

Harri Joronen

Automaattiventtiilin muutos taajuusmuuttajasäädöksi

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus

2025



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike
Tekijä/Tekijät
Työn nimi
Toimeksiantaja
Vuosi
Sivut
Työn ohjaaja(t)

Insinööri (AMK)
Harri Joronen
Automaattiventtiilin muutos taajuusmuuttajasäädöksi
Stora Enso Oyj Imatran tehtaat
2025
30 sivua, liitteitä 2 sivua
Sami Husu

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä lasketaan investointi, energiansäästö ja CO₂ pienentäminen Stora Enson Imatran tehtaan vedenpuhdistamon pumppaustekniikan muuttamisen vaikutuksena. Tällä hetkellä prosessivettä siirretään selkeytinaltaista, primmialtaaseen pumpun välityksellä. Haluttu virtauksen muutos toteutetaan kuristamalla automaatioventtiilillä linjastoa ja niin saadaan haluttu virtausnopeus. Vedessä on epäpuhtauksia ja epäpuhtaiden kuluttaa venttiiliä. Opinnäytetyössä tutkitaan, että virtauksen muutos toteutetaan taajuusmuuttajakäytöllä. Venttiilit voisi olla täysin auki normaalin prosessin aikana ja veden virtausta muutetaan taajuusmuuttajalta järjestelmästä.

Opinnäyte tuloksena saadaan laskelma kustannuksista ja hyöty järjestelmän säädettävyydestä.

Pumppu vaihdetaan toisen tyyppiseen pumppuun ja sähkömoottorin koko pienenee 45kW - 4kW. Sähkömoottoria ohjataan taajuusmuuttajan avulla. Näin saadaan haluttu virtaus nopeus niin että automaatioventtiili on täysin auki. Pumppu vaatii tiivistysveden. Tiivistysvesi tehdään paikan päällä olevasta raakavesilinjasta niin, että siihen laitetaan suodatusjärjestelmä ennen pumppua.

Asiasanat: jätevesi, lietepumppu, taajuusmuuttajasäätö

Degree title	Bachelor of engineering
Author (authors)	Harri Joronen
Thesis title	Automatic valve change to frequency converter control
Commissioned by	Stora Enso Oyj, Imatra mill
Time	2025
Pages	30 pages, 2 pages of appendices
Supervisor	Sami Husu

ABSTRACT

In this thesis, investment, energy saving and ja CO₂ reductions are calculated if the pump drive technology is changed from fixed to adjustable speed one in the Stora Enso mills in Imatra.

At the moment, process water is pumped from the clarifier to the priming basin with a fixed speed pump. The desired flow rate is achieved by choking the line with an automatically adjustable valve and thus obtaining the desired flow rate.

There are impurities in the water and impurities cause wear on the valve. This thesis examines the change of flow rate with frequency converter instead of choking the line. This way the valves could be fully open during the normal operation and the flow rate is altered by changing the turning speed of the pump.

As a result of the thesis, calculations of the costs and the benefits of the adjustability of the system are obtained.

The pump is replaced with another type of pump and the power of the electric motor is reduced from 45kW to 4kW. The electric motor is controlled by a frequency converter.

This secures the desired flow rate in a way that the automated valve can be fully open during normal operation. The pump requires pressurized sealing water. The sealing water can be taken from a raw water line on site by adding a required level filtration unit between water line and the pump.

Keywords: wastewater, sludge pump, frequency converter control

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	VIRTAUKSEN SÄÄTÖ	6
2.1	Taajuusmuuttaja	7
2.2	Sähkömoottori	7
2.3	Pumppu.....	9
2.4	VENTTIILIT	11
2.4.1	Venttiilin määritelmä	11
2.4.2	Säätöventtiilit.....	11
2.4.3	Asennoitin.....	12
2.4.4	Venttiilin tyypit.....	12
2.4.5	Venttiilin rakenne.....	14
2.4.6	Venttiilin toiminta.....	14
2.4.7	Venttiilien käyttö teollisuudessa.....	14
2.5	VIRTAUSMITTAUS	15
2.5.1	Sähkömagneettinen virtausmittaus.....	15
2.5.2	Hetkellinen / kumulatiivinen virtausmittaus	15
2.5.3	Virtausmittarit.....	15
2.5.4	Ultraääni virtausmittarit	16
2.5.5	Virtausmittaus paine-erolla.....	16
2.5.6	Vortex Virtausmittaus	16
2.5.7	Sähkömekaaninen virtausmittaus	17
3	NYKYINEN JÄRJESTELMÄ.....	18
3.1	DNA järjestelmä	18
3.2	SELKEYTTIMET	18
3.2.1	Esiselkeytin 1, Lietepumppu 1	19
3.2.2	Esiselkeytin 2, Lietepumppu 1	19
3.2.3	Esiselkeytin 3, Lietepumppu 1	20

3.3	Primäärilietetiivistin 1 ja 2.....	21
3.4	Sähkömoottori	21
3.5	Keskipakoispumppu	22
3.6	Virtausmittaus.....	22
3.7	Säätöventtiili	24
4	UUSI JÄRJESTELMÄ.....	25
4.1	Uusi pumppu	26
4.1.1	Tiivistevesi.....	27
4.2	Uusi sähkömoottori.....	27
4.3	Taajuusmuuttaja	28
4.4	Virtausmittaus.....	28
5	YHTEENVETO	28
5.1	Energian kustannukset (Esiselkeytin 3).....	28
5.2	Energian kustannukset (Esiselkeytin 3).....	29
5.3	Säästöt (Esiselkeytin 3).....	29
5.4	Investointi kustannukset.....	29
6	POHDINTA.....	30
	LÄHTEET.....	31

KUVALUETTELO

LIITTEET

Liite 1. Kirjoitusalusosan toiminta ja suositeltavat tyylit

Liite 2. Yhtälöiden merkintä

Liite 3. Kuva- tai taulukkoluetelo

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena laskea kustannus energiasäästölle ja investoinnille Stora Enso Oyj Imatran tehtaan jätevedenpuhdistamolle kolmen selkeytin altaan veden siirron suorakäyttöpumppaamon taajuusmuuttajakäyttöiseksi. Tässä työstä saadaan myös CO₂ päästöjen pienennys. Työssä lasetaan kustannus nykyisen pumppaus tekniikalla toteutettu energian, korjauskustannus ja verrataan uudistettuun järjestelmään.

Halutessaan Stora Enso voi toteuttaa pumppujen modernisoinnin, jos näkee projektin energiasäästön ja prosessin säädettävyyden olevan kustannus tehokasta ja toimivuutta parantavaa.

Stora Enso Oyj Imatran tehtaat on yksi maailman suurimmista kuluttajakartonkitehtaista, ja sen tuotannosta yli 90 % viedään Eurooppaan ja Kaakkois-Aasiaan. [1] Tunnetuimpia kartonki tuotteita on nestepakkaukset, taivekartonki, tarjoilupakkaukset, Barried-päällystetyt kartongit, aaltopahvikartonki, graaffinen kartonki, CKB Carrier-monipakkaukset, savukepakkaukset.[2],

Stora Enson liikevaihto oli vuonna 2023 2174 milj. euroa. Henkilöstö Imatran tehtaalla on noin 1000. [3]

2 VIRTAUKSEN SÄÄTÖ

Virtauksen säätöön vaikuttavat monet tekijät. Venttiilit ja venttiiliautomaatio järjestelmä on yksi tärkeimmistä säätöön vaikuttavista tekijöistä.

Venttiilit ohjaavat ja säätävät prosessissa olevia virtauksia tuotantolaitoksissa esim. paperi- ja kartonkiteollisuudessa. Venttiileiden oikeanlainen toiminta vaikuttavat merkittävästi laitosten toimivuuteen ja turvallisuuteen. Tämän vuoksi venttiilit ovat tuotannon ja turvallisuuden kannalta tärkeitä kriittisiä laitteita. [3]

2.1 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on sähkömoottorin nopeutta ohjaava laite. Tällä menetelmällä saadaan parempi prosessin ohjaus, energiankulutuksen väheneminen, moottoriohjauksiensovelluksien pienempi mekaaninen rasitus, erilaiset sähkömoottoreidensovelluksien toiminnan parantaminen. Mekaanisen rasituksen pienentämisen myötä moottoreiden käyttöikä pidentyy.

Yleisimpiä kohteita joissa on taajuusmuuttajia ovat kompressorit, puhaltimet ja pumput. Taajuusmuuttajia on 75 % maailman kaikista käytössä olevista laitteista. [4.]

2.2 Sähkömoottori

Sähkömoottori muuttaa sähköenergiaa liike-energiaksi. Toimintaperiaate perustuu sähköisiin magneetteihin, jotka voidaan halutessa kytkeä päälle tai pois. Sähkömoottorissa on kaksi perusosaa, akselin mukana pyörivä roottori ja paikallaan oleva staattori. Magneettikenttä saadaan aikaan staattorissa ja roottorissa. Vastaparina käytetään toista sähkömagneettia tai kestopagneettia.

Sähkömoottorin mitoituksen perusteena on käytön nimellismomentti. Tilapäisesti sähkömoottori kestää nimellismomenttia suurempaa kuormitusta. Tilapäinen kuormitus saa olla vain hetkellisesti, muuten sähkömoottori lämpenee liikaa. Sähkömoottori on ilmajäähdytteinen. Pienillä kierroksilla jäähdytys on olematon ja se ei toimi yhtä hyvin kuin normaalissa käytössä.

Teollisuudessa eniten asennettu sähkömoottori on vaihtovirralla toimiva oikosulkumoottori, joka kehittää staattorin ja roottorin ympärille pyörivän magneettikentän. Magneettikenttä aiheuttaa induktiolla roottorin käämeihin virran, jolloin magnetoitunut roottori tavoittelee seuraamaan pyörivää magneettivuota ja näin ollen saa aikaan roottorin pyörimisliikkeen.

Oikosulkumoottorin nimitys tulee siitä, että roottorin navat ovat oikosuljettuna keskenään. Näissäkin oikosulkumoottoreissa syntyy energiahäviöitä, koska roottorin magnetointivirta kaapataan pyörimisliikkeestä ja pyörii hiukan jäljessä

vaihtovirran synnyttämään magneettikentän pyörimisnopeuteen verrattuna. Tästä syystä oikosulkumoottoria kutsutaan myös epätahtimoottoriksi. [5.]

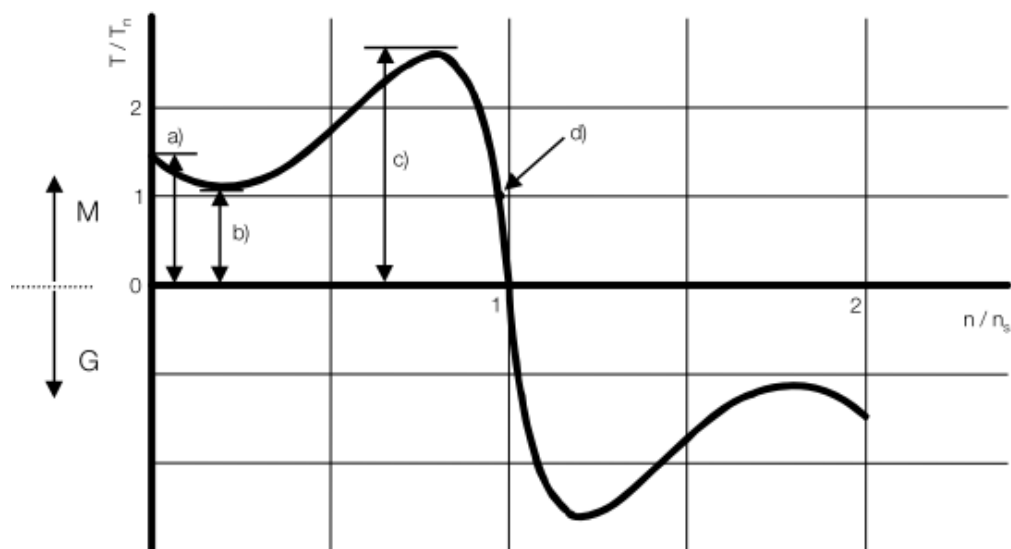
Sähkömoottorin jättämä voidaan määritellä usein moottorin nimellispisteessä. Taajuus (f_n), nopeus (n_n), momentti (T_n), jännite (U_n), virta I_n , teho (P_n)
Nimellispisteessä jättämää kutsutaan nimellisjättämäksi:

$$S_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} * 100 \% \quad (1)$$

jossa n_s on synkroninen pyörimisnopeus:

$$n_s = \frac{f_n}{\text{napapariiluku}} \quad (2)$$

Moottori on kytketty vakiojännite syöttöön, niin taajuuden momenttikäyrä on seuraava (kuva 1). [6.]



Kuva 1

2.3 Pumppu

Pumpulla tarkoitetaan mekaanista nesteiden siirtämistä ja paineennostoon tarkoitettua laitetta.

Pumppausjärjestelmä koostuu pumpuista, putkistoista ja venttiileistä.

Pumput voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

Turbopumput

Keskipakopumput, puoliaksaali- ja aksiaalipumput

Syrjäytyspumput

Mäntäpumput, kiertopumput

Muut pumput

Suihkupumput, paineilmapumput

Teollisuudessa on eniten keskipakoispumppuja. [7.]

Pumpun tarvitsema teho voidaan laskea kaavalla 3, josta voidaan todeta, mitkä tekijät siihen vaikuttavat.

$$P_2 = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_p} \quad \text{tai} \quad P_2 = \frac{Q \cdot p}{\eta_p} \quad (3)$$

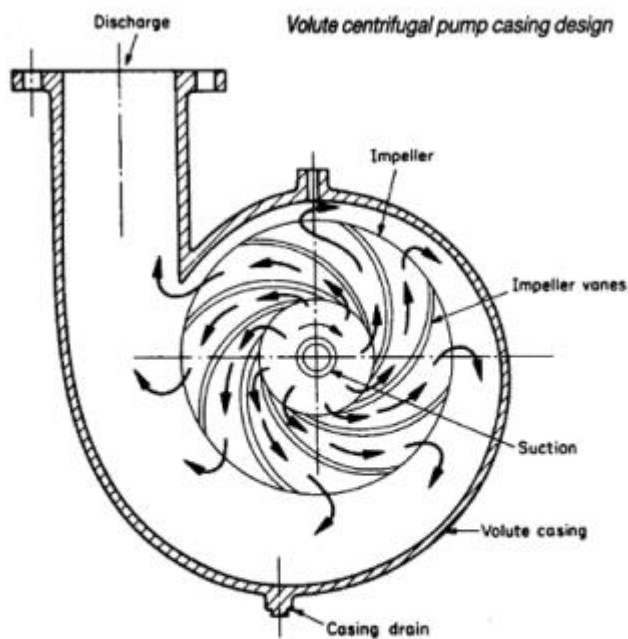
Jossa	P_2 = pumpun akseliteho	[W]
	ρ = nesteen tiheys	[kg/m ³]
	g = putoamiskiihtyvyyden vakio	[m/s ²]
	Q = tilavuusvirta	[m ³ /s]
	H = nostokorkeus	[m]
	η_p = pumpun hyötysuhde	[%]
	P = paine	[pa]

Sähköteho, jonka pumppu ottaa, määräytyy kaavasta 4.

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_m * \eta_s} \quad (4)$$

Jossa	P_1 = pumpun ottama sähköteho	[W]
	P_2 = pumpun akseliteho	[W]
	η_m =sähkömoottorin hyötysuhde	[% / 100]
	η_s = säädön hyötysuhde	[% / 100]

Keksipakoisumpun rakennekuva (kuva 2). [8.]



*Keskipakopumpun
rakennekuva. [UNEP 2004]*

Kuva 2

2.4 VENTTIILIT

2.4.1 Venttiilin määritelmä

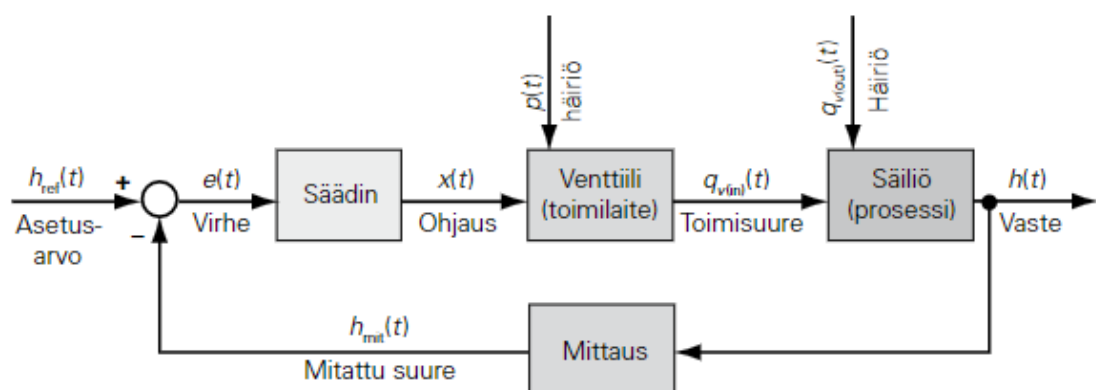
Venttiili on laite, joka säätää, ohjaa, kaasun, nesteen tai höyryn virtauksia putkistoissa tai säiliöissä. Venttiileiden käyttö on laajaa esim. teollisuudessa. Teollisuuden alat mm kaasuteollisuus-, kartonki- sellu- ja kemianteollisuus käyttävät erilaisia venttiileitä eri prosesseissa.

Venttiilin päätoiminto on avata, sulkea tai rajoittaa prosessin virtausta. Toiminto saadaan liikuttelemalla venttiilin osia, esim. läppää, palloa tai luistinta, mekaanisesti, sähköisillä, pneumaattisilla, tai hydraulisilla toimilaitteilla. [9.]

2.4.2 Säästöventtiilit

Keskeinen osa automaatiota on säästöventtiilit. Niiden avulla optimoidaan prosessin toimintaa, pidetään virtauksia, paineita, pinnankorkeuksia, sekoitussuhteita, lämpötiloja jne. Toimintaperiaate perustuu virtauskanavan poikkipinta-alan muuttamiseen. Venttiili avautuu tai sulkeutuu niin, virtauskanava koko muuttuu. Tämän seurauksena virtausnopeus nesteessä kasvaa, hidastuu tai virtauskanavan muuttuessa vaikutus on lämpötilassa tai paineessa. [9.]

Lohkokaavio takaisinkytketystä säädöstä (kuva 3).



Kuva 3

2.4.3 Asennoitin

Asennoitin on laite, jota käytetään venttiilin asennon tarkkaan säätämiseen.

Asennoittimen tehtävä on tarkastella venttiilinkaran asentoa.

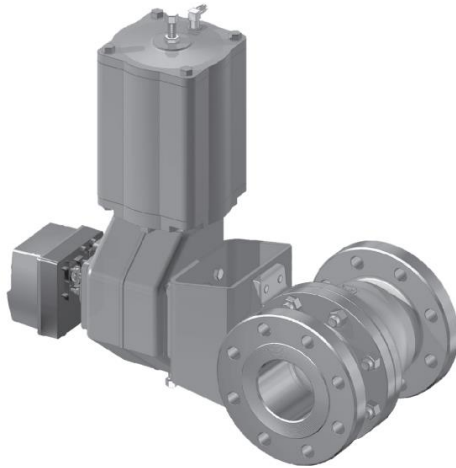
Asennoitinta kontrolloidaan 4...20mA lähtöviestillä. [10. s.43]

2.4.4 Venttiilin tyypit

Venttiilejä voidaan luokitella tyypin, toiminnan, tai käyttötarkoituksen mukaan.

Yleisimmät teollisuudessa käytetyt säätöventtiili mallit:

– palloventtiili (kuva 4), nopeaan sulkemiseen ja avaukseen. [9.]



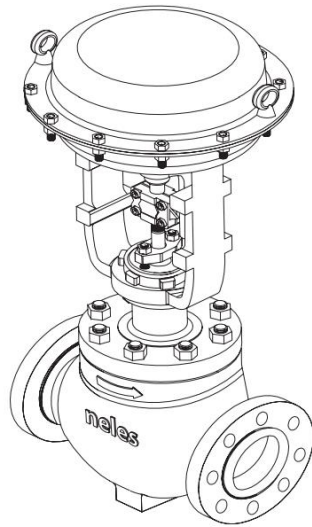
Kuva 4

– Lämpäventtiili (kuva 5), säätöventtiili, virtauksen tarkkaan säätämiseen. [9.]



Kuva 5

– luistinventtiili (kuva 6) useasti korkeissa paineluokka sovelluksissa, koska venttiilillä saadaan tarkka virtausohjaus.



Kuva 6

– Istukkaventtiili (kuva 7) on suunniteltu kaasun tai nesteen virtausta putkistoissa. Nimi tulee istukan muotoisesta sulkimen ansioista. Istukkaventtiilin parhaat ominaisuudet kyky tiivistää ja säätää tarkasti virtausta. [11.]



Kuva 7

2.4.5 Venttiilin rakenne

Venttiili rakenne muodostuu monista eri osista, jotka kaikki yhtäaikaisesti mahdollistavat venttiilin oikean toiminnan.

Tärkeimmät venttiilin osat ovat:

- Runko: Venttiili ulkokuori, joka suojaa sisäosissa ja yhdistää venttiilin putkistoon.
- Istukka: Osa, johon venttiilin sulkeva elementti (läppä tai pallo) istuu tiiviisti.
- Karva: Venttiilin osa, joka työntää sulkevaa venttiilin toimintaa, kuin manuaaliset automaattiset toimilaitteet tai kahvat.

Näiden osien myötä venttiileistä voi olla erilaisia tiivisteitä ja tiivistepintoja, jotka varmistavat tiiviin sulkemisen ja estävät vuotoja. [9.]

2.4.6 Venttiilin toiminta

Venttiilin toiminta pohjautuu kykyyn avata, säätää tai sulkea putkiston virtausta. Kyseinen toiminto saavutetaan venttiilin sulkevaa liikuttelemalla esim. palloa, luistinta tai läppää nämä osat estävät tai päästää virtausta. Toiminto voi olla automaattista taikka manuaalista, jonka venttiili tekee.

Käyttäjät saavat kahvalla taikka käsipyörän avustuksella manuaalisesti venttiili kiinni taikka auki. Automaattisesti toimivat venttiilit saadaan pneumaattisten, sähköisten tai hydraulisten toimilaitteiden voimin kiinni tai auki. Venttiileiden ohjaustieto/signaali saadaan esim. prosessinohjausjärjestelmästä. [9.]

2.4.7 Venttiilien käyttö teollisuudessa

Eri teollisuudenaloilla venttiileitä on laajasti ja niiden käyttökohteet ovat moninaisia. Kaasu- sekä öljyteollisuudessa venttiilit säätävät tai ohjaavat maakaasun taikka öljyn virtauksia putkistoissa. Kemianteollisuudessa venttiili ohjaavat kemikaalin reaktioita ja virtausta prosessissa.

Vesihuollossa keskeisessä roolissa ovat venttiilit, joita käytetään veden käsittelyssä ja jakelussa. Venttiilit sallivat virtauksen säätelyn ja jakelun eri kohteisiin vesijohtoverkossa. Jätevedenkäsittelyssä puhdistuksessa ja käsittelyssä venttiilit ovat tärkeässä osassa. [9.]

2.5 VIRTAUSMITTAUS

2.5.1 Sähkömagneettinen virtausmittaus

Sähkömagneettisia virtausmittareita käytetään johtokykyisiin nesteisiin, esim. veteen, emäksiin, happoihin, lietteisiin. Tavallisesti kohteita ovat nesteiden, annostelu, täytön tai laskutusmittauksissa, jossa tarvitaan tarkan mittauksen valvontaa. Osa virtausmittareista on huoltovapaita ja kyetään integroimaan prosesseihin helposti.

Teollisuudessa sähkömagneettisia virtausmittareita käytetään yleensä veden hallinnassa ja prosessoinnissa. [12.]

2.5.2 Hetkellinen / kumulatiivinen virtausmittaus

Virtausmittaukset voidaan jakaa kahteen tyyppiin, hetkellinen virtaus ja kumulatiivinen virtaus. Kokonaismäärää mittaus, on yleensä toteutettu hetkellisen virtauksen havainnoinnilla. Jollakin toimipisteillä virtauksensäätö vaatii hetkellisen virtausmittauksen. Virtausmittauksen valinta tämän vuoksi on tehtävä paikan päällä, mittaustarpeiden mukaan. [13.]

2.5.3 Virtausmittarit

Kyseinen mittaustekniikka massavirtausmittarit hyödyntää Coriolis-ilmiötä, maan pyörimisen aiheuttavasta hitausvoimaa.

Coriolis – virtausmittaus toimii niin, kun aine menee värähtelevien putkien läpi niin sen voimat saa aineen vääntyilemään ja muotoutumaan niin anturit havaitsevat värähdyksen ansiosta tulevan liikkeen. Tämän seurauksena tarkka elektroniikka muuntaa tuloksen tiheys-, massavirta- ja lämpötilatiedoiksi. [14.]

2.5.4 Ultraääni virtausmittarit

Mittausperiaatteena hyödynnetään ultraääntä virtauksen mittaamiseen (kuva 8). Tässä järjestelmässä on kaksi menetelmää, jolla saadaan virtausmittattua. Doppler- menetelmä tai kulkuainemenetelmä. Doppler- menetelmässä on periaatteena, kun aineessa on partikkeleita, jotka heijastavat ultraääntä anturille. Tämän järjestelmä etuina on asennuksen helppous asennuksessa. Mittaus tapahtuma tapahtuu yhtenäisesti putken päältä. Jos putken ollessa vajaa, niin mittausjärjestelmä vaatii vielä pinnanmittausanturin, mittaamaan pinnankorkeutta. Kulkuaine-menetelmässä on kaksi anturia ja mitataan kulku-aika aineen läpi. Tämä mittaus vaatisi kohtalaisen puhtaan väliaineen. [15.]



Kuva 5

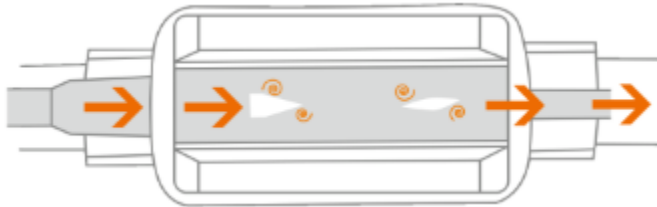
2.5.5 Virtausmittaus paine-erolla

Virtausmittaus paine-erolla mitataan määrää, joka putkijärjestelmän läpi virtaa aikayksikköä kohti. Tämä mittaus suoritetaan paine-eroantureilla. Kyseessä on paine-eroputket Venturi- tai pitot-putket, jossa on aukot, jotka tuottavat paine-eron, putkeen asennettuna. Tämän paine-eron osaa paine-erolähetin lukea ja virtausnopeus lasketaan mittausarvoista saadusta tuloksista. [16.]

2.5.6 Vortex Virtausmittaus

Mittausperiaate perustuu siihen, että nesteiden alavirtaan oleviin esteisiin esim. siltojen tukipilareihin muodostuu turbulenssia (kuva 9). Vortex-virtausmittarin sisällä on bluffirunko. Virtausnopeus saavuttaa tietyn arvon, niin bluffirungon taakse tulee pyörteitä. Ne irtoavat virrasta ja kulkevat alavirtaan. Pyörteiden irtoamisaajuus on suoraan verrannollinen virtauksen keskinopeu-

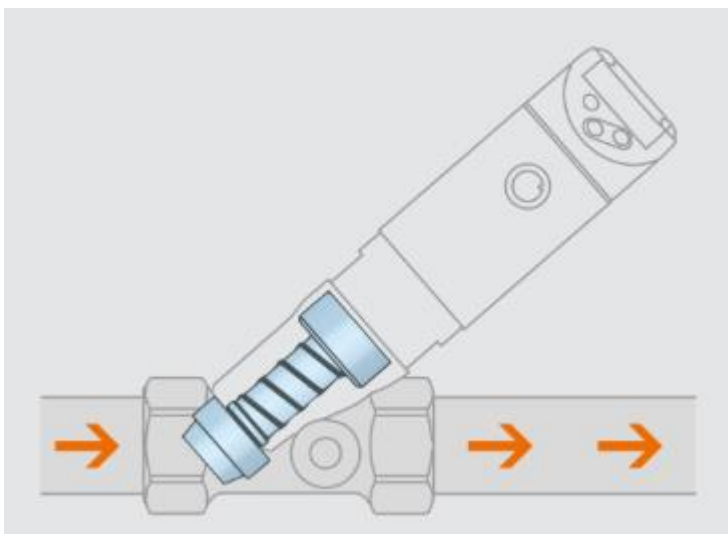
teen ja sen ansiosta tilavuusvirtaan. Bluffirungon ansiosta molemmilla puolilla tuottavat vuorotellen negatiivisen tai positiivisen paineen. Kapasitiivinen anturi huomaa paineen ja syöttää elektroniikkaan digitaalisena lineaarisena signaalina. [17.]



Kuva 6

2.5.7 Sähkömekaaninen virtausmittaus

Mittausperiaatteen toiminta perustuu jousitoimiseen mäntään (kuva 10). Mäntä sijaitsee anturissa, venttiili-istukassa, joka nousee virtauksen noustessa jousivoimaa vasten. Männän paikkaa seurataan magneettikenttäanturin avulla ja tulos siirretään analogisignaalinä lähtöön. Virtauksen pienentyessä jousivoima pakottaa männän alkuperäiseen asentoon. Tämä mahdollistaa anturin asennuksen virhe asennuksen ja mekaanisen jousen avulla estää takaisinvirtauksen. [18.]



Kuva 7

3 NYKYINEN JÄRJESTELMÄ

Vuodesta 1990 vedenpuhdistamolla on käytetty veden pumppaamisessa keskipakopumppua ja suoralla käytöllä varustettua sähkömoottoria. Virtausnopeus tai veden määrä saadaan halutuksi venttiiliä kuristamalla. Tämän tyyppinen järjestelmä oli tyypillinen siihen aikaan, kun Imatran tehtaiden vedenpuhdistamo valmistui.

Kuristussäädöllä haasteena tässä kohteessa on, että venttiili on vain noin 15 – 35 % auki ja veden virtaama + karkea vesi syö venttiiliä, niin ettei se välttämättä pidä, kun se joudutaan laittamaan kiinni.

3.1 DNA järjestelmä

DNA Automaatiojärjestelmällä ohjataan vedenpuhdistamon toimintaa. Järjestelmää on uudistettu aika ajoin ja on laajasti käytössä Imatran Stora Ensolla. Lietepumpun virtauksen arvoilla säädetään venttiilin asentoa. Näin saadaan haluttu virtausnopeus lietteelle, joka menee prinsiivestimille.

3.2 SELKEYTTIMET

Esiselkeytin 1. tehtävä on laskeuttaa sellulta tulevasta jätevedestä kiintoainetta

Esiselkeytin 2 ja 3, tehtävä on saostaa kartonki ja paperitehtaalta tulevan lietteen. Näitä selkeyttimiä voidaan myös käyttää tarvittaessa myös sellun jätevesille, mutta jakokaivon patoluukkuja pitää muuttaa toisiin asentoihin.

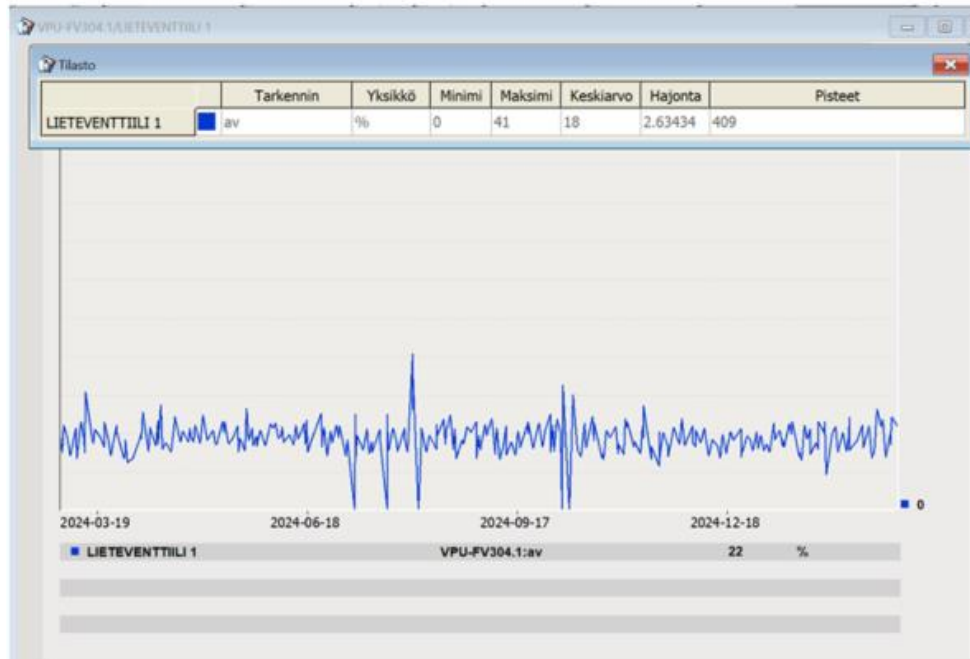
3.2.1 Esiselkeytin 1, Lietepumppu 1

Pumppaa esiselkeytin 1, laskeutuneen lietteen asetellun virtauksen mukaan, primlietetiivistimille 1-2, (kuva 11).

Virtauksen säätö on venttiiliä kuristamalla.

Selkeytin 1, pumpun jälkeisen venttiilin asento, vuoden keskiarvo 18 %

Selkeytin 1



Kuva 8

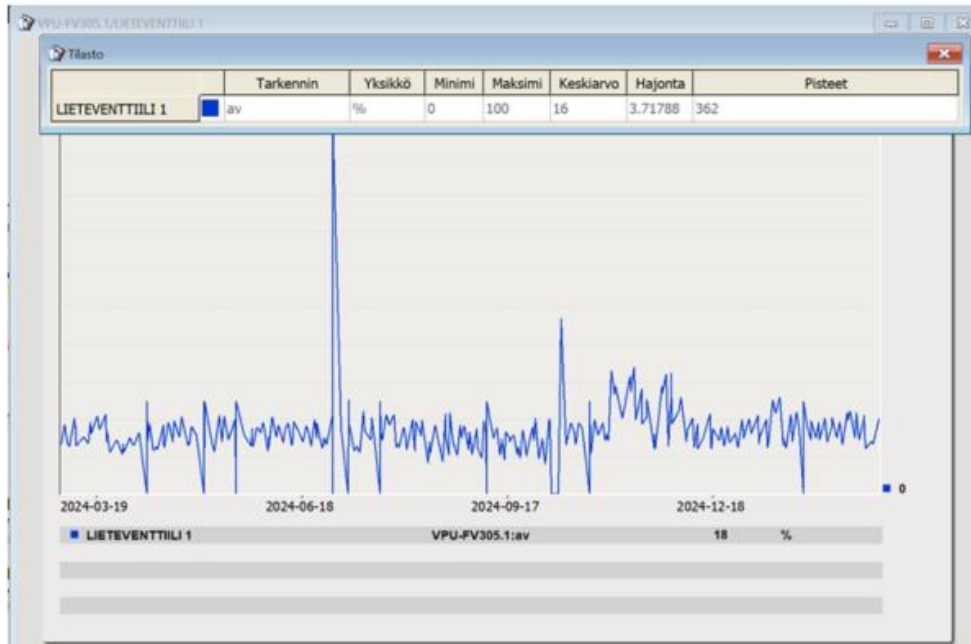
3.2.2 Esiselkeytin 2, Lietepumppu 1

Pumppaa selkeytin 2 laskeutuneen lietteen asetellun virtauksen mukaan primtiivistimiin 1-2, (kuva 12). Tarvittaessa voidaan ohjata pumpuille laimennusvettä.

Virtauksen säätö on venttiiliä kuristamalla.

Selkeytin 2, pumpun jälkeisen venttiilin asento, vuoden keskiarvo 16 %

Selkeytin 2



Kuva 9

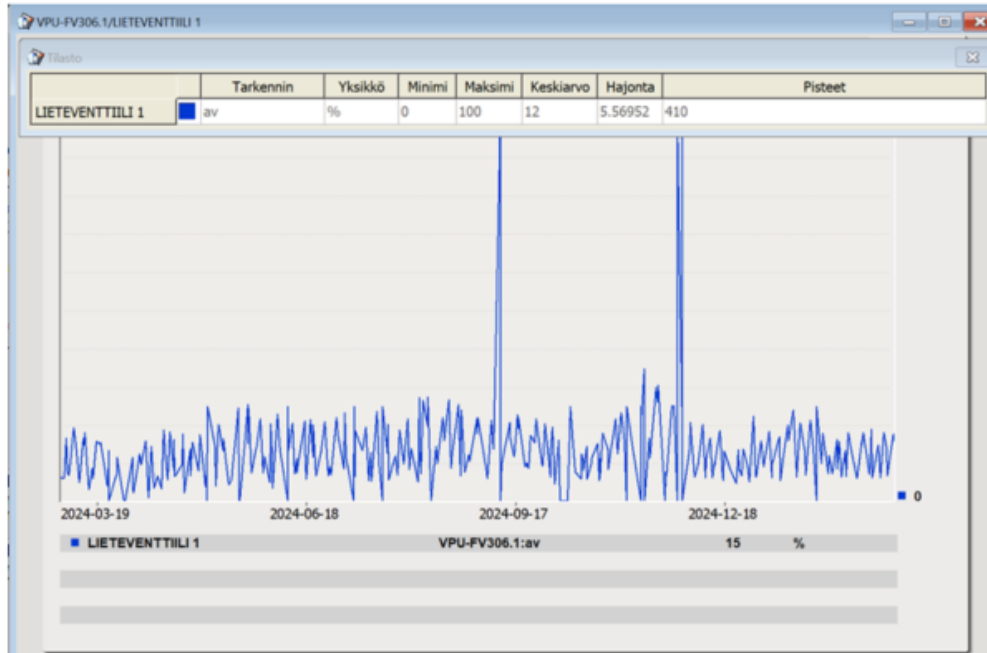
3.2.3 Esiselkeytin 3, Lietepumppu 1

Pumppaa selkeytin 3 laskeutuneen lietteen asetellun virtauksen mukaan primitiivistimiin 1-2. Tarvittaessa voidaan ohjata pumpulle laimennusvettä (kuva 13).

Virtauksen säätö on venttiiliä kuristamalla.

Selkeytin 3, pumpun jälkeisen venttiilin asento, vuoden keskiarvo 12 %

Selkeytin 3



Kuva 10

3.3 Primäärilietetiivistin 1 ja 2

Errottelee selkeyttimiltä 1-3 tulevan lietteen ja laskeutunut liete pumpataan suhdessäädöllä lietesäiliöön. Toimii oman hydraulikka koneikon avulla. Primitiivistin toimii kahden hydraulikkasynterin voimalla, säppipyörä pyörittää haraa. Laitteistossa on rajakytkimet, jotka valvovat pyörintäliikkeen toimintaa

3.4 Sähkömoottori

Nykyinen sähkömoottori on tyypiltään; ABB 45kW 400/690v R1500 M3BP225MB4B3, kunnostettu sähkömoottori, joka on ollut kohteessa yli kolme vuotta (kuva 14). Kunnostettuja sähkömoottoreita vaihdellaan sähkörikon seurauksena eri kohteisiin.



Kuva 11

Tämänhetkinen tilanne. Vanha pumppu, sähkömoottori, venttiili yhdistelmä.

3.5 Keskipakoispumppu

Nykyinen keskipakoispumppu on tyypiltään APP33 Dynaseal. Pumppu jaksaa pumpata, mutta tarpeeksi ison virtauksen yli (35 l/s) sähkömoottorista lämpösuoja laukoo. Pumpattava aine on sen verran jäykkää (~2 % massaa), että tähän asti pumppauskapasiteetti on alimitoitettu. Tämän tyyppisiä tilanteita on onneksi harvakseltaan, mutta muutaman kerran vuodessa on kyseinen tilanne mahdollista (häiriö tilanteissa).

3.6 Virtausmittaus

Virtausmittaus on toteutettu Krohne Optiflux 4000 tyyppin anturilla. Muunnin on tyypiltään Krohne IFC300W. Krohne Optiflux on sähkömagneettinen virtaus-

anturi, joka tarvitsee IFC 300 signaalimuuntimen.

Krohne Optiflux 4000 virtausanturi, DN80 (kuva 15).



Kuva 12

Krohne Optiflux 4000 virtausanturi, DN80 (kuva 16).



Kuva 13

Krohne IFC300W (kuva17).



Kuva 14

3.7 Säätöventtiili

Nykyinen säätöventtiili säätelee selkeyttimestä poistuvaa lietteen virtausta primäärilietetiivistimille. Venttiilin pienentää putkiston aukon kokoa, jolloin virtaus pienenee tai suurenee. Venttiili on keskimääräisesti auki 15 - 35 %.

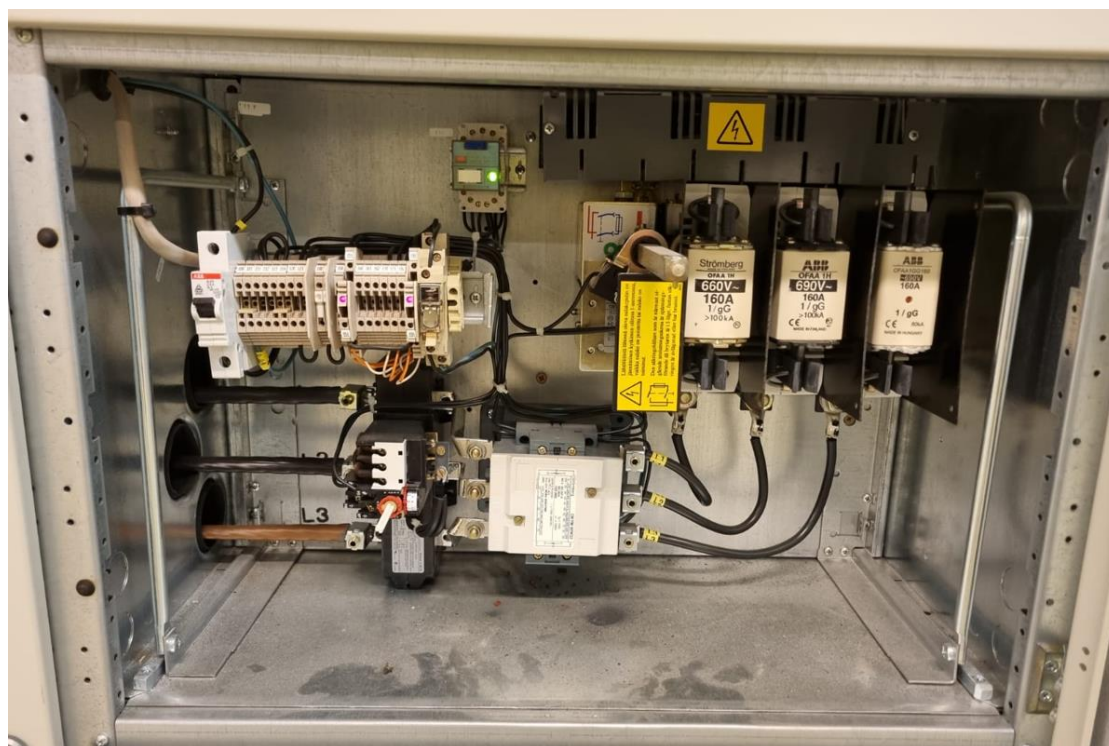
4 UUSI JÄRJESTELMÄ

Asennus

Uudessa järjestelmässä vaihdettaisi uusi sähkömoottori-pumppu yhdistelmä ja lisätään taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajat asennetaan erikseen tehtävään telineeseen niin, että molemmin puolin voidaan asentaa ja operoida.

Syöttökaapeli laitetaan poikki ja käännetään uudelle taajuusmuuttajalle. Taajuusmuuttajan ja sähkökeskuksen välille vedetään uudet kaapelit. Sähkökeskuksen lähdöstä joudutaan poistamaan kontaktori ja lämpörele kaikkineen osineen.

Nykyinen sähkölähtö (kuva 18).



Kuva 15

Taajuusmuuttaja tulisi ohjaamaan veden virtausta. Taajuusmuuttajan ohje arvo otetaan pumpun jälkeisen virtausmittauksesta. Palloventtiili voisi olla 100 % auki, niin se ei kuluisi samalla tavalla kuin entisessä järjestelmässä. Nykyinen sähkömoottori on 45kW ja uudistuksen myötä olisi koko 4kW. Tästä syntyy merkittävä energian ja CO₂ päästöjen säästö.

Venttiilin korjaus on maksanut vuonna 2022, 7100 € + vaihtotyö 1500 € ja

vuonna 2024 korjaus maksoi 9300 € + vaihtotyö +1500€. Vanhalla järjestelmällä venttiiliä joudutaan vaihtamaan noin 3-5 vuoden välein. Uuden järjestelmän ansiosta venttiilin vaihto jäisi kokonaan pois, joten kustannussäästö 3-5 vuoden välein on noin 10k€.

4.1 Uusi pumppu

Spiraalipesäpumppu, Sewabloc D 150-253G1 H 132M 06.

Tämä pumppu on laskettu tehoiltaan ja veden noston kapasiteetti kohteeseen sopivaksi. Nostokorkeutta ei tarvitse pumpulla olla kuin 4m. Pumppaus aine on noin 2 % massa, joten uudistettu pumppu olisi parempi vaihtoehto nykyiselle pumpulle.

Pumpun tarvitsema teho voidaan laskea kaavalla 5, josta voidaan todeta, mitkä tekijät siihen vaikuttavat

$$P_2 = \frac{\rho * g * Q * H}{\eta_p} \text{ tai } P_2 = \frac{Q * p}{\eta_p} \quad (5)$$

jossa	P_2 = pumpun akseliteho	(W)
	ρ = nesteen tiheys	(kg/m ³)
	g = putoamiskiihtyvyyden vakio	(m/s ²)
	H = nostokorkeus	(m)
	η_p = pumpun hyötysuhde	(%)
	P = paine	(pa)

Sähköteho, jonka pumppu ottaa, määräytyy kaavasta 6

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_m * \eta_s} \quad (6)$$

jossa	P_1 = pumpun ottama sähköteho	(W)
	P_2 = pumpun akseliteho	(W)
	η_m = sähkömoottorin hyötysuhde	(% / 100)
	η_s = säädön hyötysuhde	(% / 100) [19]

4.1.1 Tiivistevesi

Uuteen pumppuun tarvitaan tiivistevesi järjestelmä. Tiivistevesi otetaan raakavesilinjasta ja siihen lisätään Non Flow standart – tiivistevesijärjestelmä. Järjestelmä vaatii myös suodattimen. Tämä järjestelmä jäähdyttää ja voitelee tiivisteitä. Tiivistevesimittari valvoo nesteen virtausnopeutta, jota voidaan myös säätää kohteeseen sopivaksi. Tiivistemittarissa on usein asennettu vartija (kuva 19), joka pysäyttää pumpun, jos veden saanti loppuu pumpun tiivisteessä.



Kuva 16

4.2 Uusi sähkömoottori

Uusi sähkömoottori Siemens / Innomatics, 4kW, 988rpm, napaluku 6 ja pyörimisnopeus 988rpm. Tällä yhdistelmällä saadaan haluttu tuotto nykyisen pumpun-sähkömoottorin tilalle.

4.3 Taajuusmuuttaja

ABB ACS880-01-04A0-3+E200+L536+P904 on teollisuus taajuusmuuttaja, maadoitetun verkon EMC C3 suotimella ja ACS-AP-W Bluetooth - ohjauspaneelilla.

4.4 Virtausmittaus

Virtausmittaukseen jää vanha mittausjärjestelmä (Krohne Optiflux 4000). Järjestelmän avulla, saadaan virtaus nykyisestä mittauksesta.

5 YHTEENVETO

Tulosten ja laskelmien myötä olisi kannattavaa vaihtaa toisenlainen säätöjärjestelmä kohteeseen. Sähkökulutus ja CO₂ päästöt pienenee huomattavasti, yli 91 %.

5.1 Energian kustannukset (Esiselkeytin 3)

Sähkö – keskim. sähköntuotannon päästökerroin **60 kg CO₂/MWh**
[20].

Ostetun sähkön hinta tehtaalle, vuoden 2024 keskiarvo **59,52€/MWh**

Vanha järjestelmä (45kW sähkömoottori)

Venttiili auki 22 % (vuoden ka)

Veden virtausnopeus 77.4m³/h (vuoden ka)

Vuotuinen energian kulutus

64.8 MWh

Vuotuiset energian kulutuksen rahana

3857 €

CO₂ päästöt

3888 kg/vuosi

5.2 Energian kustannukset (Esiselkeytin 3)

Uusi pumppu + sähkömoottori (4kW), säätö taajuusmuuttajalla

Venttiili auki 100 %

Veden virtausnopeus 77.4m³/h (vuoden ka)

Vuotuinen energian kulutus **5.5 MWh**

Vuotuiset energian kulutuksen rahana **327 €**

CO₂ päästöt **330 kg/vuosi**

5.3 Säästöt (Esiselkeytin 3)

Vuotuinen energian säästö **59,3 MWh**

Vuotuinen energian säästö rahana **3530 €**

Vuotuinen CO₂ päästöjen vähentäminen **3558 kg/vuosi**

Vuotuinen venttiilin korjaus säästö **2000 - 3300 €**

5.4 Investointi kustannukset

Materiaalit / koneet (Esiselkeytin 3)

– spiraalipesäpumppu + sähkömoottori 15500€

– taajuusmuuttaja ABB 880 1000€

– asennustyöt (taajuusm. + taajuusm. teline) 2000€

– Non Flow standart- järjestelmä 600€

– NF-GO- suodatin 500€

– vesisyötön asennus 100€

Yhteensä: 19700€

Investoinnin takaisinmaksuaika on noin kolme vuotta.

6 POHDINTA

Nykypäivänä CO₂ päästöjen vähentäminen on markkinavaltti, kun saadaan CO₂ päästöjä pienemmäksi. Vaikka kyseinen kohde ei ole suurin suuri päästöjen kohde niin, jokainen pienikin CO₂ päästöjen pienentäminen pitää harkita onko investointi kannattava.

Toiseksi nykypäivän energian hinta on korkea, niinpä kyseinen kohde tulee jatkossa säästämään rahaa ja investointikustannuksia esim. venttiilin vaihdosta, kun venttiili ei kulu samalla tavalla, kuin vanhassa järjestelmässä.

Stora Enson omatkin tavoitteet hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi ovat kunnianhimoiset, joten tämä on yksi kohde monien joukosta, missä voidaan säästää CO₂ päästöistä.

Suosittelen lämpimästi, että kyseinen kohde saa uudet pumput, sähkömoottori ja taajuusmuuttajan mikä säättää prosessia ja venttiiliä vasten lopetetaan näissä kolmessa kohteessa. Kuristussäätö = venttiiliä vasten ajaminen, ei ole enää nykypäivän prosessinsäätö.

LÄHTEET

1. Stora Enso. Imatran tehtaat. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/imatra-mill> [viitattu 10.5.2025]
2. Stora Enso. Tuotteet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/fi-fi/products> [viitattu 10.5.2025]
3. Timo Harju & Arto Marttinen. Sääätötekniikan koulutusmateriaali. PDF-dokumentti. 2000. Saatavissa: https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/pid_kirja_1-1.pdf [viitattu 10.5.2025]
4. Danfoss. Taajuusmuuttaja. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-an-ac-drive/> [viitattu 6.5.2025]
5. Vem Motors Finland. Sähkömoottori. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vem.fi/toimialatietoa/mika-on-sahkomoottori/> [viitattu 6.5.2025]
6. ABB Sähkökäytön mitoitus. Tekninen opas n:o 7. PDF-dokumentti 2001. Saatavissa: https://library.e.abb.com/public/e2f37a3bec604eeb810eade02b65a3c4/Tekninen_opasnro7.pdf?x-sign=27TiQ9dSE2wP1oWKA5OmY1hgEzT0U3AE9h5BL4x4uFGVYpCouPA6eTcoeNAGHzyB [viitattu 6.5.2025]
7. https://library.e.abb.com/public/e2f37a3bec604eeb810eade02b65a3c4/Tekninen_opasnro7.pdf?x-sign=27TiQ9dSE2wP1oWKA5OmY1hgEzT0U3AE9h5BL4x4uFGVYpCouPA6eTcoeNAGHzyB Motiva. Energiatehokas pumppausjärjestelmä. PDF-dokumentti. 2009. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/7810/Energiatehokas_pumppausjarjestelma_KOULUTUSAINEISTO.pdf [viitattu 6.5.2025]
8. Motiva Energiatehokkaat hankinnat. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat_pumput.pdf [viitattu 6.5.2025]
9. Finkova. Venttiilit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://finkova.fi/mika-on-venttiili-ja-miten-ne-toimivat/> [viitattu 7.5.2025]
10. Kippo A & Tikka A. Automaatiotekniikan perusteet. 1. painos. Helsinki: Edita 2022

11. Finkova. Istukkaventtiili.WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://finkova.fi/istukkaventtiilin-asennus-ja-saatoohjeet/> [viitattu 7.5.2025]
12. Endress+Houser. Sähkömagneettinen virtausmittaus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fi.endress.com/fi/tuotteet/nesteiden-kaasujen-h%C3%B6yryn-virtausmittaus/s%C3%A4hk%C3%B6magneettiset-virtausmittarit> [viitattu 10.5.2025]
13. Jyflowmeter. Virtausmittarin valinta periaatteet ja menetelmät. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://fi.jyflowmeter.com/info/principles-and-methods-of-flowmeter-selection-72624391.html> [viitattu 10.5.2025]
14. Älykäsmittaus. Coliolis-virtausmittari. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.smartmeasurement.com/fi/coriolis-flow-meters/#:~:text=Coriolis-virtausmitta> [viitattu 9.5.2025]
15. Sääto. Ultraäänivirtausmittaus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://saato.fi/tuote-kategoria/virtausanturit-nesteille/ultraaanivirtausmittarit/> [viitattu 9.5.2025]
16. Endress+Houser. Virtausmittaus paine-erolla. WWW-dokumentti. Saatavissa: www.fi.endress.com/fi/tuotteet/nesteiden-kaasujen-höyryn-virtausmittaus/virtausmittaus-paine-erolla [viitattu 9.5.2025]
17. Endress+Houser. Vortex virtausmittaus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fi.endress.com/fi/tuotteet/nesteiden-kaasujen-h%C3%B6yryn-virtausmittaus/vortex-virtausmittarit?filter.p=2&filter.fb=true> [viitattu 8.5.2025]
18. IFM. Mekaaninen virtausmittaus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ifm.com/il/en/shared/technologies/flow-sensors/technology/measuring-principles-of-ifm-flow-sensors-and-flow-meters> [viitattu 10.5.2025]
19. Motiva. Energiatehokkaat pumput. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat_pumput.pdf [viitattu 8.5.2025]
20. Motiva. CO₂-päästökertoimet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto suomessa/co2-paastokertoimet> [viitattu 9.5.2025]
21. ABB. Energy save calculator. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://energysave.abb-drives.com/> [viitattu 8.5.2025]

KUVA- TAI TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Lähteen referoiva ja suora lainaaminen, ABB. Tekninen opas n:o 7. s. 9. Saatavissa:

https://library.e.abb.com/public/e2f37a3bec604eeb810eade02b65a3c4/Tekninen_opasnro7.pdf?x-sign=27TiQ9dSE2wP1oWKA5OmY1hgEzT0U3AE9h5BL4x4uFGVYpCouPA6eTkoeNAGHzyB

Kuva 2. Lähteen referoiva ja suora lainaaminen. Motiva. Energia-tehokas pumppausjärjestelmä. Saatavissa:

https://www.motiva.fi/files/7810/Energiatehokas_pumppausjarjestelma_KOULUTUSAINEISTO.pdf

Kuva 3. Lähteen referoiva ja suora lainaaminen. Kippo & Tikka. Automaatiotekniikan perusteet. 7.5.2025

Kuva 4. Lähteen referoiva ja suora lainaaminen. Valmet. Palloventtiili. s. 1. Saatavissa:

<https://www.valmet.com/globalassets/sharepoint/imported/1m70fi.pdf>

Kuva 5. Lähteen referoiva ja suora lainaaminen. Valmet. Läppäventtiili. s. 1. Saatavissa:

<https://www.valmet.com/globalassets/sharepoint/imported/1m70fi.pdf> [viitattu 10.5.2025]

Kuva 6. Lähteen referoiva ja suora lainaaminen. Valmet Luistinventtiili. s. 1. Saatavissa:

<https://www.valmet.com/globalassets/sharepoint/imported/4gv75fi.pdf>

Kuva 7. Lähteen referoiva ja suora lainaaminen. Anhui Jianlong. Istukkaventtiili. Saatavissa: <https://fi.ahjianlong-ae.com/valve-positioner/globe-control-valve/samson-3241-globe-control-valve.html>

Kuva 8. Lähteen referoiva ja suora lainaaminen. IFM. Ultraäänivirtausmittaus. Saatavissa:

<https://www.ifm.com/il/en/shared/technologies/flow-sensors/technology/measuring-principles-of-ifm-flow-sensors-and-flow-meters>

Kuva 9. Lähteen referoiva ja suora lainaaminen. Vortex virtausmittaus. Saatavissa:

<https://www.ifm.com/il/en/shared/technologies/flow-sensors/technology/measuring-principles-of-ifm-flow-sensors-and-flow-meters>

Kuva 10. Lähteen referoiva ja suora lainaaminen.

IFM.Virtausmittareiden suureet. Saatavissa:

<https://www.ifm.com/il/en/shared/technologies/flow-sensors/technology/measuring-principles-of-ifm-flow-sensors-and-flow-meters>

Kuvat 11-13. Itse kuvattu. DNA järjestelmä Imatran tehtaat, vedenpuhdistamo

Kuva 14. Itse kuvattu. Stora Enso Imatra, vedenpuhdistamo selkeytin 3 Sähkömoottori-pumppu yhdistelmä.

Kuvat 15-17. Itse kuvattu. Stora Enso Imatra, vedenpuhdistamo virtausanturi.

Kuva 18. Itse kuvattu. Stora Enso Imatra, vedenpuhdistamo sähkökeskuslähtö

Kuva 19. Lähteen referoiva ja suora lainaaminen. Kytölä. Tiivistevesi virtausmittaus. Saatavissa:

<https://kytola.com/fi/tuotteet/tiivistenestemittarit-virtausmittarit/kytola-tiivistevesimittari-malli-slmx2/>

Liite 2/1

ABB ENERGIANSÄÄSTÖLASKURI



ENERGIANSÄÄSTÖLASKELMA

VPU Esiselkeytin 3, Vanha järjestelmä

Venttiili auki 22 %, vuoden Keskiarvo

30.4.2025

Tulokset on laskettu ABB EnergySave -laskurilla. Se on interaktiivinen työkalu, jolla voi vertailla puhallin-, pumppu- ja kompressorisovellusten sähköenergiakulutusta käytettäessä taajuusmuuttajaa tai perinteisiä säätötapoja. Laskentamallia on kehitetty vuosien ajan yhdessä pumppu-, puhallin- ja kompressorivalmistajien kanssa parhaan tarkkuuden saavuttamiseksi.

TULOKSET

31,1 MWh

Vuotuiset energiansäästöt

64,8 MWh

Vuotuinen energiankulutus nykyisellä ohjausmenetelmällä

33,7 MWh

Vuotuinen energiankulutus ABB-taajuusmuuttajaohjauksella

48 %

Vuotuinen energiansäästöprosentti

18 642 €

Vuotuiset energiansäästöt

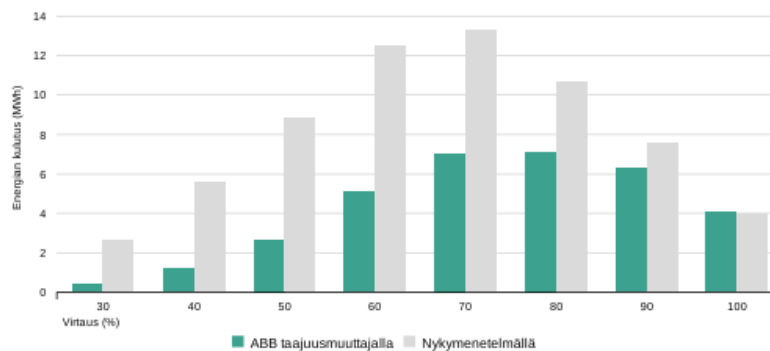
3,1 t/vuosi

CO₂-päästövähennys

Ei arvoa

Suora takaisinmaksuaika

KOKONAISENERGIANKULUTUS



Liite 2/2

ABB ENERGIANSÄÄSTÖLASKURI



ENERGIANSÄÄSTÖLASKELMA

VPU Esiselkeytin 3

Uusi järjestelmä, venttiili auki 100 %

30.4.2025

Tulokset on laskettu ABB EnergySave -laskurilla. Se on interaktiivinen työkalu, jolla voi vertailla puhallin-, pumppu- ja kompressorisovellusten sähköenergiankulutusta käytettäessä taajuusmuuttajaa tai perinteisiä säätötapoja. Laskentamallia on kehitetty vuosien ajan yhdessä pumppu-, puhallin- ja kompressorivalmistajien kanssa parhaan tarkkuuden saavuttamiseksi.

TULOKSET

2 MWh

Vuotuiset energiansäästöt

7,5 MWh

Vuotuinen energiankulutus nykyisellä ohjausmenetelmällä

5,5 MWh

Vuotuinen energiankulutus ABB-taajuusmuuttajaohjauksella

27,2 %

Vuotuinen energiansäästöprosentti

1 226 €

Vuotuiset energiansäästöt

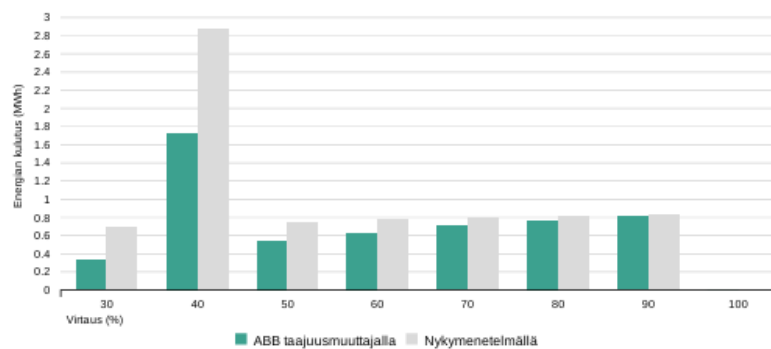
0,1 t/vuosi

CO₂-päästövähennys

Ei arvoa

Suora takaisinmaksuaika

KOKONAISENERGIANKULUTUS



[21.]