



**ROTĒJOŠO ELEKTROIEKĀRTU VIBRĀCIJU
MĒRĪJUMI UN NOVĒRTĒŠANA**

© AS "Latvenergo" teksts, 2022

© LEEA Standartizācijas centra "Latvijas Elektrotehnikas komiteja" noformējums,
makets, 2022

Šī energostandarta un tā daļu pavairošana un izplatīšana jebkurā formā vai jebkādiem
līdzekļiem bez Standartizācijas centra "Latvijas Elektrotehnikas komiteja" un
AS "Latvenergo" rakstiskas atļaujas ir aizliegta.

Anotācija

Energostandartā noteiktas prasības vibrācijas parametru mērīšanai, rezultātu apkopošanai, apstrādei, kā arī doti novērtēšanas kritēriji dažādām rotējošām elektroiekārtām.

Energostandarts attiecināms uz rotējošām elektroiekārtām, kas ir uzstādītas un montētas atbilstoši ražotāja tehniskām prasībām Latvijas Republikas ekspluatācijā esošajās energoietaisēs. Normatīvs attiecas uz rotējošām elektroiekārtām, kas tiek ekspluatētas stabilā darba režīmā un saskaņā ar ražotāja prasībām.

Energostandartā apskatīta rotējošo elektroiekārtu vibrāciju mērīšanas un novērtēšanas kārtība gultņu korpusu vibrācijai un vārpstu pārvietojuma mērījumiem ekspluatācijas laikā, kā arī noteiktas kvalifikācijas prasības personālam, kas organizē un veic vibrācijas mērījumus.

Energostandartā noteikti platjoslas (kopējās) vibrācijas vērtēšanas kritēriji dažādām rotējošām elektroiekārtām. Vērtēšanas kritēriji noteikti atsevišķi sūkņiem, ventilatoriem, elektrodzinējiem, kompresoriem un elektrodzinējiem remonta vai montāžas laikā (t.i., kad elektrodzinējs nav savienots ar piedzenamo izpildmehānismu). Doti arī vērtēšanas kritēriji citām rotējošām elektroiekārtām. Papildus noteikti atsevišķi vērtēšanas kritēriji vārpstas pārvietojumam, kur tādi piemērojami.

Šajā energostandartā lielāka uzmanība pievērsta pieņemšanas, periodiskajiem un monitoringa sistēmu mērījumiem, mērīšanas metodēm, iekārtām un to rezultātu vērtēšanas kritērijiem dažādām ekspluatācijā sastopamām rotējošām elektroiekārtām, kā arī tiek minētas diagnostikas mērījumu metodes.

Energostandarta prasības neattiecas uz virzuļmašīnām, iekšdedzes dzinējiem un to piedzenamiem izpildmehānismiem, elektroģeneratoriem, lēni rotējošām elektroiekārtām ar apgriezieniem < 120 apgr./min un iekārtām, kas paredzētas vibrācijas radīšanai.

Energostandarts attiecināms un piemērojams komercsabiedrībā, ja attiecīgā komercsabiedrība noteikusi šo energostandartu par saistošu. Energostandarta mērķauditorija ir tehniski izglītots personāls ar zināšanām par vibrāciju mērījumiem.

Energostandarts apstiprināts Latvijas Elektrotehnikas komitejā.

Satura rādītājs

1. Vispārīgie nosacījumi	5
1.1. Normatīvās atsauces	5
1.2. Energostandartā lietotie saīsinājumi	5
1.3. Termins	6
2. Vibrācijas mērījumu nozīme un vērtēšanas kritēriju izvēle rotējošo elektroiekārtu vibrāciju mērījumiem	8
2.1. Vibrācijas mērījumu nozīme un ieguvumi.	8
2.2. Vibrāciju vērtēšanas kritēriji un vērtēšanas zonas	9
2.3. Kritērijs I. Vibrācijas lielums	10
2.4. Kritērijs II. Vibrācijas lieluma izmaiņas	10
2.5. Novērtēšanas kritēriju izvēle	11
3. Mērījumu veikšanai nosakāmie rotējošās elektroiekārtas tehniskie raksturlielumi.	12
4. Vibrāciju mērīšanas parametri	13
4.1. Periodiskajos vibrāciju mērījumos un vibrāciju mērījumos pieņemot iekārtu ekspluatācijā lietojamie parametri	13
4.2. Vibrodiagnostikā lietojamie parametri	13
5. Mēriekārtas	14
5.1. Mēriekārtu izvēle	14
5.2. Mērāmo parametru izvēle	15
5.3. Minimālās prasības mēriekārtām	16
6. Mērījumu organizācija	17
6.1. Mērījumu mērķis	17
6.2. Mērījumu dokumentācija	18
6.3. Mērīšanas darbu uzsākšana	20
6.4. Mērīšanas darbu pabeigšana	21
6.5. Vibrāciju mērījumu periodiskums	21
7. Prasības personālam	22
7.1. Vibrāciju mērījumu un novērtēšanas darbu iedalījums	22
7.2. Prasības personālam, kas veic vibrācijas mērījumus (1. kvalifikācijas līmenis)	22
7.3. Prasības personālam, kas analizē vibrācijas mērījumus (2. kvalifikācijas līmenis)	23
7.4. Prasības personālam, kas organizē vibrācijas mērījumus (3. kvalifikācijas līmenis)	23
7.5. Atbildību sadalījums, ierosinot, saskaņojot un veicot vibrāciju mērījumus	24
8. Rotējošo elektroiekārtu vibrāciju mērījumu vietas un rezultātu vērtēšana	24

8.1. Vispārīgās prasības.....	24
8.2. Vibrāciju mērījumi elektrodzinējiem	26
8.2.1. Norādījumi mērījumiem	26
8.2.2. Mērījumu vietas.....	27
8.2.3. Vērtēšanas zonu robežas.....	27
8.3. Vibrāciju mērījumi sūkņu iekārtām.....	28
8.3.1. Norādījumi mērījumiem	28
8.3.2. Mērījumu vietas.....	28
8.3.3. Vērtēšanas zonu robežas.....	31
8.4. Vibrāciju mērījumi ventilatoru iekārtām.....	33
8.4.1. Norādījumi mērījumiem	33
8.4.2. Mērījumu vietas.....	33
8.4.3. Vērtēšanas zonu robežas.....	34
8.5. Vibrāciju mērījumi kompresoriem un pūtēju iekārtām	36
8.5.1. Norādījumi mērījumiem	36
8.5.2. Mērījumu vietas.....	36
8.5.3. Vērtēšanas zonu robežas.....	38
8.6. Vibrāciju mērījumi citām rotējošām elektroiekārtām.	39
8.6.1. Mērījumu ieteikumi.	39
8.6.2. Mērījumu vietas.....	39
8.6.3. Vērtēšanas zonu robežas.....	41
9. Vibrāciju nepārtrauktā monitoringa sistēma	42
9.1. Monitoringa sistēmas uzstādīšana un izvēle	42
9.2. Vibrāciju novērtēšana monitoringa sistēmā	43
1. pielikums. Piemēri vibrācijas mērījumu vērtēšanas zonu izvēlei	45
2. pielikums. Monitoringa sistēmas iestatījumi atbilstoši Kritērijam II.....	48
3. pielikums. Vērtēšanas zonu robežas vārpstas pārvietojumam	53
4. pielikums. Piemērs mērījumu programmai	54

1. Vispārīgie nosacījumi

1.1. Normatīvās atsauces

Energostandarts izstrādāts, ievērojot Latvijas Republikas normatīvos aktus, Latvijas standartus, starptautiskos standartus, *Latvenergo* koncerna, AS "Augstsprieguma tīkls" un citu energouzņēmumu ekspluatācijas pieredzi.

Valsts normatīvo aktu prasības izpildāmas neatkarīgi no tā, vai energostandartā ir dota atsauce uz normatīvo aktu, vai tā nav dota.

Nedatētām norādēm piemērojams norādes dokumenta pēdējais izdevums (ieskaitot visus labojumus).

Energostandarta izstrādē sniegtas atsauces un izmantoti šādi normatīvie dokumenti:

Latvijas energostandarti

LEK 025 "Drošības prasības, veicot darbus elektroietaisēs";

LEK 036 "Drošības prasības, veicot darbus siltuma un gāzes ietaisēs";

LEK 037 "Drošības prasības, veicot darbus hidroelektrostaciju hidrotehniskajās būvēs un hidroietaisēs".

Starptautiskie standarti un normatīvi

ISO 10816-7 "Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 7: Rotodynamic pumps for industrial applications, including measurements on rotating shafts";

ISO 13373-1 "Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 1: General procedures";

ISO 14694 "Industrial fans — Specifications for balance quality and vibration levels";

ISO 18436-2 "Condition monitoring and diagnostics of machines — Requirements for qualification and assessment of personnel — Part 2: Vibration condition monitoring and diagnostics";

ISO 20816-1 "Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 1: General guidelines";

ISO 20816-3 "Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 3: Industrial machinery with a power rating above 15 kW and operating speeds between 120 r/min and 30 000 r/min";

VDI 3836 "Measurement and evaluation of mechanical vibration of screw-type compressors and Roots blowers - Addition to DIN ISO 10816-3".

1.2. Energostandartā lietotie saīsinājumi

AOR – pieļaujamā ekspluatācijas zona (*allowable operating range*);

BEP – augstākais efektivitātes punkts (*best efficiency point*);

DE – piedziņas puse (*drive end*);

g – brīvās krišanas paātrinājums, 9,81 m/s²;

gE – paātrinājuma apliecējfunkcija;

NDE – ne piedziņas puse (*non-drive end*);

MFD – mērījumu frekvenču diapazons;

MFD-A – mērījumu frekvenču A diapazons;

MFD-B – mērījumu frekvenču B diapazons;

POR – ieteicamā ekspluatācijas zona (*preferred operating range*);

RMS – vidējā kvadrātiskā vērtība (*root mean square*);

FFT – ātrā Furjē transformācija (*fast Fourier transformation*).

1.3. Termins

1.3.1. ekspluatācijas personāls

personāls, kurš ir saistīts ar energoietaišu operatīvo apkalpošanu un/vai ekspluatāciju.

1.3.2. elektrodzinējs

elektromašīna, kura elektrisko enerģiju pārveido mehāniskajā enerģijā.

1.3.3. fona vibrācija

vibrācijas komponente, ko ietekmē faktori, kas nav tieši saistīti ar mērāmās rotējošās elektroiekārtas vibrāciju.

Piezīme: Ārējas iedarbības fona vibrācija var rasties no iekārtām, kas darbojas blakus mērāmajai rotējošajai elektroiekārtai.

1.3.4. harmonika

vibrāciju sastāvdaļa, noteikta ar spektrālanalīzes palīdzību. Piemēram, pirmā harmonika, 1X apzīmē vibrāciju ar frekvenci, kas piesaistīta iekārtas apgriezienu frekvencei. Augstākās harmonikas piesaistītas iekārtas apgriezienu frekvencei, kas reizināta ar veselu skaitli, piemēram, 2X ir apgriezienu frekvence, reizināta ar divi.

1.3.5. izpildmehānisms

rotējošās elektroiekārtas mehānisko elementu kopums iekārtas galvenās funkcijas nodrošināšanai, piemēram, ventilators, sūknis, kompresors, sajūgs u.c.

1.3.6. kopējā (platjoslas) vibrācija

vibrācija, kas vienlaicīgi tiek mērīta plašā frekvenču joslā (angļu val. "overall vibration" vai "broadband vibration").

Piezīme: Mēriekārtā tiek pielietots atbilstoši mērīšanas diapazonam iestatīts frekvenču filtrs.

1.3.7. nozīmīga iekārta

iekārta, kuras atteice var būtiski ietekmēt (negatīvi) tehnoloģiskā procesa drošumu, energoietasies pieejamību, izraisīt vides piesārņojumu un/vai apdraudējumu cilvēka veselībai un dzīvībai.

1.3.8. mēriekārta

mērlīdzekļu, palīgierīču un programmatūru kopums noteiktu mērījumu veikšanai.

1.3.9. relatīvā vibrācija

vienas iekārtas konstrukcijas elementa svārstības, attiecībā pret citu iekārtas elementu (piemēram, vārpstas vibrācija attiecībā pret gultņa korpusu).

1.3.10. ritgultnis

gultnis, kurā slodze tiek uztverta un nodota ar rites elementu palīdzību. Starp ārējo un iekšējo gultņa gredzenu var atrasties tādi rites elementi kā lodītes, cilindriskie rullīši, sfēriskie rullīši, koniskie rullīši, adatas.

1.3.11. rotējoša elektroiekārta

savstarpēji mehāniski savienotu iekārtu un mehānismu kopums noteiktas funkcijas nodrošināšanai. Satur elektrodzinēju, piedzenamo izpildmehānismu un rotējošas vārpstas.

1.3.12. sajūgs

rotējošas elektroiekārtas elements vārpstu savstarpējai savienošanai un griezes momenta pārnesei.

1.3.13. slīdgultnis

gultnis, kurā slodze tiek uztverta un nodota, nodrošinot slīdi starp gultņa slīdes elementu un vārpstu ar smērvielas palīdzību.

1.3.14. spektrs

zināma ilguma vibrācijas signāls, kura amplitūdas sadalītas pa frekvenču komponentēm. Spektra veidošanā visbiežāk izmanto ātro Furjē transformāciju (*fast Fourier transformation* jeb FFT). Spektrālo analīzi izmanto, lai noteiktu vibrāciju sastāvu un to, kādi defekti rada paaugstinātu agregāta vibrāciju. Spektra grafika horizontālā ass norāda svārstību frekvenci, bet uz vertikālās ass redzama svārstību amplitūda dotajā frekvencē. Spektra grafiku mēdz saukt arī par amplitūdas-frekvenču raksturlīkni.

1.3.15. stabilais darba režīms

elektrotehniskās iekārtas darba režīms (angļu val. "Steady state"), kurā režīmam raksturīgo parametru vērtības praktiski nemainās vai mainās periodiski, kad rotējošā elektroiekārta ir iesilusi, mērījumu laikā tai ir nemainīga (stabila) temperatūra, stabili apgriezieni un stabila slodze.

1.3.16. vibrāciju sensors

mēriekārtas elements, kas tiek piestiprināts mehāniskai sistēmai vibrāciju mērīšanai un kas pārveido mehānisko kustību elektriskajā signālā.

1.3.17.**vibrācijas amplitūda**

vibrācijas amplitūda ir vibronovirze jeb attālums, ko vibrējošs objekts veic no miera stāvokļa līdz galējam stāvoklim, t.i., no "0" līdz maksimumam/ minimumam. Vibrācijas amplitūda raksturo vibrāciju izraisīto spēku lielumu. Amplitūdu var izteikt dažādos veidos – kā pīķi (Pik), pīķi-pīķi (Pik-Pik) vai RMS.

Piezīme: Šos amplitūdas izteikšanas veidus var lietot gan kopējās vibrācijas izteikšanai, gan spektra sastāvdaļu izteikšanai. Šajā standartā visi vērtēšanas kritēriji balstīti vibrācijas amplitūdas novērtēšanā.

1.3.18.**vibroātrums**

visbiežāk lietotais vibrācijas vērtēšanas lielums iekārtu nerotējošo daļu mērījumiem. Tā mērvienība – mm/s.

Piezīme: Vibroātrums visbiežāk tiek iegūts, integrējot akselerometra iegūto vibropaātrinājumu. Vibroātrumu var iegūt arī tieši ar vibroātruma sensoriem.

1.3.19.**vibrodiagnostika**

mērījums, lai noteiktu defekta atrašanās vietu un cēloni.

Piezīme: Vibrodiagnostikā nepastāv strikti novērtēšanas kritēriji, līdz ar to dotā normatīva ietvaros punkti par vibrodiagnostiku ir informatīvi.

1.3.20.**vibropaātrinājums**

mērīšanas lielums, ko iegūst biežāk pielietojamie vibrāciju sensori – akselerometri. Tā mērvienība ir m/s^2 jeb g ($1g=9.81 \text{ m/s}^2$).

1.3.21.**vibropārvietojums**

visbiežāk lietojamais vibrācijas vērtēšanas lielums vārpstu relatīvajai vibrācijai, atsevišķos gadījumos arī nerotējošo daļu vibrācijas vērtēšanai lēngaitas rotējošām elektroiekārtām (zem 600 apgr./min). Tā mērvienība ir μm (10^{-6} m).

Piezīme: Relatīvo vibropārvietojumu iegūst tiešā veidā no bezkontakta induktīvajiem vārpstas pārvietojuma sensoriem. Absolūto vibropārvietojumu iegūst no nerotējošo daļu mērījumiem, vienreiz integrējot vibroātrumu vai divreiz integrējot akselerometra iegūto paātrinājumu.

2. Vibrācijas mērījumu nozīme un vērtēšanas kritēriju izvēle rotējošo elektroiekārtu vibrāciju mērījumiem**2.1. Vibrācijas mērījumu nozīme un ieguvumi.****2.1.1. Ir vairāki būtiski vibrāciju mērījumu iemesli un ieguvumi:**

2.1.1.1. vibrāciju mērījumi pieņemšanas pārbaudes laikā dod pārlicību, ka rotējošā elektroiekārta ir kvalitatīvi izgatavota, uzstādīta un gatava ilgstošai ekspluatācijai;

2.1.1.2. periodiskie vibrāciju mērījumi un vibrāciju uzraudzības monitorings dod informāciju par iekārtas tehnisko stāvokli visā tās ekspluatācijas laikā;

2.1.1.3. diagnostiskie un izpētes vibrāciju mērījumi nodrošina skaidrību par konkrētajiem iekārtas defektiem, to attīstības prognozi un nepieciešamo rīcību.

Piezīme: Šie dažādie mērījumu iemesli un mērķi prasa arī atšķirīgu pieeju mērījumu veikšanas un novērtēšanas kārtībai.

2.1.2. Periodiskā vibrāciju mērīšanā pielietoti un izplatīti ir vibroātruma, vibropaātrinājuma vai vibropārvietojuma vibrācijas mērījumi plašā frekvenču diapazonā. Ar to palīdzību var noteikt un novērtēt iekārtas vispārējo tehnisko stāvokli, atbilstoši šajā standartā dotajiem kritērijiem vērtēt iekārtu tehnisko stāvokli ekspluatācijas laikā un novērtēt plašāku mērījumu nepieciešamību.

Mērāmais parametrs visbiežāk ir platjoslas vibroātrums vai pārvietojums. Šāda veida mērījumus veic ekspluatācijas personāls un vibromonitoringa sistēmas. Ar iegūtajiem datiem var noteikt iekārtu kopējo tehnisko stāvokli, stāvokļa izmaiņas, bet nevar noteikt, tieši kurš tehniskais defekts rada palielinātu vibrāciju.

Raksturīgākie faktori, kas rada kopējās vibrācijas pieaugumu, ir:

2.1.2.1. rotējošās elektroiekārtas tehniskie defekti;

2.1.2.2. rotējošās elektroiekārtas ekspluatācijas režīms.

2.1.3. Vibrodiagnostiskajos mērījumos izmanto vairāku parametru, dažādu frekvenču diapazonu, dažādas analīzes metodes un vairāku mērpunktu vienlaicīgus mērījumus. Vibrodiagnostiskos mērījumus veic ar mērķi noteikt konkrētos iekārtu defektus, kas rada vibrāciju, un atšķirt tos vienu no otra. Daži no šiem defektiem nerada kopējās vibrācijas pieaugumu un tos var noteikt ar specializētām mērīšanas metodēm. Raksturīgākie defekti, ko var noteikt, veicot vibrodiagnostiku:

2.1.3.1. dažādi ritgultņu (rites elementu, eļļošanas, sēžu) defekti;

2.1.3.2. slīdgultņu defekti;

2.1.3.3. dažāda veida disbalansi (elektriskie, mehāniskie, hidrauliskie);

2.1.3.4. vārpstu asu nesakrītība (paralēlā, leņķiskā); korpusu un elementu vaļīgums, plaisas;

2.1.3.5. dažādi rotējošo daļu defekti – zobratu, darbaratu, rotoru bojājumi;

2.1.3.6. dažādi elektrodzinēju statoru un rotoru elektriskie defekti;

2.1.3.7. asu nesakrišanu;

2.1.3.8. pamatnes stiprinājumu defekti;

2.1.3.9. jaudas pārvadīšanas elementu (siksnu, sajūgu, zobratu pārvadu) defekti.

2.2. Vibrāciju vērtēšanas kritēriji un vērtēšanas zonas

2.2.1. Rotējošās elektroiekārtas vibrāciju vērtē pēc piedzenamās iekārtas tipa, veida (skatīt 8. nodaļu). Šajā standartā nodalītas vērtēšanas zonu robežas sekojošiem iekārtu veidiem:

2.2.1.1. elektrodzinējiem bez piedzenamās iekārtas;

2.2.1.2. sūkņu iekārtām;

2.2.1.3. ventilatoru iekārtām;

2.2.1.4. kompresoriem un pūtējiem.

Piezīme: Citu rotējošo elektroiekārtu vibrāciju var vērtēt saskaņā ar 8.6. nodaļu.

2.2.2. Iekārtu vibrācijas vērtējumiem var piemērot divu veidu kritērijus – konkrēta mērījuma vibrāciju lieluma vērtēšanu (Kritērijs I) un vibrācijas izmaiņu vērtējumu pēc vairākiem dažādos laikos veiktiem mērījumiem (Kritērijs II).

2.3. Kritērijs I. Vibrācijas lielums

2.3.1. Kritērijs I nosaka robežvērtības agregātu vibrācijai. Lielākais nomērītais vibrācijas lielums katrai mērīšanas vietai tiek salīdzināts ar četrām vērtēšanas zonām (A, B, C, D), kas definētas, pamatojoties uz starptautiskajiem standartiem.

Piezīme 1: Kritēriju I vērtēšanas zonu aprakstu skatīt 2.1. tabulā.

Piezīme 2: Ja rotējošās elektroiekārtas ražotājs nosaka atšķirīgas vērtēšanas robežvērtības salīdzinot ar 8. nodaļā dotajām, jāpielieto ražotāju rekomendācijas.

2.1. tabula

Vērtēšanas zonas Kritērijam I

Zona	Raksturojums
A	Vibrācijas lielumi dotajā zonā ir raksturīgi tikko ieregulētām, jaunām rotējošām elektroiekārtām pēc atjaunošanas remonta vai pārbūves. Defektu nav. Pieņemot ekspluatācijā, mērījumu rezultātiem jaunajām iekārtām vajadzētu būt šajā zonā.
B	Rotējošās elektroiekārtas, kuru vibrācijas atbilst dotajai zonai, tiek uzskatītas par derīgām ilgtermiņa ekspluatācijai. Defekti nenožīmīgi.
C	Rotējošās elektroiekārtas, kuru vibrācijas atbilst dotajai zonai, tiek uzskatītas par nederīgām nepārtrauktai ilgtermiņa ekspluatācijai. Būtiski defekti – nepieciešama tehniskā apkope vai remonts. Tādām rotējošām elektroiekārtām tiek noteikti ekspluatācijas režīmu ierobežojumi līdz brīdim, kamēr rodas iespējas veikt remontdarbus, piemēram, rotējošo elektroiekārtu var ekspluatēt, līdz diagnostiskā ceļā tiek noskaidrots vibrācijas paaugstināšanās iemesls. Sasniedzot C zonu, rotējošās elektroiekārtas vibrācijas jākontrolē biežāk.
D	Vibrācijas lielumi dotajā zonā tiek uzskatīti par bīstamiem (avārijas stāvoklis), un var izraisīt rotējošās elektroiekārtas bojājumus. Sasniedzot D zonu, nepieciešams apturēt rotējošo elektroiekārtu, līdz nav novērsts paaugstinātu vibrāciju iemesls.

2.3.2. Ieteicamās vērtēšanas zonu skaitliskās vērtības dotas 8. nodaļā. Zonu robežas var koriģēt katrai konkrētai rotējošai elektroiekārtai, pamatojoties uz iekārtas ražotāju rekomendācijām, ekspluatācijas pieredzi un komercsabiedrībā noteiktajiem iekšējiem normatīvajiem dokumentiem.

2.4. Kritērijs II. Vibrācijas lieluma izmaiņas

2.4.1. Kritērijs II nosaka, kā mainījusies vibrācija, salīdzinot ar mērījumu atskaites vērtību (*baseline*), tādēļ to var piemērot tikai tām iekārtām, kurām monitorings tiek veikts ilgstoši un regulāri (mērījumu biežums ir pietiekams un izvērtēts, ņemot vērā iekārtas apgrīezienus, darba apstākļus, iekārtas nozīmīgumu un iespējamo defektu attīstības ātrumu). Kritēriju II ieteicams lietot mērījumiem tikai stabilā darba režīmā un līdzvērtīgas slodzes režīmā, novietojot vibrāciju sensoru tajās pašās mērīšanas vietās un virzienos.

Piezīme: Mērījumu atskaite vērtību nosaka kā vidējo vērtību ilgākā laika periodā. Mērījumos ietver stabilu darba režīmu un var iekļaut nelielas darba režīma izmaiņas, kuras ir regulāras un raksturīgas.

2.4.2. Lietojot Kritēriju II rotējošas elektroiekārtas novērtēšanai, izšķir vairākas secīgas darbības:

2.4.2.1. par rotējošās elektroiekārtas vibrāciju tiek uzkrāta informācija, kas būtu statistiski pietiekama datu apkopošanai un atskaite vērtības noteikšanai;

2.4.2.2. paralēli tiek sekots līdzī tam, vai vibrācija atbilst Kritērijam I;

2.4.2.3. ja tiek novērots vibrāciju pieaugums, ieteicams papildus veikt vibrodiagnostikas mērījumus, lai analizētu tā cēloni.

2.4.3. Atbilstoši Kritērijam II brīdinājuma robežvērtību ieteicams izvēlēties kā 25% virs atskaite vērtības. Piemēri Kritērija II lietošanai doti 2. pielikumā. Kritērija II novērtēšanā jāņem vērā, ka, ja tiek atklāts vērā ņemams vibrācijas palielinājums vai samazinājums, tad jāveic papildu analīze (iespējamie papildu mērījumu veidi uzskaitīti 4.2.1. p.), neskatoties uz to, ka Kritērija I C zona vēl nav sasniegta. Izmaiņas var būt pēkšņas vai attīstīties noteiktā laikā. Tas nozīmē, ka iekārtai ir kāds defekts, vai arī defekts pamazām attīstās un parādīsies nākotnē.

2.4.4. Viena no ērtākajām metodēm darbam ar Kritēriju II ir trenda (tendenču) raksturlīkņu analīze. 2. pielikuma P2.2.-P2.5. attēlos parādīti četri piemēri vibrāciju raksturlīknēm.

2.4.5. Visbiežāk trenda (tendenču) raksturlīknes pamatā ir dati par secīgiem platjoslas vibroātruma mērījumiem, bet var būt arī citi iekārtas tehnisko stāvokli raksturojošie mērījumu dati, piemēram, iekārtas jauda, temperatūra, spiediens, plūsma u.c.

2.5. Novērtēšanas kritēriju izvēle

2.5.1. Veicot rotējošās elektroiekārtas vibrāciju mērījumu rezultātu vērtēšanu atbilstoši kritērijiem, vērtēšanai derīgi ir tikai tie mērījumi, kas veikti korekti un atbilstošos apstākļos (ekspluatācijas apstākļi, mērīšanas vieta, pozīcija, mēriekārtas un mērīšanas veicēja kvalifikācija).

2.5.2. Novērtēšanas kritēriju izvēlas no šāda saraksta:

2.5.2.1. piedziņas elektrodzinēju atsevišķi, nesavienotu ar izpildmehānismu, vērtē atbilstoši 8.2. nodaļai;

Piezīme: Tie paši vērtēšanas kritēriji attiecas uz elektrodzinēju, kas piedzen izpildmehānismu, kurš nevar būtiski ietekmēt elektrodzinēja vibrāciju.

2.5.2.2. sūkņu vibrāciju vērtē atbilstoši 8.3. nodaļai;

2.5.2.3. ventilatoru vibrāciju vērtē atbilstoši 8.4. nodaļai;

2.5.2.4. kompresoru vibrāciju vērtē atbilstoši 8.5. nodaļai.

Piezīme: Konkrētus piemērus vibrāciju mērījumu novērtēšanas kritēriju izvēlei skatīt 1. pielikumā.

3. Mērījumu veikšanai nosakāmie rotējošās elektroiekārtas tehniskie raksturlielumi

3.1.1. Pirms vibrāciju mērījumu veikšanas jābūt noteiktiem svarīgākajiem iekārtas tehniskajiem raksturlielumiem. Lai izvēlētos 8. nodaļas atbilstošo punktu, pēc kura veikt novērtēšanu, jāapkopo šāda informācija:

3.1.1.1. izpildmehānisma tips un tā konstrukcija;

3.1.1.2. rotējošās elektroiekārtas mehāniskā shēma (skatīt arī 8.1. tabulu);

3.1.1.3. izpildmehānisms var/nevar būtiski ietekmēt elektrodzinēja vibrāciju (piemēram, cieša mehāniskā saite, vienota pamatnes konstrukcija);

3.1.1.4. gultņu tips (ritgultņi vai slīdgultņi);

3.1.1.5. rotējošā elektroiekārta montēta uz stingas pamatnes vai uz vibrāciju izolatoriem;

3.1.1.6. rotējošā elektroiekārta ir/nav nozīmīga iekārta;

3.1.1.7. elektrodzinēja un izpildmehānisma nominālie apgriezieni. Ja rotējošai iekārtai ir mainīgi apgriezieni, tad kādās robežās. Ja elektrodzinējam un izpildmehānismam ir dažādi apgriezieni, tad kāda ir apgriezienu attiecība;

3.1.1.8. elektrodzinēja un izpildmehānisma nominālā jauda.

3.1.2. Mērījumu laikā vēlams reģistrēt arī citus rotējošās elektroiekārtas mainīgos darba raksturlielumus, kurus vibrāciju mērīšanas vai diagnostikas veicēja personāls uzskata par noderīgiem turpmākai analīzei, piemēram:

3.1.2.1. faktiskos apgriezienus;

3.1.2.2. temperatūru;

3.1.2.3. slodzi vai strāvu;

3.1.2.4. elektrisko frekvenci (ja elektrodzinējs ir aprīkots ar frekvenču pārveidotāju);

3.1.2.5. spriegumu;

3.1.2.6. izpildmehānisma darba parametrus.

3.1.3. Lai korekti veiktu rotējošās elektroiekārtas detalizētāku vibrodiagnostiku, nepieciešams zināt iekārtas svarīgākos konstruktīvos parametrus, piemēram, gultņu numurus, zobu skaitu zobratu pārvadam, lāpstiņu skaitu u.tml.

4. Vibrāciju mērīšanas parametri

4.1. Periodiskajos vibrāciju mērījumos un vibrāciju mērījumos pieņemot iekārtu ekspluatācijā lietojamie parametri

4.1.1. Rotējošo elektroiekārtu vibrāciju atbilstoši I kritērijam var vērtēt pēc šādiem parametriem:

4.1.1.1. platjoslas vibroātrums, mm/s;

4.1.1.2. platjoslas vibropārvietojums, μm (ja piemērojams).

4.1.2. Mērīšanas parametra izvēle ir atkarīga no rotējošās elektroiekārtas apgriezieniem. Rotējošām elektroiekārtām ar apgriezieniem ≥ 600 apgr./min. tiek vērtēts tikai vibroātrums, bet rotējošām elektroiekārtām ar apgriezieniem < 600 apgr./min. tiek vērtēts gan vibroātrums, gan vibropārvietojums.

4.2. Vibrodiagnostikā lietojamie parametri

4.2.1. Diagnostikas mērķiem veic plašākus vibrāciju mērījumus un plašāku iegūto vibrāciju datu analīzi. Ja konstatēta paaugstināta vibrācija, kura sasniedza C zonu vai sasniedz Kritērija II brīdinājuma robežvērtību, un jānosaka paaugstinātās vibrācijas cēloņi, tad ieteicams veikt vibrodiagnostiku saskaņā ar 4.1. tabulā minētajiem mērīšanas paņēmieniem. 4.1. tabulā minētajiem mērījumu parametriem nav standartizētu vērtēšanas zonu robežu.

4.1. tabula

Vibrodiagnostikā izmantotie paņēmieni

Mērījuma parametrs	Pielietojuma piemēri
Platjoslas vibropaātrinājums, m/s^2 ; g	Augstas frekvences vibrācijai, biežāk saistītai ar ritgultņu defektu noteikšanu
Paātrinājuma apliecējfunkcijas analīze (saukta arī par "Apliecējas analīzi" (angļu val. "Acceleration enveloping, Demodulation")), gE	Pielieto ritgultņu un zobratu defektu analīzei
Augstfrekvences izstarotās enerģijas mērījumi (angļu val. "SEE – Spectral emitted energy")	Pielieto ritgultņu eļļošanas defektu noteikšanai agrīnā stadijā
Spektrālā analīze, saukta arī par FFT spektru	Pielieto, lai noskaidrotu paaugstinātās vibrācijas cēloņus no iekārtas amplitūdas-frekvenču raksturlīknēm. <i>Piezīme:</i> Visbiežāk lietojamā diagnostikas metode, 4.2. tabulā dotas iespējamo defektu pazīmes un tiem raksturīgās spektra sastāvdaļas (harmonikas).
Vektoru analīze ar vibrāciju amplitūdu un fāzi	Pielieto, lai noskaidrotu raksturīgo frekvenču fāžu-amplitūdu raksturlīknes, noteiktu asu nesakritību un disbalansu
Laika raksturlīkņu un orbītu attēlu analīze	Pielieto, piemēram, slīdgultņu defektu dziļākai analīzei
Svārstību maksimuma koeficients (angļu val. "crest factor") jeb attiecība, ko iegūst, izdalot iegūto vibropaātrinājuma pīķa vērtību ar RMS.	Pielieto, lai analizētu ritgultņu defektu attīstību laikā

4.2. tabula

Rotējošo elektroiekārtu defektiem raksturīgās spektra sastāvdaļas

Defekts	Raksturīgās harmonikas
Mehāniskais disbalanss	1X
Vārpstas izliece	1X, 2X, 3X
Asu nesakritība	1X, 2X, 3X
Pamatu stiprinājuma defekti	0.5X, 1X, 1.5X, 2X, 2.5X, 3X, 3.5X, 4X
Rezonanse	1X
Detaļu saskaršanās rotācijas laikā	1X, 2X, 3X
Nevienmērīga slodze uz korpusu vai pamatiem	1X
Sajūgu defekti	1X, 2X, 3X, 4X
Slīdgultņu defekti	0.33X-0.5X

5. Mēriekārtas

5.1. Mēriekārtu izvēle

5.1.1. Vibrāciju vērtību mērījumiem var pielietot:

5.1.1.1. vienkāršus pārnēsājamus vibrometrus (t.s. viena kanāla viena parametra mēriekārtas);

5.1.1.2. mazgabarīta vibrometrus, kam ir papildu datu analīzes iespējas;

5.1.1.3. specializētas vibrāciju iekārtas, pārnēsājamus datu savācējus ar ierobežotām funkcijām;

5.1.1.4. datu savākšanas ierīces ar plašām vibrācijas datu analīzes iespējām, vibroanalizatorus;

5.1.1.5. datu savākšanas ierīces ar padziļinātām analīzes iespējām jeb datorizētas mērīšanas sistēmas (daudzu kanālu daudzparametru vibrācijas mērījumu sistēmas).

Piezīme: Katrai no minētajām mēriekārtām var būt vairāki vibrāciju sensori dažādu parametru mērīšanai.

5.1.2. Mēriekārtas izvēlas, ņemot vērā:

5.1.2.1. mērījumu mērķi – vērtēšana, diagnostika, ilgtermiņa uzraudzība (monitorings);

5.1.2.2. vērtējamās mērīšanas parametrus – vibropaātrinājumu, vibroātrumu vai vibropārviotājumu, kā arī citus vērtēšanai nepieciešamos mērīšanas parametrus;

5.1.2.3. mērījumu veikšanas biežumu;

5.1.2.4. nepieciešamo frekvenču un amplitūdu diapazonu;

Piezīme: Mēriekārtas diapazonam jābūt lielākam par mērījuma nepieciešamo.

5.1.2.5. nepieciešamo mērījumu precizitāti;

5.1.2.6. nepieciešamo jutību jeb izšķirtspēju;

- 5.1.2.7. paralēli mērāmo parametru un kanālu skaitu;
- 5.1.2.8. vibrāciju sensoru un reģistrēšanas iekārtu salāgojumu, barošanu;
- 5.1.2.9. mērvada garumu, savienojuma veidu un spraudņu tipu;
- 5.1.2.10. rotējošās elektroiekārtas darbības režīmus;
- 5.1.2.11. datu apstrādes un uzkrāšanas prasības;
- 5.1.2.12. iespēju veikt pārbaudes un kalibrēšanu;
- 5.1.2.13. pārbaudāmās iekārtas darba vides apstākļus, piemēram, temperatūras svārstības, mitrumu, magnētisko lauku, troksni, novietojuma, piekļuves grūtības u.c.

5.1.3. Vienkāršākajos gadījumos (viena parametra noteikšanai), piemēram, platjoslas vibroātruma nomērīšanai var izmantot viena kanāla vibroātruma mērīšanas iekārtu. Tai jābūt atbilstošam frekvenču un amplitūdu mērīšanas diapazonam (skatīt 5.3.2. p.). Iegūtais rezultāts būs derīgs iekārtas novērtēšanai atbilstoši Kritērijam I un Kritērijam II.

5.1.4. Diagnostikai (defektu noteikšanai) jāizmanto viena vai vairāku mērīšanas kanālu iekārtas un daudzparametru analīze. Rezultātā var iegūt gan platjoslas vibrācijas novērtējumu, gan spektru, gan citus iekārtu diagnostikai nepieciešamos parametrus. Rezultātus izmanto gan mērāmās iekārtas novērtēšanai atbilstoši Kritērijiem I un II, gan nosakot, vai iekārtai ir kādi defekti, kāpēc tie radušies un cik ātri dotie defekti attīstās.

5.2. Mērāmo parametru izvēle

5.2.1. Lai noteiktu rotējošo elektroiekārtu vibrāciju atbilstību Kritērijam I un Kritērijam II, var izmantot mērījumus uz nerotējošām daļām un mērījumus uz rotējošām daļām.

5.2.2. Mērījumiem uz nerotējošām daļām vērtē:

1.3.22. platjoslas vibroātrumu (RMS);

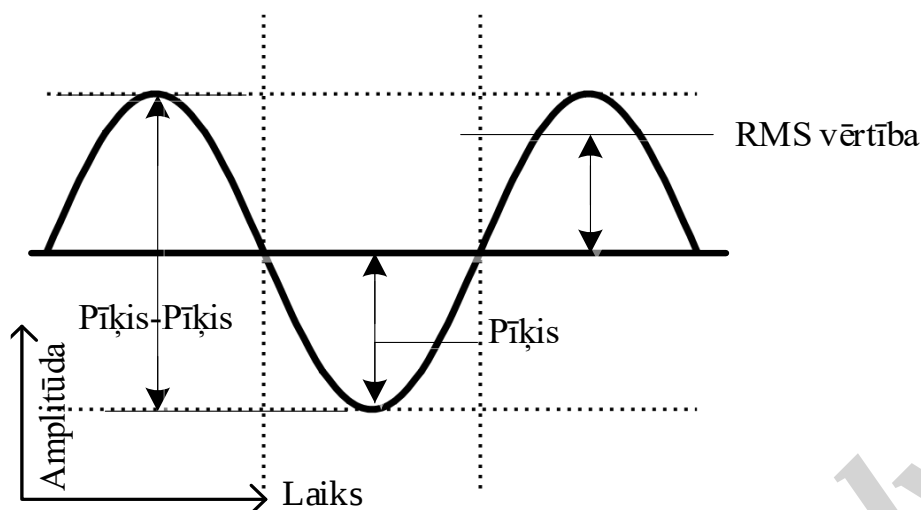
1.3.23. platjoslas vibropārvietojumu (RMS).

5.2.3. Mērījumiem uz rotējošām daļām vērtē:

5.2.3.1. platjoslas vibropārvietojuma pīķis vērtības;

5.2.3.2. platjoslas vibropārvietojuma pīķis-pīķis vērtības.

5.2.4. Vibrācijas amplitūdas izteikšanas veidus skatīt 5.1. attēlā.



5.1. attēls. Vibrāciju amplitūdu grafiskais attēlojums

5.3. Minimālās prasības mēriekārtām

5.3.1. Tā kā rotējošās elektroiekārtas un to sastāvdaļas rada vibrāciju ar dažādu frekvenci un amplitūdu, tad vibrāciju mēriekārtām jābūt piemērotām plaša frekvenču diapazona mērījumiem. Lai iegūtu platjoslas vibrāciju datus, mēriekārtā jābūt signālu filtriem ar vai bez filtru regulēšanas iespējām.

Piezīme: Īpaša uzmanība jāpievērš mēriekārtas, vibrāciju sensoru mērīšanas atbilstošo frekvenču diapazonam. Amplitūdu diapazons visbiežāk šīm iekārtām ir pietiekams.

5.3.2. Mēriekārtu nepieciešamo frekvenču diapazonu nosaka, izvērtējot rotējošās elektroiekārtas griešanās ātrumu un konstrukciju. Ieteicams mēriekārtu frekvenču diapazona zemāko robežu izvēlēties kā 1/3 no rotējošās elektroiekārtas vislētāk rotējošās vārpstas faktiskajiem apgriezieniem. Mēriekārtu frekvenču diapazona minimālo augstāko robežu izvēlēties 30 reizes lielāku par rotējošās elektroiekārtas visātrāk rotējošās vārpstas faktiskajiem apgriezieniem.

Piezīme 1: Ja rotējošās elektroiekārtas apgriezieni ir 200 apgr./min, jāizvēlas mēriekārtā ar diapazonu, sākot no 1 Hz ($200/3/60=1.11$ Hz).

Piezīme 2: Ja rotējošās elektroiekārtas ir aprīkotas ar zobratu pārvadu, minimālā augšējās zonas robeža jāizvēlas pēc zobrata zobu skaita. Piemēram, ja pie 2981 apgr./min (49,69 Hz) un 43 zobiem augstākai robežai jābūt ap 2200 Hz ($49.69 \times 43=2137$ Hz).

5.3.3. Lēmumu par mēriekārtu metroloģisko pārbaudi nepieciešamību un tās periodiskumu pieņem komercsabiedrība. Ja mēriekārtas ir metroloģiski pārbaudītas, tad pārbaudei jābūt dokumentētai. Mēriekārtu pārbaudi periodiskumu nosaka, pamatojoties uz mērījumu biežumu, mēriekārtas tipu, mērījumu kritiskumu utt.

Ieteicams reizi gadā pārbaudīt, vai monitoringa sistēmas vibrāciju sensora pievienojums joprojām atbilst prasībām 5.3.5. p., vai mēriekārtām nav nepieciešama programmatūras atjaunošana, vai nav bojāts kontakts vibrāciju sensora savienojuma vietā ar kabeli u.tml. Monitoringa sistēmām pēc rotējošo elektroiekārtu atjaunošanas remontiem ieteicams veikt mērsistēmas pārbaudes.

5.3.4. Vibrāciju sensorus konkrēto mērījumu veikšanai atkarībā no mērījumu mērķa izvēlas personāls, kas organizē vibrācijas mērījumus (skatīt 7.4.1. p.). Vibrāciju sensorus var iedalīt šādās grupās:

5.3.4.1. akselerometri, kas nomēra paātrinājumu (m/s^2 , g) un tiek montēti pie nekustīgām rotējošās elektroiekārtas daļām. Tie darbojas frekvenču diapazonā visbiežāk no 2 Hz līdz 15 kHz (atkarīga no vibrāciju sensora pievienojuma veida);

5.3.4.2. vibroātruma sensori, kas nomēra ātrumu (mm/s) un tiek montēti pie nekustīgām rotējošās elektroiekārtas daļām. Šie vibrāciju sensori visbiežāk darbojas frekvenču diapazonā no 1 Hz līdz 2000 Hz;

5.3.4.3. relatīvā pārvietojuma sensori, kas nomēra relatīvo pārvietojumu (μm) starp rotējošās elektroiekārtas rotējošiem un nerotējošiem elementiem. Relatīvā pārvietojuma sensori darbojas frekvenču diapazonā no 0 Hz līdz 1 kHz.

5.3.5. Vibrāciju sensoru pievienojuma veids un līdzekļi nedrīkst ietekmēt vibrāciju raksturu un ieviest lielu mērījumu kļūdu. Atbildīgais par mērījumu organizāciju izvēlas vibrāciju sensorus un pievienojuma veidu pēc 6.2.tabulas tā, lai nerastos kontakta rezonanse mērīšanas diapazonā.

5.3.6. Mēriekārtu precizitātei jānodrošina mērāmo lielumu iegūšanu ar pietiekami augstu, ekonomiski pamatotu un tehniski iespējamu ticamības pakāpi. Ir svarīgi, lai mērījumu laikā iegūtie dati, ko pēc tam paredzēts salīdzināt, būtu ar vienādu precizitāti. Mērījumu precizitātei jānodrošina iespēja veikt atbilstošu vērtēšanu un diagnostiku. Jāizvērtē vērtēšanas un diagnostikas parametru pieļaujamās novirzes, mērīšanas neprecizitātes ietekme uz vērtēšanas rezultātiem.

5.3.7. Mērījumu precizitātei, veicot vibrāciju vērtēšanu atbilstoši Kritērijam I un Kritērijam II, jāiekļaujas $\pm 10\%$. Diagnostikas mērķiem mērījumu precizitāte var būt atšķirīga.

Piezīme: Mērījumu precizitāti var ietekmēt temperatūras svārstības, mitrums; magnētiskais lauks; skaņas lauks; barošanas avota izmaiņas; vibrāciju sensora kabeļa garums u.c. mērījumu ietekmējoši parametri.

5.3.8. Mērīšanas precizitāte atbilstoši jādokumentē, to ieteicams norādīt mērījumu rezultātu protokolā vai atskaitē.

6. Mērījumu organizācija

6.1. Mērījumu mērķis

6.1.1. Organizējot vibrāciju mērījumus, jādefinē, kāds ir to mērķis:

6.1.1.1. jaunu iekārtu pieņemšanas pārbaude, kuras laikā pārlicinās, vai rotējošā elektroiekārta atbilst vibrāciju A vērtēšanas zonai (saskaņā ar 2.3.1. p. vai pasūtītāja izvirzītajām prasībām saskaņā ar līgumu), un ir derīga pieņemšanai ekspluatācijā;

6.1.1.2. atjaunotu, pārbūvētu iekārtu pieņemšanas pārbaude, kuras laikā pārlicinās, vai iekārta sasniedz iepriekš definētos pārbūves vai remonta mērķus un uzdevumus;

6.1.1.3. plānotā pārbaude pēc iekārtu ekspluatācijas personāla vai par iekārtu atbildīgā personāla pamatota pieprasījuma, piemēram, ja plānots rotējošās elektroiekārtas remonts;

6.1.1.4. profilaktiskā (regulārā) pārbaude – kārtējā iekārtu pārbaude un monitoringa mērījumi, ko veic, lai noteiktu tehniskā stāvokļa izmaiņas (attiecībā pret iepriekšējiem mērījumiem vai iepriekš noteiktu bāzes stāvokli, rotējošajai elektroiekārtai strādājot līdzīgos darba apstākļos);

6.1.1.5. diagnostiskā pārbaude, ko veic, kad nepieciešama rotējošās elektroiekārtas vibrācijas analīze. Analīze nepieciešama, ja plānoto vai profilaktisko mērījumu laikā konstatēts, ka vibrācija ir pieaugusi, un jānosaka izmaiņu cēlonis. Diagnostiku var veikt pēc atbildīgā par iekārtu/iekārtas ekspluatāciju pamatota pieprasījuma – arī tad, ja defekts nav konstatēts, tomēr nepieciešams izanalizēt rotējošās elektroiekārtas tehnisko stāvokli pēc atjaunošanas remonta, pārbūves, Kritērija II robežvērtības pārsniegšanas u.tml.

6.1.2. Kad noteikts mērījumu mērķis, jāapkopo nepieciešamā informācija par to, kāds ir iekārtas tips, iespējamie mērījumu veidi un vērtēšanas kritēriji. Pamatojoties uz doto informāciju, ja nepieciešams, sastāda profilaktisko pārbaužu grafiku un, ja nepieciešams, sastāda arī mērījumu veikšanas programmu.

6.2. Mērījumu dokumentācija

6.2.1. Mērījumu dokumentācija tiek sastādīta gan pirms, gan pēc darbu izpildes. Dokumenta veidu izvēlas pēc darba mērķa saskaņā ar 6.1. tabulu.

6.1. tabula

Mērījumu dokumentācija

Mērķis		Darbu uzsākšanas dokuments	Darbu pabeigšanas dokuments
Pieņemšanas pārbaude		Mērījumu programma (ja nepieciešama)	Protokols ar parakstu
Profilaktiskā pārbaude (Kārtējā pārbaude)		Profilaktisko pārbaužu grafiks (ja nepieciešams, arī mērījumu programma)	Protokols vai ieraksts elektroniskajā datubāzē
Ārpuskārtas pārbaude	Vibrāciju mērījums	Mērījumu programma	Protokols vai atskaite
	Vibrodiagnostika		Atskaite

6.2.2. Profilaktisko pārbaužu grafiku izstrādā personāls, kas atbilst 7.3.1. p. vai 7.4.1. p. prasībām. Dokumentu apstiprina komercsabiedrības noteiktā kārtībā. Sagatavojot pārbaužu grafiku, tiek norādīts mērāmo iekārtu saraksts un veicamo darbu apjoms, termiņš, periodiskums.

6.2.3. Mērījumu programmu izstrādā darba izpildītājs (skatīt 7.5.1. p.). Sagatavojot mērījumu programmu, tiek norādīts:

6.2.3.1. mērījumu mērķis no 6.1.1. p. dotā saraksta;

6.2.3.2. mērāmo iekārtu saraksts, katras mērāmās iekārtas nosaukums, tips, operatīvais apzīmējums;

- 6.2.3.3.** vibrāciju mērīšanas vietas un virzieni;
- 6.2.3.4.** mēriekārta un mērīšanas parametri (skatīt 4. un 5. nodaļu);
- 6.2.3.5.** rezultātu novērtēšanas kritēriji vai atsauce uz tiem (skatīt 8. nodaļu);
- 6.2.3.6.** rotējošās elektroiekārtas parametri, kas tiks reģistrēti mērījumu laikā (skatīt 4.2. nodaļu);
- 6.2.3.7.** nepieciešamie iekārtas darba režīmi;
- 6.2.3.8.** veicamo darbu apjoms, laiks;
- 6.2.3.9.** organizatoriskie un tehniskie pasākumi darba veikšanai;
- 6.2.3.10.** informācija, par kuru vienojas ierosinātājs un izpildītājs.

6.2.4. Protokolu par mērījumu rezultātiem sastāda, ja darbu izpildītājs ir iekārtu ekspluatācijas personāls vai par iekārtu tehniskā stāvokļa novērtēšanu atbildīgais personāls. Periodiskām vibrāciju pārbaudēm protokolu var nesastādīt gadījumos, kad novērtēšanai nepieciešamā informācija jau ir elektroniski ievadīta vibrācijas mēriekārtā vai datubāzē. Protokolā jānorāda:

- 6.2.4.1.** darbu izpildītājs;
- 6.2.4.2.** mērāmie parametri, vienības, mērīšanas frekvenču diapazons;
- 6.2.4.3.** objekts un/vai elektroietase, kurā veikti mērījumi;
- 6.2.4.4.** mērāmās iekārtas nosaukums, tips, operatīvais apzīmējums ("KKS numurs" u.tml.);
- 6.2.4.5.** mēriekārta, ar kuru tiks veikti darbi;
- 6.2.4.6.** vibrāciju mērīšanas vietas un virzieni;
- 6.2.4.7.** iegūto parametru vērtības un to vērtēšanas kritēriji;
- 6.2.4.8.** citi parametri, kas ir nepieciešami (skatīt 3.1.2. p.);
- 6.2.4.9.** slēdziens par iekārtas stāvokli saskaņā ar vērtēšanas kritērijiem vai citiem vibrodiagnostikas paņēmieniem.

6.2.5. Atskaiti par mērījumu rezultātiem sastāda, ja darbu izpildītājs ir piesaistītais mērīšanas vai vibrodiagnostikas darbuizpildītājs. Atskaitē jānorāda tā pati informācija, kas protokolā, un papildus jānorāda dokumenta nosaukums, kas nosaka mērīšanas kārtību (piemēram, mērīšanas procedūras, saskaņā ar kurām strādā darbu izpildītājs).

Atskaitē jāiekļauj arī šāda informācija:

- 6.2.5.1.** saturs;
- 6.2.5.2.** termini, jēdzieni, apzīmējumi;
- 6.2.5.3.** darba mērķi un uzdevumi;
- 6.2.5.4.** grafiskā informācija, kas izmantota analīzei (spektra diagrammas, trendi u.tml.), ja nepieciešams;
- 6.2.5.5.** apkopojums par nomērītiem lielumiem tabulās;
- 6.2.5.6.** secinājumi, rekomendācijas u.tml.

6.3. Mērīšanas darbu uzsākšana

6.3.1. Darba vietu sagatavo saskaņā ar Latvijas energostandartu LEK 025, LEK 036, LEK 037 un citu saistošo normatīvo aktu prasībām.

6.3.2. Vibrācijas mērījumus veic, kad rotējošā elektroiekārta sasniedz darba programmā vai profilaktisko pārbaužu uzdevumā definētos lielumus. Iekārtām, kuras tiek darbinātas ar mainīgu ātrumu un slodzi, mērījumus veic tādos režīmos, kuros ilgtermiņā rotējošo elektroiekārtu paredzēts darbināt visbiežāk.

6.3.3. Diagnostikas mērījumiem var mērīt vibrāciju visos rotējošās elektroiekārtas darba režīmos (tipiskos, kuros iekārta strādā visbiežāk, un netipiskos, ja to nosaka diagnostikas mērķi), kā arī var ar nolūku veikt mērījumus tādos režīmos, kuros vibrācija ir vislielākā, un ir vieglāk atklāt rotējošās elektroiekārtas defektus. Mērot vibrācijas pārejas procesu laikā un netipiskos režīmos, kad tiek novērotas maksimālās vibrācijas, novērtēšanu atbilstoši šim normatīvam neveic, tomēr ieteicams, lai vibrācijas vērtība šajos režīmos nepārsniegtu *D* zonas vērtējumu pēc Kritērija I.

6.3.4. Vibrāciju sensoru pievienojuma veidu izvēlas, ņemot vērā mērījumu mērķi, mēriekārtas īpatnības un nepieciešamo frekvenču diapazonu, pamatojoties uz vispārpieņemto vibrāciju mērīšanas praksi. Rekomendējamie pievienojuma veidi apkopoti 6.2. tabulā. Virsmai vibrāciju sensora pievienojuma vietā jābūt pēc iespējas gludākai, tīrākai, bez nelīdzenumiem, sausai un jābūt sagatavotai atbilstoši nepieciešamajai mērījumu precizitātei. Pirms mērījumiem jānotīra metāla virskārta (piemēram, atslāņojusies krāsa, rūsa un netīrumi), jāpārlicinās, ka virsmai nav mehānisku defektu u.tml. Veicot mērījumus, jāpārlicinās, ka vibrāciju sensori ir pareizi uzmontēti.

6.3.5. Mērījumu vietu ir jāmarķē, lai to varētu identificēt un lai nākamo mērījumu laikā vibrāciju sensoru varētu novietot tajā pašā vietā.

6.2. tabula

Pievienojuma veidi vibrācijas sensoriem

Pievienojuma veids	Nomērītais parametrs	Izmantojamais frekvenču diapazons
Piespiests ar roku	Vibroātrums, vibropārvietojums	10-500 Hz
Magnētiskā pamatne	Vibroātrums, vibropaātrinājums, gE u.c.	<2,5 kHz
Stiprinājums ar skrūvi	Dažādi	<15 kHz

6.3.6. Stiprinājumu ar skrūvi ieteicams izmantot nepārtrauktās monitoringa sistēmas vibrāciju sensoriem, jo šis pievienojuma veids nodrošina vibrāciju sensoru korektu darbību visplašākā frekvenču diapazonā. Ja uzstādītajai iekārtai nav iespējams nodrošināt korektu urbumu tapskrūvei (urbumam jābūt perpendikulāram mērīamai virsmai, pietiekami dziļam un ar atbilstošu vītņi), var pielietot speciālus līmējamus vai skrūvējamus paliktņus.

6.3.7. Ja mērījumu laikā tiek konstatēts, ka rotējošā elektroiekārta ir bojāta un rada bīstamību darbiniekiem, kas veic vibrāciju mērījumus, tad nekavējoties jāpārtrauc darbi

un jāinformē par bojājumu iekārtu ekspluatācijas personāls vai par iekārtu atbildīgie darbinieki.

6.3.8. Ja mērījumu laikā tiek konstatēts, ka vibrācija sasniedz D zonu nekavējoši jāinformē iekārtu ekspluatācijas personāls vai par iekārtu atbildīgie darbinieki.

6.4. Mērīšanas darbu pabeigšana

6.4.1. Mērīšanas darbi ir pabeigti, ja ir iegūtas mērījumu programmā noteikto parametru vērtības, ir sastādīts atbilstošs protokols vai sagatavota atskaite par mērīšanas rezultātiem. Mērījumu protokolu vai atskaiti izstrādā vibrāciju mērīšanas darbu izpildītājs.

6.4.2. Ja mērījumu laikā tiek konstatēts, ka rotējošā elektroiekārta ir bīstamā tehniskā stāvoklī (Vērtēšanas Kritērija I, D zonā), tad darbiniekam, kas veic vibrāciju mērījumu, par to jāinformē iekārtu ekspluatācijas personāls vai par iekārtu tehniskā stāvokļa novērtēšanu atbildīgie darbinieki.

6.4.3. Ja nomērītās vibrācijas pārsniedz pieļaujamo līmeni un ir konstatēts, ka ir liela fona vibrācija, veic atkārtotus mērījumus, kad mērāmā rotējošā elektroiekārta nedarbojas, lai noteiktu, cik liela ir ārējo faktoru ietekme uz paaugstināto vibrāciju.

6.4.4. Fona vibrāciju nosaka, kad rotējošā elektroiekārta ir izslēgta. Ja fona vibrācija ir ievērojama (piemēram, fona vibrācijas dēļ, rotējošā elektroiekārta strādā C zonā), tad ieteicams veikt korektīvos pasākumus, lai samazinātu ietekmi no apkārtējās vides vibrācijām uz rotējošo elektroiekārtu.

6.4.5. Ja nomērītās vibrācijas pārsniedz pieļaujamo līmeni un ja, veicot vibrodiagnostiku, ir konstatēts, ka vibrāciju iemesls ir pamata stiprinājumi (vaļīgi stiprinājumi) vai pamatu konstrukcija (plaisas vai citi pamatu iekšējās struktūras defekti), tad papildus veic attiecīgos mērījumus uz rotējošās elektroiekārtas pamatiem. Mērījumu vietas uz rotējošās elektroiekārtas pamatiem parādītas attiecīgās iekārtas mērpunktu shēmā (skatīt arī 8. nodaļu).

6.5. Vibrāciju mērījumu periodiskums

6.5.1. Rotējošo elektroiekārtu vibrācija jākontrolē regulāri, un kontroles kārtība jānosaka iekārtu ekspluatācijas instrukcijā. Papildus ieteicams veikt rotējošo elektroiekārtu vibrāciju mērījumus pirms un pēc to remonta.

6.5.2. Ja rotējošās elektroiekārtas ražotājs neparedz profilaktisko pārbaužu periodisku veikšanu, tad to, cik bieži veikt profilaktiskās pārbaudes, nosaka komercsabiedrībā noteiktā kārtībā.

6.5.3. Izvērtējot mērījumu nepieciešamību un biežumu katrai konkrētai rotējošai elektroiekārtai, ņem vērā šādus faktorus:

- 6.5.3.1.** cik nozīmīga rotējošā elektroiekārta ir tehnoloģiskajam procesam;
- 6.5.3.2.** iekārtas tehnisko stāvokli;
- 6.5.3.3.** laiku līdz nākošam plānveida remontam, ja paredzēts;
- 6.5.3.4.** temperatūru, kurā darbojas rotējošā elektroiekārta, un tās darba apstākļus;
- 6.5.3.5.** kāda ir iekārtas eļļošana;
- 6.5.3.6.** kāds ir iespējamā defekta attīstības ātrums;
- 6.5.3.7.** kādas ir remontdarbu izmaksas, ja iekārta tiek bojāta;

6.5.3.8. kādas ir periodisko mērījumu izmaksas;

6.5.3.9. kā ir iespējams veikt periodiskos mērījumus – piekļuve, bīstamība.

6.5.4. Jo lielāka ir iekārtas ekspluatācijas slodze, apgriezieni un darba temperatūra, jo biežāk būtu jāveic mērījumi.

Piezīme: Piemēram, vibrācijas mēriekārtu ražotāji tehnoloģiskā procesā nozīmīgām iekārtām vibrāciju mērījumus iesaka veikt ik pēc 400 darbības stundām vai reizi mēnesī. Iekārtām, kuras nav nozīmīgas, mērījumus iesaka veikt ik pēc 800 darbības stundām vai reizi divos mēnešos.

6.5.5. Plānoto mērījumu periodiskumu var koriģēt, balstoties uz iegūtiem vibrācijas novērtēšanas rezultātiem.

Piezīme: Piemēram, komercsabiedrība var noteikt, ka tehnoloģiskā procesā nozīmīgai iekārtai, kuras vibrācija atbilst A zonai, vibrācija uz gultņiem jānomēra ik pēc 2000 darbības stundām. Ja tiek konstatēts, ka vibrācija sasniegusi B zonu, mērīšanas biežumu var saīsināt līdz 1000 stundām.

7. Prasības personālam

7.1. Vibrāciju mērījumu un novērtēšanas darbu iedalījums

7.1.1. Vibrāciju mērījumus un analīzi nosacīti var sadalīt trīs posmos – mērīšanas darbu plānošana un organizēšana, mērīšanas darbu praktiskā veikšana un iegūto mērījumu datu izmantošana analīzei, novērtēšanai vai diagnostikai. Katrs no šiem posmiem jāveic personālam ar atbilstošu kvalifikācijas līmenim.

Piezīme: Kvalifikācijas līmeni nosaka atbilstoši ISO 18436-2 standarta prasībām.

7.1.2. Periodiskās iekārtu pārbaudes var veikt personāls, kas atbilst 7.2. nodaļas uzskaitītām prasībām, lietojot vienkāršus pārnēsājamus vibrometrus, indikatorus un monitoringa sistēmas.

Piezīme: Personāls, kas atbilst 7.2. nodaļas prasībām, veicot vibrāciju mērījumus, var konstatēt vibrāciju izmaiņas vai pārsniegtas pieļaujamās vērtības. Tādā gadījumā informācija jānodod personālam, kas analizē vibrācijas mērījumus, piemēram, par iekārtu ekspluatāciju atbildīgajam personālam.

7.1.3. Gan periodiskās pārbaudes, gan diagnostiku, gan mērījumu analīzi var veikt personāls, kas atbilst 7.3. nodaļā uzskaitītajām prasībām, lietojot sarežģītākus mērlīdzekļus, portatīvās datu savākšanas iekārtas ar plašākām analīzes iespējām, kā arī vibrāciju monitoringa sistēmas.

7.1.4. Vibrāciju mērīšanas darbu plānošanu, organizēšanu, iekārtu izvēli un nepieciešamās dokumentācijas sagatavošanu veic personāls, kas atbilst 7.4. nodaļas prasībām.

7.2. Prasības personālam, kas veic vibrācijas mērījumus (1. kvalifikācijas līmenis)

7.2.1. Personāls, kas nav atbildīgs par mērīšanas organizāciju, vibrāciju sensoru izvēli, datu analīzi vai testa rezultātu novērtēšanu, var strādāt ar pārnēsājamo vibrāciju mēriekārtu saskaņā ar komercsabiedrības noteiktu kārtību.

7.2.2. Darbiniekam, kas veic vibrāciju mērījumus, jāatbilst šādām prasībām:

7.2.2.1. jābūt drošai darba veikšanai nepieciešamajām teorētiskajām un praktiskajām zināšanām, piekļuvei un tiesībām veikt darbus konkrētajā energoietaisē;

- 7.2.2.2. jāspēj sagatavot pamatinformāciju mērījumu protokolam;
- 7.2.2.3. jāizprot rotējošās elektroiekārtas uzbūve un darbības princips;
- 7.2.2.4. jābūt zināšanām par vibrāciju mēriekārtām un to pielietošanu, jāspēj atpazīt situācijas, kad uz mēriekārtu netiek padots signāls vai tas ir kļūdainis;
- 7.2.2.5. jābūt izpratnei par nekvalitatīvu mērījumu cēloņiem un sekām;
- 7.2.2.6. jābūt izpratnei par vibrāciju mērījumu mērķi un mēriekārtas nolasījumu būtību;
- 7.2.2.7. jāspēj salīdzināt vibrācijas mērījumu rezultātus, lai atpazītu avārijas situācijas;
- 7.2.2.8. jāspēj noteikt un ziņot par bīstamu situāciju iekārtas ekspluatācijas personālam;
- 7.2.2.9. jābūt iepazīstinātam ar šo standartu;
- 7.2.2.10. jāspēj atslēgt iekārtu avārijas gadījumā, ja darbiniekam ir tādas tiesības.

Piezīme: Rotējošās elektroiekārtas atslēgšanas kārtību nosaka iekārtu ekspluatācijas instrukcijā.

7.3. Prasības personālam, kas analizē vibrācijas mērījumus (2. kvalifikācijas līmenis)

7.3.1. Darbiniekam, kas veic iegūto vibrāciju datu analīzi, jābūt kvalifikācijai veikt visas darbības, kas uzskaitītas 7.2.2. p. un papildus jāatbilst sekojošām prasībām:

- 7.3.1.1. jāspēj strukturēt, interpretēt un izvērtēt mērījuma rezultātus;
- 7.3.1.2. jāspēj izvēlēties rotējošai elektroiekārtai atbilstošus vērtēšanas kritērijus;
- 7.3.1.3. jāspēj uzturēt informāciju par veikto vibrāciju mērījumu rezultātiem un vibrāciju izmaiņu laikā;
- 7.3.1.4. jāpārzina rotējošo elektroiekārtu standarti, kas attiecas uz vibrāciju mērījumiem;
- 7.3.1.5. jāizprot rotējošās elektroiekārtas uzbūve un darbības princips;
- 7.3.1.6. jāizprot vibrāciju mērījumu mērķis un mēriekārtas nolasījumu būtība;
- 7.3.1.7. nepieciešamības gadījumā jāiesaka korektīvas darbības rotējošās elektroiekārtas darbības vai tehniskā stāvokļa uzlabošanai;
- 7.3.1.8. jāspēj sagatavot protokolu vai atskaiti.

7.4. Prasības personālam, kas organizē vibrācijas mērījumus (3. kvalifikācijas līmenis)

7.4.1. Darbiniekam, kas ir atbildīgs par vibrāciju mērījumu organizāciju (sastāda programmas vibrāciju monitoringam un tad veic mērījumus vai kontrolē tos), jābūt kvalifikācijai veikt visas darbības, kas uzskaitītas 7.2.2. p. un 7.3.1. p., un papildus jāatbilst šādām prasībām:

- 7.4.1.1. jāspēj izvēlēties piemērotas iekārtas un vibrāciju mērīšanas tehniku;
- 7.4.1.2. jāspēj noteikt piemērotas vibrāciju mēriekārtas daļas un programmatūru gan pārnēsājamām, gan stacionārām sistēmām;

7.4.1.3. jāspēj sagatavot mērījumu veikšanas darbu aprakstus, instrukcijas personālam.

7.5. Atbildību sadalījums, ierosinot, saskaņojot un veicot vibrāciju mērījumus

7.5.1. Atbildīgais par vibrācijas mērījumu organizāciju un izpildi var būt gan iekārtu ekspluatācijas personāls vai par iekārtu atbildīgie darbinieki (ierosinātājs), gan piesaistītā vibrāciju mērīšanas vai diagnostikas organizācija (izpildītājs). Lomas un atbildību sadalījums norādīts 7.1. tabulā.

7.1. tabula

Atbildību sadalījums, ierosinot un saskaņojot mērījumus

Ierosinātāji	Pamatojums	Saskaņotāji	Izpildītāji
Iekārtu ekspluatācijas personāls/ par iekārtu atbildīgie darbinieki	Pieņemšanas/nodošanas mērījumu vai profilaktisko pārbaužu veikšanas nepieciešamība;	Atbildīgais par energoietaisies ekspluatāciju	Iekārtu ekspluatācijas personāls/ par iekārtu tehniskā stāvokļa novērtēšanu atbildīgie darbinieki;
	Profilaktisko pārbaužu rezultāti;		Piesaistītais mērīšanas vai vibrodiagnostikas darbuzņēmējs.
	Monitoringa mērījumu rezultāti.		

8. Rotējošo elektroiekārtu vibrāciju mērījumu vietas un rezultātu vērtēšana

8.1. Vispārīgās prasības

8.1.1. Visbiežāk vibrāciju mērījumus veic uz iekārtas nerotējošās daļas, tieši uz gultņu korpusa vai pēc iespējas tuvāk tam. Šajā standartā atsevišķos gadījumos tiek pieminēta rotējošās daļas vibrācija – tā ir vārpstas vibrācija slīdgultņos jeb relatīvā vibrācija starp vārpstu un gultņu korpusu. Šajā gadījumā mērījumi jāveic tieši pret slīdgultņa virsmu vai pēc iespējas tuvāk tai.

8.1.2. Vibrācijas mērījumi tiek veikti, kad rotējošā elektroiekārta ir sasniegusi stabilu darba režīmu.

8.1.3. Vibrāciju mērījumus iespēju robežās jāveic uz visiem rotējošās elektroiekārtas gultņiem. Ja nav iespējams veikt mērījumus uz visiem rotējošās elektroiekārtas gultņiem (ņemot vērā tehniskos un ekonomiskos aspektus), tad tie jāveic vismaz vienam gultnim gan no elektrodzinēja, gan no izpildmehānisma puses, kas būtu izmantojams iekārtas stāvokļa novērtēšanai.

8.1.4. Starp vibrāciju avotu (gultņiem) un vibrācijas sensora atrašanās vietu ir jābūt labam mehāniskās transmisijas ceļam ("*mechanical transmission path*"). Iekārtā vibrē vairāki komponenti, tomēr ir svarīgi izvēlēties punktu ar īsāko ceļu starp vibrācijas avotu un sensoru.

8.1.5. Pirms mērījumiem jāizveido iekārtas mehāniskā shēma, atzīmējot un numurējot gultņu vietas, tipus (ja pieejama informācija) un nepieciešamos mērīšanas virzienus, izvērtējot iespējamās dinamisko spēku un slodzes vektoru virzienus. Nepieciešams arī atzīmēt piedziņas virzienu un atzīmēt elektrodzinēju, sajūgu un piedzīto mehānismu. Shēmā ieteicams atzīmēt arī iekārtas mehānismu sajūga veidu (piemēram, cietais vai elastīgais) kā arī pamatnes stiprinājuma veidu (piemēram, cietā vai elastīgā).

8.1.6. Rotējošām elektroiekārtām mērījumu punktus numurē, sākot ar elektrodzinēja brīvo galu uz izpildmehānisma pusi jeb enerģijas plūšanas virzienā. Piemērus skatīt 8.1. tabulā.

8.1. tabula

Rotējošo elektroiekārtu mehānisko shēmu piemēri

Nr. p.k.	Rotējošās elektroiekārtas izpildījums	Rotējošās elektroiekārtas mehāniskās shēmas piemērs
1.	Ar sajūgu	Pamatne, cieti stiprinājumi
2.	Ar siksnas pārvadu	Pamatne
3.	Virknēta, daudzvārpstu	Pamatne, stingri stiprinājumi
Rotējošās elektroiekārtas mehāniskās shēmas piemēros izmanto šādus apzīmējumus: A – aksiālo mērījumu vieta; H – horizontālo mērījumu vieta; V – vertikālo mērījumu vieta; DE – piedziņas puse (<i>drive end</i>); NDE – ne-piedziņas puse (<i>non-drive end</i>); 1, 2, ..., 7 – gultņa numurs.		

8.1.7. Vibromērījumu plānošanas procesā ieteicams lietot mērpunktu apzīmējumos vienotus principus. Mērpunkta apzīmējumā vai nosaukumā vajadzētu būt simboliem, kas nosaka gultņa nr., piedziņu (NDE/DE), mērīšanas virzienu (horizontāli, vertikāli, aksiāli, radiāli u.c.), mērījuma veidu (ātrumu (vel), pārvietojumu (disp), paātrinājumu (acc) u.c.).

Piezīme: Piemēram, "3DEHvel" nozīmētu: 3. gultnis (3), piedziņas gals (DE), horizontālais virziens (H), vibroātruma mērījums (vel).

8.1.8. Vibrāciju mērījumus uz gultņu korpusa ieteicams veikt trīs savstarpēji perpendikulāros virzienos: virzienā, kur ir lielākā slodze (visbiežāk vertikālā virzienā); virzienā, kur ir mazākais stingums (visbiežāk horizontālā virzienā); virzienā, kur iedarbojas aksiālie dinamiskie spēki (aksiālā virzienā). Var izmantot trīsasu vibrācijas sensoru, to pievienojot vienā no ieteicamajām vietām.

8.1.9. Mērījumi uz iekārtu pamatnes jāveic tajās vietās un virzienos, kur prognozējama lielākā brīvkustība.

8.1.10. Vērtēšanas zonu robeža var būt atšķirīga iekārtām uz stingas pamatnes vai uz vibrāciju izolatoriem. Šajos gadījumos būtu jāizvērtē stingums visos mērījumu virzienos. Var būt iekārtas, kurām atsevišķu virzienu mērījumu rezultāti vērtēšanā klasificējami kā stingi, atsevišķi kā elastīgi jeb uz vibrāciju izolatoriem. Ja stingums/elastīgums nav īsti nosakāms no iekārtas rasējuma, to var noteikt eksperimentāli, veicot trieciena testus (*bump-tests*) dažādos virzienos un nosakot zemāko pašsvārstību frekvenci konkrētā mērījumu virzienā. Ja tā ir vismaz par 25 % augstāka par iekārtas rotācijas frekvenci, šis virziens klasificējams kā stings.

8.1.11. Ja nomērītā parametra vērtība atbilst divu zonu robežām, tad iekārtas vibrostāvokļa vērtēšanu veic atbilstoši stingrākās/sliktākās vērtēšanas zonai.

Piezīme: Piemēram, ja mērījuma rezultāts ir uz B un C zonu robežas, tad novērtē ar C zonu.

8.1.12. Kritērijus, pēc kuriem veikt mērījumu rezultātu novērtēšanu, nosaka personāls, kas analizē un/vai organizē vibrācijas mērījumus saskaņā ar 7.3. un 7.4. nodaļām.

8.1.13. Atsevišķos gadījumos, kad vairākas rotējošās elektroiekārtas ir mehāniski savienotas (ar vienu piedziņas elektrodzinēju), bet neietekmē viena otras vibrāciju līmeni, katrai no iekārtām var piemērot dažādas vērtēšanas zonu robežas. Visbiežāk tās būs iekārtas, kuru katra daļa atrodas uz atsevišķas vibroizolējošas pamatnes un savienotas ar pietiekami elastīgu sajūgu.

8.2. Vibrāciju mērījumi elektrodzinējiem

8.2.1. Norādījumi mērījumiem

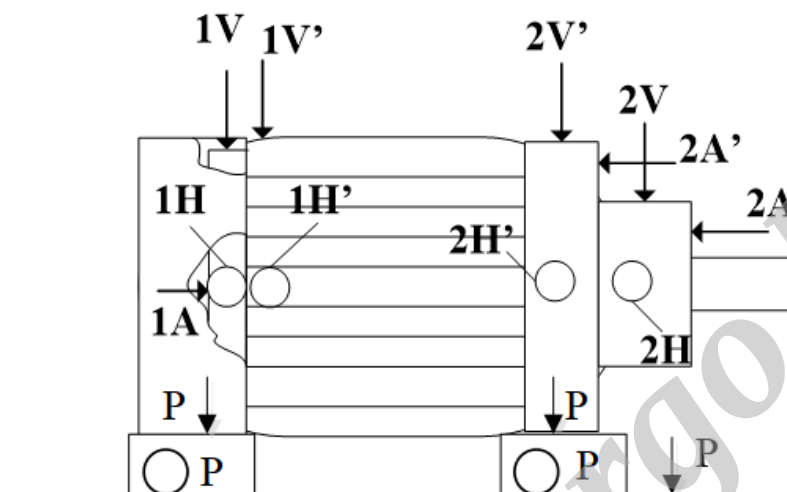
8.2.1.1. Elektrodzinēja vibrāciju atsevišķi vērtē gadījumos, kad elektrodzinējs nav savienots ar izpildmehānismu. Visbiežāk šādi gadījumi var būt elektrodzinēja pieņemšanas/nodošanas pārbaudēs, pēc atjaunošanas remonta vai pārbūves.

8.2.1.2. Veicot mērījumus, elektrodzinējam jābūt nostiprinātam atbilstoši ražotāja un/vai uzstādīšanas prasībām. Elektrodzinējam ir jābūt pilnā komplektācijā. Pamata skrūvēm jābūt pievilktām ar atbilstošu spēka momentu. Savienojšanas sajūgam vai tā daļām ir jābūt uzmontētām tā, lai varētu veikt drošu elektrodzinēja darbināšanu tukšgaitā.

8.2.1.3. Elektrodzinējam var būt pievienots piedziņas skriemelis vai sajūga daļa.

8.2.2. Mērījumu vietas

8.2.2.1. Mērījumu vietas dotas 8.1. attēlā. Visbiežāk piekļuves problēmas vibrāciju sensora novietošanai ir iekārtas elektrodzinēju gultņu korpusam dzesēšanas ventilatora galā. Ja mērījumi tiek veikti regulāri, tad ir ieteicams izveidot īpašu piekļuves vietu. Vietās, kur ir apgrūtināta piekļuve (piemēram, elektrodzinēja statora korpusa ventilatora galā) ir pieļaujams uzstādīt stacionāros starpribu mērījumu punktus.



8.1. attēls. Mērījumu vietas elektrodzinējam

kur:

- A ieteicamā aksiālo mērījumu vieta;
- A' pieļaujamā mērīšanas vieta aksiālā virziena mērījumiem;
- H ieteicamā horizontālo mērījumu vieta;
- H' pieļaujamā mērīšanas vieta horizontālā virziena mērījumiem;
- V ieteicamā vertikālo mērījumu vieta;
- V' pieļaujamā mērīšanas vieta vertikālā virziena mērījumiem;
- P pamatnes stiprinājumu mērījumu vietas;
- 1 – pirmais gultnis (ne-piedziņas puse, NDE (*non-drive end*));
- 2 – otrais gultnis (piedziņas puse, DE (*drive end*)).

8.2.3. Vērtēšanas zonu robežas

8.2.3.1. Pēc 8.2. tabulā dotajām vērtēšanas zonu robežām var novērtēt tikai paša elektrodzinēja stāvokli. Vērtējums neattiecas uz savienotu rotējošu elektroiekārtu kopumā. Savienota rotējoša elektroiekārta jāvērtē atbilstoši kādai no citām nodaļām.

8.2. tabula

Pieļaujamais vibroātrums elektrodzinējiem, kad tie nav savienoti ar izpildmehānismu

Vērtēšanas zona	Vibroātrums elektrodzinējam ar nom. jaudu < 300 kW, mm/s RMS	Vibroātrums elektrodzinējam ar nom. jaudu ≥ 300 kW, mm/s RMS
A	<1,1	< 1,4
B ⁽¹⁾	1,1-2,8	1,4-4,5
C ⁽¹⁾	2,8-4,5	4,5-7,1
D ⁽¹⁾	>4,5	>7,1

Piezīme 1: Vērtēšanas zonu robežvērtības saskaņotas ar standartu ISO 20816-3

8.3. Vibrāciju mērījumi sūkņu iekārtām

8.3.1. Norādījumi mērījumiem

8.3.1.1. Veicot vibrācijas mērījumu sūkņu iekārtām, ventilatora pārsegi, savienojuma aizsargi, elektrodzinēja dzesēšanas ribiņas un citas konstrukcijas nav piemērotas kā vibrāciju sensoru atrašanās vietas, ja vien netiek pielietoti speciāli vibrāciju sensoru montāžai paredzēti adapteri.

8.3.1.2. Gadījumos, kad vibrācijas sensors tiek izvietots pārāk tālu no gultņiem, tiek zaudētas augstās frekvences komponentes, kas savukārt norāda uz gultņu nodilumu.

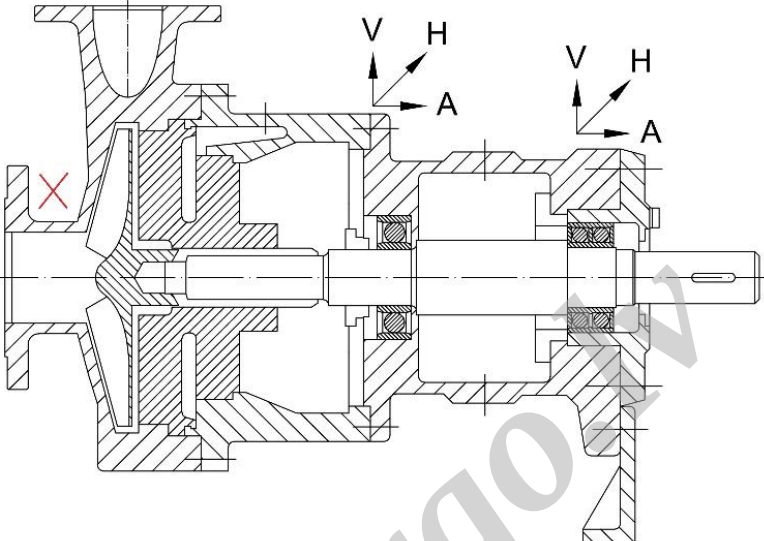
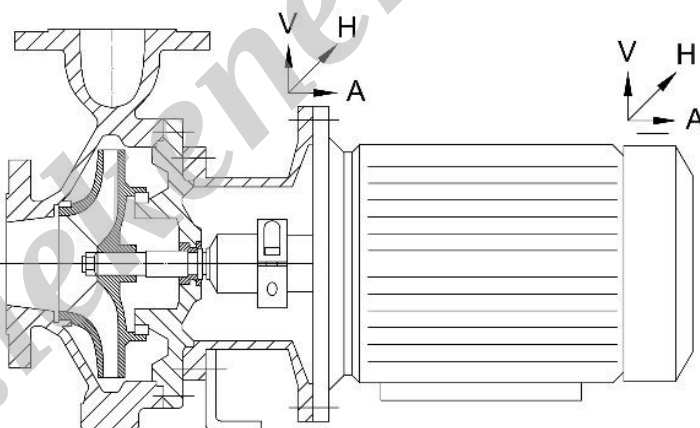
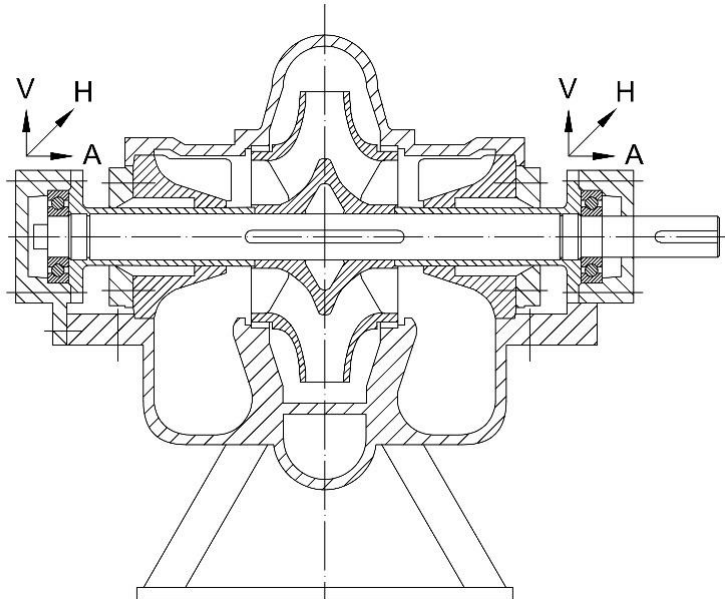
8.3.2. Mērījumu vietas

8.3.2.1. Vibrācijas sensora novietojums sūkņu agregātiem jāizvēlas, balstoties uz sūkņa konstrukciju un gultņu izvietojumu korpusā (skatīt 8.3. tabulu).

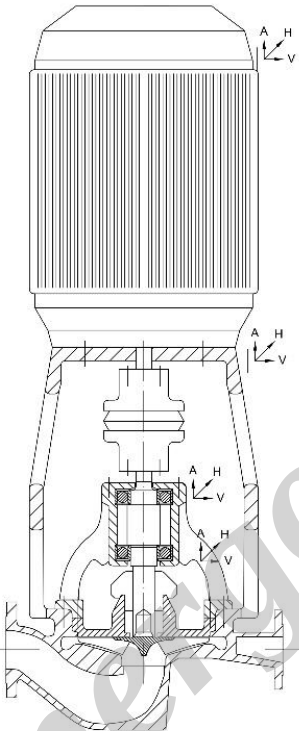
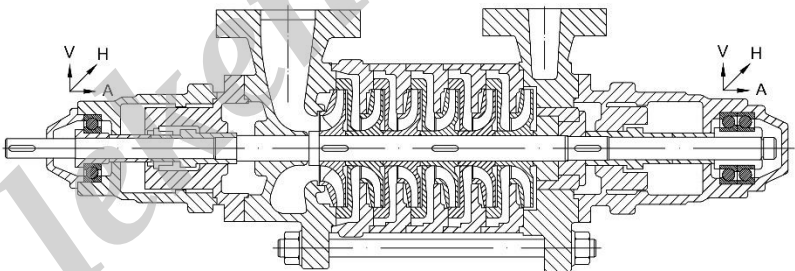
8.3.2.2. Nav ieteicams uzstādīt vibrācijas sensorus uz rotējošo elektroiekārtu rezonējošām virsmām (piemēram, dobtie elementi, pārvalki u.tml.).

8.3. tabula

Ieteicamās vibrācijas sensoru novietojuma vietas centrālās sūkņiem

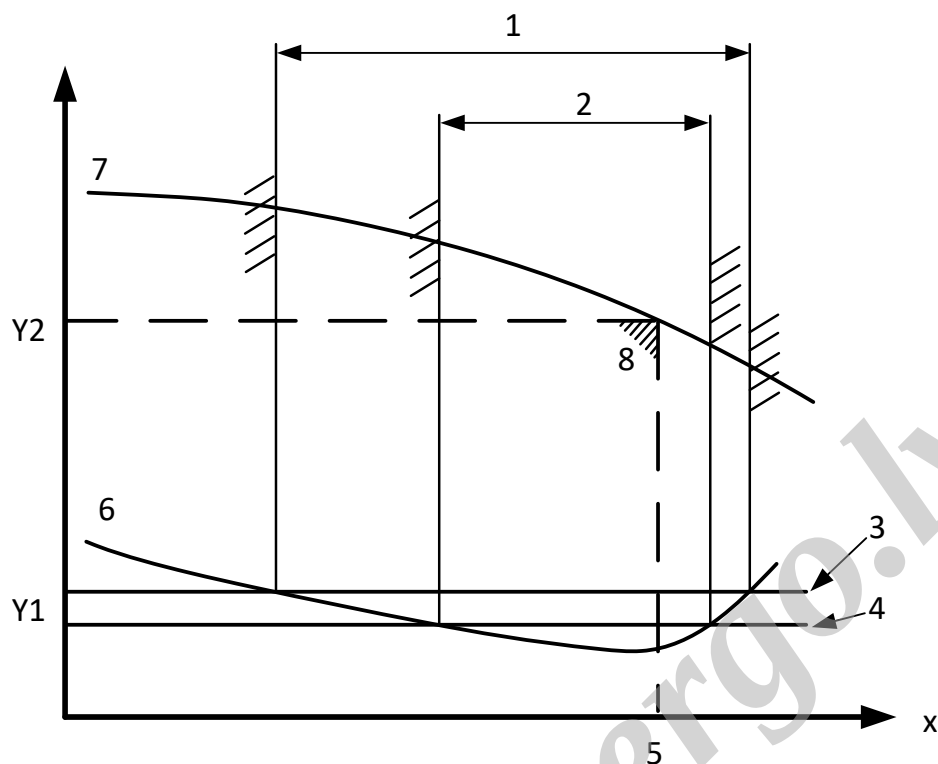
Nr.p.k.	Sūkņa tips	Ieteicamās vibrācijas sensoru novietojuma vietas
1.	Sūknis ar piekarsajūgu (aksiālo ieplūdi)	 Piezīme: Ar simbolu "X" ir atzīmēta vieta, kur nav ieteicama vibrācijas sensora uzstādīšana.
2.	Sūknis ar saīsināta tipa sajūgu	
3.	Horizontālais centrālās sūkņis divpusējo iesūci	

8.3. tabulas turpinājums

Nr.p.k.	Sūkņa tips	Ieteicamās vibrācijas sensoru novietojuma vietas
4.	Vertikālais sūknis	
5.	Horizontālais daudzpakāpju sūknis	

8.3.2.3. Vibrācijas mērījumi tiek veikti, kad sūkņa rotors un gultņi sasnieguši stabilu darba temperatūru. Sūknis tiek darbināts noteiktos darba apstākļos, t.i. ar nominālo plūsmu, sūknēšanas augstumu (attīstīto spiedienu) un ātrumu, kuru vērtībām jāatrodas darbības diapazonā, atbilstoši 8.2. attēlam.

8.3.2.4. Īpaša uzmanība jāpievērš sūkņa spējai darboties dažādos darba režīmos. Ja sūkni paredzēts darbināt ar dažādiem ātrumiem vai dažādām slodzēm un ja katram no šiem režīmiem būs pietiekams ilgums, tad mērījumi jāveic katram no režīmiem. Rotējošās elektroiekārtas stāvokļa novērtējums jāveic atbilstoši maksimālajām (augstākajām) vērtībām. Ja mērījumu rezultāti ir jāsalīdzina savā starpā, svarīgi, lai tie tiktu iegūti vienam un tam pašam darba režīmam sūkņa darbības parametru noteiktās pielaišanas robežās.



8.2. attēls. Sūkņu darbības režīmi

kur:

X – plūsma;

Y1 – vibrācija;

Y2 – spiediens;

1 – pieļaujamā ekspluatācijas zona (AOR – *allowable operating region*);

2 – ieteicamā ekspluatācijas zona (POR – *preferred operating region*);

3 – vibrāciju robežvērtība, AOR;

4 – vibrāciju robežvērtība, POR;

5 – plūsma augstākās efektivitātes punktā (BEP – *best efficiency point*);

6 – tipiskā vibrāciju raksturlīkne;

7 – spiediena-plūsmas raksturlīkne;

8 – spiediena un plūsmas augstākais efektivitātes punkts.

8.3.3. Vērtēšanas zonu robežas

8.3.3.1. Pēc dotajām vērtēšanas zonu robežām var novērtēt sūkni, savienotu ar elektrodzinēju. Vērtējums attiecas uz savienotu rotējošu elektroiekārtu kopumā, tai darbojoties POR zonā (skatīt 8.2. attēlu). Sūkņu vibrostāvokļa vērtēšanas zonu robežas dotas 8.4., 8.5. un 8.6. tabulās (skatīt arī standartu ISO 10816-7).

8.4. tabula
Vibroātruma zonu robežas sūkņu iekārtām ar jaudu ≥ 200 kW

Zona	vibroātrums, RMS, mm/s			
	1. kategorija. Sūknis ir nozīmīgs (bīstamām vielām vai bīstamām iekārtām)		2. kategorija. Sūknis nav nozīmīgs	
	<1000 apgr./min	>1000 apgr./min ⁽¹⁾	<1000 apgr./min	>1000 apgr./min ⁽¹⁾
A	<1,8	<3,5	<2,3	<4,2
B	1,8 – 2,8	3,5 – 5	2,3 – 3,5	4,2 – 6,1
C	2,8 – 6,1	5 – 7,6	3,5 – 7,1	6,1 – 9,5
D	> 6,1	> 7,6	> 7,1	> 9,5

Piezīme 1: Vērtēšanas zonu robežvērtības saskaņotas ar standartu ISO 10816-7.

8.5. tabula
Vibroātruma zonu robežas sūkņu iekārtām ar jaudu < 200 kW

Zona	vibroātrums, RMS, mm/s			
	1. kategorija. Sūknis ir nozīmīgs (bīstamām vielām vai bīstamām iekārtām)		2. kategorija. Sūknis nav nozīmīgs	
	<1000 apgr./min	>1000 apgr./min ⁽¹⁾	<1000 apgr./min	>1000 apgr./min ⁽¹⁾
A	<1,4	<2,5	<1,8	<3,2
B	1,4 – 2,3	2,5 – 4	1,8 – 2,8	3,2 – 5,1
C	2,3 – 4,5	4 – 6,6	2,8 – 6,6	5,1 – 8,5
D	>4,5	>6,6	>6,6	>8,5

Piezīme 1: Vērtēšanas zonu robežvērtības saskaņotas ar standartu ISO 10816-7.

8.6. tabula
Vibropārvietojuma vērtības sūkņu iekārtām ar apgriezieniem < 600 apgr./min

Zona	Vibropārvietojums (pīķis-pīķis vērtība), μm , vibrācija filtrēta, iekļaujot tikai 0,5X; 1X un 2X ⁽¹⁾
A	< 50
B	50 – 80
C	80 – 130
D	>130

Piezīme 1: Vērtēšanas zonu robežvērtības saskaņotas ar standartu ISO 10816-7.

8.3.3.2. 8.4. – 8.6. tabulās dotās vibrāciju vērtēšanas zonu robežas nav atkarīgas no vibrāciju sensoru pievienojuma veida un virziena. Šīs vibrāciju vērtēšanas zonu robežvērtības nav piemērojamas, ja sūknis darbojas pārejas procesā (no viena darba režīma uz citu), piemēram, tam mainās ātrums vai slodze.

8.3.3.3. Pastāv īpašiem uzdevumiem ražoti sūkņi un pievienojuma veidi, kuriem saskaņā ar rotējošo elektroiekārtu ražotāju rekomendācijām var piemērot vibrācijas robežvērtības, kas ir zemākas vai augstākas nekā tabulā minētās.

8.4. Vibrāciju mērījumi ventilatoru iekārtām

8.4.1. Norādījumi mērījumiem

8.4.1.1. Vibrāciju vērtēšanas zonu robežas dotas vibroātrumam. Ir arī relatīvā vārpstas pārvietojuma kritēriji atsevišķiem lēngaitas ventilatoriem.

8.4.1.2. Mērījumu laikā ventilatoram jābūt atbilstoši pieslēgtam, jādarbojas paredzētajā darba režīmā un vidē. Rotoriem jābūt bez redzama apauguma.

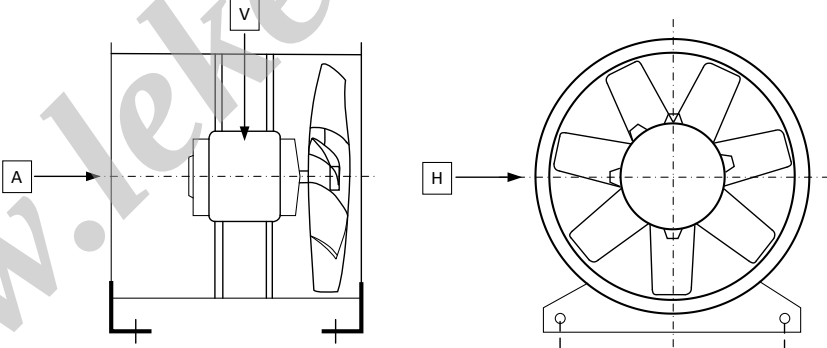
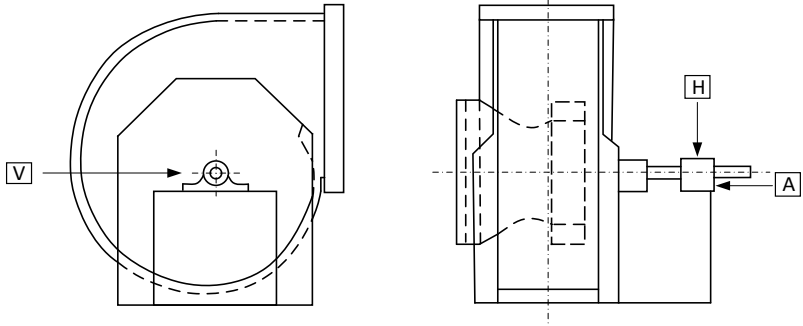
8.4.1.3. Vērtēšanas zonu robežas attiecas uz stingu (*rigid*) rotoru ventilatoriem (rotora pašsvārstību frekvence ir virs ventilatora apgriezienu frekvences). Atsevišķi augstspiediena ventilatori ar plānu, diskveida (*narrow*) rotoru, kas nav uzskatāmi par stingiem, būtu jāvērtē atbilstoši 8.6. nodaļai. Līdzīgi arī ar ventilatoriem, kas darbojas kādos īpašos apstākļos – sevišķi karstā vidē, birstošu vielu transportēšanas ventilatori utt.

8.4.2. Mērījumu vietas

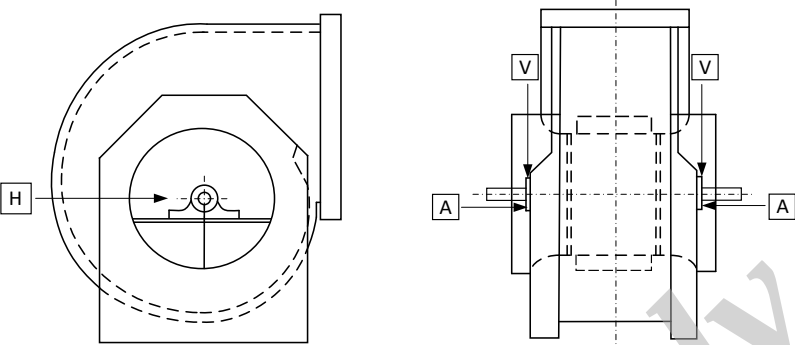
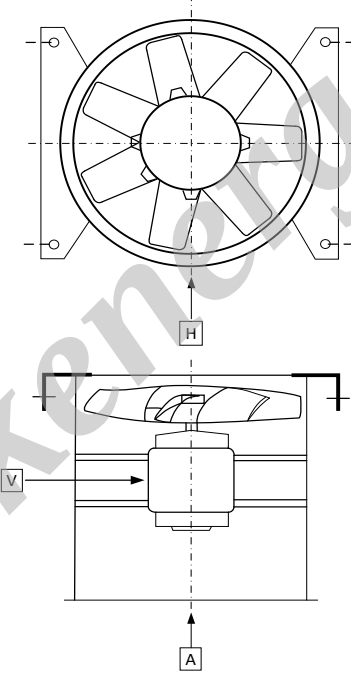
8.4.2.1. Vibrācijas sensora novietojums ventilatoru agregātiem jāizvēlas, balstoties uz ventilatora konstrukciju un gultņu izvietojumu (skatīt 8.7. tabulu).

8.7. tabula

Ieteicamās vibrācijas sensoru novietojuma vietas ventilatoriem

Nr. p.k.	Ventilatora tips	Ieteicamās vibrācijas sensoru novietojuma vietas
1.	Horizontāli uzstādīts aksiālais ventilators	
2.	SWSI (<i>Single Width Single Inlet</i>) centrbēdzes ventilators	

8.7. tabulas turpinājums

Nr. p.k.	Ventilatora tips	Ieteicamās vibrācijas sensoru novietojuma vietas
3.	DWDI (<i>Double Width Double Inlet</i>) centrbēdzes ventilators	
4.	Vertikāli uzstādīts aksiālais ventilators	

8.4.3. Vērtēšanas zonu robežas

8.4.3.1. Pēc dotajām vērtēšanas zonu robežām var novērtēt ventilatoru, kurš savienots ar elektrodzinēju. Vērtējums attiecas uz savienotu rotējošu elektroiekārtu kopumā. Ventilatoru vibrostāvokļa vērtēšanas zonu robežas dotas 8.8., 8.9. un 8.10. tabulās.

8.8. tabula

Vibroātruma vērtēšanas zonu robežas ventilatoriem ar jaudu >300 kW

Stiprinājums	Zona	vibroātrums, RMS, mm/s (rotējošām elektroiekārtām <1000 apgr./min)	vibroātrums, RMS, mm/s (rotējošām elektroiekārtām ≥1000 apgr./min) ⁽¹⁾
Uz stingas pamatnes	A	< 1,8	< 2,3
	B	1,8 – 2,8	2,3 – 4,5
	C	2,8 – 4,5	4,5 – 7,1
	D	> 4,5	> 7,1
Uz vibrāciju izolatoriem	A	< 2,8	< 4,5
	B	2,8 – 4,5	4,5 – 7,1
	C	4,5 – 7,1	7,1 – 9
	D	> 7,1	> 9

Piezīme 1: Vērtēšanas zonu robežvērtības saskaņotas ar standartu ISO 14694.

8.9. tabula

Vibroātruma vērtēšanas zonu robežas ventilatoriem ar jaudu ≤ 300 kW

Stiprinājums	Zona	vibroātrums, RMS, mm/s (rotējošām elektroiekārtām <1000 apgr./min)	vibroātrums, RMS, mm/s (rotējošām elektroiekārtām ≥1000 apgr./min) ⁽¹⁾
Uz stingas pamatnes	A	<2,5	<4,5
	B	2,5 – 4	4,5 – 7,1
	C	4 – 6,6	7,1 – 9
	D	>6,6	>9
Uz vibrāciju izolatoriem	A	<3,5	<6,3
	B	3,5 – 5	6,3 – 9
	C	5 – 7,6	9 – 12,5
	D	>7,6	>12,5

Piezīme 1: Vērtēšanas zonu robežvērtības saskaņotas ar standartu ISO 14694.

8.10. tabula

Vibropārvietojuma (vārpstas relatīvā vibrācija slīdgultnī) vērtēšanas zonu robežas ventilatoriem ar jaudu > 300 kW un apgriezieniem <600 apgr./min.

Stiprinājums	Zona	vibropārvietojums, RMS, μm
Uz stingas pamatnes	A	<29
	B	29 – 57
	C	57 – 90
	D	>90
Uz vibrāciju izolatoriem	A	<45
	B	45 – 90
	C	90 – 140
	D	>140

Piezīme: Vērtēšanas zonu robežvērtības saskaņotas ar standartu ISO 20816-3.

8.5. Vibrāciju mērījumi kompresoriem un pūtēju iekārtām

8.5.1. Norādījumi mērījumiem

8.5.1.1. Skrūvju kompresoru un rotora tipa pūtēju nerotējošo daļu vibrāciju novērtējums balstās uz mērījumiem vai vibrācijas ātruma RMS vērtības aprēķinu divos dažādos mērījumu frekvenču diapazonos (MFD-A un MFD-B frekvences diapazons). Abos frekvenču diapazonos lielākai daļai iekārtu zemākās frekvences robeža ir 10 Hz, savukārt lēngaitas rotora tipa pūtējiem tā jāsamazina līdz 2 Hz, lai iekļautu arī rotācijas frekvenci. MFD-A ir plaša frekvenču diapazona mērījums, visbiežāk sākot ar kompresora rotācijas frekvenci līdz 1 kHz un vairāk, lai iekļautu vismaz 3. pulsācijas frekvences harmoniku. Pulsācijas frekvence ir iekārtas rotācijas frekvence reizināta ar kompresora lāpstu/zobu skaitu. MFD-B ir šaurs frekvenču diapazons, kurš iekļauj kompresora rotācijas frekvenci un tās 2. harmoniku.

8.5.1.2. Izvēloties mērīšanas vietu, ir ieteicams veikt mērījumus tuvu gultnim, mērīšanas vietā piedziņas pusē un mērīšanas vietā pretējā piedziņas galā.

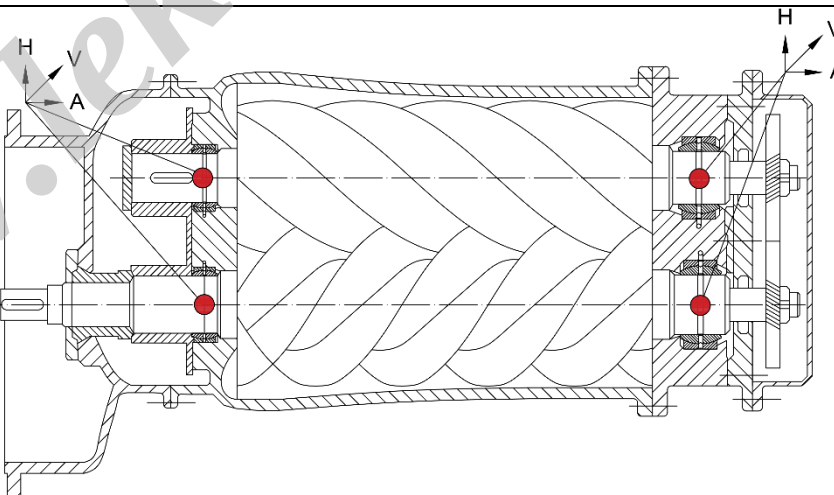
8.5.1.3. Vienmēr ir jānodrošina iespējami kvalitatīvākais vibrāciju sensoru savienojums ar korpusu, īpaši augstu vibrācijas amplitūdu gadījumā.

8.5.2. Mērījumu vietas

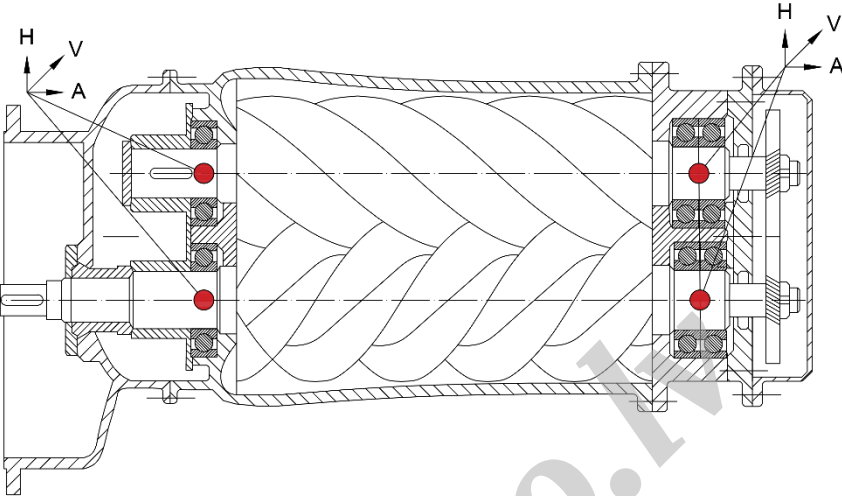
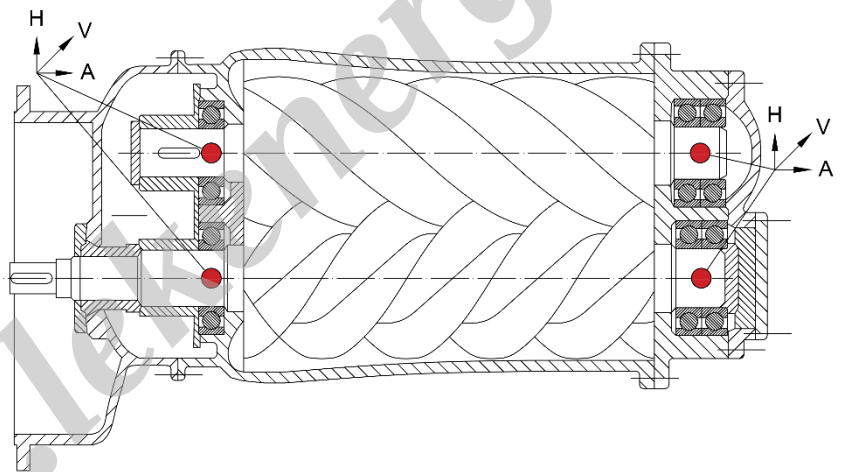
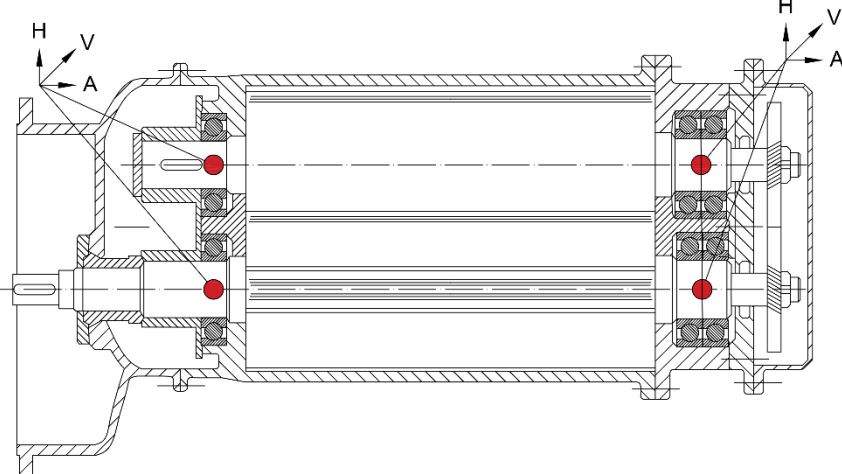
8.5.2.1. Vibrācijas sensora novietojums kompresoru agregātiem jāizvēlas balstoties uz kompresoru konstrukciju un gultņu izvietojumu (skatīt 8.11. tabulu).

8.11. tabula

Iekārtu iedalījums un ieteicamās vibrācijas sensoru novietojuma vietas

Grupa	Iekārtu tips	Ieteicamās vibrācijas sensoru novietojuma vietas
1.	Skrūves kompresori ar slīdgultņiem un iekšējo zobratu pārvalu, $P \geq 55 \text{ kW}$	 Piezīme: Ieteicams izmantot kompresora ražotāja paredzētās vibrāciju mērījuma vietas korpusā.

8.11. tabulas turpinājums

Grupa	Iekārtu tips	Ieteicamās vibrācijas sensoru novietojuma vietas
2.	Skrūves kompresori ar <u>ritgultņiem</u> vai <u>ritgultņiem</u> un <u>slīdgultņiem</u> un iekšējo zobratu pārvadu, $P \geq 37$ kW	 Piezīme: Ieteicams izmantot kompresora ražotāja paredzētās vibrāciju mērījuma vietas korpusā.
3.	Skrūves kompresori bez iekšējā zobratu pārvada, $P \geq 55$ kW	 Piezīme: Ieteicams izmantot kompresora ražotāja paredzētās vibrāciju mērījuma vietas korpusā.
4.	Rotora tipa pūtēji ar ritgultņiem un zobratu pārvadu.	 Piezīme: Ieteicams izmantot kompresora ražotāja paredzētās vibrāciju mērījuma vietas korpusā.

8.5.3. Vērtēšanas zonu robežas

8.5.3.1. Iekārtu iedalījumu, mērīšanas virzienus un vietas nosaka, pamatojoties uz kompresora vai pūtēja konstrukciju, kas dota 8.11. tabulā.

8.5.3.2. Pēc dotajiem vērtēšanas kritērijiem var novērtēt kompresoru vai pūtēju, kuri savienoti ar elektrodzinēju. Kompresoru un pūtēju vibrostāvokļa vērtēšanas kritēriji doti 8.12., 8.13. un 8.14. tabulās.

8.12. tabula

Vibroātruma zonu robežas kompresoru iekārtām mērījumu frekvenču diapazonā MFD-A

Grupa	Montāžas veids	Zona	vibroātrums, RMS, mm/s
1. un 3.	Uz stingas pamatnes	A	<7
		B	7 – 8
		C ⁽¹⁾	8 – 12
		D ⁽¹⁾	>12
	Uz vibrāciju izolatoriem	A	<8
		B	8 – 10
		C ⁽¹⁾	10 – 15
		D ⁽¹⁾	>15
2. un 4.	Uz stingas pamatnes	A	<8
		B	8 – 10
		C ⁽¹⁾	10 – 15
		D ⁽¹⁾	>15
	Uz vibrāciju izolatoriem	A	<10
		B	10 – 12
		C ⁽¹⁾	12 – 18
		D ⁽¹⁾	>18

Piezīme 1: Vērtēšanas zonu robežvērtības saskaņotas ar standartu VDI 3836.

Piezīme 2: MFD-A (~10 Hz – 1000 Hz) ietver visas raksturīgās frekvences. Diapazona augšējai robežai jābūt vismaz 1000 Hz un jāreģistrē vismaz raksturīgo frekvenču trešā harmonika.

8.13. tabula

Vibroātruma zonu robežas kompresoru iekārtām mērījumu frekvenču diapazonā MFD-B

Grupa	Montāžas veids	Zona	vibroātrums, RMS, mm/s
1., 2. un 3.	Uz stingas pamatnes	A	<1,8
		B	1,8 – 3
		C ⁽¹⁾	3 – 4,5
		D ⁽¹⁾	>4,5
	Uz vibrāciju izolatoriem	A	<2,3
		B	2,3 – 4,5
		C ⁽¹⁾	4,5 – 7
		D ⁽¹⁾	>7

8.13. tabulas turpinājums

Grupa	Montāžas veids	Zona	vibroātrums, RMS, mm/s
4.	Uz stingas pamatnes	A	<2,3
		B	2,3 – 4,5
		C ⁽¹⁾	4,5 – 7
		D ⁽¹⁾	>7
	Uz vibrāciju izolatoriem	A	<3,5
		B	3,5 – 7
		C ⁽¹⁾	7 – 9
		D ⁽¹⁾	>9

Piezīme 1: Vērtēšanas zonu robežvērtības saskaņotas ar standartu VDI 3836.

Piezīme 2: MFD-B (~10 Hz – 2.2X Hz) ir filtrēts mērījumu diapazons, kas ietver rotējošās elektroiekārtas 1X un 2X harmonikas un apraksta pamatā mehāniskos defektus.

Piemērs: Tiek mērīts kompresors ar griešanās ātrumu 2981 apgr./min (49.68Hz). Kompresora 2.2X = 2981/60*2.2=109.3 Hz. Mērījumu frekvenču diapazonu B var uzstādīt 10 Hz – 110 Hz.

8.6. Vibrāciju mērījumi citām rotējošām elektroiekārtām.

8.6.1. Mērījumu ieteikumi.

8.6.1.1. Šī daļa attiecas uz tādu rotējošu elektroiekārtu vibrāciju mērīšanu un vērtēšanu, kuras nav ietvertas 8.2. – 8.5. nodaļās. Mērīšana un vērtēšana attiecas uz nokomplektētām iekārtām, uz vietas un darbojoties normālā darba režīmā. Neattiecas uz iekārtām, kas paredzētas vibrācijas radīšanai (vibromotori u.tml.) un uz lēni rotējošām elektroiekārtām ar apgriezieniem < 120 apgr./min.

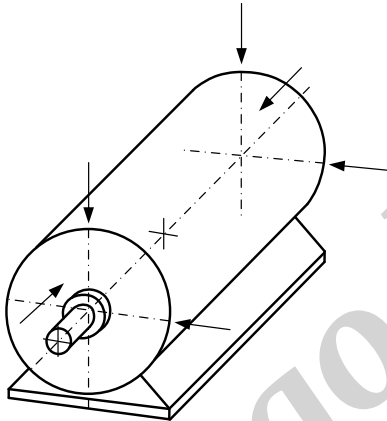
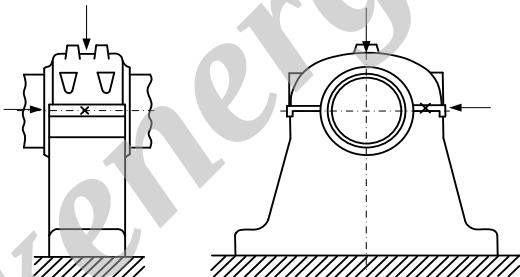
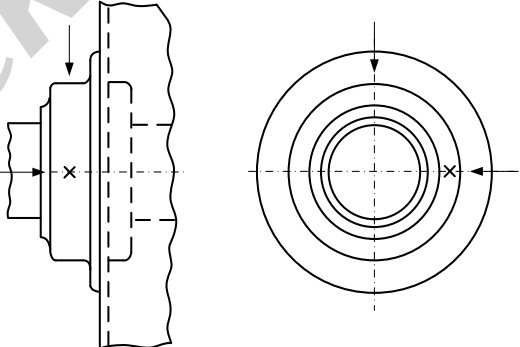
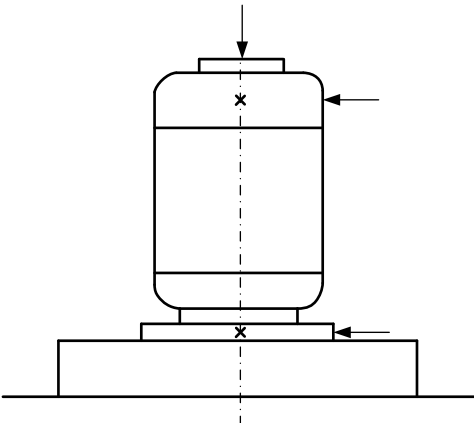
8.6.1.2. Iekārtu nosacītais iedalījums un vērtēšanas kritēriju atšķirības ir atkarīgas no iekārtas jaudas, apgriezieniem un stiprinājuma veida. Līdz 15 kW, 15 – 300 kW un virs 300 kW. Vērtēšanā ir nodalītas iekārtas uz elastīgas vai cietas pamatnes. Ar nominālo apgriezienu skaitu 120 – 1000 apgr./min un > 1000 apgr./min.

8.6.1.3. Mērījumu vērtēšanas kritēriji ir gan vibroātrumam, gan vibropārvietojumam (zem 600 apgr./min.), abos gadījumos vērtē RMS. Iekārtām, kuru nominālie apgriezieni ir zem 600 apgr./min, nerotējošo daļu vibrācijas mērīšanai un vērtēšanai ieteicams izvēlēties vibropārvietojumu.

8.6.2. Mērījumu vietas.

8.6.2.1. Mērījumu vietu izvēlē jābalstās uz vispārējiem ieteikumiem 8.14. tabulā.

8.14. tabula
Ieteicamās vibrācijas sensoru novietošanas vietas rotējošām elektroiekārtām

Nr. p.k.	Iekārtas konstrukcijas veids	Ieteicamās vibrācijas sensoru novietojuma vietas
1.	Vienota iekārta	
2.	Gultņi atsevišķi uz podesta	
3.	Gultņi korpusā	
4.	Vertikāli novietota iekārta	

8.6.3. Vērtēšanas zonu robežas

8.6.3.1. Vibrostāvokļa vērtēšanas kritēriji doti 8.15., 8.16. 8.17., 8.18. un 8.19. tabulās. Šajās tabulās norādītās vērtības pielietot, ja rotējošās elektroiekārtas ražotājs nav norādījis iekārtai piemērojamus kritērijus.

8.15. tabula**Rotējošās elektroiekārtas ar jaudu ≤ 15 kW**

Zona	vibroātrums, RMS, mm/s
A	<0,71
B	0,71 – 1,8
C	1,8 – 4,5
D	>4,5

Piezīme: Vērtēšanas zonu robežvērtības saskaņotas ar standartu ISO 20816-1

8.16. tabula**Rotējošās elektroiekārtas ar jaudu 15 kW – 300 kW**

Stiprinājums	Zona	vibroātrums, RMS, mm/s (rotējošām elektroiekārtām <1000 apgr./min)	vibroātrums, RMS, mm/s (rotējošām elektroiekārtām >1000 apgr./min) ⁽¹⁾
Uz stingas pamatnes	A	<1,1	<1,4
	B	1,1 – 1,8	1,4 – 2,8
	C	1,8 – 3,5	2,8 – 4,5
	D	>3,5	>4,5
Uz vibrāciju izolatoriem	A	<1,4	<2,3
	B	1,4 – 2,3	2,3 – 4,5
	C	2,3 – 4,5	4,5 – 7,1
	D	>4,5	>7,1

Piezīme 1: Vērtēšanas zonu robežvērtības saskaņotas ar standartu ISO 20816-3.

8.17. tabula**Vibropārvietojuma zonu robežas lēnu rotējošām elektroiekārtām ≤ 300 kW**

Stiprinājums	Zona	vibropārvietojums, RMS, μ m rotējošām elektroiekārtām ≤ 600 apgr./min
Uz stingas pamatnes	A	<22
	B	22 – 45
	C	45 – 71
	D	>71
Uz vibrāciju izolatoriem	A	<37
	B	37 – 71
	C	71 – 113
	D	>113

Piezīme: Vērtēšanas zonu robežvērtības saskaņotas ar standartu ISO 20816-3.

8.18. tabula

Rotējošas elektroiekārtas ar jaudu 300 kW – 50 MW

Stiprinājums	Zona	vibroātrums, RMS, mm/s (rotējošām elektroiekārtām <1000 apgr./min)	vibroātrums, RMS, mm/s (rotējošām elektroiekārtām >1000 apgr./min) ⁽¹⁾
Uz stingas pamatnes	A	<1,4	<2,3
	B	1,4 – 2,3	2,3 – 4,5
	C	2,3 – 4,5	4,5 – 7,1
	D	>4,5	>7,1
Uz vibrāciju izolatoriem	A	<2,3	<3,5
	B	2,3 – 4,5	3,5 – 7,1
	C	4,5 – 7,1	7,1 – 11
	D	>7,1	>11

Piezīme 1: Vērtēšanas zonu robežvērtības saskaņotas ar standartu ISO 20816-3.

8.19. tabula

Vibropārvietojuma zonu robežas lēnu rotējošām iekārtām ar jaudu
300 kW – 50 MW

Stiprinājums	Zona	vibropārvietojums, RMS, μm, rotējošām elektroiekārtām ≤ 600 apgr./min
Uz stingas pamatnes	A	< 29
	B	29 – 57
	C	57 – 90
	D	> 90
Uz vibrāciju izolatoriem	A	< 45
	B	45 – 90
	C	90 – 140
	D	> 140

Piezīme: Vērtēšanas zonu robežvērtības saskaņotas ar standartu ISO 20816-3.

9. Vibrāciju nepārtrauktā monitoringa sistēma

9.1. Monitoringa sistēmas uzstādīšana un izvēle

9.1.1. Monitoringa sistēma (datorizēta nepārtrauktas uzraudzības iekārta) ir paredzēta regulārai vibrāciju lielumu reģistrēšanai un arhivēšanai. Tās uzstādīšana ir papildus riska kontroles pasākums. Lemjot, vai nepieciešama sistēmas uzstādīšana, jāievēro racionalitātes princips un jāveic izmaksu aprēķins.

9.1.2. Uzstādītā monitoringa sistēma automātiski ievāc mērījumu datus, nepārtraukti vai definētā īsā laika periodā. Šādas sistēmas piemēro nozīmīgām iekārtām un nepieciešamības gadījumā nepārtrauktās uzraudzības iekārtai var būt paredzēta spēja rotējošo elektroiekārtu apturēt, vibrācijām pārsniedzot pieļaujamo līmeni.

9.1.3. Izvēloties monitoringa sistēmu, papildus ieteicams ņemt vērā sekojošus faktorus:

9.1.3.1. cik nozīmīga rotējošā elektroiekārta ir tehnoloģiskajam procesam;

9.1.3.2. iespējamo defektu analīze (vai defekti konkrētajai rotējošai elektroiekārtai var rasties pēkšņi un attīstīties strauji);

9.1.3.3. iespējamo remontdarbu apjoms, sarežģītība un izmaksas;

9.1.3.4. nepieciešamo mērīšanas vietu pieejamība;

9.1.3.5. plānotie iekārtas ekspluatācijas režīmi (ātrums, jauda, temperatūra, palaišanas biežums, utt.);

9.1.3.6. iespējamā ietekme uz vidi, cilvēku drošību un veselību rotējošās elektroiekārtas bojājuma gadījumā u.c. faktori;

9.1.3.7. nepieciešamie ieguldījumi datu infrastruktūrā (datu tīkls, datu drošība, datu glabāšana, programmatūra, atjauninājumu vadība, savienojumi ar citām mērsistēmām);

9.1.3.8. sistēmas ekspluatācijas personāla esamība un kompetence.

9.1.4. Nepārtrauktai monitoringa sistēmai jāatbilst 5.3. nodaļas uzskaitītām mēriekārtu prasībām. Tās pārbaudes biežumu nosaka tāpat kā mēriekārtām.

9.1.5. Mērīšanas parametru izvēle un iespējamie vērtēšanas parametri uzskaitīti 4.1.1. p. Nepārtrauktu vibrācijas kontroli var veikt arī tad, ja monitoringa sistēma uzrāda tikai vienu vibrāciju raksturojošo parametru (piemēram, platjoslas vibroātrumu, mm/s).

9.1.6. Jānodrošina, lai nepārtrauktā monitoringa sistēmai būtu iespējams regulēt mērījumu reģistrēšanas periodiskumu. Periodiskumam ir jābūt pietiekamam (jo lielāks apgriezību skaits, jo biežāk jāveic mērījumi), lai konkrētai iekārtai būtu iespējams laicīgi novērot defekta rašanos un attīstību, un prognozēt iespējamo bojājumu.

9.2. Vibrāciju novērtēšana monitoringa sistēmā

9.2.1. Vibrāciju novērtēšanai monitoringa sistēmās var pielietot gan Kritēriju I, gan Kritēriju II.

9.2.2. Ja tiek lietots Kritērijs I, nepārtrauktām mērījumu sistēmām parasti tiek iestatītas vibrāciju vērtības jeb limiti, kurus sasniedzot, nostrādā brīdinājuma un trauksmes signāli. Ja nostrādā brīdinājuma signāls, iekārtas ekspluatāciju var turpināt, kamēr nav noskaidrots bojājuma iemesls un nav definēts, kādas korekcijas tiks veiktas. Brīdinošas vērtības parasti tiek iestatītas atbilstoši C zonai. Trauksmes signālu iestata atbilstoši D zonai. Ja nostrādā trauksmes signāls, iekārtu var automātiski apstādināt.

9.2.3. Režīmos, kad rotējošo elektroiekārtu nepieciešams darbināt ar paaugstinātu vibrāciju, kas pārsniedz Kritērija I D zonu, to var darīt ar atbildīgā par energoietaisies ekspluatāciju atļauju. Tomēr, ja iekārta ilgstoši strādā stabilā darba režīmā, ekspluatācija D zonā nav pieļaujama. Ja iekārtu ar atbildīgā par energoietaisies ekspluatāciju atļauju paredzēts darbināt D zonā ilgtermiņā, tas nozīmē, ka no ekspluatācijas pieredzes ir zināms, ka konkrētai iekārtai pieļaujamās lielākas vibrācijas nekā noteiktas šajā energostandartā. Tādā gadījumā Kritērija I zonu robežas konkrētai iekārtai jāmaina saskaņā ar 2.3.2. p.

9.2.4. Ja tiek lietots Kritērijs II, tad galvenais salīdzināšanas parametrs ir vibrācijas izmaiņa laikā. Iegūtos datus analizē ar datorprogrammu palīdzību un elektroniski saglabā. Kad vērtēšanai tiek izmantots Kritērijs II, tad visiem vibrācijas mērījumiem, kuru rezultāti tiek salīdzināti laika gaitā, vibrāciju sensori mērījumu laikā jānovieto vienādi, un katru reizi jānodrošina iespējami līdzīgāki rotējošās elektroiekārtas

darbināšanas režīmi. Ja tiek atklātas nozīmīgas novirzes no ilgstoši stabila vibrāciju līmeņa, jāveic iemeslu analīze un ieteicams veikt vibrodiagnostiku.

9.2.5. Pēc regulāriem monitoringa mērījumiem, statistiski apstrādājot rezultātus, var pārskatīt brīdinājuma iestatījumus. Ja datu plūsmā nav novērojams sistemātisks vibrāciju vērtību pieaugums, sākotnējo (angļu val. "*baseline*") vibrāciju līmeni izvēlas kā vidējo no visiem iepriekšējiem mērījumiem. Ņemot vērā jauno vidējo vērtību, var mainīt brīdinājuma līmeni. Konkrēts piemērs apskatīts 2. pielikumā.

www.lekenergo.lv

1. pielikums**Piemēri vibrācijas mērījumu vērtēšanas zonu izvēlei****P1.1. Piemērs vērtēšanas zonu izvēlei rotējošai elektroiekārtai, kuras izpildmehānismam nav izstrādāti standartizēti novērtēšanas kritēriji**

P1.1.1. Tiek mērīta vibrācija rotējošām elektroiekārtām ar ritgultņiem ar jaudu 100 kW, 1470 apgr./min. Rotējošā elektroiekārta stiprināta uz stingas pamatnes. Mērījumi tiek veikti uz nerotējošām daļām – gultņu korpusiem/vairogiem. Tādā gadījumā nomērītais vibroātrums, mm/s tiks vērtēts atbilstoši 8.6. nodaļai.

P1.1. tabula

Vibrācijas zonu robežas rotējošām elektroiekārtām ar jaudu 15 kW – 300 kW un > 1000 apgr./min

Stiprinājums	Zona	vibroātrums, RMS, mm/s (rotējošām elektroiekārtām >1000 apgr./min)
Uz stingas pamatnes	A	<1,4
	B	1,4 – 2,8
	C	2,8 – 4,5
	D	>4,5

Piezīme: P1.1. tabula ir atbilst attiecīgajai daļai no 8.16. tabulas.

P1.1.2. Pieņemot rotējošo elektroiekārtu ekspluatācijā, tā vibrācijai jāatbilst A zonai.

P1.1.3. Rotējošās elektroiekārtas, kas tiek uzskatītas par derīgām ekspluatācijai ilgtermiņā bez īpašiem ierobežojumiem, atbilst B zonai.

P1.1.4. Pieļaujamās vibroātruma vērtības ilgtermiņa darbam bez ierobežojumiem būs līdz 2,8 mm/s.

P1.1.5. Ja nomērītā vērtība atrodas uz divu zonu robežas, tad pieņem, ka rotējošā elektroiekārta atrodas sliktākajā zonā, piemēram, vērtība 2.8 atbilst C zonai.

P1.1.6. Pieņemsim, ka nomērītā vērtība vibroātrumam augstāk aprakstītai rotējošai elektroiekārtai ir 3,5 mm/s. Saskaņā ar P1.1. tabulu, C zonas robežas ir no 2,8 – 4,5 mm/s.

Tātad nomērītā vērtība pārsniedz B zonas robežu par 0.7 mm/s, vērtējums ir C zonā, tātad rotējošās elektroiekārtas, kuru vibrācijas atbilst dotajai zonai, tiek uzskatītas par nederīgām nepārtrauktai ilgtermiņa ekspluatācijai.

Būtiski defekti – nepieciešama tehniskā apkope vai remonts. Tādām rotējošām elektroiekārtām tiek noteikti ekspluatācijas režīmu ierobežojumi līdz brīdim, kamēr rodas iespējas veikt remontdarbus, piemēram, rotējošo elektroiekārtu var ekspluatēt, līdz diagnostiskā ceļā tiek noskaidrots vibrācijas paaugstināšanās iemesls.

Sasniedzot C zonu, rotējošās elektroiekārtas vibrācijas jākontrolē biežāk.

P1.2. Piemērs vērtēšanas zonu izvēlei sūkņa iekārtai

P1.2.1. Tiek mērīta vibrācija sūkņa iekārtai ar jaudu 75 kW un 2978 apgr./min. Tādiem sūkņu agregātiem, kuri ir savienoti ar elektrodzinēju (sūknis atrodas tieši uz elektrodzinēja ass vai iekārtām ir stings asu savienojums), vibrāciju pieļaujamās vērtības (vibroātrumu, mm/s) visai iekārtai kopumā nosaka pēc 8.3. nodaļas.

P1.2. tabula**Vibroātruma zonu robežas sūkņiem < 200 kW**

Zona	vibroātrums, RMS, mm/s
	2. kategorija. Sūknis nav nozīmīgs
	>1000 apgr./min
A	<3,2
B	3,2 – 5,1
C	5,1 – 8,5
D	>8,5

P1.2.2. Pieļaujamās vibroātruma vērtības ilgtermiņa darbam bez ierobežojumiem būs līdz 5,1 mm/s.

P1.3. Piemērs vērtēšanas zonu izvēlei ventilatoru iekārtai

P1.3.1. Tiek mērīta vibrācija ventilatoru iekārtai ar jaudu 250 kW un 990 apgr./min., nostiprināta uz stingas pamatnes. Tādai iekārtai vibroātrums mm/s tiks vērtēts atbilstoši 8.4. nodaļai.

P1.3. tabula**Vibroātruma zonu robežas ventilatoriem ≤ 300 kW, < 1000 apgr./min**

Stiprinājums	Zona	vibroātrums, RMS, mm/s (rotējošām elektroiekārtām <1000 apgr./min)
Uz stingas pamatnes	A	<2,5
	B	2,5 – 4
	C	4 – 6,6
	D	>6,6

P1.3.2. Pieļaujamās vibroātruma vērtības ilgtermiņa darbam bez ierobežojumiem būs līdz 4 mm/s.

P1.4. Piemērs relatīvā vārpstas pārvietojuma zonas noteikšanai

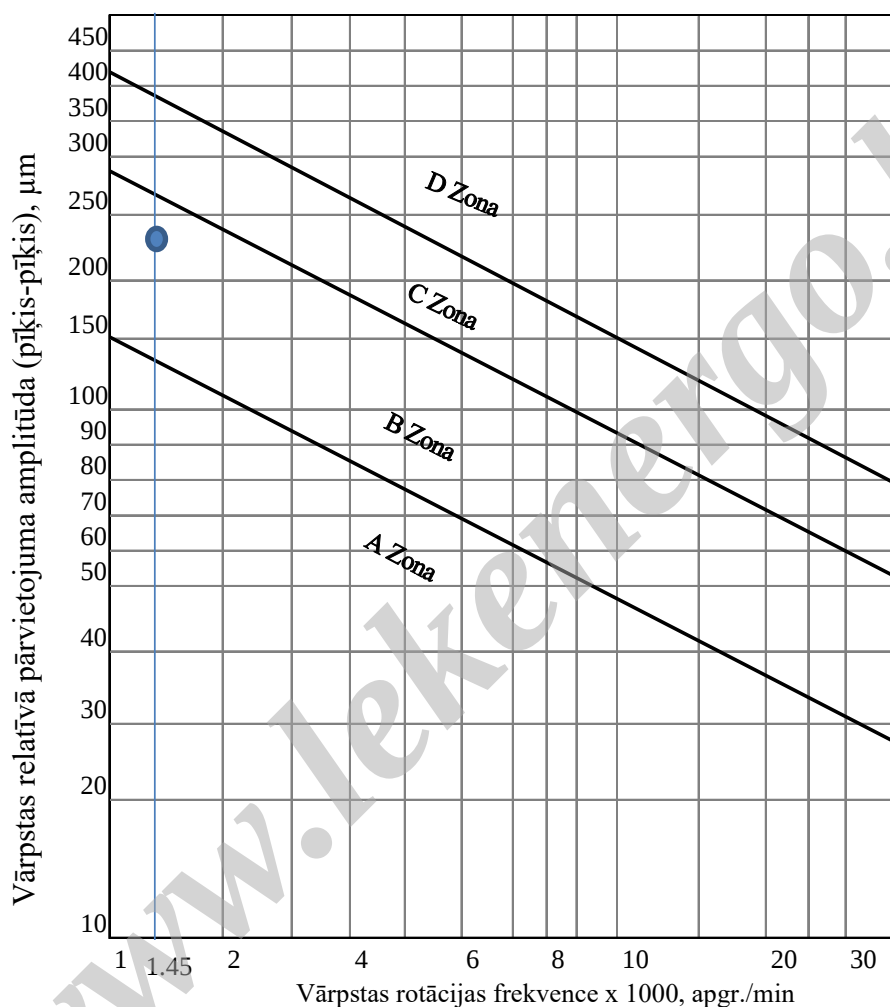
P1.4.1. Tiek aprēķināta zona vibropārvietojumam uz vārpstas, μm, rotējošai elektroiekārtai ar 1450 apgr./min. Vibropārvietojumam jāatrodas B zonā. Diagramma

un formulas novērtēšanas zonu aprēķinam ir dotas 3. pielikumā. Aprēķinātās vērtības var atšķirties no vispārīgās diagrammas.

C zonas robeža, kas nosaka lielāko pieļaujamo vērtību ilgtermiņa darbībai bez ierobežojumiem, būs vienāda ar:

$$S_{(p-p)} = 9000/\sqrt{n} = 9000/\sqrt{1450} = 236.35 \text{ (}\mu\text{m)}$$

Redzams, ka aprēķinātais vibropārvietojums nesasniedz C zonu uz P1.1. attēla diagrammas.



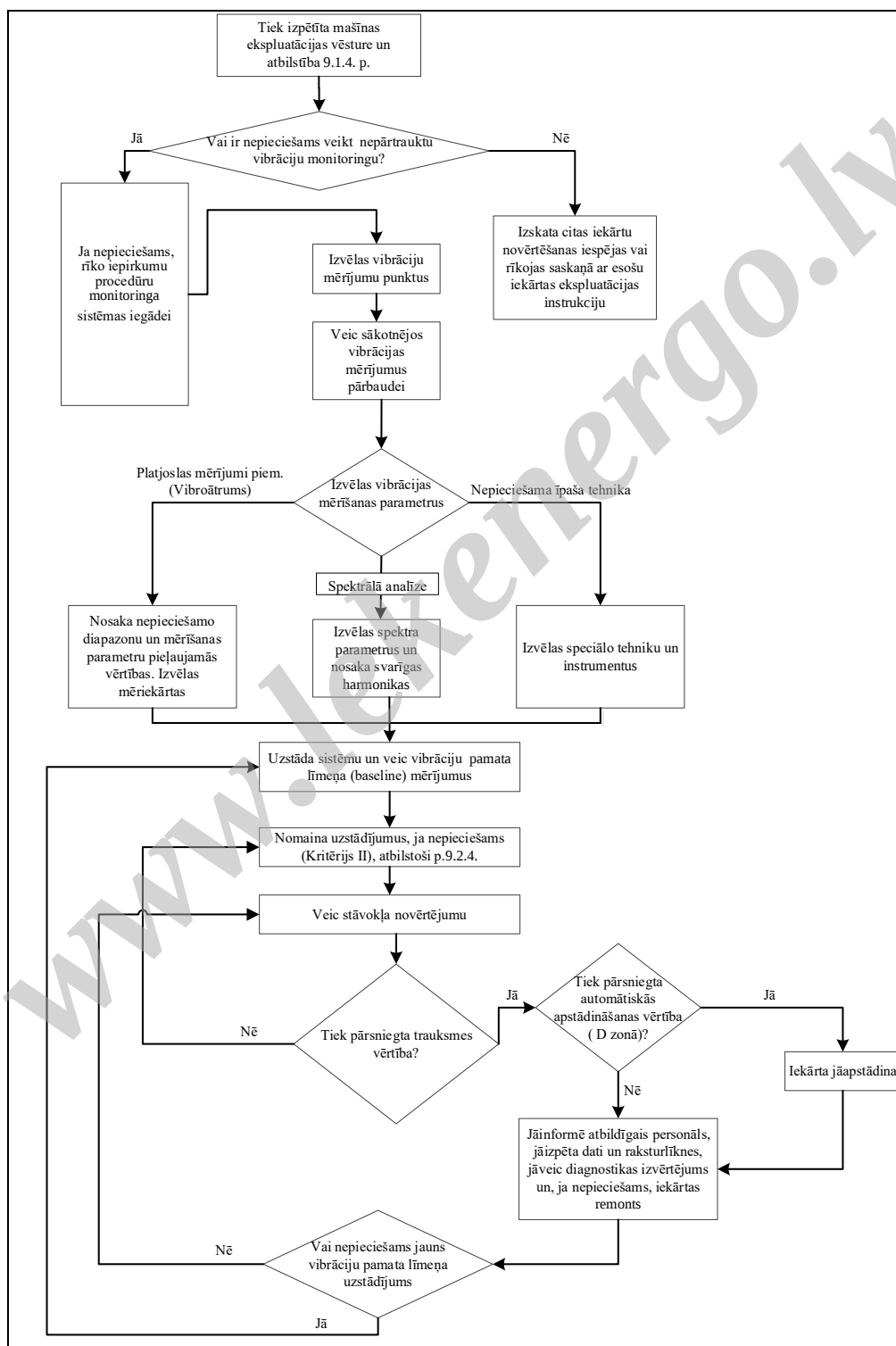
P1.1. attēls. Rotējošās elektroiekārtas ar 1450 apgr./min relatīvā vārpstas pārvietojuma B zonas noteikšanas piemērs

2. pielikums

Monitoringa sistēmas iestatījumi atbilstoši Kritērijam II

P2.1. Vispārīgi

P2.1.1. Vibrāciju monitoringa sistēmas izvēles un darbības principi, kā dati tiek iegūti un uzkrāti ilgākā laika periodā, un tos savā starpā var salīdzināt, kā arī analizēt vibrāciju izmaiņas laikā (skatīt arī standartu ISO 13373-1).



P2.1. attēls. Vibrāciju monitoringa sistēmas izvēles un darbības principi.

P2.1.2. Vibrāciju raksturlīkņu novērtēšanas piemērus pēc Kritērija II, skatīt P2.2. – P2.5. attēlos.

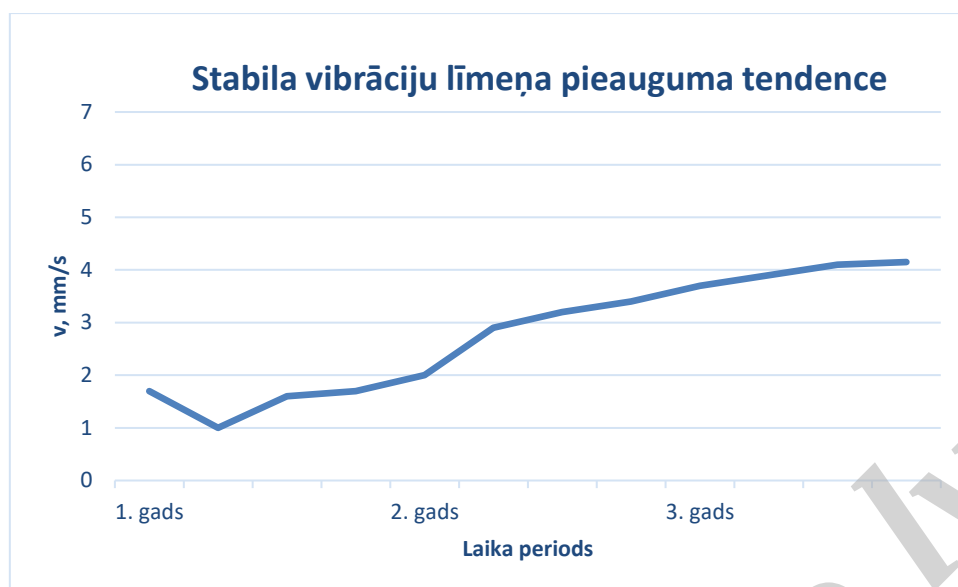


P2.2. attēls. Vibrāciju raksturlīknes piemērs stabilam kopējās vibrācijas līmenim



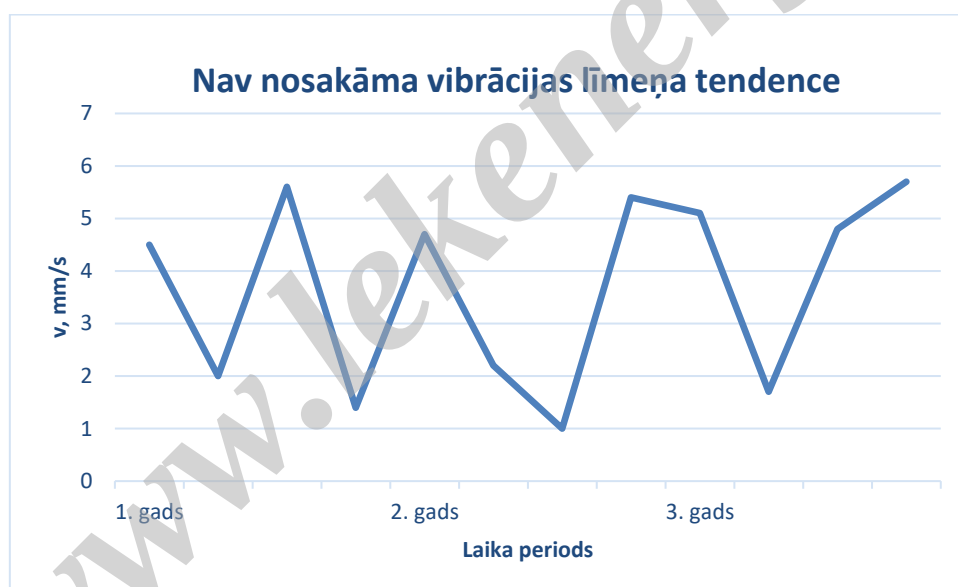
P2.3. attēls. Vibrācijas raksturlīknes piemērs ar strauju kopējās vibrācijas līmeņa izmaiņu

Piezīme: Strauja kopējā vibrācijas līmeņa izmaiņa liecina par rotējošās elektroiekārtas tehniskā stāvokļa izmaiņu, piemēram, par defekta attīstību, vai par rotējošās elektroiekārtas darba režīma izmaiņām.



P2.4. attēls. Vibrāciju raksturlīkņu piemēri. Kopējā vibrācija 36 mēnešu periodā

Piezīme: Stabils kopējās vibrācijas līmeņa pieaugums liecina par rotējošās elektroiekārtas tehniskā stāvokļa izmaiņu, visticamāk, par defekta attīstību.



P2.5. attēls. Vibrāciju raksturlīkņu piemēri. Kopējā vibrācija 36 mēnešu periodā

Piezīme: Straujas un neperiodiskas vibrācijas līmeņa izmaiņas liecina par atšķirīgiem rotējošās elektroiekārtas darba režīmiem, mērījumu veikšanas laikā, kā arī par atšķirīgiem mērījumu apstākļiem (piemēram, mērījumi veikti ar dažādām mēriekārtām, izvēlēti dažādi mērījumu parametri u.c.).

P2.2. Kritērija II lietošanas piemēri

P2.2.1. Pieņemsim, ka ir dots centrālās sūkņa ar 1500 apgr./min un jaudu 100 kW, kas atbilst 2. kategorijai (nav kritisks).

P2.2.2. Brīdinājuma robežvērtība jaunai rotējošai elektroiekārtai, par kuras gultņu vibrāciju nav informācijas, tiks uzstādīta C zonas robežās. Pasūtītājs un ražotājs var vienoties par precizētām vērtībām. Pieņemot, ka vērtības tika sākotnēji uzstādītas tuvu

B/C zonu robežai katram gultnim, piemēram, to RMS tika noteikta 5,1 mm/s. Automātiskās apstādināšanas vērtība dotajā gadījumā varētu būt 8,5 mm/s.

P2.1. tabulas

Zonu robežas vibroātrumam rotējošām elektroiekārtām, kas piedzen sūkni ar jaudu <200 kW

Zona	vibroātrums, RMS, mm/s
	2.kategorija. Sūknis nav nozīmīgs
	>1000 apgr./min
A	<3,2
B	3,2 – 5,1
C	5,1 – 8,5
D	>8,5

P2.2.3. Pēc laika lietotājs var mainīt uzstādītās brīdinājuma vērtības. Pamatojoties uz ISO 13373-1 procedūru, robežvērtību katram gultnim var noteikt, apkopojot informāciju par tā mērījumiem. Tad robeža tiks noteikta, raksturīgajai vibroātruma vērtībai pieskaitot 25 %.

1. piemērs. Brīdinājuma iestatīšana, kad nomērītā vidējā vibrācija neliela¹

Regulāri mērot vibrāciju uz sūkņa gultņa (virs 1000 apgr./min. 2. kategorija, zem 200 kW), konstatēts, ka tā ilgstoši stabilā vibroātruma RMS ir 2,5 mm/s. Tad brīdinājuma vērtību var uzstādīt kā 3,125 mm/s (t.i. $2,5 \times 1,25 = 3,125$ mm/s). Jāpārlicinās, ka brīdinājuma vērtība būtu B zonas robežās ($3,125 < 3,2$ mm/s).

Piezīme: Skatīt arī 8.3. nodaļu.

2. piemērs. Brīdinājuma iestatīšana, kad nomērītā vidējā vibrācija ir tuvu C zonai

Regulāri mērot vibrāciju uz sūkņa gultņa, konstatēts, ka tā ilgstoši stabilā vibroātruma RMS ir 4,9 mm/s. Tad $4,9 \text{ mm/s} \times 1,25 = 6,125 \text{ mm/s}$. Jāpārbauda, vai jauna aprēķinātā brīdinājuma vērtība nav lielāka par 1,25 reizēm no B zonas augšējās robežas. Dotajā gadījumā aprēķinātā brīdinājuma vērtība ir 6,125 mm/s un ir mazāka par 6,375 mm/s, tātad to var lietot kā jaunu iestatījuma vērtību.

Abos piemēros automātiskās apstādināšanas RMS nemainīsies. Saskaņā ar Kritēriju I tā paliks 8,5 mm/s, jo automātiskās apstādināšanas vērtība jau sākumā tiek uzstādīta tā, lai atspoguļotu maksimāli pieļaujamo vibrāciju, kas neizraisīs rotējošās elektroiekārtas bojājumus.

Šādi iestatītas robežas attiecas tikai uz vibrāciju stabilā darba režīmā. Pārejas procesu laikā vibrācija var pārsniegt jauna brīdinājuma signāla robežu ar noteikumu, ka tā neiesniedzas D zonā vairāk kā par 25 %. Dotajā gadījumā $8,5 \times 1,25 = 10,625$ mm/s.

3. piemērs. Brīdinājuma iestatīšana, kad vibrācija ir strauji pieaugusi

Ņemsim dotā pielikuma 1. piemēru. Sūkņa gultnim raksturīga vibroātruma RMS bija 2,5 mm/s, un tam uzstādīja brīdinājuma vērtību 5,1 mm/s (C zona). Pēc Kritērija II nomērītai vibrācijas vērtībai jāpievērš uzmanība, ja tā pieaugs par 25 %, kaut arī

nesasniegs *C* zonu. Tātad uzmanība būs jāpievērš, ja vibrācija sasniegs 3,125 mm/s ($2,5 \times 1,25 = 3,125$).

Piemēram, tiek konstatēts, ka vibrācija ir 4,5 mm/s. Pieaugums ir nozīmīgs, jo tas ir daudz lielāks par 25 %.

$$(4,5 - 2,5) / 2,5 \times 100 \% = 80 \%$$

Lēmums par turpmāko rīcību tiek pieņemts, izvērtējot:

- vai pieaugusi nomērītās rotējošās elektroiekārtas vibrācijai ir jauna stabila vērtība, vai arī tā turpina augt;
- vai iekārtai tika veikts remonts, un vibrācija varēja rasties nepareizas montāžas rezultātā;
- vai nomērītā vērtība jau par 25 % iesniedzas *C* zonā pēc Kritērija I.

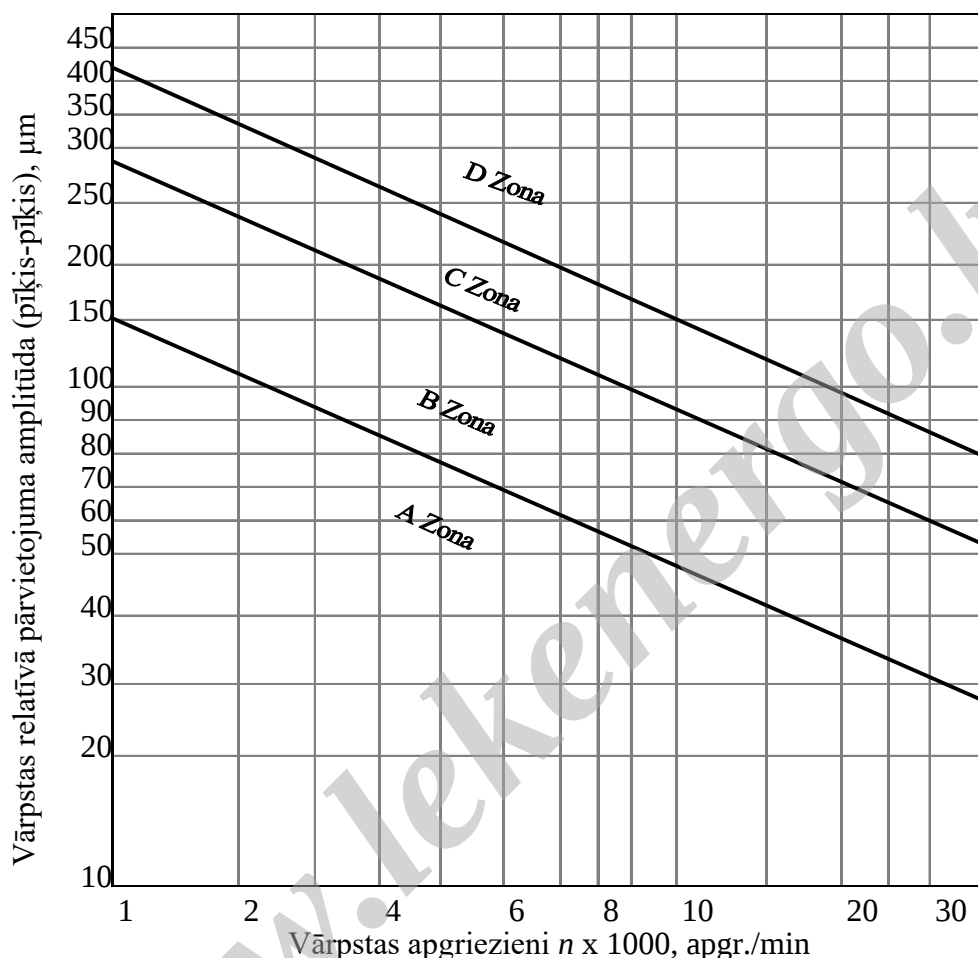
Ja uz vienu no augstāk minētajiem jautājumiem var atbildēt apstiprinoši, jāveic situācijas analīze un nepieciešamie mērījumi, lai noskaidrotu vibrācijas patieso pieaugšanas iemeslu. Ja nomērītā vērtība iesniegsies *C* zonā, būs jāveic darbības tāpat kā, sasniedzot *C* zonu, vērtējot vibrāciju pēc Kritērija I (skatīt 2.3.1. p.). Konkrētajā gadījumā jauna vērtība ir sākotnējās *B* zonas robežās, tāpēc turpmākā rīcība būs atkarīga no tā, vai vērtība turpinās augt vai nē. Ja vērtība "nostabilizējas", un vairs neaug, tad var uzstādīt jaunu brīdinājuma vērtību, kā aprakstīts dotā pielikuma 2. piemērā. Ja vibrācija tomēr turpina augt, tad jāveic darbības, kas uzskaitītas 4.2. nodaļā, lai noskaidrotu, kāds ir izmaiņu iemesls.

3. pielikums

Vērtēšanas zonu robežas vārpstas pārvietojumam

Vērtēšanas zonu robežas vārpstas pārvietojumam pielieto mērījumiem uz rotējošām daļām. Vērtēšanas kritērijus var noteikt gan pēc P3.1. attēla, gan pēc zemāk dotajām formulām.

Piezīme: Skatīt arī standartu ISO 20816-3.



P3.1. attēls. Rekomendētās zonu robežas vārpstu relatīvās vibrācijas novērtēšanai

Lai noteiktu konkrētas rotējošās elektroiekārtas vārpstu relatīvā pārvietojuma zonu robežvērtības, tad izmanto:

$$B \text{ zonas robežas noteikšanai : } S_{(p-p)} = 4800/\sqrt{n},$$

$$C \text{ zonas robežas noteikšanai: } S_{(p-p)} = 9000/\sqrt{n},$$

$$D \text{ zonas robežas noteikšanai: } S_{(p-p)} = 13200/\sqrt{n},$$

kur:

S - relatīvais vārpstas pārvietojums, μm ;

n – vārpstas apgriezienu skaits, apgr./min.

Atsevišķos gadījumos robežvērtības var būt augstākas vai zemākas. Augstākas vibrācijas vērtības var būt pieļaujamas pārejas režīmos, palaižot vai apstādinot rotējošo elektroiekārtu.

4. pielikums Piemērs mērījumu programmai

P4.1. Mērījumu programmu sastāda saskaņā ar 6.2.3. p. prasībām.

P4.2. Darba programmā var iekļaut papildu informāciju, ko mērījumu ierosinātājs vai izpildītājs uzskata par svarīgu darbu veikšanai. Mērījumu programmas satura piemērus skatīt P4.1. tabulā.

P4.1. tabula

Mērījumu programmas satura piemēri

Piemērs, Nr.p.k.	Mērījumu mērķis	Mērāmā rotējošā elektroiekārta	Darbu apjoms	Terminš, periodiskums
1.	Pieņemšanas pārbaude	Siltumtīkla ūdens cirkulācijas sūknis SCS-II-6 (6 kV)	Nomērīt vibroātrumu, pārbaudīt, vai vibrācija atbilst A zonai	Konkrēts datums
2.	Kārtējā pārbaude (vibrāciju mērījums)	Recirkulācijas sūknis (0,69 kV, 290 kW)	Nomērīt vibroātrumu, veikt novērtēšanu, pārliecināties, ka vibrācija atbilst B zonai	Ik gadu IV. ceturksnis vai konkrēts datums
3.	Ārpuskārtas pārbaude (vibrāciju mērījums)	Gaisa padeves ventilators (0,69 kV, 250 kW)	Nomērīt vibroātrumu, pārbaudīt, vai vibrācija atbilst B zonai	Konkrēts datums
4.	Ārpuskārtas pārbaude (Vibrodiagnostika)	Gāzes kompresors (10,5 kV, Tips: 1SL4 456-2HY90-Z) 0EKA62AN005	Nomērīt vibroātrumu, vibroaātrinājuma apliecējfunkciju, spektru utt., lai noteiktu paaugstinātās vibrācijas iemeslu	Konkrēts datums