

Optimering av förebyggande underhåll och panninspektioner vid en WtE-anläggning

Hannes Stubb

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)

Maskin- och produktionsteknik

Vasa 2022

EXAMENSARBETE

Författare: Hannes Stubb

Utbildning och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa

Inriktning: Maskinkonstruktion

Handledare: Tobias Ekfors (Yrkeshögskolan Novia), Rauno Tuokkola (Westenergy Oy)

Titel: Optimering av förebyggande underhåll och panninspektioner vid en WtE-anläggning

Datum: 29.4.2022 Sidantal: 51

Bilagor: 3

Abstrakt

Vid en WtE-anläggning (Waste-to-Energy) kan energi från avfall tas tillvara genom kontrollerad förbränning i en avfallspanna. Från processen erhålls förutom elenergi och fjärrvärme också aska som kan användas till jordbyggnad och betongprodukter. De miljökadliga utsläppen från anläggningen är marginella tack vare modern rökgasreningsteknik.

Detta examensarbete behandlar uppdatering av förebyggande underhållsuppgifter och optimering av årliga konditionsgranskningar för en rosterpanna vid ett avfallsförbränningskraftverk. Arbetet har utförts på uppdrag av Westenergy Oy, ett cirkuläreconomiskt icke-vinstdrivande företag som upprätthåller ett kraftvärmeverk i Kevlax, Korsholm.

Syftet med arbetet var att identifiera bristfälliga automatiskt genererande arbetsuppgifter i det datoriserade underhållssystemet och uppdatera dessa till att motsvara den nuvarande driften av kraftverket. Till uppgiften hörde dessutom att definiera lämpliga materialprovningmetoder och upprätta en granskningsplan för pannan vid kraftverket.

I arbetet har en intern studie om anläggningens reparations- och granskningshistorik utförts där mätprotokoll från panninspektionerna har sammanställts och analyserats. En empirisk studie som innehållit intervjuer vid två andra liknande företag har utförts för att jämföra underhållsmässiga tillvägagångssätt och kartlägga förekomsten av skademekanismer samt slitage i olika delar av kraftverket, med fokus på pannan.

Resultatet utformas av uppdaterade och logiska förebyggande underhållsuppgifter samt en femårig preliminär granskningsplan för pannan. Arbetet har också bidragit till framställandet av uppföljningsverktyg för väggstjocklekar av pannans konvektionstuber för att effektivisera uppföljningen och analysen av mätresultat.

Språk: svenska

Nyckelord: energiåtervinning, kraftvärmeverk, rosterpanna, förebyggande underhåll, panninspektion

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Hannes Stubb

Koulutus ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Konesuunnittelu

Ohjaajat: Tobias Ekfors (Yrkeshögskolan Novia), Rauno Tuokkola (Westenergy Oy)

Nimike: Ehkäisevän kunnossapidon ja kattilatarkastuksien optimointi WtE-laitoksella

Päivämäärä: 29.4.2022 Sivumäärä: 51

Liitteet: 3

Tiivistelmä

WtE-laitoksella (Waste-to-Energy) pystytään ottamaan talteen jätteen energiasisältö jätekattilassa hallitun polton avulla. Jätteenpoltosta syntyy sähkön ja kaukolämmön lisäksi tuhkaa, jota voidaan käyttää maanrakennuksessa ja betonituotteiden valmistuksessa. Laitoksen ympäristöhaitalliset päästöt on saatu mitättömiksi modernin savukaasupuhdistustekniikan avulla.

Opinnäytetyö käsittelee ehkäisevän kunnossapidon huoltotehtävien päivittämistä sekä arinakattilan tarkastuksien optimointia jätteenpolttolaitoksella. Työn toimeksiantajana toimii Westenergy Oy, kiertotaloutta edistävä voittoa tavoittelematon yhtiö, joka ylläpitää lämpövoimalaitosta Koivulahdessa, Mustasaarella.

Työn tarkoitus oli tunnistaa puutteellisia automattisesti generoituvia ehkäisevän kunnossapidon työtehtäviä kunnossapitojärjestelmästä ja päivittää nämä vastatakseen voimalaitoksen nykyistä käyttöä. Työhön kuului myös sopivien aineenkoetusmenetelmien määrittely kattilatarkastuksia varten ja voimalaitoksen kattilan painerungon tarkastussuunnitelman laatiminen.

Työssä tehtiin sisäinen tutkimus koskien laitoksen huolto- ja tarkastushistoriaa samalla keräten ja analysoiden kattilan tarkastuksista syntyneitä mittauspöytäkirjoja. Työssä on myös haastateltu kunnossapidon vastuuhenkilöitä kahdelta muilta samankaltaisilta laitoksilta, joiden kunnossapitokäytäntöjä, vikaantumishistoriaa ja laitoksien erimuotoista kulumaa on vertailtu keskenään.

Tulos koostuu päivitetystä ja loogisista ehkäisevistä kunnossapitotyötehtävistä sekä viisivuotisesta alustavasta kattilan tarkastussuunnitelmasta. Työn tuloksena on myös syntynyt kattilaputkien seinämäpaksuuksien seuranta työkaluja tehostakseen seuranta ja analysointia.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: energiahyödyntäminen, lämpövoimalaitos, arinakattila, ehkäisevä kunnossapito, kattilatarkastus

BACHELOR'S THESIS

Author: Hannes Stubb

Degree Programme: Mechanical and production engineering, Vaasa

Specialisation: Machine Design

Supervisors: Tobias Ekfors (Novia), Rauno Tuokkola (Westenergy Oy)

Title: Optimization of Preventive Maintenance and Boiler Inspections on a WtE-plant

Date: 29.04.2022 Number of pages: 51

Appendices: 3

Abstract

In a WtE-facility (Waste-to-Energy) it is possible to recover energy from municipal solid waste by controlled incineration in a grate-fired boiler. The process creates electricity and district heating as well as ashes which can be used for earthworks and to create concrete products. The emissions from the plant are minimized by using modern flue gas treatment technology.

This thesis is covering the process of updating preventive maintenance work tasks and optimizing yearly inspections for a grate fired steam boiler in a WtE-facility. The work has been executed on behalf of Westenergy Oy, a circular economy-promoting non-profitable company maintaining a CHP plant in Koivulahti, Mustasaari.

The purpose of this work was to identify insufficient automatically generating maintenance work tasks in the computerized maintenance management system and to update these to match the current operation of the plant. The work also included defining appropriate material testing techniques and creating an inspection plan for the steam boiler at the power plant.

The work has consisted of internal studies of maintenance and inspection history and compiling measurement protocols to analyze the results. An empirical study covering interviews of corporate people has been conducted on two other similar companies to compare the several types of degradation mechanisms, particularly in the boiler, and occurrence of wear in various parts of the plant.

The work has resulted in updated and logical preventive maintenance work tasks as well as a five-year boiler inspection plan. The process also led to producing of follow-up tools for wall thickness measurements of boiler tubes to enhance the effectiveness of follow-up work and analyzing the measurement results.

Language: Swedish

Key words: waste-to-energy, CHP plant, grate firing, preventive maintenance, boiler inspection

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	2
1.2	Problemformulering.....	2
1.3	Syfte.....	3
1.4	Avgränsning.....	3
1.5	Företagsbeskrivning.....	3
1.6	Disposition	4
2	Anläggningsbeskrivning	5
3	Underhållsteori.....	9
3.1	Förebyggande underhåll.....	11
3.1.1	Mätmetoder vid pannanläggningar	12
3.1.2	Oförstörande materialprovning	13
3.1.3	Smörjning som del av underhållet	14
3.2	Avhjälpande underhåll	15
3.3	Förbättringsarbete	16
3.4	Informationshantering med CMMS.....	18
3.5	COMOS MRO – Pegasus.....	19
4	Tryckbärande anordningar.....	21
4.1	Besiktningar och övervakning	21
4.2	Pannvatten	24
4.3	Pannans skademekanismer och -ställen	25
5	Metodik	28
6	Analys av kraftverksunderhåll	29
6.1	Intern studie.....	29
6.1.1	Underhållsuppgifter och servicehistorik.....	29
6.1.2	Pannans granskningar.....	32
6.2	Extern studie	35
6.2.1	Företag A	35
6.2.2	Företag B	37
7	Resultat.....	38
7.1	Redigering av förebyggande underhållsuppgifter	38
7.2	Framställning av uppföljningsverktyg	39
7.2.1	Roster	40
7.2.2	Panna.....	41
7.3	Granskningsplan för panna	44

7.4	Utveckling och fortsatt forskning.....	47
8	Diskussion och sammanfattning.....	48
9	Källförteckning.....	50

1 Inledning

Förbränning av kommunalt avfall i ett kraftvärmeverk skiljer sig på många sätt från förbränning av andra fasta bränslen i en rosterpanna vilket helt och hållet beror på bränslets natur. Kvaliteten på det brännbara kommunala avfallet har stora variationer i komposition och fukthalt vilket gör att förbränningen kan bli ojämn. Detta leder samtidigt också till att belastningen på kraftverkets olika delar kan variera och förutsägbarheten minskar. Med hjälp av ett specialutformat förbränningsregleringssystem justeras förbränningen till att bli så stabil som möjligt. Jämfört med exempelvis biobränslen så uppstår vid förbränning av avfall en större mängd botten- och flygaska, som dessutom kan innehålla höga halter av giftiga tungmetaller och organiska föreningar. Detta sätter krav på olika typer av kringutrustning som textilfilter och rökgasskrubber för uppsamling och hantering av luftburna föroreningar. Den korrosiva miljön kräver också att rätta typer av material används i pannan och askhanteringen. (Breeze, 2005).

Mängden utrustning och kraftverkets funktionskrav sätter också högre krav på underhållet. All tilläggsutrustning bör vara integrerat och uppdaterat i underhållsplanen för att kraftverket ska kunna producera energi så säkert, effektivt och rent som möjligt.

Detta examensarbete fokuserar på att identifiera samt uppdatera nuvarande förebyggande underhållsåtgärder och granskningar vid ett avfallsförbränningskraftverk. Underhållsåtgärderna som samlats i det datoriserade underhållssystemet kommer att ses över och korrigeras vid behov. Pannans årliga kontroller och de olika typerna av oförstörande materialprovningmetoder som används kommer att sammanfattas för att enkelt kunna hålla koll på vad som är aktuellt för ett visst år. I arbetet framhävs också vilka olika typer av komplikationer som kan uppkomma vid ett tio år gammalt avfallsförbränningskraftverk och jämförelser med liknande anläggningar utförs. Dokumentation och eventuella förändringar som görs i arbetet har som uppgift att främja säkerheten på kraftverket samt underlätta och effektivera underhållsarbetet.

1.1 Bakgrund

Kraftvärmeverket som upprättas av Westenergy Oy har i skrivande stund verkat i tio år. Kraftverket körs dygnet runt och vissa underhållsuppgifter och granskningar kan endast utföras då kraftverket är nerkört.

Servicestopp görs regelbundet, oftast en gång per år, för att dessa underhållsuppgifter och granskningar ska gå att utföra. I vissa fall kan kraftverket kräva ytterligare stopp utöver de planerade. Dessa tvingade stopp orsakas ofta av allvarliga problem eller fel i de mest kritiska delarna av anläggningen, främst i pannans trycksatta krets. Ett allvarligt problem kan exempelvis vara läckage i pannans trycksatta konvektionstuber eller fastsintring av rostern. Övriga driftstopp minskar på tillgängligheten och är inte önskvärda, å andra sidan tillåter det utförande av mindre brådskande reparationsarbeten som registrerats i underhållssystemet.

Det nuvarande underhållssystemet började användas i samband med att anläggningen blev färdig och testkördes för första gången 2012. Efter starten har kringutrustning både bytts ut och lagts till för att erhålla en renare och mer driftsäker process. Uppgifter om underhåll och arbetsmetoder som erhållits från utrustningsleverantörerna har blivit inmatade som arbeten i anläggningens datoriserade underhållssystem.

1.2 Problemformulering

Vissa av underhållsuppgifterna som är inmatade i underhållssystemet har redan setts över och korrigerats men det har konstaterats att en stor del av uppgifterna inte är framlagda i underhållsprogrammet på ett tidsenligt och överskådligt sätt som skulle passa den nuvarande driften av kraftverket. I nuläget kan underhåll utföras antingen i onödan eller i en ordning som inte främjar ett effektivt arbete och dessutom är en del av arbetsuppgifterna diffust beskrivna och presenterade, vilket ökar på underhållsrelaterade utgifter och belastar underhållspersonalen i onödan. Besiktningarna av pannan utförs för tillfället enligt myndighetskrav och lagstiftning men de årliga panninspektionerna är inte effektivt samlade, utan baserar sig på ansvarspersoners kunskap och enskilda dokument. Kraftverkets åldrande och kunskapsutvecklingen borde därmed tas alltmer i beaktande inom underhållet för att bibehålla funktionssäkerheten och det effektiva arbetet.

1.3 Syfte

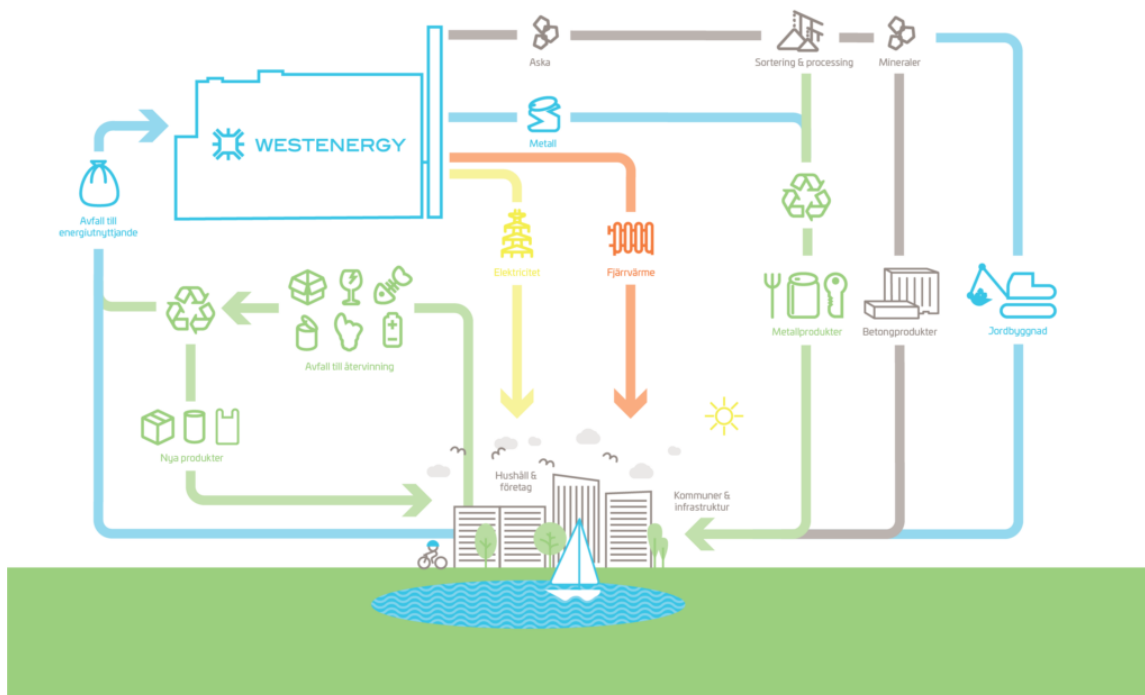
Arbetets syfte är att optimera de förebyggande underhållsuppgifterna med tillhörande information så att de kan skötas på ett ekonomiskt och tidseffektivt sätt samt att öka användbarheten av det datoriserade underhållssystemet genom organisering och rensning. Målet är att de viktigaste förebyggande underhållsuppgifterna i det datoriserade underhållssystemet ska bli överskådliga och tidsenliga och inga så kallade onödiga arbeten ska visas eller utföras. Till arbetet hör också att granska och samla pannans årliga inspektioner samt göra upp en granskningsplan. Målet är att pannans granskningar ska kunna hittas i ett enda dokument som samtidigt ska kunna stå som grund för beslutstagande och utveckling.

1.4 Avgränsning

Arbetet avgränsas till att endast omfatta den mekaniska utrustningen som levererats av pannans tillverkare Hitachi Zosen Inova AG samt att identifiera, sammanställa och optimera pannkroppens årliga kontroller. Eventuella uppdateringar av underhållsmetoder eller -intervall görs endast åt förutbestämd huvudutrustning.

1.5 Företagsbeskrivning

Westenergy Oy, grundat 2007, är ett icke-vinstdrivande företag inom avfalls- och energisektorn som ägs av totalt sex kommunala avfallsbolag. Dessa bolag är Ab Stormossen Oy, Lakeuden Etappi Oy, Oy Botniasrosk Ab, Loimi-Hämeen jätehuolto Oy, Vestia Oy och Millespakka Oy. Den kommersiella produktionen påbörjades 2013. Verksamheten följer den cirkuläreconomiska modellen där målet är att inget avfall ska uppstå i processen. Företaget tar årligen emot cirka 190 000 ton brännbart avfall från verksamhetsområdets 62 kommuner och förbränner det i sitt kraftvärmeverk i Kevlax, Korsholm. Anläggningens funktion kommer att presenteras närmare i anläggningsbeskrivningen i kapitel 2. Kraftverket klarar av att försörja 50 % av Vasa Elektriskas fjärrvärmebehov. Anläggningens rosterpanna har en nuvarande registrerad bränsleeffekt på 70 MW varav upp till 55 MW kan användas som fjärrvärme och 15 MW till elproduktion med hjälp av en ångturbin. Askan som uppstår vid förbränningen tas tillvara och efterbehandlas och kan senare användas som jordbyggnadsmaterial eller som råvara åt betongprodukter. Större metallföremål separeras från bottenaskan och återvinns. (Westenergy, 2020).



Figur 1. Westenergy Oy som del av den cirkulära ekonomin. (Westenergy, u.d.b).

1.6 Disposition

Detta underkapitel redogör för examensarbetets uppbyggnad och ger korta beskrivningar på kapitelspecifikt innehåll för att läsaren ska få en allmän uppfattning om strukturen.

- Kapitel 1 inleder examensarbetet med att presentera arbetets bakgrund, problemformulering, syfte, mål, avgränsning och en företagsbeskrivning.
- Kapitel 2 består av en anläggningsbeskrivning som teoretiskt introducerar läsaren till kraftverkets viktigaste processteg och energiåtervinningen ur avfallet.
- Kapitel 3 redogör för väsentlig underhållsteori innehållandes presentation av de tre viktigaste underhållstyperna och om det datoriserade underhållssystemet, underhållssystemet Pegasus samt olika typer av oförstörande materialprovning.
- Kapitel 4 redogör för bestämmelser angående tryckbärande anordningar samt registrering, besiktning och övervakning av ångpannor. Dessutom presenteras

teori och riktlinjer angående pannvatten och de olika typer av skademekanismer som en ångpanna utsätts för.

- Kapitel 5 presenterar vilken typ av metodik som använts i arbetet.
- Kapitel 6 presenterar analyseringsprocessen som utförts för att uppnå resultatet. Kapitlet innehåller interna studier om kraftverksunderhåll vid företagets anläggning och externa studier vid två liknande anläggningar.
- Kapitel 7 presenterar arbetets resultat bestående av uppdaterade förebyggande underhållsuppgifter, uppföljningsverktyg och en preliminär granskningsplan för pannan samt förslag till utveckling och fortsatt forskning.
- Kapitel 8 sammanfattar arbetet och reflekterar över resultatet.

2 Anläggningsbeskrivning

Detta kapitel fungerar som anläggningsbeskrivning och redogör för kraftverkets funktion med fokus på de delar som påverkar underhållet i allra högsta grad. I kapitlet kommer anläggningsspecifika processteg att beskrivas för att ge läsaren en inblick i energiåtervinningen och hur avfallets väg från sopbilen till skorstenens avgaser ser ut. Beskrivningen fokuserar också på att klargöra de typer av tekniska lösningar som processen kräver, för att i examensarbetet framhäva vikten av underhållet. I processen erhålls förutom värme och elenergi också många restprodukter som kräver efterbehandling av specialiserade företag. Processen kan grovt delas in i åtta olika steg enligt illustrationen i figur 2.



Figur 2. Anläggningen i genomskärning med numrering av processteg. (Westenergy, u.d.a).

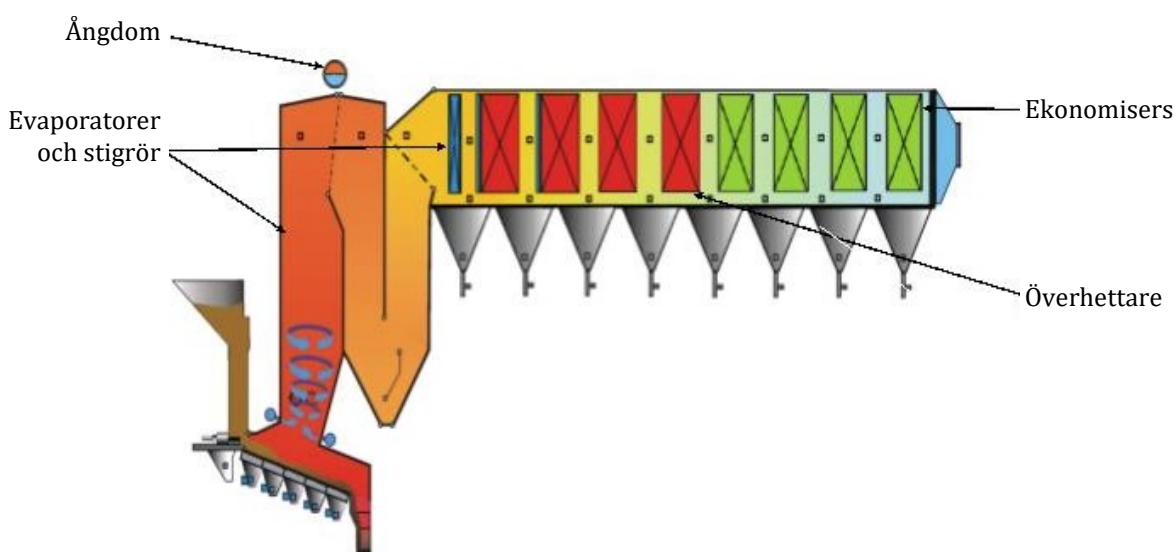
Till anläggningen anländer cirka 50 sopbilslaster per dag. Sopbilar och långtradare lastade med brännbart avfall anländer till mottagningshallen (1) som är utrustad med lyftdörrar och bommar. Mottagningshallen har fem körfiler för bakåttippande fordon och en körfil för sidotippande fordon. För att förhindra kontaminerad och illaluktande luft från att spridas ut i omgivningen har mottagningshallen tillsammans med avfallsbunkern ett undertryck skapat av pannans primärluftfläkt.

Mottaget avfall lagras i en 14 m djup avfallsbunker (2) som rymmer bränsle för 1 – 2 veckor beroende på förbränningseffekten. Avfallet blandas om automatiskt i bunkern med en gripklo för att erhålla jämn kvalitet på bränslet. Gripklon transporterar avfall regelbundet till matartratten och magasinet ovanför rostern. Till förfogande finns också en avfallskross som finfördelar större brännbara objekt.

Avfallet matas in på rostern (3) från magasinet med hjälp av hydrauliska inmatare och förbränns på den 80 m² stora förbränningsbädden. Om förbränningstemperaturen uppe i eldstaden sjunker under 850 °C till följd av dåligt värmevärde på bränslet startas hjälpbrännare. Bränslet genomgår de tre faserna torkning, pyrolys och förbränning i eldstaden före energin frigörs. Det fasta brinnande bränslet förflyttas stegvis neråt längs den sluttande rostern med hjälp av hydrauliskt styrda block i fem olika zoner. Den uppvärmda primärluften som förbränningen kräver, sugas in från avfallsbunkern och tillförs

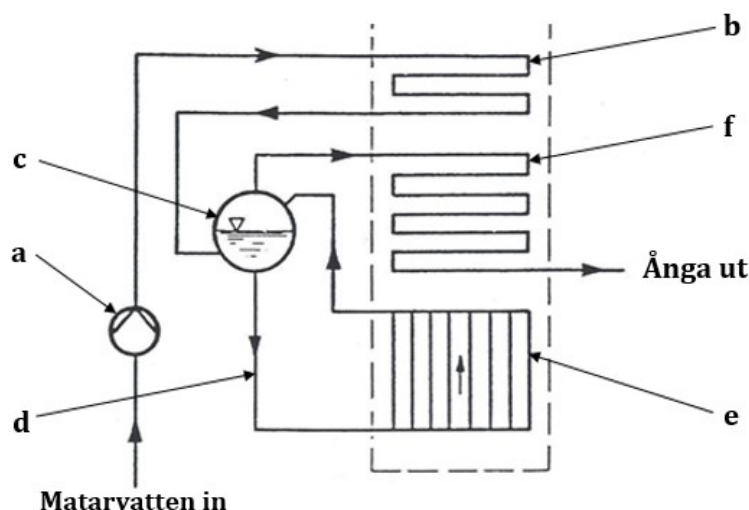
via öppningar i rosterblocken. Sekundärluft tillförs från pannrummet till eldstaden med en skild fläktenhet för att erhålla korrekt stökiometri och en så fullständig förbränning som möjligt. I eldstaden påbörjas rökgasreningen där ammoniaklösning tillsätts på olika nivåer för att avlägsna miljöskadliga kväveoxider. (Hitachi Zosen Inova AG, 2012).

Värmen som frigörs vid förbränningen tas stegvis upp av vattnet i pannrören i pannans (4) fyra drag, som består av tre vertikala och ett horisontellt drag. De tre första dragen omges av stigrören som förångar vattnet medan fjärde draget dessutom består av olika tubpaket som förvärmer vattnet och överhettar ångan. Uppsättningen av konvektionsytorna kan studeras närmare i figur 3.



Figur 3. Pannan och konvektionsytornas uppställning. (Hitachi Zosen Inova AG, 2012).

I figur 4 illustreras hur matarvattenpumpen (a) först pumpar vattnet från matarvattentanken via ekonomisers (b), som förvärmer vattnet till ångdomen (c). Vattnet förångas delvist i evaporatorerna men styrs också via fallrör (d) till stigrören (e) som omger pannväggarna, där majoriteten av vattnet förångas i kretsens naturliga cirkulation. Ångan samlas i ångdomen och överhettas slutligen till en temperatur på 400 °C och ett tryck på 40 bar med hjälp av överhettare (f) före den styrs till ångturbinen. Flygaskan som fastnar på tubpaketen i det horisontella draget lösgörs regelbundet från konvektionsytorna med hjälp av pneumatiska slagverk. Askkan faller ner i koner och samlas sedan upp av två kedjetransportörer före den pneumatiskt styrs vidare till en förvaringssilo. (Hitachi Zosen Inova AG, 2012).



Figur 4. Pannans funktionsprincip. (Hitachi Zosen Inova AG, 2012).

Anläggningen har en flerstegs rökgasrening (5) som avlägsnar miljö- och hälsofarliga föroreningar. Efter att flygaskan filtrerats bort styrs rökgasen in i ett kyltorn där temperaturen sänks genom att fukthalten ökas. I en reaktor kallad LAB-loop i anslutning till kyltornet tillsätts kalk och aktivt kol i rökgasen för att binda föroreningar och tungmetaller. Textilfilter ser till att det förorenade dammet, APC-resterna (Air Pollution Control Residue), filtreras bort. APC-resterna samlas upp av skruvtransportörer under filtren och lagras i en silo. Det sista steget i rökgasreningen är att med hjälp av en skrubber avlägsna de små mängder sura föroreningar som finns kvar i rökgasen samt att ta tillvara resterande värme. Rökgasens komposition mäts ännu före den släpps ut i luften så att den underskrider miljö- och myndighetskrav. (Westenergy, 2020, s. 5).

Energien i den överhettade ångan från pannan överförs i turbinen (6) till turbinaxeln som rotationsenergi. En växellåda sänker varvtalet så att generatorn kan omvandla rörelsen till elenergi med rätt frekvens. Turbinen ägs av Vasa Elektriska och år 2020 producerade den 89 GWh elenergi (Westenergy, 2020, s. 6).

I fjärrvärmecentralen (7) överförs den resterande energin i ångan till fjärrvärmenätet via två värmeväxlare. Det kalla fjärrvärmevattnet värms upp till 65 – 115 °C beroende på vädret och pumpas tillbaka ut i fjärrvärmenätet. År 2020 producerades 402 GWh fjärrvärme vid kraftverket (Westenergy, 2020, s. 6).

I slagguppsamlingen (8) samlas bottenaskan och allt det obrännbara materialet. Slagget kyls ner med vatten före ett vibrerande transportband separerar på det hopklumpade

slagget. Större metallföremål går till återvinning medan resten av slagget lastas i containrar med hjälp av ett transportband. En automatiserad kran byter ut fulla containrar så att slagget kan transporteras till efterbehandlingsprocessen som sköts av ett externt företag. (Westenergy, 2020).

3 Underhållsteori

Underhållet har en lång historia som omfattar generationsbyten och nytänkande. Den ursprungliga uppfattningen om underhåll har varit att reparera söndriga maskiner och underhållet har haft inslag av förebyggande åtgärder i form av rengöring och smörjning. En stor utveckling av maskiners pålitlighet och effektivitet tog fart på 1970-talet till följd av globalisering och höjda produktionskrav. Maskiner blev mekaniskt mer komplicerade och automationsgraden ökade. Underhållsvänligheten började i detta skede också tas mer i beaktande redan i konstruktionsskedet. Från och med 1990-talet har det nutida moderna underhållet formats i och med att sensortekniken och datahanteringen utvecklats i snabb takt. Maskiner och deras funktioner kan övervakas, mätas och styras på distans vilket betyder att avvikelser i en maskins funktionen kan fångas upp snabbare och fel kan åtgärdas före haverier sker. (Järviö, Piispa, Parantainen, & Åström, 2007).

Definitionen av underhåll lyder på finska enligt europeisk standard: *”Kaikki koneen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa koneen toimintakyky sellaiseksi, että kone pystyy suorittamaan halutun toiminnon.”* (SFS-EN 13306:2017).

För att uttrycka standarden på ett mer tillämpbart sätt så har Moubray (enligt Järviö 2007, s.15) definierat målen av underhållet på mer greppbart sätt. Definitionen lyder ungefärligt översatt på följande vis:

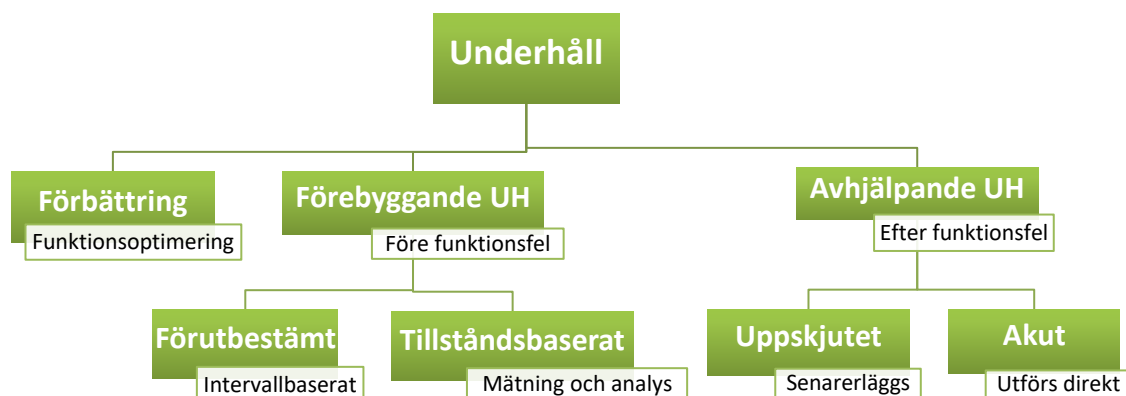
”Målet med att upprätthålla ett produktionsmedels funktion under hela dess livslängd är:

- *att försäkra sig om att ägare, användare och samhället tillfredsställs*
- *att välja lämpliga underhållsmetoder, med vilka man kan styra produktionsmedlets uppkomna fel eller felens konsekvenser*
- *att erhålla ett aktiv stöd och engagemang i underhållsverksamheten av alla som är inblandade i underhållet.”*

Genom att skapa en förståelse för vad underhåll i grund och botten handlar om är det lättare att också tillämpa det på den egna arbetsplatsen eller anläggningen. Som Moubray poängterar, krävs ett aktivt deltagande av både administrativa och arbetande parter för att underhållet ska fungera. Valen av praktiskt lämpliga underhållsmetoder styrs enligt industri, även om underhålls-begreppet kan tillämpas inom alla branscher.

Ofta står underhållets höga kostnader i fokus och ses som en negativ sak medan uppmärksamheten i stället riktas mot resultatet som uppnås. Det som kan förväntas av ett ändamålsenligt uppbyggt underhåll som ständigt följer utvecklingen, är en bättre produktionsförmåga och ökad livslängd på investerad utrustning. I det moderna underhållet ligger också miljön och säkerheten i fokus. Upprättande av kvalitetsledningssystem (ISO 9001), miljöledningssystem (ISO 14001) samt system för arbetshälsa och säkerhet (ISO 45001) hjälper företag att följa lagar och standarder samtidigt som en hållbar utveckling uppnås. Underhållet blir tack vare detta mer systematiskt och personskador samt kostnader orsakade av missöden minskas eller elimineras helt. (Hagberg & Henriksson, 2018).

Westenergy Oy är ett modernt cirkulärekoniskt företag som redan har implementerat dessa ledningssystem och detta arbetes deluppgift är att främja uppehållandet av systemen. I figur 5 kan kategoriseringen av underhållet observeras och de tre följande underkapitlen (3.1, 3.2 och 3.3) presenterar de tre huvudunderhållstyper som används i dagens företag. I underkapitel 3.1 presenteras dessutom de viktigaste mätmetoderna, oförstörande materialprovning och smörjning. Kapitel 3.4 presenterar det datoriserade underhållssystemet i allmänhet och kapitel 3.5 specifikt om underhållssystemet Pegasus.



Figur 5. Kategorisering av underhållstyper. (Hagberg & Henriksson, 2018, s. 369).

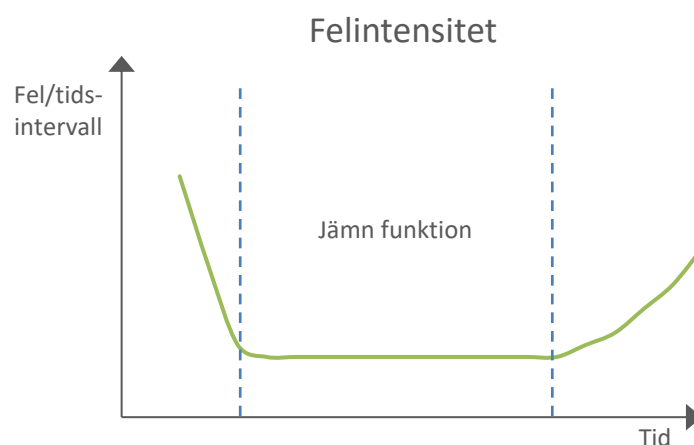
3.1 Förebyggande underhåll

Underhållet vid Westenergy är uppbyggt kring den förebyggande underhållstypen vilket innebär att ta till åtgärder före funktionsfel uppstår. Förebyggande underhåll är den underhållstypen som företag i allmänhet lägger ner mest resurser på eftersom det påverkar tillgängligheten och säkerheten positivt i hög grad. Det förebyggande underhållet kan delas in i två huvudkategorier; Förutbestämt underhåll betyder att underhållsuppgifter utförs i bestämda intervaller utan att mäta underhållsobjektets skick medan tillståndsbaserat underhåll betyder att ett underhållsobjekts skick bedöms eller mäts och utifrån det planeras behovet av underhåll. Utgående från tillgänglighetskrav kombineras dessa för att uppnå en kostnadseffektiv lösning. Vidare i texten kommer förebyggande underhåll förkortas som "FU". (Hagberg & Henriksson, 2018, ss. 368-369).

Planering av ett nytt underhållsschema formas oftast utifrån färdigt uppgjorda serviceintervall från utrustningsleverantörerna och redigeras enligt de praktiska möjligheter och resurser som finns på ett företag. Genom att göra riskklassning på utrustning kan underhållstyp och -mängd justeras till att motsvara egna krav. Risker definieras utifrån sannolikheten av en viss händelse och medföljande konsekvens. Användningen av en utrustning kan variera under dess livstid till följd av slitage eller ändringsarbeten och det är viktigt att kontrollera om förändringarna påverkar FU. Ändringar kan göras i form av nya användningsinstruktioner, modifiering av funktion eller om hela utrustningen är i dåligt skick kan en nyinvestering vara aktuellt. En lika viktig del av FU är uppföljning samt analys av information som erhålls från utfört underhåll och därför är att det av stor vikt att mätresultat eller andra kommentarer antecknas. Genom uppföljning kan faktabaserade beslut gällande åtgärder tas. (Hagberg & Henriksson, 2018, ss. 372-374).

För att leva upp till alla krav som ställs går det att inledningsvis ta reda på felfördelningen och felintensiteten i en maskin så att underhållsintervallen kan optimeras. För att noggrant kunna bestämma intervall i FU krävs tydliga toppar i felfördelningsdiagram och en förståelse för hur felintensiteten fördelas. Med en känd felintensitetskurva från en maskin kan ett lämpligt bytes- eller serviceintervall anges. Felintensiteten för en teknisk helhet med flera komponenter eller maskiner kan se ut som "badkarskurvan" i figur 6, som egentligen är en kombination av flera delkurvor. Under inkörningsfasen elimineras

maskintypiska fel före en jämn funktion uppnås. Vartefter den tekniska helheten åldras och slits börjar det efter en tid uppstå störningar i ökande takt. Föra att hitta den kritiska gränsen krävs information om felhistorik från likadana komponenter och maskiner i likadan användning, vilket har visat sig vara en utmaning att få tag på. (Hagberg & Henriksson, 2018, ss. 375-377).



Figur 6. Exempel på typisk felintensitetskurva för en teknisk helhet.

En strävan till 100-procentig tillgänglighet är omöjligt på ett kraftvärmeverk som kräver regelbundna nedkörningar för att utföra årsservice och lagstadgade kontroller. I detta fall är det av stor vikt att årsservicen planeras på ett sådant sätt att den kan skötas effektivt och att tidsåtgången minimeras. FU av den mest kritiska utrustningen kan främjas redan under anläggningens projektskede genom integrering av redundanser, parallell reservutrustning som ger säkerhet i processen. Ett exempel på detta är en praxis på pumpar som installeras i processindustri. Om en matarvattenpump till pannan oväntat havererar behöver inte kraftverket köras ner utan den parallella pumpen kan startas omedelbart utan att produktionen störs.

3.1.1 Mätmetoder vid pannanläggningar

Det finns olika typer av mätmetoder som gynnar FU och som kan användas till att upptäcka fel i komponenter och utrustning. Mätningen kan vara kontinuerlig eller utföras regelbundet av en person men den gemensamma uppgiften är att främja det tillståndsbaserade underhållet. Fördelen med regelbundna mätningar är att

mätutrustningen inte är fastinstallerad i maskinen utan kan användas till mätning av flera objekt. Kontinuerlig mätning har den stora fördelen att komponenter kan övervakas i realtid. Plötsliga haverier av kritiska komponenter såsom lager till primärluftfläkt eller inducerad dragfläkt orsakar med stor sannolikhet en nedkörning av kraftverket eftersom rubbningen i avgasströmmen blir alltför stor. Därför är det orsak att använda sig av kontinuerlig mätning vid de mest kritiska komponenterna. (Hagberg & Henriksson, 2018, s. 379).

De två vanligaste mätteknikerna som används inom industrin är stötpulsmätning och termografi och dessa berättar mycket om speciellt de roterande maskinelementens skick. Lagerskador, bristfällig smörjning eller felaktiga installationer kan fångas upp med hjälp av stötpulsmätning före större skador tar form. Stora temperaturavvikelser är ofta ett tecken på att något inte står rätt till och kan mätas kontaktlöst med hjälp av termografi, det vill säga värmekameror. Heta ytor samt läckage i ångkretsar kan vara omöjliga att upptäcka med bara ögat och därför är termografi också en välanvänd teknik på pannanläggningar. (Hagberg & Henriksson, 2018, ss. 396-407).

3.1.2 Oförstörande materialprovning

För att erhålla information om ett materials eller en komponents fysiska egenskaper kan oförstörande materialprovning, även kallat NDT, Non-destructive testing, utföras. De vanligaste skademekanismerna på material är sprickor, utmattning, korrosion och erosion. Det finns olika typer av testmetoder som lämpar sig för upptäckande av specifika typer av skador men den gemensamma uppgiften är att mäta skadestorleken och hjälpa till vid beräkningar av skadans propageringshastighet och komponentens haverigränser. Motsatsen till NDT är DT, Destructive testing, som innebär att testbitar tas från målobjektet för vidare undersökning eller att materialet antingen deformeras eller egenskaperna förändras till följd av provningen. De viktigaste NDT-metoderna enligt Järviö, Piispa, Parantainen, & Åström, (2007) presenteras kortfattat i figur 7.

Visuell kontroll (VT)	Den mest använda tekniken som ska göras före andra NDT metoder. Granskning kan göras med bara ögat, förstoringsglas och speglar eller med hjälp av industriell endoskopi där olika typer av optiska kameror används vid inspektion av svåråtkomliga ställen.
Magnetpulverprovning (MT)	Används för att upptäcka över 0,01 mm breda sprickor i ferritiska material. Järnoxid sprids ut på ett område och med hjälp av en magnetspole bildas ett visuellt synligt magnetfält som avslöjar defekter.
Penetrantprovning (PT)	Lämpar sig för att upptäcka över 0,1 µm breda sprickor i ytor som inte är sköra. Utförs med färgad penetrantvätska som tränger in i sprickor samt framkallare som framhäver defekten.
Ultraljudsprovning (UT)	Med ultraljud går det att mäta ämnestjockleken på ett material samt kontrollera om materialet innesluter diskontinuiteter, främst i svetsar och gjutgods. Det är också möjligt att upptäcka beläggningar som inte syns utvändigt.
Röntgenprovning (RT)	Med röntgen kan tredimensionella diskontinuiteter i framför allt svetsfogar samt korrosionsangrepp fångas upp. Dessa framstår som mörkare områden på den framkallade filmen från provningen.
Virvelströmsprovning (ET)	Grundar sig på induktion och används främst för att mäta skiktjocklekar och hitta sprickor i strömledande icke-ferritiska material. Vanliga provobjekt är olika typer av tuber i exempelvis värmväxlare.

Figur 7. Oförstörande materialprovningmetoder. (Järviö, Piispa, Parantainen, & Åström, 2007).

3.1.3 Smörjning som del av underhållet

Tribologi är ett väldigt centralt begrepp inom FU och innefattar allt gällande smörjning, friktion och nötning. Smörjmedlet står i centrum inom tribologin eftersom dess egenskaper påverkar hur en maskinkomponent fungerar. Smörjmedlets uppgifter är att minska på slitage genom att separera ytorna på mikroskopisk nivå, leda bort värme, skydda mot korrosion och hålla bort partiklar från ytorna som är i växelverkan. Smörjmedelstyperna är många och delas in i fetter och oljor. Maskinleverantörer ger alltid rekommendationer och krav gällande vilket smörjmedel som bör användas. En viktig del av FU-arbetet är smörjrutinerna och ronderna som utförs av montörerna eller driftpersonalen. Fettet ska doseras i rätta mängder och intervall beroende på omgivning, de växelverkande delarnas relativa hastighet och den påverkande lasten, för att komponentens livslängd ska kunna maximeras. Smörjmedlet har många viktiga uppgifter

och därför är det viktigt att göra oljeanalyser på system med stora oljemängder där de påverkade komponenterna eller maskinelementen är många eller krav på god smörjning är en förutsättning. Oljeanalysen berättar om oljans egenskaper med hjälp av innehållet av partiklar samt föroreningar, vattenhalt och viskositet, vilket underlättar identifiering av onormalt slitage, läckage eller behovet av oljebyte. (Hagberg & Henriksson, 2018, ss. 407-420).

3.2 Avhjälpande underhåll

Eftersom alla fel inte går att förutspå så kommer det avhjälpande underhållet alltid att spela en viktig roll i underhållsstrategin. Avhjälpande underhåll, förkortat AU hädanefter, syftar på underhåll som utförs efter att funktionsfel har uppstått. Med funktionsfel avses att en maskin inte klarar av att utföra krävd funktion eller producera det den ska. AU kan delas upp i akut underhåll, där åtgärder krävs omedelbart eller exempelvis inom 24 timmar och uppskjutet underhåll, där insatsen kan senareläggas till exempelvis årsservice eller nästa gången maskinen stannas. AU kräver en uppgjord plan om hur fel ska klassificeras samt vilken risk de utgör med avseende på funktion och säkerhet. Med hjälp av detta kan flera viktiga reparationer utföras i en logisk ordning. Även om många underhållsuppgifter kan senareläggas är det viktigt att de inte lämnar efter och utvecklas till akuta problem.

Det grundläggande målet med AU är självfallet att återställa funktionen på maskiner och utrustning. Det som går att påverka, även om fel har uppstått, är underhållsarbetets effektivitet och uppföljningskvaliteten. Mätetal som MWT, Mean Waiting Time, och MRT, Mean Repair Time, beaktar tiden som åtgår för den totala reparationsinsatsen och ger mått på effektiviteten av utfört arbete. Växelverkan och samarbetet mellan yrkeskunnig underhålls- och driftspersonal samt arbetsledning är av yttersta vikt för att AU ska kunna skötas effektivt. Återkommande fel ska tas i beaktande och analyseras närmare för att inte belasta underhållspersonal eller materiella resurser i onödan.

Det går inte att förbereda sig fullständigt på ett tekniskt fel men om informationsflödet fungerar så uppnås bättre effektivitet i AU-arbetet. Genom att personalen vet var verktyg och eventuella ritningar hittas kan den onödiga sökningsprocessen elimineras. Detta kan exempelvis uppnås genom att implementera olika ideologier på arbetsplatsen som hjälper till med att införa goda vanor. Driftspersonalens roll i underhållsarbetet framhävs i det

skedet då informationen om ett fel ska meddelas vidare. Rapporteringen bör vara snabb och beskrivande så att underhållspersonalen vet vilken typ av insats som krävs. Efter utfört arbete bör dokumentering gällande resursåtgång och kostnadsställe upprättas. Vid AU är underhållsinsatsen ofta intensiv och det är då viktigt att säkerhetsrutinerna fungerar för att arbetet ska kunna göras utan olycksfall. Säkerhetsrutinerna är utformade som checklistor i samband med arbetsbeskrivningen och påminner både interna och externa montörer om arbetets risker och krav på skyddsutrustning. (Hagberg & Henriksson, 2018, ss. 447-476).

Underhållsarbetet för med sig mycket information som bör kunna hanteras på ett överskådligt sätt. Ett underhållssystem är då det självklara verktyget för styrning av underhåll. Detta system, både i allmänhet och anläggnings specifikt, förklaras närmare i kapitel 3.4 respektive 3.5.

3.3 Förbättringsarbete

Det arbete som strävar till att förbättra en enhets säkerhet, funktionssäkerhet, underhållsmässighet, eller förhindra felaktig användning och uppkomst av problem utan att ändra på dess funktion kan enligt europeisk standard anses som förbättringsarbete. (Kunnossapidon terminologia SFS-EN 13306:2017, 2017). Begreppet enhet omfattar alla typer av maskiner, komponenter, utrustningar eller system. Om en enhets funktion ändras eller om enheten byts ut mot en liknande så utförs en modifiering, vilket inte kan anses vara en underhållsåtgärd.

Enligt Hagberg och Henriksson (2018) kan förbättringsarbete exempelvis handla om att:

- hålla ritningar tillgängliga och uppdaterade
- upprätta olika hjälpmedel för felsökning
- utveckla rutiner vid underhållsarbete och säkerställa kompetens.

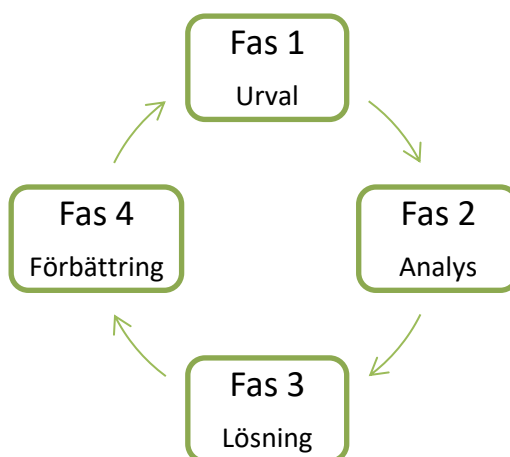
Ett ständigt förbättringsarbete kan anses som en av de processer som utmärker ett framgångsrikt företag. En ständig förbättringsprocess betyder att förslag framförs på regelbunden basis och allas idéer, både vardagliga och innovativa, tas i beaktande. Det bör finnas personer med yrkesspecifik kompetens som kan agera bollplank till de idéer som uppstår så att faktabaserade beslut kan göras. Genom att bilda olika interna

förbättringsteam kan samarbetet mellan olika avdelningar ökas och frågetecknen lättare konkretiseras och analyseras för fortsatta åtgärder.

Nyttan av förbättringsarbetet kan vara svårt att mäta då tiden mellan insats och resultat tenderar att bli lång men en märkbar förändring i exempelvis antal störningar hos en maskin är åtminstone delvist ett resultat av förbättringsarbete. Genom att dokumentera och presentera olika projekt eller idéer som lett till något nyttigt ökar förutom mätbarheten också motivationen på hela arbetsplatsen till att fortsätta med förbättringsarbetet.

Ett systematiskt förbättringsarbete kan kännetecknas av fyra olika faser: Urval, analys, lösning och åtgärd.

- Den första fasen handlar om att ta fram fakta om problemet och utnyttja all den erfarenhet som personalen har av problemet. Finns det pålitlig uppföljningsdata eller krävs en testperiod?
- I den andra fasen övergår arbetet till att analysera och skapa förståelse för problemet. Frågorna "vad?", "var?", "när?", "hur?" och "varför?" kan ställas för att hitta roten till problemet. Processen kan verka tjugig men är en förutsättning för att hitta de rätta orsakerna.
- Den tredje fasen är att ta fram olika lösningar och välja en lämplig. Idéerna värderas och viktas utgående från uppgjorda krav gällande exempelvis ekonomi eller funktionalitet.
- I den fjärde och sista fasen verkställs lösningen och resultatet följs regelbundet upp för att identifiera vilka effekter arbetet förde med sig och om nya åtgärder behövs.



Figur 8. Arbetsordning för systematiskt förbättringsarbete. (Hagberg & Henriksson, 2018, s. 541).

3.4 Informationshantering med CMMS

Det datoriserade underhållssystemet, CMMS, Computerized Maintenance Management System, är ett administrativt stödprogram för att organisera all information som berör underhållet. Informationshanteringens roll har växt till följd av den snabba digitala utvecklingen med fokus på IoT, Internet of Things, och uppkomsten av enorma mängder data sätter högre krav på databehandlingen. I ett CMMS implementeras ett företags alla underhållsobjekt med tillhörande reservdelar, tekniska ritningar och arbetsinstruktioner. Det finns många olika programtillverkare och alla utformar sina program individuellt så att programmet ska motsvara målgruppens behov. Många program kan ytterligare utvecklas för att specifikt motsvara ett företags behov. Ett bra program består ändå alltid av de fem följande huvudfunktionerna, som redogörs för nedan enligt vad Hagberg & Henriksson (2018) har presenterat

- *Anläggningsuppgifter:* För att snabbt kunna hitta information om maskiner, komponenter och byggnader finns ett anläggningsregister där sökningen sker hierarkiskt med hjälp av logiskt framställda koder eller befintliga termer. Uppbyggnaden gör det enkelt för alla användare på företaget att hitta all typ av data som har skapats för ett objekt.
- *Förebyggande underhåll:* Periodiseringen av FU sköts automatiskt med hjälp av återkommande aktiviteter som kan ha kalender- eller tillståndsbaserad styrning. FU-uppgiften genereras ur ett färdigt uppgjort arbetspaket. Eftersom anläggningstillståndet ändrar med tiden borde genereringen av FU uppdateras tillräckligt ofta på basen av ett objekts tillståndsp parametrar eller information från reparationer och kontroller. Ett standardiserat gränssnitt underlättar mottagning och konfigurering av data.
- *Arbetsorderhantering:* I denna funktion utförs planering och styrning av all underhållsverksamhet. Arbetsorder från FU samt AU samlas och felanmälningar skapas. Både tjänstemän och underhållspersonal kan använda denna sektion för att effektivt planera och utföra reparationer. Utförda arbetsorders skapar historik som sedan kan användas vid nya arbeten och framtida analyser.

- *Materialhantering:* Alla artiklar och reservdelar som företaget tillhandahåller förs in i systemet så att de sedan kan sammankopplas med tillhörande underhållsobjekt. Förrådshanteringen är sammankopplad med de andra funktionerna för att information angående lagersaldo vid reparationer ska finnas tillgängligt eller att reservdelsreserveringar ska kunna göras. Viktiga reservdelar kan styras till att skapa en påminnelse eller beställas automatiskt då lagersaldot underskrider en viss nivå eller då en arbetsorder skapas.
- *Uppföljning:* Med uppföljningsfunktionen kan utförda arbetsorders, uppkomna fel och driftsäkerhetsdata analyseras för att kunna ta beslut om förbättringsarbete. Ekonomin kan också följas upp för att hålla koll på in- och utflödet.

3.5 COMOS MRO – Pegasus

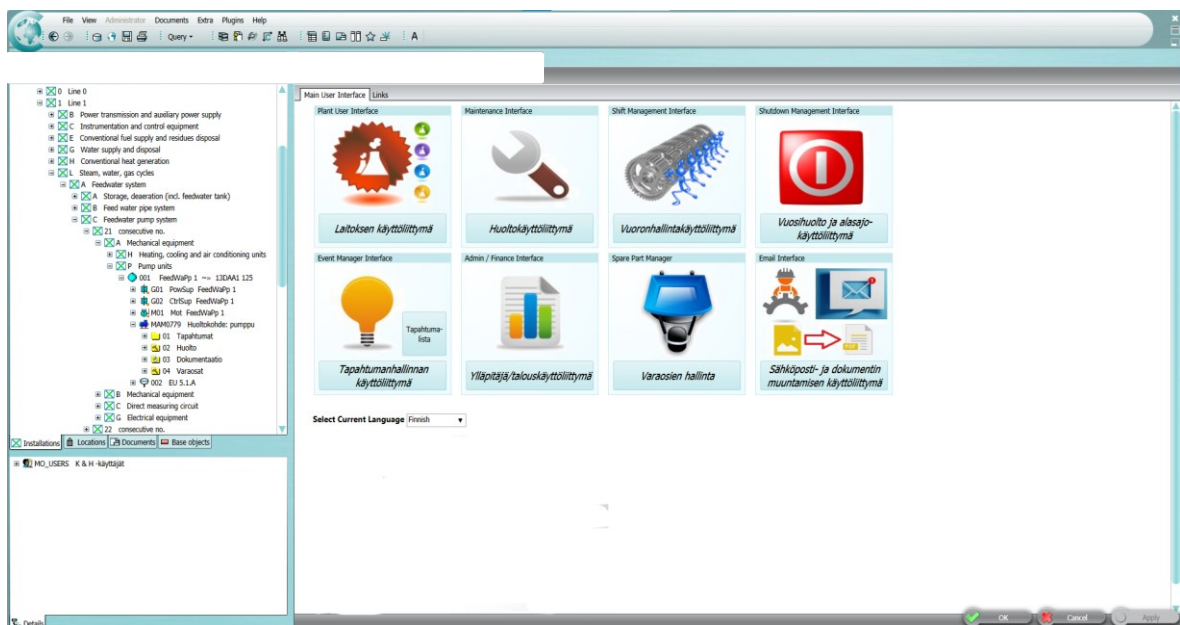
Underhållssystemet Pegasus används endast vid Westenergy och är en specialutformad MRO-programvara, Maintenance, Repair and Operation, som är uppbyggt kring Siemens heltäckande konstruktionsprogramvara COMOS. Konstruktionsprogramvaran kan anses vara ett PLM-program, Product Lifecycle Management, som kan hantera all information för en enhet under hela dess livstid. Pegasus innehåller funktioner och gränssnitt där det är möjligt att övervaka bland annat underhåll, inköp, lagerhantering och finans. Även om COMOS är designat för att kunna hantera all verksamhet på ett kraftverk så används programmet inte för styrningen av kraftverkets processer.

Pegasus innehåller sex olika användargränssnitt som syns i figur 9: Plant User Interface, Maintenance, Shift Management, Event Manager, Admin/Finance och Spare Part Manager. Dessa kan öppnas från startsidan där även navigationsrutan hittas. Från navigationsrutan går det att hierarkiskt söka sig fram till information som länkats till komponenter eller maskiner. Navigationen kan göras i olika flikar på basen av dokument eller med tre olika identifieringsmetoder

- *Installations:* Under denna flik hittas kraftverksutrustning med tillhörande dokument och underhållsuppgifter. All utrustning på anläggningen har tilldelats en unik identifikationskod på en nummerplåt som följer den hierarkiska, så kallade KKS-strukturen, Kraftwerk Kennzeichen System, ett "klassifikationssystem för kraftverkskomponenter". Koden består av 11 tecken och börjar med antingen 0, 1

eller 9, där exempelvis den första ettan i avfallskranens KKS-kod (1 EAF10 AE008) står för den första (och enda) produktionslinjen på anläggningen. Med hjälp av dessa koder kan varje komponent på anläggningen listas och lokaliseras.

- **Locations:** Alla KKS-objekt är länkade hit och kan hittas med hjälp av AIC-strukturen, Area Identification Code, som struktureras enligt anläggningens olika delområden. AI-koden består av sex tecken och har liknande logik som KKS-koden. Denna flik innehåller också lagerstrukturen och alla artiklar som finns där.
- **Base objects:** Alla objekt och komponenter på anläggningen och i Pegasus tillhör ett virtuellt basobjekt som alltid kan hittas med hjälp av navigering. Genom att navigera sig fram till ett basobjekt hittas alla objekt av samma typ.



Figur 7. Pegasus startsida med användargränssnitt och navigationssystem

När en arbetsorder eller ett arbetspaket, även kallat WP, Work Package, skapas, så länkas det antingen till ett KKS-objekt eller en AI-kod. Alla arbetsorder för ett visst objekt sparas och kan hittas i underkategorin "Documents". En arbetsorder innehåller säkerhetsåtgärder och en eller flera numrerade arbetsuppgifter med dokumenthänvisning och reservdelsinformation.

Utrustningsspecifika FU-program, MP, Maintenance plan, kan byggas upp av flera arbetspaket. Underhållsprogrammen kan tilldelas en tidsram på hur ofta de ska utföras och på detta sätt byggs ett fungerande intervallbaserat FU upp.

För att underlätta och effektivera dagligt underhåll kan arbetspaket från flera olika objekt som utförs under samma dag samlas i en praktisk huvudunderhållsplan, MMP, Master Maintenance Plan. (Serén, 2016, ss. 1-23) .

4 Tryckbärande anordningar

I industrin används tryckbärande anordningar för att kontrollerat kunna förvara och transportera olika trycksatta vätskor och gaser. Sammansatta tryckbärande anordningar kallas aggregat. En tryckbärande anordning kan vara ett tryckkärl, en rörledning, säkerhetsutrustning eller tryckbärande tillbehör och klassificeras enligt volymen, trycket och typen av fluid som finns i kärlet. Jämförelsetalet för klassificeringen blir PV (uttrycks som "barliter"), där P är trycket [bar] och V är volymen [liter] (Lag om tryckbärande anordningar (1144/2016), 2016). Beroende på vätske- eller gasvolym samt innehåll kan en tryckbärande anordning behöva registreras enligt vissa kriterier eftersom havererande tryckkärl kan leda till allvarliga personskador. Enligt 2 kap. och 6 § (Statsrådets förordning om tryckbärande anordningars säkerhet (1549/2016), 2016) har alla ångpannor med matarvattenanordningar och där vattnet helt förångas i pannans ång-del, registreringsplikt. I Finland ansvarar säkerhetsteknikcentralen TUKES för uppehållandet av registret för tryckbärande anordningar.

4.1 Besiktningar och övervakning

Före en tryckbärande anordning som uppfyller givna kravgränser släps ut på marknaden ska den besiktas av ett godkänt besiktningsorgan. Dessutom ska besiktningsorganet granska placeringsplanen så att eventuella driftsstörningar och utsläpp av fluider orsakar minsta möjliga fara. Besiktningar ska också utföras regelbundet enligt angivna intervall. Det besiktande organet kan vara:

- ett anmält organ utnämnt av handels- och industriministeriet, som utför bedömning av överensstämmelse

- ett certifieringsorgan som har tillstånd att certifiera personer till att utföra förstörande materialprovning eller att göra permanenta förband på tryckbärande anordningar
- brukarnas besiktningsorgan som innehas av ägaren för den tryckbärande anordningen och är utfärdat av handels- och industriministeriet
- ett godkänt organ som kan utföra många andra typer av föreskrifter gällande tryckbärande anordningar och har godkänts av TUKES
- egenbesiktningsorgan för besiktningar under drifttiden som är godkända av TUKES.

Bedömning av överensstämmelse före ibruktagning av en tryckbärande anordning inom EU, utförs enligt färdigt angivna moduler med beskrivet bedömningsförfarande. (Säkerhetsteknikcentralen TUKES, 2016).

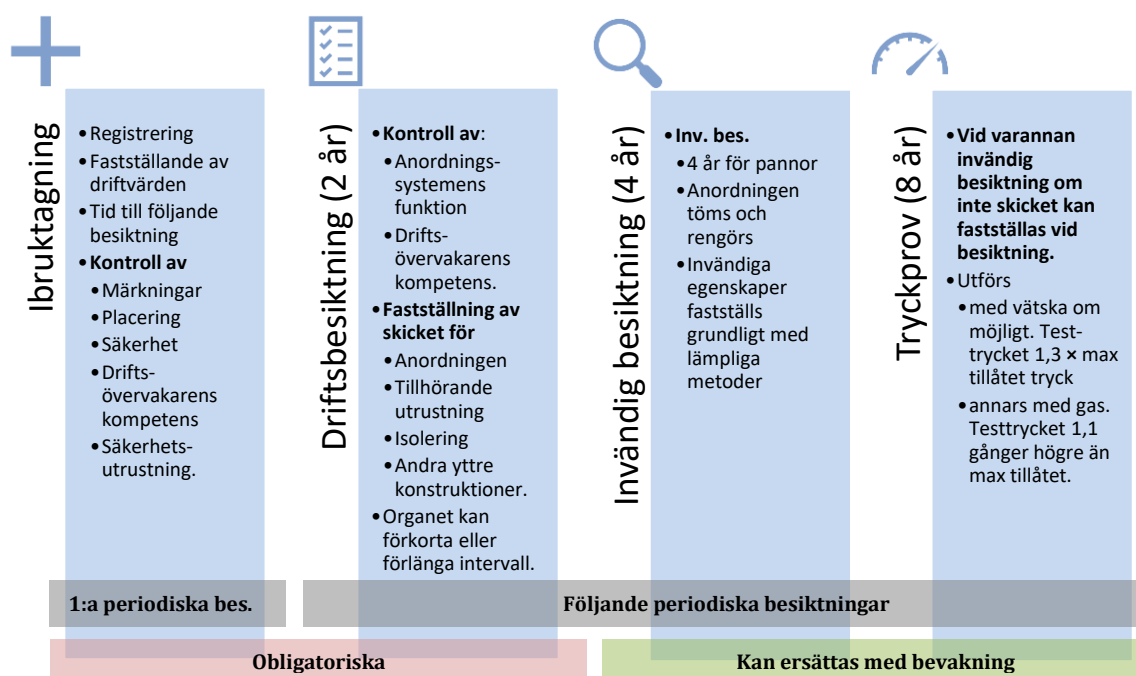
Det är ägarens eller innehavarens ansvar att se till att besiktningar av en tryckbärande anordning görs enligt angivna intervall och av ett godkänt organ. Ägaren ska också bokföra och samla alla handlingar, reparationer och ändringsarbeten som gjorts till den tryckbärande anordningen. Enligt 9 kap. 63 och 64 § (Lag om tryckbärande anordningar (1144/2016), 2016) kan periodiska invändiga besiktningar och tryckprov för exempelvis ångpannor med skyddande murning eller trycksatta rörledningar ersättas med bevakning av ägaren, genom överenskommelse med ett godkänt organ, så länge verkningarna av systemet motsvarar de periodiska besiktningarna. Ett system för övervakning, som exempelvis kan bestå av förstörande materialprovning, ska skriftligt göras upp av ägaren och godkännas av ett godkänt organ samt meddelas åt tillsynsmyndigheten.

Som tidigare nämnts följer pannan vid Westenergy de lagstadgade periodiska besiktningarna och att det delvis finns möjlighet att ersätta den invändiga besiktningen och tryckprov med bevakning som består av en skriftlig bevakningsplan. Denna plan ska enligt Säkerhets och kemikalieverket TUKES innehålla information om:

"åtgärder med vilka besiktningarna ersätts, tidtabellen för utförda och kommande besiktningar, vilka dokument som besiktningarna ger upphov till samt de åtgärder genom vilka man kan upptäcka om de överenskomna besiktningarna inte är tillräckliga och vilka åtgärder i så fall ska vidtas." (Säkerhets och kemikalieverket TUKES, u.d.)

Utöver detta ska ett skriftligt avtal med ett godkänt organ göras upp. Avtalet ska innehålla registernumren på den tryckbärande anordningen, uppgifter om vilka besiktningar som ämnas ersättas med bevakning, en redovisning på hur innehavaren sköter bevakningen och när bevakningen påbörjas. Bevakningen kan inte ersätta den första periodiska besiktningen, driftsbesiktningar eller ändringsbesiktningar. (Säkerhets och kemikalieverket TUKES, u.d.).

I figur 10 sammanfattas kortfattat enligt lagen om tryckbärande anordningar (1144/2016) hur periodisk besiktning av ångpannor bör utföras, inklusive vad som kan ersättas med bevakning.



Figur 10. Sammanfattning för periodisk besiktning av ångpannor. (Lag om tryckbärande anordningar (1144/2016), 2016).

Driftövervakningen av en ångpanna kan ske kontinuerligt eller periodiskt. Periodisk driftövervakning ska enligt 4 kap. 14 § (1549/2016) skötas av yrkeskunnig förtrogen personal som kontinuerligt befinner sig på styrplatsen och gör besök med högst 24 timmars mellanrum om ångpannans effekt överstiger 20 MW då fast bränsle används. Anordningarna ska då automatiskt kunna styra pannan till ett säkert läge vid över- eller underskridning av gränsvärden. Vid kontinuerlig driftövervakning ska det enligt 13 § gå att

mäta centrala driftstorheter och bemanningen ska säkert kunna styra den normala driften och störningar på pannanläggningen med anordningarna som finns på styrplatsen.

4.2 Pannvatten

I pannor används kemiskt renat vatten som medium för värmeöverföring och för att värmeöverföringsegenskaperna för pannrörens inre ytor ska hållas på acceptabel nivå, spelar vattenkemin i vatten-ångcykeln en stor roll. En dålig vattenkemi leder med tiden till avlagringar, försämrade värmeöverföringsegenskaper och skador på pannrören. Pannvattnet tillverkas och justeras i enlighet med internationell standard SFS-EN 12952-12 "Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot, osa 12: Laatuvaatimukset syöttö- ja kattilavedelle".

De kemiska egenskaper som påverkar pann- och matarvattnets kvalitet är i huvudsak konduktivitet, pH-värde, hårdhet och syrehalt. Konduktiviteten beskriver mängden orenheter i vattnet och ska därför hållas så låg som möjligt. Vattnet ska ha ett pH-värde kring 9,4 och kan alkaliseras med hjälp av ammoniak och trinatriumfosfat i matarvattnet och ammoniak i pannvattnet. Konduktiviteten för pannvattnet ökar då kemikalier tillsätts och kan sänkas igen med en katjonbytare, vars uppgift är att binda positivt laddade joner genom tillsats av negativt laddade anjoner. Regeln är att konduktivitetmätning före katjonbytaren anger mängden pH-justeringskemikalier medan mätning efter katjonbyte anger mängden orenheter.

Vattnets hårdhet beskriver mängden salter såsom kalcium och magnesium i vattnet. Vid ökad temperatur minskar salternas löslighet i vattnet och det finns risk för kristallisering på konvektionsytor. Avlagringarna som uppstår till följd av kristalliseringen, leder till att värme inte överförs tillräckligt snabbt och rören utsätts för högre temperaturer än de är konstruerade för. Detta leder till att materialet kryper och pannrören kan brista eller börja läcka. Vattnets kemiska egenskaper måste också vara korrekta med avseende på lösligheten av magnetit på ytor av kolstål. Ytorna ska naturligt få ett tunt passiverande skikt för att ny oxid inte ska bildas. En hög syrehalt i matarvattnet kan orsaka korrosion och därför bör syre avlägsnas med hjälp av termisk avgasning eller tillsats av hydrazin.

Om tjocka avlagringar uppstår på konvektionsytorna måste betning utföras för att undvika skador eller en markant minskad livslängd. Avlagringarna mäts med ultraljud före beslut

om betning tas. Vid betning cirkuleras en lösning med lämplig typ av syra i pannrören och avlagringarna lossnar från de invändiga konvektionsytorna. (Karjunen, 2021).

4.3 Pannans skademekanismer och -ställen

Ruohola presenterar (enligt Åström 2007) med hjälp av undersökningsresultat att det inom energiproduktionssektorn i 40 % av fallen är pannan som begränsar effekten till följd av feltillstånd på anläggningen. Inom pannan är det däremot ungefär 40 % av gångerna skador i överhettarna som orsakar felen. Vidare hävdas det att industriell endoskopi, magnetpulverprovning och ultraljudsprovning är de mest använda oförstörande materialprovningssmetoderna som används vid kraftverk.

Pannans ogynnsamma och korrosiva miljö, speciellt när avfall används som bränsle, gör att olika typer av korrosion är de vanligaste skademekanismerna. På rökgassidan är det klorider och tungmetaller som orsakar högtemperaturkorrosion till följd av att de binds till flygaskan och därmed sänker på askans smältpunkt. Aska som delvist ännu är i flytande form fastnar lätt på konvektionsytor och bildar skikt. Under detta skikt reagerar kloreten och syret med metallytan som utsätts för aktiv oxidering. Av kloreten i rökgaserna bildas saltsyra som också senare orsakar korrosionsproblem i rökgasreningen vartefter temperaturen sjunker. Då rökgaserna lämnar pannan har temperaturen sjunkit under 170 °C och risken för daggpunktskorrosion orsakat av svavelsyra ökar. Vid rökgastemperaturer under 75 °C finns en stor risk för syrakorrosion orsakat av svavel kombinerat med klor. (Klarin, 2009).

Till vänster i figur 11 syns hur lågtemperaturkorrosionen gjort sig tillkänna i rökgasreningen var temperaturen hunnit sjunka tillräckligt lågt och till höger i figur 11 syns spår av möjlig högtemperaturkorrosion orsakat av klorider på en mellanvägg i pannan.



Figur 11. Skador orsakade av korrosion i rökgasrening och panna. (Laatutesti Oy, 2018, 2020).

Skademekanismerna är komplexa och svårkontrollerade fenomen som också förutom bränslet, beror på pannans drift och hur ned- och uppeldningar förverkligas. Pannans driftstorheter måste hållas inom gränserna för vad hållfasthetsberäkningarna tillåter och de höga temperaturerna kräver att pannan också dimensioneras med avseende på krypning. Pannors konvektionstuber dimensioneras i de flesta fall till en livslängd på 200 000 timmar, vilket också gäller pannan vid Westenergy (AE&E Duro Dakovic, 2010). Dessutom används pannan vid Westenergy som baslastpanna vilket betyder att antalet cykler från varm till kall inte är mer än 1–2 stycken per år och därmed behöver inte utmattningsfenomen hos normalt belastade pannrör tas i beaktande.

I tabell 1 på nästa sida har de vanligaste skademekanismerna och problemområden för ångpannor samlats kortfattat på basen av vad Hukkanen (2021a och 2021b) och Klarin (2009) har presenterat.

Tabell 1. Pannans vanligaste skademekanismer.

Skademekanism		Orsak	Problemområden	Provningsmetod
Allmän korrosion		Fuktig och sur omgivning	Alla oskyddade stålytor	Visuellt, ultraljud
Gropfrätning	Eldstad	Kloridangrepp via aska som försämrar det passiva oxidskiktet	Pannrör	(Se högtemp.korr.)
	Vattensida	Hög syrehalt i pannvatten	Alla pannrör och tryckkärl i kretsen	Vattenanalyser, ultraljud
Spaltkorrosion		Korrosion i spalter och sprickor där inget fluidutbyte sker	Svetsar, bultförband	Röntgen
Galvanisk korrosion		Elektronutbyte mellan två olika metaller via en fluid (Elektrolys)	Sammanfogade pannrör av olika material	Visuellt, ultraljud
Korngränskorrosion		Det bildas föreningar med försämrad korrosionsbeständighet vid korngränserna i metaller som utsätts för höga temperaturer	Reparationssvetsning	Metallografisk undersökning (DT)
Spänningskorrosion		Dragspänningar orsakade av yttre eller inre spänningar kombinerat med korrosiv miljö orsakar sprickor	Reparationssvetsning, ekonomiser anslutningar	Ultraljud, magnetpulverprovning, röntgen
Högtemperaturkorrosion		Oorganiska föreningar binds till askan och sänker på smältpunkten. Askan fastnar lättare och bildar avlagringar samt verkar korrosivt.	Överhettare och dess anslutningar samt förband, stigrör	Visuellt, metallografisk undersökning (DT), penetrant- eller magnetpulverprovning
Lågtemperaturkorrosion		Svavelsyra och salter påverkar korrosivt då rökgastemperaturen sjunker under 170 °C.	Delar av metall och olegerat stål i rökgasreningsdelen	Visuellt, ultraljud
Erosionskorrosion		Höga strömningshastigheter och riktningsändringar av fluider mot/längs ytor kombinerat med korrosiv omgivning.	Ekonomisers, överhettare, rörkrökar och anslutningar	Visuell, ultraljud, radiologisk vid skador på vätskesida
Krypning		Deformation och sprickbildning i material som under tid utsätts för hög temperatur och stora krafter (materialspezifisk krypgräns överstigs).	Överhettare, ekonomisers, stigrör och speciellt deras förgreningar, rörböjar samt svetsar	Replikaprovning, magnetpulverprovning, metallografisk undersökning (DT)

(Hukkanen, 2021a, 2021b; Klarin, 2009)

5 Metodik

Att uppnå entydiga resultat om när och hur underhåll samt tillhörande granskningar ska utföras är en krävande och närapå omöjlig process. Eftersom det inte går att mäta alla processkomponenter i realtid måste det förebyggande underhållet delvist regleras utgående från periodiska mätresultat och observationer från utförda reparationer.

Metodiken i detta arbete följer den så kallade mixed-methods forskningsprocessen där både kvantitativ och kvalitativ forskning används kombinerat för att hitta viktiga detaljer ur en större mängd data. Mätresultat för väggjocklear har sammanfattats i gemensamma tabeller där statusen för varje enskild mätning och mätpunkt kan observeras. Orsaken till detta är att slitaget och olika skademekanismer kan bete sig väldigt oförutsägbart och utvecklingen av alla mätpunkter bör därför kunna följas. Analysen av panninspektionerna presenteras närmare i kapitel 6.1.2.

Årliga mätresultat är presenterade i tabellformat av ingenjörbyrån som utför mätningarna men bifogat finns också alltid en rapport som informerar om gjorda observationer och förslag på åtgärder. Dokumentundersökningar har därmed varit en väsentlig del av arbetet eftersom rapporterna kräver en genomgång för att observationerna ska kunna tas i beaktande vid optimeringsprocessen.

De förebyggande underhållsuppgifterna har studerats kvalitativt i mån av möjlighet, även om datamängden varit stor. Det har krävts kompromisser och störst fokus har naturligtvis lagts på den viktigaste utrustningen. Analyseringsprocessen av FU-uppgifterna och felhistoriken beskrivs närmare i kapitel 6.1.1.

Den externa studien har varit kvalitativ och fokuserat på att skapa förståelse för underhållets uppbyggnad samt jämföra tillvägagångssätten vid kraftverken. Empiriska studier i form av intervjuer har varit det naturliga tillvägagångssättet vid den externa studien men också vid den interna studien för att erhålla odokumenterad information samt kunskap. En sammanfattning av erhållen information från intervjuerna i den externa studien presenteras i kapitel 6.2.

6 Analys av kraftverksunderhåll

I följande underkapitel kommer analyseringsprocessen av kraftverksunderhållet att sammanfattas stegvist. Analysen har utformats av både interna studier om Westenergys egna kraftverk och en extern empirisk studie om två andra företags kraftverk. Fokuset i både interna och externa studien har varit på pannan och processens mest kritiska utrustning. Ansvarspersoner för underhållsavdelningarna i företagen har intervjuats skriftligt och muntligt. Den erhållna informationen kan sedan användas till att jämföra och optimera den egna förebyggande underhållsverksamheten.

6.1 Intern studie

För att klargöra utgångsläget till optimeringsprocessen har en omfattande genomgång av anläggningens felhistorik och tekniska detaljer gjorts. I företagets tekniska dokumentering på intranätet finns så gott som all nödvändig information elektroniskt gällande anläggningens och de olika utrustningarnas specifikationer samt gjorda ändringar. Interna dokument och handlingar har studerats flitigt och personal har intervjuats. På basen av dessa uppgifter har arbetsmetoderna och följande åtgärder kunnat styras i en riktning som gynnar underhållsprocessen.

På basen av intervjuer, teoristudier och granskning av servicehistorik har de mest aktuella problemområdena identifierats. Uppmärksamheten har riktats till framför allt:

- Pannans och tubernas slitage orsakat av korrosion och effektiviteten av uppföljning samt analys.
- Rosternas slitage och hållbarhet.
- Stockningar och avlagringar i pannan och rökgasreningen.
- Förebyggande underhållsuppgifter i underhållssystemet.

6.1.1 Underhållsuppgifter och servicehistorik

Felhistoriken för den utvalda utrustningen har studerats komponentspecifikt i underhållssystemet Pegasus. Genom att söka fram objekt i systemet med hjälp av de komponentspecifika KKS-koderna kan viktig information som exempelvis felintensitet och

reservdelstyrning studeras närmare. I figur 12 går det att observera hur navigeringsvägen till servicehistoriken ser ut och vilken information om reparationen som finns tillgänglig i den genererade arbetsordern. I detta fall är det en kardanaxel till slagtransportörens excenterdrivning som havererat och bytts ut men någon närmare information finns inte.

The screenshot displays the Siemens COMOS software interface. On the left, a tree view shows a hierarchy of work orders under 'Continuous conveyors, feeders'. The main window shows a list of work orders with checkboxes and a 'Tehtävällista' (Task List) section. The selected work order is 'Kardaani hajosi' (Kardaani axle) with ID 15AAA1017. The task list contains several items, including 'Onko sinulla kaikki tarvittavat henkilösuojaimet' and 'Ovatko välineesi työhön soveltuvat'. The detailed view of the selected work order shows a description, location (3.36 Paikka), and a table with columns for 'Suunniteltu määrä' (Planned quantity) and 'Orettu määrä' (Actual quantity). The table shows a planned quantity of 1 and an actual quantity of 1. The work order is also associated with a specific location and a specific type (SP Type).

Figur 12. Arbetsuppgifter i Pegasus. (Siemens COMOS).

Behovet av åtgärder i underhållsmängd och -typ utvärderades och antecknades för komponenter där en tillräckligt kvalitativ felhistorik finns tillgänglig. En observation som gjorts under studerandet av servicehistoriken är rapportkvaliteten. De flesta rapporterna har korta eller inga beskrivningar alls och reservdelstyrningen saknas dessutom från vissa rapporter. En mer ingående analys av utrustningen skulle kräva mer noggranna beskrivningar om exempelvis haveriorsak och observationer av montören från reparationsögonblicket. Denna brist kan motiveras med partiell kunskapsbrist för det rätt så komplexa datoriserade underhållssystemet. Utredningar om ett nytt och mer användarvänligt underhållssystem pågår för tillfället och ett nytt system eller effektivt arrangerade skolningar för det nuvarande systemet skulle säkerligen öka på rapporteringens kvalitet.

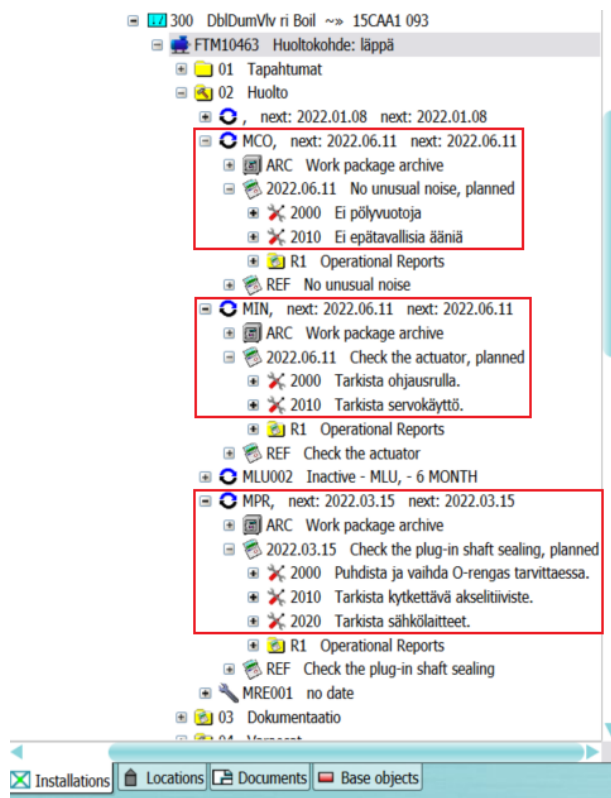
En av arbetets huvuduppgifter var att se över de förebyggande underhållsuppgifterna och göra nödvändiga ändringar, vilket också visade sig vara välbehövligt. Genom att studera

underhållspaketen som skapats för den utvalda utrustningen kunde följande saker konstateras:

- Engelska och finska beskrivningar är blandade sinsemellan och gör arbetspaketen och uppgifterna diffusa och svårtolkade.
- Arbetspaket med likadana uppgifter för samma tidsintervall (dubbletter) finns insatta för viss utrustning.
- Det finns triviala underhållsuppgifter och kontroller insatta för stor del av utrustningen, vilka har konstaterats onödiga.
- Ett underhållsobjekt kan ha flera olika arbetspaket med enskilda arbetsuppgifter som kunde sammanslås till gemensamma arbetspaket.

Alla dessa anmärkningar försämrar på kvaliteten av arbetsorderna som genereras för det förebyggande underhållet. Underhållssystemet fylls med överflödiga arbetsrapporter och öppnandet samt läsandet av en order blir mer till en börda än ett givande steg i underhållsprocessen. Dessutom måste så kallade onödiga orders som inte utförs också kvitteras bort av en person, vilket ger mindre tid för andra viktigare uppgifter.

I figur 13 kan ett underhållsobjekt med bristfälligt definierade underhållsuppgifter observeras. Här uppfylls tre av de brister som listades tidigare. Underhållsobjektet har tre aktiva arbetspaket som lika bra kunde sammanslås till ett enda, finska och engelska beskrivningar är blandade och arbetspaketen har diffusa beskrivningar.



Figur 13. Bristfälligt definierade underhållsuppgifter. (Siemens COMOS).

6.1.2 Pannans granskningar

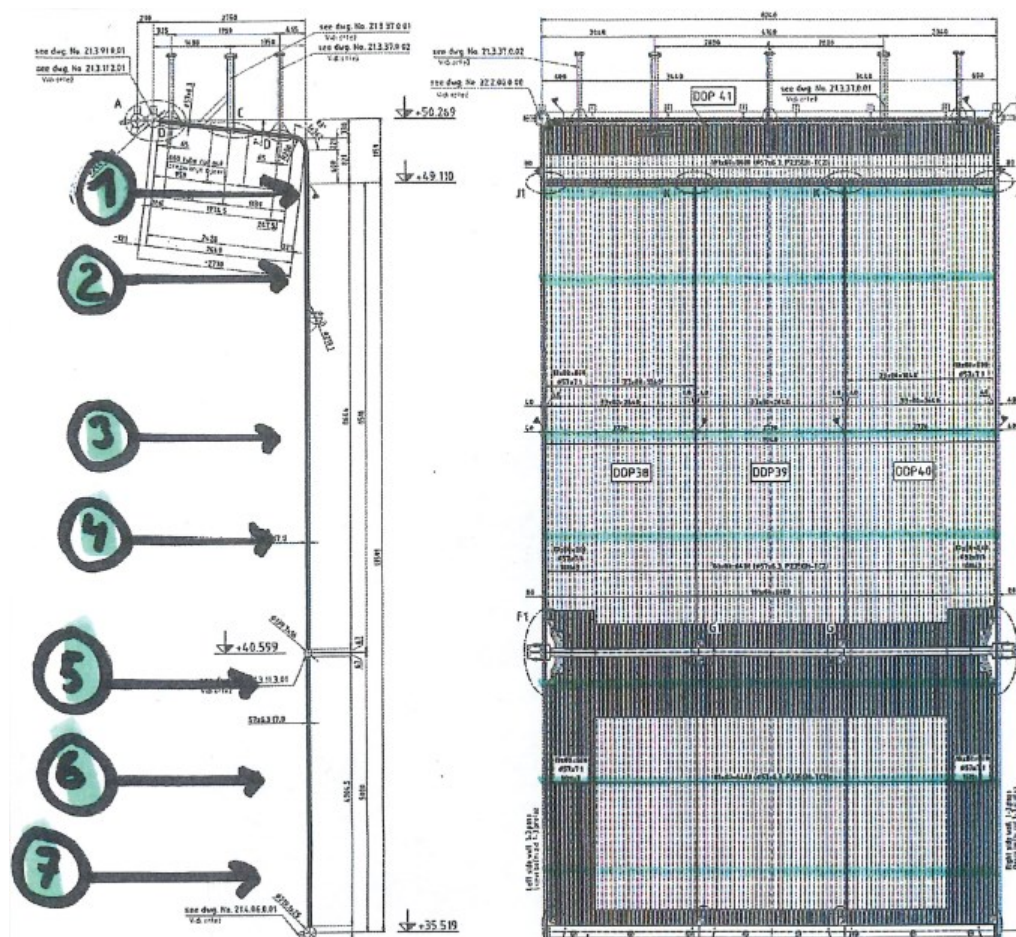
Pannans tryckkärlsdokumentation innehållandes besiktningar och resultat från oförstörande materialprovning har studerats och driftsövervakaren har intervjuats för att fastställa de nuvarande omständigheterna. För tillfället besiktas pannan enligt de intervall som föreskrivs i lagen om tryckbärande anordningar (1144/2016). Driftbesiktningar utförs vart annat år, invändiga besiktningar vart fjärde år och trycktest vart åttonde år. Noggrannare granskningar och mätningar av pannans delar utförs årligen vid års servicen av en och samma ackrediterad ingenjörbyrå. Granskningarna som består av oförstörande materialprovning bestäms årsvis av pannans övervakare. Vissa delar mäts årligen medan andra mäts på basen av behov som grundar sig på erfarenhet och föregående års resultat. Lämpliga mätpunkter på de olika delarna i pannan är framtagna av ingenjörbyrån och samma mätpunkter används årligen för att kunna göra jämförelser av förslitningshastigheten. Mätning av väggtjocklekar vid mätpunkterna för tuber utförs med ultraljud och testresultaten dokumenteras och levereras till Westenergy. Andra typer av mätningar såsom upptäckande av skador i exempelvis tuber, förgreningar, förband och svetsar utförs med lämplig skadespecifik provningsmetod. Många skador hittas ändå redan

med hjälp av en visuell granskning. I figur 14 syns ett exempel på en spricka i en rörkrök på en överhettartub som hittats med hjälp av fluorescerande magnetpulverprovning.



Figur 14. Skada på krök i överhettartub. (Laatutesti Oy, 2020).

För att underlätta mättingsförfarandet men ändå få en spridning på mätpunkterna vid ultraljudsmätning används mätlinjemetoden. En mätlinje består av flera mätpunkter som går i längsgående riktning från vänster till höger inuti pannan. Mätlinjerna är placerade vid olika höjdnivåer för att fånga upp slitage i flera olika plan. I figur 15 kan mätlinjernas placering för den bakre väggen i pannans andra drag observeras. Linjernas höjd är angiven och alla rör som ligger på linjen mäts. Avståndet mellan mätlinjerna och höjden kan variera men samma taktik följs på alla pannrör.



Figur 15. Mätlinjer för andra dragets bakre vägg. (Laatutesti Oy).

Den klara fördelen med mätlinjemetoden är att uppföljningen och analysen av resultat blir väldigt god då den årliga tjockleksminskningen kan observeras. Nackdelen är att onormal förslitning på andra ställen i tuber och membranrör inte fångas upp och därmed är det upp till den visuella granskningen att dessa skador hittas i tid före haveri sker eller större läckage bildas.

Att utföra granskningar och mätningar i en panna är en tidskrävande och kostsam process. Då pannan kylts ner tillräckligt efter nedeldningen så byggs ställningar upp inuti pannans drag kring granskningsområdet och alla ytor som ska granskas rengörs med hjälp av sandblästring. Efter förberedelserna kan mätteamet påbörja granskningen. Beroende på provningsmetod tar granskningarna olika lång tid och enligt granskningsövervakare A. Olkkola (Diskussion 15.3.2022) är magnetpulverprovning och digital röntgen de mest tidskrävande metoderna. Systematiken och personliga egenskaper spelar stor roll under granskningarna för att mätresultaten ska vara jämförbara och att rätta typer av fel samt brister ska hittas.

6.2 Extern studie

Maskiner och utrustning slits i varierande takt beroende på användningsförhållanden och det kan vara ytterst svårt att förebygga alla problem i det egna kraftverket utgående från egen felhistorik. Processen från avfall till energi är likadan i alla rosterpannor men utrustningsleverantörerna har alltid egna tekniska lösningar för att processen ska kunna utföras på ett så smart, säkert och kostnadseffektivt sätt som möjligt. Även om liknande pannanläggningar är unika så finns det likheter i felfördelningen och likadana problem tenderar att upprepas på andra företags anläggningar. Att jämföra verksamheter sinsemellan kan tillföra mycket nyttig information gällande det förebyggande underhållet.

För att kunna jämföra underhållsrelaterade uppgifter och felfördelningen mellan anläggningar som ägs av olika företag är det första kravet att leverantören av anläggningen och storleksklassen på pannan är samma. Anläggningarna som jämförs bör vara lika gamla eller äldre för att aktuella eller framtida tekniska komplikationer ska kunna förebyggas till egen förmån. Det gäller att minimera olikheterna för att erhålla användbar information med godtycklig kvalitet. Utöver detta förutsätts också att det finns samarbetsvilja hos de intressanta företagen och att konkurrens inte utgör ett hinder.

I arbetets externa studie stiftades närmare bekantskap med två andra liknande avfallsförbränningsanläggningar, där en ansvarig för underhållsarbetet i respektive företagen intervjuades. Båda kraftverken har rosterpannor i samma storleksklass och är levererade av tillverkaren Hitachi Zosen Inova. På grund av sekretess kommer företagen att namnges "företag A" och "företag B" i detta arbete. I företag A har kompetenschefen för underhållsplanering intervjuats och i företag B har underhållsmästaren intervjuats.

6.2.1 Företag A

Anläggningen som studerats kördes upp första gången år 2000 och har en bränsleeffekt på 65 MW varav fjärrvärmeeffekten är 55 MW. Förbränningskapaciteten ligger kring 20 t/h och som bränsle används hushålls- och verksamhetsavfall samt skogsrester i viss mån. Bränslets komposition och värmevärde avviker därmed till en viss grad i och med sambränning av biobaserat bränsle. Förekomsten av klorider i rökgasen är ändå hög i och med avfallsförbränning vilket trots allt gör pannorna jämförbara. Enligt givna uppgifter körs pannan vid Företag A med driftstorheter i samma klass som vid Westenergy. Pannan är till

en stor del likadant konstruerad med den största skillnaden i uppbyggnaden av ekonomiser-delen, där både icke-kokande lågtrycks- och kokande högtrycksekonomiser används. Rökgasreningen genomgår samma processteg som vid Westenergy.

Pannrören är till största delen tillverkade av de varmhållfasta tryckkärlsstålen St35.8 och P235GH medan de två varmaste överhettarpaketerna är tillverkade av det legerade tryckkärlsstålet 16Mo3. Väggtjocklekarna på tuberna är aningen mindre vilket kan tänkas resultera i tätare reparations- och bytesintervall. Pannans eldstad var länge skyddat med tegel och blev inconelbelagd först omkring det 15:e verksamhetsåret vilket försvårar jämförandet av skador och slitage i eldstaden. Mellanväggen för drag 2 och 3 har krävt mer uppmärksamhet efter cirka 10 års användning, vilket därmed också börjar bli aktuellt för Westenergy. Överhettarpaketerna har ständigt krävt uppmärksamhet på grund av läckage och uttuning av väggar. Överhettarpaket 3 har bytts ut med ungefär 6 års mellanrum och för tillfället används Inconel som material, vilket ska vara mer slittåligt än konventionellt tryckkärlsstål. Efter byte till Inconel har hållbarheten varit mycket god, inga märkbara reparationer har behövs göras. "Läckage i tuber på grund av felaktiga stumsvetsar" har varit ett återkommande fenomen vilket orsakas av höga eldstadstemperaturer och tjocka avlagringar på tuberna.

Annan utrustning som strulat har varit rosterns vattenkylda del och slagverket. Rosterns vattenkylda del har börjat nå slutet av sin livslängd kommer att genomgå omfattande underhåll inom snar framtid medan slagverket har börjat fungera bättre efter en större service.

Sprängsotning används flitigt på överhettare för att rengöra konvektionsytan och förbättra värmeöverföringen. Vid sprängsotning lösgörs avlagringar med en utrustning som genererar tryckvågor framställda med hjälp av kontrollerad antändning av gas. Rengöringen beställs som tjänst men även fasta automatiserade system kan köpas och installeras om behovet av sotning är frekvent.

Kontaktpersonen poängterar ännu att pannan är den del av anläggningen som kräver överlägset mest tid och resurser, speciellt under servicestopp. För att underlätta arbetet och minska på läckage som leder till kostsamma nedkörningar, har en livslängdsjournal utarbetats för pannan. Journalen innehåller information om livslängd, gjorda reparationer och reoveringar samt kommande granskningar.

6.2.2 Företag B

Pannorna vid denna anläggning startades första gången år 2014 och är därmed endast ett år yngre än pannan vid Westenergy. De två individuella men identiska pannorna har en bränslereffekten på 58 MW var och kan köras oberoende av varandra, endast avfallsbunkern är gemensam. Bränslet som används består av källsorterat och annat brännbart avfall. Pannornas driftparametrar skiljer sig från Westenergys i det avseendet att ångtrycket är högre, vilket betyder att pannrörens material och dimensioner avviker.

Överhettarna i båda pannorna är gjorda av legerat tryckkärlsstål, 16Mo3, och byttes ut 2018 på grund av slitaget. Ekonomiser 2 i panna 2 byttes ut 2020 på grund av läckage orsakade av tillverkningsfel. I regel har slitaget i pannan hittills varit jämnt och inom ramen för vad man kan förvänta sig vid förbränning av avfall, det har främst varit skyddande murning som krävt reparationer. Eldstaden är också här inconelbelagd för att minimera slitaget. Inconelskiktet granskas regelbundet och så gott som årligen kräver det uppmärksamhet i form av mindre reparationer. Resten av pannan granskas med hjälp av mätlinjemetoden av ett ackrediterat företag som också har gjort upp en avgiftsbelagd livslängdsbaserad granskningsplan för pannan. Granskningsplanen innefattar bland annat insamling av erhållna mätresultat, analysering av data, beräkning av återstående livslängd för pannrör och förslag på kommande reparationer samt reoveringar.

Rostern är också här mekaniskt likadant uppbyggt och enskilda element reoveras eller byts ut under årsservice i förebyggande syfte eftersom zonerna slits i olika snabb takt. Griplorna har varit problematiska där det avhjälpande underhållet i stor utsträckning präglats av oljeläckor och hydraulikproblem. Stockningar på grund av aska har uppstått främst i LAB-loop-reaktorn som tvättas under varje servicestopp och primärluftförvärmaren som måste tvättas 2 till 3 gånger per linje. I pannan har man också använt sig av frekvent sprängsotning, ungefär varannan månad, för att förhindra tjocka avlagringar på framför allt överhettarna.

7 Resultat

Tabeller och slutledningar som gjorts i analysen av kraftverksunderhållet med hjälp av de nämnda metoderna i kapitel 5, bygger upp resultatet av examensarbetet. Resultatet kategoriseras och presenteras i tre delar: uppdaterade FU-uppgifter, framställda uppföljningsverktyg och en framtagen granskningsplan för pannan. I slutet av resultatkapitlet presenteras också förslag till utveckling och fortsatt forskning.

7.1 Redigering av förebyggande underhållsuppgifter

Redigering av stora mängder underhållsuppgifter i Pegasus är ineffektivt och det skulle dessutom kräva en långvarig inlärningsprocess av programmets alla funktioner. För att underlätta arbetet användes queries-funktionen i Pegasus för att enkelt kunna samla data baserat på givna kriterier. Funktionen ger en lista på de önskade objekten som sedan kan exporteras till Excel för redigering. Exporteringsprocessen utfördes tillsammans med företagets IT-chef, som innehar ett brett kunnande av Pegasus-programmet. Till Excel-filen konstruerades också sorteringsfunktioner och uppföljningsfunktioner för att underlätta redigeringen. Sammanlagt exporterades 886 arbetsuppgifter till redigering.

Redigeringsprocessen utfördes på ett systematiskt sätt eftersom datamängden var stor. Arbetsuppgifterna i redigeringsfilen sorterades enligt KKS-kod vilket betyder att genomgången gjordes utrustningsvis. Överflödiga arbetsuppgifter redigerades eller togs bort i huvudsakligen två omgångar. Den första omgången bestod av kombinerande av arbetsuppgifter och -paket samt redigering av den språkliga delen, det vill säga förbättring eller förenkling av beskrivningar. Den andra omgången bestod av en mer allmän granskning och finjustering av enskilda uppgifter. Felhistoriken studerades vid sidan om redigeringen av uppgifterna för att hitta kritiska punkter och upptäcka behov av ändringar i tidsintervallet för utförandet av uppgifterna.

En genomgång av de 886 utvalda arbetsuppgifterna som exporterades från underhållssystemet Pegasus resulterade i 557 granskade uppgifter och därmed en minskning på 37 %. Minskningen av antalet uppgifter ska leda till en smidigare arbetsgång inom underhållsavdelningen genom att ha fått bortfiltrerat de tidigare upplevda triviala och överflödiga underhållsuppgifterna. De resterande uppgifterna är uppdaterade, logiska och innehåller information på åtminstone finska och engelska men även till stor del på

svenska. Uppgifterna är dessutom redigerade med tanke på den goda och utvecklade kunskapen som byggts upp under åren hos underhållsavdelningen. Hänvisningar till dokument som innehåller mer noggranna beskrivningar från tillverkaren om hur en specifik reparation ska utföras, finns insatta åtminstone vid de uppgifter som kräver det. I bilaga 1 syns ett utklipp från redigeringsfilen med ett antal färdigt uppdaterade uppgifter. I utklippet syns endast uppgiftsnummer, dokumenthänvisning och uppgiftsbeskrivningar på tre språk. Förutom denna information finns även en mängd viktig information om bland annat intervall och länkning till KKS-objektet. Importen av de uppdaterade uppgifterna till underhållssystemet hör inte till examensarbetet och kommer därmed att utföras i efterhand.

7.2 Framställning av uppföljningsverktyg

Med hjälp av analysen har det konstaterats att framställning av olika uppföljningsverktyg skulle ge mervärde åt underhållsprocessen. Att ha data samlat på ett gemensamt ställe avlastar personalen samtidigt som analyserbarheten förbättras.

Uppföljningsverktygen är en förutsättning för att bygga upp en granskningsplan men ger samtidigt också företaget en möjlighet att införa en egen livslängdsutredning som hjälper att hålla koll på pannans skick och ta beslut om renoveringar eller förnyelser. För att införa en livslängdsutredning krävs bland annat information om servicehistoriken på pannas trycksatta system, en granskningsplan och livslängdsberäkningar av alla berörda komponenter. Livslängdsutredningar görs ofta av specialiserade externa företag som helhetslösningar eller samarbeten.

I Finland finns ingen lag där det föreskrivs om livslängdsutredningar eller kontroller utanför de periodiserade besiktningarna men i Sverige infördes däremot en sådan uppdaterad föreskrift 2017, Användning och kontroll av trycksatta anordningar (AFS 2017:3), som kompletterar tidigare föreskrifter. I 18 § nämns att en journal över återstående livslängd måste upprätthållas för anordningar med begränsad livslängd och som utsätts för skademekanismer såsom krypning, utmattning eller korrosion. Även om denna föreskrift inte gäller Westenergy som verkar i Finland, finns det många viktiga ståndpunkter i föreskriften att ta vara på som ökar på förutsägbarheten och minskar på risken av oväntade nedkörningar i och med att pannan åldras.

7.2.1 Roster

Ett av kraftverkets mest kritiska delar är rostern, som är en viktig del av förbränningsregleringssystemet. Rostern är under konstant stor påfrestning på grund av värmen samt avfallets korrosivitet och kräver därmed mycket underhåll. På grund av detta har ett uppföljningsverktyg gjorts upp för rostern för att kunna hålla koll på servicehistoriken och ta beslut om aktuella underhållsbehov. I figur 16 syns det hur blocken i zon 3 har slitits sedan de byttes ut första gången år 2017 efter fem års användning. Ett vanligt bekymmer för rostern är fastsintring av blocken på grund av att aluminiumföremål som slängts i det brännbara avfallet smälter i värmen. Detta är tyvärr inget företaget direkt kan göra något åt utan här är det avfallssorteringen som borde förbättras.



Figur 16. Slitna luftkylda rosterblock i zon 3.

Uppföljningsverktyget, som kan observeras i figur 17, är uppbyggt på basen av årsvis gjorda underhåll på de 15 individuellt verkande roster-elementen som listas i den första kolumnen. Den blåa färgen indikerar att elementen är vattenkylda och den röda färgen att de är luftkylda. Med hjälp av förkortningar på komponentnamn och underhållstyp anges vad som blivit servat. Kommentarer om exempelvis antalet delar som blivit bytta finns insatta. Informationen har hämtats från Hitachis årliga servicerapporter vid kraftverket och i viss mån från underhållssystemet Pegasus. Hitachi ger egna rekommendationer vid varje

årsservice om nästa års reparationer på basen av slitaget. Det som oftast byts ut på rostern är rosterblocken som avfallet ligger mot samt kylslangar för den vattenkylda delen. Mindre kritiska delar som årligen byts ut enligt behov är rullor, lager, bussningar och takelement. Utklippet från det framställda uppföljningsverktyget i figur 17 avslöjar att det igen börjar bli aktuellt att byta block i zon 3 om slitaget har varit lika stort som i början. I zon 4 och 5 är slitaget av blocken minimalt eftersom majoriteten av bränslet vid det steget redan förbränts helt och hållet.

Elementtikohtainen huoltohistoriataulukko arinalle

Elem.	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
E11			LU		EU,LU	LU	EU,LU	EU		
E12			LU		LU	LU	EU,LU	EU		
E13			LU		LU	EU,LU	EU,LU	EU		
E21			LU	LU	LU,PK	EU,LU	EU,LU	EU		
E22			LU	LU	LU,PU	LU	EU,LU	EU		
E23			LU	LU	LU	LU	EU,LU	EU		
E31					EU					
E32					EU					
E33					EU					
E41										
E42										
E43										
E51										
E52										
E53										

Tietoja haettu Pegasuksesta ja HZI huoltoraporteista

Lyhennykset (voi lisätä uusia)

L	Letku			K	Korjaus
E	Elementtiremontit			U	Uusinta
P	(Liitos)putki				

Jäte syöttimeltä		
E13	E12	E11
E23	E22	E21
E33	E32	E31
E43	E42	E41
E53	E52	E51
Tuhka kuokkiin		

8-tie

Figur 17. Utklipp från uppföljningsverktyg för rostern.

7.2.2 Panna

Granskningarna som gjorts för pannan har hittills tillfört mycket nyttig information tack vare ett fungerande samarbete mellan ingenjörbyrån och Westenergy. Den tillgängliga informationen om mätresultaten har i examensarbetet samlats upp och tabellerats i Exceldokument för att kunna göra en smidig analys. Datamängden har varit stor och sammanställningsprocessen mer omfattande än texten låter berätta. En ansvarig granskare från ingenjörbyrån har också intervjuats för att diskutera utformningen av granskningsplanen.

Majoriteten av resultattabellerna från de årliga tjockleksmätningarna är konstruerade på samma sätt, vilket underlättar sammanställningsprocessen. Vissa år har tabellerna ordnats annorlunda vilket har orsakat extra arbete vid sammanställningen. I framtiden kommer resultattabellerna att utformas enligt samma mall som visas i tabell 2, vilket gör det lätt att mata in resultaten i uppföljningsdokumentet i efterhand. Tabell 2 utformas av en precision av läget på mätpunkterna och innehåller alla mätresultat från en enskild mätlinje. Dessutom är skillnaden från föregående mätning kalkylerad för att snabbt kunna observera minskningen av vägg tjockleken. I pannan mäts vägg tjockleken på tuberna i överhettarna, evaporatorerna och ekonomisers årligen och individuella uppföljningsdokument har därför gjorts upp för alla dessa. Resten av pannan och konvektionsytorna granskas på basen av tidigare upptäckt slitage och skademekanismer. Uppmärksamheten har där framför allt riktats åt mätning av vägg tjocklekar för stigrör.

Tabell 2. Exempel på mätprotokoll från överhettare.

Tulistin 2							
Etupuoli							
A-lohko				A-lohko			
Alapää				Yläpää			
Putki	VANHA	UUSI	Erotus	Putki	VANHA	UUSI	Erotus
1	4,4	4,0	-0,4	1	4,9	4,9	0
2	4,4	4,3	-0,1	2	4,8	4,8	0
3	4,7	4,5	-0,2	3	5,3	5,1	-0,2
4	4,4	4,4	0	4	5,4	5,1	-0,3
5	4,6	4,4	-0,2	5	5,0	5,0	0
6	4,6	4,5	-0,1	6	5,4	5,3	-0,1
7	4,5	4,4	-0,1	7	5,2	5,1	-0,1
8	4,6	4,5	-0,1	8	5,2	5,1	-0,1
9	4,6	4,5	-0,1	9	5,3	5,1	-0,2
10	4,5	4,4	-0,1	10	5,4	5,3	-0,1
11	4,6	4,5	-0,1	11	5,2	5,1	-0,1
12	4,4	4,0	-0,4	12	5,2	5,1	-0,1
13	4,7	4,4	-0,3	13	5,0	5,0	0
14	4,4	4,4	0	14	5,1	5,0	-0,1
15	4,6	4,5	-0,1	15	5,0	5,0	0
16	4,4	4,3	-0,1	16	5,1	5,1	0
17	4,4	4,0	-0,4	17	5,1	5,0	-0,1
18	4,6	4,0	-0,6	18	4,9	4,9	0
19	4,7	4,3	-0,4	19	4,7	4,7	0
20	4,7	4,5	-0,2	20	5,3	5,2	-0,1
21	4,5	4,5	0	21	5,2	5,1	-0,1
22	4,5	4,2	-0,3	22	5,2	5,1	-0,1
23	4,6	4,5	-0,1	23	5,5	5,3	-0,2

För pannans trycksatta del har servicehistorik och reparationer samlats och tabellerats i ett skilt dokument för att underlätta uppföljningen. Reparationer för de olika områdena i pannan presenteras årsvis med tillhörande kommentarer som förtydligar skadans position och eventuell orsak. Tabellen är likadant uppbyggd som granskningsplanen i bilaga 3.

Läckage i ekonomiserdräneringar har hittills varit den främsta orsaken till plötsliga nedkörningar av kraftverket. Ett fåtal andra läckage har högst troligen uppstått på grund av felaktiga svetsar eller eventuell oförsiktighet vid reparationsarbeten. Propagerande skador har annars fångats upp och åtgärdats i tid före läckage har uppstått. Överhettarna har klarat sig från läckage men krävt extra uppmärksamhet till följd av observerad sprickbildning. Vissa enskilda tuber och dräneringar har reparerats eller bytts ut i förebyggande syfte.

I bilaga 2 kan ett utklipp från överhettarnas uppföljningsdokument studeras, där de årliga mätresultaten har sammanfattats och formaterats. Om vägg tjockleken sjunker under minimitjockleken + 1,5 mm blir rutan gul och om tjockleken sjunker under minimitjockleken + 1 mm blir rutan röd. Detta begrundar sig på att den maximala förslitningshastigheten som uppmätts har varit -1,1 mm/år och att den mest observerade förslitningshastigheten varierar mellan -0,1 och -0,4 mm/år. På detta sätt kan beslut om reparationer eller renoveringar till nästa årsservice göras åtminstone ett år på förhand utan risk för haveri.

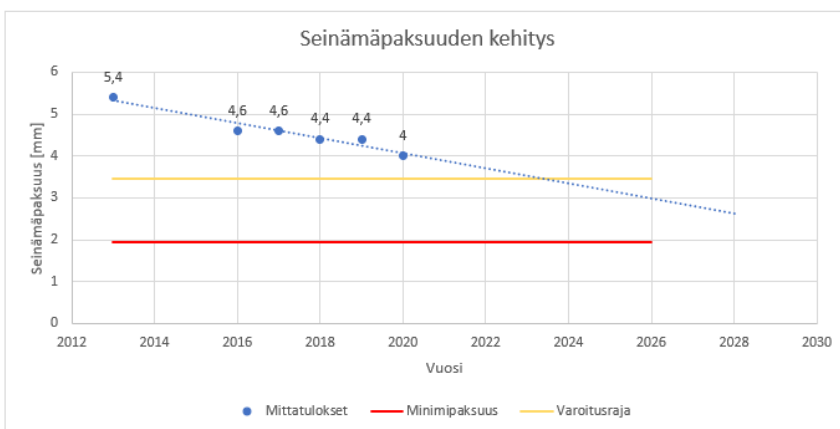
I uppföljningsdokumentet finns också möjligheten att grafiskt granska och jämföra utvecklingen av enskilda mätpunkters vägg tjocklek för att lättare kunna fånga upp onormal förslitning. I figur 18 har en önskad mätpunkt från listan valts ut på basen av mätpunktens fysiska plats. De årliga mätresultaten visas automatiskt i tabellen och matas in i en graf som punkter. Gränser för minimitjocklekar är insatta och uppdateras automatiskt i grafen då mätpunkten byts. Genom att extrapolera en lämplig trendlinje kan en approximativ livslängd visualiseras. Mätpunkten som visas i figur 18 befinner sig på en krök som är utsatt för det största slitaget och därmed borde åtminstone en mer noggrann uppföljning av delen påbörjas efter 2023 då varningsgränsen troligtvis har uppnåtts. Enligt granskningsövervakare A. Olkkola (Diskussion 15.3.2022) tenderar förslitningshastigheten att växa exponentiellt eftersom ytans area ökar i och med ytan blir grövre och ytfinheten minskar till följd av korrosion.

Mittapistekohtaiset kaaviot

Vuosimäärä 14

Valitse yksittäinen mittapiste listojen perusteella					
Paketti	Lohko	Putki	Sivu	Sijainti	Tulos
Tulistin 2	A-lohko	1	Etupuoli	Alapää	UUSI

Mittapisteen vuosilukemat (grafiikkaan)						
Vuosi	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Lukema [mm]	5,4	#N/A	#N/A	4,6	4,6	4,4
Min.paks.	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95
Min. + 1,5	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45



Kohde	minimi	min. + 1,5
Tulistin 1	1,81	3,31
Tulistin 2	1,95	3,45
Tulistin 3	1,32	2,82
Tulistin 4	1,72	3,22

Figur 18. Framställt verktyg för analys av förlitningshastighet i konvektionstuber.

Oberoende av slitaget är livslängden för konvektionstubererna i pannan ungefär 25 år med de nuvarande årliga driftstimmarna, vilket betyder att det kring år 2037 är dags att byta även sådana ursprungliga tuber som ännu har en tillräcklig vägg tjocklek. I vissa fall kan detta betyda byte av hela eller en stor del av pannan.

7.3 Granskningsplan för panna

Studier av servicehistorik, gjorda granskningar och tillvägagångssätt vid både Westenergy och andra företag har möjliggjort framställning av uppföljningsverktyg som slutligen resulterat i en framtagna granskningsplan för pannan. Planen är levande och bör uppdateras vartefter ny information om reparationer eller granskningar finns tillhanda.

I bilaga 3 kan den framtagna planen med insatta provningsmetoder för utförda och kommande granskningar studeras närmare som en helhet. Eftersom slitaget kan variera i intensitet och behovet av granskningar ändras i och med pannans ålder, har en 5-årig preliminär plan gjorts upp. Praktiska saker som placering av arbetsställningar inuti pannan har tagits i beaktande vid planeringen. Om exempelvis tjockleken på den bakre väggen i andra draget ska mätas är det också lönsamt att samtidigt mäta eller åtminstone visuellt granska den främre väggen och sidoväggarna i samma drag eftersom ställningarna byggs i hela draget.

Längst ner i eldstaden är det en god idé att utföra visuella granskningar varje år eftersom pannan börjar åldras och temperaturen samt påfrestningen är som högst här. Magnetpulverprovning kan utföras enligt möjlighet där inconelbeläggning saknas. Detta förutsätter att skyddande murningar tas bort och görs om efter utförd provning.

Hela första draget i pannan är inconelbelagt ända upp till samlingslådorna. Det har konstaterats under arbetets gång, på basen av tidigare observationer, att förslitningen av inconelskiktet är minimalt men att fina sprickor lätt uppstår på ytan. På grund av detta är det som tabell 3 låter veta, lämpligt att utföra penetrantprovning exempelvis vart tredje år och visuella granskningar mellan dessa. Under arbetets gång lades det märke till att ena uppsättningen av anslutningsrören som löper genom dragen från mellanväggarnas samlingslådor inte har kontrollerats och att en tjockleksmätning vore aktuellt för att verifiera konditionen.

Tabell 3. Granskningar i drag 1.

Tarkastususkohde		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Syt. Kammio	o.alaosa		UT		MT						VT	VT	VT	VT	VT	VT
	v.alaosa		UT		MT						VT	VT	VT	VT	VT	VT
	katto				Inc						PT	VT	VT	PT	VT	VT
1.veto / tulip.	etu				Inc			PT				PT		VT	PT	
	oikea	UT	UT		Inc			PT				PT		VT	PT	
	vasen	UT	UT		Inc			PT				PT		VT	PT	
	katto				Inc, MT							PT		VT	PT	
	jakotukki				Inc		PT				PT			VT	PT	
	yhdysputket				Inc						UT			VT	PT	
	etup.	UT	UT, PT		Inc			PT				PT		VT	PT	
1-2 seinä	takap.		UT				UT		UT				UT		UT	

I det andra draget har slitaget hittills varit jämnt vid Westenergy men vid den externa studien observerades att behovet av renoveringar ökat mellan det 10:e och 20:e verksamhetsåret vid företag A. Till följd av detta borde granskningar, gärna tjockleksmätningar, inledningsvis göras vart annat år enligt tabell 4 och om läckor börjar uppstå kan visuella granskningar göras varje år.

Tabell 4. Granskningar i drag 2.

Tarkastususkohde		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
2.veto	vasen						UT		UT		UT		UT		UT	
	katto												UT		UT	
	hopper	UT	UT	UT			UT		UT		UT		UT		UT	
	yhdysputket												UT			
2-3 seinä	etup.	UT					UT		UT		UT		UT		UT	
	takap.						VT					UT		UT		UT

I det tredje draget har slitaget varit minimalt både i den egna pannan och i pannorna vid de andra kraftverken i den externa studien. I tabell 5 syns det att tjockleksmätningar lämpligen utförs vart annat år enligt resurser för att bibehålla god uppföljningskvalitet, fastställa den rådande konditionen och fånga upp eventuellt onormalt slitage.

Tabell 5. Granskningar i drag 3.

Tarkastususkohde		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
3.veto	taka		UT, MT	UT			UT		UT			UT		UT		UT
	oikea		UT				VT		UT			UT		UT		UT
	vasen		UT				VT		UT			UT		UT		UT
	ghdysputket		UT									UT				UT
	katto		UT				VT		UT			UT		UT		UT
	hopper	UT					VT		UT			UT		UT		UT

I tabell 6 presenteras granskningarna för det horisontella (fjärde) draget, som består av överhettarnas, evaporatorernas och ekonomisrarnas tubpaket samt konvektionsytor i väggarna. Tjockleken mäts årligen på alla tubpaket för att erhålla en så god uppföljningskvalitet som möjligt och därmed underlätta analyser. Genom att göra årliga mätningar kan den resterande livslängden uppskattas och eventuellt växande slitage fångas upp snabbt. Magnetpulverprovning utförs på dräneringar eftersom dessa har uppvisat tecken på sprickbildning. Under årsservicen 2022 byts dräneringarna för överhettarna samt ekonomisers och därför kan nästa magnetpulverprovning göras först om ungefär 5 år på basen av tidigare erfarenhet. Intervallet förkortas successivt då tuberna åldras och om sprickor börjar uppstå eller om pannans drift avviker från det normala. Ekonomisers borde efter denna period granskas med tätare intervall för att undvika upprepning av läckage. Överhettarna har inte haft problem med läckage och därmed kan granskningen av dräneringarna utföras med samma intervall som förut. Evaporatorernas dräneringar granskas vart tredje år till en början eftersom inga indikationer på sprickor har gjorts.

Tabell 6. Granskningar i horisontellt drag.

Tarkastususkohde		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Vaakaveto	sivut						VT	VT				VT				VT
	katto										VT					
	luukut	UT	UT				UT	VT	UT			UT		UT		
EVA 1	putket	UT	UT			UT	UT	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT	UT
	tyhjennykset									MT			MT			MT
EVA 2	putket	UT	UT			UT	UT	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT	UT
	tyhjennykset									MT			MT			MT
Tulistin 4	putket	UT	UT		UT	UT	RT,UT	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT	UT
	tyhjennykset					MT	MT	MT	MT		vaihto					MT
EVA 3	putket	UT	UT			UT	UT	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT	UT
	tyhjennykset									MT			MT			MT
Tulistin 3	putket	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT	UT
	tyhjennykset					MT	MT	MT	MT		vaihto					MT
Tulistin 2	putket	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT	UT
	tyhjennykset					MT	MT	MT	MT		vaihto					MT
Tulistin 1	putket	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT	UT
	tyhjennykset					MT		MT	MT		vaihto					MT
EKO 4	putket	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT	UT
	tyhjennykset									MT		vaihto				MT
EKO 3	putket	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT	UT
	tyhjennykset									MT		vaihto				MT
EKO 2	putket	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT	UT
	tyhjennykset									MT		vaihto				MT
EKO 1	putket	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT		UT	UT	UT	UT	UT	UT
	tyhjennykset									MT		vaihto				MT

Andra delar som är direkt anslutna till pannan och borde granskas syns i tabell 7 och dessa är ångdomen, fallrören och rörkrökarna för matarvattenanslutningen till pannan samt ångan ut från pannan. Ångdomen borde visuellt granskas åtminstone vart fjärde år enligt

tryckkärlsdirektivet och magnetpulverprovning ska också utföras på inbördes svetsar och anslutningar i samband med granskningen. Rörkrökar med höga strömningshastigheter utanför och i anslutning till pannan granskas lämpligen med tre till fem års mellanrum med avseende på erosionskorrosion och förslitning. Om pannvattnet konstant hålls i kemiskt gott skick med bland annat korrekt pH och låg syrehalt är också slitaget på rören minimalt.

Tabell 7. Granskningar av direkt anslutna rör och kärl.

Tarkastusukohte	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Lieriö					MT						MT		VT		MT
Sylve sisään					UT						UT				UT
Päähöyry ulos											UT				UT
Laskuputket										UT				UT	

7.4 Utveckling och fortsatt forskning

I skrivande stund pågår årsservice vid Westenergy och en mängd intressant information är att vänta från det två veckor långa stoppet. Senaste årsservice gjordes för ett och ett halvt år sedan, till skillnad från det normala 1-åriga intervallet, vilket säkerligen kommer att märkas i årets mätresultat. Efter årets service blir det speciellt intressant att se i vilket skick överhettarna och inconelbeläggnigen i eldstaden är.

Pannan har nyligen genomgått en effektökning där bränsleeffekten och ångproduktionen höjts. Slitaget och belastningen på pannan och utrustningen förväntas öka på underhållsbehovet och uppföljningen av underhållet kommer därför spela en viktig roll i att hitta eventuella svaga punkter. De svagaste punkterna är redan identifierade och förstärkta samt under uppföljning.

Examensarbetets mål har uppnåtts och det finns god potential till vidareutveckling av olika slag. De uppdaterade uppgifterna ska matas in i underhållssystemet och resten av det förebyggande underhållet samt arbetsuppgifterna borde också granskas och optimeras eftersom detta arbete endast beaktat utrustning levererat av pannstillverkaren. Utrustningen i rökgasreningen har andra leverantörer och borde också granskas för att det inte ska bli problem med exempelvis utsläpp. Pannans granskningsplan kunde framöver kompletteras med uppföljningsverktyg för andra utsatta tryckkärl eller komponenter anslutna till pannan, exempelvis matarvattentanken och kyltornet efter pannan. Dessutom kunde mer kompletta livslängdsutredningar upprättas med hjälp av resultatet som uppnåtts i examensarbetet. Resultatet i detta arbete kunde också användas till att analysera hur avfallskvaliteten eller andra väsentliga faktorer påverkar slitaget i pannan.

För att upprätthålla en god uppföljningskvalitet, öka på förutsägbarheten och hålla det förebyggande underhållet uppdaterat är det viktigt att i framtiden hålla ordning på tekniska dokument och sammanställa ny information i gemensamma dokument.

8 Diskussion och sammanfattning

I början av examensarbetet presenterades anläggningens processteg och teori gällande grundläggande underhåll och bestämmelser angående tryckbärande anordningar. Ångpannans skademekanismer och granskningar har sammanfattats men inga djupare redovisningar om fenomenen har gjorts på grund av projektets tidtabell och arbetets omfattning. För mig var bakgrundskunskapen för kraftverksteknik och ångpannor i början av arbetet på en väldigt allmän nivå och arbetet har därmed förutsatt en grundlig genomgång av pannans uppbyggnad vilket i sig har varit en ytterst intressant process. Avgränsningar var nödvändiga för att det rätt så teoretiskt breda arbetet inte skulle dra ut på utexamineringens tidpunkt.

Studierna av anläggningarna under examensarbetet visar att kraftvärmeverket vid Westenergy är och hålls ständigt i gott skick även om avfallsförbränning ur underhållssynvinkel är otacksamt på grund av det kraftiga slitaget som observerats vid många kraftverk. Underhållsinsatserna har helhetsmässigt visat sig vara tillräckliga och extra servicestopp utöver de årliga har undvikits under flera år efter kraftverkets inkörningsfas.

Den tio år gamla pannan är i förvånansvärt gott skick för sin ålder och inga stigrör har behövts förnyas. De ursprungliga överhettartuberna används ännu men under de närmaste åren kommer troligen byten att krävas. Dräneringar i det horisontella draget har varit mest utsatta för läckage och granskningar av dessa har intensifierats och kommer framöver också att kräva uppmärksamhet. Granskningarna som ordnats på pannan har hittills fördelats bra och varit lyckade även om det inte har skett optimalt systematiskt sett. Den nya granskningsplanen ska hjälpa den kunniga personalen och driftsövervakaren med att planera granskningar och reoveringar på ett metodiskt sätt.

Jag vill rikta ett speciellt tack till handledarna från både skolans och företags sida för de goda råd och all den fackliga hjälpen jag fått. Ett stort tack till resten av den stöttande personalen på Westenergy som bland annat hjälp till med att söka fram internt material

och svara på de frågor jag haft. Det har verkligen effektiviserat arbetsgången. Slutligen vill jag ännu uttrycka ett varmt tack för samarbetsvilligheten hos granskningsföretaget och till de intervjuade personerna på de externa företagen som delat med sig av sin kunskap och information om underhållsverksamheten på respektive anläggningar. Informationen har gett viktiga jämförelsefaktorer för utvecklingens skull samt en ökad trovärdighet till arbetet och resultatet.

9 Källförteckning

- AE&E Duro Dakovic. (2010). Calculation sheets for heating surfaces. Slavonski Brod, Kroatien.
- Användning och kontroll av trycksatta anordningar (AFS 2017:3)*. (2017). Hämtat från https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/ursprungs/ursprungsAFS2017_3.pdf
- Breeze, P. (2005). Power Generation Technologies. Oxford: Newnes.
- Hagberg, L., & Henriksson, T. (2018). *Underhåll i världsklass*. Lund: OEE Consultants AB.
- Hitachi Zosen Inova AG. (2012). Driftsinstruktioner. Westenergy internt material.
- Hukkanen, R. (2021a). Kattilalaitoksen tarkastus/vauriot (Presentationsmaterial). Uleåborg.
- Hukkanen, R. (2021b). Kattilalaitoksen vikaantumisen (Presentationsmaterial). Uleåborg.
- Järviö, J., Piispa, T., Parantainen, T., & Åström, T. (2007). *Kunnossapito*. Helsingfors: KP-Media Oy.
- Karjunen, T. (2021). Vesi-höyrypiirin vesikemia ja ohjeavot eri ajotilanteissa. VARO Teollisuuspalvelut.
- Klarin, A. (2009). Kattilan korroosio ja päästöt. *Promaint*, ss. 26-29.
- Kunnossapidon terminologia SFS-EN 13306:2017. (2017). Hämtat från <https://online.sfs.fi/>
- Lag om tryckbärande anordningar (1144/2016)*. (2016). Hämtat från <https://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/2016/20161144>
- Säkerhets och kemikalieverket TUKES. (u.d.). *Bevakning av tryckbärande anordningar*. Hämtat från <https://tukes.fi/sv/produkter-och-tjanster/tryckbarande-anordningar/bevakning-av-tryckbarande-anordningar> den 14 Mars 2022
- Säkerhetsteknikcentralen TUKES. (2016). *Tryckbärande anordningar*. Hämtat från <https://docplayer.se/6808040-Tukes-guide-tryckbarande-anordningar-sakerhetsteknikcentralen-sakerhetsteknikcentralen-tryckbarande-anordningar.html>
- Serén, N. (2016). *Service and maintenance management optimisation and database clean-up of COMOS MRO - Pegasus*. Magisterexamen i Energiteknik. Vasa: Åbo Akademi.
- Statsrådets förordning om tryckbärande anordningars säkerhet (1549/2016)*. (2016). Hämtat från <https://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/2016/20161549>
- Westenergy. (2020). *Westenergy Oy Ab:n jätteenpolttolaitos 2020*. Ympäristö.fi. Hämtat från

https://www.ymparisto.fi/download/Westenergyn_vuosiraportti_2020/87f18f1f-9948-43bb-a09f-608f97c41058/165993

Westenergy. (u.d.a). *Anläggningen*. Hämtat från <https://westenergy.fi/> den 10 Januari 2022

Westenergy. (u.d.b). *Cirkulär ekonomi*. Hämtat från <https://westenergy.fi/sv/> den 10 Januari 2022

