Svārstību, ko radis jaunā Eiropas dzelzceļa būvniecības darbi, novērtēšana un vilcienu vibrāciju mērījumi Latvijā.

Sagatavojis: seismologs M.Sc. A. Pačėsa



Satura rādītājs

Ievads 3
1. Maksimāli pieļaujamās svārstības 4
1.1. Maksimāli pieļaujamās svārstības saskaņā ar Vācijas standartu DIN 4150 4
2. Ar Eiropas standarta dzelzceļa "Rail Baltica" būvniecības darbiem izraisītas zemes vibrācijas. 5
3. 2015. gadā ģipšakmens atradnē "Salaspils" veikto seismisko svārstību, ko izraisa hidrauliskā āmura darbs, mērījumu apraksts. 6
3.1. Iegūto svārstību datu analīze. 6
3.2. Mērījumu rezultātu apkopojums. 9
3.3. Ar hidraulisko āmuru radīto svārstību prognozēšana 10
4. Ar vilcieniem rādīto zemes vibrāciju mērījumi Latvijā. 14
4.1. Mērījumu apraksts 14
4.2. Aprīkojums, ko izmanto mērījumiem 19
4.3. Vibrāciju, ko izraisa vilcieni, mērījumu rezultāti. 20
4.4. Ar vilcieniem radīto vibrāciju prognozēšana. 24
5. Secinājumi 32
Atsauces 33

Ievads

Rail Baltica ir viens no Eiropas Savienības prioritātes projektiem: *Trans-European Transport Networks* (TEN-T). Projekts paredzēts lai savienotu Somiju, Baltijas valstis un Poliju, ka arī uzlabotu satiksmi starp centrālo un ziemeļu Eiropu un Vāciju. Tā paredz nepārtrauktu dzelzceļa līniju no Tallinas (Igaunija) līdz Varšavai (Polija), caur Rīgu (Latvija) un Kauņu (Lietuva).

Globāla Projekta "Rail Baltica" galvenais mērķis ir izbūvēt trūkstošo augstas kvalitātes fizisko infrastruktūru un dzelzceļa savienojumus pasažieru un kravu pārvadājumiem starp Somiju, Baltijas valstīm un citām ES valstīm. Pašlaik šie tīkli saskaras ar savietojamības problēmām, ko izraisa atšķirības dzelzceļa infrastruktūras standartos, galvenokārt dzelzceļa ceļa platumā - izolētā Baltijas valstu tīklā darbojas 1520 mm dzelzceļš, bet pārējā ES ir 1435 mm platuma dzelzceļa tīkls. Pašreizējā dzelzceļa infrastruktūra Baltijā atļauj labu dzelzceļa satiksmi starp Baltijas valstīm un bijušam padomju valstīm, tomēr vienlaikus tas rada šķēršļus pasažieru un kravu plūsmai ar Eiropas Savienību.

Viens no galvenajiem projekta "Rail Baltica" mērķiem - ir jaunā Eiropas standarta platuma (1435 mm) dzelzceļa būvniecība Latvijas teritorijā. Pirms tiks uzsākta jaunā dzelzceļa būvniecība, SIA "Estonian, Latvian & Lithuanian Environment" (ELLE) vēlas iegūt izvērtējumu par zemes vibrāciju līmeņiem no dzelzceļa būvniecības darbiem un jaunā dzelzceļa ekspluatācijas. Lai iegūtu novērtējumu, ELLE noformulēja šādus uzdevumus saskaņā ar ietekmes uz vidi novērtējuma programmu:

1. Sagatavot iespējamo vibrāciju avotu sarakstu jaunā dzelzceļa būvniecības laikam. Novērtēt dažādu avotu vibrāciju līmeņus jaunā dzelzceļa būvniecības laikā.
2. Veikt vibrāciju, ko rada šobrīd ekspluatācijā esošie "Krievijas" tipa vilcieni, mērījumus trīs dažādās vietās.
3. Veikt ar vilcienu radīto vibrāciju prognozēšanu četrās vietās: Salacgrīvā, radioaktīvo atkritumu glabātavas "Radons" apkārtnē, Mārupes dzelzceļa posmā un Iecavā.
4. Veikt ar vilcienu radīto vibrāciju novērtējumu Rīgas pilsētā.
5. Veikt ar vilcienu radīto vibrāciju novērtējumu gar jauno dzelzceļu visā Latvijas teritorijā.

UAB "Geobaltic" (Lietuva) tika izvēlēta kā darbuzņēmējs zemes vibrāciju, ko nākotnē var radīt jaunā dzelzceļa būvniecība un ekspluatācija, problēmu izmeklēšanai. Šo ziņojumu sagatavoja UAB "Geobaltic" un tas aptver visas ELLE sarakstā uzrādītus uzdevumus.

1. Maksimāli pieļaujamās svārstības

1.1. Maksimāli pieļaujamās svārstības saskaņā ar Vācijas standartu DIN 4150

Maksimāli pieļaujamās svārstības ir definētas standarta DIN 4150[1], 3. daļā (tabula Nr. 1.). Vairākumā gadījumos izmērītās svārstības jāsalīdzina ar tabulas Nr. 1. otro rindu, jo mūs interesē dzīvojamās mājas. Tomēr, ņemot vērā iespējamo radioaktīvo atkritumu glabātavas "Radons" bīstamību, konservatīva pieeja tika izvēlēta un objekts tika attiecināts pie tabulas Nr. 1. trešās rindas - objekti ar īpašo jutīgumu.

Tabula Nr. 1. Maksimāli atļautais svārstību ātrums dažādiem ēku veidiem atbilstoši standartam DIN 4150.

	Struktūras tips	*Maksimālais atļautais svārstību ātrums, mm/s*			
		Frekvence			*Visas frekvences*
		1-10 Hz	*10-50 Hz*	*50-100 Hz*	
1	Ēkas, ko izmanto komerciālos nolūkos, rūpniecības ēkas un līdzīgu konstrukciju ēkas	20	20-40	40-50	40
2	Dzīvojamās ēkas un izmantošanas vai konstrukcijas ziņā tām pielīdzināmas ēkas.	5	5-15	15-20	15
3	Ēkas, kas sakarā ar to īpašo jutīgumu pret svārstībām nav iedalāmas 1. un 2. kategorijā (piem., arhitektūras pieminekļi).	3	3-8	8-10	8

[1] DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen - ir Vācijas standarts, kas apraksta seismisko iedarbību uz objektiem. Standarta 3. daļu "Einwirkung auf bauliche Anlagen (DIN 4150, Teil 3)" pielieto seismisko svārstību vērtēšanai no dažāda tipa svārstību avotiem un dažāda tipa ēkām. Šo standartu ļoti plaši pielieto Eiropā.

2. Ar Eiropas standarta dzelzceļa "Rail Baltica" būvniecības darbiem izraisītas zemes vibrācijas.

Ir pieejami daži izmeklējumi, kur novērtē gaisa troksni, ko izsauc autoceļu un dzelzceļu būvniecības darbi (piem. Landsborough to Nambour Rail Corridor Study, Australia, 15 Noise and vibration; http://www.tmr.qld.gov.au/Projects/Name/L/Landsborough-to-Nambour-Rail-Corridor-Study.aspx). Tomēr šī atskaite aptver tikai līdzīgo būvniecības darbu zemes vibrācijas. Dzelzceļa būvniecības darbi iekļauj sevī plašo dažādu aktivitāšu, aprīkojuma, un mehānismu klāstu un skaitu izmantošanu. Amerikas savienoto valstu transportēšanas departaments sagatavoja regulējošo dokumentu "Transit noise and vibration impact assessment"; (http://www.fta.dot.gov/documents/FTA_Noise_and_Vibration_Manual.pdf FTA-VA-90-1003-06; May, 2006). Šajā dokumentā ir dota apkopota tabula ar dažādiem vibrāciju līmeņiem no dažādiem vibrācijas avotiem (tabula Nr. 2). Noradītie dati ir izteikti, ka PPV (Peak Particle Velocities, maksimālais daļiņu ātrums).

Tabula Nr. 2. Tipisko vibrāciju avotu līmeņi būvaprīkojumam (section 12.2.2; "Transit noise and vibration impact assessment" (FTA-VA-90-1003-06; May, 2006; http://www.fta.dot.gov/documents/FTA_Noise_and_Vibration_Manual.pdf).

Aprīkojums	PPV mm/s pie attāluma no avota 7.62 m,
Pāļu iedzīšana, tipiskā	16.3
Ekskavatora kausa kritiens	5.13
Vibrācijas veltnis	5.33
Hidrauliskais āmurs	2.26
Liels buldozers	2.26
Kesonu urbšana	2.26
Iekrauta kravas mašīna	1.93
Pneimatiskais āmurs	0.889
Hidrourbšana augsnē	0.203
Mazs buldozers	0.076

Kā redzams, vibrāciju līmenis no dažāda aprīkojuma, ko izmanto būvniecības darbu veikšanai, arī ir dažāds. Tomēr visintensīvākas vibrācijas rodas pie pāļu iedzīšanas. Nesen UAB "Geobaltic" veica vibrāciju, ko rada hidrauliskā āmura darbs, mērījumus "Salaspils" ģipšakmens atradnē. Vadoties no dokumenta "Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations" (Dong-Soo and Jin-Sun; 1999) fiziskie procesi un augsnes daļiņu kustības hidrauliskā āmura darbam un pāļu iedzīšanai ir ļoti līdzīgi. Tāpēc hidrauliskā āmura vibrāciju mērījumu rezultāti tiks izmantoti šajā atskaitē pāļu iedzīšanas vibrāciju modelēšanai Latvijā. Tālākās nodaļās hidrauliskā āmura vibrāciju mērījumi tiks aprakstīti sīkāk.

3. 2015. gadā ģipšakmens atradnē "Salaspils" veikto seismisko svārstību, ko izraisa hidrauliskā āmura darbs, mērījumu apraksts.

Saskaņā ar ģipšakmens atradnes "Salaspils" operatora SIA "Knauf" pieprasījumu UAB "Geobaltic" veica hidrauliskā āmura darbības radīto svārstību mērījumus (sk. attēlu Nr. 1 un 2). Mērījumi bija veikti 2015. gada 15. jūlijā. Svārstību, ko rada hidrauliskā āmura darbs, izplatības mērījumi bija veikti trīs dažādas vidēs: uz ģipšakmens slāņa virsmas, uz morēnas nogulumu, kas sedz atradnes augšējo ģipšakmens slāni un uz zemes virsmas, respektīvi, uz augsnes (sk. attēlu Nr. 3).

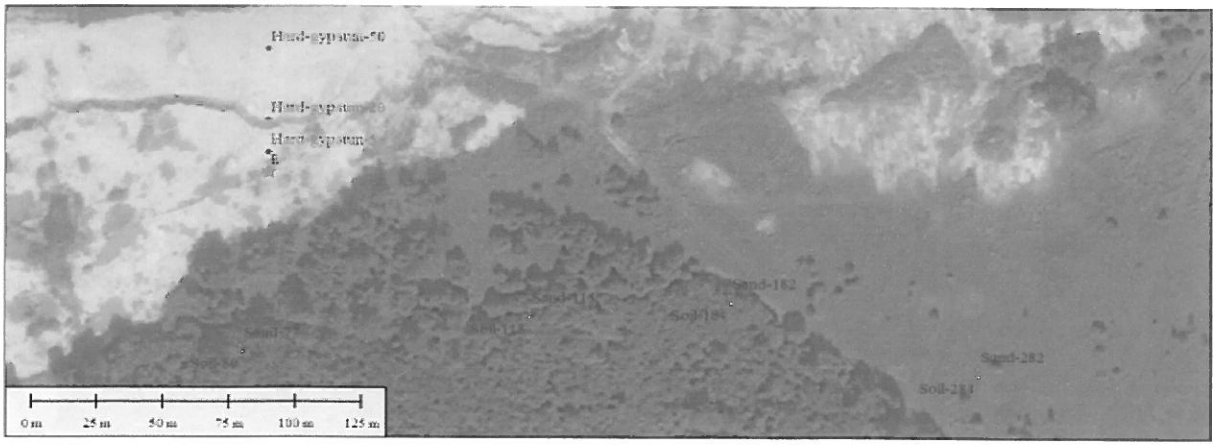
Divas portatīvo seismisko staciju SARA SL07 vienības tika izmantotas, lai veiktu hidrauliskā āmura darbības radīto svārstību mērījumus. Portatīvā seismiskā stacija SARA SL07 strādāja izraisīšanas režīmā. Tas nozīmē, ka seismometrs uzsāk seismogrammu ierakstīšanu laikā, kad seismiskie signāli pārsniedz noteiktu līmeni, salīdzinot ar fona troksni. Minimālais ieraksta ilgums bija uzstādīts uz 4 min., bet maksimālais 6 min. (attēls Nr. 4).

Mērījumu distanču diapazons trīs dažādas vidēs (uz ģipšakmens slāņa virsmas, uz morēnas nogulumu slāņa, kas sedz ģipšakmens slāni un uz zemes virsmas) bija ierobežots ar reālo situāciju "Salaspils" ģipšakmens atradnē. Svārstības uz ģipšakmens slāņa virsmas varēja tikt izmērītas tikai 5 - 50 metru diapazonā, svārstības uz morēnas nogulumu un augsnes slāņiem 80 - 280 metru diapazonā (attēls Nr. 1).

Portatīvo seismometeru SARA SL07 iegūto datu ticamības un precizitātes jautājumi ir aprakstīti zemāk, sadaļā "iekārtas, ko izmanto mērījumiem".

3.1. Iegūto svārstību datu analīze.

Vispirms tika pārbaudītas trīs komponentu seismogrammas katrai mērījumu veikšanas vietai (attēls Nr. 4). Pēc tam segmenti ar lielāko amplitūdu tika palielināti. Tika noskaidrots, ka hidrauliskais āmurs drupina ģipšakmens cieto slāni noteiktu laika periodu, parasti 5 - 15 sekundes (attēls Nr. 5). Šajā laika periodā hidrauliskais āmurs, cenšoties visā slāņa biezumā sašķelt (caurdurt) veselo ģipšakmens slāni ar biezumu 1.5-2 metri, rada lielākās amplitūdas svārstības. Pārējā laikā hidrauliskais āmurs, cenšoties sadrupināt sīkākos gabalos sašķeltos ģipšakmens slāņa blokus, rāda mazākas amplitūdas svārstības (attēls Nr. 5). Tikai seismogrammu segmenti ar lielāko amplitūdu tika izmantoti tālākai analīzei un amplitūdu mērījumiem. Pēc tam izvēlētie seismogrammu segmenti tika filtrēti ar 1-100 Hz filtru. Pēc filtrēšanas tika aprēķināts zemes virsmas kustības ātrums (PPV) un nolasītas trīs komponentu maksimālās amplitūdas. Pēc tam tika veikts maksimālo svārstību ātruma aprēķins, kombinējot visu trīs komponentu vērtības. Šāds svārstību ātruma aprēķins pārvērtē maksimālos svārstību ātrumus par katras komponentes maksimālo svārstību ātrumu dažādos laika momentos un nebija vienas vienīgas svārstības vērtība.



Attēls Nr. 1. Punktu, kur tika veikti ar hidraulisko āmuru rādīto svārstību mērījumi, izvietojums. Mērījumu vietas, kas izvietotas uz ģipšakmens slāņa, ir nosauktas "Hard-

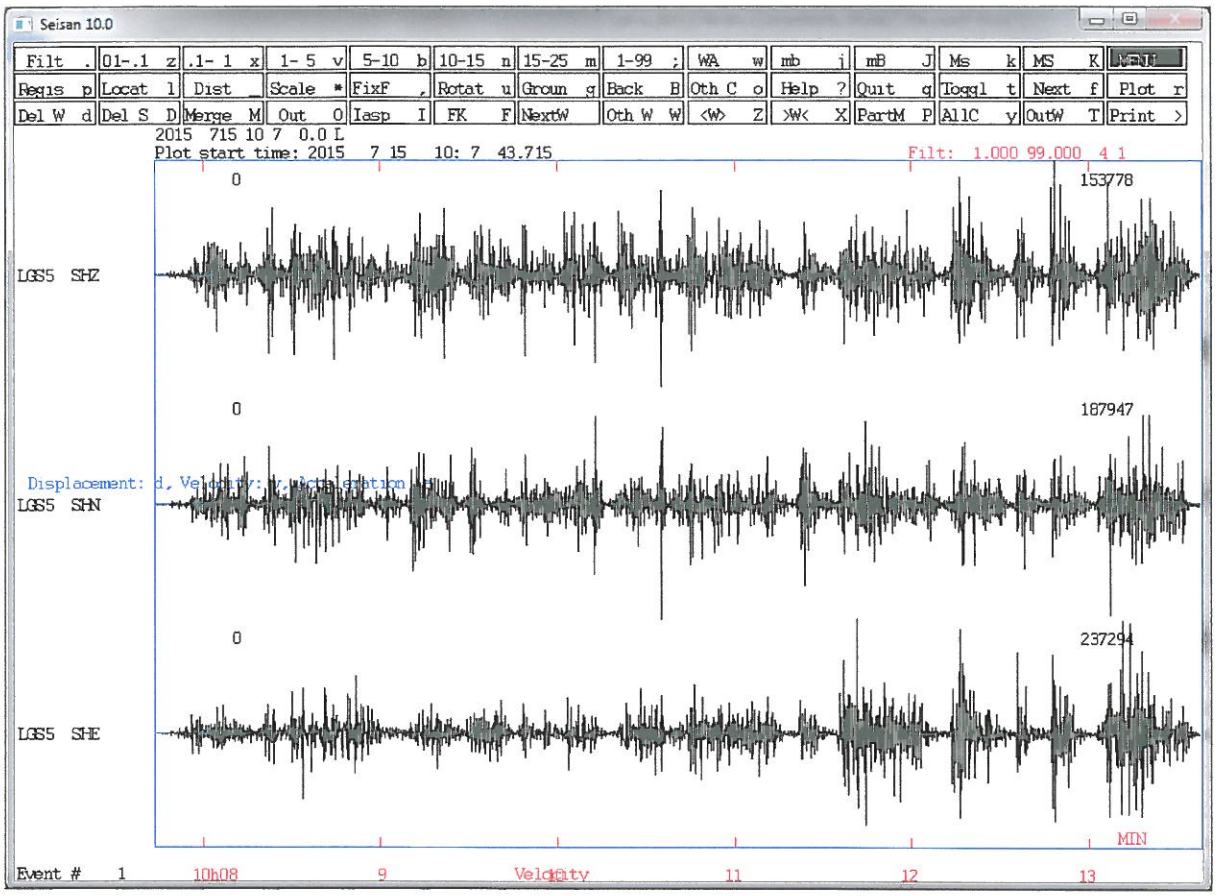
gypsum". Mērījumu vietas, kas izvietotas uz morēnas nogulumu slāņa, ir nosauktas "Sand". Mērījumu vietas, kas izvietotas uz augsnes, ir nosauktas "Soil". Skaitlis pie nosaukuma nozīmē attālumu (metros) no hidrauliskā āmura izvietošanas vietas. Ar sarkanu zvaigznīti apzīmēta hidrauliskā āmura atrašanās vieta.



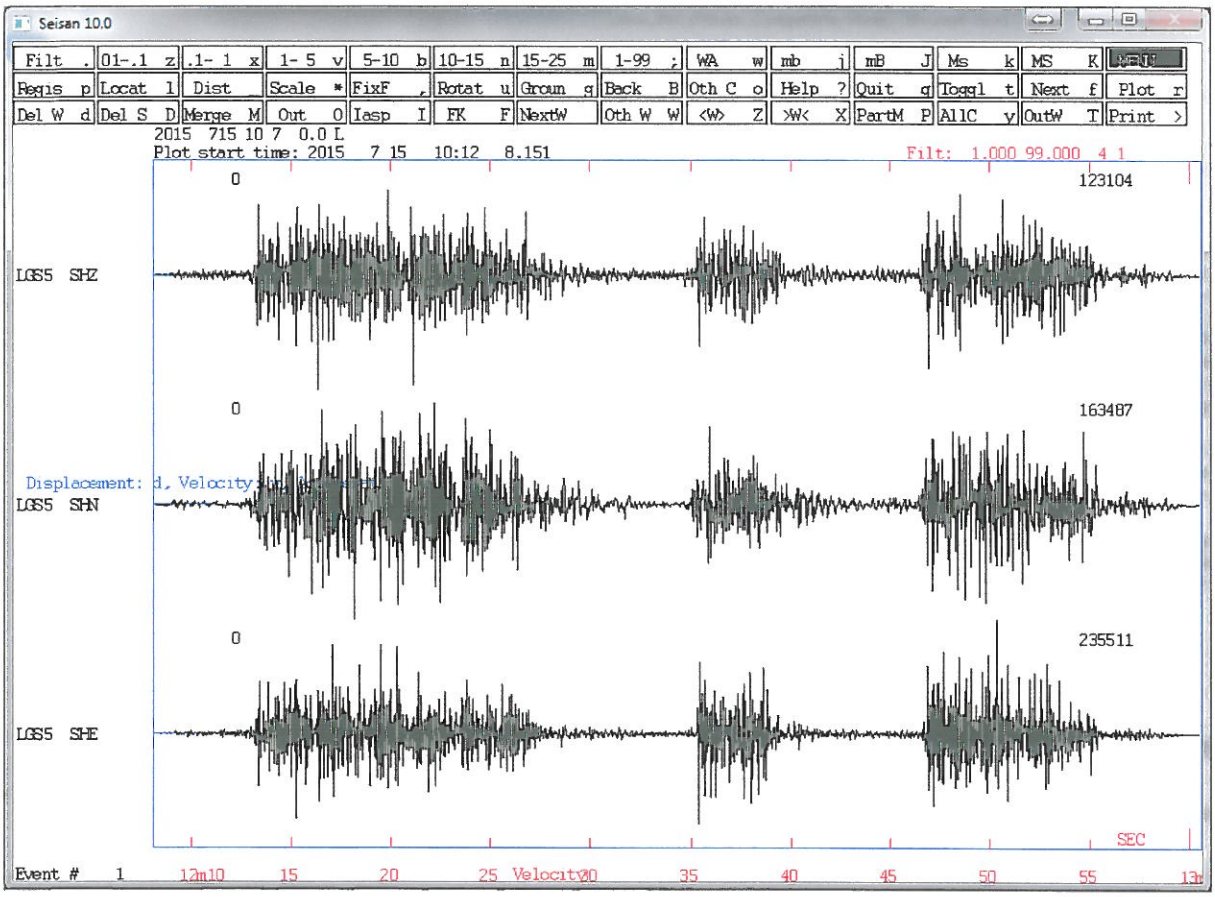
Attēls Nr. 2. Hidrauliskais āmurs atradnē "Salaspils".



Attēls Nr. 3. Morēnas nogulumu slānis, kas izvietots virs ģipšakmens slāņa, atradnē "Salaspils". Morēnas nogulumu slāņa biezums aptuveni 3 metri.



Attēls Nr. 4. Ierakstītas seismogrammas piemērs. Svārstības izmērītas uz ģipšakmens slāņa virsmas 50 metru attālumā no hidrauliskā āmura. Seismogrammas rāda zemes virsmas svārstību ātruma laika vēsturi. Katra mērījuma seismogramma ir uzrādīta ar trīs ortogonālajiem komponentiem: vertikālā (Z), ziemeļu-dienvidu (N) un austrumu-rietumu (E). Svārstību maksimālais ātrums ir attēlots seismogrammas labajā pusē, pie katras komponentes. Ātrumu mērvienības ir nanometri sekundē.



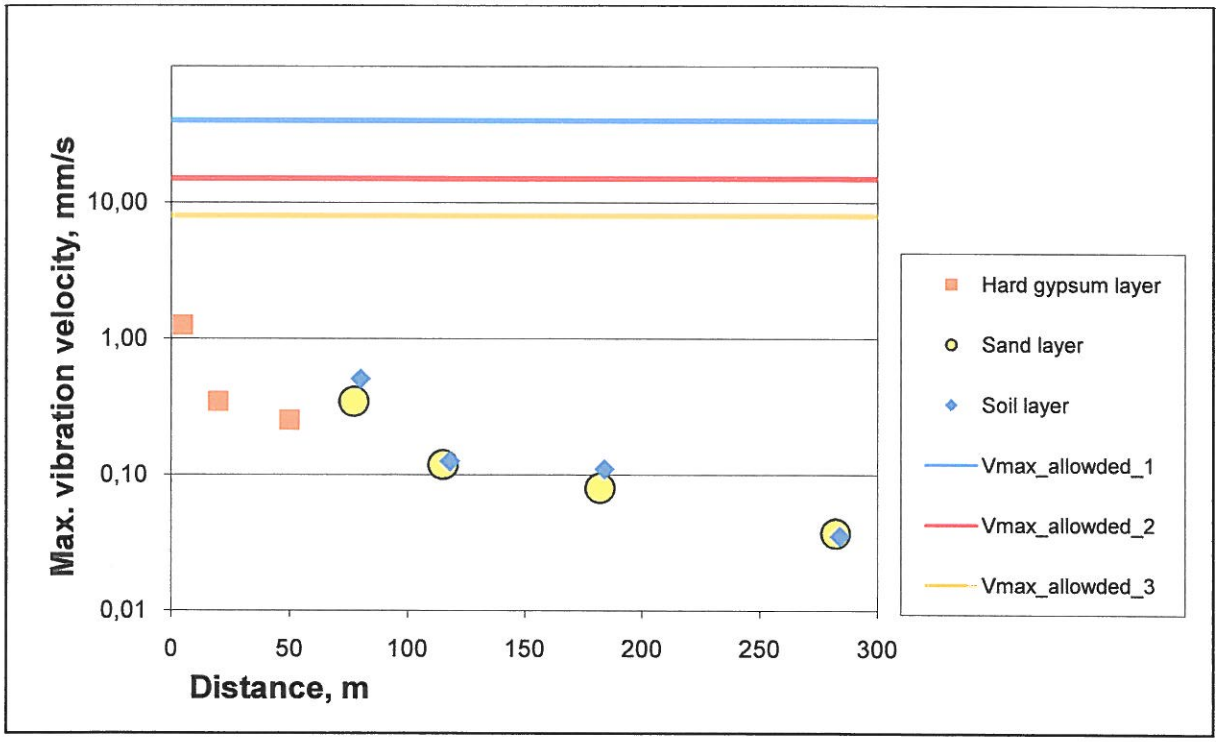
Attēls Nr. 5. Palielinātas seismogrammas piemērs. Svārstības izmērītas uz ģipšakmens slāņa virsmas 50 metru attālumā no hidrauliskā āmura. Seismogrammas rāda zemes virsmas svārstību ātruma laika vēsturi. Katra mērījuma seismogramma ir uzrādīta ar trīs ortogonālajiem komponentiem: vertikālā (Z), ziemeļu-dienvidu (N) un austrumu-rietumu (E). Svārstību maksimālais ātrums ir attēlots seismogrammas labajā pusē, pie katras komponentes. Ātrumu mērvienības ir nanometri sekundē.

3.2. Mērījumu rezultātu apkopojums.

Zemes virsmas svārstību ātrumu mērījumu rezultāti ir sniegti tabulā Nr. 3. Mērījumi uz ģipšakmens, morēnas nogulumu un augsnes slāņiem tika veikti dažādās distancēs, un tos nav iespējams salīdzināt tieši. Ir redzams, ka maksimālās svārstības uz ģipšakmens slāņa ir zemākas salīdzinājumā ar maksimālajām svārstībām uz morēnas nogulumu un augsnes slāņiem. Šo rezultātu ir iespējams izskaidrot ar svārstību pastiprināšanos irdenajos nogulumiežu slāņos salīdzinājumā ar cietajiem jeb klinšainajiem iežu slāņiem (ģipšakmens). Ir redzams arī tas, ka svārstības augsnes slānī ir mazliet lielākas salīdzinājumā ar svārstībām morēnas nogulumu slānī. To ir iespējams skaidrot ar lielāku svārstību pastiprināšanos augsnes slānī salīdzinājumā ar morēnas nogulumu slāni. Rezultāti rāda, ka visas svārstības ir ievērojami zemākas, salīdzinājumā ar maksimāli pieļaujamo svārstību ātrumu, kas noteikts standartā DIN 4150 (3. tabula un 6. attēls). Tuvākais mērījumu punkts (Hard-gypsum-5), kas bija izvietots tikai 5 metru attālumā no hidrauliskā āmura, rāda svārstību ātrumu 1.26 mm/s, kamēr atļautais svārstību līmenis saskaņā ar standartu DIN 4150 dzīvojamam un līdzīgām ēkām ir 15 mm/s.

Tabula Nr. 3. Maksimālo svārstību ātrumu, ko izraisa hidrauliskā āmura darbs, mērījumu rezultāti un rezultātu salīdzinājums ar standarta DIN 4150 datiem dzīvojamām un līdzīgām ēkām (3 daļa, 1. tabula, tabulas 2. rinda). Izmērītie zemes virsmas svārstību ātrumi ir filtrēti ar 1-100 Hz filtru.

Mērījumu punkts	Attālums līdz svārstību avotam, m	Laiks, ss.mm	Max. izmērītais vibrāciju ātrums, mm/s			Max. ātrums, mm/s	Max. pieļaujamais saskaņā ar DIN 4150, mm/s	Procents no max. atļautās, %
			Z	N	E			
Mērījumi uz ģipšakmens slāņa								
Hard-gypsum-5	5	12:25	0.457	0.593	1.018	1.264	**15**	**8.4**
Hard-gypsum-20	20	12:42	0.173	0.17	0.247	0.346	**15**	**2.3**
Hard-gypsum-50	50	13:07	0.118	0.139	0.175	0.253	**15**	**1.7**
Mērījumi uz morēnas nogulumu slāņa								
Sand-77	80	14:03	0.084	0.201	0.269	0.346	**15**	**2.3**
Sand-115	120	14:55	0.061	0.079	0.066	0.120	**15**	**0.8**
Sand-182	180	15:33	0.025	0.048	0.059	0.080	**15**	**0.5**
Sand-282	280	16:23	0.025	0.015	0.023	0.037	**15**	**0.2**
Mērījumi uz augsnes slāņa								
Soil-80	80	14:27	0.106	0.372	0.332	0.510	**15**	**3.4**
Soil-118	120	15:15	0.074	0.077	0.067	0.126	**15**	**0.8**
Soil-184	180	16:08	0.042	0.060	0.083	0.111	**15**	**0.7**
Soil-284	280	16:52	00:17	0.025	0.022	0.035	**15**	**0.2**



Attēls Nr. 6. Zemes svārstību, ko izraisa hidrauliskā āmura darbs, mērījumu rezultāti. Diagrammā attēlotas maksimālās svārstību vērtības (zemes virsmas kustības ātrums) pie atbilstošas distances trīs dažādās situācijās: uz ģipšakmens slāņa, uz morēnas nogulumu slāņa un uz augsnes slāņa. Zilā līnija norāda maksimālo atļauto ātrumu pēc tabulas Nr. 1. pirmās rindas (industriālās ēkas). Sarkanā līnija norāda maksimālo atļauto ātrumu pēc tabulas Nr. 1. otrās rindas (dzīvojamās ēkas un līdzīgas ēkas). Oranžā līnija norāda maksimālo atļauto ātrumu pēc tabulas Nr. 1. trešās rindas (jutīgas ēkas).

3.3. Ar hidraulisko āmuru radīto svārstību prognozēšana

Šī ziņojuma mērķis ir izpētīt svārstības, ko radis jaunā dzelzceļa celtniecības darbi - pāļu dzīšana (2. tabula) vai tai līdzvērtīga hidrauliska āmura darbība. Primārie interešu objekti ir dažādas konstrukcijas: rūpnieciskās būves, dzīvojamās ēkas un būves īpaši jutīgas pret

vibrāciju. Būvju pamatu svārstību līmenis ir viss svarīgākais un šis līmenis attiecināms pie ģipšakmens atradnes "Salaspils" morēnas nogulumu slāņa.

Tika veikts atsevišķu literatūras avotu pārskats saistībā ar hidrauliskā āmura darbības radītu svārstību modelēšanu. Nebija iespējams atrast nevienu dokumentu, kas būtu veltīts svārstību, kas rodas no hidrauliskā āmura darbības, modelēšanai. Tomēr viens literatūras avots ar nosaukumu "Propagation and attenuations characteristics of various ground vibrations" (Dong-SooandJin-Sun, 1999) tika atrasts. Dokumentā tiek pētītas dažādu avotu radītas svārstības. Citu svārstību avotu starpā tika pētītas arī pazemes spridzināšanas un pāļu iedzīšanu radītās svārstības. Skaidrs, ka fiziskie procesi pie pāļu iedzīšanas un pie hidrauliskā āmura darba kādā slānī ir ļoti līdzīgi. Tāpēc secinājumi, kas izdarīti par vibrācijas urbšanu, ir derīgi arī hidrauliskā āmura darbam. Iepriekš minētajā dokumentā "Propagation and attenuations characteristics of various ground vibrations" (Dong-SooandJin-Sun, 1999) ir secināts, ka gan spridzināšanu, gan pāļu iedzīšanu var modelēt kā punktveida viļņu ģenerēšanas avotu. Šis secinājums ir izmantojams par pamatu apgalvojumam, ka vibrācijas, kas radušās no pāļu iedzīšanas (un hidrauliskā āmura) var modelēt, izmantojot vienādojumus, kas paredzēti spridzināšanas darbiem. Tādēļ tika secināts, ka iepriekš izmantoto modeli "Geophysik GGD fur Sprengungen im Festgestein"(vienādojumi 1, 2 un 3), var izmantot svārstību, ko izraisa hidrauliskā āmura darbs, modelēšanai.

Modeļa "Geophysik GGD fur Sprengungen im Festgestein" vienādojumiem ir sekojoša forma:

$$V_T = 16 \cdot \frac{\sqrt{0.01 \cdot L}}{(0.01 \cdot r)^{1.4786 + 0.1314 \cdot \lg(0.01 \cdot r)}} \quad (1)$$

$$V_{Tmax} = k_1 \cdot V_T \cdot s_V \quad (2)$$

$$V_{Tmin} = k_1 \cdot \frac{V_T}{s_v} \quad (3)$$

Kur V_T – teorētiskais (paredzamais) svārstību ātrums PPV vienībās, V_{Tmax} – teorētiskā svārstību ātruma augšējā robeža PPV vienībās, V_{Tmin} - teorētiskā svārstību ātruma apakšēja robeža PPV vienībās, L – lādiņa masa, kg, r – attālums starp sprādziena un mērījuma punktiem metros, k_l – apkārtējās vides apstākļu koeficients, k_l = 1 pie vidēji smagiem apstākļiem, s_v – drošības robeža.

Vadoties no SIA "Knauf" sniegtās informācijas, ģipšakmens atradnē "Salaspils" tiek izmantots hidrauliskais āmurs Atlas Copco HB7000. No āmura tehniskās specifikācijas noskaidrots, ka viena hidrauliskā āmura sitiena enerģijas ekvivalents ir 12 750 Nm[=J]. Vadoties nosprāgstošās vielas tehniskajiem datiem noskaidrots, ka sprāgstošās vielas Senatel Powerfrag sprādziena enerģija ir $3 \cdot 10^6$J/kg [=Nm]. Veicot aprēķinu, noteikts, ka viena hidrauliskā āmura sitiena enerģija atbilst sekojošam sprāgstvielas daudzumam:

$$L = \frac{12750\ [J]}{3 \cdot 10^6\ [J/kg]} = 0{,}00425\ kg$$

Līdz ar to lādiņa masa L tika pieņemta par vienādu ar 0.00425 kg.

Turklāt tika noteikts, ka lai iegūtu labu saskaņošanu ar izmērītajiem datiem, konstantei k_l jābūt vienādai ar 2.3 un konstantei s_k jābūt vienādai ar 1.9 (attēls Nr. 7).

Saskaņā ar tabulas Nr. 2 datiem PPV pie pāļu iedzīšanas, 7.6 m attālumā no vibrāciju avota, sastāda 16.3 mm/s. Reālie svārstību, ko rada hidrauliskā āmura darbs līdzīgā attālumā, mērījumi un to teorētiskā ekstrapolācija (attēls Nr. 7) rāda, ka hidrauliskais āmurs līdzīgā attālumā (7.6 m) no svārstību avota rada PPV, kas vienāds ar 14.1 mm/s. Tabulā Nr. 2 noradītā PPV vērtība (16.3 mm/s) un izmērītā un ekstrapolēta PPV vērtība (14.1 mm/s) labi saskaņojas, bet starpība starp tiem it tikai 14%, ko var attiecināt pie mērījumu neprecizitātēm. Tātad var apgalvot, ka ar izmērītām hidrauliskā āmura svārstībām un to teorētisko

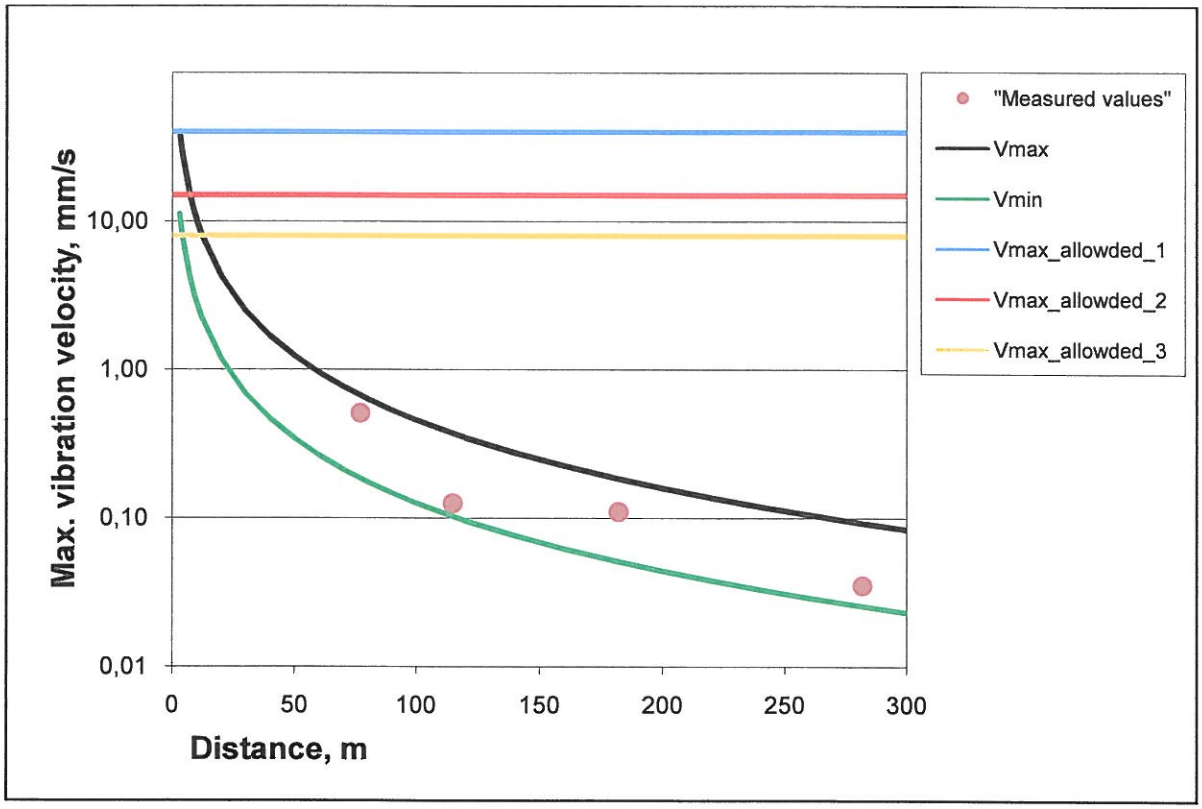
interpolāciju un ekstrapolāciju var aprakstīt vairāku avotu vibrācijas pie jaunā dzelzceļa būvniecības.

Minimālie attālumi no būvniecības svārstību avota vietas, līdz vietām, kur maksimālās svārstības sasniedz maksimāli atļautās vērtības industriāliem objektiem (40 mm/s, Tabula Nr. 1, 1 rinda), dzīvojamām un līdzīgām ēkām (15 mm/s, tabula Nr. 1, 2 rinda) un īpaši jutīgām ēkām (8 mm/s, tabula Nr. 1, 3 rinda) ir doti tabulā Nr. 4. Aptuvenais attālums no cita specifiskā aprīkojuma, ko pielieto būvniecības darbos, līdz vietām, kur maksimālās svārstības sasniedz maksimāli atļautās vērtības industriāliem objektiem (40 mm/s, Tabula Nr. 1, 1 rinda), dzīvojamām un līdzīgām ēkām (15 mm/s, tabula Nr. 1, 2 rinda) un īpaši jutīgām ēkām (8 mm/s, tabula Nr. 1, 3 rinda) arī ir doti tabulā Nr. 4.

Redzams, ka vibrācijas, ko izraisa liels buldozers vai pneimatiskais āmurs, ir samērā mazas.

Tabula Nr. 4. Attālumi no dzelzceļa būvaprīkojuma līdz vietām, kur maksimālais svārstību ātrums kļūst vienāds ar maksimālo atļauto limitu atbilstoši standartam DIN 4150.

	Minimālais attālums no:			
	pāļu iedzīšanas vietas	**Vibrācijas veltņa**	**lielā buldozera**	**pneimatiskā āmura**
Rinda 1 **(industriālās ēkas, 40 mm/s)**	**3.0 m**	~0.9 m	~0.4 m	~0.2 m
Rinda 2 **(dzīvojamās un līdzīgas ēkas, 15 mm/s)**	**6.8 m**	~2.1 m	~0.9 m	~0.4 m
Rinda 3 **(jutīgas ēkas un objekti (pasūtījumā nosauktie objekti), 8 mm/s)**	**12.0 m**	~3.8 m	~1.6 m	~0.7 m



Attēls Nr. 7. PPV prognozētas vērtības. V_{Tmax} (melnā līnija) un V_{Tmin} (zaļā līnija) prognozētās vērtības salīdzinājumā ar attālumu no hidrauliskā āmura darba vietas. Prognozēšanai izmantotas jaunās konstantu vērtības - $k_1 = 2.3$ un $s_v = 1.9$. Brūnie aplīši norāda uz svārstību ātrumiem, kas izmērīti uz morēnas nogulumu slāņa. Zilā līnija norāda maksimālo atļauto ātrumu pēc tabulas Nr. 1. pirmās rindas (industriālās ēkas). Sarkanā līnija norāda

maksimālo atļauto ātrumu pēc tabulas Nr. 1. otrās rindas (dzīvojamās ēkas un līdzīgas ēkas). Oranžā līnija norāda maksimālo atļauto ātrumu pēc tabulas Nr. 1. trešās rindas (jutīgas ēkas).

4. Ar vilcieniem rādīto zemes vibrāciju mērījumi Latvijā.

4.1. Mērījumu apraksts

Ar vilcieniem rādīto zemes vibrāciju mērījumi tika veikti, lai novērtētu zemes vibrācijas Latvijā.

Zemes vibrāciju mērījumus veica 2015. gada 06. septembrī trīs dažādās vietās - viena vieta Salaspilī un divās Rīgas pilsētā (attēls Nr. 8). Trīs pārnesamie seismometeri SARA SL-06 ar pievienotiem trīs komponentu seismiskiem sensoriem SARA SS20 tika uzstādītas katrā mērījumu vietā. Seismometeri tika uzstadīti 10, 20 un 80 m attālumā no sliežu ceļa centrālās līnijas (attēli Nr. 9, 10 un 11; tabula Nr. 5.). Katrā uzstādīšanas vietā seismometeri tika uzstādīti uz betona flīzes, lai iegūtu labāku saiti ar augsni un novērstu seismometra iegremdēšanu augsnē (attēls Nr. 12). Katra seismometra "X" ass tika novietots perpendikulāri dzelzceļa sliežu ceļa centrālai līnijai, bet "Y" ass bija novietota paralēli dzelzceļa sliedēm.

Trīs dažāda veida vilcieni tika ierakstīti mērījumu vietās: pasažieru dīzeļvilciens Salaspilī, pasažieru elektrovilciens Sarkandaugavā un kravas dīzeļvilciens Torņakalnā (tabula Nr. 5; attēli Nr. 13, 14 un 15.). Bija nepieciešams izvērtēt katra vilciena ātrumu, jo publikāciju avoti ziņoja, ka ar vilcieniem radīto zemes vibrāciju intensitāte ir ievērojami atkarīga no vilciena ātruma. Tāpēc katrs vilciens tika filmēts. Vēlāk tika novērtēts katra vilciena braukšanas laika ilgums, tika saskaitīts lokomotīvju un vagonu skaits. Dažāda tipa lokomotīvju un vagonu garums bija atrasts internetā. No iegūtiem datiem ir iespējams aprēķināt katra vilciena aptuveno ātrumu (tabula Nr. 5).



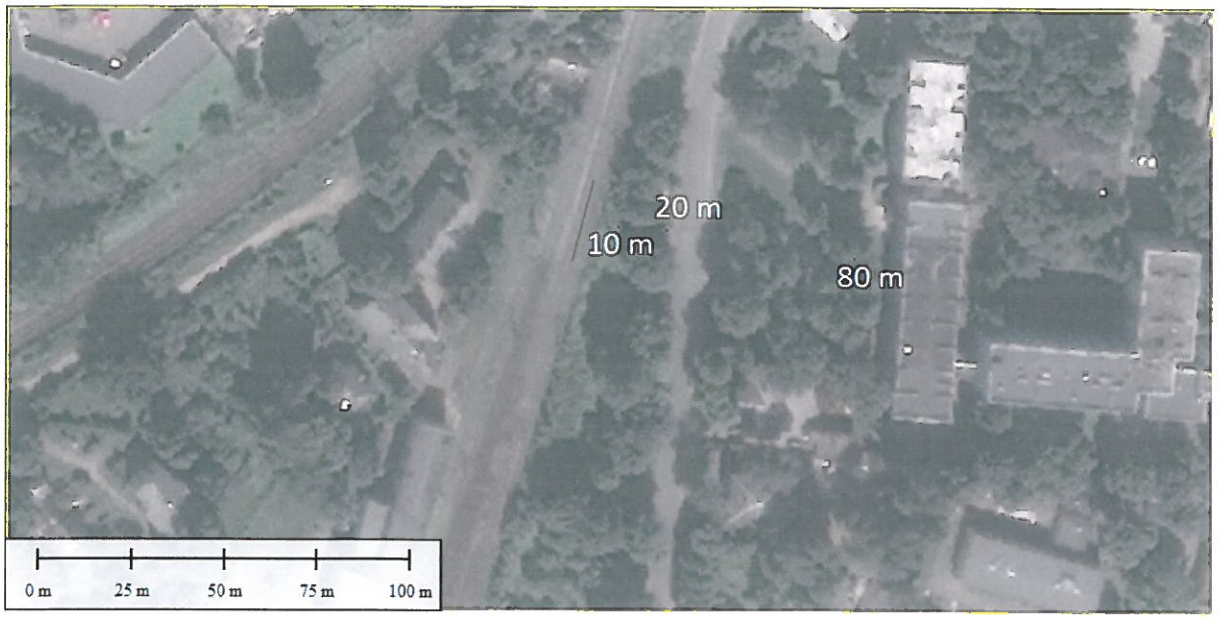
Attēls Nr. 8. Ar vilcieniem izraisīto vibrāciju mērījumu vietas. T1 - Salaspils, T2 - Sarkandaugava un T3 - Torņakalns. Sarkanā līkne - šobrīd esošais "krievu" standarta dzelzceļš, zaļa līkne - plānotais dzelzceļš ar Eiropas standarta platumu.



Attēls Nr. 9. Mērījumu veikšanas vieta Salaspilī (T1). Līnija norāda dzelzceļa centrālo līniju. Mazie aplīši ar skaitļiem - seismometru uzstādīšanas vietas ar attālumu līdz dzelzceļam.



Attēls Nr. 10. Mērījumu veikšanas vieta Sarkandaugava (T2). Līnija norāda dzelzceļa centrālo līniju. Mazie aplīši ar skaitļiem - seismometru uzstādīšanas vietas ar attālumu līdz dzelzceļam.



Attēls Nr. 11. Mērījumu veikšanas vieta Torņakalnā (T3). Līnija norāda dzelzceļa centrālo līniju. Mazie aplīši ar skaitļiem - seismometru uzstādīšanas vietas ar attālumu līdz dzelzceļam.

Tabula Nr. 5. Attālums no specifiskā aprīkojuma, ko izmanto dzelzceļa būvniecības darbos, līdz vietām, kur vibrāciju PPV kļūst vienāds ar maksimāli atļauto vērtību saskaņā ar standartu DIN 4150.

Vieta	Mērījumu aprīkojums	Vilciena tips	Vagonu skaits	Vilciena garums, m	Ātrums, km/h	PPV, mm/s (dažādam asīm)			PPV, mm/s kombinēta
						Z	Y	X	
Salaspils (T1)		**dīzelis pasažieru**	6	~150	~54				
10 m	LGS06					0.978	1.450	1.107	2.070
20 m	LGS07					0.552	0.907	1.504	1.841
80 m	LGS08					0.014	0.054	0.058	0.080
Sarkandaugava (T2)		**elektriskais pasažieru**	4	~92	~83				
10 m	LGS06					4.591	1.390	1.361	4.986
20 m	LGS07					1.722	1.996	2.909	3.926
80 m	LGS08					0.747	0.523	0.793	1.208
Tornakalns (T3)		**dīzelis kravu**	50	~660	~51				
10 m	LGS06					2.320	2.789	2.788	4.575
20 m	LGS08					1.354	1.042	1.170	2.071
80 m	LGS07					0.277	0.471	0.597	0.809



A (10 m)



B (20 m)



C (80m)

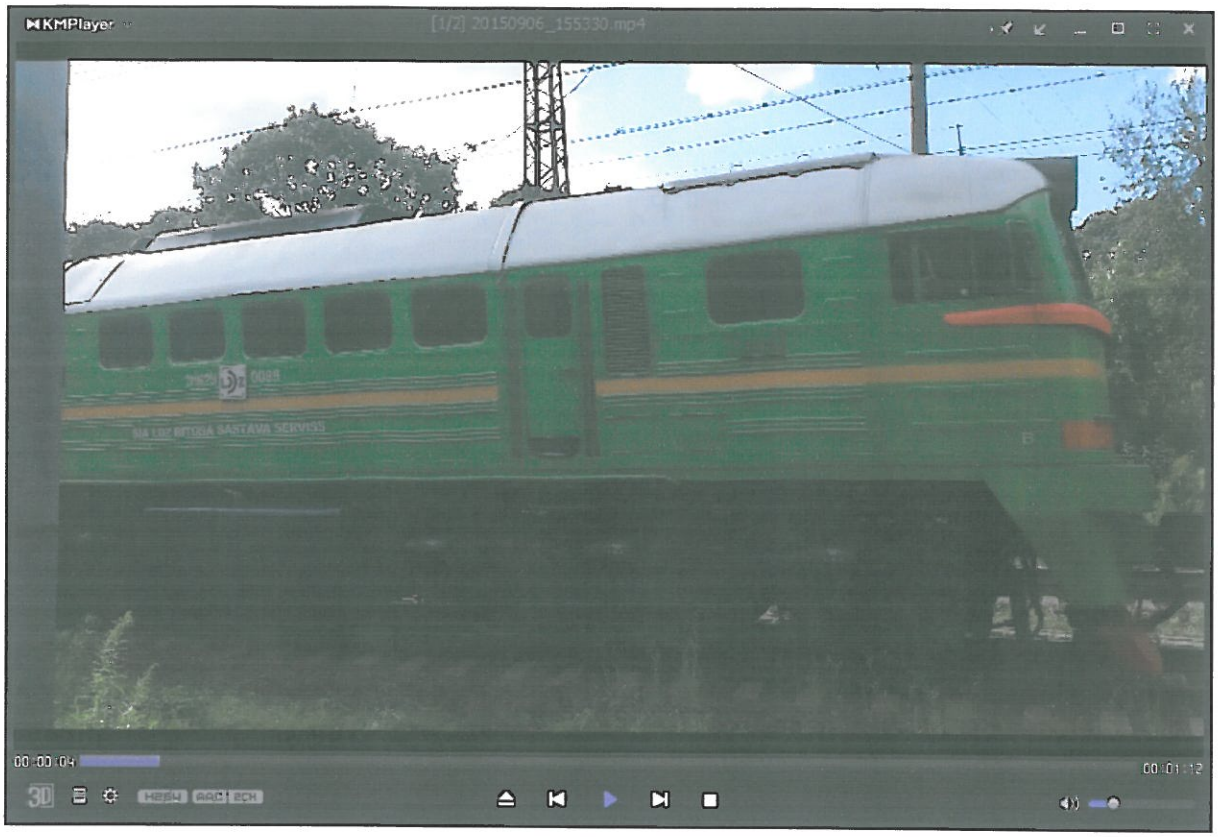
Attēls Nr. 12. Seismometru izvietojums Salaspilī. Seismometri bija uzstādīti uz betona flīzēm. Uz attēla A parādīta seismometra, kas bija izvietots 10 m attālumā no dzelzceļa, uzstādīšanas vieta, uz attēla B – uzstādīšanas vieta 20 m attālumā no dzelzceļa un uz attēla C – uzstādīšanas vieta 80 m attālumā no dzelzceļa.



Attēls Nr. 13. Bilde no uzņemta pasažieru dīzeļvilciena video Salaspilī.



Attēls Nr. 14. Bilde no uzņemta pasažieru elektrovilciena video Sarkandaugavā.



Attēls Nr. 15. Bilde no uzņemta kravu dīzeļvilciena video Torņakalnā.

4.2. Aprīkojums, ko izmanto mērījumiem

Trīs portatīvo seismisko staciju SARA SL07 vienības (http://www.sara.pg.it/documenti/sl07_datasheet_eng.pdf) ar pievienotiem trīs komponentu seismiskiem sensoriem SARA SS20 (http://www.sara.pg.it/documents/commercial/SS45_SS20_DATASHEET_ENG.pdf) tika izmantotas, lai veiktu vibrāciju mērījumus mērījumu punktos. Portatīvā seismiskā stacija SL06 sastāv no 24 bitu digitāla pārveidotāja, vadīšanas moduļa un atmiņas ierakstīto seismogrammu uzglabāšanai. Trīs komponentu seismiskiem sensoriem ir trīs integrētie 2 Hz ģeofoni. Seismogrammas ar svārstību vēsturi ieraksta GSE formāta failos. Ierakstītie faili ir apstrādāti, izmantojot SEISAN 10.1 programmatūras komplektu (http://www.uib.no/rg/geodyn/artikler/2010/02/software).

Trīs dažādu seismiskās ierakstīšanas sistēmu testēšana bija veikta 2015. gada augustā Lietuvas ģeoloģiskā dienestā. Pirmā bija portatīva seismiskā stacija SL07 no SARA ar trīs integrētiem 4.5 Hz ģeofoniem. Otrā mērīšanas iekārta bija portatīva seismiskā stacija SL06 ar pievienoto trīs komponentu seismiskiem sensoriem SS20. Trešo ierakstīšanas sistēmu veidoja akselerometrs CMG-5T (http://www.guralp.com/documents/MAN-050-0001.pdf) un datu iegūšanas modulis Platinum CMG-DAS-06 (http://www.guralp.com/documents/MAN-EAM-0003.pdf) no Guralp. Visas trīs iekārtas tika izmantoti, lai novērotu tehnogēna rakstura seismiskus notikumus un fona troksni. Dati, ko reģistrē SARA SL07 un SARA SL06 ierīce, tika apstrādāti ar SEISAN 10.1 programmatūru, kamēr ar ierīci CMG-DAS-06 Platinum Guralp reģistrētie dati tika apstrādāti ar programmatūru SCREAM! 4.5 (http://www.guralp.com/documents/MAN-SWA-0001.pdf), ko ražo Guralp uzņēmums. Mērījumu rezultāti no trīs dažādām ierīcēm kļūdu robežās sakrīt. Visas iekārtas reģistrē iežu svārstības pietiekami ticami un precīzi.

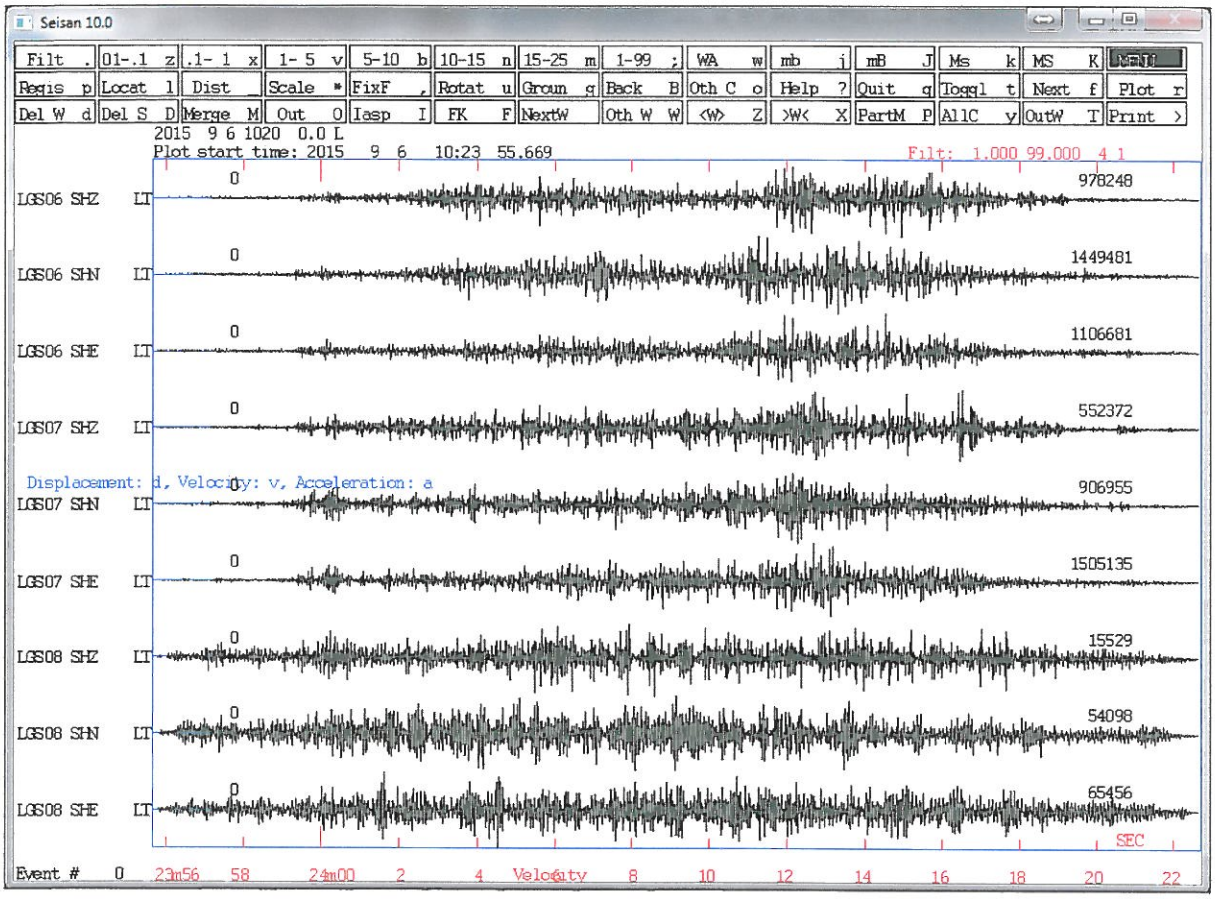
4.3. Vibrāciju, ko izraisa vilcieni, mērījumu rezultāti.

Visu trīs seismometeru ieraksti tika augšupielādēti SEISAN 10.1 datu bāzē. Tad viņi tika attēloti uz ekrāna un analizēti (attēli Nr. 16, 17 un 18). Vēlāk katra seismogramma tika pārbaudīta uzmanīgāk, izmantojot īso laika logu. Pēc tam katras seismogrammas maksimālās amplitūdas bija nolasīti (tabula Nr. 5). Visbeidzot tika aprēķināts maksimālais vibrācijas ātrums vai PPV, apvienojot vērtības visām trim komponentiem. Šāds svārstību ātruma aprēķins pārvērtē maksimālus svārstību ātrumus par katras komponentes maksimālo svārstību ātrumu dažādajos laika momentos un nebija vienas vienīgas svārstības vērtība. No vilcieniem izcēlušos vibrāciju mērījumu rezultāti PPV vienībās ir sniegti 5. tabulā un attēlā Nr. 19.

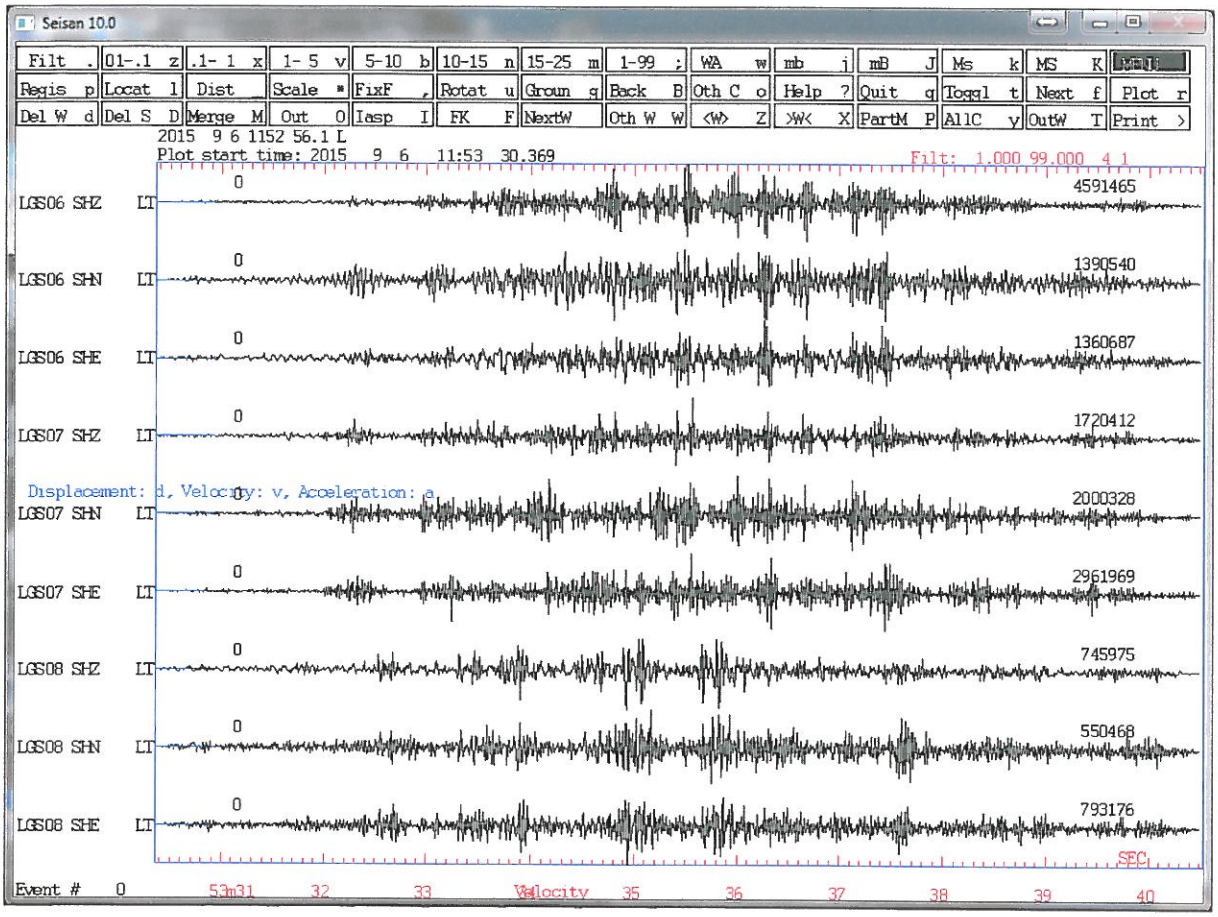
Daži pētnieki ziņoja, ka vertikālās komponentes vibrācijas dominē pār paralēlo un perpendikulāro (atsaucoties uz sliežu ceļa centrālo līniju) komponentiem, piemēram, Suhairy, 2000. Šķiet, mūsu pētījums nesniedz pamatu šādam secinājumam. Daži mērījumi parādīja, ka PPV vērtības visām trim komponentiem ir diezgan līdzīgi (piemēram, Salaspils 10 m, Sarkandaugava 80 m, Torņakalns 10 un 20 m; tabula Nr. 5). Citi mērījumi liecina, ka paralēli un perpendikulāri komponenti ir 2 vai 3 reizes lielāki, salīdzinot ar vertikālo komponentu (piemēram, Salaspils 20 un 80 m, Torņakalns 80 m; tabula Nr. 5).

Mērījumi liecina, ka maksimālas vibrācijas (PPV) svārstās: no ~ 1 līdz ~ 4,5 mm/s attālumā 10 m, no ~ 0,5 līdz ~ 3 mm/s, ja attālums ir 20 m un no ~ 0,3 līdz ~ 0.8 mm/s pie attāluma 80 m (tabula Nr. 5). Redzams, ka PPV vērtība mērījumu punktā "80 m" Salaspilī ir ievērojami zemāka (vairāk, ka ~ 10 reizes), salīdzinot ar pārējām divām vietām. Ir grūti izskaidrot šādas būtiskas atšķirības PPV vērtībās šī mērījumu vietā, par cēloni kam ir mazs mērījumu skaits kopumā. Tas varētu attiecināt uz dažiem īpašiem vietējiem apstākļiem, piemēram, visticamāk ģeoloģisko anomāliju.

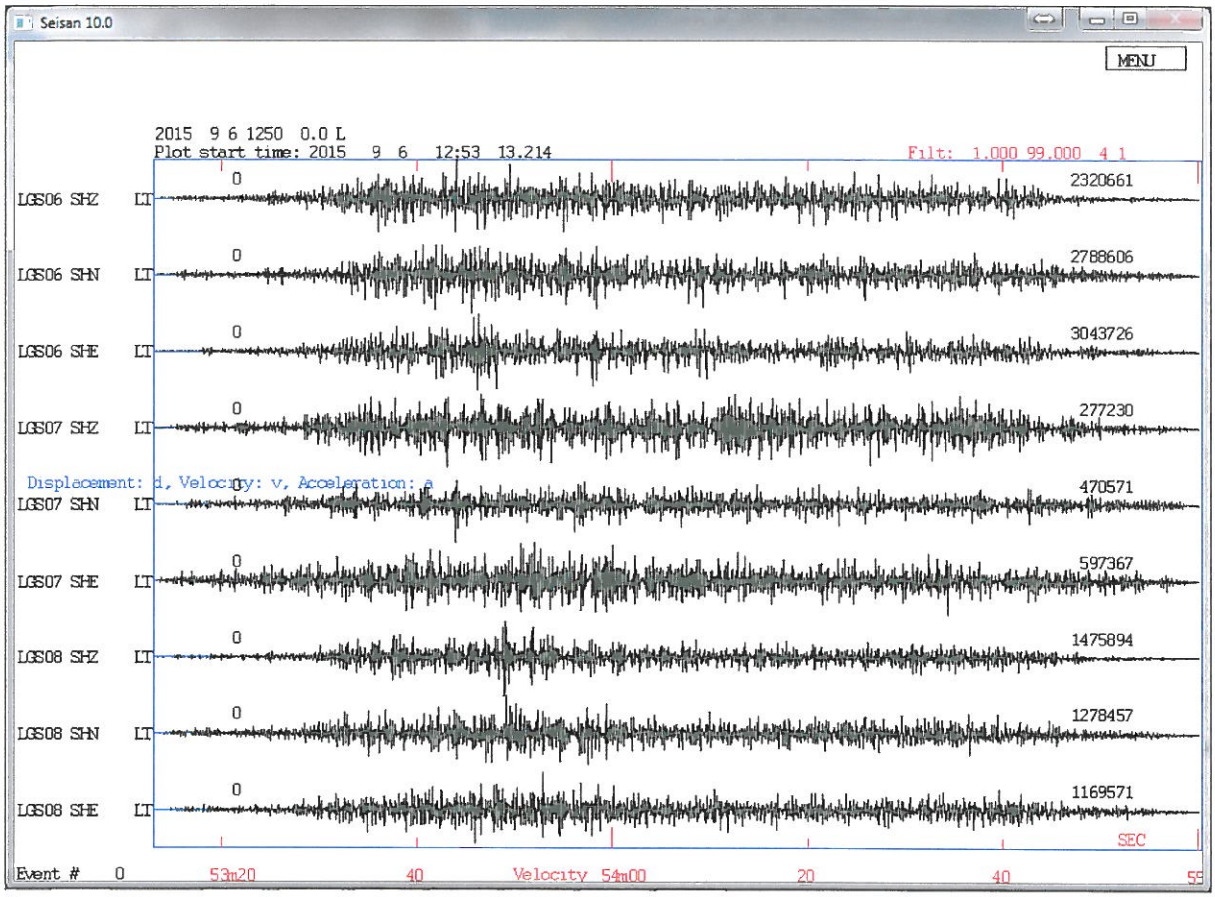
Ar vilcieniem rādīto vibrāciju mērījumi rada, ka maksimālais vibrāciju līmenis attālumā 10 m un vairāk (tabula Nr. 5) ir zemāks nekā maksimāli pieļaujamais vibrāciju līmenis saskaņā ar standartu DIN 4150 pat struktūras, kas ir īpaši jutīgas pret vibrācijām (1.tabula, 3. līnija). Tādējādi var secināt, ka vibrācijas, kas cēlušies no "Krievijas" tipa vilcieniem var neņemt vērā, ja interesējamas struktūras atrodas tālāk par 10 m no dzelzceļa sliedēm.



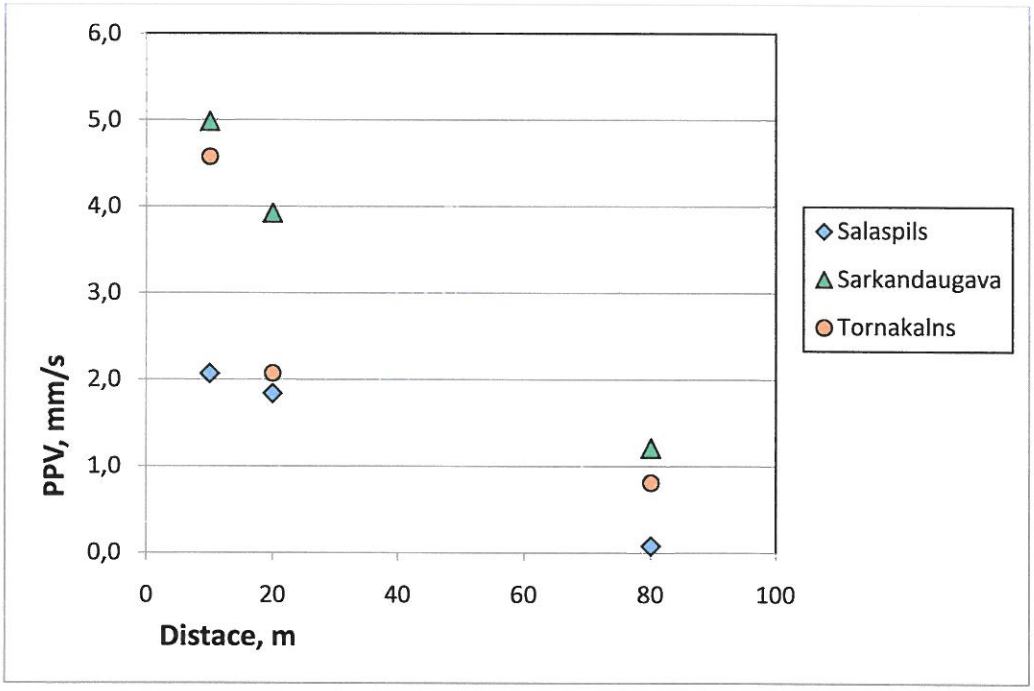
Attēls Nr. 16. Pasažieru dīzeļa vilciena vibrāciju ieraksts Salaspilī. Seismogramma rāda zemes virsmas svārstību ātruma laika vēsturi. Svārstību maksimālais ātrums ir attēlots seismogrammas labajā pusē, pie katras komponentes. Ātrumu mērvienības ir nanometri sekundē.



Attēls Nr. 17. Pasažieru elektrovilciena vibrāciju ieraksts Sarkandaugavā. Seismogramma rāda zemes virsmas svārstību ātruma laika vēsturi. Svārstību maksimālais ātrums ir attēlots seismogrammas labajā pusē, pie katras komponentes. Ātrumu mērvienības ir nanometri sekundē.



Attēls Nr. 18. Kravu dīzeļvilciena vibrāciju ieraksts Torņakalnā. Seismogramma rāda zemes virsmas svārstību ātruma laika vēsturi. Svārstību maksimālais ātrums ir attēlots seismogrammas labajā pusē, pie katras komponentes. Ātrumu mērvienības ir nanometri sekundē.



Attēls Nr. 19. Ierakstītas un uzmērītas PPV vērtības trīs dažādās vietās – Salaspilī (pasažieru dīzeļvilciens), Sarkandaugavā (pasažieru elektrovilciens) un Torņakalnā (kravas dīzeļvilciens).

4.4. Ar vilcieniem radīto vibrāciju prognozēšana.

Saskaņā ar Madshus et. al. (1996) publikāciju, lai prognozētu zemes vibrācijas no dzelzceļiem lieto ar šādu vienādojumu:

$$V=V_T \cdot F_D \cdot F_S \cdot F_B \qquad (4)$$

kur:

V prognozēts vibrāciju ātrums (PPV; mm/s),

V_T vilciena vibrāciju līmenis (PPV; mm/s) dotā attalumā D_0 no dzelzceļa centra pie dota vilciena ātruma S_0 [km/h],

F_S vilciena ātruma funkcija, kas var būt atrasta ar sekojošo vienādojumu:

$$F_S = (S/S_0)^A \qquad (5)$$

kur:

S vilciena ātrums

S_0 dotais ātrums, pie kura V_T bija uzmērīts;

A vērtība atrodas starp 0.5 – 1.5, noklusējuma vērtība A = 0.9;

F_D – attāluma funkcija, kas var būt atrasta ar sekojošo vienādojumu:

$$F_D=(D/D_0)^B \qquad (6)$$

kur:

D attālums līdz dzelzceļam un

D_0 dotais attālums, pie kura V_T tika uzmērīta.

B pēc noklusējuma B = - 0.7 pasažieru vilcieniem un B = - 0.6 kravas vilcieniem.

F_B – būves funkcija. Pēc noklusējuma būves pirmajam stāvam vai pamatiem $F_B = 1$.

Suhairy (2000) izmeklējumā veica 163 mērījumus no vilcieniem Zviedrijā. Tika veikti vibrāciju mērījumi, kas cēlušies no trīs dažādu veidu vilcieniem: ātri pasažieru vilcieni X2000, starppilsētu pasažieru vilcieni un kravas vilcieni. Suhairy (2000) savā pētījumā novērtēja un sniedz V_T vērtības pie atskaites attāluma D_0 = 20 m un atskaites ātruma S_0 = 70 km / h:

V_T priekš ātra pasažieru vilciena X2000 = 0.0337 [mm/s],
V_T priekš starppilsētu pasažieru vilciena = 0.0319 [mm/s],
V_T priekš kravas vilciena = 0.047 [mm/s].

Tātad vispirms tika veikts mēģinājums adaptēt prognozēšanas formulu (4), izmantojot pētījumā Suhairy (2000) paredzētas V_T vērtības. Tomēr izrādījās, ka vienādojuma (4) un V_T vērtību, kas iegūtas mērījumos Zviedrijā, tieša izmantošana, dod prognozēto vibrāciju līmeņi, kas ir ievērojami zemāks, salīdzinot ar Latvijā izmērīto vērtību (attēls Nr. 20.). Vairāku iemeslu skaits varētu izraisīt šo neatbilstību, proti: vilcieni, ko ražo dažādi ražotāji, dažādas tehnoloģijas, ko izmanto dzelzceļu būvniecībā, dažādas kvalitātes dzelzceļi, dažādi ģeoloģiskie apstākļi u.c.

Tāpēc atšķirīga pieeja vibrāciju prognozēšanai tika izmantota. Tika izmantots vienādojums (4), bet V_T vērtības tika paņemtas no reāliem mērījumiem (tabula Nr. 5.):

V_T pasažieru dīzeļvilcienam = 1.841 [mm/s]
pie attāluma D_0=20 m un ātruma S_0=54 km/h,

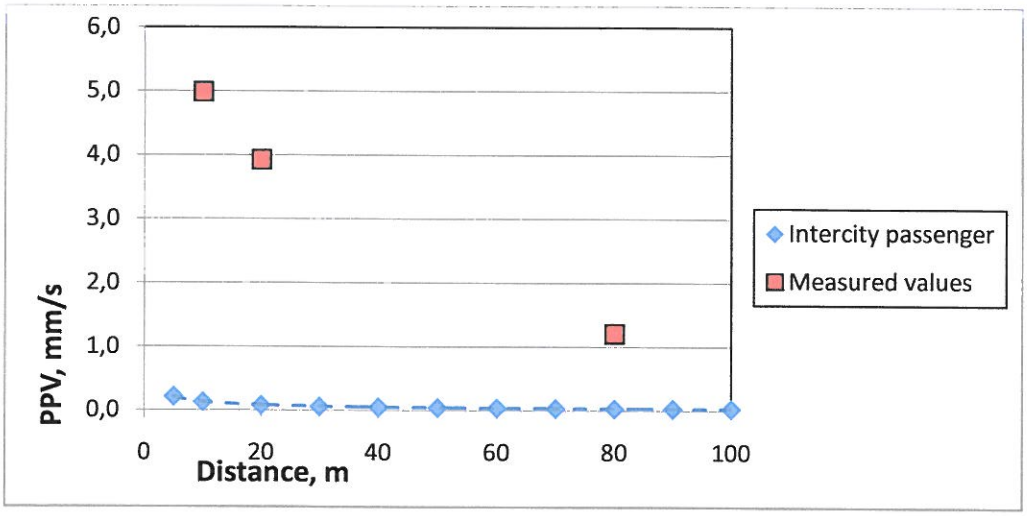
V_T pasažieru elektrovilcienam = 3.926 [mm/s]
pie attāluma D_0=20 m un ātruma S_0=83 km/h,

V_T kravas dīzeļvilcienam = 2.071 [mm/s]
pie attāluma D_0=20 m un ātruma S_0=51 km/h.

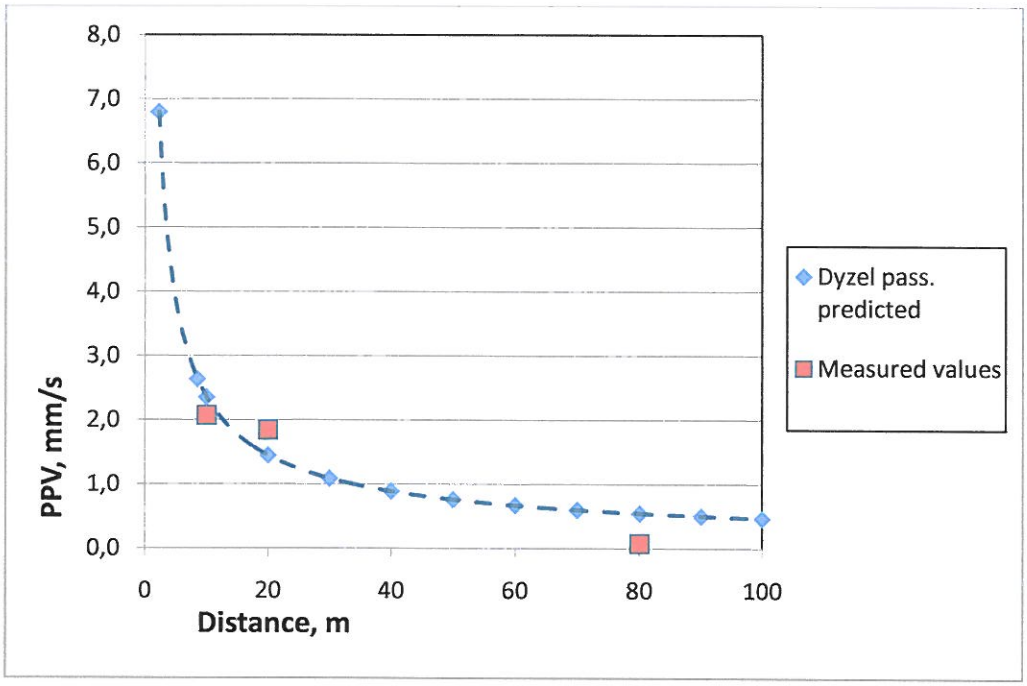
Jaunās prognozēšanas rezultāti un to salīdzinājums ar izmērītam PPV vērtībām ir parādīti attēlos Nr. 20., 21. un 22. Var redzēt, ka prognozētie vibrācijas līmeņi sakrīt ar veiktiem mērījumiem diezgan labi. Joprojām ir dažas izmērītas vērtības, kas novirzās no prognozētam vibrācijām - mērījumu vietā "80 m" Salaspilī vibrāciju līmenis ir ~ 10 reizes zemāks salīdzinājumā ar prognozēto un vietā "10 m" Torņakalnā vibrāciju līmenis ir ~ 1,4 reizes lielāks nekā prognozētais vibrāciju līmenis (attēli Nr. 21 un 23). Izmērīto PPV ievērojama izkliede ir dabas parādība, kuras pamatā ir vairāki dažādi faktori, kas ietekmē vibrāciju indukcijai un pastiprināšanai: atšķirīgas kvalitātes dzelzceļi, atšķirīgas kvalitātes riteņu pāri un amortizācijas sistēmas, dažādi ģeoloģiskie apstākļi starp dzelzceļu un mērījumu punktiem (Suhairy , 2000.; Bahrekazemi, 2004.; Sica 2004.). PPV vērtība mērījumu vietā "80m" Salaspilī ir ievērojami zemāka, salīdzinot ar prognozēto vērtību, un to var attiecināt uz kādu vietējo ģeoloģisko anomāliju, kā tika minēts iepriekšējā nodaļā.

Apkopojot, var secināt, ka iegūtie prognozētie ar "krievu" tipa vilcieniem radītie zemes vibrāciju līmeņi Latvijā sakrīt ar mērījumiem diezgan labi, lai gan ļoti neliels mērījumu skaits tika veikts.

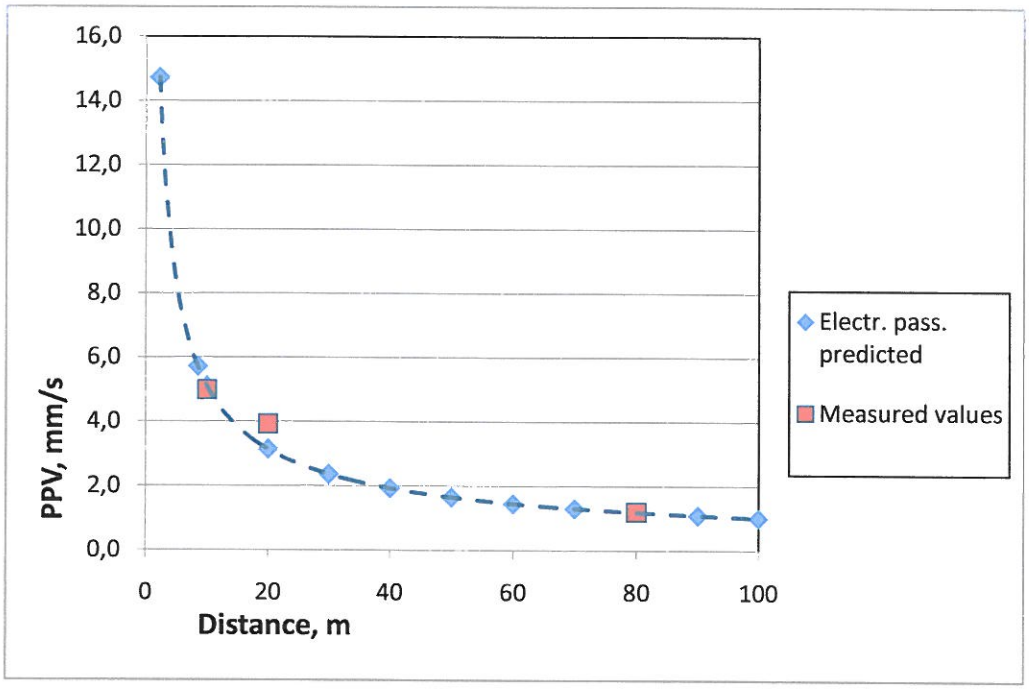
ELLE sniegusi informāciju, ka jaunie pasažieru elektrovilcieni, kas tiks izmantoti "Rail Baltica", sasniegs ātrumu līdz 240 km/h, lauku rajonos un līdz 80 km/h pilsētās. Kravas vilcienu ātrums sasniegs līdz 120 km/h, lauku rajonos un līdz 60 km/h pilsētās. Šī informācija bija nepieciešams lai veiktu vibrāciju, ko radis "Rail Baltica" dzelzceļš, prognozēšanu. Prognozētais vibrāciju līmenis priekš "Rail Baltica" pasažieru elektrovilcieniem sniegts attēlā Nr. 24 un tabulā Nr. 6. Prognozētais vibrāciju līmenis priekš "Rail Baltica" kravas vilcieniem sniegts attēlā Nr. 25 un tabulā Nr. 6. Prognozēšana tika veikta, izmantojot datus, kas iegūtas no Latvijā veiktiem mērījumiem "Krievijas" tipa vilcieniem (zilā un zaļā līnijas attēlos Nr. 24 un 25. Tabulā Nr. 6 pelēkā krāsā laukumi). Turklāt prognozēšana, izmantojot oriģinālos Zviedru datus tika veikta (brūnā un dzeltenā līnijas attēlos Nr. 24 un 25. Tabulā Nr. 6 laukumi bez fona krāsas). Visticamāk reālas vibrācijas no "Rail Baltica" vilcieniem, būs zemākas, nekā "Krievijas" tipa vilcieniem prognozētas vibrācijas, jo jauns "Rail Baltica" dzelzceļš tiks būvēts, izmantojot jaunas tehnoloģijas un jauno sliežu ceļu kvalitāte būs augstāka. Tāpēc, prognozēšanu, izmantojot datus "krievu" tipa vilcieniem var uzskaitīt par vibrāciju augšējo līmeņi "Rail Baltica" vilcieniem.



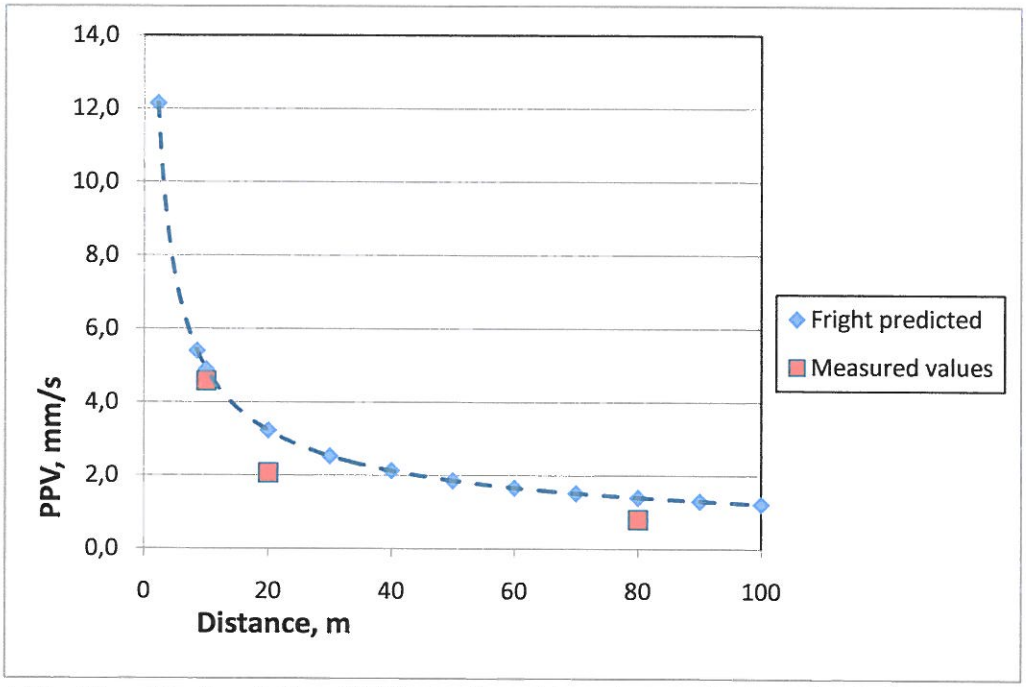
Attēls Nr. 20. Izmērītas PPV vērtības Sarkandaugavā (pasažieru elektrovilciens - sarkanie kvadrāti) un prognozētais vibrāciju līmenis pamatojoties uz Zviedru datiem (zilie rombi un pārtrauktā līnija).



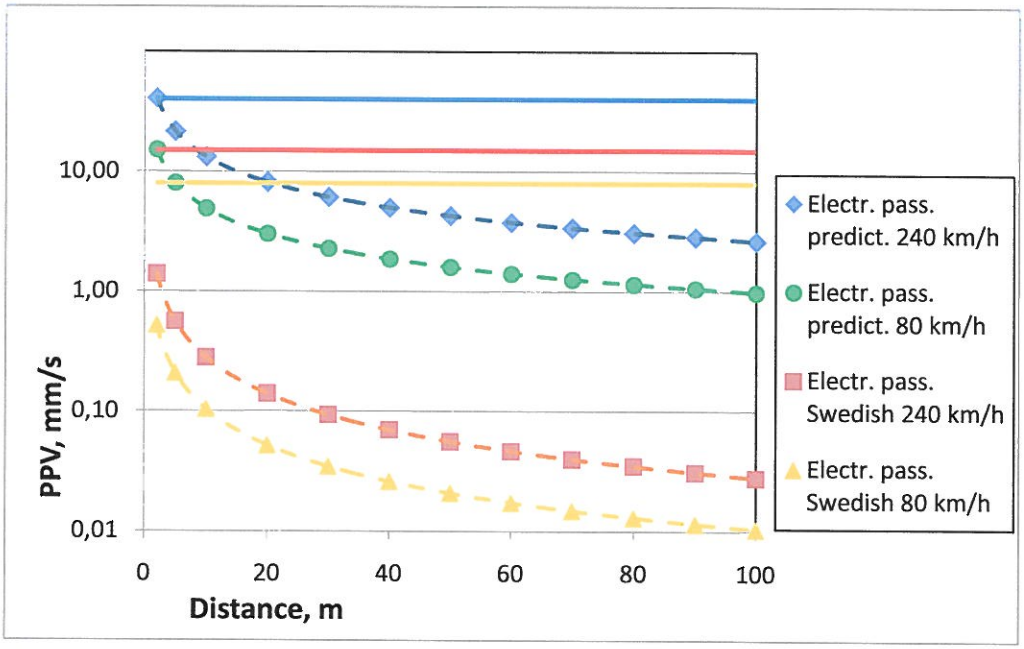
Attēls Nr. 21. Izmērītas PPV vērtības Salaspilī (pasažieru dīzeļvilciens - sarkanie kvadrāti) un prognozētais vibrāciju līmenis pamatojoties uz Latvijā veiktiem mērījumiem (zilie rombi un pārtrauktā līnija).



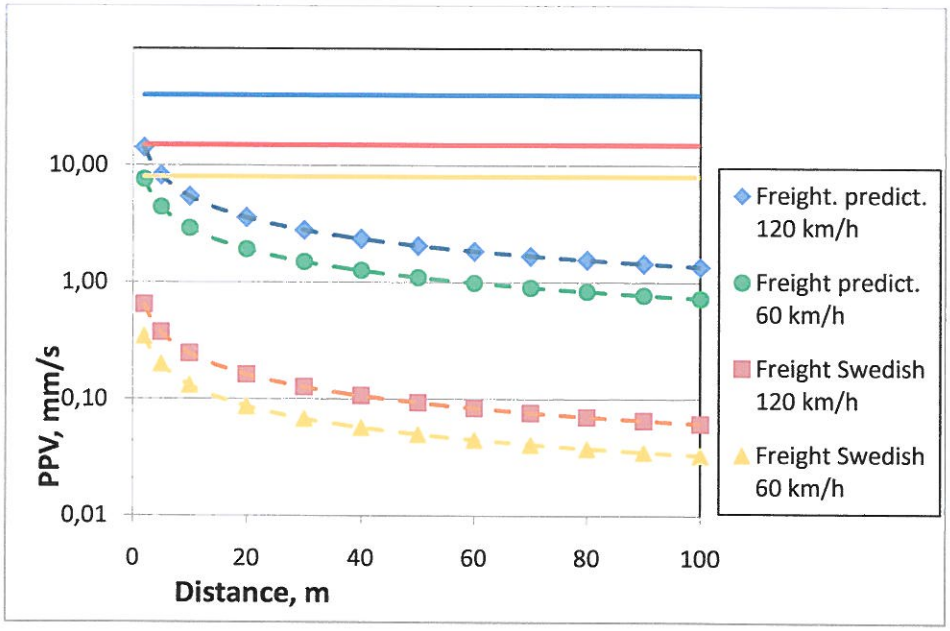
Attēls Nr. 22. Izmērītas PPV vērtības Salaspilī (pasažieru elektrovilciens - sarkanie kvadrāti) un prognozētais vibrāciju līmenis pamatojoties uz Latvijā veiktiem mērījumiem (zilie rombi un pārtrauktā līnija).



Attēls Nr. 23. Izmērītas PPV vērtības Torņakalnā (kravu dīzeļvilciens - sarkanie kvadrāti) un prognozētais vibrāciju līmenis pamatojoties uz Latvijā veiktiem mērījumiem (zilie rombi un pārtrauktā līnija).



Attēls Nr. 24. Prognozētie vibrāciju līmeņi "Rail Baltica" pasažieru elektrkovilcieniem. Zilie rombi un zilā pārtrauktā līnija nozīme prognozētas vibrācijas pasažieru elektrovilcieniem lauku rajonos (240 km/h), zaļie aplīši un zaļā pārtraukta līnija nozīme prognozētas vibrācijas pasažieru elektrovilcieniem pilsētās (80 km/h), brūni kvadrāti un brūnā pārtrauktā līnija nozīme vibrācijas pasažieru elektrovilcieniem lauku rajonos Zviedrijā (240 km/h), dzeltenie trīsstūrīši un dzeltenā pārtraukta līnija nozīme vibrācijas pasažieru elektrovilcieniem pilsētās Zviedrijā (80 km/h). Zilā nepārtraukta līnija norāda maksimāli atļauto vibrāciju līmeni pēc tabulas Nr. 1. pirmās rindas (industriālas ēkas). Sarkanā nepārtrauktā līnija norāda maksimāli atļauto vibrāciju līmeni pēc tabulas Nr. 1. otras rindas (dzīvojamas ēkas un līdzīgas ēkas). Dzeltenā nepārtraukta līnija norāda maksimāli atļauto vibrāciju līmeni pēc tabulas Nr. 1. trešās rindas (struktūras, kas ir īpaši jutīgas pret vibrāciju).



Attēls Nr. 25. Prognozētie vibrāciju līmeņi "Rail Baltica" kravas vilcieniem. Zilie rombi un zilā pārtrauktā līnija nozīme prognozētas vibrācijas kravas vilcieniem lauku rajonos (120 km/h), zaļie aplīši un zaļā pārtraukta līnija nozīme prognozētas vibrācijas kravas vilcieniem pilsētās (60 km/h), brūni kvadrāti un brūnā pārtrauktā līnija nozīme vibrācijas kravu vilcieniem lauku rajonos Zviedrijā (120 km/h), dzeltenie trīsstūrīši un dzeltenā pārtraukta līnija nozīme vibrācijas kravas vilcieniem pilsētās Zviedrijā (60 km/h). Zilā nepārtraukta līnija norāda maksimāli atļauto vibrāciju līmeni pēc tabulas Nr. 1. pirmās rindas (industriālas ēkas). Sarkanā nepārtrauktā līnija norāda maksimāli atļauto vibrāciju līmeni pēc tabulas Nr. 1. otras rindas (dzīvojamas ēkas un līdzīgas ēkas). Dzeltenā nepārtraukta līnija norāda maksimāli atļauto vibrāciju līmeni pēc tabulas Nr. 1. trešās rindas (struktūras, kas ir īpaši jutīgas pret vibrāciju).

Tabula Nr. 6. Prognozētie attālumi no paredzēta "Rail Baltica" dzelzceļa līdz punktam, kur vibrāciju PPV kļūst vienāda maksimāli atļautajam limitam saskaņā ar standartu DIN 4150.

Vilcienu un vides tipi	**Rinda 1, (industriālās būves); PPV = 40 mm/s)**	**Rinda 2, (dzīvojāmās un līdzīgas būves); PPV=15 mm/s)**	**Rinda 3, (būves ar īpašu jūtīgumu pret vibrācijam); PPV=8 mm/s)**
Pasažieru elektrovilcieni lauku rajonos (240 km/h)	**2 m**	**8 m**	**20 m**
Pasažieru elektrovilcieni pilsētās (80 km/h)	**<1 m**	**2 m**	**5 m**
Pasažieru elektrovilcieni lauku rajonos (240 km/h), Zviedru prognoze.	<1 m	<1 m	<1 m

Pasažieru elektrovilcieni pilsētās (80 km/h), Zviedru prognoze.	<1 m	<1 m	<1 m
Kravas vilcieni lauku rajonos (120 km/h)	**<1 m**	**1.8 m**	**5 m**
Kravas vilcieni pilsētās (60 km/h)	**<1 m**	**<1 m**	**1.8 m**
Kravas vilcieni lauku rajonos (120 km/h), Zviedru prognoze.	<1 m	<1 m	<1 m
Kravas vilcieni pilsētās (60 km/h), Zviedru prognoze.	<1 m	<1 m	<1 m

Ar vilcieniem radītas prognozētas vibrācijas konkrētām vietām: Salacgrīvai, radioaktīvo atkritumu glabātavas "Radons" apkārtnei, Mārupes dzelzceļa posmam, Iecavai, Rīgas pilsētai un Latvijas lauku teritorijām ir sniegta tabulā Nr. 7.

Tabula Nr. 7. Noteiktām vietām prognozētie attālumi no paredzēta "Rail Baltica" dzelzceļa līdz punktam, kur vibrāciju PPV kļūst vienāda maksimāli atļautajam limitam saskaņā ar standartu DIN 4150.

Vilcienu un vides tipi	**Rinda 1, (industriālās būves); PPV = 40 mm/s)**	**Rinda 2, (dzīvojamās un līdzīgas būves); PPV=15 mm/s)**	**Rinda 3, (būves ar īpašu jūtīgumu pret vibrācijām); PPV=8 mm/s)**
Salacgrīva			
Pasažieru elektrovilcieni pilsētās (max. 80 km/h)	<1 m	2 m	5 m
Kravas vilcieni pilsētās (max. 60 km/h)	<1 m	<1 m	1.8 m
"Radon" apkārtnē			
Pasažieru elektrovilcieni lauku rajonos (max. 240 km/h).			20 m
Kravas vilcieni lauku rajonos (max. 120 km/h)			5 m
Mārupes dzelzceļa posms			
Pasažieru elektrovilcieni pilsētās (max. 80 km/h)	<1 m	2 m	5 m
Kravas vilcieni pilsētās (max. 60 km/h)	<1 m	<1 m	1.8 m
Iecava			
Pasažieru elektrovilcieni pilsētās (max. 80 km/h)	<1 m	2 m	5 m
Kravas vilcieni pilsētās (max. 60 km/h)	<1 m	<1 m	1.8 m

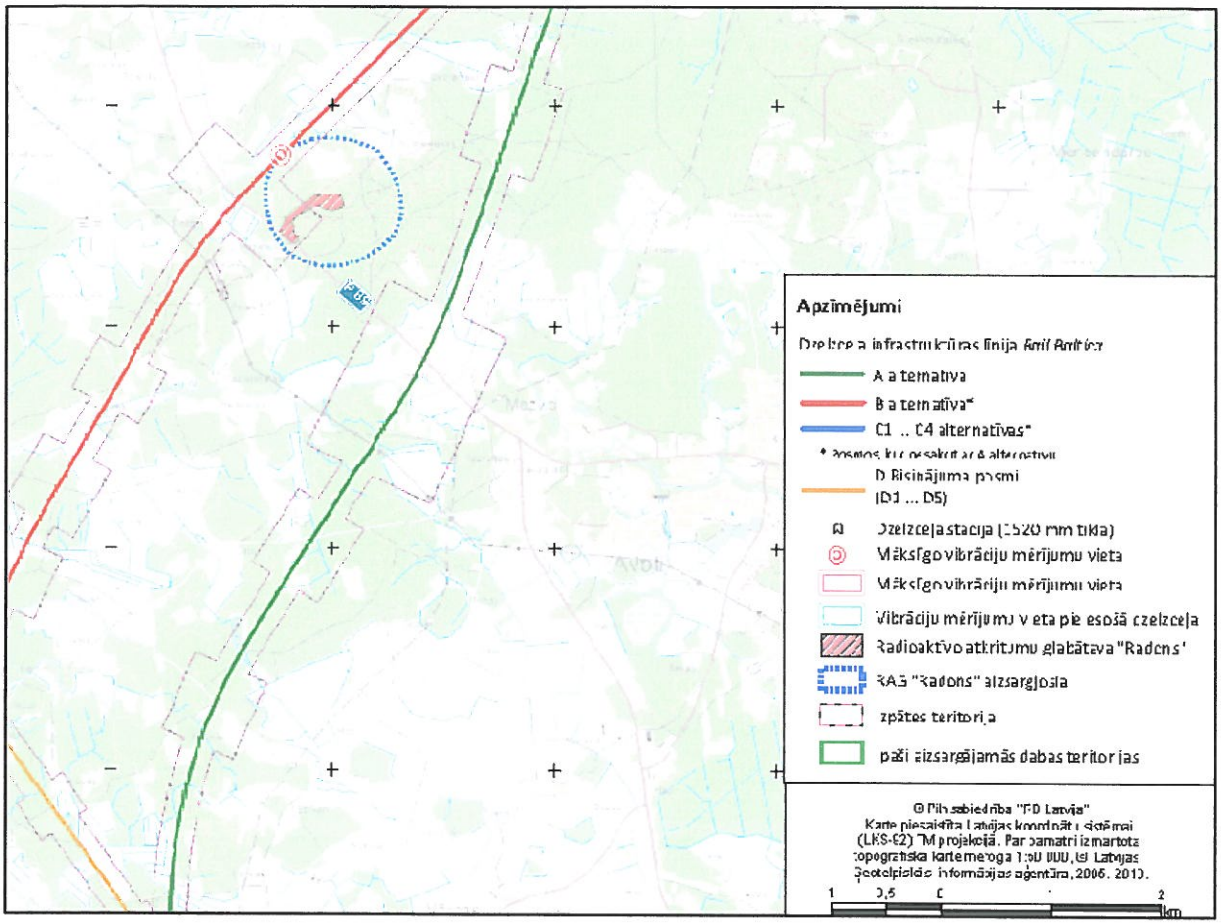
Rīgas pilsēta			
Pasažieru elektrovilcieni pilsētās (max. 80 km/h)	<1 m	2 m	5 m
Kravas vilcieni pilsētās (max. 60 km/h)	<1 m	<1 m	1.8 m
Latvijā, lauku rajonos			
Pasažieru elektrovilcieni lauku rajonos (max. 240 km/h).	2.1 m	8 m	20 m
Kravas vilcieni lauku rajonos (max. 120 km/h)	<1 m	1.8 m	5 m

Vērtībām, kas sniegtas šajā tabulā, ir tādas pašas, kas sniegtas tabulā Nr. 6, tikai ērtākā formātā.

Saskaņā ar prognozēšanu, paredzētais "Rail Baltica" dzelzceļš neradīs nekādus draudus radioaktīvo atkritumu glabātavai "Radons". Zona, kur vibrāciju līmenis PPV ≥ 8 mm/s, ir mazāka par 20 m skaitot no dzelzceļa sliedēm (tabulas Nr. 6 un 7). Pie tam plānotā "Rail Baltica" dzelzceļa līnija atradīsies apmēram 500 m attāluma no radioaktīvo atkritumu glabātavas "Radons" (attēls Nr. 26.).

Prognozēšana paradīja, ka Rīgas pilsētā "Rail Baltica" dzelzceļa līnijai no abām pusēm būs apmēram 5 m plata zona, kur vibrāciju līmenis varētu pārsniegt 8 mm / s (struktūras, īpaši jutīgas pret vibrāciju) (tabula Nr. 6 un 7). "Rail Baltica" nevajadzētu radīt draudus citu veidu būvēm (ražošanas ēkas un dzīvojamās ēkas), jo bīstamā zona bija mazāk nekā 2 m attālumā no dzelzceļa.

Prognozēšana paradīja, ka citās Latvijas vietās "Rail Baltica" dzelzceļa līnijai no abām pusēm būs apmēram 20 m plata zona, kur vibrāciju līmenis varētu pārsniegt 8 mm / s (struktūras, īpaši jutīgas pret vibrāciju) un apmēram 5 m plata zona, kur vibrāciju līmenis varētu pārsniegt 15 mm / s (dzīvojamās un līdzīgas ēkas) (tabula Nr. 6 un 7). Pie tam "Rail Baltica" nevajadzētu radīt draudus citu veidu būvēm (ražošanas ēkas), jo bīstamā zona bija mazāk nekā 2 m attālumā no dzelzceļa.



Attēls Nr. 26. Karte, uz kuras paradīti iespējamie alternatīvie "Rail Baltica" ceļi un radioaktīvo atkritumu glabātava "Radons".

5. Secinājumi

1. Amerikas Savienoto Valstu transporta departaments sagatavojis regulēšanas dokumentu "Tranzīta trokšņu un vibrāciju ietekmes novērtējums" (FTA-VA-90-1003-06; 2006. gada maijs). Šis dokuments sniedz apkopotu tabulu ar tipiskiem vibrāciju līmeņiem no vairākiem dažādiem vibrācijas avotiem (tabula Nr. 2) PPV vienībās. Dažādas iekārtas, ko izmanto būvniecībā, rada diezgan dažādu vibrāciju līmeņus. Tomēr visintensīvākās vibrācijas rada pāļu dzīšana.

   Šī atskaite pierādīja, ka vibrācijas, kas cēlušies no pāļu dzīšanas, var tikt salidzināti ar vibrācijām, kas rada hidrauliskā āmura darbība. Nesen UAB "Geobaltic" veica vibrāciju, ko rada hidrauliskais āmurs Salaspils ģipša karjerā, mērījumus. Šie dati tika izmantoti pāļu dzīšanas vibrāciju modelēšanai. Prognozēšana liecina, ka vibrāciju, ko rada pāļu dzīšana, līmeņi kļūst mazāki par 40 mm / s (ražošanas ēkas) apmēram 3.0 m attālumā; mazāki par 15 mm/s (dzīvojamās un līdzīgas ēkas) apmēram 6.8 m attālumā; mazāki par 8 mm/s (pret vibrāciju jūtīgas struktūras) apmēram 12.0 m attālumā (tabula Nr. 4).
2. Vibrācijas, ko rada trīs dažādu veidu "krievu" vilcieni (pasažieru dīzeļvilciens, pasažieru elektrovilciens un kravas dīzeļvilciens) tika uzmērītas trīs dažādās vietās Salaspilī un Rīgas pilsētā. Mērījumi paradīja, ka neviens no šiem vilcieniem nepārsniedza visstingrāko atļauto vibrāciju līmeņi (8 mm/s - struktūras, kas īpaši jutīgas pret vibrāciju) saskaņā ar standartu DIN 4150 (tabula Nr. 1., trešā rinda) visos mērījumu punktos (tabula Nr. 4.).
3. Bija paveikti divi mēģinājumi vibrāciju, ko rada vilcieni, prognozēšanai PPV vienībās. Izrādījās, ka tikai formula, kas norādīta Madshus et sniegta. al. (1996), un atsauces vērtības, kas iegūtas no vibrāciju, ko rada vilcieni, mērījumiem Latvijā (otrais mēģinājums) parādīja labu sakritību ar izmērīto PPV vērtību (attēli Nr. 21., 22. un 23.).
4. Vibrāciju, ko radīs "Rail Baltica" vilcieni, prognozēšana tika veikta, izmantojot datus, kas iegūtas pie "Krievijas" tipa vilcienu vibrāciju mērījumiem (attēli Nr. 24. un 25. un tabula Nr. 6). Prognozēšana atklāja, ka:

   - "Rail Baltica" pasažieru elektrovilcieni lauku rajonos (max. ātrums 240 km/h), varētu radīt vibrācijas, kas būs lielākas nekā PPV = 8 mm / s (būves īpaši jutīgas pret vibrāciju) attālumā, kas ir mazāks par 20 m no dzelzceļa sliežu ceļa un PPV = 15 mm/s (dzīvojamās un līdzīgas ēkas) attālumā, kas mazāks nekā 8 m no dzelzceļa sliežu ceļa;
   - "Rail Baltica" pasažieru elektrovilcieni pilsētās (max. ātrums 80 km/h), varētu radīt vibrācijas, kas būs lielākas nekā PPV = 8 mm/s (būves īpaši jutīgas pret vibrāciju) attālumā, kas ir mazāks par 5 m no dzelzceļa sliežu ceļa;
   - "Rail Baltica" pasažieru elektrovilcieni nedrīkst radīt nekādus draudus rūpnieciskām ēkām (PPV = 40 mm/s) jebkurā vidē un nekādus draudus dzīvojamām un līdzīgām ēkām (PPV = 15 mm/s) pilsētās, jo vibrācijas neizplatīsies tālāk par 2 m no sliežu ceļa;
   - "Rail Baltica" kravas vilcieni lauku rajonos (max. ātrums 120 km/h), varētu radīt vibrācijas, kas būs lielākas nekā PPV = 8 mm/s (būves īpaši jutīgas pret vibrāciju) attālumā, kas ir mazāks par 5 m no dzelzceļa sliežu ceļa;
   - "Rail Baltica" kravas vilcieni neradīs nekādus draudus būvēm ar īpašo jutīgumu (PPV = 8 mm/s) pilsētās (max. ātrums 80 km/h) un nekādus draudus dzīvojamām un līdzīgām ēkām (PPV = 15 mm/s) un rūpnieciskām ēkām (PPV = 40 mm/s) jebkura vidē, jo bīstamas vibrācijas neizplatīsies tālāk par 2 m no sliežu ceļa.

5. Prognozēšana atklāja, ka plānotais "Rail Baltica" dzelzceļš neradīs papildus draudus radioaktīvo atkritumu glabātavai "Radons", jo zona, kur vibrāciju līmenis PPV≥8 mm/s, sagaidāma 20 m attālumā no malējā sliežu ceļa (tabulas Nr. 6 un 7), savukārt plānotās "Rail Baltica" dzelzceļa līnijas A alternatīva atrodas 680 m un B alternatīva 435 m attālumā no radioaktīvo atkritumu glabātavas "Radons" (attēls Nr. 26).
6. Prognozēšana atklāja, ka Salacgrīvā, Mārupes dzelzceļa posmā un Iecavā "Rail Baltica" dzelzceļa līnijai būs apmēram 5 m plata zona abās dzelzceļa pusēs, kur vibrācijas līmenis varētu pārsniegt 8 mm/s (struktūras, īpaši jutīgas pret vibrāciju) (tabula Nr. 6. un 7.). Pie tam "Rail Baltica" nevajadzētu radīt draudus citu veidu ēkām, jo bīstama zona sastādīs mazāk nekā 2 m, skaitot no dzelzceļa sliežu ceļa.
7. Prognozēšana atklāja, ka Rīgas pilsētā "Rail Baltica" dzelzceļa līnijai būs apmēram 5 m plata zona abās dzelzceļa pusēs, kur vibrācijas līmenis varētu pārsniegt 8 mm/s (struktūras, īpaši jutīgas pret vibrāciju) (tabula Nr. 6. un 7.). Pie tam "Rail Baltica" nevajadzētu radīt draudus citu veidu ēkām (rūpnieciskām un dzīvojamām), jo bīstama zona sastādīs mazāk nekā 2 m, skaitot no dzelzceļa sliežu ceļa.
8. Prognozēšana atklāja, ka lauku rajonos Latvijā "Rail Baltica" dzelzceļa līnijai būs apmēram 20 m plata zona abās dzelzceļa pusēs, kur vibrācijas līmenis varētu pārsniegt 8 mm/s (struktūras, īpaši jutīgas pret vibrāciju) un apmēram 5 m plata zona abās dzelzceļa pusēs, kur vibrācijas līmenis varētu pārsniegt 15 mm/s (dzīvojamās ēkas) (tabula Nr. 6. un 7.). Pie tam "Rail Baltica" nevajadzētu radīt draudus citu veidu ēkām (rūpnieciskās ēkas), jo bīstama zona sastādīs mazāk nekā 2 m, skaitot no dzelzceļa sliežu ceļa.

Atsauces

1. Bahrekazemi, M. 2004. Train-Induced Ground Vibration and Its prediction. Ph.D. Thesis. Division of Soil and Rock Mechanics, Dept. of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm. 2004.
2. Madshus, C., B. Bessason and L.Hårvik. 1996. “Prediction Model For Low Frequency Vibration From High Speed Railways On Soft Ground”. Journal of Sound and Vibration, Volume 193, No. 1, 1996.
3. Sica, G. 2004. Groundborne vibrations caused by railway construction and operation in buildings: design, implementation and analysis of measurement for assessment of human exposure. Acoustic Research Centre, School of Computing, Science and Engineering, University of Salford, Salford, UK. 2004.
4. Suhairy, S. 2000. Prediction of ground vibration from railways.SP Swedish National Testing and Research Institute. SP Report 2000:25. 2000.
5. Hanson, C. E., D. A. David and L. D. Meister. 2006. Transit noise and vibration impact assessment. FTA-VA-90-1003-06. 2006. Office of Planning and Environment Federal Transit Administration. 2006. p. 261.

THE UNIVERSITY OF BERGEN

THE FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES

ANDRIUS PACESA born *13 OCTOBER 1972*

admitted to the University of *Bergen* in the *fall* semester *1997*

has completed the Master of Science degree in the *spring* semester *1999*

Date: *25 June 1999*

Graduate subject: *Solid earth physics* Specialization: *Seismology*

Title of thesis:

"Near-surface attenuation in Norway and noise studies in Lithuania and Israel and Status of Seismology in Lithuania"

Examination marks:

Written thesis: *2.3 (B)*

Oral examination in: (*1* credits): *"Passat"*

The final oral examination consisted of: *Special reading list*

The completed postgraduate courses also include the following:
GFJ 270, GFJ 274, GFJ 275, GFJ 276, GFJ 371, GFJ 372, GFJ 374 and GFJ 376

See the signed transcript which must accompany this diploma.

Bergen *1 September 1999*

Grete K. Erslands
executive officer

Additional information: *This Master of Science degree awarded by the University of Bergen includes Examinations from Lithuania*

Authenticated signature of Grete K. Erslands
[illegible]
December 12 2009
Tanja Virlu