



TALLINNA TEHNIKAKÕRGMKOO

Andre Laanemets

**TÖÖSTUSSEADMETE
VIBRODIAGNOSTIKA
SEISUNDIPÕHISEKS HOOLDUSEKS
SKF SEADME BAASIL**

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2013

SISUKORD

Lühendite loetelu	5
Sissejuhatus	6
1. Ettevõtte tutvustus	8
1.1. Üldandmed	8
1.2. Majanduslikud andmed	9
1.3. Tootegrupid	9
1.3.1. Laagrid	9
1.3.2. Tihendid	11
1.3.3. Mehatroonikakomponendid	12
1.3.4. Määrded ja määrdepumbad-pritsid.....	12
1.3.5. Teenused.....	12
1.3.6. Jõuülekande tooted.....	12
1.3.7. Tööriistad	13
1.4. Keskkonnasäästlikkus	13
2. Vibratsioon ja selle tulemused	14
3. Vibratsiooni mõju laagritele.....	15
4. Hoolduse erinevad liigid	17
4.1. Reaktiivne hooldus ehk „Tulekahju kustutamine“.....	17
4.2. Ennetav hooldus	18
4.3. Seisundipõhine hooldus.....	19
5. Vibratsiooni analüüs.....	21
5.1. Vibratsioonimõõtjad.....	21
5.2. Microlog AX	22
5.3. SKF @ptitude Analyst	22

6. Seadmega teostatud tööde tulemused.....	24
6.1. Mõõtlmine 1	24
6.2. Mõõtlmine 2	28
6.3. Mõõtlmine 3	33
6.4. Mõõtlmine 4	37
6.5. Mõõtlmine 5	40
6.6. Tulemuste analüüs.....	42
Kokkuvõte	44
Summary	46
Viidatud allikad	48
Lisad	50

LÜHENDITE LOETELU

SKF – Svenska Kullagerfabriken (Rootsi Kuullaagrivabrik)

MTBF – Mean Time Between Failures (Hooldusvälp)

BPFO – Ball Pass Frequency Outer (Veerekeha pöörlemissagedus üle välissaales oleva defekti)

BPFI – Ball Pass Frequency Inner (Veerekeha pöörlemissagedus üle sisesaales oleva defekti)

DSP – Documented Solutions Program (Dokumenteeritud lahenduste programm)

gE – Enveloped Acceleration (Mähiskõvera meetodil arvutatud vibratsioon)

TWA – Time Waveform Analysis (Ajaspektri analüüs)

MTTR – Mean Time To Repair (Prandavate tegevuste läbiviimiseks kuluv aeg)

FFT – Fast Fourier Transform

RMS – Root Mean Square

SISSEJUHATUS

Enamus tooteid meie ümber, mida kasutame igapäevaselt on valmistatud tehastes, kus käib pidev masstootmine. See tähendab, et tööstusseadmed, mis tooteid valmistavad on pidevas töös. Enamikel tööstuseadmetel, mis midagi valmistavad või seadmed, mis käitavad teist seadet kasutavad oma töö sooritamiseks veere- ja liugelaagreid. Töö käigus saavad kõige rohkem koormust laagrid, mida võib lugeda seadmete üheiks kriitilistemaks punktideks. Seetõttu on paljud töö seisakud seotud laagrite tõrkega. Isegi kui tegemist ei ole tõrkega, tuleb laagrite vahetust seadme juures esile kõige tihedamini. Laagrid on kulukomponendid. Igakord kui vahetatakse välja laager, kulutatakse selle peale raha, nii laagri enda kui ka tööaja ja-kulu peale, mis tekib seda tööd tehes. Paljudel juhtudel vahetatakse ära laager enne tema purunemist ehk ennetatakse tõrget vältimaks plaaniväliseid seisakuid. Selline strateegia on õige suunaga, sest plaanivälised seisakud on kulukad. Ennetamine toimub vastavalt kogemustele või seadme valmistaja poolt etteantud aja tagant. Väga tihti on laagri tegelik kulumine väiksem kui lubatud ning see laager võiks oma tööd jätkata veel mõned kuud. Sellega aga ei riskita, sest on väga raske advekaatselt hinnata laagri tegeliku seisundit.

Mitmekümneid aastaid tagasi ja siiamani osades tööstustes kuulatakse kruvikeerja või muu detailiga laagri sisehelisid, et tuvastada ebanormaalseid helisid laagri sisekeskkonnas. Selline meetod ei ole väga usaldusväärne ning sõltub suuresti kuulajast. Seega võib suureks probleemiks välja tuua tööstusseadmete laagrite tegeliku seisundi teadlikkuse. Kui on teada tööstusseadme laagri tegelik seisund, on võimalik selle abil paremini planeerida hooldusi, hoida kokku laagrite kulutustelt ja paljudel juhtudel isegi pikendada laagrite tööaega. Tegeliku seisundi hindamiseks sobib väga edukalt vibrodiagnostika, mis kujutab endast laagri vibratsiooniparameetrite analüüsimist. Selle abil on võimalik hinnata laagrite tegelikku seisundit ning lugeda välja disbalansi ja mittejoondatuse tunnuseid, kui tööstuseadme iseloomult on vajalikud rihm-või sidurülekanDED .

Töö eesmärgiks on uurida, kas ja kuidas saab vibrodiagnostikat kasutada tööstusseadmete hoolduseks, hindamaks laagrite tegelikku seisundit. Teadmata oma tööstusseadme ja tema töötavate

detailide tegelikku seisundit võib laagri purunemine töö käigus põhjustada kalleid töö seisakuid, lõhkuda ära tööstusseadme tähtsaid osi või isegi ohustada seadmega töötavaid inimesi. Töö on oluline, sest toob esile vibrodiagnostika kasutamisevõimalused ja –kohad. Vibrodiagnostikat on praktiseeritud ja kasutatud juba paarkümmend aastat kuid tegemist on väga keeruka ja spetsiifilise valdkonnaga ning sellelaadset diplomitööd ei ole veel tehtud.

Töö kirjutamisel on kasutatud materjail SKF andmebaasist, kes on tegelenud tööstusseadmete kulukomponentide valmistamisega nüüdseks juba üle 100 aasta. Ettevõtte pikaajaline tegevus selles valdkonnas on hulgaliselt aidanud kaasa teadmiste ja kogemuste saamiseks erinevatest tööstuseadmetest, nende käitumisest, vigade esinemisest ja paljudest muudest faktoritest.

ETTEVÕTTE TUTVUSTUS

Üldandmed

SKF on lühend Svenska Kulagerfabriken, mis tõlkes tähendab Rootsi Kuullaagrivabrik. SKF asutati aastal 1907 Rootsi inseneri Sven Winqvisti poolt, kui ta leiutas iseseaduva kuullaagri, Rootsi patent nr.25406. 1910. aastal oli ettevõttes tööl 325 töötajat ja esindus Suurbritannias. Juba aastal 1912 oli esindused 32 riigis ning aastal 1930 oli töötajaskond kasvanud 21 000 töötajani ja 12 tehase ni üle maailma. Alguse on saanud SKFist autotootja Volvo, mis loodi aastal 1926 ja oli sel ajal üks SKF-i allüksustest.. [1]

Praegu on SKF suurim laagreid tootev ettevõte maailmas, kus töötab üle 45 000 töötaja, millel on üle 100 tehase , mis laiuvad 70 riigis üle maailma. SKF Grupp koosneb üle 150 erinevast ettevõttest sealhulgas Chicago Rawhide, Economos, Jaeger Industrial ja ABBA. Suuremateks klientideks on General Electric, Rolls-Royce ja Pratt-Whitney. Lisaks on SKF sponsor F1 vormelitele ja teeb tihedalt koostööd ka Ferrariga. [1]

Majanduslikud andmed

Tabel 1. SKF majanduslikud andmed.

Asutatud	1907 a.
Töötajad	46 039
SKF esindused	140
Käive	7,9 MEur
President	Tom Johnstone
Omandatud ettevõtted	130

Tootegrupid

SKF-i esimene toode ja praegugi põhiline tootegrupp on laagrid. Peale laagrite on SKF hakanud tootma ka tihendeid, määrdeaineid, mehatroonikakomponente, jõuülekangetooteid ja pakkuma erinevaid teenuseid. Tihendid ja määrdeained on väga olulised tegurid, mis mõjutavad suuresti laagri tööd. Tihend kaitseb laagri sisekeskkonda saastatuse ja abrasiivoskaeste eest ja määrdeaine tagab piisava määrdekelme olemasolu veerepindade vahel. [2]

Laagrid

Tootevalik koosneb standardlahendustest ja erilahenduslikest laagritest. Standardlahendustest on SKF laagrite tootevalik järgmine:

- **Soonega kuullaagrid**, ühe- ja mitmerealised, õliga määritud, suletud või lahtised, võimalik ka roostevabad.
- **Y-laagrid**, lukustuskruviga või ekstrentrilise kinnitusega.
- **Nurkkontakt kuullaagrid**, ühe- ja mitmerealised, energisäästlikumad mudelid saadaval.

- **Iseseaduvad kuullaagrid**, koonuspuksiga.
- **Tugikuullaagrid**, ühe-või kahe-suunalised.
- **Nurkkontakt tugikuullaager**
- **Silinderrulllaagrid**, ühe-või mitmerealised (kuni 6 rida), kaheosalised.
- **Nõellaagrid**
- **Kombineeritud laagrid**
- **Koonusrulllaagrid**
- **Sfäärilised rulllaagrid**
- **Toroidrulllaagrid CARB**
- **Tugirulllaagrid**, Sfäärilised, silinder, koonus jne.

Erilahenduslikud laagrid:

- **Sensoriga laagrid**- Võimalik jälgida integreeritud sensori abil pöörlemiskiirust, vibratsiooni, temperatuuri jne. Samuti edastada signaale, mida vaja, et peatada või alustada laagri vedava komponendi tööd. Kasutatakse näiteks uuematel sõiduautodel, millel on start-stop süsteem.
- **Hübriid laagrid** – Sõna hübriid viitab , et tegemist on kahe erineva materjali koosliitmisel tekkiv koost. Laagri eripära seisneb keraamilistel kuulidel, tavaliste teraskuurlide asemel, mis on kõvema pinnakõvaduse ja kuni 40% väiksema massiga. Pinnakõvaduse kasulikkus seisneb selles, et kui laagri sisekeskkonda satub mustuse osakesi, siis kuul surub sodi veereteesse, mis aitab vältida selle sama osakese kahjulikkust teistele komponentidele. Võimalik ka kasutada ainult ühte keraamilist kuuli, mis annab aga märkimisväärse eluea pikenemise võrreldes tavalaagriga.
- **INSOCOAT laagrid** - Tegemist on erilahenduslike laagritega, mille ülesanne on isoleerida elektrivoolu läbilööki läbi laagri veerekehade. Elektri läbilöögil läbi veerekehade , tekib kahe

kontaktpinna vahel kaarleek keevitus efekt, ning see rikub ära laagri veerepinnad. Tänu plasmapiindamisele ja erilisele pindamismaterjalile, on võimalik seda vältida, kattes pindega sise- või/ ja välissaale.

- **Kõrgetemperatuurilised laagrid** – Standardlaagrite töötemperatuur piirdub 120 kraadiga Celsiuse skaalal. Kõrgtemperatuurilised laagrid taluvad temperatuute kuni 350 kraadi Celsiuse skaalal. See saavutatakse tänu erilahenduslikule grafiitseparaatorile, mis tagab veerelementide määrimise kuivmeetodil. Samuti on spetsiaalselt töödeldud ka veerelemente ja laagri sise- ja välisvõru. Võimalik on pindade fosfaatimine.
- **Laagrid tahke määrdega (Solid Oil)** – Laagrite üks eluea määraja on määrdeaine, kuid määrdeainele on seatud piirid, näiteks temperatuur, millest alla poole määrdeomadused halvenevad. Solid Oil e. tahke määrdega laagrid, kasutavad veerelementide määrimiseks tahkesse maatriksisse pressitud õli, mis hõõrdumise mõjul tagavad piisava määrimise. Kasutatakse külmades, niisketes ja mustades keskkondades ning samuti kohtades, kuhu on raske ligipääseda või kus on ohtlik teostada käsitsi määrimist.
- **Polümeerlaagrid** – Nagu ka nimigi ütleb on need laagrid valmistatud polümeerist. Sise- ja välisvõru on valmistatud polümeerist ja veerekehad võivad olla valmistatud, kas roostevabast terasest, klaasist või komposiitmaterjalist.

Tihendid

Tihendid on väga olulised komponendid kaitsmaks laagri sisekeskkonda saastumise eest. 14% laagri enneaegsetest tõrgetest on seotud halva tihendusega, sest selletõttu satub laagri sisekeskkonda mustust ja sodi.[10]Erinevaid tihendeid ühele laagriale võib olla mitmeid ning see oleneb vägagi palju keskkonnast, kus laager peab töötama. Kasutades valesid tihendeid, ei tagata laagri töötmiseks vajalikku keskkonda ning laagril võib esineda enneaegseid tõrkeid. Samamoodi nagu laagreid on väga palju erinevaid, on ka tihendeid ning SKF-i tootevalikust leiab völlitihendeid, varretihendeid, V-tihendeid, kolvithendeid jne. Lisaks on olemas võimalus toota erilahenduslike tihendeid vastavalt joonisele või standard tihenditüübile. Seda just sellepärast, et alati ei ole töötingimused ja koormused samad, kui oli algselt projekteeritud. Sellisel juhul on võimalik valmsitada erimaterjalidest tihendeid, mis taluksid vastavaid töötingimusi, mitte ei puruneks ega vananeks enneaegselt.

Mehatroomikakomponendid

Mehhatroomika on mehaanika-, elektroonika- ja infotehnoloogiliste süsteemide (samasuunalist) koostoimet käsitlev tehnikaala. [8] Mehhatroomikat saab kasutada hüdro-ja pneumosüsteemide asendamiseks. Eelisteks on vaikne ja kiire töö, kuid miinusteks olenevalt mehatroomikakomponendi liigist võib välja tuua tema jõuekuse. SKF-i mehatroomika tootevalik koosneb aktuaatoritest , kuul- ja rullkruvidest, lineaarjuhkutest jne.

Määrded ja määrdepumbad-pritsid

Määre on samuti väga oluline komponent tagamaks laagri pikaajalist ja tõrgeteta tööd. Ligikaudu 36% laagrite enneagsetest tõrgetest on seotud vale määrimisega[10] Määre kõige tähtsam omadus on tagada piisavalt paks määrdekelme metalsete pindade vahele, et ei tekiks metall-metall kontakti, mis on üheks laagri enneagse kulumise põhjuseks. Määre tuleb valida tingimuste järgi, milles laager peab töötama, sest töötingimused on väga erinevad ja tagamaks laagri korrektset tööd tuleb kasutada ka õiget laagrimääret. SKF-i tootevalikus on nii õlid kui ka määrded ja töövahendid nende käsitlemiseks. Süsteemidest saab esile tuua keskmäärdesüsteemid ja ketimäärimissüsteemid, mis tagavad pideva ja optimaalse määrimise.

Teenused

Teenused on SKF-i poolt teostatavad tegemised, millega tööstused ise nii hästi hakkama ei saa või ei ole neil seadmeid ega kogemusi. Eesmärk on aidata tööstustel saavutada efektiivsem tootmine, aidates joondada võlle ja rihmarattaid , mõõdistades laagrite vibratsiooni, pakkuda erinevaid treeninguid tööliste koolitamise, et sooritatud töövõtted oleksid korrektse jne. Suuremas pildis, vaadeldes tervet tehast tervikuna, saab välja tuua ka teenuse, millega aidatakse ettevõttes rakendada süsteemi, kus hallatakse ettevõtte ladu, seadmete kriitilisust, töökäsku ja nende arhiveerimist , logistikat, tõrgete ennetamist, määrete valikut jne.

Jõuülekanne tooted

Ülekannete (ka jõuülekanne, transmissioon) all mõistetakse seadmeid, mis võimaldavad mehaanilist energiat üle kanda vahemaa tagant ning seejuures muuta pöördemomente, jõude, kiirusi või liikumise iseloomu. Töömashinate käitamiseks on vaja energiat, mida toodavad jõumashinad. See energia antakse jõumashinalt töömashinale tavaliselt üle pöörleva võlliga. Siinkohal peab mainima, et

pöörlemisliikumine on tehnikas kõige rohkem levinud. Kuid jõumasina võlli vahetu ühendamine töömasina võlliga ei ole alati võimalik ega ka otstarbekas, seepärast asetatakse nende vahele eriseadmed, mida nimetatakse ülekanneteks.[9] SKF-i tootevalikus on erinevad kiil- ja hammasrihmad, samuti rihma- ja ketirattad , hammasvööd , erinevad siduriülekanded jne.

Tööriistad

Tööriistad on väga olulised osad laagrite ja teiste detailide paigaldamiseks ja demonteerimiseks. Umbes 16% laagrite enneagsetest tõrgetest on seotud laagri vale paigaldamisega.[10] Kasutades õiged tööriistu ja töömeetmeid on väiksem võimalus laagri enneaegse tõrke esinemiseks. Tööriistad on samuti ka vahendid ja seadmed tõrgete ennetamiseks nagu näiteks, termokaamerad, vibratsioonianalüsaatorid – ja mõõtjad , ultrahelimõõtjad, stetoskoobid, termomeetrid jne. Laagrite korrektseks paigaldamiseks pakub SKF külmpaigaldusabinõusid , induktsoonkuumuteid, erinevaid tõmmitsaid jne.

Keskkonnasäästlikkus

Esimesed sammud keskkonnasäästliku tootmise ja ettevõtte põhitegevuse kohta tehti aastal 1989, kui ettevõtte siseselt pandi paika „ Keskkonna, tervise ja ohutuse poliis“. Lisaks oli SKF esimene ülemaailmne laagritootja, kellele omistati 1998. aastal sertifikaat tootmisele, mis vastab standardile ISO 14001. [3] Sellest saadik alates on ettevõtte püüelnud efektiivsema tootmise poole ning üritanud seda sama mõttelaadi edastada ka muudes valdkondades. Ettevõtte südameasjaks on vähendada tootmisele kuluvat materjalide hulka, tootmisprotsessidest ülejääva „prahti“ ja arvestada kõikide käikude mõju keskkonnale ning sellest tulenedes teha optimaalseid valikuid parema keskkonna tagamiseks. Selleks, et olla juhtiv ülemaailmne laagritootja , tuleb arvestada ressurside nappust isegi siis kui seda ei ole, sest mida väiksema hulgaga suudetakse saada sama väljund seda vähem tekib prahti ja üleliigset energiakulu, tänu millele saastub vähem ka keskkond meie ümber.

VIBRATSIOON JA SELLE TULEMUSED

Vibratsioon on masinates, mehhanismides, konstruktsioonides jm. toimuv mehhaaniline võnkumine.

Iga osa seadmes vibreerib oma sagedusega. Kui seade töötab on kõikidel seadme osadel esilekutsutud vibratsioon. Olenevalt seadme tööst võib vibratsioon olla väga suur , näiteks vibrosõeltel, või väga väike , näiteks puidufreesi spindlitel. Seadme väljund ja tööolemus määrab suuremas osas lubatud vibratsiooni normid. Need paika pandud ka ISO standarditega ning seal on samamoodi need tuletatud masinaklassist ja seadme töökiirusest.

Vibratsioonitulemusi ei pruugi näha või tuvastada samamoodi kui seda saab teha löögi tagajärgi vaadeldes. Tihtipeale ei mõisteta vibratsiooni mõjutusi seadme komponentidele. Lihtne näide on vibreerivast alusest, mis on kinnitatud poltidega. Mingi hetk ei suuda polt enam alust kinni hoida ning alus hakkab loksuma. Sama juhus on ka keerukamate seadmetega. Igasugune vibratsioon kallutab seadme liikuvaid komponente kõrvale nende tavalisest töötrajektooriga. Sama kehtib ka mitteliikuvate osade kohta, mis hakkavad liikuma kuigi nende ülesanne see ei ole. Niisamuti, kui seadmetele mõjub vibratsioon halvasti, tekitab see inimestele vibratsioonitõbe, mis omakorda näitab, et mitte miski ega mitte keegi ei ole kaitstud vibratsiooni eest. Võttes seda arvesse on võimalik vibratsiooni vähendada , kasutades vibratsiooni absorbeerivaid patju ja ennetades vibratsioonimõjul tulenevate tõrgete esinemist ennem, kui nad põhjustavad seadmete või töö seisaku.

Laagrite eluiga mõjutab vibratsioon piisavalt, et seda võimalikult palju ära hoida. Kujutagem ette sportlast, kes peab jooksuma 4000 m. See teeb umbes 10 staadioniringi. Sportlane jookseb enda tavakiirusega kuid teda mõjutab veel üks faktor, külgtuul, mis pidevalt muudab suunda. Sportlasel on raskendatud enda trajektoori hoidmine ning ta peab kulutama energiat hoidmaks ennast trajektooriga mitte kõrvale kalduma . Sarnane situatsioon on ka laagri veerekehadel, mis peavad taluma vibratsioonist tulenevaid jõude, et tagada piisav töösooritusvõime. Igasugune plaaniväline jõudude talumine, vähendab laagri eluiga. Kui laager ei ole mõeldud talumaks vibratsioone siis on ilmselge, et seda tehes, tema eluiga väheneb.

VIBRATSIOONI MÕJU LAAGRITELE

Mitte ükski asi ei ole igavene. Laagrid kuluvad pidevalt, kui nad on tööolukorras. Laagrite kulumine on vältimatu ning selle ärahoidmine on võimatu. Tihtipeale saab laagritele saatuslikuks hoopis tõrge. Tõrge, mis saanud alguse kas siis tehnikute veast või vale laagri, tihendi või määride valikust. On igale inimesele mõistetav, et toode peab sobima sinna keskkonda kuhu ta ka lõpuks reaalselt tööle pannakse.

Eelnevalt on väljatoodud vibratsiooni kahjulikkus seadmetele ja samuti ka laagritele. Tuleb mõista, et kui laager asetseb pidevalt vibreerivas keskkonnas, jäävad laagri veerekehadele, sise-ja välissaaltele silmnähtavad defektid ning kui defekt on juba silmaga märgatav siis avaldab ta suurt mõju seadme tööle. [4] Näitena saab kasutada erineva pinnakattega sõiduteid, kus sõites liiklusvahendiga uue asfaltiga kaetud teepinnalt veidi vanema ja kulunud asfaltiga pinnale. Kuigi nende kahe teekatte pind ei ole silmnähtavalt erinev, tunneb kohe selle muutust sõiduvahendis. Samasugune olukord on ka laagri sees, kus uue laagri veerepind on sile ja väikese pinnakaredusega ning kulunud või defektiga laager siiski väikese pinnakaredusega kuid mitte enam nii väikse pinnakaredusega ja tänu sellele kõrgeneb laagrisisene vibratsioon, mis omakorda kahjustab lisaks laagrit ja seadet või masinat ning selle komponente.

Vibratsioon mõjub kuullaagritele pehmemalt, kui rullaagritele, sest veerekehaks on kuul, mille liikumissuund võib olla ükskõik milline. Tihtipeale tekitab vibratsioon tõrkeohte olukordades, kus seade ise ei tööta, vaid kõrvalolevad seadmed oma tööolekus vibreerivad ja see kandub edasi mittetöötava seadme laagritele. Samuti võib esineda sarnast situatsiooni laagrite või seadmete transpordil, kus sõiduk sõites samuti vibreerib ning see kandub edasi seadme laagritele ja võib tekitada silmaga nähtavaid defekte. (vt. Pilt 1)

Vibratsiooni mõju rullaagritele on suurem, kui kuullaagritele kuna laagri sees olevad veerekehad on rullid ning neil on ainult üks suund, milles nad saavad liikuda. Vibratsioon paneb nad külgsuunas libisema, mis tekitab veerepindadele sooned(vt. Pilt 2 ja Pilt 3) Laagri töötamisel veerevad veerekehad üle soonte ja tekitavad kõrgenenud vibratsiooni ning teatud aja pärast tekitab see

väsimuskulumist ja veerepindadelt hakkab kooruma metallitükikesi, mis omakorda kahjustavad laagri teisi detaile ja takistavad laagri normaalset tööd.



Pildil 1 on kujutatud laagri välisvõru, millel on näha vibratsioonist tekkivaid kahjustusi. Laager ei ole kordagi pöörelnud, vaid on saanud defektid ümbritsevast keskkonnast pärit vibratsioonist.

Pilt 3. Kuullaagri kahjustunud välisvõru [11]



Pildil 2 on kujutatud koonusrullaagri väisvõru, mida on kahjustanud vibratsioon. Tegemist on rullaagriga ja võrul on näha konkreetseid libisemisjälgi.

Pilt 2. Koonusrullaagri kahjustunud välisvõru [11]



Pildil 3 on kujutatud silinderrullaagrit, mis on kahjutud vibratsiooni mõjul. Laager pole töötanud kuid on pöörelnud veidi vibratsiooni mõjul ja vibratsioon on jätnud silmnähtavad rulli libisemisjäljed.

Pilt 1. Silinderrullaagri kahjustunud välisvõru [11]

HOOLDUSE ERINEVAD LIIGID

Hooldus on seadmete korraliste ja mittekorraliste tegevuste läbiviimine tagamaks tema sooritusvõimet vastavalt nõudmistele. Põhiline siinjuures on seadme sooritusvõime tagamine, mis tähendab, et seade ega tema komponent ei tohiks puruneda ning kõik komponentide vahetused tuleks teha enne tõrke juhtumist. Selline käitumine on paljudel juhtudel raskendatud, sest keegi ei oska ennustada tulevikku ette 100%-lt. Siiski on palju erinevaid meetodeid ning hooldusprogramme, milles kasutatakse ennetavaid meetmeid hindamaks seadme ja tema komponentide seisundit. Allpool on lühidalt kirjeldatud erinevate hooldusprogrammide töometoloogiad ja vahendeid, mida kasutatakse.

Reaktiivne hooldus ehk „Tulekahju kustutamine“

Reaktiivne hooldus nagu ka nimigi ütleb viitab hooldusele, kus tegevused saavad alguse mingist tõrkest või vajadusest midagi välja vahetada. Tõrkeks võib nimetada seadme komponentide purunemist või etteseadud nõudmistele mittevastamist. Tihtipeale kasutavad reaktiivset hooldust väiksemad tööstus-ja tootmisettevõtted. Reaktiivne hooldus on esmapilgul kõige odavam viis seadmete hooldamiseks. Seda just selletõttu, et kuluvahenditeks on väljavahetatavad kulukomponendid. Võimalik, et teatud tüüpi ettevõtete või seadmete puhul on kasulik kasutada reaktiivset hooldust. Mittekriitiliste sõlmede puhul on täiesti tavaline reaktiivne hooldus, kuid mida kriitilisemaks lähevad seadmed tootmises, seda suurem on kulu, kui tekivad plaanivälised hooldused. Plaaniväliste hoolduste kulu ei seisne vaid kulukomponentide hinnas vaid ka tehnikute töötunnitasudes ja tootmata jäänud toodangus.

Tüüpilised töövahendid on madalakvaliteetsed või isevalmistatud tõmmitsad. Enamus töövahendid on isevalmistatud või puuduvad üldse ning valmistatakse siis kui töökaik seda nõuab. Töö kvaliteet võib olla väga oskuslik kuid samas ka täielikult ebakompetentne. Näiliseks võrdluseks saab siinkohal tuua inimeste tavaelus kasutatavate „kulukomponentide hooldust“. Soetades omale, kulukomponendi, jalanõud, arvestame mingi ajaga kaua nad vastu peavad. Reaktiivse hoolduse metoodika puhul, ei ole mõtet jalanõusid väljavahetada enne, kui need on maksimaalselt

ärakasutatud. See tähendab seda, et jalanõusid kantakse ka augulistena kuna suurem osa on terve. On ilmselge, et selline hooldus enamikule inimesele ei sobi. Enamasti ka selliseid töömeetodeid ei leidu ja ka ettevõtted liiguvad reaktiivse hooldus pealt pigem ennetava hoolduse peale kuid kasutavad siiski teatud seadmete ja komponentide peal reaktiivseid hooldustegevusi.

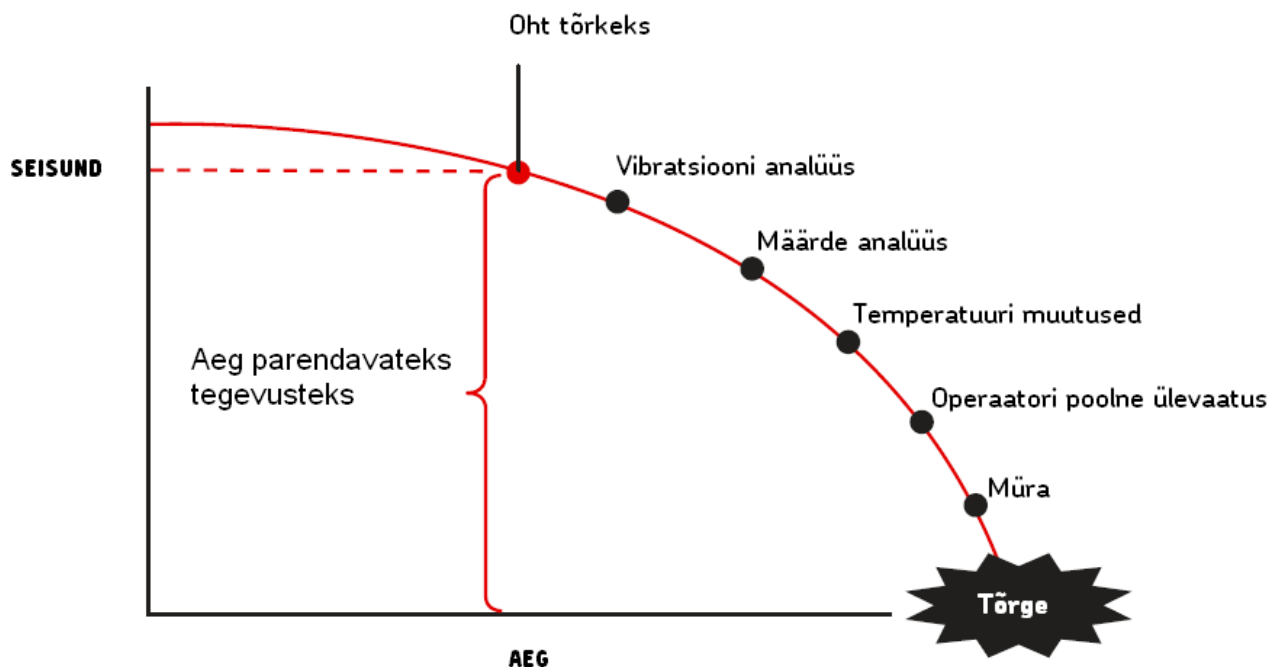
Ennetav hooldus

Ennetav hooldus nagu ka nimigi ütleb tähendab seadmete hooldust, mille aluseks on võetud tootjapoolsed soovitusel või tehniku praktilised kogemused, kus teatud ettemääratud aja tagant vahetatakse ära seadme kulukomponendid. Väga tihti kasutatakse ennetavat hooldust koos reaktiivse hooldusega, kus ennetavat hooldustööd tehakse kriitiliste seadmete peal ja reaktiivset hooldust mittekriitiliste seadmete peal. Kui tootja on omaltpoolt ette näinud laagrite või rihmade vahetuse kuue kuu tagant, siis on ettevõttel aluseks planeeritud hooldus iga kuue kuu tagant. Kui selline info puudub, siis hakkavad rolli mängima tehniku praktilised kogemused seadme kulukomponentide eluea hindamisel. Pealegi on enamasti iga tootjapoolt valmistatud seadme tegelik töökeskkond väga erinev sellest millega on tootja arvestanud. Näiteks ei ole kahe identse vibrosõela töötingimused samad Aafrikas, kus temperatuur on pidevalt 40 kraadi Celsiust ja Eesti kliimas, kus suvel on +20 ja talvel -20 kraadi. Kuigi see töökeskkonna temperatuuri ei pruugi olla väga suur, avaldab ta mõju seadme kulukomponentidele.

Ennetava hoolduse puhul kasutatakse samuti isevalmistatud kui ka professionaalseid tõmmitsaid. Küll aga ei saa siinkohal mainimata jätta, et teadmised peavad olema küllaltki head, et rakendada ennetavat hooldust seadmete hooldamisel. Senikaua kuni seadmetel on tootjapoolne garantii, on paljude ettevõtete probleemid lahendatud tootjapoolt. Kui garantiiaeg läbi saab hakatakse mõtlema võimalik odava ja vähese hoolduse peale, et selle pealt säästa. Paljudel kordadel on selline suhtumine tegelikult kulukam, kui raha investeerimine seadmete tõrgete ennetamiseks. On raske arusaada sellest, et hind ei ole samaväärne kuluga, mis kulutakse mõne seadme komponendi väljavahetamiseks. Peale komponendi ostmist tuleb seda määrada, tehnikud kulutavad selleks aega ning, kui peaks tekkima plaanivälised hooldused on kahju juba päris suur. Olenevalt seadme kriitilisusest tuleks valida, millise kvaliteediga komponent peab olema, et ta tagaks seadme vajaliku efektiivsusega töö.

Seisundipõhine hooldus

Seisundipõhine hooldus kujutab endast seadmete ja tema komponentide hooldust, millest enamus toimub vastavalt komponendi tegelikule seisundile. Tegelik seisund on komponendi mõõdistatud tulem teatud skaalal, mille abil on võimalik hinnata tema tegeliku seisukorda. Tööstuseadmete puhul on enamasti mõõdistatavaks väärtuseks vibratsioon, sest selle abil on võimalik tuvastada tõenäoline tõrge kõige varem ning aega parendavate tegevuste läbiviimiseks ja planeerimiseks jääb kõige rohkem (vt. Sele 1)



Sele 1. Erinevate seiremeetodite ennetusaeg parendavateks tegevusteks

Seisundipõhises hoolduses kasutatakse väga palju just vibrodiagnostikat, mis leiab rakendust mõne tehniku näol, kes teostab vibratsioonimõõtmisi, sisseostetava teenuse näol, kus korraliselt külastab ettevõtet vibrodiagnostik ning mõõdab kõik vajalikud punktid üle ja teeb analüüsi, või pidevseire näol, kus kriitilised seadmed on pideva jälgimise all, kas siis enda ettevõtte poolt või teise ettevõtte poolt üle võrgu. Tüüpilised ettevõtted, kes seisundipõhist hooldust kasutavad on suurtootjad, kelle seisetund on kallid ja seisakud lubamatud, näiteks energiatootmine, kaevandamine või kütuse rafineerimisjaamad. Tüüpiliselt on seadmed ja varustus sellistel ettevõtetel väga heal tasemel ning teadmiste poole pealt ka väga haritud või avatud uutele tehnoloogiatele, lahendustele ja teadmistele.

Kõik me ümber muutub väga kiirelt ja inimesed peavad pidevalt end täiendama ja teadma värskemaid töövõtteid ja tehnoloogiaid , et tagada stabiilne efektiivne tootmine. Kasutades tööstusseadmete hooldamiseks seisundipõhist hooldust tuleb pidevalt teada, mida teha , millal teha ja kuidas teha ning see tagabki pideva teadmiste uuendamise ja seadmete parema korrashoiu.

VIBRATSIOONI ANALÜÜS

Vibratsiooni analüüs on vibratsioonimõõtmistele järgnev tegevus, mille käigus, kasutades arvutiprogrammi, analüüsitakse tulemusi ja proovitakse leida tõrgete algpõhjuseks olevaid defektide sagedusi. Arvutiprogrammi kasutamine lihtsustab ja kiirendab tehtavat tööd mitmekordselt, sest ei ole vajalik iga laagri BPFO, BPFI, BPF jne. väljaarvutamist, vaid see on juba eelnevalt programmi andmebaasis. See on vaid üks näide mitmest, miks arvutiprogramm on analüüsiks kasulik.

Vibratsioonianalüüsiga on võimalik avastada laagrite defekte, völli ja rihma-ning ketirataste mittejoondatust, ventilaatori labade tasakaalustamatust jpm. Vibratsiooni analüüs on meetod, mis annab kõige varem märku potentsiaalsetest tõrkest ning sellepärast on üks enim kasutatavaid seiremeetodeid hoolduses. Laagrite defektide avastamiseks on kasutatud FFT-d.

Vibratsioonimõõtjad

Vibratsioonimõõtja on seade, millega on võimalik mõõta töötavate seadmete või toodete vibratsiooni. Iga seadme osa liikumine ehk võnkumine, suurendab selle osa kulumist millegi suhtes. Seetõttu on vibratsioon seadmetele väga ohtlik tegur. Vibratsioonimõõtjad suudavad enamasti mõõta erinevaid vibratsioone, alates üldvibratsioonist, kuni mähiskõvera meetodi abil arvutatud vibratsioonikiirenduseni (SKF) [7].

Vibratsioonimõõtjate eesmärk on abistada tehnikut seadmete seisukorra hindamisel, kasutades selleks ISO standardeid või tehniku kogemusi. Peab ära märkima, et vibratsioonimõõtja on seade, mis abistab ja aitab, mitte ei tee kogu tööd tehniku eest ära. Auto võib olla olemas kuid, kui sellega sõita ei oska, pole sellest ka kasu. Vibratsioonimõõtjaid on mitmeid erinevaid, alates lihtsalt vibropliiatsist lõpetades keerukate ja mitmete moodulitega vibratsioonianalüsaatoritega. Erinevus vibratsioonimõõtjate vahel seisneb mõõtmistulemuste täpsuses, andmete analüüsimisvõimalustel ja eriväärtuslike vibratsioonide mõõdistamis võimalustes. Võimalik, et vibratsioonimõõtja näitab vaid arvvaartust, kuid kallim seade suudab kuvada ka graafiliselt pildi vibratsioonikõverast. Siinkohal tulebki arvestada vajadust, milline peab olema tulemus, mis rahuldab klienti. Samuti vajadus, mis määrab kui täpne antud seade peab oma mõõtmistulemuste esitamisel olema. Tüüpiliselt kasutavad

vibratsioonimõõtjad pieso-elektrilisi andureid, mis muudavad mehaanilise liikumise elektriimpulssideks.

Microlog AX

SKF Microlog AX on vibratsioonianalüsaator, millega on võimalik ennetada laagritõrkeid kasutades selleks erineva seadistustega vibratsioonimõõtmisi. Seadmega on võimalik sooritada vibratsioonimõõtmisi eelkoostatud kava alusel ja samuti ka kavaväliselt. Antud seadmega on võimalik mõõta üldvibratsiooni, vibratsioonikiirendust, mähiskõverameetodil arvutatud vibratsiooni, nihet, temperatuuri, faasi, pinget jms. Mõõtmisi väljundeid saab kuvada mitmel kujul: üldväärtus, mähiskõver, ajaspekter, ristfaas, orbitaalspekter, nihke hälve. Kuna erinevaid sisendisignaale saab erinevalt moduleerida, siis võimaldab antud seade järgmisi signaalidmoduleerimisi: RMS, tipp, tipp-tipp, tegelik tipp või tegelik tipp-tipp.

Olenevalt tööstusseadmest on pöörlemiskiirused ja pöörlevad osad väga erinevad ning sellejaoks, et nendelt saaks koguda objektiivselt hinnatavaid andmeid on antud seadmel 4 mähiskõvera meetodil arvutatava vibratsiooni filtrit: 5Hz-100Hz, 50Hz-1kHz, 500Hz-10kHz ja 5kHz-40kHz [Seadistused mõõtmiseks]. Vahepeal on vajalik sooritada analüüsi sügavuti ning antul seadmel on võimalik seada vibrospektri resolutsiooni kuni 25 600 joont.

SKF @ptitude Analyst

@ptitude Analyst on arvutiprogramm, millega on võimalik teostada vibratsioonimõõtmistulemuste analüüsi. Programmi ülesanne on lihtsustada defektide ja vibratsiooni algpõhjuste leidmist vibrospektrist. @ptitude Analyst abistab vibrodiagnostikul leida konkreetsete laagrite defektide sagedusi ning ära määrata, milline võib olla põhjus laagritõrkeks. Analüüsi sooritades on vajalik mõõdistatud laagri tähis, et oleks võimalik välja arvutada BPFO, BPFI, BPF jne. [6] Need väärtused on mõeldud leidmaks mingit kindlat defekti laagri pindadel. Nende väärtuste eesmärgiks, kui leitakse mõni sagedus, mis viitab defektile, on tuvastada defekti võimalik algpõhjus. Programmiga on võimalik kokku panna mõõtepunktide kava, mille alusel on kiirendatud vibratsioonimõõdistamine. Ilma kavata tuleb ennem igat mõõtepunkti vibroanalüsaator seadistada ning see kulub palju aega. Programm salvestab automaatselt uued mõõtmised ning selle alusel on võimalik jälgida muutuste trendi, mis aitab välja joonistada seadmes töötava laagri tegeliku eluea.

Programmil on mitu moodulit ning sellega on võimalik peale vibrospektri analüüsida samuti ka ajaspektreid ja näha vajadusel trendide muutusi, kui mõõtmisi on sooritatud mitmeid. Ajaspekter on oluline kohtades, kus kiirused on madalad ja vibratsioon summutatud. Näitena siinkohal saab välja tuua reduktorid , kus kiirused on madalad ning tekkiv vibratsioon üpriski väike, et seda vibrospektri peal advekaatselt hinnata. Siinjuures saabki kasutada ajaspektrit , mis mõõdab vibratsiooni muutumist ajas. Leides iga teatud aja tagant korduva vibratsiooni, võib sellest järeldada hammasratta hambumise tõrke.

SEADMEGA TEOSTATUD TÖÖDE TULEMUSED

Tegemist on vibratsioonimõõtjaga SKF Microlog AX-F sooritatud vibratsioonimõõtmised, mis on kõik mõõdetud laagrikorpuste pealt, v.a. mõni üksik, mis on mõõdistatud laagri katte pealt. Iga mõõdistamise juures on täpsustavalt välja toodud mõõtühikud ning filtri , mida on kasutatud mõõtetulemuste hankimiseks. Kõikide mõõtetulemuste analüüsimiseks on kasutatud arvutiprogrammi SKF @ptitude Analyst. Igale mõõdistatud laagriale on omistatud seisund vastavalt standardile ISO 10816(vt. Lisa 3), mähiskõvera vibratsiooni väärtustest ning samuti soovitud järgnevateks tegevusteks. Iga mõõdistuse juures on analüüsitud mähiskõverat ja kui sealt on väljaloetud mõni konkreetne defekt, nt. mõra sisasaalel, siis on see samuti kommentaaridesse äramärgitud. Mõõdistatud tööde ja anlüüsi kohta on koostatud raport. Raport sisaldab mõõdistatud seadmete skemaatilist joonist mõõdistatud punktidega, tabelit, kus on värvkoodiga antud hinnang laagrite seisundile ja soovitud järgnevateks tegevusteks, kommentaarid ja selgitused, kus on kirjeldatud muid detaile, mida saab välja lugeda mähiskõveralt. Lõpetuseks on kõikide mõõdistuste ja anlüüside põhjal kokkuvõetud, mida saab vibrodiagnostikaga leida, kuidas ja kus seda kasutada ning millised on tema nõrgad küljed.

Mõõtmine 1

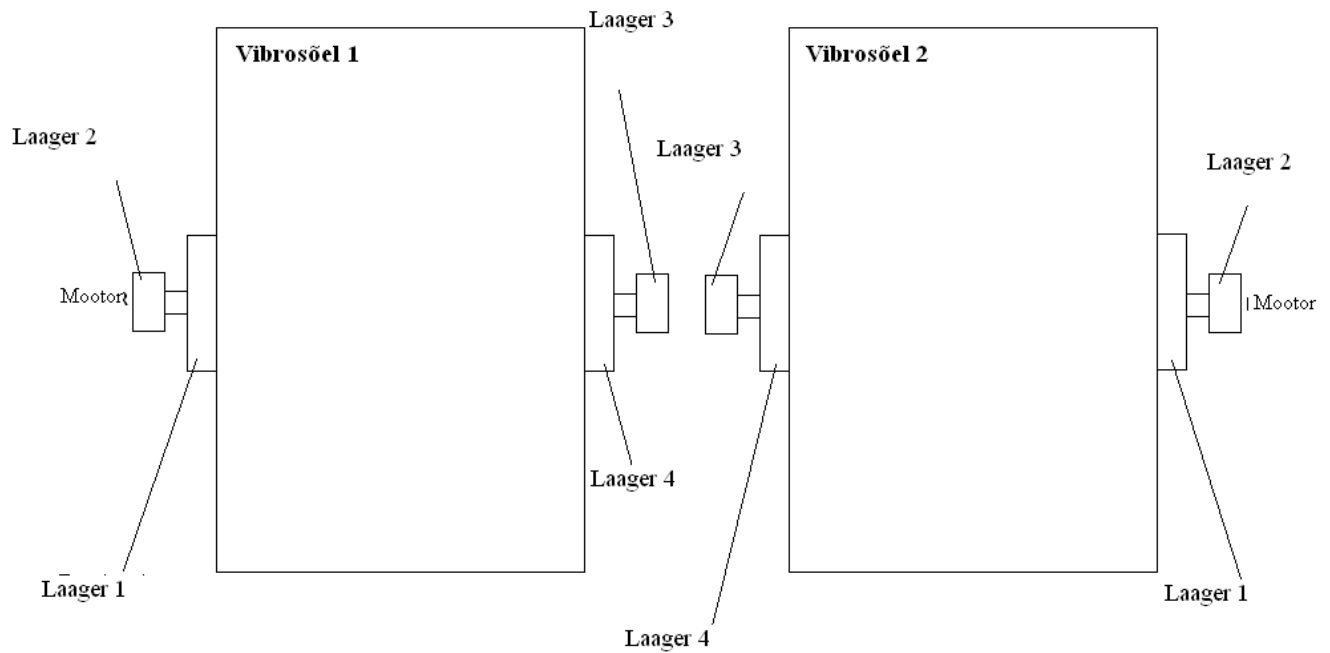
Seade: Vibrosõel

Seadme pöörlemiskiirus: 1500 RPM

Mõõdistatud punktid: Vibrosõela läbiva võlli otsalaagrid (8 tk)

Mõõtühikud: Üldvibratsioon (mm/s, mõõdetud RMS), mähiskõvera vibratsioon (gE filter 3, mõõdetud tipp-tipp)

Tööstusseadmete skemaatiline joonis:



Joonis 1. Kahe vibrosõela skemaatiline joonis

Joonisel 1 on kujutatud kaks vibroseõla, mille laagritel sooritati vibratsioonimõõtmised. Iga laagri seisund on eraldi väljatoodud koos soovitustega järgnevateks tegevusteks.

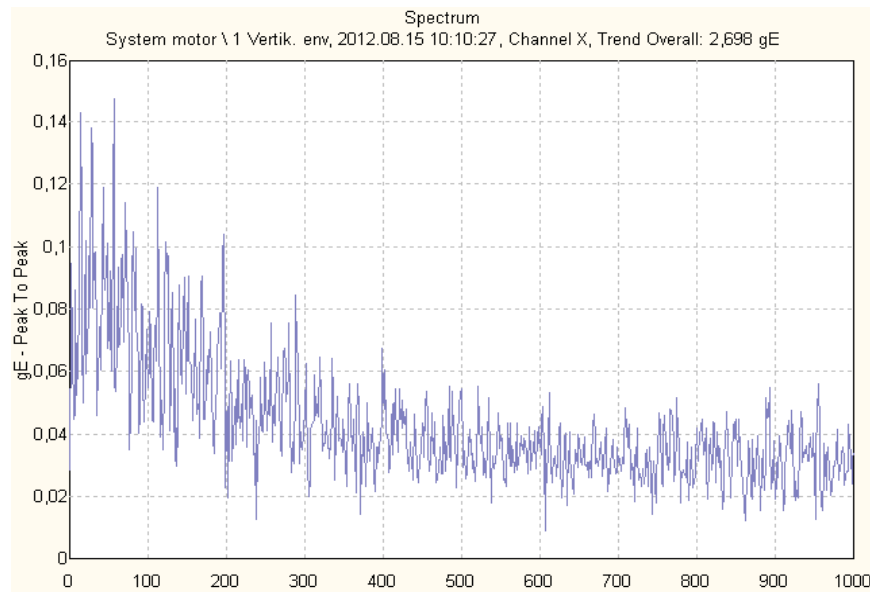
Vibrosõel 1:

Laager nr.	Seisund	Soovitus
1	Kohene tegevus	Laagri vahetus
2	Normaalne	
3	Normaalne	
4	Kohene tegevus	Laagri vahetus

Vibrosõel 2:

Laager nr.	Seisund	Soovitus
1	Normaalne	
2	Normaalne	
3	Planeeritud tegevus	Jälgida seisundimuutusi
4	Planeeritud tegevus	Jälgida seisundimuutusi

Normaalse laagri mähiskõver võrreldud vahetust vajava laagri mähiskõveraga:

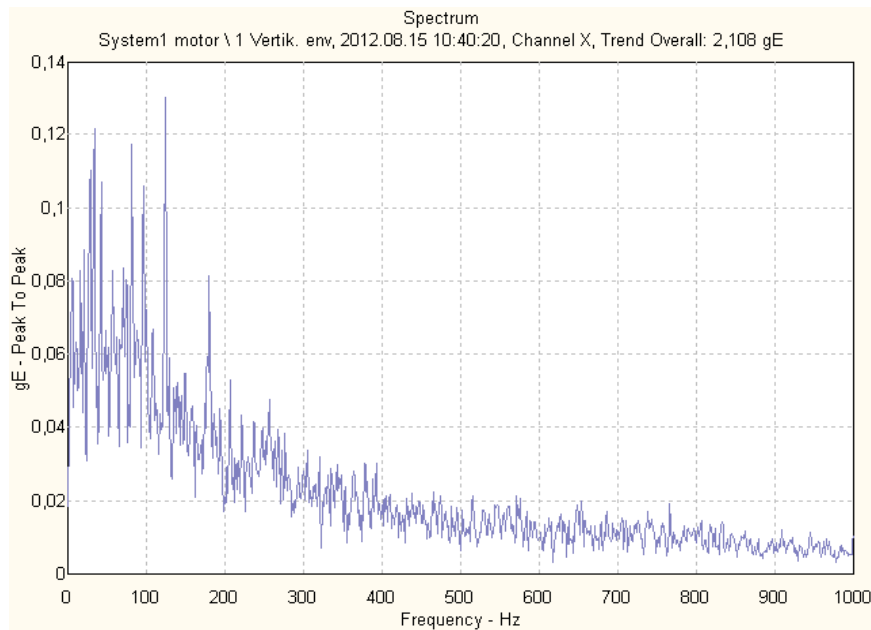


Vibrosõel 1

Laager 1

Vertikaalne laagri sisevibratsioon

Graafik1. Esimese vibroseõla esimese laagri sisevibratsioon.



Vibrosõel 2

Laager 1

Vertikaalne laagri sisevibratsioon

Graafik 2. Teise vibrosõela esimese laagri sisevibratsioon.

Eelpool väljatoodud graafikutel on näha sama laager kahel samasugusel seadmel.

Esimesel graafikul (vt. Graafik 1) on näha kõrgeid tippe kõrgemate vibratsioonisageduste alas, mis viitab laagri ebanormaalsele käitumisele. Võrreldes esimest graafikut teisega (vt. Graafik2), kus laagriseisund on normaalne, on väga hästi näha , et selliseid amplituudi erinevusi vibratsioonide kõrgsagedusalas ei esine.

Laagrite seisundid: Normaalseisundiga oli seadmel 4 laagrit, 2 laagril oli kõrgenenud sisevibratsioon ja 2 laagril oli laagrisisene vibratsioon väga kõrge.

Soovitus: 2 laagril, millel oli kõrgenenud vibratsioon on soovituslik sooritada uued vibratsioonimõõtmised 2 nädala pärast ja 2 laagril, mille laagrisisene vibratsioon on väga kõrge, tuleb laagrid koheselt väljavahetada kuna kujutavad ohtu seadme teistele komponentidele.

Juurde on lisatud kaks pilti, mis on tehtud demonteeritud laagrist ja tema osadest. Iga pildi kõrvale on välja toodud lühikurjeldus, mis on valesti ning millest võib olla see tingitud.



Pilt 4. Veerekeha väsimuskulumine

Pinnast alanud väsimuskulumine

Põhjus- Tavaliselt algab pinna ülekoormamisest või võõrkehade (abrasiivosakesed). Kui veerepind saab kahjustada siis ei toimu enam pindade määrdega eraldumist ja väsimise tõttu metalliosakesed hakkavad eralduma.

Põhjuseks võib olla ka vale määrdevalik. Määre ei suuda metallpindasid eraldada ja esineb mikrolibisemine (tunnuseks on läikiv ja sinakas veerete)



Pilt 5. Kriimustusjäljed veereteedel

Laagri sisekeskkonda tunginud mustus.

Väiksed kriimud veereteede ja veerekehade kogu perimeetril.

Põhjus- Tihendite kulumine/purunemine.

Ebapiisav tihendus. Paigaldusel laagrisse sattunud mustus. Ebapuhast määre.

Mõõtmine 2

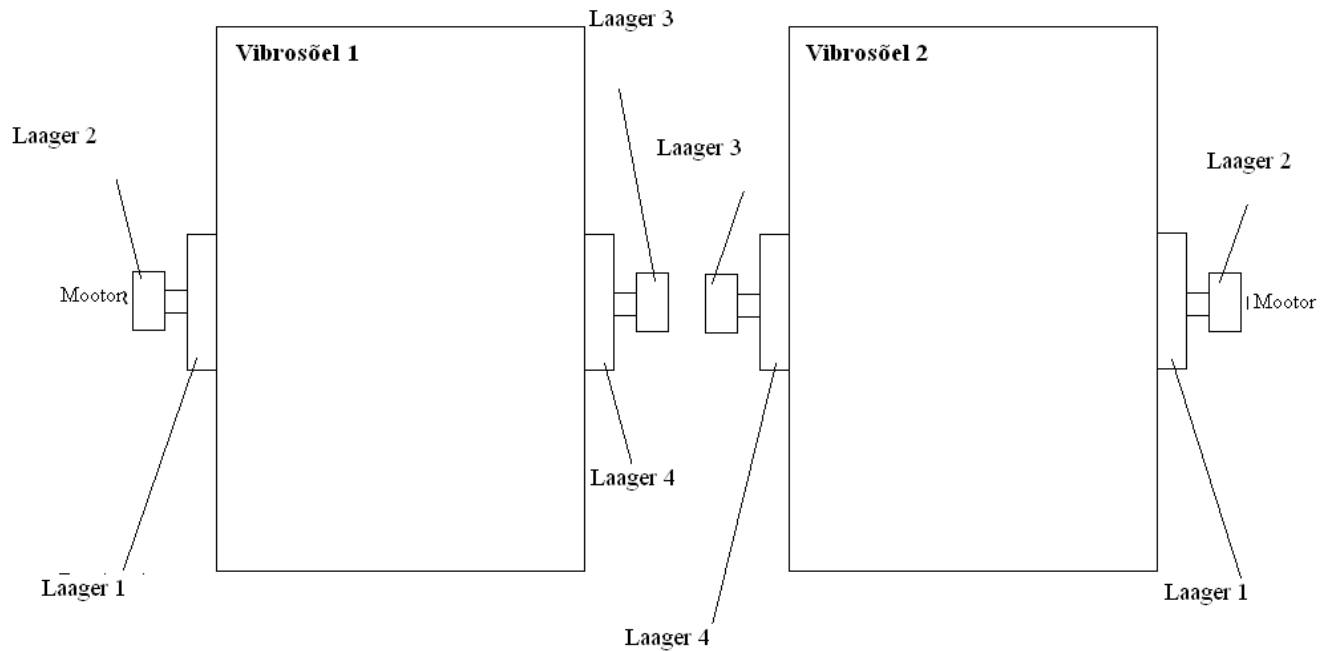
Seade: Vibrosõel

Seadme pöörlemiskiirus: 1500 RPM

Mõõdistatud punktid: Vibrosõela läbiva võlli otsalaagrid (8 tk)

Mõõtühikud: Üldvibratsioon (mm/s, mõõdetud RMS), mähiskõvera vibratsioon (gE filter 3, mõõdetud tipp-tipp)

Tööstusseadme skemaatiline joonis:



Joonis 1. Kahe vibrosõela skemaatiline joonis

Joonisel 1 on kujutatud kaks vibroseõla, mille laagritel sooritati vibratsioonimõõtmised. Iga laagri seisund on eraldi väljatoodud koos soovitustega järgnevateks tegevusteks.

Vibrosõel 1:

Laager nr.	Seisund	Soovitus
1	Kohene tegevus	Vahetada laager
2	Normaalne	
3	Normaalne	
4	Normaalne	

Vibrosõel 2:

Laager nr.	Seisund	Soovitus
1	Normaalne	
2	Normaalne	
3	Planeeritud tegevus	Jälgida seisundit
4	Planeeritud tegevus	Jälgida seisundit

Laagri seisundimuutused võrreldes eelmise mõõdistamisega:**Vibrosõel 1 , laager nr. 1:**

Laagriseisund on kriitiliselt muutunud. Laagri sisevibratsioon on tõusnud peaaegu 6 korda. See võib olla tingitud laagri halvast seisundist või materjalist, mis võib olla jäänud sõelale.

Vibrosõel 1, laager nr. 2:

Laagri seisund on veidi halvenenud, kuid jääb siiski oma vibratsiooniväärtustega normide piiridesse.

Vibrosõel 1, laager nr. 3:

Laagriseisund on paranenud, mis võib olla tingitud laagri määrimisest või madalamast laagri sisetemperatuurist.

Vibrosõel 1, laager nr. 4:

Laagri seisund on märgatavalt paranenud. Eeldatavalt on toimunud kahe mõõtmise vahelpealsel ajal selle laagri vahetus.

Vibrosõel 2, laager nr. 1:

Laagri seisund on veidi halvenenud, kuid jääb siiski oma vibratsiooniväärtustega normide piiridesse.

Vibrosõel 2, laager nr. 2:

Laagri seisund on veidi halvenenud, kuid jääb siiski oma vibratsiooniväärtustega normide piiridesse.

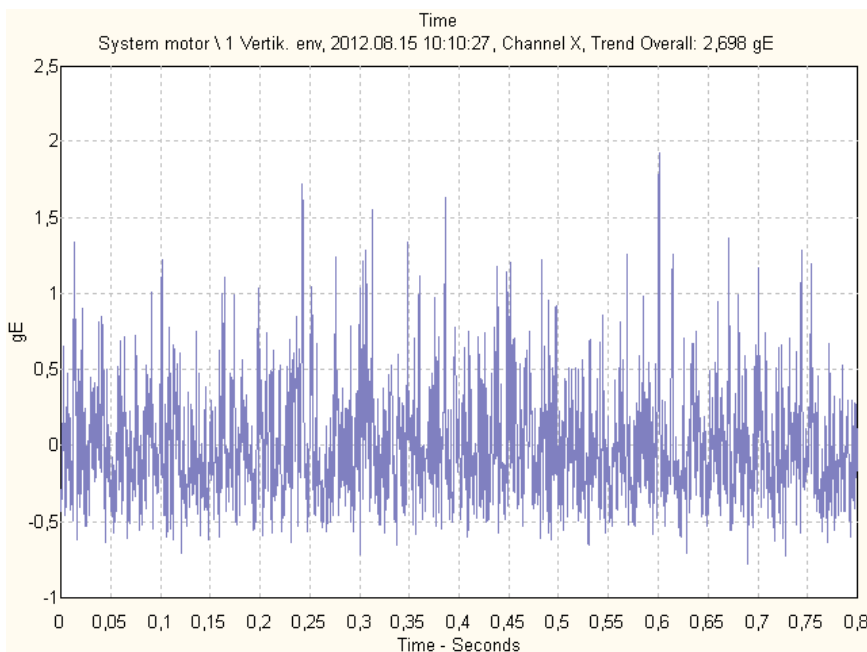
Vibrosõel 2, laager nr. 3:

Laagriseisund on paranenud, mis võib olla tingitud laagri määrimisest või madalamast laagri sisetemperatuurist.

Vibrosõel 2, laager nr. 4:

Laagri seisund on pisut muutunud, kuid jääb siiski üle lubatud normi piiride, mis tähendab, et antud laagri seisundit on soovitatav jälgida.

Vibrosõel 1, laagri nr.1 eelmine tulemus vs. viimati mõõdetud tulemus:

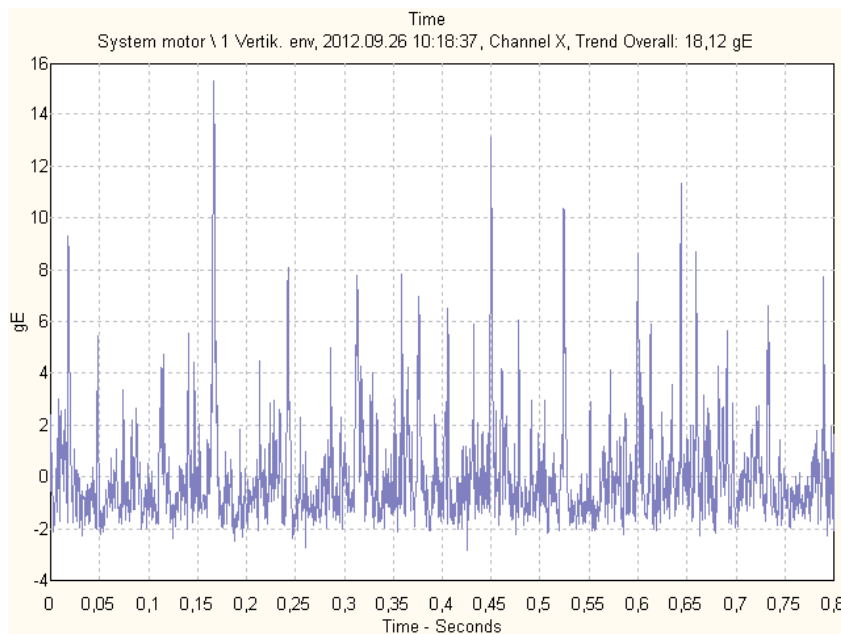


Vibrosõel 1

Laager nr. 1

Vertikaalne
mähiksõveravibratsioon

Graafik 3. Laagri normaalvibratsiooniga mähiskõver



Vibrosõel 1

Laager nr.1

Vertikaalne mähiskõveravibratsioon

Graafik4. Laagri kõrgeenenud vibratsiooniga mähiskõver

Tegemist on teise mõõdistamisega samal seadmel ning mõõdud on võetud üks kuu ja kaks nädalat pärast eelmisi mõõtmisi. Võrreldes saadud ja eelnevaid tulemusi saab välja tuua mõned tunnused, mis on juhtunud laagrite seisundiga.

Ühel laagril oli mitmekordselt kõrgeenenud mähiskõverameetodil arvatud vibratsioon, mis ületab lubatud piirnorme ning tuleks esmasel võimalusel väljavahetada (Sys.1 B.1). Kahel laagril oli mähiskõvera vibratsioon vähenenud, mis viitab laagrite määrimisele, mis summutab laagriseest tulenevaid vibratsioone (Sys.1 B.3 ja Sys.2. B.3). Ühel laagril oli märgatavalt langenud mähiskõvermeetodil arvatud vibratsioon, mis on ilmselge märk sellest, et laager on väljavahetatud (Sys.1 B.4). Ülejäänud laagritel on pisut muutunud vibratsiooniväärtused, kuid need muutused on liiga väikesed , et laagreid peaks sellepärast vahetama hakkama. Soovituslik, et selliseid laagreid mõne aja tagant uuesti kontrollida ja siis saab rohkem informatsiooni laagrite tegeliku seisundi kohta.

Laagrite seisundid: Normaalseisundiga oli seadmel viis laagrit, kahel laagril oli kõrgeenenud sisevibratsioon ja ühel laagril oli laagrisisene vibratsioon väga kõrge.

Soovitus: Ühel laagril, millel oli väga kõrge mähiskõvera meetodil arvutatud vibratsioon on soovituslik laager esmasel võimalusel väljavahetada ja kahel laagril, mille mähiskõverameetodil arvutatud vibratsioon oli kõrgeenenud on soovituslik sooritada uued mõõtmised kahe nädala pärast.

Kokkuvõte kahest vibrosõela vibratsioonimõõtmisest:

Vibrosõela võib lugeda rasketel tingimustel töötavaks tööstusseadmeks. Tema ülesanne on segmenteerida erimöödulist kivimit vibratsiooni kasutades. Kõik seadme detailid vibreerivad tugevasti ja pidevalt kui seade on töös. Olenevalt töökeskkonnast, tingimustest ja muudest faktoritest kestavad sellisel seadmel laagrid enamasti paar kuud. Kasutades vibrodiagnostikat vibrosõela laagrite hindamiseks on võimalik pikendada laagrite vahetusi, teades laagri tegelikku seisundit ja vältida katastroofilisi planeerimata seisakuid, mis kaevandusvaldkonnas on üpriski kallid. Lisaks sellele on võimalik paremini planeerida hooldusi ning selle käigus vajalikud detailid varakult tarnija käes ära tellida, mis omakorda vähendab komponentidele tehtavaid kulutusi.

Mõõtmine 3 (Raport 1)

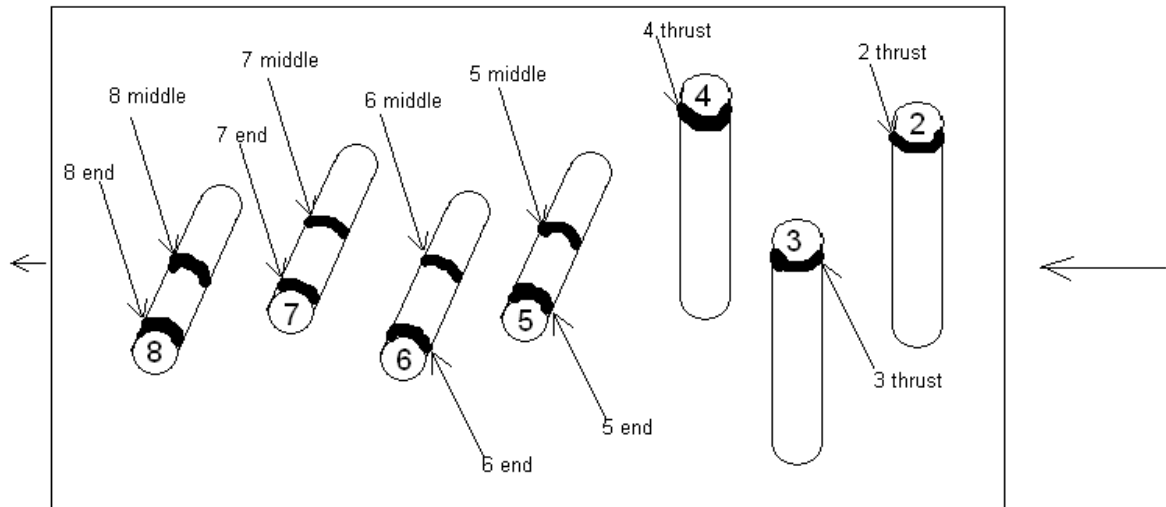
Seade: Hõõvelpink

Seadme pöörlemiskiirus: Spindlite pöörlemiskiirus ca. 6000 RPM

Möödistatud punktid: Spindlilaagrid (7 spindlit, 4 spindlil möödistatud 3 laagrit ja 3 spindlil möödistatud 1 laager)

Mõõtühikud: Üldvibratsioon (mm/s), mähiskõvera vibratsioon (gE filter 3 ja gE filter 4) ja vibratsioonikiirendus (mm/s²)

Mõõdetud punktide skemaatiline joonis:



Joonis 2. Hõõvelpingi spindlilaagrite skemaatiline joonis

Kõikide laagrite seisunditele annan hinnangu ja samuti soovitus järgnevateks tegevusteks. Igale värvile vastab kindel seisund ja sellele järgnev soovitus ning nende värvide seletused leiab allpool.

Laagrite seisundid

Laager nr.	Seisund	Soovitus
2 thrust	Kohene tegevus	Laagrite vahetus
3 thrust	Kohene tegevus	Laagrite vahetus
4 thrust	Kohene tegevus	Laagrite vahetus
5 end	Kohene tegevus	Laagrite vahetus

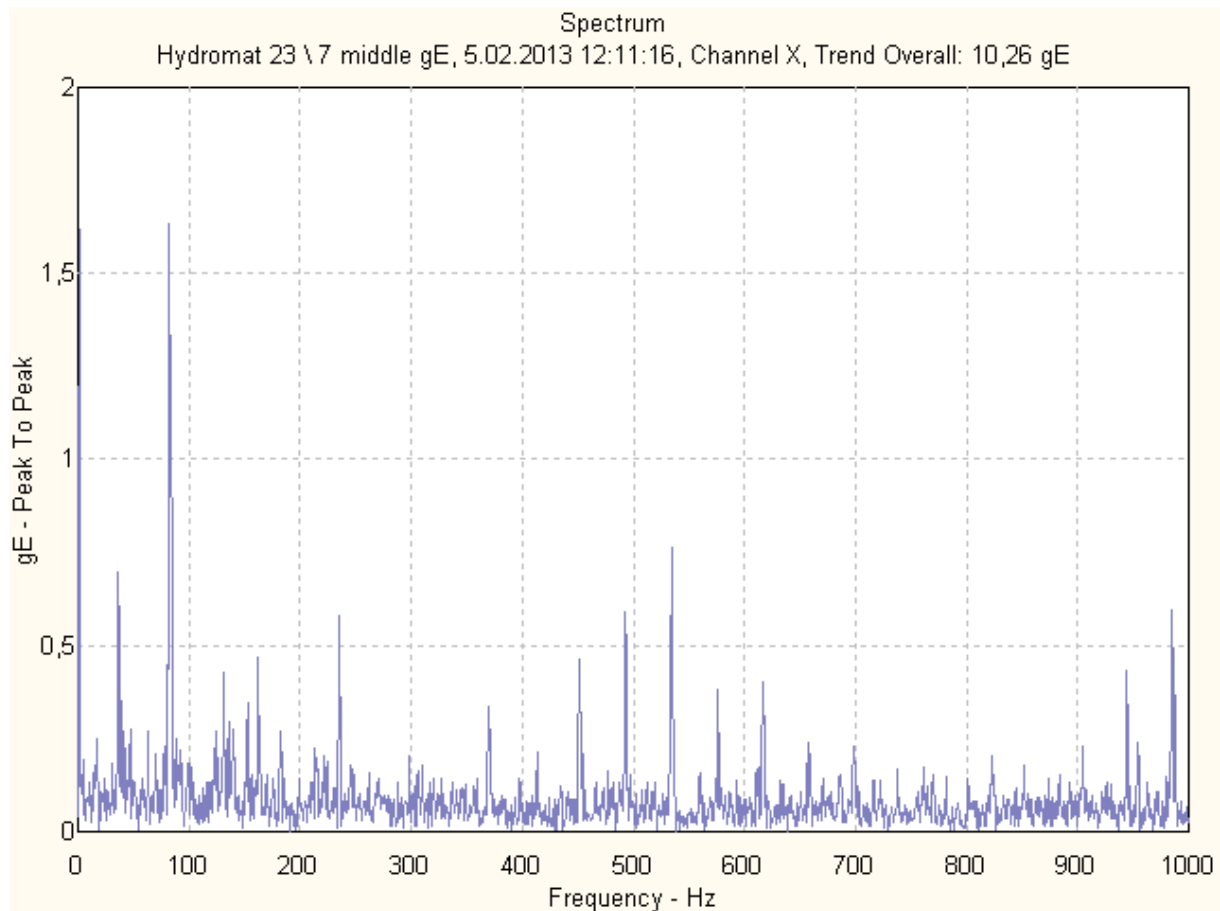
5 middle	Kohene tegevus	Laagrite vahetus
6 end	Kohene tegevus	Laagrite vahetus
6 middle	Kohene tegevus	Laagrite vahetus
7end	Kohene tegevus	Laagrite vahetus
7 middle	Kohene tegevus	Laagrite vahetus
8 middle	Kohene tegevus	Laagrite vahetus
8 end	Kohene tegevus	Laagrite vahetus

Soovitused laagritele:

Kõik laagrid mis said mõõdistatud vajavad väljavahetamist. Kui arväärtuselt võrrelda laagri vibratsioonitasemeid, siis kõrgem sisevibratsioon on laagritel, mis asuvad hõõvelpingi algtöötlemise osas. Siiski on kõikidel laagritel sisevibratsioon lubatust kõrgem. Kuna tegemist on spindlilaagritega, on neile niigi esitatud kõrged nõudmised ja lubatud vibratsioonitasemed on palju väiksemad kui teistel tööstuseadmete laagritel. Lõpptulemuseks tuleks välja vahetada kõik spindlilaagrid ning soovitan ka pärast vahetamist uued vibratsioonimõõtmised sooritada, et oleks teada heas korras laagrite vibratsiooniväärtused.

Palun vaadata ka üle spindlite üleüldine seisukord. On vägagi tõenäoline, et spindlid tuleb saata taastamisse.

Lisan siia juurde mähiskõvera, kus on näha laagri kõrgeenenud sisevibratsioon(vt. Joonis 1):



Joonis 3. Kõrgenenud sisevibratsiooniga spindlilaagri mähisköver

Laagrite seisundid: Kõikidel spindlilaagritel, mis said mõõdistatud on väga kõrge mähisköverameetodil arvutatud vibratsioon, mis viitab laagrite suuremahulisele kulumisele või väsimisele. Siinkohal tuleb arvestada fakti, et seadme pöörlemiskiirus on kõrgem kui enamus tööstuseadmetel ning laagrid, mida spindlites kasutatakse on suurema täpsusklassiga ja tundlikumad paigaldamisel ja käitlemisel. Laagrite vibrospektris ei esinenud laagri konkreetsete defektide tunnuste sagedusi.

Soovitus: Vältimaks ootamatuid tõrkeid spindlilaagritega on soovituslik antud seadme kõikide spindlite laagrid välja vahetada. Tagamaks korrektseid paigaldusmeetmeid ja laagrite käsitlemist on soovitatav sellekohast informatsiooni vaadata tootja kodulehelt. Spindlilaagrid on väga tundlikud löökidele ja mustusele, seega tuleb nende paigaldamisel olla ettevaatlik ning kasutada selleks õiged meetodeid ja tööriistu. [5]

Kokkuvõte hõõvelpingi spindlilaagrite vibratsioonimõõtmisest:

Hõõvelpinkki kasutatakse puitlaudade pinnakareduse muutmiseks hõõveldamise teel. Seadmes kasutatavad spindlid asetsevad erisuunaliselt ning omavad kõik kindlat ülesannet lõpptulemuse saavutamisel. Tüüpiliselt on spindlite pöörlemiskiirused suuremad kui enamus tööstuseadmetel ning kasutatakse täppislaagreid. Täppislaagrite puhul on väga olulised kõik käigud mida tehakse ning iga väiksemgi eksitus võib rikkuda terve laagri. Täppislaagrid paiknevad spindlites enamasti järjekorras 1-2-2, ehk kokku 5 laagrit. Üldjoontes on seadme spindlid halavs seisukorras ning vahetada tuleks välja kõik laagrid. Täpsustada saab niipalju et halvemas seisukorras laagritega spindlid asuvad seadme algtöötlemise osas ja veidi vähem kulunud laagrite spindlid seadme lõpptöötlemise osas. Iseenesest on see ka loogiline, sest algtöötlemise spindlid peavad tegema rohkem tööd, et laud saada soovitud normide piiridesse.

Mõõtmine 4

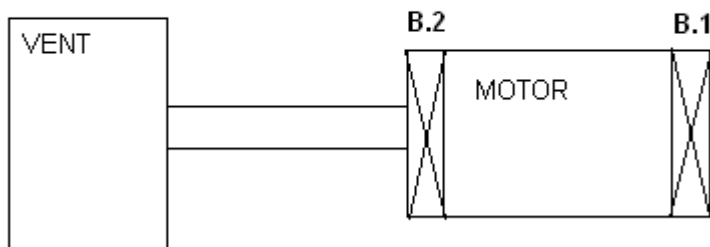
Seade: Ventilaatori mootorid

Seadme pöörlemiskiirus: Nelja mootori pöörlemiskiirus on 3000 RPM ja ühe mootori pöörlemiskiirus on 1500 RPM.

Mõõdistatud punktid: Mootori laagrid (2tk ühel mootoril)

Mõõtühikud: Üldvibratsioon (mm/s), mähiskõvera vibratsioon filtriga 3(gE3)

Mõõdetud punktide skemaatiline joonis:



Joonis 4. Ventilaatori mootorilaagrite skemaatiline joonis

Mõõtmised sooritati mootorikorpuse pealt vertikaal ja horisontaal tasapinnas. Laagritel mõõdeti üldvibratsiooni ja mähiskõvera vibratsiooni. Kõik mõõdistamisest saadud info analüüsiti kasutades selleks vibratsioonimõõtmiste mähiskõverad ja samuti ka vibratsiooni muutumist ajas.

Mõõdetud punktid:

Mootor 1 – B.1 & B.2 (3000 RPM)

Mootor 2 – B.1 & B.2 (3000 RPM)

Mootor 3 – B.1 & B.2 (1500 RPM)

Mootor 4 – B.1 & B.2 (3000 RPM)

Mootor 5 – B.1 & B.2 (3000 RPM)

Mootor 1

Punkt nr.	Seisund	Seletus	Soovitus
1	Normaalne		
2	Planeeritud tegevus	Pisut kõrgenenud laagrite sisevibratsioon	Mõõdistada umbes 3 kuu pärast

Mootor 2

Punkt nr.	Seisund	Seletus	Soovitus
1	Normaalne		

2	Normaalne		
----------	-----------	--	--

Mootor 3

Punkt nr.	Seisund	Seletus	Soovitus
1	Normaalne		
2	Normaalne		

Mootor 4

Punkt nr.	Seisund	Seletus	Soovitus
1	Normaalne		
2	Normaalne		

Mootor 5

Punkt nr.	Seisund	Seletus	Soovitus
1	Normaalne		
2	Planeeritud tegevus	Pisut kõrgeenenud laagrite sisevibratsioon	Mõõdistada umbes 3 kuu pärast

Kokkuvõte ventilaatori mootorite laagritest:

Seadmete, siinkohal ventilaatori mootorite, üldine seisukord on hea. Laagrite seisundid on head, välja arvatud kaks laagrit, mille sisevibratsioon on veidi kõrgenenud. Mootorite üldvibratsioon on kõrgsagedusallas üpriski kõrge. See on veider ja seda tuleks uurida ning leida allikas, kust selline vibratsioon tuleb, sest mõjutab laagrite ja mootori eluiga. Soovitus on mõne aja möödudes sooritada uued vibratsioonimõõtmised, kahe laagri puhul võiks see olla umbes 3 kuud pärast esimest mõõtmist. Pikemas perspektiivis on vajalik vibratsiooniallika tuvastamine, et vältida enneaegseid ja ootamatuid laagritõrkeid.

Mõõtmine 5

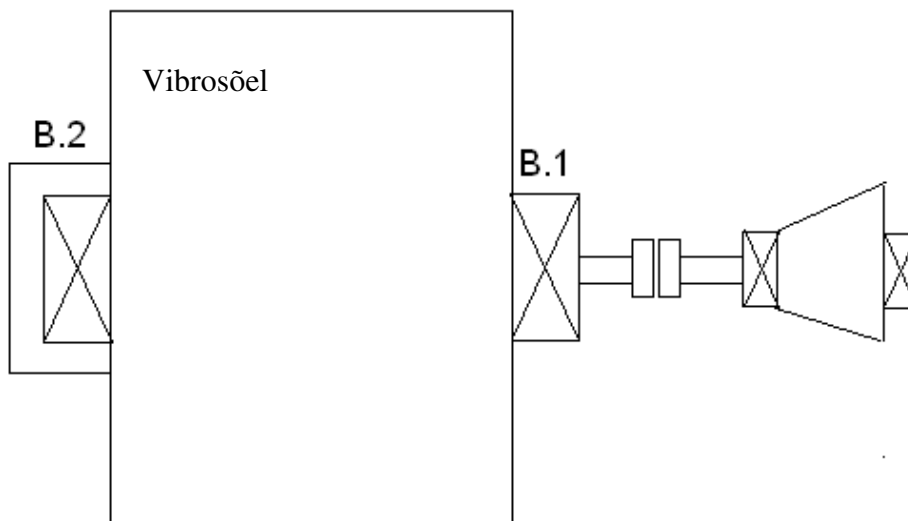
Seade: Vibrosõel

Seadme pöörlemiskiirus: 1500 RPM

Mõõdistatud punktid: Vibrosõela läbiva võlli otsalaagrid (2tk)

Mõõtühikud: Üldvibratsioon (mm/s), mähiskõvera vibratsioon filtriga 3(gE3)

Tööstusseadme skemaatiline joonis:



Joonis 5. Vibrosõela mõõdistatud laagrite skemaatiline joonis

Joonisel 5 on välja toodud kaks vibrosõela laagrit , millel teostati ülvibratsiooni ja laagrisisese vibratsiooni mõõtmine Mõlema laagri seisundile annan hinnangu ja samuti soovitus järgnevateks tegevusteks

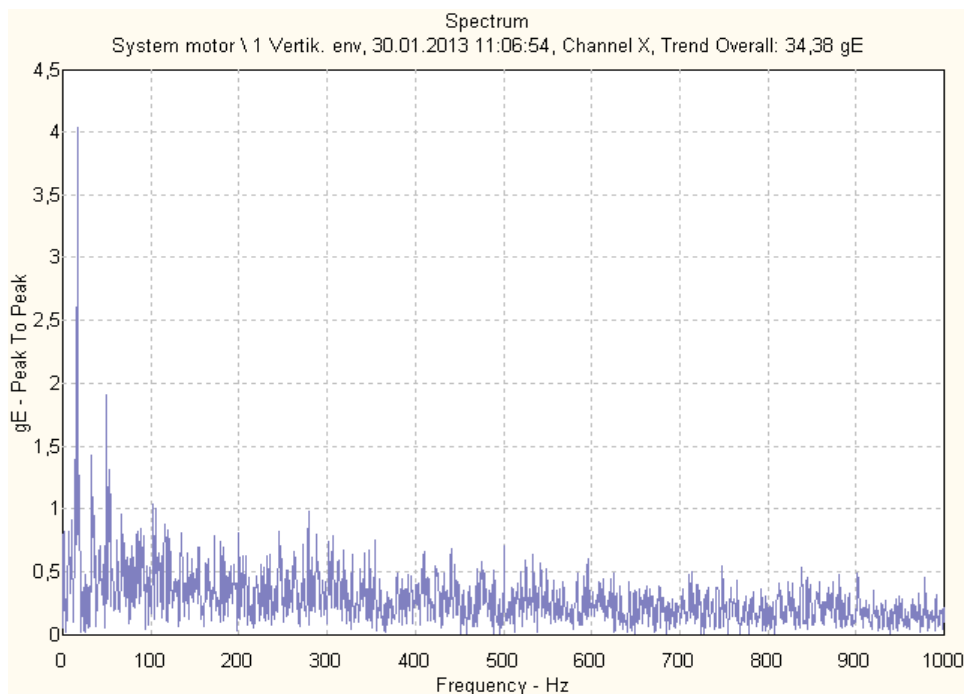
Mõõtmised sooritati kolmes tasapinnas: horisontaalis, vertikaalis ja telgsihiliselt.

Vibrosõel:

Laager nr.	Seisund	Soovitus
B.1	Nõuab kohest tähelepanu	Vahetada ja monitoorida
B.2	Nõuab kohest tähelepanu	Vahetada ja monitoorida

Soovitused laagritele B.1 ja B.2:

Laagrid B.1 ja B.2 tuleks välja vahetada enne järgmist vibrosõela tööperioodi. Minu soovitus on laagrid vahetada SKF erilahenduslike laagrite vastu, mis on mõeldud spetsiaalset vibreerivas keskkonda. Peale laagrite vahetamist, soovitan sooritada laagritel uued vibratsioonimõõtmised. See on vajalik selleks, et oleks võrreldavad väärtused heas seisukorras laagrite kohta ning hiljem mõõtmisi sooritades, saab neid väärtusi võrrelda ning protsentuaalset näha muutust laagrite seisundis. Olenevalt töökoormusest soovitan vibrosõelte laagrite seisundi hindamiseks kasutada perioodiliselt vibrodiagnostikat. Töökoormusest oleneb intervall kui tihti tuleks antud vibrosõela laagreid monitoorida. Laagrite seisundi monitoorimine ja vibrodiagnostika aitavad vähendada plaaniväliseid seisakuid ning on alus seisundipõhiseks hoolduseks.



Joonis 6. Vibrösela laagri B.1 vibratsiooni mähisköver

Tulemuste analüüs

Vibrodiagnostikaga on võimalik hinnata paljusid tööstuseadme tegureid: laagrite tegelikku seisundit, võllide- ja rihmarataste mittejoondatust, hammasrataste defekte jne. Antud mõõtmiste juures on mõõdistatud ainult laagrite tegelikku seisundit. Vibrosõelte puhul leidus laagreid, mis on nii heas korras kui ka selliseid, mis vajasisd väljavahetamist, kuid hõõvelpingi spindlilaagrid olid kõik nii kõrge mähiskõvera vibratsiooniga, et vajasisd kohest väljavahetamist. Ventilaatori mootorite laagrite seisukord oli hea, kuid üldvibratsioon lubatust kõrgem, mis viitab välisele tegurile, mis tekitab mootorites vibratsiooni.

Seisundi hindamiseks sobib vibrodiagnostika suurepäraselt, sest annab infot milline on tegelik seisund ning kui laagril peaks esinema mingi kindel defekt siis saab ka selle kindlaks teha. Antud juhtumite puhul ühelgi laagril konkreetseid defekte ei leitud, mis viitab sellele, et laagri sisevõrul kui ka välisvõrul ei olnud mõrasid ega pragusid. Siiski ei välista see fakti et laagri sisse on sattunud välistest keskkonnast sodi, mis on põhjustanud laagri kiirenenud kulumise.

Kui keskmised tööstuseadmed töötavad kiirustel 500-3000 p/min , siis on olemas ka seadmeid, mille pöörlemiskiirused jäävad alla 100 p/min. Sellisteks seadmeteks võivad olla reduktorid , paberikuivatussilindrid, kergkruusahjud jne. Sellistel juhtudel on vajalik analüüsida rohkem

parameetreid, kui ainult üldvibratsioon ja mähiskõvera meetodil arvatud vibratsioon, sest mida väiksemad on pöörlemiskiirused seda väiksem on laagri sisekeskkonnast tulenev vibratsioon. Veelgi väiksemate pöörlemiskiiruste puhul on vajalik juba kasutada tundlikumat piesoelektrilist sensorit, mis suudab tuvastada laagrite seisundit madalamatel sagedustel. Antud mõõtmiste juures seda tehtud ei ole, sest kõik mõõdistatud seadmete laagrid töötasid kiirustel rohkem kui 500 p/min.

Iga seadme puhul ei saa määrata ka ainult mähiskõvera meetodil arvatud vibratsiooni väärtuse järgi laagri seisundit, sest on olemas oma tööpõhimõttelt seadmeid, mis mõjutavad saadavat tulemust. Üheks selliseks segavaks teguriks võib olla elektrimootorite sagedusmuundur, mis tekitab väga kõrgetel sagedustel esinevat vibratsiooni ning selle loeb välja ka mähiskõveratelt. Nagu ka töö eespool on mainitud, teeb väga suures osas tööd ära just inimene, kes analüüsib saadud tulemusi. Selleks, et väga täpselt hinnata ja tuvastada laagrite seisundit ja võimalikke defekte, peab olema antud meetodit praktiseerinud mitmeid, kui mitte isegi mitmekümneid aastaid, pidevalt mõõtmisi ja analüüsi sooritades, kui ka informatsiooni juurde lugedes ja koolitustel käies.

Iga suur muutus saab alguse väikestest ning hakates kasutama vibrodiagnostikat kui vahendit ennetamiseks tööstusseadmete laagritõrkeid on võimalik suurendada oma seadmete kulukomponentide tööiga ja sooritusvõimet, vähendada plaaniväliseid seisakuid ehk MTBF, paremini planeerida komponentide vahetust ja hooldust, lühendades nii MTTR ja lihtsustada tehnikute tööd, kes muidu peavad jooksma ja seadmeid remontima ehk „kustutama tuld“.

KOKKUVÕTE

Mida rohkem me teame, seda rohkem me oskame hinnata. Jõudes ajastusse, kus ressursse hakkab aina vähemaks jääma, suudavad edukalt jätkata vaid need, kes toodavad ja majandavad võimalikult efektiivselt ja kulusäästlikult. Teades oma tööstusseadmete ja kulukomponentide tegeliku seisukorda, on võimalik planeerida ja teostada hooldustöid efektiivsemalt. Lisaks paremale planeerimisele võimaldab vibrodiagnostika aidata leida algpõhjuseid, miks konkreetne laager liiga kiiresti läbi läheb ning samuti pikendada laagrite tööaega. On raske hinnata ilma abivahenditeta kulukomponentide tegeliku seisundit, sest tingimused tööstustes ja tootmises on ajas muutuvad. Samamoodi võivad tingimused, mis on laagripaigaldusel, erineda vähesel määral kuid võivad avaldada suurt mõju laagri elueale.

Tuleb arusaada, et paarikümne viimase aastaga on laagrimaailm muutunud kardinaalselt. Töövõtted ja meetodid, mida kasutati 10-20 aastat tagasi, ei pruugi olla enam sobilikud kasutamaks tänapäevaste laagrite peal. See oleks sama nagu valaks suvalist mootoriõli oma uue auto mootoris. Ilmselgelt tekiks sellest probleemid ja sama seis on ka tööstuses: tagamaks tõrgeteta tööd, tuleb jälgida korrektseid paigaldusmeetmeid. Kui autoomanikud viivad oma auto korraliselt hooldusesse, sooritatakse sealsete spetsialistide poolt vajalike komponentide vahetus, vastavalt sellele, mis on tootjapoolt ettenähtud. Niisamuti toimib kõik süsteem ka tööstuses, v.a. et tööstuses ei transpordida seadet kuhugi vaid on määratud tootjapoolsed ajapiirangud, millal tuleb mingi komponent ära vahetada. Seni kuni seadmetel on tootjapoolne garantii, ei muretse eriti keegi seadme pärast. Kui aga garantiaeg saab läbi siis otsitakse võimalusi kuidas pikendada seadme hooldusvälpu. Tihti peale on kurb tõsisasi see, et peale esimest vahetust ei kesta kulukomponendid üldse niikaua nagu nad tegid seda ennem. Siinseid põhjuseid on mitmeid: mustus satub laagri sisekeskkonda, laager paigaldatakse valesti, tingimused on valed jne.

Laager ei pruugi kesta igakord samakaua ja, et seda ette näha on vibrodiagnostika väga palju abistab vahend. Vibrodiagnostika abil on lihtsustatud laagri tegeliku seisundi hindamine ja seda pika ennetusajaga. Teades oma kulukomponentide tegelikku seisundit, aitab see ettevõttel säästa raha selle

arvelt, et kulukomponente vahetatakse välja olenevalt nende kulumisastmest ning sedaviisi ka pikendada kulukomponendi reaalselt tööiga. Lisaks aitab see vähendada ohtu plaanivälisteks seisakuteks, mis võivad tuleneda laagri tõrkest, sest ei ole kindlat arusaama kulukomponentide seisundist ja proovitakse võtta maksimumi ehk sellega võimalikult kaua töödada. Vibrodiagnostikaga on võimalik ennetada laagri tõrkeid, teada nende kulumisastet – ja kiirust ning seda infot ja andmeid kasutades on võimalik seda rakendada tööstusseadmete hoolduseks, mis toimub kulukomponendi tegeliku seisundi alusel.

SUMMARY

The more we know, the more we can appreciate. As approaching a new era where resources are not infinite, sustainable production can only be achieved by those who can produce and maintain cost-effectively. Knowing your machines and machine components actual state, maintenance actions can be planned and conducted more efficiently. Addition to better planning, vibrodiagnostics can help to detect root causes for bearing failures and prolong the bearing lifecycle. It is very difficult to objectively evaluate the state of expensive items, because of the conditions in industries and productions are constantly changing. The same goes for bearing mounting, where small mishandlings can make a big difference in the bearing lifecycle.

It must be realised that bearings have changed drastically with the last couple of dozen years. Work methods that was used dozen of years ago may not be suitable for today's bearings. It would be the same as pouring whatever type of oil in your new car's engine. There will obviously be problems and this is the same in industries: to maintain production without failures, correct mounting procedures must be followed. If car owners take their vehicles to scheduled maintenance, many procedures will be conducted by professionals, that is set by manufacturers. It is quite similar in industries, except the fact that the machine is not transported. As long as the machines have warranty, nobody is concerned about the condition. After warranty has expired, then it becomes more and more important to prolong the lifecycle of the expensive items or it can be said to prolong the MTBF. In many cases the sad part is that after the first overhaul the components that were changed do not work as long as they did previously. There can be many factors that may cause this: abrasive particles in the bearing, wrong mounting methods, work condition difference etc.

Bearings lifecycle may not be the same everytime it is being replaced and to objectively evaluate the actual state, vibrodiagnostics can be very much of a help. With vibrodiagnostics bearing failures can be foreseen and this can be done quite long time before the actual failure might occur. Having knowledge of the actual state of expensive items, it can cut costs when expensive items are being replaced according to their actual state of wear and with that also prolong its actual lifecycle.

Additionally it can reduce unplanned downtime , that might occur from bearing failures, because of not knowing the actual state of expense items and trying to take maximum out of it , meaning that bearing is used as long as it will fail. Vibrodiagnostics can be used to prevent bearing failures, know the actual state and speed of wear and deterioration and use this information to more efficient and effective maintenance of industrial equipment that will take place according to actual state of expense items.

VIIDATUD ALLIKAD

[1] - <http://en.wikipedia.org/wiki/SKF> (17.04.2013)

Tabel 1 - <http://www.skf.com/group/our-company/fast-facts/index.html> (19.04.2013)

[2] – <http://www.skf.com/group/products/index.html> (19.04.2013)

[3] – <http://www.skf.com/group/our-company/environmental-care/manufacturing-processes/index.html>
(17.04.2013)

[4] – Vibration principles(Franz Reithuber, 1992, lk 2)

[5] - Vibration Monitoring of Spindles (Jason Mais, 2008, lk 3)

[6] - Envelope bearing (Donald Howieson, 2003, lk 6)

[7] - FAQ about enveloping (SKF Condition Monitoring inc., 2005, lk 1)

[8] - <http://et.wikipedia.org/wiki/Mehhatroonika> (02.05.2013)

[9] - http://et.wikipedia.org/wiki/%C3%9Clekanne_%28masinaehitus%29 (02.05.2013)

[10] - SKF PUB MP/P1 03000 EN

[11]– Bearing Failures and Their Causes (Palmeblads Tryckeri AB, 1994, lk 12-13)

Sele 1 – SKF PUB MP/P1 03000 EN

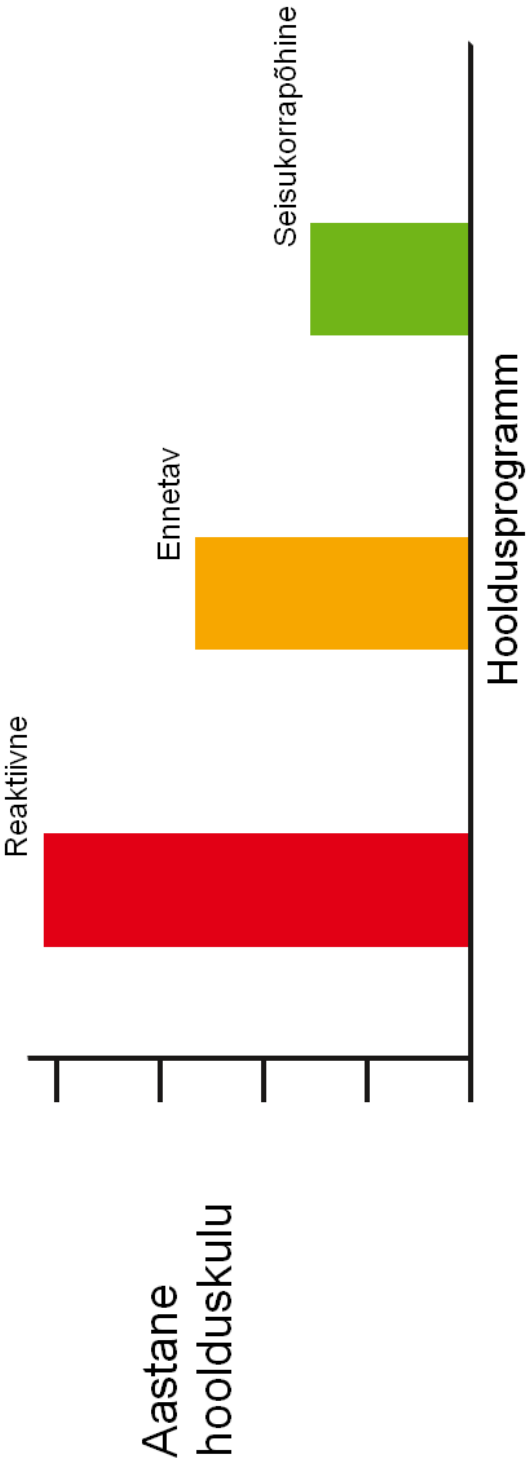
Lisa 1 – SKF PUB MP/P1 03000 EN

Lisa 2 – Vibration enveloping basics (Andre J. Smulders, 2000, lk 4)

Lisa 3 - <http://www.reliabilitydirectstore.com/v/vspfiles/assets/images/iso%20standard.jpg>
(17.05.2013)

LISAD

Lisa 1



Seadistused määramiseks

FILTER	MÄHIKE SAGEDUS	PÖÖRLEMISKIIRUS	SAGEDUSVAHEMIK
1	Pressi rullid 5 – 100 Hz	0 – 50 RPM	0 – 10 Hz
2	Veerelaagrid 50 – 1,000 Hz	25 – 500 RPM	0 – 100 Hz
3	Veerelaagrid ja hammasrattad 500 – 10,000 Hz	250 – 5,000 RPM	0 – 1,000 Hz
4	Hammasrattad 5,000 – 40,000 Hz	2,500 – ... RPM	0 – 10,000 Hz

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816							
Machine	in/s		mm/s	Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28					
	0.02	0.45					
	0.03	0.71			good		
	0.04	1.12					
	0.07	1.80					
	0.11	2.80			satisfactory		
	0.18	4.50					
	0.28	7.10			unsatisfactory		
	0.44	11.2					
	0.70	18.0					
0.71	28.0			unacceptable			
1.10	45.0						