



jamk

Saostuskemikaalijärjestelmän käyttövarmuuden parantaminen

Sakke Lämsä

Opinnäytetyö, AMK

Joulukuu 2023

Insinööri (AMK), Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Lämsä Sakke**Saostuskemikaalijärjestelmän käyttövarmuuden parantaminen**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Joulukuu 2023**, 33 sivua.

Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Metsä Fibre Oy, Äänekosken biotuotetehdas, joka valmistaa sellun ohella monenlaisia biopohjaisia tuotteita. Työn tavoitteena oli tutkia tehtaan vedenkäsittelyprosessiin liittyvän saostuskemikaalijärjestelmän käyttövarmuutta, sekä pyrkiä keksimään kehityskohteita käyttövarmuuden parantamiseksi.

Vesi on elinehto sellun valmistuksessa, sillä se kattaa jäähdytysvedet, kuitujen kuljetukset massan valkaisu-prosessissa, sellumassojen puhdistuksen, kuitusidoksien syntyminen kuivauskoneella, sekä lisäveden valmistus voimalaitoksille, jonka myötä prosessihöyryn valmistuksen. Järjestelmään on kohdistunut paljon häiriötilanteita, joiden juurisyitä haluttiin selvittää. Juurisyiden, sekä tarkempien tutkimuksien perusteella opinnäytetyön tarkoituksena oli listata erilaisia kehityskohteita suunniteltaessa uutta järjestelmää.

Tutkimuksen toteutustapana kehittämistutkimus. Ongelmasta hankittiin tietoa määrällisesti häiriö, sekä tuotantotietojen avulla, jotka löytyivät tietojärjestelmästä. Haastattelujen, havainnoinnin, sekä asiantuntijoiden kanssa käytyjen keskustelujen perusteella syvennettiin ongelmatilanteiden ymmärrystä ja niihin johdettavia syitä.

Tuloksena syntyi uusi paranneltu järjestelmä, jonka tavoitteena on pyrkiä jatkossa parantamaan käyttövarmuutta, sekä tukea kunnossapidettävyyttä. Paranneltu järjestelmä mahdollistaa myös tuotannon aikana tapahtuvat mahdolliset muutostyöt, sekä ennakkohoultoprosessien suunnittelun.

Avainsanat (asiasanat)

Käyttövarmuus, kunnossapito, biotuotetehdas

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Lämsä Sakke

Improving the reliability of the precipitation chemical system

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2023, 33 pages.

Degree Programme in Mechanical Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The client for the thesis was Metsä Fibre Oy, Äänekoski Bioproduct Mill, which produces various biobased products in addition to pulp. The objective of the thesis was to investigate the reliability of the precipitation chemical system related to the mill's water treatment process and to identify areas for improvement to enhance dependability.

Water is crucial in pulp production, covering cooling water, fiber transport in the pulp bleaching process, pulp cleaning, the formation of fiber bonds in the drying machine, and additional water production for power plants, leading to process steam generation. The system has experienced numerous faults and disturbances, and the root causes of these disruptions were sought to be identified. Based on the root causes and detailed examinations, the purpose of the thesis was to list various improvement areas for designing a new system.

The research methodology employed was design research. Information on the problem was gathered quantitatively through fault and production data available in the information system. Interviews, observations, and discussions with experts were conducted to deepen the understanding of problem situations and their underlying causes.

The result was a new and improved system aimed at enhancing dependability and supporting maintainability in the future. The improved system also allows for possible modifications during production and facilitates the planning of preventive maintenance processes.

Keywords/tags (subjects)

Dependability, maintenance, bioproduct factory

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto.....	3
1.1	Toimeksiantaja.....	3
2	Tutkimusasetelma	4
2.1	Työn tavoite	4
2.2	Tutkimusongelma ja kysymykset	5
2.3	Tutkimusmenetelmät	6
2.3.1	Laadullinen tutkimus	7
2.3.2	Määrällinen tutkimus	7
3	Kunnossapito.....	8
3.1	Kunnossapitolajit	8
3.1.1	Parantava kunnossapito	9
3.1.2	Ennakoiva kunnossapito.....	9
3.2	Käyttövarmuus.....	10
	Toimintavarmuus.....	11
3.3	Käynnissäpito.....	12
4	Vika ja vikaantuminen	12
4.1	Vioittumistapa	12
4.2	Vikaantumisen syyt.....	13
4.3	Vikaantumattomaan toimintaan pyrkiminen	14
5	Luotettavuus	15
5.1	Redundanssi.....	16
6	Veden rooli sellunvalmistuksessa.....	17
6.1	Raakaveden käsittely	19
6.1.1	Kemiallinen puhdistus	20
7	Saostuskemikaalijärjestelmä.....	22
7.1	Järjestelmän toimintaperiaate.....	23
7.2	Polyalumiinikloridi	24
8	Kemikaalijärjestelmän käyttövarmuuden parantaminen.....	25
8.1	Vikaantumisien syyt.....	26
8.2	Kehityskohteet.....	26

9 Tulokset	27
10 Pohdinta	31
Lähteet	32

Kuviot

Kuvio 1: Metsä Fibre Oy, Äänekosken biotuotetehdas.	4
Kuvio 2: Käyttövarmuusermit ja niiden liittyminen toisiinsa.	11
Kuvio 4: Stand-by redundanssi variaatiot.	17
Kuvio 5: Raakaveden käsittely käyttökohteittain.	19
Kuvio 6: Kemiallinen puhdistus.	22
Kuvio 7: Saostuskemikaalijärjestelmä luotettavuuslohkokaavio.....	23
Kuvio 8: Polyalumiinikloridin tekniset ominaisuudet.	25
Kuvio 10: Uuden saostuskemikaalijärjestelmän luotettavuuslohkokaavio.	29

Taulukot

Taulukko 1: Vikatilanne ja vioittumistapa	13
Taulukko 3: Luotettavuuslaskenta.....	30

1 Johdanto

Työn aiheena on Metsä Fibre Oy, Äänekosken biotuotetehtaan vesilaitoksen saostuskemikaalijärjestelmän kehittäminen. Järjestelmässä on havaittu ongelmakohtia, sekä häiriöistä johtuvia katkoksia, jotka ovat johtaneet ääritilanteissa vedenkäsittelyprosessin alasajoon. Työssä tutkitaan konkreettisia ongelmakohtia, sekä juurisyitä katkoksille, joiden pohjalta suunnitellaan uusi paranneltu käyttövarmempi järjestelmä.

Saostuskemikaalin annostelu on yksittäinen osa vedenkäsittelyprosessia, joka sijoittuu kemiallisen puhdistuksen alle. Järjestelmän tarkoitus on parantaa vedenpuhdistus ja selkeytysprosessia, jotta vesi voi jatkaa tarpeeksi laadukkaana mm. hiekkasuodatus, sekä suolanpoistoprosessiin. Häiriö kemikaalijärjestelmässä voi aiheuttaa koko vedenkäsittelyprosessille katkoksen, joka sisältää mm. voimalaitosvesien valmistuksen, jonka kautta höyryntuotannon päättymisen. Vesi on elinehto tuotannolle.

Vesi on sellunvalmistuksessa elintärkeä komponentti, sillä vedellä kuljetetaan, lämmitetään, tiivistetään, pestään, mahdollistetaan kuitusidokset, sekä puretaan kuitusidokset. Tästä syystä riittävä vedensaanti on elinehto koko tehdasintegraatille. (KnowPulp 2023.)

1.1 Toimeksiantaja

Metsä Fibre Oy, Äänekoski

Opinnäytetyön toimeksiantajana Metsä Fibre Oy:n Äänekosken biotuotetehtas. (Kts. Kuvio 1) Tehdas on valmistunut, sekä aloittanut tuotantonsa vuonna 2017. Tehtaan omaan henkilöstöön kuuluu n. 240 henkilöä ja suorassa arvoketjussa työllistävä vaikutus n. 2500 henkilöä.

Biotuotetehtas valmistaa päätuotteenaan havu- ja koivusellua 1,3 milj. tonnia vuodessa kartongin, pehmo-, tiivis- ja painopaperin, sekä erikoistuotteiden raaka-aineeksi. Tehdas käyttää raaka-ainettaan 6,5 milj. kuutiometriä kuitupuuta vuodessa, josta havupuun osuus on 4,5milj. kuutiometriä, sekä koivupuun osuus 2 milj. kuutiometriä. (Metsä Group, Äänekosken biotuotetehtas esite 2022)



Kuvio 1: Metsä Fibre Oy, Äänekosken biotuotetehdas (Metsä Fibre n.d.)

Tehdasta kutsutaan sellutehtaan sijasta biotuotetehtaaksi, koska se valmistaa havu ja koivusellun lisäksi paljon muita erilaisia biotuotteita esim. mäntyöljyä, tärpättiä, rikkihappoa, tuotekaasua, bioenergiaa, sekä biopellettiä ja -kaasua.

Tehdas tuottaa 2,4 kertaisen määrän biopohjaista sähköenergiaa verrattaen omaan kulutukseensa, eikä tuotannossa vaadita lainkaan fossiilisia polttoaineita. Sähkön tuotantokapasiteetti on 1,8 terawattituntia vuodessa, joka vastaa 2,5 % koko suomen sähköntuotannosta. Oman tuotannon lisäksi bioenergiaa myydään sähkönä verkkoon, sekä käytetään lähialueiden kaukolämpönä. (Metsä Group, Äänekosken biotuotetehdas 2023)

2 Tutkimusasetelma

2.1 Työn tavoite

Työn tarkoituksena on tutkia, sekä kehittää yrityksen vedenvalmistusprosessin saostuskemikaalijärjestelmää käytettävyyden, sekä huollettavuuden näkökulmasta. Järjestelmä on vikaherkkä, sekä

vikatilanteet aiheuttavat suuria negatiivisia muutoksia tuotantoon. Opinnäytetyön suurimpina tavoitteina on tutkia vikaantumisien syitä, sekä pyrkiä kehittämään järjestelmää niin, että vikatilanteissa häiriöihin voidaan reagoida paremmin, sekä vedentuotanto voidaan pitää käynnissä.

Aihe on yritykselle tärkeä, koska häiriö kemikaalijärjestelmässä voi aiheuttaa koko vedentulovalmistusprosessille katkoksen, joka sisältää mm. voimalaitosvesien valmistuksen, jonka kautta monen prosessin elinehtona toimivan höyryntuotannon päättymisen.

Työn tavoitteena on selvittää ongelmakohdat ja juurisyyt vikaantumisille, jonka pohjalta voidaan ottaa kaikki muuttujat, sekä tärkeät kehityskohdat huomioon uutta järjestelmää suunniteltaessa. Kemikaalijärjestelmän tämänhetkinen tilanne on heikko. Järjestelmää on jouduttu muokkaamaan ja korjaamaan väliaikaisella ratkaisulla toimivaksi, jotta vedentulovalmistusprosessi ei lakkautuisi.

Tavoitteena on saada suunniteltua pysyvä ratkaisu järjestelmälle, joka olisi käyttövarmempi mahdollisten vikaantumisien varalle, sekä täyttäisi materiaalitekniset kriteerit, joita saostuskemikaalit asettavat laitteistolle, myös tulevaisuudessa.

2.2 Tutkimusongelma ja kysymykset

Tutkimusongelman määrittäminen on opinnäytetyön kannalta tärkeää, sillä se ohjaa koko tutkimusprosessin kulkua. Opinnäytetyö luokitellaan tieteelliseksi tutkimukseksi, jonka tarkoitus on vastata tutkimusongelmaan, joten jokainen tieteellinen tutkimus vaatii tutkimusongelman.

Usein työn alkuvaiheessa tutkimusongelman määrittäminen voi olla haasteellista, koska ongelma ei ole vielä täsmentynyt. Aloitusvaiheessa tutkimusongelmat voivat olla todella laajoja, sen vuoksi tutkimusongelmia täytyy rajata, jottei tutkimuksen toteuttaminen koidu ylivoimaiseksi. Liiallista rajausta täytyy kuitenkin välttää varsinkin alkuvaiheessa, koska se saattaa sulkea mahdollisuuksia ja supistaa tutkimuksen kulkua liiallisesti tietyille osalle. Tutkimusongelman tarkempi määrittäminen voi tapahtua vasta tutkimuksen edetessä tai jopa loppuvaiheessa. (Kananen 2015, 41–51.)

Tutkimuksen kulkua ja prosessointia helpottaa se, että ongelma muutetaan kysymykseksi. Kysymys- ja vastaustekniikka selkeyttää, sekä helpottaa työtä. Tutkimuskysymyksen avulla voidaan keskittää etsintä oikealaiseen aineistoon, jonka avulla löydetään vastaus tutkimuskysymykseen ja tutkimusongelma ratkeaa. (Kananen 2015, 55.)

Tutkimuskysymyksillä on suuri merkitys työn laajuudessa, sekä ne helpottavat ohjaamaan työn kulkua. Työn alkuvaiheessa on hahmoteltava tutkimuskysymyksiä toimeksiantajan kanssa, mutta tutkimuskysymykset kohdentuivat tarkemmin vasta työn edetessä.

1. Mikä on juurisyyinä kemikaalijärjestelmän häiriötilanteille?
2. Mitä järjestelmässä parannettavaa kunnossapidettävyyden kannalta?
3. Miten järjestelmää voidaan parantaa, jotta saavutetaan parempi käyttövarmuus?

2.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmä on keino, jolla tuodaan ratkaisu tutkimusongelmaan. Oikean menetelmän valinta edellyttää tutkimusongelman hyvää tuntemista. Tiedemaailma on hyväksynyt ja todennut oikeaksi menetelmiä, joilla ratkaisu voidaan tuottaa. Oikeanlaisilla menetelmillä saadaan tuotettua luotettavaa tietoa, jolle ratkaisu voidaan perustaa. (Kananen 2015, 65.)

Tutkimusmenetelmät jaotellaan karkeasti laadulliseen (kvalitatiivinen) ja määrälliseen (kvantitatiivinen) tutkimukseen. Kehittämisen-, case-, ja toimintatutkimusta ei usein lasketa menetelmäkokonaisuuksiksi, vaan ne nähdään tutkimusstrategiana. Edellä mainitut tutkimukset nähdään strategioina siksi, koska niillä menetelmillä ei ole omaa metodologiaansa, vaan ne hyödyntävät laadullista, sekä määrällistä tutkimusta. (Kananen 2015, 67.)

2.3.1 Laadullinen tutkimus

Kvalitatiivinen tutkimus on tutkimustapa, joka perustuu tulkintaan. Sitä käytetään tutkiessa ihmisen monipuolista sosiaalista todellisuutta silloin, kun tavoitteena on kuvata jokin ilmiö/asia ihmisen kokemusten avulla tai ymmärtää ihmisten tuottamia monitulkintaisia merkityksiä. (Vilkkä 2021, 11.)

Laadullinen tutkimus mahdollistaa ilmiön ymmärtämisen, jonka ansiosta ymmärretään mistä ilmiössä on kyse. Joidenkin asioiden kuvailu on mahdotonta muuten, kuin tekstin avulla esim. ihmisten suhtautuminen ja asenteet. Monimutkaisien prosessien kokonaisvaltainen ymmärtäminen vaatii usein laadullista kuvausta erilaisista ilmiöistä prosessin sisällä. Tutkimustapana Laadullinen tutkimus on joustava. Laadullisessa tutkimuksessa ei lyödä mitään ns. ”lukkoon”, vaan voidaan toimia ja edetä tilanteen mukaan. Tämä mahdollistaa tutkimuksen ajautumisen umpikujaan, koska mahdollisuuksia edetä on liian paljon, eikä fokusoida tiettyä polkua.

Laadullinen tutkimus vaatii suurta panostusta kenttätööhön, koska havainnoinnissa, sekä haastatteluissa saa kulumaan aikaa. Haastattelujen ja havainnoinnin jälkeen kerättävän aineiston analysointi on myös hidasta ja haasteellista. Analyysia kirjoittaessa valinnat ja väitteet täytyy aina perustella, joka on haastavaa, koska laadullisessa tutkimuksessa ei ole tarkkoja tulkintaohjeita, kuten kvantitatiivisessa tutkimuksessa. (Kananen 2015, 70–72.)

2.3.2 Määrällinen tutkimus

Kvantitatiivinen tutkimus on yleensä kysely, jolla saadaan kerättyä tutkimusaineistoa. Kvantitatiivista tutkimusta käytetään, kun on tarve selittää ja ymmärtää ihmisten kokemuksia, sekä käsityksiä asioista ja miten ne jakautuvat ihmisten keskuudessa.

Tutkimustapa toimii silloin kun haluat selvittää, kuinka usein jokin asia ilmenee ja haluat saada vastauksen kysymykseen, miksi asiat ilmenevät juuri tutkimuksen kuvaamalla tavalla. (Vilkkä 2021, 14.)

Määrällinen tutkimus edellyttää asian tuntemista, eli taustalta täytyy löytyä teoria tai teorioita, joka selittää ilmiötä. Vahvan tuntemuksen ilmiötä kohtaan voidaan laatia tutkimuskysymykset.

Tutkimuskysymyksiä vastauksien tuottavuuden kannalta täytyy myös pohtia apukysymyksiä, jotka tarkentavat kysymystä yksityiskohtaisesti.

Määrällistä tutkimustapaa voidaan käyttää myös tilastoille tai tietokannoille. Tietokantoja ja tilastoja tutkiessa on ongelmana se, että tiedot on saatettu kerätä erilaisiin tarkoituksiin, jolloin ne eivät suoranaisesti sovi käytettäväksi tutkimusongelman ratkaisemisessa. Valmiita kerättyjä aineistoja voidaan käyttää kuitenkin oman tulkinnan vahvistamisessa esim. vertailemalla. (Kananen 2015, 73–76.)

3 Kunnossapito

Kunnossapito on koneen tai laitteen elinaikana kohdistuvat kaikki toimenpiteet, joiden tarkoitus on säilyttää tai palauttaa kohteen toimivuus sellaiseksi, että se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon. Toimenpiteet voi olla liikejohdollisia, hallinnollisia tai teknisiä. (Järviö ym. 2017, 17)

Suurimmat tavoitteet kunnossapidolla ovat tuotannon kokonaistehokkuus (KNL), sekä käyttövarmuus, joka koostuu kunnossapidettävyydestä, toimintavarmuudesta ja kunnossapitovarmuudesta. Näiden lisäksi ympäristön huomioiminen, turvallisuus, sekä kustannustehokkuus ovat suuria tavoitteita. (PSK 6021:2022)

3.1 Kunnossapitolajit

Kunnossapidon tekemisten järjestely eri lajeiksi, eli kunnossapitolajeiksi on perusedellytyksenä tehokkaalle johtamiselle. Erilaisilla jaoilla pystytään mm. seuraamaan kunnossapidon tehokkuutta vertailemalla tehtyjen työtuntien tai erilaisten työlajien kustannuksien määrää. (Järviö ym. 2017, 46)

Kunnossapitolajit sisältävät erilaisia toimenpiteitä, joilla kone tai laite saatetaan toimintakuntoon, pidetään kohde halutussa toimintakunnossa, parannetaan kohteen käyttövarmuutta, todetaan kohteen toimintakunto, tai toimenpiteitä, joihin kuuluu kunnossapidon resurssien käyttö. (PSK 6201:2022)

3.1.1 Parantava kunnossapito

Parantavan kunnossapidon tarkoituksena on parantaa kohteen luotettavuutta ja kunnossapidettävyyttä muuttamatta kohteen toimintoa. (PSK 6201:2022)

Parantava kunnossapito voidaan jakaa kolmeen pääryhmään. Ensimmäisessä ryhmässä kohdetta muutetaan käyttämällä uudempia osia tai komponentteja kuin alkuperäiset, mutta kohteen suorituskykyä ei varsinaisesti muuteta.

Toisen pääryhmän muodostavat erilaiset uudelleensuunnittelut ja korjaukset, joiden tarkoituksena on muuttaa koneen toimintaa luotettavammaksi, eikä niinkään parantaa suorituskykyä.

Kolmanteen pääryhmään kuuluvat modernisaatiot, joissa kohteen suorituskykyä muutetaan. Yleensä modernisaatiolla uudistetaan sekä kone että valmistusprosessi. Esimerkiksi jos vanhentuneella paperikoneella ei pystytä valmistamaan kilpailukykyisesti uutta paperilajia, mutta koneella on vielä elinaikaa jäljellä, on järkevämpää uudistaa se kuin romuttaa. Tämä tilanne esiintyy yhä useammin, kuin koneen elinjakso on pidempi kuin sen valmistamien tuotteiden elinkaaret. Vanhalla koneella ei pystytä kilpailukykyisesti valmistamaan sellaisia tuotteita, kuin mitä markkinat haluaisivat.

Modernisaatiot ovat kunnossapidon palveluyritysten ns. syömähampaita. Usein näitä parannuksia pidetään investointitöinä eikä niitä tunnisteta varsinaiseksi kunnossapidoksi. Kuitenkin, kun tarkastellaan tuotanto-omaisuuden hallintaa käsitteenä, näkemys näistä toimenpiteistä muuttuu, vihdoten siihen, että ne ovat olennainen osa tehokasta tuotanto-omaisuuden hallintaa tai ylläpitoa. (Järviö ym. 2017, 51)

3.1.2 Ennakoiva kunnossapito

Ennakoiva kunnossapito tarkoittaa toimenpiteitä, jotka suoritetaan ennen kuin vika ehtii ilmentyä ja sen tarkoituksena on estää laitteen joutuminen epäkuuntoon. Ennakointi on järkevää silloin, kun se alentaa häiriön seurauksia ja kustannuksia enemmän, kuin itse ennakoiva toimenpide.

Laitteen ollessa suoraan kontaktissa tuotteen kanssa, esiintyy laitteessa loppuun kulumisen piirteitä tietyllä ajanjaksolla. Käyttöikään liittyviä häiriöitä esiintyy usein olosuhteissa, joissa on väsymistä, hapettumista, korroosiota tai höyrystymistä. Esimerkiksi pumppujen ja moottorien osat, tiivisteet, venttiilipesät, ruuvikuljettimet, putkistojen sisäpinnat, työkalujen kärjet jne. Näistä syistä johtuvien häiriöiden estämiseksi soveltuu usein määräajoin tapahtuva määräaikaikorjaus tai määräaikaishuolto.

Määräaikaishuollossa laite huolletaan uudenveroiseksi toimintakyvyltään, kun se saavuttaa ennalta määritetyn eliniän, vaikka laite olisi täysin toimintakunnossa huoltohetkellä. Määräaikaishuolto voidaan jakaa kahteen pääryhmään määräaikainen korjaus tai määräaikainen osien vaihto. Määräaikaishuollossa korjauksessa laitteen toimintakyky palautetaan korjaustoimenpiteillä.

Määräaikaishuollossa osien vaihdossa laitteen toimintakyky palautetaan uusia osia vaihtamalla. Esim. jos ilmapuhaltimeen vaihdetaan uusi laakeri, se on puhaltimen osalta määräaikainen korjaus, mutta laakerin osalta määräaikainen osan vaihto. On yleisesti uskottu, että kaikkien laitteiden elinikää voidaan automaattisesti jatkaa osien vaihdolla ja perinpohjaisilla tarkastuksilla tämä ei kuitenkaan päde kaikissa tapauksissa.

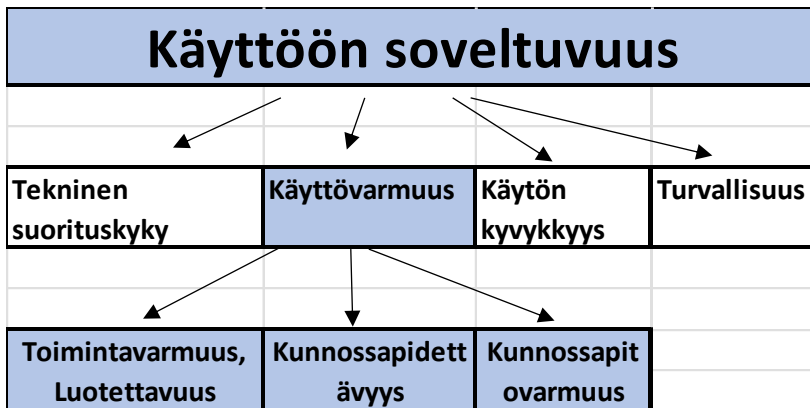
3.2 Käyttövarmuus

Käyttövarmuus on kyky toimia vaadittaessa vaaditulla tavalla. Tämä tarkoittaa kohteen kykyä olla tilassa, jossa se kykenee suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla. (PSK 6201:2022)

Käyttövarmuuden käsite sisältää käytettävyyden. Siihen vaikuttavat päätekijät ovat toimintavarmuus, kunnossapidettävyyden ja kunnossapitovarmuus. Käyttövarmuuden hallintaan liittyy myös muita piirteitä, kuten turvallisuus, turvaaminen, taloudellisuus, kulutuskestävyys, käyttöolosuhteet ja käyttäjien vaikutus.

Käyttövarmuuden mittarina toimii käytettävyyden (A).

$$A = \frac{\text{Tuotantoaika}}{\text{Tuotantoaika} + \text{suunnittelemanon seisokkiaika}} (1)$$



Kuvio 2: Käyttövarmuustermit ja niiden liittyminen toisiinsa. (PSK 6201:2022)

Toimintavarmuus

Toimintavarmuus on laitteen tai kohteen kyky suorittaa siltä vaadittu toiminto asetetuissa olosuhteissa määrätyn ajanjakson verran. Toimintavarmuus kuvastaa myös tietyllä tapaa todennäköisyyttä. Toimintavarmuus voidaan myös määritellä ajanjakson sijasta yksikköinä, esim. käyntijaksot, kilometrit, tuntimäärät jne. (PSK 6201:2022) Mittarina toimii historiaan perustuva ennustus MTTF, (mean time to fail) tai MTBF (mean time between failures)

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

Kunnossapitovarmuus

Kunnossapitovarmuus on kunnossapito organisaation kyky suorittaa vaadittu korjaus tai kunnossapitotehtävä tehokkaasti määritetyn olosuhteiden mukaisesti tietyn ajanjakson tai hetken aikana. (PSK 6201:2022) Mittarina toimii MWT (Mean waiting time).

Kunnossapidettävyys

Kunnossapidettävyys kuvaa laitteen kykyä olla palautettavissa tilaan, jossa se pystyy suorittamaan sille asetetun toiminnon määritellyissä käyttöolosuhteissa, kun kunnossapito suoritetaan käyttäen vaadittuja menetelmiä, sekä resursseja. (PSK 6201:2022) Mittarina toimii MRT (mean repair time).

3.3 Käynnissäpito

Käynnissäpidolla tarkoitetaan kaikkia niitä toimenpiteitä, jotka pyrkivät ylläpitämään kohteita sellaisessa tilassa, että ne kykenevät suorittamaan tarvittavat toiminnot, riippumatta tekijän päätehtävästä tai toiminnosta. Käynnissäpito voi sisältää erilaisia tehtäviä, kuten puhdistuksia, voitelua, säätöjä, tuotantokoneiden korjauksia sekä kunnonvalvontaa ja tuotantokyvyn seuranta, jotka kaikki liittyvät kohteen käyttökuntoon ja suorituskykyyn. (PSK 6201:2022)

4 Vika ja vikaantuminen

Vikaantuminen viittaa tapahtumaan, joka lopulta johtaa kohteen vian syntymiseen, estäen kohteen toimimasta vaaditulla tavalla. Vikaantumisen tutkimus on synnyttänyt oman käsitteistön, joka on olennainen osa kunnossapitäjän perustietoa.

Vika puolestaan kuvaa tilannetta, jossa kohde ei pysty suorittamaan tarvittavaa toimintoa, poikkeuksena tilanteet, joissa kohde on toimintakyvytön ehkäisevän kunnossapidon, suunnitellun toimenpiteen tai ulkoisten resurssien puutteen vuoksi. (Järviö yms. 2017, 70–71)

4.1 Vioittumistapa

Vikaantumisella tarkoitetaan sitä tapahtumaa tai tilannetta, joka aiheuttaa vikatilanteen. Se on tapahtuma, joka vaikuttaa tarkasteltavan järjestelmän tai komponentin suorituskykyyn haitallisesti. Vioittumistapa on mekanismi, jonka vuoksi vikaantuminen tapahtuu.

Kun vioittumistapaa määritellään, täytyy olla tarpeeksi informaatiota, jotta voidaan valita kohteen kannalta oikea kunnonvalvontastrategia. Informaation määrää täytyy kuitenkin rajoittaa, koska sil-

loin analysointiprosessiin kuluva aika voi kasvaa liian suureksi. Vioittumistapoja voidaan listata parhaiten listaamalla ensin erilaiset vikatilanteet ja sen jälkeen vioittumistavat, jotka ovat johtaneet kyseisiin vikatilanteisiin (kts. Taulukko 1). (Järviö yms. 2000, 32)

Taulukko 1: Vikatilanne ja vioittumistapa

Vikatilanne	Vioittumistapa
Linjan virtaus heikko	Linja tukkeutuu
Pumppu kavitoi	Tukos imupuolella
Putkessa vuoto	Huono liitossauma

4.2 Vikaantumisen syyt

Perinteisesti vikaantumista on ajateltu johtuvan laitteen huonosta suunnittelusta tai kestävydestä, liittyen teknisiin seikkoihin. Kuitenkin japanilaiset TPM:n (Total Productive Maintenance) kehittäjät ovat perusteellisesti tutkineet vikaantumista ja heidän näkemyksensä mukaan siihen liittyy viisi pääsyitä.

- Laitteiden vääränlainen käyttötapa johtuu siitä, että oikeita käyttötapoja ei tunneta tai suhtautuminen ei ole asianmukaista. Työtä saatetaan jakaa ajattelutavan mukaisesti "minä käytän, sinä korjaat". Käyttäjät huomaavat vikojen aiheuttamia seurausilmiöitä, mutta eivät ryhdy toimenpiteisiin, koska korjaaminen ei kuulu heidän tehtäviinsä.
- Käyttäjien ja kunnossapitäjien ammattitaito on liian kapea, ja tarkastuksissa ei huomata oirehtivia vikoja. Vian oireet saattavat jäädä tulkinnanvaraisiksi, ja laitetta saatetaan käyttää ja kunnossapitää väärin. Väärinkäyttö on usein tahatonta ja vaikeasti havaittavaa.
- Laitteen ikääntymisen aiheuttama toimintakyvyn heikkeneminen saattaa jäädä huomaamatta, ja muutokset selviävät vain vertailemalla. Toimintakyvyn muutokset hyväksytään joskus ilman korjaustoimenpiteitä.
- Laitteen käyttöolosuhteet eivät ole optimaaliset, esimerkiksi lika voi aiheuttaa lämpenemistä tai rajoittaa liikeratoja. Lisäksi ylimääräiset varastot voivat estää tarkastuspisteisiin pääsyn.

- Laitteen suunnittelussa ei ole riittävästi huomioitu todellista käyttöä tai käyttöolosuhteita. Toisaalta laite saattaa olla siirretty muualta, jolloin alkuperäinen käyttötarkoitus on muuttunut.

Vian oireiden tulkinta on usein vaikeaa, ja toiminta voi olla liian keskittynyt korjaustoimenpiteisiin, mikä estää vikojen oireiden kunnollisen selvittämisen. Panostus vikojen oireiden ymmärtämiseen on saattanut jäädä vähäiseksi esimerkiksi koulutuksen ja laitteiden puutteiden vuoksi. Tarkastukset voivat olla liian yleisluonteisia, ja vaikeasti saavutettavat tarkastuspisteet tai likaiset ja hankalasti avattavat suojat voivat vaikeuttaa tarkastamista. Likakerros saattaa peittää alleen alkavan öljyvuodon tai särön, ja tämä voi jäädä havaitsematta. Vian oireita saatetaan väärin tulkita luonnollisina vanhenemiseen liittyvinä ilmiöinä, ja varsinkin oireiden alkuvaiheessa niitä ei välttämättä pidetä vakavina tai raportoinnin arvoisina. (Järviö yms. 2017, 85)

4.3 Vikaantumattomaan toimintaan pyrkiminen

Vikaantumisen välttämiseksi keskeinen lähtökohta on ymmärrys siitä, että kaikki viat johtuvat muutoksista, jotka tapahtuvat koneen ikääntyessä ja käytössä. Valitettavasti näitä muutoksia havaitaan usein puutteellisesti. Syinä tähän voivat olla tehottomat tarkastukset ja kulutuksen seuranta, epäkäytännöllinen huoltoystävällisyys koneen rakenteessa tai ympäristön epäjärjestys ja tarvikkeiden varastointi vaikeuttamassa tarkastuksia. Toisena syynä mainitaan henkinen sopeutuminen, jossa vikoihin totutaan ja ne hyväksytään osaksi normaalia toimintaa, vikojen vaikutus aliarvioidaan tai niitä ei pidetä tärkeinä muiden työkiireiden vuoksi. (Järviö yms. 2017, 92)

Vikaantumattomaan käyntiin pyrkiessä on noudatettava seuraavia lähestymisstrategioita:

- Koneen ylläpitoon kuuluu sen pitäminen kunnossa, mikä sisältää koneen pitämisen puhtaana, asianmukaisesti voideltuna ja linjattuna, varmistaen, että kaikki osat ovat oikein kiinni, kuten ruuvit, mutterit ja hitsaukset.
- Koneen toimintaedellytysten ylläpitäminen on olennaista, mikä sisältää toimintalämpötilojen, energian puhtauden (paineilma, hydraulikkaöljyt), keskusvoiteluöljyjen puhtauden ja ympäristön siisteyden seuraamisen.

- Koneen nettotehoja seurataan, ja tätä seurantaan varten saatetaan joutua kehittämään omia menetelmiä, kuten bruttotehon määrittämistä, ajan, tehokkuuden ja laatukertoimien mittauksia sekä tavoitteita nettoteholle.
- Toimintakyvyn heikkenemisen kompensointi on osa ylläpitoa, ja se voi sisältää osien uusimisen korjauksen yhteydessä. Jokainen valmistettu osa ja käyttötunti aiheuttavat kulumista, ja jokaisella osalla on tietty elinaika.
- Koneen rakennetta parannetaan tarvittaessa, mikä voi sisältää muutoksia koneen käyttäjä- tai huoltoystävällisyyden lisäämiseksi sekä suunnitteluvirheiden korjaamista.
- Koneen käyttäjien ja kunnossapitäjien koulutus on tärkeää, koska usein vikaantumisen syy on tahaton väärinkäyttö. Koulutuksen avulla voidaan varmistaa, että koneen käyttäjät tuntevat oikeat tavat käyttää konetta ja ylläpitää sitä.

5 Luotettavuus

Vaikka usein laitteen tai tuotteen tärkeisiin ominaisuuksiin kuuluu luotettavuus, sille ei varsinaisesti löydy yleisesti hyväksyttyä määritettä. Sanakirjat määrittelevät luotettavuuden substantiiviksi, jolloin luotettavuus on tila, sekä adjektiiviksi, joksikin, johon voidaan luottaa tai on luotettava. Puhuttaessa luotettavuudesta, se peilaa yleensä laitteen suorituskykyyn tai toimintaan tulevaisuudessa, joten luotettavuutta voidaan pitää aikaan suuntautuvana ominaisuutena.

Laitteen tulevasta suorituskyvystä ei voi koskaan olla täysin varma. Matemaattisia todennäköisyyslaskelmia voidaan käyttää apuna määrittämään laitteen tulevaisuuden suorituskyky ja tehdä sen pohjalta oletukset esim. laitteistoja suunnitellessa. Todennäköisyyksiä voidaan arvioida erilaisien tilastojen avulla, joten luotettavuuden arviointi vaatii todennäköisyyttä, sekä tilastoja.

Luotettavuuden voi määritellä seuraavasti: Luotettavuus on laitteen tai järjestelmän kyky toimia tarkoitetulla tavalla (eli ilman vikaa ja määrättyissä suorituskyvyn rajoissa) tietyn ajan sen elinkaarin olosuhteissa. Tämä määritelmä kattaa keskeiset asiat, jotka ovat tarpeen laitteen luotettavuuden suunnittelussa, arvioinnissa ja hallinnassa. (Kapur 2014, xx)

5.1 Redundanssi

Redundanssi esiintyy järjestelmissä, joissa yksi tai useampi järjestelmän osa vaurioituu ja järjestelmä voi silti jatkaa toimintaansa normaalisti. Tyypillisiä redundanssi esimerkkejä ovat aktiivinen ja valmiustilassa (“stand-by”) oleva laite/järjestelmä.

Aktiivisessa järjestelmässä kaikki laitteet operoivat normaalin käynnin aikana. Aktiivisessa järjestelmässä laitteiden elinkaari kuluu samanaikaisesti. Aktiivisen järjestelmän idea on jakaa kuormitus esim. kahden pumpun välille tasaisesti, että molemmat käyvät “vajaatehoisena”, joten kokonaiselinkaari pitenee.

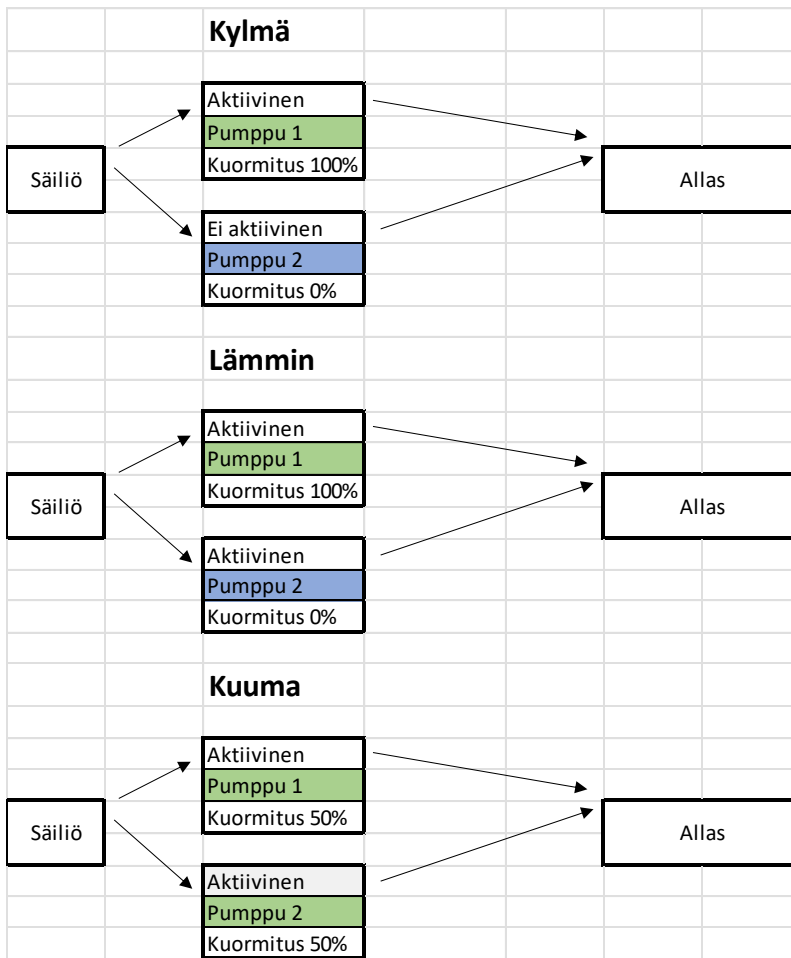
Valmiustilassa olevassa järjestelmässä laitteita voidaan käyttää “rinnakkain”, joten jos aktiivisena oleva laite/komponentti vikaantuu, stand-by-tilassa oleva laite aktivoituu ja järjestelmä voi jatkaa tuotantoaan normaalisti, niin kauan kuin saadaan vikaantunut laite vaihdettua tai on tarpeellista.

Stand-by redundanssi tyyppejä on kolmea erilaista ns. kylmä, lämmin ja kuuma. Kylmässä järjestelmässä rinnakkaisesti kytketty laite pysyy täysin pysähtyneenä niin pitkään, kuin sitä tarvitaan esim. laiterikko.

Kylmän tyypin etuina ovat se, että käyttöikä ja jatkuvuutta saadaan parannettua huomattavasti, mutta rinnakkain kytkettyjen laitteiden kuormittavuus on korkea, koska kuorma jaetaan kokonaan yhdelle laitteelle. Tällä on suuri merkitys laitteen elinkaareissa, joka täytyy ottaa huomioon suunnittelussa.

Lämpimässä tyypissä rinnakkain asennettu laite on aktiivisessa tilassa, mutta sitä ei kuormiteta, vaan on käyttövalmiudessa.

Kuumassa tyypissä rinnakkain asennetut laitteet jakavat kokonaiskuorman, joten elinkaari kasvaa, mutta riski yhtäaikaiselle vikaantumiselle kasvaa. (Kapur 2014, 381–385)



Kuvio 3: Stand-by redundanssi variaatiot. (Kapur 2014, 381-385)

6 Veden rooli sellunvalmistuksessa

Sellun- ja paperinvalmistuksessa vesi on todella tärkeä komponentti. Riittävän puhtaan raakaveden saanti on tästä syystä tärkeää koko teollisuudelle. Sellu- ja paperitehtaat ovat hyvin yleisesti rakennettu vesistöjen rannoille, joista saadaan helposti johdettua vettä tehtaan käyttötarkoitukseen. Pohjoismaissa sellu- ja paperitehtaiden raakavetenä käytetään pintavettä. Raakaveden puhtaudella on suora merkitys lopputuotteen laatuun, sillä epäpuhtaudet näkyvät lopputuotteessa roskina/epäpuhtauksina, sekä värjäytyminä. (KnowPulp 2023.)

Vuosien saatossa vedenkulutusta on mitattu sellutehtailla kulunut vesimäärä/ per ilma-kuivattu sellutonni (m³ / ADt). Vedenkulutusta on saatu karsittua vuosien saatossa jopa 350 m³/ADt:stä seuraavasti.

- 1970-luku: 120 m³/ADt
- 1980-luku: 80 m³/ADt
- 1990-luku: 30 m³/ADt
- 2000-luku: parhaimmillaan vain 15 m³/ADt

Eri tehtaiden käytössä olevan tekniikan mukaan vuonna 2017 yleinen vedenkulutus vaihteli n. 20–40 m³/ADt välillä. Vuonna 2017 käynnistyneellä Metsä Group Äänekosken biotuotetehtaalla oli tavoitteena päästä 10 m³/ADt kulutuslukemiin, joka tarkoittaa vuositasolla 13miljoonaa kuutiota tehtaan tuotantokapasiteetin ollessa 1,3milj sellutonna.

Veden kulutuksessa vuosien saatossa esiintyvä lasku on selitettävissä mm. veden kierrättämisellä prosessin vaiheisiin, joissa on matalampi laatuvaatimus vedelle, sekä tuorevesi ei ole tarpeen. (KnowPulp 2023.)

Tehtaalla veden mukana kulkee lämpöä, kuituja ja liuenneita aineita. Prosessissa kuidut kuljetaan vesilietteen avulla, joten ilman vettä kuitujen käsittely ja kuljettaminen olisi lähes mahdotonta.

Tehdasalueelta kulkeutuu pois veden mukana roskia, liuenneita aineita, sekä lämpöä. Roskien ja epäpuhauksien pois kulkeutuminen on tehtaan kannalta positiivinen asia, mutta niissä saattaa olla negatiivinen vaikutus ympäristölle. Lämpöhäviön kannalta lämmön pois kulkeutuminen on negatiivinen asia, koska ideaalisessa tilanteessa kaikki energia tulisi ottaa käyttöön. Lämpöhäviöllä voi olla myös taloudellisesti negatiivisia vaikutuksia.

Vesi toimii prosessissa myös puhdistusaineena. Veden kulutus sellumassoja pestessä on n. 7–8 m³/massatonni. Vettä käytetään myös laitteistojen, sekä prosessiympäristöjen pesuissa.

Kuivauskoneella vettä poistaessa selluloosamolekyylit muodostavat vetysidoksia, jonka seurauksena kuidut tarttuvat kiinni toisiinsa, joten vesi mahdollistaa myös kuitusidosten syntymisen. Ilma-kuivan sellutonnin (ADt) loppukosteus on n.10 %, joten ilma-kuivattu sellutonni sisältää n. 900 kg sellukuituja ja 100kiloa kuituihin sitoutunutta vettä.

6.1 Raakaveden käsittely

Raakavesi on luonnosta otettua käsittelemätöntä vettä, sen vuoksi raakavesi sisältää aina epäpuhtauksia. Raakaveden käsittelytarve riippuu sen laadusta ja käyttökohteesta. (Kts. Kuvio 5)

Raakavesityypit voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: pintavesi, pohjavesi ja tekopohjavesi. Maailman hyödynnettävissä olevasta makeasta vedestä 99 % on pohjavettä ja yksi prosentti pintavettä.

Järvistä ja joista hyödynnettävän pintaveden laatu vaihtelee mm. paikan ja vuodenajan mukaan. Pintavedestä poistetaan tyypillisesti savi, sekä humus. Kovuutta nostetaan, sekä bakteerit eliminoidaan. Usein pohjavesi on juomakelpoista sellaisenaan, mutta sen radioaktiivisuus, suola-, sekä metallipitoisuus on tutkittava. Pohjaveteen lisätään happea, sekä poistetaan hiilidioksidia. Mahdollinen radon, mangaani ja rauta poistetaan. Pintaveden ja pohjaveden pH:ta ja alkaliniteettiä nostetaan. (KnowPulp 2023.)

Raakaveden käsittely käyttökohteen mukaan				
	Jäähdytysvedet	Sellun valkaisu / Kuivauskone	Lisävesi voimalaitoksille	
Mekaaninen puhdistus	x	x	x	
Kemiallinen saostus		x	x	
Hiekkasuodatus		x	x	
Suolanpoisto			x	
Hapenpoisto			x	

Kuvio 4: Raakaveden käsittely käyttökohteittain. (KnowPulp 2023)

Raakaveden puhdistuksessa tärkeimmät muuttujat ovat:

- Lämpötila: Veden lämpötilalla on vaikutus viskositeettiin, aineiden liukoisuuteen, sekä pitoisuuksien tasoittumiseen.
- pH-arvo: veden happamuuden arvo.
- Väri: Aiheutuu yleensä humuksesta. Väri ei suoranaisesti tee vedestä vaarallista, vaan sen raja-arvo määritellään käyttäjän hyväksynnän mukaisesti. Luonnonveden väri määritellään vertaamalla sitä platinakoboltti liuokseen. Väriin määrä ilmoitetaan yksikössä mg Pt/l. Väritömän veden määrä on n. 5–15 mg Pt/l
- Johtavuus: Veden sähköjohtavuuskyky kuvaa liuenneiden suolojen, sekä epäpuhtauksien määrää. Johtavuuden yksikkö on mS/m. Mitä suurempi luku, sitä enemmän veteen on liuennut epäpuhtauksia tai suoloja.
- Kovuus: Kovuus kertoo kalsiumin ja magnesiumin yhteismäärän vedessä. Nämä ionit aiheuttavat tukkeumia putkistoissa, sekä lämmönvaihtimissa.
- Hiilidioksidipitoisuus: Kertoo veden aggressiivisuudesta. Hiilidioksidia pääsee veteen ilmasta, sekä mikrobitoiminnasta maaperässä. Se muodostaa vedessä hiilihappoa, joka aiheuttaa metalliosissa syöpymistä.
- Orgaaninen aines: Voidaan kuvata kemiallisella hapenkulutuksella (COD, Chemical Oxygen Demand) tai orgaanisen hiilen kokonaismäärällä (TOC, Total Organic Carbon).
- Metallipitoisuus: Rauta ja mangaani ovat esimerkiksi metalleja, joita raakavedessä ilmenee. Rautaa on pohjavedessä, sekä pintavedessä humukseen sitoutuneena. Se aiheuttaa veteen maku, sekä väri haittoja. Mangaani, jota esiintyy pohjavesissä aiheuttaa lisäksi myös hajuhaittoja, sekä on suurissa määrin myrkyllistä.

Mekaaninen puhdistus

Vedenottamalla vesi kulkeutuu välppien ja imusiivilöiden läpi rumpusiivilöille ja sihdeille, joiden tarkoitus on poistaa vedestä suurimmat partikkelit esim. eliöt, kappaleet, oksat, kalat jne.

6.1.1 Kemiallinen puhdistus

Mekaanisen puhdistuksen jälkeen seuraava vedenkäsittely prosessi on kemiallinen puhdistus. (Kts. Kuvio 6) Kemiallisen puhdistuksen tarpeellisuus riippuu raakaveden laadusta. Jos raakaveden laatu

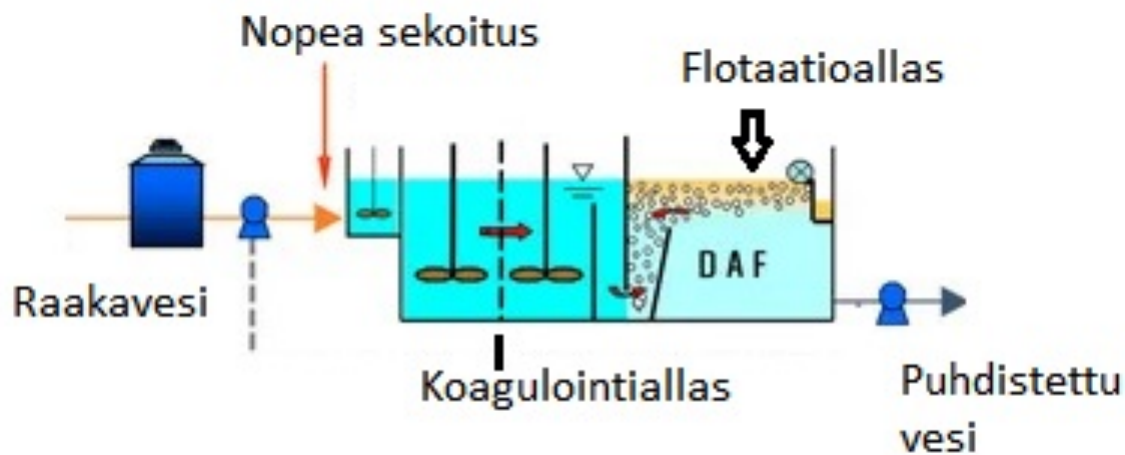
on tarpeeksi hyvä tietyt käyttökohteet prosessissa ei vaadi kemiallista puhdistusta lainkaan vaan vesi voi olla suoraan käyttökelpoista mekaanisen puhdistuksen jälkeen.

Kemiallisen puhdistuksen tarkoituksena on saostaa veden sisältämiä humusainepartikkeleita, sekä sameutta aiheuttavia partikkeleita suuremmiksi kasautumaksi eli flokeiksi, saostuskemikaalien avulla. Kemiallisen puhdistusprosessin jälkeen vesi johdetaan hiekkasuodatusaltaiden läpi, jossa altaassa oleva hiekka toimii suodattimena, jonka jälkeen vesi pumpataan vesisäiliöön.

Vesi sisältää myös kolloidisia partikkeleita, jotka ovat partikkelikoolta pienempiä kuin 0,0001 mm. Kolloidiset partikkelit ovat yleensä negatiivisesti varautuneita. Samanmerkkisesti varautuneet partikkelit hylkivät toisiaan ja nämä hylkimisvoimat ovat yleensä suurempia kuin voimat, jotka vetävät partikkeleita toisiinsa.

Kemiallisen käsittelyn yksi tarkoitus on pyrkiä neutraloimaan negatiivisia varauksia kolloidisten partikkelien välillä, jolloin partikkelit vetävät puoleensa toisia ja pystyvät muodostamaan mikroflokkeja. Flokkikoon kasvaessa tarvittavan suureksi flokit voidaan poistaa vedestä helpommin. (Know-Pulp 2023.)

Suomen vesihuoltolaitokset käyttävät prosesseja, joiden vuoksi saostuskemikaalit ovat välttämättömiä. Kemikaalit ovat epäorgaanisia ja niiden toimivuus perustuu alumiinin ja raudan suoloihin. Saostuskemikaalien tarve ei tule pienenemään tulevaisuudessa, koska kemikaaleja tarvitaan humusyhdisteiden poistamiseksi raakavedestä. Päinvastoin kemikaalien tarve tulee kasvamaan raakaveden orgaanisten aineiden nousun myötä. (Kemiallisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen suomen vesihuollossa 2020.)



Kuvio 5: Kemiallinen puhdistus (MDPI 2021, muokattu)

7 Saostuskemikaalijärjestelmä

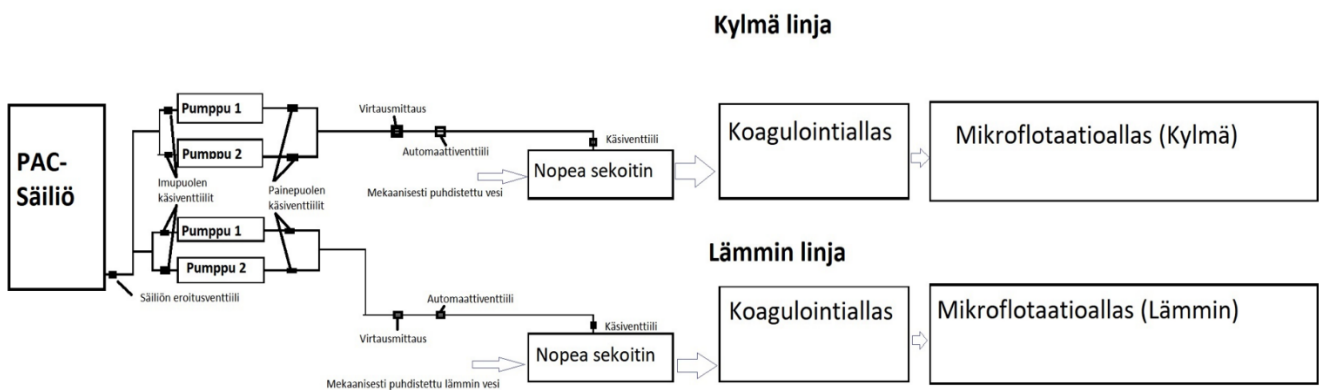
Saostuskemikaalijärjestelmä kuuluu toimeksiantaja yrityksen käytössä olevaan mikroflotaatio prosessiin. Mikroflotaatio sijoittuu kemiallisen puhdistuksen alle. Raakavesi kulkeutuu vedenottamon, sekä mekaanisen puhdistuksen jälkeen kemialliseen puhdistukseen. Kemiallisessa puhdistuksessa vesi kulkeutuu ensin kiinteään sekoittimen läpi, jossa veden sekaan sekoitetaan saostuskemikaali, sekä veden pH-arvoa säättävä kemikaali ns. nopeassa sekoituksessa.

Kiinteään sekoittimen jälkeen vesi kulkeutuu suljettuun koagulointialtaaseen, jossa tapahtuu hidas sekoitus moottoroitujen sekoittimien avulla. Koagulointialtaasta vesi johdetaan avonaiseen mikroflotaatioaltaaseen, jossa altaan alkupäässä vettä painekyllästetään suuttimien kautta syötettävällä dispersiovedellä, joka muodostaa veteen mikrokuplia.

Kemiallisten, fyysisten ja sähköisien voimien avulla vedessä olevat humusainepartikkelit, sameutta aiheuttavat partikkelit, sekä kolloidiset partikkelit sitoutuvat toisiinsa, ja ne johdetaan mikrokuplien avulla vesialtaan pintaan. Käsittelyn jälkeen partikkelit kelluvat veden pinnalla ja ne kaavitaan altaan loppu päässä olevalla lieterullalla kaukaloon, josta ne johdetaan jätevedenkäsittelyyn. Kemiallisen puhdistuksen jälkeen vesi jatkaa matkaansa hiekkasuodatuslaitteille.

7.1 Järjestelmän toimintaperiaate

Tehtaalla on käytössä kemiallinen puhdistusprosessi kylmälle, sekä lämpimälle vedelle. Saostuskemikaalijärjestelmä (Kts. Kuvio 7) syöttää kemikaalia molemmille linjoille. Raakaveden laatua analysoidaan online mittauksilla, joita pystyy seurata reaaliajassa ohjausjärjestelmässä. Raakavedestä otetaan 3 kertaa viikossa tarkistus vesinäytteet, jotka analysoidaan laboratoriossa. Näillä mittauksilla pyritään toteamaan online mittauksien tarkkuus. Raakavesianalysistä selviää veden laatu ja pitoisuudet, jonka perusteella kemikaalin annostelua voidaan säätää, jotta sen laatu on riittävän hyvä jatkokäsittelyyn. Kemiallisesti puhdistetusta vedestä otetaan viikoittain näyte, josta selviää KMnO₄ (kaliumpermanganaatti), sekä Al arvot, joista voidaan todeta flotaation tehokkuus.



Kuvio 6: Saostuskemikaalijärjestelmä luotettavuuslohkokaavio

Saostuskemikaalia syötetään kylmälle, sekä lämpimälle puolelle samasta varastointisäiliöstä laimentamattomana. Kylmälle, sekä lämpimälle puolelle on omat kalvopumput, koska kemikaalin syöttömäärä vaihtelee linjojen välillä veden laatuun mukaisesti. Varastointisäiliössä ennen pumppuja on ns. ”rintaventtiili”, jolla voidaan erottaa kemikaalisäiliö järjestelmästä.

Molemmille linjoille on kaksi kalvopumppua, jotka ovat kytketty rinnakkain toisen ollessa aktiivinen ja toinen valmiustilassa. Kalvopumput ovat eristetty linjasta imu- ja painepuolelta käsiventtiili-

leillä, jotka ovat suljettuina toisen pumpun osalta silloin, kun pumppu on valmiustilassa. Pumppujen jälkeen molemmissa linjoissa on virtausmittaus, jolla seurataan kemikaalinsyöttöä reaaliajassa ohjausjärjestelmästä valvomosta.

Virtausmittauksen jälkeen on automaattinen sulkuventtiili, jota voidaan ohjata valvomosta. Ennen nopeaa sekoitinta, jossa kemikaali syötetään raakaveden sekaan, on käsisulkuventtiili, jolla järjestelmä voidaan erottaa täysin kemiallisen puhdistuksen järjestelmästä.

7.2 Polyalumiinikloridi

Saostuskemikaalina toimeksiantajalla on käytössä polyalumiinikloridi. (Kts. Kuvio 8) Polyalumiinikloridi (PACL) on alumiinipohjainen epäorgaaninen nestemäinen esihydrolysoitu saostuskemikaali. PACL on tehokas saostuskemikaali talousveden tuotannossa, sekä jäteveden puhdistamoilla. Suomessa se on toiseksi käytetyin saostuskemikaali, heti ferrisulfaatin jälkeen. Polyalumiinikloridi on saostuskemikaali, joka on esihydrolysoitu, mikä tekee kemikaalista vähemmän pH- ja lämpötilariippuvaisen. Saostus pH polyalumiinikloridilla on 4,5–9,5 (Talousveden tuotannossa optimaalinen pH-alue 6,5–6,7). Järviveden ominaiskulutus on n. 30–60 g/m³. Kemikaalia käytettäessä tulee huomioida, että se aiheuttaa korroosiota useimmille metalleille myös haponkestävät teräkset. (Kemiallisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen suomen vesihuollossa 2020, 16.)

Polyalumiinikloridi, tekniset ominaisuudet	
Rakennekaava	$Al_2(OH)_3Cl_3$ (saatavilla erilaisia rakenteita)
Ulkomuoto	Kellertävä neste
Metallipitoisuus	n. 7,2–12,5 % (riippuu polymerointiasteesta)
pH	n. 1,5
Jäätymispiste	-30 °C
Standardi	SFS-EN 883:2005 (talousvesi)
Käyttöturvallisuus	Vaurioittaa vakavasti silmiä. Voi syövyttää metalleja.
Materiaalivaatimukset	Muovi, lasikuituvahvisteinen polyesteri, titaani tai kumioitu teräs
Varastointi	Suosittelua varastointiaika max 8–12 kk (riippuu laadusta) Suositeltu varastointilämpötila 0–30 °C

Kuvio 7: Polyalumiinikloridin tekniset ominaisuudet (Kemiallisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen suomen vesihuollossa 2020, 17.)

8 Kemikaalijärjestelmän käyttövarmuuden parantaminen

Nykyinen saostuskemikaalijärjestelmä on ollut käytössä tehtaan käynnistymisestä asti osana veden kemiallista puhdistusprosessia. Järjestelmän vikaantuminen on aiheuttanut häiriöitä, sekä katkoksia kemiallisesti puhdistetun veden tuotannossa. Kemiallisesti puhdistettu vesi on tärkeää koko tehdasintegraatille, sillä siitä valmistetaan suolanpoiston jälkeen mm. voimalaitoksille menevä syöttövesi. Ilman syöttövettä voimalaitos joudutaan ajamaan alas, jonka vuoksi höyryntuotanto loppuu. Selluntuotannolle höyry on elinehto, sillä tuotantoprosessit käyttävät energianlähteenä pääsääntöisesti höyryä. Höyryntuotannon loppuessa pysähtyy myös höyryturbiini, jolla tuotetaan sähköenergiaa tehtaan omaan, sekä ulkopuoliseen käyttöön.

Kemikaalijärjestelmän käytännön muutokset suunniteltiin aikataulunsa puolesta vuoden 2023 suunniteltuun vuosihuoltoseisakkiin. Tämä mahdollistaa syvällisemmän tarkastelun laitteistoihin, sillä koko tuotantoprosessi on keskeytetty ja veden puhdistusprosessi lopetettu.

8.1 Vikaantumisien syyt

Järjestelmään kohdistuneissa häiriötilanteissa vikaantumiset sijoittuvat pääsääntöisesti kalvopumppujen painepuolelle, eli linjastoon ja laitteisiin pumppujen jälkeen, ennen nopeaa sekoitinta. Tämä indikoi vikaantumisien juurisyyn sijaintia, johon tutkinta päätettiin ohjata ensisijaisesti.

Suunnitellun vuosihuoltoseisakin yhteydessä PAC-varastointisäiliö tyhjennettiin kemikaalista ja järjestelmä otettiin työn alle. Tutkiessa, sekä purkaessa järjestelmää havaittiin painepuolen linjoissa kerrostumaa, joka on tukkinut putkistoja, sekä painepuolen laitteita. Järjestelmässä ei havaittu muuta poikkeavaa, joten on järkevää olettaa, että nämä kerrostumat ovat aiheuttanut järjestelmän tukkeutumista, jonka vuoksi kalvopumpun työtahtien aikaan paineisku linjastoon on ollut liian voimakas.

Voimakkaan paineiskun seurauksena kalvopumpulle, sekä putkistolle on aiheutunut liian suurta rasitusta, jonka seurauksena jatkuva altistuminen liian suurelle rasitukselle on johtanut laiterikoon. Ohjausjärjestelmässä näkyvää digitalista painemittausta linjastossa ei ole, joten tämä on ollut vaikeaa todeta käynnin aikana.

Saostuskemikaalin teknisissä ominaisuuksissa mainitaan, että varastointiaika kyseiselle kemikaalille maksimissaan on n. 8-12kk, riippuen laadusta. Laatuvaihtelujen perusteella kemikaalin tiheydessä voi olla myös eroja, jotka saattavat aiheuttaa erilaisten laatuojen "lokeroitumisen" varastointisäiliössä.

8.2 Kehityskohteet

Linjan tukkeutuneisuus, sekä kerrostumat viittaavat siihen, että linjastoja täytyisi huuhdella tai puhdistaa tietyn aikajakson välein. Nykyisellä järjestelmällä se vaatisi veden puhdistusprosessin keskeyttämisen, sekä ääri tapauksissa varastointisäiliön tyhjentämisen.

Varastointisäiliötä täytetään kemikaaliautolla ja kemikaalin laadussa voi olla vaihtuvuutta. Varastointisäiliöön voisi lisätä mahdollisesti sekoittimen, joka estäisi eri laatuojen lokeroitumisen varastointisäiliön sisällä.

Kemiallisen, sekä hiekkasuodatusprosessin jälkeen puhdistetulle vedelle on tilavuudeltaan 2000m³ oleva VKP-säiliö, josta vesi jakautuu tehtaan eri prosesseihin, sekä suolanpoistosarjoille. Tämä säiliön tilavuudella, sekä veden kulutuksella voidaan laskea, kuinka kauan vesi riittää, ennen kuin joudutaan ajamaan prosesseja alas. Veden keskimääräinen kulutus normaalituotannon aikaan on n. 300 l/s. Jos oletetaan, että VKP-säiliö on 100 % täynnä ja keskimääräinen kulutus on sillä hetkellä 300 l/s, VKP-säiliö kuluu tyhjäksi n. 1h 51min ajassa. Aika on todella rajallinen häiriötilanteissa myös kunnossapidon osalta, koska vaativampi kunnossapitotyö saattaa kestää huomattavasti pidempään.

Tämä aika ei kuitenkaan määritä aikaa, kuinka kauan veden käsittelyprosessi voi olla pois käytöstä, koska veden käsittelyprosessin uudelleenkäynnistäminen vie aikaa. Laskentatilanteessa oletetaan myös, että VKP-säiliö on 100 % täynnä, joka harvoin pitää paikkansa, sillä säiliöitä pyritään pitämään hieman alemmassa pinnassa, joka helpottaa varautumaan mm. tuotannon ja vedenkulutuksen vaihteluille. Veden kulutus on laskelmassa määritetty 300 l/s, joka on vain keskiarvo tietyille ajanjaksolle. Aikaa on siis mahdotonta laskea tarkasti, koska laskelmiin kohdistuu niin paljon erilaisia muuttujia, mutta tämän ajan perusteella voidaan arvioida suurpiirteisesti aikaa, sekä pohtia päättäessä ratkaisuja.

Tämänhetkinen järjestelmä palvelee heikosti virhetilanteita, koska reagointiaika on rajallinen. Kehittyneempää järjestelmää suunniteltaessa pääsääntöiseksi kehityskohteeksi tulisi ottaa ratkaisut, jotka tukevat virhetilanteissa toimimista lisäämällä reagointiaikaa. Ajan lisääminen kasvattaisi järjestelmän käyttövarmuutta, sillä se mahdollistaisi myös laajemman ennakoivan kunnossapidon suunnittelun järjestelmälle.

9 Tulokset

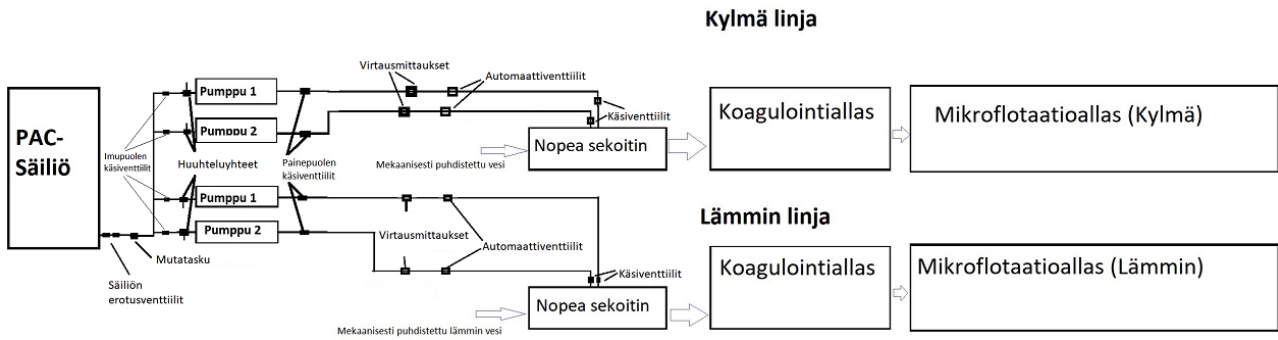
Käyttövarmuuden parantamiseksi uutta linjaa suunniteltaessa päädyttiin tekemään linjoille kahdennus eli rinnakkaiskytkentä. (Kts. Kuvio 10) Tutkimuksen aikana todettiin järjestelmällä olevan niin suuri merkitys tuotannolle, että se kannattaa kahdentaa, koska virhetilanteissa seurauksen kustannukset kasvavat suuriksi. Rinnalla olevaa linjaa ei ollut tarkoitus tehdä puolittamaan työkuormaa vaan uusi linja toimii ns. ”Lämmin stand by”- tilassa eli pumppu on valmiudessa odottaen ohjauksikäskyä, mutta virtausta ei kulje. (kts. Kuvio 4: Stand-by tyypit)

Linjan vaihtaminen tapahtuu kytkemällä ns. kylmänä oleva linja vierelle, jonka jälkeen voidaan pysäyttää aiemmin aktiivisena toiminut linja mahdollisia muutoksia tai kunnossapitotöitä varten.

Linja on kahdennettu varastointisäiliön, sekä nopean sekoittimen väliltä, joten uusi linja kattaa toisen kalvopumpun, virtausmittauksen, automaattiventtiilin, käsiventtiilit, sekä putkiston. Linjaa otettaessa käyttöön täytyy osastohenkilön käydä kääntämässä käsiventtiilit auki-asentoon, sekä operaattorin täytyy valita ohjausjärjestelmästä käynnistyskäsky pumpulle. Virtausmittausta seurattaessa voidaan todeta linjan toimivuus, sekä kemikaalin virtaus, jonka jälkeen aiemmin aktiivisena toiminut linja voidaan pysäyttää askelein ensin pumppu, jonka jälkeen virtausmittauksesta voidaan todeta virtauksen laskevan. Virtauksen hiipuesssa voidaan kääntää käsiventtiilit imu, sekä painepuolelta kiinni-asentoon. Ajallisesti linjanvaihtoprosessissa menee n. 5 minuuttia, joka ei kerkeä vaikuttamaan säiliöiden pintaan, sekä prosessiin merkittävästi vaan veden käsittelyprosessia voidaan jatkaa normaalisti.

Putkistoihin lisättiin huuhteluyhteet, joiden kautta linjaan voidaan ajaa vettä ja huuhdella sillä aikaa, kun toinen linja on käytössä. Linjojen huuhtelulle voidaan määrittää tietty aikaikkuna ja lisäksi esimerkiksi ennakkohuoltoprosessiin uudeksi tehtäväksi. Huuhtelun avulla saadaan poistettua tukkeumat putkistoista, sekä laitteista.

Alkuperäisessä järjestelmässä oleva ”mutatasku” oli mahdotonta puhdistaa käynnin aikana yrityksen turvalukitusstandardin mukaisesti, sillä varastointisäiliössä oleva kemikaali olisi vain yhden sulkuventtiilin takana. Turvalukitusstandardi vaatii tällaisissa tilanteissa kaksi sulkuventtiiliä, joten säiliö olisi jouduttu tyhjentämään, että mutataskun saa tyhjennettyä turvallisesti. Säiliöön lisättiin vuosihuollon aikana toinen käsiventtiili, jotta mutataskun turvallinen tyhjentäminen käynnin aikana on mahdollista.



Kuvio 8: Uuden saostuskemikaalijärjestelmän luotettavuuslohkokaavio

Luotettavuus määritellään todennäköisyytenä laitteen olla pettämättä tuotannon aikana tietyllä ajanjaksolla. Se on tilastollinen todennäköisyys eikä siinä ole ehdottomia takeita, että näin tapahtuu. Rinnakkain kytketty linja on työkalu, jolla voidaan kasvattaa järjestelmän todennäköisyyttä toimia varmemmin. Laskentakaavoilla voidaan todeta kahdennuksen vaikutus luotettavuuteen. (Kts. Taulukko 2)

Taulukko 2: Luotettavuuslaskenta

Vikaantumisprosentti(F)=5 %		
Luotettavuus(R)		
Yksi linja		
R + F = 1		
R= 1-0,05	0.95	
R=	95 %	
Sarjaan kytkentä		
R = 1 - (F₁)(F₂)		
R=1-(0,05)(0,05)		
R=	0,9975	
R=	99,75 %	
Toimintavarmuus		
MTTF = - (t / ln [R(t)])		
Yksi linja		
MTTF = -1/ln(0,95)		
MTTF=	19,4957	vuotta
Sarjaan kytkentä		
MTTF = -1/ln(0,9975)		
MTTF =	399,4997	vuotta

10 Pohdinta

Työn tavoitteena oli etsiä kehityskohteita, joilla saadaan parannettua järjestelmän käyttövarmuutta, sekä syitä järjestelmän vikaantumiselle. Työn alkuvaiheissa kartoitettiin toimeksiantajan kanssa aikatauluista, sekä kuinka laajalle työ viedään. Jatkuvan käynnintarpeen vuoksi oli laadittava aikataulusuunnitelmat, jolloin järjestelmä voidaan ajaa alas tarkempien tutkimuksien ajaksi. Tutkimuksien päätarkoitus, oli selvittää juurisyytä vikaantumiselle, jonka pohjalta lähteä suunnittelemaan mitä järjestelmälle on tehtävissä, jotta päästään haluttuun parempaan käyttövarmuuteen. Vikaantumisille löydettiin tutkimuksien aikana selkeät juurisyyt, joiden pohjalta lähdettiin suunnittelemaan kehittyneempää järjestelmää.

Varsinainen käytännön toteutus, sekä muutokset olivat tarkoitus aikatauluttaa vuosihuoltoseisokin 2023 yhteyteen, jolloin koko tehdasalueen tuotanto on pysähtyneenä. Seisokin aikataulu on tiivis, sekä henkilöresurssit ovat rajallisia, joten kemikaalijärjestelmälle tehtävät muutokset olivat suunniteltava siten, että ne ovat mahdollista toteuttaa laaditussa aikataulussa. Rajallisen aikataulun vuoksi haluttuja muutoksia täytyi karsia, sekä priorisoida.

Tutkimuksen tuloksena järjestelmälle päädyttiin tekemään kahdennus säiliön, sekä nopean sekoittimen osalta, joka kattaa linjat pumppuineen, sekä laitteineen. Järjestelmän vikaantuessa tuotannon menetyksen kustannukset kasvavat niin suureksi, että katsottiin kahdennuksen olevan perusteltua. Järjestelmän kahdennus parantaa laskeskelemien mukaisesti huomattavasti käyttövarmuutta, sekä se mahdollistaa järjestelmän kehittämisen, sekä muutokset tulevaisuudessa.

Kokemusten mukaisesti uusi järjestelmä on osoittanut paremman toimivuutensa häiriötilanteissa, sekä tuotannon keskeytymisajat on pienentynyt huomattavasti. Tulevaisuudessa järjestelmän toimintaa on seurattava, sekä kehitettävä tarpeellisuuden mukaisesti. Uusi järjestelmä mahdollistaa paremmin ennakkohuolto prosessien suunnittelun, koska toinen linja on vieressä valmiustilassa. Järjestelmä on suunniteltu niin, että tulevaisuudessa sitä on mahdollista automatisoida.

Lähteet

Joon-seok, K., Jayeong, S., Jewan, Y., Pooreum, K., Kitae, P., Jaekyu, L., Jihoon, C., Hyungsoo, K., Sangyoup, L. 2021. Applicability of a Combined DAF-MF Process to Respond to Changes in Reservoir Water Quality through a Two-Year Pilot Plant Operation. Artikkelit mdpi-verkkosivustolla. Viitattu 1.12.2023. <https://www.mdpi.com/2077-0375/11/12/964>.

Järviö, J. 2000. Kunnossapito, Luotettavuuskeskeinen kunnossapito. Kunnossapitoyhdistys ry. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 4. Rajamäki: KP-Tieto.

Järviö, J., Lehtiö, T. 2017. Kunnossapito, Tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 6. p., uud. p. Kunnossapitoyhdistys Promaint. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 10. Helsinki: KP-Media.

Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas: Näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun. Jyväskylän Ammattikorkeakoulu.

Kemiallisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen suomen vesihuollossa. 2020. Huoltovarmuusorganisaatio Vesihuoltopooli. Viitattu 5.6.2023. https://www.vvy.fi/site/assets/files/5105/kemiallisen_saostuksen_huoltovarmuuden_parantaminen.pdf.

KnowPulp-oppimisympäristö. 2023. Raakaveden käsittely. Viitattu 5.6.2023 <https://www.knowpulp.com/>.

Manivasakam, N. 2011. Practical boiler water treatment handbook. Chelsea, Massachusetts : Chemical Publishing Company Inc. Viitattu 5.6.2023. <https://janet.finna.fi>, Ellibslibrary.

Metsä Fibre Oy, Äänekosken biotuotetehdas. N.d. Metsä Fibre verkkosivusto. Viitattu 5.6.2023 <https://www.metsagroup.com/fi/metsafibre/metsafibre/sellun-tuotanto/aanekosken-biotuotetehdas/>

PSK 6201. 2022. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 4. painos. Helsinki: PSK Standardointiyhdistys.

Smith, D. 2022. Reliability, maintainability and risk: practical methods for engineers. Cambridge: Elsevier Ltd.

Vilka, M. 2021. Näin onnistut opinnäytetyössä: ratkaisut tutkimuksen umpikujiin. Jyväskylä: PS-kustannus.

Vilpanen, M., Herttuainen, J., Sahlstedt, K., Nieminen, S., Nurmesniemi, E-T., Arvas, J., Seppälä, P., Aurola, A-M. 2022. Suunnitteluohjeet kemiallisen saostuksen toimintavarmuuden parantamiseksi vesihuollossa. Suomen vesilaitosyhdistys ry:n verkkojulkaisu. Viitattu 5.6.2023.
https://www.vvy.fi/site/assets/files/6395/saostuksen_suunnitteluohjeet_28012022.pdf

