

**KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS**

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Jūrų inžinerijos katedra

Julius Aleksandravičius

**LAIVO „MINTIS“ VIRPESIŲ TYRIMAS**

Laivų projektavimo ir statybos studijų programos (621H52001)  
magistro baigiamasis darbas

Klaipėda, 2017

## SANTRAUKA

Aleksandravičius J. Laivo „Mintis“ virpesių tyrimas. Laivų projektavimo ir statybos magistratūros studijų programos baigiamasis darbas. Darbo vadovas doc. Dr. P. Mažeika, Klaipėdos universitetas: Klaipėda, 2017 – 117 p.

*Raktiniai žodžiai:* laivas, virpesiai, virpesių tyrimas, sraigtas, mokslinių tyrimų laivas „Mintis“.

Baigiamojo darbo teorinėje dalyje aprašoma laivo virpesių tyrimo metodika, virpesių matavimo taškų schemos sudarymas, aprašomi virpesių šaltiniai, virpesių mažinimo būdai laivuose, virpesių skaičiavimo ir identifikavimo būdai.

Eksperimentinėje dalyje pateikiami gauti mokslinių tyrimų laivo „Mintis“ matavimų rezultatai. Pateikiama matavimo duomenų detalesnė apžvalga ir identifikuoti virpesių šaltiniai.

Paskutinėje dalyje pateikiamos išvados ir rekomendacijos.

## SUMMARY

J. Aleksandravicius Vibration analysis of ship „Mintis”. Final work of the master studies of ship design and building program. Academic supervisor doc. Dr. P. Mazeika, Klaipeda University: Klaipeda, 2017-117 p.

*Keywords:* ship, vibrations, vibration research, screw, research vessel „Mintis“.

The thesis describes the theoretical part of the vessel vibration analysis methodology, vibration measurement points schemes, describes the vibration source, vibration reduction techniques ships vibrations computing and identification methods.

The experimental part given to get the research ship "Mintis" measurements. It contains a more detailed overview of measurement data and identify vibration sources.

The final section presents conclusions and recommendations.

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.4.1 lentelė. Pagrindinių variklių reduktorių absoliučiujų virpesių greičių $V_{RMS}$ kvadratinio vidurkio reikšmės .....	23
2.3.1 lentelė. Laivo darbo režimai ir sraigto sukimosi greičiai .....	28
2.3.2 lentelė. Gauti virpesių greičių ir pagreičių matavimo duomenys.....	30
2.3.1.1 lentelė. Laivo įrenginių žadinami virpesių dažniai.....	32
2.3.1.2 lentelė. ISO 6954:2000 standarto leidžiamos reikšmės.....	32

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

<b>1.1.1 pav.</b> (a) periodinių harmoninių ir (b) atsitiktinių virpesių grafikas .....	12
<b>1.2.1 pav.</b> Hidroelastinės vibracijos analizė baigtinių elementų metodu, kompiuterizuotu būdu	14
<b>1.3.1 pav.</b> Ašinis slopintuvas .....	15
<b>1.3.2 pav.</b> Sukimosi slopintuvas.....	16
<b>1.3.3 pav.</b> Žmogaus kūno dalių savieji virpesių dažniai .....	17
<b>1.4.1 pav.</b> Tirtas katamarano tipo laivas .....	18
<b>1.4.2 pav.</b> A eksperimento metu gautas virpesių spektras .....	18
<b>1.4.3 pav.</b> Beksperimento metu gautas virpesių spektras.....	19
<b>1.4.4 pav.</b> Ceksperimento metu gautas virpesių spektras.....	19
<b>1.4.5 pav.</b> Virpesių matavimas vairinėje .....	20
<b>1.4.6 pav.</b> Matavimo metu gauti virpesių spektrai .....	21
<b>1.4.7 pav.</b> Laivo modelis baigtinių elementų metodu .....	21
<b>2.1.1 pav.</b> Klaipėdos universiteto mokslinių tyrimų laivas „Mintis“ .....	24
<b>2.1.2 pav.</b> Mokslinių tyrimų laivo „Mintis“ variklio techninė charakteristika .....	24
<b>2.2.1 pav.</b> ADASH A4400 VA4 Pro virpesių signalų analizatorius su Wilcoxon 797 jutikliu ...	25
<b>2.3.1 pav.</b> Matavimo schema kapitono tiltelyje .....	27
<b>2.3.2 pav.</b> Matavimo schema pagrindiniame denyje.....	27
<b>2.3.3 pav.</b> Matavimo schema mašinų skyriuje .....	27
<b>2.3.4 pav.</b> Matavimo taškai .....	29
<b>2.4.1 pav.</b> Antro laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT01 taške (sraigto sukimosi greitis 130 aps./min).....	33
<b>2.4.2 pav.</b> Pirmo laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT02 taške (sraigto sukimosi greitis 295 aps./min).....	34
<b>2.4.3 pav.</b> Šesto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT03 taške (sraigto sukimosi greitis 280 aps./min).....	35
<b>2.4.4 pav.</b> Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT04 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min).....	35
<b>2.4.5 pav.</b> Šesto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT05 taške (sraigto sukimosi greitis 280 aps./min).....	36
<b>2.4.6 pav.</b> Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT06 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min).....	37
<b>2.4.7 pav.</b> Ketvirto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT07 taške (sraigto sukimosi greitis 200 aps./min).....	37

<b>2.4.8 pav.</b> Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT08 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min).....	38
<b>2.4.9 pav.</b> Pirmo laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT09 taške (sraigto sukimosi greitis 295 aps./min).....	39
<b>2.4.10 pav.</b> Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT10 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min).....	39
<b>2.4.11 pav.</b> Penkto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT11 taške (sraigto sukimosi greitis 250 aps./min).....	40
<b>2.4.12 pav.</b> Penkto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT12 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min).....	41
<b>2.4.13 pav.</b> Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT13 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min).....	41
<b>2.4.14 pav.</b> Ketvirto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT14 taške (sraigto sukimosi greitis 200 aps./min).....	42
<b>2.4.15 pav.</b> Šešto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT15 taške (sraigto sukimosi greitis 280 aps./min).....	43
<b>2.4.16 pav.</b> Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT16 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min).....	44
<b>2.4.17 pav.</b> Ketvirto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT17 taške (sraigto sukimosi greitis 200 aps./min).....	44
<b>2.4.18 pav.</b> Šešto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT18 taške (sraigto sukimosi greitis 280 aps./min).....	45
<b>2.4.19 pav.</b> Šešto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT19 taške (sraigto sukimosi greitis 280 aps./min).....	45
<b>2.4.20 pav.</b> Pirmo laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT20 taške (sraigto sukimosi greitis 295 aps./min).....	46
<b>2.4.21 pav.</b> Pirmo laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT21 taške (sraigto sukimosi greitis 295 aps./min).....	47
<b>2.4.22 pav.</b> Pirmo laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT22 taške (sraigto sukimosi greitis 295 aps./min).....	47
<b>2.4.23 pav.</b> Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT23 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min).....	48
<b>2.4.24 pav.</b> Penkto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT24 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min).....	48

<b>2.4.25 pav.</b> Šešto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT25 taške (sraigto sukimosi greitis 280 aps./min).....	49
<b>2.4.26 pav.</b> Penkto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT26 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min).....	49
<b>2.4.27 pav.</b> Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT27 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min).....	50
<b>2.4.28 pav.</b> Ketvirto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT28 taške (sraigto sukimosi greitis 200 aps./min).....	51
<b>2.4.29 pav.</b> Pirmo laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT29 taške (sraigto sukimosi greitis 295 aps./min).....	51
<b>2.4.30 pav.</b> Pirmo laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT30 taške (sraigto sukimosi greitis 295 aps./min).....	52
<b>2.4.31 pav.</b> Šešto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT31 taške (sraigto sukimosi greitis 280 aps./min).....	52

# TURINYS

<b>IVADAS</b> .....	<b>9</b>
<b>I. LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ</b> .....	<b>11</b>
1.1. Laivo mechaniniai virpesiai .....	11
1.2. Virpesių skaičiavimo metodų apžvalga .....	13
1.3. Virpesių mažinimo būdai .....	15
1.4. Mokslinių straipsnių analizė .....	17
<b>II. TEORINIAI IR EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI</b> .....	<b>24</b>
2.1. Tyrimo objektas .....	24
2.2. Tyrimo įrangos pasirinkimas .....	25
2.3. Eksperimentiniai tyrimai .....	26
2.3.1 Variklio ir sraigto žadinamų virpesių dažnių nustatymas .....	31
2.4 Virpesių tyrimo rezultatų analizė .....	33
<b>IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS</b> .....	<b>53</b>
<b>LITERATŪRA</b> .....	<b>55</b>
<b>PRIEDAI</b> .....	<b>56</b>

## IVADAS

Laivo virpesių tyrimams ir jų mažinimui laive turi būti kreipiama daug dėmesio, nes nuo padidinto virpesių ir triukšmo lygio laive priklauso įgulos ir keleivių komforto sąlygos, įvairių mechanizmų patikimumas ir patvarumas. Dėl šios priežasties siekiama projektuoti ir renovuoti laivą siekiant išvengti padidinto virpesių lygio laive. Visos laive dirbančios mašinos žadina tik jiems būdingus virpesius, todėl labai svarbu, kad šie žadintojai nepriverstų rezonuoti laivą arba jo elementus. Tik inžineriškai teisingai suprojektuotas laivas bus patikimas, saugus ir komfortiškas.

Veikiantys įrengimai laivuose yra didžiulis žalingų virpesių šaltinis, todėl paskutiniu metu ieškoma vis daugiau būdų kaip juos sumažinti, kuriamos naujos sistemos, kurios apsaugotų laivo korpusą nuo mechanizmų žadinamų virpesių. Tokios sistemos kartu pagerina gyvenimo ir komforto sąlygas paprastuose laivuose, tačiau karo laivuose, tai ir svarbus saugumo klausimas.

Šiame darbe pateikti Klaipėdos universiteto eksploatuojamo laivo "Mintis" virpesių tyrimo rezultatai. Laivui "Mintis" plaukiant įvairiais darbo režimais kapitono tiltelyje kartas nuo karto buvo jaučiamas ženklus virpesių lygio padidėjimas, kas sukeldavo kapitonui ir laivo įgulai diskomfortą. Dėl šios priežasties buvo nuspręsta atlikti laivo mechaninių virpesių matavimus ir atlikti virpesių analizę siekiant išsiaiškinti padidėjusių virpesių pasireiškimo priežastį (-is) bei pateikti rekomendacijas virpesių lygiui sumažinti.

Šį darbą sudaro du skyriai: pirmasis - literatūros apžvalga ir analizė bei antrasis - teoriniai ir eksperimentiniai tyrimai. Pirmajame skyriuje aprašomi mechaniniai virpesiai pasireiškiantys laivuose, virpesių skaičiavimo metodų apžvalga, virpesių mažinimo būdai. Skyriaus pabaigoje pateikiami mokslininkų tirtų įvairių laivų gauti rezultatai.

Antrajame skyriuje pateikti laivo "Mintis" aprašymas, tyrimo įrangos naudotos laivų virpesių matavimams ir analizei, pateikti matavimų taškai, kuriuose buvo matuojami laivo virpesiai bei skirtingi laivo darbo režimai, kurių metu buvo atliekami tyrimai. Skyriuje pateikiami laivo "Mintis" pagrindinių priverstinių virpesių šaltinių virpesių dažnių skaičiavimai laivui plaukiant skirtingais darbo režimais. Skyriuje pateikta išsami virpesių tyrimo analizė leido identifikuoti pagrindinį virpesių šaltinį ir šios analizės pagrindu darbo pabaigoje yra pateiktos tyrimo išvados ir rekomendacijos virpesių lygiui sumažinti.

**Darbo tikslas** - atlikti Klaipėdos universiteto mokslinių tyrimų laivo „Mintis“ mechaninių virpesių tyrimą, skirtą laivo virpesių lygiui įvertinti ir virpesių šaltiniams identifikuoti, laivui dirbant skirtingais darbo režimais.

**Darbo uždaviniai:**

1. Atlikti mokslinių straipsnių ir kitų informacijos šaltinių apžvalgą ir analizę;
2. Sukurti eksperimento atlikimo metodiką;
3. Atlikti laivo „Mintis“ korpuso virpesių matavimus;
4. Atlikti laivo „Mintis“ virpesių analizę;
5. Pateikti rekomendacijas virpesių lygio mažinimui laive.

**Tyrimo objektas:**

Klaipėdos universiteto mokslinių tyrimų laivo „Mintis“ korpusas.

**Darbo struktūra:**

Magistro baigiamąjį darbą sudaro įvadas, du skyriai, išvados, literatūros sąrašas, santraukos lietuvių ir anglų kalbomis, 6 priedai. Darbo apimtis 54 puslapių, pateikta 5 lentelės, 50 paveikslų, 6 priedai.

**Tyrimo metodika:**

- Mokslinės literatūros analizė;
- Stebėjimas atliekant eksperimentinį tyrimą;
- Rezultatų analizavimas.

# I. LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ

## 1.1. Laivo mechaniniai virpesiai

Mechaniniai virpesiai – tai kietojo kūno pasikartojantys judesiai apie pusiausvyros padėtį.

Virpesiai turi keletą klasifikavimo būdų. Pagal atsiradimo būdą virpesiai skirstomi į:

- laisvuosius virpesius – kai kūnas po pradinio trikdžio lieka vibruoti „ant savęs“. Jokios išorinės jėgos neveikia sistemos. Paprasti švytuoklės judesiai gali būti kaip pavyzdys laisvųjų virpesių.

- priverstinius virpesius. Jie dažniausiai susidaro, kai kūnas yra veikiamas pasikartojančio tipo išorinių jėgų. Kai išorinės jėgos dažnis sutampa su vienu iš natūralių kūno dažnių, tuo metu įvyksta vadinamasis rezonansas ir sistema patiria pavojingai didelius virpesius. Rezonansai – tai kasdieniai reiškiniai, kurie skirstomi į naudingus ir žalingus. Naudingi gali būti tada, kai reikia padidinti koncentruotos energijos kiekį ir svyravimų amplitudę. Kai dėl virpesių sutapimo rezonansas gadina konstrukcijas ar mechanizmus, tuomet jis vadinamas nenaudingu. Siekdami išvengti pavojingų rezonanso padarinių, konstruktoriai iš anksto apskaičiuoja sistemų bei atskirų įrenginių savąjį dažnį.

Pagal dažnį virpesiai skirstomi:

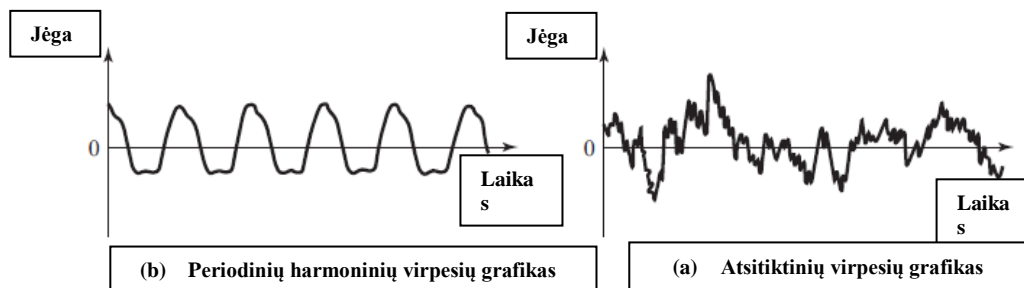
- labai žemo dažnio virpesiai 0-2 Hz;
- žemo dažnio virpesiai 2-20 Hz;
- aukšto dažnio virpesiai - virš 20 Hz.

Nustatyta, kad labiausiai laivo korpusas pažeidžiamas deformacijų ir įtempių, kuriuos sukelia žemo dažnio virpesiai. Žemo dažnio virpesiai sukelia ir didžiausią diskomfortą įgulai.

Virpesių skirstymas pagal periodiškumą:

- pastovus mažiausias laiko tarpas  $\tau$ , kuriam praėjus virpesių  $u(t)$  vertės kartojasi, vadinamas virpesių periodu, o tokią savybę turintys virpesiai – periodiniais. Periodiniai virpesiai dar skirstomi į harmoninius (1.1.1 (a) pav.) ir poliharmoninius virpesius. Vienas iš periodinių virpesių pavyzdžių laive - tai sraigto menčių žadinami virpesiai, kai yra sužalota viena jo menčių.

- neperiodiniai virpesiai – yra tokie virpesiai, kurių ekstreminės vertės laikui bėgant lieka tos pačios eilės dydžiai, bet jiems negalima rasti tenkinančio lygybę baigtinio nenulinio laiko intervalo  $t$ . (1.1.1 (b) pav.).



1.1.1 pav. (a) periodinių harmoninių ir (b) atsitiktinių virpesių grafikas

Taip pat virpesiai dar gali būti skirstomi į:

- neslopinamuosius virpesius – kai trinties ar kito pasipriešinimo virpesių metu neprarandama energijos arba ji nėra slopinama.
- slopinamuosius virpesius – jei bet kokia energija trinties ar kito pasipriešinimo virpesių metu yra prarandama (Rao S. S., 2011).

Laivuose ir už laivo ribų yra nemažai mechaninių virpesių žadintojų:

- sraigtas - jam sukantis atsiranda kintamas vandens slėgimo laukas, kuris vibruoja laivo apkalą ir rėmines konstrukcijas laivugalyje. Nuo laivugalio virpesiai per gretutines konstrukcijas sklinda per visą laivą ir laivas vibruoja kaip tuščiaavidurė sija;
- pagrindiniai ir pagalbinių vidaus degimo varikliai;
- išcentriniai siurbliai, centrifugos, ventiliatoriai, orapūtės, mechaninės pavaros bei kitos technologinės mašinos;
- bangos (bangų smūgiai į laivo korpusą) ir vėjas - po kiekvienos bangos smūgio į laivo korpusą, korpusas suvibruoja savaisiais virpesiais ir užgęsta. Kiekvieną kartą bangai smūgiuojant, šie virpesiai pasikartoja.

Mechaniniai virpesiai laivuose sukelia periodinius įvairių laivo elementų įtempimus, per kuriuos pasireiškia nuovargio defektai - įtrūksta laivo korpusai, vamzdynai, sugadinamos laivo mašinos (Mažeika P., 2011).

Šiuolaikinės mechaninių virpesių matavimo ir analizės technologijos naudoja penkis virpesių parametrus:

1. Amplitudė ( $x$ ) – didžiausias vibruojančio kūno poslinkis iš jo pusiausvyros padėties. Amplitudė išreiškiama mašinos elemento virpesių poslinkiu  $S_p$  (matuojamas mm arba  $\mu\text{m}$ ), virpesių greičiu  $vp$  (matuojamas mm/s), virpesių pagreičiu  $ap$  (matuojamas  $\text{m/s}^2$ ) (Rao S. S., 2011).

2. Dažnis ( $f$ ) – pilnų virpesių ciklų skaičius per vieną sekundę, kuris matuojamas Hz. Dažnis apskaičiuojamas padalinus pasikartojančių įvykių skaičių per laiko ( $n$ ) tarpą iš skaičiuojamo laiko tarpo arba periodo ( $T$ ).

3. Fazė ( $\phi$ ) - nusako laiko intervalą tarp dviejų skirtingų signalų. Fazės gali būti dviejų tipų: santykinė (laiko intervalas arba rotoriaus pasisukimo kampas, išmatuotas tarp dviejų gretimų virpesių signalų bendravardžių taškų) ir absoliučioji fazė (laiko intervalas arba rotoriaus pasisukimo kampas, per kurį velenas pasisuka šiuo kampu, išmatuotas nuo fazės signalo pradžios iki pirmo virpesių amplitudės maksimumo). Abi fazės yra dažnai naudojamos ir jos abi taikomos atitinkamiems specifiniams virpesių tyrimams (Mažeika P., 2011).

4. Veleno virpesių poslinkių orbita.

5. Veleno kakliuko vidutinis poslinkis.

Virpesių duomenų formatais vadinama koncentruota virpesių matavimo rezultatų ir jų analizės duomenų pateikimo forma. Atliekant mašinos, dirbančios stacionariame darbo režime, virpesių monitoringą ir defektų diagnostiką, naudojami šie virpesių duomenų formatai:

1. Virpesių signalo ir laiko grafikai - tai virpesių poslinkių  $s(t)$ , virpesių greičių  $v(t)$  ir virpesių pagreičių  $a(t)$  grafikai koordinačių sistemoje, kuomet virpesių signalas atidedamas ordinačių ašyje, o laikas abscisių ašyje.

2. Virpesių amplitudžių ir fazių grafikai laiko koordinatėje parodo kaip šie parametrai kinta tam tikrame laiko intervale. Matavimo laiko intervalas priklauso nuo mašinos tipo ir jos techninės būklės.

3. Virpesių spektras - naudojant kompiuterizuotus virpesių spektro analizatorius, poliharmoniųjų virpesių signalas yra išskaidomas į harmonikas. Harmonikos – tai sinusinės formos virpesiai. Transformuojant šiuos sinusinės formos ir skirtingų virpesių dažnių signalus iš laiko koordinatės į dažnių, gaunamas virpesių spektras. T. y. gaunama virpesių poslinkio  $s$ , greičio  $v$  ir pagreičio  $a$  spektrograma (Barzdaitis V. ir kt., 1998).

## 1.2. Virpesių skaičiavimo metodų apžvalga

Virpesių klasifikavimas pagal dažnius (aukšto ir žemo) atitinka ir sprendimo metodų skirstymą. Paprastai pagal klasifikavimą į aukšto ir žemo dažnio virpesius kaip metodas skaičiuoti naudojama statistinė energijos analizė, o žemo dažnio virpesiams – baigtinių elementų metodas. Taip pat galimi ir mišrūs metodai siekiant panaikinti skaičiuojamų dažnių ribas (Žiliukas P. ir kt., 2008).

Baigtinių elementų metodas (BEM) – skaitinis metodas, leidžiantis rasti apytikslus diferencialinių lygčių dalinėmis išvestinėmis ar integralinių lygčių sprendinius. Metodo esmė - sritis, kurioje ieškomas sprendimas, suskaidoma į dalis (baigtinius elementus). Tada daroma prielaida, kad kiekviename elemente nagrinėjamas nežinomasis kinta nesudėtingu dėsnio ir

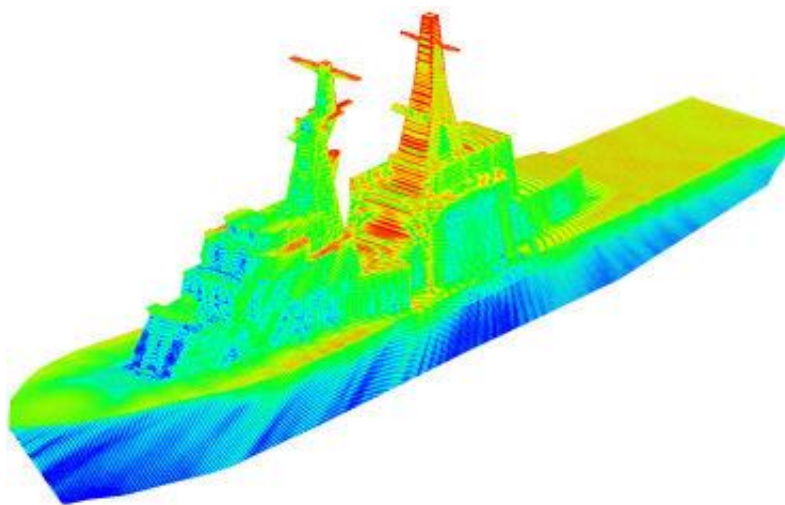
diferencialinė lygtis jame pakeičiama į algebrinių lygčių sistemą. Sujungus visų elementų sistemas gaunama sistema, kurią išsprendus gaunamas atsakymas.

Projektuojant mašinų elementus, pastatus, statinius, automobilių, laivų ir lėktuvų korpusus ir kt. sprendžiami įvairūs mechanikos uždaviniai.

BEM galima spręsti šiuos mechanikos uždavinius:

- Statikos uždavinys – įtempių ir deformacijų būvio nustatymas tampriai arba plastiškai deformuotuose kūnuose;
- Modalinis uždavinys – mechaninės sistemos savųjų dažnių ir savųjų formų nustatymas;
- Dinamikos uždavinys – mechaninės sistemos elgsena veikiant harmoninėms apkrovoms esant pereinamajam arba nusistovėjusiam režimui;
- Stabilumo uždavinys – kritinės apkrovos stabilumą praradusio mechaninės sistemos formos nustatymas;
- Kontaktuojančių kūnų uždavinys – įtempių ir deformacijų būvio nustatymas kūnų kontakto vietose;
- Nuovargio uždavinys – mechaninės sistemos ilgaamžiškumo nustatymas veikiant ciklinėms apkrovoms.

Sparčiai vystantis kompiuterinėms technologijoms galima daug greičiau atlikti viso laivo virpesių analizę. Trimatis baigtinių elementų metodas (FEM – finite element method) – tai vienas iš pagrindinių būdų nustatyti laivo virpesių charakteristikas (1.2.1. pav.). Pasinaudojus jomis galima apskaičiuoti viso laivo ir atskirų jo elementų rezonansinių dažnių pikus bei suprojektuoti nerezonuojantį laivą dirbant varikliams bei kitiems elementams.



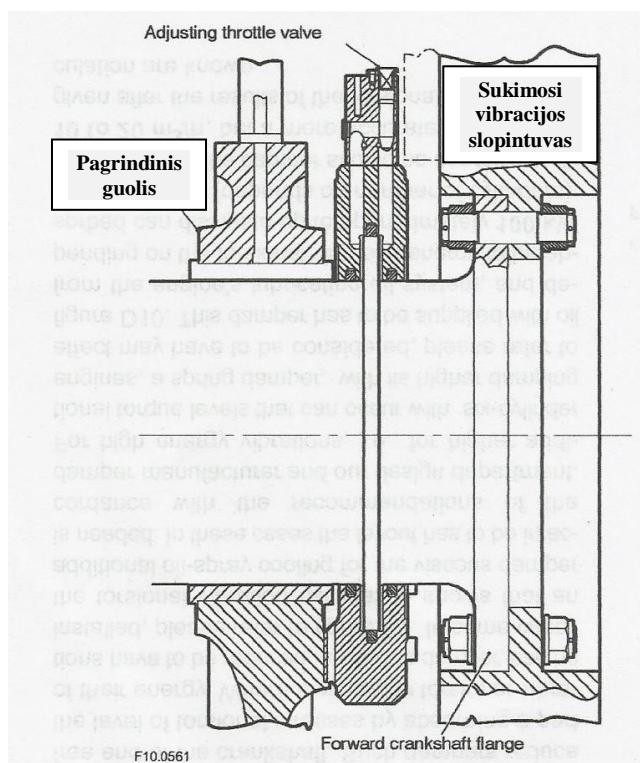
1.2.1 pav. Hidroelastinės vibracijos analizė baigtinių elementų metodu, kompiuterizuotu būdu  
([www.feko.info](http://www.feko.info))

### 1.3. Virpesių mažinimo būdai

Natūraliai vibracijos visuomet pasireiškia jūrinėse mašinose, tačiau poveikis gali būti pavojingas, kai vibracijos dažnis pasiekia aukštą lygį. Tai atsitinka, kai savasis vibracijos dažnis iš išorinio šaltinio susijungia su variklio vibracija arba kai yra kintamos variklio jėgos, kurios sukuria 1 ir 2 eilės judesius viduje. Toks poveikis gali sukelti didelę žalą laivo variklių viduje judančioms dalims, taip pat skatina įtrūkimų atsiradimą, varžtų atsipalaidavimą ir žalą guoliams.

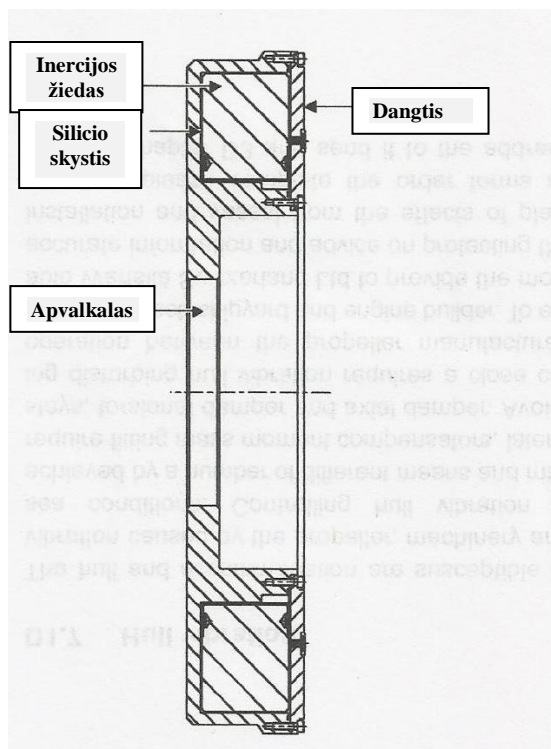
Galimi virpesių mažinimo būdai yra šie:

- Slopintuvų naudojimas. Kaip rodo pavadinimas slopintuvai yra naudojami tam, kad slopintų arba sumažintų mašinos komponentų sukeliančius virpesius sugeriant dalį energijos, išsiskiriančios vibracijos metu. Ašinis slopintuvas ( 1.3.1 pav.) įrengtas ant variklio tam, kad slopintų alkūninio veleno sukeliančias ašines vibracijas, t.y. virpesių einančių kryptimis iš veleno priekio ir galo lygiagrečiai veleno horizontalios linijos. Jis susideda iš amortizuojančio flanšo, kuris integruotas su alkūniniu velenu ir patalpintas prie paskutinės pagrindinio guolio sijos, cilindrinio korpuso viduje. Apvalkalas yra pripildytas aliejaus iš abiejų flanšo pusių, kuris paduodamas per mažą antgalį. Šis aliejus suteikia slopinantį poveikį. Kai alkūninis velenas vibruoja ašine kryptimi, aliejus cirkuliuoja korpuso viduje per vožtuvą patekdamas iš vienos flanšo pusės į kitą ir taip suteikia slopinimo efektą. Apvalkale yra įdiegta aukštos temperatūros ir slėgio pavojaus aliarmas, kuris yra ant abiejų slopinimo flanšo pusių.



1.3.1 pav. Ašinis slopintuvas (www.marineinsight.com)

Sukimosi slopintuvai (1.3.2 pav.) tai alkūninio veleno sukimosi reiškinys, kuris išplinta iš vieno galo į kitą dėl nelygių sukimosi impulsų iš skirtingų stūmoklio vienetų. Labiausiai žinomi tokio tipo laivų variklio sukimosi slopintuvai yra klampaus tipo slopintuvai, kurie pripildyti plonu sluoksniu labai klampaus skysčio tokio kaip silicio. Kai alkūninis velenas sukasi, inercijos žiedas yra linkęs judėti radialine kryptimi, bet priešingas efektas užtikrinamas naudojant silicio skystį, taip slopinant vibraciją ([www.marineinsight.com](http://www.marineinsight.com)).



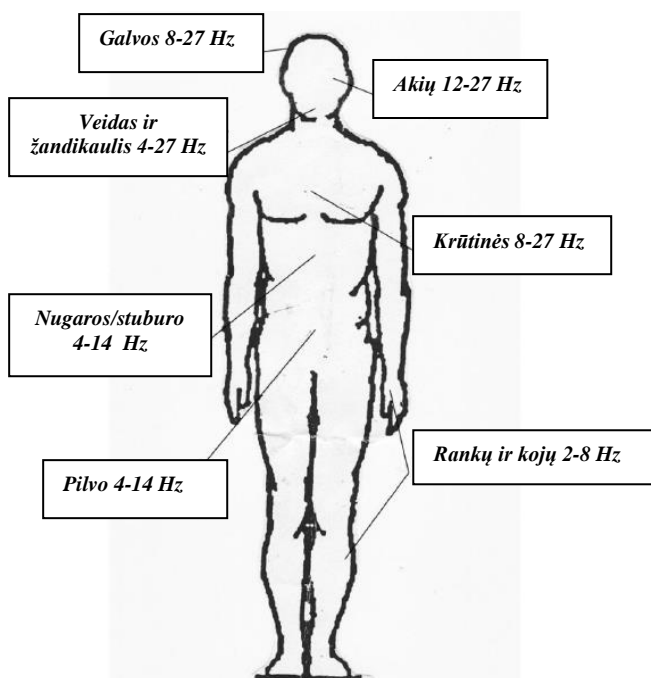
1.3.2 pav. Sukimosi slopintuvas

- Virpesių šaltinio galingumo sumažinimas - pakeičiant mašinų, agregatų, įrenginių konstrukcinius elementus, kurie yra virpesių šaltinis, pavyzdžiui kalimo ir štapavimo procesus pakeičiant presavimu, smūginį lyginimą - valcavimu ir pan. Konstruojant mašinas ir mechanizmus reikia siekti, kad judančios detalės ir mazgai veiktų be smūginių impulsų, judančios detalės būtų aptakios ir subalansuotos, krumpliaračiai būtų tiksliau apdirbti ir gerai suderintos jų poros.

Virpesių mažinimui labai svarbu, kad nesusidarytų virpesių rezonanso sąlygos, t.y., kad atskirų mazgų ar agregato savųjų virpesių dažniai nesutaptų su žadinimo jėgos dažniais. Tam mašinos ar agregatai yra statomi ant daug didesnės masės pamato.

- Naudoti asmenines apsaugos priemones. Vibracija, kavitacija ir triukšmas yra tarpusavyje susiję reiškiniai. Jūrų architektai ir inžinieriai praleidžia daug laiko bandydami sumažinti ir panaikinti šiuos žalingus veiksnius. Tačiau iki dabar pat, sprendžiant šias problemas, nėra galutinio sprendimo kaip visiškai panaikinti nepageidaujamas vibracijas ir kitus reiškinius.

Žmogui ypač kenksmingi yra virpesiai, kurių dažnis artimas kūno dalių savajam dažniui (www.marineinsight.com).



1.3.3 pav. Žmogaus kūno dalių savieji virpesių dažniai (Mažeika P., 2011)

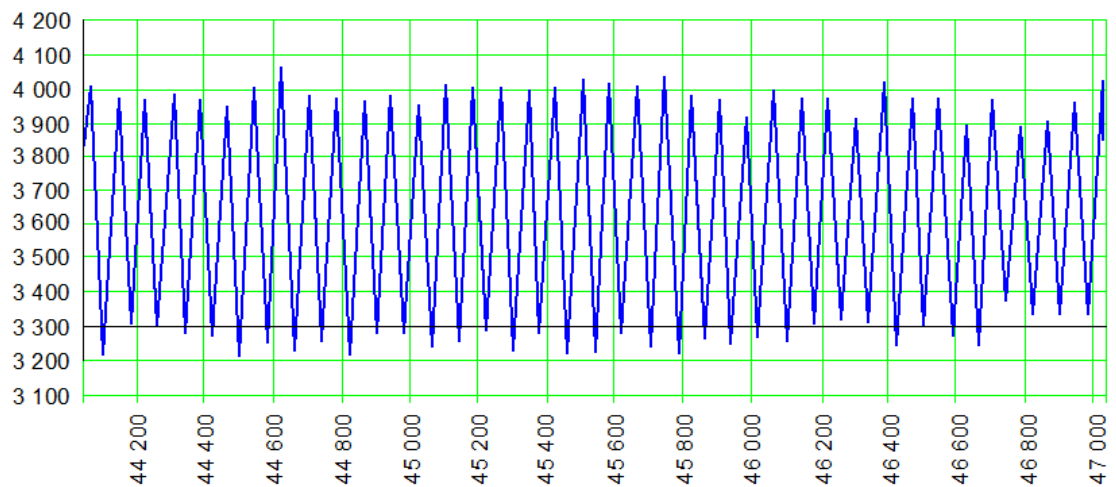
## 1.4. Mokslinių straipsnių analizė

E. Egusquiza et al. (2008), straipsnyje „Katamarano tipo laivo virpesių tyrimas ir diagnostika“ analizavo laivo vandens įsiurbimo ir išleidimo kanalų įtrūkimo priežastis. Straipsnyje aprašomas laivo virpesių tyrimas, siekiant nustatyti ar virpesių lygis galėjo turėti įtakos įtrūkimų atsiradimui. Eksperimento metu buvo matuojami virpesių lygiai laivui dirbant skirtingais darbo režimais: 500 aps./min; 1000 aps./min; 1200 aps./min; 1500 aps./min ir 2000 aps./min. Matavimo vietos laive buvo parinktos prie virpesius žadinačių šaltinių kaip varikliai, veleno linija ir kt. Atlikus laivo virpesių matavimus buvo pastebėta, kad virpesių lygio padidėjimas buvo užfiksuotas 30-60 Hz intervale, o pakartotinį rezonansą užfiksavo prie 100 Hz dažnio. Didžiausias virpesių lygis buvo fiksuojamas veleno linijoje, vandens įsiurbimo kanale bei siurblio veleno guolyje. Išanalizavus matavimų duomenis gauti rezultatai leidžia teigti, kad virpesių lygis galėjo pakenkti kai kurių laivo detalių struktūrai. Šio straipsnio tiriamas laivas pateiktas 1.4.1 pav. (E.Egusquiza et al., 2008).



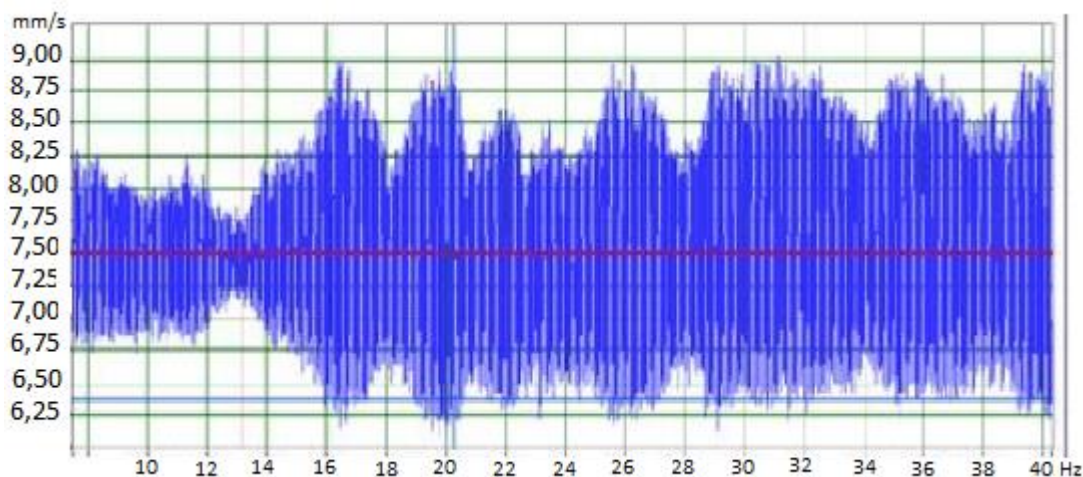
1.4.1 pav. Tirtas katamarano tipo laivas

Ante Šestan et al. (2014) straipsnyje „Neįprastas virpesių rezonanso atvejis laive“ nagrinėja katamarano tipo laivo virpesių lygio padidėjimą laivui dirbant skirtingais darbo režimais. Straipsnyje aprašoma, kad laivui dirbant 700 aps./min. ir mažesnėmis apsuksomis bei 1100 aps./min. yra jaučiamas didžiausias vibracijos lygis. Laive buvo pastebėta, kad veleno linija įrengta nesklandžiai, dėl to atsirado didelis guolių laisvumas bei laivui dirbant buvo pastebimas alyvos kiekio kitimas. Straipsnio autoriai apžvelgia 3 eksperimentinius bandymus (A;B;C), kurie buvo atlikti Brodarsko institute Kroatijoje. A eksperimento metu buvo matuojami laivo virpesiai laivui stovint uoste, kai pagrindinis variklis dirba. Virpesių lygis buvo matuojamas keičiant variklio apsukas kas 100 aps./min., nuo 700aps./min. iki 1700 aps./min. Matavimo metu veleno linija buvo atjungta, o pagalbinis variklis veikė su pertraukomis. Gautas virpesių spektras pateikiamas 1.4.2 pav.



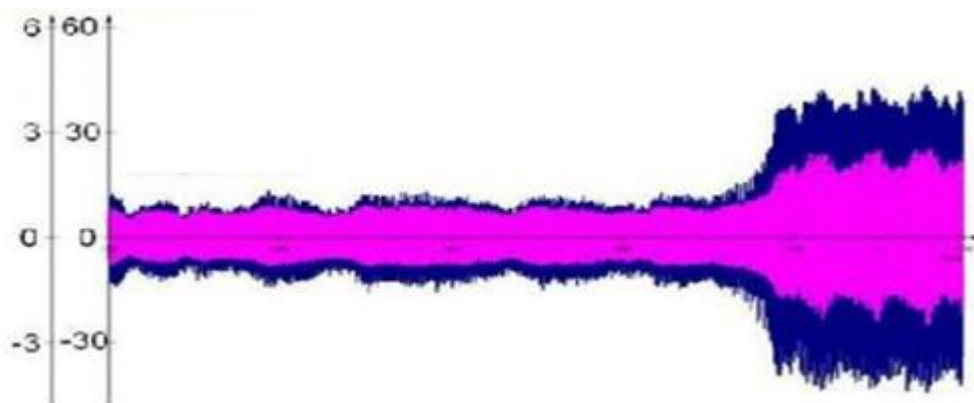
1.4.2 pav. A eksperimento metu gautas virpesių spektras

B eksperimento metu matavimai buvo atliekami prie įprastų laivo darbo režimų, kai laivas plaukia numatytu maršrutu. Šio eksperimento metu gauti rezultatai pateikti 1.4.3 pav.



1.4.3 pav. B eksperimento metu gautas virpesių spektras

Eksperimentas C buvo atliekamas iškart po B metodo gautų virpesių. Duomenų spektras pateikiamas 1.4.4 pav. Virpesiai matuojami šiuo metodu, kai variklis yra išjungiamas ir vėl įjungiamas, kad sugrįžtų į pradinį darbo režimą ir tuo momentu įvyksta rezonansas bei šiuo matavimo metu stebimas alyvos kiekio kitimas.



1.4.4 pav. C eksperimento metu gautas virpesių spektras

Atlikus visus bandymus Ante Šestan kartu su kitais mokslininkais (2014), padarė išvadą, kad virpesių atsiradimo priežastis yra alyvos kiekio kitimas, kuris sukėlė sistemos veikimo trukdžius, o to pasėkoje jie sužadino virpesių rezonansus (Ante Šestan et al., 2014).

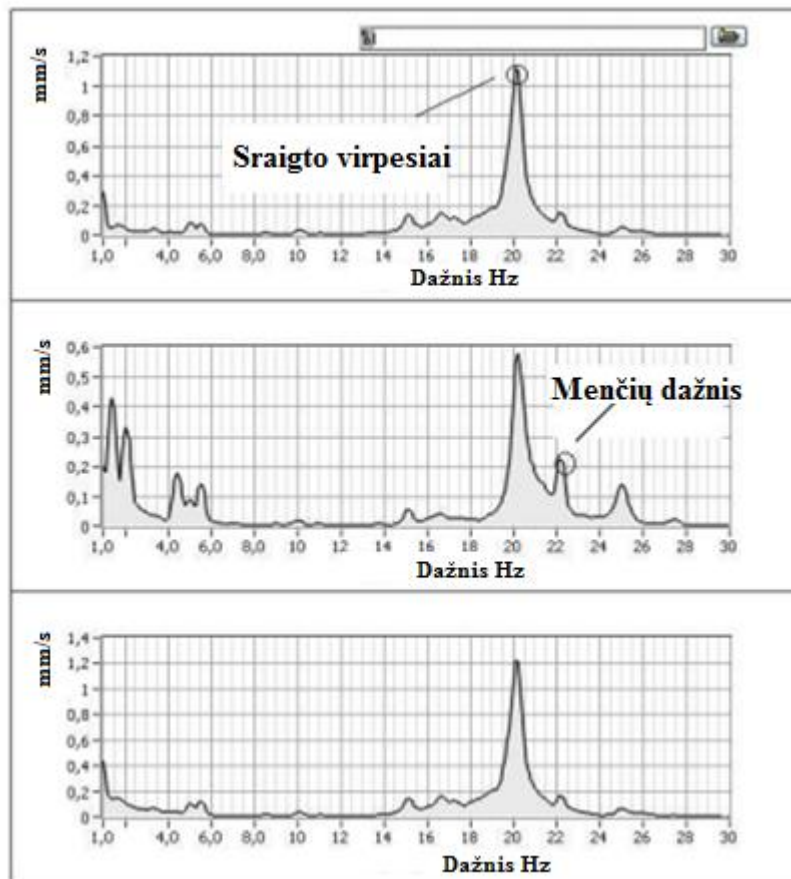
Luiz António Vaz Pinto et al. (2007) straipsnyje „Laivo konstrukcijos virpesių analizė baigtinių elementų metodu“ nagrinėja laivo konstrukcijos vibracijos lygius iš gautų duomenų eksperimentinių matavimų metu. Taip pat straipsnyje aptariama, kad laivui plaukiant pakrautam sunkaus krovinio ir plaukiant sekliuose vandenyse jaučiamas vibracijos padidėjimas laivo galinėje

dalyje. Vibracijos lygis buvo toks didelis, kad nuo vibracijos reiso metu, kai laivo varikliai dirbo 1650 aps./min, sudužo navigacijos lempa. Siekiant nustatyti virpesių šaltinį buvo atlikti 3 matavimai. Pirmas matavimas buvo atliktas matuojant sraigto veleno liniją ir gautus rezultatus lyginant su toleruojamomis reikšmėmis. Antras matavimų etapas buvo atliktas matuojant variklio pagrindo, gyvenamųjų patalpų grindų bei vairinės virpesių lygius. Virpesių lygio matavimas vairinėje pateikiamas 1.4.5 pav.

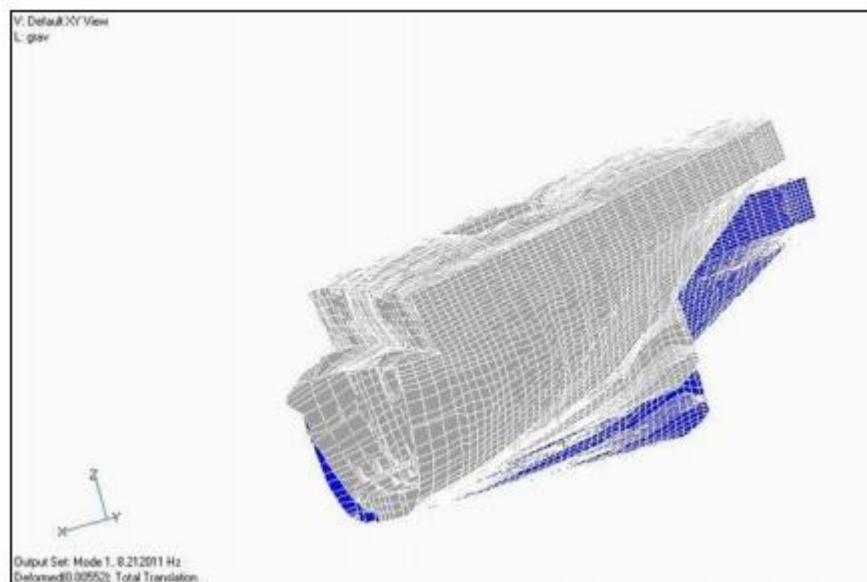


1.4.5 pav. Virpesių matavimas vairinėje

Gauti duomenys parodė, kad virpesių lygiai yra labai artimi sraigto menčių žadinamam virpesių lygiui. Taip pat buvo atlikti ir pačios vairinės savųjų virpesių matavimai (gauti rezultatai pateikiami 1.4.6 pav.) Trečias matavimo ciklas buvo atliktas, kai laivas plaukė sekliu kanalu. Tuo metu buvo jaučiamas didžiausias vibracijos lygis, bei buvo pastebėta, kad įsijungus trečiam varikliui virpesių lygis sumažėja, o kai laivas iš seklios vietos išplaukia į gilesnę (gylis padidėja beveik 6 kartus) - vibracija beveik visiškai išnyksta. Tolimesniam tyrimui buvo atliktas šio laivo baigtinių elementų modeliavimas. Su programa buvo sukurtas laivo galas ir atlika analizė kaip laivą veikia vibracija. Sudarytas modelis pateikiamas 1.4.7 pav.



1.4.6 pav. Matavimo metu gauti virpesių spektrai



1.4.7 pav. Laivo modelis baigtinių elementų metodu

Prieš atliekant eksperimentinius bandymus buvo manoma, kad vibracijos šaltiniai gali būti: laivo variklis, sraigto kavitacijos. Bet eksperimentinių bandymų eigoje šie reiškiniai buvo atmesti. Nustatyta, kad virpesių šaltiniai yra sraigto veleno sukimosi momento kitimas dėl netaisyklingo vandens srauto aplink mentis, jėgos ir momentai iš variklio ir netolygus svorių pasiskirstymas

sistemoje. Visi virpesių sužadavimo dažniai buvo lygūs sraigto apsisukimams padauginiems iš sraigto menčių skaičiaus ir šių dažnių kartotiniams. Dėl šių aplinkybių įvykdavo virpesių rezonansas ir buvo jaučiama didelė vibracija laive (Luiz António Vaz Pinto et al., 2007).

Straipsnyje „Laivo varomosios įrangos virpesių analizė“ (Brion F., 2015) aprašoma laivo varomosios sistemos virpesių tyrimas. Laive buvo pastebėta, kad dirbant abiem pagrindiniams varikliams, kurie yra vienoje linijoje bei sujungti tarpusavyje su greičių dėže, yra padidėjęs triukšmo ir virpesių lygis. O atjungus variklius nuo greičių dėžės triukšmas ir virpesių lygis dingdavo, todėl buvo nuspręsta atlikti virpesių tyrimą, siekiant išvengti galimų gedimų plaukiant jūroje. Virpesių matavimams buvo pasirinkta CSI 2130 A2 matavimo aparatūra. Laivo sraigto sukimosi greitis siekė 180 aps./min. Atlikus eksperimentinius matavimus buvo nustatyta, kad virpesių atsiradimas negalėjo būti dėl guolių susidėvėjimo ar generatorių žadinamų virpesių. Analizuojant duomenis pastebėta, kad visuose matavimuose užfiksuoti 59,90 Hz dažnio virpesiai bei buvo nustatyta elektros generatoriaus disbalanso žadinami virpesių lygiai. Buvo manoma, kad 59,90 Hz dažnį gali žadinti 3 virpesių šaltiniai:

- 1) Elektros generatorius, nes jo gaminas dažnis laive yra 60 Hz, tačiau šis virpesių šaltinis atmestas, nes jis nėra lygus 59,90 Hz dažniui.

- 2) Išorinės vibracijos, tai ventiliatorių žadinami virpesiai. Pagal ventiliatorių charakteristiką buvo parašyta, kad ventiliatorių sukimosi greitis yra 3600 aps./min. Tai reiškia, kad šie įrenginiai žadintų labai artimą dažnį (60 Hz) išmatuotiems virpesių šaltiniams, bet patikrinus ventiliatorių sukimosi greitį ir atlikus skaičiavimus buvo gauti rezultatai, kad ventiliatoriai žadina 59,38 Hz dažnį, todėl buvo atmesta tikimybė, kad virpesių šaltinis yra ventiliatoriai.

- 3) Pavarų dėžė, nes virpesių šaltinio dažnis sutapo su iš pavarų dėžės išeinančio įrengimo sukimosi greičiu.

Išanalizavus duomenis padaryta išvada, kad virpesių šaltinis yra varymo sistemos veleno linija su greičių dėže bei sraigto. Kaip rekomendacija buvo pateikta atlikti laivo varymo sistemos remontą laivo doke. Po atlikto remonto, kai buvo pakeistos tam tikros varymo sistemos detalės, buvo pastebėta, kad virpesių ir triukšmo lygis dingo. Šio tyrimo dėka pavyko išvengti didesnių gedimų ir taip sutaupyti didesnėms laivo remonto išlaidoms (Brion F., 2015).

Straipsnyje „Laivo varomosios sistemos reduktoriaus ir veleno linijos virpesių tyrimas“ (Vasylius M. ir kt., 2014) aprašomas virpesių diagnostinis tyrimas jūriniame kelte. Atliktų virpesių diagnostinių tyrimų objektas yra laivo varomosios sistemos reduktorius ir veleno linija.

Straipsnyje aprašoma ir naudota matavimų įranga. Kelto pagrindinių variklių reduktorių ir veleno linijų virpesių signalų matavimai atlikti daugiakanaliu virpesių signalų analizatoriumi OROS Mobi-Pack, panaudojant: virpesių pagreičių keitiklius – pjezoakselerometrus Wilcoxon 793 ,

virpesių poslinkių jutiklius – indukcinis Fuko srovių jutiklius EPRO PR6423, fazės ir greičio matavimo keitiklius – Optel-Thevon 152G7 .

Tiriamąjį laivo matavimai buvo atlikti laivui dirbant normaliu darbo režimu, kai variklio apkrova siekė apie 55 % viso galingumo. Reduktoriaus guolių atramų virpesių matavimai vykdėti 73 sekundes. Straipsnyje pateikiamos išmatuotos reduktoriaus guolių atramų absoliučiąjų virpesių greičių  $V_{RMS}$  kvadratinio vidurkio reikšmės, kurios palyginamos su rekomenduojamomis ISO 10816-3  $V_{RMS}$  reikšmėmis. Gauti duomenys pateikiami 1.4.1 lentelėje.

1.4.1 lentelė. Pagrindinių variklių reduktorių absoliučiąjų virpesių greičių  $V_{RMS}$  kvadratinio vidurkio reikšmės

Matavimo taškai									ISO 10816-3 standarto rekomenduojamos $V_{RMS}$ reikšmės, mm/s		
Absoliučiąjų virpesių greičių $V_{RMS}$ kvadratinio vidurkio reikšmės, mm/s											
Kairiojo variklio reduktorius									A/ B	B/ C	C/ D
PK3X	PK3Y	PK4X	PK4Y	PK5X	PK5Y	PK5Z	PK6X	PK6Y			
0,57+	0,24+	2,14+	0,72+	0,23+	0,34+	0,27+	0,18+	0,34+			
1,68	2,21	3,19	2,47	1,59	1,57	2,28	1,41	1,86	2,3	4,5	7,1
Dešiniojo variklio reduktorius											
0,56+	0,37+	0,51+	0,90+	0,23+	0,26+	0,27+	0,22+	0,3+			
1,7	2,32	1,4	2,16	1,22	1,72	2,11	1,35	1,68			

Pagal pateiktus duomenis buvo nustatyta, kad gautos reikšmės neviršija C virpesių intensyvumo srities reikšmių 4,5-7,1 mm/s, o į B virpesių intensyvumo sritį (2,3-4,5 mm/s) patenka tik kairiojo variklio reduktoriaus 4-ojo guolio atramos virpesiai ir dešiniojo 3-ojo guolio atramos virpesiai išmatuoti vertikalia kryptimi. Straipsnio autorius pateikia išvadą, kad laive yra žemas reduktorių guolių atramų virpesių intensyvumas ir leidžia toliau eksploatuoti reduktorius nepertraukiamame ilgalaikiame darbo režime (Vasylius M. ir kt., 2014).

Visuose nagrinėtuose straipsniuose pateikiama, kad labai didelis dėmesys turi būti skiriamas virpesių analizei bei virpesių mažinimo būdams. Mosliniuose straipsniuose buvo nagrinėjami įvairūs atvejai kuriuose buvo pastebėti padidėję virpesių lygiai. Iš analizuotos literatūros galima teigti, kad siekiant nustatyti problemos atsiradimo priežastis reikia atlikti laivo virpesių tyrimą laivui dirbant skirtingais darbo režimais. Straipsniuose pateikiama naudota matavimo įranga ir matavimų vietų parinkimas.

## II. TEORINIAI IR EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

### 2.1. Tyrimo objektas

Klaipėdos universiteto mokslinių tyrimų laivas „Mintis“ – tai daugiafunkcinėmis jūrinių tyrimų galimybėmis pasižymintis katamarano tipo laivas (2.1.1 pav.).



2.1.1 pav. Klaipėdos universiteto mokslinių tyrimų laivas „Mintis“ (www.vesseltracker.com)

39 metrų ilgio ir 12 m pločio laivas pastatytas 2014 m. Laivas turi pirmos klasės dinaminio pozicionavimo sistemą, kuri užtikrina tikslų laivo padėties išlaikymą esant iki 18 m/s stiprumo vėjui ir iki 3,5 m bangos aukščiui. Laive sumontuoti du pagrindiniai SCHOTTEL STP 550 varikliai (2.1.2 pav.), kurių kiekvieno galingumas siekia 700kW, taip pat du pagalbiniai STT 100 FTP, 150 kW.

STAMFORD®	
SERIAL NUMBER A13K45807	DUTY Continuous (S1)
FRAME/CORE PM734B2	EXCITATION VOLTAGE 62
BASE RATING KVA 1005	EXCITATION CURRENT 3.5
BASE RATING KW 804	INSULATION CLASS H
AMPERES(BR) 1450.6	AMBIENT TEMPERATURE 50 c
FREQUENCY 50 Hertz	TEMPERATURE RISE 90 c
RPM 1500	THERMAL CLASSIFICATION 180 c
VOLTAGE 400	ENCLOSURE IP23
PHASE 3	STATOR WINDING 312
PF 0.80	STATOR CONNECTION Star
BS 5000, PART 3 IEC 34-1 ISO 8528-3	
NEMA MG 1-32 BS EN 60034-1	
BARNACK ROAD, STAMFORD, LINGS, PE9 2NB, UK	

2.1.2 pav. Mokslinių tyrimų laivo „Mintis“ variklio techninė charakteristika

Maža grimzlė (3,00 m), didelis manevringumas ir ekonomiškumas užtikrina, kad darbai gali būti atliekami tiek atviroje jūroje, tiek pakrantėje ar uostų teritorijoje. Laivo įgula susideda iš 6 asmenų, tačiau vienu metu laive gali dirbti 12 mokslininkų ir tyrėjų.

Laive sukomplektuoti įrangos kompleksai įgalina tirti visus pagrindinius jūros aplinkos komponentus: jūros dugną, vandens stromę ir biologinius objektus (<http://apc.ku.lt>).

## 2.2. Tyrimo įrangos pasirinkimas

Mokslinių tyrimų laivo „Mintis“ virpesių matavimams buvo pasirinktas ADASH A4400 VA4 Pro virpesių signalų analizatorius (2.2.1 pav.). Tai unikalus prietaisas skirtas mechanizmų vibracijų diagnostikai. Prietaisas pasirinktas dėl šių privalumų:

- galimybė matuoti bendrą mašinos atramų absoliučiuųjų virpesių lygį išreikštą per absoliučiuųjų greičių kvadratinį vidurkių  $V_{RMS}$  reikšmes ir jas palyginti su tarptautinio ISO 10816 standarto rekomenduojamomis virpesių reikšmėmis;
- patogus rotorų balansavimo modulis;
- galimybė identifikuoti rotorų disbalansą, velenų bendraašiškumo nuokrypius ir laisvumą, guolių defektus;
- lygiagrečiai veikiantys procesoriai užtikrina spartų signalų apdorojimą.



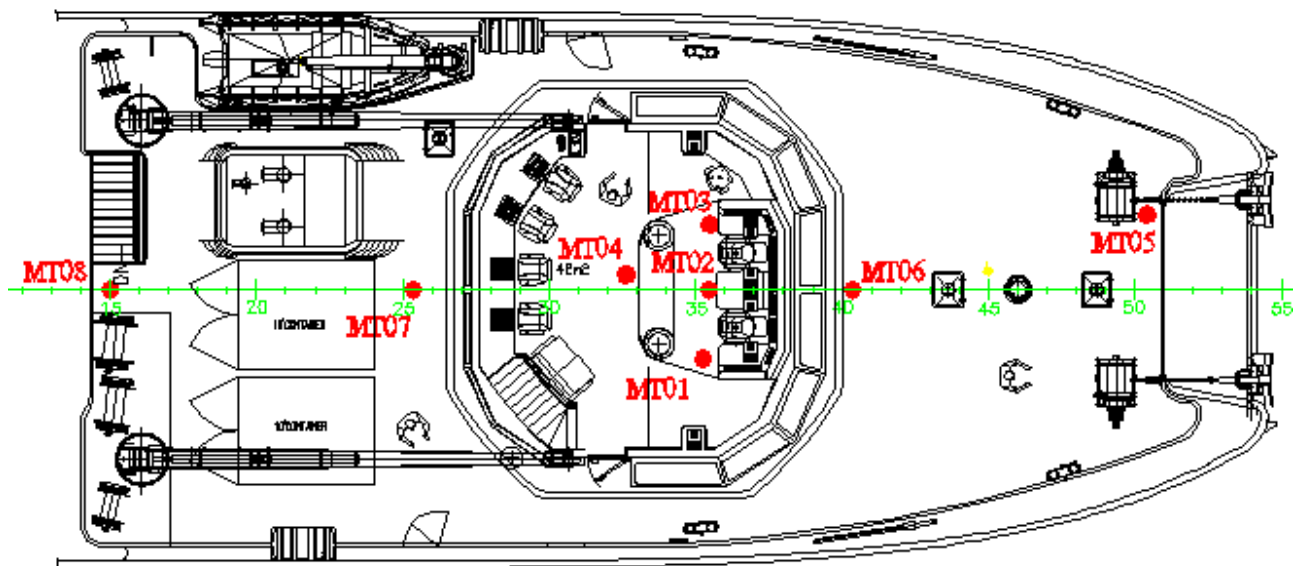
2.2.1 pav . ADASH A4400 VA4 Pro virpesių signalų analizatorius su Wilcoxon 797 jutikliu (<http://vibraspectrum.ru/>)

Iš virpesių signalų analizatoriaus į kompiuterį gautų duomenų perkėlimui naudojama programinė įranga DDS 2011 (Digital Diagnostics System). Tai sistema naudojama virpesių diagnostikos duomenų rinkimui, kaupimui, jų įvertinimui bei apdorojimui. Įprastai laivo eksploatacijos metu veikia labai daug įvairių mechanizmų, kurie žadina įvairių dažnių virpesius, t.y. aplinkos virpesių dažnių intervalas labai platus. Tam tikrose patalpose vyrauja agresyvi aplinka: aukšta temperatūra, lijuose gali būti susikaupusio vandens ar naftos produktų liekanų. Atsižvelgiant į šiuos faktorius siurblio virpesių matavimams pasirinktas pjezoakselerometrinis virpesių pagreičių jutiklis Wilcoxon 797 (2.2.1 pav.). Absoliučiujų virpesių energijai fiksuoti pasirinkti virpesių pagreičių jutikliai dėl:

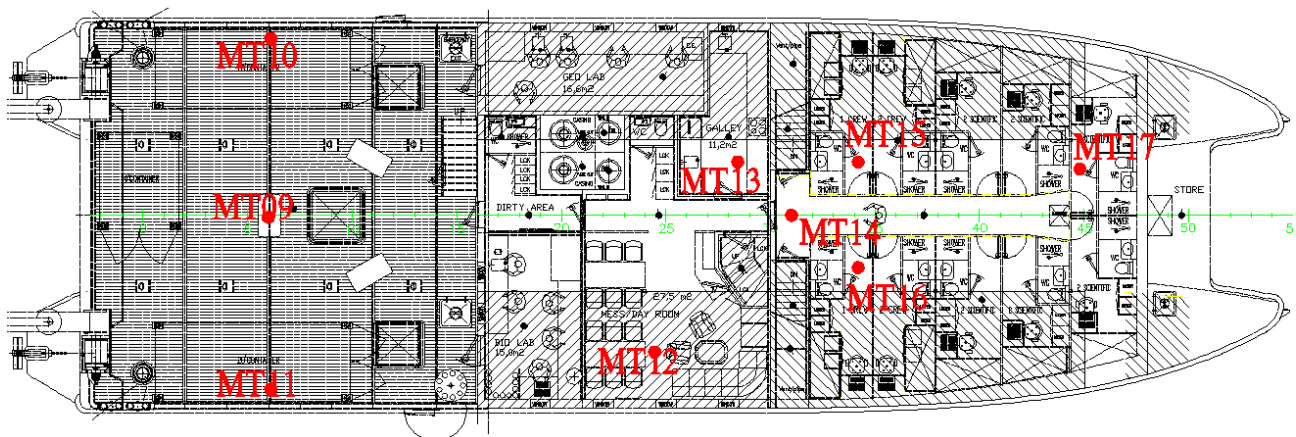
- plataus matuojamų virpesių amplitudžių intervalo;
- plataus matuojamų virpesių dažnių intervalo (1-12000 Hz);
- plataus temperatūros intervalo (nuo -50 °C iki +120 °C);
- patogaus jutiklio montavimo prie bet kurio paviršiaus;
- plataus besisukančių įrenginių (varikliai, siurbLIAI, ventilatoriai, kompresoriai, turbinos, generatoriai) vibracijų matavimo galimybių;
- maksimalios apsaugos nuo žemės kilpų ir radijo dažnių (RF) trukdžių, kadangi jutiklio elementas patalpintas į izoliuotą Faradėjaus skydą;
- didelio matavimo jautrumo;
- galimybė naudoti su virpesių signalų analizatoriumi ADASH A4400 VA4 Pro (<http://www.profess.cz>).

### **2.3. Eksperimentiniai tyrimai**

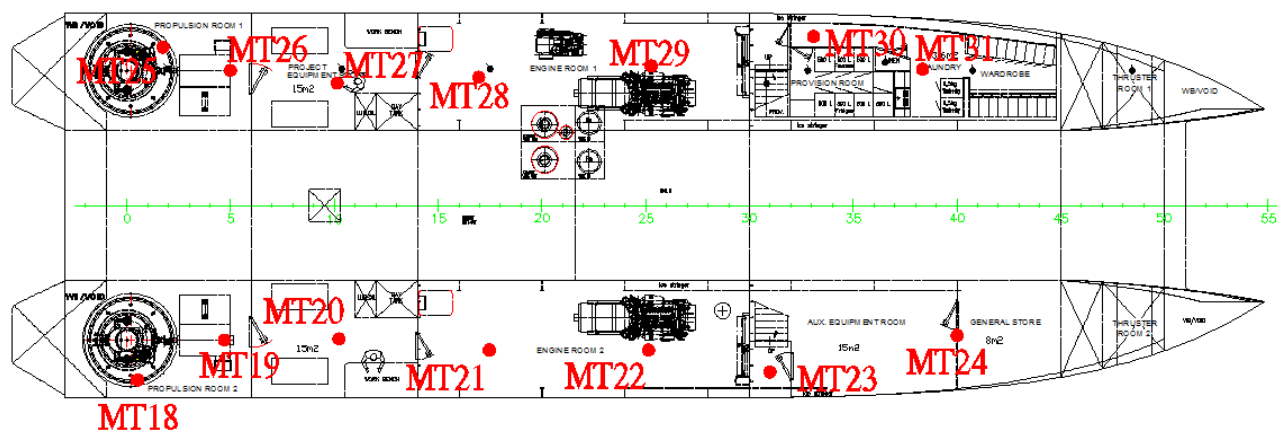
2017 m. kovo 17 dieną buvo atliktas mokslinių tyrimų laivo „Mintis“ virpesių tyrimas. Matavimai atlikti laivui plaukiant numatytu maršrutu, dirbant vienam iš dviejų pagrindinių variklių. Tyrimą buvo tikslinga atlikti, nes laivui dirbant skirtingais darbo režimais buvo jaučiamas padidėjęs virpesių lygis kapitono tiltelyje. Siekiant nustatyti ir įvertinti laivo virpesių žadinimo šaltinius bei jų lygį, virpesius matavome pagal sudarytą matavimo taškų schemą (2.3.1- 2.3.3 pav.).



2.3.1 pav. Matavimo schema kapitono tiltelyje



2.3.2 pav. Matavimo schema pagrindiniame denyje

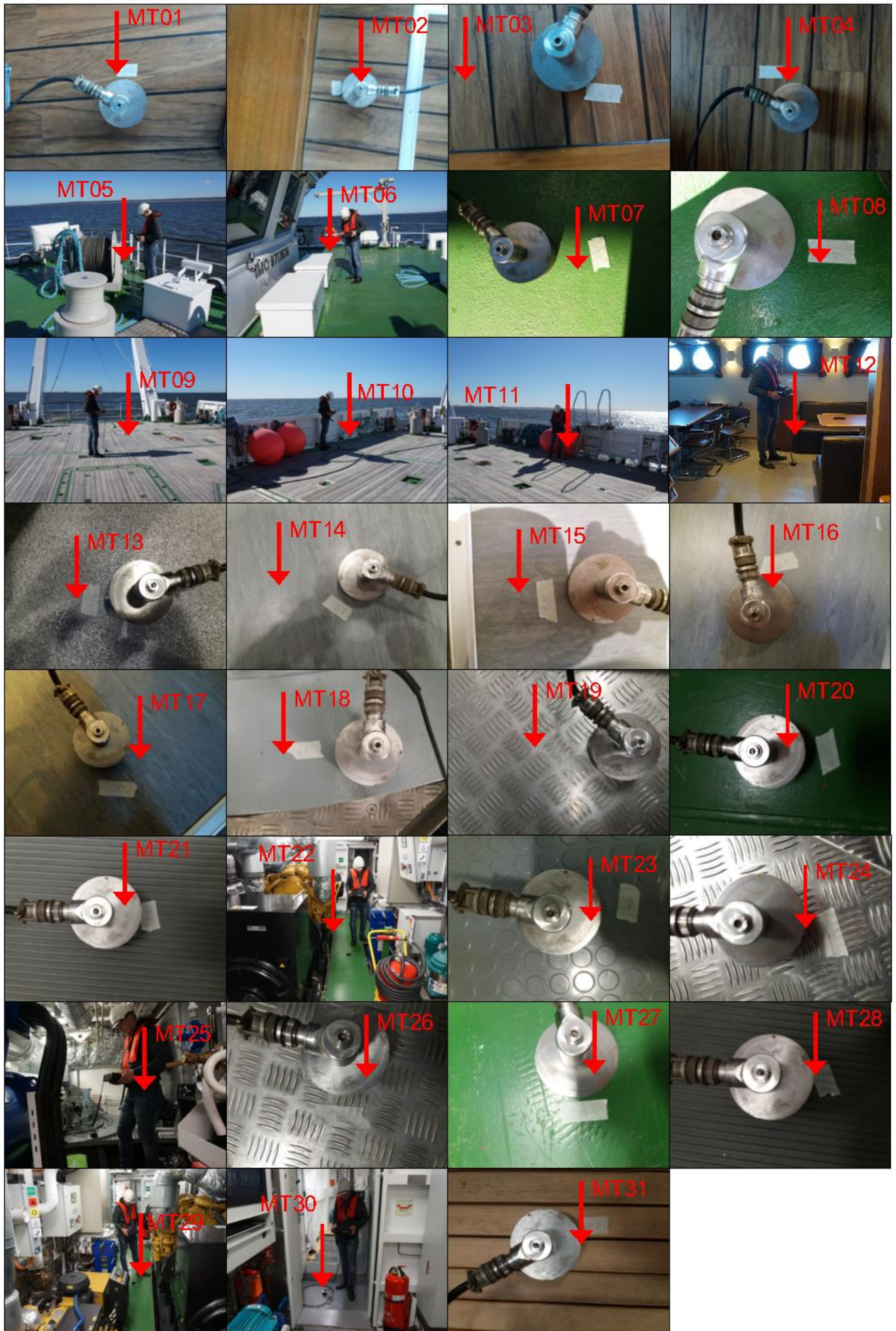


2.3.3 pav. Matavimo schema mašinų skyriuje

Schema sudaryta remiantis moksliniais straipsniais bei matavimo standartais. Matavimo taškai išdėstyti visame laive siekiant nustatyti virpesių žadinimo elementus bei iširti vietas, kuriose virpesių lygis didžiausias. Iš viso pasirinkome 31 matavimo vietą skirtinguose deniuose. Matavimo taškai ir virpesių matavimo kryptis pateikiama 2.3.4 pav. Virpesių matavimas buvo atliekamas prie skirtingų laivo darbo režimų laivui plaukiant įprastomis sąlygomis. Buvo atlikti 6 matavimai po 31 matavimo tašką laivui dirbant skirtingais darbo režimais, matuojami virpesių lygio greičiai ir pagreičiai nuo 1 Hz iki 80 Hz intervale. Siekiant gauti kuo tikslesnius matavimo duomenis, mokslinių tyrimų laive buvo sužymėtos matavimo vietos ir matavimų jutiklis dedamas į tas pačias vietas visais laivo darbo režimais. Laivo darbo režimai su sraigto sukimosi greičiais pateikti 2.3.1 lentelėje, o matavimų duomenys pateikti 2.3.2 lentelėje

2.3.1 lentelė. Laivo darbo režimai ir sraigto sukimosi greičiai

Laivo darbo režimai	Sraigto sukimosi greitis aps./min
1	295
2	130
3	150
4	200
5	250
6	280



2.3.4 pav. Matavimo taškai

2.3.2 lentelė. Gauti virpesių greičių ir pagreičių matavimo duomenys

Matavimo taškas	Pirmas laivo darbo režimas		Antras laivo darbo režimas		Trečias laivo darbo režimas		Ketvirtas laivo darbo režimas		Penktas laivo darbo režimas		Šeštas laivo darbo režimas	
	mm/s	mm/s <sup>2</sup>	mm/s	mm/s <sup>2</sup>	mm/s	mm/s <sup>2</sup>	mm/s	mm/s <sup>2</sup>	mm/s	mm/s <sup>2</sup>	mm/s	mm/s <sup>2</sup>
MT01	1,8	140	0,49	40	0,2	20	0,8	30	1,1	70	0,8	50
MT02	4,0	360	0,99	80	0,5	50	0,9	70	1,6	120	4,1	310
MT03	3,6	330	0,7	60	0,4	40	0,7	60	1,2	80	4,6	400
MT04	1,5	100	0,31	30	0,2	30	0,4	20	0,9	30	1,4	100
MT05	2,2	160	0,4	20	0,2	10	1,0	30	2,1	40	2,2	130
MT06	1,5	80	0,4	20	0,2	20	1,1	50	0,9	50	1,7	110
MT07	1,3	110	0,5	40	0,4	90	0,5	80	0,6	60	0,9	100
MT08	1,1	100	0,47	30	0,2	20	0,6	20	0,8	30	0,9	60
MT09	0,9	80	0,4	30	0,3	20	0,9	40	0,8	40	1,2	60
MT10	1,3	50	0,4	20	0,4	10	0,8	20	1,0	30	1,2	80
MT11	1,3	50	0,4	20	0,4	20	0,8	20	0,9	30	1,0	40
MT12	2,1	430	0,9	280	0,8	240	0,9	180	1,3	260	2,1	340
MT13	1,1	90	0,5	40	0,2	30	0,6	30	1,1	50	1,7	140
MT14	0,8	70	0,4	30	0,4	20	0,7	30	0,5	30	1,5	110
MT15	1,1	90	0,4	40	0,3	40	0,7	30	0,8	40	1,1	80
MT16	1,0	110	0,6	30	0,2	20	1,0	30	0,7	50	1,3	90
MT17	1,8	120	0,7	50	0,5	50	0,9	50	1,3	50	2,2	130
MT18	2,1	130	0,5	20	0,7	20	0,8	30	1,6	40	1,5	130
MT19	1,5	160	0,3	70	0,3	50	0,4	70	0,9	140	1,8	260
MT20	1,2	90	0,3	30	0,4	20	0,6	20	0,7	30	1,2	100
MT21	1,9	210	0,6	80	0,4	80	0,8	110	0,8	100	1,5	150
MT22	1,7	350	1,1	270	1,4	360	1,0	280	1,3	310	1,2	280
MT23	1,3	80	0,3	20	0,3	20	0,7	20	0,8	30	1,3	100
MT24	1,8	150	0,3	90	0,4	50	0,7	110	1,0	90	1,3	190
MT25	1,8	140	0,5	30	0,6	20	0,5	20	1,5	50	1,8	130
MT26	1,5	170	0,5	30	0,2	40	0,5	50	1,4	120	1,2	120
MT27	1,1	70	0,2	20	0,3	20	0,7	20	0,9	50	1,1	80
MT28	0,9	100	0,4	40	0,3	50	0,9	80	1,25	230	1,2	120
MT29	1,9	310	0,8	210	0,7	210	0,9	230	0,5	20	1,3	300
MT30	1,0	70	0,4	20	0,2	10	0,8	20	1,1	50	0,8	40
MT31	1,0	110	0,5	20	0,3	30	1,2	110	0,9	90	0,9	80

### 2.3.1 Variklio ir sraigto žadinamų virpesių dažnių nustatymas

Nustatome pagrindinių židinių: variklio alkūninio veleno, dujų uždegimo degimo kameroje, variklyje slystančių detalių ir sraigto, virpesių žadinimo dažnius. Todėl reikia apskaičiuoti kiekvieno režimo metu žadinamų virpesių dažnius. Pirmiausia apskaičiuojami variklio generatoriaus neišsvertų jėgų žadinami virpesių dažniai, kai plaukiama skirtingais režimais (kuomet generatoriaus apsukos yra 295 aps./min, 130 aps./min, 150 aps./min, 200 aps./min, 250 aps./min ir 280 aps./min). Pagal šiuos laivo darbo režimus apskaičiuosime ir kitus virpesių žadinimo veiksmių dažnius.

Apskaičiuojame dujų uždegimo degimo kameroje metu žadinamų virpesių dažnį:

$$f_{deg} = \frac{n_{alk} \cdot n_{cil}}{120} = \frac{1500 \cdot 12}{120} = 150,0 \text{ Hz} \quad (1)$$

čia  $f_{deg}$  – dujų uždegimo degimo kameroje metu žadinamų virpesių dažnis, Hz;

$n_{alk}$  – alkūninio veleno sukimosi greitis, aps./min;

$n_{cil}$  – cilindrų skaičius, vnt.

Apskaičiuojame variklio generatoriaus/dyzelinio variklio alkūninio veleno neišsvertų jėgų (disbalanso) žadinamus virpesius:

$$f_{gen.dis.} = \frac{N_{deg}}{60} = \frac{150}{60} = 25,0 \text{ Hz} \quad (2)$$

čia  $f_{gen.dis.}$  – generatoriaus disbalanso dažnis, Hz;

$N_{deg}$  – dujų uždegimo degimo kameroje metu žadinamų virpesių dažnis, Hz.

Apskaičiuojame variklio žadinamus  $\frac{1}{3}$  kartotinius virpesių dažnius:

$$f_{gen.kart} = f_{gen.dis} \cdot n = 25 \cdot \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \frac{3}{3}, \frac{4}{3} \dots = 8.33, 16.6, 25.0, 33.3, 41.6 \dots \text{ Hz} \quad (3)$$

čia  $f_{gen.kart.}$  – variklio kartotiniai dažniai, Hz;

$f_{gen.dis.}$  – variklio alkūninio veleno sukimosi dažnis, Hz;

$n$  – koeficientas, įvertinantis virpesių kartotinį dažnį.

Apskaičiuojame sraigto žadinamų virpesių dažnį, esant 295 aps./min:

$$f_{sr} = n_{alk} \cdot n_{men} = 4,91 \cdot 3 = 14,73 \text{ Hz} \quad (4)$$

čia  $f_{sr}$  – sraigto žadinamų virpesių dažnis, Hz;

$n_{men}$  – sraigto menčių skaičius, vnt;

$n_{alk}$  – alkūninio veleno sukimosi greitis, aps./min.

Kitais laivo darbo režimais apskaičiuotus žadinamų virpesių dažnius pateikiame

2.3.1.1 lentelėje.

2.3.1.1 lentelė. Laivo įrenginių žadinami virpesių dažniai

Elektros generatoriaus sūkiai aps./min	Elektros generatoriaus disbalanso virpesių dažniai, Hz	Elektros generatoriaus 1/3 kartotiniai virpesių dažniai, Hz	Elektros generatoriaus 2/3 kartotiniai virpesių dažniai, Hz	Elektros generatoriaus 4/3 kartotiniai virpesių dažniai, Hz	Degimo metu žadinamų virpesių dažniai, Hz	Sraigto žadinamų virpesių dažniai, Hz	Sraigto žadinamų virpesių 2x kartotiniai dažniai, Hz
295	25,00	8,33	16,67	33,33	150	14,73	29,5
130	25,00	8,33	16,67	33,33	150	6,5	13
150	25,00	8,33	16,67	33,33	150	7,5	15
200	25,00	8,33	16,67	33,33	150	10	20
250	25,00	8,33	16,67	33,33	150	12,5	25
280	25,00	8,33	16,67	33,33	150	14	28

Laivai turi atitikti įvairius standartus, ne išimtis ir virpesių lygis. Laivo virpesių lygis turi atitikti ISO 6954:2000 standartą. ISO 6954:2000 standartas - tai virpesių kriterijai įgulos ir keleivių sveikatai susiję su mechaniniais virpesiais. Todėl gauti matavimų rezultatai tiriant mokslinių tyrimų laivą „Mintis“ bus lyginami su duomenimis pateiktais 2.3.1.2 lentelėje.

2.3.1.2 lentelė. ISO 6954:2000 standarto leidžiamos reikšmės

	Vietos klasifikavimas					
	A		B		C	
	mm/s <sup>2</sup>	mm/s	mm/s <sup>2</sup>	mm/s	mm/s <sup>2</sup>	mm/s
Reikšmė, kurią viršijus jaučiamas neigiamas poveikis	143	4	214	6	286	8
Reikšmė, iki kurios nejaučiamas neigiamas poveikis	71,5	2	107	3	143	4

Vietos klasifikavimas

A: Keleivių gyvenamosios vietos;

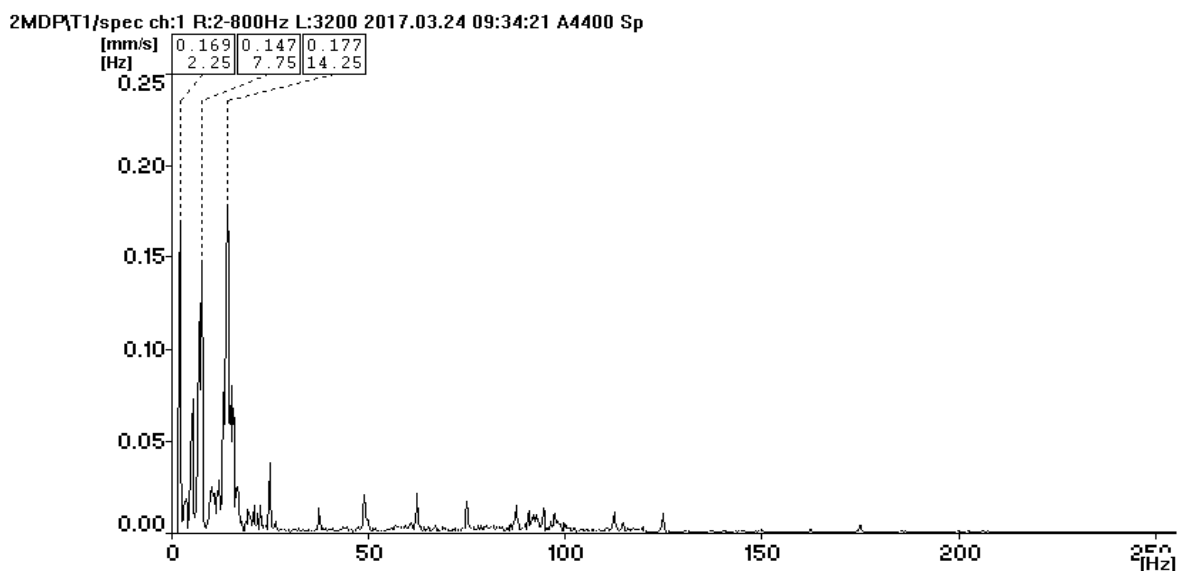
B: Įgulos gyvenamosios vietos;

C: Darbo vietos ([www.eagle.org](http://www.eagle.org)).

## 2.4 Virpesių tyrimo rezultatų analizė

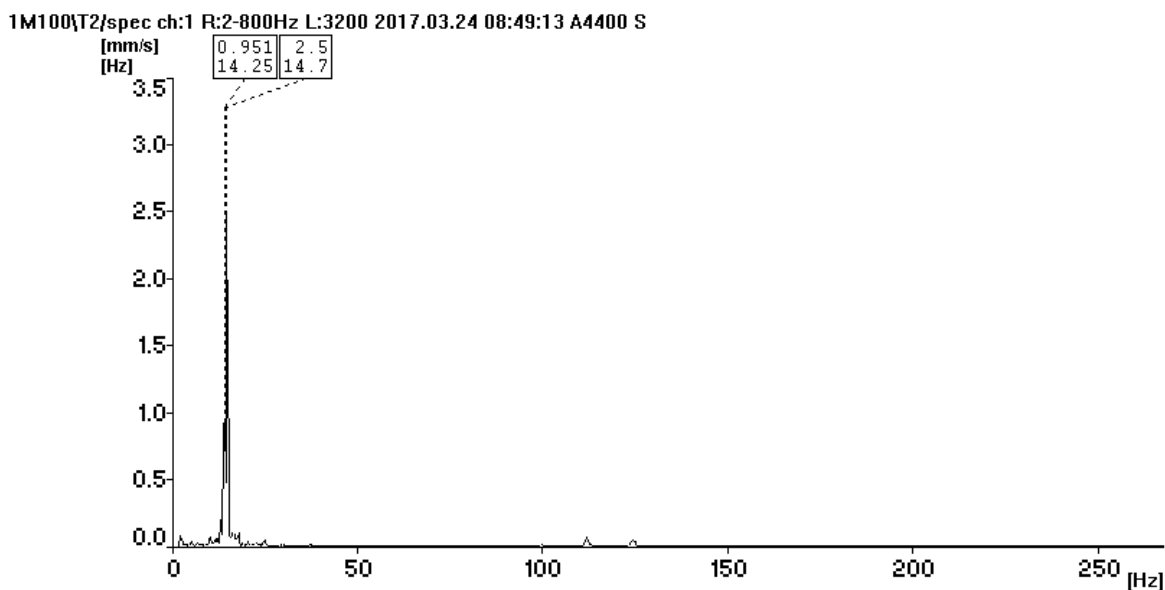
Atliekant tyrimą ir matuojant virpesių vidutinį greitį  $V_{RMS}$  pastebėta, kad esant skirtingiems laivo darbo režimams visi pirmi virpesių pikai yra prie tam tikro virpesių dažnio. Nagrinėjant virpesių spektrus ir žinant apskaičiuotus virpesių žadinimo šaltinių dažnius galime nustatyti kas sukelia virpesius matuojamoje vietoje. Išanalizavus visus duomenis esančius skirtingais laivo darbo režimais, pastebėta, kad pagrindinis virpesių šaltinis yra sraigto žadinami virpesiai. Taip pat pastebėta, kad laivui plaukiant prie didesnių apsisukimų virpesių amplitudės yra didesnės. Detaliau pateikiama visų matavimų taškų virpesių greičių spektrų analizė. Visų laivo darbo režimų virpesių greičių ir pagreičių spektrai pateikiami 1-6 prieduose.

Pagal 2.4.1 paveiksle pateiktą virpesių spektrą MT01 matavimo taške galime matyti, kad didžiausias virpesių pikas yra ties 2,25 Hz riba ir jo virpesių greitis yra 0,169 mm/s. Antras virpesių pikas yra ties 7,75 Hz/0,147mm/s, šis pikas atitinka sraigto žadinamus virpesius. Trečias pikas atitinka 14,25 Hz ribą, kai virpesių greitis siekia 0,177mm/s. Taip pat pirmo ir trečio laivo darbo režimo metu gauti duomenys yra panašūs į antro darbo režimo, o išanalizavus ketvirto, penkto ir šešto laivo darbo režimų metu gautus virpesių spektrus matome tik po vieną virpesių piką, kurio dažnis leidžia identifikuoti, kad virpesių sukėlimo šaltinis yra sraigtas. Išmatuotos virpesių pagreičio kvadratinių vidurkių reikšmės yra mažos ( $40 \text{ mm/s}^2$ ) ir neviršija ISO 6954:2000 standarte nurodytų leistinų reikšmių, kurios turėtų būtų didesnės negu  $143 \text{ mm/s}^2$ .



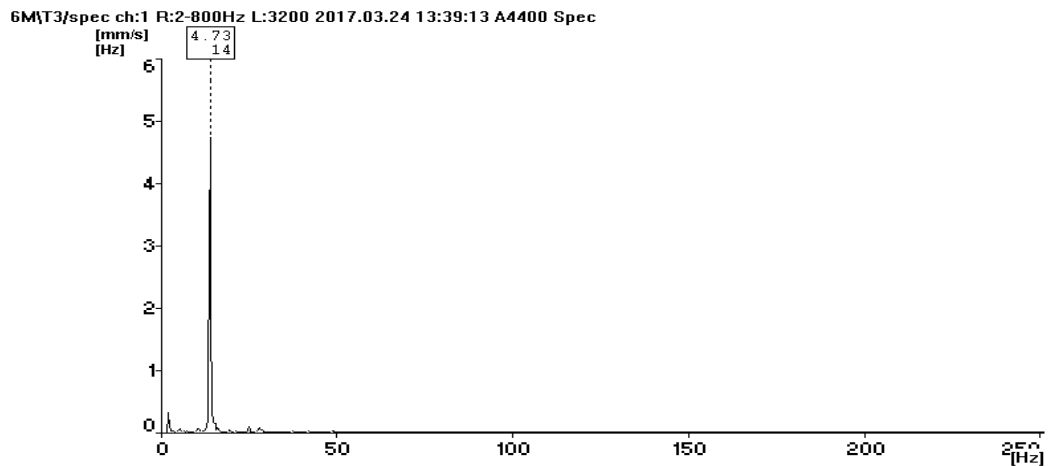
2.4.1 pav. Antro laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT01 taške (sraigto sukimosi greitis 130 aps./min)

Analizuojant MT02 matavimo taške gautus duomenis pastebima, kad tiriamajam laivui dirbant mažesnėmis apsuksomis (2 ir 3 laivo darbo režimo metu) virpesių pikų amplitudės yra mažesnės nei kitų laivo darbo režimų metu gautuose spektruose. Kitų laivo darbo režimų metu išmatuoti duomenys parodo, kad virpesių pikai yra ties sraigto žadinamų virpesių dažnių riba. Paveikslėlyje (2.4.2 pav.) pateikti duomenys gauti laivui dirbant pirmo darbo režimo metu, kur akivaizdžiai matomas sraigto virpesių šaltinis yra 14,7 Hz dažnio ir šio dažnio virpesių greičio amplitudė siekia 2,5 mm/s. Šis virpesių lygis yra didžiausias užfiksuotas šiame matavimų taške.



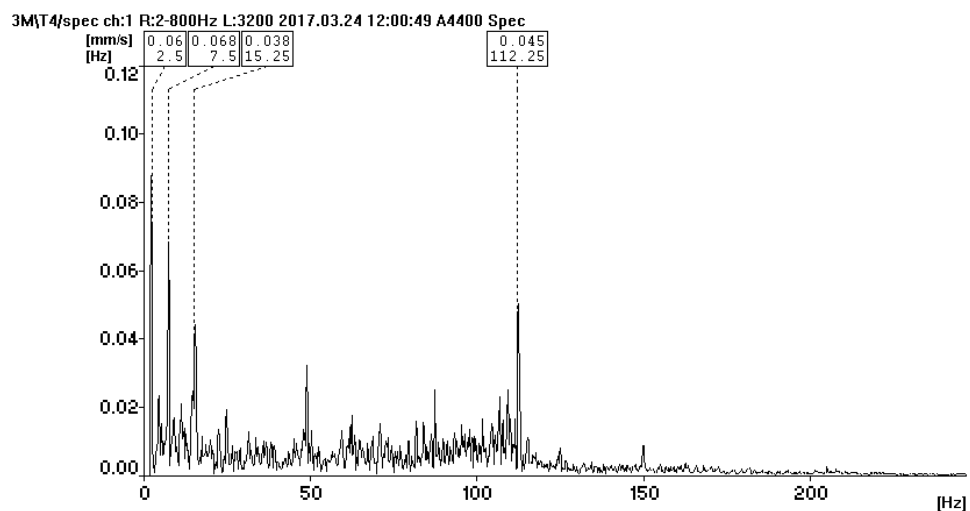
2.4.2 pav. Pirmolaivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT02 taške (sraigto sukimosi greitis 295aps./min)

Išanalizavus visų laivo darbo režimų metu gautus duomenis taške MT03 galima identifikuoti, kad virpesių šaltiniai prie skirtingų laivo darbo režimų yra sraigto žadinami virpesiai. Pagal 2.4.3 paveikslėlį galime identifikuoti, kad virpesių šaltinis pirmame pike 14 Hz yra sraigto žadinami virpesiai, kurių greitis siekia 4,73 mm/s. Šiame matavimų taške gautus virpesių lygius lyginant su ISO 6954:2000 standarto leistinomis normomis (iki 8 mm/s), pastebima kad šešto laivo darbo režimo metu gauta  $V_{RMS}$  reikšmė 4,6 mm/s, kuri parodo, kad darbo vietoje yra jaučiamas diskomfortas. Pagal kitus laivo darbo režimo metu gautus duomenis, galima identifikuoti, kad laivui plaukiant didesnėmis apsuksomis jaučiami sraigto virpesių amplitudžių padidėjimai. Tai reiškia, kad laivui dirbant aukštesnėmis sraigto apsuksomis atsiranda rezonanso reiškinys ir jaučiamas virpesių padidėjimo lygis.



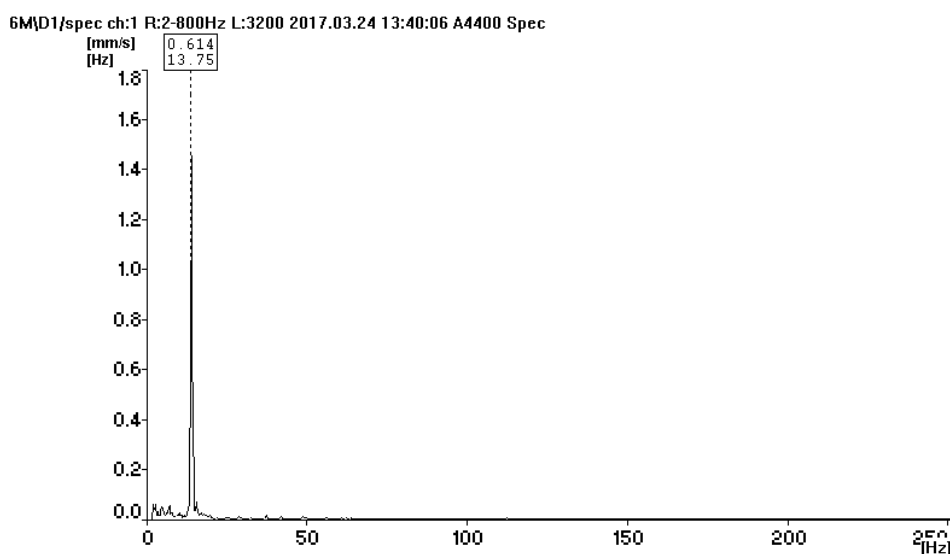
2.4.3 pav. Šešto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT03 taške (sraigto sukimosi greitis 280 aps./min)

Analizuojant MT04 matavimų taške gautus duomenis, iš virpesių greičių spektrų galime nustatyti, kad laivui dirbant visais šešiais darbo režimais yra matomi sraigto žadinami virpesiai. Pagal 2 ir 3 laivo darbo režimo duomenis galima identifikuoti elektros generatoriaus ir elektros generatoriaus disbalanso virpesius bei jų kartotinius. Paveikslėlyje (2.4.4 pav.) pateiktas trečias laivo darbo režimo virpesių spektras, kurio pirmas pikas atitinka 2,5 Hz/0,06 mm/s ir jį sukelia aplinkos veiksniai, kurie sužadina laivo korpuso laisvuosius virpesius. Antrasis pikas ties 7,5 Hz/0,068 mm/s atitinka sraigto virpesių žadinamą dažnį, o trečiasis pikas ties 15,25 Hz sraigto žadinamus kartotinius virpesius. Pateikto spektro virpesių amplitudės nėra didelės kaip kitų laivo darbo režimų metu, dėl to, kad laivo sraigčių apskoros yra tik 150 aps./min, todėl virpesių žadinimo jėga nėra didelė.



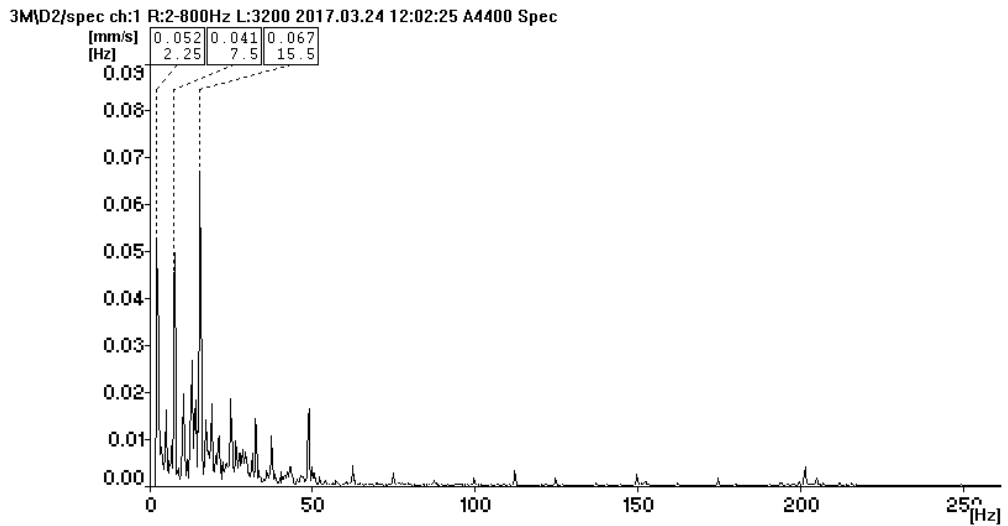
2.4.4 pav. Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT04 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min)

MT05 matavimo taško visuose laivo darbo režimuose identifikuojami virpesiai, kuriuos žadina sraigtas. Kitų virpesių šaltinių sukeliamų virpesių lygis yra labai nežymus ir nereikšmingas. 2.4.5 paveikslėlyje pavaizduoti šešto darbo režimometu (laivui dirbant 280 aps./min) gauti duomenys MT05 taške, kur matomas vienintelis didesnis pikas ties 13,75 Hz ir virpesių greitis siekia 0,614 mm/s, tai sraigto žadinamų virpesių dažnis. Pagal išanalizuotus duomenis matoma, kad  $V_{RMS}$  reikšmė šiame taške (2,2 mm/s), esančiame laivo pagrindinio denio laivugalyje, neviršija ISO 6954:2000 standarto numatytų leistinų normų (neigiamas poveikis jaučiamas, kai gauta reikšmė viršija 8 mm/s).



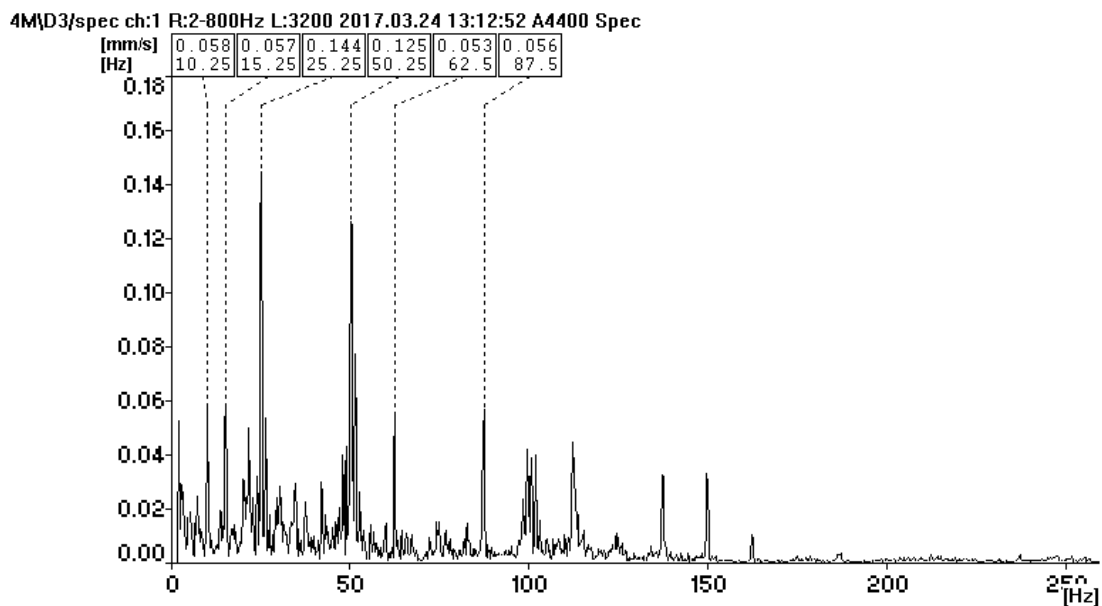
2.4.5 pav. Šešto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT05 taške (sraigto sukimosi greitis 280 aps./min)

Analizuojant MT06 matavimo taške (2.4.6 pav.) gautus virpesių spektrus, išsiskiria trečio laivo darbo režimo metu gauti duomenys, nes tik laivui dirbant šiuo režimu galima identifikuoti laisvuosius laivo virpesius (2,25 Hz), sraigto (7,5Hz) ir sraigto kartotinius virpesių šaltinius (15,5 Hz) atsirandančius virpesius. Iš kitų duomenų, gautų laivui dirbant skirtingais darbo režimais, galima pamatyti tik sraigto žadinamus virpesius.



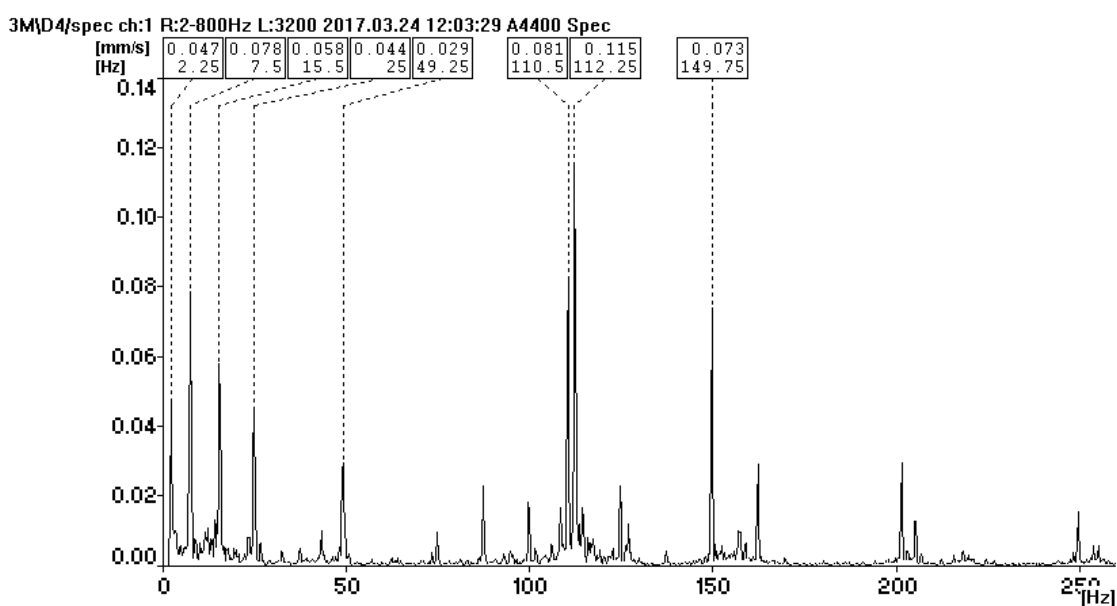
2.4.6 pav. Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT06 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min)

MT07 matavimo taške (visuose šešiuose laivo darbo režimuose) pirmasis pikas identifikuoja, kad virpesių šaltinis yra sraigto žadinami virpesiai. Vienintelis virpesių spektras, gautas laivui dirbant 200 aps./min režimu, pateiktas 2.4.7 paveikslėlyje išsiskiria iš kitų tuo, kad matomi dar keli virpesių šaltiniai, kurių dažniai yra 15,25 Hz, 25,25 Hz ir 50,25 Hz. Šie virpesių šaltiniai yra dyzelinio generatoriaus žadinami virpesiai. Gautos  $V_{RMS}$  reikšmės iki 0,5 mm/s, kurios nėra didelės, nes lyginant su ISO 6954:2000 standarto nustatytais reikšmėmis virpesių lygis jokios įtakos žmogaus sveikatai neturi.



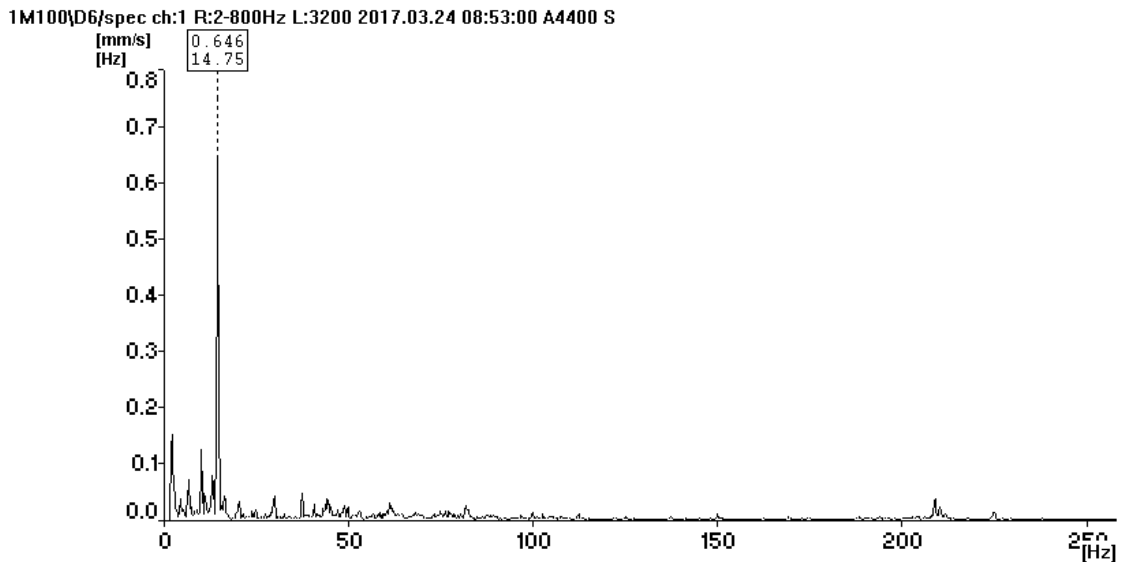
2.4.7 pav. Ketvirto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT07 taške (sraigto sukimosi greitis 200 aps./min)

Išnagrinėjus gautus duomenis MT08 matavimo taške galima identifikuoti, kad laivui plaukiant skirtingais darbo režimais yra pastebimi sraigto sukeliami virpesiai. Pateiktame 2.4.8 paveikslėlyje matomas trečias laivo darbo režimas, kuriame virpesių šaltiniai - tai laivo laisvieji virpesiai, kuriuos sužadina išorinės jėgos 2,25 Hz/0,047 mm/s, elektros generatoriaus žadinami virpesiai, sraigto žadinami virpesiai atitinka 7,5 Hz/0,078 mm/s sekantis pikas 15,5 Hz/0,058 mm/s riba yra sraigto pakartotiniai sukeliami virpesiai. Pikas, esantis ties 25 Hz riba, atitinka elektros generatoriaus disbalanso žadinamus virpesius taip pat sekantys pikai yra elektros generatoriaus kartotiniai virpesiai. Šiame spektre galima identifikuoti ir kuro degimo metu atsirandančius virpesius ties 149,75 Hz dažniu ir čia virpesių greičiai siekia 0,073 mm/s greitį.



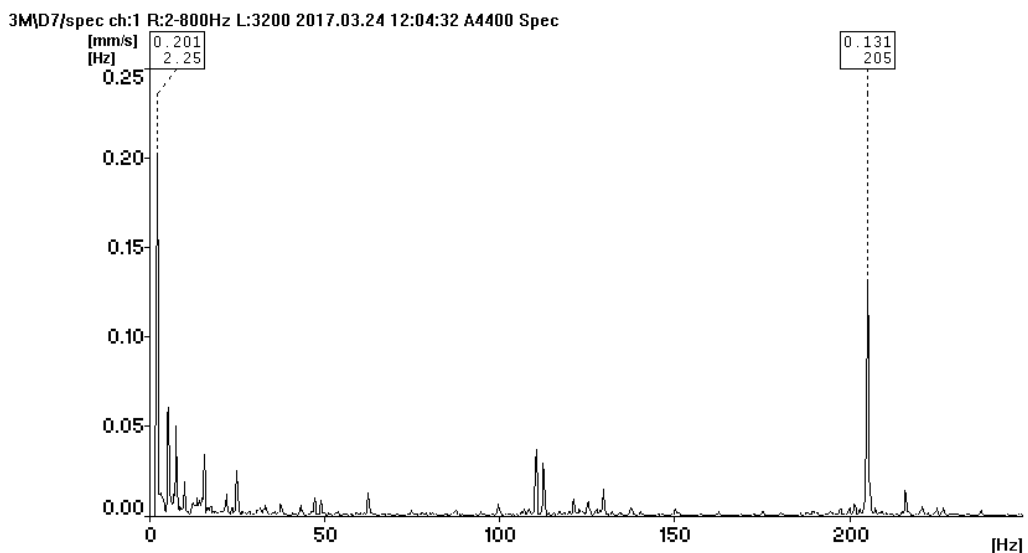
2.4.8 pav. Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT08 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min)

Pateiktame paveikslėlyje (2.4.9 pav.) matomas sraigto žadinamų virpesių dažnis 14,75 Hz, kurio greitis 0,646 mm/s. Jis išsiskiria iš kitų laivo darbo režimų metu gautų duomenų dėl virpesių amplitudės. Kituose darbo režimuose taip pat matomi sraigto žadinami virpesiai, tik virpesių žadinimo jėga nėra didelė. Pagal gautus duomenis galima teigti, kad šiame taške, esančiame gyvenamojoje kajutėje,  $V_{RMS}$  reikšmė (0,9 mm/s) nesiekia ISO 6954:2000 standarto numatytos ribos (gauta reikšmė negali viršyti 4 mm/s), o nuo 2 mm/s gali būti jaučiamas diskomforto jausmas.



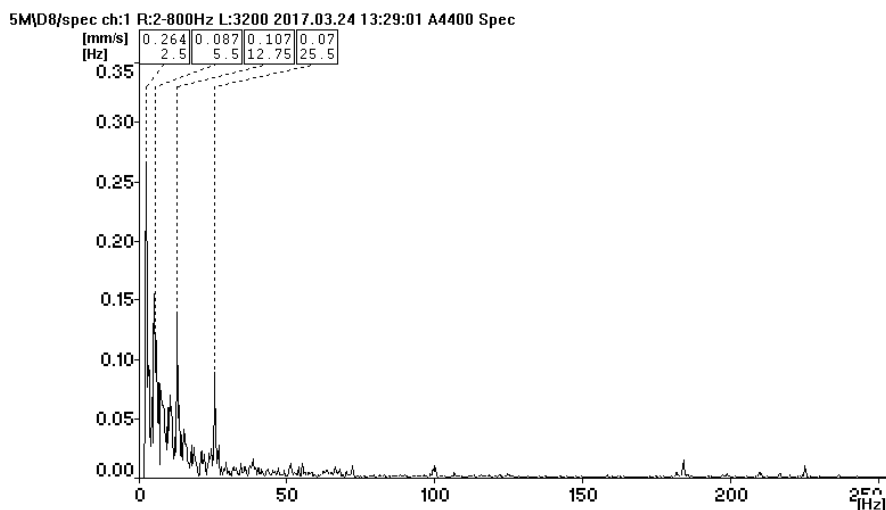
2.4.9 pav. Pirmo laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT09 taške (sraigto sukimosi greitis 295aps./min)

Išanalizavus MT10 matavimo taško gautus rezultatus (2.4.10 pav.) pastebėta, kad virpesių greitis labai nedidelis. Iš duomenų, gautų laivui plaukiant skirtingais darbo režimais, galima matyti, kad virpesių šaltinis yra sraigtas, bet virpesių lygis labai nežymus. Pateiktas paveikslėlis vaizduoja virpesių spektrą, kai laivo sraigto sukimosi greitis 150 aps./min, kuriame galima identifikuoti išorinių veiksnių sužadintus laisvuosiuslaivo korpuso virpesius (2,25 Hz/0,201mm/s). Kituose virpesių spektruose nėra pastebimi kiti virpesių žadinimo šaltiniai.



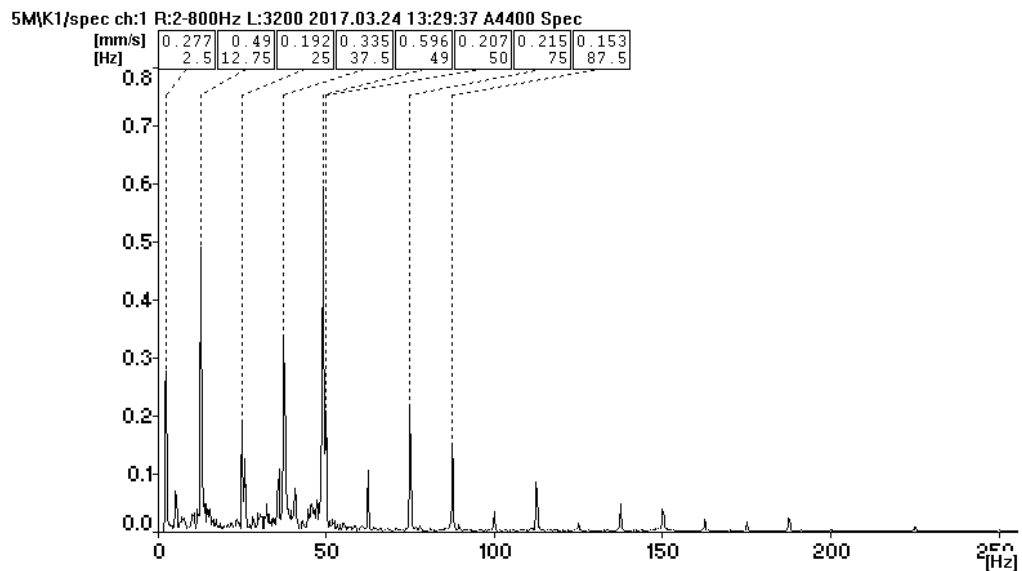
2.4.10 pav. Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT10 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min)

Išanalizavus MT11 matavimo taške gautus duomenis pastebėta, kad visuose laivo darbo režimuose galime pastebėti sraigto sukeltus virpesių dažnius. Laivui dirbant 250 aps./min režimu gautame spektre be sraigto virpesių dar galima identifikuoti ir elektros generatoriaus žadinamus virpesius ties 5,5 Hz dažniu. Trečias virpesių pikas (12,75 Hz) atitinka sraigto sukeliamų virpesių dažnį, kur virpesių greitis siekia 0,107 mm/s. Taip pat šiame spektre galima identifikuoti ir elektros generatoriaus disbalanso virpesius ties 25,5 Hz riba. Visuose laivo darbo režimuose  $V_{RMS}$  reikšmės neviršija ISO 6954:2000 standarte nustatyto leistino virpesių lygio. Didžiausia  $V_{RMS}$  reikšmė gauta 5 laivo darbo režimo metu 0,9 mm/s. Virpesių spektras pateiktas paveikslėlyje (2.4.11 pav.).



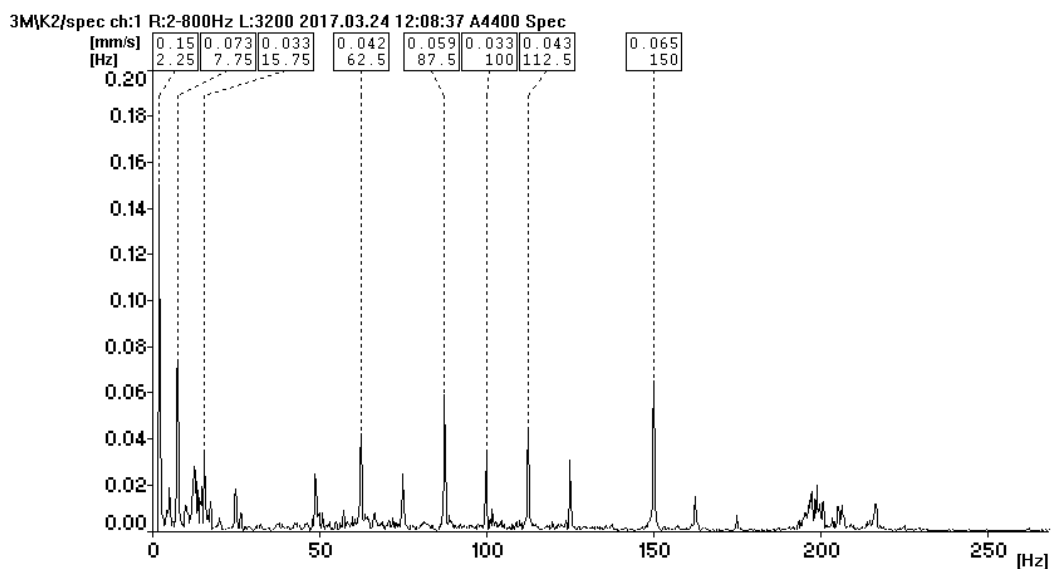
2.4.11 pav. Penkto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT11 taške (sraigto sukimosi greitis 250 aps./min)

Analizuojant MT12 matavimo taške gautus duomenis pastebima, kad laivui dirbant visais išmatuotais darbo režimais būdingi sraigto žadinami virpesiai. Pateiktame 2.4.12 paveiksle matomas virpesių spektras išsiskiriantis iš kitų laivo darbo režimų dėl sraigto žadinamų virpesių dydžio ties 12,75 Hz riba virpesių greitis siekia 0,49 mm/s. Tai didžiausia reikšmė gauta šiame taške iš visų darbo režimų. Taip pat šiame spektre galima identifikuoti ir elektros generatoriaus disbalanso virpesių lygį bei jo kartotinius virpesių lygius tai 25 Hz/0,192 mm/s; 50 Hz/0,207 mm/s; 75 Hz/0,215 mm/s. Visos  $V_{RMS}$  reikšmės (didžiausia reikšmė 1,3 mm/s), gautos šiame matavimų taške, neviršija ISO 6954:2000 standarto numatyto virpesių lygio gyvenamosiose patalpose (gauta reikšmė negali viršyti 6 mm/s).



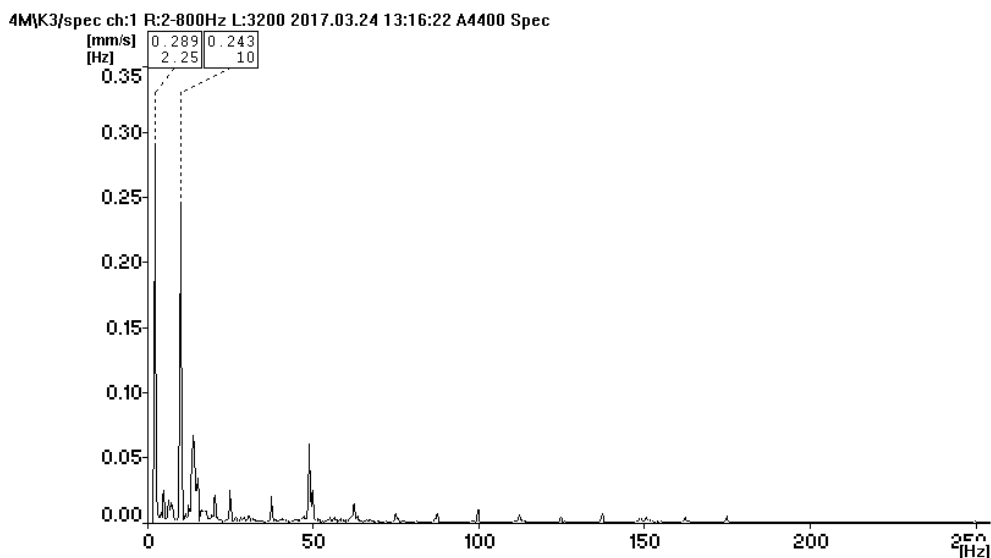
2.4.12 pav. Penkto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT12 taške (sraigto sukimosi greitis 250 aps./min)

2.4.13 paveiksle pateiktas virpesių spektras, kuris gautas MT13 matavimo taške, kai laivas dirba 150 aps./min režimu. Šiame spektre pirmas pikas atitinka laivo laisvuosius virpesius 2,25 Hz/0,15 mm/s. Antras ir trečias pikas sutampa su sraigto žadinamu virpesių dažniu 7,75 Hz/0,073 mm/s tai sraigto žadinamas virpesių dažnis, o 15,75 Hz/0,033 mm/s - sraigto kartotiniai virpesiai. Ties 100 Hz dažniu matomas pikas yra kartotiniai elektros generatoriaus sukeliama virpesiai. Paskutinis spektro pikas ties 150 Hz riba identifikuoja kuro degimo metu žadinamus virpesius. Nors iš spektro galima identifikuoti daug virpesių žadinimo šaltinių, bet jų virpesių amplitudės nėra didelės, kad turėtų reikšmingos įtakos žmonių sveikatai ar laivo korpuso struktūrai.



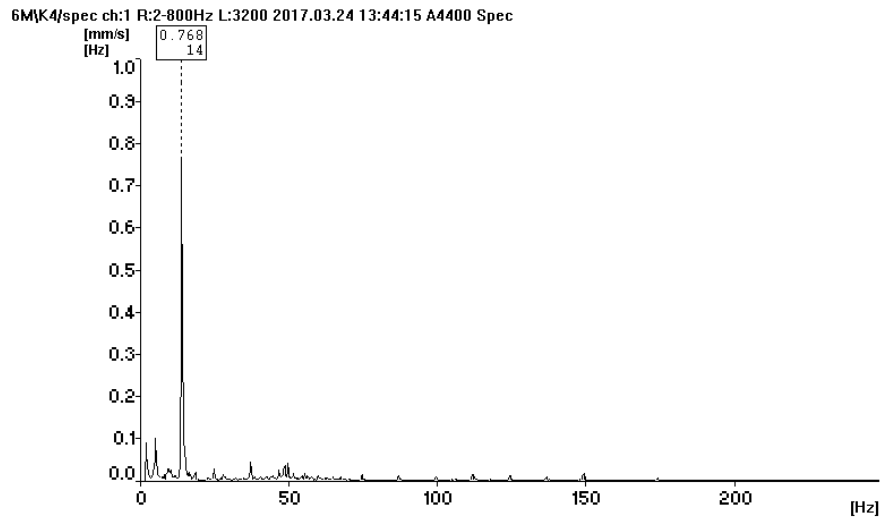
2.4.13 pav. Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT13 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min)

Iš eksperimentinio tyrimo metu surinktų duomenų (2.4.14 pav.), gautų MT14 matavimo taške, galima pastebėti išorinių veiksnių sužadintus laivo laisvuosius virpesius (2,25 Hz/ 0,289 mm/s) ir sraigto žadinamus virpesius ties 10 Hz padala. Šis spektras iš kitų, laivui dirbant skirtingais darbo režimais gautų spektrų, skiriasi dėl virpesių greičių. Laivui dirbant 200 aps./min metu užfiksuotas didžiausias  $V_{RMS}$  reikšmė 0,7 mm/s, bet šis virpesių rodiklis neviršija ISO 6954:2000 standarto numatyto virpesių lygio gyvenamosioms patalpoms, kuri turi viršyti 6 mm/s, todėl neturi jokio poveikio žmogaus sveikatai ar laivo korpusui.



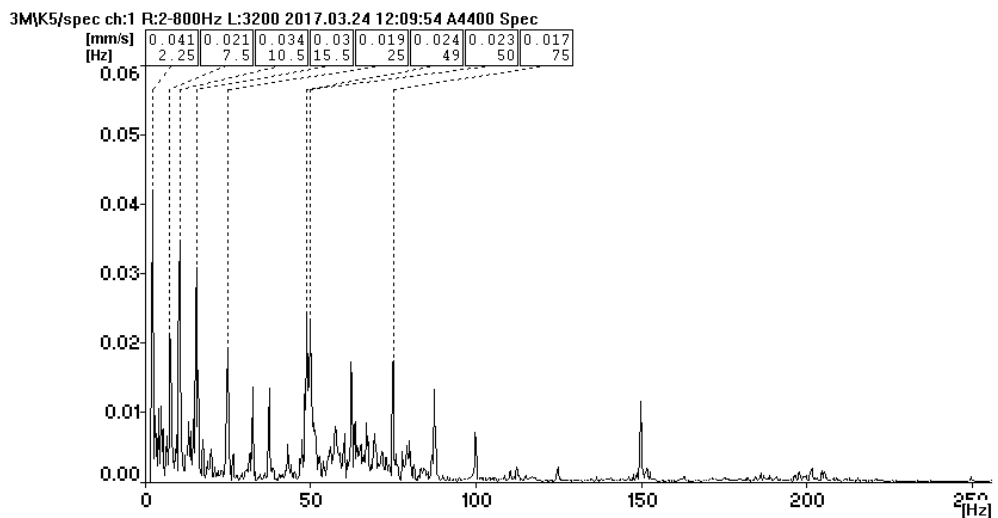
2.4.14 pav. Ketvirto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT14 taške (sraigto sukimosi greitis 200 aps./min)

Pateiktame 2.4.15 paveiksle pavaizduotas MT15 matavimo taške gautas virpesių spektras. Šiame spektre identifikuojamas ryškus sraigto žadinamų virpesių lygis. Ties 14 Hz riba virpesių greitis siekia 0,768 mm/s. Šis lygis iš visų laivo darbo režimų yra didžiausias. Kituose spektruose galima įžvelgti sraigto ir laivo laisvuosius virpesius, bet virpesių lygis nesiekia 0,2 mm/s greičio. Pagal gautus duomenis šiame matavimo taške (gauta didžiausia  $V_{RMS}$  reikšmė 1,1 mm/s) galima teigti, kad virpesių lygis nėra didelis ir pagal ISO 6954:2000 standartą šie virpesių lygiai jokios įtakos žmogaus sveikatai neturi.



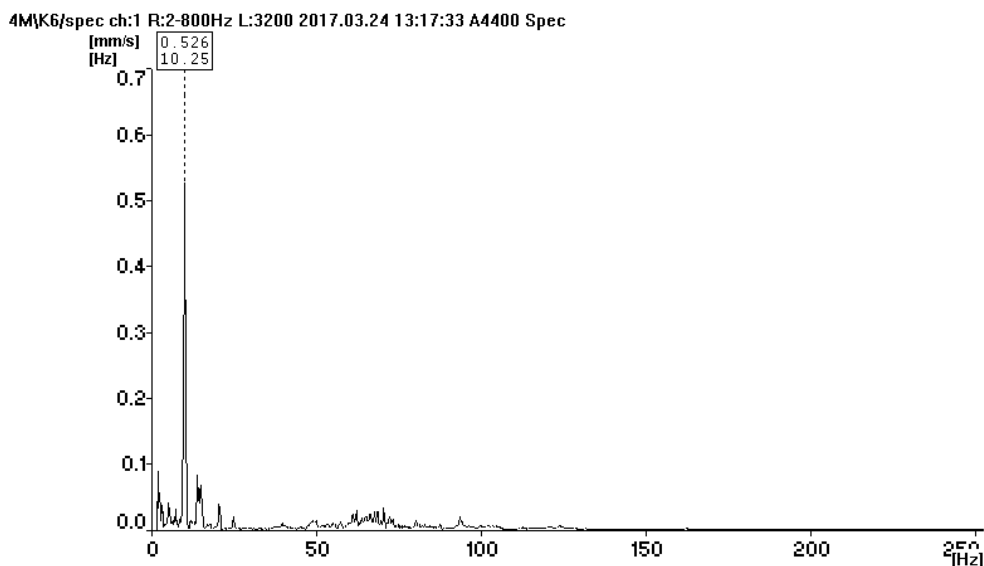
2.4.15 pav. Šešto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT15 taške (sraigto sukimosi greitis 280 aps./min)

Išanalizavus MT16 matavimo taško duomenis galima daryti išvadą, kad visuose laivo darbo režimuose matomas sraigto žadinamų virpesių dažnis. Pateiktas 2.4.16 paveikslas vaizduoja 1 virpesių spektrą, kai laivas dirba 150 aps./min režimu. Šis spektras išsiskiria iš kitų laivo darbo režimų dėl virpesių greičių. Šiame spektre virpesių greičiai siekia iki 0,041mm/s, tai mažiausi virpesių greičiai lyginant su kitais laivo darbo režimų spektrais. Virpesių amplitudės nėra didelės, nes laivui plaukiant nedidelėmis sraigto apskomis virpesių žadinimo jėga nėra didelė. Taip galima teigti, nes kituose spektruose, kai apskokos didesnės, matomi ir didesni virpesių pikai. Vertinant pagal ISO 6954:2000 standartą gautos  $V_{RMS}$  reikšmės (iki 0,2 mm/s) neviršija leistinų normų (6 mm/s).



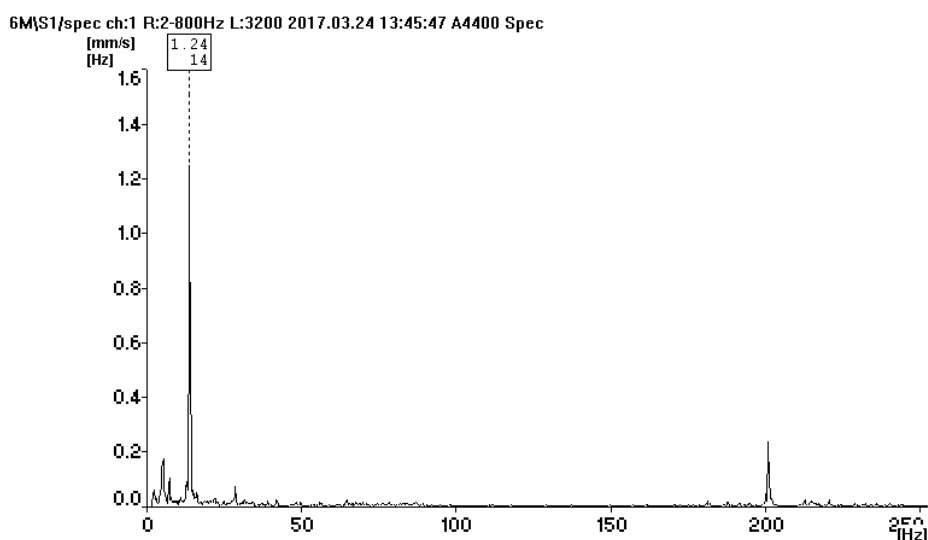
2.4.16 pav. Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT16 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min)

Išanalizavus visų šešių laivo darbo režimų metu gautus virpesių spektrus, MT17 matavimo taške pastebima, kad vyraujantys virpesių dažniai atitinka sraigto sukeliamus virpesius. Pirmo, antro ir ketvirto darbo režimo metu sraigto žadinamų virpesių greičiai buvo didžiausi. Pateiktame 2.4.17 paveiksle matoma, kad sraigto virpesių greitis ties 10,25 Hz riba siekia 0,526 mm/s. Kituose virpesių spektruose, gautuose trečio, penkto ir šešto laivo darbo režimo metu, virpesių greičių amplitudės nebuvo didelės, todėl virpesiai jaučiami nežymiai.



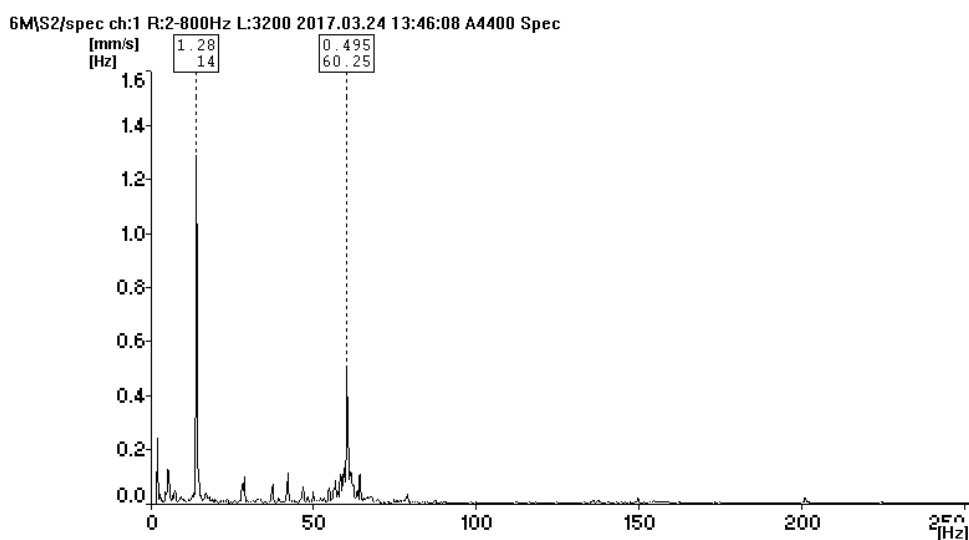
2.4.17 pav. Ketvirto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT17 taške (sraigto sukimosi greitis 200 aps./min)

MT18 matavimo taško virpesių spektras, gautas laivui dirbant 280 aps./min metu, pateiktas 2.4.18 paveiksle. Iš virpesių dažnių galima identifikuoti sraigto žadinamus virpesius ties 14 Hz riba, virpesių greitis siekia 1,24 mm/s ribą. Visuose virpesių spektruose matomi žymūs sraigto sukeliami virpesių pikai. Lyginant gautas  $V_{RMS}$  reikšmes ( iki 1,5 mm/s) su ISO 6954:2000 standarto numatytais normomis (gauta reikšmė negali viršyti 8 mm/s) galima teigti, kad virpesių lygis šiame taške nėra didelis ir žmogus nejaučia jokio diskomforto jausmo.



2.4.18 pav. Šešto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT18 taške (sraigto sukimosi greitis 280 aps./min)

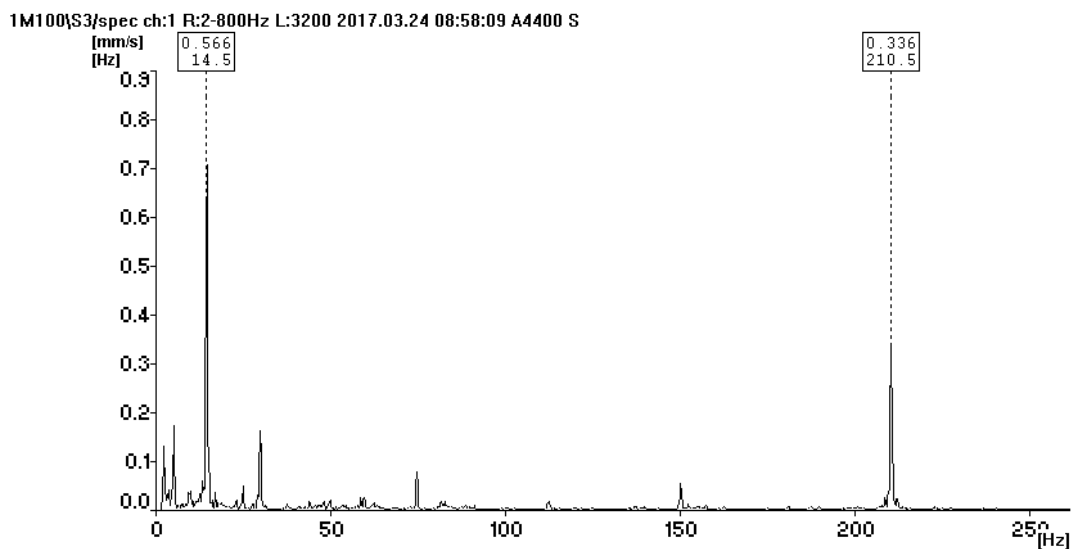
Virpesių spektras, kai sraigto apskukos siekė 280 aps./min gauto MT19 matavimo taške, pateiktas 2.4.19 pav. Spektre pirmas virpesių pikas ties 14 Hz dažniu yra sraigto žadinamų virpesių, kurio greitis siekia 1,28 mm/s greitį. Kitų virpesių šaltinių žadinami virpesiai yra labai nežymūs. Kituose laivo darbo režimų virpesių spektruose taip pat galima identifikuoti sraigto žadinamus virpesius tik virpesių greitis yra mažesnis, nei šešto laivo darbo režimo metu gautų duomenų.



2.4.19 pav. Šešto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT19 taške (sraigto sukimosi greitis 280 aps./min)

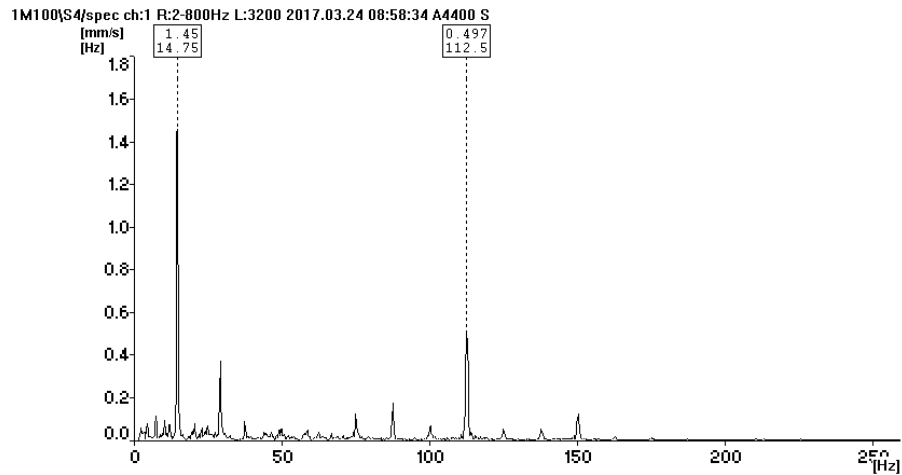
Matavimo taško MT20 gauti duomenys rodo, kad visuose laivo darbo režimuose galima identifikuoti sraigto žadinamus virpesius gautuose virpesių spektruose. Laivui dirbant didesnėmis apskukomis pastebimas didesnis virpesių greitis. Kaip ir pateiktame 2.4.20 paveiksle matoma, kad

virpesių pikas esantis ties 14,5 Hz riba yra sraigto žadinami virpesiai ir jų greitis siekia 0,566 mm/s. Šiame spektre sraigto apsukos siekia 295 aps./min, o kai sraigto apsukos siekia 130-150 aps./min iš spektrų galima identifikuoti, kad sraigto žadinami virpesių greičiai yra gerokai mažesni. Lyginant gautas  $V_{RMS}$  reikšmes su ISO 6954:2000 standartu matome, kad leistinos ribos neviršija. Didžiausia  $V_{RMS}$  reikšmė užfiksuota pirmo laivo darbo režimo metu 1,2 mm/s, o leistina reikšmė iki 8 mm/s.



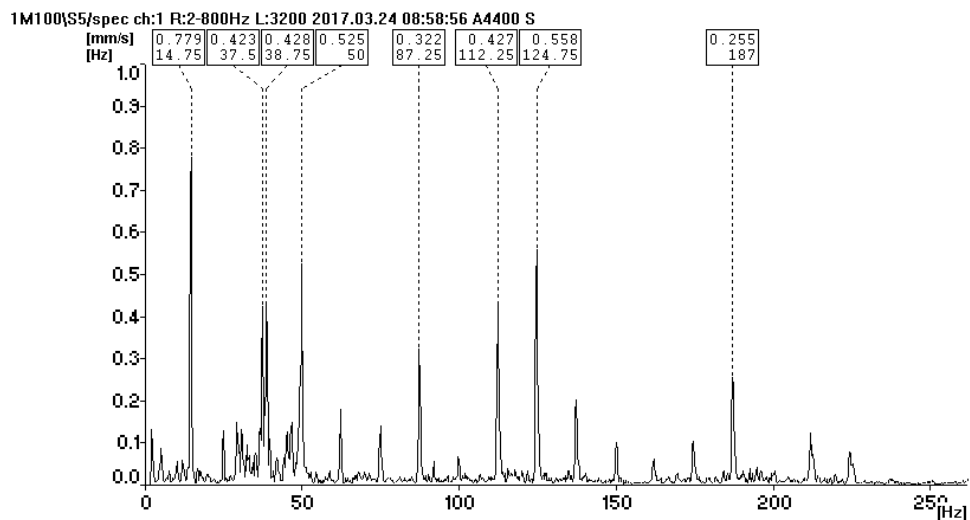
2.4.20 pav. Pirmo laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT20 taške (sraigto sukimosi greitis 295 aps./min)

Išanalizavus MT21 matavimo taške gautus duomenis, buvo nustatyta, kad virpesių šaltinis yra sraigtas bei elektros generatoriaus disbalanso kartotiniai virpesiai. Daugiau žymesnių virpesių žadintojų neidentifikuota. Pirmo laivo darbo režimo metu (sraigto sukimosi greitis 295 aps./min) gautas virpesių spektras (2.4.21 pav.) išsiskiria iš kitų virpesių spektrų dėl virpesių amplitudės. Šiame spektre sraigto žadinami virpesių greičiai siekė 1,45 mm/s ties 14,75 Hz dažniu. Kituose laivo darbo režimuose, kai laivas dirba mažesnėmis apsukomis iki 250 aps./min virpesių spektruose virpesių greičiai nesiekia 0,2 mm/s. Pagal pateiktą spektrą galima identifikuoti elektros generatoriaus disbalanso sukeltus kartotinius virpesius ties 112,5 Hz dažniu.



2.4.21 pav. Pirmo laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT21 taške (sraigto sukimosi greitis 295 aps./min)

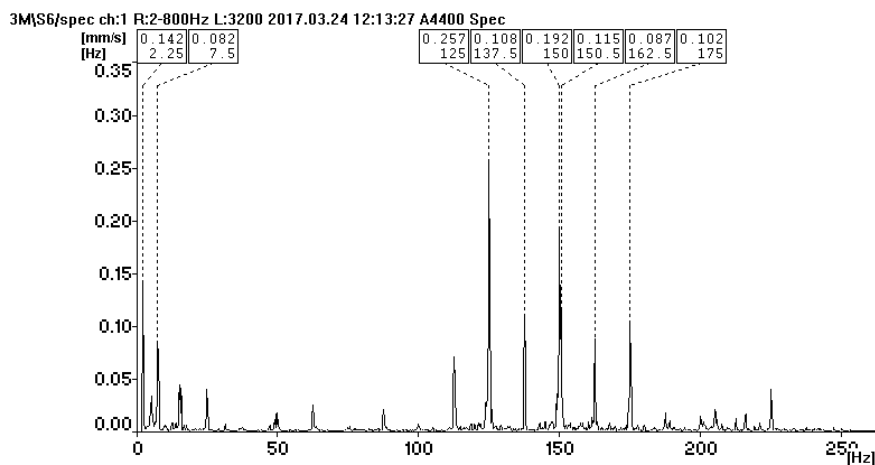
Pateiktame 2.4.22 paveiksle vaizduojamas MT22 matavimo taško virpesių greičių spektras. Iš spektre pateiktų duomenų galima identifikuoti esamus virpesių šaltinius. Pirmas pikas 14,75 Hz yra sraigto žadinami virpesiai, kurių greitis siekia 0,779 mm/s. Kituose spektruose virpesių lygis žymiai mažesnis.



2.4.22 pav. Pirmo laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT22 taške (sraigto sukimosi greitis 295 aps./min)

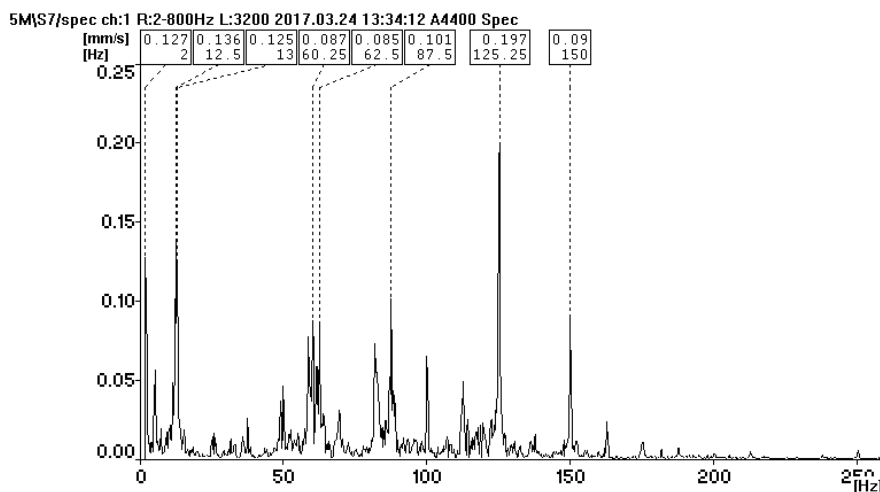
Analizuojant virpesių matavimo duomenis, gautus MT23 matavimo taške, buvo nustatyta, kad virpesių šaltinis yra sraigtas (7,5 Hz/0,082mm/s). Taip pat galima identifikuoti ir laivo laisvuosius virpesius, kuriuos sužadina išorinės jėgos (2,25 Hz/0,142 mm/s) ir elektros generatoriaus disbalanso žadinamus virpesius (125 HZ/0,257 mm/s) bei kuro degimo metu (150 Hz/0,192 mm/s) atsirandančius virpesius. Lyginant virpesių spektrus, gautus skirtingų laivo darbo

režimų metu, buvo pastebėta, kad virpesių greičiai prie mažesnių sraigčių apsukų yra mažesni (2.4.23 pav.). Esant aukštesnėms kaip 250 aps./min laivo apsukoms, pastebimi didesni sraigto žadinami virpesių lygiai. O gautos  $V_{RMS}$  reikšmės (iki 0,3 mm/s) neviršija ISO 6954:2000 standarto numatyto virpesių lygio (iki 8 mm/s).



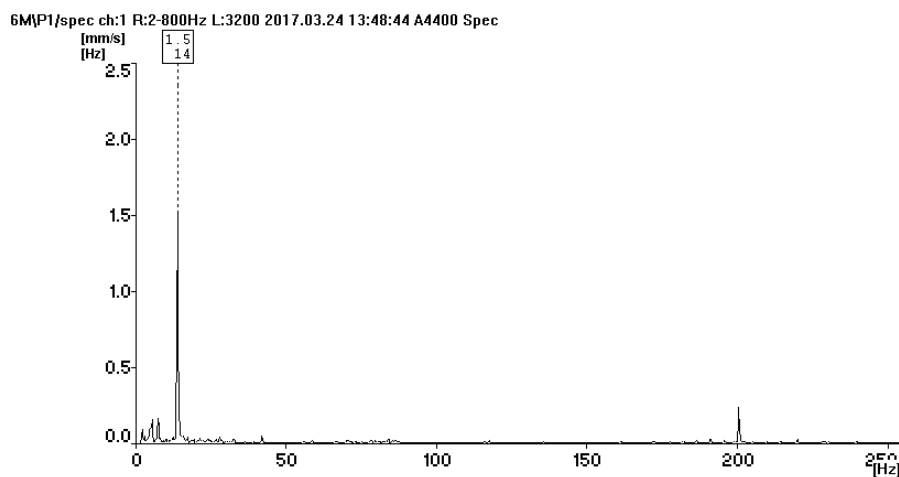
2.4.23 pav. Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT23 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min)

Pateiktame 2.4.24 paveiksle galima identifikuoti sraigto žadinamus virpesius. Sraigto virpesių greitis siekia 0,136 mm/s ties 12,5 Hz riba. Visų laivo darbo režimų metu gauti duomenys yra panašūs lyginant virpesių amplitudes. Šiame matavimo taške galima identifikuoti ir kuro degimo metu atsirandančius virpesius (150 Hz/0,09 mm/s), tačiau virpesių lygis nėra didelis. O gautos  $V_{RMS}$  reikšmės (iki 1,0 mm/s), lyginant su ISO 6954:2000 standartu, neturi jokios įtakos žmogaus sveikatai.



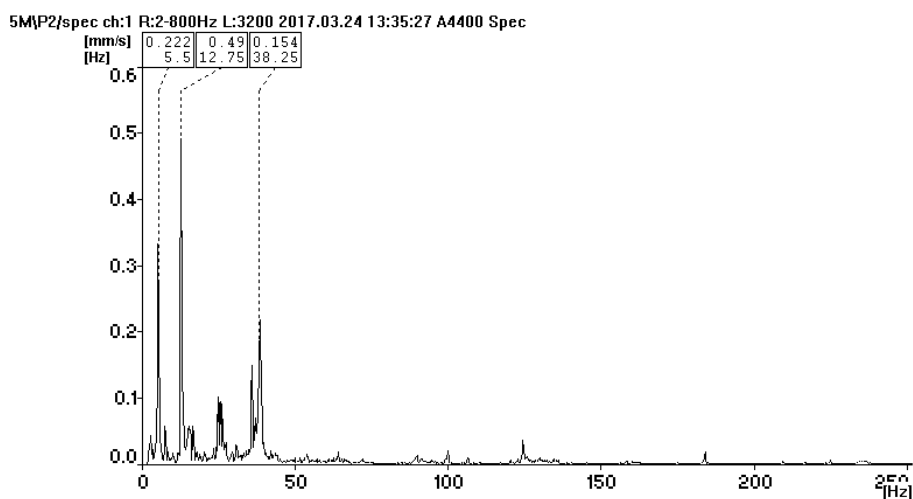
2.4.24 pav. Penkto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT24 taške (sraigto sukimosi greitis 250 aps./min)

Išanalizavus visų šešių stebėtų laivo darbo režimų duomenis pastebėta, kad laivui dirbant 150 aps./min režimu įrenginių žadinamų virpesių lygis buvo labai žemas. Likusių darbo režimų spektruose buvo galima identifikuoti ryškius sraigto žadinamus virpesius, kurių greitis siekia iki 1,5 mm/s, šis spektras pateiktas 2.4.25 paveiksle. Taip pat išanalizuotose spektruose galima išskirti elektros generatoriaus žadinamus virpesius. Visos  $V_{RMS}$  reikšmės šiame matavimo taške siekė tik iki 1,8 mm/s, todėl virpesių lygis neviršija pagal ISO 6954:2000 standartą numatytų leistinų normų.



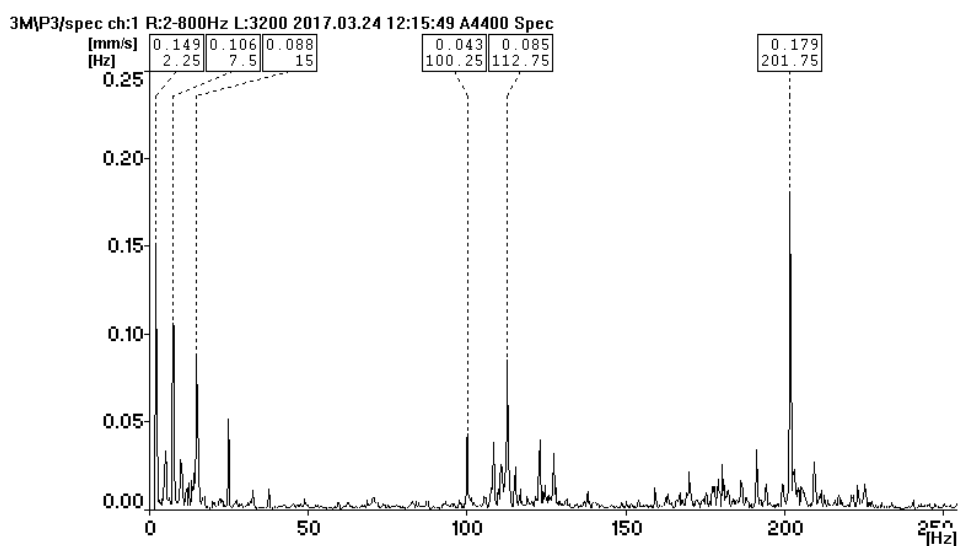
2.4.25 pav. Šešto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT25 taške (sraigto sukimosi greitis 280 aps./min)

2.4.26 paveiksle pavaizduotas MT26 matavimo taško virpesių greičių spektras gautas laivui dirbant 250 aps./min režimu. Pagal apskaičiuotus laivo įrenginių žadinamus virpesius galima iš spektro identifikuoti, kad esami pikai yra elektros generatoriaus disbalanso ir sraigto žadinami virpesiai. Virpesių greičiai nėra dideli kaip ir kituose laivo darbo režimuose, bet virpesių pikai visuose spektruose yra ties sraigto žadinamų virpesių dažniu. Pateiktame virpesių greičių spektre sraigto žadinami virpesiai yra ties 12,75 Hz dažniu ir jų greitis siekia 0,49 mm/s.



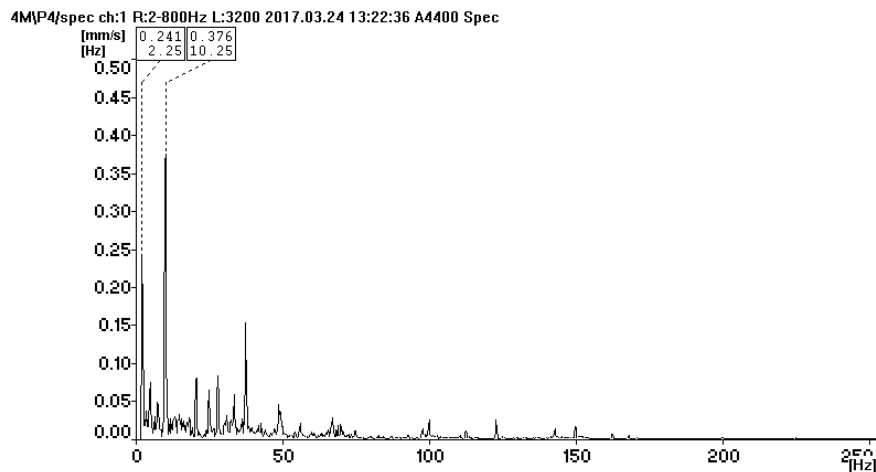
2.4.26 pav. Penkto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT26 taške (sraigto sukimosi greitis 250 aps./min)

Analizuojant MT27 matavimo taške gautus duomenis, laivui dirbant 150 aps./min režimu, virpesių greičių spektras išsiskyrė iš kitų darbo režimų spektrų, nes tik šiame spektre galima identifikuoti laivo laisvuosius virpesius bei elektros generatoriaus disbalanso ir sraigto žadinamus virpesių šaltinius. Kituose spektruose identifikuoti tik sraigto žadinami virpesiai. Pagal pateiktą 2.4.27 paveikslėlį galima identifikuoti, kad pirmas pikas (2,25 Hz/ 0,149 mm/s) yra laivo laisvieji virpesiai, kuriuos sužadino aplinkos jėgos, antras pikas (7,5 Hz/ 0,106 mm/s) sraigto žadinami virpesiai, trečias pikas (15 Hz/0,088 mm/s) kartotiniai sraigto virpesių dažniai. Sekantys virpesių pikai yra elektros generatoriaus disbalanso žadinamų virpesių kartotiniai dažniai.



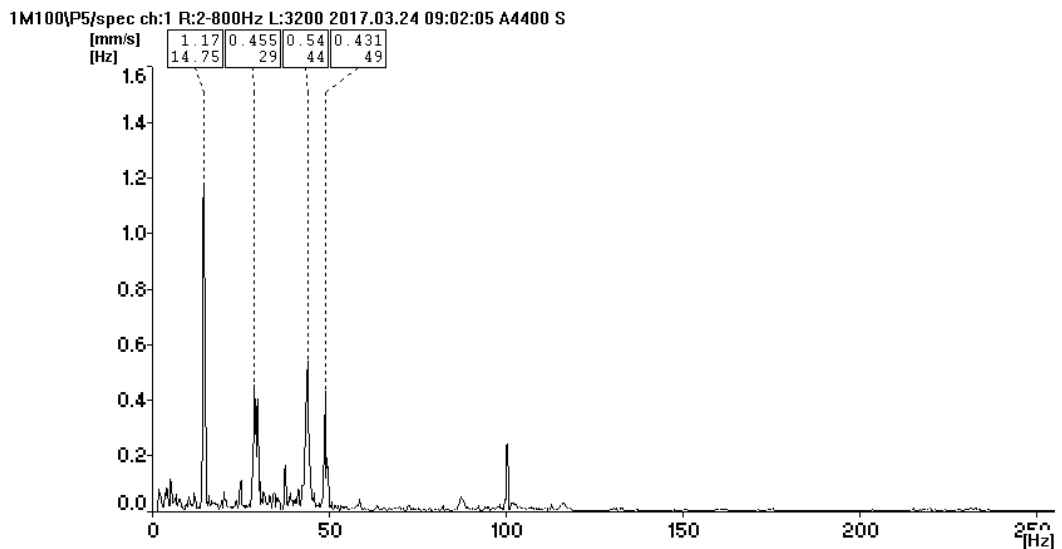
2.4.27 pav. Trečio laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT27 taške (sraigto sukimosi greitis 150 aps./min)

Visuose šešiuose laivo darbo režimuose MT28 matavimo taške gauti virpesių greičių spektrai yra panašūs pagal virpesių greičius ir virpesių žadinimo šaltinius. Visuose spektruose galime matyti sraigto žadinamus virpesius. Pateiktame 2.4.28 paveiksle pavaizduotas virpesių spektras laivui dirbant 200aps./min režimu, kuriame galime identifikuoti laivo laisvuosius virpesius ir sraigto žadinamus virpesius. Pirmas pikas ties 2,25 Hz dažniu yra aplinkos jėgų sužadinti laivo korpuso laisvieji virpesiai, kurių greitis 0,241 mm/s, o antras pikas esantis 10,25 Hz dažnio yra sraigto žadinami virpesiai, kurių greitis šiame taške siekia 0,376 mm/s. Visuose spektruose gautos  $V_{RMS}$  reikšmės ( iki 0,9 mm/s) neviršija ISO 6954:2000 standarto numatytų leistinų normų (8 mm/s).



2.4.28 pav. Ketvirto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT28 taške (sraigto sukimosi greitis 200 aps./min)

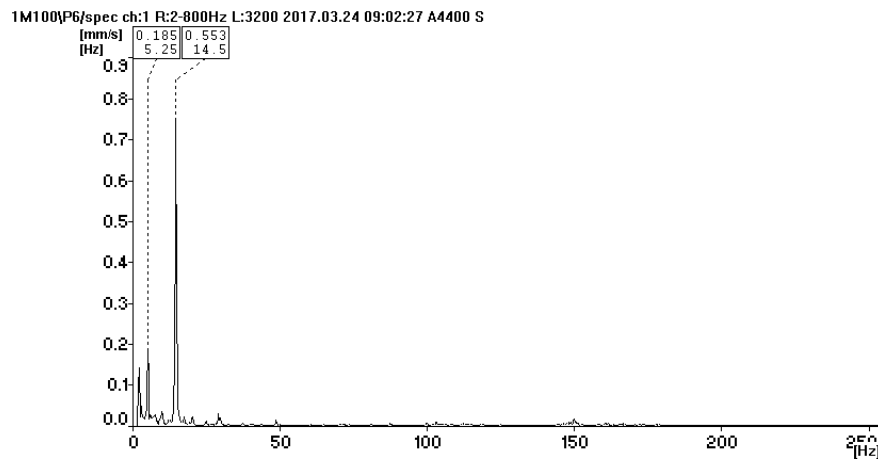
Analizuojant MT29 matavimo taške gautus rezultatus pastebėta, kad laivui dirbant pirmu darbo režimu (295 aps./min) virpesių greičio spektre, pateiktame 2.4.29 paveiksle, virpesių greičiai yra didžiausi lyginant su kitų laivo darbo režimo metu gautais duomenimis. Ties 14,75 Hz virpesių greitis siekia 1,17 mm/s, tai sraigto žadinami virpesiai taip pat ir kituose matavimų spektruose galima identifikuoti sraigto žadinamus virpesius. Visos  $V_{RMS}$  reikšmės užfiksuoti šiame matavimo taške neviršija ISO 6954:2000 standarto numatytų leistinų normų. Didžiausia  $V_{RMS}$  reikšmė užfiksuota laivui dirbant pirmu darbo režimu 1,9 mm/s.



2.4.29 pav. Pirmo laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT29 taške (sraigto sukimosi greitis 295 aps./min)

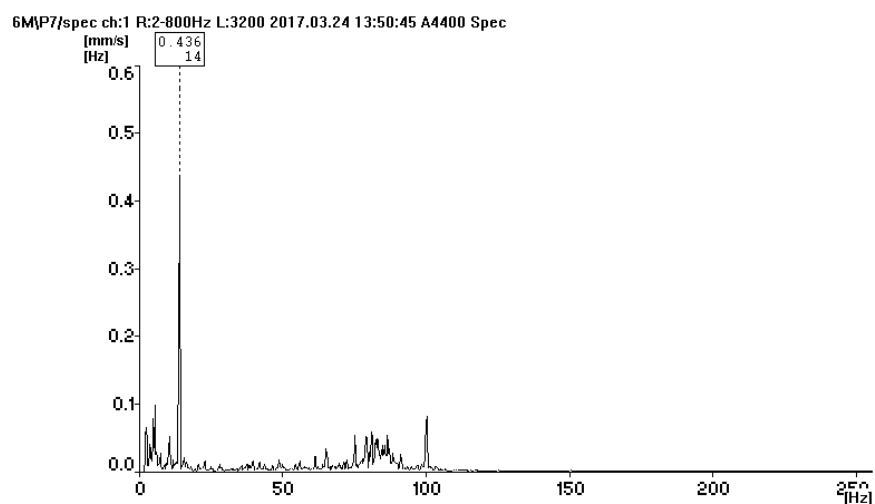
2.4.30 paveiksle pateiktas spektras laivui dirbant 295 aps./min režimu MT30 matavimo taške. Šiame spektre pirmas pikas 5,25 Hz atitinka elektros generatoriaus žadinamus virpesius,

kurių greitis siekia 0,185 mm/s, o antras pikas 14,5 Hz yra sraigto žadinami virpesiai, kurių greitis yra 0,553 mm/s. Kituose laivo darbo režimuose virpesių spektrai panašūs, virpesių amplitudės ir virpesių šaltiniai atitinka kaip ir pirmo darbo režimo metu gauti duomenys. Gautas  $V_{RMS}$  reikšmes (iki 1,0 mm/s) lyginat su ISO 6954:2000 standarto numatytais normomis (iki 8 mm/s), galima teigti, kad virpesių lygis jokios įtakos žmogaus sveikatai bei laivo korpusui neturi.



2.4.30 pav. Pirmo laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT30 taške (sraigto sukimosi greitis 295 aps./min)

Iš gautų duomenų MT31 matavimo taške identifikuota, kad vyraujantis virpesių šaltinis yra elektros generatoriaus disbalanso žadinami virpesiai. Pirmuose penkiuose laivo darbo režimuose matomas elektros generatoriaus disbalanso žadinami virpesių pikai. Pateiktame 2.4.31 paveiksle pateiktas virpesių spektras laivui dirbant 280 aps./min režimu, kuriame galime identifikuoti sraigto žadinamus virpesius ties 14 Hz riba, kurioje virpesių greitis siekia 0,436 mm/s. Šiame spektre sraigto žadinamų virpesių greitis didžiausias, kitų laivo darbo režimo metu gautuose virpesių greičių spektruose sraigto virpesių greitis yra nežymus.



2.4.31 pav. Šešto laivo darbo režimo metu užfiksuoti virpesių dažniai MT31 taške (sraigto sukimosi greitis 200 aps./min)

## IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

Baigiamojo darbo metu, atsižvelgiant į užsienio šalių mokslinių darbų tyrimus ir kitą mokslinę literatūrą buvo nustatyta, kad virpesių keliamos problemos laivuose yra labai aktuali tema. Todėl šiais laikais laivuose virpesių keliamoms problemoms ir jų prevencijai keliami dideli reikalavimai. Nuo pat laivų pradinės projektavimo stadijos daug dėmesio skiriama virpesių analizei bei ieškoma būdų kaip išvengti galimų virpesių. Taip pat kvalifikacinės bendrovės reglamentuoja kaip turi būti atliekama virpesių kontrolė.

Mokslinių tyrimų laivui „Mintis“ virpesių tyrimui buvo nustatyta reikiama eksperimentinių matavimų metodika, matavimų eiliškumas ir tikslingumas. Išanalizavus mokslinius straipsnius buvo išsiaiškinta kokio tipo bei tikslumo matavimo įranga yra reikalinga. Pagal tarptautinę ISO6954:2000 standartą buvo nustatytos matavimo taškų vietos.

Atlikus mokslinių tyrimų laivo „Mintis“ virpesių matavimą nustatyta, kad dominuojantys didžiausi virpesių lygiai yra sraigto sukeliami virpesiai. Pagal išanalizuotų visų šešių laivo darbo režimų (295aps./min; 130aps./min; 150aps./min; 200 aps./min; 250 aps./min; 280 aps./min) duomenis visuose matavimo taškuose buvo nustatyti sraigto žadinamus virpesius. Taip pat iš gautų virpesių greičių spektrų buvo identifikuota elektros generatoriaus, elektros generatoriaus disbalanso, kuro degimo metu žadinami virpesiai. Darbe nustatyta, kad sraigto žadinamų virpesių amplitudės yra didesnės nei kitų virpesių žadinimo šaltinių. Didžiausi virpesių dydžiai nustatyti pirmo ir šešto laivo darbo režimo metu, kai laivas plaukia prie didesnių apsisukimų. Atlikus literatūros analizę pastebėta, kad virpesių greičių reikšmės yra tiesiogiai įtakojamas sraigto sukimosi greičiui dėl didėjančios virpesių žadinimo energijos.

Didžiausios virpesių reikšmės nustatytos šiame eksperimentiniame tyrime - 4 mm/s MT02 taške pirmo laivo darbo režimo metu ir 4,6 mm/s MT03 šešto darbo režimo metu. Visų laivo darbo režimų metu nustatyti duomenys neviršija ISO 6954:2000 standarto normų. Bet pastebėta, kad matavimų taškuose, esančiuose kapitono tiltelyje, virpesių lygis gali sukelti diskomforto jausmą, kai sraigto apsuks yra 280-300 aps./min. Virpesių lygis, kuris neturi neigiamo poveikio žmonėms, įgulos gyvenamosiose patalpose yra 4 mm/s, pagal šiuos duomenis iširta, kad laive vyraujantys virpesių lygiai nėra pavojingi žmogui ir laivo konstrukcijoms, bet jaučiami virpesiai gali sukelti diskomforto jausmą.

Šio tyrimo metu nustatytas pagrindinis virpesių šaltinis yra sraigtas, kurio žadinami virpesiai sutampa su kapitono tiltelio laisvaisiais virpesiais, ko pasėkoje įvyksta rezonanso reiškinys.

Tiriamą laivo virpesių lygiui sumažinti iki normos, dėl kurios nebūtų jaučiamas diskomfortas, rekomenduojama atlikti laivo modeliavimą keičiant laivo konstrukcijų standumą ar keičiant sraigtą. Išanalizavus moksliniuose straipsniuose pateiktą medžiagą rekomenduojama

pritaikyti sraigto apsaugą, kad sraigto vandens srautas būtų mažesnis į laivo korpusą, taip bus sumažintas perduodamų virpesių lygis laivui. Trečias būdas siekiant išvengti virpesių sukeliama diskomforto jausmo, tai laivo eksploatacijos metu vengti darbo režimų, kai laivo sraigto apsukos siekia 280-300 aps./min, nes prie šių apsukų įvyksta rezonanso reiškinys ir kapitonų tiltelyje pastebimi padidėję virpesių lygiai.

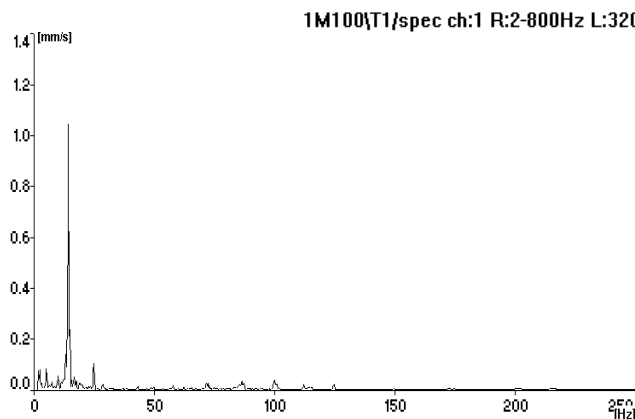
## LITERATŪRA

- Ante Š., Nicola V., Ančič I. 2014. Non-typical causes of torsional vibration resonances in ship propulsion system.
- Barzdaitis V., Činikas G. 1998. Rotorinių mašinų monitoringas ir diagnostika. Kaunas, Technologija.
- Brion F., 2015 Vibration Analysis of Supply Vessel Propulsion. Maintworld.
- Egusquiza E., Escaler X., Valero C., Coussirat M. 2008. Vibration analysis and diagnostic in a catamaran vessel.
- Luiz A., Pinto V., 2007. Vibration analysis in ship structures by finite element method.
- Mažeika P. 2011. Laivo virpesiai. Ataskaita. 3 tomas. Klaipėda.
- Rao S. S. 2011. Mechanical vibrations. Fifth edition. University of Miami.
- Pinto L. A., Monteiro U. A. B. V., Erdos T. I. Fonseca da Silva Neto S. 2007. Vibration analysis in ship structures by finite element method. 19th International Congress of Mechanical Engineering. Brasilia.
- Vasylius M., ir kt., 2014 Laivo varomosios sistemos reduktoriaus ir veleno linijos virpesių tyrimas.
- Žiliukas P., Barauskas R., 2008 Mechaniniai virpesiai, VPU leidykla.
- [https://www.feko.info/product-detail/numerical\\_methods/mlfmm](https://www.feko.info/product-detail/numerical_methods/mlfmm) [žiūrėta 2017-03-24].
- <http://www.marineinsight.com/main-engine/dampers-de-tuners-reducing-vibration-of-marine-engines/> [žiūrėta 2017-03-28].
- <https://www.vesseltracker.com/en/Ships/Mintis-9713636.html> [žiūrėta 2017-04-01].
- <http://apc.ku.lt/index.php/moksliniu-tyrimu-laivas-mintis/> [žiūrėta 2017-03-22].
- <http://vibraspectrum.ru/> [žiūrėta 2017-03-24].
- <http://www.profess.cz> [žiūrėta 2017-03-28].
- [https://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/147\\_ShipVibration/Pub147\\_ShipVib](https://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/147_ShipVibration/Pub147_ShipVib) [žiūrėta 2017-04-28].

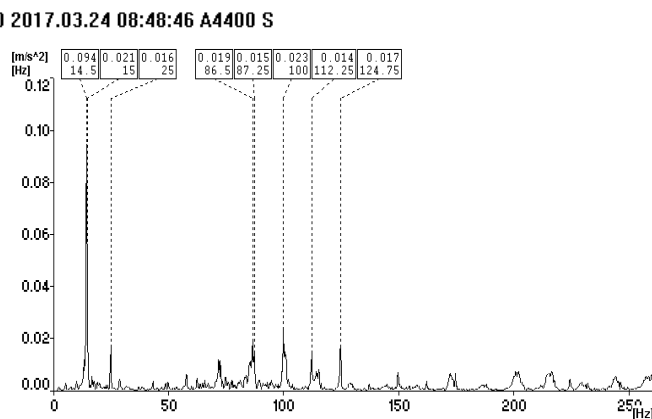
# **PRIEDAI**

Laivo „Mintis“ virpesių spektrai, gauti pirmo laivo darbo režimo metu

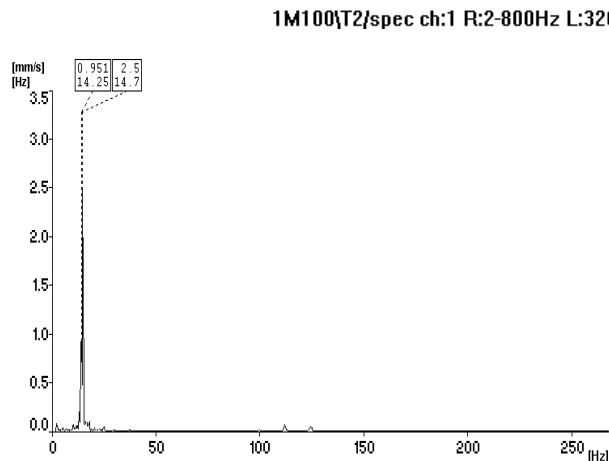
MT01 taško virpesių greičių spektras



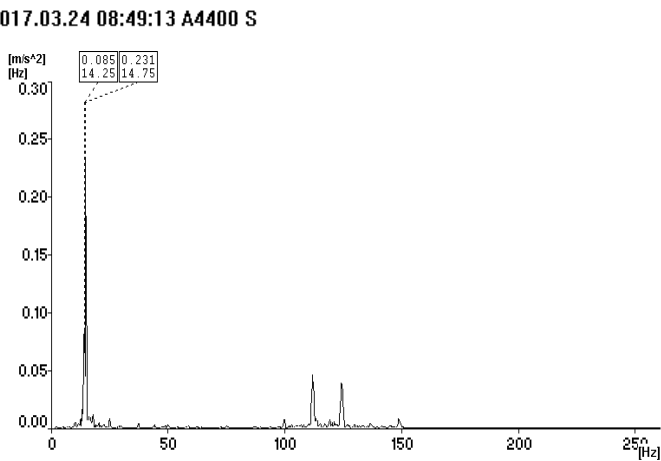
MT01 taško virpesių pagreičių spektras



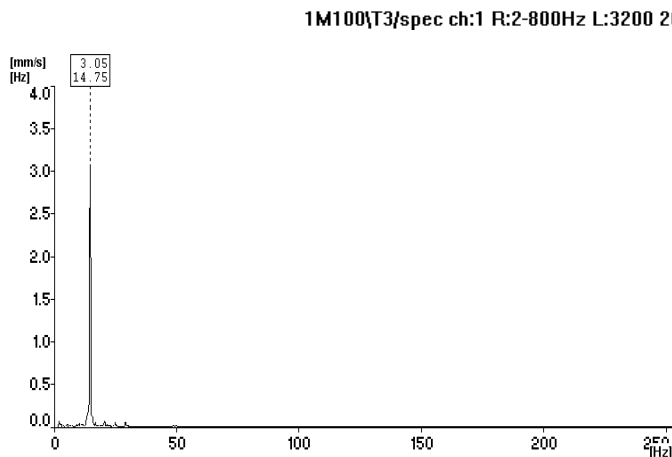
MT02 taško virpesių greičių spektras



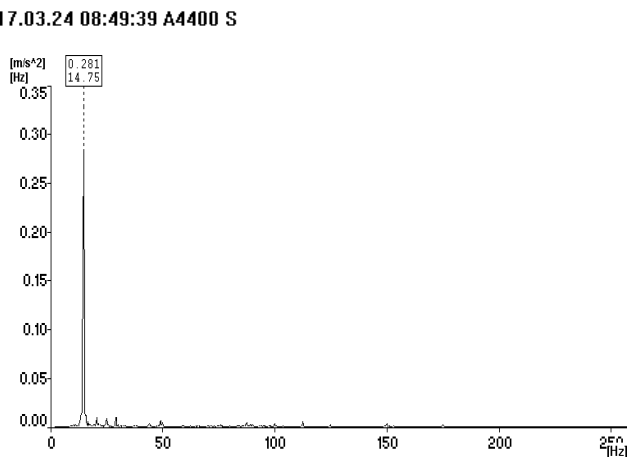
MT02 taško virpesių pagreičių spektras



MT03 taško virpesių greičių spektras



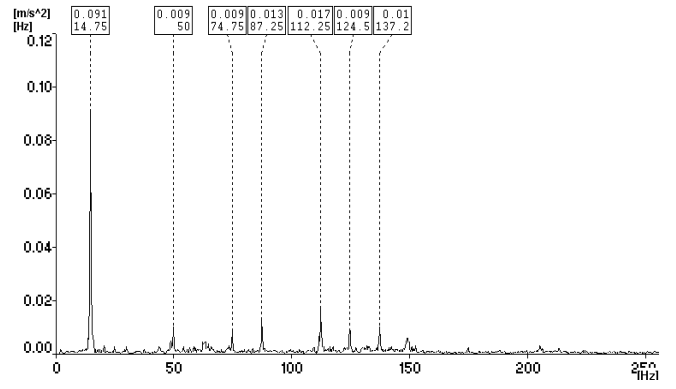
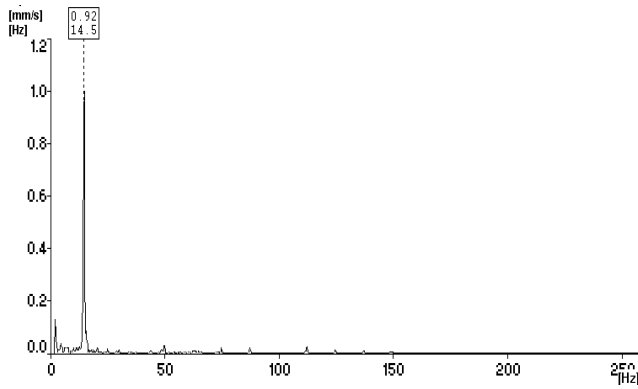
MT03 taško virpesių pagreičių spektras



### MT04 taško virpesių greičių spektras

### MT04 taško virpesių pagreičių spektras

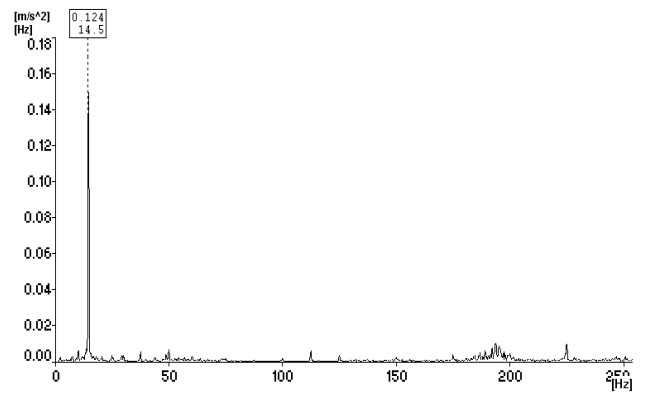
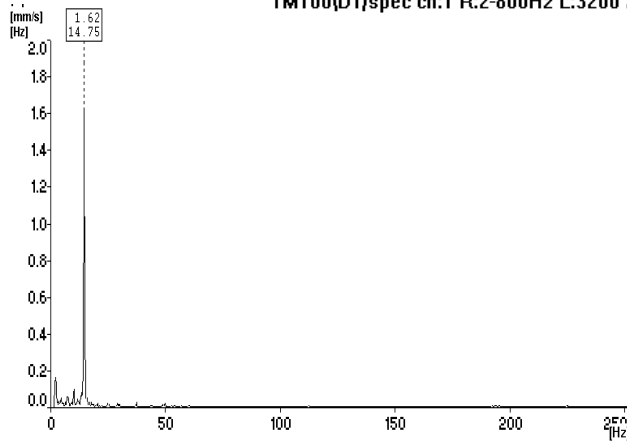
1M100\T4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:50:03 A4400 S



### MT05 taško virpesių greičių spektras

### MT05 taško virpesių pagreičių spektras

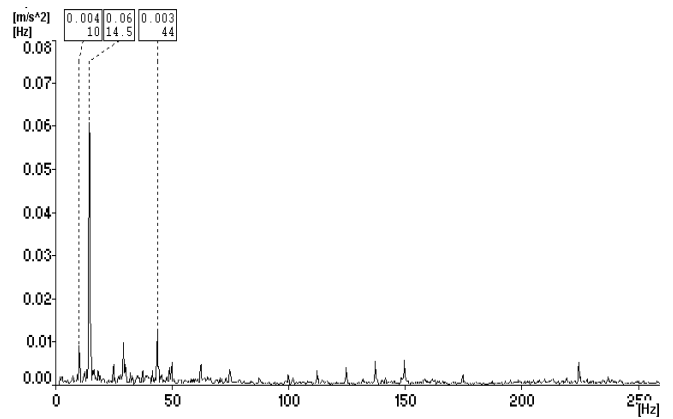
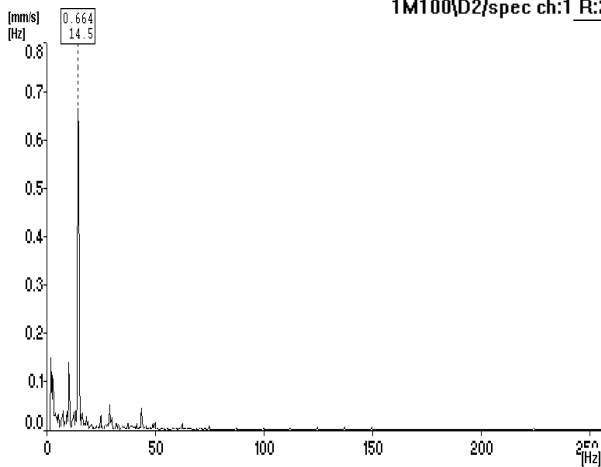
1M100\D1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:50:45 A4400 S



### MT06 taško virpesių greičių spektras

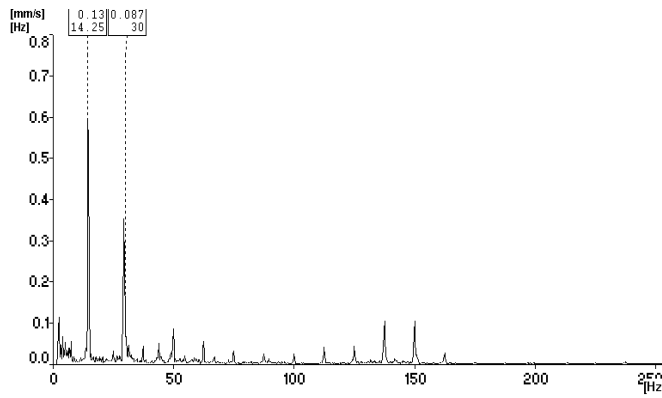
### MT06 taško virpesių pagreičių spektras

1M100\D2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:51:14 A4400 S

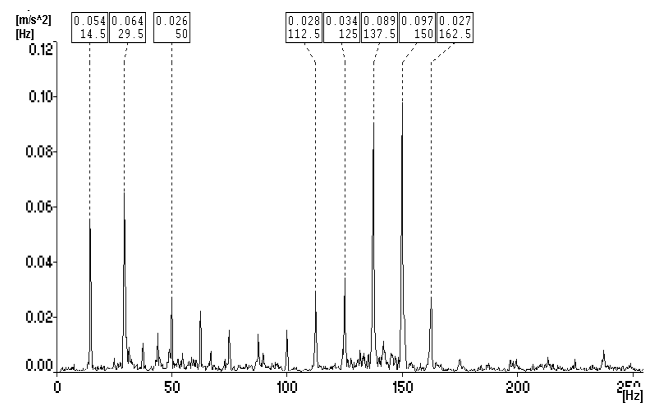


### MT07 taško virpesių greičių spektras

1M100\D3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:51:47 A4400 S

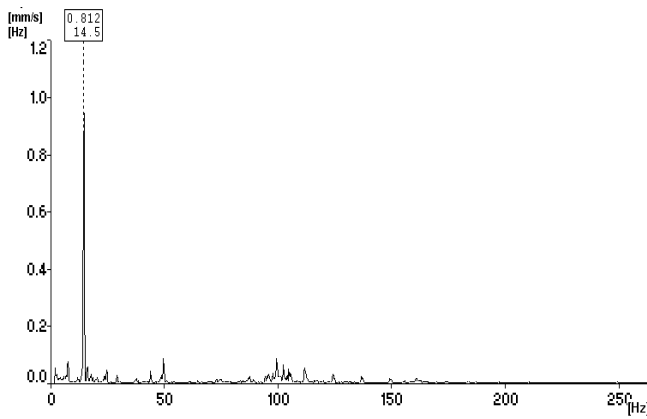


### MT07 taško virpesių pagreičių spektras

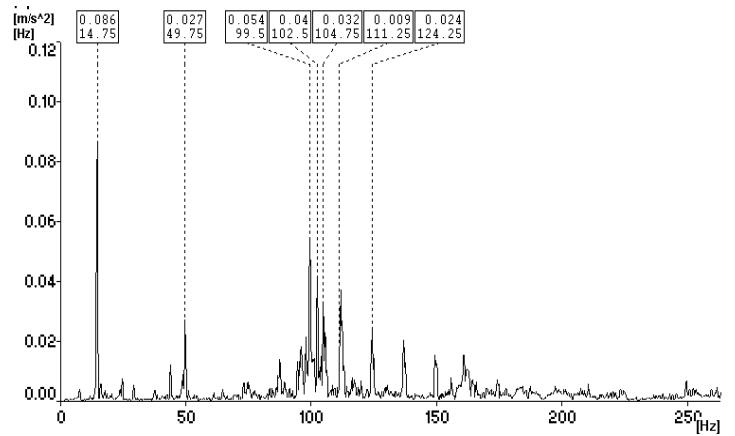


### MT08 taško virpesių greičių spektras

1M100\D4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:52:15 A4400 S

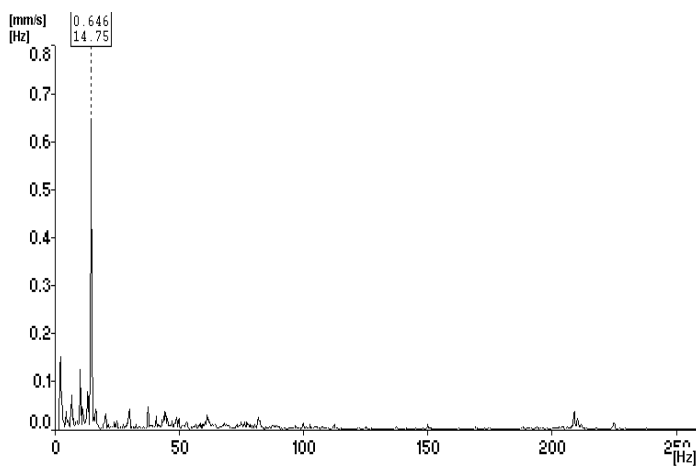


### MT08 taško virpesių pagreičių spektras

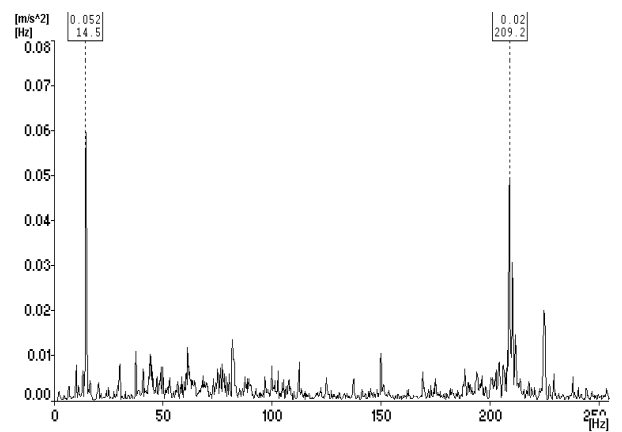


### MT09 taško virpesių greičių spektras

1M100\D6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:53:00 A4400 S

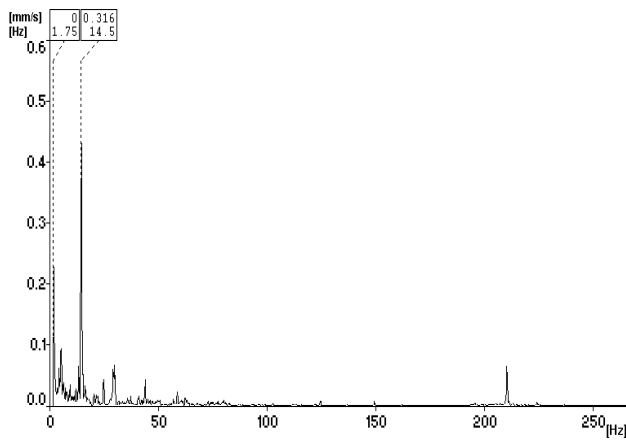


### MT09 taško virpesių pagreičių spektras

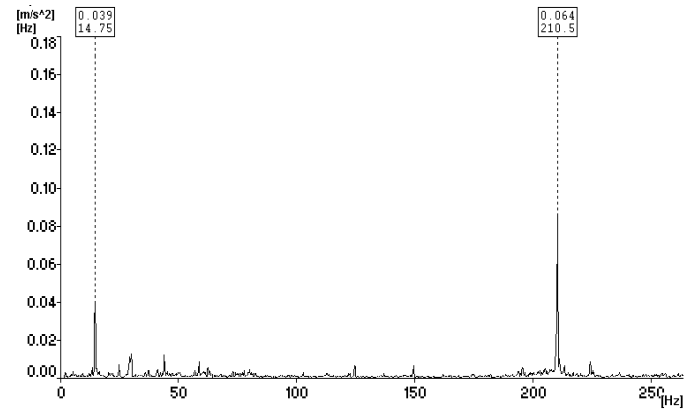


### MT10 taško virpesių greičių spektras

1M100\D7/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:53:24 A4400 S

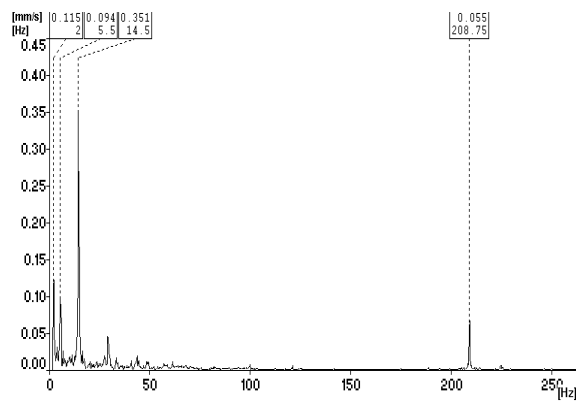


### MT10 taško virpesių pagreičių spektras

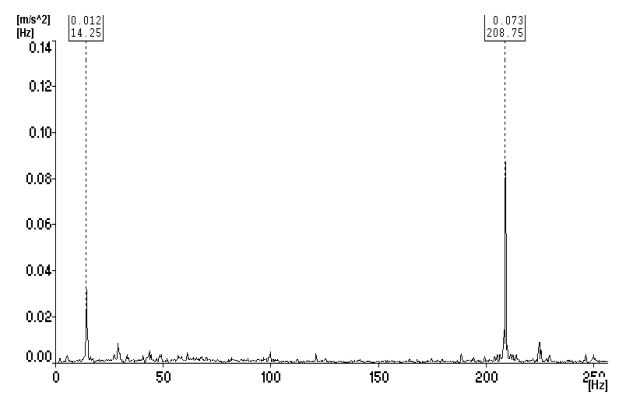


### MT11 taško virpesių greičių spektras

1M100\D8/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:53:54 A4400 S

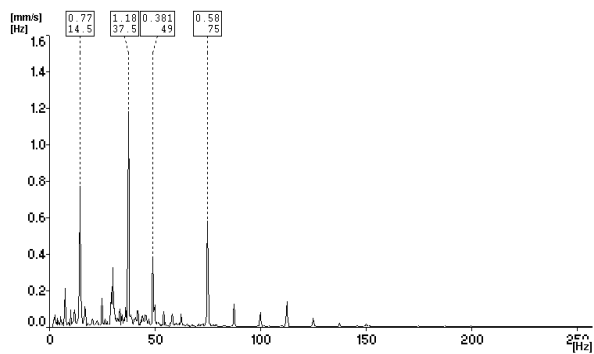


### MT11 taško virpesių pagreičių spektras

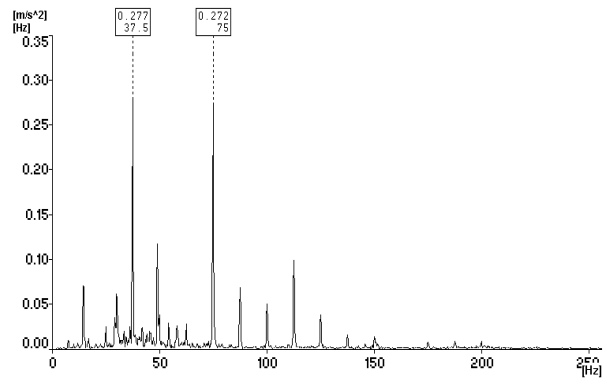


### MT12 taško virpesių greičių spektras

1M100\K1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:54:31 A4400 S



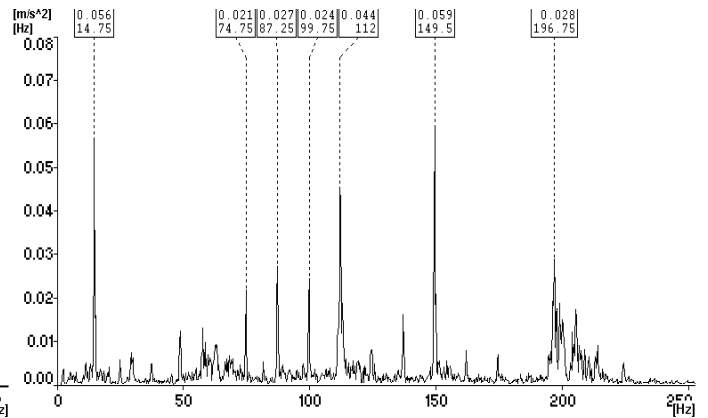
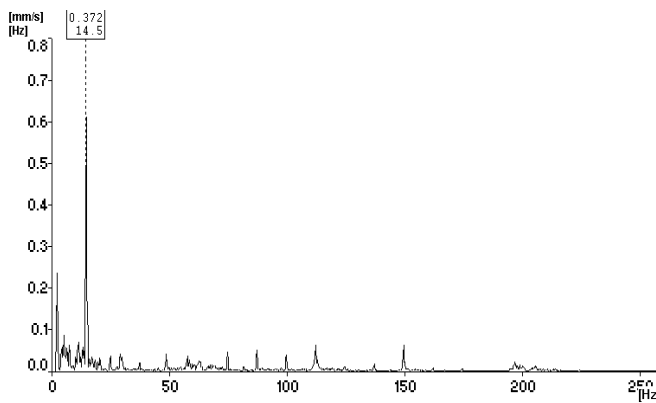
### MT12 taško virpesių pagreičių spektras



### MT13 taško virpesių greičių spektras

### MT13 taško virpesių pagreičių spektras

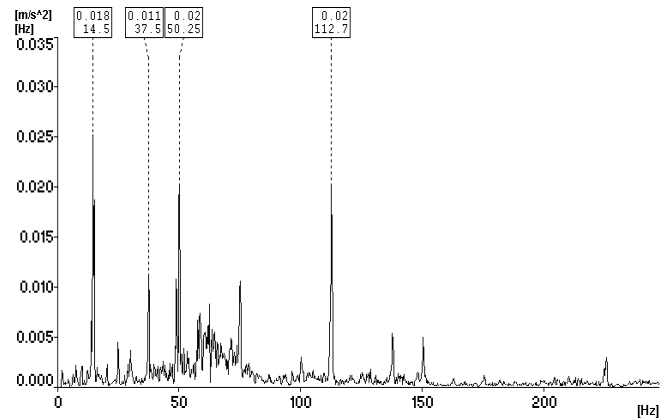
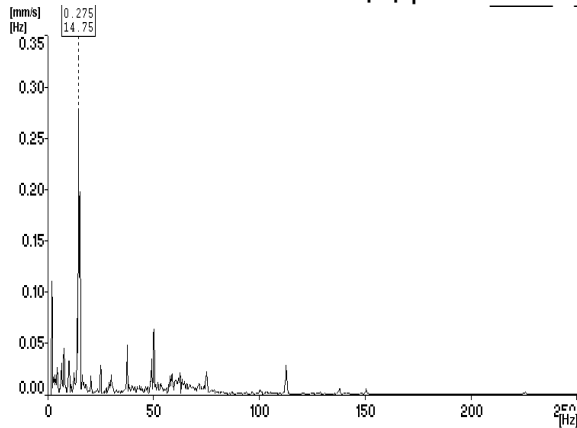
1M100\K2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:54:54 A4400 S



### MT14 taško virpesių greičių spektras

### MT14 taško virpesių pagreičių spektras

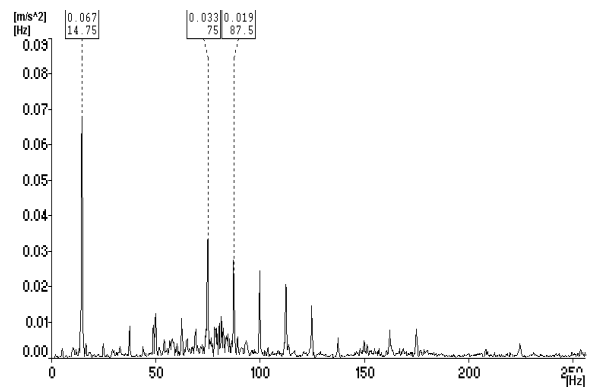
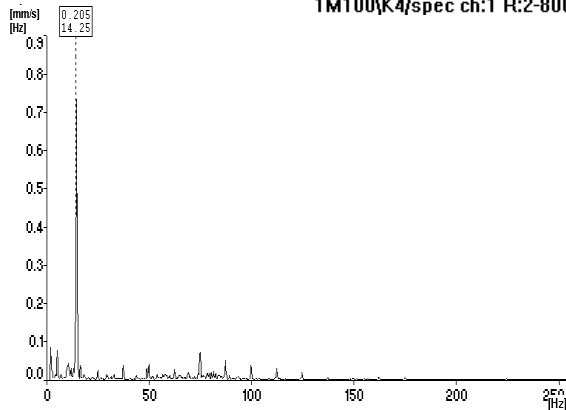
1M100\K3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:55:17 A4400 S



### MT15 taško virpesių greičių spektras

### MT15 taško virpesių pagreičių spektras

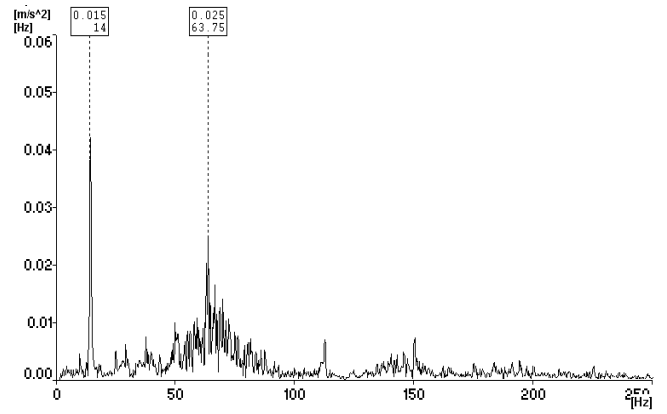
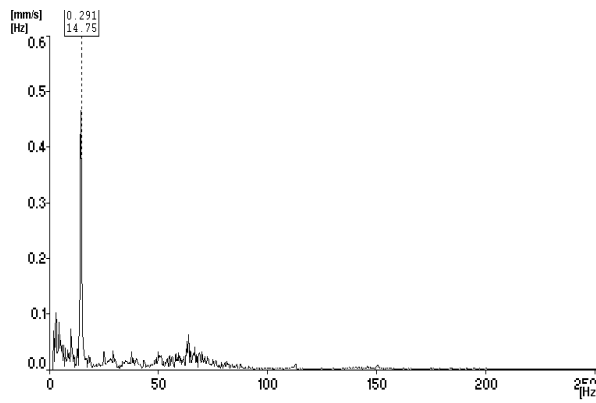
1M100\K4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:55:42 A4400 S



### MT16 taško virpesių greičių spektras

### MT16 taško virpesių pagreičių spektras

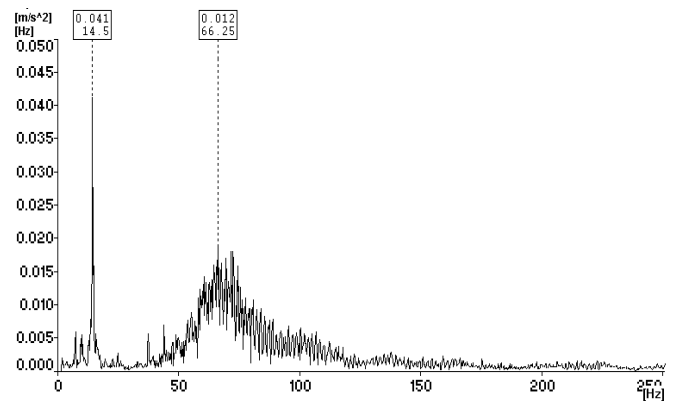
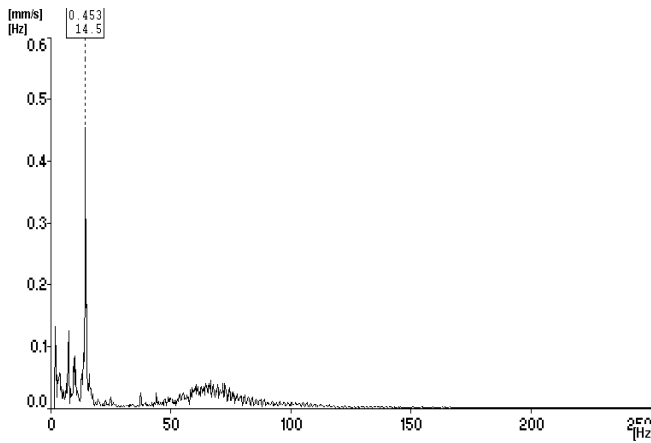
1M100\K5/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:56:04 A4400 S



### MT17 taško virpesių greičių spektras

### MT17 taško virpesių pagreičių spektras

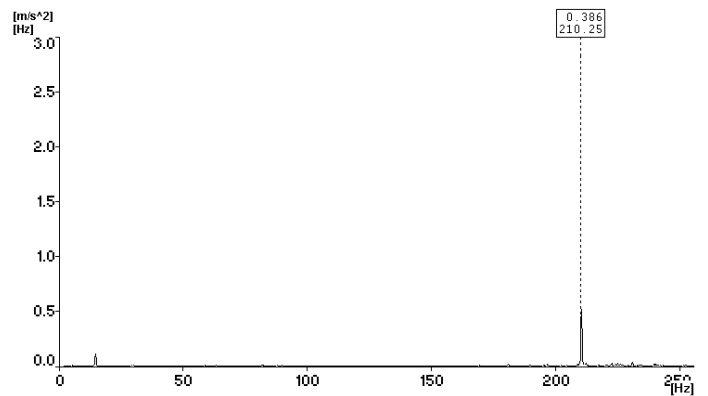
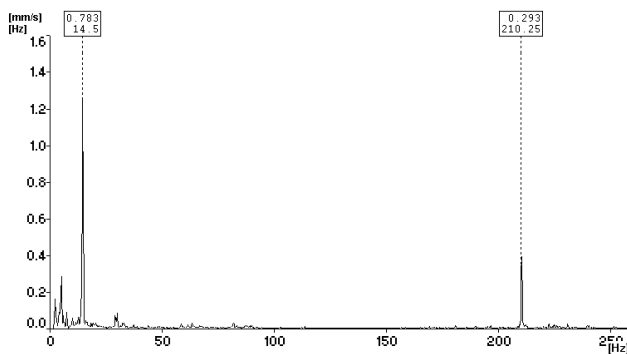
1M100\K6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:56:30 A4400 S



### MT18 taško virpesių greičių spektras

### MT18 taško virpesių pagreičių spektras

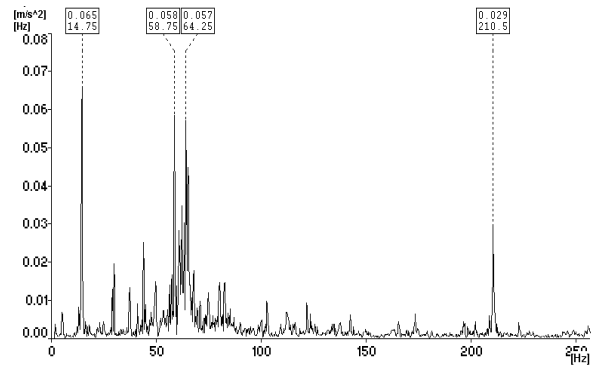
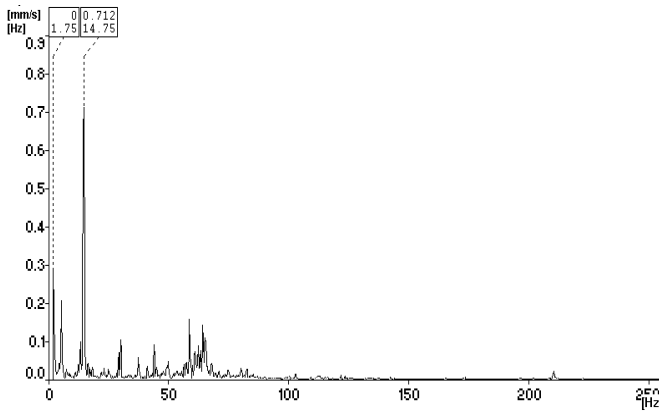
1M100\S1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:57:27 A4400 S



### MT19 taško virpesių greičių spektras

### MT19 taško virpesių pagreičių spektras

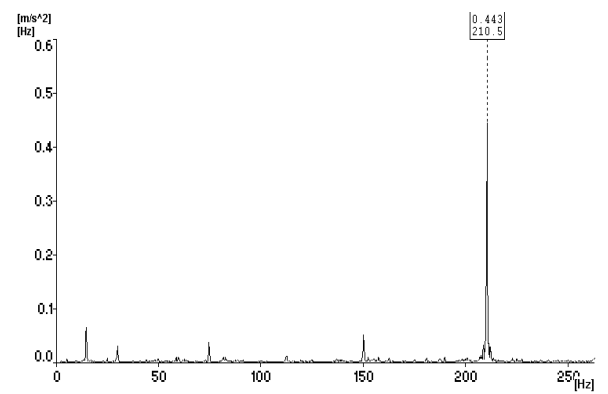
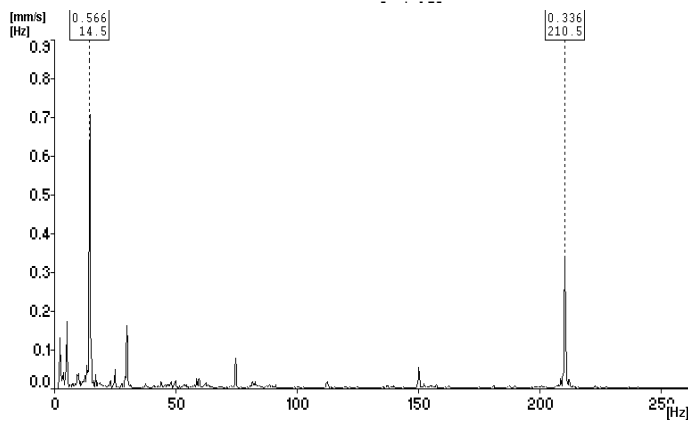
1M100\S2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:57:48 A4400 S



### MT20 taško virpesių greičių spektras

### MT20 taško virpesių pagreičių spektras

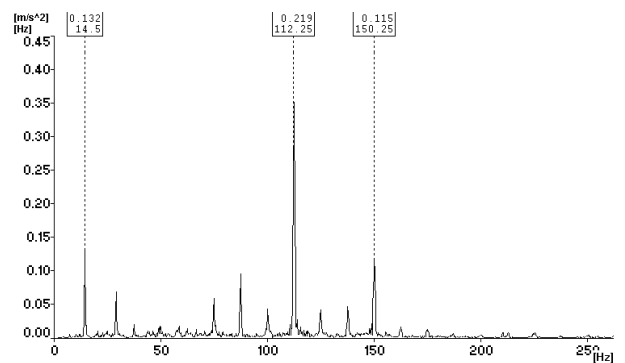
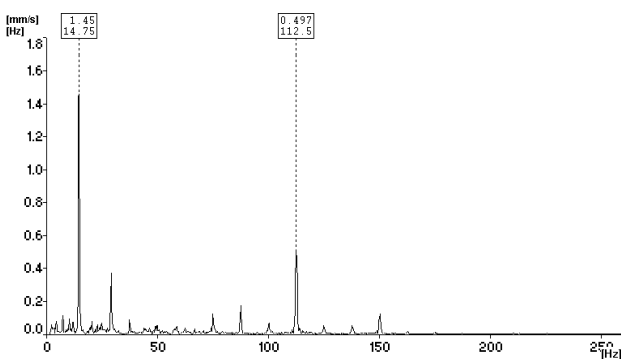
1M100\S3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:58:09 A4400 S



### MT21 taško virpesių greičių spektras

### MT21 taško virpesių pagreičių spektras

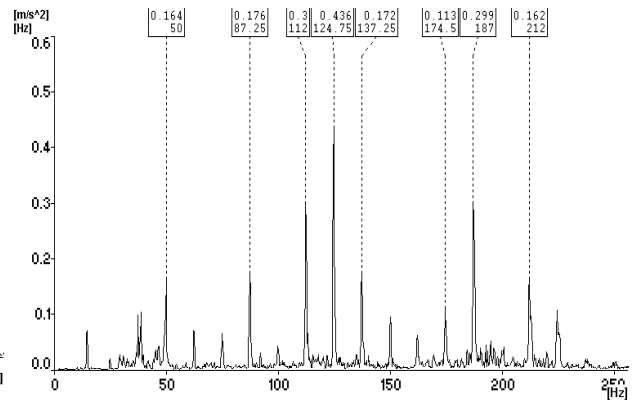
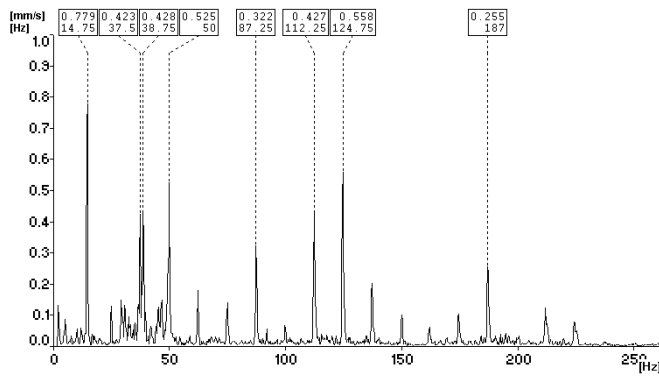
1M100\S4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:58:34 A4400 S



### MT22 taško virpesių greičių spektras

### MT22 taško virpesių pagreičių spektras

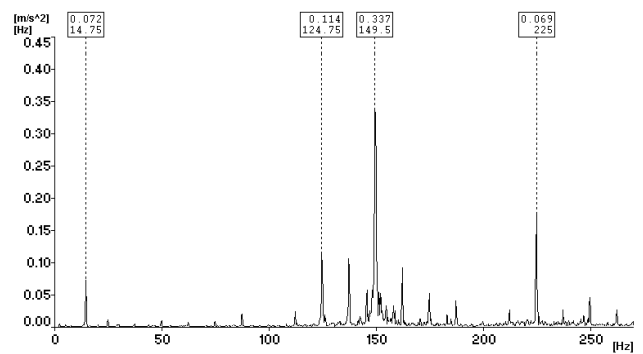
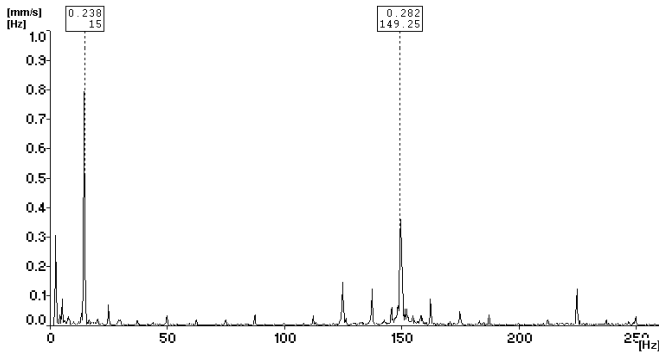
1M100\S5/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:58:56 A4400 S



### MT23 taško virpesių greičių spektras

### MT23 taško virpesių pagreičių spektras

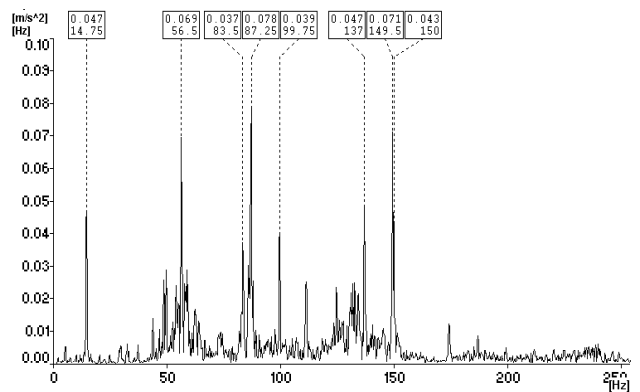
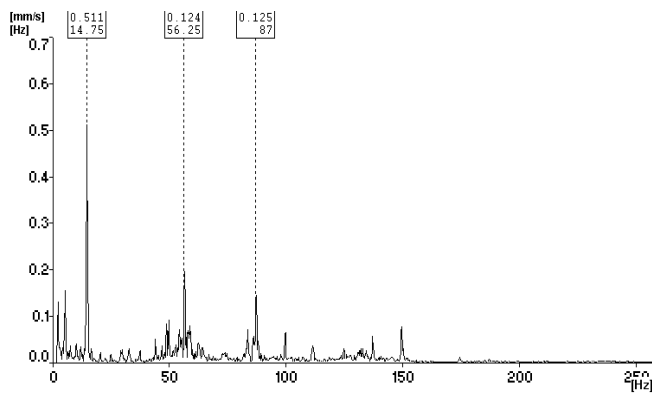
1M100\S6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:59:19 A4400 S



### MT24 taško virpesių greičių spektras

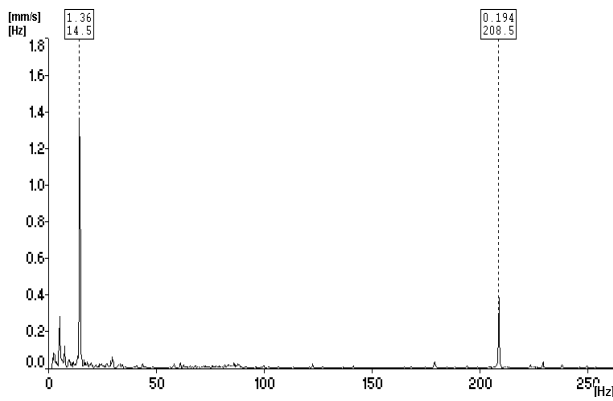
### MT24 taško virpesių pagreičių spektras

1M100\S7/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 08:59:44 A4400 S

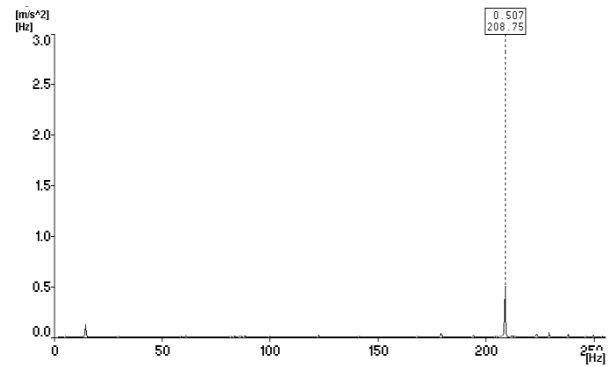


### MT25 taško virpesių greičių spektras

1M100\P1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:00:40 A4400 S

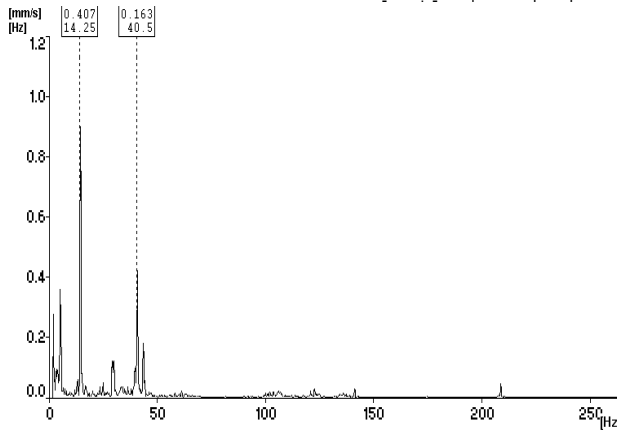


### MT25 taško virpesių pagreičių spektras

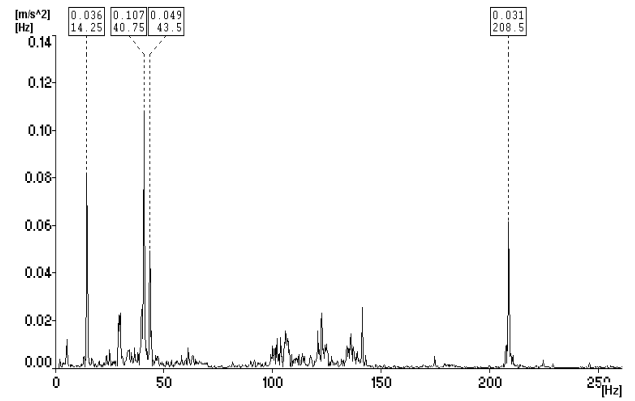


### MT26 taško virpesių greičių spektras

1M100\P2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:01:02 A4400 S

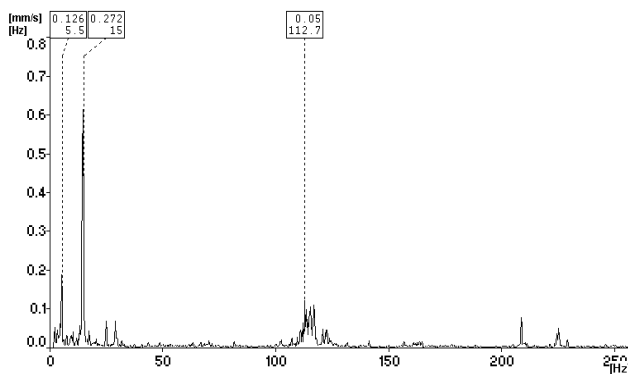


### MT26 taško virpesių pagreičių spektras

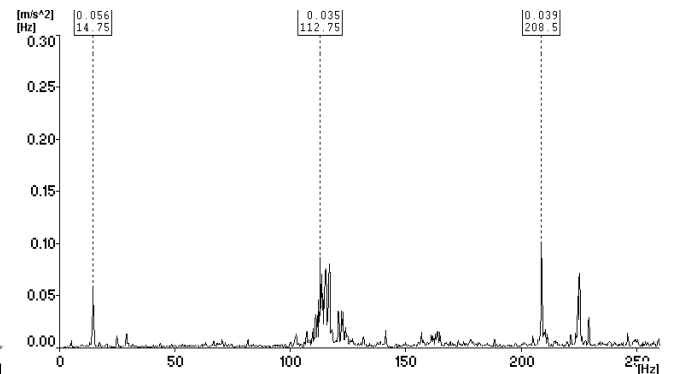


### MT27 taško virpesių greičių spektras

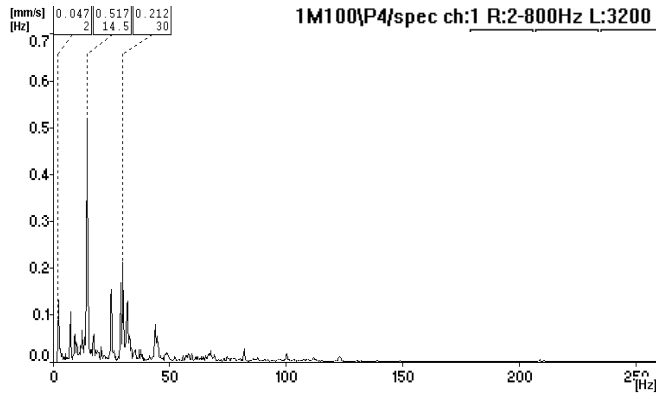
1M100\P3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:01:22 A4400 S



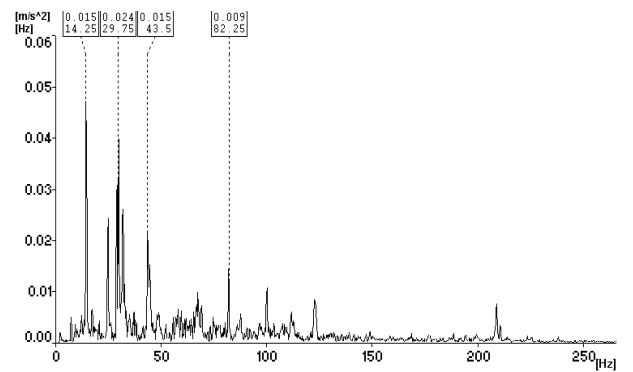
### MT27 taško virpesių pagreičių spektras



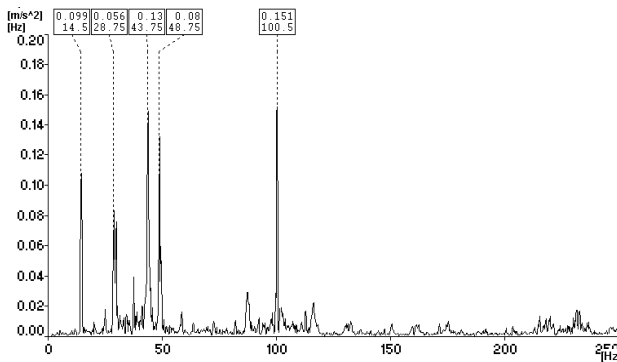
### MT28 taško virpesių greičių spektras



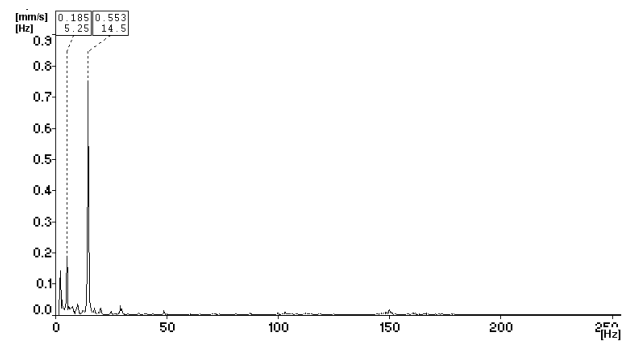
### MT28 taško virpesių pagreičių spektras



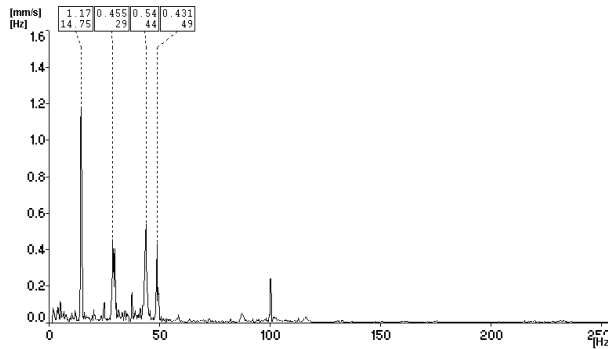
### MT29 taško virpesių greičių spektras



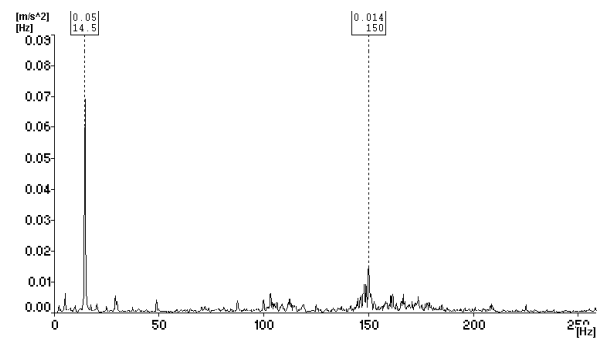
### MT29 taško virpesių pagreičių spektras



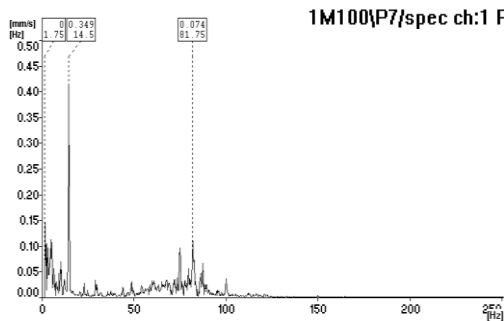
### MT30 taško virpesių greičių spektras



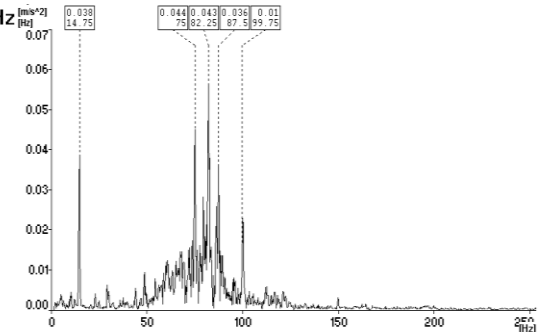
### MT30 taško virpesių pagreičių spektras



### MT31 taško virpesių greičių spektras

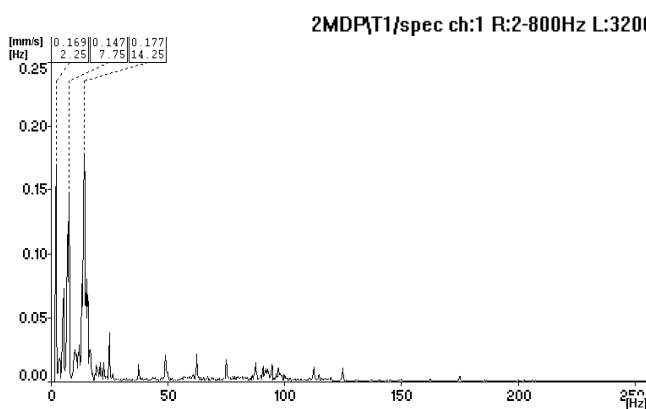


### MT31 taško virpesių pagreičių spektras

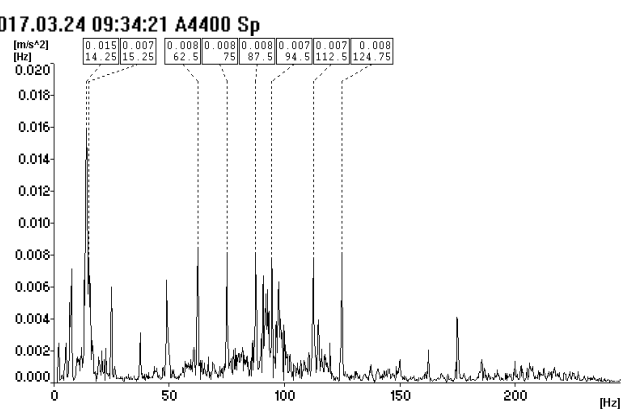


Laivo „Mintis“ virpesių spektrai, gauti antro laivo darbo režimo metu

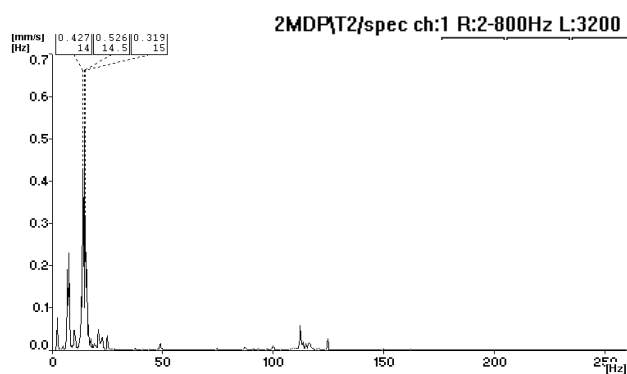
MT01 taško virpesių greičių spektras



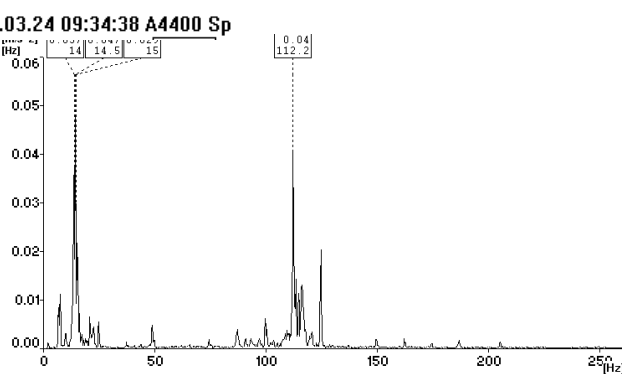
MT01 taško virpesių pagreičių spektras



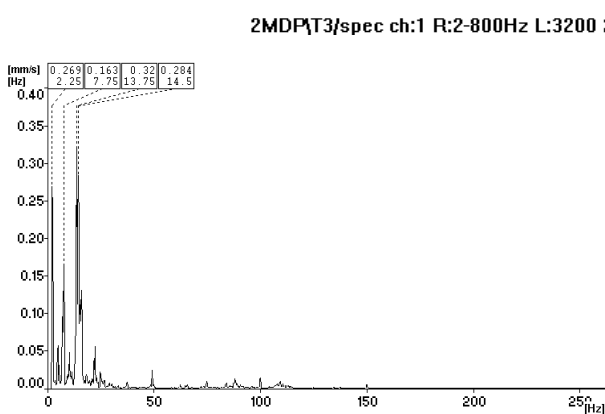
MT02 taško virpesių greičių spektras



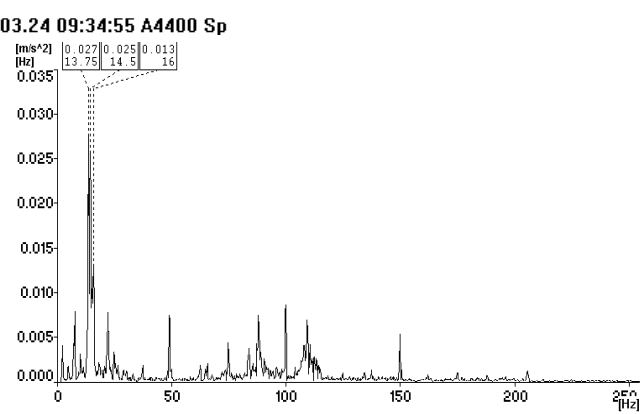
MT02 taško virpesių pagreičių spektras



MT03 taško virpesių greičių spektras



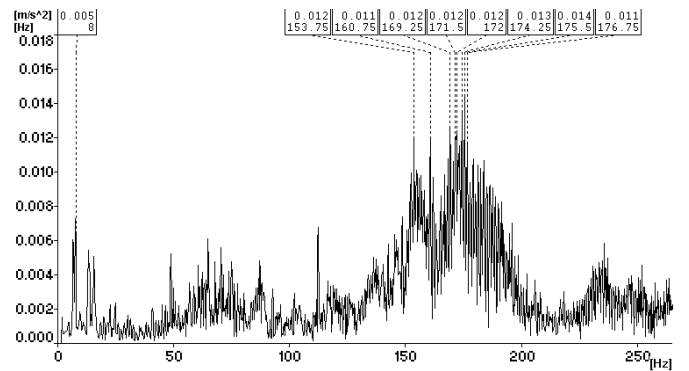
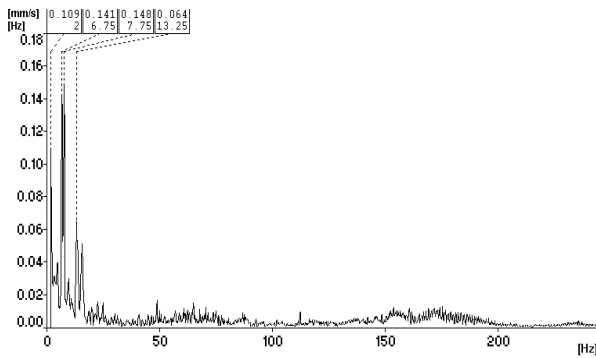
MT03 taško virpesių pagreičių spektras



### MT04 taško virpesių greičių spektras

### MT04 taško virpesių pagreičių spektras

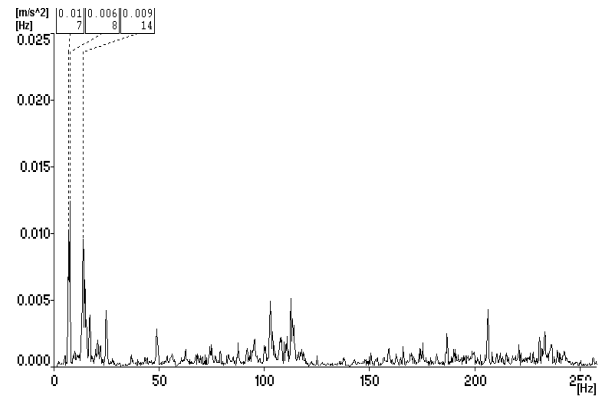
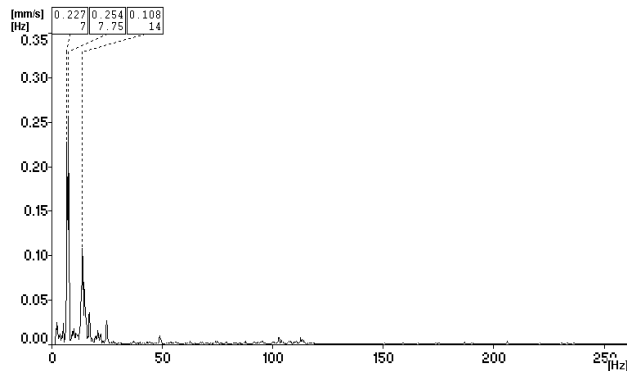
2MDP\T4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:35:16 A4400 Sp



### MT05 taško virpesių greičių spektras

### MT05 taško virpesių pagreičių spektras

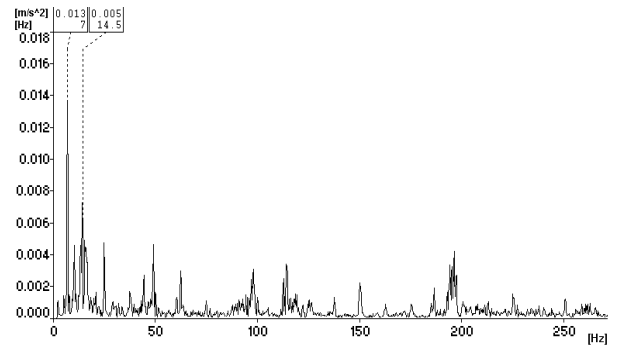
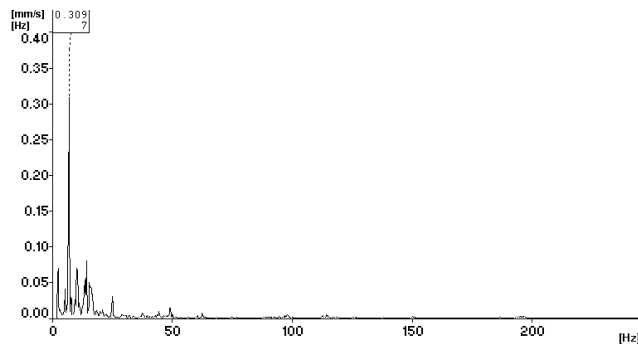
2MDP\D1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:35:49 A4400 Sp



### MT06 taško virpesių greičių spektras

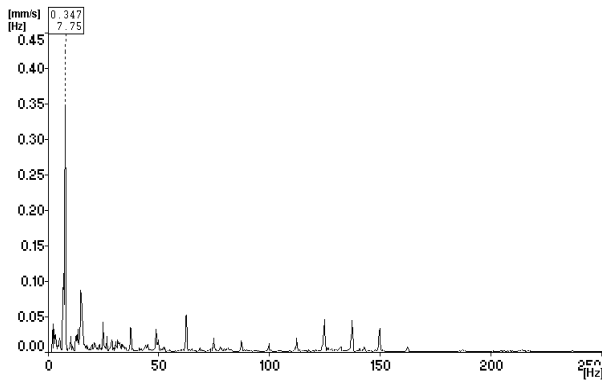
### MT06 taško virpesių pagreičių spektras

2MDP\D2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:36:10 A4400 Sp

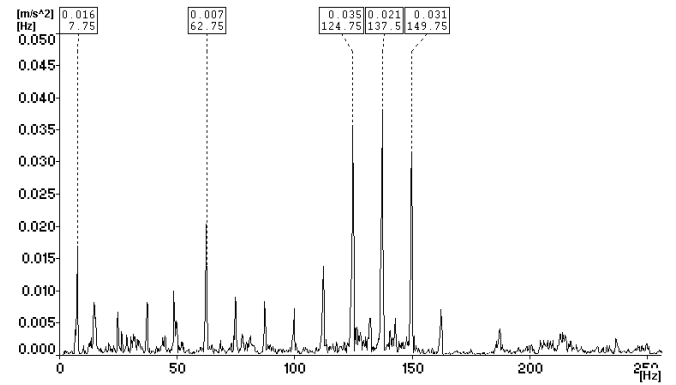


### MT07 taško virpesių greičių spektras

2MDP\D3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:36:35 A4400 Sp

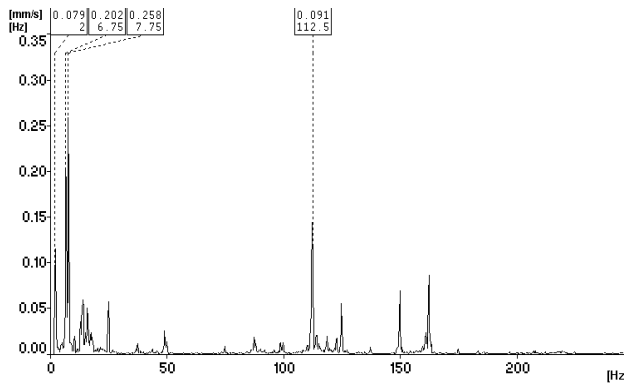


### MT07 taško virpesių pagreičių spektras

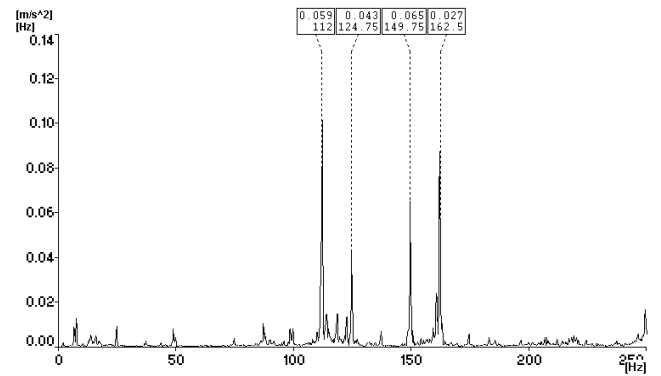


### MT08 taško virpesių greičių spektras

2MDP\D4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:36:59 A4400 Sp

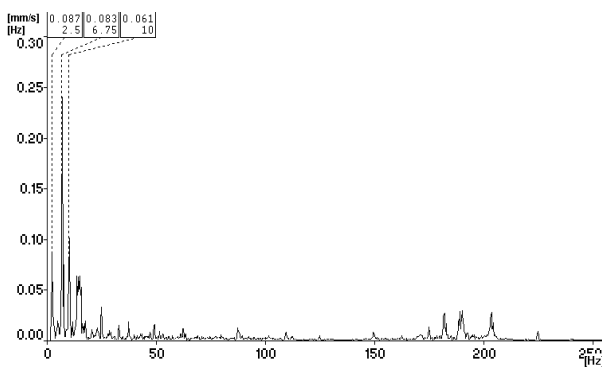


### MT08 taško virpesių pagreičių spektras

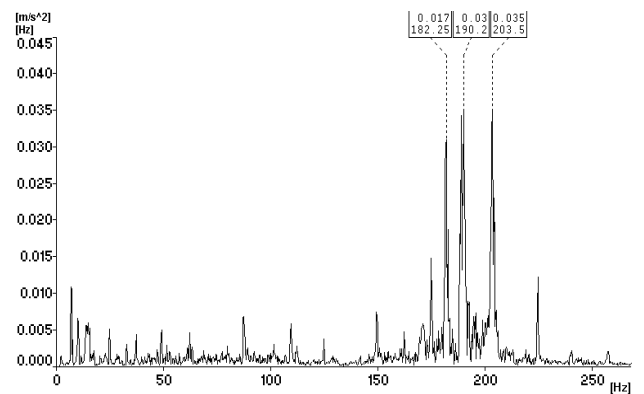


### MT09 taško virpesių greičių spektras

2MDP\D6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:37:25 A4400 Sp

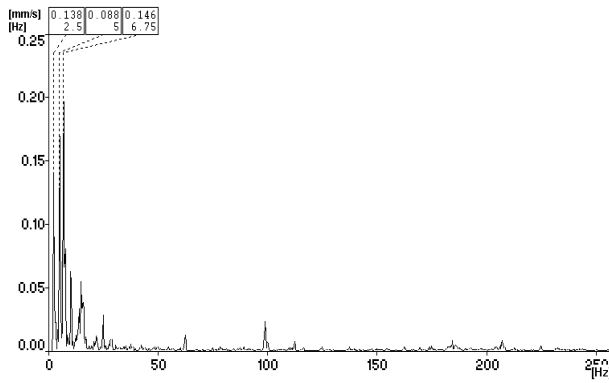


### MT09 taško virpesių pagreičių spektras

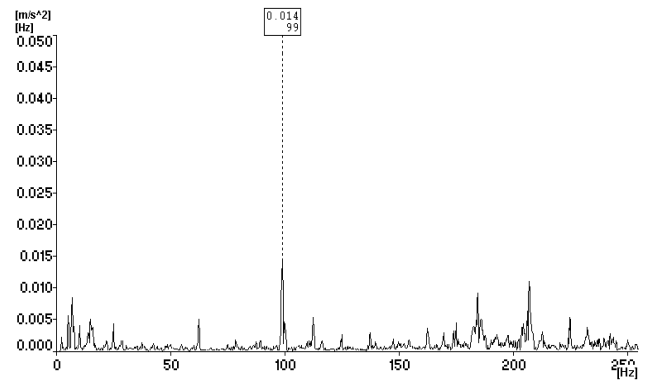


### MT10 taško virpesių greičių spektras

2MDP\D7/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:37:42 A4400 Sp

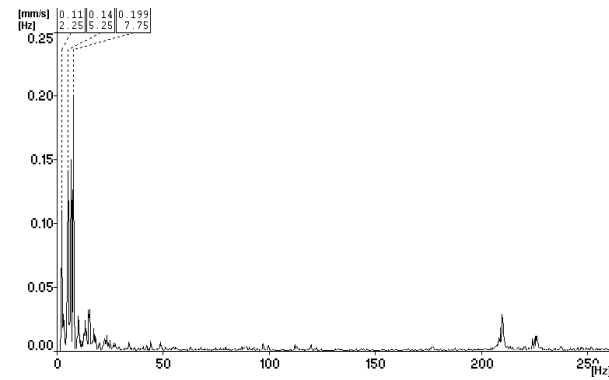


### MT10 taško virpesių pagreičių spektras

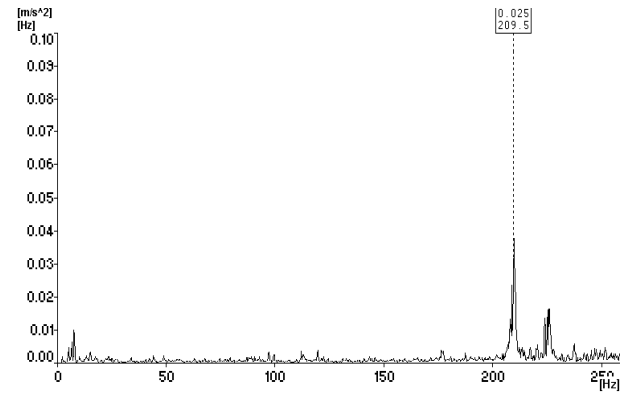


### MT11 taško virpesių greičių spektras

2MDP\D8/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:38:03 A4400 Sp

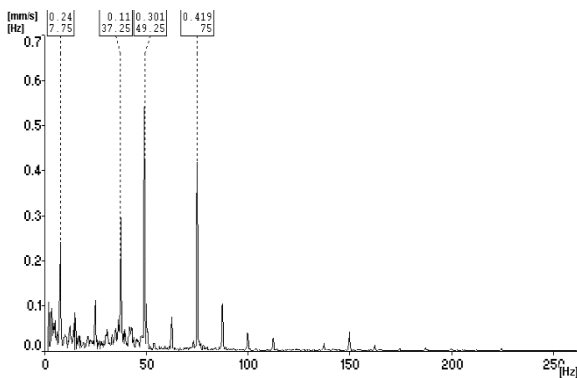


### MT11 taško virpesių pagreičių spektras

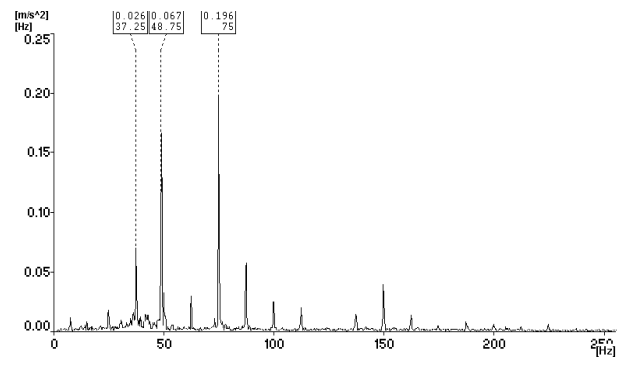


### MT12 taško virpesių greičių spektras

2MDP\K1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:38:40 A4400 Sp



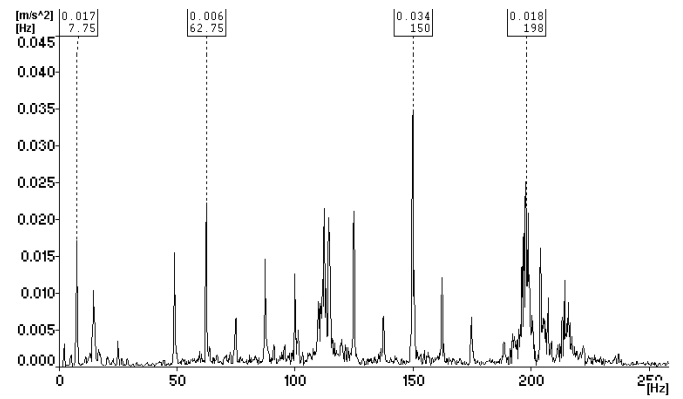
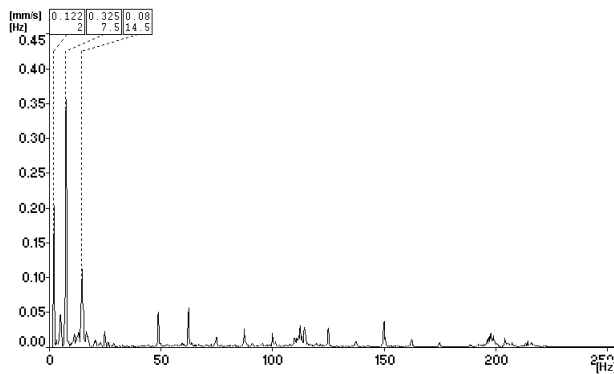
### MT12 taško virpesių pagreičių spektras



### MT13 taško virpesių greičių spektras

### MT13 taško virpesių pagreičių spektras

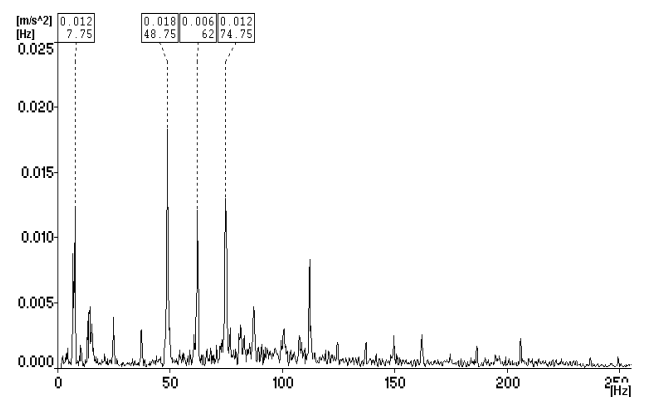
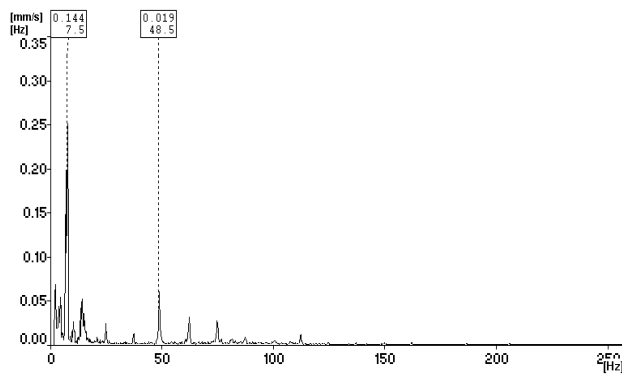
2MDPK2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:39:02 A4400 Sp



### MT14 taško virpesių greičių spektras

### MT14 taško virpesių pagreičių spektras

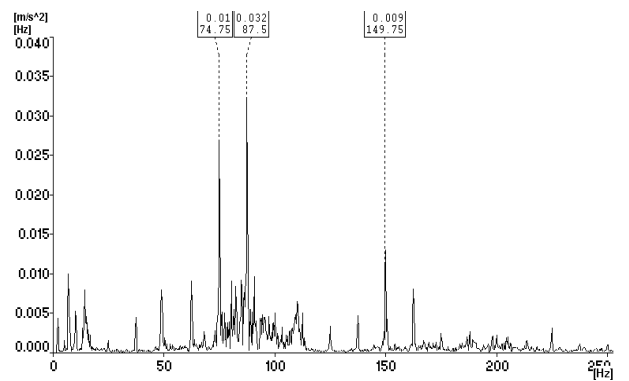
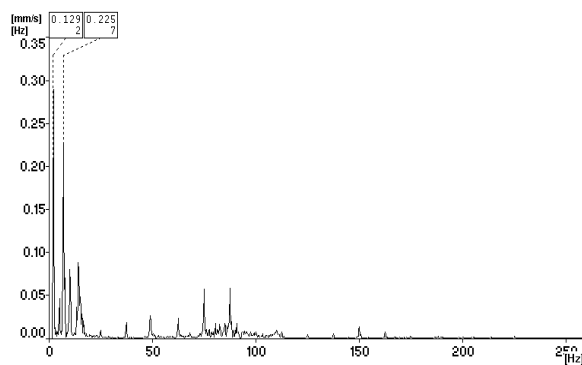
2MDPK3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:40:08 A4400 Sp



### MT15 taško virpesių greičių spektras

### MT15 taško virpesių pagreičių spektras

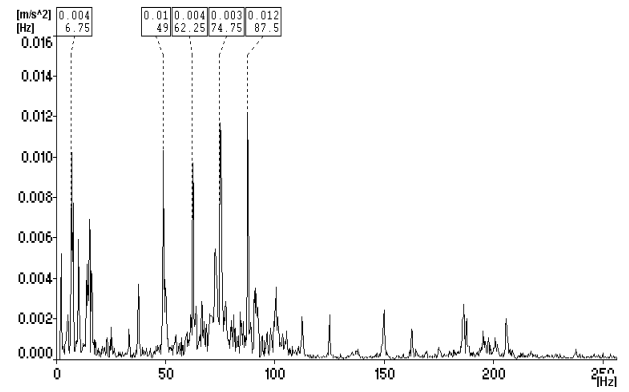
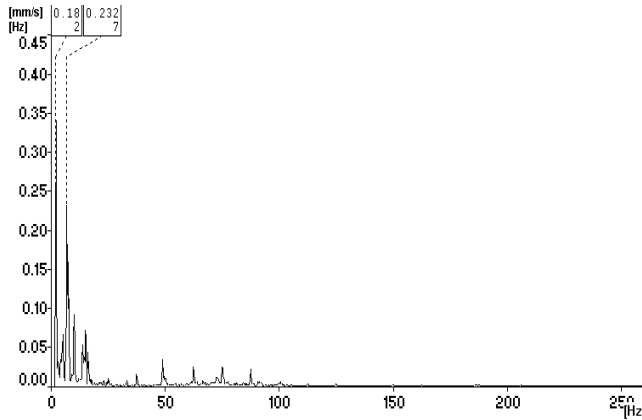
2MDPK4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:40:27 A4400 Sp



### MT16 taško virpesių greičių spektras

### MT16 taško virpesių pagreičių spektras

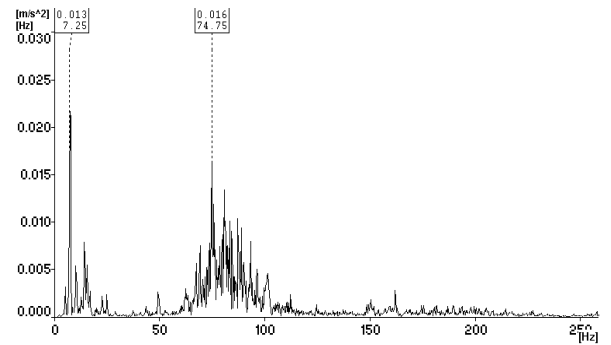
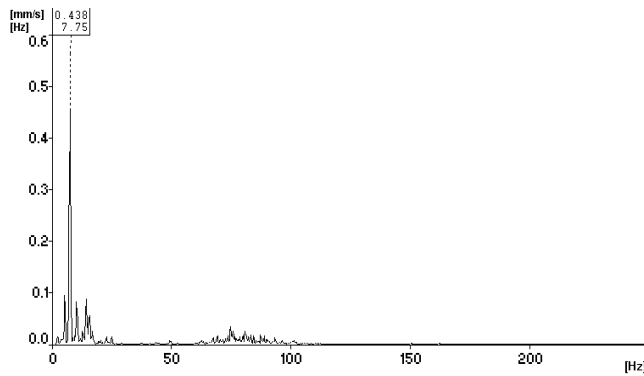
2MDPK5/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:40:43 A4400 Sp



### MT17 taško virpesių greičių spektras

### MT17 taško virpesių pagreičių spektras

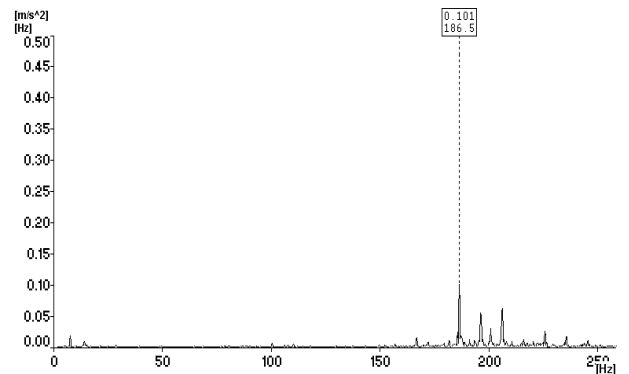
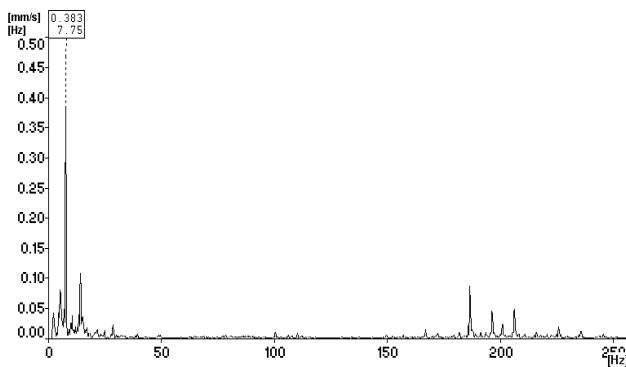
2MDPK6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:41:22 A4400 Sp



### MT18 taško virpesių greičių spektras

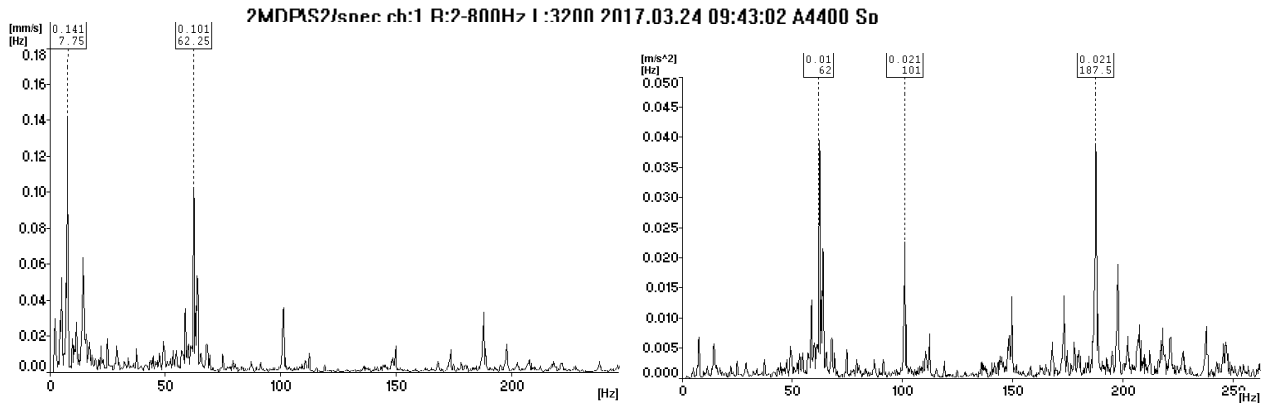
### MT18 taško virpesių pagreičių spektras

2MDPS1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:42:31 A4400 Sp



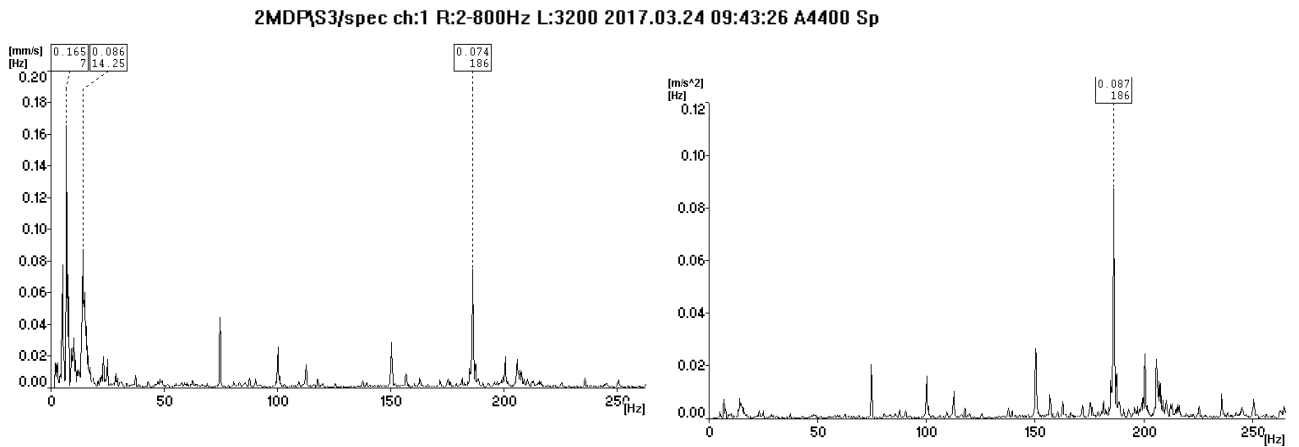
### MT19 taško virpesių greičių spektras

### MT19 taško virpesių pagreičių spektras



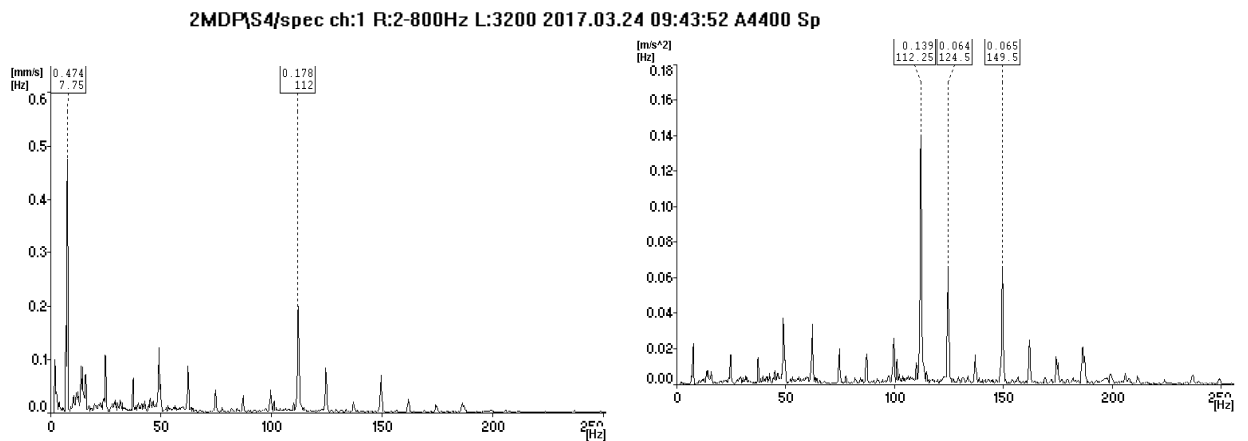
### MT20 taško virpesių greičių spektras

### MT20 taško virpesių pagreičių spektras

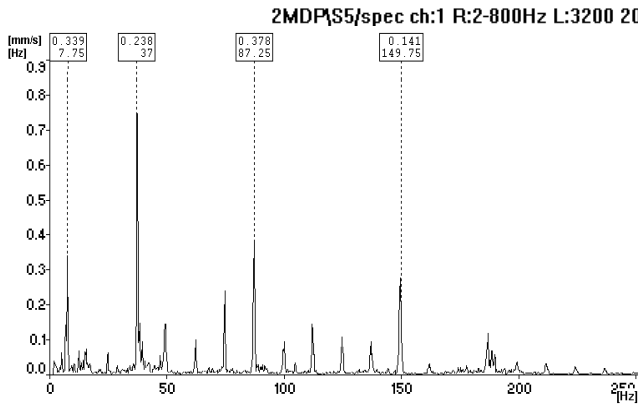


### MT21 taško virpesių greičių spektras

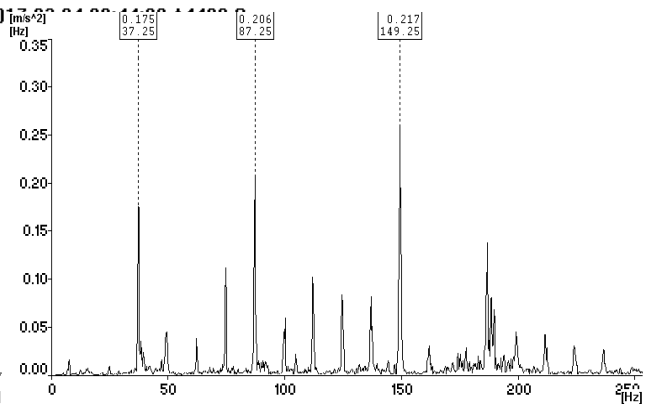
### MT21 taško virpesių pagreičių spektras



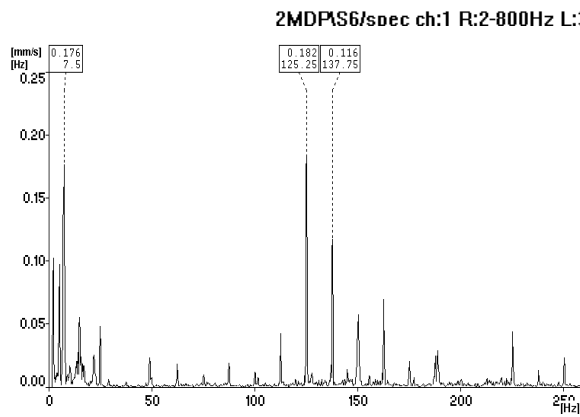
MT22 taško virpesių greičių spektras



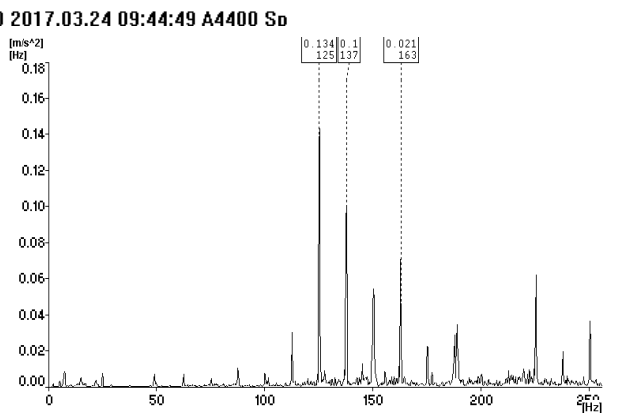
MT22 taško virpesių pagreičių spektras



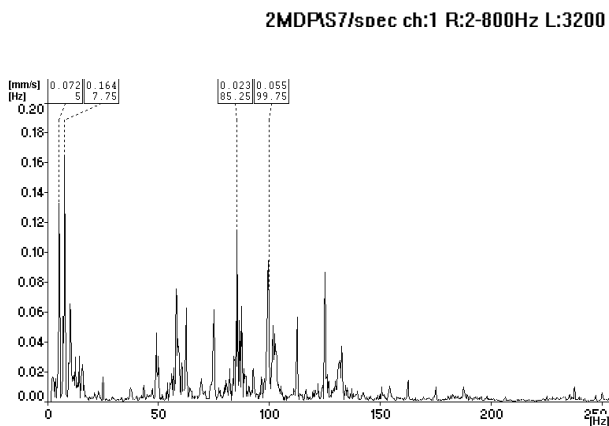
MT23 taško virpesių greičių spektras



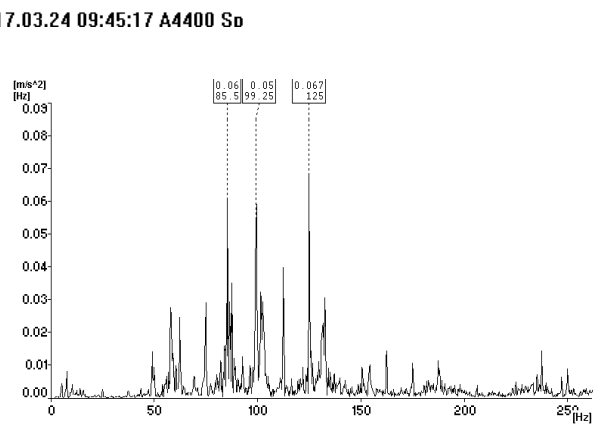
MT23 taško virpesių pagreičių spektras



MT24 taško virpesių greičių spektras



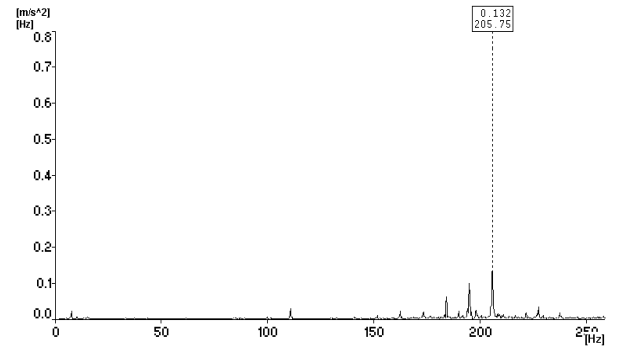
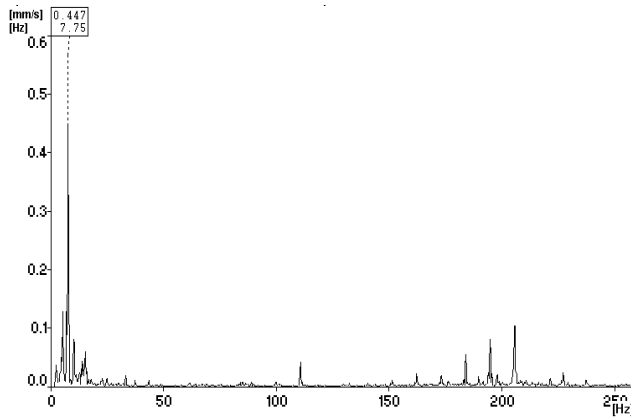
MT24 taško virpesių pagreičių spektras



### MT25 taško virpesių greičių spektras

### MT25 taško virpesių pagreičių spektras

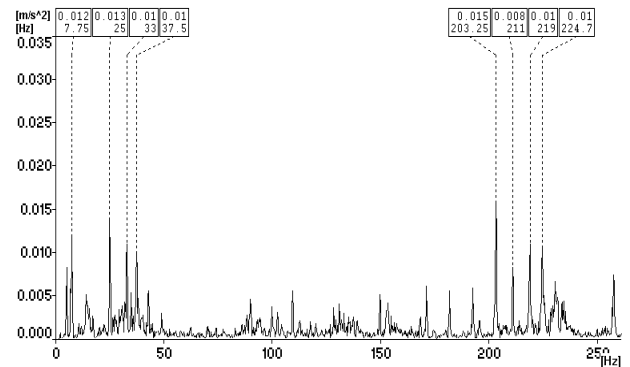
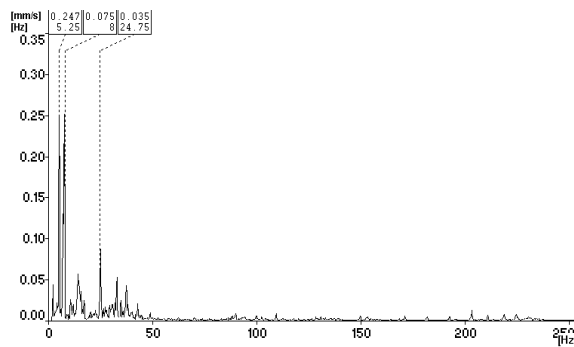
2MDP1P1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:46:18 A4400 Sp



### MT26 taško virpesių greičių spektras

### MT26 taško virpesių pagreičių spektras

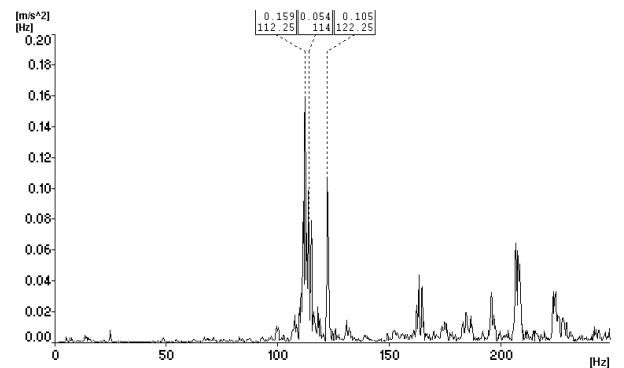
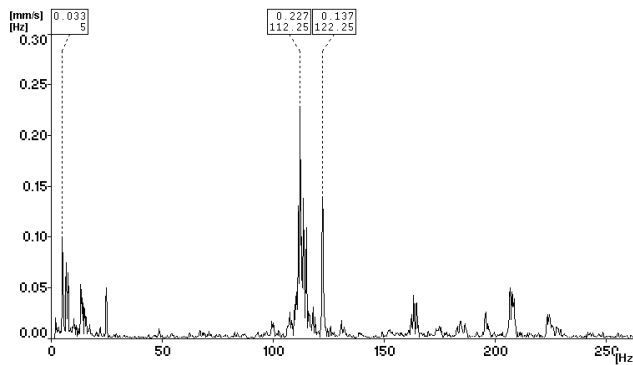
2MDP1P2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:46:44 A4400 Sp



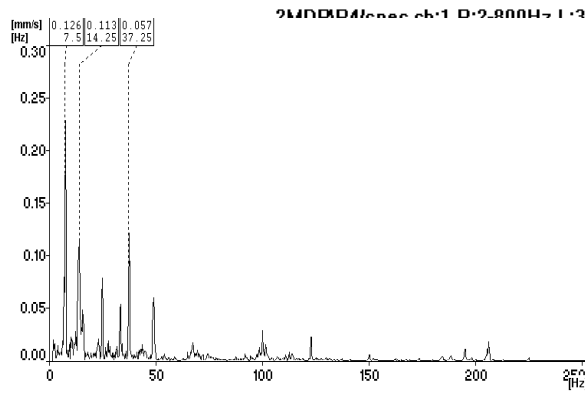
### MT27 taško virpesių greičių spektras

### MT27 taško virpesių pagreičių spektras

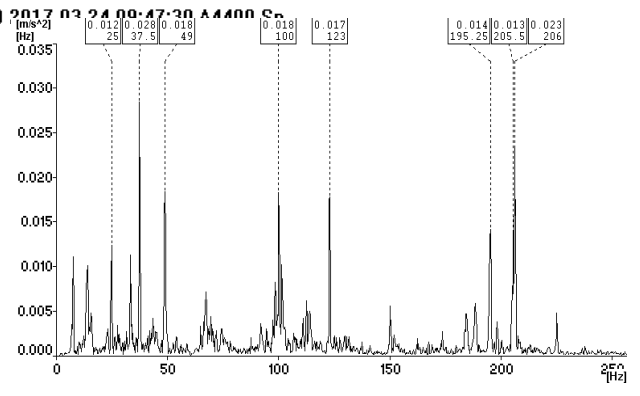
2MDP1P3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 09:47:06 A4400 Sp



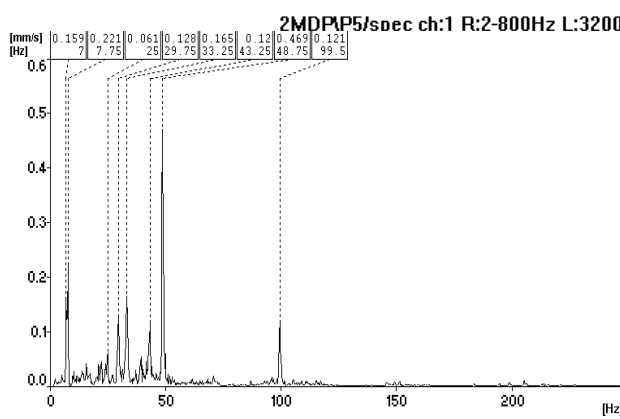
**MT28 taško virpesių greičių spektras**



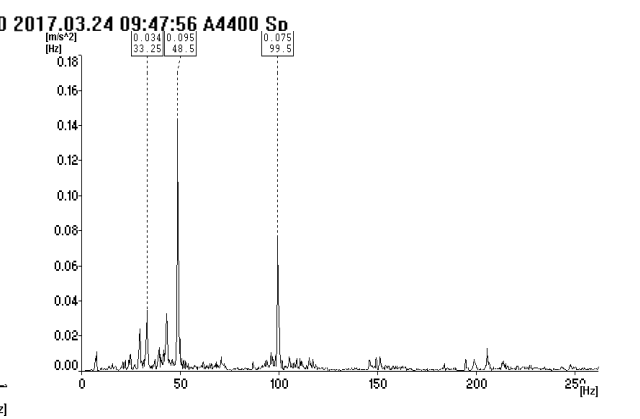
**MT28 taško virpesių pagreičių spektras**



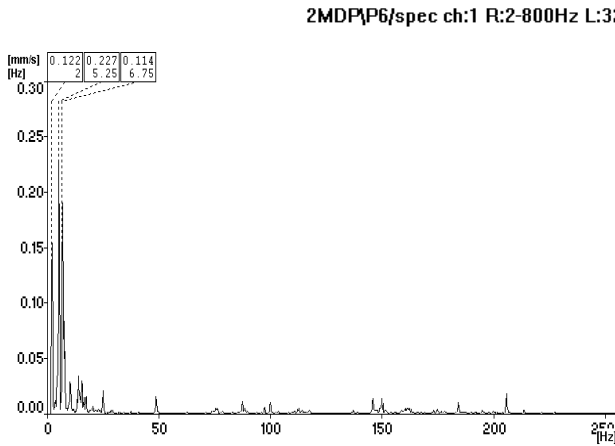
**MT29 taško virpesių greičių spektras**



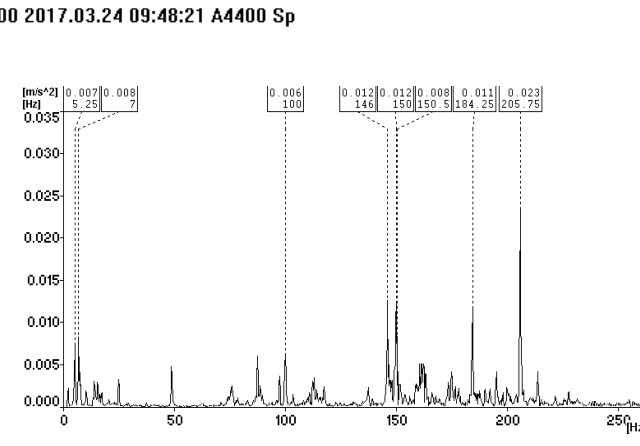
**MT29 taško virpesių pagreičių spektras**



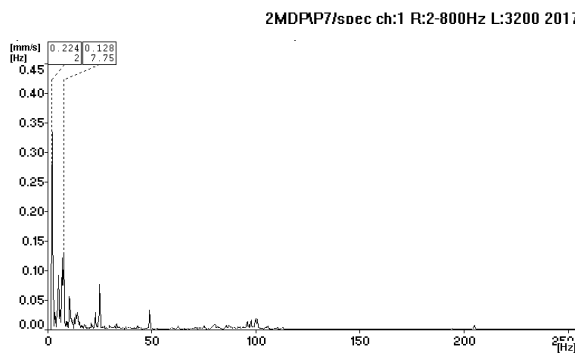
**MT30 taško virpesių greičių spektras**



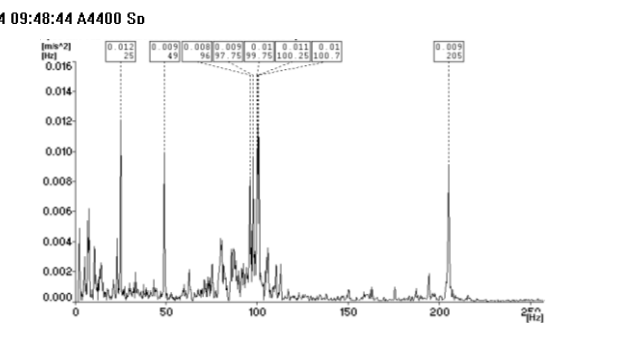
**MT30 taško virpesių pagreičių spektras**



**MT31 taško virpesių greičių spektras**



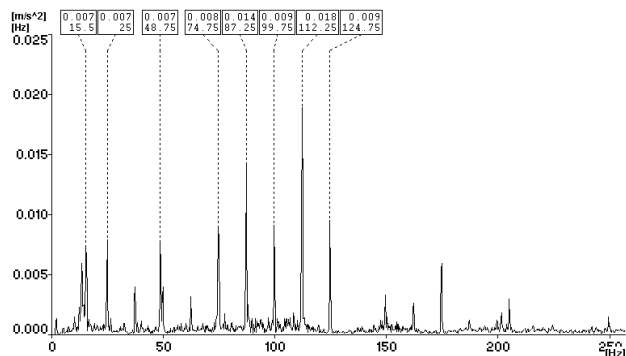
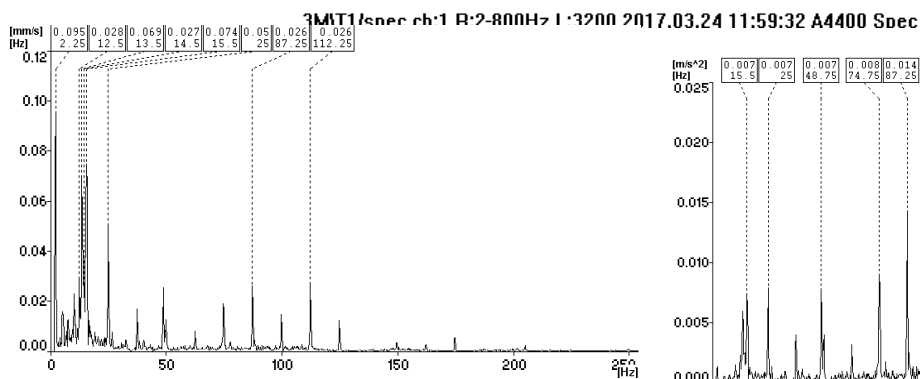
**MT31 taško virpesių pagreičių spektras**



Laivo „Mintis“ virpesių spektrai, gauti trečio laivo darbo režimo metu

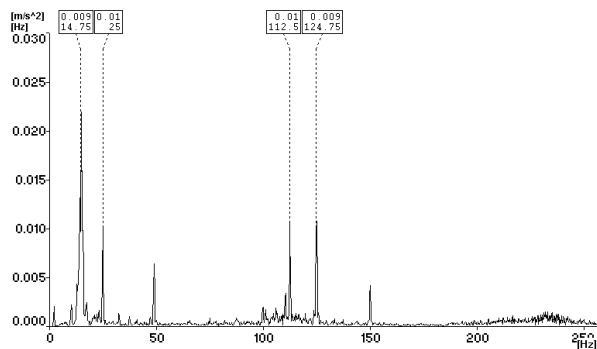
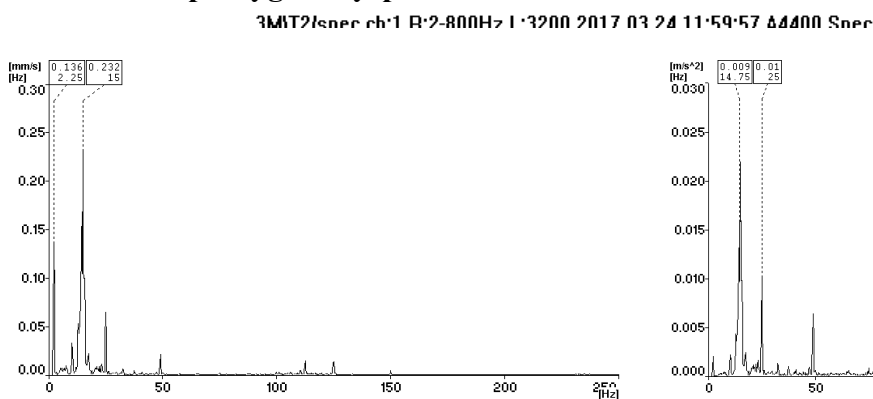
MT01 taško virpesių greičių spektras

MT01 taško virpesių pagreičių spektras



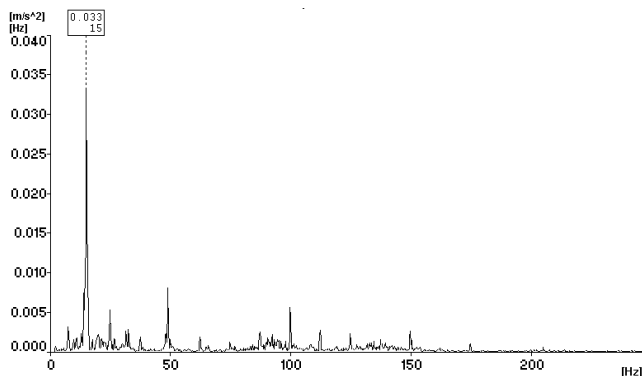
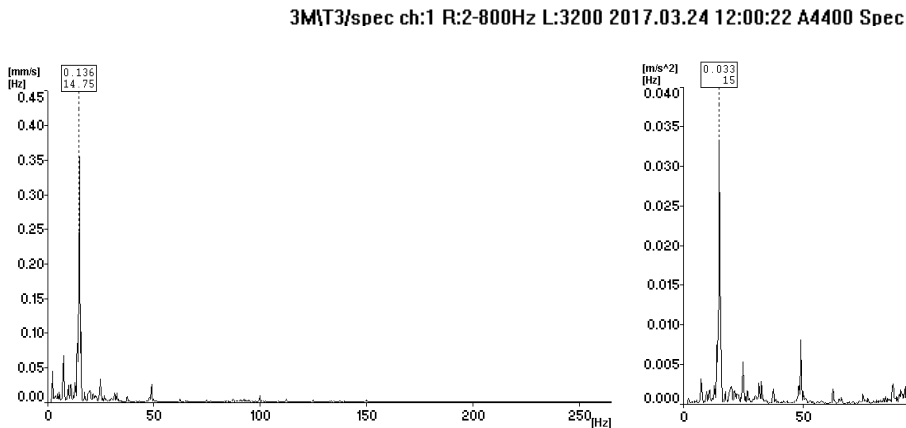
MT02 taško virpesių greičių spektras

MT02 taško virpesių pagreičių spektras



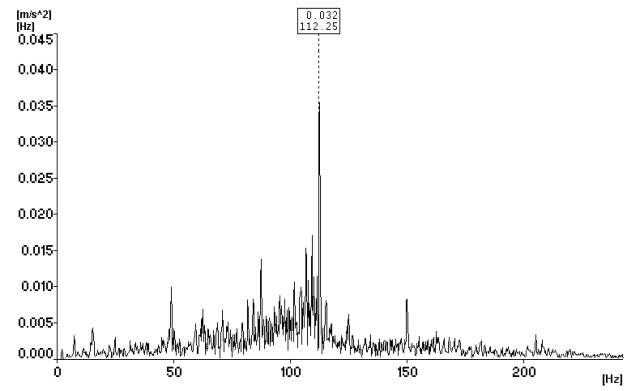
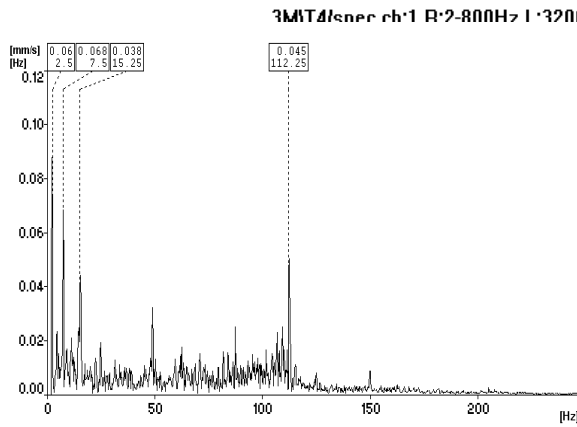
MT03 taško virpesių greičių spektras

MT03 taško virpesių pagreičių spektras



### MT04 taško virpesių greičių spektras

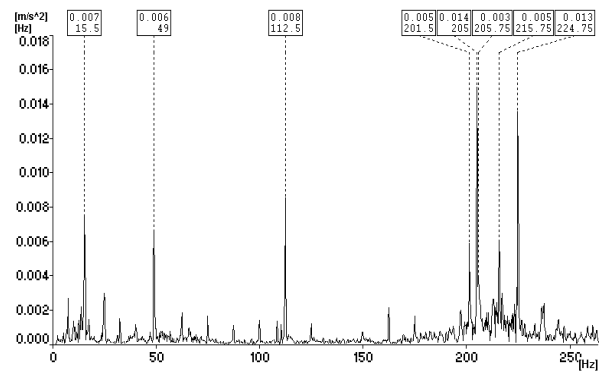
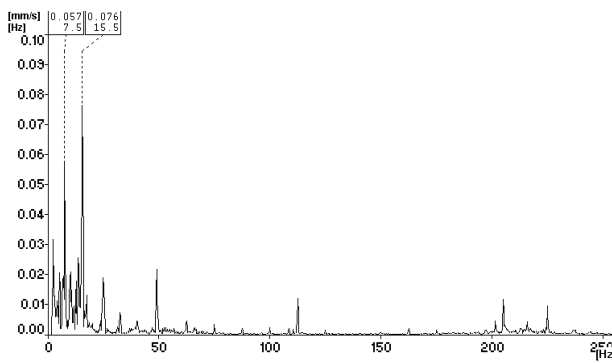
### MT04 taško virpesių pagreičių spektras



### MT05 taško virpesių greičių spektras

### MT05 taško virpesių pagreičių spektras

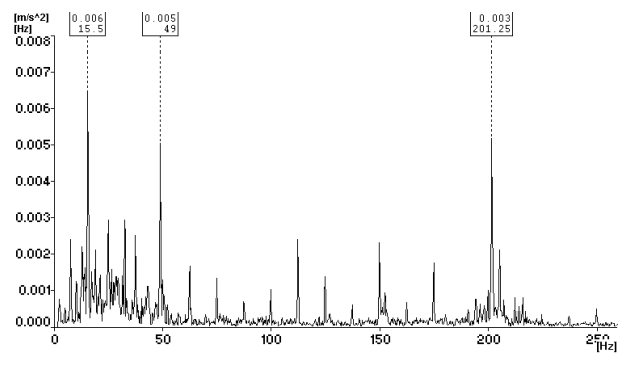
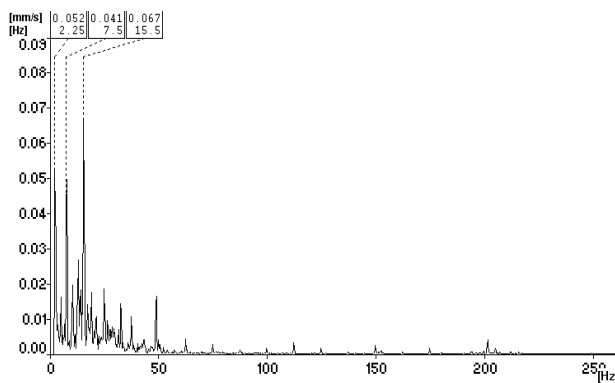
3M01/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 12:01:43 A4400 Spec



### MT06 taško virpesių greičių spektras

### MT06 taško virpesių pagreičių spektras

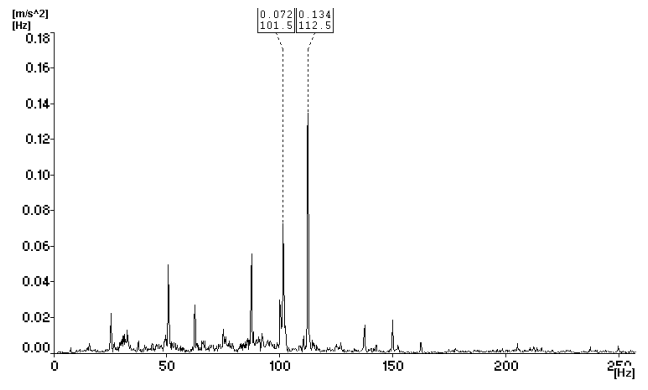
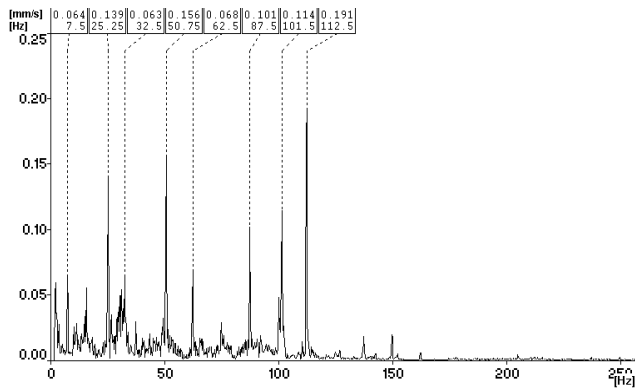
3M02/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 12:02:25 A4400 Spec



### MT07 taško virpesių greičių spektras

### MT07 taško virpesių pagreičių spektras

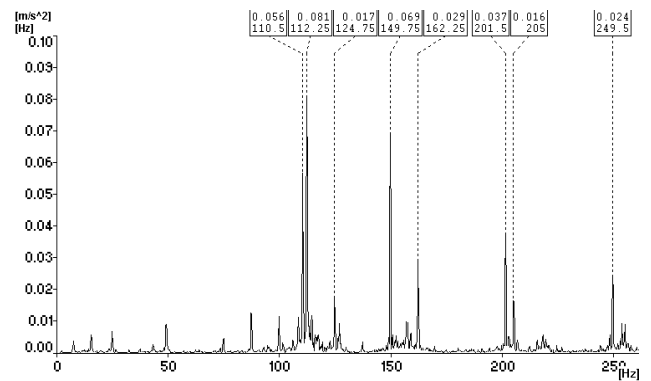
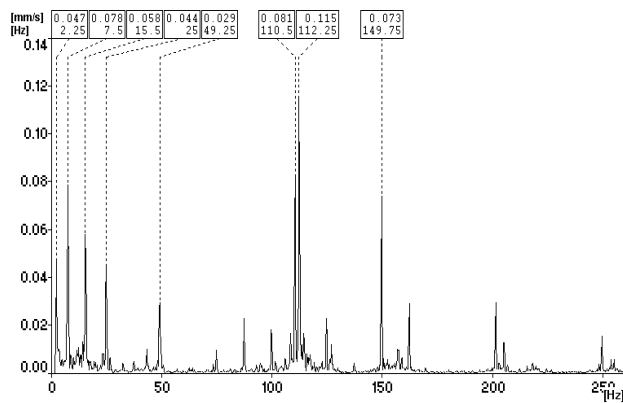
3M\D3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 12:02:58 A4400 Spec



### MT08 taško virpesių greičių spektras

### MT08 taško virpesių pagreičių spektras

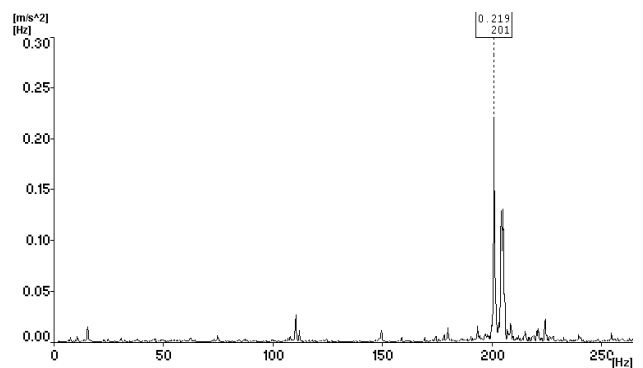
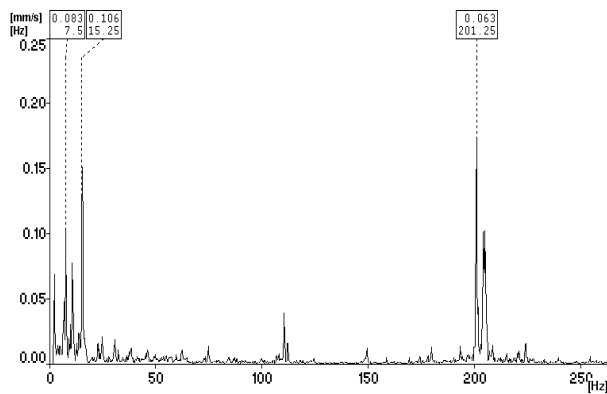
3M\D4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 12:03:29 A4400 Spec



### MT09 taško virpesių greičių spektras

### MT09 taško virpesių pagreičių spektras

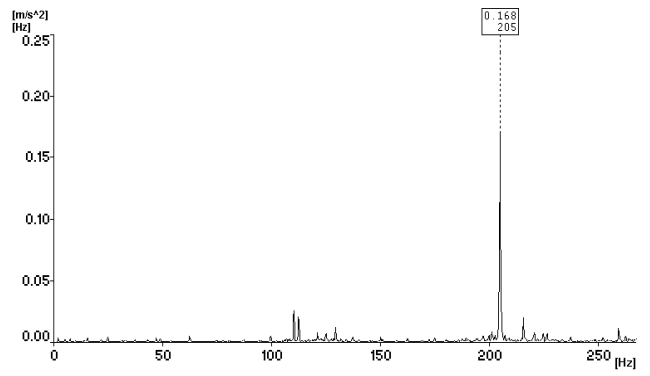
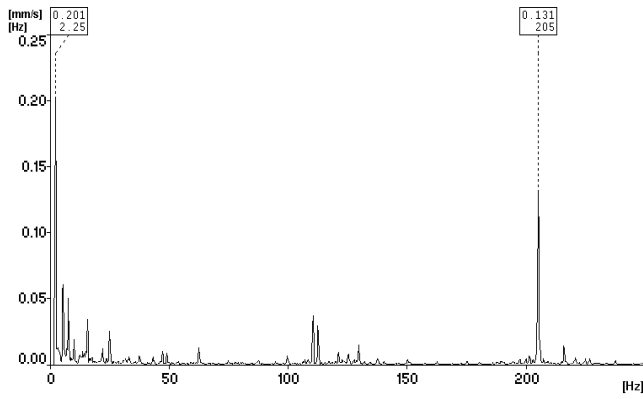
3M\D6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 12:04:05 A4400 Spec



### MT10 taško virpesių greičių spektras

### MT10 taško virpesių pagreičių spektras

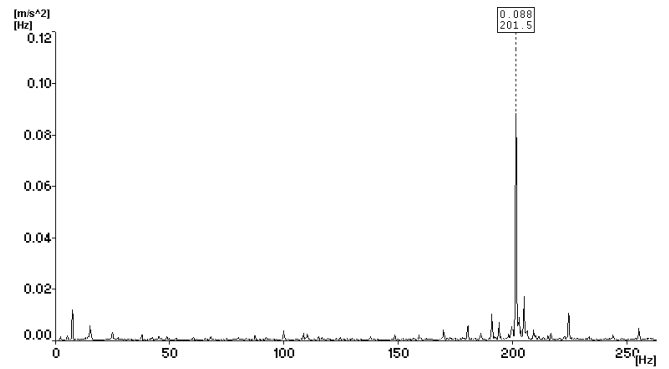
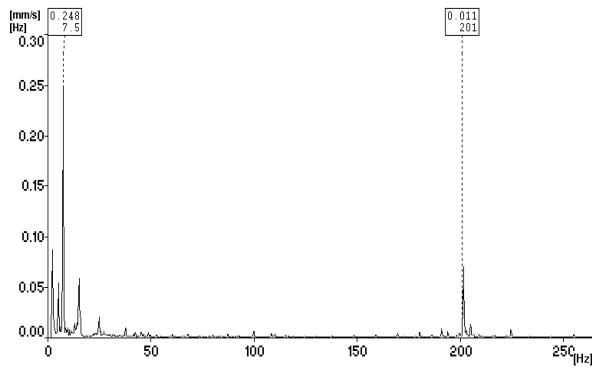
3M\D7/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 12:04:32 A4400 Spec



### MT11 taško virpesių greičių spektras

### MT11 taško virpesių pagreičių spektras

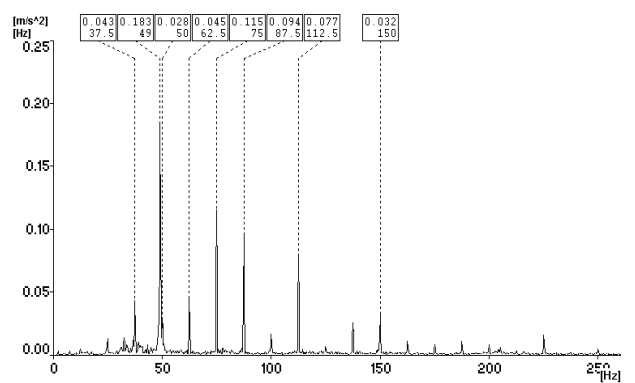
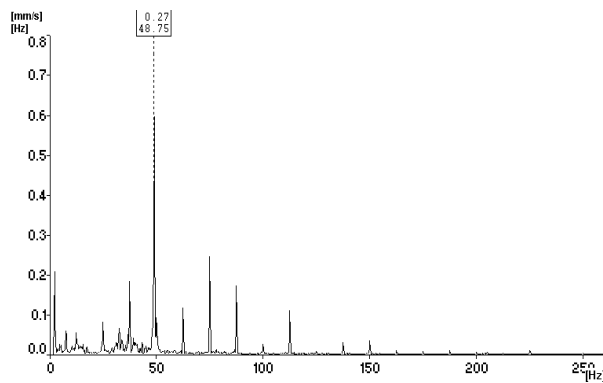
3M\D8/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 12:07:30 A4400 Spec



### MT12 taško virpesių greičių spektras

### MT12 taško virpesių pagreičių spektras

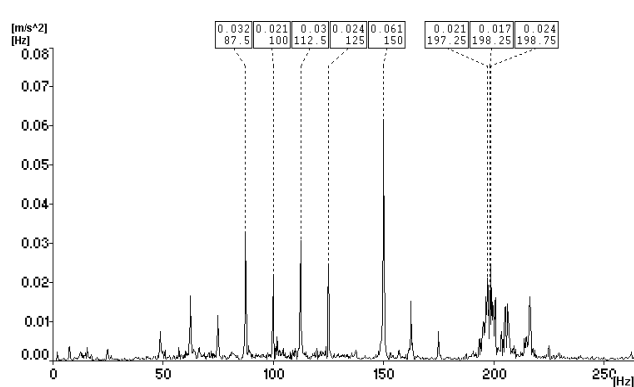
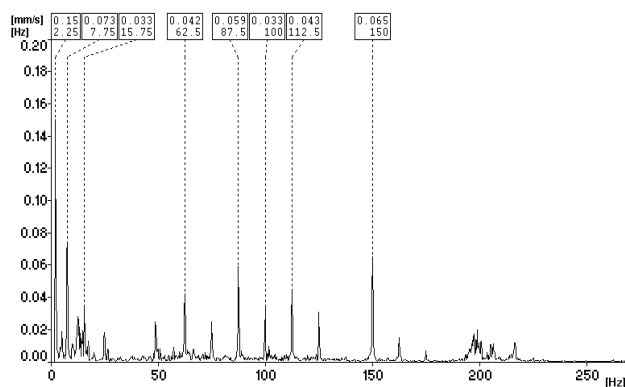
3M\K1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 12:08:05 A4400 Spec



### MT13 taško virpesių greičių spektras

### MT13 taško virpesių pagreičių spektras

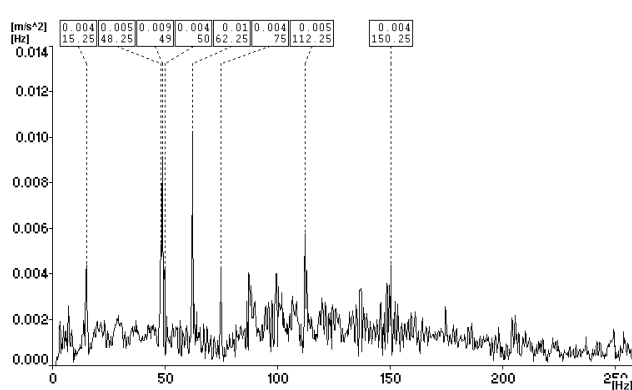
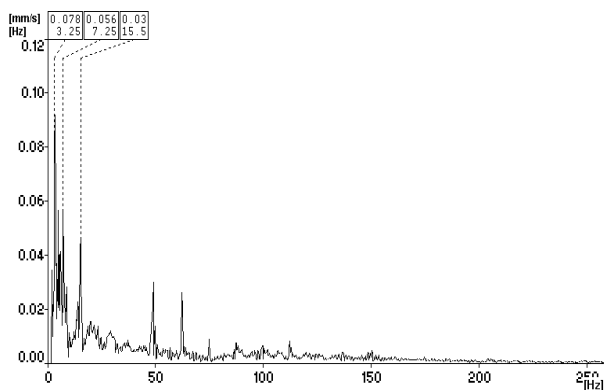
3M $\ddot{K}$ 2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 12:08:37 A4400 Spec



### MT14 taško virpesių greičių spektras

### MT14 taško virpesių pagreičių spektras

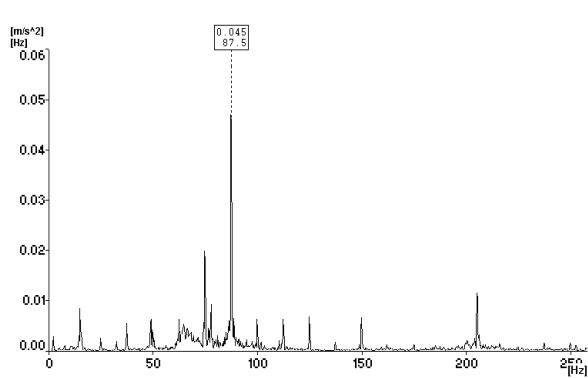
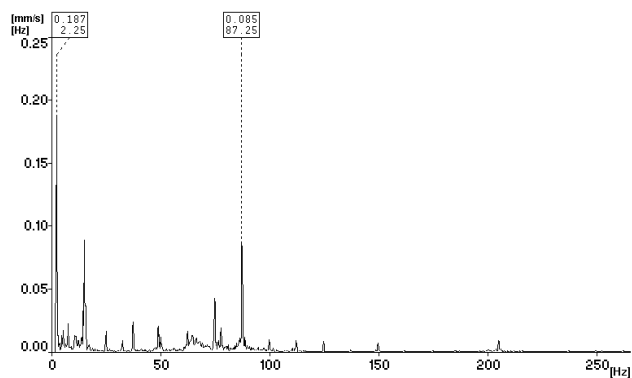
3M $\ddot{K}$ 3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 12:09:00 A4400 Spec



### MT15 taško virpesių greičių spektras

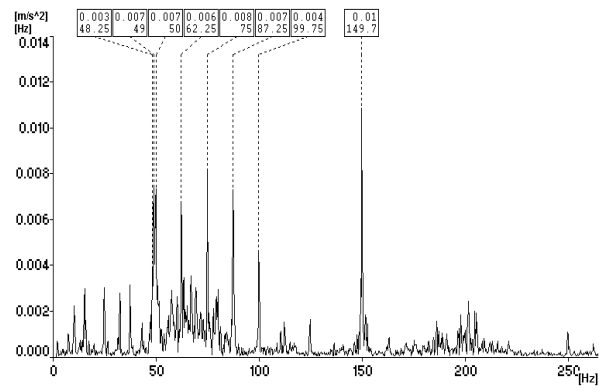
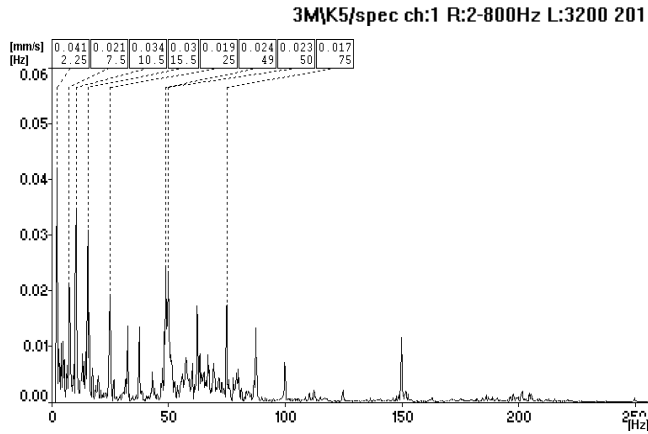
### MT15 taško virpesių pagreičių spektras

3M $\ddot{K}$ 4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 12:09:29 A4400 Spec



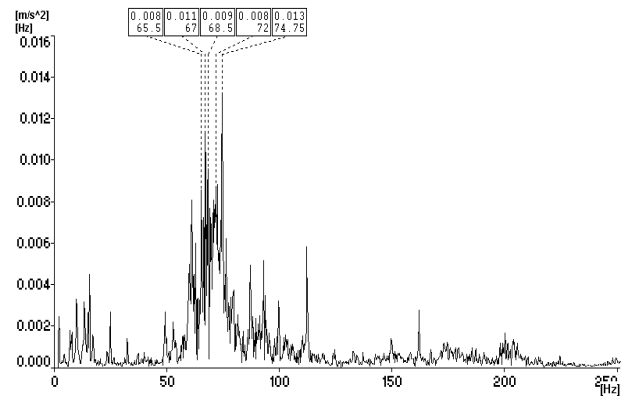
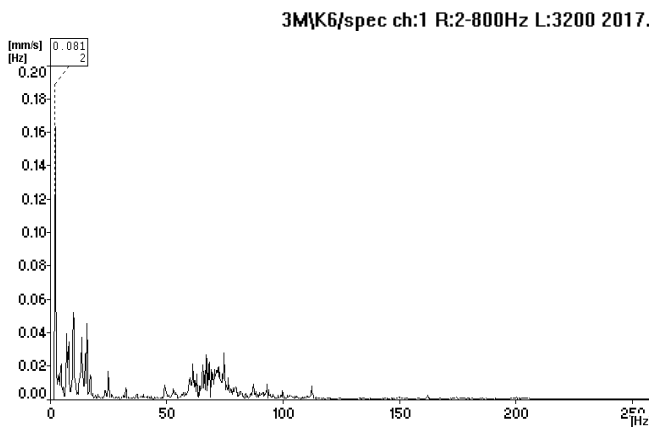
### MT16 taško virpesių greičių spektras

### MT16 taško virpesių pagreičių spektras



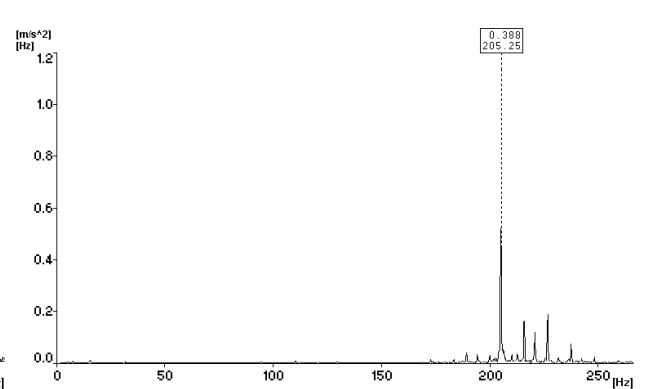
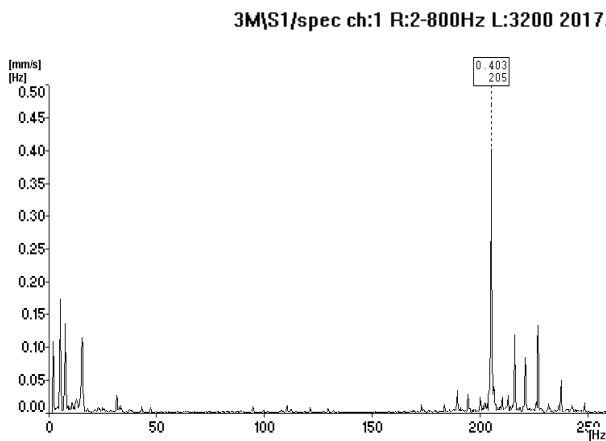
### MT17 taško virpesių greičių spektras

### MT17 taško virpesių pagreičių spektras



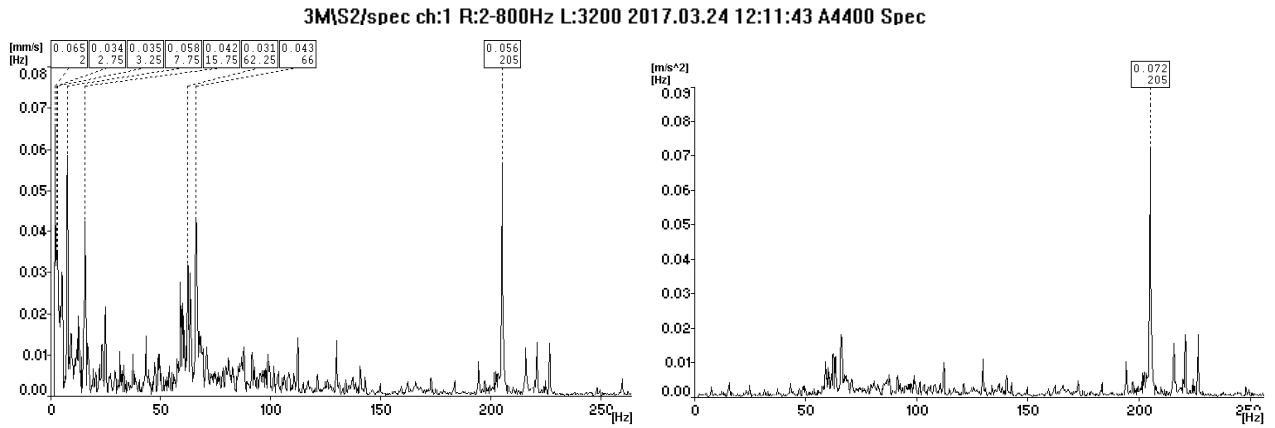
### MT18 taško virpesių greičių spektras

### MT18 taško virpesių pagreičių spektras



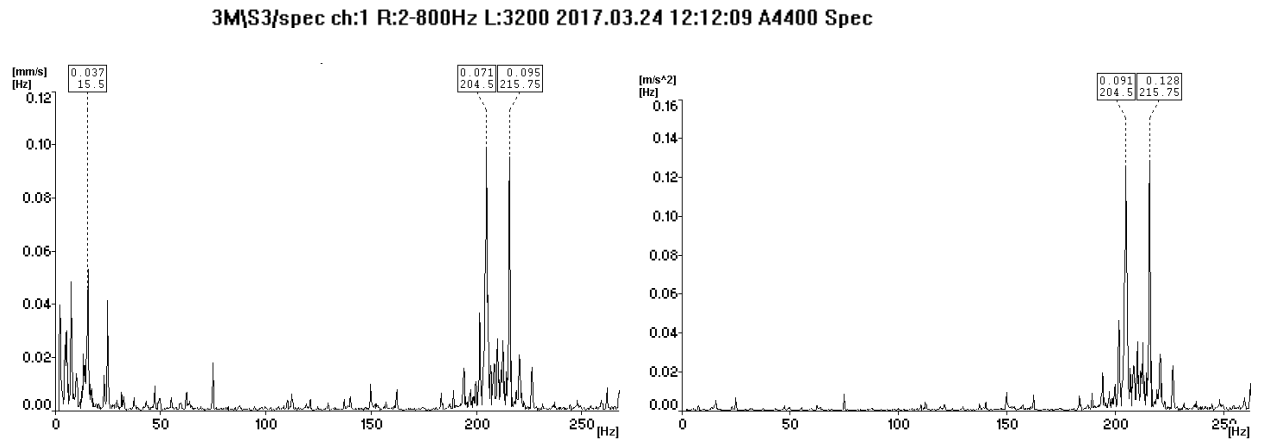
### MT19 taško virpesių greičių spektras

### MT19 taško virpesių pagreičių spektras



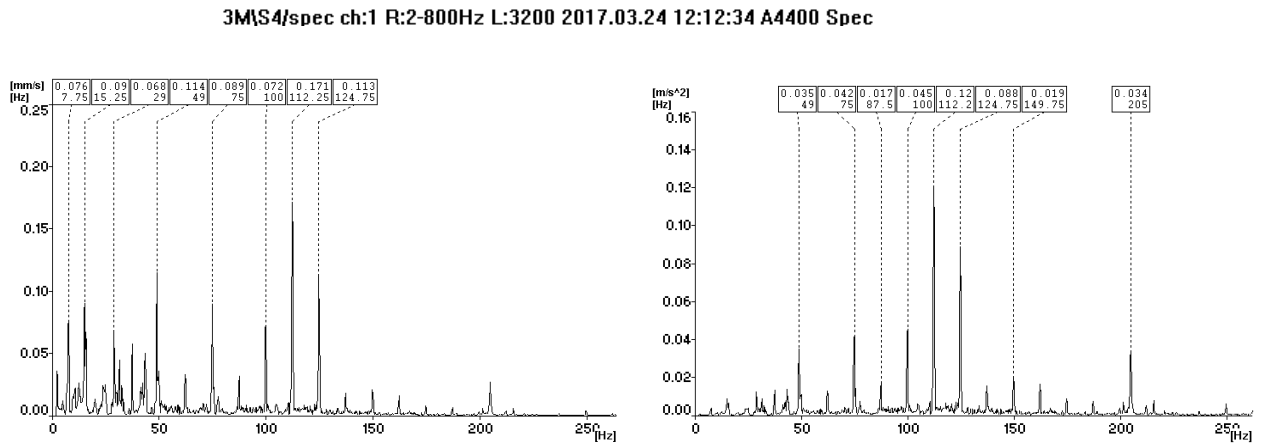
### MT20 taško virpesių greičių spektras

### MT20 taško virpesių pagreičių spektras

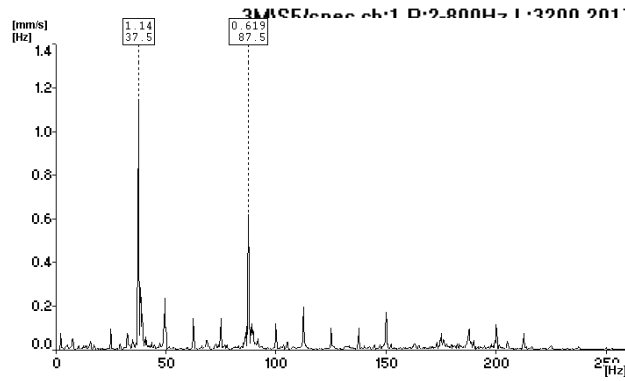


### MT21 taško virpesių greičių spektras

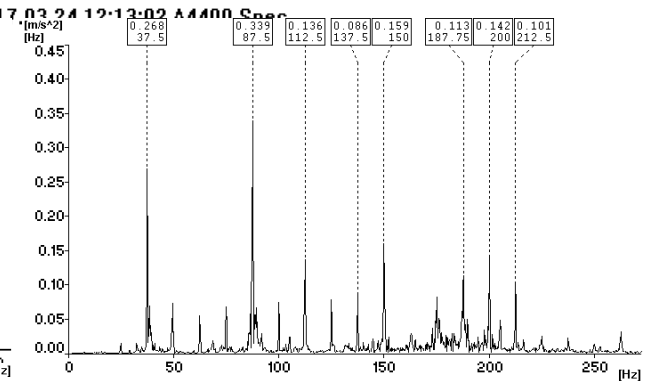
### MT21 taško virpesių pagreičių spektras



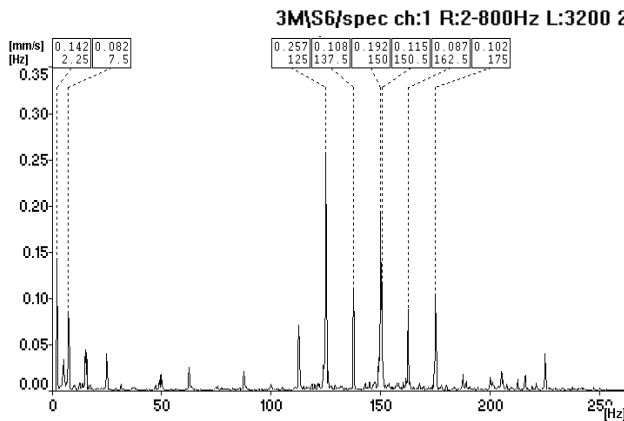
MT22 taško virpesių greičių spektras



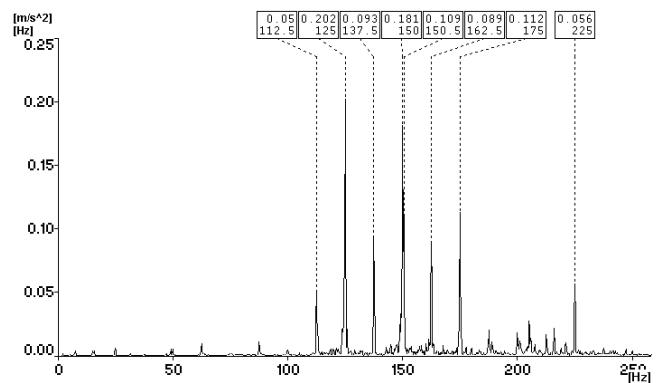
MT22 taško virpesių pagreičių spektras



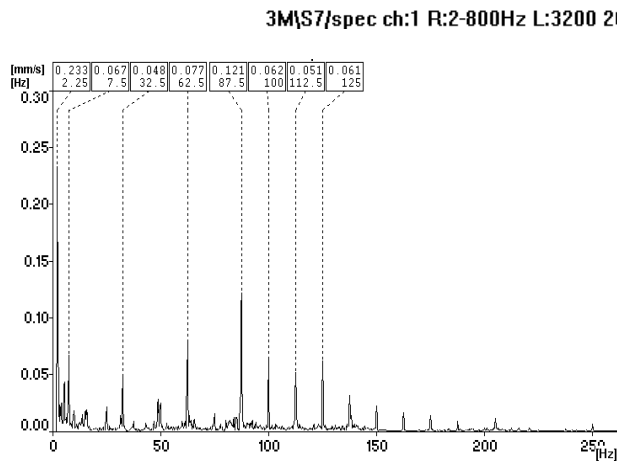
MT23 taško virpesių greičių spektras



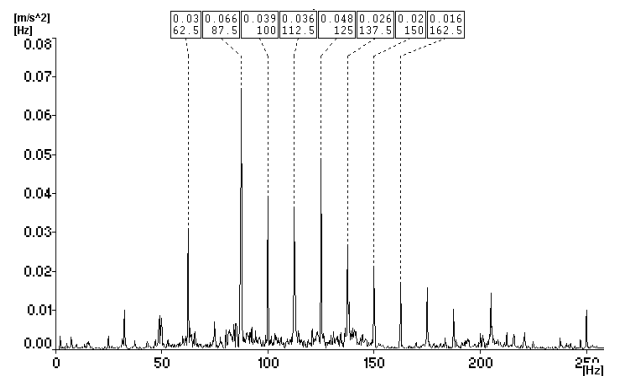
MT23 taško virpesių pagreičių spektras



MT24 taško virpesių greičių spektras



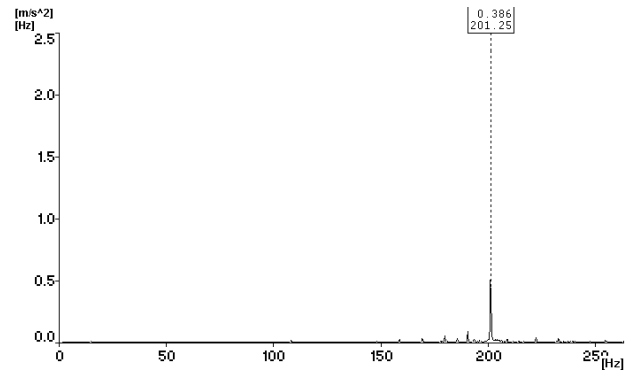
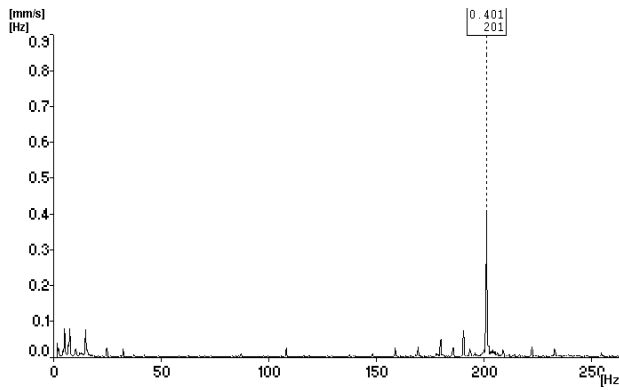
MT24 taško virpesių pagreičių spektras



### MT25 taško virpesių greičių spektras

### MT25 taško virpesių pagreičių spektras

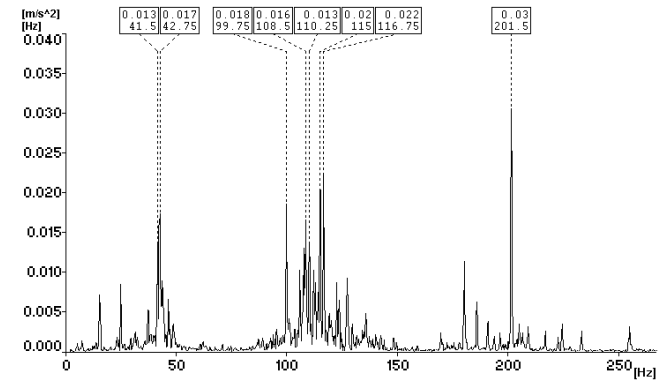
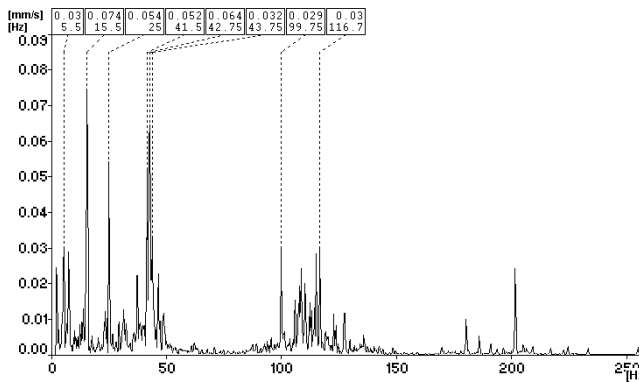
3M\P1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 12:15:00 A4400 Spec



### MT26 taško virpesių greičių spektras

### MT26 taško virpesių pagreičių spektras

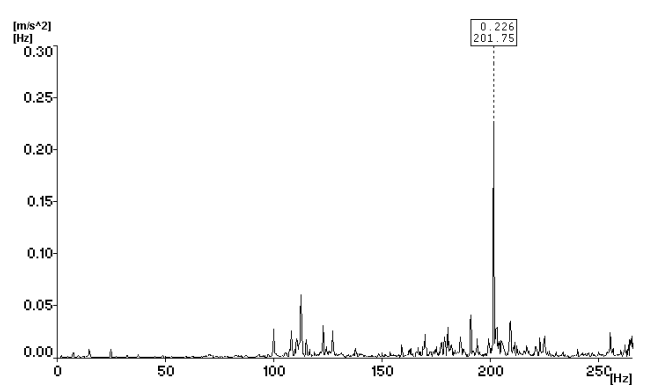
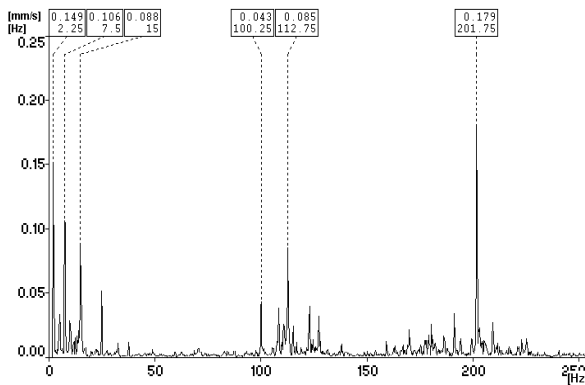
3M\P2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 12:15:23 A4400 Spec



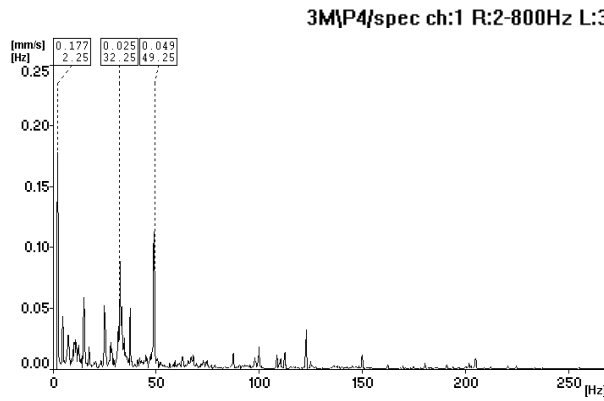
### MT27 taško virpesių greičių spektras

### MT27 taško virpesių pagreičių spektras

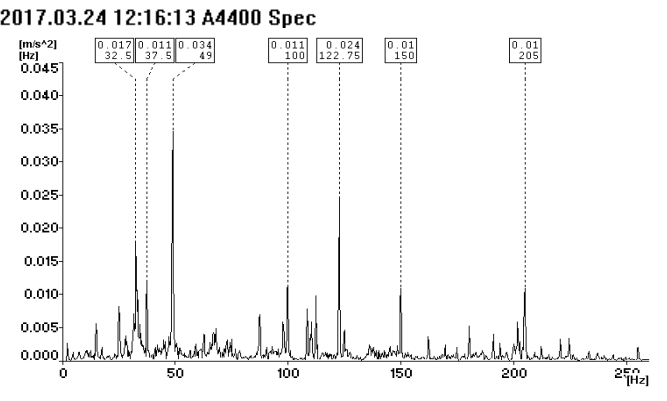
3M\P3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 12:15:49 A4400 Spec



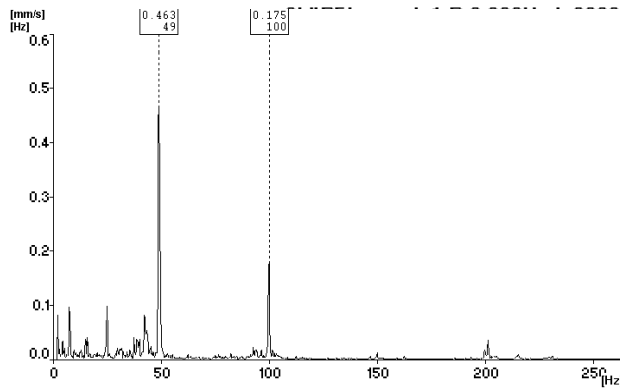
### MT28 taško virpesių greičių spektras



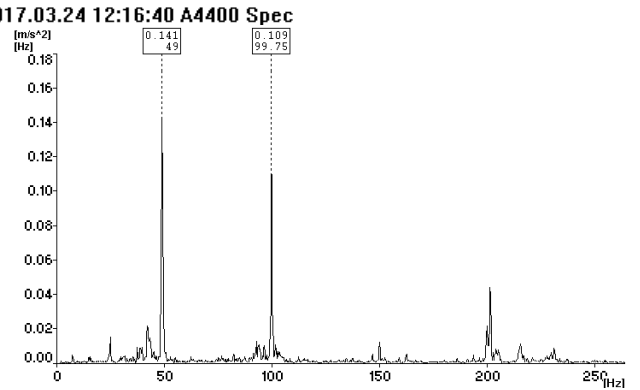
### MT28 taško virpesių pagreičių spektras



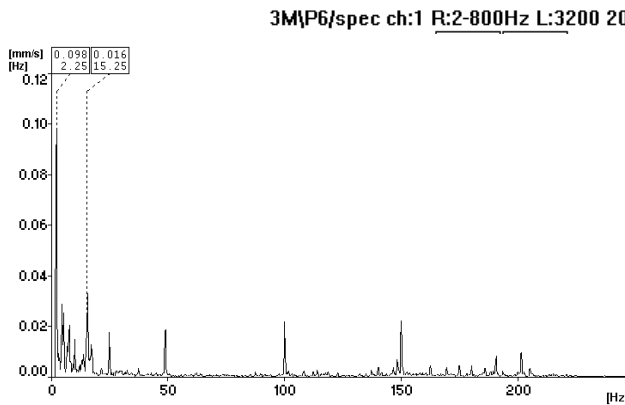
### MT29 taško virpesių greičių spektras



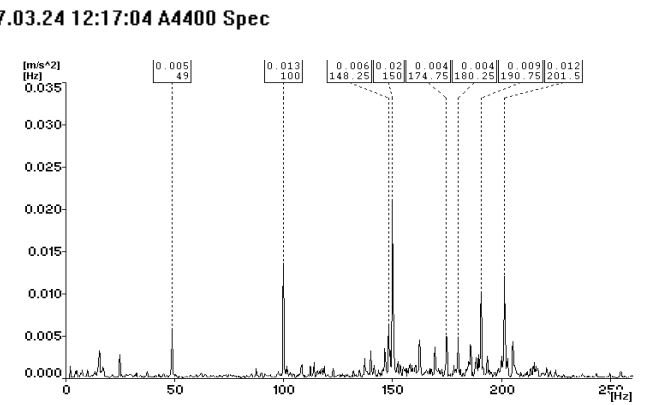
### MT29 taško virpesių pagreičių spektras



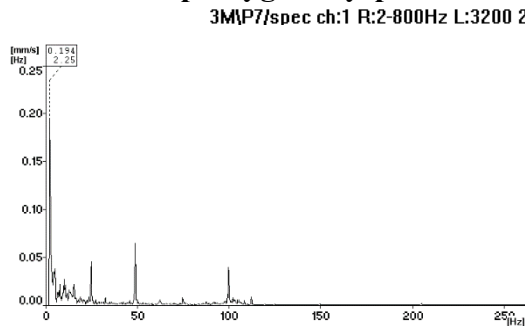
### MT30 taško virpesių greičių spektras



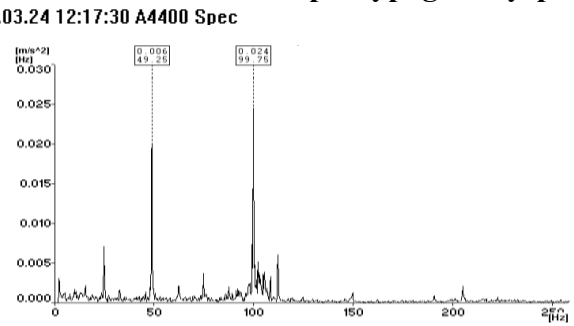
### MT30 taško virpesių pagreičių spektras



### MT31 taško virpesių greičių spektras



### MT31 taško virpesių pagreičių spektras

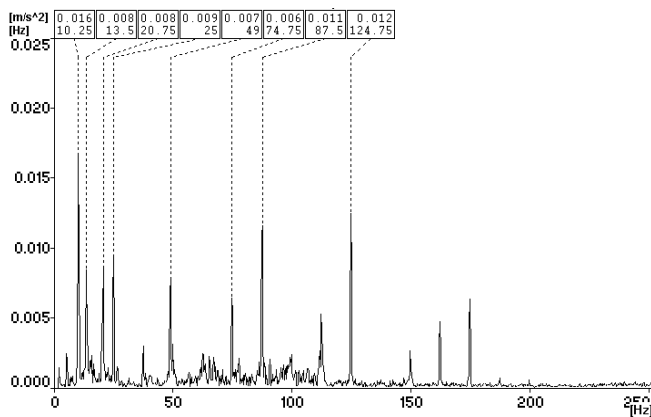
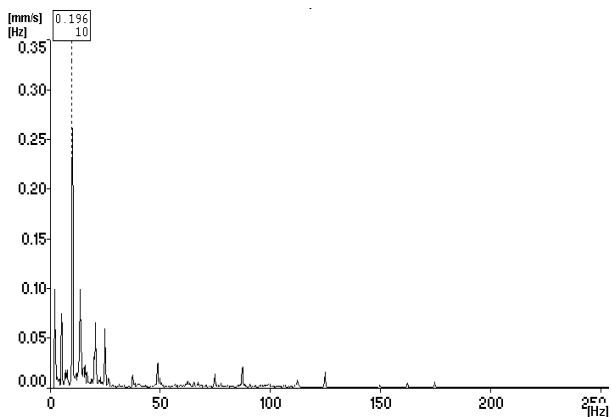


Laivo „Mintis“ virpesių spektrai, gauti ketvirto laivo darbo režimo metu

MT01 taško virpesių greičių spektras

MT01 taško virpesių pagreičių spektras

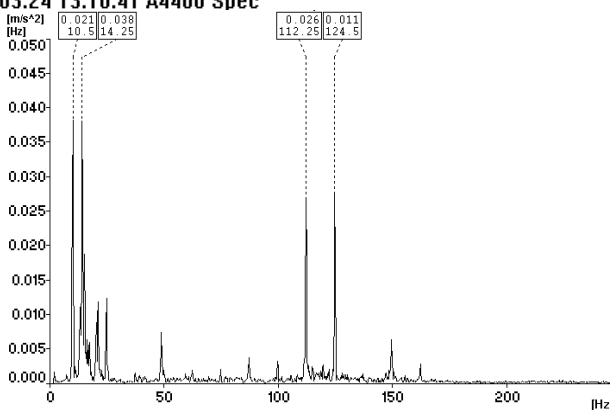
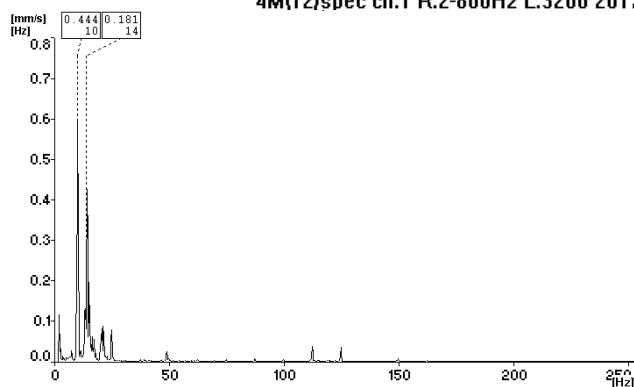
4MT1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:10:21 A4400 Spec



MT02 taško virpesių greičių spektras

MT02 taško virpesių pagreičių spektras

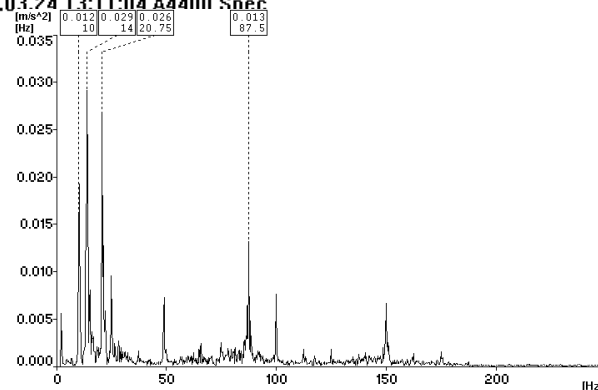
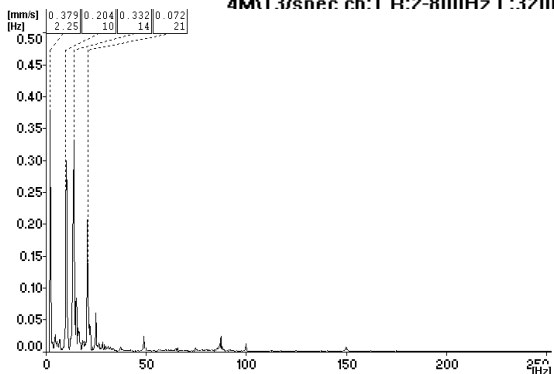
4MT2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:10:41 A4400 Spec



MT03 taško virpesių greičių spektras

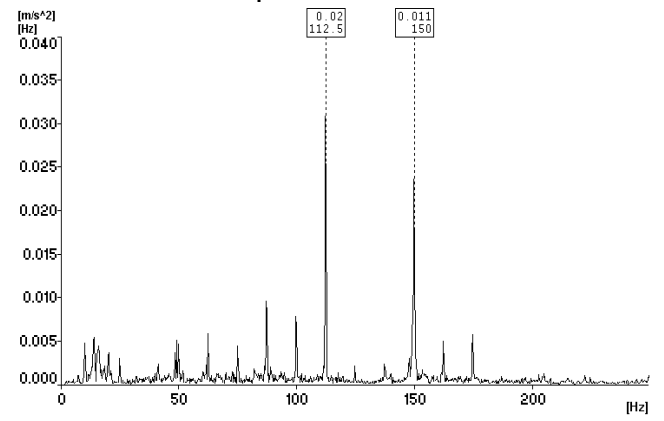
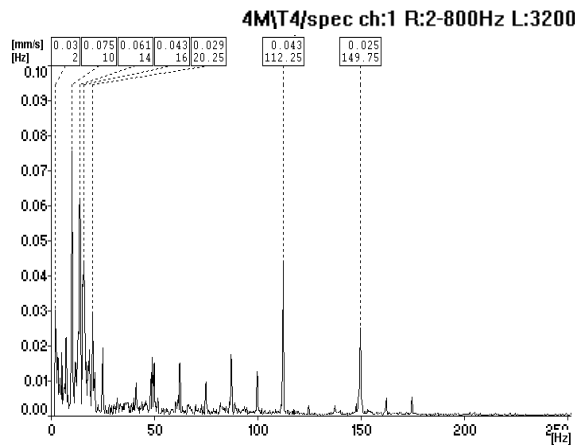
MT03 taško virpesių pagreičių spektras

4MT3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:11:04 A4400 Spec



### MT04 taško virpesių greičių spektras

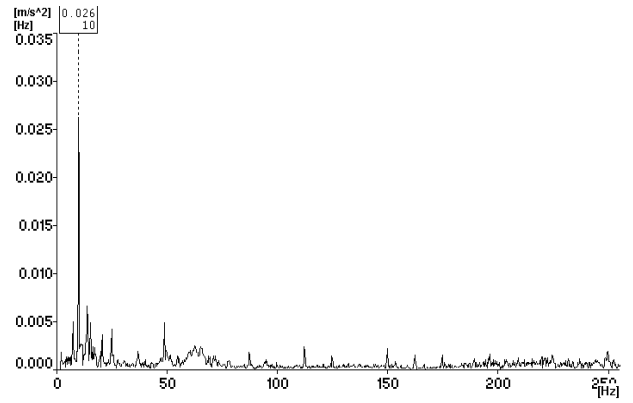
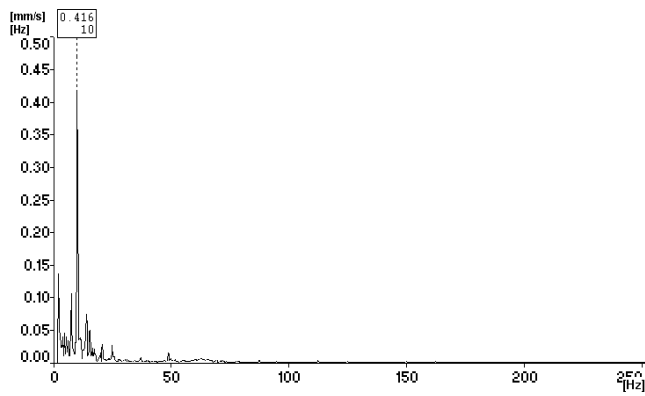
### MT04 taško virpesių pagreičių spektras



### MT05 taško virpesių greičių spektras

### MT05 taško virpesių pagreičių spektras

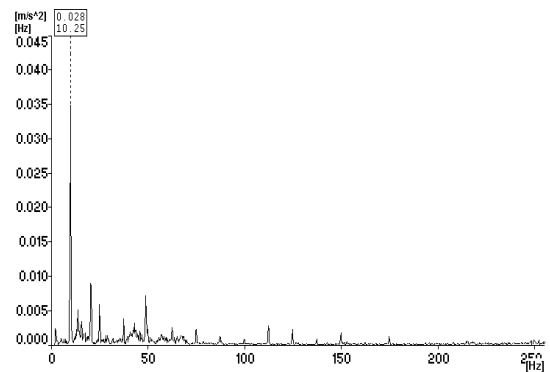
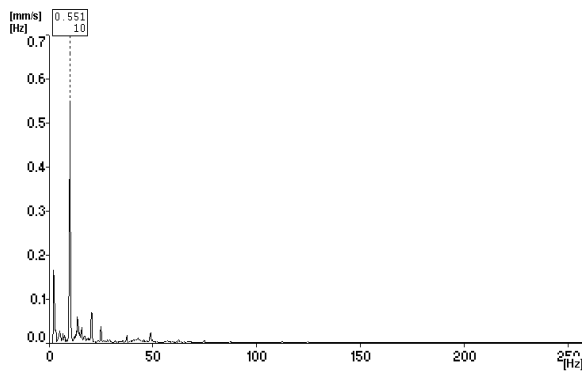
4M\D1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:12:00 A4400 Spec



### MT06 taško virpesių greičių spektras

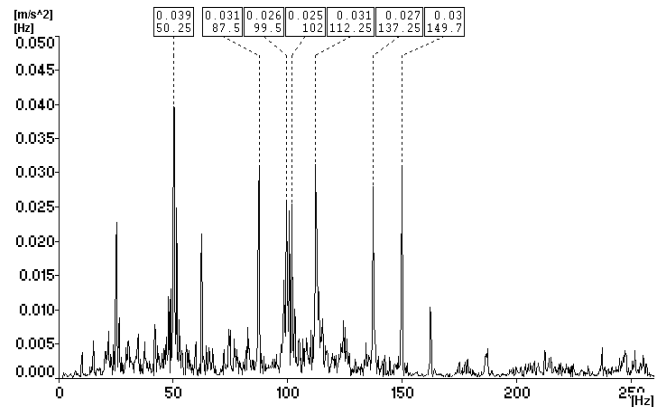
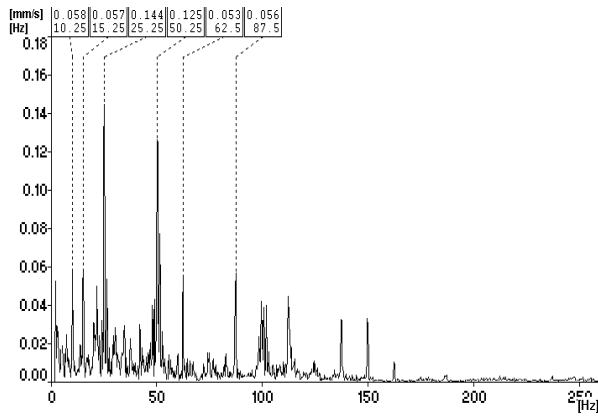
### MT06 taško virpesių pagreičių spektras

4M\D2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:12:23 A4400 Spec



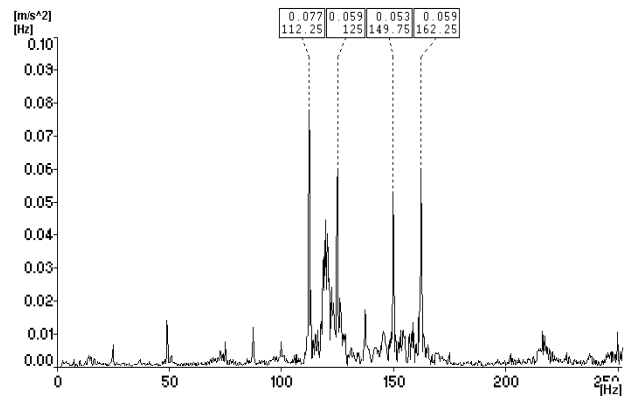
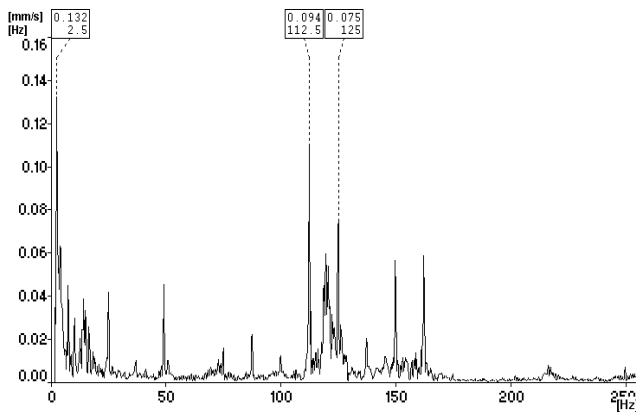
### MT07 taško virpesių greičių spektras

4M\D3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:12:52 A4400 Spec



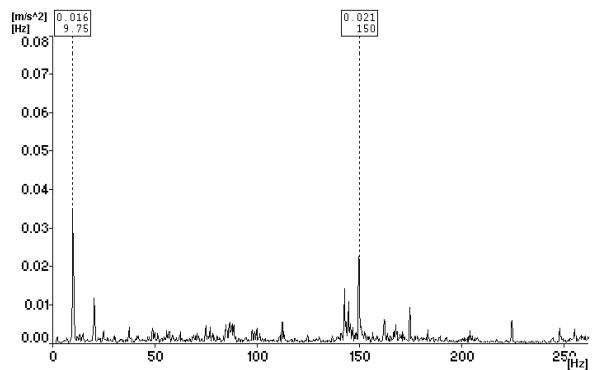
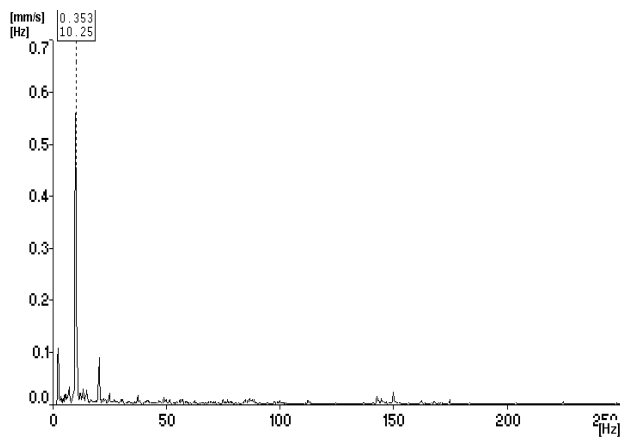
### MT08 taško virpesių greičių spektras

4M\D4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:13:19 A4400 Spec



### MT09 taško virpesių greičių spektras

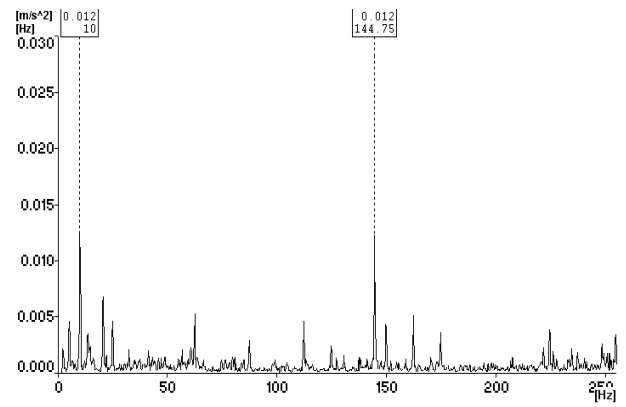
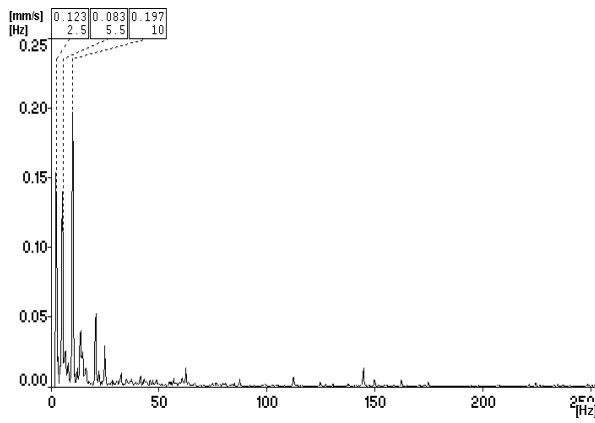
4M\D6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:13:49 A4400 Spec



### MT10 taško virpesių greičių spektras

### MT10 taško virpesių pagreičių spektras

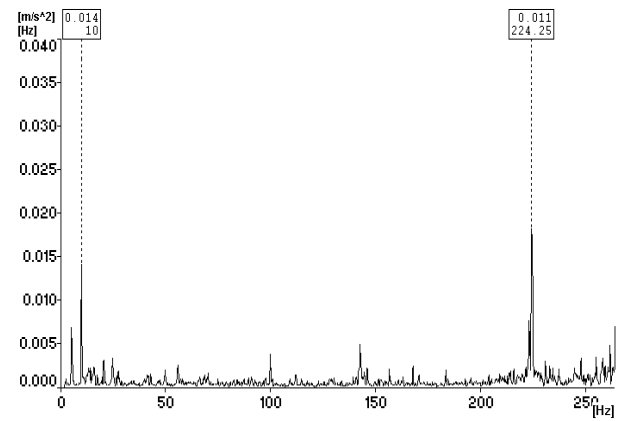
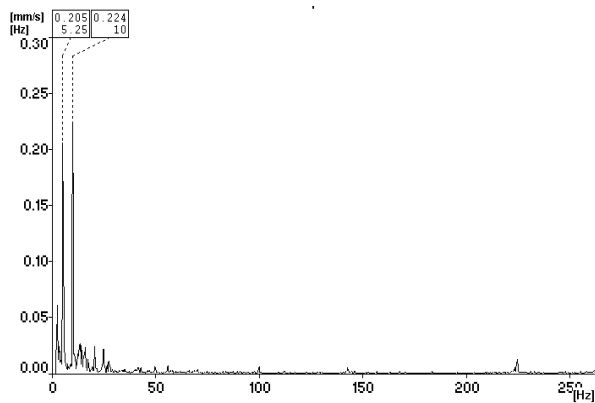
4M\D7/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:14:13 A4400 Spec



### MT11 taško virpesių greičių spektras

### MT11 taško virpesių pagreičių spektras

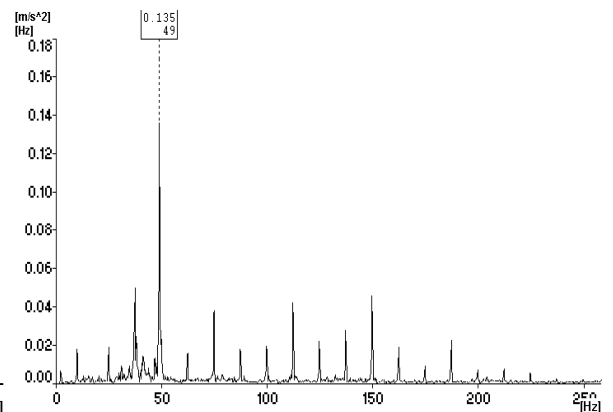
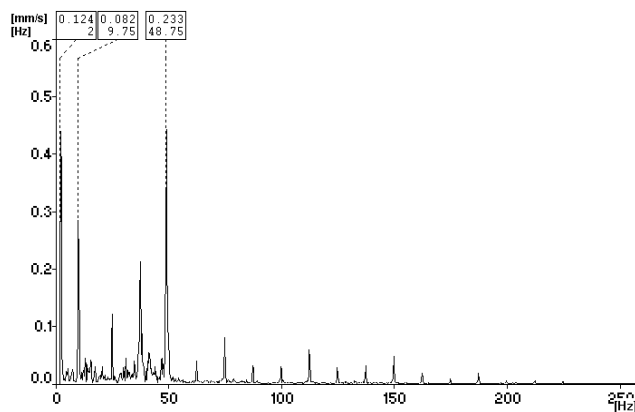
4M\D8/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:14:47 A4400 Spec



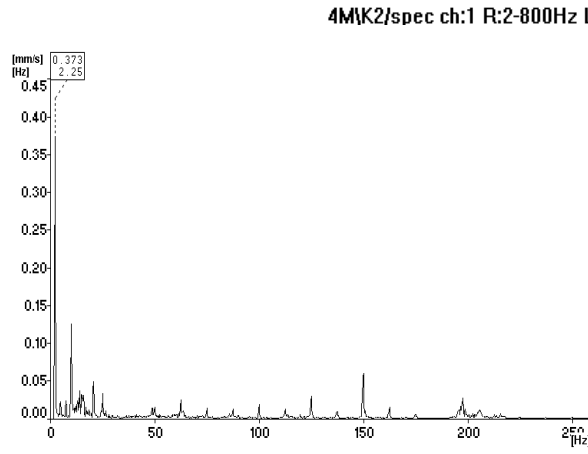
### MT12 taško virpesių greičių spektras

### MT12 taško virpesių pagreičių spektras

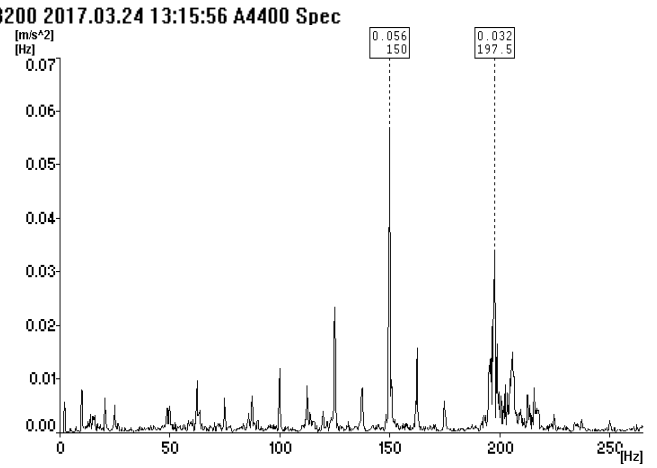
4M\K1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:15:28 A4400 Spec



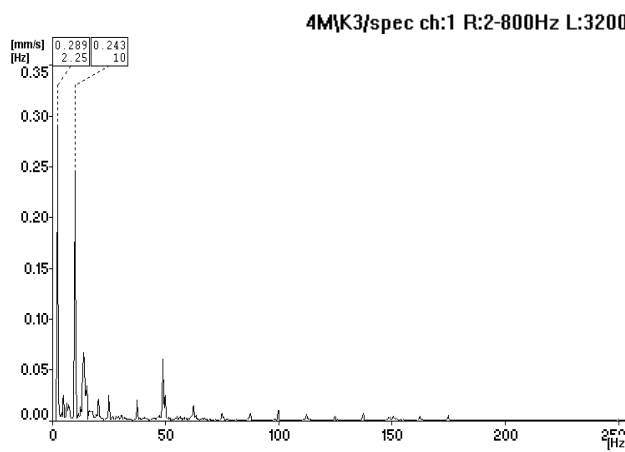
### MT13 taško virpesių greičių spektras



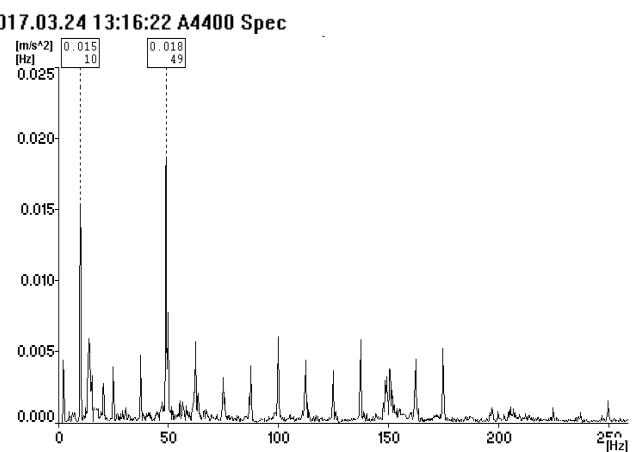
### MT13 taško virpesių pagreičių spektras



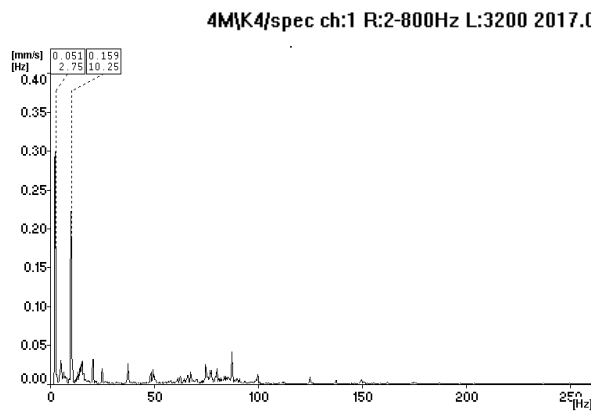
### MT14 taško virpesių greičių spektras



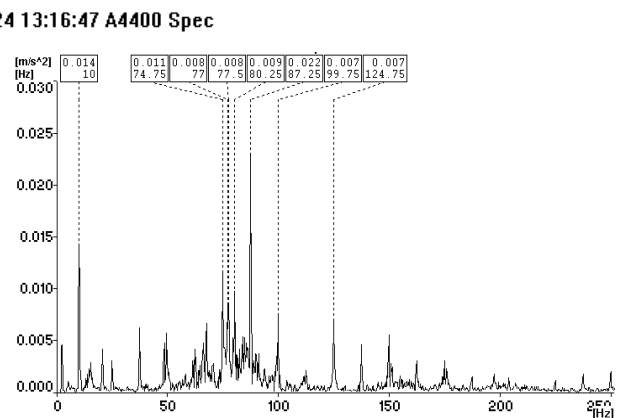
### MT14 taško virpesių pagreičių spektras



### MT15 taško virpesių greičių spektras



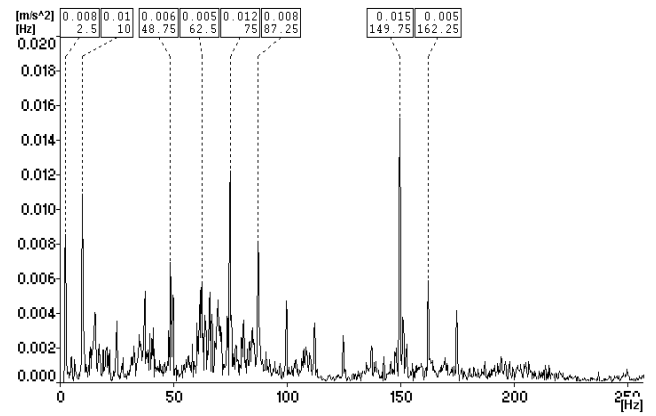
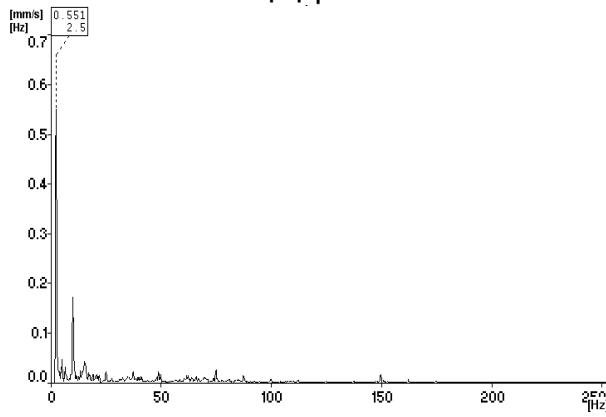
### MT15 taško virpesių pagreičių spektras



### MT16 taško virpesių greičių spektras

### MT16 taško virpesių pagreičių spektras

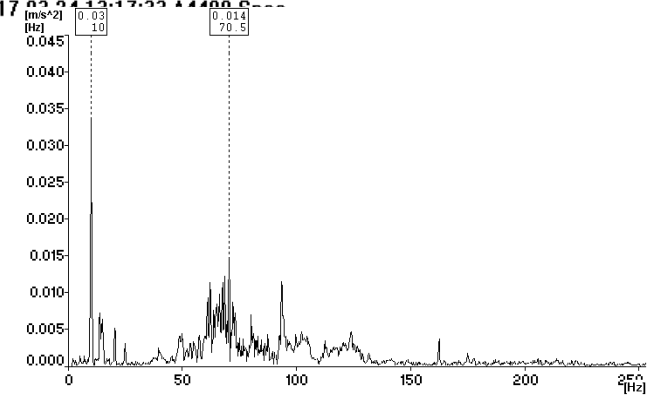
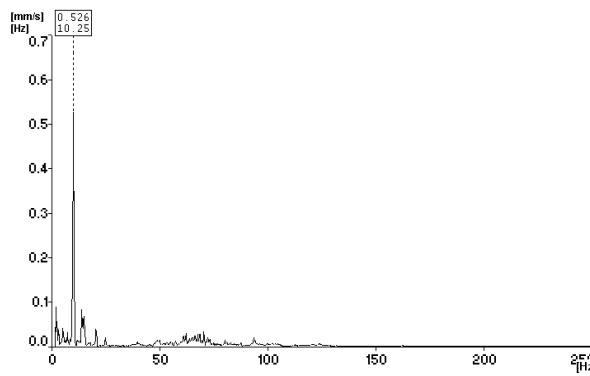
4M\K5/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:17:09 A4400 Spec



### MT17 taško virpesių greičių spektras

### MT17 taško virpesių pagreičių spektras

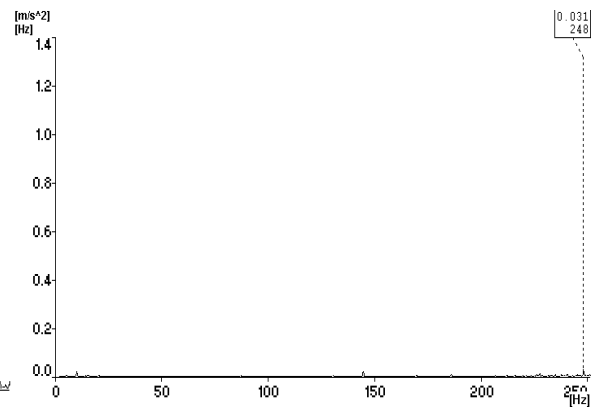
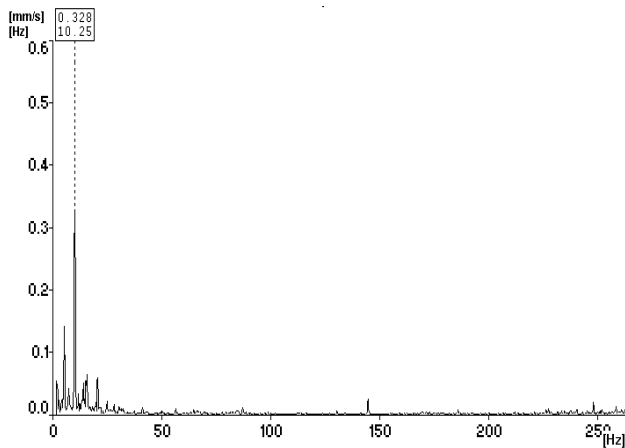
4M\K6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:17:23 A4400 Spec



### MT18 taško virpesių greičių spektras

### MT18 taško virpesių pagreičių spektras

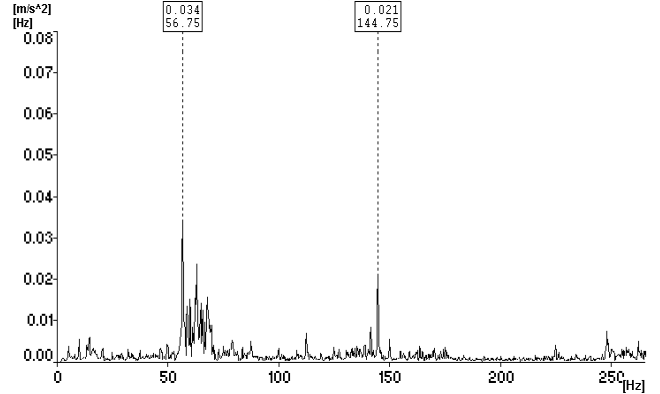
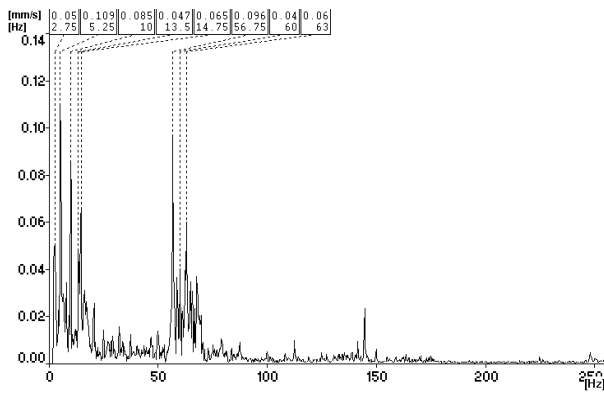
4M\S1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:18:22 A4400 Spec



### MT19 taško virpesių greičių spektras

### MT19 taško virpesių pagreičių spektras

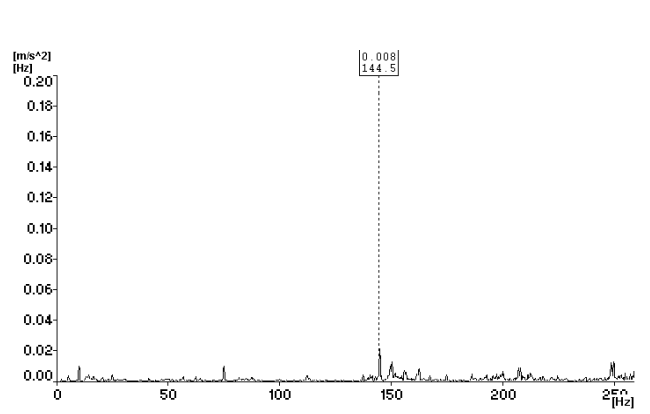
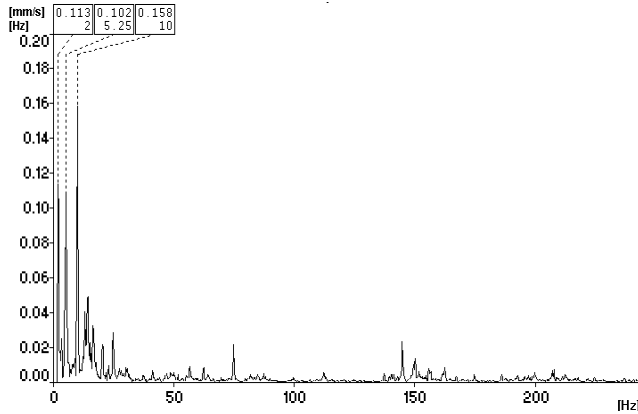
4MS2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:18:45 A4400 Spec



### MT20 taško virpesių greičių spektras

### MT20 taško virpesių pagreičių spektras

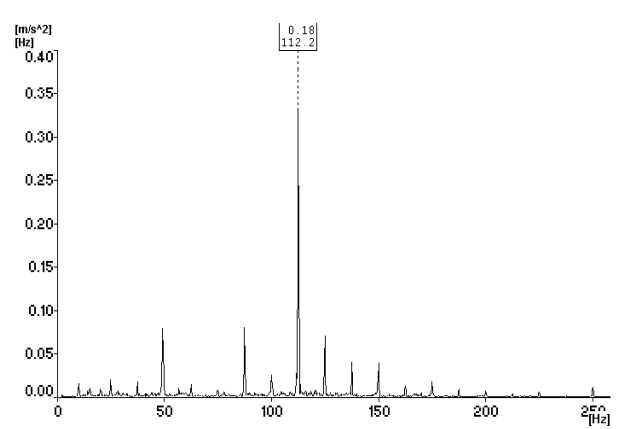
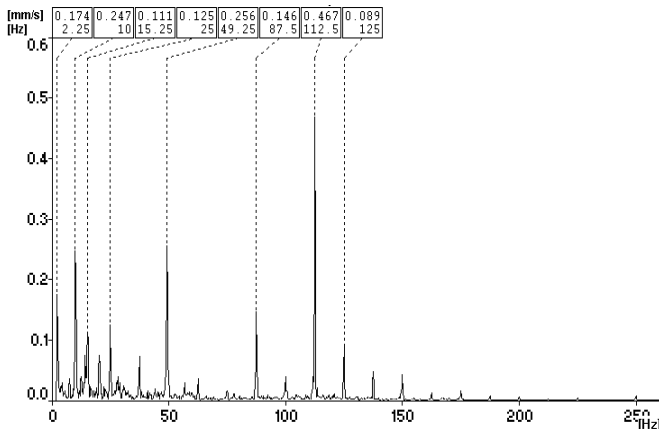
4MS3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:19:07 A4400 Spec



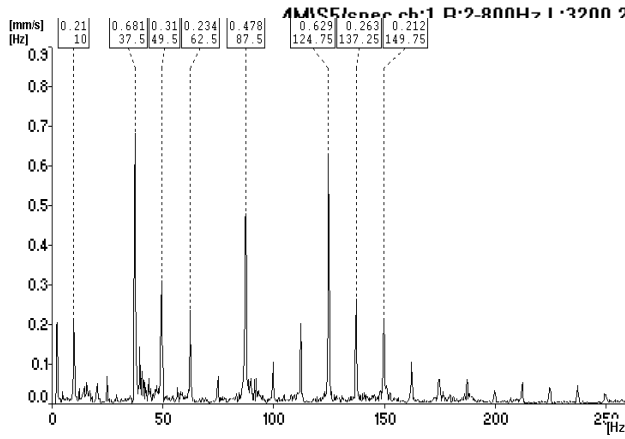
### MT21 taško virpesių greičių spektras

### MT21 taško virpesių pagreičių spektras

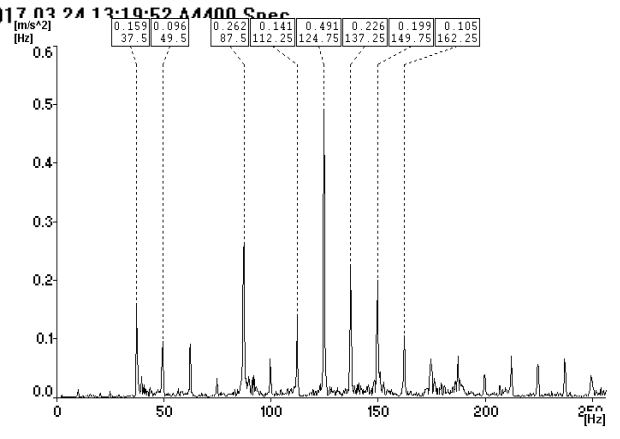
4MS4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:19:28 A4400 Spec



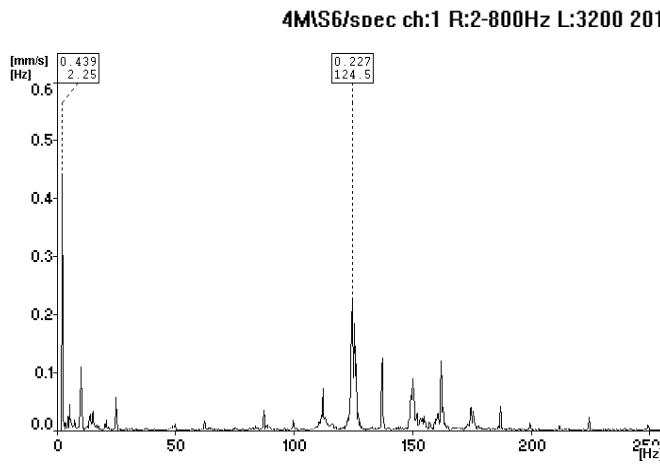
### MT22 taško virpesių greičių spektras



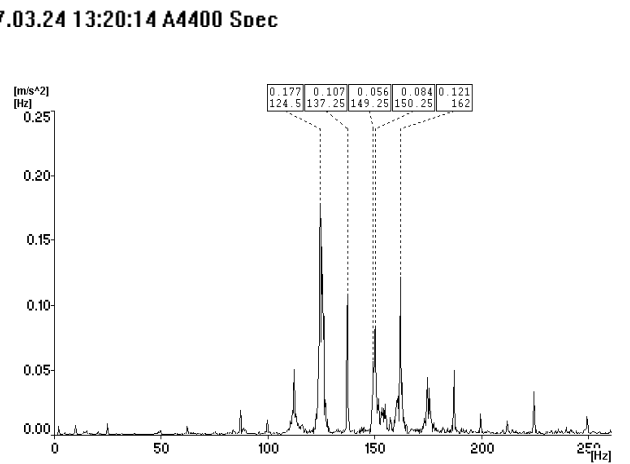
### MT22 taško virpesių pagreičių spektras



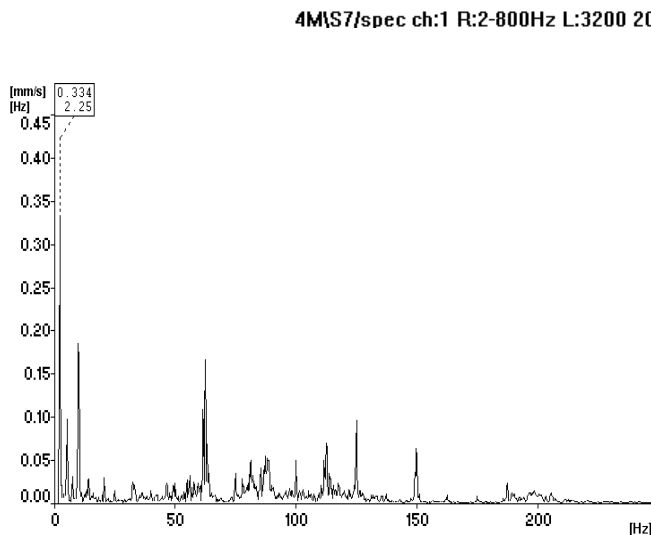
### MT23 taško virpesių greičių spektras



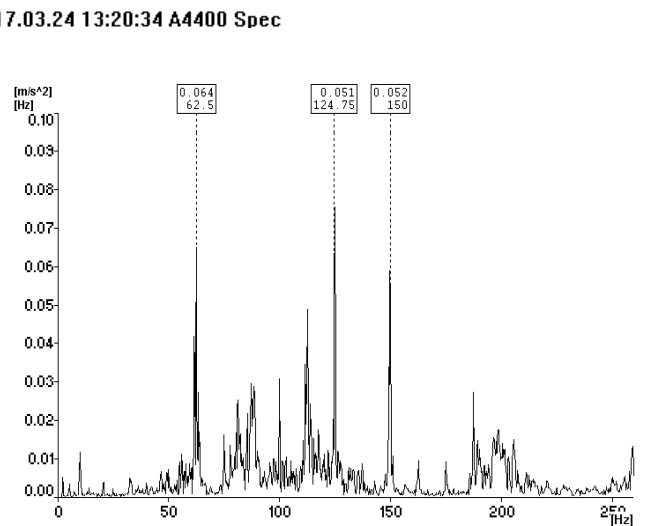
### MT23 taško virpesių pagreičių spektras



### MT24 taško virpesių greičių spektras



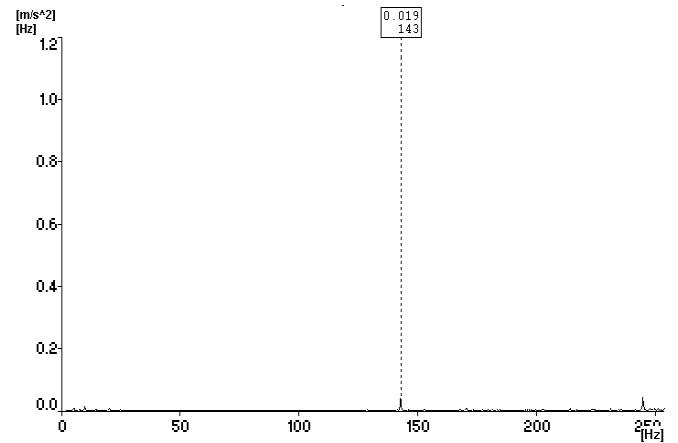
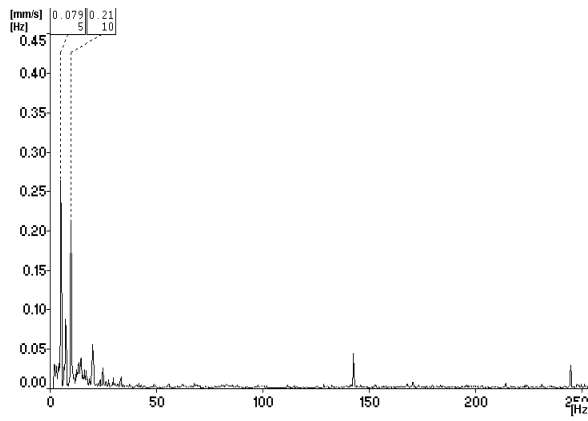
### MT24 taško virpesių pagreičių spektras



### MT25 taško virpesių greičių spektras

### MT25 taško virpesių pagreičių spektras

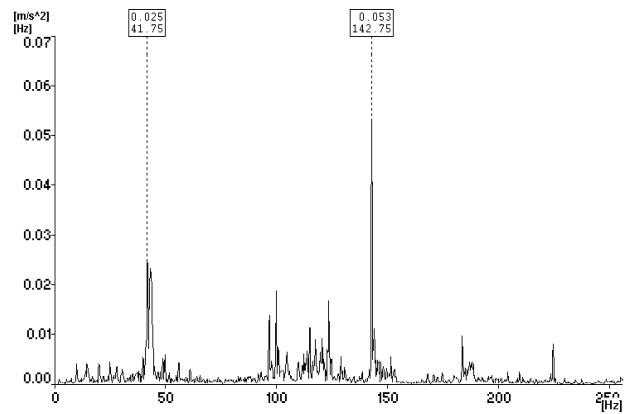
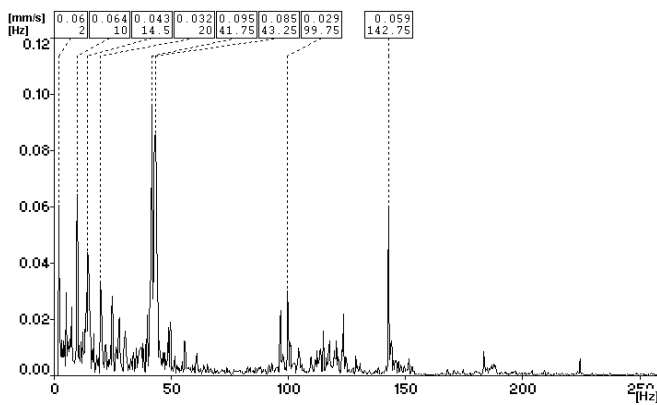
4M\P1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:21:26 A4400 Spec



### MT26 taško virpesių greičių spektras

### MT26 taško virpesių pagreičių spektras

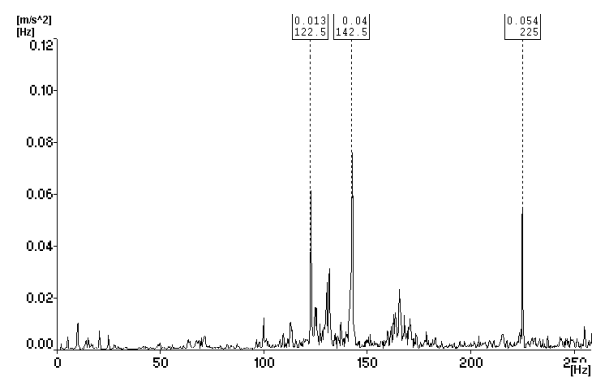
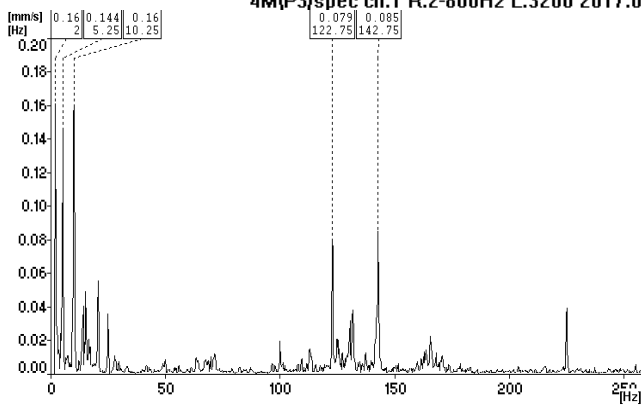
4M\P2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:21:50 A4400 Spec



### MT27 taško virpesių greičių spektras

### MT27 taško virpesių pagreičių spektras

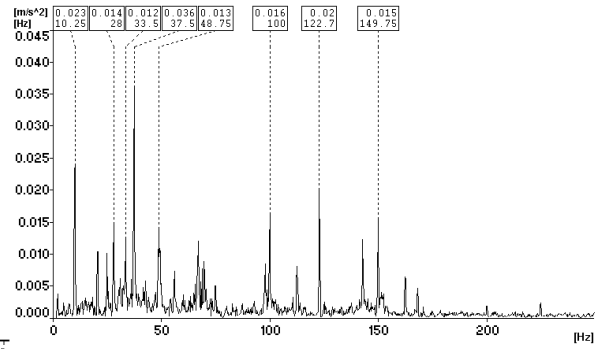
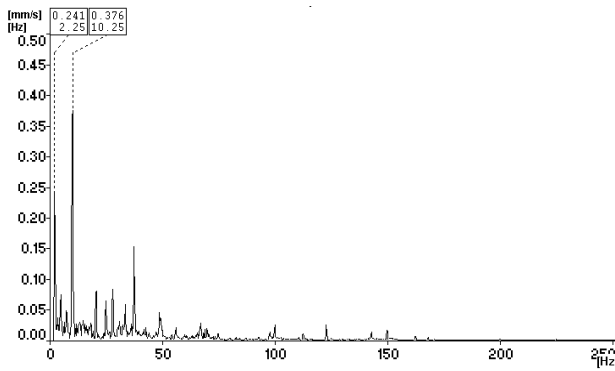
4M\P3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:22:15 A4400 Spec



### MT28 taško virpesių greičių spektras

### MT28 taško virpesių pagreičių spektras

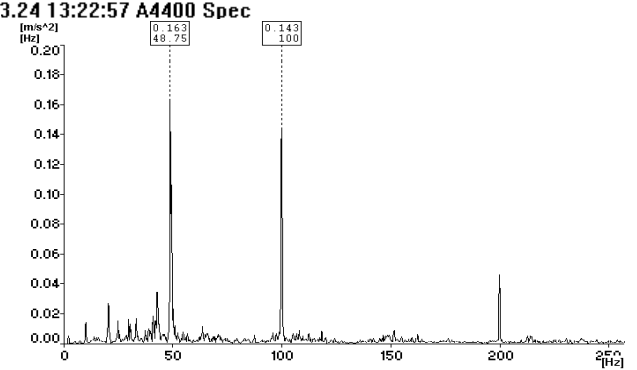
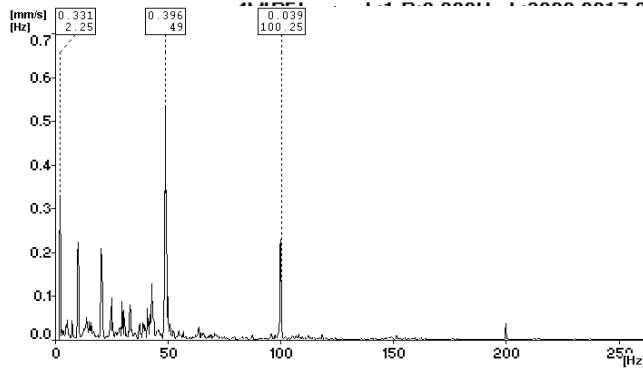
4MYP4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:22:36 A4400 Spec



### MT29 taško virpesių greičių spektras

### MT29 taško virpesių pagreičių spektras

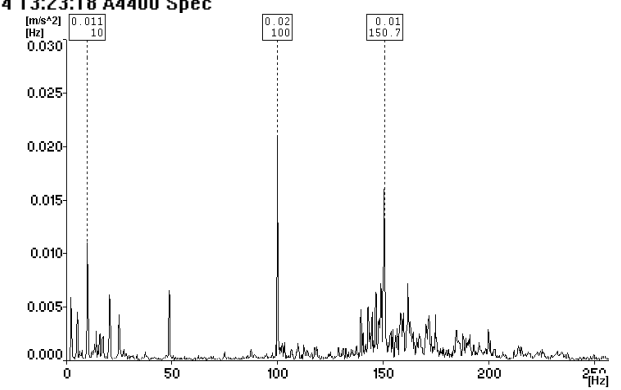
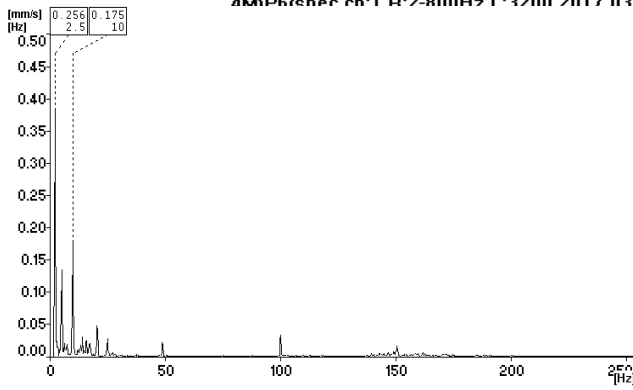
4MYP4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:22:57 A4400 Spec



### MT30 taško virpesių greičių spektras

### MT30 taško virpesių pagreičių spektras

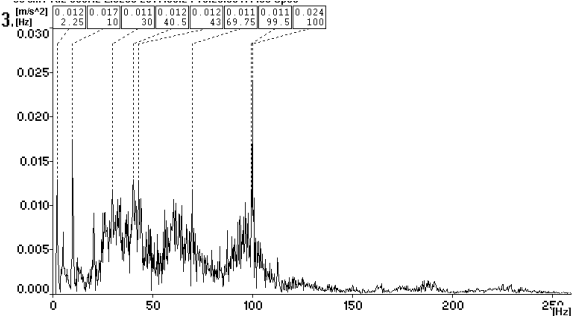
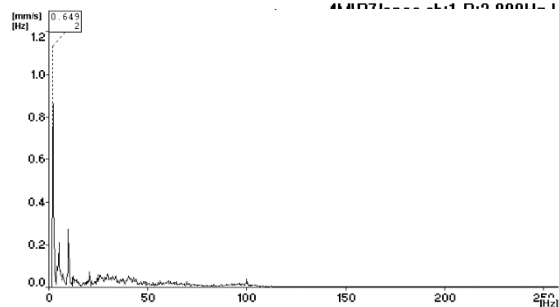
4MYP6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:23:18 A4400 Spec



### MT31 taško virpesių greičių spektras

### MT31 taško virpesių pagreičių spektras

4MYP7/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:23:38 A4400 Spec

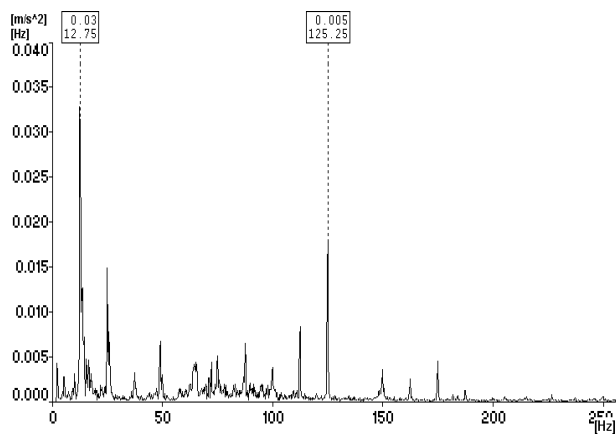
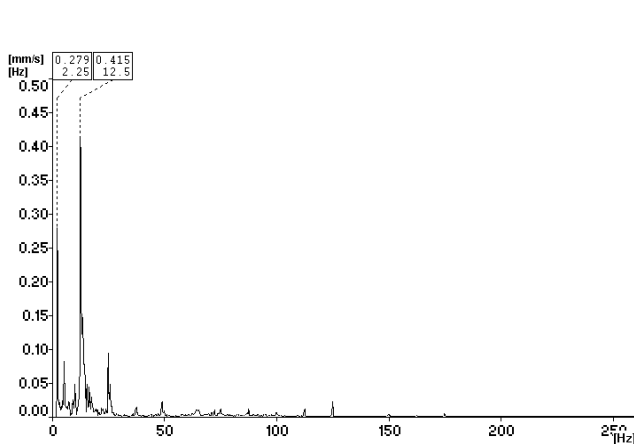


Laivo „Mintis“ virpesių spektrai, gauti penkto laivo darbo režimo metu

MT01 taško virpesių greičių spektras

MT01 taško virpesių pagreičių spektras

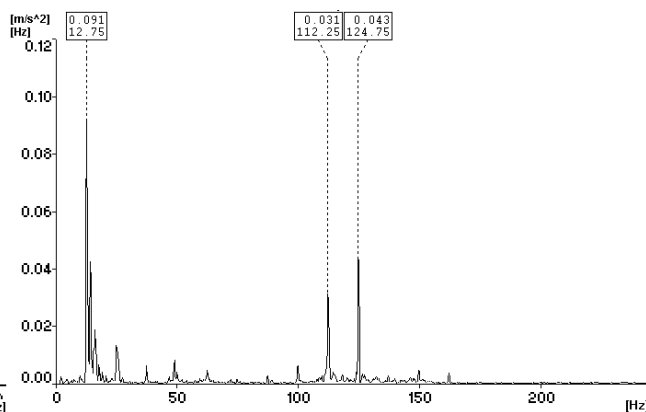
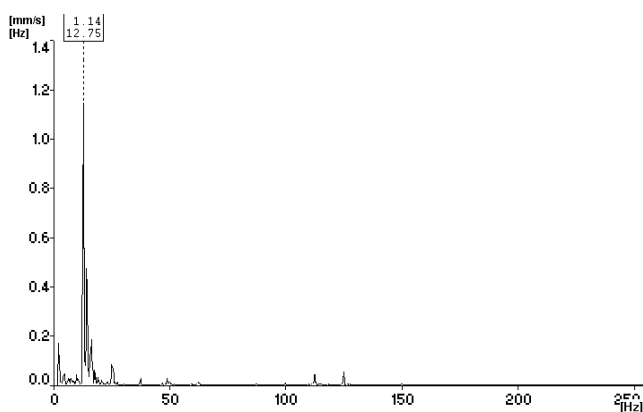
5M\T1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:25:00 A4400 Spec



MT02 taško virpesių greičių spektras

MT02 taško virpesių pagreičių spektras

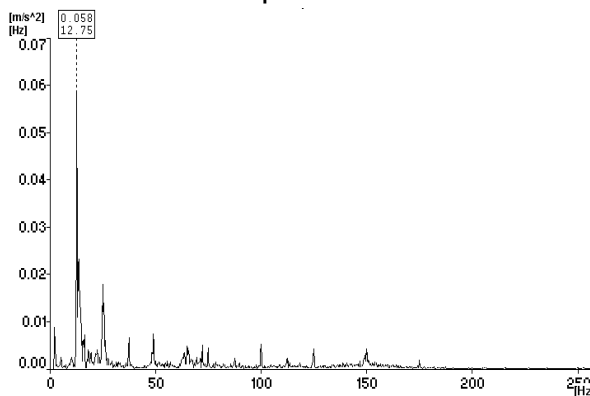
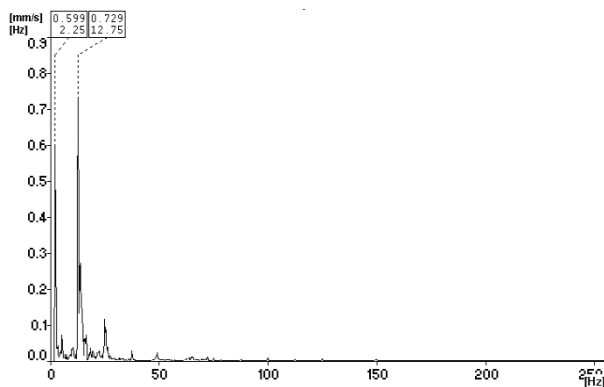
5M\T2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:25:22 A4400 Spec



MT03 taško virpesių greičių spektras

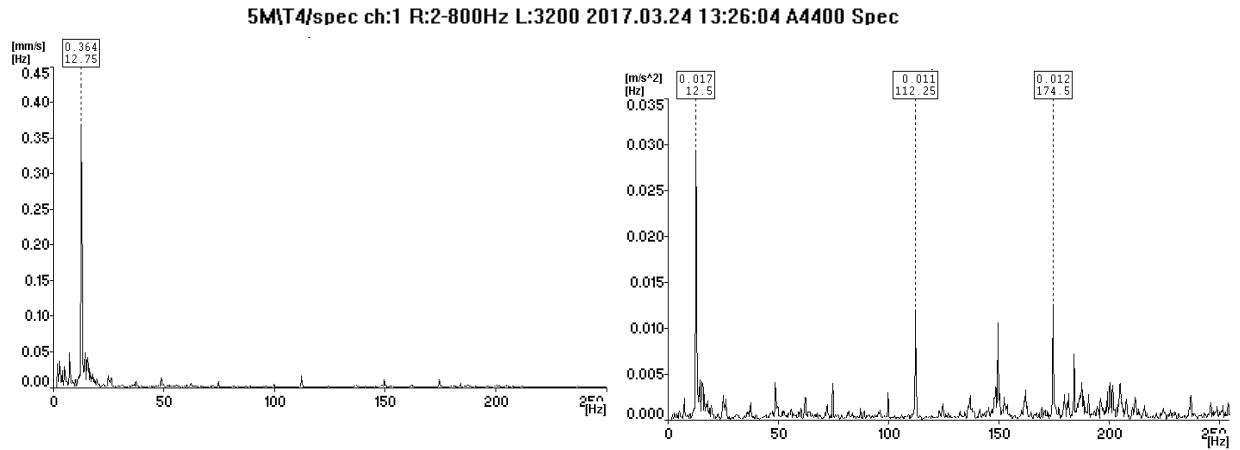
MT03 taško virpesių pagreičių spektras

5M\T3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:25:42 A4400 Spec



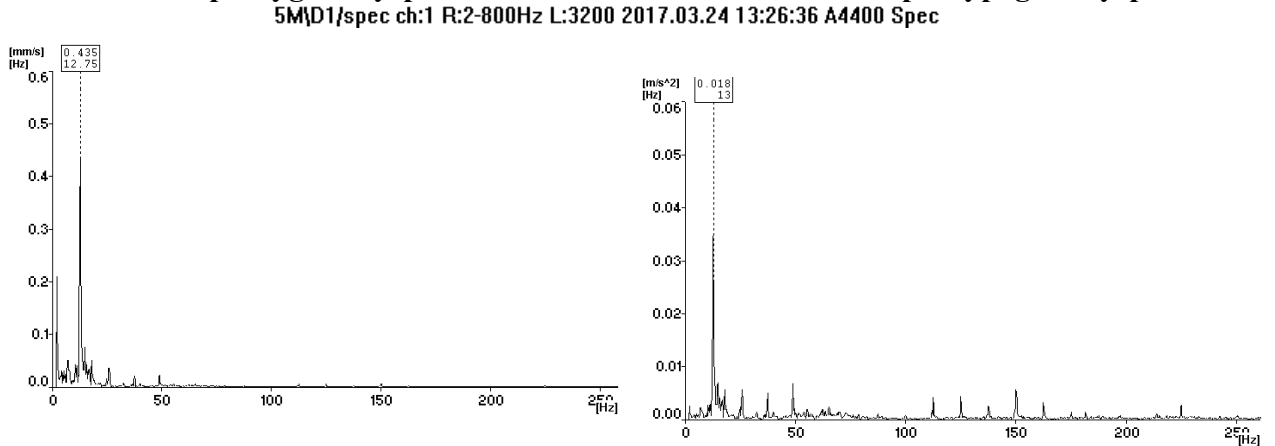
### MT04 taško virpesių greičių spektras

### MT04 taško virpesių pagreičių spektras



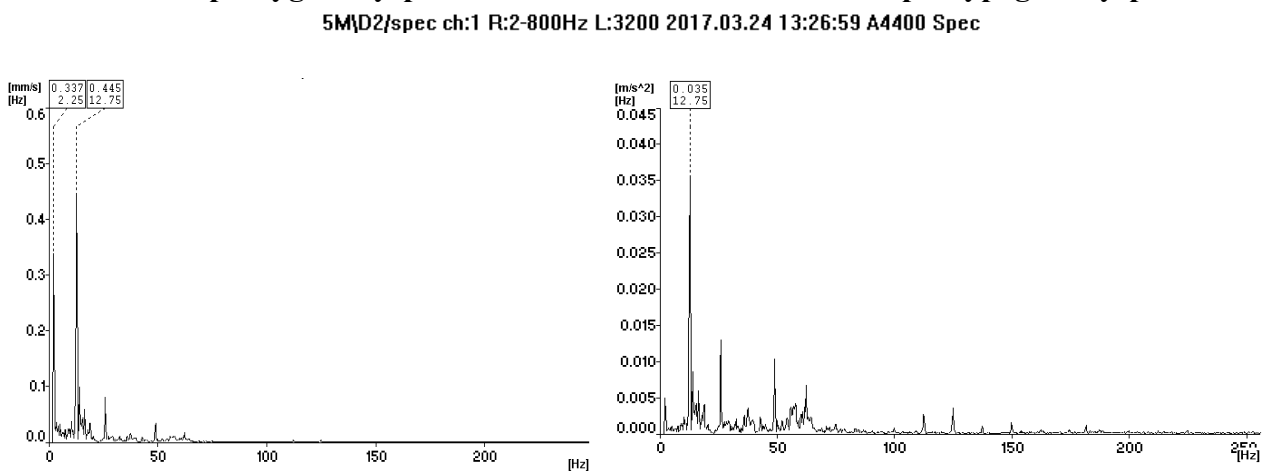
### MT05 taško virpesių greičių spektras

### MT05 taško virpesių pagreičių spektras



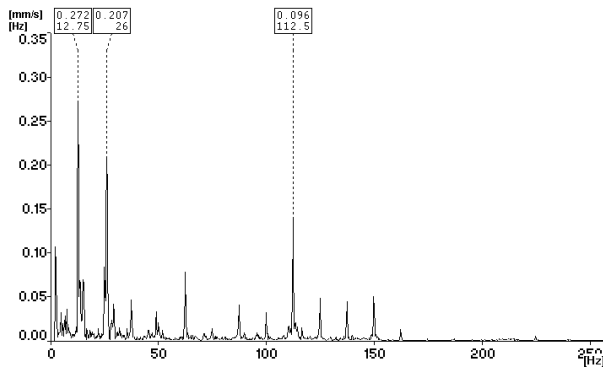
### MT06 taško virpesių greičių spektras

### MT06 taško virpesių pagreičių spektras

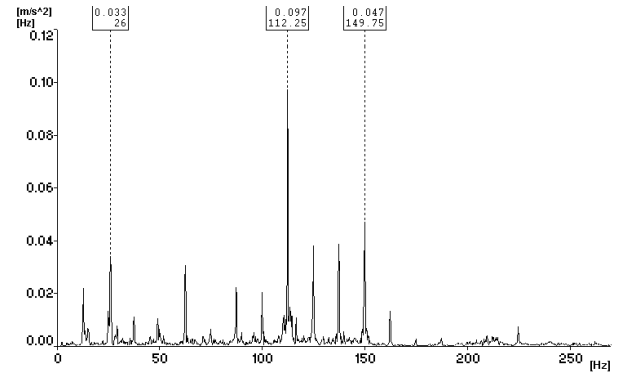


### MT07 taško virpesių greičių spektras

5M\D3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:27:25 A4400 Spec

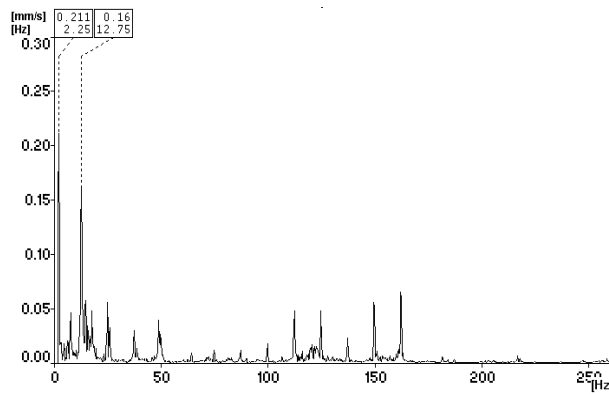


### MT07 taško virpesių pagreičių spektras

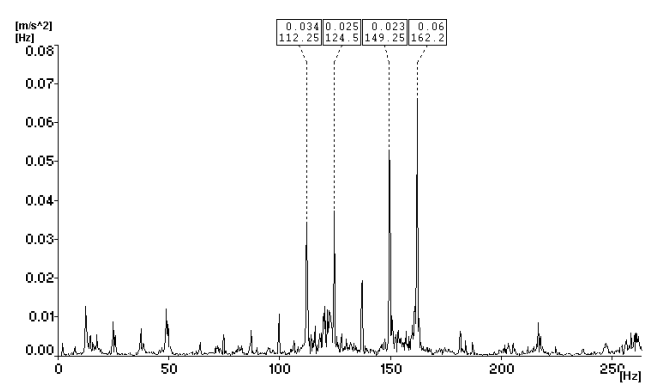


### MT08 taško virpesių greičių spektras

5M\D4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:27:51 A4400 Spec

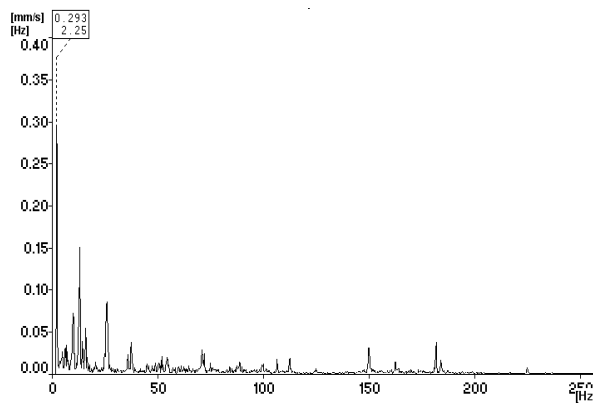


### MT08 taško virpesių pagreičių spektras

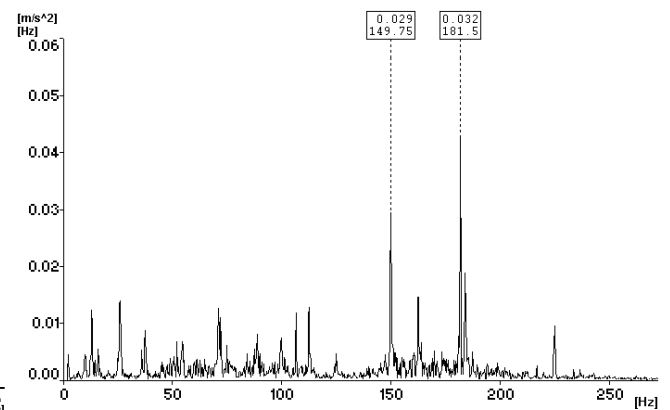


### MT09 taško virpesių greičių spektras

5M\D6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:28:18 A4400 Spec

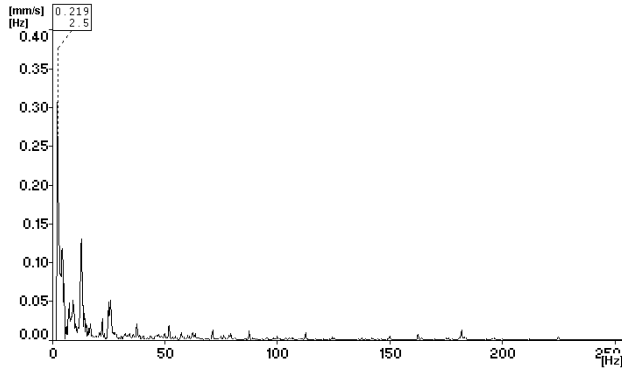


### MT09 taško virpesių pagreičių spektras

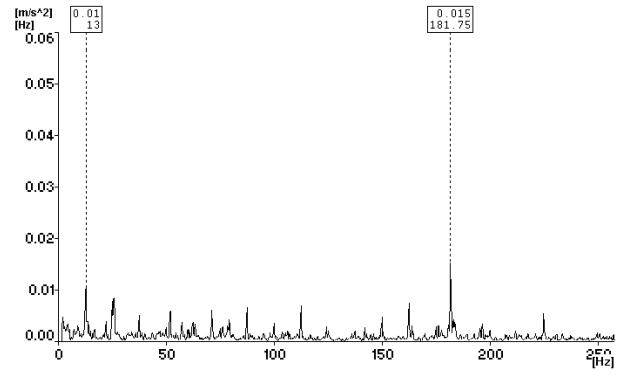


### MT10 taško virpesių greičių spektras

5M\D7/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:28:38 A4400 Spec

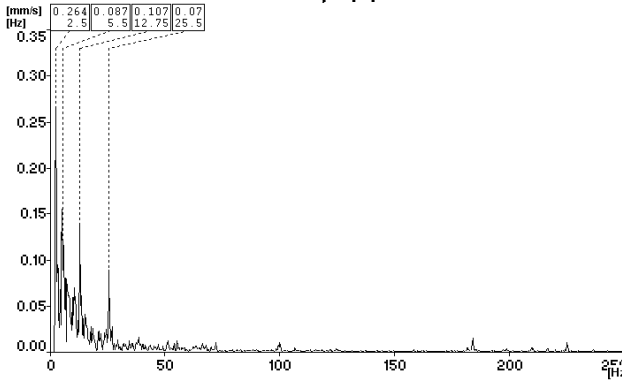


### MT10 taško virpesių pagreičių spektras

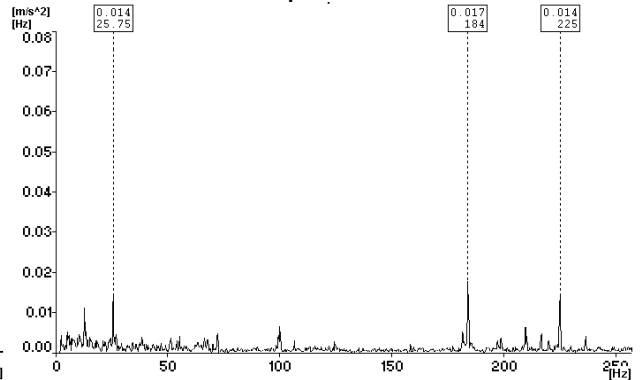


### MT11 taško virpesių greičių spektras

5M\D8/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:29:01 A4400 Spec

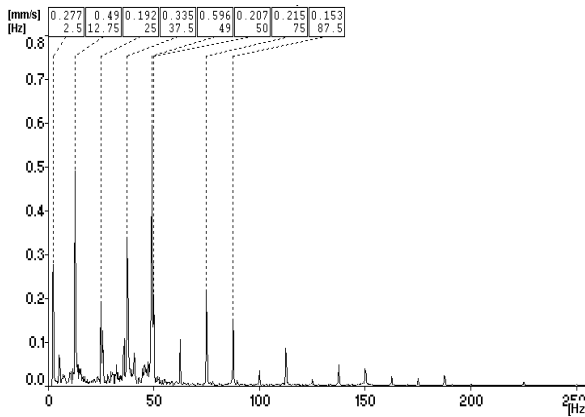


### MT11 taško virpesių pagreičių spektras

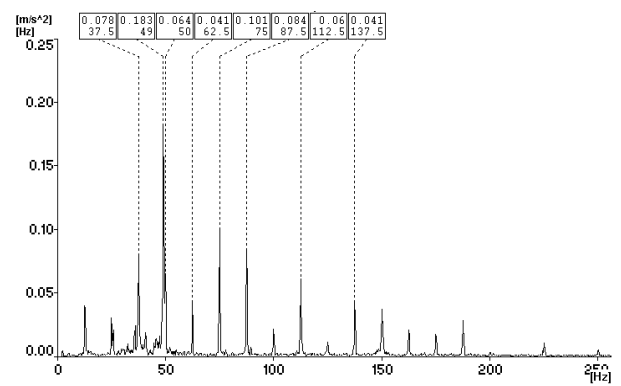


### MT12 taško virpesių greičių spektras

5M\K1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:29:37 A4400 Spec

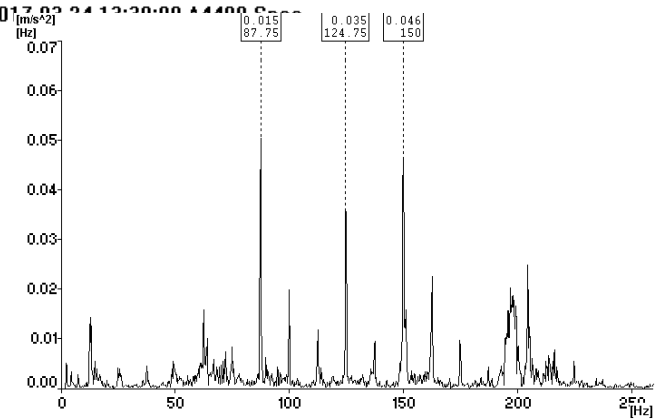
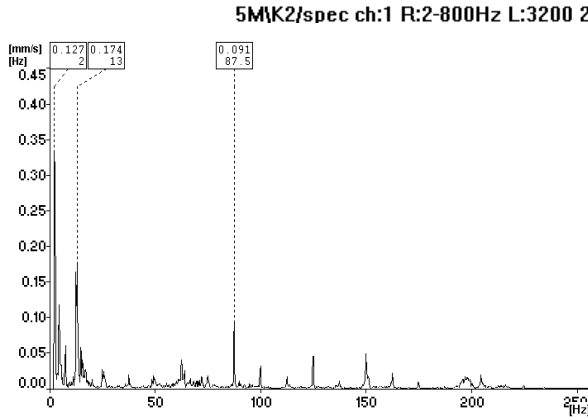


### MT12 taško virpesių pagreičių spektras



### MT13 taško virpesių greičių spektras

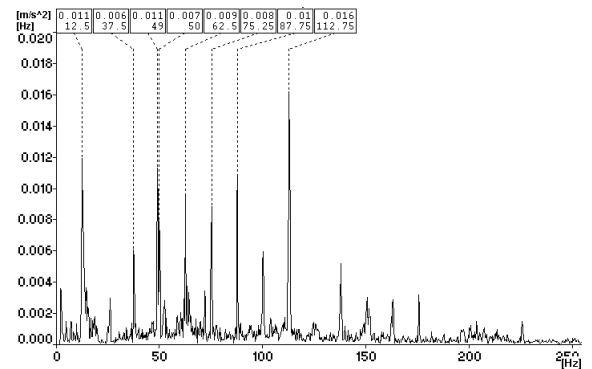
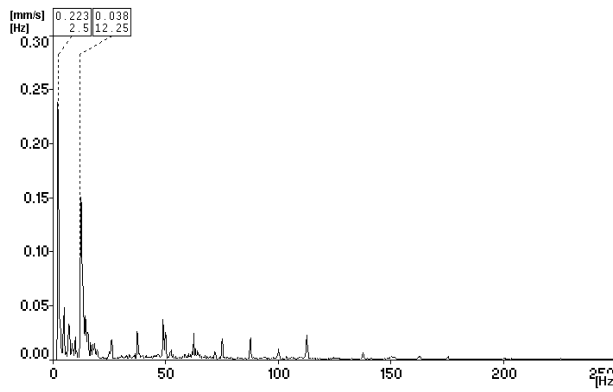
### MT13 taško virpesių pagreičių spektras



### MT14 taško virpesių greičių spektras

### MT14 taško virpesių pagreičių spektras

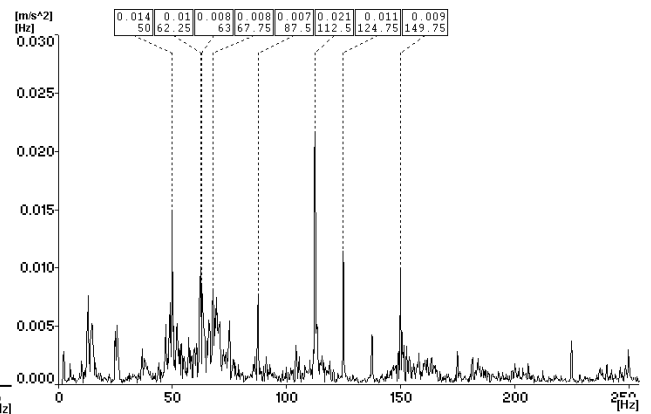
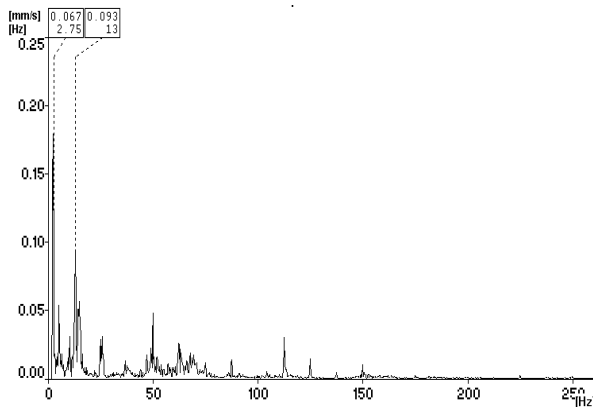
5MK3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:30:21 A4400 Spec



### MT15 taško virpesių greičių spektras

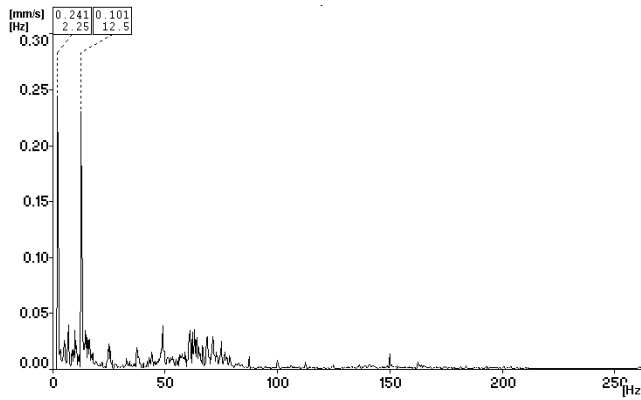
### MT15 taško virpesių pagreičių spektras

5MK4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:30:42 A4400 Spec

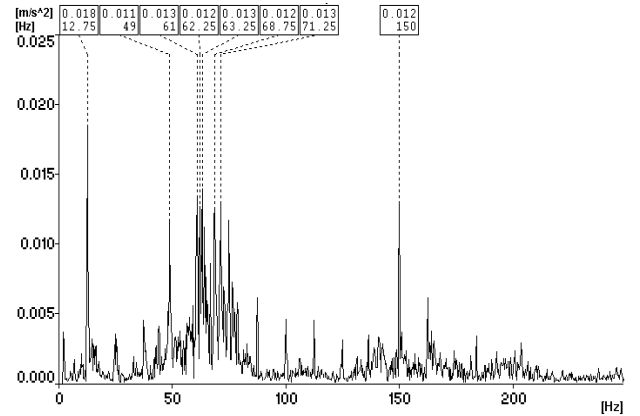


### MT16 taško virpesių greičių spektras

5MK5/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:31:01 A4400 Spec

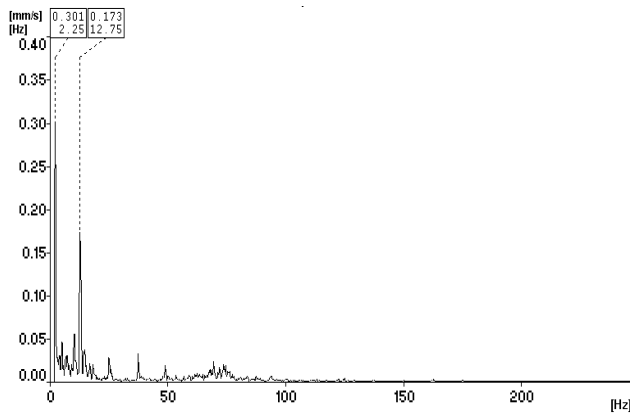


### MT16 taško virpesių pagreičių spektras

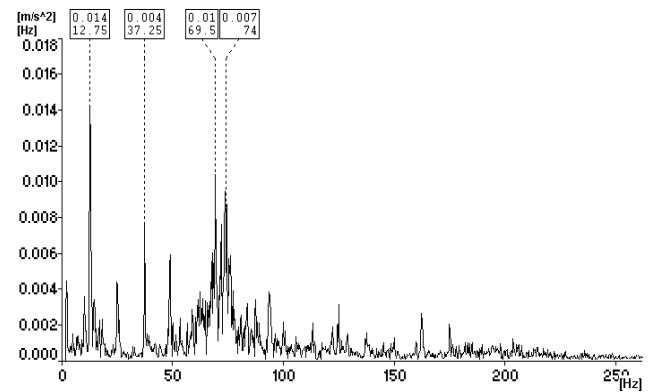


### MT17 taško virpesių greičių spektras

5MK6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:31:25 A4400 Spec

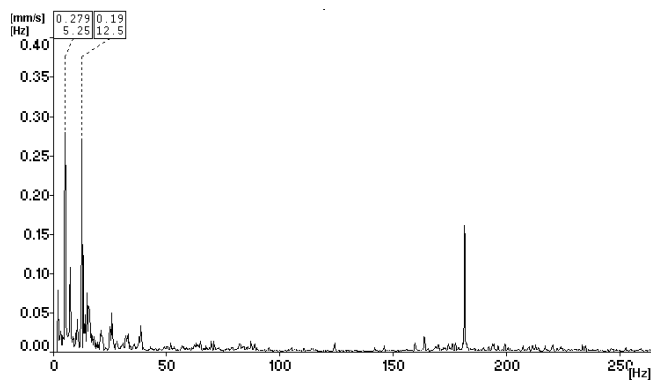


### MT17 taško virpesių pagreičių spektras

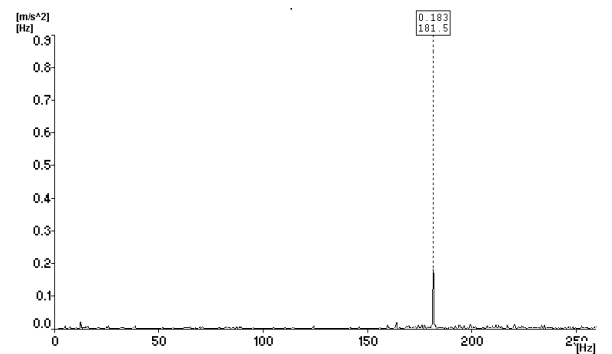


### MT18 taško virpesių greičių spektras

5MS1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:32:10 A4400 Spec



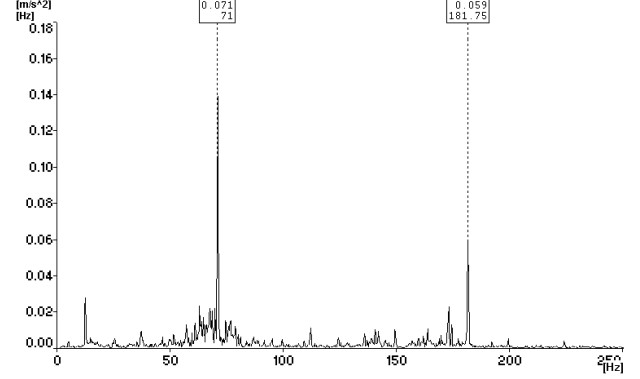
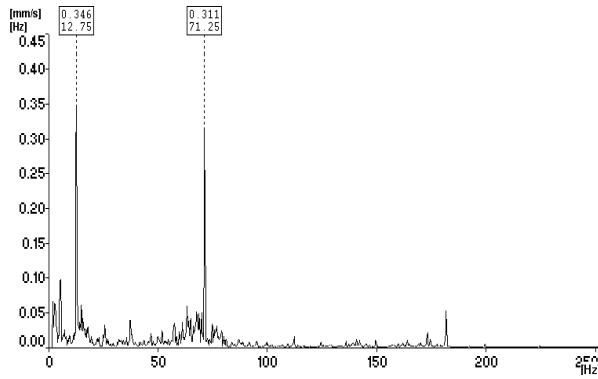
### MT18 taško virpesių pagreičių spektras



### MT19 taško virpesių greičių spektras

### MT19 taško virpesių pagreičių spektras

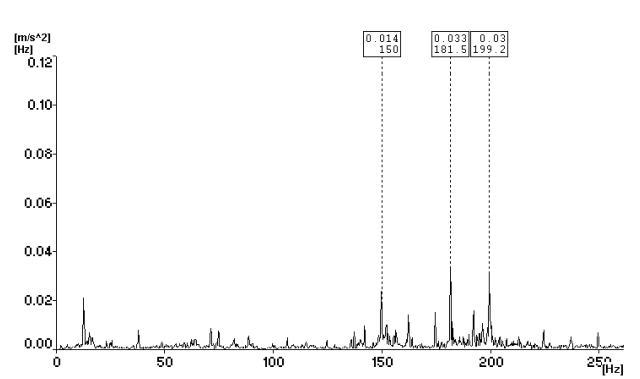
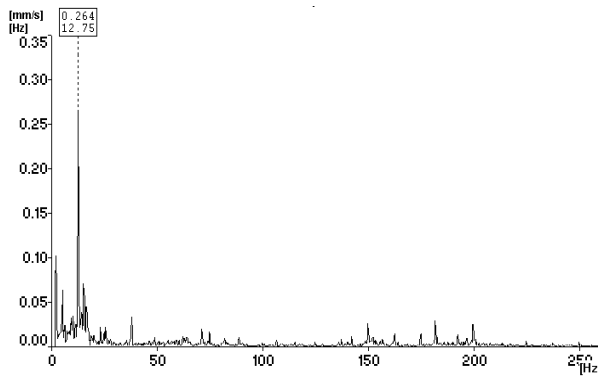
5M\52/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:32:32 A4400 Spec



### MT20 taško virpesių greičių spektras

### MT20 taško virpesių pagreičių spektras

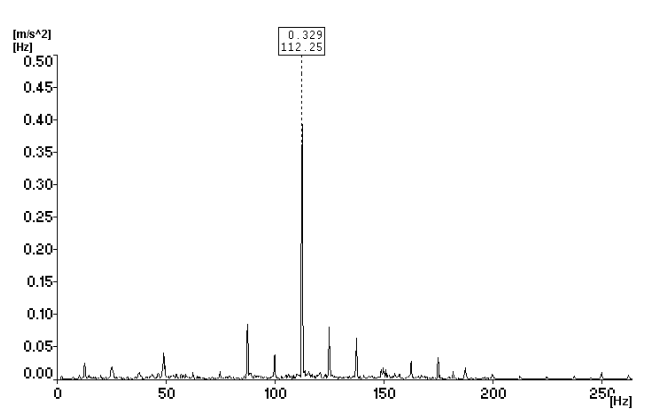
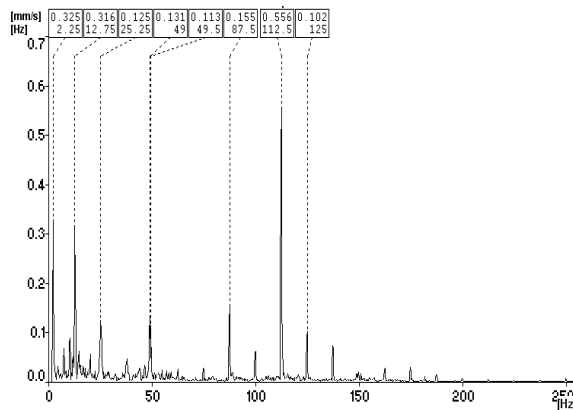
5M\53/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:32:51 A4400 Spec



### MT21 taško virpesių greičių spektras

### MT21 taško virpesių pagreičių spektras

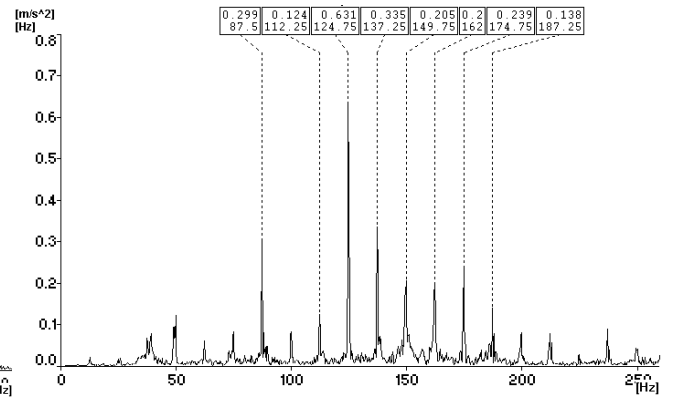
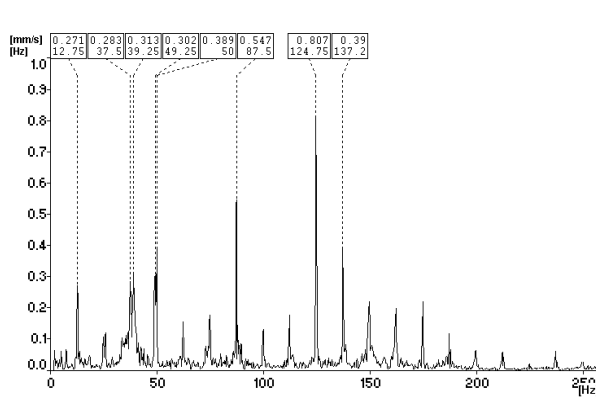
5M\54/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:33:11 A4400 Spec



### MT22 taško virpesių greičių spektras

### MT22 taško virpesių pagreičių spektras

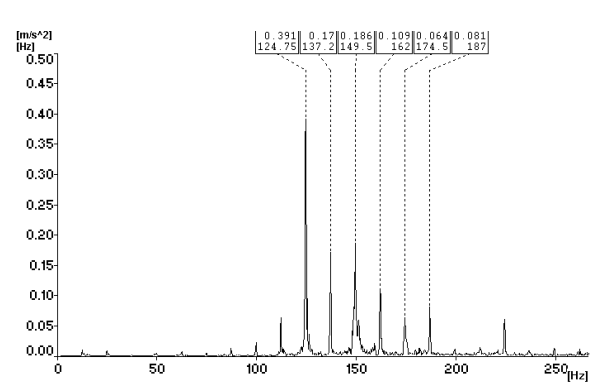
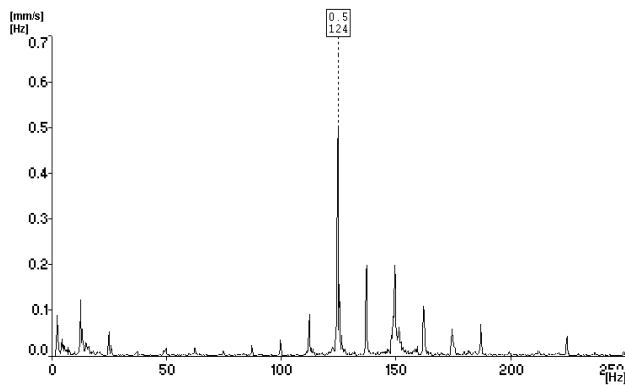
5M\S5/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:33:32 A4400 Spec



### MT23 taško virpesių greičių spektras

### MT23 taško virpesių pagreičių spektras

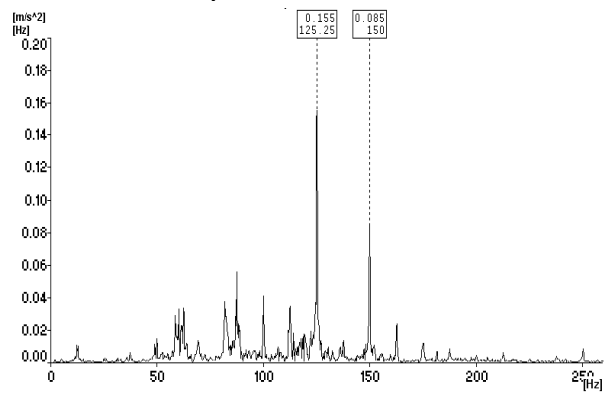
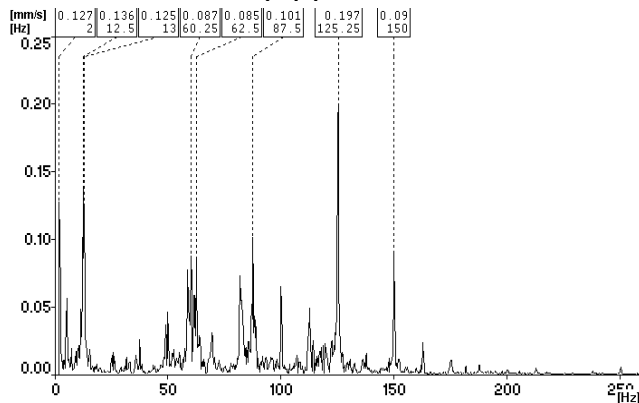
5M\S6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:33:52 A4400 Spec



### MT24 taško virpesių greičių spektras

### MT24 taško virpesių pagreičių spektras

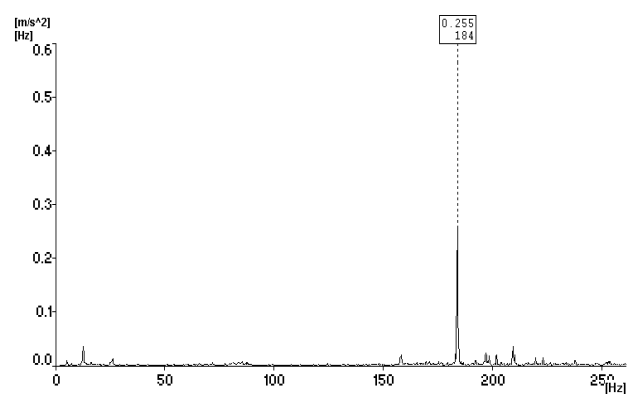
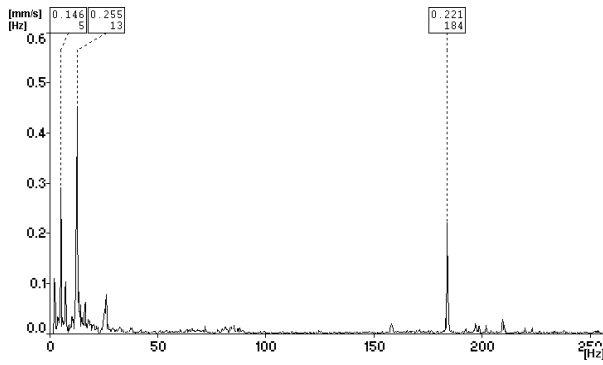
5M\S7/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:34:12 A4400 Spec



### MT25 taško virpesių greičių spektras

### MT25 taško virpesių pagreičių spektras

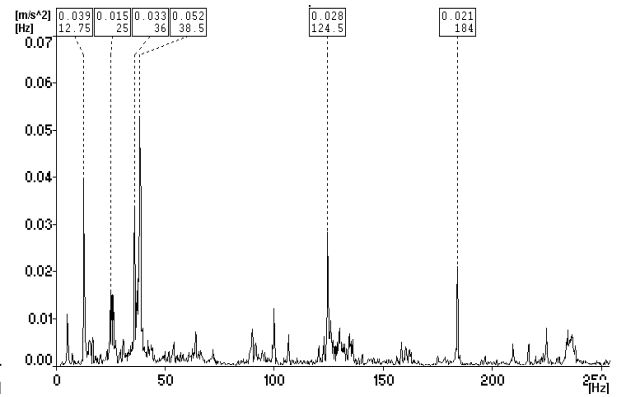
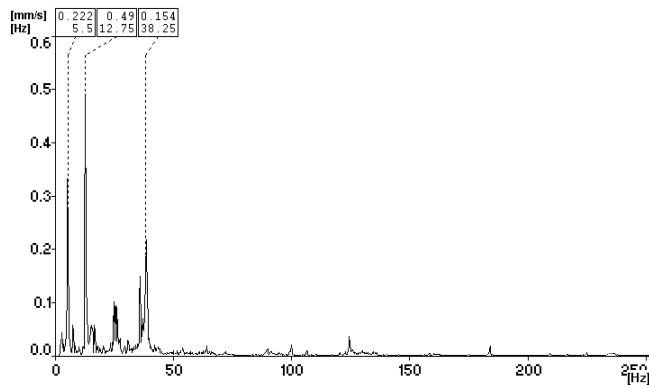
5M\P1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:35:05 A4400 Spec



### MT26 taško virpesių greičių spektras

### MT26 taško virpesių pagreičių spektras

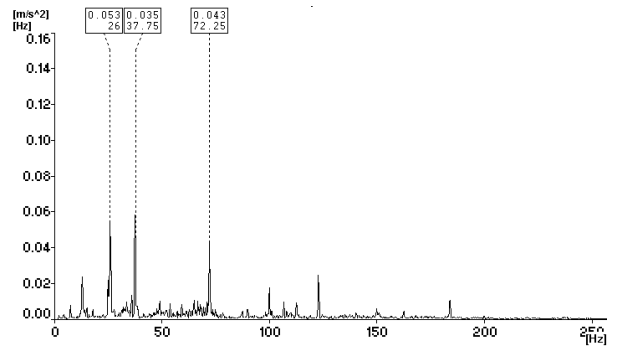
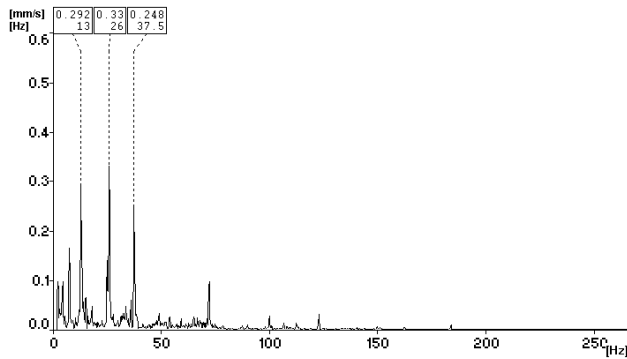
5M\P2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:35:27 A4400 Spec



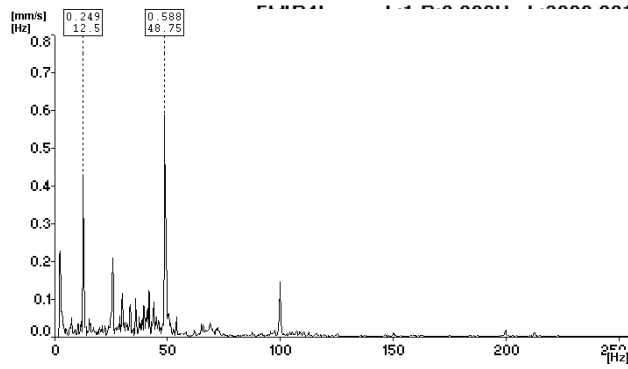
### MT27 taško virpesių greičių spektras

### MT27 taško virpesių pagreičių spektras

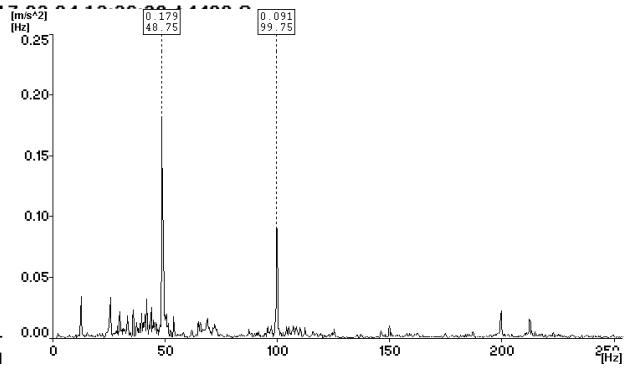
5M\P3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:36:07 A4400 Spec



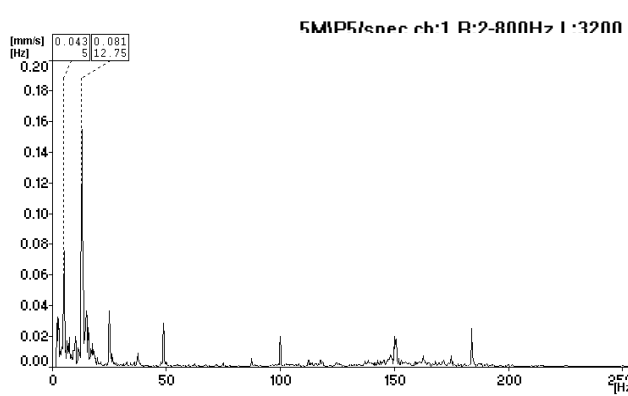
**MT28 taško virpesių greičių spektras**



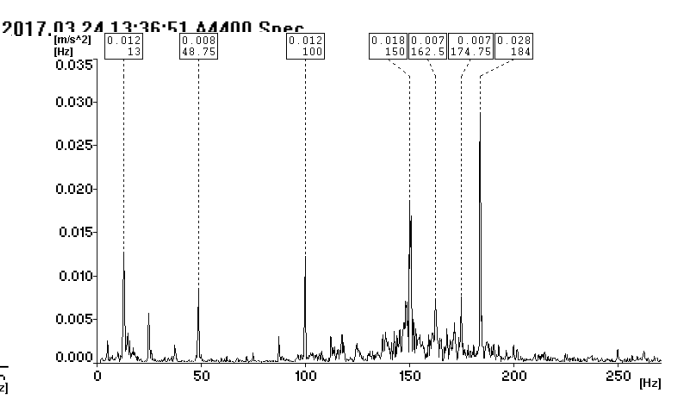
**MT28 taško virpesių pagreičių spektras**



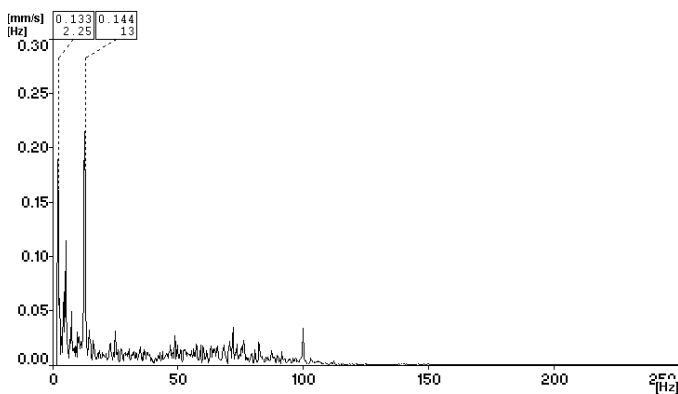
**MT29 taško virpesių greičių spektras**



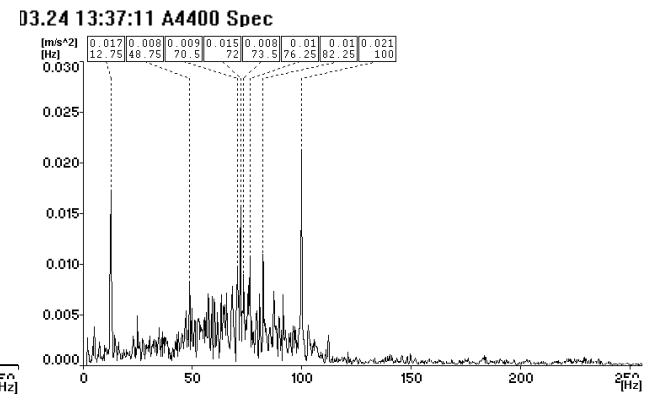
**MT29 taško virpesių pagreičių spektras**



**MT30 taško virpesių greičių spektras**



**MT30 taško virpesių pagreičių spektras**



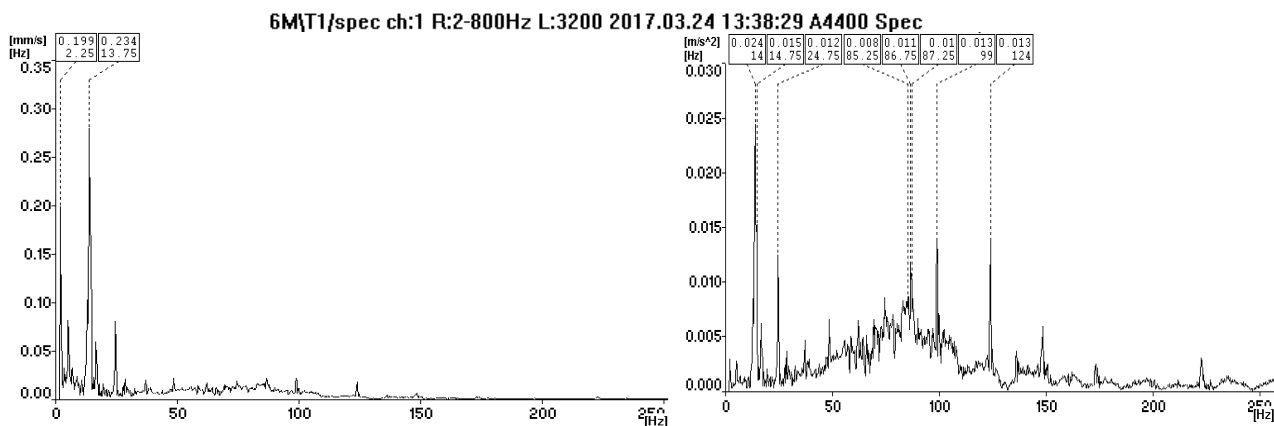
**MT31 taško virpesių greičių spektras**

**MT31 taško virpesių pagreičių spektras**

Laivo „Mintis“ virpesių spektrai, gauti šešto laivo darbo režimo metu

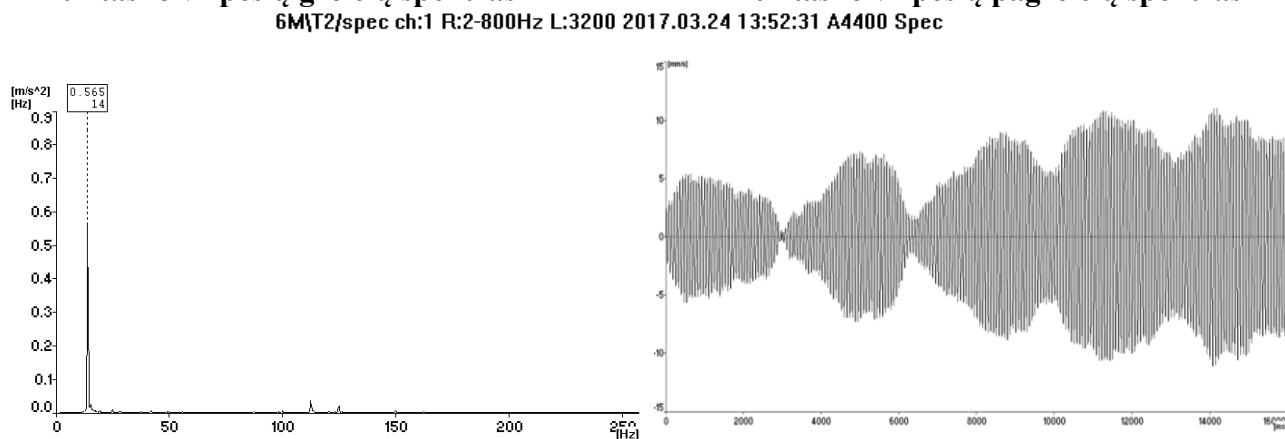
MT01 taško virpesių greičių spektras

MT01 taško virpesių pagreičių spektras



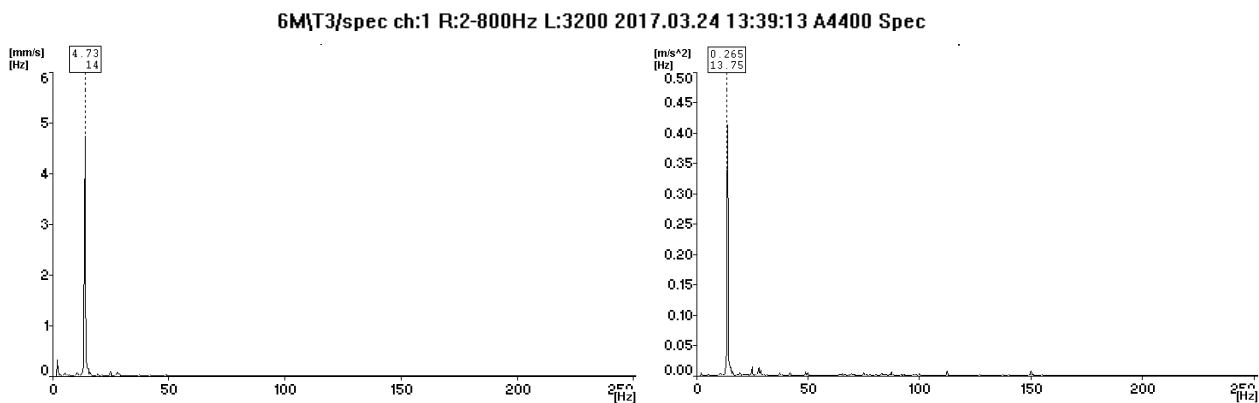
MT02 taško virpesių greičių spektras

MT02 taško virpesių pagreičių spektras



MT03 taško virpesių greičių spektras

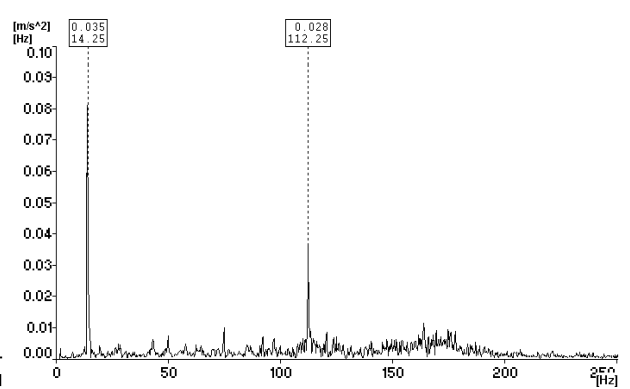
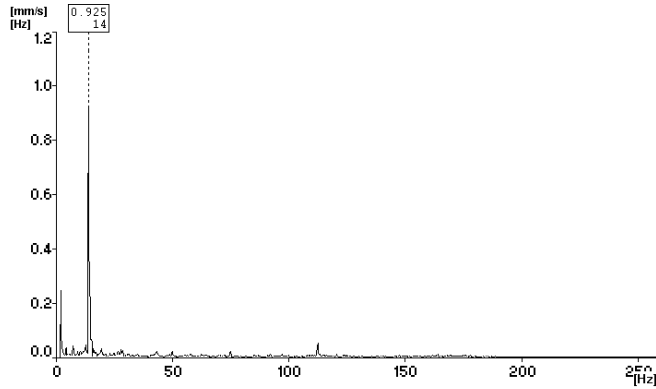
MT03 taško virpesių pagreičių spektras



### MT04 taško virpesių greičių spektras

### MT04 taško virpesių pagreičių spektras

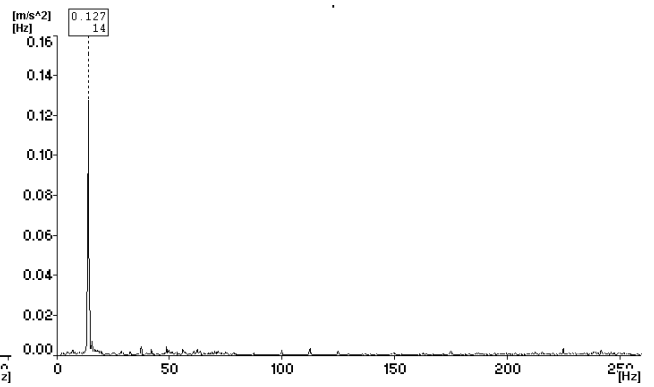
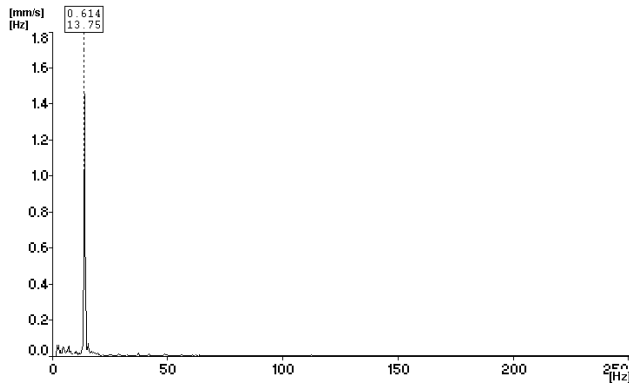
6M\T4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:39:34 A4400 Spec



### MT05 taško virpesių greičių spektras

### MT05 taško virpesių pagreičių spektras

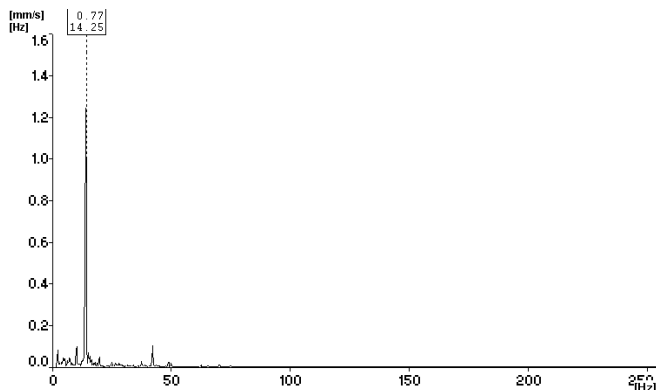
6M\D1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:40:06 A4400 Spec



### MT06 taško virpesių greičių spektras

### MT06 taško virpesių pagreičių spektras

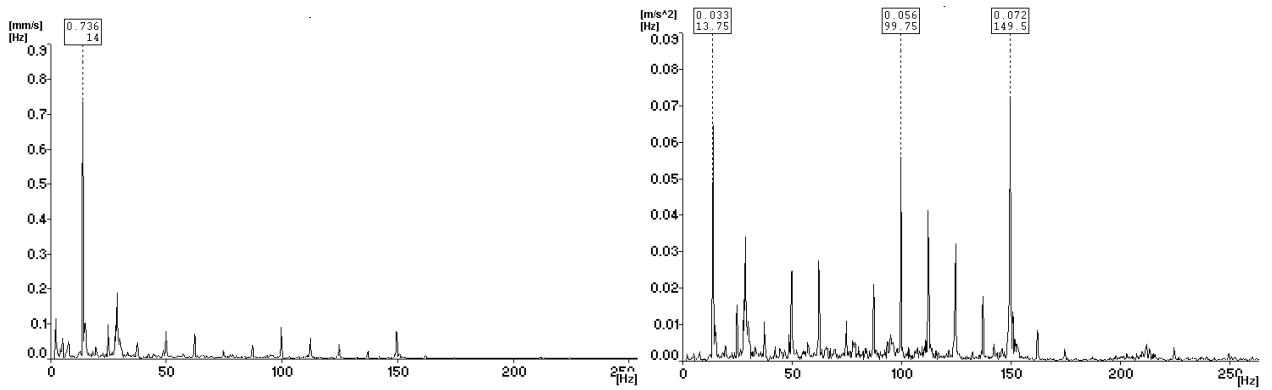
6M\D2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:40:29 A4400 Spec



### MT07 taško virpesių greičių spektras

### MT07 taško virpesių pagreičių spektras

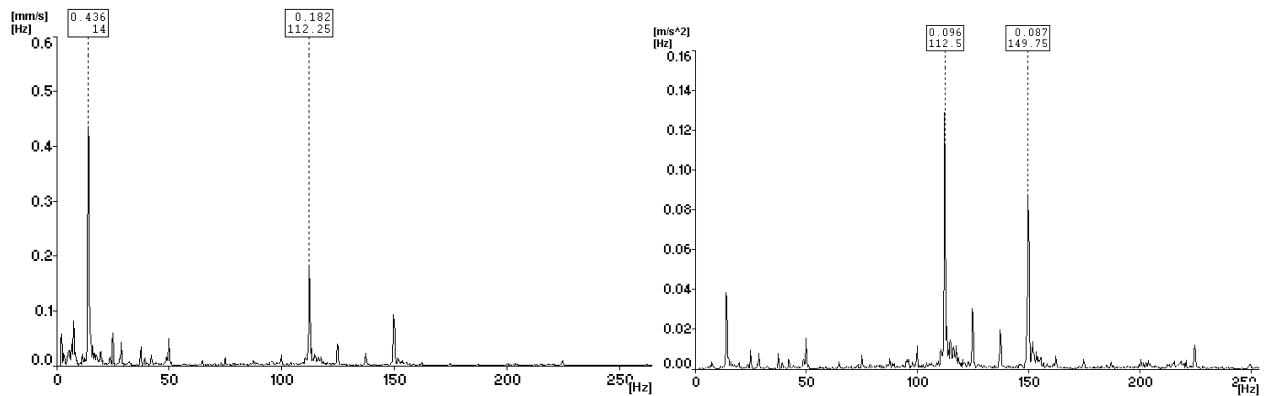
6M\D3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:40:55 A4400 Spec



### MT08 taško virpesių greičių spektras

### MT08 taško virpesių pagreičių spektras

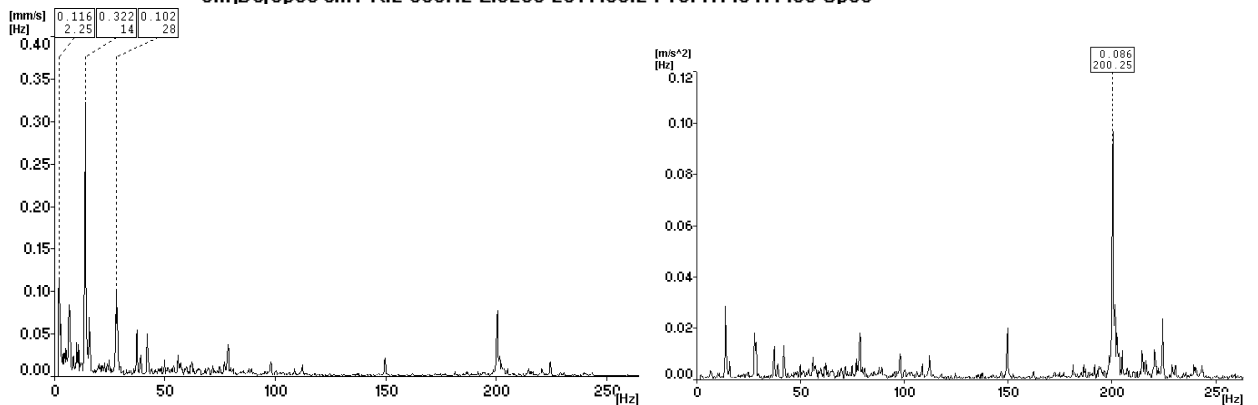
6M\D4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:41:18 A4400 Spec



### MT09 taško virpesių greičių spektras

### MT09 taško virpesių pagreičių spektras

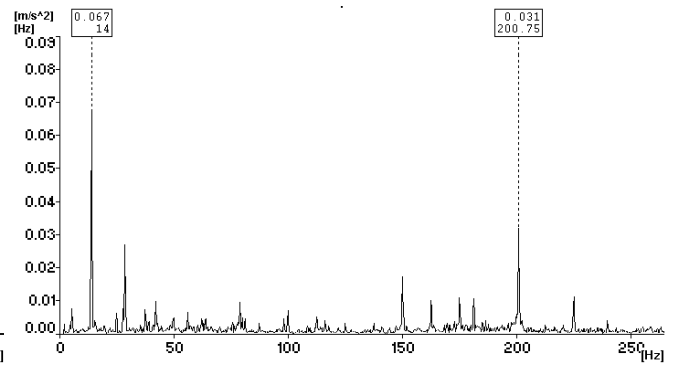
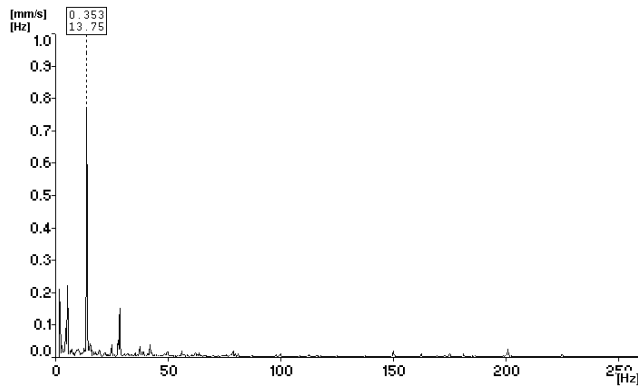
6M\D6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:41:46 A4400 Spec



### MT10 taško virpesių greičių spektras

### MT10 taško virpesių pagreičių spektras

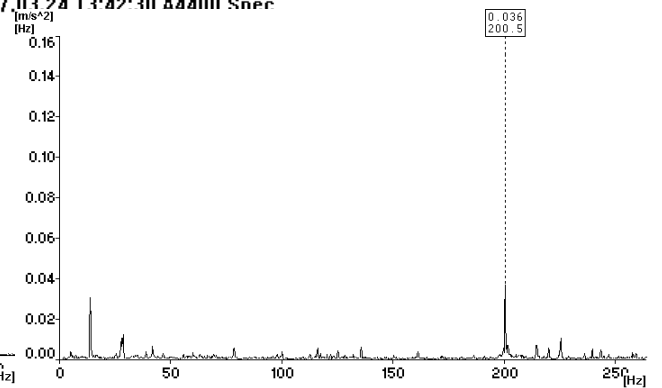
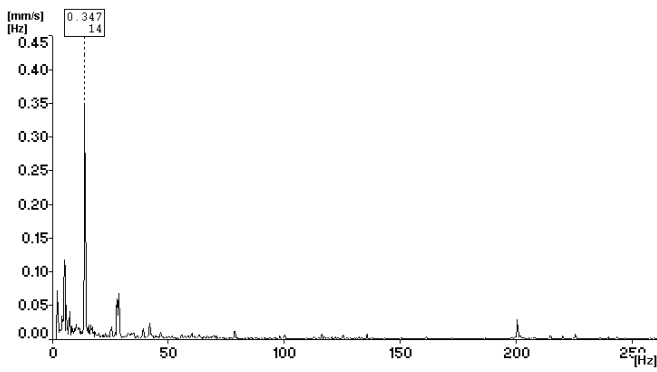
6M\D7/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:42:06 A4400 Spec



### MT11 taško virpesių greičių spektras

### MT11 taško virpesių pagreičių spektras

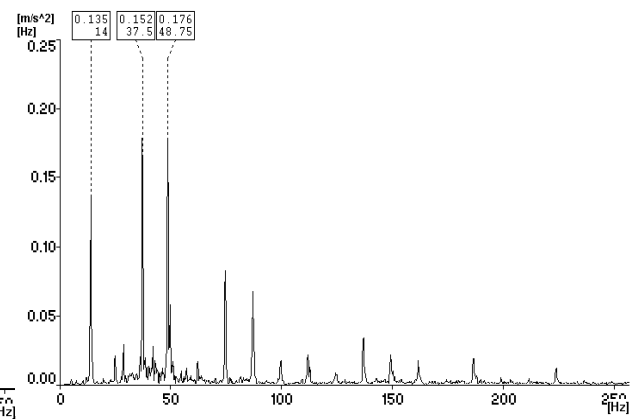
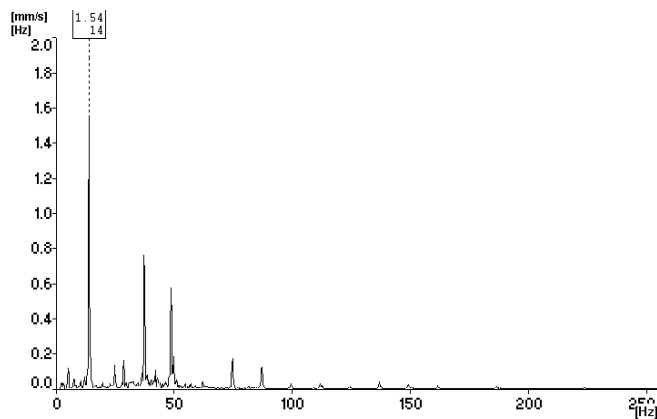
6M\D8/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:42:30 A4400 Spec



### MT12 taško virpesių greičių spektras

### MT12 taško virpesių pagreičių spektras

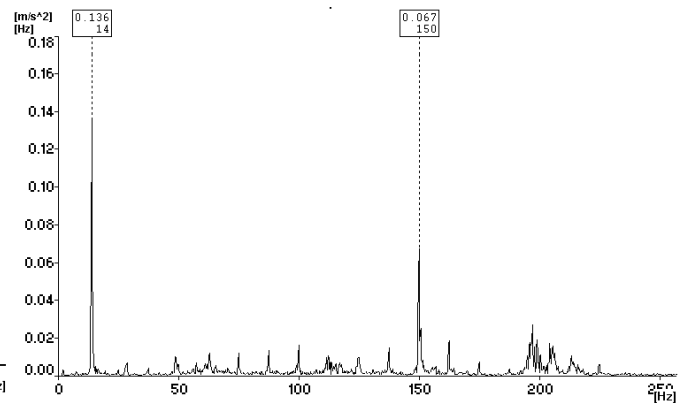
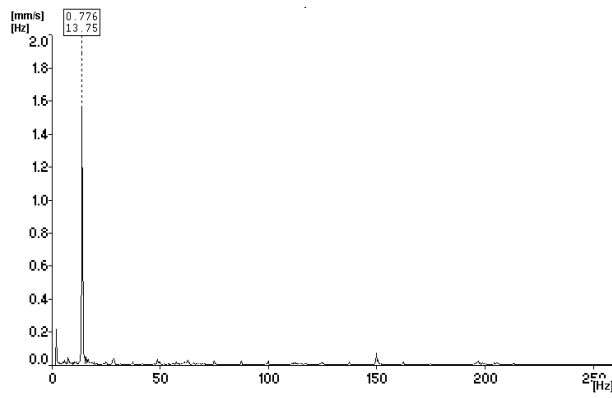
6M\K1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:43:07 A4400 Spec



### MT13 taško virpesių greičių spektras

### MT13 taško virpesių pagreičių spektras

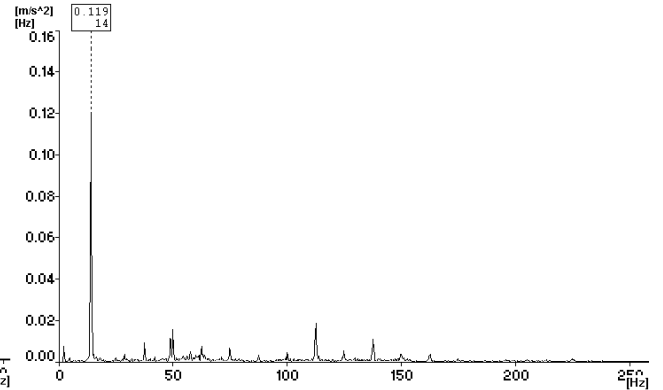
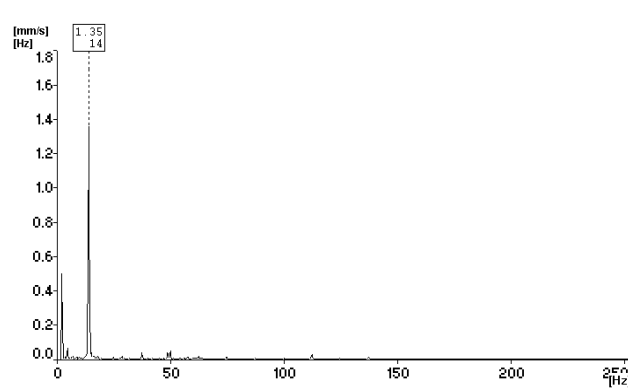
6MK2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:43:28 A4400 Spec



### MT14 taško virpesių greičių spektras

### MT14 taško virpesių pagreičių spektras

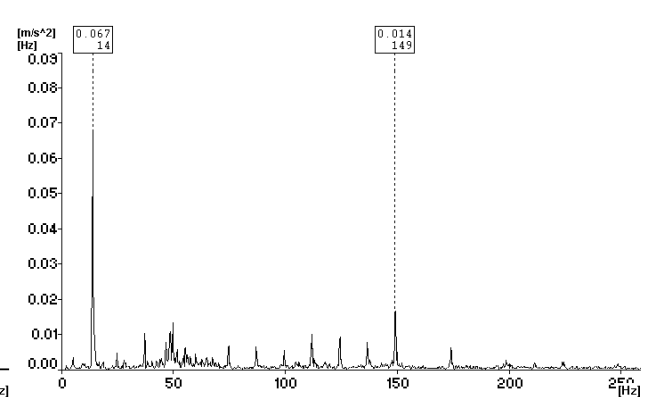
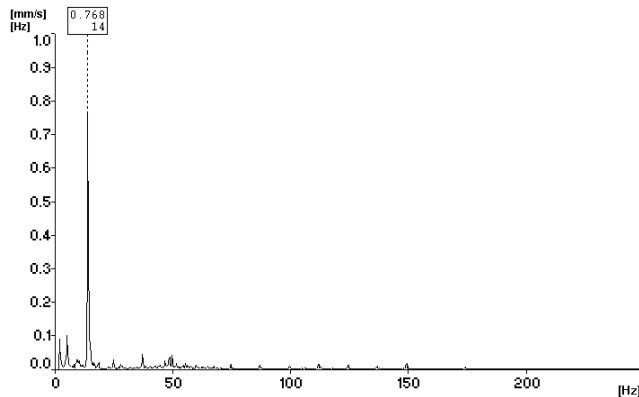
6MK3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:43:49 A4400 Spec



### MT15 taško virpesių greičių spektras

### MT15 taško virpesių pagreičių spektras

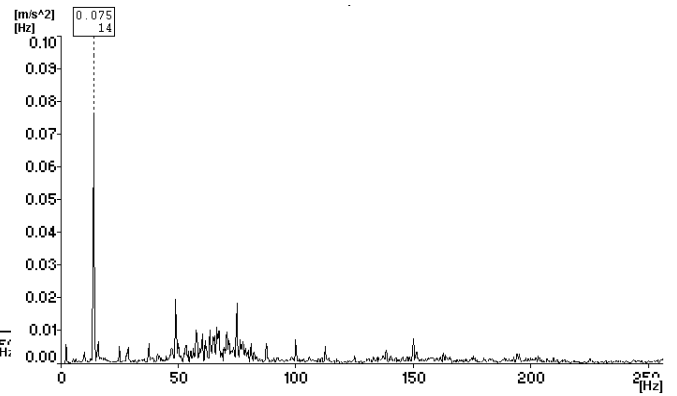
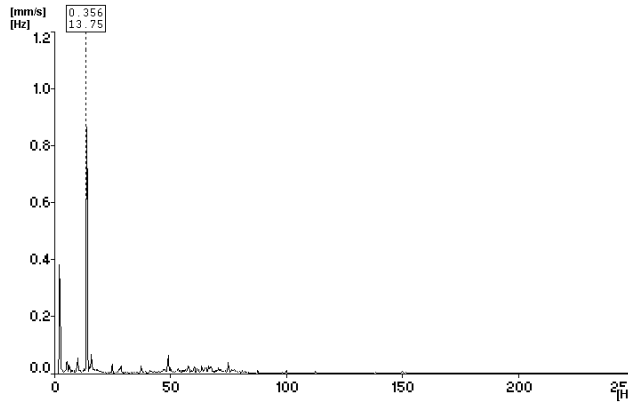
6MK4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:44:15 A4400 Spec



### MT16 taško virpesių greičių spektras

### MT16 taško virpesių pagreičių spektras

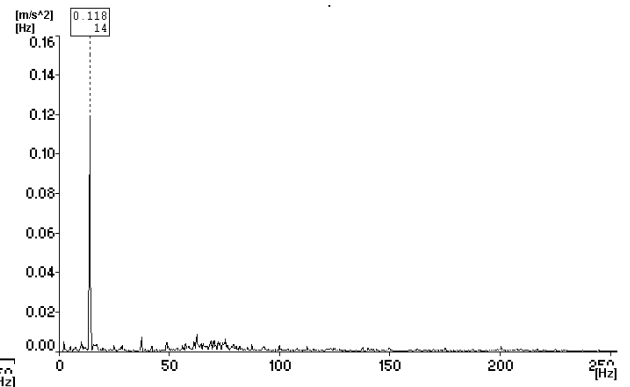
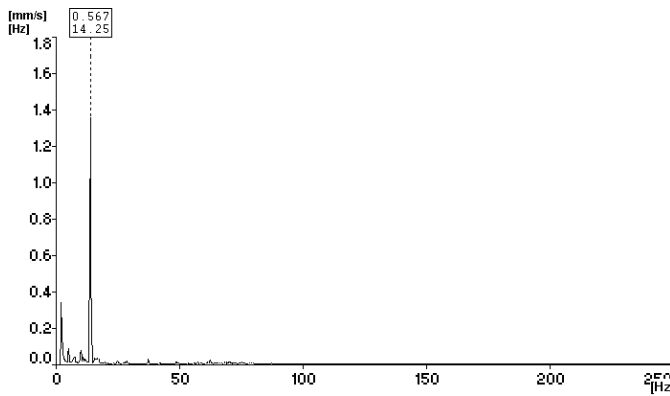
6MK5/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:44:34 A4400 Spec



### MT17 taško virpesių greičių spektras

### MT17 taško virpesių pagreičių spektras

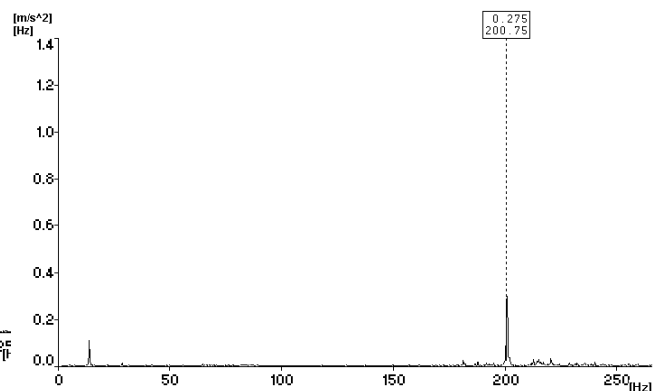
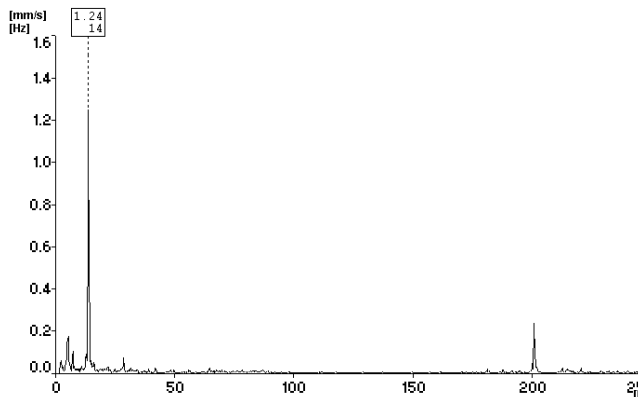
6MK6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:44:57 A4400 Spec



### MT18 taško virpesių greičių spektras

### MT18 taško virpesių pagreičių spektras

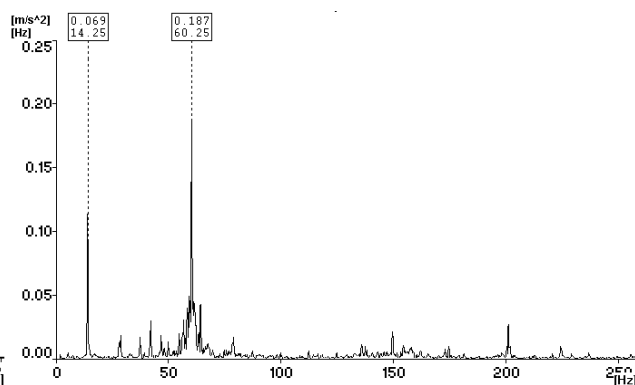
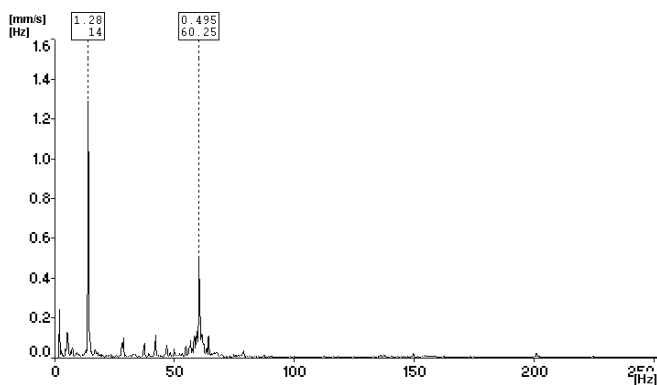
6M\S1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:45:47 A4400 Spec



### MT19 taško virpesių greičių spektras

### MT19 taško virpesių pagreičių spektras

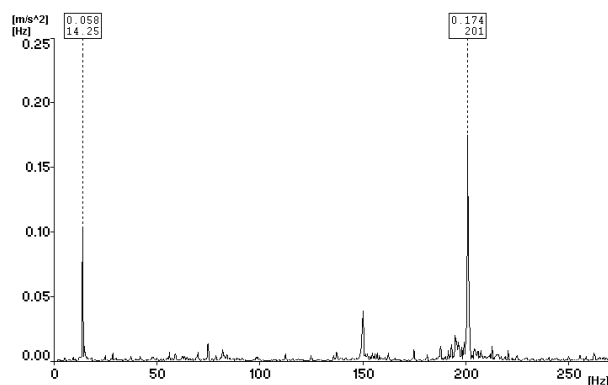
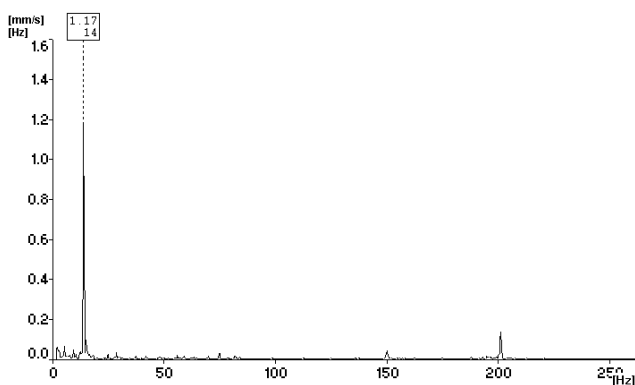
6M\S2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:46:08 A4400 Spec



### MT20 taško virpesių greičių spektras

### MT20 taško virpesių pagreičių spektras

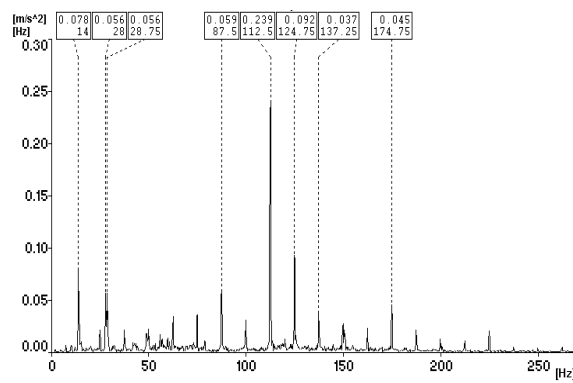
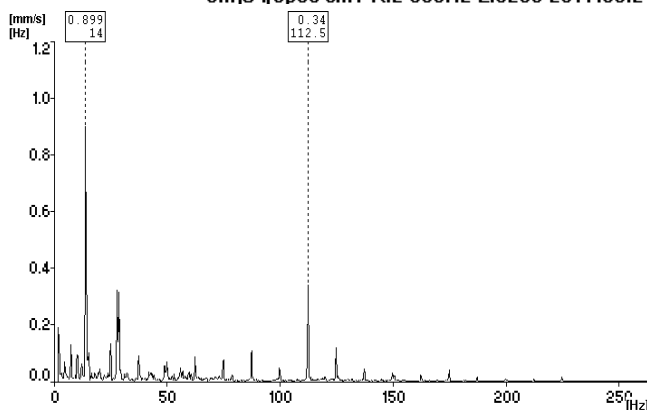
6M\S3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:46:27 A4400 Spec



### MT21 taško virpesių greičių spektras

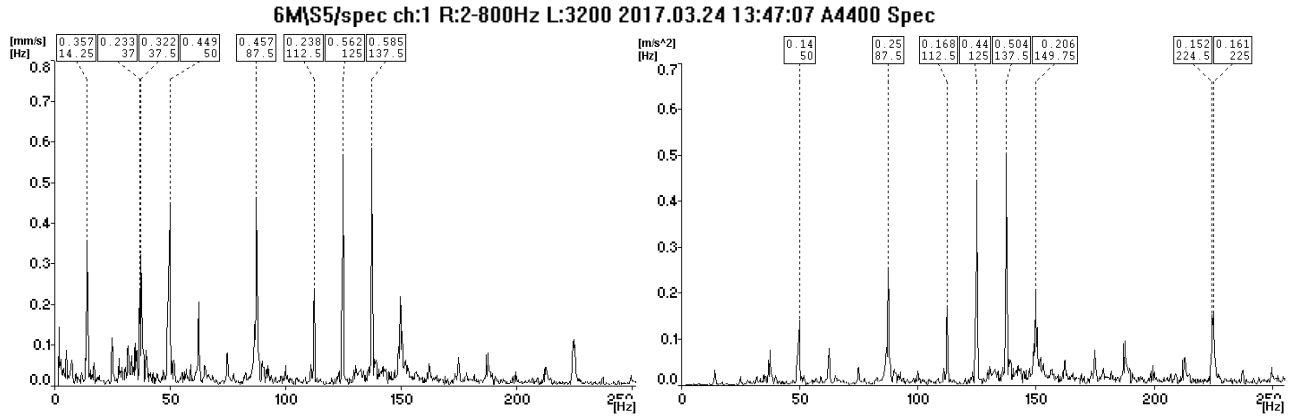
### MT21 taško virpesių pagreičių spektras

6M\S4/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:46:47 A4400 Spec



### MT22 taško virpesių greičių spektras

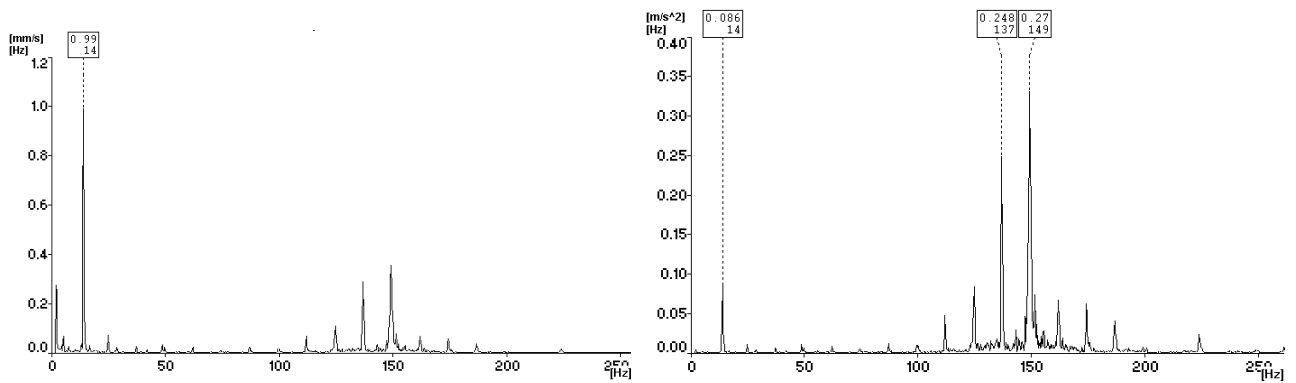
### MT22 taško virpesių pagreičių spektras



### MT23 taško virpesių greičių spektras

### MT23 taško virpesių pagreičių spektras

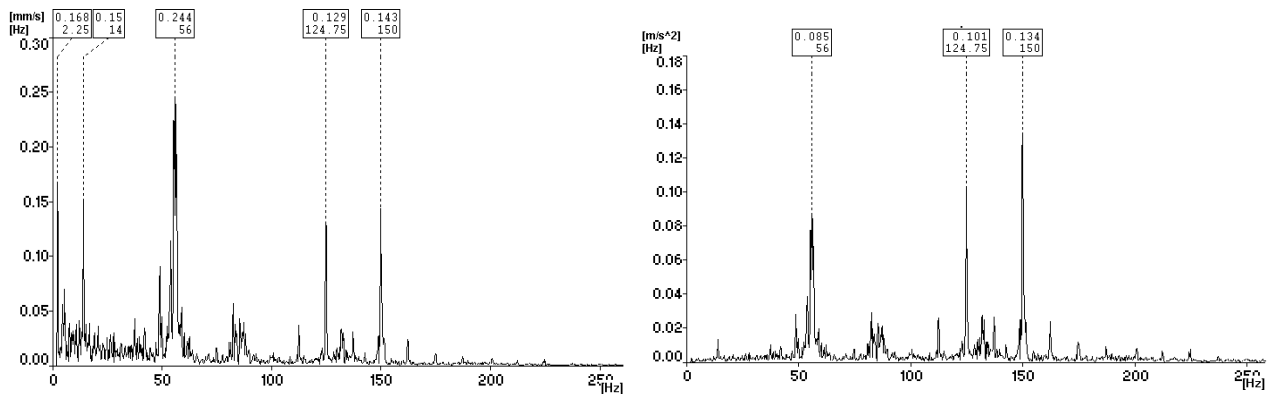
6M\S6/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:47:27 A4400 Spec



### MT24 taško virpesių greičių spektras

### MT24 taško virpesių pagreičių spektras

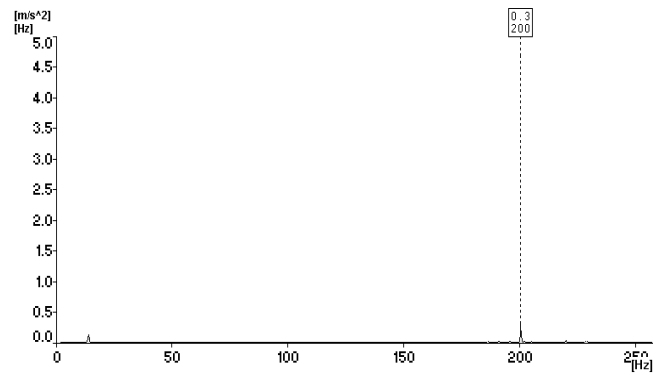
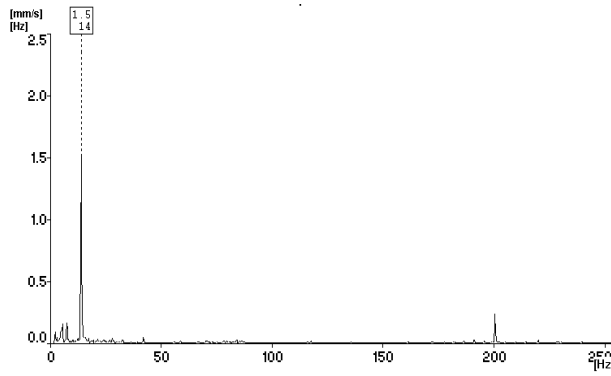
6M\S7/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:47:48 A4400 Spec



### MT25 taško virpesių greičių spektras

### MT25 taško virpesių pagreičių spektras

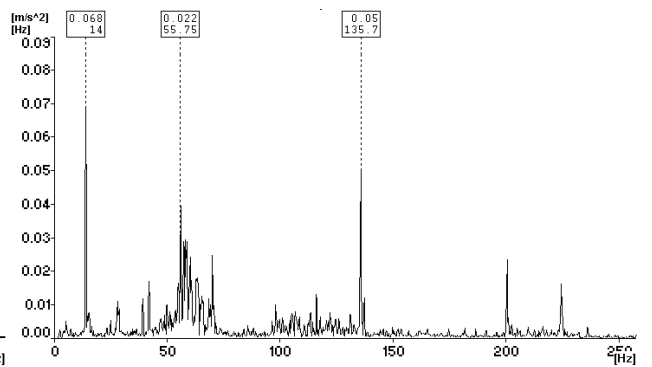
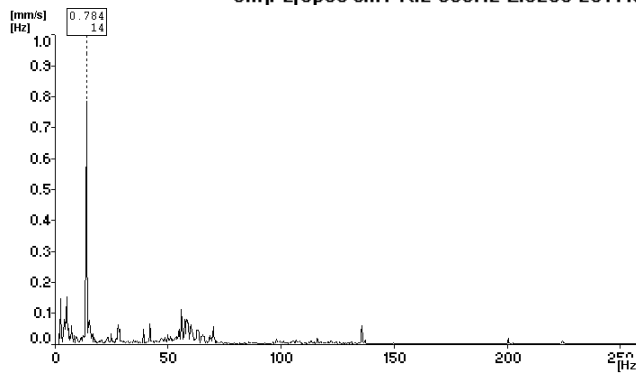
6MP1/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:48:44 A4400 Spec



### MT26 taško virpesių greičių spektras

### MT26 taško virpesių pagreičių spektras

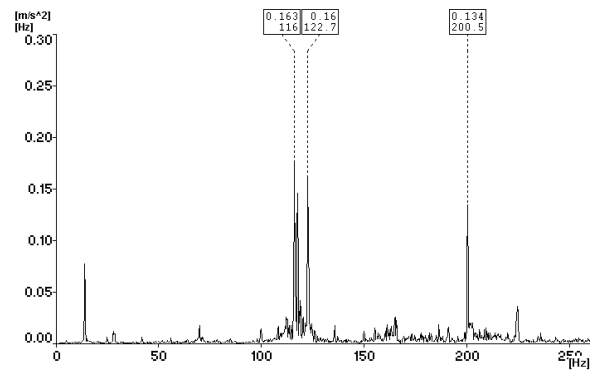
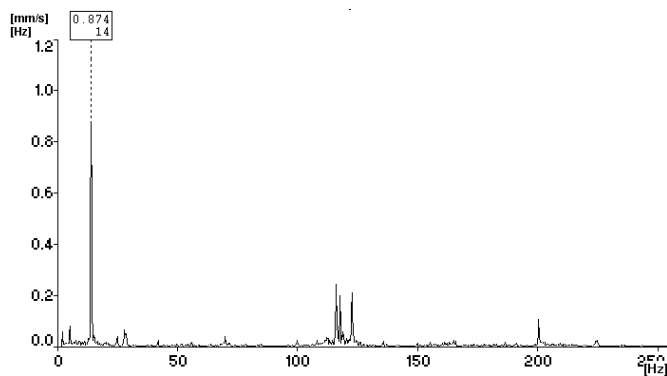
6MP2/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:49:04 A4400 Spec



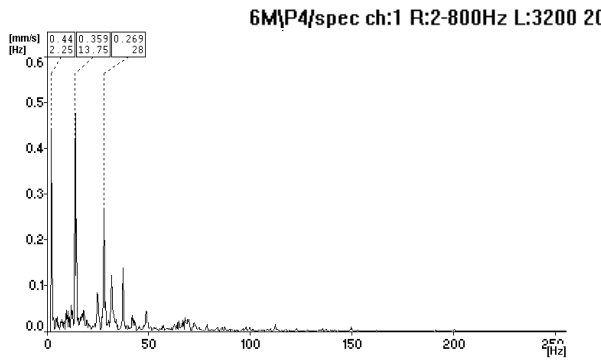
### MT27 taško virpesių greičių spektras

### MT27 taško virpesių pagreičių spektras

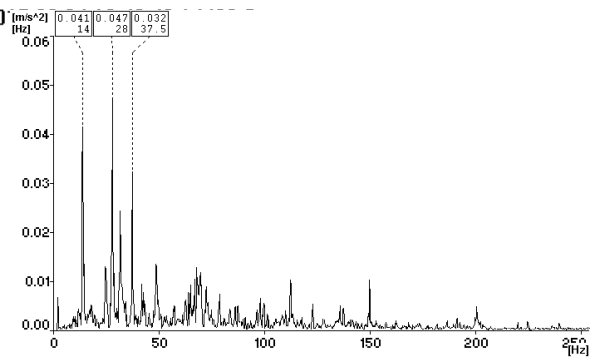
6MP3/spec ch:1 R:2-800Hz L:3200 2017.03.24 13:49:23 A4400 Spec



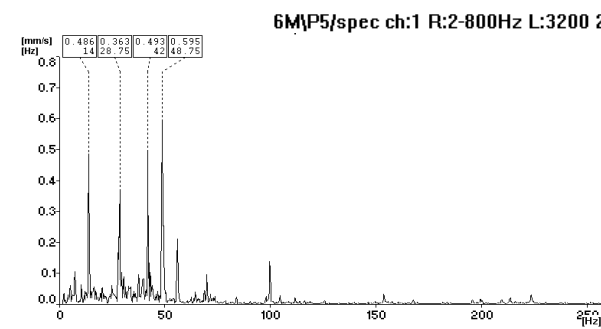
### MT28 taško virpesių greičių spektras



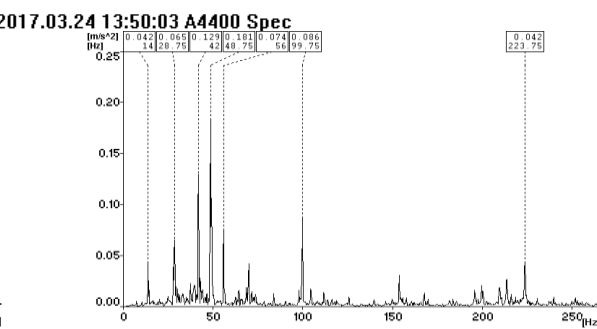
### MT28 taško virpesių pagreičių spektras



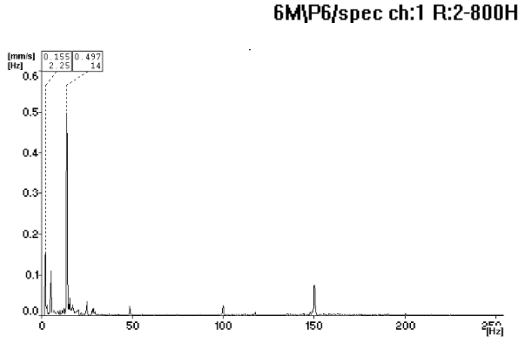
### MT29 taško virpesių greičių spektras



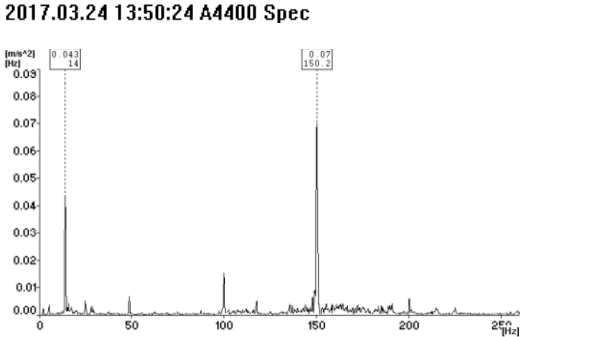
### MT29 taško virpesių pagreičių spektras



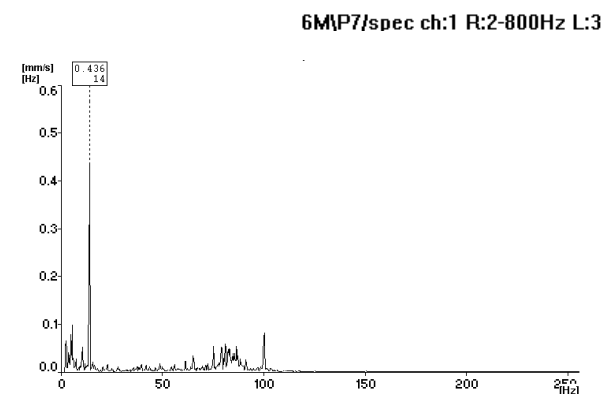
### MT30 taško virpesių greičių spektras



### MT30 taško virpesių pagreičių spektras



### MT31 taško virpesių greičių spektras



### MT31 taško virpesių pagreičių spektras

