

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

2026

Atte Salparanta

Etäkunnonvalvonnan vaikutus voimalaitoksen kunnossapidon tehokkuuteen

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka

2026 | 86 sivua

Atte Salparanta

Etäkunnonvalvonnan vaikutus voimalaitoksen kunnossapidon tehokkuuteen

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää etäkunnonvalvontajärjestelmän käyttöönoton vaikutusta voimalaitoksen nykyisen kunnossapidon tehokkuuteen. Työ tehtiin Turku Energia Oy:lle ja kohteena oli Turun Seudun Energiantuotanto Oy:n Naantalin voimalaitos.

Työssä esiteltiin voimalaitoksen toimintaa sekä teollisuuden kunnossapidon perusteita ja strategioita. Lisäksi käsiteltiin kunnonvalvonnan tuomia etuja ja erilaisia voimalaitoksella käytössä olevia kunnonvalvontamenetelmiä. Tarkastelun kohteena olivat myös etäkunnonvalvontajärjestelmien anturityypit, käyttöliittymä ja tiedonsiirtoratkaisut, sekä järjestelmien suunnittelussa huomioon otettavia teknisiä ja tietoturvaan liittyviä tekijöitä. Lisäksi selvitettiin käyttökokemuksia jo olemassa olevista etäkunnonvalvontajärjestelmistä. Tutkimusosuudessa analysoitiin Naantalin voimalaitoksen nykyistä kunnonvalvontaa ja arvioitiin etäkunnonvalvonnan soveltuvuutta laitokselle. Työssä laadittiin järjestelmäsuunnitelma, selvitettiin etäkunnonvalvonnan hyödyt ja haasteet ja vertailtiin nykyisen kunnonvalvonnan ja etäkunnonvalvontajärjestelmän kustannuksia. Tulosten perusteella etäkunnonvalvontajärjestelmä parantaa kunnossapidon tehokkuutta erityisesti reaaliaikaisen värähtelytiedonsaannin ja ennakoitavuuden ansiosta.

Asiasanat:

Voimalaitos, etäkunnonvalvontajärjestelmät, kunnossapito, kunnonvalvonta

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2026 | 86 pages

Atte Salparanta

Impact of the efficiency of online condition monitoring on power plant maintenance

This thesis examines the impact of implementing an online condition monitoring system on the efficiency of the current maintenance operations at power plant. The thesis was commissioned by Turku Energia Oy, and the case site was the Naantali power plant operated by Turun Seudun Energiatuotanto Oy.

The thesis presents the operation of the power plant as well as the fundamentals and strategies of industrial maintenance. In addition, the benefits of condition monitoring and the various condition monitoring methods used at the power plant are discussed. The study also examines the sensor types, user interface, and data transmission solutions of online condition monitoring systems, as well as the technical and cybersecurity-related factors that must be considered in system design. Furthermore, user experiences from existing online monitoring systems were investigated. The research section analyzes the current condition monitoring practices at the Naantali power plant and evaluates the suitability of an online condition monitoring system for the facility. A system plan was developed, and the benefits and challenges of online condition monitoring were identified. The costs of the current condition monitoring practices were compared with those of an online condition monitoring system. Based on the results, an online condition monitoring system improves maintenance efficiency particularly through real-time vibration data acquisition and enhanced predictability.

Keywords:

Power plant, online condition monitoring systems, maintenance, condition monitoring

Sisältö

Käytetyt lyhenteet	10
1 Johdanto	11
2 Naantalın voimalaitos	12
2.1 Voimalaitoksen historiaa	12
2.2 Naantali NA4 CHP Monipolttoainevoimalaitos	13
3 Teollisuuden kunnossapito	15
3.1 Kunnossapidon perusteet	15
3.2 Kunnossapitostrategiat	17
3.2.1 Korjaava kunnossapito	18
3.2.2 Ennakoiva kunnossapito / Jaksotetut huollot	19
3.2.3 Kunnonvalvonta	19
4 Kunnonvalvonta	20
4.1 Kunnonvalvonnan edut	21
4.2 Kunnonvalvonnan historiaa	23
5 Kunnonvalvontamenetelmät	24
5.1 Aistinvaraiset tarkastukset	24
5.2 Fysikaaliset perussuureet	26
5.2.1 Painejärjestelmät	26
5.2.2 Lämpötilan mittaus	27
5.3 Sähköiset perussuureet	29
5.3.1 Moottorin jumitilanne käynnin aikana	29
5.3.2 Staattorikäämityksen vikaantuminen	30
5.3.3 Virransyötön aiheuttama ongelma	30
5.3.4 Akselijännitteen aiheuttamat laakerivirrat ja vauriot	31
5.4 NDT-menetelmät (Ainetta rikkomattomat mittaukset)	32
5.4.1 Endoskopia	32
5.4.2 Stroboskopia	32

5.4.3 Ultraääniluotaus	33
5.5 Öljyanalyysi	33
5.5.1 Perusanalyysi	34
5.5.2 Hiukkanalyysi	34
5.5.3 Kulumametallianalyysi	35
5.6 Värähtelymittaukset	36
5.6.1 Värähtelymittauksen perusteet	36
5.6.2 Taajuudet	37
5.6.3 Yleisimmät värähtelymittauksiin liittyvät käsitteet ja parametrit	38
5.6.4 Värähtelyn taajuus ja amplitudi	40
5.6.5 Värähtelymittauksissa käytettävät anturityypit	41
5.6.6 Värähtelyanturin kiinnitystavat	46
5.6.7 Mittauspaikan valinta	47
5.7 Korkeataajuiset värähtelymittaukset	48
5.7.1 Iskusysäysmittaus	48
5.7.2 Ultraäänimittaus	49
5.7.3 SEE-menetelmä	50
5.7.4 Verhokäyräanalyysi	50
5.7.5 PeakVue-menetelmä	51
5.7.6 Haystack-ilmiö	52
6 Etäkunnonvalvontajärjestelmä	53
6.1 Etäkunnonvalvonnan perusteet	53
6.2 Etäkunnonvalvonnan anturityypit	53
6.2.1 Langalliset anturit	54
6.2.2 Langattomat anturit	54
6.3 Käyttöliittymä	56
6.4 Huomioon otettavia asioita kiinteissä järjestelmissä	57
6.5 Käytössä olevat etäkunnonvalvontajärjestelmät Suomessa	58
6.5.1 Laanilan biovoimalaitos (Oulun Energia)	58
6.5.2 Rauhalahden voimalaitos (Jyväskylän Energia)	59
6.5.3 Kotkan Hovinsaaren biovoimalaitos (Kotkan Energia)	60

7 Kunnonvalvonta Naantalin voimalaitoksella	61
7.1 Revisio	61
7.2 Kunnossapitostrategiat ja kunnonvalvontamenetelmät Naantalin voimalaitoksella	61
7.3 Värähtelymittaukset	62
7.3.1 Sormenjälkimittaus	64
8 Etäkunnonvalvonta Naantalin voimalaitoksella	65
8.1 Yleistä	65
8.2 Soveltuvuus	65
8.3 Järjestelmän suunnittelu	67
8.4 Kustannusvertailu	67
8.4.1 Huomioitavaa kustannusvertailusta	69
8.5 Etäkunnonvalvontajärjestelmän hyödyt	69
8.6 Työturvallisuusnäkökulma	70
8.7 Vihreä näkökulma	70
8.8 Haasteet	71
9 Pohdinta	72
Lähteet	73

Liitteet

- Liite 1. Värähtelymittaustuloksia. (1/4)
- Liite 2. Värähtelymittaustuloksia. (2/4)
- Liite 3. Värähtelymittaustuloksia. (3/4)
- Liite 4. Värähtelymittaustuloksia. (4/4)
- Liite 5. Sormenjälkitiedot. (1/3)
- Liite 6. Sormenjälkitiedot. (2/3)
- Liite 7. Sormenjälkitiedot. (3/3)
- Liite 8. Värähtelyvalvonnan tarpeen määrittely (1/2)
- Liite 9. Värähtelyvalvonnan tarpeen määrittely (2/2)

Kuvat

Kuva 1. Naantalın Voimalaitos (Salparanta, 2025)	12
Kuva 2. Perustiedot voimalaitoksesta (Fortum, 2025, Naantalın voimalaitoksen turvallisuustiedote)	13
Kuva 3. Naantali NA4 CHP Monipolttoainevoimalaitos (Turku Energia, 2020)	14
Kuva 4. Käyttövarmuustermiit ja niiden liittyminen toisiinsa. (Aalto, 1994, s.16).	16
Kuva 5. Tuotantotoiminnan eri termien liittyminen toisiinsa. (Aalto, 1994, s.22).	16
Kuva 6. Kunnossapitostrategiat. (Novotek, 2025, Kunnossapitostrategian valinta).	17
Kuva 7. Ennakoivan kunnossapidon vaikutus kokonaiskustannuksiin. (Aalto, 1994, s.26).	18
Kuva 8. Ennakoivan kunnossapidon toteutusperiaate. Esimerkkinä laakerin värähtelyn voimakkuuden mittaus. (Aalto, 1994, s.29).	20
Kuva 9. Kunnonvalvonnalla pystytään lyhentämään seisokkiaikaa. (Nohynek & Lumme, 1996, s.12).	21
Kuva 10. Tuotantoaika kasvaa kunnonvalvonnan avulla. (Opetushallitus, 2025, Johdanto kunnonvalvontaan).	22
Kuva 11. Vaurioitumisen nopeus ja mittaava kunnonvalvonta. (Aalto, 1994, s.34).	23
Kuva 12. Kunnonvalvonnassa käytettäviä aistien apuvälineitä. (Mikkonen, 2009, s.422).	24
Kuva 13. Esimerkki prosessiteollisuudessa käytetystä painemittarista, WIKA PG28 Bourdon-putkipainemittari. (WIKA, 2025, Tuotteet)	27
Kuva 14. Fluke 62 MAX infrapunalämpömittari. (ETRA, 2025, Tuotteet)	28
Kuva 15. Fluke TiX580 lämpökamera. (Fluke, 2025, Tuotteet)	28
Kuva 16. Lämpökameran mittaustuloksia. Vasemmalla vaihteiston laakerin lämpötilan mittaus, oikealla rakennuksen lämpövuodon mittaus. (Mikkonen, 2009, s.446).	29

Kuva 17. Taajuusmuuttajan indusoiman laakerivirran aiheuttama pyykkilautakuvio laakerin sisäpinnalla. (Kuva: Fortum)	31
Kuva 18. ISO 4406-standardin mukaiset hiukkasmäärät ja niitä vastaavat koodit. (Mikkonen, 2009, s.433).	35
Kuva 19. Vaihteen voiteluöljyn rautapitoisuuden ja värähtelyn kokonaistason kehittyminen ajan funktiona. (Mikkonen, 2009, s.437)	36
Kuva 20. Esimerkki voimista, jotka toimivat heräteinä. (Mikkonen, 2009, s.225).	37
Kuva 21. Euroopassa yleisesti käytettävät värähtelysuureet ja mittayksiköt. (Mikkonen, 2009, s.230).	39
Kuva 22. Erilaiset mittausparametrit. (Mikkonen, 2009, s.231).	39
Kuva 23. Siniaalto aika- ja taajuustasossa. Pylväänkorkeus kertoo siniaallon amplitudin ja pylvään sijainti ilmaisee taajuuden. (Mikkonen, 2009, s.232).	40
Kuva 24. Pyörrevirta-anturin rakenne. (Mikkonen, 2009, s.235).	42
Kuva 25. Pyörrevirta-anturi DX3301. (Nome, 2025, Tuotteet)	42
Kuva 26. Nopeusanturin rakenne. (Mikkonen, 2009, s.237).	43
Kuva 27. Caterpillar magneettinen nopeusanturi. (CAT, 2025, Anturit & Kytkimet)	43
Kuva 28. Kiihtyvyyssanturin osat: M = seisminen massa, P = pietsosähköinen elementti, R = puristusrengas, B = pohja ja S = jousi. (Mikkonen, 2009, s.238).	44
Kuva 29. Kiihtyvyyssanturin tulee kestää kovia teollisuusolosuhteita. (Mikkonen, 2009, s.240).	45
Kuva 30. Kiihtyvyyssanturi AC194-1D (Nome, 2025, Tuotteet).	45
Kuva 31. Anturin eri kiinnityskohtia. (Nohynek & Lumme, 1996, Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. s.63)	48
Kuva 32. Iskusysäyskuvioita. a kuvaa vaurioitunutta laakeria, b toisiinsa iskeviä osia, c toisiaan hankaavia osia. (Mikkonen, 2009, s.249).	49
Kuva 33. Verhokäyräanalyysin periaate. (ABB, 2000).	51
Kuva 34. Haystack-ilmiön mittaustulos vierintälaakerissa. (Mikkonen, 2009, s.253).	52

Taulukot

Taulukko 1. Yhteenveto antureista.	54
Taulukko 2. Mittalaitteiston valinnassa huomioitavia tekijöitä. (Mikkonen, 2009, s.264).	55
Taulukko 3. Naantalın voimalaitoksen etäkunnonvalvontajärjestelmän piiriin kuuluvat laitteet.	67
Taulukko 4: Nykyisen kunnonvalvontamenetelmän ja online-kunnonvalvontajärjestelmän kulujen vertailu.	68

Käytetyt lyhenteet

NA1	Naantalin voimalaitoksen 1. yksikkö
NA2	Naantalin voimalaitoksen 2. yksikkö
NA3	Naantalin voimalaitoksen 3. yksikkö
NA4	Naantalin voimalaitoksen 4. yksikkö
TSE	Turun Seudun Energiantuotanto Oy
CHP	Combined Heat and Power, lämmön ja sähkön yhteistuotanto
SRF	Solid Recovered Fuel, kierrätyspolttoaine
NDT	Non-Destructive Testing, ainetta rikkomaton mittaus
FFT	Fast Fourier Transform, Fourier-muunnos
ICP	Integrated Circuit Piezoelectric, pietsosähköinen integroitu piiri
MEMS	Micro-Electro Mechanical Systems, mikroelektromekaaniset järjestelmät
SEE	Spectral Emitted Energy, spektrinen emissioenergia
CFB	Circulating Fluidized Bed, kiertoleijupetikattila
Revisio	Voimalaitoksen vuosihuolto, määräaikaishuolto
Termografia	Lämpökuvaus
PeakVue	Värähtelyanalyysitekniikka

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää etäkunnonvalvontajärjestelmän käyttöönoton vaikutusta Naantalin voimalaitoksen kunnossapidon tehokkuuteen. Tavoitteena oli selvittää etäkunnonvalvontajärjestelmän toteutus, kustannukset, kannattavuus sekä hyödyt ja mahdolliset ongelmat. Voimalaitosten laitteiden kunnossapidon tehokkuudella on suora vaikutus tuotantovarmuuteen sekä taloudelliseen tulokseen. Tarkastelun kohteina olivat laitoksen toiminnan kannalta kriittisimmät laitteet kuten vesipumput, puhaltimet sekä hihnakuljettimien sähkömoottorit ja vaihdelaatikat. Näiden laitteiden kuntoa seurataan neljä kertaa vuodessa toteutettavilla kunnonvalvontakierroksilla. Nykyinen kunnonvalvontamenetelmä perustuu kannettavilla mittalaitteilla tehtäviin värähtelymittauksiin, joiden avulla saadaan tietoa laitteiden laakerien kunnosta sekä mahdollisista vikaantumisen merkeistä. Opinnäytetyössä käsiteltiin Naantalin voimalaitoksen historiaa, Naantali NA4 CHP - monipolttoainevoimalaitoksen toimintaa sekä kunnossapidon perusteita, kunnossapidon strategioita, kunnonvalvontamenetelmiä ja Naantalin voimalaitoksen nykyistä kunnonvalvontaa. Lopuksi tarkasteltiin etäkunnonvalvontajärjestelmiä ja niiden soveltumista Naantalin voimalaitokselle.

2 Naantalin voimalaitos



Kuva 1. Naantalin Voimalaitos (Salparanta, 2025)

2.1 Voimalaitoksen historiaa

Naantalin voimalaitos syntyi päätöksestä perustaa lauhdelämpövoimala Naantaliin. Voimalan kivihiiikikäyttöinen NA1-ykköyksikkö kytkettiin ensi kertaa valtakunnanverkkoon 11. Joulukuuta 1960. Myöhemmin voimala sai kaksi muuta kivihiiiltä käyttävää yksikköä NA2 ja NA3, jotka valmistuivat vuonna 1964 (NA2) ja 1972 (NA3). (TSE, 2024, Katsaus TSE:n historiaan).

Vuonna 2017 valmistui Naantalin NA4 CHP -monipolttoainelaitos, joka tuottaa kaukolämpöä, sähköä ja prosessihöyryä biomassalla, kivihiihi varapolttoaineena. NA4 korvasi valmistuessaan Naantalin vanhat kivihiihilaitokset, Turun Seudun Energiantuotanto sulki NA1 ja NA2-yksiköt 1. Heinäkuuta 2020. Kolmosyksikköä käytettiin loppuvaiheessa ainoastaan talvisin, NA3 poistui käytöstä 24. Joulukuuta 2024. (TSE, 2024, Laitosten esittely).

2.2 Naantali NA4 CHP Monipolttoainevoimalaitos

Naantali NA4 CHP -monipolttoainevoimalaitoksen valmistumisen myötä kivihiilen käyttö on vähentynyt voimalaitoksella merkittävästi ja korvattu biopolttoaineilla, kuten puuhake ja SRF. Naantalın voimalaitoksen polttoaineesta noin 75 % on biopolttoaineita, pääpolttoaineena toimii puuhake. Puuhake hankitaan voimalaitokselle noin 150 kilometrin säteellä alueen metsistä ja teollisuudelta, sekä merikuljetuksin Baltian maista ja Ruotsista. SRF eli kierrätykseen kelpaamaton polttokelpoinen jäte edustaa noin 10 % osuutta polttoaineenkäytöstä. Voimalaitoksella käytetään myös turvetta, mutta sen osuus on marginaalinen. Turve on rikkipitoisuutensa vuoksi hyvä polttoaine korvaamaan hiiltä. Kivihiili toimii NA4 varapolttoaineena. (TSE, 2025, Käytetyt polttoaineet).

	NA4	NA3	NA2	NA1
Sähköteho/ Elkraft	150	123	123	125
Kaukolämpöteho/ Fjärrvärmekraft	200 + 60	174	174	40
Prosessihöyry/ Processånga	50	60	60	60
Polttoaine/ Bränsle	Biopolttoaine, asfalteeni, jalosta- mokaasu, kivihiili, turve/ Biobränsle, asfal- ten, raffinaderigas, stenkol, torv	Kivihiili, jalostamokaasu/ Stenkol, raffinade- rigas	Kivihiili/ Stenkol	Kivihiili/ Stenkol
Varapolttoaine/ Reservbränsle	Polttoöljy/ Brännolja	Polttoöljy/ Brännolja	Polttoöljy/ Brännolja	Polttoöljy/ Brännolja

Kuva 2. Perustiedot voimalaitoksesta (Fortum, 2025, Naantalın voimalaitoksen turvallisuustiedote)



Kuva 3. Naantali NA4 CHP Monipolttoainevoimalaitos (Turku Energia, 2020)

NA4 valmistuttua TSE:n energiantuotannon päästöt vähenivät 400 000 tonnilla vuodessa. Turun Seudun Energiantuotanto Oy investoi 2019 savukaasulauhduttimeen, jonka myötä NA4 kaukolämpöteho kasvoi 30 % kasvattamatta polttoaineen käyttöä. (TSE, 2025, Tuotannon kehittäminen).

Naantalin voimalaitos on nykyisin Turun Seudun Energiatuotanto Oy:n (TSE) omistuksessa. Fortumin omistusosuus TSE:stä on 53,5 %, Turku Energia Oy omistaa 43,5 % ja Naantalin kaupunki 3,0 %. Turku Energia Oy vastaa Naantalin voimalaitoksen, Orikedon biolämpökeskuksen ja Kakolan lämpöpumppujen kunnossapidosta ja käytöstä. (Fortum, 2025, Naantalin voimalaitoksen turvallisuustiedote).

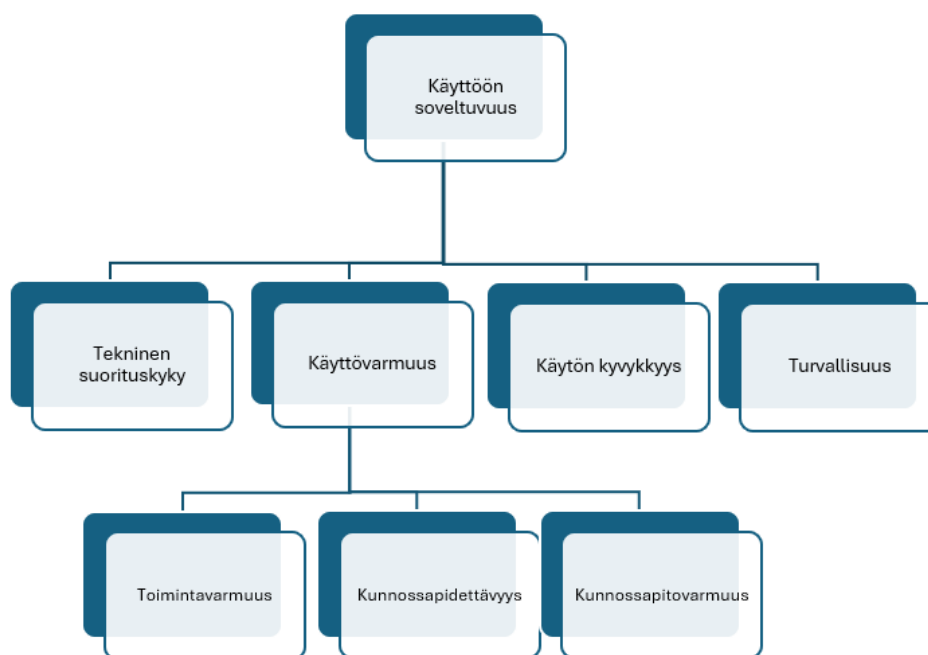
3 Teollisuuden kunnossapito

3.1 Kunnossapidon perusteet

Kunnossapito tarkoittaa koneiden ja laitteiden toimintakunnon ylläpitoa, jolla varmistetaan tuotannon jatkuvuus ja seisokkien minimointi. Onnistunut kunnossapito parantaa tuotannon tehokkuutta ja kasvattaa yrityksen tuottoa merkittävästi. (Caverion, 2025, Voimalaitoskunnossapito).

Kunnossapidon ja huollon käsitteiden merkitys vaihtelee eri toimialoilla.

Kunnossapito on laajempi käsite kuin huolto, se ei sisällä pelkästään korjaus ja ylläpitotoimia, vaan myös toimintatavan, jonka avulla varmistetaan laitteiden ja järjestelmien toimivuus. Kunnossapito luo edellytykset käytännön töiden suorittamiseen, tarkoitus on mahdollistaa edulliset suoritusolosuhteet ja antaa mahdollisuus erilaisten kunnossapitomenetelmien käyttämiseen kokonaiskustannusten optimoimiseksi. Laitteiden kehittämisessä pyritään usein jäljittelemään kunnossapidossa esiintyviä toimintamalleja. Tällaisia toimintamalleja ovat esimerkiksi vikadiagnostiikka, vikasietoisuus sekä tekoälyyn perustuva oppiminen, jossa järjestelmä pystyy parantamaan toimintaansa kokemusten perusteella. Kunnossapidon tavoitteena on hyvä käyttövarmuus. Sen avulla voidaan tunnistaa ne tekijät ja toiminnot, joita täytyy parantaa tai kehittää, jotta järjestelmien toiminta olisi luotettavampaa. (Aalto, 1994, s.13).

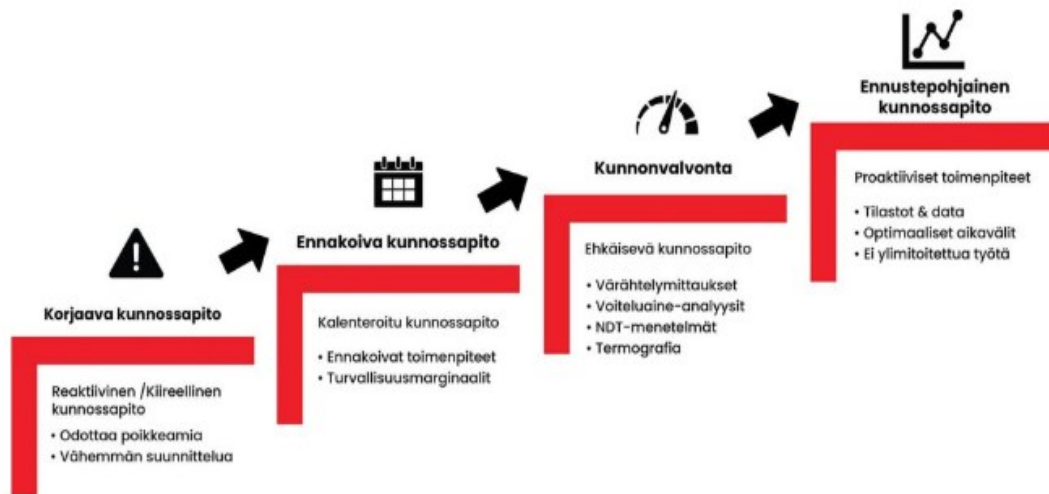


Kuva 4. Käyttövarmuustermi ja niiden liittyminen toisiinsa. (Aalto, 1994, s.16).



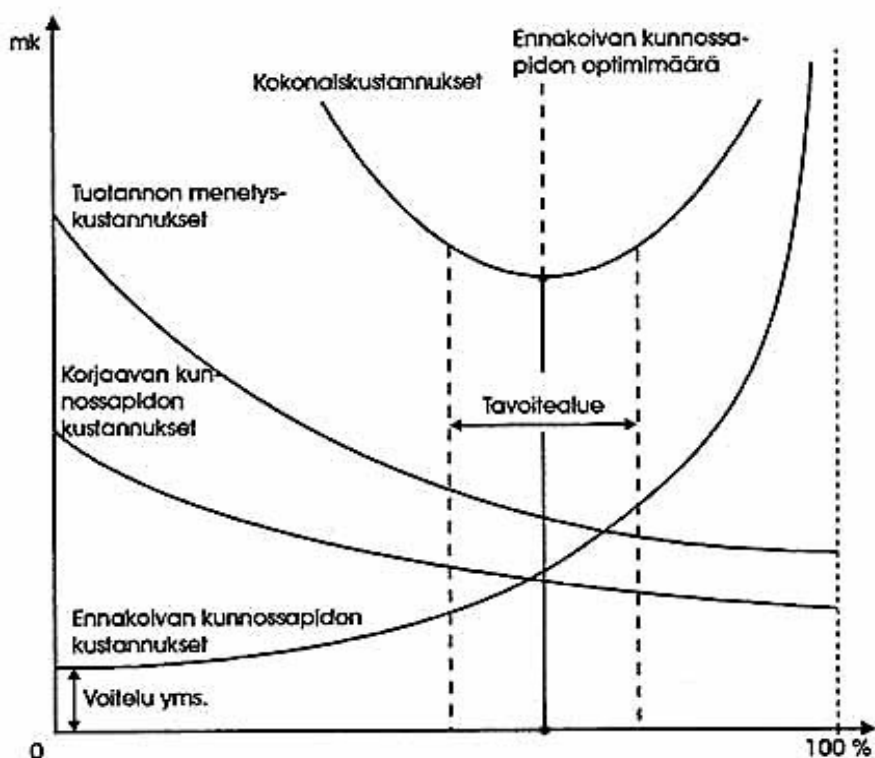
Kuva 5. Tuotantotoiminnan eri termien liittyminen toisiinsa. (Aalto, 1994, s.22).

3.2 Kunnossapitostrategiat



Kuva 6. Kunnossapitostrategiat. (Novotek, 2025, Kunnossapitostrategian valinta).

Oikea kunnossapitostrategia valitaan kohteen mukaan, jotta saadaan kustannustehokas ja luotettava toiminta koneille ja laitteille. Valintaan voi vaikuttaa koneen toimintavarmuuden kriittisyys tai korjauskustannukset. Kunnossapitostrategian valinnassa taloudelliset kannattavuuslaskelmat ja vaihtoehtojen vertailu ovat välttämättömiä. Strategiaa valittaessa tehdään yleensä taloudellisia kannattavuuslaskelmia ja vertaillaan eri vaihtoehtoja keskenään. Vertailuissa tarkastellaan muun muassa käyttövarmuutta ja kunnossapidon kustannuksia. Tavoitteena on löytää ratkaisu, joka tarjoaa parhaimman kokonaisuuden elinkaaren aikana syntyvien kustannusten ja saatavien hyötyjen välillä. Korjaavan ja ennakoivan kunnossapidon toisiansa täydentävää vaikutusta voidaan havainnollistaa kuvalla (Kuva 7). Keskimäärin 5 % korjaavaa kunnossapitoa on väistämättömyys, vaikka ennakoivaa kunnossapitoa lisätään. (Aalto, 1994, s.26, s.42)



Kuva 7. Ennakoivan kunnossapidon vaikutus kokonaiskustannuksiin. (Aalto, 1994, s.26).

3.2.1 Korjaava kunnossapito

Korjaavassa kunnossapidossa korjaustoimet tehdään vasta kun rikkoontuminen tapahtuu. Korjaavassa kunnossapidossa ei ole ennakkosuunnittelua ja se on yleistä ei-kriittisissä kohteissa. Korjaava kunnossapito sisältää erilaisia toimintatapoja, niitä ovat väliaikainen korjaus, toimintakyvyn palauttava korjaus ja parantava korjaus. Väliaikaisessa korjauksessa tavoitteena on saada laite nopeasti takaisin toimintaan ja lyhentää tuotannon keskeytysaikaa.

Toimintakyvyn palauttavalla korjauksella tarkoitetaan vikaantuneen laitteen paikan päällä korjaamista tai sen vaihtoa toimivaan laitteeseen. Parantavalla korjauksella pyritään estämään vian toistuminen. Hyötyjä on alhaiset kustannukset, yksinkertainen toteutus, haittoina odottamattomat häiriöt, laitteiden lyhempi elinkaari ja yllättävät kustannukset rikkoontumisen takia.

3.2.2 Ennakoiva kunnossapito / Jaksotetut huollot

Ennakoiva kunnossapito tarkoittaa aikataulutettua kunnossapitoa, jossa huollot tehdään laitteelle ajan tai käyttötuntien perusteella. Ennakoivassa kunnossapidossa on yleensä olemassa huolto-ohjelma, jonka mukaan huollot tehdään. Ennakoivan kunnossapidon keskeisiä hyötyjä ovat suunnitellut ja hallitut tuotantopysähdykset, parempi käyttöaste sekä tehokkaampi riskienhallinta. Kun huollot tehdään ennakkoon, voidaan vähentää yllättäviä vikaantumisia ja niistä aiheutuvia kustannuksia. Haasteena ennakoivassa kunnossapidossa on kuitenkin se, ettei siinä aina huomioida laitteen todellista kuntoa. Tällöin huoltotoimenpiteitä voidaan tehdä varmuuden vuoksi, vaikka niille ei vielä olisi tarvetta, mikä voi johtaa tarpeettomiin kustannuksiin.

3.2.3 Kunnonvalvonta

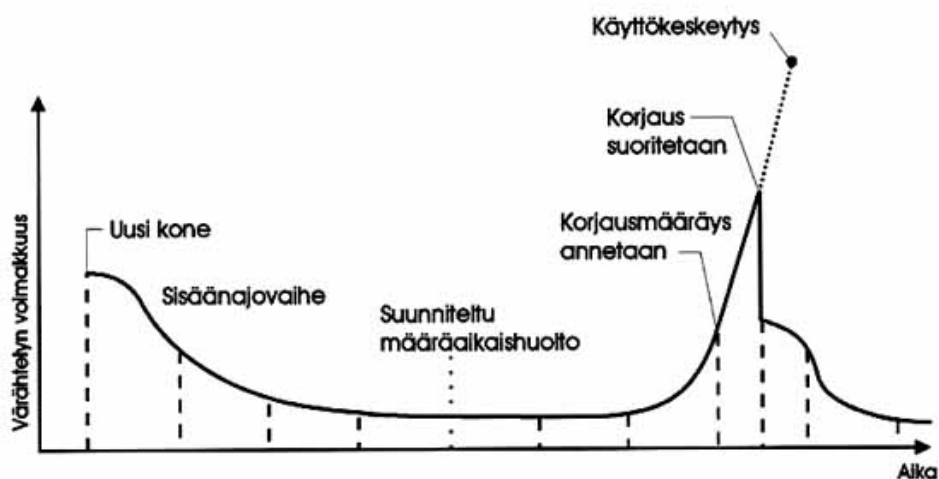
Kunnonvalvonnan tarkoituksena on selvittää laitteen tämänhetkinen kunto, sekä arvioida, miten sen kunto muuttuu tulevaisuudessa. Näiden tietojen avulla voidaan ennakoida, milloin huolto kannattaa tehdä. Kunnonvalvontaan kuuluu mittalaitteilla tehtävät laitetarkastukset, laitteiden kunnonvalvonta sekä mittaustulosten seuraaminen, jotta mahdolliset viat voidaan havaita ajoissa. Kunnonvalvontaan kuuluu värähtelymittaukset, voiteluaineanalyysit, NDT-menetelmät sekä termografia. Kunnonvalvonnan keskeisiä hyötyjä ovat luotettavat ja mittaavat indikaatiot laitteiden todellisesta kunnosta.

Päätöksenteko perustuu analysoituun dataan, mikä vähentää oletuksiin ja kokemukseen perustuvaa arviointia sekä parantaa kunnossapitotoimenpiteiden kohdentamista. Haittapuolina voidaan pitää mittalaitteisiin ja järjestelmiin liittyviä investointikustannuksia sekä henkilöstön koulutustarvetta, jotta mittaukset ja tulosten tulkinta voidaan tehdä ammattitaitoisesti. (Novotek, 2025, Kunnossapitostrategiat) (Aalto, 1994, s.29).

4 Kunnonvalvonta

Koneiden kunnonvalvonta on keskeinen osa voimalaitosten kunnossapitoa, erityisesti värähtelymittaukset ovat tärkeässä roolissa erilaisten pyörivien laitteiden, kuten pumppujen, puhaltimien ja sähkömoottoreiden kunnon seurannassa. Mittaukset voivat olla jatkuvia tai väliajoin suoritettavia.

Järjestelmällinen kunnonvalvonta parantaa laitteiden käytettävyyttä ja vähentää yllättäviä vikaantumisia. Kunnonvalvonnan avulla saadaan koneiden ja laitteiden kunnosta oleellista tietoa, joka auttaa kohdistamaan huoltotoimenpiteet oikeaan ajankohtaan. (Opetushallitus, 2025, Johdanto Kunnonvalvontaan).

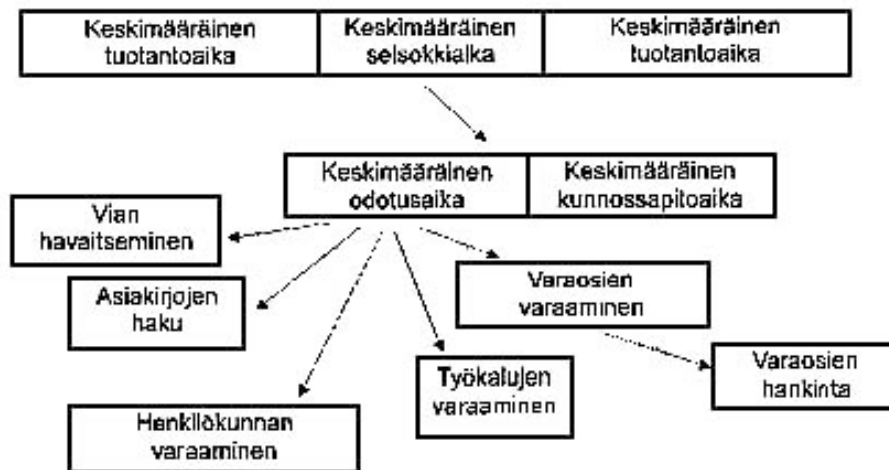


Kuva 8. Ennakoivan kunnossapidon toteutusperiaate. Esimerkkinä laakerin värähtelyn voimakkuuden mittaus. (Aalto, 1994, s.29).

Kunnonvalvontajärjestelmä suunnitellaan valitsemalla mittaussuureet, jotka kuvaavat parhaiten laitteen kuntoa. Näille suureille määritetään sopivat mittausvälit sekä hälytysrajat, joiden avulla voidaan havaita poikkeamat laitteen normaalista toiminnasta. Tämän lisäksi luodaan mittausjärjestelmä ja järjestelmä mittaustulosten tallentamista varten. Selvitetään myös toimintatavat, jonka mukaan toimia, kun mittaustulokset osoittavat tarvetta kunnossapitotoimenpiteille. (Aalto, 1994, s.32).

4.1 Kunnonvalvonnan edut

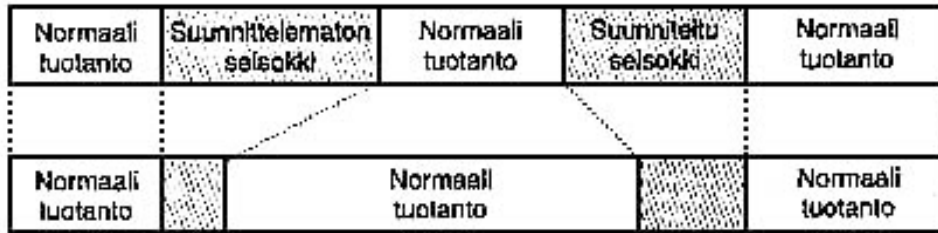
Kunnonvalvonnalla on suuri vaikutus yrityksen kannattavuuteen. Sen avulla voidaan parantaa tuottavuutta, koska kunnossapitotoimet voidaan suunnitella etukäteen. Tämä helpottaa seisokkiaikojen tehokkaampaa hyödyntämistä ja vähentää yllättäviä tuotannon keskeytyksiä. Lisäksi laitteiden käyttöikä voi pidentyä, kun niiden kuntoa seurataan säännöllisesti. Muita hyötyjä ovat turvallisuusriskin minimointi, usein laitteen rikkoontuminen muodostaa turvallisuusriskin käyttäjälle. Kunnonvalvonnalla voidaan minimoida päästöt ympäristöön. (Aalto, 1994, s.33).



Kuva 9. Kunnonvalvonnalla pystytään lyhentämään seisokkiaikaa. (Nohynek & Lumme, 1996, s.12).

Kuvan 9 mukaisesti kunnonvalvonnan avulla saadaan eliminoitua seisokin keskimääräinen odotusaika, koska siihen liittyvät toimenpiteet kuten vian havaitseminen, varaosien varaaminen tai tilaaminen, henkilökunnan varaaminen ja työkalujen varaaminen saadaan hoidettua tuotantoajalla. Lisäksi kunnossapitoon kuluva aika voidaan lyhentää, koska viat pystytään havaita ajoissa ennen kuin ne ehtivät kehittyä suuremmiksi vaurioiksi. (Nohynek & Lumme, 1996, s.12).

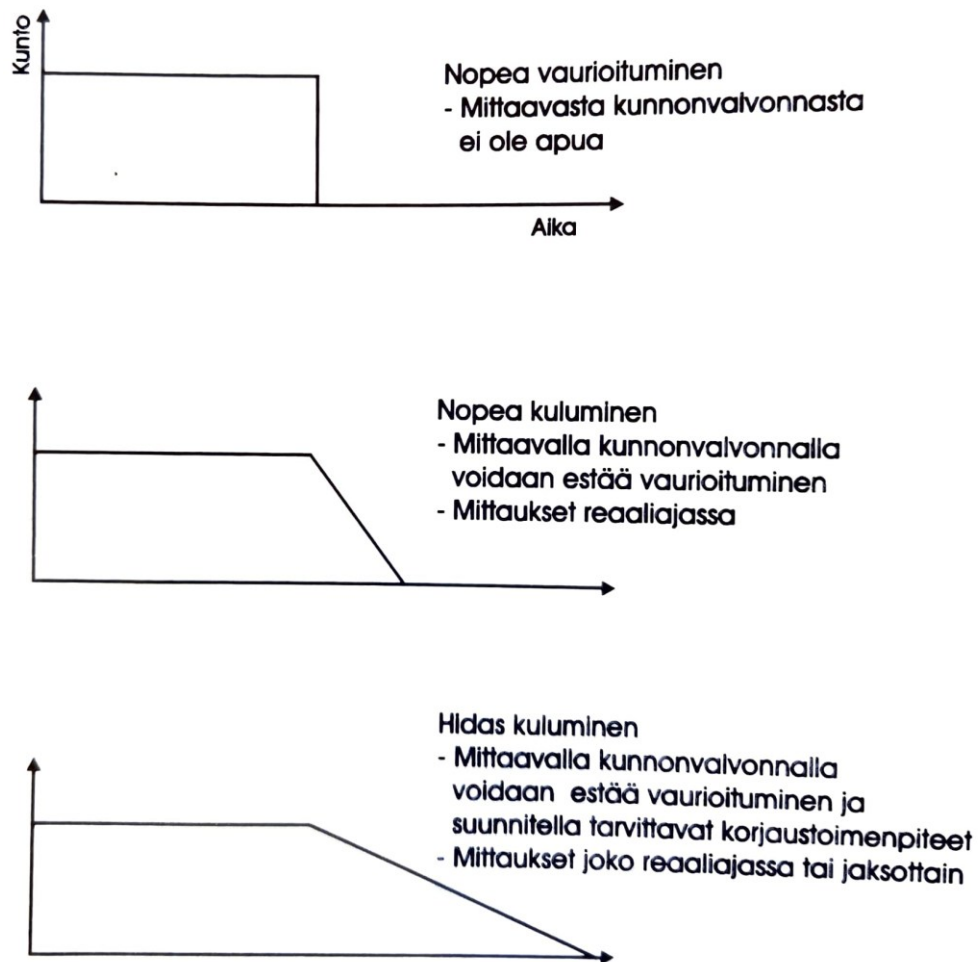
Ilman kunnonvalvontaa



Kunnonvalvonnan avulla

Kuva 10. Tuotantoaika kasvaa kunnonvalvonnan avulla. (Opetushallitus, 2025, Johdanto kunnonvalvontaan).

Kunnonvalvonnan tavoitteena on, että kunnossapitotoimenpiteet tehdään oikeaan aikaan ja vain silloin, kun koneen tai laitteen kunto sitä vaatii. Kuvassa 10 pystyy havainnollistamaan, miten kunnonvalvonnan avulla saadaan lisää tuotantoaikaa. Kun siirrytään korjaavasta kunnossapidosta kunnonvalvontaan, kunnossapitokustannukset voivat pienentyä jopa yli puolella. Kunnonvalvonnan merkitys on kasvanut siksi, että koneiden pyörimisnopeudet ovat kasvaneet. Suuremmat nopeudet voivat aiheuttaa vikojen nopeampaa kehittymistä, jolloin niiden varhainen havaitseminen on entistä tärkeämpää. Kunnonvalvonta on erityisen tärkeää tuotantolinjoilla, joissa ei ole varakoneita. Tällaisissa tilanteissa yhdenkin koneen toiminta voi olla ratkaisevaa koko tehtaan tuotannolle. Lisäksi tuotantomäärien kasvu on nostanut seisokkien kustannuksia, minkä vuoksi niiden ennaltaehkäisy on yrityksille entistä tärkeämpää. (Nohynek & Lumme, 1996, s.13).



Kuva 11. Vaurioitumisen nopeus ja mittava kunnonvalvonta. (Aalto, 1994, s.34).

4.2 Kunnonvalvonnan historiaa

Ennen tarkkoja värähtelymittauslaitteita tai lämpökameroita, kunnonvalvontaa suoritettiin pääasiassa aistinvaraisesti. Esimerkiksi laakereiden ääniä kuunneltiin puukepin avulla, koneen osien lämpöä tarkastettiin koskemalla ja tärinää tunnusteltiin käsin. Koneen kuntoa voitiin arvioida tarkkailemalla tuotteen laatua, sillä muutokset lopputuotteen ominaisuuksissa saattoivat kertoa koneessa olevista vioista tai kulumisesta. (Nohynek & Lumme, 1996, s.13).

5 Kunnonvalvontamenetelmät

Voimalaitoksen joka laitteelle määritellään riittävä kunnonvalvonnan taso. Pitää selvittää pystyykö kunnonvalvonnan toteuttaa yksinkertaisilla tarkastuksilla, vai vaatiiko laite tarkempaa valvontaa. Jos yksittäinen valvontamenetelmä ei riitä, tulee selvittää, voiko kunnonvalvonta toteutua toisella menetelmällä tai eri menetelmien yhdistelmällä. Tavoitteena on aina saada luotettavaa ja reaaliaikaista tietoa laitteen sen hetkisestä kunnosta sekä kyetä ennakoimaan kunnan kehitys riittävän tarkasti. Kunnonvalvonta on perusteltua vain silloin, kun sen kustannukset ovat pienemmät kuin laitteen mahdollisesta vaurioitumisesta aiheutuvat kustannukset. (Mikkonen, 2009, s.162–163).

5.1 Aistinvaraiset tarkastukset

Aistinvaraisella tarkastuksella tarkoitetaan näkö, kuulo, haju ja tuntoaisteilla tehtävää tarkastusta, jotka ovat tärkeitä tilanteen yleiskuvan antajia, ne on kuitenkin vaikeita dokumentoida tai verrata eri aikoina tehtyjä havaintoja. Näkö- ja tuntoaisti ovat kunnonvalvonnan kannalta tärkeimmät aistit.

Aisti	Apuväline
Näköaisti	Valo Vesi, öljy tai muu neste Suurennuslasi Jauhe Valkoinen paperi Stroboskooppi Peili Endoskooppi Kamerat ja suurnopeuskamerat
Kuuloaisti	Keppi Stetoskooppi Akustinen koetin Ultraäänikoetin Nauhuri
Tuntoaisti	Lämpötarra Lämpöliitu Vesi Laatta, "kolikko"

Kuva 12. Kunnonvalvonnassa käytettäviä aistien apuvälineitä. (Mikkonen, 2009, s.422).

Näköaisti

Näköhavainnoilla voidaan seurata laitteiden tiiveyttä ja tunnistaa mahdollisia vuotoja. Pienet nestevuodot näkyvät esimerkiksi kosteutena vuotokohdassa, kun taas suuremmat vuodot voi havaita tiputteluna. Näköhavainnoin voidaan tarkkailla myös liitoksia. Liitoksen löystyminen saattaa ilmetä irtoavana maalina, ruosteena tai irtoavina muttereina. Lisäksi voiteluöljyä voidaan arvioida pelkän silmämääräisen tarkastelun avulla: öljyn määrä, virtaus, väri, vaahtoaminen ja mahdolliset epäpuhtaudet voidaan havaita näköhavainnoilla.

Kuuloaisti

Kuuloaistin käyttö kunnonvalvonnassa vaatii tietoutta ja kokemusta. Kuullessaan uuden äänen laitteesta ihminen vertaa sitä edelliseen kuulemaansa käyntiääneen. Ihminen kuulee myös ympäristöstä tulevat äänet, mikä vaikeuttaa kunnonvalvontaa. Usein valvottavissa kohteissa on niin kova melutaso, että joudutaan käyttämään kuulosuojaimia. Äänen tulkinta vaatii valvottavan koneen tai laitteen rakenteen ja käytön tuntemusta. Hyvä apulaite meluisaan ympäristöön on stetoskooppi tai akustinen koetin, jossa koetinkärjestä ääni johtuu vahvistimeen, jolla säädetään sopiva äänenvoimakkuus. Säätimeistä ääni johdetaan kuulosuojaimien sisään asennettuihin kaiuttimiin.

Tuntoaisti

Tuntoaistia käytetään paljon lämpötilojen valvonnassa. Koneiden kunnonvalvonnassa laakeripesän lämpötilan pysyessä alle +50 C voidaan lämpötila tarkastaa kosketuksella. Jos raja ylittyy, niin tarvitaan apuvälineitä kuten lämpöliitu tai lämpötarra, jotka muuttavat tiettyssä lämpötilassa väriään. Värähtelyn valvontaan tuntoaisti on harvoin riittävä menetelmä, mutta värähtelyn taajuuden pysyessä alle 200 Hz voidaan saada aikaan tuloksia.

Tuntoaistin avulla vertailemalla voi koneesta hakea kohdan, jossa värähtely on voimakkainta.

Hajuaisti

Hajuaistia voidaan käyttää vuotojen havaitsemiseen ja vuotavan aineen tunnistamiseen. Kun aine saadaan tunnistettua, voidaan usein päätellä myös, mistä vuoto lähtee. Lisäksi liian kuumaksi lämmenneen laitteen osan voi havaita hajun avulla. Hajuaistia käyttäessä on kuitenkin tärkeää huomioida työturvallisuus, jotta altistuminen mahdollisesti vaarallisille aineille vältetään. (Mikkonen, 2009, s.422–427)

5.2 Fysikaaliset perussuureet

Fysikaalisilla perussuureilla tarkoitetaan lämpötilaa tai painetta. Lämpötilaa seurataan esimerkiksi antureilla tai lämpökameralla, jolla havaitaan lämpö tai nestevuodot. Painetta seurataan painemittareilla hydraulikka, pneumatiikka ja voitelujärjestelmissä. (Aalto, 1994, s.33).

5.2.1 Painejärjestelmät

Painejärjestelmien kunnossapito perustuu ensisijaisesti valmistajan antamiin käyttöohjeisiin. Lisäksi on huomioitava järjestelmän käyttöympäristön erityisvaatimukset. Painejärjestelmiä seurataan joko paikallisesti tai etäluettavien painemittareiden ja varoventtiilien avulla. Käyttöarvoja säädetään normaalin käytön aikana esimerkiksi painekeytkimillä tai termostaateilla, jotta järjestelmä toimii turvallisesti ja luotettavasti. Varoventtiiliä ei saa käyttää paineen säätämiseen. Erityisesti hankalissa käyttöolosuhteissa painelaitteet vaativat jatkuvaa kunnonvalvontaa. Vaativia käyttöolosuhteita ovat ulkosijoitukset, kosteat ympäristöt tai ahtaat tilat. (Tukes, 2004, Painelaitteiden kunnossapito opas)



Kuva 13. Esimerkki prosessiteollisuudessa käytetystä painemittarista, WIKA PG28 Bourdon-putkipainemittari. (WIKA, 2025, Tuotteet)

5.2.2 Lämpötilan mittaus

Lämpötilan mittauksella on tärkeä rooli erilaisten prosessien seurannassa, ja sitä hyödynnetään myös hälytysjärjestelmissä. Mittauksia voidaan tehdä lämpökameralla, koskettavilla antureilla tai koskettamattomilla menetelmillä. Koskettamattomat mittaukset perustuvat kappaleen lähettämän lämpösäteilyn havaitsemiseen. Tavallisimmat koskettavat lämpötila-anturit ovat metallivastusanturit ja termoparit. Metallivastusanturin toimintaperiaate perustuu anturin resistanssiin, joka muuttuu lämpötilan mukaan. Termoparianturin toiminta perustuu lämpösähköilmiöön. Siinä kahdesta eri metallista valmistetut metallilangat yhdistetään toisesta päästä, jonka pään ja lankojen toisen pään välille syntyy lämpötilaeroon verrannollinen tasajännite. Käyttölämpötilat ovat -273 C asteesta +2000 C. Koskemattomat lämpötilan mittausmenetelmät perustuvat lämpösäteilyyn, joka on sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituus on pidempi kuin näkyvällä valolla. Yleisimpiä koskemattomaan lämpötilan mittausmenetelmään perustuvia mittareita ovat infrapunalämpömittarit, voidaan mitata laitteen lämpötilaa liikuttamalla mittaria käsin kappaleen pinnasta toiseen.

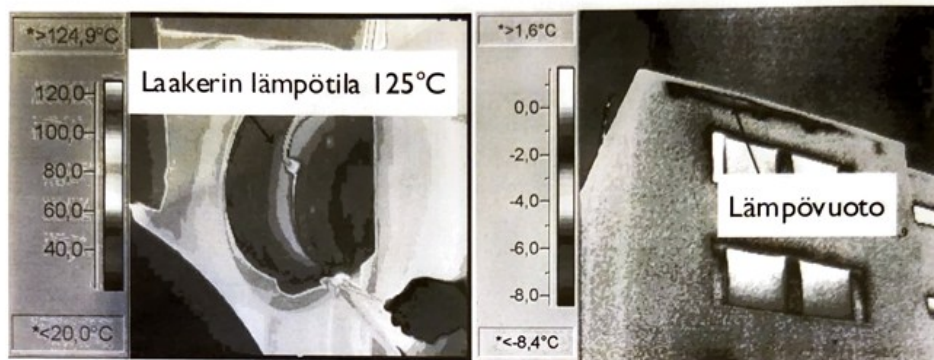


Kuva 14. Fluke 62 MAX infrapunalämpömittari. (ETRA, 2025, Tuotteet)

Muita lämpötilan mittausmenetelmiä on esimerkiksi lämpökamera, joka mittaa kuvattavan kohteen pinnasta lähtevää lämpösäteilyä. Lämpökameran kenno eli ilmaisimatriisi muuttaa mitattavan kohteen lämpösäteilyn lämpötilatiedoksi, josta lämpökuvaa muodostetaan digitaalisesti reaaliajassa. Sen suurin etu on lämpötilatietojen saaminen nopeasti suurelta alueelta. Lämpökameroita on kahta tyyppiä, jäähdytettyjä ja jäähdyttämättömiä. Jäähdytetyt kamerat pystyvät seuraamaan nopeita lämpöilmiöitä, kun taas jäähdyttämättömät eivät ole yhtä nopeita, mutta ne soveltuvat jatkuvaan valvontaan, sillä niissä ei ole liikkuvia osia, jotka kuluisivat. Lämpökameran tyypillisiä käyttökohteita ovat lämpövuotojen paikantaminen, sähkökäyttöjen kaappien lämpötilamittaukset ja vaihdelaatikkojen lämpötilajakautumisen määrittäminen. (Mikkonen, 2009, s.439–446).



Kuva 15. Fluke TiX580 lämpökamera. (Fluke, 2025, Tuotteet)



Kuva 16. Lämpökameran mittaustuloksia. Vasemmalla vaihteiston laakerin lämpötilan mittaus, oikealla rakennuksen lämpövuodon mittaus. (Mikkonen, 2009, s.446).

5.3 Sähköiset perussuureet

Sähköisillä perussuureilla tarkoitetaan sähkölaitteiden ja komponenttien jännite, virta, teho ja vastusmittauksia. Sähkömoottorit pyörittävät mekaanisia laitteita voimalaitoksissa ja niiden toimintaan liittyy monia erilaisia vikaantumismekanismeja.

Yleisimpiä vikaantumismekanismeja:

- Moottorien jumitilanteet
- Staattorikäämyksien vikaantumiset
- Virransyötön aiheuttamat ongelmat
- Akselijännitteiden aiheuttamat laakerivirrat ja vauriot

5.3.1 Moottorin jumitilanne käynnin aikana

Sähkömoottorin käynnistys epäonnistuu, jos moottorin pyörittämä kuorma on suurempi kuin moottorin käynnistysmomentti. Syntyy jumitilanne, jossa sähkömoottorin käämityksessä kulkee suuri käynnistysvirta, joka kuumentaa nopeasti käämityksiä sekä koneen levypakettien rakenteita. Moottorin käynnistys on keskeytettävä mahdollisimman nopeasti, jotta liiallinen

kuumeneminen ja vauriot voidaan välttää. Moottorin jumitilannetta valvotaan yleensä lämpöreleellä tai ylivirtareleellä, Suurilla moottoreilla käytetään relesuojausta, joka tunnistaa jumitilanteen ja kytkee moottorin pois päältä ennen kuin se ehtii ylikuumeta.

5.3.2 Staattorikäämityksen vikaantuminen

Yleisin staattorikäämityksen vika on eristeen heikkeneminen. Eriste voi kulua ajan myötä esimerkiksi moottorin jatkuvasta ylikuormituksesta tai roottorin jumitilanteista. Kun roottori kuumenee, akselin lämpötila nousee, mikä voi aiheuttaa akselin taipumista tai laakereiden lämpötilan kasvua. Tällöin myös laakereiden kunto heikkenee. Myös ylijännite ja alijännite voivat aiheuttaa eristeen kunnan heikkenemisen. Moottorin ylikuormitusta valvotaan ylikuormitussuojauksella, lämpöreleellä tai lämpötilamittauksella. Pidemmän varastoinnin tai pidempien seisokkien aikana sähkömoottorin staattorikäämitys voi imeä kosteutta. Jos kosteus tiivistyy eristyksen pinnalle kastepisteeseen, käämitys voi vettyä ja eristyskyky heikentyä merkittävästi. Tämä voi johtaa staattorikäämityksen maasulkuun, kierrossulkuun tai vaiheiden väliseen oikosulkuun. Moottorin eristyskyky voidaan tarkistaa eristysvastusmittauksella. Jos mittaus osoittaa, että eristysvastus on laskenut, käämitys voidaan kuivata ennen moottorin käyttöönottoa.

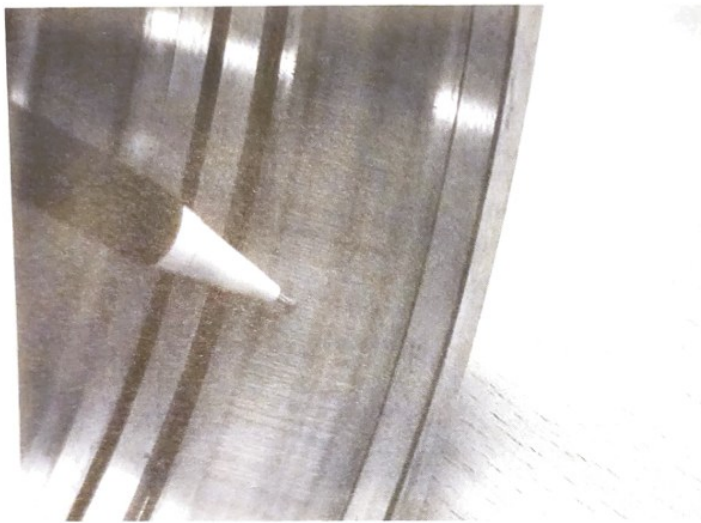
5.3.3 Virransyötön aiheuttama ongelma

Yleisimpiä virransyöttöön liittyviä ongelmia ovat vaihesyötön liitosten löystyminen tai katkeaminen. Löystyminen voi aiheuttaa virtaepäsymmetriaa vaiheiden välillä, mikä johtaa moottorin ylikuumenemiseen. Sähkömoottorin yksivaiheinen katkeaminen johtuu usein huonosta liitoksesta, rikkoutuneesta sulakkeesta, avoimesta kontaktorista tai jakeluverkon vaiheen katkeamisesta. Kun yhden vaihejohtimen liitos heikkenee, osa sen virrasta ohjautuu muille vaiheille, mikä kasvattaa niiden virtaa. Tällöin moottori kuumenee nopeasti ja se täytyy kytkeä mahdollisimman nopeasti pois päältä ennen kuin se johtaa

käämityksen palamiseen. Valvontaa tehdään lämpöreleellä ja virtaepäsymmetriasuojauksella. Virtaepäsymmetriasuoja tarkkailee vaiheiden virtoja ja katkaisee moottorin, jos virtaerot kasvavat liian suuriksi. Moottorin käämien lämpötilaa seurataan yleensä automaatiojärjestelmään liitetyllä käämin lämpötilamittauksella.

5.3.4 Akselijännitteen aiheuttamat laakerivirrat ja vauriot

Nykyaikaisissa taajuusmuuttajamoottoreissa laakerivauriota aiheuttaa akselijännite, joka kasvaa liian suureksi. Kun jännite läpäisee laakerin öljykalvon, syntyy sähkövirta, joka kulkee akselin kautta laakerin läpi moottorin runkoon. Tämä sähkövirta jättää laakerin kuormitusalueelle ”pyykkilautakuvion”, joka ajan myötä vaurioittaa laakeria.



Kuva 17. Taajuusmuuttajan indusoiman laakerivirran aiheuttama pyykkilautakuvio laakerin sisäpinnalla. (Kuva: Fortum)

Akselivirtoja on kahta tyyppiä, induktiivista ja kapasitiivista. Induktiivista akselivirtaa esiintyy yleensä suurissa moottoreissa, joissa teho on yli 100 kW. Virta kulkee akselin kautta toisen pään laakeriin, siitä moottorin runkoon ja takaisin akselille toisen laakerin kautta. Induktiivisen virran voi estää käyttämällä eristettyä laakeria tai eristettyä laakerikilpeä. Kapasitiivista akselivirtaa esiintyy

pienissä moottoreissa, joissa teho on alle 30 kW. Virta kulkee molemmista päistä laakerien kautta moottorin runkoon. Virran voi estää eristetyillä laakereilla, mutta on varmistettava, ettei jännite löydä uutta reittiä esimerkiksi vaihteiston tai kytkimen kautta koneen laakerille. Tehokkain keino on yleensä alentaa akselijännitettä suodattimien avulla. (Mikkonen, 2009, s.369–382).

5.4 NDT-menetelmät (Ainetta rikkomattomat mittaukset)

Ainetta rikkomattomia tarkastusmenetelmiä käytetään koneiden ja laitteiden kunnonvalvonnassa. Yleisesti käytettyjä menetelmiä ovat endoskoopitarkastus, ultraääniluotaus ja stroboskoopitarkastelu.

5.4.1 Endoskopia

Endoskooppi on laite, jolla päästään tarkastamaan visuaalisesti vaikeasti havaittavat paikat kuten koneiden ja laitteiden sisäpuoliset kotelot tai putket. Endoskooppeja on kahta tyyppiä, kiinteäputkisia ja taipuisia. Taipuisissa malleissa putki voi olla joko kuituoptinen tai sen päässä voi olla videokamera. Kiinteäputkisissa endoskoopeissa putken halkaisija vaihtelee yleensä 2–20 mm. Kiinteiden ja taipuvien endoskooppien pituus voi olla jopa 20 metriä. Joissakin malleissa on lisäksi hiusmitta-asteikko, jonka avulla voidaan mitata pieniä säröjä.

5.4.2 Stroboskopia

Stroboskopiolla tarkoitetaan menetelmää, jossa pyörivää tai värähtelevää kohdetta valaisevat nopeasti toistuvat välähdykset. Kun valon vilkkumistaajuus vastaa kohteen pyörimis- tai värähtelytaajuutta, kohteen liike näyttää pysähtyneeltä. Välähdystaajuutta muuttamalla kohde alkaa liikkua hitaasti. Tärkeimmät käyttökohteet ovat pyörivien laitteiden tarkastukset. Laitteella voidaan tarkastaa pyörimisnopeuden lisäksi kohteessa olevia vaurioita.

5.4.3 Ultraääniluotaus

Ultraääniluotaus toimii siten, että materiaaliin lähetetty ultraääni heijastuu kaikista epäjatkuvuuksista, kuten rajapinnoista, halkeamista tai huokosista. Tämän avulla voidaan havaita valmistusvirheitä tai mitata materiaalin paksuutta. Ultraäänellä ainepaksuutta voidaan mitata jopa 0,01 mm tarkkuudella ja mittausalue kattaa tyypillisesti 1–200 mm (Mikkonen, 2009, s.447–450).

5.5 Öljyanalyysi

Koneet toimivat öljyvoitelukalvon varassa ja voitelukalvon heikkeneminen lisää koneen kulumista, mikä vaikuttaa suoraan sen kuntoon ja vikaantumiseen. Tämän vuoksi voiteluaineen kunnan seuraaminen on olennainen osa koneen kunnossapitoa. Voiteluaineanalyysien avulla voidaan saada tietoa koneen osien kulumisesta, koneen toiminnasta, voitelun tehokkuudesta sekä voiteluaineen kunnosta. Voiteluaineesta otetaan näytteitä ja niitä analysoidaan eri menetelmillä kuten perusominaisuuksien analyysillä, hiukkasanalyysillä ja kulumametallianalyysillä. Voiteluaineen perusanalyysillä tarkastellaan voiteluaineen yleistä kuntoa. Hiukkasanalyysin avulla seurataan aineen puhtautta, epäpuhtaiden hiukkasten määrää ja kokojakaumaa sekä samalla saadaan tietoa koneen kunnosta. Kulumametallianalyysillä voidaan arvioida koneen kuntoa seuraamalla voiteluaineen metallipitoisuuksien muutoksia. Lisäksi voiteluaineesta voidaan mitata sen vesipitoisuus.

5.5.1 Perusanalyysi

Voiteluaineen perusanalyysissä tarkastellaan öljyn ulkonäköä, viskositeettia, happolukua ja kiintoainepitoisuutta. Näiden mittausten avulla voidaan arvioida öljyn käyttökelpoisuutta ja päättää tarvitaanko lisäanalyyskejä. Öljyn ulkonäkö paljastaa, onko käytön aikana tapahtunut jotain epänormaalia. Ulkonäössä keskitytään öljyn väriin, sameuteen, epäpuhtauksien määrään, ja hiukkasten kokoon. Öljyn viskositeetti voi olla käytön aikana noussut tai laskenut, nousu viittaa hapettumiseen tai epäpuhtauksiin, lasku viittaa liuottimeen tai ohuesta öljystä tutkittavan öljyn seassa. Viskositeetin tarkka määrittäminen vaatii asiantuntevaa laboratoriota ja celsiusasteen sadasosan tarkkuudella oikeata lämpötilaa, kenttämittaukset ovat vain suuntaa antavia. Happoluku riippuu voiteluöljyjen komponentteina käytetyistä perusöljyistä ja lisäaineistuksesta. Käytön aikana tapahtuva hapettuminen nostaa happolukua. Kiintoainepitoisuuden määrittäminen tehdään membraanikalvolle, jossa punnitaan suodatetut epäpuhtaudet. Pitoisuus ilmoitetaan painoprosenttina, joka lasketaan suodattimeen jääneestä kiintoaineesta. Hiukkasia voidaan tarkastella myös mikroskoopilla alkuperän selvittämiseksi.

5.5.2 Hiukkasanalyysi

Hiukkasanalyysissä tutkitaan öljynäytteen epäpuhtauksia. Näytteestä voidaan määrittää standardin mukainen puhtausluokka, automaattisen hiukkaslaskimen avulla tai manuaalisesti mikroskooppilaskennalla. Hiukkasten puhtausluokitus perustuu pääosin kolmikoodiseen ISO 4406 -standardiin. Kulumishiukkasten muoto, väri ja koko antavat viitteitä niiden alkuperästä, jolloin niitä tutkimalla voidaan selvittää laitteen kulumismekanismit ja tunnistaa kulumisen aiheuttaja.

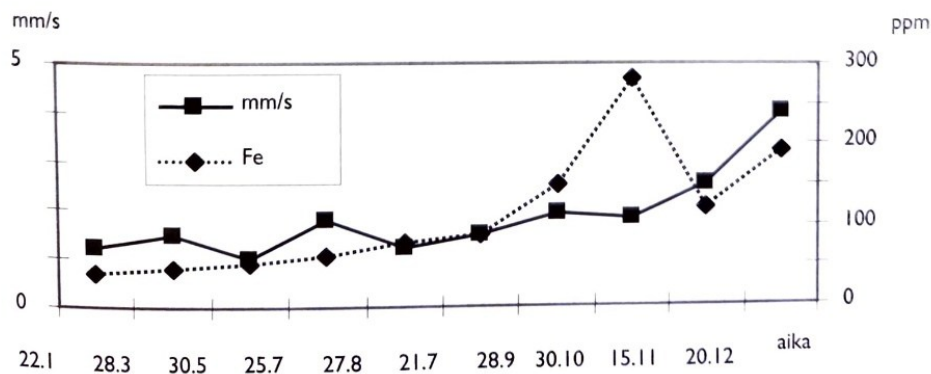
ISO-koodi (ISO 4406)	Hiukkasten lukumäärä/100 ml	
	mistä	mihin
0	0,5	1
1	1	2
2	2	4
3	4	8
4	8	16
5	16	32
6	32	64
7	64	130
8	130	250
9	250	500
10	500	1 000
11	1 000	2 000
12	2 000	4 000
13	4 000	8 000
14	8 000	16 000
15	16 000	32 000
16	32 000	64 000
17	64 000	130 000
18	130 000	260 000
19	260 000	500 000
20	500 000	1 000 000
21	1 000 000	2 000 000
22	2 000 000	4 000 000
23	4 000 000	8 000 000
24	8 000 000	16 000 000
25	16 000 000	32 000 000
26	32 000 000	64 000 000
27	64 000 000	130 000 000
28	130 000 000	250 000 000

15 / 13 / 10
 >2 μm > 5 μm >15 μm
 >4 μm(c) > 6 μm(c) >14 μm(c)

Kuva 18. ISO 4406-standardin mukaiset hiukkasmäärät ja niitä vastaavat koodit. (Mikkonen, 2009, s.433).

5.5.3 Kulumametallianalyysi

Kulumametallianalyysit ovat tehokas menetelmä koneen kunnan ja kulumisen seurantaan, analyysillä selvitetään voiteluaineen sisältämät hiukkaset, niiden alkuperä, kokonaismäärä ja muoto. Menetelmällä saadaan alkavasta vaurioista usein aikaisemmassa vaiheessa tieto kuin värähtelymittauksiin liittyvillä normaaleilla kunnonvalvontamenetelmillä. Kulumametallianalyysi perustuu hiukkasmäärien muutosnopeuteen ja hiukkasten kokojakaumaan. Koneen toimiessa normaalisti, pitoisuuksien kasvu on hidasta ja kulumishiukkasia syntyy vähän. Kulumametallianalyysissä on tiedettävä mitä metalleja järjestelmässä ja koneen osissa on käytetty. Tällöin voidaan päätellä mistä koneenosasta kulumishiukkaset ovat peräisin ja näin tunnistaa vaurioitunut kohde.



Kuva 19. Vaihteen voiteluöljyn rautapitoisuuden ja värähtelyn kokonaistason kehittyminen ajan funktiona. (Mikkonen, 2009, s.437)

Kuvassa 19 nähdään esimerkki eräästä vaihdelaatikosta, jossa kunnonvalvontamenetelmänä on ollut värähtelyn kokonaistasomittaus ja kulumametallianalyysi. Kuvasta näkee, miten ensimmäinen havainto kulumisesta saadaan kulumametallianalyysistä, jossa tapahtuu lyhyellä aikavälillä nopea rautapitoisuuden nousu. Värähtelymittauksessa tapahtuu prosessista johtuvaa pientä vaihtelua, eikä tässä vaiheessa voida vielä selvästi havaita vauriota. (Mikkonen, 2009, s.428–437).

5.6 Värähtelymittaukset

5.6.1 Värähtelymittauksen perusteet

Värähtelymittaukset ovat yleinen kunnonvalvontamenetelmä voimalaitoksissa. Värähtelymittauksia käytetään erityisesti pyörivien koneiden seurannassa. Värähtelyvalvonnan suunnittelu on melko monimutkainen prosessi, joka edellyttää monien tekijöiden huomioimista. Sopivimmat valvontamenetelmät riippuvat kohteen luonteesta ja siitä, kuinka kriittinen se on tuotannon kannalta. Värähtelymittaajan on tunnettava mittaamiseen liittyviä perusteita, jotta pystytään tulkitsemaan mittalaitteen antamaa dataa oikein. Värähtelyjen mittaaminen vaatii huolellista suhtautumista moniin pieniltä tuntuviin yksityiskohtiin. Värähtelyn mittausta paikka on yleensä koneen rungossa.

Normaalin käynnin värähtelyinä voi toimia esimerkiksi polttomoottorissa tapahtuvat räjähdykset, venttiilien tai kampiakselin liikkeet ja muut koneen käyntiin liittyvät tekijät. Tyypillisiä epätarkkuuksia tai vikoja, jotka aiheuttavat värähtelyä ovat epätasapaino, asennuksen virheet sekä vaurioituneet osat. Värähtelymittauksilla tehdyn vianmäärityksen perusta on värähtelyssä tapahtuvien muutosten havaitseminen. Voimakas värähtely voi johtua siitä, että kone liikkuu liikaa tietyllä värähtelytaajuudella. Värähtely voi johtua esimerkiksi koneen tukirakenteiden tai osien joustavuudesta. Usein kyseessä on resonanssi, joka syntyy, kun värähtelytaajuus vastaa koneen ominaistaajuutta. Ominaistaajuudet näkyvät mittaustuloksissa paikallisina huippuina liikkuvuuskaivärsä.

5.6.2 Taajuudet

Herätetaajuus

Värähtelymekaniikassa termi "heräte" tarkoittaa voimaa, joka vaikuttaa rakenteeseen ja saa sen värähtelemään. Teollisuuden koneissa esiintyy usein useita eri herätetaajuuksia ja niiden tunnistaminen voi olla haastavaa.

Koneen normaalista toiminnasta johtuvia herätteitä	Vikojen aiheuttamia herätteitä
Leikkurin terien herätteet	Epätasapaino
Täristimien herätteet	Laakeriviat
Pyörimistaajuiset herätteet	Kytkinviat
Mäntäkoneiden aiheuttamat herätteet	Linjausviat
Pumppujen ja puhallinten siipien aiheuttamat herätteet	Hammasyöräviat

Kuva 20. Esimerkki voimista, jotka toimivat herätteinä. (Mikkonen, 2009, s.225).

Ominaistaajuus

Kaikilla rakenteilla on omat ominaistaajuutensa, jotka saavat ne värähtelemään, kun niihin kohdistuu heräte. Suuri osa rakenteellisista värähtelyongelmista johtuu juuri ominaistaajuuksista, sillä niiden laskeminen suunnitteluvaiheessa on usein haastavaa. Lisäksi rakenteissa voi esiintyä paikallisia

ominaistaajuuksia, jotka voivat aiheuttaa ongelmia tietyissä kohdissa. Ominaistaajuuksia hyödynnetään myös joissakin mittausten menetelmissä, kuten verhoikäyryanalyysissä ja PeakVue-menetelmässä.

Resonanssi

Resonanssi tarkoittaa tilaa, jossa rakenteen ominaistaajuus ja siihen kohdistuvan herätteen taajuus ovat lähellä toisiaan, mikä aiheuttaa voimakkaan värähtelyn. Tällöin värähtely vahvistuu 5–50-kertaiseksi normaalitasoon verrattuna. Jos rakenteen vaimennus on vähäinen, syntyy korkea resonanssihuippu. Kun vaimennusta lisätään, resonanssissa esiintyvä vahvistus pienenee, mutta sen vaikutus leviää laajemmalle taajuusalueelle.

Kriittinen nopeus

Kriittinen nopeus on tapaus, jossa herätevoiman taajuutena on laitteen pyörimistaajuus. Koska pyörimistaajuudella ilmenee aina värähtelyä, ei mikään laitteen ominaistaajuus saisi sijaita pyörimistaajuuden läheisyydessä. Ominaistaajuuden ja pyörimistaajuuden välinen ero täytyy olla vähintään 20 %. (Mikkonen, 2009, s.223–226).

5.6.3 Yleisimmät värähtelymittauksiin liittyvät käsitteet ja parametrit

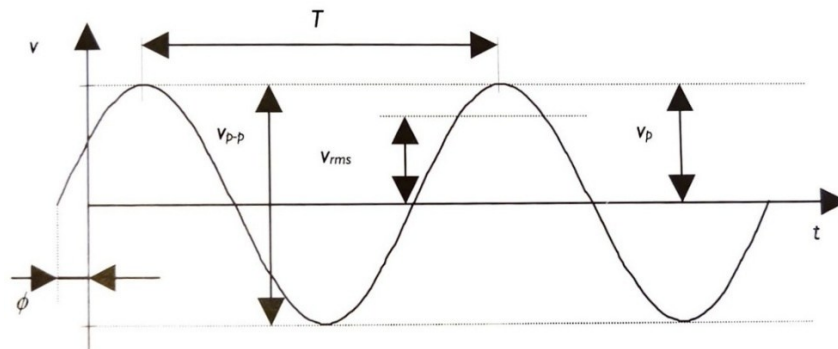
Tuloksien oikeintulkittamisen kannalta on tunnettava mittaussuureet sekä värähtelymittauksen signaalista saatavat perusparametrit. Mittaussuureet on esitetty kuvassa 21 ja perusparametrit kuvassa 22.

Mittaussuureet:

Suure	Lyhenne	Yksikkö
Siirtymä	s	μm
Nopeus	v	mm/s
Kiihtyvyys	a	m/s^2 tai $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
Vaihekulma	ϕ	Aste ($^\circ$) tai radiaani ($360^\circ = 2\pi\text{rad}$)
Taajuus	f	Hz
Jakso	T	s

Kuva 21. Euroopassa yleisesti käytettävät värähtelysuureet ja mittayksiköt. (Mikkonen, 2009, s.230).

Perusparametrit:



T on värähdysaika eli jakso
 v_{p-p} on nopeuden huipusta-huippuun arvo
 v_p on nopeuden huippuarvo
 v_{rms} on nopeuden tehollisarvo
 ϕ on vaihekulma

Kuva 22. Erilaiset mittausparametrit. (Mikkonen, 2009, s.231).

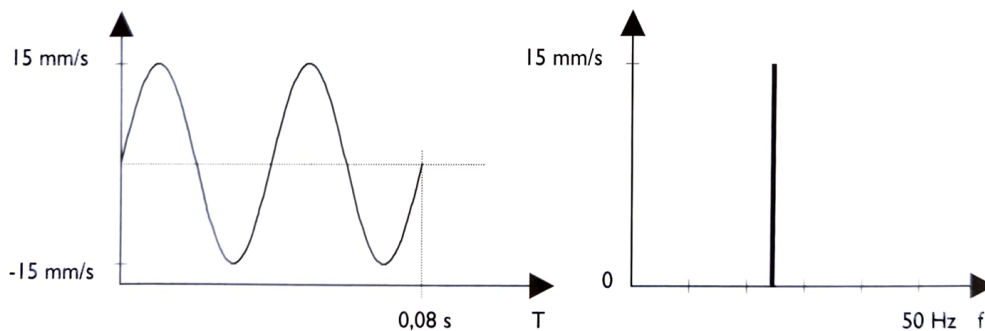
Kuvan 22 mittausparametrit:

- huippuarvo (v_p) tarkoittaa aikatasosignaalin suurimman huipun korkeutta, verrattuna nollatasoon.
- Nopeuden huipusta-huippuun arvo (v_{p-p}) tarkoittaa suurimman ja pienimmän arvon erotusta.
- Nopeuden tehollisarvo (v_{rms}) on 0,707 kertaa huippuarvo.

- Vaihekulma (\varnothing) tarkoittaa jakson kohtaa, johon värähtely on edennyt vertailukohtasta.
- Kunnonvalvonnan tunnuslukumittauksissa suurena käytetään yleisimmin nopeuden tehollisarvoa (V_{rms}).
(Mikkonen, 2009, s.230–231).

5.6.4 Värähtelyn taajuus ja amplitudi

Käytännön mittauksissa värähtely esitetään yleensä taajuustasossa. Tällaisessa esityksessä vaaka-akselilla on taajuus ja pystyakselilla värähtelyn amplitudi. Amplitudi esitetään taajuustasossa vain positiivisena arvona. Tätä esitystapaa kutsutaan taajuusspektriksi, ja se saadaan muuntamalla aikatasossa mitattu signaali FFT-muunnoksen avulla. Kunnonvalvonnassa käytettävät mittalaitteet ja analysointorit tekevät tämän muunnoksen yleensä automaattisesti. Värähtelyn taajuus kertoo, kuinka monta värähdysliikettä tapahtuu tietyssä ajassa. Taajuutta merkitään kirjaimella f , ja sen SI-yksikkö on hertsi (Hz). (Mikkonen, 2009, s.232).



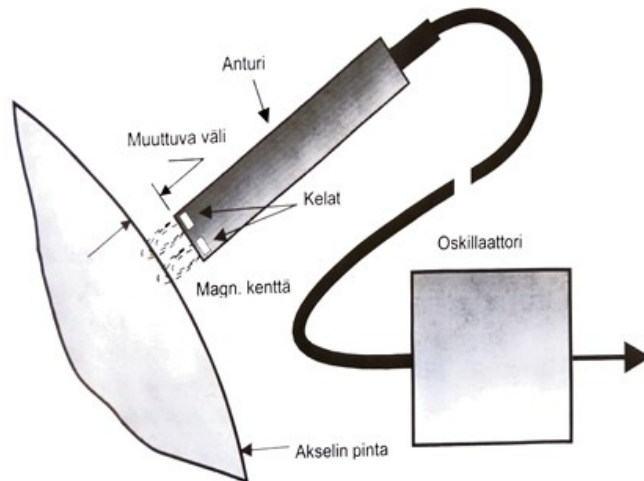
Kuva 23. Siniaalto aika- ja taajuustasossa. Pylväänkorkeus kertoo siniaallon amplitudin ja pylvään sijainti ilmaisee taajuuden. (Mikkonen, 2009, s.232).

5.6.5 Värähtelymittauksissa käytettävät anturityypit

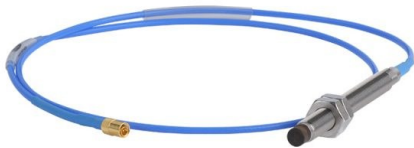
Sähköisiä värähtelyantureita pidetään värähtelymittauslaitteiston tärkeimpänä osana, sen tehtävänä on muuttaa mitattavan kohteen värähtely sähköiseen muotoon. Nykyiset värähtelymittausanturit voidaan jakaa kolmeen tyyppiin: kiihtyvyy-, nopeus- ja siirtymäantureihin.

Siirtymäanturit

Siirtymäanturit mittaavat kohteen etäisyyttä suhteessa anturin paikkaan. Yleisin siirtymäanturi on pyörrevirta-anturi. Pyörrevirta-anturin suurimman ja pienimmän mitattavan signaalin suhde on tyypillisesti luokkaa 100:1. Taajuusalue on 0–10 kHz, mutta käytännössä se rajoittuu 200 Hz, sillä siirtymäarvot ovat pieniä suurilla taajuuksilla. Pyörrevirta-anturi tarvitsee esivahvistimen, joka sijaitsee anturin sisällä tai erillään anturista. Pyörrevirta-anturi ja esivahvistin on yleensä kalibroitu yhdessä tietylle kaapelipituudelle. Muutoksia tehdessä järjestelmä täytyy aina kalibroida. Toiminta perustuu anturin induktanssiin ja ulostulojännitteeseen, jotka muuttuvat mittauskohteen etäisyyden, sekä anturin kärjessä olevan kelan etäisyyden muuttuessa. Pyörrevirta-anturien tärkeimmät käyttökohteet ovat liukulaakeroitujen koneiden kunnonvalvonta. Pyörrevirta-antureiden käyttöä kunnonvalvontamittauksissa rajoittavat useat tekijät. Näihin kuuluvat muun muassa anturin kapea taajuusalue, rajallinen dynamiikka sekä se, että anturin kiinnittäminen mittauskohteeseen voi olla hankalaa.



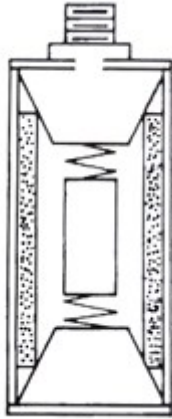
Kuva 24. Pyörrevirta-anturin rakenne. (Mikkonen, 2009, s.235).



Kuva 25. Pyörrevirta-anturi DX3301. (Nome, 2025, Tuotteet)

Nopeusanturit

Nopeusantureita käytetään suurikokoisissa mäntämoottoreissa. Perinteinen nopeusanturi toimii seismisen periaatteen mukaan ja mittaa koneen värähtelyä. Sen tyypillinen taajuusalue on 10–1000 Hz. Nopeusanturit ovat dynamiikaltaan parempia kuin siirtymäanturit, ja niiden dynaaminen mitta-alue on noin 1000:1. Nopeusanturi on kuitenkin melko suuri ja sisältää liikkuvia osia, mikä rajoittaa sen käyttöikä. Lisäksi anturit ovat herkkiä magneettikentille sekä niiden asennussuunnalle. Jos anturi on suunnattu väärin, mittaustulokset voivat olla virheellisiä.



Kuva 26. Nopeusanturin rakenne. (Mikkonen, 2009, s.237).

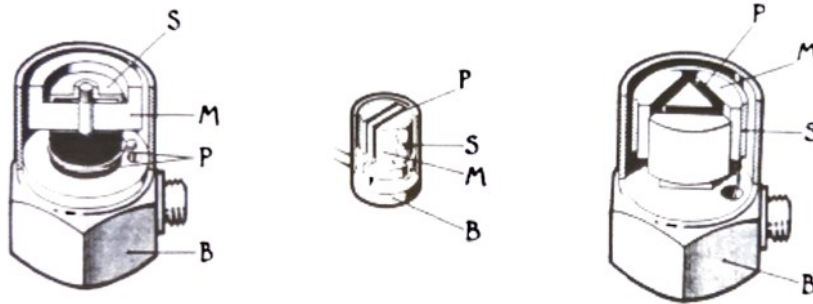


Kuva 27. Caterpillar magneettinen nopeusanturi. (CAT, 2025, Anturit & Kytkimet)

Pietsosähköiset kiihtyvyyssanturit

Pietsosähköinen kiihtyvyyssanturi on yleisimmin käytetty värähtelymittausanturi, koska sillä on useita etuja muihin anturityyppeihin verrattuna. Anturi on pienikokoinen, eikä siinä ole liikkuvia tai kuluvia osia. Lisäksi se ei merkittävästi vaikuta mitattavan kohteen värähtelytilaan. Kiihtyvyyssanturin dynamiikka-alue on suuri. Anturien taajuusalue on noin 0,5 Hz – 100kHz. Anturit ovat epäherkkiä ympäristöolosuhteille ja ne on helppo asentaa. Kiihtyvyyssanturissa on runko, seisminen massa ja niiden välissä oleva pietsoelementti. Kiihtyvyyssanturi kiinnitetään kohteeseen esimerkiksi vaarnaruuvilla siten että anturi liikkuu

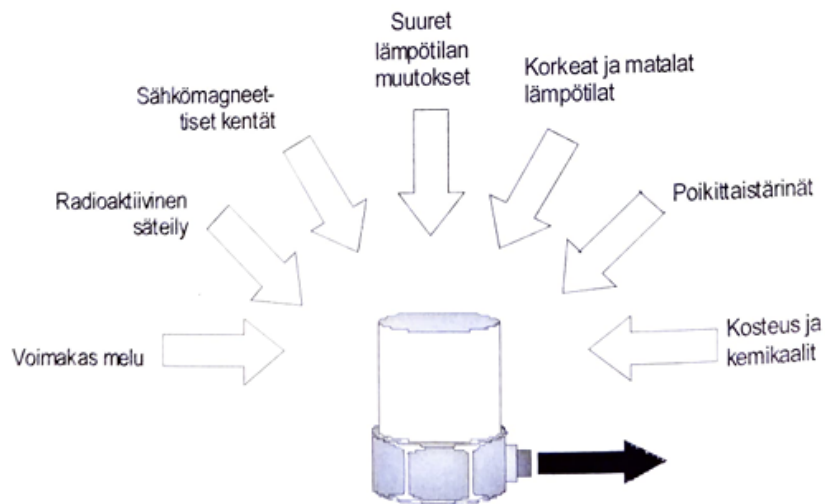
kohteen mukana. Pietsoelementtiin syntyy voimaan suhteessa oleva varaus. Tämä varaus johdetaan joko anturin rungossa olevaan liittimeen tai anturin sisällä olevaan vahvistimeen. Molemmissa tapauksissa anturin ulosotosta saadaan kiihtyvyyttä vastaava mittaussignaali.



Kuva 28. Kiihtyvyyssanturin osat: M = seisminen massa, P = pietsoelektrinen elementti, R = puristusrenkas, B = pohja ja S = jousi. (Mikkonen, 2009, s.238).

Kiihtyvyyssanturin valinnassa huomioitavia tekijöitä

Antureita käyttäessä on tärkeää huomioida niiden herkkyys sekä ympäristön lämpötila. Antureille ilmoitetaan nimellisherkkyys, esimerkiksi 100 mV/g, joka pätee värähtelylle anturin akselin suuntaan. Joillakin antureilla voi esiintyä poikittaisresonanssia. Tämä voi osua mittausalueelle erityisesti silloin, kun anturi on kiinnitetty nipan avulla. Myös ympäristön lämpötilan vaihtelut voivat vaikuttaa mittaustuloksiin, koska pietsoelementti reagoi lämpötilan muutoksiin tuottamalla sähkövarauksen.



Kuva 29. Kiihtyvyyssanturin tulee kestää kovia teollisuusolosuhteita. (Mikkonen, 2009, s.240).



Kuva 30. Kiihtyvyyssanturi AC194-1D (Nome, 2025, Tuotteet).

ICP Anturit

ICP tulee englanninkielisistä sanoista Integrated Circuit Piezoelectric. ICP anturi on rakenteeltaan samanlainen kuin perinteinen pietsosähköinen kiihtyvyyssanturi, mutta anturin sisällä on varausvahvistin. Anturi ei siten tarvitse ulkoista varausvahvistinta. Virransyöttö on yleensä mittalaitteessa, joka syöttää anturikaapelilta vahvistimelle sen tarvitseman virran.

Laseranturit

Laseranturit ovat kappaleetta koskematon mittaussuunnitelma, jolla voidaan mitata etäisyyttä, rotaatiovärähtelyä sekä pinnan kulkunopeutta.

Lasermenetelmän etuna on useiden metrien pituinen mittausetäisyys ja laaja taajuuskaista. Kiihtyvyyssanturiin verrattuna haittapuolena on laseranturin suuri koko ja sen työläs asentaminen. (Mikkonen, 2009, s.234–244).

MEMS-anturit

Mikroelektronikan ja mekaniikan yhdistelmää kutsutaan MEMS-tekniikaksi.

MEMS-tekniikan avulla mikromekaaniset anturit ja toimilaitteet voidaan integroida osaksi mikroelektronisia järjestelmiä. MEMS-anturien

perusmateriaalina käytetään piitä sen mekaanisten ominaisuuksien vuoksi.

MEMS-anturin vahvuuksia on pieni koko ja anturit, joissa on integroitu mikropiiri, kuluttavat huomattavan vähän virtaa akusta. MEMS-anturit ovat muun muassa inertia-antureita, jolla mitataan kiihtyvyyttä, kallistusta tai pyörimisliikettä.

MEMS-anturit voivat sisältää myös oman mikroprosessorin ja toimia itsenäisellä ohjelmistolla. Soveltuakseen kunnonvalvontaan, anturi tarvitsee mittauspiirin ja koteloinnin. (Uusiteknologia, 2025, Boschilta entistä pienempiä MEMS-antureita).

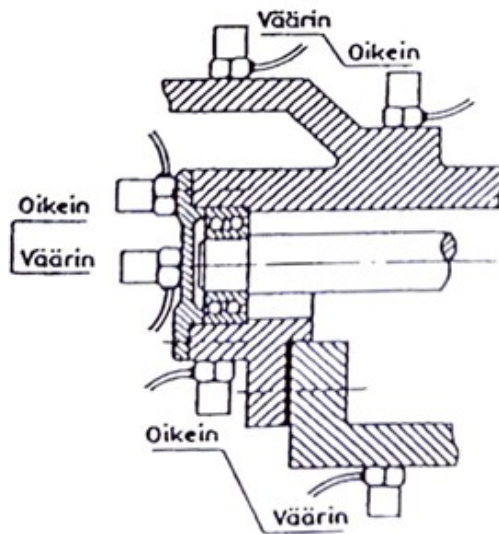
5.6.6 Värähtelyanturin kiinnitystavat

Anturin kiinnitystapa vaikuttaa merkittävästi mittaustulosten tarkkuuteen. On tärkeää varmistaa, että kiinnitys ei rajoita mitattavaa taajuus- tai amplitudialuetta, että anturin massa ei kuormita liikaa mittauskohdetta ja että mittauspiste on valittu niin, että mittaukset voidaan toistaa luotettavasti. Yleisesti paras kiinnitystapa on ruuvikiinnitys, jossa anturi kiinnitetään mittauspisteeseen vaarnaruuvien avulla. Tätä kiinnitystapaa käyttäen koko anturin taajuusalue on käytettävissä (PSK 5703). Kohteissa, joissa ei voi käyttää ruuvikiinnitystä, voidaan käyttää liimausalustakiinnitystä. Tällöin kohteeseen liimataan epoksi tai

syanoakrylaattiliimaa käyttäen liimausalusta, johon anturi on ruuvattavissa. Kiinnitystapa on lähes yhtä hyvä kuin ruuvi kiinnitys. Reittimittauksissa käytetään magneettikiinnitystä, sen käyttö rajoittuu vain ferromagneettisille pinnoille. Magneetin käyttö pienentää anturin dynamiikka-aluetta, sillä se ei kiinnity kohteeseen yhtä lujasti kuin esimerkiksi vaarnaruuvi. (PSK 5703). Myös taajuusalue pienenee anturista välille 1–2 kHz. (Mikkonen, 2009, s.246).

5.6.7 Mittauspaikan valinta

Mittauspaikan valinnalla on suuri merkitys sille, saadaanko mittauksista riittävästi tietoa koneen kunnosta. Koneesta täytyy valita tarpeeksi mittauspisteitä, jotta mahdolliset viat eri koneenosissa voidaan havaita. Jos mittauspisteitä on liian vähän, jokin vika saattaa jäädä huomaamatta. Yleisenä vähimmäisvaatimuksena pidetään yhtä mittauspistettä jokaisen laakerin kohdalla, jolloin samasta pisteestä voidaan arvioida sekä laakerin että muiden koneenosien kuntoa. Kunnonvalvontamittauksissa pyritään mittaamaan jokaisen laakerin kohdalta kolmeen toisiaan vastaan kohtisuoraan suuntaan: vaakasuoraan, pystysuoraan ja akselin suuntaisesti. Tämä on tärkeää, koska tietyt viat näkyvät selkeämmin tietyissä mittaussuunnissa. Eri suuntien värähtelyjä vertailemalla voidaan arvioida koneen vikaantumista tarkemmin. Kaikkia mittauksia ei pystytä tekemään jokaisesta suunnasta, esimerkiksi tilan puutteen tai työturvallisuussyiden vuoksi. Tällaisissa tilanteissa on erityisen tärkeää valita anturin asennussuunta huolellisesti. (Nohynek & Lumme, 1996, s.62–63).



Kuva 31. Anturin eri kiinnityskohtia. (Nohynek & Lumme, 1996, Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. s.63)

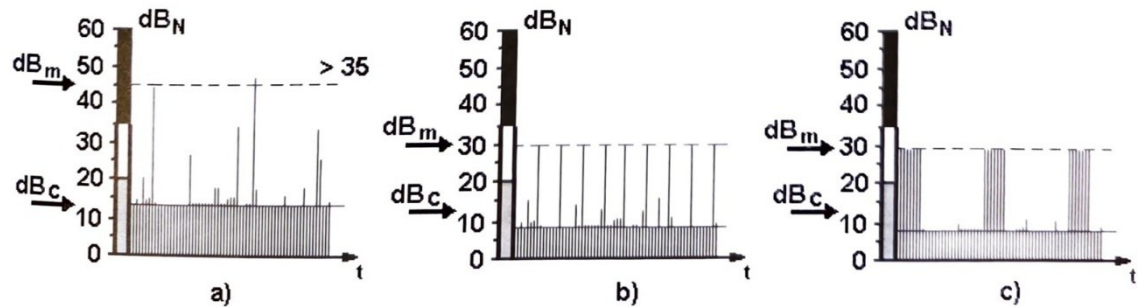
5.7 Korkeataajuiset värähtelymittaukset

Korkeataajuisissa värähtelymittauksissa taajuusalue on noin 20 kHz – 1 GHz. Yleisimpiä korkeataajuisia värähtelymittausmenetelmiä on iskusysäysmittaus, ultraäänen mittaaminen kappaleen pinnasta, SEE-menetelmä, verhokäyräanalyysi ja PeakVue-menetelmä. Lisäksi korkeataajuisiin menetelmiin voidaan lukea Haystack-efektin mittaaminen. Korkeataajuisen värähtelyn energia on alhainen, se edellyttää koko mittausketjulta suurta herkkyyttä, hyvää signaali-kohina suhdetta sekä häiriönsuojausta. Korkeataajuisen aikatasosignaalin mittaaminen vaatii runsaasti tallennuskapasiteettia. Mittauksessa hyödynnetään yleensä anturin tai anturin ja sen kiinnityksen ominaistaajuutta. (Mikkonen, 2009, s.247–248).

5.7.1 Iskusysäysmittaus

Menetelmässä mitataan kappaleeseen kohdistuvien iskumaisten herätteiden aiheuttamaa korkeataajuisia värähtelyä. Menetelmä on kehitetty vierintälaakerien kunnonvalvontaan. Vierintäelimen osuminen vastinpinnan vaurioituneeseen kohtaan herättää anturin värähtelyn sen ominaistaajuudella,

mittauksessa käytetään 32 kHz ominaistajuuden omaavaa anturia. Mittaussignaalia määritellään iskusysäyksen huippuarvo ja mattoarvo. Mattoarvoa hyödynnetään erityisesti laakerin voitelutilan seuraamisessa. (Mikkonen, 2009, s.249).



Kuva 32. Iskusysäyskuvioita. a kuvaa vaurioitunutta laakeria, b toisiinsa iskeviä osia, c toisiaan hankaavia osia. (Mikkonen, 2009, s.249).

5.7.2 Ultraäänimittaus

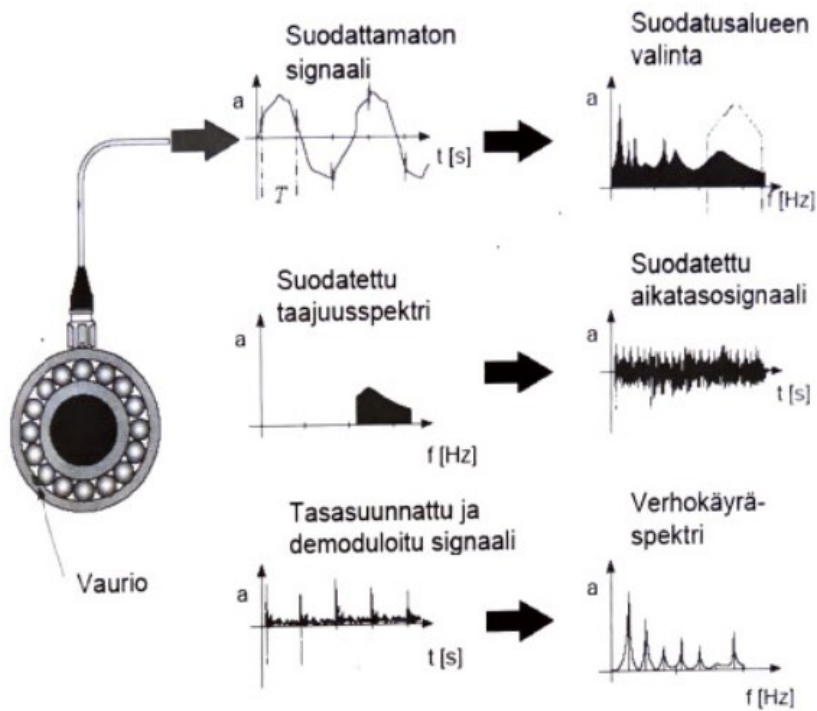
Ultraäänimittauksen taajuusalue kattaa myös iskusysäysmittauksen mittausalueen, jolloin ultraäänimittaus ilmaisee samanlaisia asioita. Ultraäänimittauksessa taajuusalue on laajempi, joten sen erottelukyky jonkin tietyn vikaantumistavan kohdalla on rajoittuneempi. Ultraäänimittauksessa käytetään koetinta kappaleen pinnassa ja analysointi tapahtuu desibelimittauksen avulla. Koskettavalla ultraäänimittauksella havainnoitavia vikaantumistapoja ovat esimerkiksi kavitaatio, laakerivauriot, osien hankaaminen toisiinsa tai puutteellinen voitelu. Menetelmä on hyvä ensihavaintojen tekoon. (Mikkonen, 2009, s.250).

5.7.3 SEE-menetelmä

SEE (Spectral Emitted Energy) on menetelmä, joka on kehitetty vierintälaakereiden monitorointiin. Menetelmä perustuu 250kHz-350kHz taajuuskaistalla esiintyvän värähtelyn mittaamiseen ja tämän signaalin analysointiin laskemalla signaalista SEE-yksiköissä ilmaistu tunnusluku. Menetelmällä havainnoidaan vikaantumisia kuten laakerivauriot, laakerin puutteellinen voitelu, kavitaatio tai pyörivien osien koskettamiseen toisiinsa. (Mikkonen, 2009, s.252).

5.7.4 Verhokäyräanalyysi

Verhokäyräanalyysi soveltuu alkavien laakerivaurioiden havainnointiin. Alkavat laakerivauriot ovat värähtelyvoimakkuuksiltaan sen verran heikkoja, että ne peittyvät koneen käynnistä aiheutuvan värähtelyn alle. Häiritsevä värähtely muodostuu koneen pyörimistaajuudesta sekä joistakin resonanssitaajuuksista. Verhokäyräanalyysissä käytetään signaalinkäsittelytekniikkaa, jolla näiden matalataajuisien värähtelyiden vaikutus eliminoidaan pois. Viat ilmenevät verhokäyräspektrissä piikkeinä. Vika voidaan selvittää laskemalla laakerin vikataajuudet. Verhokäyräspektrissä voidaan erottaa laakerin sisä- ja ulkokehävauriot. Kohonnut kokonaistaso ilman huippuja on usein merkki puutteellisesta voitelusta. Mittalaitteissa on käytössä useita eri kaistanpäästösuodattimen alueita erikokoisille laakereille. (Mikkonen, 2009, s.252).



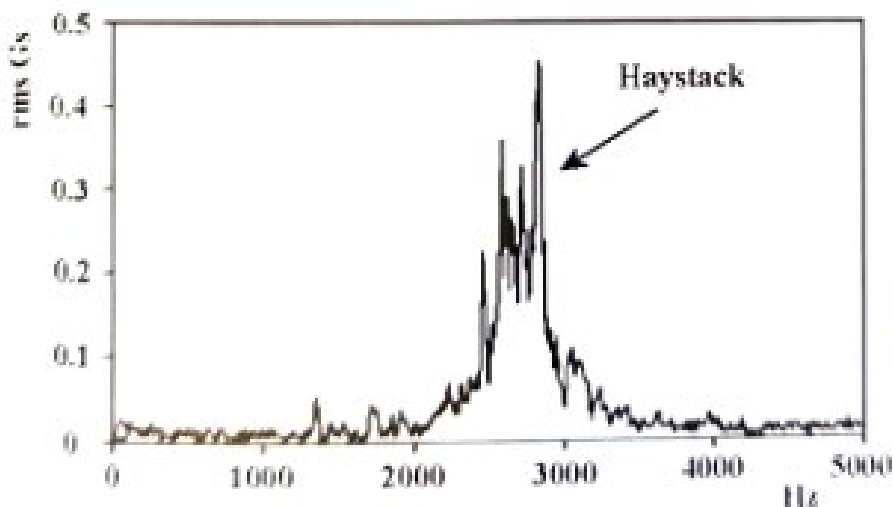
Kuva 33. Verhokäyräanalyysin periaate. (ABB, 2000).

5.7.5 PeakVue-menetelmä

PeakVue-menetelmä on suunniteltu havaitsemaan värähtelypiikit, jotka syntyvät iskumaisten herätteiden seurauksena. Käyttökohteet ovat samat kuin verhokäyrämenetelmässä kuten hammasvaihteiden ja vierintälaakerien värähtelymittaukset. Erityisenä käyttökohteena ovat hitaasti pyörivät laakerit. Mittaustuloksena saadaan PeakVue aikatason signaali, jota voidaan käsitellä edelleen taajuusanalyysillä tai tilastollisilla menetelmillä. (Mikkonen, 2009, s.252).

5.7.6 Haystack-ilmio

Haystack-ilmioä hyödynnetään värähtelymittauksissa vierintälaakereiden voiteluongelmien tunnistamisessa. Spektrissä haystack, eli heinäkasakuvio näkyy muutamien kilohertsien taajuudella piikikkäänä heinäkasana. Kun vierintälaakerin voitelu ei ole riittävä, esimerkiksi voiteluaineen vähäisyyden vuoksi, laakerin ratojen väliset kontaktit synnyttävät pieniä impulssimaisia iskun kaltaisia herätteitä. Nämä herätteet aktivoivat laakerin ominaistajuuksia. Herätteet tapahtuvat hyvin nopeasti, mutta ne eivät ole säännöllisiä. Epäsäännölliset iskut ja laakerin rakenteen vaihteleva värähtely johtavat siihen, että ominaistajuuksilla esiintyvä värähtely ei ilmene yksittäisinä taajuuksina, vaan tietyllä taajuusalueella epäsäännöllisinä nousuina värähtelytasossa. Mitä pienempi laakeri on, sitä korkeammilla taajuuksilla Haystack-ilmio voidaan havaita. (Mikkonen, 2009, s.253).



Kuva 34. Haystack-ilmion mittaustulos vierintälaakerissa. (Mikkonen, 2009, s.253).

6 Etäkunnonvalvontajärjestelmä

6.1 Etäkunnonvalvonnan perusteet

Etäkunnonvalvonnalla tarkoitetaan kunnonvalvontamenetelmää, jossa on kiinteä verkossa toimiva värähtelyvalvontajärjestelmä, joka hyödyntää langallisia tai langattomia värähtelymittausantureita. Järjestelmä tarjoaa reaaliaikaista värähtelymittausdataa, jota tarvitaan varsinkin tuotannon kannalta kriittisissä laitteissa. (PSK Standardisointi, 2024, PSK 5705).

Vierintälaakerien kuntoa seurataan värähtelymittausdatan avulla ja vikadiagnostiikka-algoritmeilla pystytään havaitsemaan alkava vika, tunnistaa vian etenemisen eri vaiheet ja arvioimaan vian vakavuus. (Kansanaho, 2019).

Etäkunnonvalvonnan avulla saadaan ehkäistä koneiden ja laitteiden hallitsematonta vikaantumista, joista aiheutuu odottamattomia kustannuksia. Sillä on merkittävä rooli tehtaiden käytettävyyden, tuottavuuden ja turvallisuuden ylläpitämisessä. (Promaint-lehti, 2023, Kohti ennakoivaa kunnonvalvontaa).

6.2 Etäkunnonvalvonnan anturityypit

Etäkunnonvalvonnassa käytettävät anturit ovat joko langattomia tai langallisia. Värähtelyvalvontaan tarkoitetut anturit ovat pääosin pietsosähköisiä kiihtyvyydsantureita, mutta niissä voi olla lisäominaisuuksia kuten lämpötila-anturi, heräteanturi tai MEMS-kiihtyvyydsanturi. Antureita on saatavana myös eri herkkyysluokissa. (Valmet, 2025, Vibration Sensors).

6.2.1 Langalliset anturit

Langallisia antureita käytetään kriittisimmissä kohteissa kuten turbiineissa, puhaltimissa ja suurissa pumpuissa. Kriittisimmissä kohteissa on tärkeää, että yhteys toimii katkeamatta. Langallisia antureita on käytettävä myös, jos ympäristössä on paloturvallisuus, säteilyrajoitteita tai anturit ovat alttiina elektromagneettisille häiriöille. Langalliset anturit eivät vaadi säännöllistä latausta kuten langattomat anturit. Langallisten antureiden ominaisuuksia on kuvailtu Taulukossa 1. (CTCOnline, 2025) (Valmet, 2025)

6.2.2 Langattomat anturit

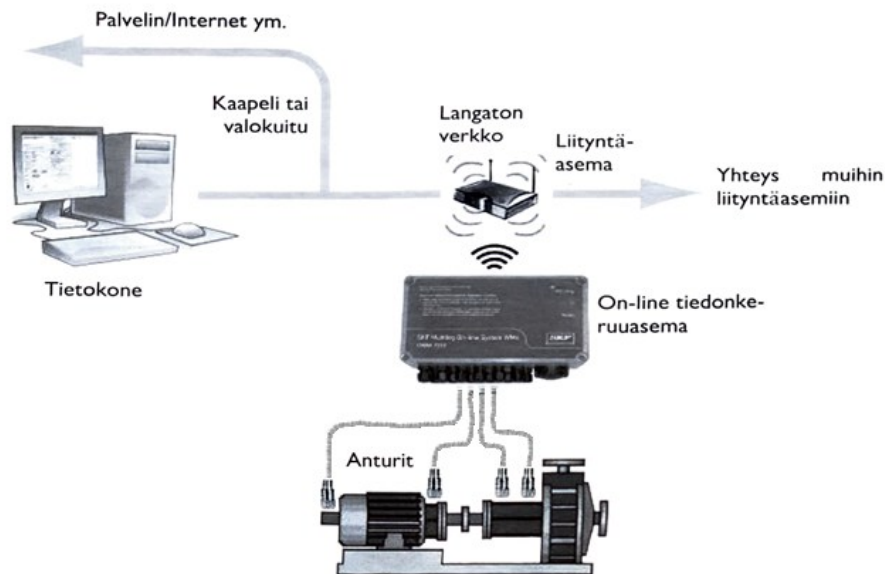
Langattomia antureita voidaan käyttää kohteissa, joissa kaapelointi olisi kallis tai mahdoton ratkaisu. Näitä kohteita ovat esimerkiksi voimalaitosten ruuvikuljettimet ja pienemmät pyörivät laitteet, jotka liikkuvat jatkuvasti. Langaton järjestelmä on hyvä kohteille, jossa riittää datan trendiseuranta. Trendiseurantaa käytetään yleisesti ei-kriittisillä laitteilla, jotka eivät vaadi jatkuvaa seurantaa. Langaton ratkaisu sopii laitteille, jotka sijaitsevat kaukana muista järjestelmän laitteista. Tällöin laitteelle ei tarvitse vetää pitkiä kaapelivetoja ja on siten edullisempi toteuttaa. Langattomia antureita on helpompi lisätä myöhemmin jo olemassa olevaan järjestelmään, koska ne eivät vaadi kaapelinvetoja. Langattomien antureiden ominaisuuksia kuvaillaan Taulukossa 1. (Ludeca, 2025). (CTCOnline, 2025). (Valmet, 2022).

Taulukko 1. Yhteenveto antureista.

Ominaisuus	Langallinen anturi	Langaton anturi
Asennus	Kallis, vaativa	Nopea, helppo
Virransyöttö	Jatkuva	Akku, akunkesto ~1 vuosi
Dataseuranta	Reaaliaikainen	Mittausväli käyttäjän määrittämä (Vaikuttaa akunkestoön)
Huolto	Vähäiset huoltokulut	Akun vaihto tai lataus
Käyttökohteet	Kriittiset kohteet	Vähemmän kriittiset / Kohteet joissa langallinen ei ole vaihtoehto

Taulukko 2. Mittalaitteiston valinnassa huomioitavia tekijöitä. (Mikkonen, 2009, s.264).

Tekniset ominaisuudet	Käyttö ja huolto	Ympäristövaatimukset
Tiedonsiirtoyhteys	Käyttäjystävällisyys	Lämpötila
Tiedonkeruominaisuudet	Koko ja paino	Kosteus
Analysointiominaisuudet	Akkukäyttöisyys	Epäpuhtaudet
Signaalin esikäsittely	Kalibroituus	Iskun sieto
Anturien kytkentä	Huoltopalvelut	Valaistusolosuhteet
Lisälaitteet	Käyttö- ja huolto-ohjeet	Kemikaalit
Toimintanopeus	Koulutus ja tekninen tuki	Räjähdyssuojaukset (ex-tilat)
Yhteensopivuus	Takuu	Säteily
	Päivitettävyyys	Magneetti- ja sähkökentät
	Laajennettavuus	



Kuva 35. Esimerkki asennettavasta kunnonvalvontajärjestelmästä. (Mikkonen, 2009, s.262).

Konetyyppi Machine type	Kriittisyys Criticality	Rasitus Stress	Suositeltava mittausväli Recommended measurement interval							
			Jaksottainen kunnonvalvontamittaus				Tarkastusmittaus ¹⁾			
			kiinteä on-line	2 vko 2 weeks	4 vko 4 weeks	2 kk 2 months	4 kk 4 months	6 kk 6 months	12 kk 12 months	24 kk 24 months
Pumppu ja puhallin Pump and fan / blower	kriittinen critical	kova heavy	X							
	kriittinen critical	kevyt light	X							
	ei kriittinen non critical	kova heavy								
	ei kriittinen non critical	kevyt light								
Turbogeneraattori Turbo generator	kriittinen critical	kaikki all	X							T
Ruuvikompressor Screw compressor	kriittinen critical	kova heavy	X							
	kriittinen critical	kevyt light	X							
	ei kriittinen non critical	kova heavy								
	ei kriittinen non critical	kevyt light								
Vaihteisto Gear	kriittinen critical	kova heavy	X							T
	kriittinen critical	kevyt light	X							T
	ei kriittinen non critical	kova heavy								T
	ei kriittinen non critical	kevyt light								
Moottori Motor	Mittausväli määritetään käytettävän laitteen mukaan. Värähtelymittauksia täydennetään tarvittaessa erikoismittauksilla. The measurement interval shall be based on the driven machine.									
Telat Cylinders	kriittinen critical	kova heavy	X							
	kriittinen critical	kevyt light	X							
	ei kriittinen non critical	kova heavy								
	ei kriittinen non critical	kevyt light								

Kuva 36. PSK Standardisointi, 2024, PSK 5705. Suositeltavia värähtelyn mittausvälejä jatkuvatoimisille laitteille.)

6.3 Käyttöliittymä

Etävärähtelyanturit vaativat värähtelyvalvontajärjestelmän, josta operaattorit voivat reaaliaikaisesti seurata anturien antamaa värähtelymittausdataa.

Käyttöliittymää käytetään paikallisverkossa tai etänä suojatulla

internetyhteydellä. Käyttäjät voivat hallita prosesseja ja huoltotietoja

järjestelmän kautta. Järjestelmä tunnistaa automaattisesti värähtelypoikkeaman ja varoittaa mahdollisista laitevioista jo aikaisessa vaiheessa.

Värähtelypoikkeamatunnistus perustuu mittaushistoriaan eikä vaadi ennalta määritettyjä hälytysrajoja. Käyttöliittymän diagnostiikkasovellus tunnistaa vikatyypit ja niiden vakavuuden mitatun tiedon perusteella. (Valmet. 2022. Valmetin uudistettu kunnonvalvontaratkaisu parantaa kunnossapidon tehokkuutta.)

6.4 Huomioon otettavia asioita kiinteissä järjestelmissä

Kiinteitä värähtelyvalvontajärjestelmiä käytetään laitteissa, joissa viat kehittyvät nopeasti, ovat herkkiä häiriöille, mittausväli on lyhyt tai kuormituksen vaihtelut tekevät vertailukelpoisten arvojen saamisen vaikeaksi. Tiedonkeruu voi tapahtua joko jatkuvasti tai määrätyin väliajoin. Jatkuvasti toimivia järjestelmiä käytetään erityisesti laitteissa, joissa viat voivat kehittyä nopeasti vaurioiksi, esimerkiksi turbiineissa, kompressoreissa ja generaattoreissa. Määrävälein kerättävissä mittauksissa on huolehdittava, että mittausväli on riittävän lyhyt, jotta mahdolliset vauriot havaitaan ennen kuin ne ehtivät kehittyä.

Mittaustulokset verrataan asetettuihin hälytysrajoihin sekä aiempiin mittauksiin. Jos aikaisempia tuloksia ei ole saatavilla, niitä voidaan verrata samantyyppisten laitteiden mittauksiin. Liitteissä 8–9 värähtelyvalvonnan tarpeen määrittely. (PSK Standardisointi, 2024, PSK 5705. Kiinteät järjestelmät)

Mittaustoimintaa järjestäessä on huomioitava seuraavia asioita:

- Henkilöstön koulutus kaikilla organisaatiotasoilla
- Toimivien ja selkeiden mittauskäytäntöjen laatiminen
- Mittaustoiminnan kehityksen ja suoritusvastuun määrittäminen
- Mittausohjelmistojen ylläpitovastuun määrittäminen
- Laitetietojen kerääminen ja ylläpito
- Mittaustulosten tulkinta ja niiden hyödyntäminen päätöksenteossa
- Mahdollisuus tarkastella mittauksia heti mittauksen jälkeen
- Raportointi ja toimenpidevastuun siirto
- Palautetiedon käyttö mittaustoiminnan kehittämisessä
- Historiatiedon tallentaminen ja sen hyödyntäminen

(PSK Standardisointi, 2024, PSK 5705. Mittaustoiminnan järjestely.)

6.5 Käytössä olevat etäkunnonvalvontajärjestelmät Suomessa

Etäkunnonvalvontajärjestelmiä on otettu käyttöön jo useissa suomalaisissa voimalaitoksissa sekä tehtaissa ja niiden avulla yritykset parantavat voimalaitoksien ja tehtaiden toimintavarmuutta sekä turvallisuutta.

6.5.1 Laanilan biovoimalaitos (Oulun Energia)

Oulun Energia on ottanut käyttöön Valmet DNA -kunnonvalvontajärjestelmän Laanilan voimalaitoksella. Valmet DNA -värähtelyvalvontajärjestelmä sisältyy Laanilan laitoksen Valmet DNA automaatiojärjestelmään. Laanilan voimalaitoksella oli hankintavaiheessa tavoitteena varustaa moderni voimalaitos mahdollisimman toimivalla, luotettavalla ja monipuolisella kunnonvalvontajärjestelmällä. Valmet DNA -kunnossapitojärjestelmä valittiin koska haluttiin varmistaa saumaton tiedonkulku järjestelmän sisällä. Yksi tärkeä hankintakriteeri oli, että laitoksen henkilökunta pystyy käyttämään työssään kunnonvalvontajärjestelmää sujuvasti automaatiojärjestelmän rinnalla työssään. Järjestelmään käyttöönottoon kuului automaattisten värähtelymittausten suunnittelu, määräaikaisten reittimittausten aikataulutus ja mittausten hälytysrajojen määrittely. Kriittiset laitteet ovat etäkunnonvalvontajärjestelmän piirissä ja vähemmän kriittiset laitteet mitataan kannettavalla analysaattorilla. Online-mittauksia tehdään useita kertoja päivässä, kun taas manuaalisten mittausten mittaussväli voi olla jopa neljä viikkoa. Laanilassa kokeiltiin langattomia värähtelyantureita kattiloiden syöttöruuveissa koska langallisten värähtelyanturien asentaminen olisi ollut vaikeaa ja kallista. Langattomia antureita testattiin kuuden kuukauden ajan ja hyvien kokemusten rohkaisemana niiden käyttöä laajennettiin. Anturien laatu on erinomainen ja ne ovat nopeita ottaa käyttöön, kriittisimpiin kohteisiin kuitenkin jätettiin langalliset anturit koska langattomissa antureissa on akut, jotka vaativat säännöllistä latausta. Etäkunnonvalvontajärjestelmä säästi Laanilan voimalaitoksen merkittävältä ongelmalta havaitsemalla kaukolämpöpumpun moottorin laakerin vian ajoissa. Jos vian olisi annettu pahentua, seurauksena olisi ollut vakava laiterikko ja kallis

korjaus. Koska Laanilan voimalaitos on kokenut kunnonvalvontajärjestelmän erinomaiseksi, sen käyttöönottoa suunnitellaan myös Toppilan voimalaitoksella sekä Laanilan ekovoimalaitoksella. (Valmet, 2023).

6.5.2 Rauhalahden voimalaitos (Jyväskylän Energia)

Vuonna 2013 Jyväskylän Energia päivitti kunnonvalvontajärjestelmänsä Valmet DNA -automaatiojärjestelmään. Jyväskylän Energian ohjaus sekä kunnonvalvontasovellukset jakoivat samat järjestelmäresurssit Valmet DNA -järjestelmän kanssa, mikä vaikutti investointikustannuksien suuruuteen. Valmet DNA -järjestelmän trendityökalut ovat olleet erityisen hyödyllisiä Rauhanlahden voimalaitoksella koska lämpötilan ja värähtelynseuranta on auttanut paikantamaan ongelmalliset käyttöalueet koneissa. Järjestelmän hankkimisen myötä on vältetty ylimääräiset käynnit työpaikalla, koska laitteiden kuntoa on voinut seurata omasta toimistosta tai kotoa käsin. Suunnitellut korjaukset tehdään kesäseisokin aikana, ja värähtelydata on ollut tärkeässä roolissa päättäessä mitä töitä tehdään ja mitä varaosia tarvitaan. Työtilauksia voidaan syöttää kunnossapitojärjestelmään heti kun värähtelyissä havaitaan muutoksia. Järjestelmä pitää henkilökunnan jatkuvasti ajan tasalla koneiden kunnosta ja korjaustarpeista. Ennakkovaroitusten ansiosta laakeririkkoja on pystytty välttämään, millä on ollut myös vaikutusta laitoksen varaosavarastoon. Uusien laakerien toimitusajat ovat yleensä alle viikon mutta suurimmat säästöt ovat syntyneet akseleiden ja siipipyörien osalta, joiden toimitusajat ovat huomattavasti pidemmät. Parantuneen ennakoivan kunnossapidon ansiosta ei ole tarvinnut sitoa pääomaa varaosiin, joita aiemmin piti pitää varastossa, vaikka niitä tarvittaisiin ehkä vasta vuosien päästä. Järjestelmä on osoittautunut erittäin luotettavaksi, ainoa ongelma kunnonvalvonnassa kummallakaan laitoksella on ollut yhden anturin vika. Kun asennettuja antureita on lähes 300, kertoo tämä korkeasta luotettavuudesta. (Valmet, 2015).

6.5.3 Kotkan Hovinsaaren biovoimalaitos (Kotkan Energia)

Valmet modernisoi turbiiniautomaatiota Kotkan Energian Hovinsaaren biomassavoimalaitoksella. Uusi automaatio otettiin käyttöön syyskuussa 2016 parantamaan turbiinin luotettavuutta ja käyttövarmuutta. Laitoksen turbiinia ohjataan pääautomaatiojärjestelmän kautta erillisten automaatiojärjestelmien ja linkkisovellusten sijaan, mikä parantaa prosessin läpinäkyvyyttä. Uusi automaatio on tehnyt käyttäjien työstä yksinkertaisempaa ja helpompaa koska siihen sisältyvät esimerkiksi käynnistyssekvenssit. Tarvittaessa käyttäjät ja kunnossapitohenkilöstö pääsevät nopeasti Valmetin asiantuntijatukeen etäyhteyden kautta. Laitoksen vanha turbiiniohjaus saavutti elinkaarensa loppupisteen ja varaosia ei ollut enää saatavilla. Toimitus sisälsi turbiinin ja generaattorin suojauksen, synkronoinnin, virityksen ja kunnonvalvonnan. Häiriötilanteissa pystyy ottamaan nopeasti yhteyttä Valmetin asiantuntijoihin etäanalyysin avulla. (Valmet, 2016).

7 Kunnonvalvonta Naantalin voimalaitoksella

7.1 Revisio

Revisio eli vuosihuolto suoritetaan laitoksen tuotannon kannalta parhaimpana ajankohtana, eli yleensä kesällä, kun energian kysyntä on kaikkein pienintä. Vuosihuollon aikana laitos ei ole käytössä, jolloin laitokselle voidaan tehdä laitteiden tarkastus-, huolto-, ja korjaustoimenpiteet. Revisiossa laitteet avataan, tarkastetaan, ja tehdään ennalta määritetyt korjaustoimenpiteet sekä toimenpiteet, jotka nähdään tarkastusten perusteella tarpeellisiksi. Tavoitteena on laitoksen häiriötön käynti seuraavaan suunniteltuun revisioon asti. Seuraavan revision suunnittelu alkaa jo edellisen vuosihuollon päättyttyä, jolloin hahmotellaan seuraavan vuoden vuosihuollon laajuutta ja aikataulua.

7.2 Kunnossapitostrategiat ja kunnonvalvontamenetelmät Naantalin voimalaitoksella

Naantalin voimalaitoksella on useita eri koneita, joiden kuntoa valvotaan jatkuvasti tehoseurannalla sekä värähtelymittauksin, sähkömittauksin, voiteluaineanalyseilla, paineen ja lämpötilan seurannalla, NDT-menetelmillä sekä aistinvaraisilla tarkastuksilla. Endoskoopilla tarkastellaan muun muassa höyryturbiinigeneraattorin kuntoa, jossa osat ovat vaikeasti näkyvillä tai ahtaissa paikoissa. Stroboskooppia käytetään mittauskierroksilla ja sillä pystytään tarkastaa laitteiden pyörimisnopeudet sekä katsomaan kytkimen, hihnojen ja hihnapyörien kunto koneen käydessä. Ultraäänipaksuusmittarilla mitataan ennakkohuolto-ohjelman mukaan säännöllisesti aineenvahvuuksia esimerkiksi säiliöistä. Öljynäytteitä otetaan kriittisimpien kohteiden öljyistä. Turbiinin voiteluöljystä ja säätö-öljystä otetaan näyte 4 kertaa vuodessa ja lähetetään ulkopuoliselle yritykselle analysoitavaksi. Suurimmista vaihteista otetaan öljynäyte ennen vuosihuoltoa, jolloin öljyanalyysin tulosten perusteella voidaan

ajoittaa huoltotoimenpiteet revisiolle. Naantalin voimalaitoksella on käytössä SKF TKED1 sähköpurkausindikaattori, jolla havaitaan sähkömoottorin laakereissa tapahtuvia sähköpurkauksia. Useilla laitteilla on huolto-ohjelmat, joiden perusteella huollot tehdään. Kunnonvalvonnan avulla saadaan tieto alkavista vikaantumisista ja niiden avulla huollot pystytään ajoittamaan revisiolle. Äkilliset ja yllättävät rikkoontumiset hoidetaan nopealla korjauksella ja pyritään että voimalaitoksen toiminta pysyy ylhäällä. Monilla kriittisillä laitteilla on olemassa rinnan kytketyt varalaitteet, jotka käynnistetään, jos toinen laite on vikaantunut. Tavoitteena on, että voimalaitos pystyy jatkamaan toimintaansa mahdollisimman normaalisti.

7.3 Värähtelymittaukset

Värähtelymittausten merkitys voimalaitoksen kunnonvalvonnassa on suuri.

Naantalin voimalaitoksella suoritetaan neljä kertaa vuodessa tehtävät kunnonvalvontakierrokset, jolloin laitteisiin tehdään värähtelymittaukset.

Mittaukset hoitaa ulkopuolinen yritys. Mittalaitteena käytetään Emerson AMS 2140 Machinery Health analysointia, jossa antureina on PCB Piezotronics IMI 622B01 kaarevalle sekä tasaiselle pinnalle. Anturit ovat pietsosähköisiä kiihtyvyyssantureita. Mittalaite hyödyntää PeakVue-menetelmää.

Värähtelymittaukset suoritetaan kaikkiin prosessikoneisiin ja höyryturbiinigeneraattoriin. Turbiinigeneraattorin värähtelystandardina toimii ISO 20816-2, joka soveltuu nimellisteholtaan yli 40MW ja nimellinopeudeltaan 3000 RPM höyryturbiini-generaattoreiden värähtelyjen arviointiin.

Standardissa määritellään A-luokkaan kuuluvalla turbiinigeneraattorille seuraavat ajotilanteessa pätevät rajat:

Absoluuttinen laakerivärähtely

- A-luokka <3,8 mm/s rms (10–1000 Hz kaistalla)

Suhteellinen akselivärähtely

- A-luokka <90 µm peak-to-peak

Prosessikoneiden värähtelymittauksissa seurataan verhokäyräspektriä, joka paljastaa mahdolliset vikataajuudet. Mittauksia suorittava yritys selvittää jokaisen laitteen kohdalla siinä olevat laakerit ja laakerien vikataajuudet. Vikataajuuksista voidaan päätellä, onko laakeri vikaantunut sisä- vai ulkokehältäään. Laakerin katsotaan vikaantuneen, kun PeakVue-arvo ylittää 0,5. Laakeri on kunnossa, kun PeakVue arvo on lähellä nollaa. Laakerin kasvanut PeakVue-arvo vaatii tehostettua seuranta.

Mittauksia suorittava yritys antaa vikaantuneista laitteista suositeltavat jatkotoimenpiteet. Värähtelymittausraportissa kuvataan väreillä kohteen kuntoa, punainen merkitsee laitteen vaativan välittömiä toimenpiteitä, keltaisella merkitään toimenpidesuosituksia, vihreä merkitsee laitteen toimivan normaalisti. Värähtelymittaustuloksia Naantalın voimalaitokselta liitteissä 1–4.

7.3.1 Sormenjälkimittaus

Naantalin voimalaitoksen uusille koneille tehdään sormenjälkimittaus, joka tarkoittaa sitä, että koneelle tehdään ensimmäinen vertailumittaus tilanteessa, jossa laitteen oletetaan toimivan normaalisti ja suunnitellulla toiminta-alueellaan ilman häiriöitä. Tämä ensimmäinen mittaus muodostaa laitteen niin sanotun vertailuprofiilin eli ”sormenjäljen”. Mittauksessa saadut arvot dokumentoidaan ja myöhemmillä mittauskerroilla tuloksia verrataan tähän alkuperäiseen sormenjälkeen. Tarkastelussa ei kiinnitetä huomioita pelkästään siihen, ylittävätkö arvot raja-arvoja, vaan erityisesti siihen kuinka nopeasti värähtelytasot muuttuvat ajan kuluessa. PSK 5704 mukaan koneen valmistajalla on velvollisuus ja tilaajalla oikeus suorittaa sopimuksen mukaiset värähtelymittaukset ennen koneen toimittamista asennuspaikalle. Näillä mittauksilla varmistetaan, että kone täyttää sovitut tekniset vaatimukset jo ennen käyttöönottoa. Värähtely mitataan koneen laakerointikohdista standardin PSK 5702 mukaan kolmessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa. Mittausten luotettavuuden varmistamiseksi konetta ajetaan riittävän pitkään ennen mittausta, jotta se saavuttaa lämpötilaltaan ja kuormitukseltaan vakaan käyttötilan. Liitteissä 5–7 on Naantalin voimalaitoksen biokuljettimen 1 ja 2 sormenjälkitiedot. (PSK Standardisointi, 2024, PSK 5704.) (Keskustelu Naantalin voimalaitoksella 3.3.2026)

8 Etäkunnonvalvonta Naantalin voimalaitoksella

8.1 Yleistä

Naantalin voimalaitoksella on ollut selvityksessä etäkunnonvalvontajärjestelmän käyttöönotto. Voimalaitoksella biojärjestelmän ongelmatonta toimintaa pidetään kriittisenä osana laitoksen toimintavarmuutta. Polttoainevirran reitillä on kahdennettuja laitteita mutta järjestelmän putkimaisuus aiheuttaa merkittäviä haasteita tuotannolle, jos laitteita vikaantuu. Vikatilanne voi johtaa välittömään tuotannonkeskeytykseen. Asiaan on reagoitu kunnonvalvonta ja ennakkohuolto-ohjelman lisäksi varalaittein. Etäkunnonvalvonnan tehtävänä on antaa kaikissa järjestelmissä ennakkovaroitus alkavista vioista, järjestelmän tulisi paljastaa äkillinen vikamekanismi ja siitä seuraisi korkeamman tason hälytys, jotta estytään ajamasta laitteita aivan lopulliseen vaurioon. Haasteina on riittävän suodatuksen ja oppimisen taso normaaleista ajotilanteista häiriöisessä ympäristössä. (TSE Naantali, 2026, tarjouspyyntimateriaali.)

8.2 Soveltuvuus

Naantalin voimalaitoksella on käytössä sama Valmet CFB-kiertopetikattila kuin Oulun Energian Laanilan voimalaitoksella, jossa on käytössä myös Valmet etäkunnonvalvontajärjestelmä. Kokemuksia voidaan siis pitkälti verrata Laanilan voimalaitokselta. Laanilan voimalaitoksella oli valmiina Valmet DNA DCS-automaatiojärjestelmä, jonka vuoksi Valmet DNA - etäkunnonvalvontajärjestelmä valikoitui järjestelmävalinnaksi, koska haluttiin mahdollisimman portaaton tiedonkulku järjestelmän sisällä. Kriittiset laitteet ovat etäkunnonvalvonnan piirissä ja vähemmän kriittiset käydään läpi kannettavalla analyysointilaitteilla. Kriittisiin laitteisiin tuli langalliset anturit ja vähemmän kriittisiin voitiin asentaa langaton järjestelmä. Laanilan voimalaitoksella on hyviä kokemuksia langattomista antureista ja niiden käyttöä on laajennettu. Jyväskylän rauhanlahden voimalaitoksella todettiin yksi anturivika, kun antureita

oli asennettu 300 kappaletta, joka kertoo korkeasta luotettavuudesta. (Valmet, 2018).



Kuva 39. Havainnollistava kuva polttoaineen kulusta Naantalın voimalaitoksella.

Kuvassa:

1. Autovastaanotto
2. Autoseulomo
3. Hihnakuuljetin A-latoon
4. A-lato (ruuvipurkaimet)
5. Hihnakuuljetin kattilaan
6. Meribio vastaanotto
7. Meribio hihnakuuljetin
8. Meribioseulomo

8.3 Järjestelmän suunnittelu

Etäkunnonvalvontajärjestelmän kriittisten laitteiden piiriin kuuluu Naantalın voimalaitoksen tapauksessa n. 80 konetta, joihin tulee noin 300 värähtelyanturia. Lisäksi tarvitaan kytkentäkotelaita n. 20 kappaletta. (TSE Naantali, 2026, tarjouspyyntömateriaali)

Taulukko 3. Naantalın voimalaitoksen etäkunnonvalvontajärjestelmän piiriin kuuluvat laitteet.

Sijainti	Koneet	Anturit	Kytkeäkoteloit	Kentäkoteloit
Autovastaanotto ja autoseulomo	12	48	3	1
Kattilahuone ja biosiilon kuljetin	44	176	10	2
A-Lato ja kuljettimet	8	32	2	0
Meribiovastaanotto	2	8	1	1
Meribiokuljetin	1	4	1	0
Meribioseulomo	14	56	3	1

8.4 Kustannusvertailu

Turku Energia on saanut muutamia tarjouksia kunnonvalvontajärjestelmiä myyviltä yrityksiltä. Järjestelmän asennuksen lisäksi palveluihin kuuluu määräaikainen palvelusopimus. Järjestelmät kattavat Naantalın voimalaitoksen polttoaineensyöttöjärjestelmän kannalta kriittisimmät laitteet, tarjoukset ovat suuruusluokaltaan karkeasti 250 000 € - 550 000 €. Tarjoukset ovat kuitenkin jo vuosia vanhoja ja vaativat päivittämistä. Nykyiseltään Turku Energialla on käytössä Pruftechnik VibXpert II -mittalaite, jonka hankintahinta on ollut noin 30 000 €. Laitteella perusmittaaminen onnistuu pienellä opastuksella, kun koneiden laitetunnukset ja mittauspisteet ovat hyvin merkittynä, mutta hyvänä koulutus pohjana pidetään SKF:n järjestämää Mobius instituutin tason 1-koulutusta. Mobius instituutilla on kolmen tason värähtelyanalysointiin valmentavaa koulutusta. Naantalın voimalaitoksella työskentelee yksi Mobius instituutin tason 3-koulutuksen suorittanut asentaja. (Keskustelu Naantalın voimalaitoksella, 12.2.2026, tarjouspyyntömateriaali.)

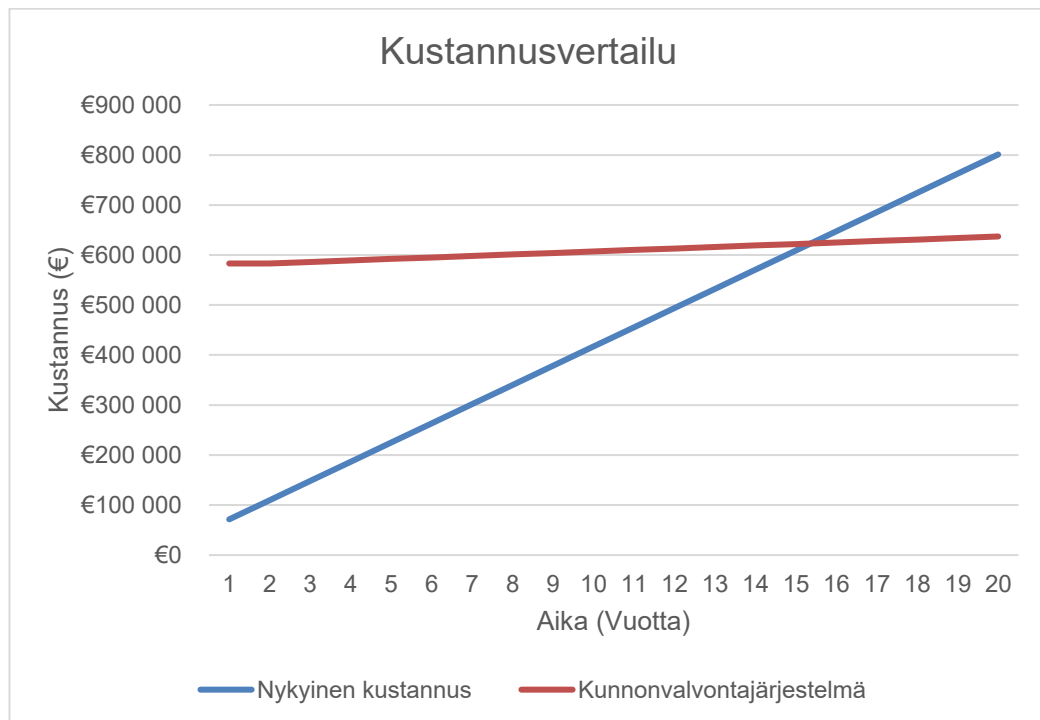
Värähtelyanalysoijien päteväntiin valmentavan koulutuksen kustannukset:

- Taso 1: Koulutuksen hinta ja sertifiointi: 2391 €
- Taso 2: Koulutuksen hinta ja sertifiointi: 2756 €
- Taso 3: Koulutuksen hinta ja sertifiointi: 3020 €

(SKF, 2026, Koulutukset).

Naantalın voimalaitoksen koneiden värähtelymittaukset suorittaa ulkopuolinen yritys ja mittaukset tehdään neljä kertaa vuodessa. Värähtelymittausten kustannukset ovat noin 6000 € yhtä mittauskertaa kohden. Naantalın voimalaitoksen huollon sopimushinnaksi määritellään 100 €/h.

Taulukko 4: Nykyisen kunnonvalvontamenetelmän ja online-kunnonvalvontajärjestelmän kulujen vertailu.



Vertailussa on huomioitu seuraavia kustannuksia:

- Järjestelmän hinta (550 000 €)
- Värähtelymittauslaitteisto (30 000 €)
- Periodiset värähtelymittaukset (24 000 €)
- Teollisuuden huollon sopimushinta (100 €/h)
- Värähtelymittauskoulutus (3020 €)
- Kunnonvalvontajärjestelmän huolto ja ylläpitokuluja takuuajan jälkeen, Arvio 50 h/vuosi. (5000 €)

8.4.1 Huomioitavaa kustannusvertailusta

Kustannusvertailu on suuntaa antava, kunnonvalvontajärjestelmän hintaan kuuluu vuoden pituinen palvelusopimus, jonka jatkoa ei ole huomioitu kustannuksissa. Värähtelymittauksia suorittavan asentajan mukaan nykyisiin värähtelymittauksiin arvioidaan kuluvan 240 tuntia vuosittain. Järjestelmän päivityskuluja ei myöskään ole huomioitu, käyttöikä riippuu päivityksistä, huollosta ja anturityypeistä. (Keskustelu Naantalın voimalaitoksella, 16.2.2026)

8.5 Etäkunnonvalvontajärjestelmän hyödyt

Kunnonvalvontajärjestelmä tulee vasta pitkällä aikavälillä nykyistä kunnonvalvontamenetelmää edullisemmaksi mutta suurempana hyötynä katsotaan käyttövarmuuden parantuminen: jatkuva värähtelymittaustieto ja hälytykset värähtelypoikkeamista. Naantalın voimalaitoksen tapauksessa laitoksen ajon estävät tuotantotappiot voidaan laskea sadoista tuhansista miljooniin euroihin, jolloin jo yhden suuremman häiriön ajoissa havaitseminen tarkoittaa sitä, että etäkunnonvalvontajärjestelmä on maksanut itsensä takaisin. Esimerkkinä Laanilan voimalaitoksella etäkunnonvalvontajärjestelmä havaitsi kaukolämpöpumpun moottorin laakerin vaurion aikaisessa vaiheessa, jolloin säästyttiin mittavilta korjauskuluilta. Muita hyötyjä on värähtelymittauksiin käytetyn työvoiman vapautuminen muihin tehtäviin. Värähtelymittauksiin

arvioidaan kuluvan 240 tuntia vuosittain, mutta valvontajärjestelmä vaatii myös seuraamista ja huoltoa. Rauhanlahden voimalaitoksella parantuneen ennakoivan kunnossapidon ansiosta ei ole tarvinnut sitoa pääomaa varaosiin, jota aiemmin piti pitää varastossa, vaikka niitä tarvittaisiin vasta vuosien päästä. Laitoksella on vältetty ylimääräiset käynnit laitteiden luona koska niitä pystytään valvomaan etänä toimistosta käsin. Värähtelyjärjestelmän ennakkovaroitusten ansiosta laakeririkkoja on pystytty välttämään millä on ollut vaikutusta laitoksen varaosavarastoon. (Keskustelu Naantalin voimalaitoksella, 16.2.2026)

8.6 Työturvallisuusnäkökulma

Nykyisellään Naantalin voimalaitoksella värähtelymittaukset suoritetaan mittauskierroksin kuumissa, ahtaissa ja meluisissa olosuhteissa, pyörivien koneiden ääressä. Pyörivissä koneissa on aina riskinä värähtelymittauksia tekevän ihmisen loukkaantumisvaara. Etävalvontajärjestelmän avulla vika voidaan huomata ajoissa ja työtä ei tarvitse tehdä kiireessä tai yöaikaan, vaan huolto voidaan suunnitella tehtäväksi hyvissä ajoin. Naantalin voimalaitoksella värähtelymittauksien erityisinä riskipaikkoina pidetään A-ladon ruuveja sekä siilojen tyhjennysruuveja. Äärimmäisissä tapauksissa valvontajärjestelmä voi estää tilanteen, jossa puhallin hajoaa aiheuttaen tulipalon, pumpun roottori irtoaa aiheuttaen sirpalevaaran tai turbiinin laakeri leikkaa kiinni aiheuttaen akselin katkeamisen. (Keskustelu Naantalin voimalaitoksella, 17.2.2026)

8.7 Vihreä näkökulma

Etäkunnonvalvonnalla on selkeitä ympäristöhyötyjä kuten laitteiden oikea-aikainen huolto, jonka myötä laitteet huolletaan vain, kun siihen on tarvetta. Tämän ansiosta kuluu vähemmän varaosia ja materiaaleja sekä tulee vähemmän jätettä kuten ylimääräisistä öljynvaihtoista tai suodattimien vaihdosta. Ylimääräisten huoltotöiden aiheuttamat päästöt vähenevät, kun kulkeminen laitteille vähenee.

8.8 Haasteet

Etäkunnonvalvontajärjestelmän keskeisiä haasteita ovat suuri alkuinvestointi, kyberturvallisuus, ”väärät hälytykset” antureilta, henkilöstön koulutus ja mahdolliset järjestelmän yhteysongelmat. Voimalaitokset ovat kriittistä infrastruktuuria, joten kyberturvallisuuden kannalta etäyhteydet lisäävät riskejä. Riskeinä pidetään ulkopuolisten pääsyä järjestelmään, haittaohjelmia tai tietovuotoja. Väärät hälytykset antureilta voivat johtua sensoriviasta, väärinasennetusta anturista tai väärin asetetusta hälytysrajasta. Henkilöstö koulutetaan järjestelmän käyttöön ISO 17359 suositusten mukaisesti, jotta värähtelydataa osataan tulkita oikein. Koulutuksesta tulee ylimääräisiä kustannuksia ja se vaatii resursseja kuten kouluttajia ja materiaaleja. Voimalaitoksella voi esiintyä verkon toimintahäiriöitä tai laitteistovikoja reitittimissä ja kytkimissä, mikä aiheuttaa mittausdatan puuttumisen ja siten hälytysten viivästymisen. (ISO 17359:2018). (IEC 62443). (Tino Taipale, 2024). (Fingrid-lehti, 2017). (PSK Standardisointi, PSK 5705, Mittaustoiminnan järjestely).

9 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää etäkunnonvalvontajärjestelmän soveltuvuus Naantalin voimalaitokselle sekä selvittää sen kustannuksia, kannattavuutta, hyötyjä ja haasteita. Työssä perehdyttiin ensin Naantalin voimalaitokseen, sekä kunnossapidon perusteisiin, jossa käytiin läpi voimalaitoksien kunnonvalvontamenetelmiä. Työssä selvitettiin värähtelymittausmenetelmiä sekä erilaisia värähtelymittausanturien tyyppejä. Naantalin voimalaitoksen nykyiset kunnonvalvontamenetelmät ja kunnossapitostrategia selvitettiin, jonka jälkeen käytiin läpi etäkunnonvalvontajärjestelmän perusteita, anturityyppejä sekä toteutusta. Järjestelmän soveltuvuutta Naantalin voimalaitokselle saatiin verrattua jo olemassa olevista järjestelmistä Suomen voimalaitoksilla. Kirjallisuuskatsaukseen peilaten ja olemassa olevien materiaalien avulla sekä haastattelujen avulla saatiin selvitettyä järjestelmän kustannuksia, hyötyjä ja haasteita. Kustannusvertailu tehtiin suuntaa antavasti mutta koska Turku Energian saamat etävalvontajärjestelmä tarjoukset ovat jo vuosia vanhoja, tarkkoja summia ei pystytä laskemaan. Tuloksena voidaan todeta, että etäkunnonvalvontajärjestelmä on kannattava hankinta, ottaen huomioon nykyisen kunnonvalvontamenetelmän riskit. Nykyisen kunnonvalvontamenetelmän suurimpana riskinä pidetään polttoaineensyöttöjärjestelmän äkillistä vikaantumista ja siitä aiheutuvia tulonmenetyksiä.

Lähteet

Fortum. (2025). Naantalin CHP Laitos.

<https://www.fortum.com/fi/tietoa-meista/energiantuotanto/voimalaitoksemme/naantalin-chp-laitos>

Fortum. (2025). Naantalin voimalaitoksen turvallisuustiedote.

<https://www.fortum.com/fi/files/naantalin-voimalaitoksen-turvallisuustiedote>

TSE. (2024). Laitosten esittely.

<https://www.tset.fi/tuotanto-ja-operointi/laitoksen-esittely/>

TSE. (2024). Katsaus TSE:n historiaan.

<https://www.tset.fi/tse-yrityksena/historia/>

TSE. (2025). Laitosten operointi.

[Laitosten operointi – Turun Seudun Energiantuotanto](#)

TSE. (2025). Käytetyt polttoaineet.

[Käytetyt polttoaineet – Turun Seudun Energiantuotanto](#)

TSE. (2025). Tuotannon ympäristövaikutukset.

[Tuotannon ympäristövaikutukset – Turun Seudun Energiantuotanto](#)

TSE. (2025). Tuotannon kehittäminen.

[Kohti hiilivapaata tuotantoa – Turun Seudun Energiantuotanto](#)

TSE Naantali – Periodinen kunnonvalvontaraportti 2025–10 (Q3)

TSE Naantali – Periodinen kunnonvalvontaraportti 2025–02 (Q1)

TSE Naantali – Equipment diagnostics report 2024–10 (Q3)

TSE Naantali – Etäkunnonvalvontajärjestelmän tarjouspyyntimateriaali

Opetushallitus. (2025). Johdanto Kunnonvalvontaan.

https://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnonvalvontaan.html

Caverion. (2025). Voimalaitoskunnossapito.

<https://www.caverion.fi/katalogi/palvelut/voimalaitoskunnossapito/>

Spotilla. (2025). Teollisuuden kunnossapito.

<https://www.spotilla.com/teollisuuden-kunnossapito>

Novotek. (2025). Kunnossapitostrategiat.

[Miten valita oikea kunnossapitostrategia? - Novotek Finland](#)

Opetushallitus. (2025). Mitä on kunnossapito.

https://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_1-1_mita_on_kunnossapito.html

PSK Standardisointi. (2024). PSK 5705: *Kunnonvalvonta. Värähtelymittaus. Mittaustoiminnan suunnittelu. 6. painos.*

https://psk-standardisointi-fi.ezproxy.turkuamk.fi/wp-content/uploads/PSK5705_6p.pdf

PSK Standardisointi. (2024). PSK 7501: *Kunnossapidon tunnusluvut. 3. painos.*

<https://psk-standardisointi-fi.ezproxy.turkuamk.fi/wp-content/uploads/PSK7501-3p.pdf>

PSK Standardisointi. (2022). PSK 6201: *Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 4. painos.*

https://psk-standardisointi-fi.ezproxy.turkuamk.fi/wp-content/uploads/PSK6201_4p_k.pdf

Suomen Standardisoimisliitto SFS. (2017). *Mekaaninen värähtely. Koneiden värähtelyn mittaaminen ja arviointi. Osa 2. (SFS-ISO 20816-2:2017).*

<https://store.sfs.fi/fi/sfs-iso-20816-2-2017>

Opetushallitus. (2025). Kunnossapidon toiminnot ennen vian ilmenemistä.

https://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_2-3_kunnossapidon_toiminnot_ennen_vian_ilmenemista.html

Tukes. (2004). Painelaitteiden kunnossapito opas.

<https://tukes.fi/documents/10197/8647605/painelaite-kunnossapito-opas.pdf>

Uusiteknologia.fi. (2025). Artikkel, Boschilta entistä pienempiä MEMS-antureita.

<https://www.uusiteknologia.fi/2025/01/07/boschilta-entista-pienempia-mems-antureita/>

Valmet. (2025). Valmetin uudistettu kunnonvalvontaratkaisu parantaa kunnossapidon tehokkuutta.

<https://www.valmet.com/fi/uutiset/lehdistotiedotteet/2022/valmetin-uudistettu-kunnonvalvontaratkaisu-parantaa-kunnossapidon-tehokkuutta/>

Valmet. (2026). Machine Condition Monitoring.

<https://www.valmet.com/automation/asset-performance-management/condition-monitoring/>

Valmet. (2026). Vibration sensors.

<https://www.valmet.com/automation/asset-performance-management/condition-monitoring/sensors/>

Valmet. (2023). Reliable condition monitoring secures transition to carbon neutrality at Oulun Energia biopower plant.

<https://www.valmet.com/insights/articles/automation/reliable-condition-monitoring-secures-transition-carbon-neutral-energy-oulu-energia-biopower-plant/>

Valmet. (2022). Valmetin uudistettu kunnonvalvontaratkaisu parantaa kunnossapidon tehokkuutta.

<https://www.valmet.com/fi/uutiset/lehdistotiedotteet/2022/valmetin-uudistettu-kunnonvalvontaratkaisu-parantaa-kunnossapidon-tehokkuutta/>

Valmet. (2015). Integrated condition monitoring keeps CHP plant online

<https://www.valmet.com/insights/articles/all-articles/integrated-condition-monitoring-keeps-chp-plant-on-line/>

Valmet. (2016). Valmet to modernize turbine automation at Kotkan Energia's Hovinsaari biomass-fired power plant in Kotka.

<https://www.valmet.com/news/press-releases/2016/valmet-to-modernize-turbine-automation-at-kotkan-energias-hovinsaari-biomass-fired-power-plant-in-kotka-finland/>

Valmet. (2018). Valmet toimittaa monipolttoainekattilan ja savukaasujen käsittelyjärjestelmän Oulun Energian Laanilan biovoimalaitokselle.

<https://www.valmet.com/fi/uutiset/lehdistotiedotteet/2018/valmet-toimittaa-monipolttoainekattilan-ja-savukaasujen-kasittelyjarjestelman-oulun-energian-laanilan-biovoimalaitokselle/>

Valmet. (2024). Valmet to update power plant automation at Stora Enso Imatra Mills in Imatra, Finland

<https://www.valmet.com/news/other-news/2024/valmet-to-update-power-plant-automation-at-stora-enso-imatra-mills-in-imatra-finland/>

Kansanaho, J. (2019). Data-Driven methods for diagnostics of rolling element bearings. [Väitöskirja, Jyväskylän yliopisto.] URN.

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-39-7936-2>

Promaint-lehti. (2023). Kohti ennakoivaa kunnonvalvontaa.

<https://www.promaintlehti.fi/kohti-ennakoivaa-kunnonvalvontaa/>

CTCOnline. (2025). Wired vs. wireless sensors, when to use each for optimal performance.

<https://www.ctconline.com/media/qwrlvzd1/ctc-wired-vs-wireless-sensor-monitoring.pdf>

Ludeca. (2025). 5 Advantages of wireless vibration sensors.

<https://ludeca.com/blog/condition-monitoring-2/11724/5-advantages-of-wireless-vibration-sensors/>

SKF. (2026). Koulutukset.

<https://www.skf.com/skf/campaign/booeko/fi/booeko.html>

Taipale, T. (2024). Pro gradu: Langattomien sensoriverkkojen haasteet teollisuudessa [Pro gradu, Jyväskylän yliopisto]. URN.

<https://jyx.jyu.fi/bitstreams/251642f8-e4bf-484d-928c-213f005abb26/download>

Fingrid-lehti. (2017). Kyberhyökkäykseen voi varautua harjoittelemalla.

<https://www.fingridlehti.fi/kyberhyokkaykseen-voi-varautua-harjoittelemalla/>

Suomen Standardisoimisliitto SFS. (2018). Condition monitoring and diagnostics of machines. (ISO 17359:2018).

[SFS Suomen Standardit. ISO 17359:2018](#)

Suomen Standardisoimisliitto SFS. (2019). Teollisuusautomaatio- ja ohjausjärjestelmien (IACS) komponenttien tekniset turvallisuusvaatimukset. (SFS-EN IEC 62443-4-2:2019).

<https://sesko.fi/standardit/standardoinnin-aihealueita/kyberturvallisuus/teollisuuden-kyberturvallisuus-iec-62443-sarja/>

PSK Standardisointi. (2024). PSK 5704: *Kunnonvalvonta. Värähtelymittaus. Vastaanottomittaus ja värinärasitusrajat 8. painos.*

https://psk-standardisointi-fi.ezproxy.turkuamk.fi/wp-content/uploads/PSK5704-8p_liitteinen.pdf

Kirjat:

Aalto, H. (1994). *Kunnossapitotekniikan perusteet*. Kunnossapitoyhdistys ry.

Nohynek, P. & Lumme, V.E. (1996). *Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset*. Kunnossapitoyhdistys ry.

Witick, M. (2024). *Kunnonvalvonnan värähtelymittaus, 21. Painos*. PSK Standardisointiyhdistys.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. (2008). *Voimalaitostekniikka*. Opetushallitus.

Rask, T. (1977). *Voimalaitosprosessi*. Helsinki: Insinööritieto.

Lautala, P. (1989). *Vikadiagnoosi ja kunnonvalvonta voimalaitoksissa: loppuraportti*. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Mikkonen, H. (2009). *Kuntoon perustuva kunnossapito: käsikirja*. Helsinki: KP-Media.

Liite 1. Värähtelymittaustuloksia. (1/4) (Periodinen kunnonvalvontaraportti 2025–10)

TURBIINI-GENERAATTORI 1 kpl			
NA4 TG	TG4	4.10.25	
NA4 PUMPUT 16 kpl			
LAC10AP001	Syöttövesipumppu 1	28.4.25	Ei ollut ajossa.
LAC20AP001	Syöttövesipumppu 2	2.10.25	
NDC01AP001	KL-paluuopumppu 1	2.10.25	
NDC02AP001	KL-paluuopumppu 2	2.10.25	
GHC22AP001	Lisävesipumppu 1	2.10.25	Pumpun laakerin verhoikäyräspektrissä on nähtävissä vaimea ulkokehän vikataajuus.
GHC24AP001	Lisävesipumppu 2	2.10.25	
GAF10AP001	Raakavesipumppu 1	2.10.25	Aiemmin havaittu pumpun DE-laakerin verhoikäyräspektrissä oleva sisäkehän vikataajuus näkyy selvästi edelleen. PeakVue-arvo on tällä mittauskerralla 0,41.
HTD20AP001	Alakiertopumppu 1	2.10.25	
HTD21AP001	Alakiertopumppu 2	2.10.25	
HTD30AP001	Yläkiertopumppu	2.10.25	
GDK01AP001	Yläkierron lauhdepumppu	2.10.25	Pyörimistaajuuden 5. monikerta ja tämän monikerrat piikittävät spektreissä.
PAC05AP001	Sulj. jär. merivesipumppu 1	2.10.25	
PAC10AP001	Sulj. jär. merivesipumppu 2	2.10.25	
MAV21AP11	Pääöljypumppu 1	2.10.25	Pumpun moottorin kokonaistasoja nostaa vierintälaakereille epätyypillinen 0,5X-taajuus.

Liite 2. Värähtelymittaustuloksia. (2/4) (Periodinen kunnonvalvontaraportti 2025–10)

MAV22AP11	Pääöljypumppu 2	2.10.25	Pyörimistaajuinen 1X-amplitudi on edelleen koholla moottorin laakereilla. Lisäksi uutuutena havaitaan 0,5X-amplitudi, kuten pääöljypumpulla 1.	Seurataan tilannetta.
MAX21AP11	Säätö-öljypumppu 1	2.10.25		
MAX22AP11	Säätö-öljypumppu 2	2.10.25		

NA4 PUHALTIMET

7

kpl

HLB11AN001	Primääripuhallin 1	2.10.25		
HLB12AN001	Primääripuhallin 2	2.10.25		
HLB21AN001	Sekundääripuhallin 1	2.10.25		
HLB22AN001	Sekundääripuhallin 2	2.10.25		
HNC10AN001	Savukaasupuhallin 1	2.10.25		
HNC20AN001	Savukaasupuhallin 2	2.10.25		
HNF20AN001	Kiertokaasupuhallin	2.10.25	Värähtelyn kokonaistasot ovat kasvaneet räjähdysmäisesti edellisestä mittauskerrasta!	Kone tulee ottaa seurantaan! Siipipyörän visuaalinen tarkastus mahdollisen epäsymmetrisen likaantumisen vuoksi heti tilanteen salliessa.
HHJ13AN001	Asf syöttöilmahuuhallin 1	19.9.23	Ei ollut ajossa.	
HHJ23AN001	Asf syöttöilmahuuhallin 2	19.9.23	Ei ollut ajossa.	

NA4 BIODIOLJETTIMET

16

kpl

ECA10AF001	Biokoljetin 1 seulomoon	2.10.25	Moottorin puhaltimen suoja vaurioitunut. Kone heiluu silminnähden matalalla taajuudella.	Kiinnityksen ja tukirakenteiden tarkastus. Moottorin puhaltimen suojan korjaus tai vaihto tarvittaessa.
ECA11AF001	Biokoljetin 2 seulomoon	2.10.25		
EBD20AT001	Bio Kiekkoseula 1 moot 1	2.10.25		
EBD20AT002	Bio Kiekkoseula 1 moot 2	2.10.25	Värähtelytasot ovat laskeneet selvästi.	Kone voidaan poistaa tiheennetystä seurannasta.
EBD21AT001	Bio Kiekkoseula 2 moot 1	2.10.25		
EBD21AT002	Bio Kiekkoseula 2 moot 2	2.10.25		
EBC10AJ001	Bio Murskain 1	2.10.25		
EBC11AJ001	Bio Murskain 2	2.10.25		
ECA30AF001	Bio Hihnakuuljetin A30	2.10.25		
ECA40AF001	Bio Hihnakuuljetin A40	2.10.25	3-laakerin verhoikäyrään on ilmaantunut ulkokehän ohitustaajuus. PeakVue 0.15.	Seurataan tilannetta.

Liite 3. Värähtelymittaustuloksia. (3/4) (Periodinen kunnonvalvontaraportti 2025–10)

ECA60AF001	Bio Hihnakuljetin A60	2.10.25	8- ja 9-laakereilla nopeusspektreissä nähtävissä mahdolliset ulkokehän ohitustaaajuudet.	Seurataan tilannetta.
ECA70AF001	Bio Hihnakuljetin A70	2.10.25		
EAF30AF001	Ruuvipurkain F30 moot 1	2.10.25		
EAF30AF002	Ruuvipurkain F30 moot 2	2.10.25		
EAF31AF001	Ruuvipurkain F31 moot 1	2.10.25		
EAF31AF002	Ruuvipurkain F31 moot 2	2.10.25		

NA4 MERIBIO		0	kpl	Ei ollut ajossa.
EAA10AF001	Kolapohjapurkain	19.12.24		
EAA20AF001	Kolakuljetin	19.12.24		
EAA30AF001	Hihnakuljetin 30	19.12.24		
EAA40AF001	Hihnakuljetin 40	19.12.24		
EBD35AT001	Hihnakuljetin 35	19.12.24		
EAA50AF001	Hihnakuljetin 50	19.12.24	Moottorilla havaittu kokonaistasojen kasvua erityisesti vaakasunnassa.	Seurataan tilannetta.
EBD40AT001	Kiekkoseula 1	19.12.24	Moottorin NDE-laakerilla todella korkea värähtelyn kokonaistaso.	Koneen käyttöä ei suositella ennen korjaavia toimenpiteitä.
EBD40AT002	Kiekkoseula 2	19.12.24		
EBD40AT003	Kiekkoseula 3	19.12.24		
EBD40AT004	Kiekkoseula 4	19.12.24		
EBC30AJ001	Ylitemurskain 1	20.12.24		
EBC30AJ002	Ylitemurskain 2	20.12.24		
EBC30AJ003	Ylitemurskain 3	20.12.24	Moottorin DE-laakerin verhoikärspektrissä on sisäkehän vikataajuus.	Seurataan tilannetta.
EBC30AJ004	Ylitemurskain 4	20.12.24		
EAA60AF001	Kolakuljetin 60	19.12.24		
EAA61AF001	Jakava Ruuvikuljetin	19.12.24		
EAA70AF001	Hihnakuljetin 70	19.12.24		
EAD10AF001	Takkeri	20.12.24	Pyörimistaaajuinen värähtely on kasvanut moottorilla.	Seurataan tilannetta.

SRF VASTAANOTTO		0	kpl	Ei ollut ajossa.
4ECC30AF01	Kolakuljetin käyttö	5.2.25		
4ECC35AF01	Paalihihna käyttö	22.2.22		
4ECC60AF01	Kolakuljetin	5.2.25		
4ECC65AF01	Pyörivä ruuvi välisiilon alla	29.4.25		
4ECC70AF01	Hihnakuljetin	29.4.25		
4ECC80AF01	Kolakuljetin päiväsiilo	29.4.25		

Liite 5. Sormenjälkitiedot. (1/3)



Measurement results
NA4 Bio Fuel Handling

14 (25)
352188
Encl. 2.3

Joonas Ilonen

2.1.2018

TGS-1003

Machine name: <u>Biokuljetin 1 seulomoon</u>	KKS : <u>ECA10AF001</u>
Gearmotor: <u>SEW X4KA200/T, 1500:11 r/min, 93 kW</u>	

Measurement points:

Machine groups and limit values:			
Points	Machine group	Limit value	Variation
1, 2, 3, 4, 5	ISO 10816-3 group 2	2,3	

Measurement conditions:			
Rot. speed rpm:	<u>1440</u>	Load %:	<u> </u>
Other conditions:		Oper. temp. °C:	<u> </u>

Measurement device: CSI A2130-2 SN141443	Sensor: CSI A0720GP SN13879	Sensor Mounting: <input checked="" type="checkbox"/> Magnet <input type="checkbox"/> Screw Other: <u> </u>
--	---------------------------------------	---

Measurement results:			
Point	Direction	V _{RMS} mm/s	Frequency
1. Motor NDE	horizontal	1,7	10-1000 Hz
	vertical	2,2	10-1000 Hz
	axial	0,6	10-1000 Hz
2. Motor DE	horizontal	1,3	10-1000 Hz
	vertical	1,9	10-1000 Hz
	axial	0,6	10-1000 Hz
3. Gear input DE	horizontal	1,0	10-1000 Hz
	vertical	1,3	10-1000 Hz
	axial	0,7	10-1000 Hz
4. Gear intermediate shaft	horizontal	0,6	10-1000 Hz
5. Gear output NDE	horizontal	2,0	2-100 Hz
	vertical		
	axial	1,5	2-100 Hz

Limit values exceeded at the point(s): _____
Remarks: _____

Meet the requirements: Yes No

Date, location: 8.11.2017, Naantali 4 Measured by: Joonas Ilonen

Liite 6. Sormenjälkitiedot. (2/3)



Measurement results
NA4 Bio Fuel Handling

15 (25)
352188
Encl. 2.3

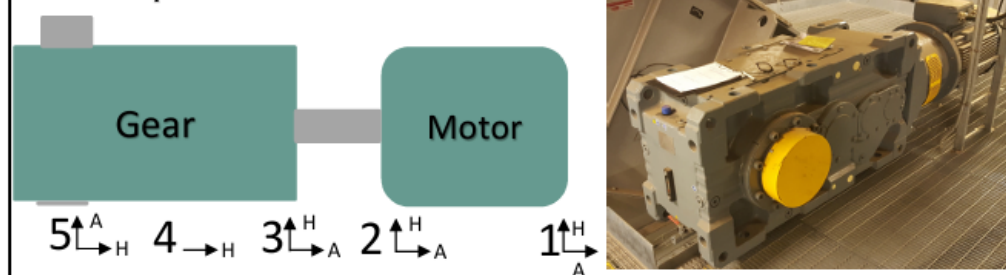
Joonas Ilonen

2.1.2018

TGS-1003

Machine name: Biokuljetin 2 seuloon	KKS : ECA11AF001
Gearmotor: SEW X4KA210/T, 1500:11 r/min, 90 kW	

Measurement points:



Machine groups and limit values:

Points	Machine group	Limit value	Variation
1, 2, 3, 4, 5	ISO 10816-3 group 2	2,3	

Measurement conditions:

Rot. speed rpm: 1340 Load %: _____ Oper. temp. °C: _____
Other conditions: _____

Measurement device: CSI A2130-2 SN141443	Sensor: CSI A0720GP SN13879	Sensor Mounting: <input checked="" type="checkbox"/> Magnet <input type="checkbox"/> Screw Other: _____
--	---------------------------------------	---

Measurement results:

Point	Direction	V _{RMS} mm/s	Frequency	Point	Direction	V _{RMS} mm/s	Frequency	
1. Motor NDE	horizontal	1,4	10-1000 Hz	5. Gear output NDE	horizontal	2,2	2-100 Hz	
	vertical	1,7	10-1000 Hz		vertical			
	axial	0,7	10-1000 Hz		axial	3,0	2-100 Hz	
2. Motor DE	horizontal	1,1	10-1000 Hz					
	vertical	1,2	10-1000 Hz					
	axial	0,5	10-1000 Hz					
3. Gear input DE	horizontal	0,7	10-1000 Hz					
	vertical	0,7	10-1000 Hz					
	axial	0,4	10-1000 Hz					
4. Gear intermediate shafts	horizontal	1,1	10-1000 Hz					

Limit values exceeded at the point(s): Gear output NDE axial
Remarks: Impacts coming from the conveyor. No fault indications. (picture 1)

Meet the requirements: Yes No

Date, location: 8.11.2017, Naantali 4 Measured by: Joonas Ilonen

Liite 7. Sormenjälkitiedot. (3/3)



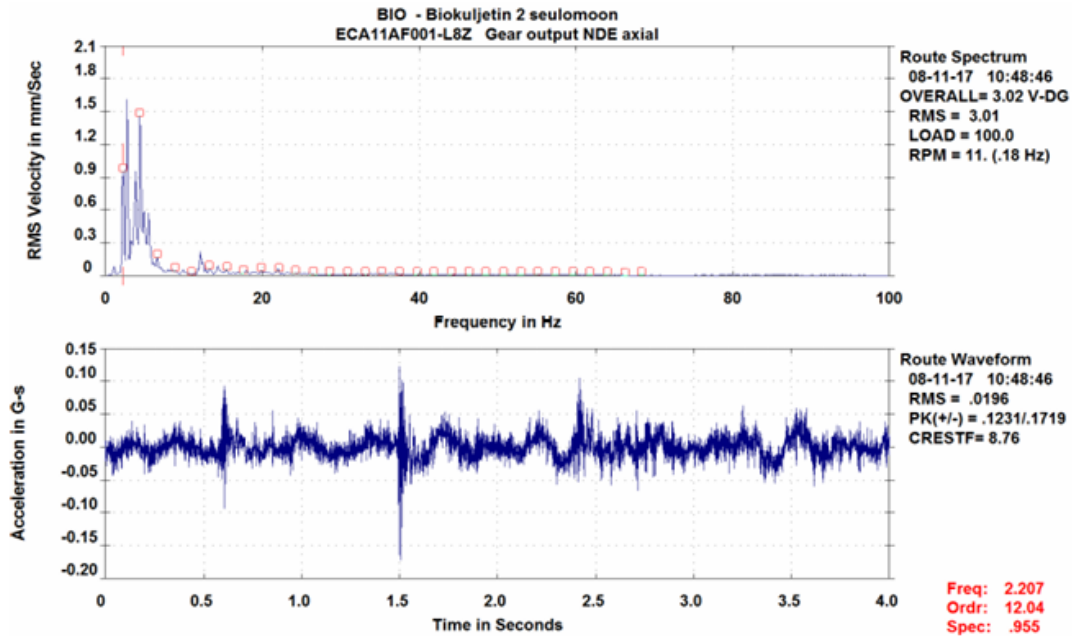
Measurement results
NA4 Bio Fuel Handling

16 (25)
352188
Encl. 2.3

Joonas Ilonen

2.1.2018

TGS-1003



Picture 1. Gear output NDE axial, impacts coming from the conveyor. No fault indications.

Liite 8. Värähtelyvalvonnan tarpeen määrittely (1/2)

PSK Standardisointi

PSK 5705 13 (14)

O.3 Esimerkki. Värähtelyvalvonnan tarpeen määrittely

O.3 Example. Determination of the need for condition monitoring

Kohde Object	Tekijä Factor	Painoarvo Weight	Kerroin Multiplier	Valintakriteeri Selection criteria
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit Safety risks	20	0	Ei turvallisuusriskiä No safety risk
			4	Vähäinen turvallisuusriski Minor safety risk
			8	Merkittävä turvallisuusriski Major safety risk
	Ympäristöriskit Environmental risks	20	0	Ei ympäristöriskiä No environmental risk
			4	Vähäinen ympäristöriski Minor environmental risk
			8	Merkittävä ympäristöriski Major environmental risk
Tuotannonmenetyksen kustannusvaikutukset	Kriittisyys Criticality	20	0	Laitteen toimimattomuus ei merkitystä tehtaan tai osaston tuotannolle. Machine failure does not affect the production of the plant or department.
			2	Laitteen toimimattomuus voi johtaa tuotannon häiriintymiseen, laatu- ja kustannuksiin tai seisokkiin. Machine failure may lead to disturbances in production, quality costs or shut-down.
			4	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa tuotannonmenetyksen. Machine failure causes loss of production.
			8	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa tuotantolaitoksen tai -linjan täydellisen pysähtymisen. Machine failure causes the total stop of the production plant or section.
	Laatu Quality	10	0	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta laatu- ja kustannuksia. Machine failure does not cause quality costs.
			2	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa laatu- ja kustannuksia. Machine failure causes quality costs.
			4	Laitteen puutteellinen toiminta aiheuttaa laatu- ja kustannuksia. Abnormal operation of a machine causes quality costs.

Liite 9. Värähtelyvalvonnan tarpeen määrittely. (2/2)

PSK Standardisointi

PSK 5705 14 (14)

Kohde Object	Tekijä Factor	Painoarvo Weight	Kerroin Multiplier	Valintakriteeri Selection criteria
Kunnossapidon kustannusvaikutukset Maintenance cost effects	Häiriöherkkyys Sensitivity to failures	5	1	Varmakäyntinen High reliability
			2	Vähäisiä häiriöitä Minor disturbances
			4	Häiriöherkkä Sensitive to disturbances
	Kunnossapitotyön kustannukset Maintenance work costs	5	1	Vähäiset Minor
			2	Kohtuulliset Moderate
			4	Korkeat High
	Kunnossapidon materiaalikustannukset Maintenance material costs	5	1	Vähäiset Minor
			2	Kohtuulliset Moderate
			4	Korkeat High
	Jälleenhankinta-arvo Replacement value	5	1	Vähäinen Low
			2	Kohtuullinen Moderate
			4	Korkea High
	Elinkaarikustannus Life-cycle costs	5	1	Vähäinen Low
			2	Kohtuullinen Moderate
			4	Korkea High
Kunnonvalvontakustannukset Condition monitoring costs	5	1	Vähäiset Low	
		2	Kohtuulliset Moderate	
		4	Korkea High	