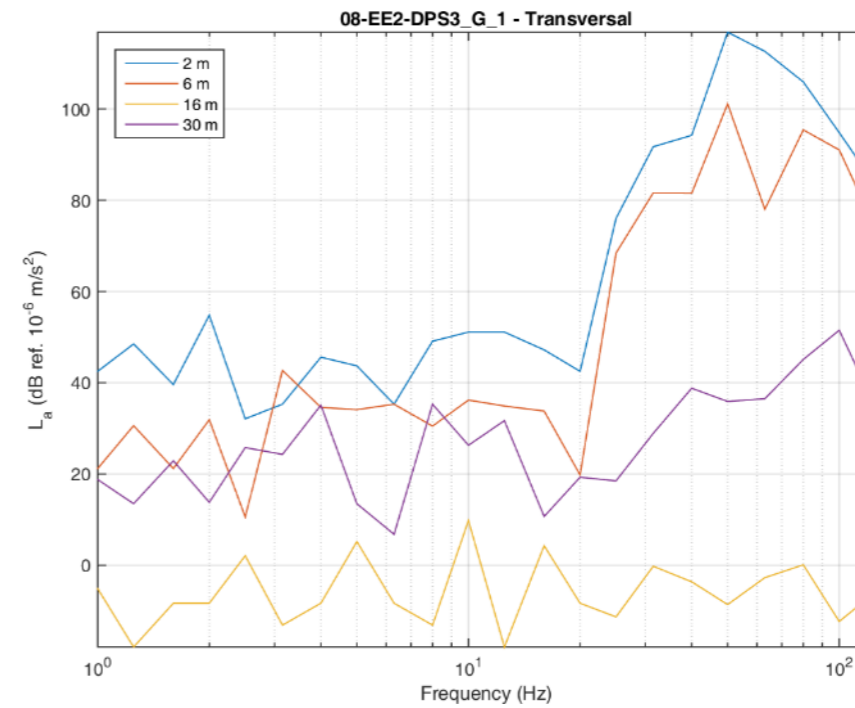
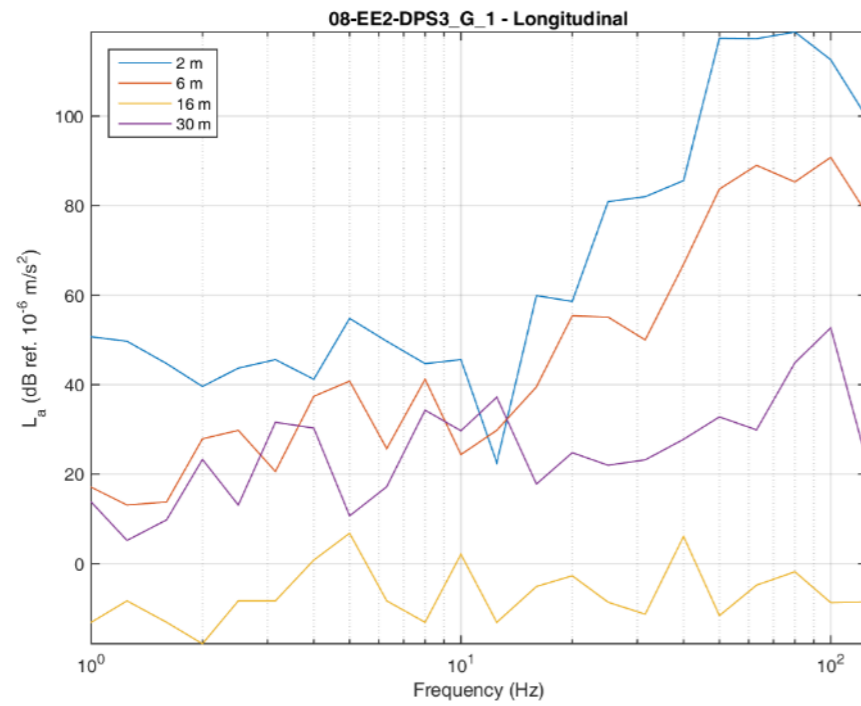


Figure 41. Values of the mean spectra in the transversal direction at 08-EE2\_DPS3\_G-1



Joonis 42. Keskmiste spektrite väärtused pikisuunas punktis 08-EE2\_DPS3\_G-1

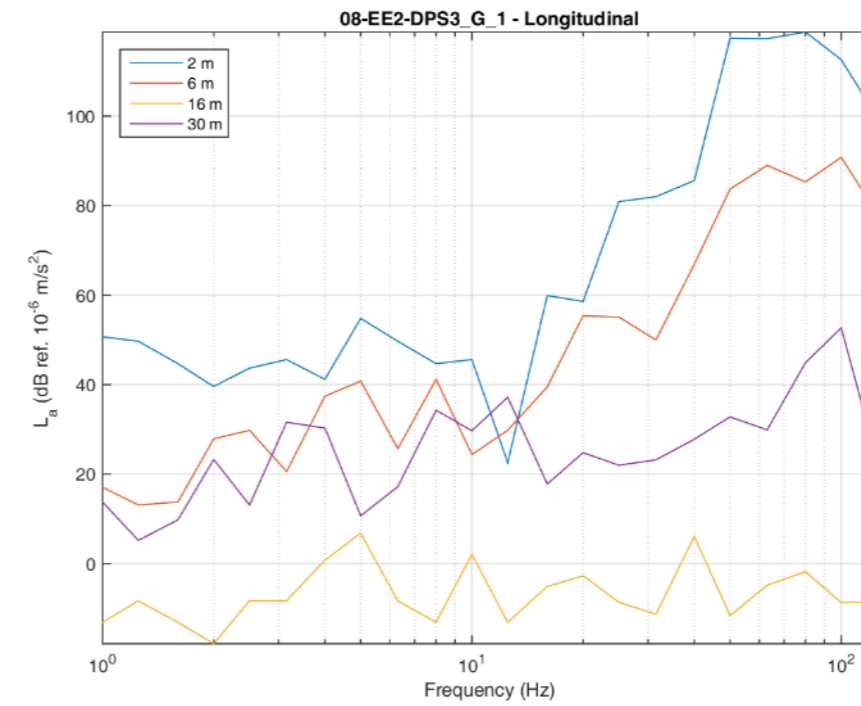
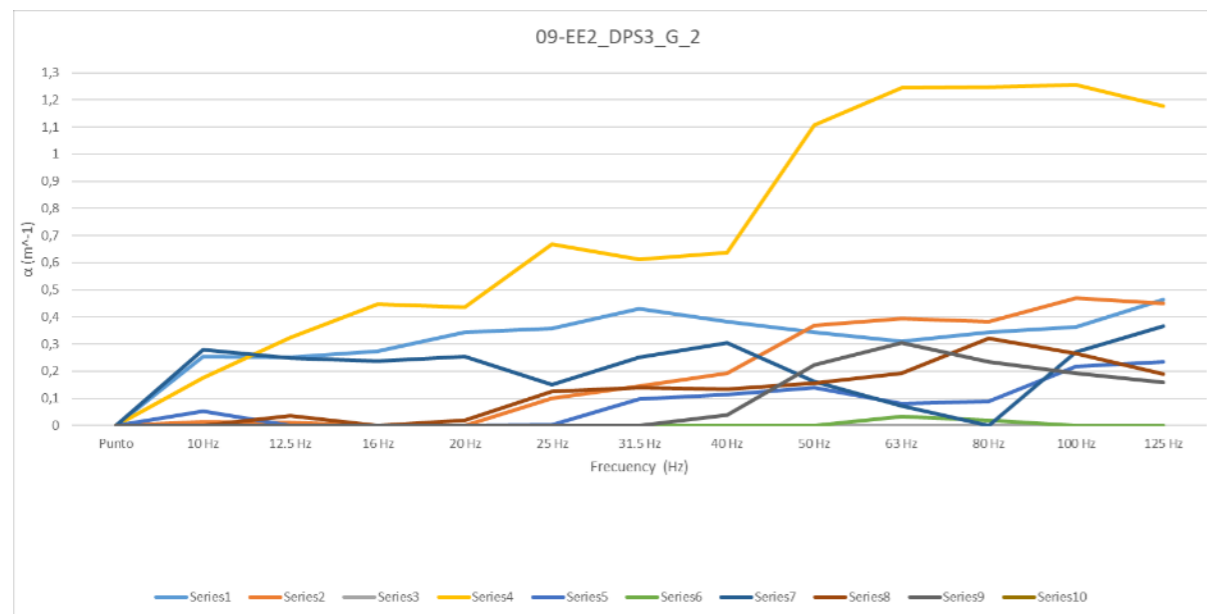


Figure 42. Values of the mean spectra in the longitudinal direction at 08-EE2\_DPS3\_G-1



Joonis 43.  $\alpha$  teguri väärtused asukohas 09-EE2\_DPS3\_G-2

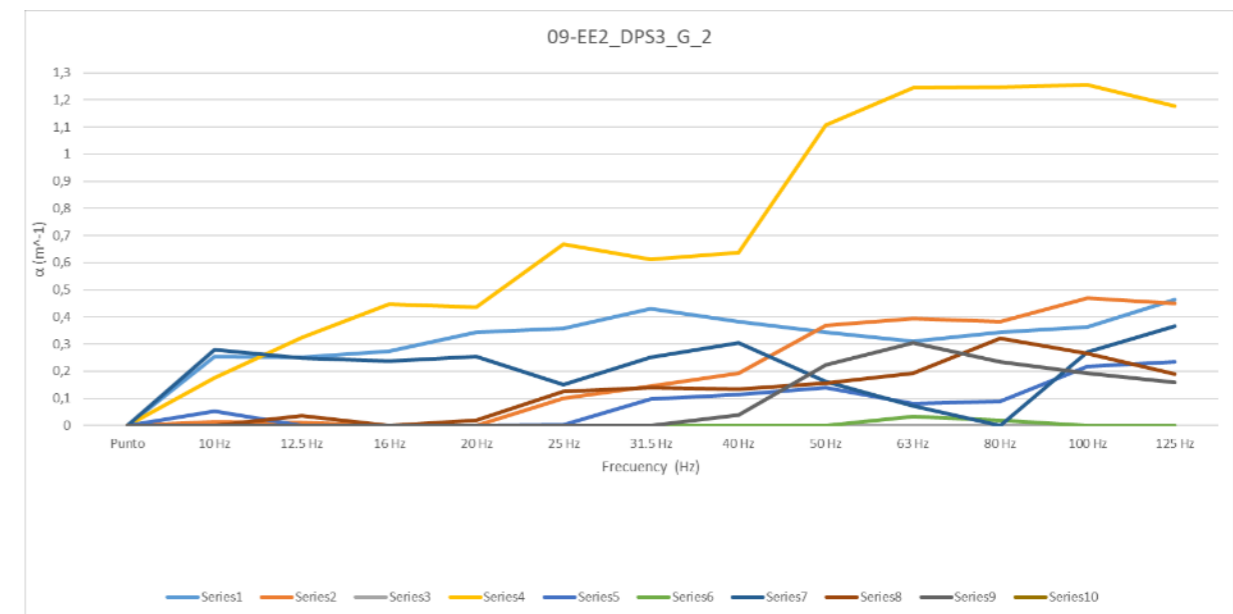
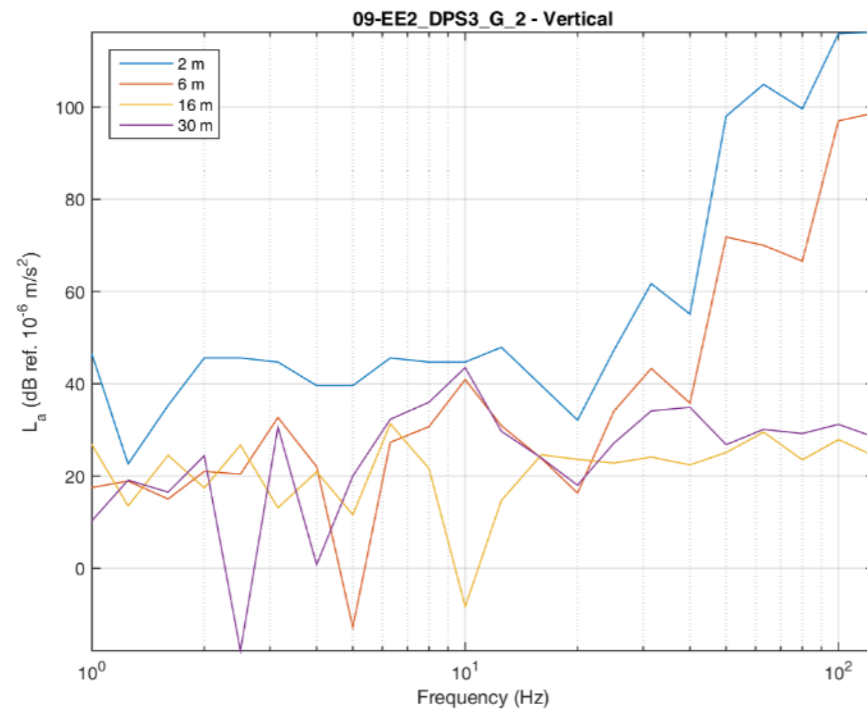


Figure 43. Values of the  $\alpha$  coefficient at location 09-EE2\_DPS3\_G-2



Joonis 44. Keskmiste spektrite väärtused vertikaalsuunas punktis 09-EE2\_DPS3\_G-2

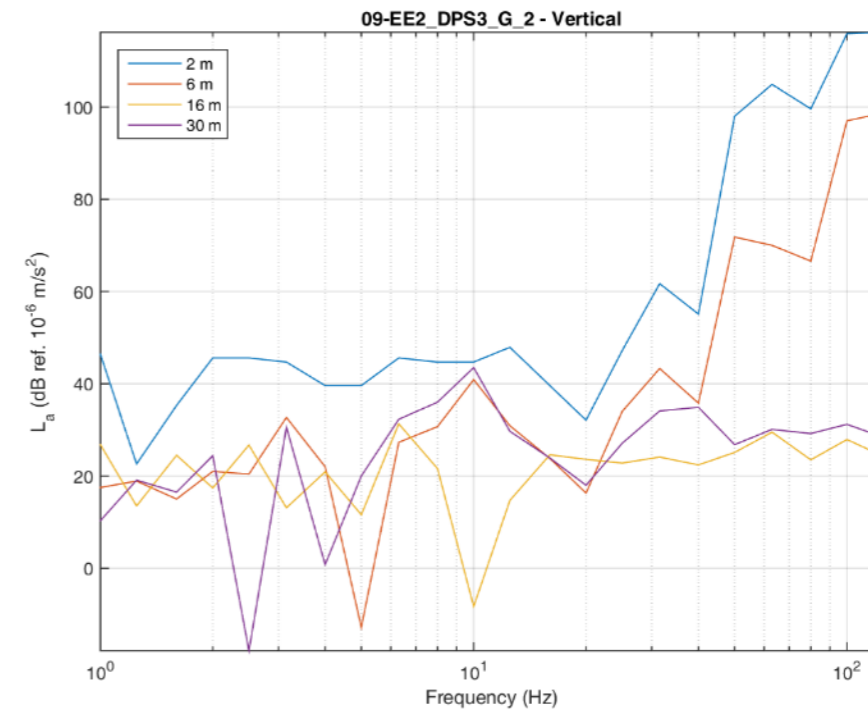
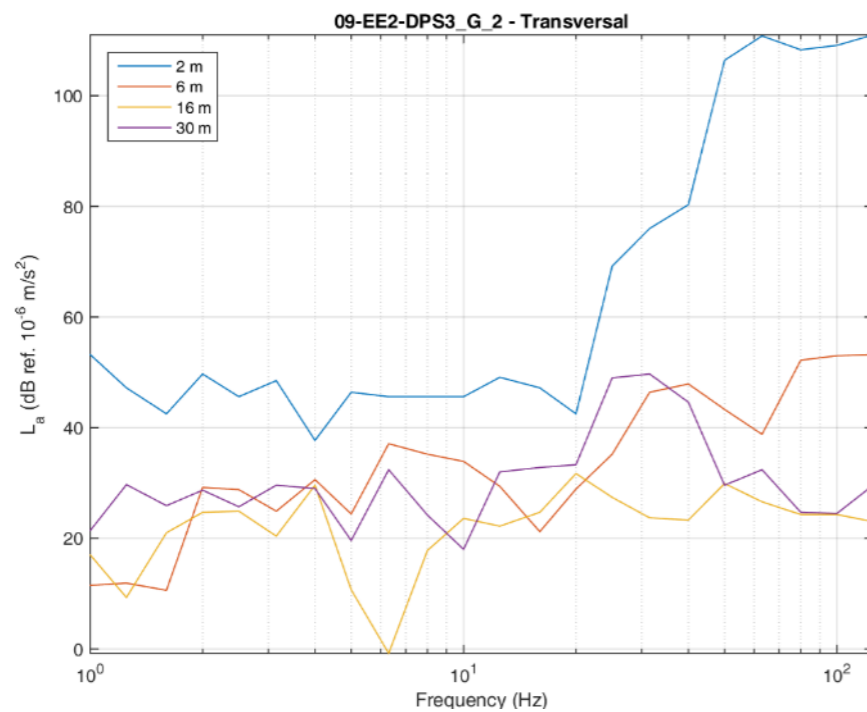


Figure 44. Values of the mean spectra in the vertical direction at 09-EE2\_DPS3\_G-2



Joonis 45. Keskmiste spektrite väärtused ristsuunas punktis 09-EE2\_DPS3\_G-2

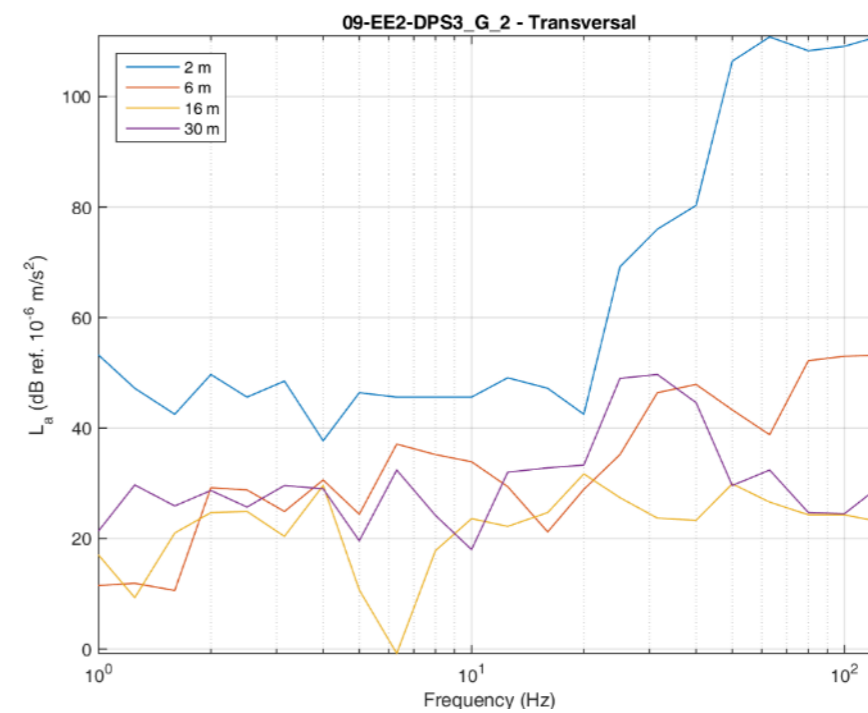
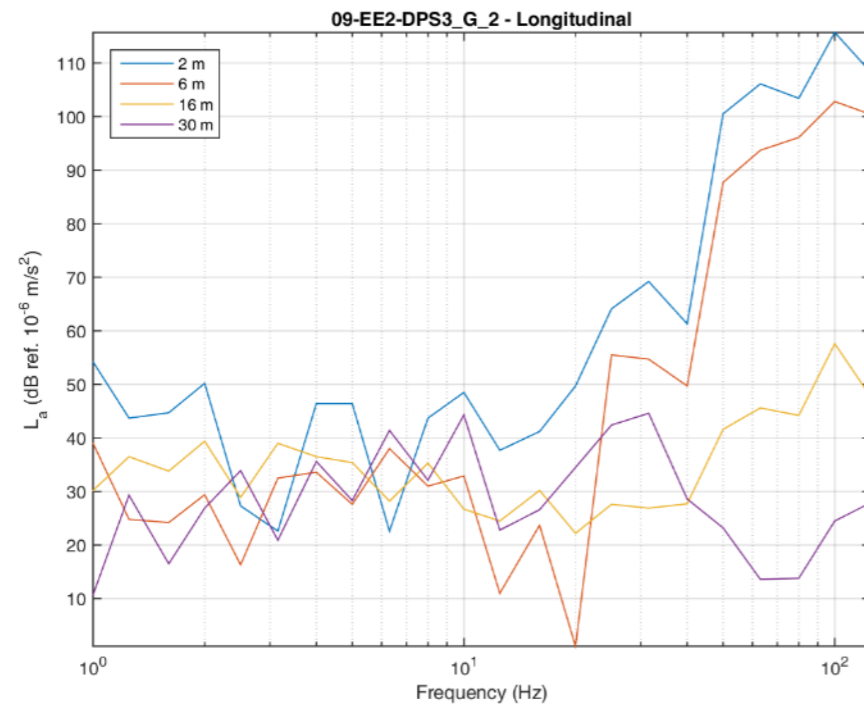


Figure 45. Values of the mean spectra in the transversal direction at 09-EE2\_DPS3\_G-2



Joonis 46. Keskmiste spektrite väärtused pikisuunas punktis 09-EE2\_DPS3\_G-2

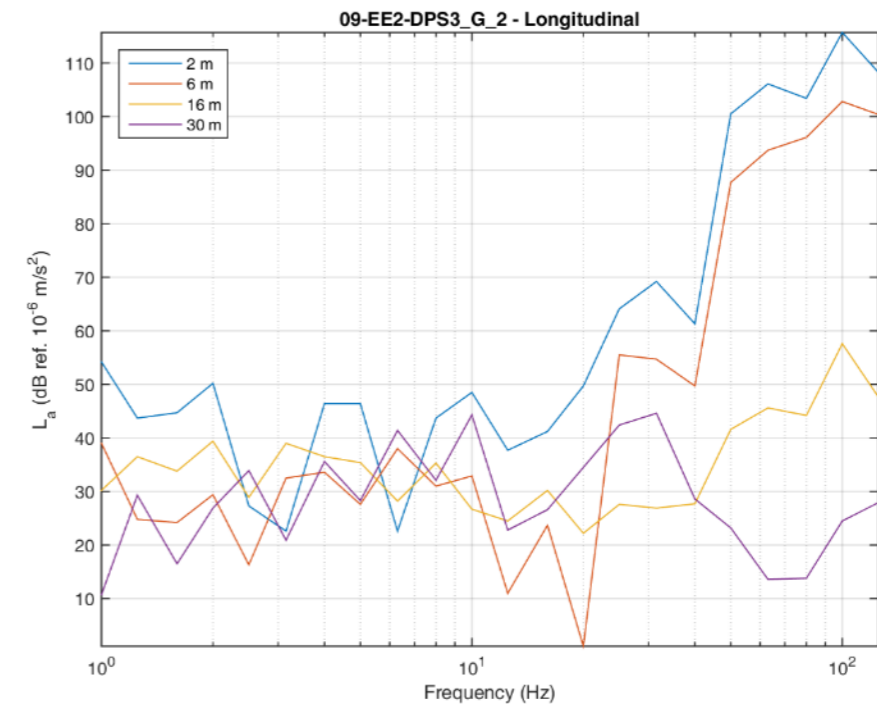
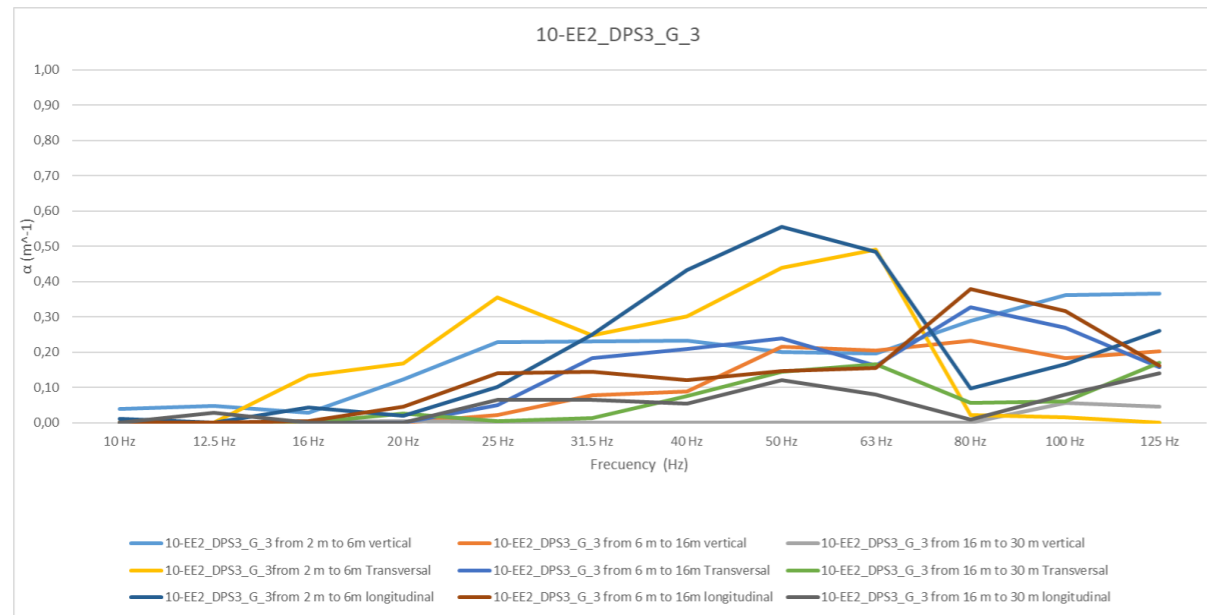


Figure 46. Values of the mean spectra in the longitudinal direction at 09-EE2\_DPS3\_G-2



Joonis 47.  $\alpha$  teguri väärtused asukohas 10-EE2\_DPS3\_G-3

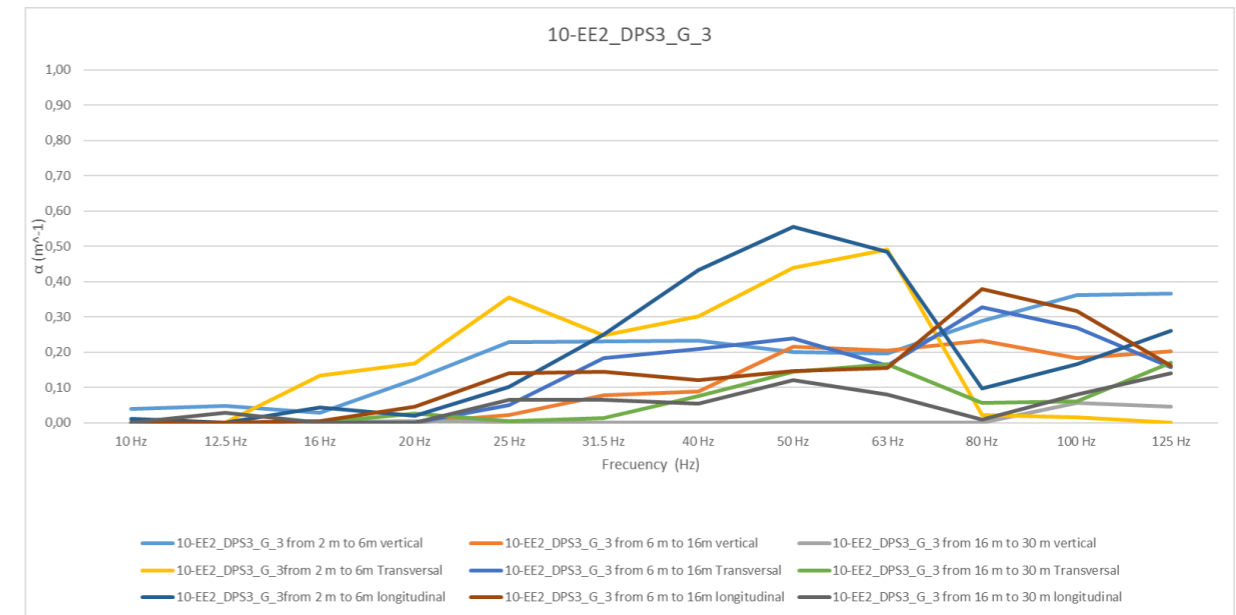
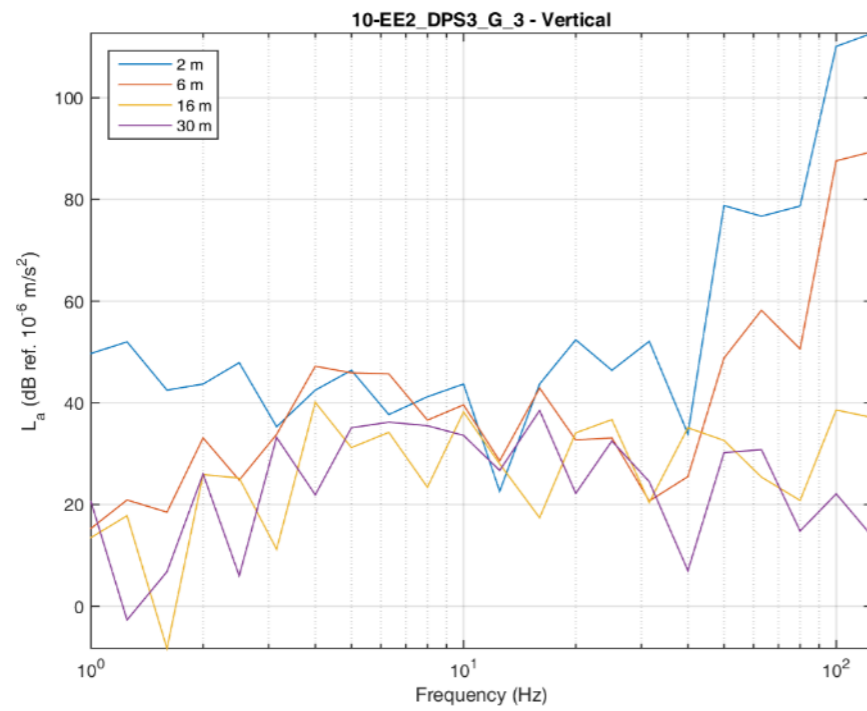


Figure 47. Values of the  $\alpha$  coefficient at location 10-EE2\_DPS3\_G-3



Joonis 48. Keskmiste spektrite väärtused vertikaalsuunas punktis 10-EE2\_DPS3\_G-3

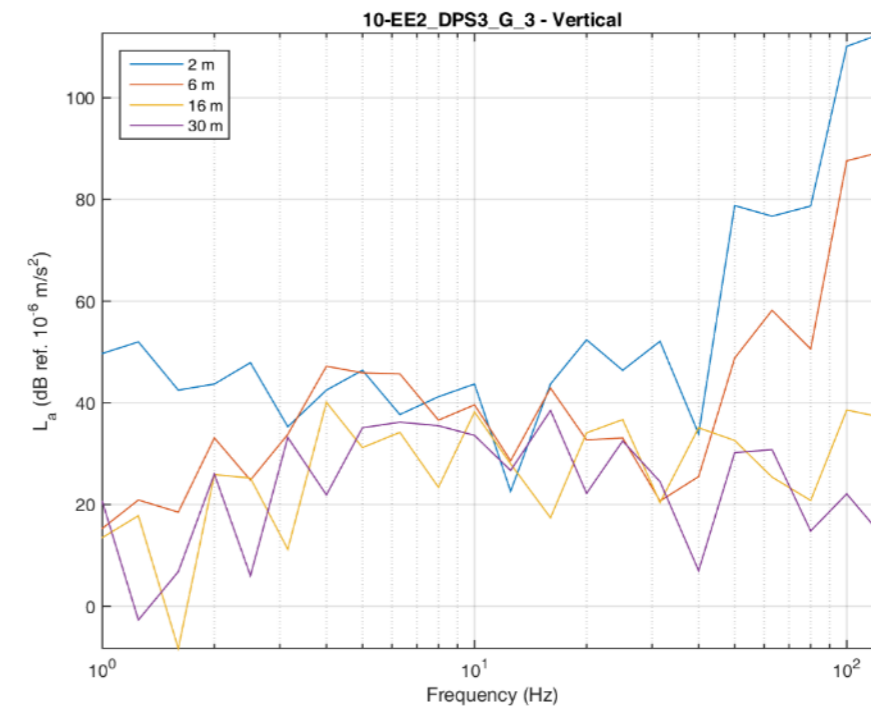
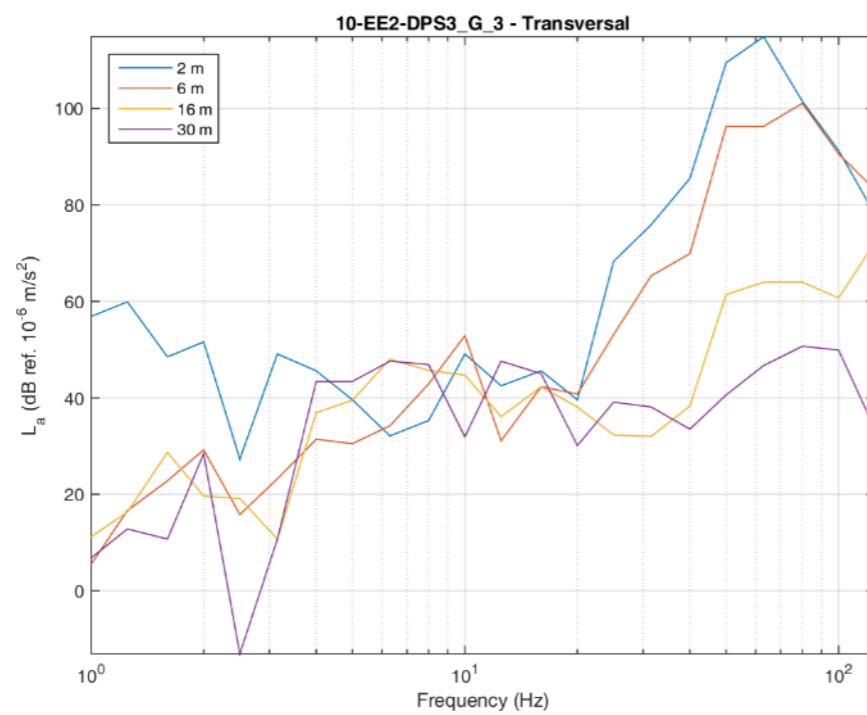


Figure 48. Values of the mean spectra in the vertical direction at 10-EE2\_DPS3\_G-3



Joonis 49. Keskmiste spektrite väärtused ristsuunas punktis 10-EE2\_DPS3\_G-3

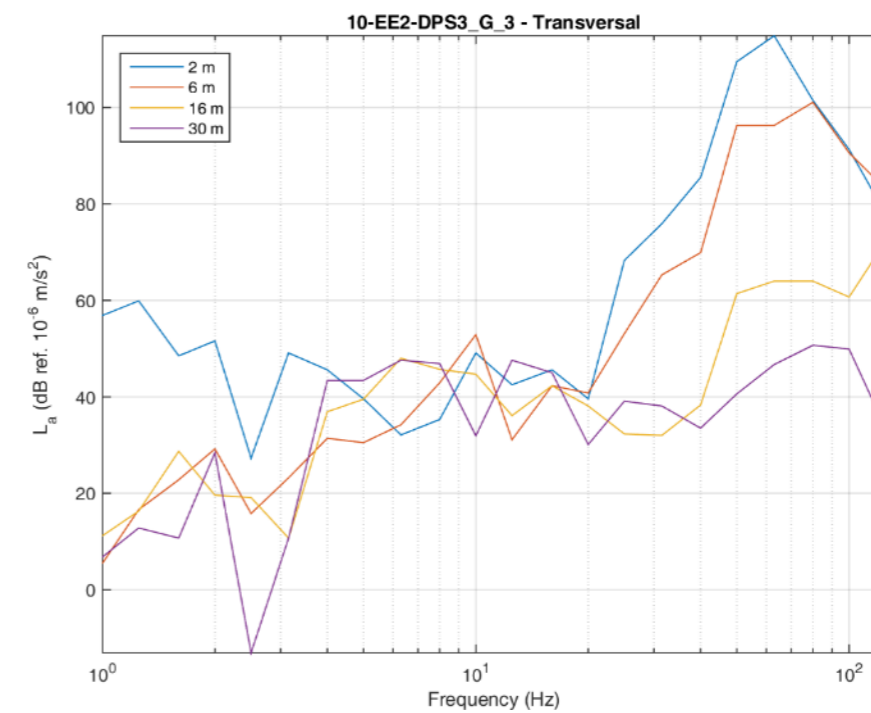
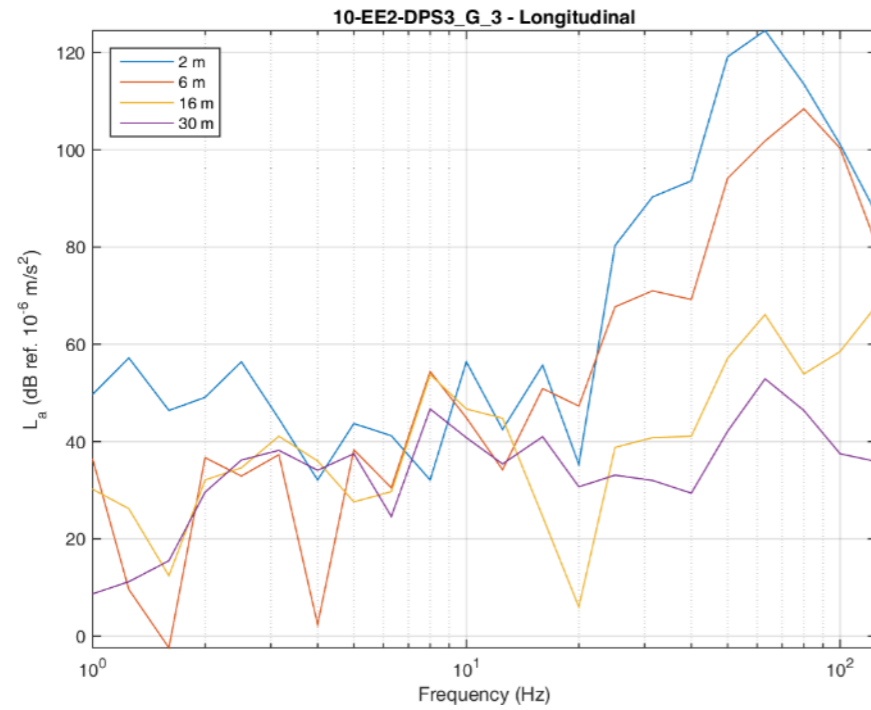


Figure 49. Values of the mean spectra in the transversal direction at 10-EE2\_DPS3\_G-3



Joonis 50. Keskmiste spektrite väärtused pikisuunas punktis 10-EE2\_DPS3\_G-3

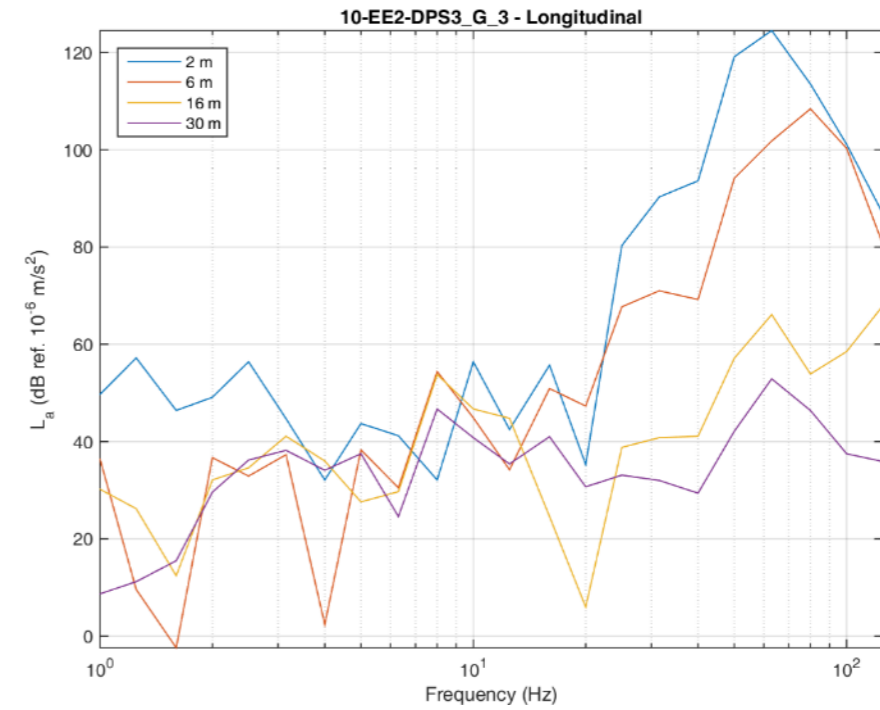
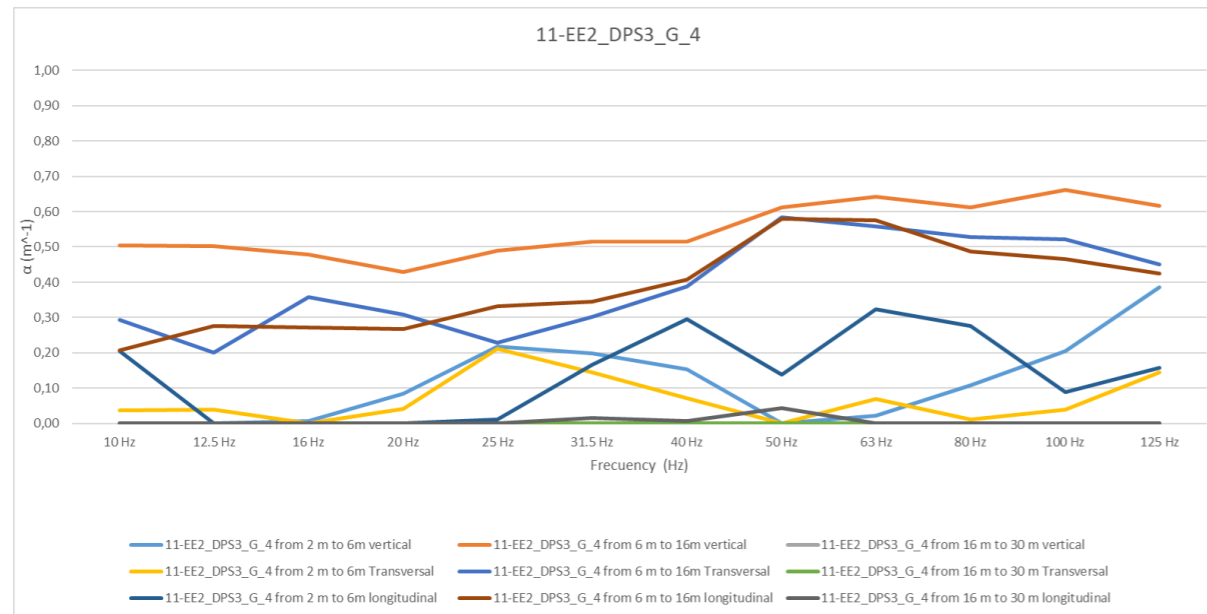


Figure 50. Values of the mean spectra in the longitudinal direction at 10-EE2\_DPS3\_G-3



Joonis 51.  $\alpha$  teguri väärtused asukohas 11-EE2\_DPS3\_G-4

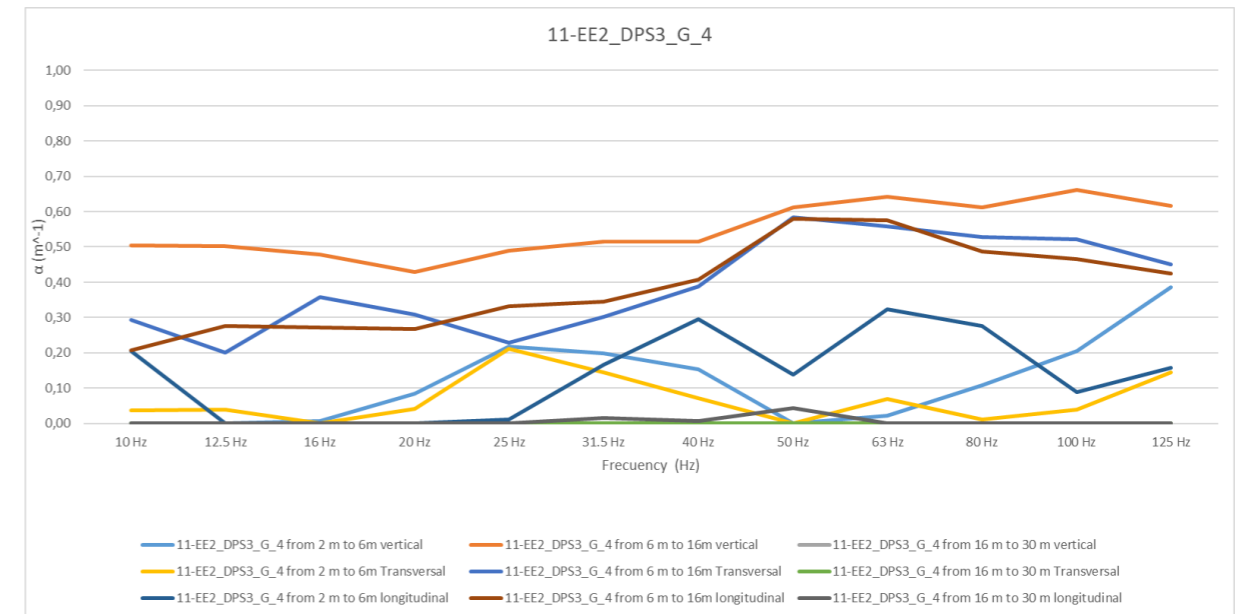
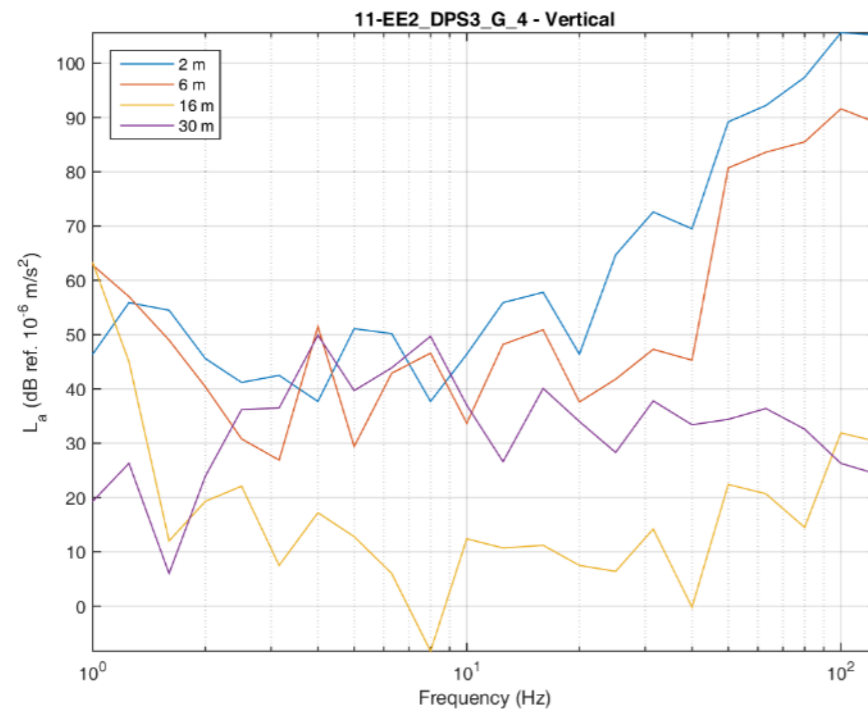


Figure 51. Values of the  $\alpha$  coefficient at location 11-EE2\_DPS3\_G-4



Joonis 52. Keskmiste spektrite väärtused vertikaalsuunas punktis 11-EE2\_DPS3\_G-4

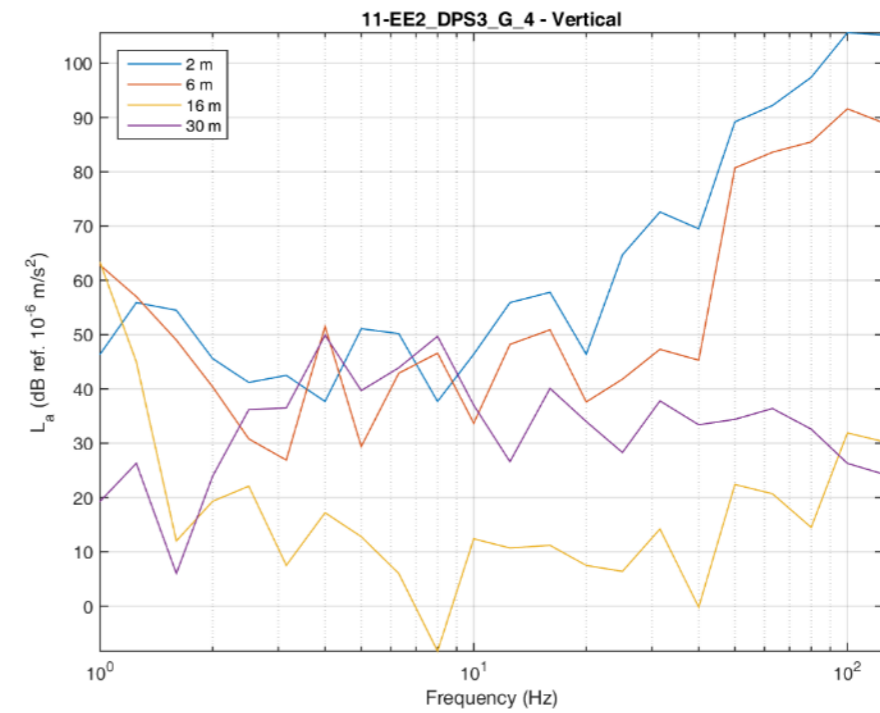
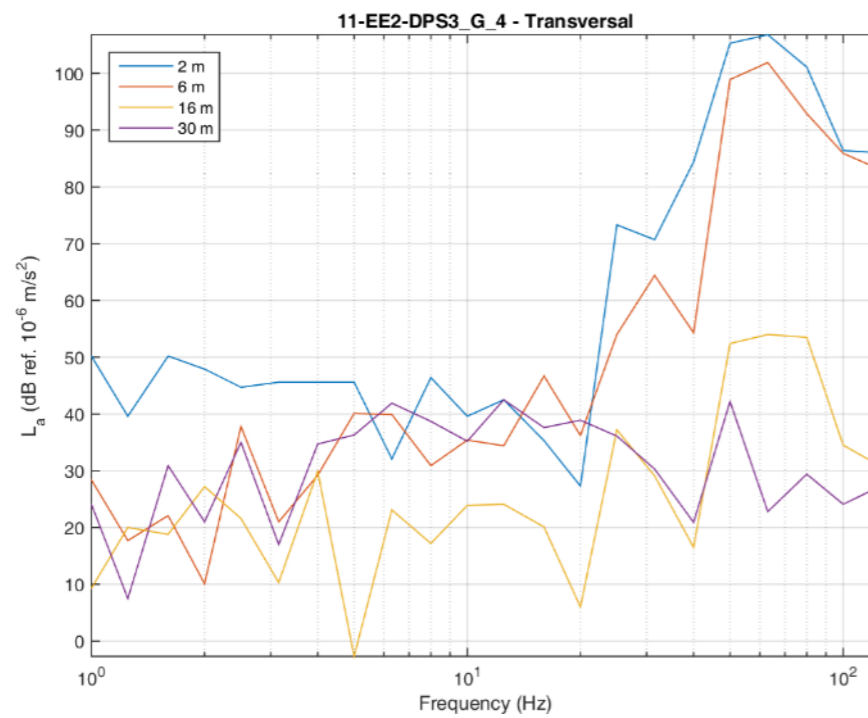


Figure 52. Values of the mean spectra in the vertical direction at 1011-EE2\_DPS3\_G-4



Joonis 53. Keskmiste spektrite väärtused ristsuunas punktis 11-EE2\_DPS3\_G-4

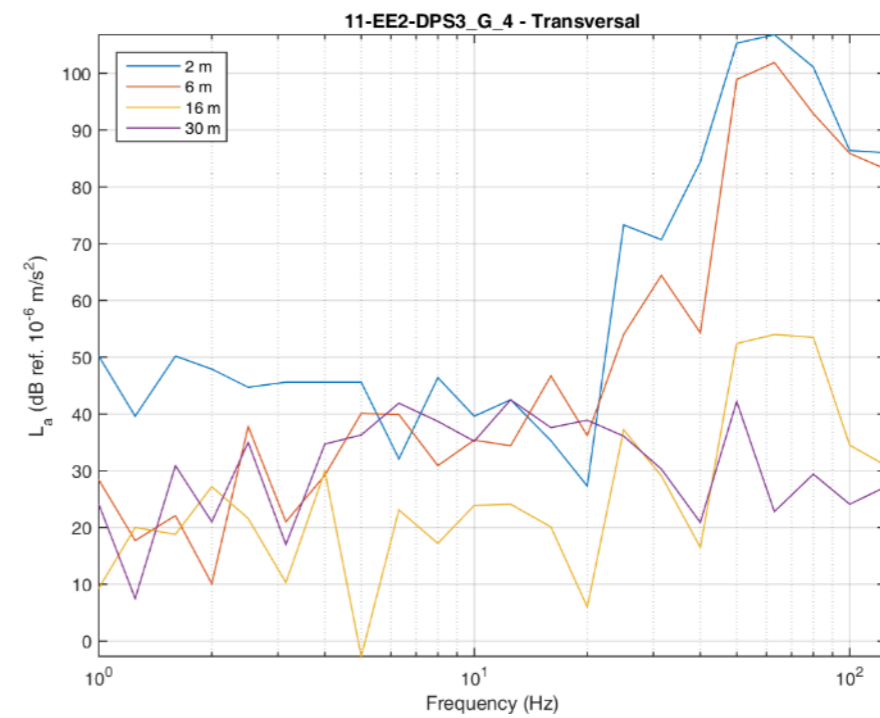
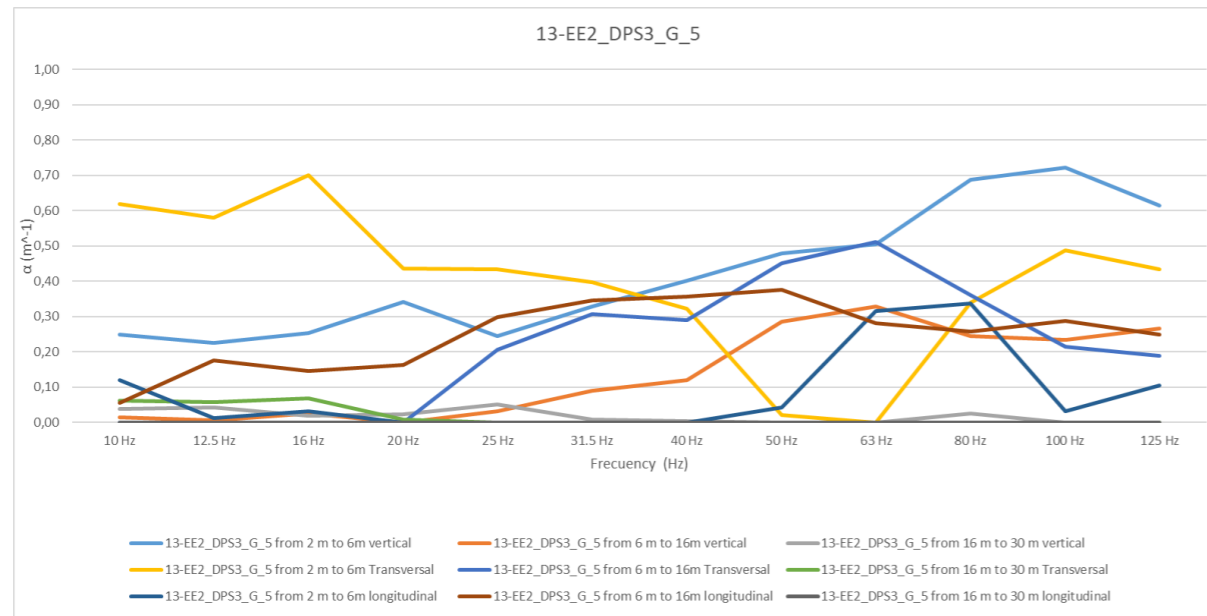


Figure 53. Values of the mean spectra in the transversal direction at 11-EE2\_DPS3\_G-4



Joonis 54.  $\alpha$  teguri väärtused asukohas 13-EE2\_DPS3\_G-5

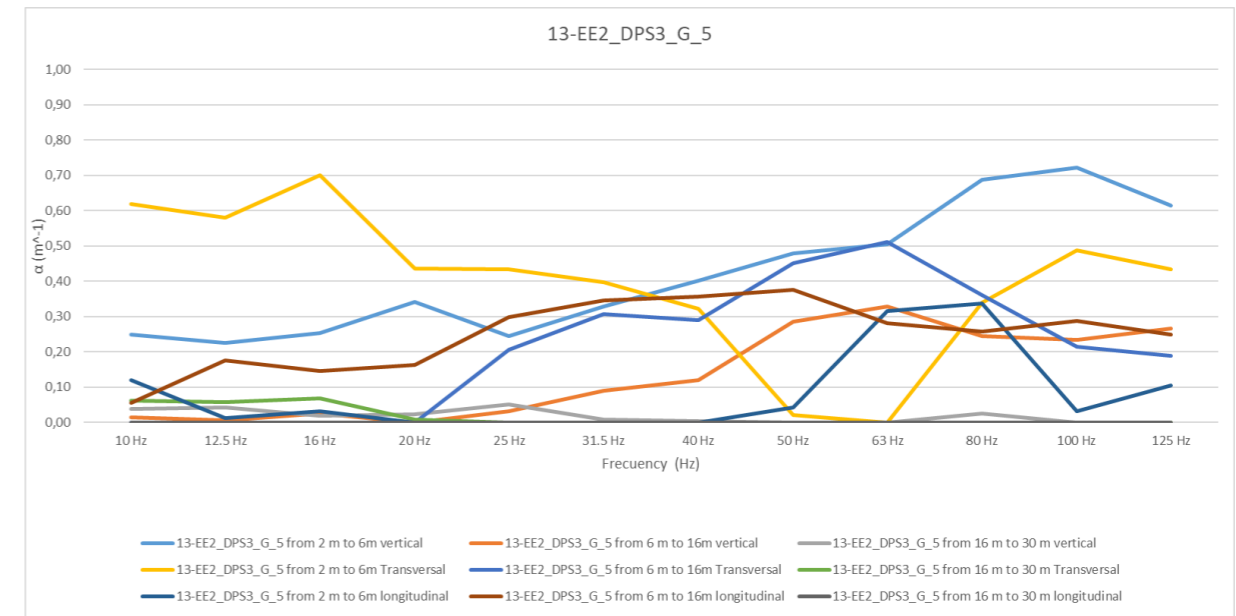
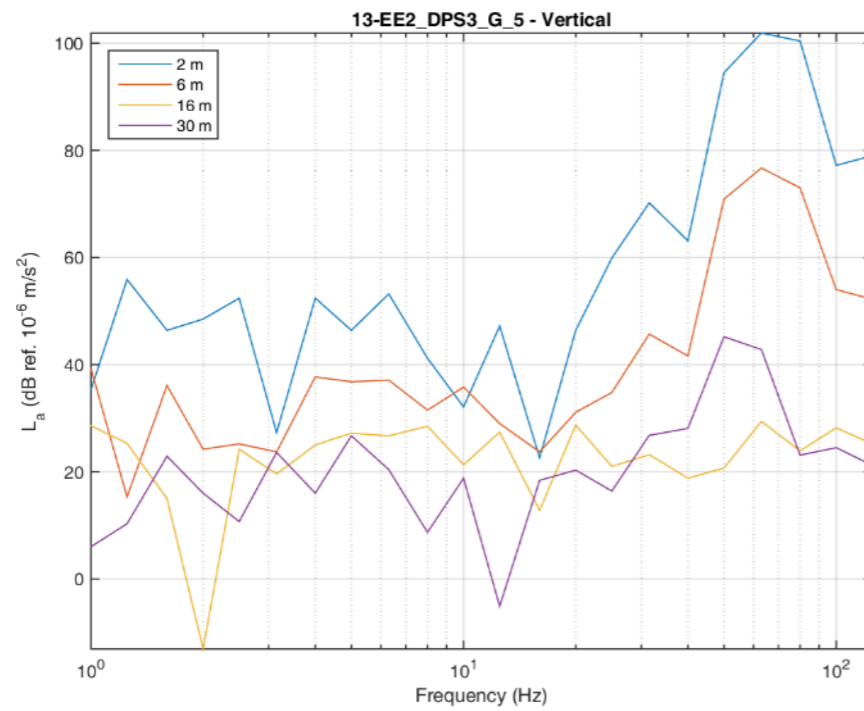


Figure 54. Values of the  $\alpha$  coefficient at location 13-EE2\_DPS3\_G-5



Joonis 55. Keskmiste spektrite väärtused vertikaalsuunas punktis 13-EE2\_DPS3\_G-5

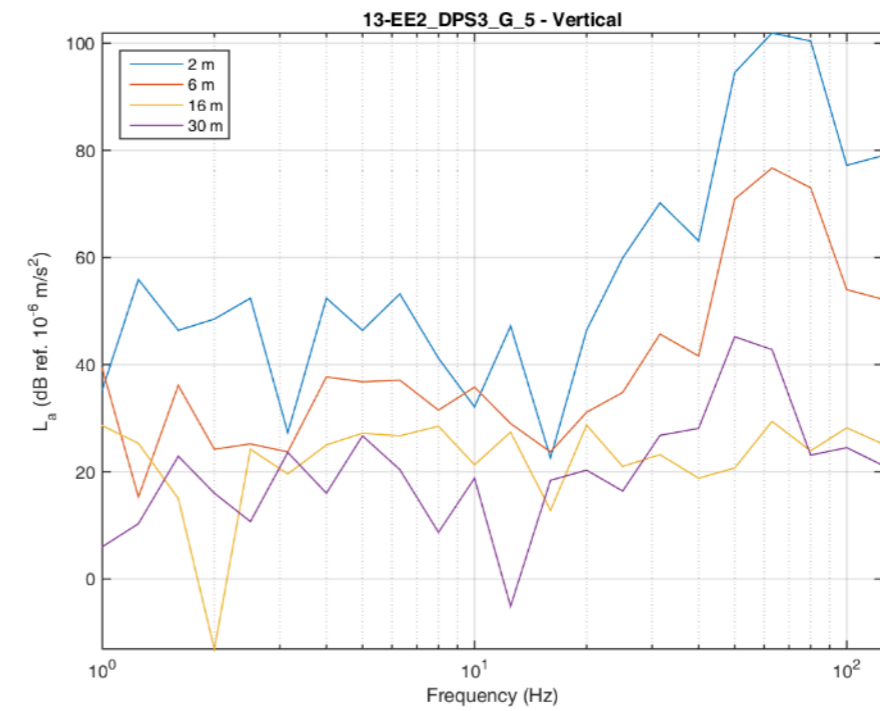
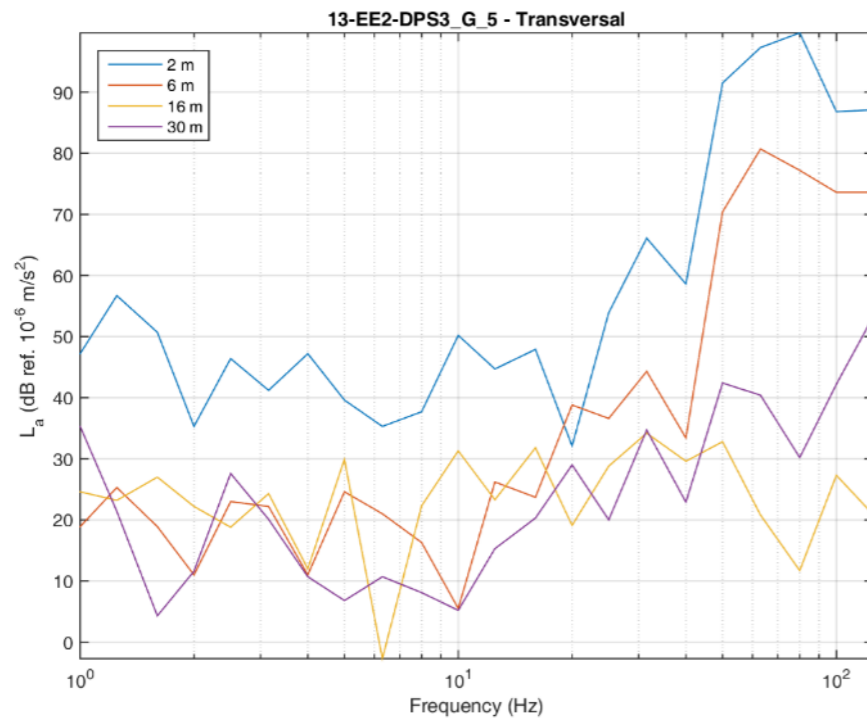


Figure 55. Values of the mean spectra in the vertical direction at 13-EE2\_DPS3\_G-5





Joonis 56. Keskmiste spektrite väärtused ristsuunas punktis 13-EE2\_DPS3\_G-5

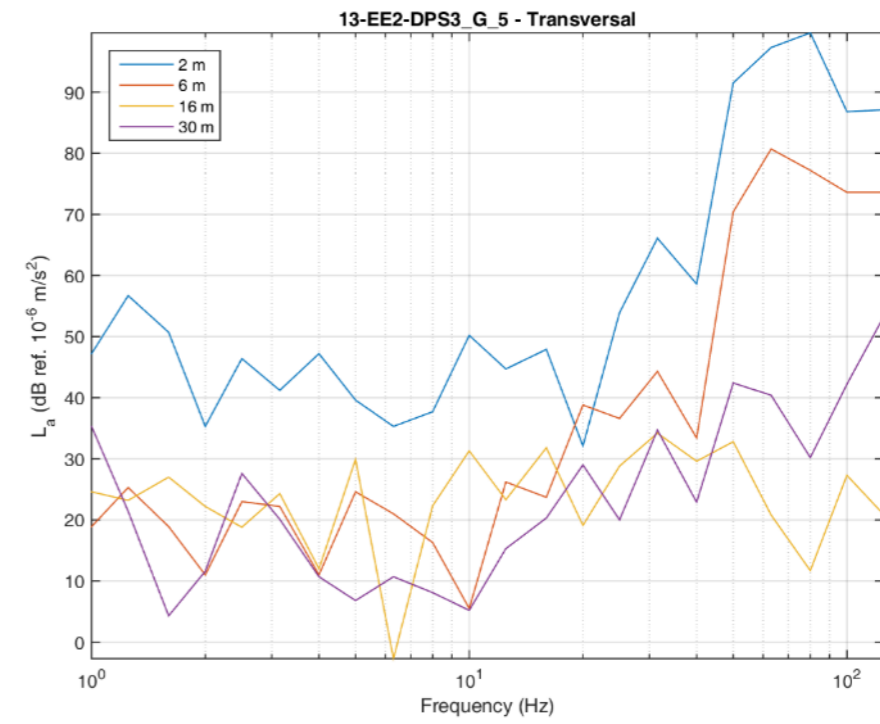
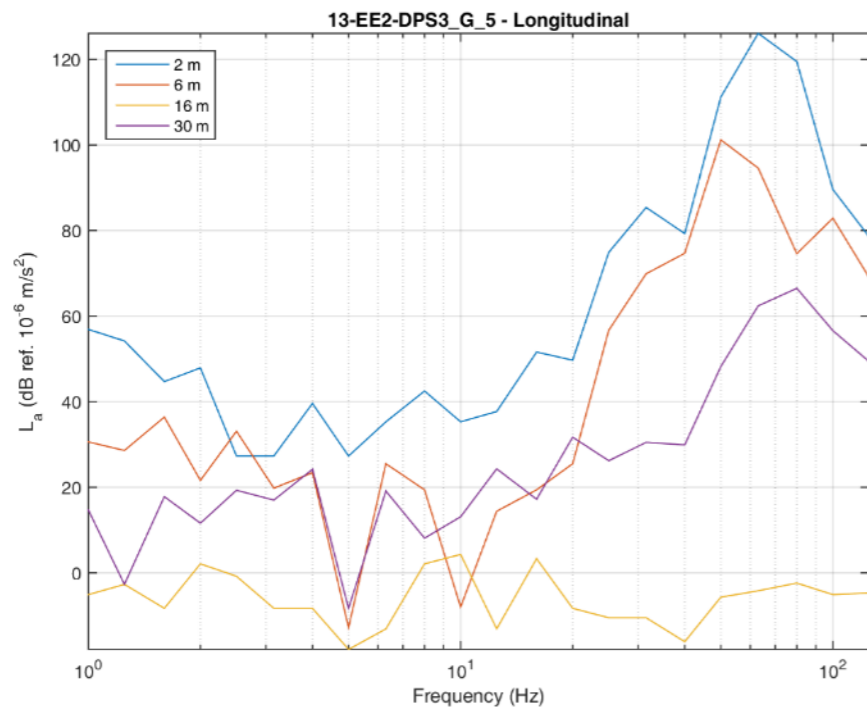


Figure 56. Values of the mean spectra in the transversal direction at 13-EE2\_DPS3\_G-5



Joonis 57. Keskmiste spektrite väärtused pikisuunas punktis 13-EE2\_DPS3\_G-5

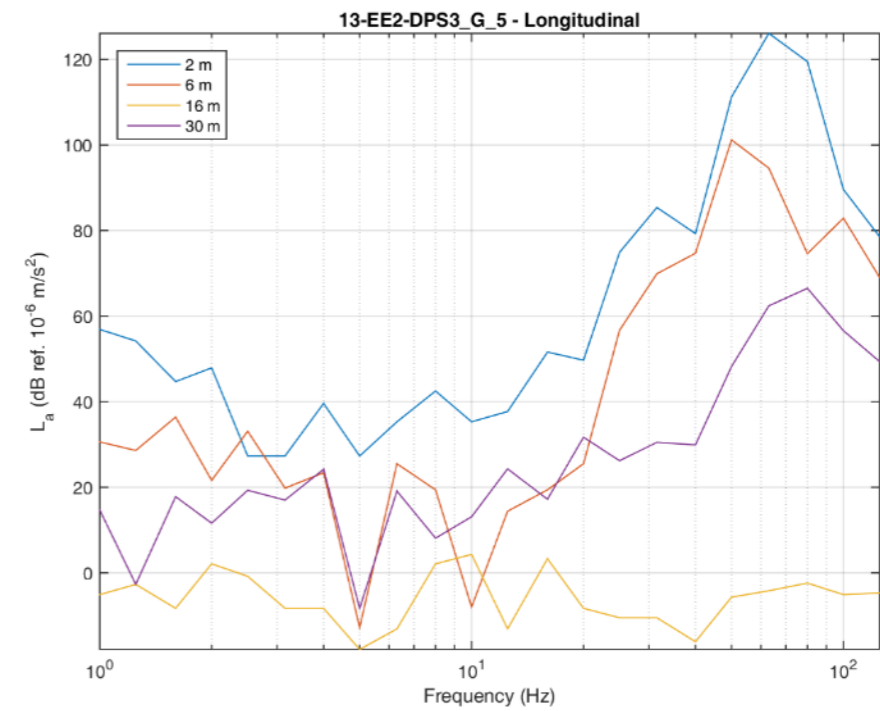
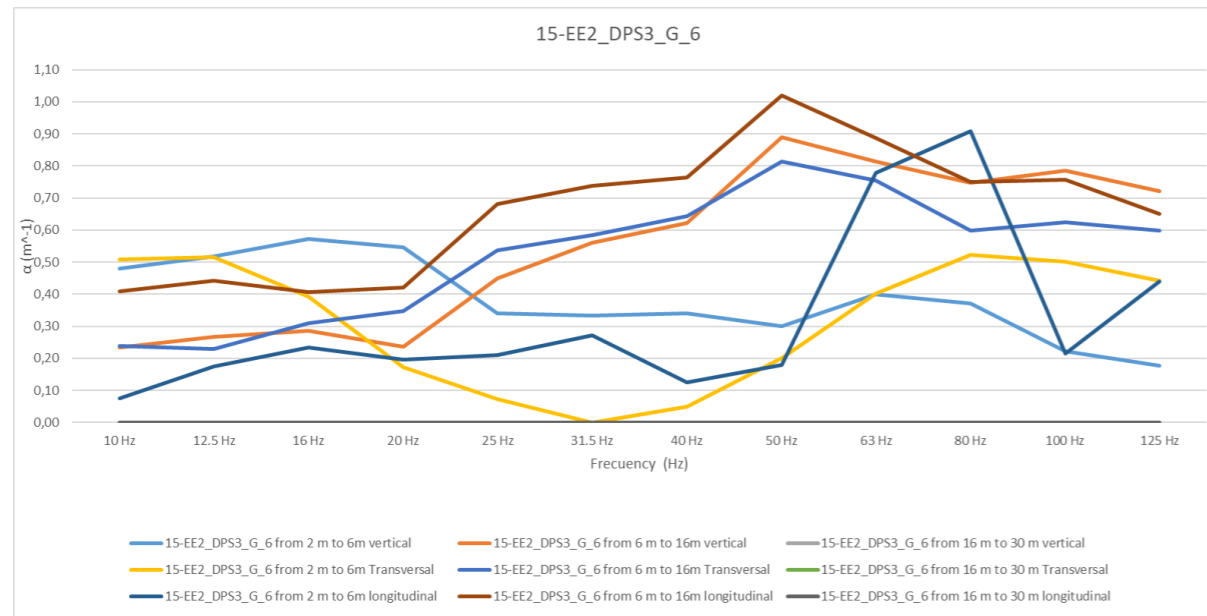


Figure 57. Values of the mean spectra in the longitudinal direction at 13-EE2\_DPS3\_G-5



Joonis 58. a teguri väärtused asukohas 15-EE2\_DPS3\_G-6

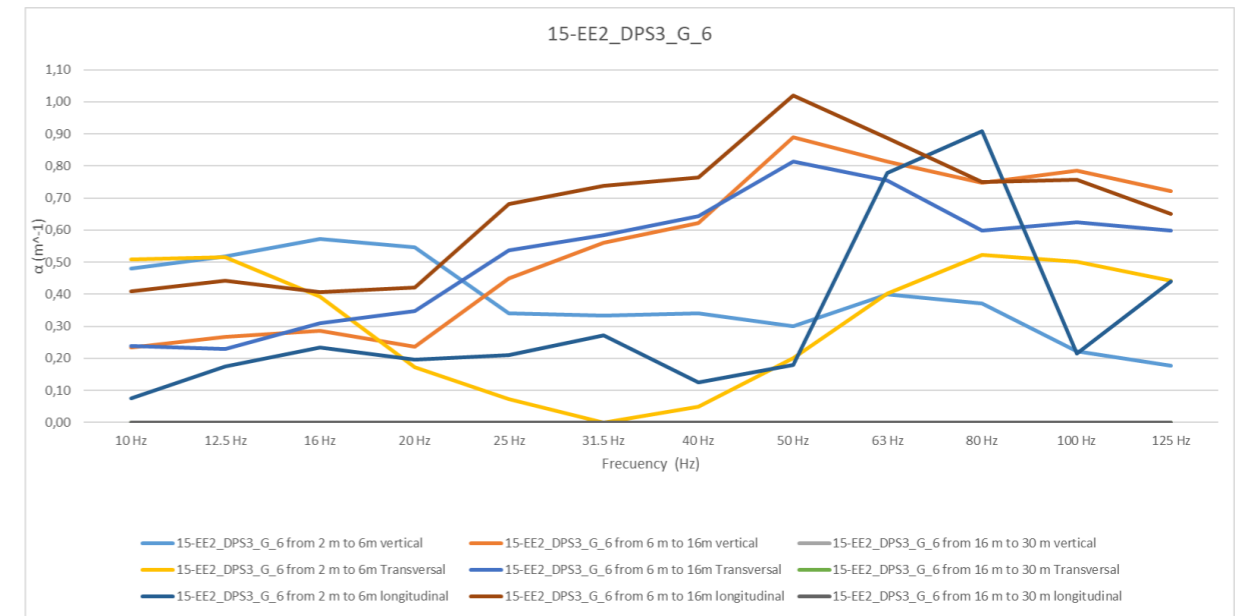
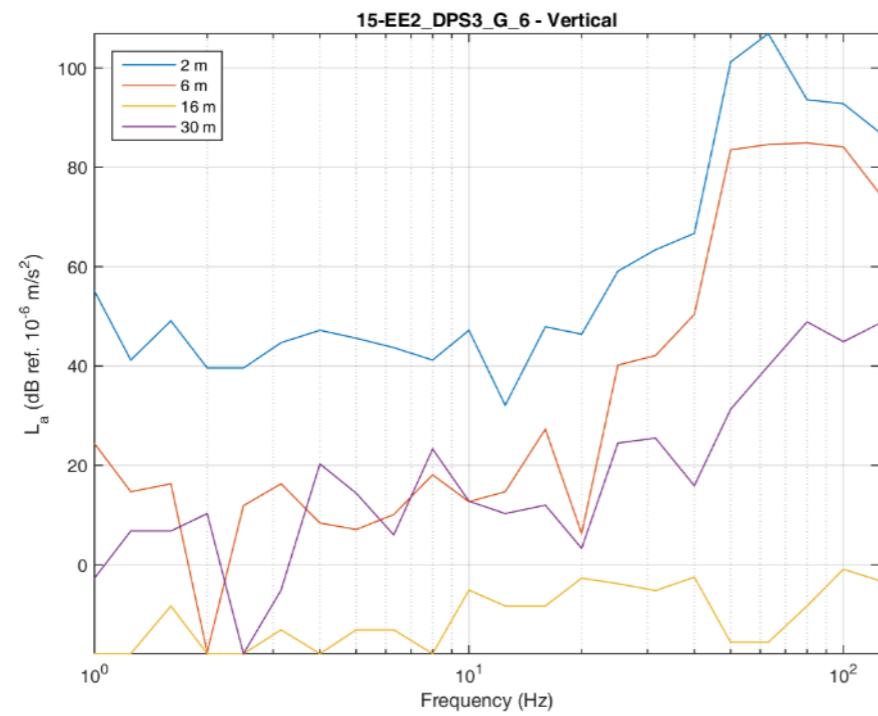


Figure 58. Values of the  $\alpha$  coefficient at location 15-EE2\_DPS3\_G-6



Joonis 59. Keskmiste spektrite väärtused vertikaalsuunas punktis 15-EE2\_DPS3\_G-6

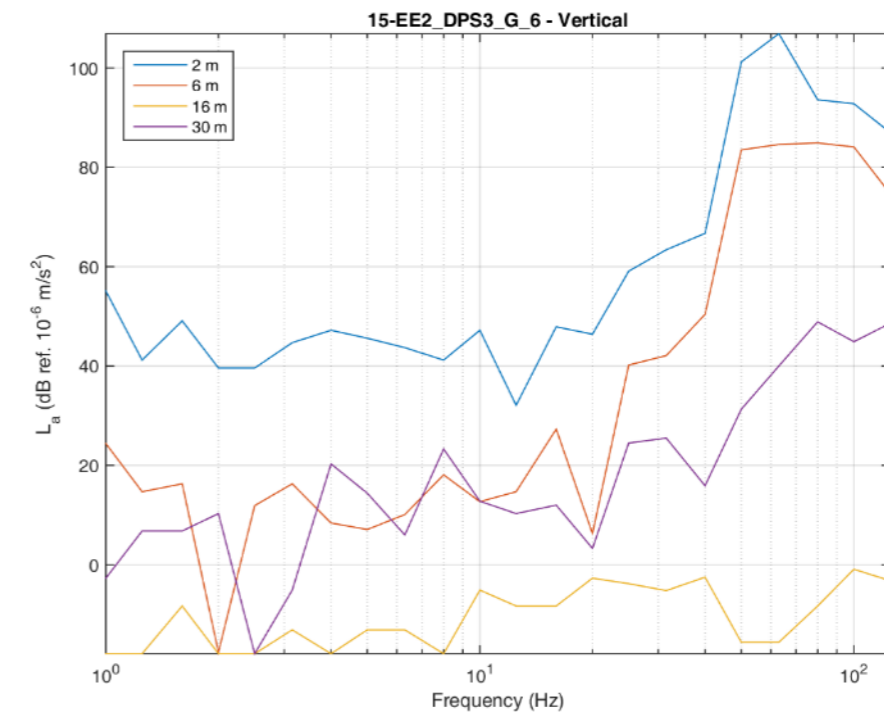
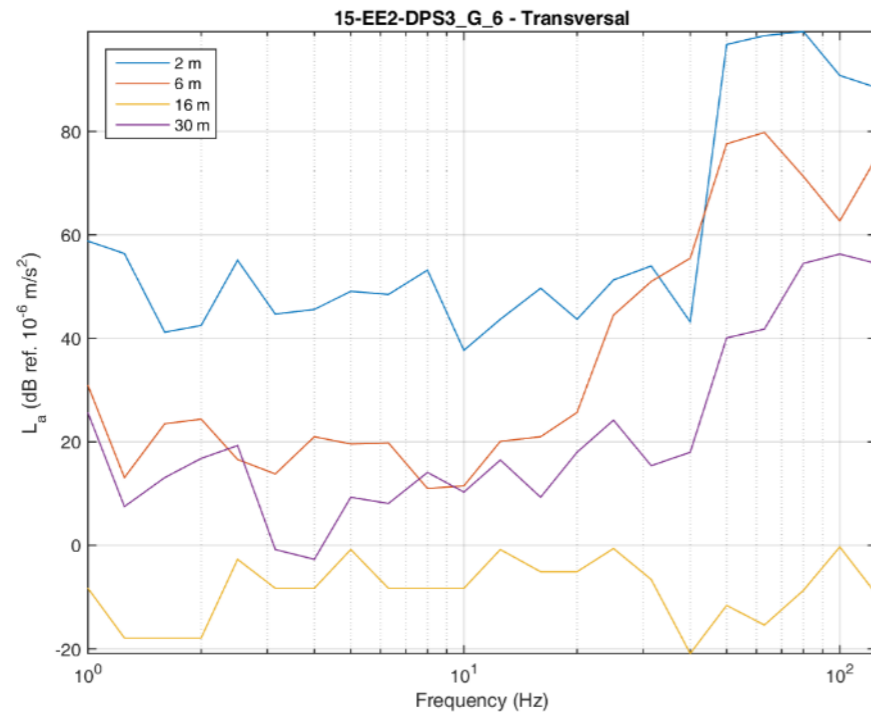


Figure 59. Values of the mean spectra in the vertical direction at 15-EE2\_DPS3\_G-6



Joonis 60. Keskmiste spektrite väärtused ristsuunas punktis 15-EE2\_DPS3\_G-6

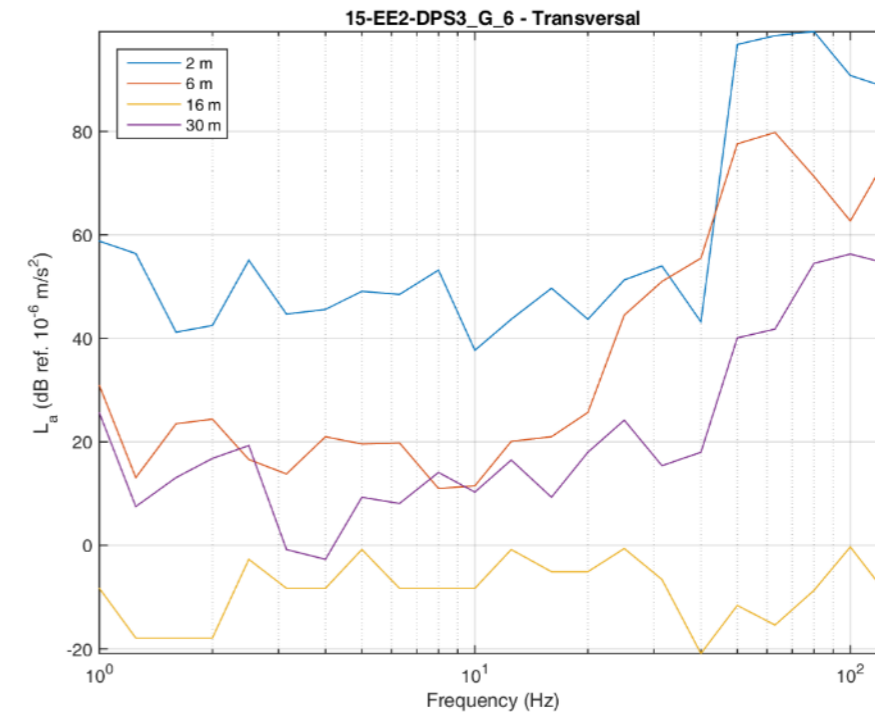
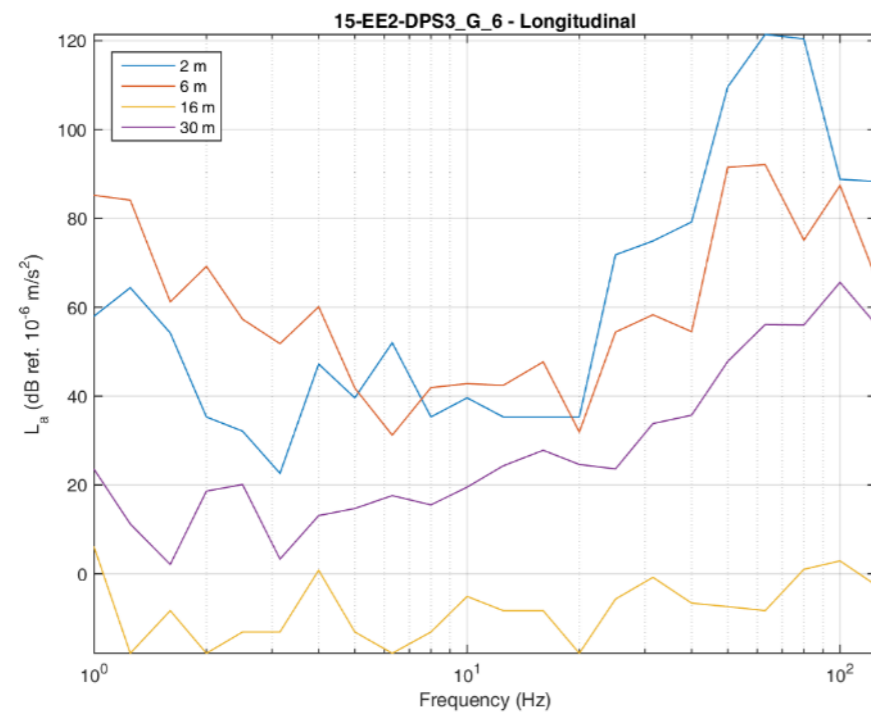


Figure 60. Values of the mean spectra in the transversal direction at 15-EE2\_DPS3\_G-6



Joonis 61. Keskmiste spektrite väärtused pikisuunas punktis 15-EE2\_DPS3\_G-6

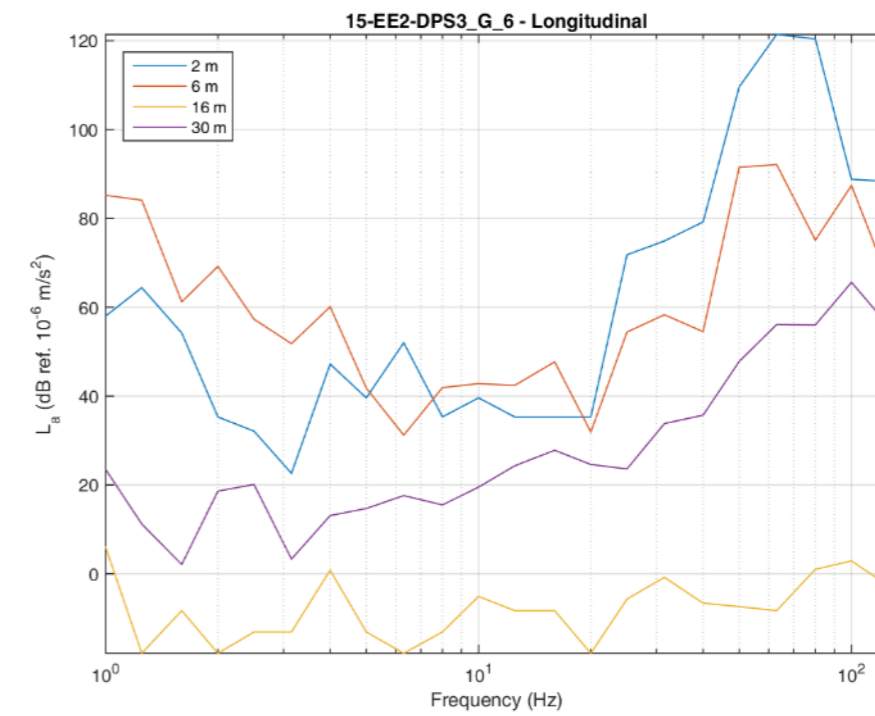
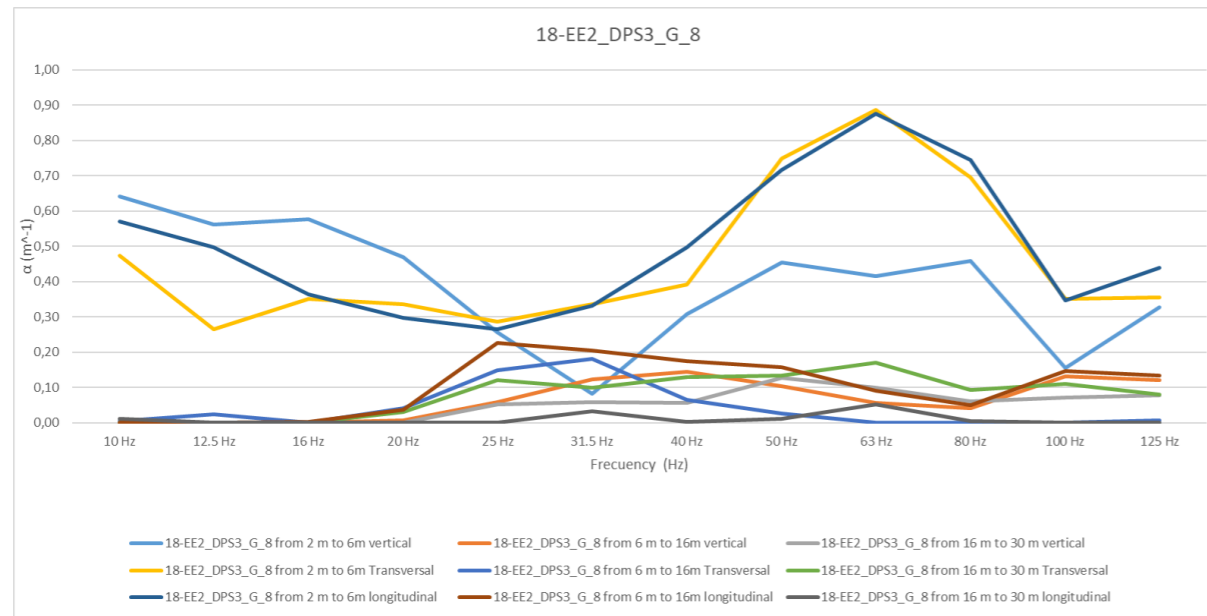


Figure 61. Values of the mean spectra in the longitudinal direction at 15-EE2\_DPS3\_G-6



Joonis 62.  $\alpha$  teguri väärtused asukohas 18-EE2\_DPS3\_G-8

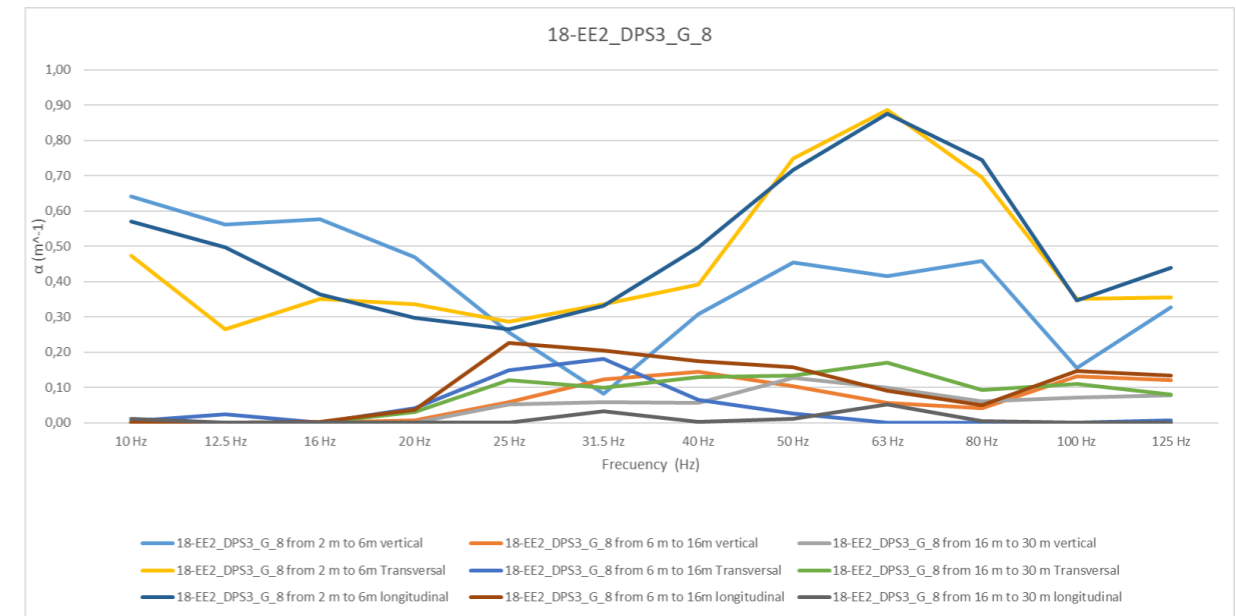
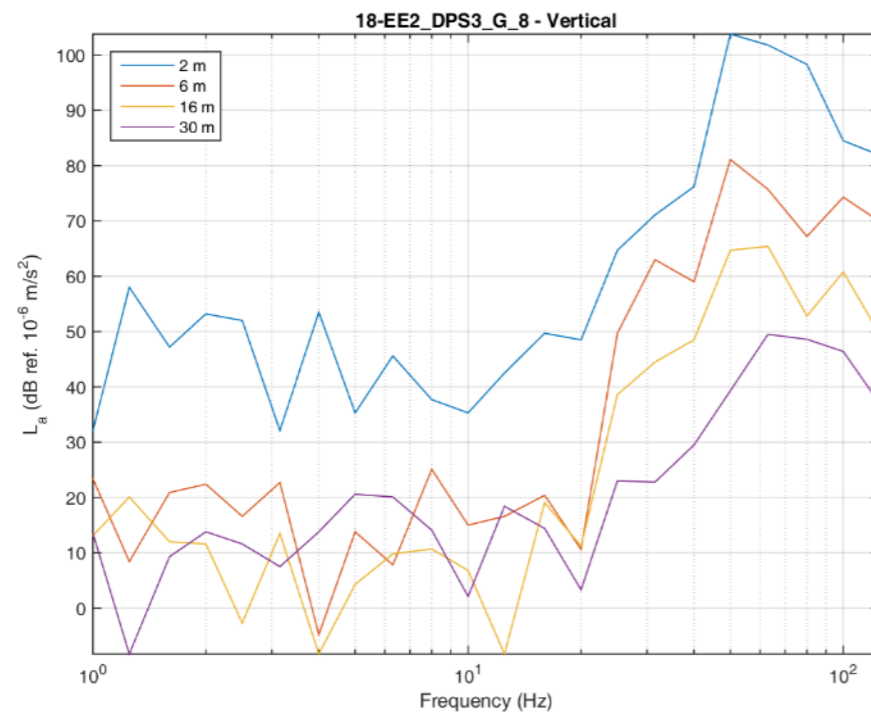


Figure 62. Values of the  $\alpha$  coefficient at location 18-EE2\_DPS3\_G-8



Joonis 63. Keskmiste spektrite väärtused vertikaalsuunas punktis 18-EE2\_DPS3\_G-8

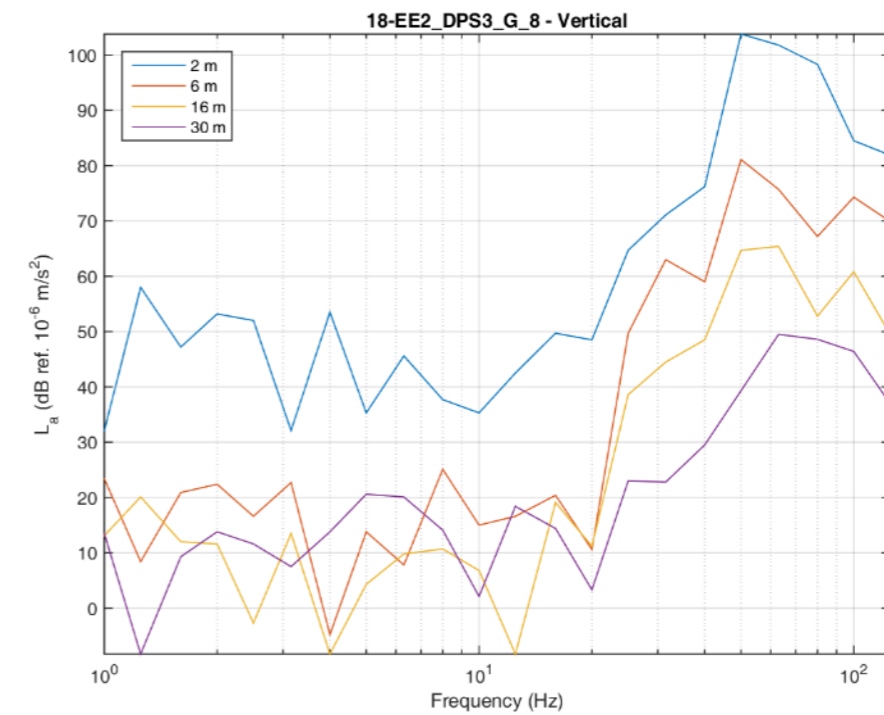
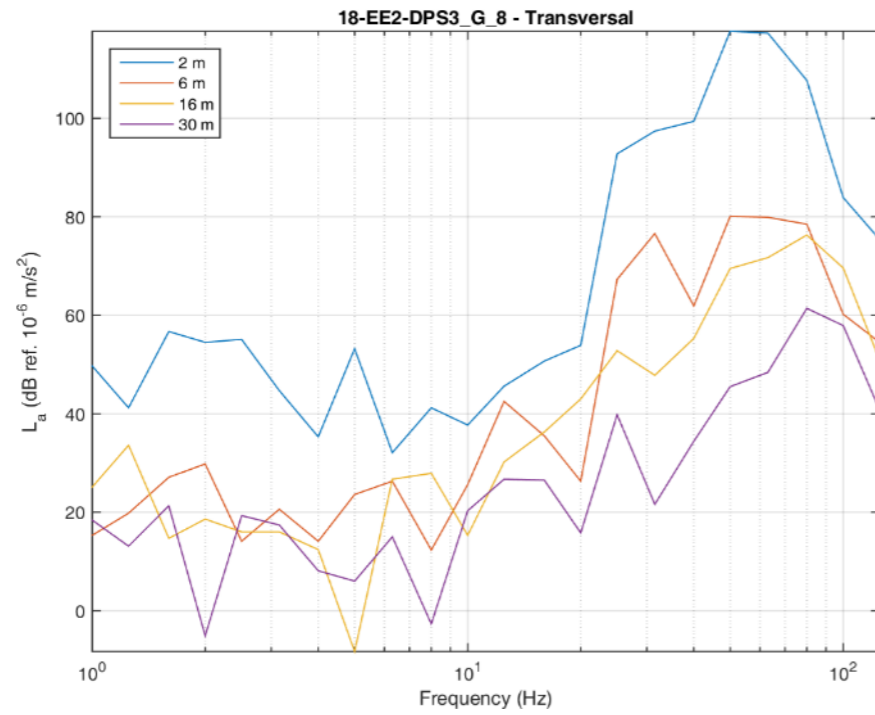


Figure 63. Values of the mean spectra in the vertical direction at 18-EE2\_DPS3\_G-8



Joonis 64. Keskmiste spektrite väärtused ristsuunas punktis 18-EE2\_DPS3\_G-8

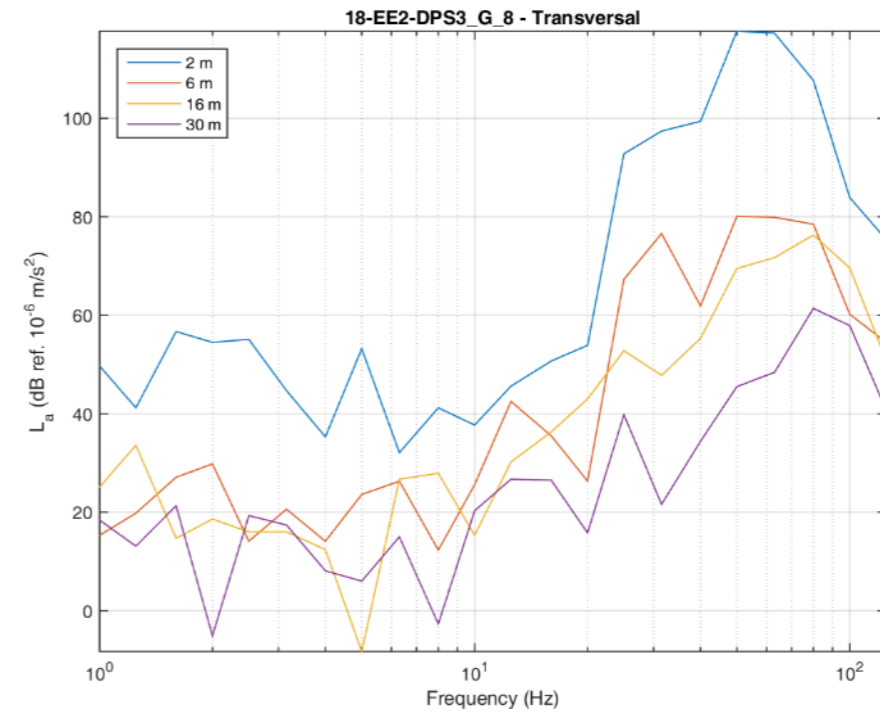
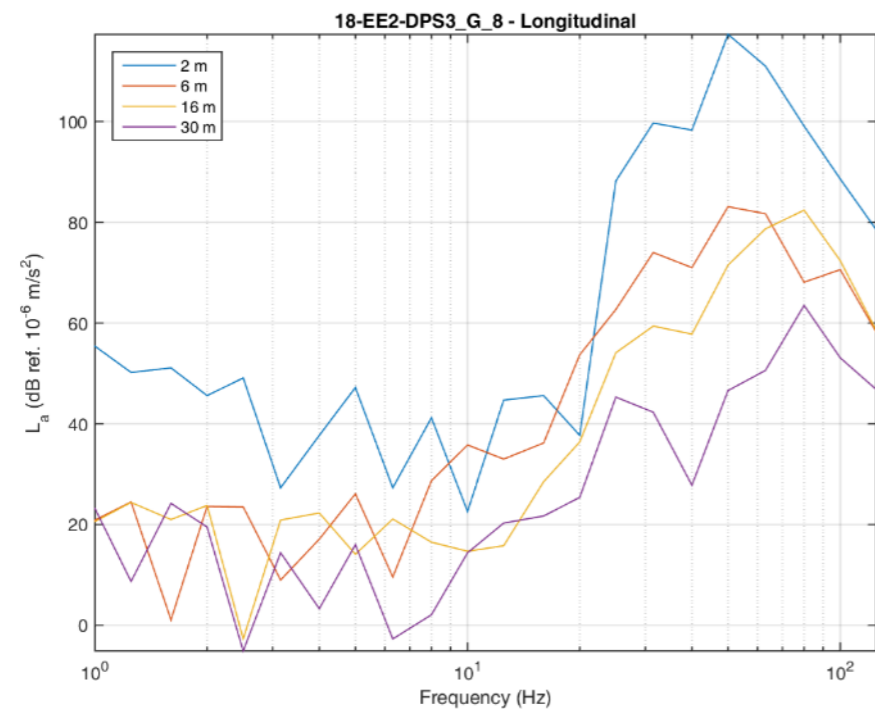


Figure 64. Values of the mean spectra in the transversal direction at 18-EE2\_DPS3\_G-8



Joonis 65. Keskmiste spektrite väärtused pikisuunas punktis 18-EE2\_DPS3\_G-8

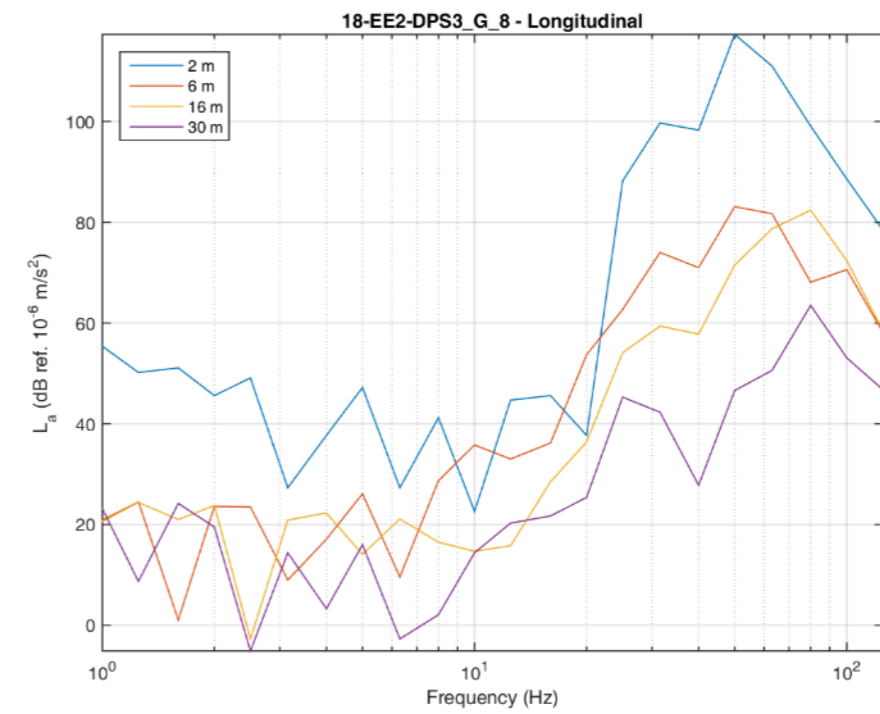


Figure 65. Values of the mean spectra in the longitudinal direction at 18-EE2\_DPS3\_G-8

### 3. OLEMASOLEVATE VIBRATSIOONITASEMETE MÕÕTMISED

#### 3.1 METOODIKA

Olemasolevate vibratsioonitasemete mõõtmiseks paigutatakse kolmeteljeline kiirendusmõõtur mõõdetava hoone lähedusse ja üheteljeline kiirendusmõõtur tee lähedusse. Need kiirendusmõõturid ühendatakse vibratsioonianalüsaatorseadmestiku 4 kanaliga (3 kanalit hoone läheduses asuva kolmeteljelise kiirendusmõõtuuri X-, Y- ja Z-teljega ning 1 kanal tee läheduses asuva kiirendusmõõtuuri X-teljega) ja kiirendustasemed registreeritakse kiirendusmõõturitega rongide möödumisest põhjustatud vibratsioonitasemete saamiseks (mõõdetakse vähemalt 5 rongi möödumist).

Vibratsioonianalüsaator arvutab ja arhiveerib kiirendusspektrid kolmandiku oktaavribade ulatuses vastavatel sagedustel kõigil kanalitel registreerimisajaga 20 millisekundit. Tehnik märgib ära ka andurite asendi rööbastee ja hoone suhtes, rongide möödumise ning mis tahes teguri, mis võib mõõtetulemust mõjutada.

Mõõtmiste ja andmete esitamise meetodika põhineb standardi ISO 2631-2 „Hinnang kogu keha vibratsiooni mõjust inimesele. Osa 2: Pidev ja löökidest põhjustatud vibratsioon hoonetes (1 Hz kuni 80 Hz)“ spetsifikatsioonidel.

Rakendatakse ka järgnevat ettevaatusabinõusid:

- Mõõteahela kalibreeritust tõendatakse mõõtmiste eel ja järel.
- Kiirendusmõõturid paigaldatakse horisontaalsetele toenditele.
- Kiirendusmõõturid paigutatakse nii, et side vibreeriva pinnaga oleks võimalikult jäik, tsüanoakrülaati, vaha ja/või polti kasutades.
- Kiirendusmõõtuuri ja sagedusanalüsaatori ühenduskaabli liikumine on alati välistatud. Sarnaselt seisab tehnik mõõtmiste ajal enam kui 2 meetri kaugusel tema kohaolust tingitud mõjude vältimiseks.
- Ilmastikutingimused on normaalsed, puuduvad märkimisväärsed atmosfäärinähtused (vihm, rahe jne.), mis võiksid mõõtmistulemust mõjutada, samuti puuduvad muud ajutised allikad, mis võiksid anda ekslikku teavet piirkonnas tavapäraselt esinevate tasemete kohta (tööd avalikel teedel, peale- ja mahalaadimistööd jne.).

#### 3.2 MÕÕTMISTE ANDMED JA ASUKOHAD

Mõõtmiskohtade andmeid ja asukohti on üksikasjalikult kirjeldatud järgmises tabelis ning joonistel

Mõõtmiskoht	Algusaeg	UTM tsoon	X UTM	Y UTM	Suund	Vasaralöögid	Temperatuur (°C)	Suhteline õhuniiskus (%)	Tuulekiirus (m/s)
12-EE2-DPS3_V_1	20.10.2020 15.55	35V	385352	6593953	385369	6593958	10,3	59	1,1
14-EE2-DPS3_V_2	21.10.2020 13.38	35V	382284	6590107	382259	6590122	10	58	0,7
17-EE2-DPS3_V_3	20.10.2020 17.44	35V	381928	6587862	381895	6587860	9,2	61	0,9

Tabel 18. Olemasoleva raudteeliini teave ja asukohad

Järgmises tabelis on välja toodud mõõtmispunktide lähedal olevate hoonete andmed:

PROJEKTI Nr. / PROJECT No. RBDTDEEDS2DPS3  
PÕHIPROJEKT / MASTER DESIGN

### 3. MEASUREMENTS OF CURRENT VIBRATION LEVELS

#### 3.1 METHODOLOGY

To measure the current levels of vibrations, a triaxial accelerometer is arranged in a position close to the building to be measured, and a monoaxial accelerometer close to the road. These accelerometers are connected to the 4 channels of the vibration analyzer equipment (3 channels for the X, Y and Z axes of the triaxial accelerometer near the building and 1 channel for the Z axis of the accelerometer near the train road) and the Acceleration levels perceived by the accelerometers, in order to obtain the vibration levels caused by the passage of trains (the passage of a minimum of 5 trains is measured).

The vibration analyzer calculates and archives acceleration spectra in one-third octave bands for the relevant frequencies of all channels with a recording period of 20 milliseconds. The technician also notes the position of the sensors relative to the track and the building, the passage of trains and any factor that could interfere with the result of the measurement.

The measurement and data representation methodology is based on the specifications of the ISO 2631-2 Standard, of 'Evaluation of human exposure to vibration in the whole body. Part 2: Continuous and impact-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz) '.

The following precautions are also considered:

- The calibration of the measuring chain is verified before and after the measurements.
- Accelerometers are mounted on horizontal brackets.
- The accelerometers are positioned so that the bond with the vibrating surface is as rigid as possible, with cyanoacrylate, wax and / or bolt.
- At all times, movement of the connection cable from the accelerometer to the frequency analyzer is prevented. Likewise, the technician stands more than 2 meters away during the measurement to avoid influences by his presence.
- The meteorological conditions are normal, without notable atmospheric phenomena (rain, hail, etc.) that could influence the results of the measurement, nor the existence of other temporary sources that could provide erroneous information on the levels usually existing in the area (works on public roads, loading and unloading operations, etc.).

#### 3.2 INFORMATION AND LOCATIONS OF THE MEASUREMENTS

The locations and information of the measurement locations are detailed in the following table and figures:

Measurement location	Beginning Time	UTM zone	X UTM	Y UTM	Direction	Hammer impacts	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Wind Speed (m/s)
12-EE2-DPS3_V_1	20/10/2020 15:55	35V	385352	6593953	385369	6593958	10,3	59	1,1
14-EE2-DPS3_V_2	21/10/2020 13:38	35V	382284	6590107	382259	6590122	10	58	0,7
17-EE2-DPS3_V_3	20/10/2020 17:44	35V	381928	6587862	381895	6587860	9,2	61	0,9

DOKUMENDI KOOD / DOCUMENT CODE	LEHEKÜLG / PAGE	LEHED / PAGES	REVISIOON / REVISION
RBDTD-EE-DS2-DPS3_IDO_ZZZZ-ZZ_ZZZZ_RP_RW-TR_MD_00007	70	77	001

Mõõtmiskoht	Üheteljeline kiirendusmõõtur (m)	Kolmeteljeline kiirendusmõõtur (m)
12-EE2-DPS3_V_1	12	28
14-EE2-DPS3_V_2	18	45
17-EE2-DPS3_V_3	1	31

*Tabel 19. iirendusmõõturite kaugused lähimast raudtee teljest*

*Table 18 Information and locations of the current railway line*

A table detailing the buildings close to the measurement points is also shown next:

Measurement location	Monaxial accelerometer (m)	Triaxial accelerometer (m)
12-EE2-DPS3_V_1	12	28
14-EE2-DPS3_V_2	18	45
17-EE2-DPS3_V_3	1	31

*Table 19 Distances of accelerometers to the nearest axis of the railway track*

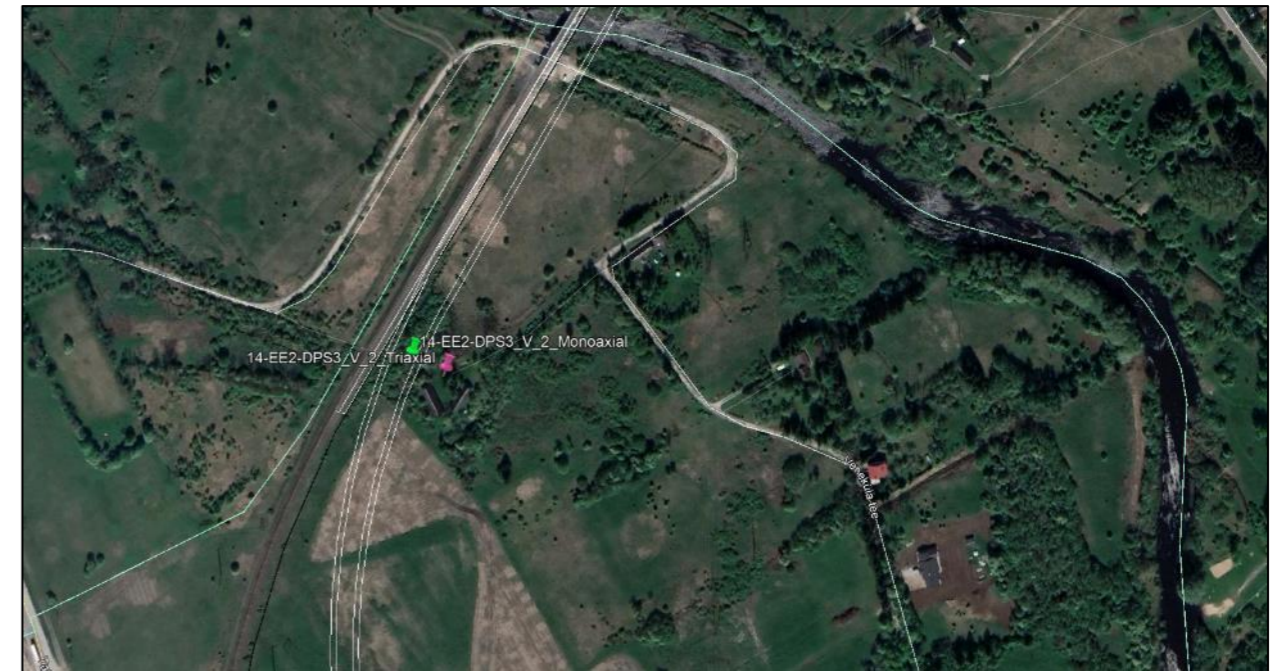
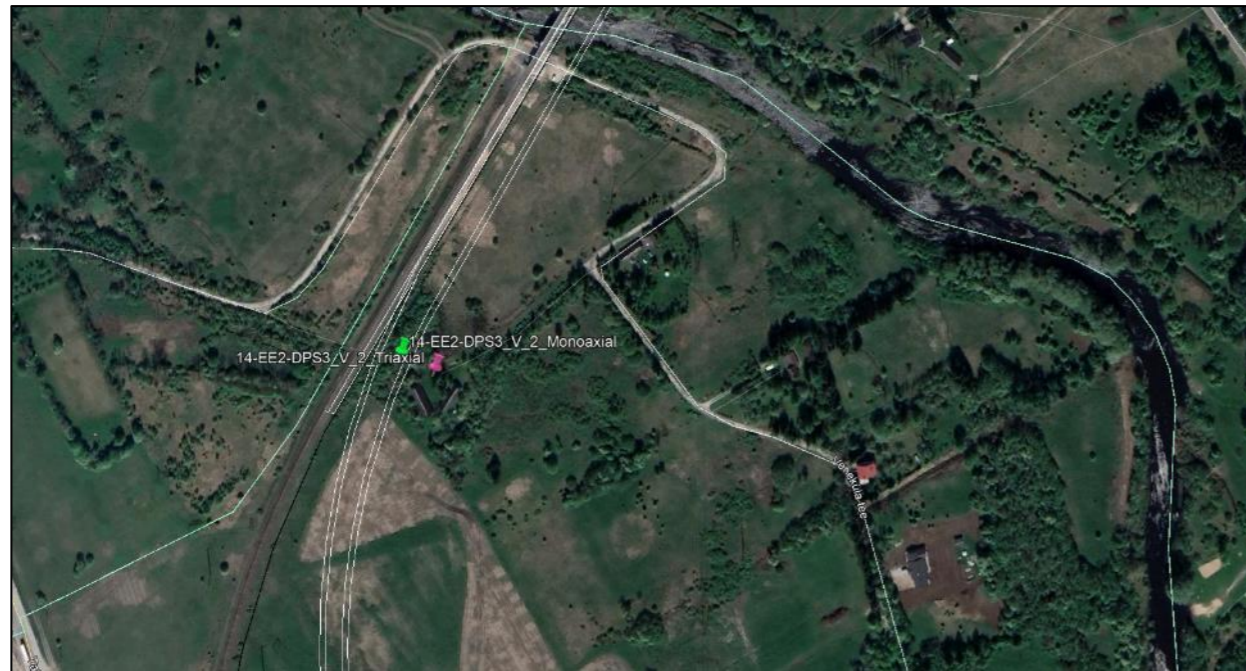


Joonis 66. Mõõtmise asukoht 12-EE2\_DPS3\_V\_1



Figure 66. Location of the measurement 12-EE2\_DPS3\_V\_1





Joonis 67. Mõõtmise asukoht 14-EE2\_DPS3\_V\_2



Figure 67. Location of the measurement 14-EE2\_DPS3\_V\_2





Joonis 68. Mõõtmise asukoht 14-EE2\_DPS3\_V\_2



Figure 68. Location of the measurement 17-EE2\_DPS3\_V\_3

### 3.3 TULEMUSED

Nende mõõtmiste tulemused 12-EE2\_DPS3\_v\_1 korral kujutavad endast maksimaalset Law parameetrit, mis on mõõdetud rongide möödumise osas erinevates mõõtepunktides. Need tulemused võetakse kokku järgnevas tabelis:

sündmus nr	Foto	Rongi tüüp	Law max üheteljeline	Hetkeline Law max üheteljeline	Law max kolmeteljeline	Hetkeline Law max
1		Kaubarong	88,0	16:01:28	80,0	16:01:28
2	Foto puudub	Kaubarong Tallinna suunas	88,3	16:15:00	78,3	16:15:02
3		Kaubarong Tallinna suunas	85,1	16:34:47	76,7	16:34:45

Tabel 20. 12-EE2\_DPS3\_v\_1 tulemused

Nende mõõtmiste tulemused 14-EE2\_DPS3\_v\_2 korral kujutavad endast maksimaalset Law parameetrit, mis on mõõdetud keskkonnavibratsiooni osas erinevates mõõtepunktides. Mõõtmise ajal ei sõitnud mööda ühtki rongitüüpi. Need tulemused võetakse kokku järgnevas tabelis:

sündmus nr	Law max üheteljeline	Hetkeline Law max üheteljeline	Law max kolmeteljeline	Hetkeline Law max
Keskkonnavibratsioon	64,6	13:38:47	52,4	13:41:26

Tabel 21. 14-EE2\_DPS3\_v\_2 tulemused

Nende mõõtmiste tulemused 17-EE2\_DPS3\_v\_3 korral kujutavad endast maksimaalset Law parameetrit, mis on keskkonnavibratsiooni osas erinevates mõõtepunktides. Mõõtmise ajal ei sõitnud mööda ühtki rongitüüpi. Need tulemused võetakse kokku järgnevas tabelis:

### 3.3 RESULTS

The results of these measurements for 12-EE2\_DPS3\_v\_1 is the maximum "Law" parameter measured for the passage of the trains at the different measurement points. These results are summarized in the following table:



nº event	Photo	Type of train	Law máx. monaxial	Instant Law máx. monoaxial	Law máx. Triaxial	Instant Law máx.
1		Freight train	88,0	16:01:28	80,0	16:01:28
2	No Photo	Freight train towards Tallin	88,3	16:15:00	78,3	16:15:02
3		Freight train towards Tallin	85,1	16:34:47	76,7	16:34:45

Table 20 Results for 12-EE2\_DPS3\_v\_1

The results of these measurements for 14-EE2\_DPS3\_v\_2 is the maximum "Law" parameter measured for environmental vibration at the different measurement points. During the measurement there was no passage of any type of train. These results are summarized in the following table:

nº event	Law máx. monaxial	Instant Law máx. monoaxial	Law máx. Triaxial	Instant Law máx.
Environmental vibration	64,6	13:38:47	52,4	13:41:26

Table 21 Results for 14-EE2\_DPS3\_v\_2

The results of these measurements for 17-EE2\_DPS3\_v\_3 is the maximum "Law" parameter measured for environmental vibration at the different measurement points. During the measurement there was no passage of any type of train. These results are summarized in the following table:

sündmus nr	Law max üheteljeline	Hetkeline Law max üheteljeline	Law max kolmeteljeline	Hetkeline Law max
Keskkonnavibratsioon	71,5	17:49:40	67,3	17:44:49

*Table 22. 17-EE2\_DPS3\_v\_3 tulemused*

n° event	Law máx. monaxial	Instant Law máx. monoaxial	Law máx. Triaxial	Instant Law máx.
Environmental vibration	71,5	17:49:40	67,3	17:44:49

*Table 22 Results for 17-EE2\_DPS3\_v\_3*

## 4. KOKKUVÕTE

Käesolevas lisas on kirjeldatud pinnasevibratsiooni katsete tulemusi uue raudteeliini projekteerimiseks marsruudil Tallinn-Rapla (projekt RBDTDEEDS2DPS3) kogu DPS3 lõigus.

Nende mõõtmiste tulemused võimaldavad iseloomustada pinnase vibratsiooniga seotud käitumist, et selle ülekandumist saaks arvestada pinnase kaudu edasi kanduva müra ja vibratsiooni taseme prognoosimisel projekti tööetapis.

## 4. CONCLUSION

This appendix has described the results of the vibration tests of ground characterisation for the design of the new railway line from Tallinn to Rapla (Project RBDTDEEDS2DPS3) for the whole DPS3.

The results of these measurements allow to characterise the vibratory behaviour of the grounds, so that their transmissibility can be considered in the prediction of the ground-borne noise and vibration levels in the operating phase of the project.

<sup>i</sup> Pastaba: Šiame tyrime pabrėžiama, kad nereikia imtis vibraciją mažinančių priemonių, kad būtų užtikrinta, jog jautriose šio DPS ruožo srityse nebūtų viršijamos didžiausios nacionaliniuose teisės aktuose leistinos vertės. Nepaisant to, po šios analizės atlikimo, 2020-12-04 paskelbtose projektavimo gairėse numatytas po pabėgiais įrengiamų amortizatorių (USP) naudojimas. Be kita ko, šie elementai veikia ir kaip vibracijos mažinimo priemonės. Taigi, dėl USP naudojimo, vibracijos lygis jautriose zonose gali būti dar mažesnis nei šiame tyrime pateiktos vertės.

Märkus: See uuring rõhutab, et puudub vajadus vibratsioonihälbendamise meetmete järel tagamaks, et käesoleva projekti prioriteetse lõigu tundlikes piirkondades ei ületata siseriiklikes õigusaktides sätestatud maksimaalseid lubatud väärtusi. Sellegipoolest nägi pärast selle analüüsi läbiviimist 4.12.2020. a välja antud projekteerimisjuhise RBDG-MAN-014B-0100 ette liiprialuste paigaldamise (USP) kasutamise. Need elemendid toimivad muuhulgas ka vibratsioonihälbendamise meetmetena. Seetõttu on USP rakendamise tõttu võimalik, et vibratsioonitasemed tundlikes piirkondades on isegi madalamad kui selles uuringus esitatud väärtused.

<sup>ii</sup> Pastaba: Šiame tyrime pabrėžiama, kad nereikia imtis vibraciją mažinančių priemonių, kad būtų užtikrinta, jog jautriose šio DPS ruožo srityse nebūtų viršijamos didžiausios nacionaliniuose teisės aktuose leistinos vertės. Nepaisant to, po šios analizės atlikimo, 2020-12-04 paskelbtose projektavimo gairėse numatytas po pabėgiais įrengiamų amortizatorių (USP) naudojimas. Be kita ko, šie elementai veikia ir kaip vibracijos mažinimo priemonės. Taigi, dėl USP naudojimo, vibracijos lygis jautriose zonose gali būti dar mažesnis nei šiame tyrime pateiktos vertės.

Remark: This study underscores that there is no need of vibration mitigation measures to guarantee that the maximum allowed values in the national legislation are not exceeded at the sensitive areas of this DPS. Nevertheless, after this analysis was carried out, the Design Guidelines RBDG-MAN-014B-0100, which were issued on 04/12/2020, presented the implementation of Under Sleeper Pads (USP). These elements, among other applications, act as vibration mitigation measures. Therefore, because of the implementation of the USP, it is possible that the vibrations levels at the sensitive areas are even lower than the values presented in this study.