

Tero Rantala

SAVUKAASUPUHALTIMEN TASAPAINOTUS

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2018

SAVUKAASUPUHALTIMEN TASAPAINOTUS

Rantala, Tero
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Maaliskuu 2018
Sivumäärä: 32
Liitteitä: 0

Asiasanat: tasapainotus, savukaasupuhallin, voimalaitos

Opinnäytetyön aiheena oli savukaasupuhaltimen tasapainotus. Työ suoritettiin Fortum Oy:n Meri-Porin voimalaitoksella ja työn tilaajana oli Maintpartner Oy, joka vastaa Fortumin voimalaitosten käytöstä sekä kunnossapidosta.

Työn tarkoituksena oli luoda tekninen yhteenveto savukaasupuhaltimen tasapainottamisesta elokuussa 2017 suoritettuna savukaasupuhallin 1 (HNB01AN001) tasapainottamisen pohjalta. Työstä käy ilmi tasapainotuksen menetelmä vaihe vaiheelta ja miksi tasapainotus on tärkeää erityisesti kunnossapidon kannalta.

Fortumin Meri-Porin voimalaitoksella sijaitsevat savukaasupuhaltimet (2kpl) ovat kokuokaltaan Euroopan suurimpia. Savukaasupuhaltimet ovat kriittinen osa energia-tuotannonprosessia, jonka vuoksi savukaasupuhaltimien toimintakunto on taattava. Tasapainotus on savukaasupuhaltimien yksi tärkeimmistä toimintakunnon edellytyksistä.

BALANCING OF THE FLUE GAS FAN

Rantala, Tero

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical and Productional Engineering

March 2018

Number of pages: 32

Appendices: 0

Keywords: balancing, flue gas fan, power plant

The subject of this thesis was balancing of the flue gas fan. The work was carried out at Fortum Oy's Meri-Pori power plant and was commissioned by Maintpartner Oy, who is responsible for the use and maintenance of Fortum's power plants.

The purpose of the thesis was to create a technical summary of balancing of the flue gas fan based on balancing of the flue gas fan 1 (HNB01AN001), which was performed in August 2017. The work shows the method of balancing, step-by-step and why balancing is important especially in terms of maintenance.

The flue gas fans (2 pcs) on Fortum's Meri-Pori power plant are among the largest in Europe. Flue gas fans are a critical part of the energy production process, which is why the function of the flue gas fans must be guaranteed. Balancing is one of the most important things for functional flue gas fan.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	MERI-PORIN VOIMALAITOS	7
2.1	Meri-Porin voimalaitos	7
2.2	Maintpartner Oy	8
3	KUNNOSSAPITO JA KUNNONVALVONTA	9
3.1	Kunnossapidon ja kunnonvalvonnan määrittäminen	9
3.1.1	Korjaava kunnossapito	9
3.1.2	Ennakoiva kunnossapito	10
3.1.3	Parantava kunnossapito	10
3.2	Pyörivien koneiden kunnonvalvonta.....	10
4	VÄRÄHTELY.....	11
4.1	Värähtelyn luokittelu	11
4.2	Värähtelymittaukset	12
4.3	Värähtelyn käsitteitä	13
4.3.1	Suureet ja mittayksiköt	13
4.3.2	Heräte ja herätetaajuus	15
4.3.3	Ominaistaajuus	15
4.3.4	Resonanssi.....	15
4.3.5	Kriittinen nopeus	15
5	TASAPAINOTUS	16
5.1	Staatillinen ja dynaaminen epätasapaino	17
5.2	Tasapainotuksen tarve.....	18
5.3	Tasapainotusta vaikeuttavia seikkoja.....	19
5.3.1	Lämpötilan vaikutus	19
5.3.2	Kierrosluvun muutokset	19
5.3.3	Kuormituksen muutokset.....	20
5.3.4	Roottorin tilapäinen käyristyminen	20
5.3.5	Irtonainen materiaali.....	20
5.3.6	Löysästi kiinni oleva roottori.....	20
5.3.7	Muiden koneiden tärinät.....	21
5.4	Tasapainotuksen menetelmä yhdessä tasossa	21
5.5	Tasapainotuksen menetelmä kahdessa tasossa	22
6	SAVUKAASUPUHALLIN	23
6.1	Savukaasupuhaltimen tehtävä.....	23
6.2	Meri-Porin savukaasupuhaltimien tekniset tiedot.....	24
7	SK-PUHALTIMEN 1 TASAPAINOTUS 1.8.2017	25

7.1	Taustaa	25
7.2	Tasapainotuksen suorittaminen.....	27
7.2.1	Tasapainotuksen aloitus.....	27
7.2.2	Tasapainotuksen kulku	27
7.2.3	Tasapainotuksen yhteenveto.....	29
8	YHTEENVETO	31
	LÄHTEET.....	32

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda savukaasupuhaltimen tasapainotuksesta tekninen yhteenveto, josta käy ilmi tasapainotuksen menetelmä vaihe vaiheelta ja miksi tasapainottaminen on tärkeää. Yhteenveto on tehty elokuussa 2017 suoritetun SK-puhallin 1 (HNB01AN001) tasapainotuksen pohjalta. Työn tilaajana toimi Maintpartner Oy, joka on vastannut Fortum Oy:n voimalaitosten käytöstä ja kunnossapidosta syksystä 2016 lähtien.

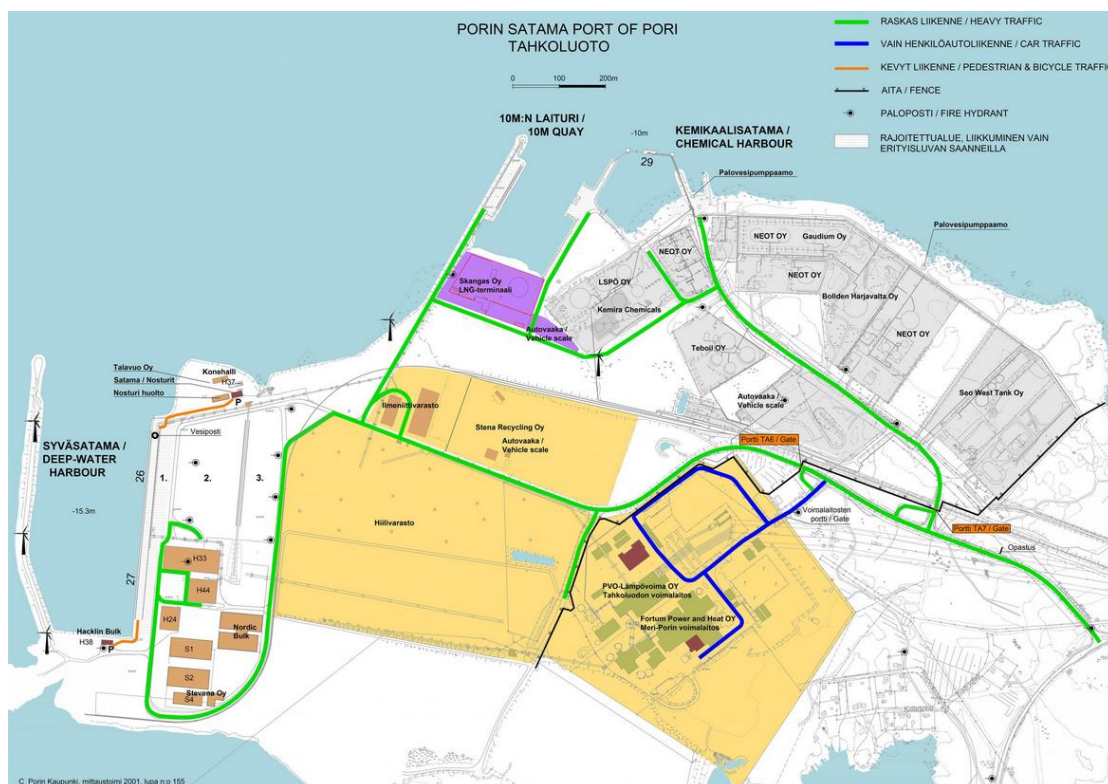
Opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään hieman läpi kunnossapidon ja värähtelyn teoriaa, mutta pääpainopiste opinnäytetyön teorialle on tasapainotukseen liittyvä teoria ja tasapainotuksen menetelmä. Teknisen yhteenvedon tarkoitus on olla mahdollinen apuvälinen tulevaisuuden tasapainotuksia silmällä pitäen.

Fortumin Meri-Porin voimalaitos on yksi suurimpia ja tehokkaimpia hiilivoimalaitoksia. Voimalaitoksella on kaksi savukaasupuhallinta ja ne ovat kokoluokaltaan Euroopan suurimpia. Yhdellä savukaasupuhallimella laitos pystyy ajamaan hieman yli puolella teholla, mutta pääsääntöisesti puhaltimia ajetaan rinnan laitoksen käydessä. Savukaasupuhaltimet ovat kriittinen osa voimalaitoksen energiatuotannon prosessia. Näin ollen on hyvin tärkeää, että molempien savukaasupuhaltimien toimintakunto varmistetaan ja laitos pystyy tuottamaan siltä vaaditun sähkötehon.

2 MERI-PORIN VOIMALAITOS

2.1 Meri-Porin voimalaitos

Meri-Porin voimalaitos sijaitsee Porin Tahkoluodossa (kuva 1). Voimalaitoksen omistavat Fortum Oy ja Teollisuuden Voima Oy (TVO). Meri-Porin voimalaitoksen rakentaminen aloitettiin vuonna 1992 ja se otettiin käyttöön vuonna 1994. Laitos on yksi maailman puhtaimmista ja tehokkaimmista kivihiilivoimalaitoksista. Polttoaineena voimalaitos käyttää kivihiiltä. Laitos on tyypiltään ylikriittinen lauhdevoimalaitos. Laitoksen hyötysuhde on noin 43% ja se tuottaa ainoastaan sähköä. Polttoaineteho on noin 1300 MW ja sähköteho noin 565 MW. Opinnäytetyön tekohetkellä (2018) voimalaitos työllistää noin 40 henkilöä. (Fortum Oy:n www-sivut 2018; Pohjolan Voima www-sivut 2018.)



Kuva 1. Tahkoluodon teollisuusalue. (Porin Satama 2018)

2.2 Maintpartner Oy

Maintpartner Oy on suomalainen teollisuuden käyttö- ja kunnossapitopalveluja toimittava yritys. Toimintansa yritys aloitti vuonna 2006. Ennen tätä Maintpartner oli ollut osa Fortum Services -yhtiötä. Maintpartnerilla on vahva jalansija energia-, kemian- ja metalliteollisuudessa. Muita toimialoja ovat muun muassa elintarvike-, valmistava teollisuus, sekä julkisen sektorin työt. Päämarkkina-alueet Maintpartnerille ovat Suomi, Ruotsi, Puola ja Viro. Suomessa Maintpartner työllistää noin 1100 työntekijää ja muissa maissa noin 750 työntekijää. Vuodesta 2016 eteenpäin Maintpartner on vastannut Fortumin voimalaitosten käytöstä ja kunnossapidosta. (Maintpartner Oy:n www-sivut 2018.)

3 KUNNOSSAPITO JA KUNNONVALVONTA

3.1 Kunnossapidon ja kunnonvalvonnan määrittäminen

Kunnossapito käsittää kaikki laitteen tai koneen käyttöiän aikaiset tekniset, hallinnolliset, sekä johtamiseen liittyvät toimenpiteet. Kunnossapidon tarkoituksena on pitää kone käyttökuntoisena tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suoriutumaan sille tarkoitetusta tehtävästä. Kunnossapidon keskeisiä tavoitteita ovat muun muassa tuotannon kokonaistehokkuus, sekä käyttövarmuus. Käyttövarmuus koostuu toimintavarmuudesta, kunnossapidettävyydestä, sekä kunnossapitovarmuudesta. Kunnossapidolla on myös merkittävä vaikutus turvallisuuteen, ympäristöön ja kustannustehokkuuteen. (PSK 6201 2011, 3.)

Kunnonvalvonta on kunnossapidon yksi osa-alue ja liittyy hyvin läheisesti ennalta ehkäisevään kunnossapitoon. Kunnonvalvonnan olennaisin asia on havaita normaalista poikkeavat tilanteet, ja täten pyrkiä hyvissä ajoin ehkäisemään mahdolliset laiterikot. Kunnonvalvonta perustuu erilaisten fysikaalisten suureiden mittaamiseen, kuten värinä-, lämpötila- ja painemittauksiin. Hyvään kunnonvalvonnan tulokseen päästään, kun kunnonvalvontamittauksia tehdään säännöllisesti. Näin voidaan seurata koneen kunnon kehittymistä ja tarvittaessa ryhtyä toimenpiteisiin. (ABB:n TTT-käsikirja 2000, 23.)

3.1.1 Korjaava kunnossapito

Korjaavalla kunnossapidolla tarkoitetaan yleensä sitä, kun laite on jo ehtinyt rikkoutumaan ja huoltotoimenpiteet suoritetaan vasta rikkoutumisen jälkeen. Yleensä rikkoutuminen aiheuttaa tuotantoon katkoksen, josta seuraa ei-toivottuja tuotannonmenetyskustannuksia. Tämä lisää ennakoivan kunnossapidon merkitystä. Korjaavan kunnossapidon kustannukset ovat myös yleensä huomattavasti suuremmat kuin ennakoivan. (ABB:n TTT-käsikirja 2000, 23.)

3.1.2 Ennakoiva kunnossapito

Ennakoiva kunnossapito käsittää määrävälein suoritettavia tehtäviä, esimerkiksi aikaan perustuvia, kunnossapidollisesti kriittisiä toimenpiteitä. Menetelmä voi pitää sisällään tarkastustoiminnan tehtäviä, tarvepohjaisia toimenpiteitä, sekä kunnonvalvontaan liittyviä, silmämääräisiin tarkastuksiin perustuvia kunnossapitotoimenpiteitä. Ennakoivan kunnossapidon menetelmän keskeinen tavoite on pyrkiä havaitsemaan mahdolliset alkavat viat jo ennen, kuin ne pääsevät yllättämään. Ennakoivalla toiminnalla pystytään myös pidentämään koneen käyttöikä, tuottavuutta, sekä parantamaan turvallisuuteen liittyviä аспекteja. Ennakoiva kunnossapito on usein sidoksissa kalenteriin ja viimeaikaisiin tapahtumiin. (ARROW Engineering 2017.)

3.1.3 Parantava kunnossapito

Parantava kunnossapito tarkoittaa laitteiden suorituskykyä, käytettävyyttä, luotettavuutta ja turvallisuutta lisäävää toimintaa. Tavoitteena on yleensä esimerkiksi poistaa mahdolliset suunnitteluvirheistä johtuvat ongelmatapaukset ja täten vähentää kunnossapidon tarvetta. Parantavan kunnossapidon piiriin voidaan usein myös ajatella kuuluvan laitteiden modernisoinnit ja uusinnat. (ABB:n TTT-käsikirja 2000, 23.)

3.2 Pyörivien koneiden kunnonvalvonta

Kunnonvalvontamittauksin pyritään havaitsemaan mahdollinen koneen hajoaminen hyvissä ajoin ennen kuin vika on päässyt niin vakavalle asteelle, että se johtaa koneen pysähtymiseen joko täydellisen särkymisen tai suojausjärjestelmän hälytysten laukeamisen takia. Pyörivien koneiden kunnonvalvonnassa yleisimmin käytetyt menetelmät ovat värinä- ja lämpötilamittaukset. Nämä suureet antavat melko hyvän kuvan koneen kunnosta. Värinä- ja lämpötila-arvojen nousu kertoo monesti tulevasta tai jo olemassa olevasta viasta, esimerkiksi savukaasupuhaltimen nopea värinäarvojen nousu on merkki mahdollisesta mekaanisesta viasta. (ABB:n TTT-käsikirja 2000, 23.)

4 VÄRÄHTELY

Värähtely on yleinen luonnonilmiö, joka esiintyy myös teollisuuden sekä arkielämän koneissa. Värähtely on oikeastaan luonnollinen tila koneissa. Koneissa esiintyvistä värähtelystä puhutaan mekaanisena värähtelynä eli tärinä. Yleisimmät syyt tärinälle ovat pyörivien osien epätasapaino, mahdolliset linjausvirheet ja vaurioituneet osat. Liian suuret värähtelytasot ovat haitallisia koneissa ja rakenteissa ja ne on pyrittävä estämään mahdollisimman hyvin. Vaikka värähtelyä yleensä pidetään haitallisena, niin käytetään sitä hyväksi esimerkiksi tiivistimissä, seuloissa ja kuljettimissa. (Lähteenmäki 2008, 1.1; Nohynek & Lumme 1996, 48.)

Mekaaninen värähtely määritellään siten, että se on rakenteen, koneen tai koneen osan liikettä tietyn tasapainoaseman ympärillä. Värähtely tarvitsee, pysyäkseen yllä, jatkuvasti suuntaansa tai suuruuttaan vaihtavan voiman, esimerkiksi vakiokuorman äkillinen poistuminen tai vaihtelu saattaa aiheuttaa hetkellistä värähtelyongelmaa. (Nohynek & Lumme 1996, 48.)

4.1 Värähtelyn luokittelu

Värähtelyt jaetaan kahteen ryhmään: ominaisvärähtelyihin ja pakkovärähtelyihin. Ominaisvärähtelyllä tarkoitetaan mekaanisen systeemin liikettä tasapainoaseman suhteen, jossa se liikkuu ilman ulkoisten voimien vaikutusta. Jos systeemiin vaikuttaa ulkoisia kuormituksia eli niin sanottuja pakkovoimia, sanotaan syntyvää liikettä pakotetuksi liikkeeksi. Pakkovoimat vaihtelevat usein jaksollisesti, jolloin syntyvä liike on myös jaksollista ja sitä kutsutaan pakkovärähtelyksi. (Lähteenmäki 2008, 1.3.)

Ominais- tai pakkovärähtely voi olla luonteeltaan vaimenematonta tai vaimenevaa. Kun puhutaan vaimenemattomasta värähtelystä niin systeemissä ei ole ulkoista eikä sisäistä kitkaa, eli värähtely jatkuisi ikuisesti. Todellisuudessa kuitenkin mekaanisen systeemin värähtelyt ovat aina vaimenevia, eli systeemi sisältää kitkavoimia, jotka vähentävät systeemin mekaanista energiaa, joka johtaa värähtelyamplitudien pienenemiseen. (Lähteenmäki 2008, 1.3.)

4.2 Värähtelymittaukset

Koneiden värähtelymittauksia pidetään yhtenä tehokkaimmista menetelmistä koneiden kunnonvalvonnassa. Värähtelymittauksia tehdään pääsääntöisesti kahdesta syystä. Ensinnäkin, jatkuvalla värähtelymittauksien seurannalla pystytään seuraamaan ja arvioimaan koneen tai koneenosien kuntoa. Toiseksi, pääsääntöisesti värähtelyjen vaikutukset koneisiin, rakenteisiin ja tuotantoprosesseihin ovat haitallisia. Haitallisuus ilmenee muun muassa:

- lisääntyneinä jännityksinä (rasitukset)
- rakenteiden väsymismurtumina
- liitosten löystymisenä
- käyttöiän alenemisenä
- lopputuotteen laadun heikkenemisenä
- käynnin epävarmuutena
- energiahäviönä
- meluna ja muuna ergonomisena häirtana
- häiriönä muille koneille lähistöllä

(Nohynek & Lumme 1996, 48.)

Värähtelymittausten tyypillisimmät käyttökohteet ja edut:

- tyypillisimpiä käyttökohteita ovat muun muassa turbiinit, pumput, puhaltimet sähkömoottorit ja vaihdelaatikat.
- jatkuvalla seurannalla pystytään seuraamaan ja arvioimaan koneen kuntoa.
- korjaustöiden ennakointi ja suunnittelu jo ennen vian ilmenemistä.
- korjaustöiden ajoitus suunniteltujen seisokkien mukaan.
- tuotannon ja ennen aikaisten konerikkojen estäminen.
- koneiden ja rakenteiden resonanssitaajuuksien määrittäminen.
- monikanavaisilla mittalaitteilla suurienkin kokonaisuuksien mittaaminen.
- värähtely mallinnettavissa visuaaliseen muotoon.

(Kiwa Inspecta www-sivut 2018.)

4.3 Värähtelyn käsitteitä

4.3.1 Suureet ja mittayksiköt

Värähtelyä mitataan kolmena eri suureena: siirtymänä, nopeutena ja kiihtyvyytenä.

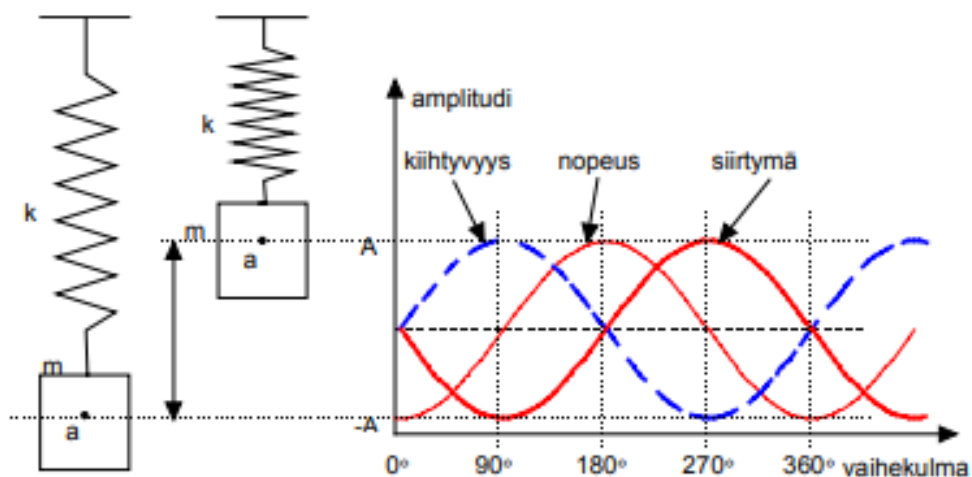
Värähtelyn mittausta:

- siirtymä ilmaisee kohteen sijainnin suhteessa vertailupisteeseen
- nopeus ilmaisee kappaleen kulkeman siirtymän tietyn ajanhetken kuluessa
- kiihtyvyys ilmaisee kappaleen nopeuden muutoksen tietyn ajanhetken kuluessa

(Nohynek & Lumme 1996, 54.)

Värähtelysuuren valinnassa tulisi huomioida, että se on riittävän herkkä havaitsemaan koneen kunnan muutoksen aiheuttamat värähtämiset. Yleisin käytetty suure on nopeus, koska sillä on melko hyvä herkkyys laajalla taajuusalueella. Värähtelyn nopeus on myös lähes verrannollinen värähtelyn sisältämään energiamäärään. Myös monet standardit ja normit on tehty käyttäen värähtelyn nopeutta mittasuurena. Siirtymä voi olla hyvä suure, kun kone on hidaskäyntinen, alle 300 rpm ja oletettavat viat ovat matalilla taajuuksilla, alle 100 Hz. Kiihtyvyys voi olla hyvä suure, kun kone on nopeakäyntinen, yli 9000 rpm ja viat ilmenevät korkeilla taajuuksilla, yli 1000 Hz. (Nohynek & Lumme 1996, 59-60.)

Siirtymän, nopeuden ja kiihtyvyyden aallonmuoto on sama (kuva 2), mutta vaihekulma eroaa 90 astetta siten, että kiihtyvyys on 90 astetta nopeutta edellä, joka taas vastaavasti on 90 astetta siirtymää edellä. Kuvan käyrien amplitudit on piirretty saman korkuisiksi, mutta niiden yksiköt eivät vastaa toisiaan. Taulukosta 1 voidaan nähdä kunkin suuren yksikkö ja lyhenne. (ABB:n TTT-käsikirja 2000, 23.)



Kuva 2. Jousi-massasysteemin pisteen a siirtymä, värähtelynopeus ja -kiihtyvyys. (ABB:n TTT-käsikirja 2000, 23.)

Vaihekulma kertoo jakson kohdan, johon värähtely on edennyt vertailukohtasta. Vaihekulmaa käytetään erityisesti epätasapainon, linjausvirheen ja resonanssin erottamiseen toisistaan. Värähtelyn taajuus kertoo, kuinka monta värähdysliikettä sekunnissa tapahtuu. Jakso eli jaksonaika on yhteen kokonaiseen värähdysliikkeeseen kulunut aika. Vaihekulman, taajuuden ja jakson lyhenteet ja yksiköt on listattu taulukkoon 1. (ABB:n TTT-käsikirja 2000, 23.)

Taulukko 1. Yleisimmät värähtelysuureet ja mittayksiköt Euroopassa. (Mikkonen 2009, 224-225.)

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	$^\circ$ tai rad
Taajuus	f	Hz
Jakso	T	s
Pyörimisnopeus	n	1/min tai rpm tai 1/s

4.3.2 Heräte ja herätetaajuus

Herätteiksi kutsutaan niitä voimia, jotka saavat rakenteen värähtelemään. Herätteet voivat aiheutua koneen normaalista toiminnasta, erilaisista valmistuksen tai asennuksen epätarkkuuksista sekä vikaantumisista. Herätteiden lähteinä voivat olla esimerkiksi epätasapaino tai polttomoottoreissa tapahtuvat räjähdykset. Tavallisesti herätteen aiheuttaa liikkeessä oleva koneenosa kuten roottori, mäntä tai akseli. Tyypillisissä teollisuuden koneissa herätetaajuuksien määrä on suuri ja niiden tarkka tunnistaminen on usein hankalaa. (Mikkonen 2009, 224-225.)

4.3.3 Ominaistaajuus

Kaikilla rakenteilla on useita ominaistaajuuksia eli sellaisia taajuuksia, joilla ne pyrkivät herätteen johdosta värähtelemään. Ominaisvärähtelyt ovat yleensä kiusallisia ja aiheuttavat suuren osan rakenteellisista värähtelyongelmista. (Mikkonen 2009, 225.)

4.3.4 Resonanssi

Resonanssilla tarkoitetaan tilaa, jossa herätetaajuus ja ominaistaajuus ovat lähellä toisiaan ja se aiheuttaa yleensä voimakasta värähtelyä. Resonanssissa värähtely saattaa vahvistua jopa 5-50 -kertaiseksi. Käytännössä kuitenkin herätetaajuus ja ominaistaajuus harvoin osuvat täsmälleen samalle kohdalle. (Mikkonen 2009, 225.)

4.3.5 Kriittinen nopeus

Kriittisellä nopeudella tarkoitetaan erikoistapausta, jossa herätevoiman taajuutena on koneen pyörimistaajuus. Pyörimistaajuudella normaalisti ilmenee jonkin verran värähtelyä, minkä vuoksi minkään koneen ominaistaajuus ei saisi sijaita pyörimistaajuuden läheisyydessä. Yleinen ohje on, että taajuuksien välillä tulisi olla vähintään 20 % ero. (Mikkonen 2009, 225.)

5 TASAPAINOTUS

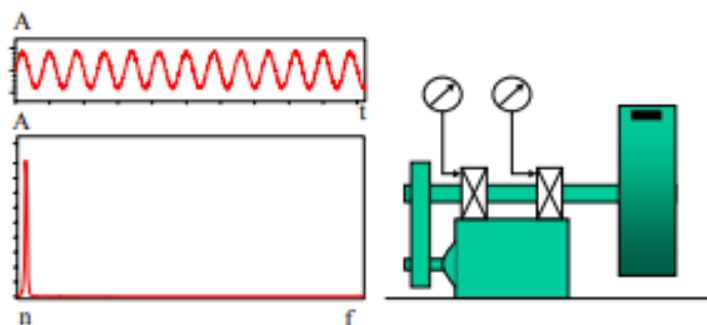
Pyörivien koneiden yleisin tärinän syy on epätasapaino. Epätasapaino on luonnollinen tila kaikissa pyörivissä kone-elimissä. Epätasapainolle voi olla monia syitä, mutta monesti se voi johtua esimerkiksi huonosta valusta, materiaalin tiheyden vaihtelusta, valmistustoleransseista tai mistä hyvänsä tekijästä, joka aiheuttaa massapoikkeaman kappaleen pyörimiskeskusteesta. Tasapainottamalla pystytään estämään haitallisen suuret tärinät, mutta käytännössä koneen tärinää ei koskaan pystytä täysin poistamaan. Epätasapainomassa aiheuttaa voiman, joka on suoraan verrannollinen massan suuruuteen ja sen etäisyyteen pyörimiskeskusteesta. Voiman suuruus on myös neliömäisesti verrannollinen akselin pyörimisnopeuteen. (Mikkonen 2009, 225; Nohynek & Lumme 1996, 133.)

Epätasapaino koneessa voi lisääntyä syistä, joista yleisimpiä ovat:

- epäpuhtauksien kiinnittyminen ja irtoaminen
- epätasainen kuluminen
- akselin taipuminen
- jännitysten laukeaminen
- irronneet tasapainotusmassat
- siiven tai muun sellaisen irtoaminen tai katkeaminen

Lisääntyneen epätasapainon vaikutuksesta tärinä koneen laakereissa kasvaa. Tärinän suuruus voi olla eri mittaussuunnissa erilainen, mihin vaikuttaa muun muassa roottorin tuenta. Kaksipuolisesti tuettujen roottorien tärinä kasvaa yleensä laakereiden radiaalisuunnassa, kun taas yksipuolisesti tuettujen roottorien tärinä kasvaa myös aksiaalisuunnassa (kuva 3). (Nohynek & Lumme 1996, 133.)

Kuvassa 3 on kuvattu roottorin yhdenpuolen tuenta, jossa A on käytetyn mittaussuuren amplitudi ja epätasapaino aiheuttaa värähtelyä taajuudella n sekä akselin että säteen suunnassa. Akselin suuntainen värähtely on eri laakereista mitattuna samassa vaiheessa. Säteen suuntaisen värähtelyn vaihekulma saattaa olla epävaka. (PSK 5707 2011, 9.)

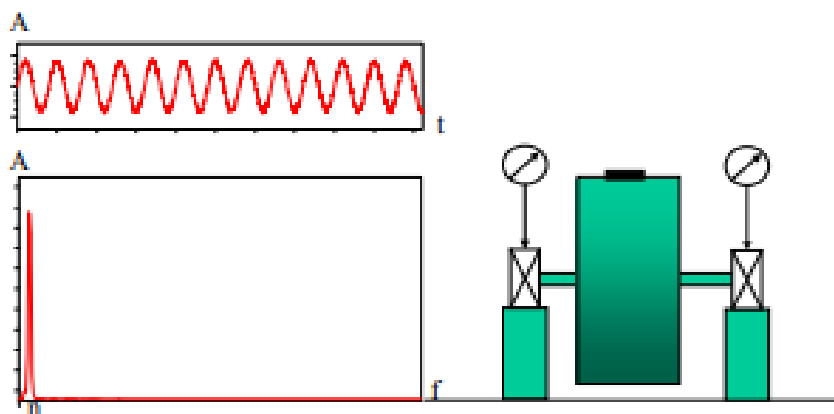


Kuva 3. Esimerkki yhdenpuolen tuennasta. (PSK 5707 2011, 9)

5.1 Staattinen ja dynaaminen epätasapaino

Staattisella epätasapainolla (kuva 4) tarkoitetaan sitä, kun ainoastaan yhdessä akselin suuntaisessa poikkileikkauksessa on merkittävä epätasapaino. Epätasapaino on yleensä korjattavissa, kun asetetaan epätasapainon vastapuolelle yhtä suuri massa samalle etäisyydelle pyörimiskeskistä. Puhaltimessa, jossa on kapea siipipyörä voi olla staattista epätasapainoa. (Nohynek & Lumme 1996, 134.)

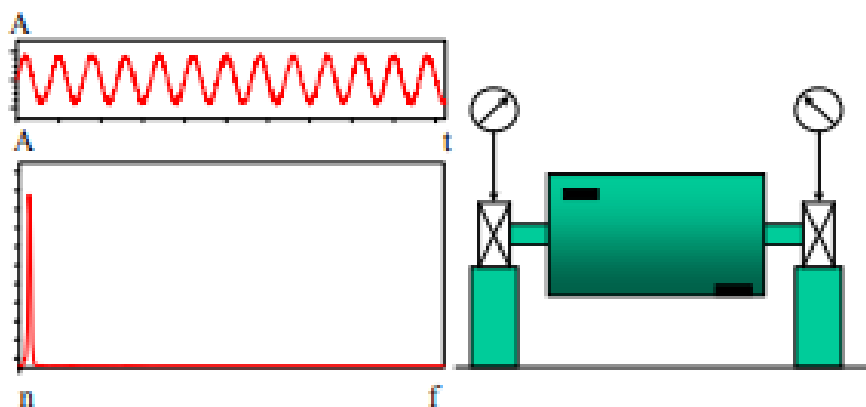
Kuvassa 4 on kuvattu staattinen epätasapaino, jossa A on käytetyn mittaussuuren amplitudi ja roottorin värähtelyn vallitsevana taajuutena on n. Värähtely on samassa vaiheessa eri laakereista säteissuuntaisesti mitattuna ja on vakaa. (PSK 5707 2011, 7.)



Kuva 4. Staattinen epätasapaino. (PSK 5707 2011, 8)

Dynaamisella epätasapainolla (kuva 5) tarkoitetaan sitä, kun useammassa kuin yhdessä akselin suuntaisessa poikkileikkauksessa on merkittävää eri suunnissa olevaa epätasapainoa. Tasapainotus on aina suoritettava värinämittausten avulla akselin pyöriessä. Tyypillisiä dynaamisen tasapainotuksen kohteita ovat muun muassa leveäsiipiset puhaltimet, monisiipiset pumput ja turbiinit. (Nohynek & Lumme 1996, 135.)

Kuvassa 5 on kuvattu dynaaminen epätasapaino, jossa A on käytetyn mittaussuuren amplitudi ja roottorin värähtelyn vallitsevana taajuutena on n . Värähtely on eri laake-reista säteissuuntaisesti mitattuna vastakkaisessa vaiheessa. Epätasapaino aiheuttaa värähtelyä säteissuunnan lisäksi myös akselin suunnassa. (PSK 5707 2011, 8.)



Kuva 5. Dynaaminen epätasapaino. (PSK 5707 2011, 8.)

5.2 Tasapainotuksen tarve

Pyörivän koneen tai koneenosan tasapainotus tulisi aina suorittaa, kun epätasapaino voi aiheuttaa koneessa voimakasta värinää. Tasapainotus tulee suorittaa, kun värinäarvot koneen käydessä nousevat yli sallittujen raja-arvojen, aiheuttaen liiallista rasitusta ja voidaan olettaa sen johtuvan epätasapainosta. Tasapainotus on myös hyvä suorittaa mahdollisten huoltojen ja osien vaihdon jälkeen. (Nohynek & Lumme 1996, 135.)

Tyypillisesti koneet tasapainotetaan yhdessä tai kahdessa tasossa. Tasolla tarkoitetaan tasapainotustasoa, esimerkiksi roottorin juoksupyörä on yksi mahdollinen tasapainotustaso, johon asetetaan tarvittaessa tasapainotusmassa. Tasapainotustasojen lukumäärään vaikuttaa oleellisesti tasapainotettavan koneen roottorin jäykkyys. Staattista epä-

tasapainoa omaavat koneet, kuten useimmat puhaltimet tasapainotetaan yleensä yhdessä tasossa, kun taas dynaamista epätasapainoa omaavat koneet esimerkiksi turbiinit ja isommat puhaltimet kahdessa tasossa. Jos roottori voidaan katsoa jäykäksi, eli ominaistajuus on 30 % pyörimistaajuuden yläpuolella, niin se voidaan tasapainottaa kahdessa tasossa. Mikäli roottori on joustava, niin se tulee tasapainottaa $N + 2$ tasapainotustasolla, missä N on pyörimistaajuuden alapuolelle jäävien roottorien ominaistajuuksien lukumäärä. (Nohynek & Lumme 1996, 137-138.)

Tasapainotustarkkuus tulisi olla kaikissa tasapainotustasoissa alle koneen sallittujen raja-arvojen. Mikäli raja-arvoja ei tunneta tai ei ole määritetty, niin voidaan käyttää standardin ISO 2372 hyvä -alueen ylärajaa. SFS:n tasapainotustarkkuusstandardista 4968 löytyy suositukset tasapainotukseen liittyvistä raja-arvoista. (Nohynek & Lumme 1996, 138.)

5.3 Tasapainotusta vaikeuttavia seikkoja

5.3.1 Lämpötilan vaikutus

Lämpeneminen aiheuttaa kaikissa roottoreissa hieman taipumista. Taipuminen aiheuttaa värinän ja vaihekulman muuttumista. Tästä syystä onkin tarpeen antaa lämpötilaerojen tasaantua, ennen kuin siirrytään varsinaisiin tasapainotusmittauksiin. (Nohynek & Lumme 1996, 145.)

5.3.2 Kierrosluvun muutokset

Kierrosluvun muuttuminen voi vaikuttaa huomattavasti pyörimistaajuisen värinän suuruuteen ja vaihekulmaan erityisesti silloin, kun ollaan lähellä koneen ominaistajuutta. Tasapainotusmittaukset tulisikin pyrkiä suorittamaan samalla kierrosnopeudella. Kierrosluvun ollessa lähellä ominaistajuutta, ei tasapainotusta yleensä pystytä ollenkaan suorittamaan. (Nohynek & Lumme 1996, 145-146.)

5.3.3 Kuormituksen muutokset

Koneen kuormituksen muutos tasapainotusmittausten aikana saattaa vaikuttaa vaihtelua mittaustuloksiin. Tasapainotuksessa ei välttämättä saavuteta parasta mahdollista tulosta. (Nohynek & Lumme 1996, 146.)

5.3.4 Roottorin tilapäinen käyristyminen

Roottorin seisoessa pitkään, saattaa siihen tulla taipumaa painovoiman vaikutuksesta. Yleensä taipuma häviää, kun konetta on käytetty riittävän kauan. Esimerkiksi pitkät ohuet telat ja turbiinien roottorit ovat tällaisia. (Nohynek & Lumme 1996, 146.)

5.3.5 Irtonainen materiaali

Roottorin siivet tulisi aina puhdistaa ennen tasapainotuksen aloitusta, koska käytön aikana siipien pinnoille ja erilaisiin koloihin saattaa kiinnittyä likaa tai muita partikkeleita aiheuttaen epätasapainoa. Myös epätasainen siipien kuluminen saattaa aiheuttaa epätasapainoa. (Nohynek & Lumme 1996, 146.)

5.3.6 Löysästi kiinni oleva roottori

Jotkut sähkömoottorit voivat olla niin löysästi kiinnitettyinä akseliinsa, että ne jokaisessa käynnistyksessä kääntyvät aina uuteen asentoon. Tällöin roottorin epätasapainokulma muuttuu, mikä voi haitata tasapainotuksen suorittamista. (Nohynek & Lumme 1996, 146.)

5.3.7 Muiden koneiden tärinät

Muiden koneiden tärinä voi johtua ympäristöstä itse tasapainotettavaan koneeseen, mikä saattaa huomattavasti vaikeuttaa tasapainotusta. Tällöin tärinän suuruuden ja vaihekulman mittaaminen on tehtävä käyttäen tahdistettua mittausta, jolla saadaan ei-synkronisten tärinöiden suuruus mittaustuloksesta pienennettyä murto-osaan. (Nohynek & Lumme 1996, 146.)

5.4 Tasapainotuksen menetelmä yhdessä tasossa

Nykyisin, kun on olemassa varsin monipuolisia ja helppokäyttöisiä tasapainotuslaitteita, niin harvoin enää ruvetaan käsin laskemaan tasapainotusmassan suuruutta ja sijaintia. Ohjelmat ilmoittavat tasapainotusmassan suuruuden ja sijoituskulman esimerkiksi koemassaan nähden tai muusta valitusta nollakulmasta. Sijainnin muutoksessa on huomioitava tuloksen merkki, eli onko saatu arvo positiivinen vai negatiivinen. Arvo kertoo, että liikutetaanko tasapainotusmassaa akselin pyörimissuuntaan vai päinvastoin. (Nohynek & Lumme 1996, 144; Korhonen 1990, 45.)

Yhden tason tasapainotus vaihekulmamittauksen avulla voidaan suorittaa, kun pyörimistäajuksen tärinän suuruus ja vaihekulma voidaan lukea mittalaitteesta. Tasapainotus aloitetaan mittaamalla laakereista käyntitaajuuden tärinäamplitudi ja -vaihe lähtötilanteessa. (Nohynek & Lumme 1996, 143.)

Tämän jälkeen tasapainotustasoon asetetaan sopiva koemassa, minkä jälkeen suoritetaan uudet mittaukset. Mittalaite laskee tasapainotusmassan suuruuden ja sijainnin. Lopuksi suoritetaan vielä mittaukset. Jos arvot ovat halutulla tasolla, voidaan tasapainotus lopettaa. Tarvittaessa toistoja voidaan joutua tekemään useita ennen kuin päästään haluttuun lopputulokseen. (Nohynek & Lumme 1996, 143.)

5.5 Tasapainotuksen menetelmä kahdessa tasossa

Kun epätasapainoa esiintyy useammassa kuin yhdessä tasossa, niin yleensä tarvitsee käyttää kahden tason tasapainotusta, koska yhden tason tasapainottamisella ei yleensä päästä riittävän hyvään tulokseen. Tasapainotus voidaan kuitenkin suorittaa molemmilla tasoilla käyttäen yhden tason tasapainotuksen menetelmää, mutta yleensä tulos ei ole riittävän hyvä ja tasapainotusajoja voidaan joutua molemmilla tasoilla suorittamaan useita. Nykyaikaiset tasapainotuslaitteet pystyvät suorittamaan laskennan kahdessa tasossa ja helpottavat tasapainotusta huomattavasti. (Nohynek & Lumme 1996, 144.)

Kahden tason tasapainotus vaihekulmanmittauksen avulla aloitetaan mittaamalla käyntitaajuuden tärinäamplitudi ja -vaihe molemmista tasoista. Tämän jälkeen asetetaan koemassa ensimmäiselle tasolle ja mitataan arvot. Seuraavaksi sama toistetaan toiselle tasolle. Näiden kolmen mittauksen perusteella tasapainotuslaite laskee tasapainotusmassojen suuruudet ja sijainnin molemmilla tasoilla. Lopuksi suoritetaan vielä uusi tasapainotusmittaus. Mikäli tärinä arvot ovat vielä koholla, toistetaan samat toimenpiteet niin monta kertaa, kunnes saavutetaan haluttu lopputulos ja tasapainotus voidaan lopettaa. (Nohynek & Lumme 1996, 144.)

6 SAVUKAASUPUHALLIN

6.1 Savukaasupuhaltimen tehtävä

Savukaasupuhaltimen tarkoituksena on imeä savukaasuja kattilasta ja luoda alipaine tulipesään. Alipaineen tarkoituksena on pitää haitalliset kaasut savukaasukanavissa, sekä edesauttaa palamista. Puhaltimet sijaitsevat sähkösuodattimen (lentotuhkan poisto) ja jälkilämmittimen välissä ja ne on suunniteltu kompensoimaan kaasuvirtauksen painehäviöt, jotka aiheutuvat kattilasta, sähkösuodattimesta ja savukaasunpuhdistuslaitoksesta.

Meri-Porin voimalaitoksen savukaasupuhaltimet on mitoitettu 50 %:lle savukaasuvirrasta. Tyypiltään savukaasupuhaltimet ovat kaksivaiheisia aksiaalipuhaltimia ja niillä on säädettävä siipikulma. Puhaltimen pääosat ovat kaksi akselille asennettua juoksupyörää, akselin liukulaakerit ja välikappale. Sähkömoottori pyörittää kytkimen välityksellä juoksupyöräkammiossa pyöriviä juoksupyöriä.

Puhaltimen kaasuvirtausta voidaan säätää hydraulisesti kääntyvillä juoksupyörän siivillä. Puhaltimen kapasiteetti määräytyy siipien asennon mukaan. Siipien asentoa voidaan säätää käynnin aikana. Tämä tapahtuu hydraulisen sylinterin avulla, joka on asennettu toiseen juoksupyörään. Lämpötilan ja värinän mittaukseen liittyvät anturit sijaitsevat päälaakereissa. Tako-pyörä ja nopeusanturi jarrun ohjaamiseen sijaitsevat kiinteällä laakerilla.



Kuva 6. Savukaasupuhallin 1 (HNB01AN001)

6.2 Meri-Porin savukaasupuhaltimien tekniset tiedot

Savukaasupuhaltimien tekniset tiedot:

- Valmistaja: Ventilatoren Sirocco Howden
- Puhallintyyppi: 2-tasoinen aksiaalipuhallin
- Pyörimisnopeus: 990 rpm
- Tehontarve: 6102 kW per puhallin
- Juoksupyörän halkaisija: 3350 mm
- Pyörimissuunta: Vastapäivään virtauksesta
- Käyttöolosuhteet:
 - o Väliaine: Savukaasu
 - o Käyttölämpötila: 120 °C
 - o Suunnittelulämpötila: 200 °C (max)
- Värähtelytaso:
 - o Normaalikäyttö: < 4,5 mm/s
 - o Maksimi: 11 mm/s

Pyörittävän sähkömoottorin tekniset tiedot:

- Valmistaja: ABB Strömberg Drives
- Moottorityyppi: HKUOL 1422F3
- Nimellisteho: 4700 kW
- Nimellisjännite: 10000 V
- Nimellistaajuus: 50 Hz
- Nimellispyörimisnopeus: 995 rpm

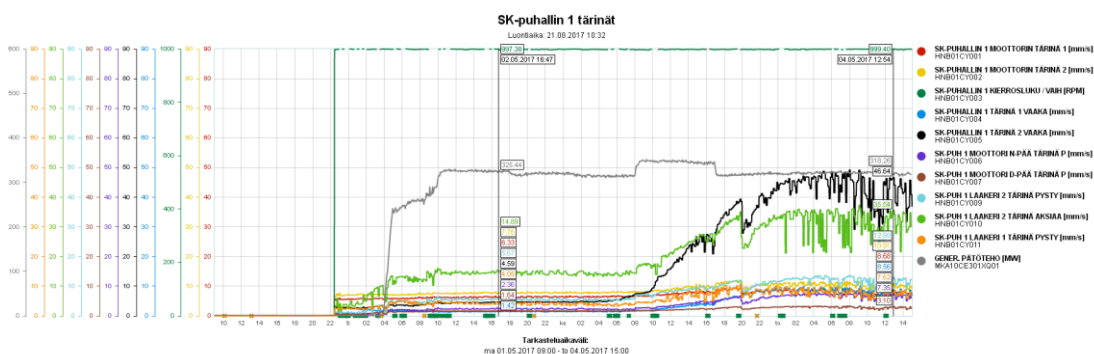
Puhaltimen tehontarve kattaa myös hydrauliiikan vaatiman tehontarpeen. Hydrauliiikan käyttämä teho tulee ulkopuolisesta lähteestä, eli puhallinta pyörittävän sähkömoottorin tehtävänä on vain pyörittää juoksupyöräkammiossa pyöriviä juoksupyöriä.

7 SK-PUHALTIMEN 1 TASAPAINOTUS 1.8.2017

7.1 Taustaa

Savukaasupuhaltimen 1 (HNBO1AN001) vuosihuolto suoritettiin revision 2017 yhteydessä huhtikuussa. Savukaasupuhaltimien vuosihuollot Meri-Porin voimalaitoksella suoritetaan aina vuorovuosina. Tällä pyritään varmistamaan voimalaitoksen käytettävyyttä, jos esimerkiksi vuosihuollon aikana ilmeneekin jokin suurempi vika tai toimintahäiriö puhaltimessa. Yhdellä SK-puhaltimella pystytään kuitenkin ajamaan kattilaa hieman yli puolella teholla. Savukaasupuhaltimien tasapainotetaan aina joka vuosihuollon päätteeksi. SK-puhaltimen 1 yksi merkittävimmistä huoltokohteista vuosihuollon yhteydessä oli laakerien vaihto osaan siivistä.

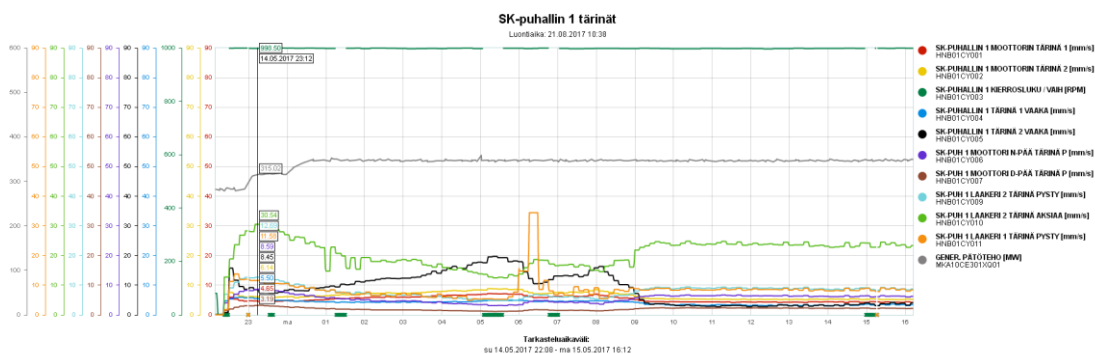
Tarve SK-puhaltimen 1 uudelleen tasapainotukselle tuli, kun revision 2017 jälkeen toukokuun ensimmäisellä viikolla, muutaman päivän ajon jälkeen, huomattiin puhaltimen värinäarvojen nousu yli kriittisen rajan. Kuvasta 7 nähdään, että värähtelytasot ovat normaalit ajojakson alussa, puhaltimen aksiaalinen värinä tosin jo kohonnut (~15 mm/s). Toisen ajopäivän jälkeen puhaltimen kaikki värähtelytasot nousivat radikaalisti. Erityisesti aksiaalinen värinä kohosi huomattavasti yli sallitun tason, värinä yli 35 mm/s.



Kuva 7. Värähtelytasojen nousu revision jälkeen.

Puhallin jouduttiin ajamaan alas, jotta välttyttäisiin suuremmilta vaurioilta. Tässä kohdalla oli jo melko selvää, että puhaltimessa olisi jokin mekaaninen vika. Tärinäarvojen nousun syyksi todettiin SK-puhaltimen II-tason siiven kiinnityksen pettäminen. Kiinnityksen rikkoutumisen vuoksi siipi ei totellut muiden siipien tapaan valvomosta tulleita ajo-ohjeita (siipikulmia) ja pääsi vapaasti liikkumaan aiheuttaen suuret värähtelytasot puhaltimelle.

SK-puhaltimen 1 siiven korjaus suoritettiin seuraavalla viikolla ja tasapainotettiin (kuva 8). SK-puhaltimen 1 tasapainotus on aina ollut hieman haasteellinen, eikä tasapainotuksessa saavutettu täysin haluttuja raja-arvoja (alle 3 mm/s). Puhallin saatiin kuitenkin tasapainotettua sallituilla raja-arvoilla (alle 7 mm/s). Aksiaalinen tärinä oli vielä kuitenkin melko korkea (>10 mm/s), mutta ei lyhyellä ajolla liian suuri. Pidemmällä ajokajaksolla tämä saattaa kuitenkin aiheuttaa liiallista rasitusta tämän kokoluokan savukaasupuhaltimella. Epäilyksi jäi, onko puhaltimessa vielä jotain mahdollisesti rikki tai aiheuttivatko uudet asennetut laakerit mahdollista epätasapainoa. Puhallin päätettiin tasapainottaa myöhemmin vielä uudelleen.



Kuva 8. Värähtelytasot siiven kiinnikkeen korjauksen ja puhaltimen tasapainotuksen jälkeen.

Savukaasupuhallin tasapainotettiin uudestaan elokuun alussa. Tasapainotus sujui odotettua paremmin ja tasapainotuksessa saavutettiin hyvät värähtelytasot myös aksiaalisen tärinän osalta, joka oli ollut suurin ongelma. Tämän pohjalta päätettiin myös opinäytetyön koonti toteuttaa.

7.2 Tasapainotuksen suorittaminen

7.2.1 Tasapainotuksen aloitus

Meri-Porin voimalaitoksen savukaasupuhaltimet ovat kaksitasoisia puhaltimia, eli puhaltimien tasapainotus tapahtuu kahdessa tasossa. Tasapainotuspainot kiinnitetään roottorin ulkokehälle. Jokaisen siiven kohdalla on ruuvi, jonka alle voidaan halutun suuruinen paino kiinnittää. Puhaltimen kummallakin tasolla on 20 siipeä ja siipien välinen kulma on 18° .

Jos savukaasupuhallinta ei ole hetkeen ajettu, eli tasapainotus aloitetaan niin sanotusti kylmänä, niin ennen varsinaisen tasapainotuksen aloitusta on puhallinta hyvä pyörittää noin kymmenen minuuttia. Tällöin puhallin ehtii hieman lämmetä ja varsinaiset tasapainotusajot ovat luotettavampia. Tasapainotusajot suoritetaan siipikulmalla 0° , painepeltiä raotetaan noin 20 % ja puhaltimen imupelti pidetään suljettuna. Tämän jälkeen roottorin ulkokehälle asennetaan niin sanottu koepaino. Tasapainotusta suorittava henkilö kertoo painon suuruuden ja sijainnin värinäärvöjen perusteella. Puhallin käynnistetään uudestaan ja saatujen tulosten pohjalta lasketaan uuden painon suuruus ja sijainti. Toimenpide voidaan joutua toistamaan useamman kerran, kunnes saavutetaan haluttu lopputulos.

7.2.2 Tasapainotuksen kulku

Savukaasupuhaltimen 1 tasapainotus päätettiin aloittaa muutamalla koestartilla, koska puhaltimen kohdalla oli epäily, että puhaltimessa voisi olla vielä jotain mahdollisesti rikki, kun toukokuussa tehty tasapainotus oli melko haastava ja ei oltu saavutettu täysin haluttua lopputulosta. Koestarttien tarkoituksena oli nähdä, että pysyvätkö puhaltimen värinäärvöt sekä vaihekulma (kehän painopiste) samalla tasolla peräkkäisissä starteissa.

Koestarttien 1 ja 2 arvoissa oli heittoja: vaihekulmassa oli havaittavissa noin 20 – 30 ° eroja. Erityisesti Taso II vaaka-tärinäarvo suureni ja pysty-vaihekulma muuttui. Puhaltimen aksiaalinen tärinä pysyi lähes samana, vaihekulmassa oli kuitenkin muutosta. Näiden kahden startin perusteella arvot viittasivat mahdolliseen painopisteen muuttamiseen kehällä ja mahdolliseen vikaan puhaltimessa, jolloin tasapainottamalla ei pystyttäisi saavuttamaan riittävän hyviä tuloksia, koska kehän painopiste vaihtelisi jatkuvasti.

Koestarttien 3 ja 4 kohdalla kuitenkin havaittiin, että arvot pysyivät samalla tasolla kuin 1. startissa, joten voitiin poissulkea mahdollinen vika puhaltimessa ja puhallin oli tasapainotettavissa. Koestartit suoritettiin toukokuun tasapainotuksessa asetetuilla painoilla.

Taulukko 2. Koestarttiajojen tärinäarvot (mm/s, °).

	Koestartti 1.	Koestartti 2.	Koestartti 3.	Koestartti 4.
LIX Moottori vaaka	5,8/300	6,7/308	6,3/307	6,2/315
L1Y Moottori pysty	4,3/100	3,7/121	3,1/105	3,0/100
L2X Moottori vaaka	7,3/300	8,3/309	7,4/307	7,9/320
L2Y Moottori pysty	1,7/127	1,4/144	1,2/123	0,9/123
L3X Taso I vaaka	3,7/240	3,6/236	3,5/245	3,3/245
L3Y Taso I pysty	7/303	5,5/334	4,8/297	4,1/294
L3Z Aksiaalinen	17,6/138	15,5/168	13,4/139	10,9/132
L4X Taso II vaaka	16,5/186	24/189	15,2/185	15,7/190
L4Y Taso II pysty	5,5/114	4,5/150	4,5/117	4,1/108

Viidennessä startissa poistettiin vanha 1320 g paino tasolta II, 12. pultin alta (vaihekulma 216 °). Puhaltimen kaikki tärinä arvot laskivat, erityisesti aksiaalinen tärinä, joka puolittui 5 mm/s tasolle ja tason II tärinät paranivat huomattavasti, vaaka ~3 mm/s ja pysty ~2 mm/s. Saman pultin alle päätettiin asettaa 266 g koepaino ja suoritettiin 6. startti. Värähtelytasot laskivat hivenen ja tasapainotuslaskelmat osoittivat tarvittavaksi korjausmassaksi 420 g ja sijainniksi 82 ° koemassasta puhaltimen pyörimissuuntaan vasten. Koska painojen kiinnitys kohdat ovat 18 ° välein, niin asetettiin paino 90 ° päähän (5. pultin päähän). Samalla myös poistettiin koepaino 266 g ja suoritettiin 7. startti.

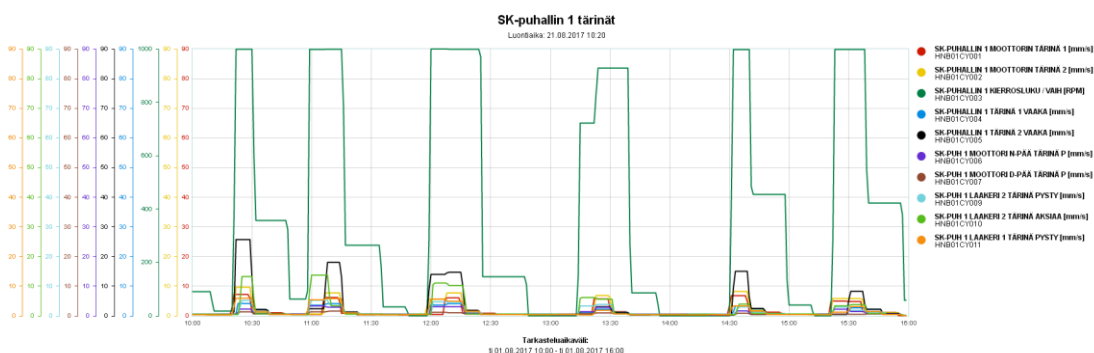
Taulukko 3. Tasapainotusajojen värinäarvot (mm/s, °).

	5. startti	6. startti	7. startti
LIX Moottori vaaka	5,8/283	5,4/286	4,9/280
L1Y Moottori pysty	3,1/0	2,9/14	2,1/1
L2X Moottori vaaka	6,9/283	6,5/282	5,9/280
L2Y Moottori pysty	0,7/338	0,7/1	0,5/340
L3X Taso I vaaka	2,1/238	2,6/240	2,4/240
L3Y Taso I pysty	3,8/150	3,8/164	2,8/150
L3Z Aksiaalinen	5,3/337	5,0/1	3,1/332
L4X Taso II vaaka	3,1/284	2,5/290	2,4/277
L4Y Taso II pysty	1,7/293	1,8/315	1,2/292

Tällä massa-asettelulla päästiin värähtelytasoissa erittäin hyvään lopputulokseen. Taso I ja II kaikki arvot alle 3 mm/s ja erityisesti aksiaalinen värinä oli pudonnut lähtötilanteesta (~15 - 20 mm/s) merkittävästi tasolle 2,5 mm/s.

7.2.3 Tasapainotuksen yhteenveto

Kaiken kaikkiaan tason II roottorilta poistettiin 900 g edestä painoa. 420g uudelleen sijoitettiin 90 ° pyörimissuuntaan vasten. Tasapainotuksessa ei tarvinnut koskea tason I tasapainotuspaloihin. Kaiken kaikkiaan tasapainotus sujui paljon odotettua paremmin ja saavutettiin hyvät värähtelytasot (taulukko 3, 7. startti).



Kuva 9. Tasapainotusajojen värähtelytasot.

Käytetyt mittalaitteet:

- CSI 2130-2 analysaattori (SN 00137305)
- SignalCalc Turbo analysaattori

Mittalaitteet kiinnitettiin puhaltimen omiin värähtelyantureihin.

Puhaltimen anturit:

- kiihtyvyyssanturit IMI 622A01 4kpl
- Optinen valotakometri Monarch

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä koostettiin tekninen yhteenveto savukaasupuhaltimen tasapainottamisesta. Opinnäytetyön pohjana oli elokuussa 2017 suoritettu savukaasupuhaltimen 1 (HNB01AN001) tasapainottaminen. Työn tilaajana toimi Maintpartner Oy ja työ suoritettiin Forumin Meri-Porin voimalaitoksella.

Teknisen yhteenvedon tavoitteena oli, että siitä käy ilmi tasapainottamisen menetelmä ja miksi tasapainottaminen on tärkeää. Yhteenvedossa myös perehdytään tasapainottamisen ja tärinämittauksen käsitteisiin ja teoriaan. Yksi osa teknistä yhteenvetoa oli 1.8.2017 suoritettu SK-puhaltimen 1 tasapainotuksen raportointi ja tulkinta. Maintpartner Oy:n kannalta työn oleellisin osa oli, että teknistä yhteenvetoa voi käyttää tukena tulevissa tasapainotuksissa.

SK-puhallin 1 tasapainotus on aina ollut haasteellinen, mutta 1.8.2017 suoritettussa tasapainottamisessa saavutettiin hyvät värähtelytasot, joilla puhaltimen turvallinen käyttö on mahdollista. Itse tasapainotus myös sujui odotettua helpommin, varsinkin kun aikaisemmin puhaltimen kanssa on ollut ongelmia.

LÄHTEET

ABB Oy, 2000. ABB:n TTT-käsikirja 2000-7. Luku 23: Kunnonvalvonta ja huolto. http://heikki.pp.fi/opetus/pedanet/papkem/230_0007.pdf

ARROW Engineering. "Ennakoivan kunnossapidon merkitys teollisuudessa". ARROW Engineering Weblogi 14.09.2017 Viitattu 21.03.2018 <https://blogi.arroweng.fi/ennakoivan-kunnossapidon-merkitys-teollisuudessa>

Fortum Oy www-sivut. 2018. Viitattu 07.03.2018. <https://www.fortum.fi/>

Kiwa Inspecta www-sivut. 2018. Viitattu 9.4.2018 <https://www.inspecta.fi/>

Korhonen, J. 1990. Kunnossapidon tärinämittaus. Helsinki: VAPK-Kustannus

Lähtenmäki, L. 2008. Värähtelymekaniikka. http://personal.inet.fi/koti/mlahten/arkistot/vmek_pdf/luku_1.pdf

Maintpartner Oy www-sivut. 2018. Viitattu 07.03.2018 <http://www.maintpartner.fi>

Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito käsikirja. Teoksessa Mikkonen, H., Miettinen, J. (toim.) & Jantunen, E. Värähtelymittaukset. Kerava: KP-Media Oy, 223-280.

Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito käsikirja. Teoksessa Mikkonen, H. (toim.), Jantunen, E., Miettinen, J., Leinonen, P., Kautto, J. & Lumme, V.E. Diagnostiikka. Kerava: KP-Media Oy, 281-368.

Nohynek, P. & Lumme, V.E. 1996. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. Rajamäki: KP-Tieto Oy.

Pohjolan Voima www-sivut. 2018. Viitattu 07.03.2018. <https://www.pohjolan-voima.fi>

PSK 5707. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Vianmääritys. Vibration measurement in condition monitoring. Diagnosis. 2011 5. p. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK.

PSK 6201. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. Maintenance. Terms and definitions. 2011. 3. p. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK.