



Lasse Lehtonen

Höyryturbiinien käyttövarmuuden parantaminen öljynjalostamolla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

11.2.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Lasse Lehtonen
Otsikko:	Höyryturbiinien käyttövarmuuden parantaminen öljynjalostamolla
Sivumäärä:	36 sivua + 3 liitettä
Aika:	11.2.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine:	Koneautomaatio
Ohjaajat:	Konetyönsuunnittelija Jon Tolkkila Ryhmäpäällikkö Jarkko Kramsu Konetekniikan lehtori Pekka Hirvonen

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Neste Oyj:n Porvoon jalostamolla sijaitsevan tuotantolinjan 4:n höyryturbiinien käyttövarmuutta kunnossapidon osalta. Lähtötilanteessa tarkasteltiin höyryturbiinien ja niihin liittyvien laitteistojen toimintaa, vikaantumis- sekä kunnossapitohistoriaan.

Varsinainen kehitystyö aloitettiin tutustumalla laitevalmistajien käyttö- ja huolto-ohjekirjoihin sekä suoritettiin henkilöhaastatteluita kunnossapidon henkilöstön kanssa. Näiden tietojen pohjalta saatiin hyvin todenmukainen kuva höyryturbiinien vikaantumisista, vika-analyseista ja niiden huoltosuunnitelmista.

Käyttövarmuuden parantamisen lisäksi tämän opinnäytetyön pohjalta on tarkoitus jatkaa tarkastelua muiden tuotantolinjojen höyryturbiineille ja täten parantaa näiden laitteistojen käyttövarmuutta sekä lisätä kunnossapidon järjestelmällisyyttä. Opinnäytetyön pohjalta tehtiin ennakkohuoltosuunnitelmat kuudelle eri höyryturbiinille tuotantolinjan 4 alueella. Ennakkohuoltosuunnitelmien käyttöönotto ajoitetaan vaiheittain alkaen vuoden 2025 keväästä.

Avainsanat: Öljynjalostus, höyryturbiini, kunnossapito, käyttövarmuus

Abstract

Author: Lasse Lehtonen
Title: Improving The Operational Reliability of Steam Turbines at an Oil Refinery
Number of Pages: 36 pages + 3 appendices
Date: 11 February 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Machine Automation
Supervisors: Jon Tolkkila, Work planner, rotating equipment
Jarkko Kramsu, Group leader
Pekka Hirvonen, Senior Lecturer

The objective of this thesis was to enhance the operational reliability of steam turbines within Production Line 4 at Neste Oyj's Porvoo refinery, focusing on maintenance strategies. Beyond the immediate goal of improving operational reliability in Production Line 4, the thesis aims to extend its impact by exploring the steam turbines in other production lines. This broader investigation seeks to elevate the operational reliability of these systems while instilling a more systematic approach within the maintenance department.

The initial phase involved a comprehensive analysis of the operational, failure, and maintenance history of the steam turbines and associated equipment. The subsequent development phase commenced with a thorough examination of the operation and maintenance manuals provided by equipment manufacturers. Additionally, interviews were conducted with personnel from the maintenance department to gather insights. This collaborative approach allowed for a realistic understanding of steam turbine failures, fault analyses, and maintenance plans.

As a practical outcome of the thesis, preventive maintenance plans will be implemented for six distinct steam turbines in Production Line 4. The rollout of these plans is scheduled to occur gradually, commencing in the spring of 2025.

Keywords: Oil refinery, steam turbine, maintenance, operational reliability

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Neste Oyj	1
3	Tuotantolaitoksen käyttövarmuus	3
4	Höyryturbiini	5
4.1	Höyryturbiinityypit	7
4.1.1	Aktioturbiini	8
4.1.2	Reaktioturbiini	10
4.1.3	Aktio- ja reaktioturbiinien vertailu	11
4.1.4	Radiaaliturbiini	12
4.2	Rakenneosat	13
5	Tuotantolinjan 4 höyryturbiinit	20
5.1	Höyryturbiinien käynninaikaiset toimenpiteet	20
5.2	Huollon aikana suoritettavat toimenpiteet	21
6	Vikaantumiset ja niiden syyt	23
7	Käyttövarmuuden parantaminen	27
7.1	Käynninaikaiset tehtävät	28
7.2	Ennakkohuollot	30
8	Tulokset	32
9	Yhteenveto	33
	Lähteet	1

Liitteet

Liite 1: Höyryturbiinin käytönaikaiset tarkastuskohteet

Liite 2: Laajemmassa revisiossa suoritettavat huolto- ja tarkastustoimenpiteet

Liite 3: M+ järjestelmässä rakennettu vakiotyö höyryturbiinin huollolle

Lyhenteet

NEXBTL: Neste Biomass to Liquid eli uusiutuva biopohjainen polttoaine

ODR: Operator Driven Reliability eli käyttäjäkunnossapito

M+: IFS Applications:in Nesteelle räätälöimä kunnossapitotietojärjestelmä

Revisio: Laaja tarkastus- ja huoltotyö

Suurseisakki: Tuotantolaitoksen täysi huoltopysäytys

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty Neste Oyj:n Porvoon öljynjalostamolle. Öljynjalostamolla on käytössä useita höyryturbiineja, joiden pääasiallinen käyttötarkoitus on pyörittää tuotantolaitteita, muunmuassa pumppuja ja kompressoreja. Höyryturbiinit ovat eri tehoisia, kokoisia ja tyyppisiä vaihdellen kymmenien ja satojen kilowattien tehoisista lauhdeturbiineista useamman megawatin vastapaineturbiiniin. Tuotantolinja 4:lla höyryturbiinikäyttöiset pumput ovat pääsääntöisesti käytössä energiatehokkuus- sekä turvallisuussyistä aina kuin mahdollista verrattuna sähkömoottorikäyttöisiin pumppuihin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää kunnossapidon näkökulmasta laitteiden kunnossapitotöiden ja -toimien nykytilannetta. Höyryturbiinien vikaantumisen syy-seurauksien nykytilan tutkimisella voidaan selvittää perusteellisesti todelliset suunnittelemattomat seisakkiaikakustannukset, nykyiset korjaavat, ennakkohuollolliset toimenpiteet sekä tulevat jatkotoimenpiteet. Näiden avulla voidaan tehostaa kunnossapidon sekä operoinnin toimintaa ja täten minimoida kustannuksia suunnittelemattomien korjaus- ja huoltotöiden kohdalla.

2 Neste Oyj

Neste Oyj on suomalainen yritys, joka toimii energia-, jalostus- ja uusiutuvien polttoaineiden alalla. Yritys on perustettu vuonna 1948 alunperin valtion öljy-yhtiöksi, jolloin Neste keskittyi jalostukseen ja erilaisten öljypohjaisten tuotteiden tuotantoon. Ajan myötä yritys on laajentanut toimintaansa maailmanlaajuisesti ja se on merkittävä toimija Euroopassa sekä kansainvälisillä öljymarkkinoilla.

Nesteellä on toimintaa 16 maassa ja jalostamot Suomessa, Alankomaissa ja Singaporessa sekä yhteistoiminnon myötä Yhdysvalloissa. Vuonna 2022 Neste työllisti keskimäärin 5200 henkilöä.

Yhtiön merkittävin muutos tapahtui 2000-luvulla, kun yhtiö alkoi panostaa voimakkaasti uusiutuvaan energiaan ja kestävän kehityksen hankkeisiin. Tätä muutosta ohjasi kasvava huoli ilmastonmuutoksesta, energiavarmuudesta ja tarpeesta vähentää kasvihuonepäästöjä. Nesteen ensisijainen painopiste siirtyi uusiutuvan dieselin ja muiden uusiutuvien polttoaineiden tuotantoon, erityisesti käyttämällä raaka-aineita, kuten jätettä, tähteitä sekä kasviöljyjä. Neste kehitti uusiutuvan dieselin valmistukseen patentoidun NEXBTL-tekniikan, joka on ympäristöystävällisempi vaihtoehto perinteiselle dieselpolttoaineelle. Neste My Diesel tunnetaan alhaisista kasvihuonekaasupäästöistä ja yhteensopivuudesta olemassa olevien dieselmoottorien kanssa. (Neste 2023.)

Porvoon jalostamo (kuva 1) on yksi Nesteen keskeisistä toimipaikoista ja on yksi suurimmista ja moderneimmista öljynjalostamoista Pohjoismaissa. Jalostamolla on tärkeä rooli Nesteen toiminnassa, erityisesti uusiutuvien polttoaineiden ja korkealaatuisten öljytuotteiden tuotannossa.



Kuva 1. Osa Nesteen Porvoon jalostamoa (Neste 2023)

Porvoon jalostamon merkittävällä jalostuskapasiteetilla pystytään käsittelemään erilaisia raakaöljyjä ja tuottamaan monipuolista valikoimaa eri polttoaineita, kemikaaleja ja muita öljytuotteita. Yksi merkittävimmistä toiminnoista on uusiutuvien polttoaineiden (diesel, lentopetroli) tuotanto. Jalostamo on sitoutunut

kestävään kehitykseen ja ympäristövastuuseen. Yhtiö on pyrkinyt vähentämään hiilidioksidipäästöjä, parantamaan energiatehokkuutta ja kehittämään ympäristöystävällisiä tuotantoprosesseja.

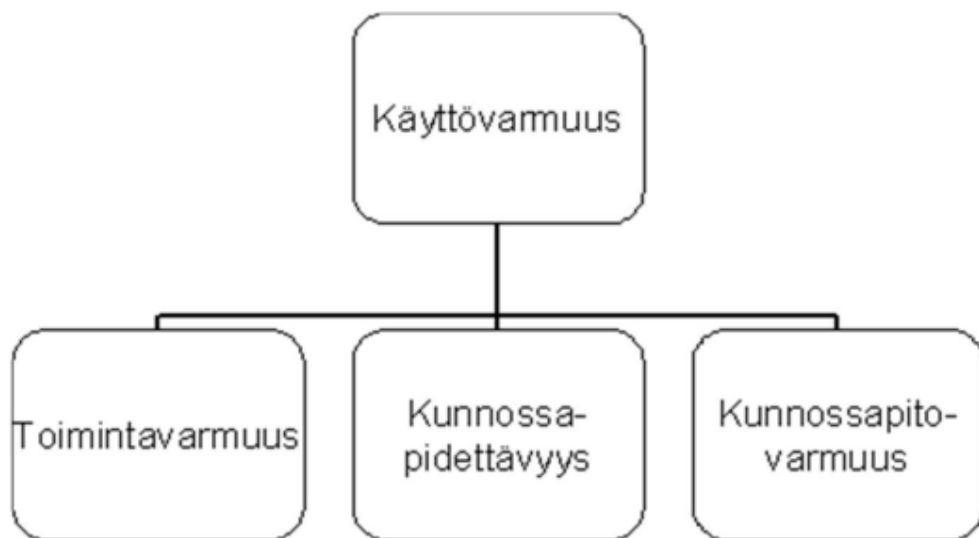
3 Tuotantolaitoksen käyttövarmuus

Teollisuuden tuotantolaitoksessa käyttövarmuus ilmenee kykyä ylläpitää tuotantoprosessi ja laitteisto toimintakunnossa suunnitellusti ilman merkittäviä keskeytyksiä tai ongelmia. Tämä on keskeinen tavoite kunnossapidossa, jonka avulla pyritään varmistamaan rakennusten, laitteiston ja koneiden kunto. Tarkoituksena on mahdollistaa tuotannon suorittaminen turvallisesti, laadukkaasti, luotettavasti ja kustannustehokkaasti. Turvallisuusnäkökulmasta pyritään varmistamaan, että tuotanto on turvallista sekä ympäristölle että työntekijöille. Useimmat työtapaturmat johtuvat viallisista laitteista ja harvat kohteet ovat täysin riskittömiä työturvallisuuden suhteen. Laadun takaamisella pyritään varmistamaan, että tuotanto on korkealaatuista, mikä säilyttää asiakastytyvyyden ja tuottaa mahdollisimman suuren tuoton. Luotettavuudella taataan tuotannon jatkuvuus ilman merkittäviä keskeytyksiä, koska tuotantomenetykset johtavat usein merkittäviin taloudellisiin menetyksiin. Kustannustehokkuus mahdollistaa sattuvien, mahdollisten vikaantumisien ajoissa ennakoitua sekä kunnossapitotöiden suunnittelua. Tämän avulla voidaan vähentää tuotantotappioita sekä lyhentää menetettyä tuotantoaikaa. Onnistunut vikojen ennakoitua mahdollistaa korjaus- ja huoltosuunnitelmien ajoissa tekemisen, mikä puolestaan mahdollistaa korjaustoimenpiteiden suorittamisen mahdollisimman kustannustehokkaasti. (Opetushallitus 2023.)

Käyttövarmuus on olennainen tekijä jo suunnitteluvaiheessa, koska tuotannon kannattavuus riippuu suuresti siitä, kuinka luotettavasti järjestelmä tai laite toimii. Suunnitteluvaiheessa on välttämätöntä ottaa huomioon lukuisia tekijöitä, jotka vaikuttavat käyttövarmuuteen. Tämä edellyttää tarkastelua siitä, kuinka luotettavasti tietty laite kykenee toimimaan ja miten sen ympäristö suunnitellaan ja toteutetaan siten, että viallisen komponentin tai laitteen korjaaminen tai vaihtaminen vie mahdollisimman vähän aikaa. Käyttövarmuus on huomioitava myös

tuotantovaiheessa ja tavoitteena on optimoida tuotanto mahdollisimman kustannustehokkaasti, välttämällä laitteiden liiallista kulumista ja vaurioita. Ennakkohoito on keskeisen tärkeää käyttövarmuuden kannalta, sillä suurimmat tuotannonmenetykset johtuvat yleensä odottamattomista vaurioista, joihin ei ole ennakkosuunnitelmaa. Tällaiset keskeytykset ovat usein huomattavasti pidempiä kuin suunnitellut huoltokatkot. Lisäksi kunnossapitoon on kiinnitettävä erityistä huomiota, mukaan lukien harkinta siitä, mitä varaosia tulee säilyttää varastossa ja arvioida eri tuotanto-osien kriittisyysluokituksia käyttövarmuuden varmistamiseksi. (Opetushallitus 2023.)

Käyttövarmuus on käsitteenä laaja, joka kattaa useita vaiheita, alkaen suunnittelusta ja ulottuen ennakkohoitoon sekä korjaavaan kunnossapitoon. Toimintavarmuus viittaa kykyyn suorittaa tietty toiminto halutulla tehokkuudella, kun kaikki tarvittavat olosuhteet ovat kohdallaan. Toisin sanoen se kuvastaa sitä, kuinka luotettavasti järjestelmä tai laite pystyy toimimaan, kun sille asetetut vaatimukset täyttyvät (Opetushallitus 2023). Alla olevassa kuvassa 2 on esitettyä käyttövarmuuden eri osa-alueita.



Kuva 2. Käyttövarmuuden osatekijät (VTT Research 2012)

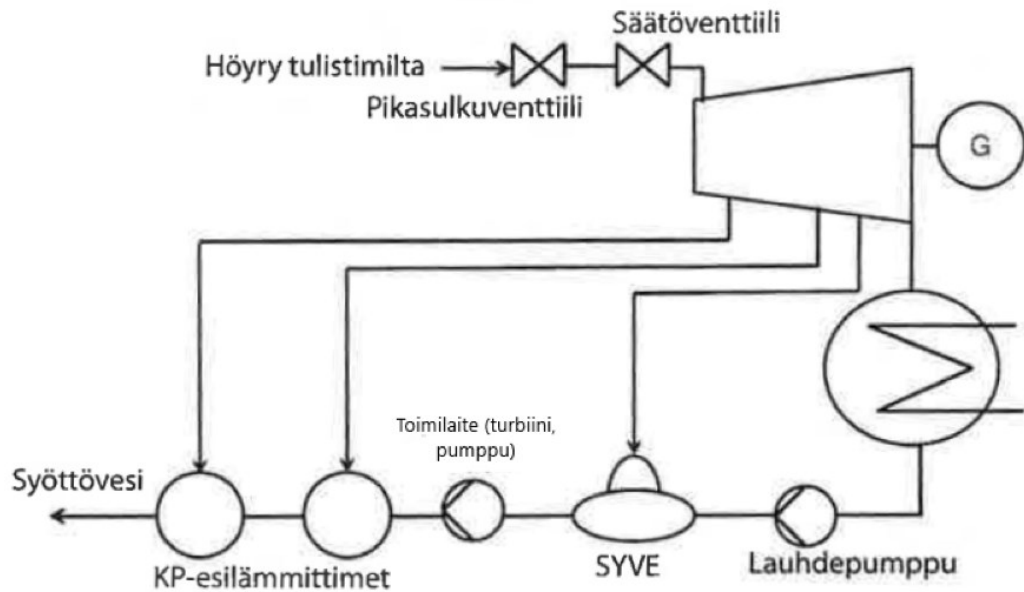
Kunnossapidettävyys puolestaan viittaa kohteen kykyyn pysyä toimintakuntoisena tai korjattavissa, erityisesti kun säännöllistä kunnossapitoa suoritetaan

asianmukaisesti oikeanlaisten resurssien, kuten henkilöstön, välineiden ja menetelmien, avulla. Kunnossapidettävyyys on tärkeä, koska se vaikuttaa siihen, kuinka nopeasti ja tehokkaasti laitteita voidaan korjata tai ylläpitää, mikä puolestaan vaikuttaa käyttövarmuuteen.

Kunnossapitovarmuus kuvaa organisaation kykyä järjestää tarvittavat resurssit ja henkilöstö tehokkaan kunnossapidon takaamiseksi. Tämä tarkoittaa, että organisaatiolla on valmiudet huolehtia laitteiden ja järjestelmien ylläpidosta ja korjauksesta tarvittaessa, ja että siihen on varattu tarvittavat resurssit ja osaaminen kunnossapidon onnistumiseksi. Kunnossapitovarmuus on siis keskeinen tekijä käyttövarmuuden saavuttamisessa ja ylläpitämisessä. (Opetushallitus 2023.)

4 Höyryturbiini

Höyryturbiini on lämpövoimakone, joka muuntaa höyryn sisältämän lämpöenergian nopeusenergiaksi sen johtosiivissä. Tämä nopeusenergia muutetaan sitten (kuva 3) mekaaniseksi työksi eli turbiinin akselin pyörimisenergiaksi, joka puolestaan ohjaa toimilaitetta, kuten pumppua tai kompressoria. Höyrykattilassa käytetään yleensä fossiilista, ydin- tai biopolttoainetta lämmönlähteenä, mutta myös kuumia kaasuja, aurinkoa tai geotermistä energiaa voidaan hyödyntää.



Kuva 3. Höyryturbiinin prosessikytkentä (Kauppinen 2018, 44.)

Höyrysuihku muokataan kiinteissä johtolaitteissa, kuten suuttimissa tai turbiinin sisäpesiin ja johtosiipikielkoihin kiinnitetyissä johtosiivissä, sopivan nopeuden ja suunnan saavuttamiseksi. Roottoriin kiinnitetyt juoksusiivet siirtävät voiman roottorille. Johtosiivet ja juoksusiivet muodostavat vyöhykkeen, ja turbiinit jaetaan yksi- tai monivyöhykkeisiin niiden vyöhykelukumäärän perusteella.

Höyryturbiineja käytetään voimalaitoksissa, jotka perustuvat rankine-höyryprosessiin, kuten lauhde-, kaukolämpö-, vastapaine- ja ydinvoimalaitokset. Rankine-kierto on termodynaaminen kierto, joka kuvaa prosessia, jossa tietyt lämpökoneet, kuten höyryturbiinit mahdollistavat mekaanisen työn saamisen nesteestä, kun se liikkuu lämmönlähteen ja jäähdytyselementin välillä. Nämä voimalaitokset eroavat toisistaan tuotetun höyryn arvoissa ja vaativat erilaisia höyryturbiinirakenteita. Esimerkiksi ydinvoimaloissa tulohöyryä ei tulisteta, ja korkeapaineturbiinille tuleva höyry on kylläistä tai kostea.

Tulistettu höyry on tilanteen painetta vastaavaa höyrystymispistettä korkeamassa lämpötilassa, eli se voi menettää lämpöä ennen kuin alkaa tiivistyä eli

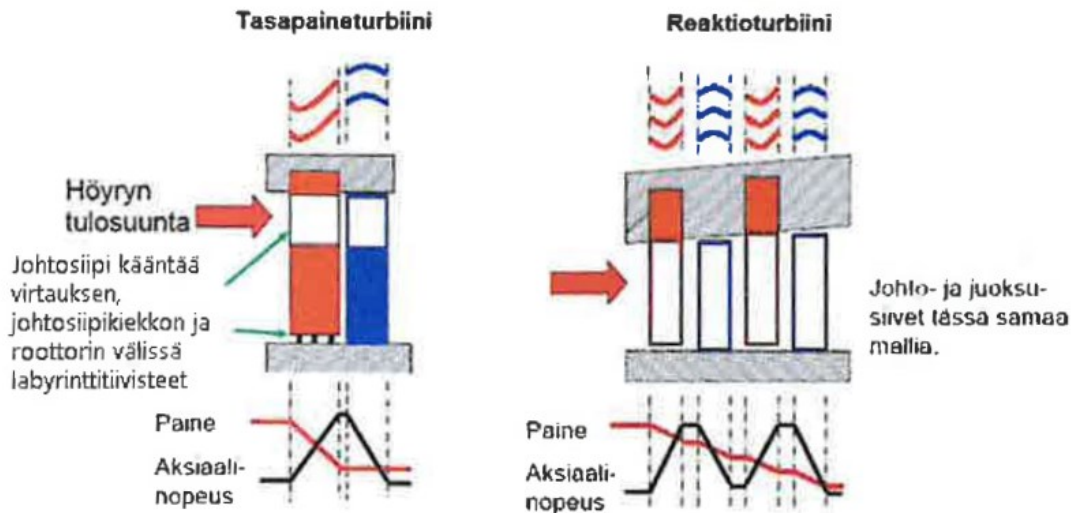
nesteytyä. Höyryn tulistuksessa höyry lämmitetään tulistimilla vielä yli sen kylläisen tilan.

Kylläinen höyry on kaasuuntunutta vettä paineen mukaisessa kiehumispisteen lämpötilassa. Lämpötilan laskiessa höyry alkaa välittömästi tiivistyä vedeksi. Kosteaa höyryä on kylläisen höyryn ja veden seos. Siinä vesi on jakautunut höyryyn hyvin hienoiksi pisaroiksi, jotka leijuvat siinä sumuna. Vastapainelaitoksissa turbiinilta poistuva höyrynpaine on 0,8–3 baria, jotta voidaan tuottaa tarvittavaa lämmintä höyryä ja vettä kaukolämmitykseen tai teollisuuden prosesseihin. (Kauppinen 2018, 44-45.)

4.1 Höyryturbiinityypit

Turbiinit luokitellaan niiden toimintaperiaatteen mukaan kahteen pääryhmään: aktioturbiineihin ja reaktioturbiineihin (kuva 4). Höyryturbiinit voidaan myös jaotella höyryn syöttösuunnan ja rakenteen perusteella, kuten aksiaaliturbiinit, radiaaliturbiinit ja niiden yhdistelmät. Turbiinien eri tyyppejä ovat lauhde- tai vastapaineturbiinit, vaihdelaatikolla varustetut tai suoravetoiset turbiinit, yhden jakson tai monijaksoiset turbiinit, korkeapaine-, välipaine- tai matalapaineturbiinit, välitulistetut turbiinit sekä puhaltimien ja kompressorien turbiinit. Aksiaaliturbiinit jaetaan toimintaperiaatteittensa mukaisesti aktio-reaktioturbiineihin eli tasapaine-reaktioturbiineihin (Kauppinen 2018, 45-46.).

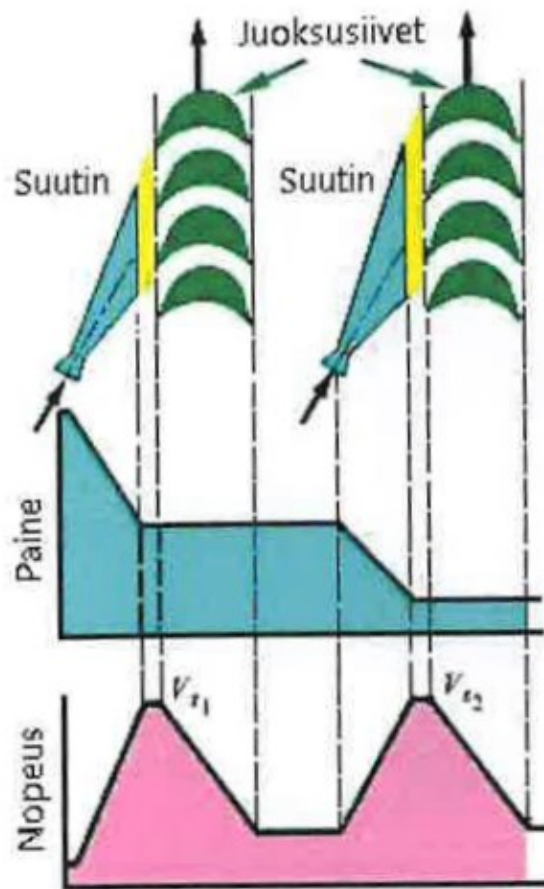
Höyryvirta kohtaa joka portaassa ensin runkoon kiinnitetyn kiinteän **johtosiiven** ja sen jälkeen roottoriin kiinnitettyä pyörivän **juoksusiiven**.



Kuva 4. Tasapaine- ja reaktioturbiinin periaate (Kauppinen 2018, 46)

4.1.1 Aktioturbiini

Aktio- eli tasapaineturbiinin toiminta perustuu höyryn nopeuden muutoksen aiheuttamaan impulssivoimaan turbiinin juoksusiivissä. Impulssivoima syntyy, kun korkeanopeuksinen virtaava aine, tässä tapauksessa vesihöyry höyryturbiinissa, osuu juoksusiipeen suuttimesta tai johtosiivestä. Tämän jälkeen höyryvirtaus muuttaa suuntaansa, ja sen liike-energia vähenee, osan siirtyessä juoksusiiven liike-energiaksi (Kuva 5). Kun höyry kulkee juoksusiivistä seuraavaan vaiheeseen, sen nopeutta kasvatetaan jälleen seuraavissa johtosiivissä, mikä aiheuttaa sen paineen laskun. Tämä muutos muuttaa höyryvirtauksen liike-energiaksi, joka johdetaan edelleen seuraaviin juoksusiipiin. Energian siirron määrää höyrysuihkun suhteellinen nopeuden muutos pyöriviin juoksusiipiin nähden. Juoksusiipien edessä on paine sama, jonka syystä aktioturbiinien suomenkielinen nimitys on *tasapaineturbiini* (Kauppinen 2018, 46-47.).

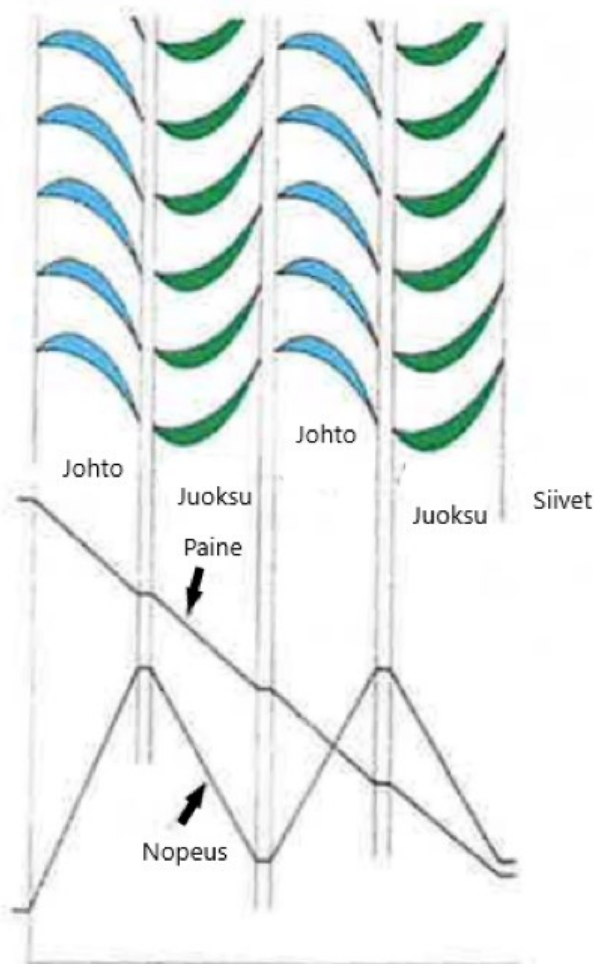


Kuva 5. Aktio- eli tasapaineturbiinin periaatekaavio (Kauppinen 2018, 48)

Tasapaineturbiinissa höyryn entalpia muunnetaan kokonaan nopeusenergiaksi suuttimissa ja johtosiivistössä. Juoksusiipien alueella paine ei vähene. Nopeusenergia tuotetaan johtosiivistössä ja itse työ tehdään juoksusiivistössä siten, että höyryn virtaussuunta muuttuu samalla kun virtausnopeus suhteessa siipien pysyy vakaana. Koska entalpien muutos tapahtuu pelkästään johtosiivistössä, paine-ero ilmenee vain johtosiipien edessä ja takana olevien tilojen välillä. Kehänopeus riippuu roottorin pyörimisnopeudesta ja juoksusiipien pituudesta (Kauppinen 2018, 48).

4.1.2 Reaktioturbiini

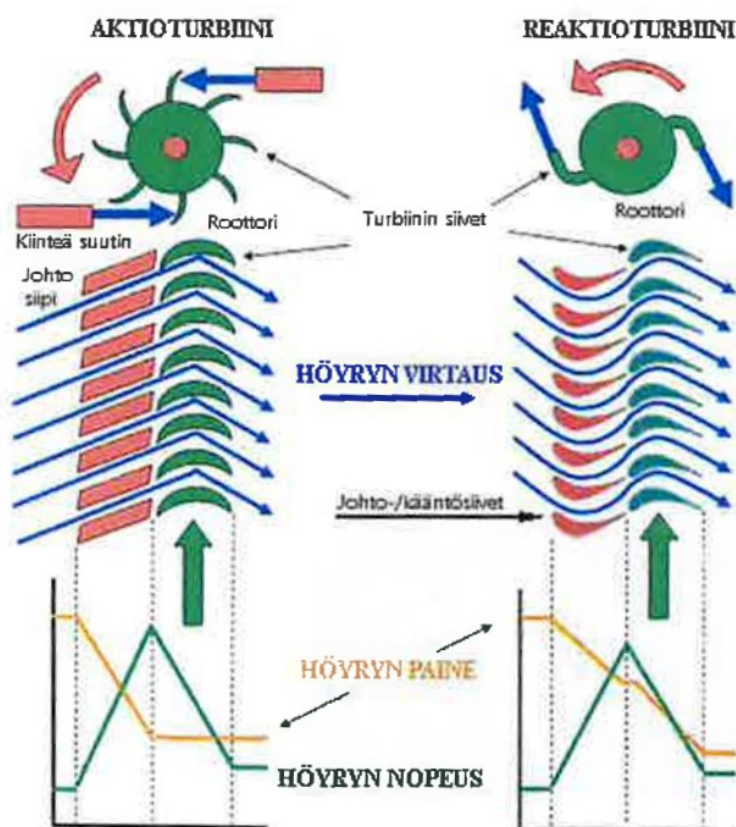
Reaktioturbiinissa, eli ylipaineturbiinissa höyryn entalpia muuttuu nopeusenergiaksi sekä johto- että juoksusiivissä. Tässä prosessissa höyrysiuhkun nopeuden kasvu johtaa juoksupyörän kehävoiman syntymiseen reaktion perusteella. Koska energian muutos tapahtuu myös juoksusiivissä, virtausnopeus kasvaa juoksuaiheen nähden. Työ tehdään osittain virtaussuunnan muutoksen ja osittain reaktivoiman ansiosta, joka syntyy höyryn massavirran kiihdytyksestä. Juoksuaiheen edessä ja takana vallitsee eri suuruinen paine (kuva 6). Tämän takia reaktioturbiinia kutsutaan ylipaineturbiiniksi. (Kauppinen 2018, 48-49.)



Kuva 6. Reaktioturbiinin periaatekaavio (Kauppinen 2018, 49)

4.1.3 Aktio- ja reaktioturbiinien vertailu

Aktio- ja reaktioturbiinien välillä on joitakin eroja. Reaktioturbiinissa rakohäviöt ovat suuremmat, koska paine-ero ilmenee myös juoksusiivessä. Siipihäviöt ovat reaktioturbiinissa pienemmät johtuen pienemmästä kulmamuuutuksesta (kuva 7). Nykyään turbiinitehtaat eivät yleensä rakenna puhtaasti aktio- tai reaktioturbiineja, vaan ne hyödyntävät molempien tyyppien etuja. Täyshuollon näkökulmasta aktioturbiinissa on tehtävä enemmän pyörivien ja kiinteiden osien välillä välysmittauksia ja säätöjä verrattuna reaktioturbiiniin. Reaktioturbiinissa on yleensä korkeampi hyötysuhde kuin aktioturbiinissa. Aktioturbiinien valmistajat pyrkivät parantamaan hyötysuhdetta erilaisilla ratkaisuilla. (Kauppinen 2018, 50-51)

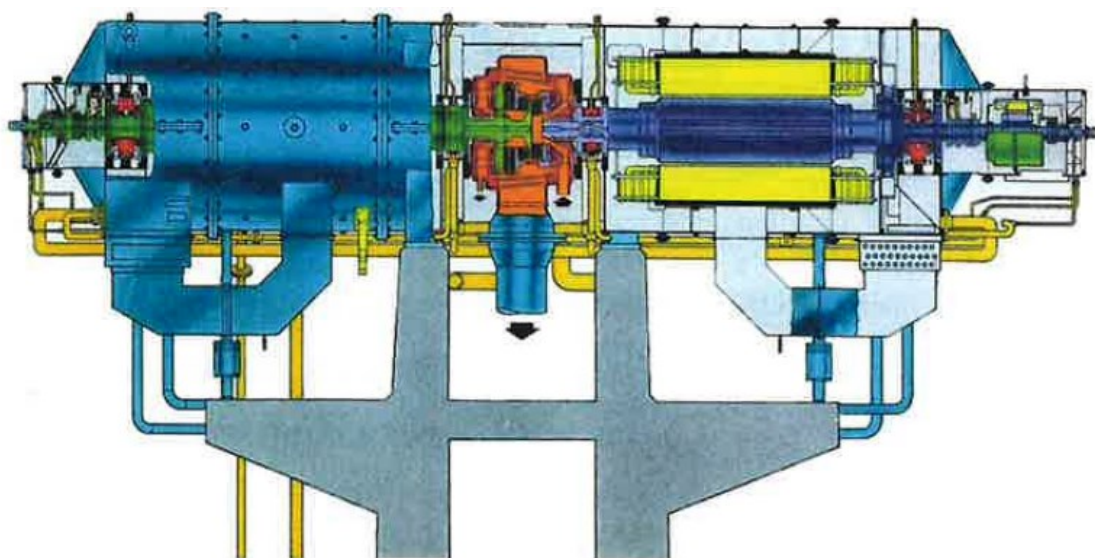


Kuva 7. Aktio- ja reaktioturbiinien vertailu (Kauppinen 2018, 50)

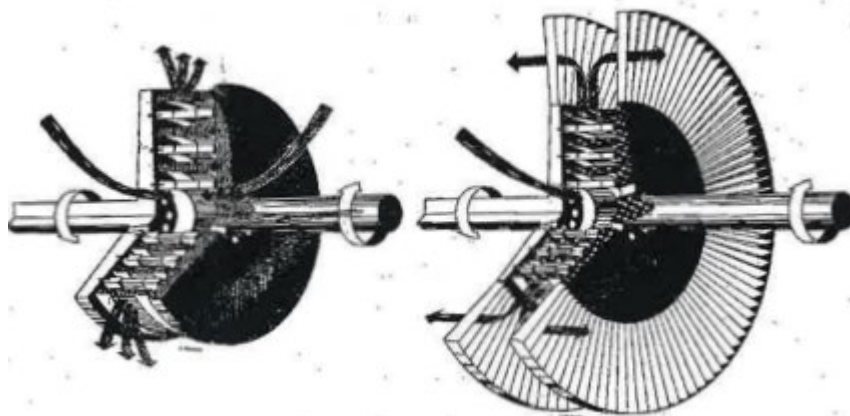
Valtaosa nykyaikaisista voimalaitosturbiineista on yhdistelmiä aktio- ja reaktori-turbiineista, missä höyryn laajeneminen tapahtuu sekä suuttimissa että siivistöissä. Höyryturbiinit jaetaan sen mukaan, millainen höyrynpaine niistä poistuu, lauhdeturbiineihin ja vastapaineturbiineihin.

4.1.4 Radiaaliturbiini

Radiaaliturbiineissa (kuva 8) sekä juoksu- ja johtosiivistö ovat kiinni omilla akselillaan ja toimivat täten yhtä aikaa sekä johto- että juoksusiipinä. Radiaaliturbiinissa on kaksi eri suuntiin pyörivää akselia (kuva 9) ja siipien renkaat ovat vuorotellen asennettu vastakkaisien akselien kiekkoihin (Kauppinen 2018, 51-52).



Kuva 8. Radiaaliturbiini, Siemens Industrial Turbomachinery AB, (Kauppinen 2018, 51)



Kuva 9. Radiaaliturbiinin siivistön toimintaperiaate (Kauppinen 2018, 52)

Radiaaliturbiinilla on useita etuja, kuten tehon hyvä säädettävyys. Monissa voimalaitoksissa tulistettu höyry ohjataan ensin aksiaaliturbiiniin, joka ajaa vakiokuormaa ja rinnalla toimii radiaaliturbiini, jota voidaan säätää vastapainehöyryn tarpeen mukaan. Radiaaliturbiini mahdollistaa nopean käynnistyksen, sillä ylösajo kestää vain 5 - 10 minuuttia kylmästä tilasta käytettäväksi turbiiniksi. Teho-painosuhte on hyvä, koska siivistön läpi kulkee neljä kertaa enemmän höyryä, eli energiaa, kuin aksiaaliturbiinissa. Turbiini jäähtyttyään sallii huoltotöiden aloittamisen muutaman tunnin kuluessa sen alasajosta. Lisäksi radiaaliturbiinin perustukset ovat kevyet ja lauhdutin sekä käytettävä toimilaite on liitetty suoraan turbiiniin, eikä niille tarvita erillisiä perustuksia (Kauppinen 2018, 52-53.).

4.2 Rakenneosat

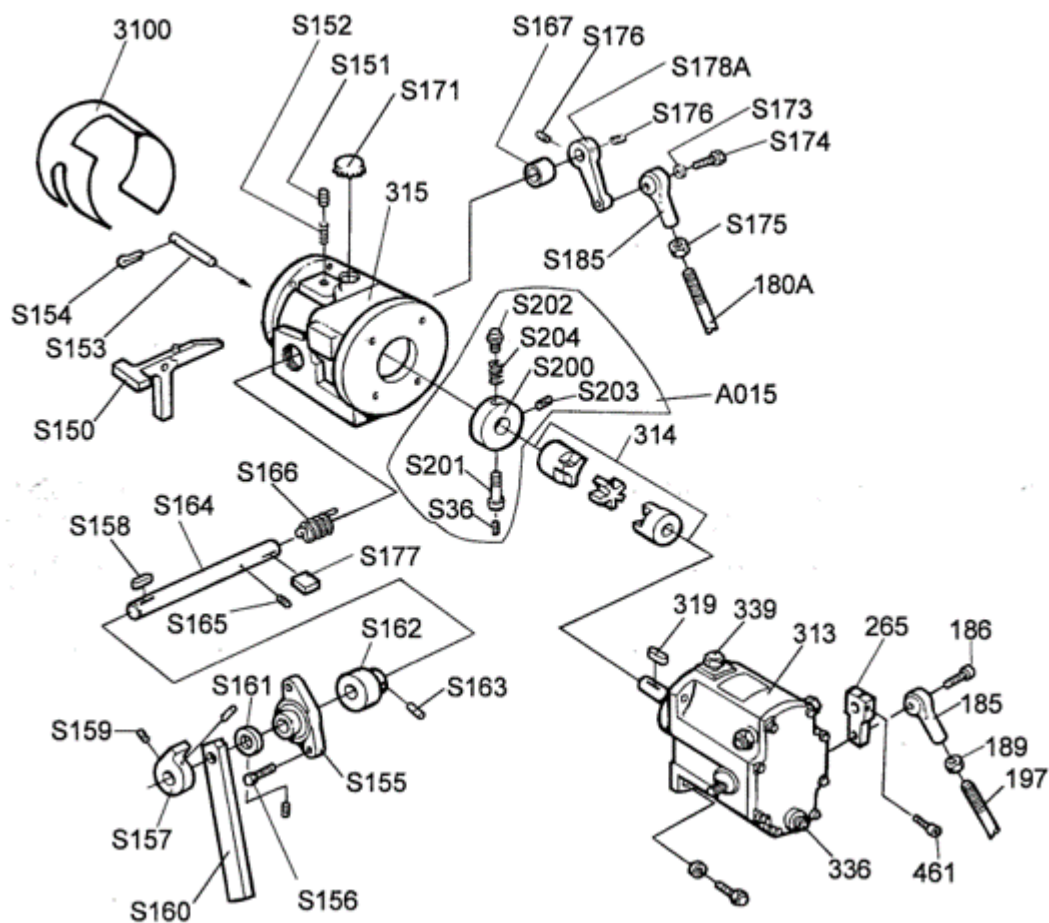
Höyryturbiinin rakenne koostuu seuraavista rakenneosista: päähöyryputki, pikasulku- ja kierroslukusäätöventtiili, höyrysuutin, turbiinin pesä, roottori, akselitiiviste, laakerointi, poistohöyryputki ja vesitysventtiili ja -putkisto. Näiden lisäksi turbiinin kokoonpano voi pitää sisällään erilaisia väliottoventtiileitä ja -putkistoja.

Höyrykattilasta ohjataan tarkasti lämpötilasäädetty tulistettu höyry turbiinille *päähöyryputkea* pitkin. Höyryn nopeus vaihtelee 25–70 m/s riippuen

päähöyryputken mitoituksesta. Käynnistyksen yhteydessä on otettava huomioon päähöyryputken huolellinen lämmitys ja vesitys. (Kauppinen 2018, 62.)

Turbiinin keskeisin turvalaite on *pikasulkuventtiili*. Tuorehöyry kulkee venttiilin läpi turbiiniin, jolloin pikasulkuventtiili sulkee höyryn turbiinille alle sekunnissa. Pikasulkuventtiili estää turbiinin vaurioitumisen esimerkiksi prosessihäiriön aikana. Esimerkiksi jos turbiinin perään kytketyltä keskipakopumpulta ei kulje prosessituote läpi ja pyörimisvastus laskee tai poistuu, pikasulku sulkee höyryn turbiinilta sekä estää turbiinia saamasta ylimääräistä vauhtia. Yleisesti pikasulkuventtiilit toimivat jousivoiman avulla, mutta nykyään on olemassa myös höyrytoimisia versioita. Pikasulkuventtiiliä avataan yleensä joko höyryn avulla tai hydraulisesti. Venttiilin auki pysyminen säädetään magneettiventtiileillä, joita ohjataan suojajärjestelmien ja prosessiautomaation ohjaussignaaleilla.

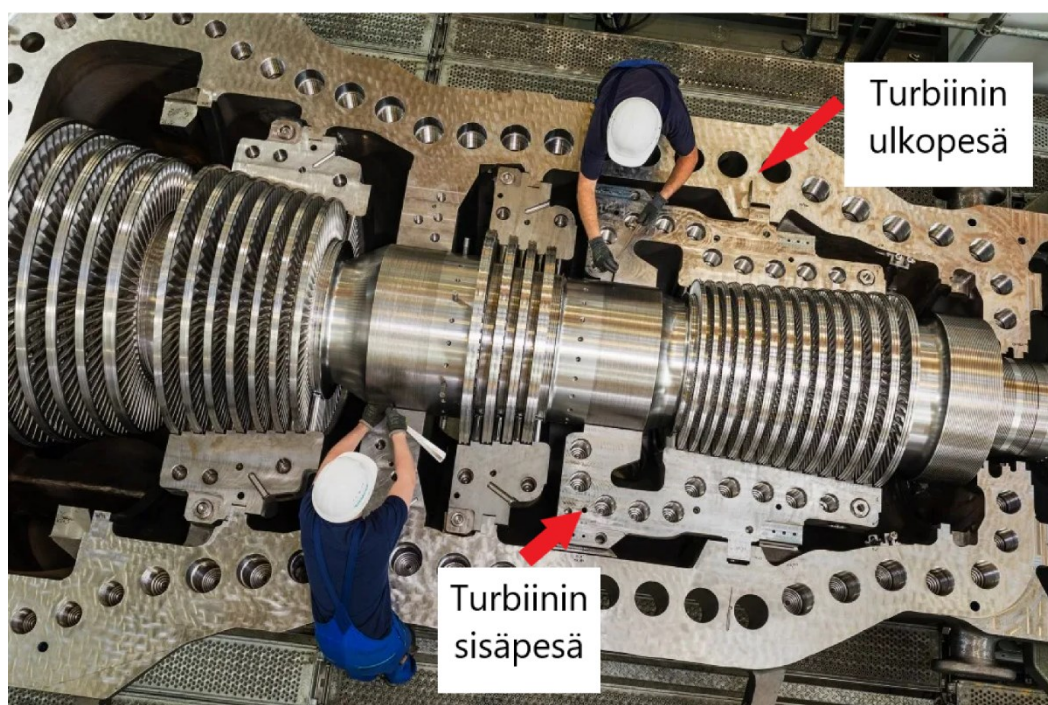
Kierroslukusäätäjän (eng. Governor, kuva 10) päätehtävänä on säädellä höyryn virtausta ennen turbiinia, mikä mahdollistaa turbiinin roottorin kierrosluvun säätämisen tarkoituksenmukaiseksi. Kierroslukusäätäjät ovat kriittisiä turbiinin asianmukaisen toiminnan kannalta ja niiden kuntoa on seurattava päivittäin. Turbiinin huollon yhteydessä säätöventtiilit puretaan tarkastusta varten ja niiden kunto ja toiminnallisuus varmistetaan. Mahdolliset havaitut puutteet korjataan turvallisen ja tehokkaasti säädettävän turbiinin varmistamiseksi (Kauppinen 2018, 65–68.).



Kuva 10. kierroslukusäätäjän räjäytyskuva (Coppus 2002)

Höyrysuutin tai höyrysuuttimet ohjaavat höyryn turbiinin roottorille. Suurissa turbiineissa höyry jaetaan useille suuttimille, mikä varmistaa tasaisen höyryn virtauksen roottorille. Pienemmissä turbiineissa voi olla vain yksittäinen suutin, joka syöttää vaadittavan höyryn turbiinille. Höyryn virtaus suuttimessa syntyy paine-eron vaikutuksesta. Kun höyry virtaa suuttimen jälkeen suurempaan tilavuuteen, sen voimakas laajeneminen aiheuttaa paineen ja lämpötilan laskun samalla kun höyryn nopeus kasvaa merkittävästi. Suuttimissa höyryn nopeus voidaan kasvattaa jopa äänennopeutta korkeammaksi, mikä tekee suuttimista erittäin kovassa rasituksessa olevia komponentteja. (Kauppinen 2018, 76-77.)

Turbiinin pesä (kuva 11) koostuu ulko- ja sisäpesästä. Ulkopesässä on yleensä suuri materiaalivahvuus, johon kiinnittyy sisäpesät, johtosiipikannattimet ja akselitiivisteet. Paineen aiheuttamat jännitykset sisäpesässä ovat ratkaistu yleensä paksuilla rakenteilla. Lämpö aiheuttaa suurimmat rasitukset sisäpesälle. Pesien monimutkaiset rakenteet on tarkistettava säännöllisesti mahdollisten materiaalivaurioiden varalta. Yleensä pesät ovat valettuja ja niiden valmistuksessa käytetään seostettua terästä, valurautaa tai hiiliterästä riippuen höyryturbiinin käyttökohteen lämpötilasta ja paineesta. (Kauppinen 2018, 85.)

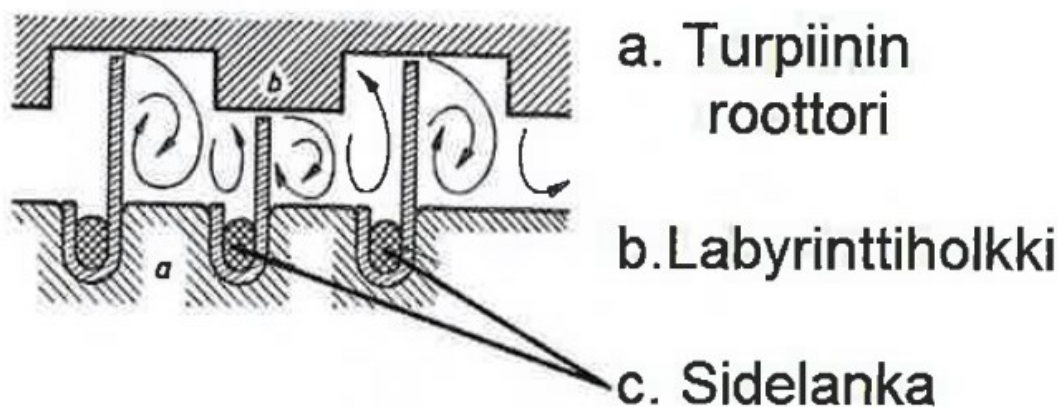


Kuva 11. turbiinin sisä- ja ulkopesän kannet poistettuna (Siemens 2017)

Roottori koostuu itse akselista, johon on koneistettu kaulat ja kiekot turbiinin laakeroinnille. Roottorille asennetaan juoksusiivet sekä labyrinthitiivisteet määrättyille paikoille. Roottoreita valmistetaan useilla tavoilla, mutta yleisimpiä tyyppisiä ovat monoblock-roottorit, jotka muovataan yhdestä kappaleesta. Hitsatut roottorit koostuvat useista erillisistä osista, jotka hitsataan yhteen.

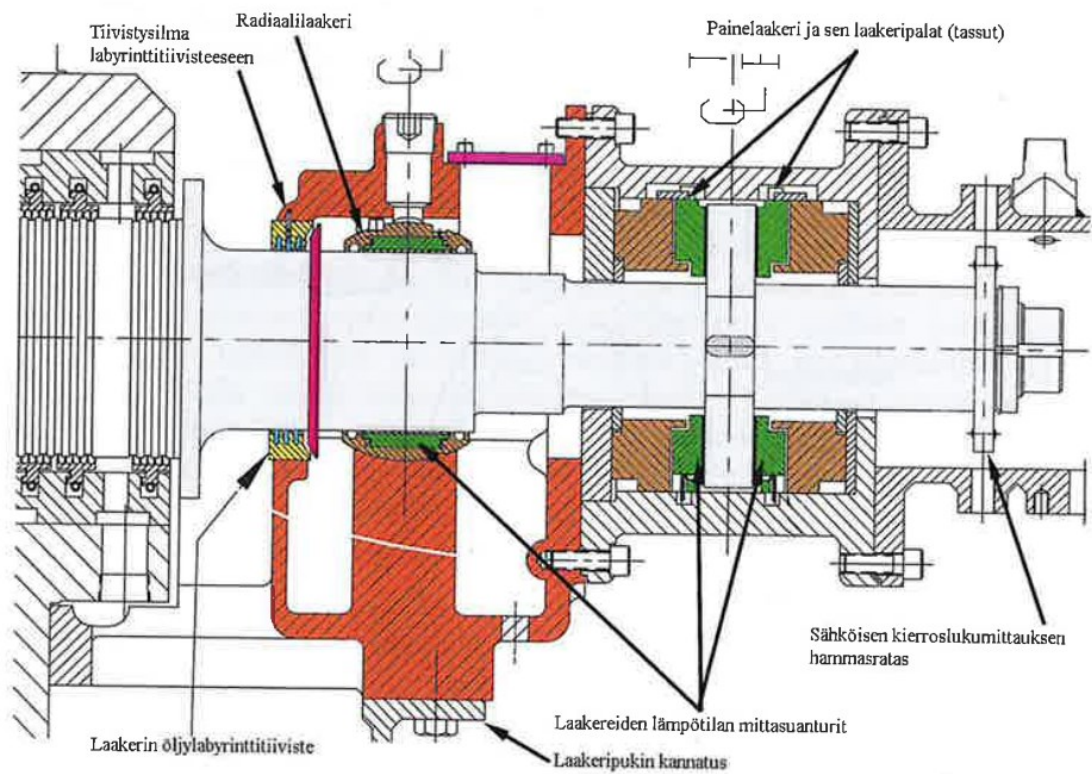
Kutistusliitoksella valmistetuissa roottoreissa juoksuhiipikiekot asennetaan akselin kauloihin kutistusliitoksen avulla. (Kauppinen 2018, 94.)

Akselitiivisteiden tehtävänä on tiivistää akselin ja pesän tai eri vyöhykkeiden rajapinnat estäen höyryn karkaamisen. Jos höyry pääsee vuotamaan rajapinnoilta, laitteen hyötysuhde heikkenee merkittävästi, sillä kaikkea höyryä ei voida hyödyntää. Yleisesti akselitiivistetyyppi höyryturbiineilla on labyrinttitiiviste (kuva 12). Labyrinttitiiviste toiminta perustuu höyryn paine-energian muuttamiseen liike-energiaksi, mikä tapahtuu nopealla poikkileikkaustilan laajentumisella ja höyrysuihkun ohjauksella (Kauppinen 2018, 89.).

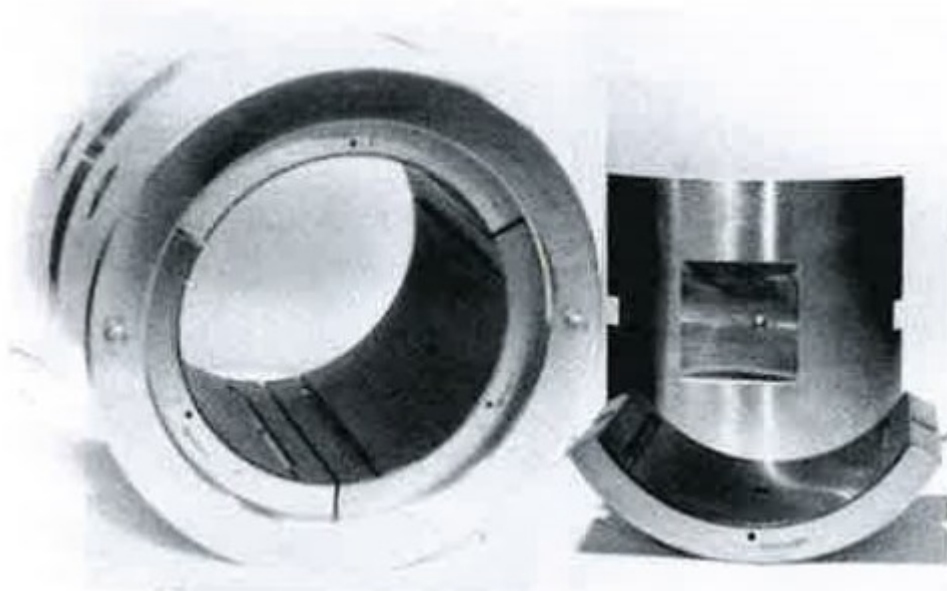


Kuva 12. Labyrinttitiiviste (Kauppinen 2018, 89)

Turbiinin *laakerointi* muodostuu turbiinin pesässä (kuva 13) kannatinlaakereista (radiaalilaakerit, kuva 14), joiden tehtävänä on kantaa roottorin painoa, sekä painelaakerista (aksiaalilaakeri, kuva 15), jonka tehtävänä on asettaa roottori oikealle paikalleen turbiinin pesään ja vastustaa erityisesti reaktioturbiinissa syntyviä aksiaalivoimia. Liukulaakereissa käytetään ainoastaan erilaisia laakerimetalliseoksia. Voiteluöljyn tehtävänä on luoda öljykalvo laakerin ja roottorikaulan väliin, vaimentaa roottorin värähtelyjä ja jäähdyttää laakeria erityisesti korkeapainepään roottorin aiheuttaman lämmön vaikutuksesta. (Kauppinen 2018, 101-104)



Kuva 13. höyryturbiinin laakerit (Kauppinen 2018, 101)



Kuva 14. Kolmipakka-liukukenkätyyppinen radiaalilaakeri (Kauppinen 2018, 103)



Kuva 15. Aksiaali- eli painelaakeri (Kauppinen 2018, 104)

Vesitykset ovat äärimmäisen kriittisiä turbiinin suorituskyvyn ja käyttöiän kannalta. Niiden tehtävänä on poistaa lauhtunut vesi höyrylinjoista, pesistä ja muista höyryn kanssa kosketuksiin joutuvista komponenteista. Erityisen kriittistä on varmistaa, että lauhtunut vesi poistuu putkistoista erityisesti turbiinin käynnistyksen yhteydessä. Jos lauhtunutta vettä ei poisteta, se voi kulkeutua höyryn mukana turbiinin kriittisiin osiin ja aiheuttaa merkittäviä vaurioita. Lauhtunut vesi saattaa talvisin jäätymä kompressorin sisällä, mikä voi myös aiheuttaa vaurioita kompressorille ja sen osille.

Turbiineissa on *lisälaitteina* erilaisia väliottoja ja useimmissa tapauksissa myös reduktioventtiileitä. Pienissä turbiineissa, kuten pumpun käyttövoiman lähteenä toimivissa turbiineissa, voi olla vain vähän tai ei lainkaan väliottoja ja yleensä vain yksi tai kaksi vesitystä. Sen sijaan suuremmissa turbiineissa on useampia väliottoja, joista voidaan ottaa höyryä halutulla paineella esimerkiksi teollisuuden prosesseihin. Suurempien teollisuusturbiinien lämmitys ennen varsinaista käynnistystä on kriittinen vaihe, ja tähän tarvitaan reduktioventtiiliä. Reduktioventtiilien tehtävänä on alentaa höyryn painetta ja lämpötilaa turvallisesti, jotta komponenttien lämpölaajeneminen olisi tasainen ja hallittu. Reduktioventtiilit säätelevät höyryn virtausta myös erilaisissa poikkeustilanteissa, kuten äkillisen

turbiinin pysähtymisen seurauksena. Tämän jälkeen pikasulkuventtiili sulkeutuu ja ylimääräinen höyry ohjataan muualle estäen höyrykattilan paineen hallitsematonta nousua. (Kauppinen 2018, 63 & 73)

5 Tuotantolinjan 4 höyryturbiinit

Tuotantolinja 4:llä on käytössä kuusi höyryturbiinia, joiden tehtävänä on pyörittää keskipakopumppuja. Näiden pumppujen tehtävänä on toimia tuotantolinjan eri yksiköiden syöttöpumppuina. Nämä pumpput ovat kriittisiä kyseisten yksiköiden ja näin ollen koko tuotantolinjan käynnin kannalta. Kyseisten pumppujen toimintavarmuutta on parannettu hyödyntämällä höyryturbiineja niiden pyörittämiseen. Valtaosa laitoksen pumpuista ovat sähkömoottorivetoisia, joten muunmuassa häiriö sähköverkossa tai pidempi sähkökatkos aiheuttaa pumppujen ennalta-arvaamattoman pysähtymisen ja täten estää pumppujen käytön. Käyttämällä höyryturbiinia sähkömoottorin sijaan pystytään pumppuja tai muita pyöriä toimilaitteita ajamaan sähköverkon häiriöiden aikana. Jos höyryturbiineille joudutaan suorittamaan huolto-/korjaustoimenpiteitä käynnin aikana tai höyryverkossa/höyryn jakelussa tapahtuu häiriö, pystytään höyryturbiinikäyttöisten syöttöpumppujen käyttö korvaamaan niiden varalaitteilla, jotka ovat sähkömoottorikäyttöisiä.

5.1 Höyryturbiinien käynninaikaiset toimenpiteet

Tässä luvussa käsitellään höyryturbiinin käynninaikaisia tarkastustoimenpiteitä operoinnin ja kunnossapidon osalta. Päivittäisiä tarkastuksia höyryturbiineilla tulee suorittaa laitevalmistajan ohjeistuksen mukaan seuraavasti:

Laakeripukkien sekä kierroslukusäätimen öljynpinnan tarkistus ja öljyn lisäys tarvittaessa. Turbiinin ja apulaitteiston toiminnan tarkastaminen laitepaikalla, epätavallisten äänien tai värinöiden tarkastelu laitteistossa tai prosessissa. Mahdollisessa vikatilanteessa ODR-mittaukset operoinnin toimesta ja/tai

konetarkastuksen mittaamana. Mittauksilla voidaan todeta mahdolliset vauriot pyörivissä laitteissa, mm. laakeri-, roottori- ja siipipyörävauriot. Öljyn, höyryn ja jäähdytysveden vuotojen, lämpötilojen ja paineiden tarkistus

Viikottaisiin tarkastuksiin kuuluu pikasulkuventtiilin sekä kierroslukusäätäjän toiminnan ja kunnan tarkistaminen. Tarkastuksella ennaltaehkäistään venttiilin ja kierroslukusäätäjän mahdollinen jumiutuminen, mitkä voivat aiheuttaa häiriötilanteen prosessissa.

Kuukausittain tulee suorittaa voiteluöljyn laatuanalyysi ja öljyn vaihto tarvittaessa kunnossapidon toimesta. Laakeripukit tarkistetaan mahdollisen kerääntyneen pohjasakan ja kondensioveden osalta ja pukeilla suoritetaan huuhtelu ja öljyn täyttö. Kierroslukusäätäjän ja pikasulkuventtiilin säätimien testaaminen kuuluu myös kuukausittaiseen tarkistukseen. Vikaantumista etsitään laitteistojen vivustoista löystymisen ja kulumisen kannalta. Vuosittaiset tarkastukset pitävät sisällään kierroslukusäätäjän öljynvaihdon, prosessin höyrysihdin ja -suodattimen puhdistuksen tai vaihdon sekä laakeripukkien, voiteluöljysäiliöiden ja jäähdytysveden tarkastuksen, puhdistuksen ja huuhtelun. (Coppus 2002.)

5.2 Huollon aikana suoritettavat toimenpiteet

Laitevalmistajat suosittelevat turbiinien ajoittaista ennakkohuoltoa, joka ajoitetaan riippuen laitteiston huoltomahdollisuuksista, käyttötunneista, kunnossapitohistoriasta sekä laitteen alasajon mahdollisuudesta. Näihin vaikuttavat muunmuassa vaadittavien varaosien saatavuus, käynnin aikaiset toimenpiteet sekä tuotantolaitoksen tilanne. Yleensä kaikista otollisin aika suorittaa ennalta suunniteltu huolto on tuotantolaitoksen huoltoseisakkien aikana, jolloin ei tarvitse ottaa huomioon mahdollisia prosessihäiriöitä. Kunnossapidolla on myös tällöin aikaa suorittaa laajemmat tarkastukset sekä ennakkohuolto laitteistolle.

Laajemmassa tarkastuksessa tulisi tarkastaa seuraavat asiat:

- Turbiinin siivistä etsitään mahdollisia halkeamia ja korroosion/erosion aiheuttamia kulumia. Korroosiosta/erosiosta johtuvat epätasaisuudet voidaan viilata tai hiomalla poistaa, mutta tämän jälkeen täytyy ottaa huomioon mahdollinen siipien tasapainotuksen heitto.
- Laakereiden pintojen tarkastus kuluman ja naarmujen osalta. Vaihto tarvittaessa, sekä löydösten perusteella voitelujärjestelmän tarkastus. Laakerointi on suositeltava vaihtaa kuitenkin joka kerta, kun suoritetaan laajempi huolto.
- Laakeripukkien labyrinttiivisteiden kulumat, puhtaus, painaumat ja muut jäljet. Puhdistus ja vaihto tarvittaessa.
- Akselitiivisteiden tarkastus, hiilirenkaiden kunto. Akselitiivisteiden vaihto on suositeltavaa vaihtaa joka kerta, kun suoritetaan laajempi huolto.
- Höyryn säätöventtiilin avaus, puhdistus ja herkistys. Tiivisteiden ja kuluneiden komponenttien vaihto.
- Pikasulkuventtiilin avaus, puhdistus ja herkistys, vaurioituneiden komponenttien vaihto. Pikasulkuventtiilin ennakkosäätö ennen turbiinin käynnistystä.
- Voitelujärjestelmän huolto, voiteluöljyn putkiston poisto ja puhdistus, öljynsuodattimien/suodatinelementtien vaihto, öljynjäähdyttimien puhdistus.

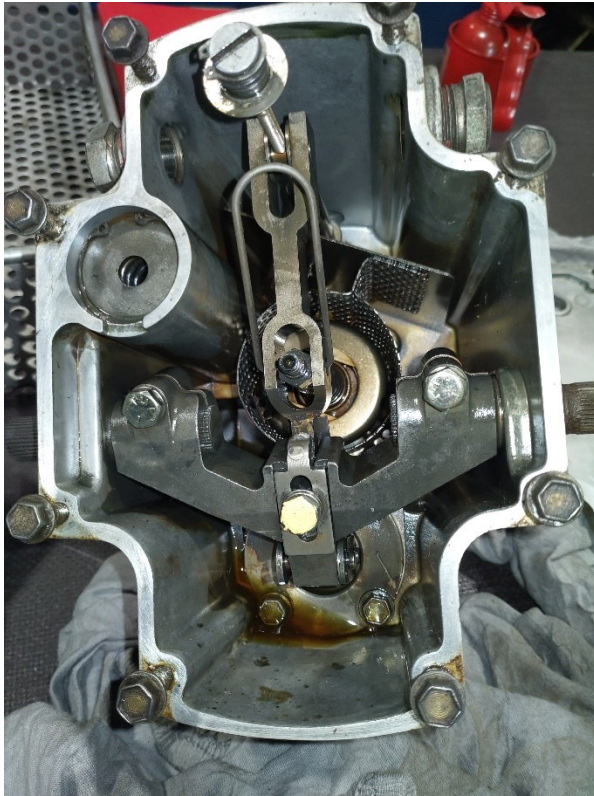
(Coppus 2002.)

6 Vikaantumiset ja niiden syyt

Tässä luvussa käsitellään Tuotantolinja 4:n höyryturbiinien vikaantumisia, vika-analyyssejä sekä korjaustoimenpiteitä vikaantumistilanteissa. Laitteistojen vika-historiaa on tarkasteltu Nesteen sisäisen kunnossapitotietojärjestelmän M+:n kunnossapitohistorian perusteella keskittyen konepuolen kunnossapitotoimintoihin. Kunnossapitohistorian perusteella vuosien 2008 ja 2022 välillä ajoittaisten suurempien huoltojen lisäksi kunnossapidon korjaustoimenpiteitä on jouduttu suorittamaan erityisesti pikasulkuventtiileille sekä kierroslukusäätäjille.

Kierrosluvun säätäjät ovat tarkasteltavana jaksona vikaantuneet kaikista useimmiten. Yleisimmät vikaantumisen syyt ovat olleet laitteen jumiutuminen. Useilla kerroilla korjaustoimenpiteeksi on riittänyt ainoastaan säätäjän purkaminen ja puhdistaminen. Suuremmissa vikaantumisissa on uusittu kierroslukusäätäjään akselin huulitiivisteet eli stefat, hiiligrafoilitiivisteet, säädetty säätimen liikerataa mekaanisesti tai uusittu koko kierroslukusäätäjä.

Kuvassa 16 on keltaisella värillä merkattu pultti, jonka avulla voidaan muuttaa säätäjän liikerataa. Väärässä asennossa ollessaan tämä aiheuttaa turbiinin kierroksien seilaamisen ja epätasaisen käynnin.



Kuva 16. Kierrosluvun säätäjä takakansi avattuna (Kettunen ja Mäkikyrö 2016)

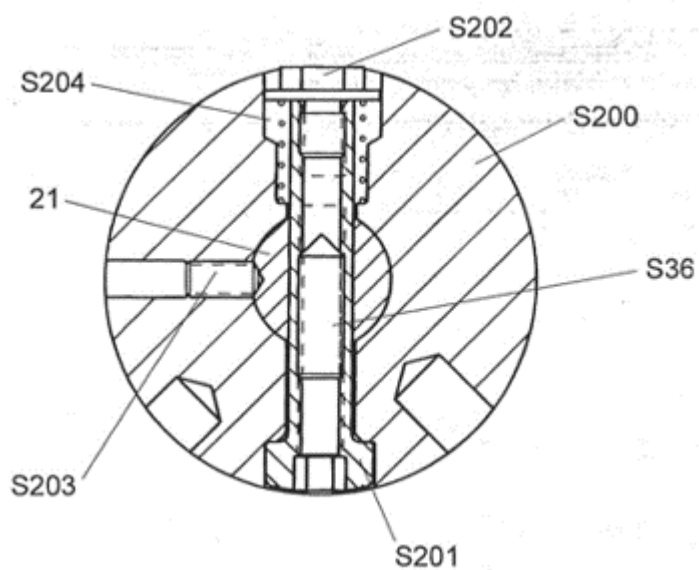
Pikasulkuventtiilien (kuva 17) vikaantumiset ovat lähes aina johtuneet niiden jumiutumisen. Usein myös vivustoissa olevat hiilipaketit ovat olleet viallisia ja vivusto on ollut jäykkä. Vikaantunut pikasulkuventtiili aiheuttaa häiriötilanteen, kun turbiinin käynnistyksessä turbiinin kierrokset ryntäävät, eli tapahtuu ns. turbiinin trippaus. Pikasulkuventtiilin tulisi sulkea höyryn ja estää täten turbiinia ryntäämästä. Pikasulkuventtiilit yleisesti ovat jousitoimisia eli sulkeutuminen tapahtuu jousivoiman avulla (kuvat 18 ja 19). Tietyissä tapauksissa kyseinen jousi on saattanut myös katketa, jolloin se on täytynyt vaihtaa uuteen.



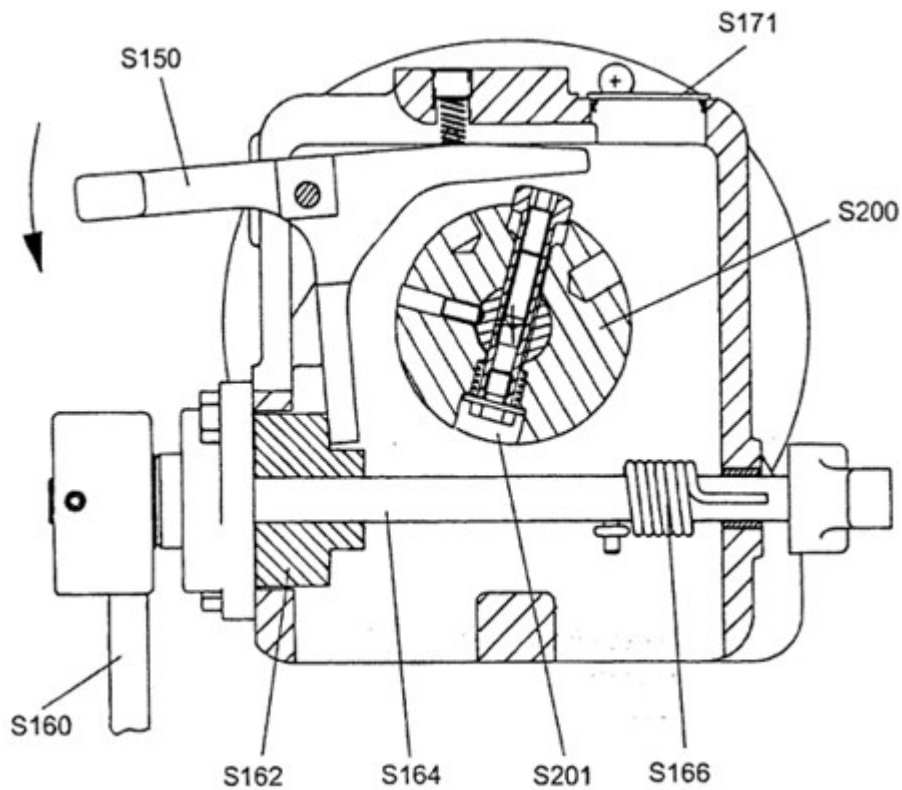
Kuva 17. Pikasulkuventtiili (Kettunen ja Mäkikyrö 2016)

Kuvassa 18 ja 19 on esitetty pikasulkuventtiilin ryntäyskatkaisun kauluskokoonpanon osakuva valmistajan huolto-ohjekirjasta. Ryntäyskatkaisijan avulla pikasulkuventtiili katkaisee höyryn syötön turbiinille häiriötilanteessa. Ryntäyskatkaisija sisältää seuraavat osat: ryntäyskatkaisijan kaulus (S200), pultin kantavarsi

(S201), jousipidätin (S202), säätöruuvi (S203), salpajousi (S204) ja katkaisijan säätöruuvi (S36).



Kuva 18. Pikasulkuventtiilin karan osakuva (Coppus 2002)



Kuva 19. Pikasulkuventtiili jännitettynä (Coppus 2002)

7 Käyttövarmuuden parantaminen

Tässä luvussa käsitellään höyryturbiinien käyttövarmuuden parantamista. Käyttövarmuutta voidaan parantaa nykytilanteesta kehittämällä käynninaikaisia sekä suuremman revision eli täyshuollon toimenpiteitä. Näiden lisäksi suunnitellaan laitteistolle uusia ennakkohuoltoja, jotta saataisiin minimoitua tulevaisuudessa ennalta arvaamattomat höyryturbiinien pysäytykset.

7.1 Käynninaikaiset tehtävät

Höyryturbiinit ovat varustettu sähköisellä öljypumpulla, jonka tehtävä on ylläpitää turbiinin voiteluöljyn kiertoa sekä painetta, kun turbiini ei ole käytössä tai jos turbiinin oma mekaaninen öljypumppu vikaantuu. Öljypumput ovat sähkömoottorivetoisia. Pumput ovat rakenteeltaan hammasratas- tai ruuvipumppuja, jotka ovat toimintavarmoja. Varmistukseksi sähköisen öljypumpun toiminnasta on tärkeää ajoittain kokeilla sähkömoottorin käynnistystä manuaalisesti ja samanaikaisesti suorittaa kunnonvalvontamittaus sähkömoottorille sekä öljypumpulle konetarkastajan toimesta. Sähkömoottorin laakeroinnille voi aiheutua makuuhaavoja, jos laite on kauan käyttämättömänä. Koekäytön yhteydessä olisi tärkeää myös tarkastaa sähkömoottorin rasvaus kunnossapidon toimesta. Laakerirasvan lisääminen täytyy suorittaa sähkömoottorin pyöriessä, joten koeajo olisi otollinen aika tälle toimenpiteelle. Sähköisen öljypumpun koeajon jälkeen sähkömoottorin käynnistyskytkin asetetaan takaisin automaattiasentoon, jotta sähkömoottori käynnistyisi häiriötilanteessa automaattisesti.

Päivittäin suoritettavien tarkistuskäyntien yhteydessä tarkastellaan operoinnin toimesta öljyn, höyryn ja jäähdytysveden vuotoja. Pieniä vuotoja on ajoittain haastavaa havaita paljain silmin, johon ratkaisuna on käyttää kannettavaa infrapunakameraa tarkastelun apuna. Infrapunakameran avulla löydettävien pienien vuotojen ajoissa löytäminen antaa aikaa reagoida tulevaan korjaustoimenpiteeseen. Tämä vähentää käyttökustannuksia sekä auttaa parantamaan muunmuassa höyryjärjestelmän hyötysuhdetta. Kuvassa 20 on havainnollistettu infrapunakameran potentiaalista käyttöä höyryvuotoa etsiessä. Kuvassa oleva venttiili pitäisi olla suljettu, mutta se päästää höyryä itsensä läpi.



Kuva 20. Infrapunakameralla kuvattu viallinen venttiili (Infrared Diagnostics Inc. 2018)

Huoltoon valmistautuminen

Huollon onnistumisessa on tärkeimpänä asiana käytettävien varaosien ja työkalujen saatavuus, laatu ja eheys. Varaosat ja niiden kunto tulisi tarkastaa jo kauan ennen suunniteltua huoltoa, sillä esimerkiksi kumiset tai kumisekselliset tiivisteet, stefat ja o-renkaat vanhentuvat varastossa seoksen muuttuessa kovaksi, jolloin tiivisteet eivät enää vastaa alkuperäisiä ominaisuuksiaan.

Tiivisteiden tarkastuksessa etsitään halkeamia ja käsin havainnoidaan kumin kimmoisuutta. Varastossa olevat tiivisteet tulee uusia 5 - 10 vuoden välein ja vanhentuneet osat on romutettava, jotta ne eivät mene vahingossakaan käyttöön. Varastosaldoilla tulee pitää aina jokaista niin sanottua kulutusosaa vähintään kaksin- tai kolminkertainen jokaista huoltoa kohden tarvittava määrä. Tällä menetelmällä voidaan minimoida riskit aikataulun suhteen huollon valmistumisesta, esimerkiksi jos osa tiivisteistä on vanhentuessaan huonolaatuisia tai asennuksessa tiiviste vaurioituu. Höyryturbiineilla edellä mainittuja niin sanottuja kulutusosia ovat muun muassa kaikki tiivisteet, stefat, laakerit ja labyrinttiivisteet.

Huollossa käytettävät laitekohtaiset erikoistyökalut tulee aina joka käytön jälkeen tarkastaa, huoltaa ja inventoida listalle mahdolliset puutteet. Tämän avulla voidaan tilata laitevalmistajalta korvaavat komponentit erikoistyökaluihin, jotta seuraavan huollon aikana ei tule odottamattomia ongelmia huollon suorittavuuden kanssa.

Huolto

Höyryturbiinin revisiossa erityistä tarkkailua vaativat kohteet ja toimenpiteet ovat lueteltuna tämän opinnäytetyön liitteessä 2. Höyryturbiinin huoltoja varten on kehitetty niin sanotusti vakiotöitä, jotka sisältävät yleispätevän ohjeen eri työvaiheista, mitkä on vaadittu huollossa suoritettavaksi. Vakiotyölistat ovat rakennettu Nesteen sisäiseen kunnossapitotietojärjestelmään (M+) ja ne ovat esitettynä liitteessä 3.

Huollon aikana noudatetaan ensisijaisesti laitevalmistajan huolto-ohjetta sekä laitevastaavan työsuunnittelijan tekemää työmääritelmaa. Huoltoa suunniteltaessa on tärkeää ottaa huomioon muiden ammattialojen työt liittyen höyryturbiinin huoltoon tai sen ympäröiviin/siihen liittyviin laitteisiin ja laitteistoihin. Käyttövarmuuden parantamisen ja laitteiston käyttöjakson pidentämiseksi on kunnossapidon eri osastojen sekä tuotannon tehtävä yhteistyötä jokaisen huoltopysäytyksen aikana, jotta saadaan suoritettua tehokkaasti kaikki toimenpiteitä vaativat työt.

7.2 Ennakkohuollot

Käyttövarmuuden parantamiseksi tulee rakentaa jokaiselle eri höyryturbiinille oma ennakkohuoltosuunnitelma yhteistyössä tuotantolinjan henkilöstön kanssa. Tähän asti höyryturbiinien huoltorevisiot ja niiden ajoitukset ovat ajoittuneet lähinnä suurseisakkeihin, joiden intervalli on ollut noin neljän vuoden välein. Kuitenkaan joka suurseisakissa ei ole suoritettu ennakkoivaa huoltoa jokaiselle höyryturbiinille, vaan näiden huoltoja on porrastettu eri pysäytyksien välillä. Höyryturbiinit ovat itsessään jo valmiiksi käyttövarmoja laitteita ja niiden

käyttövarmuutta ja elinkaarta pystytään seuraamaan vaivattomasti kunnonvalvontajärjestelmillä.

Tulevaisuutta ajatellen voidaan ennalta ehkäistä pienempiä vikaantumisia rakentamalla ennakkohuoltosuunnitelmia laitevalmistajien tarkastussuunnitelmien (liite 1) sekä käytännön kokemuksen perusteelta. Vikaantumishistorian perusteella on kannattavaa luoda ennakkohuoltosuunnitelma jokaisen höyryturbiinin pikasulkuventtiilin sekä kierroslukusäätäjän ajoittaisille huolloille, sillä nämä kaksi laitteistoa olivat selvästi vikaantuneet useita kertoja käytön aikana. Tämän opinnäytetyön pohjalta on rakennettu näille ennakkohuoltosuunnitelmat. Ennakkohuoltosuunnitelman rakenteeseen kuuluvat seuraavat asiat:

- Kierroslukusäätäjän sekä pikasulkuventtiilin irroitus, purku, putsaus, liikkuvien osien herkistely, vaurioituneiden osien ja tiivisteiden uusinta ja asennus.
- Voiteluöljyhuolto turbiinin laakeripukeille ja voiteluöljyjärjestelmälle. Laakeripukeille suoritetaan vesitys ja huuhtelu, voiteluöljyputkisto irroitetaan ja pestään sekä voiteluöljysäiliö pestään.
- Sähköisen öljypumpun sähkömoottorin koekäyttö, rasvaus ja kunnonvalvontamittaukset.

Ennakkohuollon tulee ajoittua 1 - 2 vuoden välein jokaisella höyryturbiinin laitteistokokoonpanolla. Työn suorittamiseen otollisin aika on loppukevään tai alkusyksyn aikana. Tänä ajankohtana eliminoidaan kylmän ilmaston aiheuttamat ongelmat höyry- ja öljyjärjestelmiä huollettaessa. Näitä ovat höyryn ja veden kondensoituminen, höyryturbiinin ja höyrylinjojen lämpöeristeiden tarpeellisuus sekä öljyn parempi juoksevuus lämpimällä säällä.

8 Tulokset

Huolto- ja vikaantumishistoriaa tarkastellessa kävi ilmi, että lähes jokainen höyryturbiinin ja sen laitteiston käynninaikainen häiriötilanne johtui pikasulkuventtiilin tai kierroslukusäätäjän vikaantumisesta. Jokaisen häiriötilanteen johdosta höyryturbiini täytyi pysäyttää, minkä jälkeen lähdettiin suorittamaan suunnittelematonta huoltoa. Keskiarvolta höyryturbiinit olivat pois käytöstä viiden päivän ajan, josta kaksi päivää koostui höyryturbiinin sammuttamisesta, työkuntoon saattamisesta sekä ylösajosta. Huoltotoimenpiteisiin kului keskimääräisesti kolme päivää.

Opinnäytetyön tuloksena suunniteltiin ja rakennettiin vuosittain suoritettavia uusia ennakkohuoltosuunnitelmia höyryturbiineille. Vuosittain suoritettavissa ennakkohuolloissa keskitytään pikasulkuventtiilin ja kierroslukusäätäjän huoltoihin. Näitä ei ole aiemmin suunniteltu huollettavaksi ennakoon, vaikka laitevalmistajat suosittavat ajoittaisia ennakkohuoltoja. Ennakkohuoltosuunnitelman yhteyteen lisättiin sähköisen apuöljypumpun sähkömoottorin rasvaus sekä sen kunnonvalvontamittaukset huoltojen yhteydessä. Tällä ennakkohuoltosuunnitelmalla parannetaan sekä varmennetaan höyryturbiinien käyttöjaksoa huolto-oseisakkien välillä. Ennakkohuoltosuunnitelmia noudattamalla minimoidaan riskit suunnittele mattomiin huoltoihin. Suunnitelmaa noudattamalla on myös selkeämpää arvioida huolto- ja käyttökustannuksia höyryturbiineilla. Ennakkohuoltosuunnitelmien käyttöönotto ajoitetaan alkamaan vaiheittain alkaen vuoden 2025 kevästä, sillä vuonna 2024 Porvoon jalostamolla tapahtuu suurseisakkihuolto.

Seuraavat jatkotoimenpiteet käyttövarmuuden parantamisessa on suunnitella jokaiselle höyryturbiinille omat tarkemmat, laitetyyppikohtaiset ennakkohuoltosuunnitelmat ja -ohjeet. Suunnitelman teossa tulee perehtyä syvemmin laiteyksilön vikaantumishistoriaan ja laitevalmistajan määrittelemiin huolto- ja korjaustoimenpiteisiin. Tästä seuraava askel on laajentaa tutkimusta muiden tuotantolinjojen höyryturbiineille.

9 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää huoltosuunnitelmia tuotantolinjan 4 höyryturbiineille parantamaan näiden käyttövarmuutta Neste Oyj:n Porvoon öljynjalostamolle sekä selvittää ennakkohuoltojen lähtötila ennen näiden kehittämistä. Työ alkoi nykytilanteen kartoituksella, jossa tarkasteltiin aluksi kunnossapidon sekä tuotantolaitoksen operoinnin toimenpiteitä. Tutkimusvaiheessa laitteistojen huoltohistoriaa tarkastellessa huomattiin, ettei höyryturbiineilla ole aiemmin rakennettu laitekohtaisia ennakkohuoltosuunnitelmia. Olemassa olevat ennakkohuoltosuunnitelmat olivat yleispäteviä ohjeita höyryturbiinien laajemmille huolloille, mutta itse laitekohtaiset suunnitelmat puuttuivat. Jokaisella laitteistolla tulee olla käytössä oma ennakkohuoltosuunnitelmansa, jossa noudatetaan pitkälti laitevalmistajan huolto-ohjeita. Lisäksi niissä otetaan huomioon operoinnin ja konetarkastuksen havaitsemat viat. Luomalla useampi suppea ennakkohuoltosuunnitelma taataan tulevaisuuden kannalta toimintavarmemmat höyryturbiinit sekä prosessit öljynjalostamolla. Ennakkohuoltojen suunnittelulla parannetaan kunnossapidon järjestelmällisyyttä, minkä ansiosta laitteiden käyttövarmuus paranee. Tuotantolaitoksen höyryturbiinien laitteistojen vikaantumiset saattavat tapahtua hyvinkin äkillisesti, jolloin odottamattomia ja suunnittelemattomia höyryturbiinin seisahduksia tapahtuu. Tämänkaltaiset tilanteet myös luovat kiirettä tuotantolaitoksen operaattoreille, sillä heidän täytyy pikimmiten korvata höyryturbiinivetoiset pumput niiden varalaitteistoilla. Vikaantumistilanteissa prosessihäiriön riski on suuri, millä voi olla suuri vaikutus koko jalostamon toimintaan.

Varsinainen kehitystyö aloitettiin tutustumalla höyryturbiineihin sekä niihin liittyviin laitteistoihin. Tutustuminen perustui laitevalmistajien käyttö- sekä huolto-ohjekirjojen läpikäymiseen, henkilöhaastatteluihin kunnossapidon eri henkilöiden kanssa sekä kenttäkäynteihin erilaisilla höyryturbiineilla. Ennakkohuoltosuunnitelmien rakentamisesta laitteistolle on kehitetty yhdessä laitevastaavan kone-työsuunnittelijan kanssa. Tulevaisuudessa on tarkoitus lähteä tarkastelemaan muiden tuotantolinjojen höyryturbiineita ja tutustua niiden käyttö- ja vikaantumishistoriaan. Opinnäytetyön pohjalta toteutetaan ennakkohuoltosuunnitelmat

kuudelle eri höyryturbiinille tuotantolinjan 4 alueella.

Lähteet

Infrared Diagnostics Inc. yhtiön verkkosivut. <<https://www.infrared-diagnostics-inc.com/infrared-steam-distribution>> luettu 28.1.2024.

Kauppinen, Jukka. 2018. Turbiinitekniikka. Tampere: Tammertekniikka

Kettunen, Mäkikyrö. Kunnossapidon näyttötyö. 2016. Nesteen sisäinen arkisto

Kunnossapito – menestystekijä. Verkkoaineisto. Opetushallitus.

<<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet.html>> luettu 25.10.2023.

Käyttövarmuuden hallinta. PDF-dokumentti. 2012. VTT Technology.

<<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2012/T69.pdf>> luettu 25.10.2023.

Muutosmatkamme, 2023 yhtiön verkkosivut. Neste Oyj.

<<https://www.neste.fi/konserni/tietoa-meista/strategia/muutosmatkamme>> luettu 24.10.2023.

Revision C. 2002. Coppus RLH Turbines. Yrityksen sisäinen arkisto. Neste Oyj

Siemens. 2017.verkkoaineisto. <<https://press.siemens.com/global/en/press-release/siemens-expands-open-cycle-power-plant-kuwait-steam-turbine>> luettu 13.1.2024.

Höyryturbiinin käytönaikaiset tarkastuskohteet (Coppus 2002.)

Frequency	Maintenance or Inspection Procedure
Daily	Check oil levels in bearing housings and governor. Add oil if required.
	Check for smoothness of operation, unusual noises, or other changes in operating conditions.
	Check bearing oil temperatures and pressures; check coupling temperature.
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>VAROITUS</p> <p>ÄLÄ yritä MITATA KYTKINLÄMPÖTILAA turbiinin ollessa KÄYNNISSÄ.</p> </div>
	Check overall appearance of turbine system for steam, oil, or coolant leaks, and for external damage.
Weekly	Test the overspeed trip system. Refer to Section E, <i>Overspeed Trip System</i> , for the test procedure. This exercise will not only confirm operation of the trip system, but will prevent sticking of the overspeed trip valve and linkage due to corrosion or steam deposits.
	Check throttle valve and linkage for freedom of movement.
Monthly	Sample the lubricating oil and replace it, if necessary.
	Check bearing housings for sludge, sediment, or water (condensate). Flush and refill, as required.
	Check that oil rings rotate freely and smoothly.
	Check throttle and overspeed trip linkage for looseness, wear, and freedom of movement.

Table J-1. Suggested Maintenance and Inspection Schedule

Frequency	Maintenance or Inspection Procedure
Yearly	Change oil in the Woodward TG governor.
	Remove and clean the steam strainer.
	Inspect internal components of the throttle valve for wear. Replace, if required. Replace valve stem seals.
	Clean and inspect the overspeed trip valve. Replace worn parts. Replace valve stem seals.
	Thoroughly inspect the throttle linkage and overspeed trip linkage for wear. Replace as required.
	Inspect, clean, and flush bearing housings, oil reservoirs, and cooling water chambers.
	Inspect carbon ring gland seals. Replace as required.
	Check operation of the Sentinel warning valve.
	Check alignment and foundation.
	Check calibration of all instrumentation.

Table J-1. Suggested Maintenance and Inspection Schedule (Cont'd)

Laajemmassa revisiossa suoritettavat huolto- ja tarkastustoimenpiteet

(Coppus 2002.)

Parts to be Inspected	Area to Be Examined	Inspect for	Action Required
Throttle valve (Cont'd)	Cup and cage	Cutting, scaling	Replace valve or cage, as required.
	Seal sleeves	Wear, excessive clearance, steam leakage	Replace
	Steam strainer	Cracks, dents, or obstructions	Remove obstructions and dents. Replace if cracked or broken. Determine cause of damage and correct.
Governor linkage	Connecting rod ends, linkage pins, bushings	Wear, excessive clearance/play, corrosion	Replace worn components. Clean with solvent and polish, if necessary
Overspeed trip valve	Clapper shaft	Scale and boiler compound, dirt	Remove with solvent and/or crocus cloth
	Clapper shaft carbon seals	Wear, excessive clearance, steam leakage	Replace
	Valve seat	Wear, cutting, cracks	Replace
	Pilot valve	Wear	Replace
Overspeed trip system	Trip collar assembly	Binding, scale, corrosion, wear	Disassemble and clean; inspect for wear; replace as an assembly.
	Linkage, connecting rod ends, bushings, pins, reset handle	Foreign material, wear, corrosion, freedom of movement	Clean and inspect. Replace worn and defective parts. Adjust and confirm correct operation before returning turbine to service.
Handvalves	Stem and packing	Corrosion, foreign material, wear	Replace packing; remove foreign material from stem; replace stem if pitted or worn.

Table J-2. Inspection Checklist (Cont'd)

Pressure lube system (when used)	Piping reservoir	Fouling, scale, rust, and water	Clean thoroughly to remove. Filter oil to remove dirt. Drain oil, remove access covers to clean out any accumulated scale and refill with new oil.
	Oil filter(s)	Increased pressure drop	Replace filter element
	Oil cooler(s)	Fouling and corrosion on both oil and water side	Clean according to manufacturer's instructions

Table J-2. Inspection Checklist (Cont'd)

M+ järjestelmässä rakennettu vakiotyö höyryturbiinin huollolle

Vaihe	Kuvaus
10	Telinetyöt
20	Eristetyöt
30	Sokeointi
40	Sähkötyöt
50	Instrumenttityöt
60	Öllytyöt
70	Työlupa #1
80	Turbiinin ulkoinen pesu
90	Kytkimen avaus
100	Laakeripukkien avaus
110	Linjauksen tarkastus
120	Putkistojen purku
130	Laakerien purku
140	Laakereiden välysten mittaus
150	Öllytiivisteiden purku ja väysmittaus
160	Jakotasoruuvien avaus
170	Pikasulkuventtiilin irrotus
180	Pikasulkuventtiilin huolto
190	Säätöventtiilin irrotus
200	Säätöventtiilin huolto
210	Yläpesän irrotus
220	Sisäpesien yläosien irrotus
230	Välysmittaukset
240	Roottorin nosto
250	Kytännävän irrotus ja asennus vararoottoriin
260	Sisäpesien ja alselitiivisteiden alaosien irrotus #2
270	Osien puhdistukset
280	Lasikuulapuhallukset

290	NDT-tarkastukset
300	Mittaustarkastukset #3
310	Sisäpesien alaosien asennukset
320	Roottorin asennus
330	Vällysmittaukset
340	Sisäpesien yläosien asennus
350	Ulkopesän asennus ja jakotasoruuvien kiristys
360	Laakereiden asennus ja vällysten mittaus
370	Säätöventtiilin asennus
380	Säätöventtiilin toimilaitteen asennus
390	Pikasulkuventtiilin asennus
400	Putkistojen kiinnitys
410	Öljytiivisteiden asennus ja vällysten mittaus
420	Linjaus
430	Kytkimen asennus
440	Laakeripukkien asennus
450	Instrumenttityöt
460	Öljytäyttö #4
470	Sähkötyöt
480	Eristetyöt
490	Sokeoinnin poisto
500	Säätöventtiilin koeajo
510	Ylikierrostesti
520	Koekäyttö
530	Luovutus #5