

# KEMIJOKI OY:N VOIMALAITOSTEN TURBIINIEN KUN- NONVALVONNAN DIGITALISOINTI

Caverion Industria Oy

Kortelainen Olli

Opinnäytetyö

Uudistuvan teollisuuden asiantuntija  
Insinööri (YAMK)

2023

Uudistuvan teollisuuden asiantuntija  
Insinööri YAMK

---

<b>Tekijä</b>	Olli Kortelainen	<b>Vuosi</b>	2023
<b>Ohjaaja(t)</b>	TkT Ari Pikkarainen		
<b>Toimeksiantaja</b>	Caverion Industria Oy		
<b>Työn nimi</b>	Kemijoki Oy:n voimalaitosten turbiinien kunnonvalvonnan digitalisointi		
<b>Sivumäärä</b>	82		

---

Opinnäytetyön aiheena käsiteltiin Kemijoki Oy:n vesivoimalaitoksien turbiinien kunnonvalvonnan digitalisointia. Työn päätavoite oli muodostaa käyttäjäystävällinen, selkeä ja toimiva nykyaikainen kunnonvalvonnan työkalu, josta saadaan hyötyä muun muassa investointien kohdistamiseen ja suunnitteluun sekä mahdollisten suurempien vaurioiden ehkäisyyn. Tavoitteena oli myös herättää ajattelua sähkömarkkinan vaikutuksista koneistojen kestävyys- ja elinkaareen. Työn kohteena oli Valajaskosken, Petäjäskosken, Ossauskosken ja Taivalkosken voimalaitokset ja niiden koneistot.

Tutkimusmenetelmänä työssä käytettiin toimintatutkimusta. Teoriaosuudessa käsiteltiin aiheeseen liittyviä merkittäviä asioita, muun muassa vesivoiman toimintaa, digitalisaatiota, digitalisaation haasteita ja mahdollisuuksia, kunnossapitoa ja kunnossapitolajeja. Kirjallisuuden lisäksi työssä hyödynnettiin myös asiantuntijoiden näkemyksiä omien oppien lisäksi.

Työ muodostettiin tietokoneiden ja datan käsittelyn avulla. Työssä käytettävät laskenta-arvot määritettiin testaamalla eri lukuja ja näiden painoarvoja. Käytännön osuudessa käsiteltiin keskeisiä suorituskyvyn indikaattoreita eli KPI-arvoja. Kyseisessä osiossa visualisoitiin selityksineen työkalun käyttöä ja tulkitsemista.

Työn tuloksissa esitettiin yrityksen arvoelementit, jotka havaittiin työn aikana, työstä saadut hyödyt sekä työn johtopäätökset ja kehittämisen jatkoaiheita sekä -kysymyksiä. Työn perusteella Kemijoki Oy:llä on paljon potentiaalia ja hyvät lähtökohdat kehittää voimalaitoksien kunnonvalvontaa.

Avainsanat	kunnossapito, kunnonvalvonta, digitalisaatio, vesivoimalat, vesiturbiinit
------------	---

Master of Renewing Industry  
Master of Engineering

---

<b>Author</b>	Olli Kortelainen	<b>Year</b>	2023
<b>Supervisor(s)</b>	Ari Pikkarainen, D.Sc (tech)		
<b>Commissioned by</b>	Caverion Industria Oy		
<b>Title</b>	Digitalization of Kemijoki Oy hydropower turbines condition monitoring		
<b>Number of pages</b>	82		

---

The subject of the thesis was digitalization of Kemijoki Oy hydropower turbines condition monitoring. The main goal of the work was to create a user-friendly, clear and functional modern condition monitoring tool that can be used for targeting and planning of investments and the prevention of possible major damages. The goal was also to stimulate thinking about the effects of the electricity market on the durability and life cycle of machines. The target of the work was Valajaskoski, Petäjäskoski, Ossauskoski and Taivalkoski hydropower plants and their machines.

Action research was used as a research method in the work. In the theoretical part, significant issues related to the topic were discussed, including the operation of hydropower, digitalization, challenges and opportunities of digitalization, maintenance and its types. In addition to the literature, the work also utilized the views of experts in addition to my own knowledge.

The work was created using computers and data processing. The calculation values used in the work were determined by testing different numbers and their weight values. The practical part dealt with key performance indicators, i.e. KPI values. In that section, the use and interpretation of the tool was visualized with explanations.

In the results of the work, the value elements of the company, which were observed during the work, the benefits obtained from the work and the conclusions of the work and further development topics and questions were presented. Based on the work, Kemijoki Oy has a lot of potential and good starting points for developing the condition monitoring of hydropower plants.

**Keywords** maintenance, condition monitoring, digitalization, hydro-electric power stations, hydraulic turbines

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	9
1.1	Aiheen taustat ja rajaukset.....	9
1.2	Työn tavoitteet .....	10
2	CAVERION OY .....	12
2.1	Yrityksen historia .....	12
2.2	Liiketoiminta ja alueet .....	13
3	KEMIJOKI OY .....	16
3.1	Liiketoiminta .....	17
3.1.1	Kemijoki Oy:n kumppanit.....	18
3.2	Alueet.....	18
3.2.1	Kitinen .....	20
3.2.2	Kemijoen yläalue .....	20
3.2.3	Kemijoen ala-alue.....	21
3.2.4	Lieksanjoki .....	22
3.2.5	Kymijoki .....	22
4	VESIVOIMA .....	23
4.1	Toimintaperiaate .....	23
4.2	Sähköntuotanto.....	25
4.3	Säätövoima .....	25
4.4	Ympäristövaikutukset.....	26
4.5	Säätely ja velvoitteet.....	27
4.5.1	Vesilaki (VesiL).....	27
4.5.2	Ympäristönsuojelulaki (YSL) .....	27
4.5.3	Luonnonsuojelulaki (LSL).....	28
4.5.4	Ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVAL).....	28
4.5.5	Koskiensuojelulaki (KSL).....	29
5	KUNNOSSAPITO .....	30
5.1	Kunnossapitolajit.....	31
5.1.1	Ehkäisevä kunnossapito.....	32
5.1.2	Korjaava kunnossapito .....	33
5.1.3	Parantava kunnossapito .....	34

5.1.4	Huolto.....	34
5.1.5	Vikaantumisen ja vikojen selvitys .....	35
5.2	Digitalisaatio kunnossapidossa.....	35
5.2.1	Digitalisaatiomuutoksen haasteet.....	36
5.2.2	Digitalisaatiomuutoksen mahdollisuudet ja hyödyt .....	37
5.2.3	Teollisuus 4.0 .....	38
6	TUTKIMUSMENETELMÄT .....	42
6.1	Toimintatutkimus.....	42
7	TUTKIMUSKOHTEET .....	45
7.1	Valajaskoski.....	45
7.2	Petäjäskoski.....	47
7.3	Ossauskoski .....	48
7.4	Taivalkoski.....	49
8	KAPLAN-TURBIININ HISTORIA JA KEHITYS .....	51
8.1	Kehityksen alku.....	51
8.2	Testiympäristö .....	52
8.3	Havaitut ongelmat ja ratkaisut.....	55
9	KPI-MITTARIT .....	58
9.1	Käsiteltävät KPI-arvot .....	58
9.1.1	Käynnistyskerrat, käyntiaika ja työtunnit.....	59
9.1.2	Johto- ja juoksupyörän säädön määrä .....	59
9.1.3	Johto- ja juoksupyörän rajut säätöliikkeet.....	60
9.1.4	Johto- ja juoksupyörän suunnanmuutokset .....	60
9.1.5	Epäedullinen tehoalue ja tuotettu sähköteho.....	60
10	DATAN KÄYTTÖ JA ANALYSOINTI .....	62
10.1	Caverion Smart View .....	62
10.2	KPI-arvot Caverion Smart View'ssä.....	63
10.3	KPI-arvojen vertailu koneistoilla.....	68
11	TULOKSET .....	76
11.1	Arvoelementit.....	76
11.2	Hyödyt .....	76
11.3	Jatkokehittämisideat .....	77

12POHDINTA .....	78
LÄHTEET .....	79

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Caverion Intelligencen porukkaa avusta aiheen valinnassa, työssä avustamisesta sekä opastamisesta. Haluan kiittää Caverion Industrian porukkaa joustavuudesta ja sopivasta työkuormasta opintojeni ohella.

Aina opintojen jälkeen tulee sanottua, että nyt tämä riittää ja sanon sen taas, joten muutaman vuoden päästä varmaan nähdään koulunpenkillä uudestaan?

Mitä sitä sitten seuraavaksi?

Olli Kortelainen

8.9.2023

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

JOP	Johtopyörä
JUP	Juoksupyörä
MW	Megawatti
GWh	Gigawattitunti
IoT	Internet of Things
KPI	Key Performance Indicator
VL3	Valajaskoski koneisto 3
PT3	Petäjäskoski koneisto 3
OS3	Ossauskoski koneisto 3
TA3	Taivalkoski koneisto 3
Hz	Hertsi



## 1 JOHDANTO

Perinteisesti yrityksissä kunnossapito on mielletty kustannuseräksi ja niin sanotuksi vakuutusmaksuksi tuottavuuden ylläpitämiseksi yrityksessä. Kunnossapidon arvostusta yrityksessä voidaan nostaa uudenlaisen ajattelutavan avulla, kun kunnossapitäjä arvioi omaa työtään taloudellisten lukujen sekä kannattavuustarkastelujen avulla. (Kortelainen & Tennilä 2019, 27–36.) Kunnossapidon ja kunnonvalvonnan merkitys teollisuudessa on suuri, ja siihen investoimalla sekä sen avulla voidaan saada merkittäviä säästöjä kustannuksiin ja parantaa käyttöastetta.

Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena on tutkia ja luoda työkalu Kemijoki Oy:n voimalaitoksien turbiinien kulumisen mittarointiin sekä määritellä turbiineille KPI-arvot ja mittarit, joiden avulla voidaan seurata ja mitata turbiinien kulumista ja elinkaarta sekä näistä syntyviä kustannuksia. Opinnäytetyö suoritetaan käynnissä olevan pilottihankkeen yhteydessä. Hanke toteutetaan ensimmäisenä Kemijoki Oy:n Valajaskosken voimalaitokselle, minkä jälkeen hanketta laajennetaan muille voimalaitoksille. Tässä työssä esitetty työkalu on ensimmäinen versio, ja sitä on tarkoitus jatkuvasti kehittää asiakkaiden tarpeiden mukaisesti.

Johtamisen peruseräpäätteenä on suorituskyvyn mittaaminen ja KPI (Key Performance Indicator) on työkalu tähän. Suorituskyvyn mittaamisella voidaan tunnistaa erot suorituskyvyssä nykyisen ja halutun välillä. Kun KPI-arvot on huolellisesti valittu, ne osoittavat tarkalleen, mitä toimia täytyy suorittaa suorituskyvyn parantamiseksi. Peter Druckerin hienosti tiivistämänä: *”It is not possible to manage what you cannot control and you cannot control what you cannot measure!”* (Weber & Thomas 2005, 3.)

### 1.1 Aiheen taustat ja rajaukset

Viime vuosina vesivoimalaitoksilla on tapahtunut suurempia vikaantumisia liittyen turbiineihin ja näiden eri osakokonaisuuksiin. Tällä hetkellä turbiineilla ei ole niin sanottua tarkkaa kunnonvalvontaa, ja yhdeksi ongelmaksi ovat muodostuneet turbiinien vikaantumiset, jotka on havaittu vasta kun koneisto on pysäytetty ja ve-

sitiet tyhjennetty, jotta on päästy aukaisemaan koneistoa ja tutkimaan sitä määraaikaistarkastuksien yhteydessä. Huoltosuunnitelmissa on määritetty, että vesiteiden tyhjennys ja käynti suoritettaisiin 10 vuoden välein, mutta vikaantumisien vuoksi vesiteiden tyhjennykset ovat tihentyneet huomattavasti. Tämän vuoksi koneistojen keskeytykset venyvät suunnitellusta, resurssit ovat poissa muista töistä ja kustannukset nousevat.

Kyseiseen aiheeseen liittyen opinnäytetyössä voisi tutkia aihetta laajasti ja kirjoittaa raportista todella pitkän, mutta opinnäytetyöprosessin yksi pääkohdista on osata rajata työ sopivan laajuiseksi, joten tässä työssä keskitytään ratkaisemaan tarvittavat KPI-arvot ja mittarit, analysoimaan niitä ja tuottamaan luotettavat tulokset.

## 1.2 Työn tavoitteet

Opinnäytetyön päätavoitteena on määritellä KPI-arvot siten, että tulokset olisivat mahdollisimman luotettavia, helposti tulkittavissa ja saatavilla. Tavoitteena on myös kehittää olemassa olevia kunnossa- ja käynnissäpidon toimintamalleja sekä koneistojen kunnossapidollista seuranta. Saatujen tuloksien varjolla tavoitteena on myös herättää ajattelua liittyen muun muassa siihen, kuinka globaalit ja paikalliset energiakriisit vaikuttavat sähkömarkkinan kautta koneistojen ajotapaan, kuinka sähkömarkkinan muutokset vaikuttavat turbiinin rasitukseen ja kuinka turbiinin rasitus muuttaa turbiinikoneiston elinkaarta.

Vihreän siirtymän ja digitalisaation kehitys on viime vuosina ollut vauhdikasta, ja kehityksessä tulee pysyä matkassa uusimman teknologian avulla. Tämän opinnäytetyön avulla tavoitteena on saavuttaa kehitysaskelia digitalisaation suuntaan ja jalkauttaa sitä myös perinteiseen kenttätyöhön. Työn tavoitteena on myös osoittaa, mitä hyötyjä näiden ratkaisuiden avulla saadaan investointien ohjaukseen ja johtamiseen.

Kenttälaitteiden, laitekantajärjestelmien ja kokonaisten prosessien suuntaan tulee älyä yhä enemmän teollisen internetin suunnalta. Kun älykkäitä laitteita lisääntään kentällä, se lisää analyysiä helpottaville työkaluille tarvetta ja tuottaa enemmän tietoa prosesseista. Tämän kehittäminen on vasta alkutaipaleella, vaikka eri

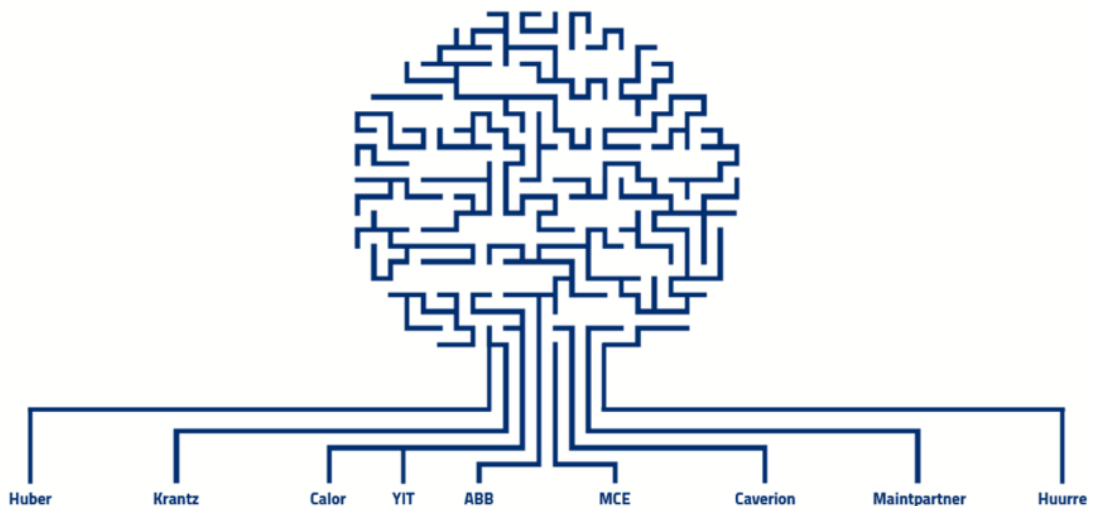
laite- ja palvelutoimittajat ovatkin tuoneet markkinoille laitteita, malleja ja analytiikkaratkaisuja, joiden tarkoituksena on hyödyntää älykkäitä prosesseja ja kasvavaa datamäärää. Näiden työkalujen ansiosta yritys kykenee lähestymään kunnossapitoa strategisemmin ja luo keinon parantaa suorituskykyä. Täysimittaisen hyödyn saamiseksi toimintamalleja on arvioitava ja kehitettävä laitteiden teknisen kehittämisen lisäksi. (Martinsuo, Ackerman & Ruusuvuori 2019, 48–54.)

## 2 CAVERION OY

Caverion on yrityksenä kohtalaisen tuore, mutta historiaakin on kerrottavaksi. Caverion on syntynyt YIT-konsernin kiinteistötekniisten palvelujen ja teollisuuspalvelujen irtaannuttua omaksi konsernikseen. (Caverion Corporation 2023e.)

### 2.1 Yrityksen historia

Caverionin juuret ulottuvat pitkälle historiaan. Yrityksen juuret osana YIT:tä ulottuvat Suomessa vuoteen 1912, ja myöhemmin osalla toimialoista Caverioniin integroituneiden yritysten historia ulottuu jopa 1800-luvulle. (Caverion Corporation 2023e.) Kuviossa 1 on nähtävillä osa monista hankinnoista, joista on muodostunut Caverion.



Kuvio 1. Caverioniksi yhdistyneitä yrityksiä (Caverion Corporation 2023e)

Alun alkaen Caverion rakensi vesihuoltolaitoksia, mutta yrityksen laajentuessa se alkoi toteuttaa rakentamisen lisäksi suunnittelua sekä käynnissä- ja kunnossapitoa. Caverion kykenee tarjoamaan nykyaikaisia ratkaisuja infrastruktuuriin, teollisuuslaitoksiin ja rakennuksiin. Yrityksen tavoite on jatkaa uudistamista ja rakentamista älykkäiden teknologioiden, uusien kykyjen ja kaupallisten mallien avulla pysyäkseen alan huipulla. Yrityksessä pyritään ennakoimaan ja vastaamaan muuttuviin vaatimuksiin, joita eri asiakkuuksissa ilmenee. (Caverion Corporation 2023e.)

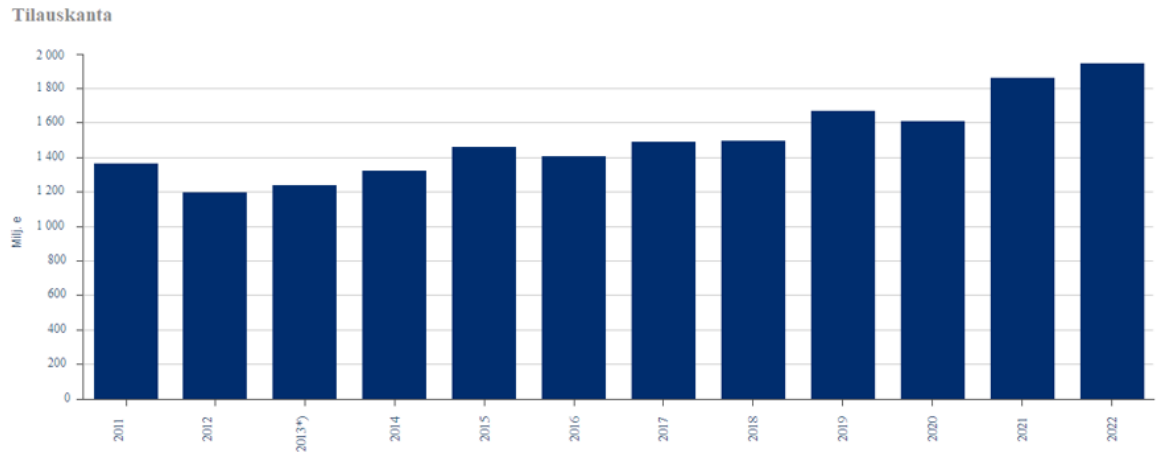
## 2.2 Liiketoiminta ja alueet

Caverion on tätä nykyä globaali yritys, ja se on myös listattuna Helsingin pörssiin. Caverionilla on 216 toimipaikkaa 10:ssä eri maassa, ja Pohjois- ja Keski-Euroopan alueella yhteensä lähes 14 500 työntekijää. (Caverion Corporation 2023f.) Kuviossa 2 on esitetty toimipaikkojen määrät eri maissa.



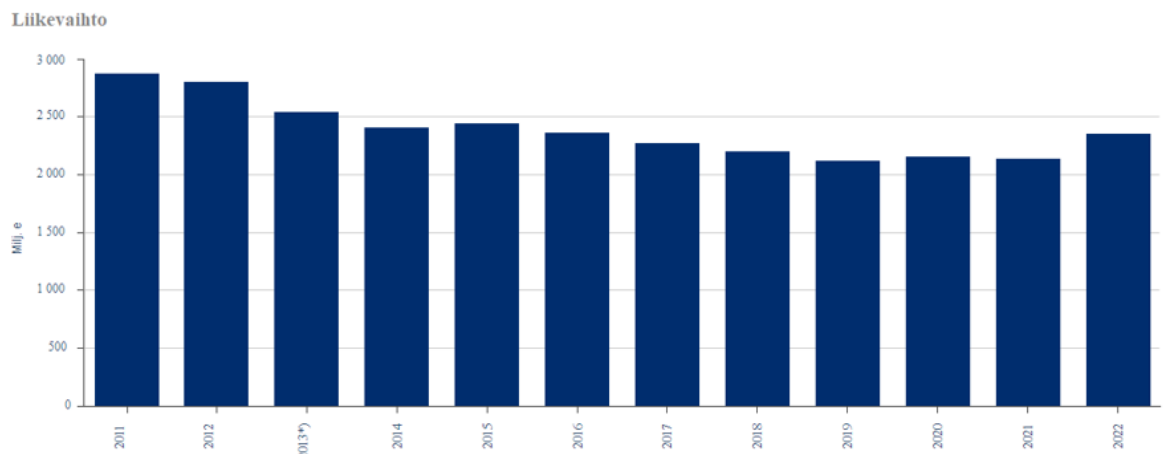
Kuvio 2. Caverionin toimipaikkojen määrät eri maissa (Caverion Corporation 2023f)

Caverionin tilauskanta on ollut kasvussa vuosittain, ja vuonna 2022 se on melkein 2 000 miljoonaa euroa (Caverion Corporation 2023a). Kuviossa 3 on esitetty Caverionin tilauskanta vuosittain.



Kuvio 3. Caverionin tilaukanta vuosittain (Caverion Corporation 2023a)

Caverionin liikevaihto on ollut laskujohteinen vuoteen 2021 saakka, ja vuonna 2022 se on ollut lähes 2 500 miljoonaa euroa (Caverion Corporation 2023a). Kuviossa neljä on esitetty Caverionin liikevaihto vuosittain.



Kuvio 4. Caverionin liikevaihto vuosittain (Caverion Corporation 2023a)

Caverionin liiketoimintatyytit ja palvelut kattavat kohtalaisen laajasti infrastruktuurin, rakennukset, teollisuuslaitokset ja teolliset prosessit. Caverionin liikevaihdosta yli puolet koostuu jatkuvasta palvelu- ja huoltotoiminnasta. (Caverion Corporation 2023d.) Kuviossa 5 on esitetty Caverionin liiketoimintatyytit yksinkertaisesti.



Kuvio 5. Caverionin liiketoimintatyytit (Caverion Corporation 2023d)

Suuntaamalla liiketoimintajakaumaa ylemmäs arvoketjussa Caverionin tavoitteena on kasvaa kaikissa divisioonissa ja liiketoiminnoissa kohti ratkaisuliiketoimintaa. Ratkaisuliiketoimintaan sisältyvät digitaaliset ratkaisut, palvelujen johtaminen, älykkäät ratkaisut sekä asiantuntija- ja suunnittelupalvelut. Kyseisten kategorioiden kasvunäkymät ja kannattavuus ovat korkeat. (Caverion Corporation 2023d.)

Caverion noudattaa ja soveltaa korkeita laatustandardeja, ja sata prosenttia sen liiketoiminnasta on ISO 9001 -sertifioitua. Pörssiyhtiönä Caverionin velvollisuus on olla kannattava sijoitus omistajilleen, ja sen tulisi samaan aikaan toimia kestäväällä tavalla. (Caverion Corporation 2023c.)

### 3 KEMIJOKI OY

Rauhanteon yhteydessä vuonna 1944 Suomi oli menettänyt vesivoimastaan 30 prosenttia, ja sähkön tarve jälleenrakentamisessa sekä teollisuudessa oli merkittävä. Ensimmäisen voimalaitoksen rakentaminen aloitettiin Petäjäkoskelle vuonna 1953, ja Kemijoki Oy perustettiin vuonna 1954. Petäjäskosken voimalaitos valmistui vuonna 1957, ja vuonna 1956 Pirttikoskelle alettiin rakentaa tunnelivoimalaitosta, jonka päätunneli on 2,5 kilometriä pitkä. Vuonna 1957 Rovaniemen kauppalaan rakennettiin toimitalo, ja sen sijainti valikoitui keskeiselle paikalle Pirttikosken ja Petäjäskosken väliin. Samana vuonna Kemijoki Oy:n pääkonttorin sijainti oli Helsinki. Toimitaloa Rovaniemellä laajennettiin 1980, ja vuonna 1992 se muutettiin pääkonttoriksi. (Kemijoki Oy 2023a.)

Voimalaitosten rakentaminen sarjatyönä ajoittui 1950–1960-luvuille, jolloin Kemi-joelle rakennettiin joka toinen uusi laitos. Vuosien 1966–1970 aikana Kemijärven säännöstely aloitettiin, ja Lokan sekä Porttipahdan tekojärvet valmistuivat. Pääuoman kahdeksas voimalaitos valmistui vuonna 1976 Taivalkoskelle. Kemijoki Oy:n uusin voimalaitos on Kelukosken voimalaitos, joka on rakennettu vuonna 2001. (Kemijoki Oy 2023a.)

Vuodesta 1996 eteenpäin vesivoimalaitosten peruskorjaukset alkoivat. Tähän vuoteen mennessä turbiinien juoksupyöriin oli kehitetty uusi innovaatio. Navan voiteluöljy korvattiin vedellä, jolloin öljyvahinkojen riskejä saatiin pienennettyä merkittävästi. Peruskorjauksissa vesivoimakoneistojen tehoja nostettiin, jolloin samasta vesimäärästä oli mahdollista tuottaa enemmän sähköä. (Kemijoki Oy 2023a.)

Vuodet 2013 ja 2014 olivat merkittävät, sillä silloin Kemijoki Oy päätti siirtää pääosan toiminnoistaan ulkopuolisille sopimuskumppaneille. Muutosta ohjasi energia-alan kehitys toimintaympäristöissä sekä investointien muuttuvat tarpeet. Maaliskuussa 2014 toimintojen siirto palvelutoimittajille otettiin käyttöön, jolloin muun muassa Caverion Industria Oy siirtyi hoitamaan kunnossapitoa ja paikalliskäyttöä Kemijoki Oy:n vesivoimalaitoksilla. Tämän muutoksen myötä Kemijoki Oy:stä muodostui vesivoimatuotannon asiantuntija- ja tilaajaorganisaatio. (Kemijoki Oy 2023a.)



Vuonna 2018 Lieksanjoella sijaitsevan Lieksankosken voimalaitoksen Alvar Aallon suunnitteleman julkisivun peruskorjaus valmistui. Vuonna 2019 Kemijoki Oy täytti 65 vuotta, ja samana vuonna myös toteutettiin vaelluskaloille padon ohitusratkaisu Taivalkosken voimalaitokselle. Historiallisesti arvokas Inkeröisten voimalaitoksen valssiluukku peruskorjattiin myös vuonna 2019. (Kemijoki Oy 2023a.)

Vuonna 2020 Kitisen alueen voimalaitoksien peruskorjaukset aloitettiin Porttipahdan voimalaitokselta, ja tämän jälkeen peruskorjattiin Kokkosnivan ja Kurkiaskan voimalaitokset (Kemijoki Oy 2023a). Kemijoki Oy:n voimalaitosten peruskorjaukset jatkuvat lähes vuosittain investointiohjelman mukaisesti.

### 3.1 Liiketoiminta

Kemijoki Oy:n tarkoituksena on tuottaa sähköä omakustannehintaan osakkailleen. Osakesarjoja yhtiössä on kaksi, A-sarjan vesivoimaosakkeet ja B-sarjan raahasakkeet. Kemijoki Oy on niin sanotusti Mankala-yhtiö. (Kemijoki Oy 2023c.)

A-sarjan osakkeiden tarkoituksena on tuottaa omistajalleen velvollisuuden ja oikeuden ostaa sen määrän yhtiön voimalaitoksissa tuotettavasta sähkövoimasta, joka vastaa suhteellisesti kyseessä olevan osakkaan omistusta A-sarjan osakkeista. Hinta osakassähkölle määräytyy hallituksessa hyväksytyn budjetin ja toimintasuunnitelman pohjalta vuosittain. Hinta myytävälle voimalle määräytyy niin, että yhtiön voimamyynnistä saadut tulot kattavat varsinaisesta liiketoiminnasta aiheutuvat kulut ja riittävät sekä tarpeelliset arvovähennykset, ja B-sarjan osakkeille vuosittaisen osingon osakkeelta, jonka suuruus on 0,34 euroa/osake. (Kemijoki Oy 2023c.)

Suomen valtion omistuksessa on pääosin Kemijoki Oy:n B-sarjan osakkeita, mutta koko osakepääomasta yli 50 % (Kemijoki Oy 2023c). Taulukossa 1 on esitetty Kemijoki Oy:n osakkaat ja niiden jakautuminen.

Taulukko 1. Kemijoki Oy:n osakkaat ja osakkaiden jakautuminen (Kemijoki Oy 2023c)

OSAKKAAT	VESIVOIMAOSAKKEET %	RAHAOSAKKEET %	KOKO OSAKEPÄÄOMA %
Suomen valtio	0,00	52,37	50,10
Fortum Power and Heat Oy	63,79	26,66	28,27
Lapin Sähkövoima Oy	10,62	11,16	11,13
UPM Energy Oy	19,00	6,81	7,33
Helen Oy	3,91	1,50	1,60
Ounastuotanto Oy	1,64	0,95	0,98
Neve Oy	1,04	0,56	0,58

### 3.1.1 Kemijoki Oy:n kumppanit

Suurin osa Kemijoki Oy:n tarvitsemista toiminnoista tulee kumppanuuksista. Voimalaitosten kunnossapidosta ja paikalliskäytöstä vastaa Kemijoen ja Lieksanjoen alueilla Caverion Industria Oy ja Kymijoen vesistön alueella käytönvalvonnasta, kunnossapidosta ja paikalliskäytöstä vastaa Stora Enso Publication Papers Oy. (Kemijoki Oy 2023b.) Taulukossa 2 on listattuna muut kumppanuudet ja vastuut.

Taulukko 2. Kemijoki Oy:n kumppanuudet (Kemijoki Oy 2023b)

Kumppani	Vastuualue
Mitta Oy	Velvoite-, ympäristö- ja patoturvallisuustyöt
Caruna	Sähkönsiirto
Administer Oy	Talous- ja palkkahallinto
Fondia Oy, Dottir Asianajotoimisto Oy ja Castrén & Snellman	Lakiasianpalvelut
Hill and Knowlton Finland oy	Viestintäpalvelut
Enfo Oyj	ICT-infrastruktuurin hallinnointi
Fortum Oyj	Rahoitustoiminta palvelut, tuotannon suunnittelu ja valvomotoiminta
Voimalohi Oy	Kalanistutusvelvoitteet

### 3.2 Alueet

Kemijoki Oy:n omistuksessa on 20 voimalaitosta, joista Kemijoen vesistöalueella sijaitsee 16 ja lisäksi Lieksanjoessa sekä Kymijoen alueella yhteensä neljä voimalai-

tosta. Kemijoen ja Kitisen varrella sijaitsevat vesivoimalaitokset kuuluvat Kemijoen valuma-alueeseen. Valuma-aluetta on alue, jolta taivaalta satanut vesi valuu Kemijokeen ja sieltä aina Pohjanlahteen. Seitsemän Kemijoen pääuoman voimalaitosta lukeutuu 10 suurimman voimalaitoksen joukkoon Suomessa. (Kemijoki Oy 2023l.) Kuviossa 6 on kuvattu muun muassa Kemijoki Oy:n vesivoimalaitokset.



Kuvio 6. Kemijoki Oy:n voimalaitokset ja alueet (Kemijoki Oy 2023l)

### 3.2.1 Kitinen

Kemijoen vesistöalueeseen kuuluva Kitinen on Kemijoen sivujoki, ja sillä on pituutta noin 235 kilometriä (Degerman 2006, 8). Kitinen kulkee Sodankylän ja Pelkosenniemen kuntien alueella Lapissa.

Kemijoen voimalaitoksista 8 sijaitsee Kitisen varrella. Taulukossa kolme on esitetty Kitisen alueen voimalaitosten tietoja.

Taulukko 3. Kitisen voimalaitosten tiedot (Kemijoki Oy 2023I)

VOIMALAITOS	RAKENNETTU VUOSINA	PUTOUS- KORKEUS M	TEHO NI- MELL. MW	VUOSIENERGIA (NETTO) GWH (KESKIVESI)	KESKIVIR- TAAMA (MQ) M <sup>3</sup> /S	RAKEN- NUSVIR- TAAMA M <sup>3</sup> /S
<b>Kemijoen vesistö- alue</b>						
Lokka	1967	7,0-12,0	0,1	0,4	3	2
Porttipahta	1979-81	30,0	40,5	107	51	180
Kurittukoski	1985-87	11,0	15	42,8	54	160
Vajukoski	1982-84	16,0	21	72,9	63	160
Matarakoski	1993-95	7,0	11	31,9	68	180
Kelukoski	1999-01	7,0	11	38,1	80	180
Kurkiaska	1990-92	12,5	25,8	83,5	103	260
Kokkosniva	1987-90	11,5	26	80,1	108	260

### 3.2.2 Kemijoen yläalue

Kemijoen ensimmäiset neljä voimalaitosta lukeutuvat Kemijoen yläalueen käynnissäpidon vastuualueeksi. Kemijärveä alaspäin mentäessä yläalueen voimalaitoksia ovat Seitakorvan, Pirttikosken, Vanttauskosken ja Permantokosken voimalaitokset. Taulukossa neljä on esitetty Kemijoen yläalueen voimalaitosten tietoja.

Taulukko 4. Kemijoen yläalueen voimalaitosten tiedot (Kemijoki Oy 2023l)

VOIMALAITOS	RAKENNETTU VUOSINA	PUTOUS- KOR- KEUS M	TEHO NI- MELL. MW	VUOSIENERGIA (NETTO) GWH (KESKIVESI)	KESKIVIR- TAAMA (MQ) M <sup>3</sup> /S	RAKEN- NUSVIR- TAAMA M <sup>3</sup> /S
Seitakorva	1958-63	17,0- 24,0	144	521,2	311	700
Pirttikoski	1956-59	26,0	152	604,2	315	700
Vanntauskoski	1967-72	22,0	95	460,9	328	500
Permantokoski	1960-61	24,0	13	50,5	39	60

### 3.2.3 Kemijoen ala-alue

Kemijoen ala-alueeseen lukeutuu neljä voimalaitosta, jotka sijoittuvat Rovaniemen ja Isohaaran voimalaitoksen väliin. Nämä neljä voimalaitosta ovat Kemijoen ala-alueen käynnissäpidon vastuualuetta. Rovaniemeltä joen vartta alaspäin mentäessä ensimmäisenä on Valajaskosken voimalaitos, ja sen jälkeen tulevat Petäjäskosken, Ossauskosken ja Taivalkosken voimalaitokset. Taulukossa 5 on esitetty Kemijoen ala-alueen voimalaitosten tietoja.

Taulukko 5. Kemijoen ala-alueen voimalaitosten tiedot (Kemijoki Oy 2023l).

VOIMALAITOS	RAKENNETTU VUOSINA	PUTOUS- KOR- KEUS M	TEHO NI- MELL. MW	VUOSIENERGIA (NETTO) GWH (KESKIVESI)	KESKIVIR- TAAMA (MQ) M <sup>3</sup> /S	RAKEN- NUSVIR- TAAMA M <sup>3</sup> /S
Valajaskoski	1957-60	11,5	101	379,8	512	1050
Petäjäskoski	1953-57	20,5	182	707,6	526	1050
Ossauskoski	1961-65	15,0	124	521	538	1080
Taivalkoski	1972-76	14,5	134,1	562,3	552	1110

### 3.2.4 Lieksanjoki

Lieksanjoki ja sen voimalaitokset Pankakoski sekä Lieksankoski sijaitsevat Pohjois-Karjalassa Lieksassa. Taulukossa 6 on esitetty Lieksanjoen alueen voimalaitosten tietoja.

Taulukko 6. Lieksanjoen voimalaitosten tiedot (Kemijoki Oy 2023I)

VOIMALAITOS	RAKENNETTU VUOSINA	PUTOUS- KOR- KEUS M	TEHO NI- MELL. MW	VUOSIENERGIA (NETTO) GWH (KESKIVESI)	KESKIVIR- TAAMA (MQ) M3/S	RAKEN- NUSVIR- TAAMA M3/S
Pankakoski	1964	10,2	15,6	69	96	150
Lieksankoski	1960	11,4	18	79,6	96	150
<b>Yhteensä</b>			<b>34</b>	<b>149</b>		

### 3.2.5 Kymijoki

Kymijoen varrella Kouvolassa sijaitsee kaksi Kemijoki Oy:n voimalaitosta, joita ovat Inkeroinen ja Anjalankoski. Taulukossa 7 on esitetty Kymijoen alueen voimalaitosten tietoja.

Taulukko 7. Kymijoen voimalaitosten tiedot (Kemijoki Oy 2023I)

VOIMALAITOS	RAKENNETTU VUOSINA	PUTOUS- KOR- KEUS M	TEHO NI- MELL. MW	VUOSIENERGIA (NETTO) GWH (KESKIVESI)	KESKIVIR- TAAMA (MQ) M3/S	RAKEN- NUSVIR- TAAMA M3/S
Anjalankoski	1983	9,7	20	130	300	225
Inkeroinen	1922,1994	9,7	17	80	300	210
<b>Yhteensä</b>			<b>37</b>	<b>210</b>		

## 4 VESIVOIMA

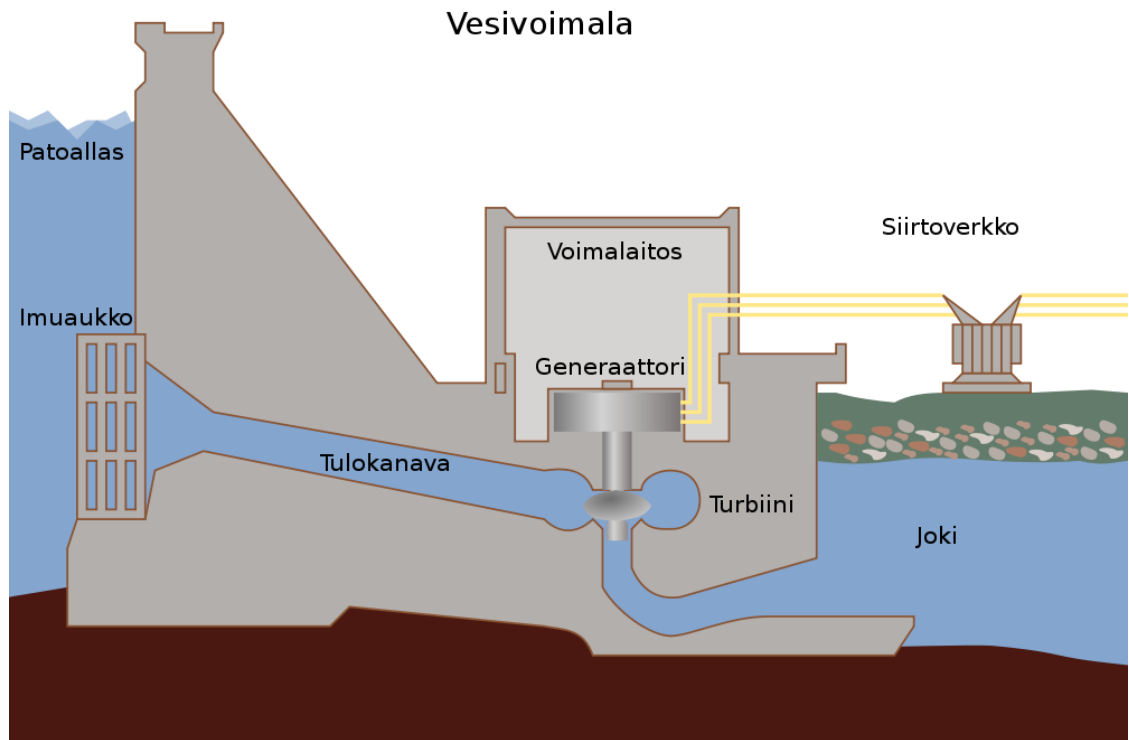
Auringon lämmön muuntaessa maapallon pinnalla olevaa vettä vesihöyryksi saa vesivoima alkunsa. Vesihöyrystä muodostuu pilviä taivaalle, ja vesi palaa sieltä sateen mukana maanpinnalle. Sadevesistä suurin osa valuu jokiin ja sitä kautta meriin, jolloin joen kulkumatalla veden putoamisvoima muutetaan sähköenergiaksi. (Kemijoki Oy 2023g.)

Suomen kilpailukyvyyn ja huoltovarmuuden turvaamisessa olennainen tekijä on riittävä säätövoimakapasiteetti. Vesivoima ei ole keskittynyt yhdelle alueelle Suomessa, vaan se on hajautettu eri alueilla, mikä lisää sen toimintavarmuutta. Äkillisissä häiriötilanteissa sähköhuolto hoidetaan Suomessa 90-prosenttisesti vesivoimalla. (Kemijoki Oy 2023e.)

### 4.1 Toimintaperiaate

Vesivoimalan toiminnan perustana toimii potentiaalienergia, jota joessa virtaavassa vedessä on ennen putousta. Veden syöksyessä tulokanavaa pitkin kohti turbiinia kyseessä oleva energia muuttuu liike-energiaksi. Liike-energian määrä kasvaa, kun putouskorkeus ja veden määrä kasvavat. (Suomen vesiputoukset 2023.)

Liike-energian muuttaminen sähköksi tapahtuu, kun vesi ohjautuu tuloputkea pitkin turbiinille eli juoksupyörälle. Veden tuottaman liike-energian johdosta juoksupyörälle saadaan aikaan pyörivä liike, ja akselin välityksellä liike-energia siirtyy koneiston generaattorille, joka muuntaa veden liike-energian sähköksi. (Kemijoki Oy 2023g.) Perinteisen pystykoneellisen vesivoimalan toimintaperiaate on esitetty kuviossa 7.



Kuvio 7. Perinteisen pystykoneellisen vesivoimalan toimintaperiaate (Suomen vesiputoukset 2023)

Lähes poikkeuksetta vesivoimalan joki täytyy padota putouksen kohdalta. Patoamisen taustalla on joen luontaisten virtaamavaihteluiden tasaaminen ja voimalaan menevän veden määrän helpompi kontrollointi, esimerkiksi sähkön kulutus- huippujen mukaan. Käytännön tasolla tämä tarkoittaa, että voimalaitoksen ja padon yläpuolelle muodostuu suuri seisovan veden massa tai tekojärvi, joka peittää tai jättää kuivaksi aiemmin siinä virranneen jokiuoman. (Suomen vesiputoukset 2023.) Näitä padon yläpuolelle muodostuvia seisovan veden massoja tai tekojärviä voidaan kutsua myös energiavarastoiksi, ja niiden avulla voidaan voimalaitoksilla tarvittaessa hoitaa lyhytaikainen säädön tarve (Motiva 2022). Varastoaltaita ja järviä käytetään yleensä vuodenaikojen vaihtelun tuotantotarpeisiin, erityisesti talvisin (Kemijoki Oy 2023g).

Patojen ja voimalaitosten vuoksi esimerkiksi kalastajat ja Lapin ELY-keskus ovat jo pitkään nostaneet esille lohikalojen pääsyn alkuperäisille paikoilleen, ja tätä pyritään nykyaikaisilla teknologioilla ennallistamaan erilaisten kalatieratkaisuiden avulla. Nykyisten velvoitteiden mukaisesti Kemijoki Oy pyrkii kompensoimaan vesivoiman vaikutuksia kalatalouteen (Kemijoki Oy 2023f).



## 4.2 Sähköntuotanto

Vesivoima energiamuotona on päästötöntä, uusiutuvaa ja kotimaista. Suomessa on noin 250 voimalaitosta, ja koko maan vesivoimakapasiteetti on noin 3 190MW. Kotimaisesta sähköntuotannosta vesivoiman osuus on 15–25 prosentin luokkaa, ja 2020 sen osuus oli noin 24 prosenttia. Vesivoiman sähköntuotanto vuonna 2020 oli 15 600 GWh. (Motiva 2021.) Muiden sähköntuotantomuotojen lisääntyessä kyseiset luvut hieman elävät, ja vertailuksi taulukossa 8 on esitetty tilastokeskuksen raportoidut ennakkotiedot sähkön hankinnan määristä vuodelta 2022.

Taulukko 8. Sähkön hankinta 2022 (Tilastokeskus 2022)

<b>Sähkön hankinta 2022</b>		
<b>Hankinta</b>	<b>GWh</b>	<b>%</b>
Ydinvoima	24 221	29,6
Vesivoima	13 354	16,3
Tuulivoima	11 562	14,1
Aurinkovoima	380	0,5
Nettotuonti	12 518	15,3
Muu lämpövoima	19 679	24,0
<b>Yhteensä</b>	<b>81 714</b>	<b>100</b>

Vesivoiman lisärakentamisesta on paljon puhuttu, mutta tulevaisuus näyttää mihin suuntaan tämän asian suhteen mennään. Suomessa on edelleen mahdollisuuksia vesivoiman lisärakentamiselle, mutta merkittävät lisärakentamiset ovat epätodennäköisiä nykyisistä luonnon- ja ympäristönsuojelullisista syistä johtuen (Motiva 2021).

Voimalaitosten lisärakentamisen sijaan on edullisinta vesivoimakapasiteetin lisäys laitosten peruskorjausten yhteydessä, kun laitoksen koneistojen tehoja nostetaan (Motiva 2021). Kemijoki Oy:llä peruskorjauksien yhteydessä tehojen nostoja on jo tehty lähes valtaosalle koneistoista.

## 4.3 Säättövoima

Säättövoiman tarkoituksena on varmistaa sähköjärjestelmän toimivuus. Yhteiskunnassa on tarve nopealle ja joustavalle energiantuotannolle eli säättövoimalle.

Kulutuksen muutokseen reagointi vesivoimalla voidaan toteuttaa jopa sekuntitasolla, ja myös äkillisiä häiriötilanteita voidaan hallita. Sähkönkäyttö on aamuisin korkeampaa, koska kotitalouksissa tehdään aamutoimia ja työpaikoilla käynnistetään koneita. Viikonloppuisin ja öisin kulutus on varsin vähäistä, mutta kuitenkin sähköä on tuotettava yhtä paljon kuin sitä kulutetaan. (Kemijoki Oy 2023e.)

Vesivoiman hyvä puoli on se, että sillä voidaan reagoida nopeasti ja helposti kulutuksen vaihteluihin. Säättövoiman tarpeen määrittävät muut energialähteet, esimerkiksi aurinko- ja tuulienergian tuotannon vaihtelut. Valtakunnallisesta säättötehon tarpeesta Kemijoki Oy tuottaa noin kolmanneksen. Tuulivoiman lisääntyessä merkittävästi tulevana vuosina nopealle tehonsäädölle on entistä enemmän tarvetta. (Kemijoki Oy 2023e.)

Jos verrataan vesivoimaa lämpövoimaan, vesivoimakone käynnistyy muutamassa minuutissa täyteen tehoon, kun lämpövoimalan käynnistysaika voi olla jopa vuorokausi. Myös vesivoimakoneen pysäytys ja tehon säätö on helppoa ja nopeaa verrattuna muihin tuotantomuotoihin. Sähkönkulutuksen vaihteluun vastataan vesivoimalla sen tuotannon joustavuuden vuoksi. Vesivoima on ainoa toimiva vaihtoehto tunti-, minuutti- ja sekuntitasolla tuotannon säädössä. (Kemijoki Oy 2023e.)

#### 4.4 Ympäristövaikutukset

Vesivoimalaitoksista johtuvat vaikutukset ovat paikallisia ja kohdistuvat pääosin vesiluontoon sekä ympäristöön. Voimalaitoksen yhteyteen rakennettavan tekoaltaan vaikutukset osuvat tekoaltaan alle jäävän maa-alueen ja valjastetun vesistön ekologiseen tasapainoon, ja tämä tarkoittaa alkuperäisen eliöstön väistymistä tai tuhoutumista. Useimmiten näiden altain rakentamisesta aiheutuu myös ihmisasutuksen pakkosiirtoja. Maaperässä esiintyy haitallisia aineita, kuten raskasmetalleja, jotka liukenevat useimmiten veteen ja sitä kautta pääsevät kertymään kaloihin ja muuhun eliöstöön. (Motiva 2021.)

Kalakantoihin vaikuttavat haitallisesti myös muut asiat raskasmetallikertymien lisäksi. Vaelluskalojen nousua kutujokiin estävät padotut vesistöt, mutta hyvin toteutetuilla kalaportilla ongelmia voidaan vähentää. Kalojen kutuun ja poikasten

selviytymiseen vedenkorkeuden muutokset voivat myös vaikuttaa. Vedenkorkeuden muutokset aiheutuvat säännöstelystä. (Motiva 2021.)

Tekoaltaiden alle jääviltä alueilta täytyy korjata puut pois, koska näiltä alueilta ilmakehään voi vuotaa muun muassa hiilidioksidia sekä erityisesti metaania, jos puita ei korjata pois. Pohjoisella vyöhykkeellä kyseessä olevat kasvihuonepäästöt eivät ole yhtä suuri ongelma kuin lämpimillä trooppisilla alueilla. Vesivoiman tuotannosta ei synny kasvihuonepäästöjä, mikä tarkoittaa, että energiatuotannosta aiheutuvia kasvihuonepäästöjä on mahdollista vähentää korvaamalla fossiilisia polttoaineita vesivoimalla. (Motiva 2021.)

#### 4.5 Sääntely ja velvoitteet

Vesien rakentamista ja käyttöä ohjaa vesilaki, mutta vesivoiman yhteyteen liittyy muitakin lakeja. Voimalaitosten käyttöön ja rakentamiseen tarvitaan vesilain mukainen lupa. Aluehallintovirasto (AVI) hoitaa lupahakemuksien käsittelyn, ja elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY) valvoo näiden lupaehtojen noudattamista. Näiden seuraavien lakien lisäksi on myös EU-lähtöinen lainsäädäntö, joka perustuu Natura 2000 -verkostoon. (Kemijoki Oy 2023d.)

##### 4.5.1 Vesilaki (VesiL)

Vesilaissa määrätään seuraavasti:

*Tämän lain tavoitteena on edistää, järjestää ja sovittaa yhteen vesivarojen ja vesiympäristön käyttöä niin, että se on yhteiskunnallisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä; ehkäistä ja vähentää vedestä ja vesiympäristön käytöstä aiheutuvia haittoja; ja parantaa vesivarojen ja vesiympäristön tilaa (Vesilaki 2011/587 § 1:1).*

Lain voi ymmärtää lyhyesti niin, että käytetään vesivaroja ja niiden ympäristöä kestävästi eli parannetaan niiden tilaa samalla, kun otetaan hyödyt käyttöön.

##### 4.5.2 Ympäristönsuojelulaki (YSL)

Ympäristönsuojelulaissa määrätään seuraavasti:

*Tämän lain tarkoituksena on ehkäistä ympäristön pilaantumista ja sen vaaraa, ehkäistä ja vähentää päästöjä sekä poistaa pilaantumisesta aiheutuvia haittoja ja torjua ympäristövahinkoja; turvata terveellinen ja viihtyisä sekä luonnontaloudellisesti kestävä ja monimuotoinen ympäristö, tukea kestävää kehitystä sekä torjua ilmastonmuutosta; edistää luonnonvarojen kestävää käyttöä sekä vähentää jätteiden määrää ja haitallisuutta ja ehkäistä jätteistä aiheutuvia haitallisia vaikutuksia; tehostaa ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutusten arviointia ja huomioon ottamista kokonaisuutena; sekä parantaa kansalaisten mahdollisuuksia vaikuttaa ympäristöä koskevaan päätöksentekoon (Ympäristönsuojelulaki 2014/527 § 1:1).*

Tässä laissa tarkoituksena on säätää ympäristön käyttöön liittyviä asioita, joiden pohjana ovat vastuulliset ja kestävät toimintamallit.

#### 4.5.3 Luonnonsuojelulaki (LSL)

Luonnonsuojelulaissa määrätään seuraavasti:

*Tämän lain tavoitteena on luonnon monimuotoisuuden turvaaminen; luonnonkauneuden ja maisema-arvojen vaaliminen; ilmastonmuutokseen sopeutumisen edistäminen; luonnonvarojen ja luonnonympäristön kestävä käytön tukeminen; kansalaisten luonnontuntemuksen ja ympäristötietoisuuden lisääminen; luonnontutkimuksen edistäminen (Luonnonsuojelulaki 2023/9 § 1:1).*

Lain tavoitteena on pyrkiä pitämään ympäristö ja luonto alkuperäisenä sekä tuoda ihmisille tietoisuutta liittyen ympäristön suojeluun ja käyttöön.

#### 4.5.4 Ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVAL)

Ympäristövaikutusten arviointimenettely on kuvattu laissa seuraavasti:

*Tämän lain tavoitteena on edistää ympäristövaikutusten arviointia ja arvioinnin yhtenäistä huomioon ottamista suunnittelussa ja päätöksenteossa sekä samalla lisätä kaikkien tiedon saantia ja osallistumismahdollisuuksia (Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 2017/252 § 1:1).*

Lain tavoitteena on pyrkiä esimerkiksi vesivoimalaitosten rakentamisen suunnitteluvaiheessa huomioimaan kaikki mahdolliset ympäristöön vaikuttavat haitalliset tekijät ja ennaltaehkäisemään ne.

#### 4.5.5 Koskiensuojelulaki (KSL)

Koskiensuojelulaissa määrätään seuraavasti:

*Koskiensuojelulaissa on määritetty uusien voimalaitosten rakentamiseen kielletyt kohteet, joille ei saa myöntää vesilaissa (264/61) tarkoitettua lupaa (Koskiensuojelulaki 1987/35 § 1).*

KSL määrittelee kohteet, joihin ei voida rakentaa vesivoimalaitosta. Tämä kyseinen lista on kohtalaisen pitkä ja sisältää 53 kiellettyä vesistöä tai vesistön osaa.

## 5 KUNNOSSAPITO

Yleensä kunnossapito on mielletty korjaavaksi toiminnaksi, mutta se on myös paljon muuta. Yksi tehokkaan tuotannon tekijöistä on pyrkiä välttämään vikaantumisia. Avaintekijänä vikaantumisien välttämiseksi on oikea prosessinhallinta, ja toimivassa prosessinhallinnassa käsitellään laitteiden käyttäjät ja kunnossapitäjät. Kallein ja tehottomin toimintatapa on reagoiva eli korjaava kunnossapito, koska kustannuksien kannalta on halvempaa ennaltaehkäistä viat kuin kärsiä tuotannon menetyksistä. Jos laitteita halutaan käyttää järkevästi ja tehokkaasti, käyttäjien ja kunnossapitäjien välille syntyy väkisinkin tehtävien päällekkäisyyksiä, jolloin tiukka rajaaminen on lähes mahdotonta. Tehokkaalla yhteistyöllä voidaan ja pyritään havaitsemaan viat ja häiriöt ennen kuin tuotannon menetyksiä ehtii syntyä. (Järviö & Lehtiö 2017, 14.)

Kunnossapidon pääpiirteinen tehtävä on säilyttää, ylläpitää, kehittää ja säätää tuottokykyä tuotanto-omaisuudessa. Yritykset investoivat uusia laitteita suorittamaan haluttua toimintaa ja kunnossapidolla pyritään varmistamaan, että laitteet kykenevät suorittamaan halutun toiminnan. Nykyään avuksi on rantautunut nykyaikaista teknologiaa, joka helpottaa laitteiden kunnonvalvontaa ja näin edesauttaa kunnossapidon työskentelyä.

Kunnossapito on määritetty myös eri standardeissa. Suomessa toiminnassa olevan PSK 6201 -standardin määrittäminen kunnossapidosta on seuraavanlainen: *”kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana”* (PSK 6201:2011, 2).

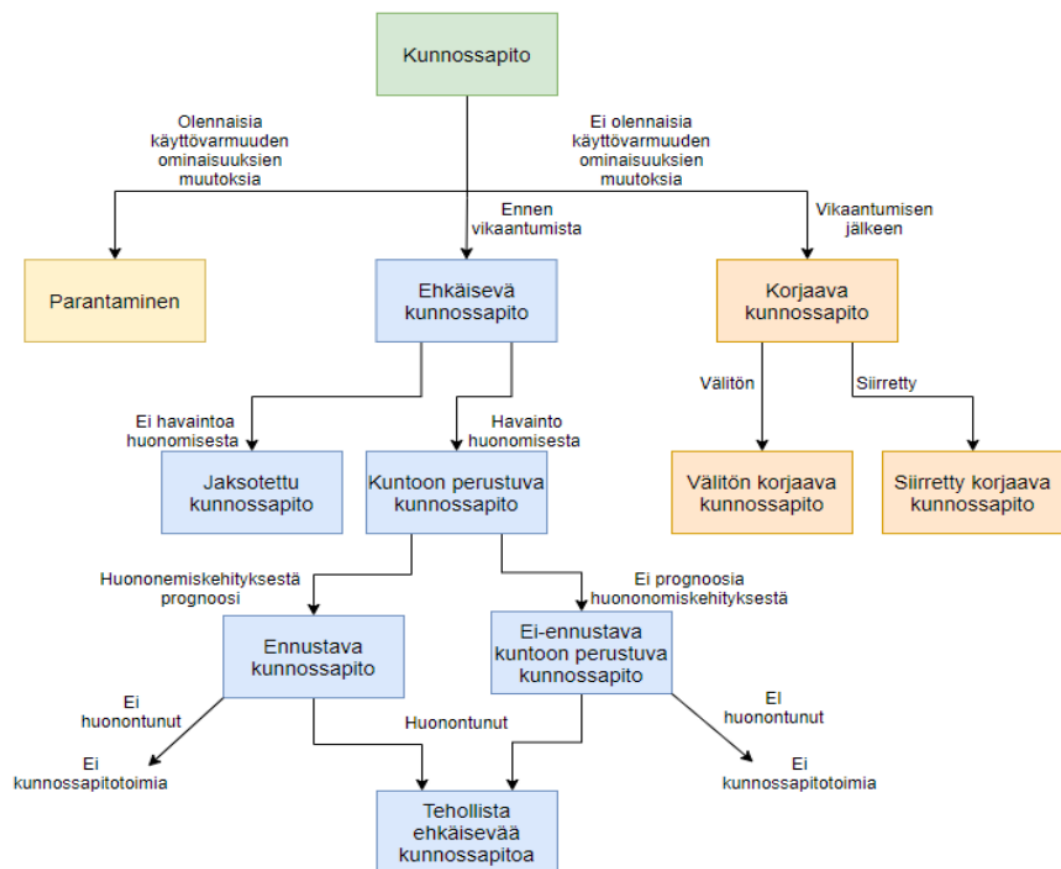
Euroopan unionin SFS-EN 13306:2017 -standardin määrittäminen kunnossapidosta on seuraavanlainen: *”kaikki kohteen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon”* (SFS-EN 13306:2017, 5).

Nämä kaksi määritelmää poikkeavat hyvin vähän toisistaan, ja on todettu, että kunnossapidon pyrkimys on pitää koneet ja laitteet toimintakunnossa tai palauttaa ne takaisin toimintaan. (Mikkonen ym. 2009, 26.)

## 5.1 Kunnossapitolajit

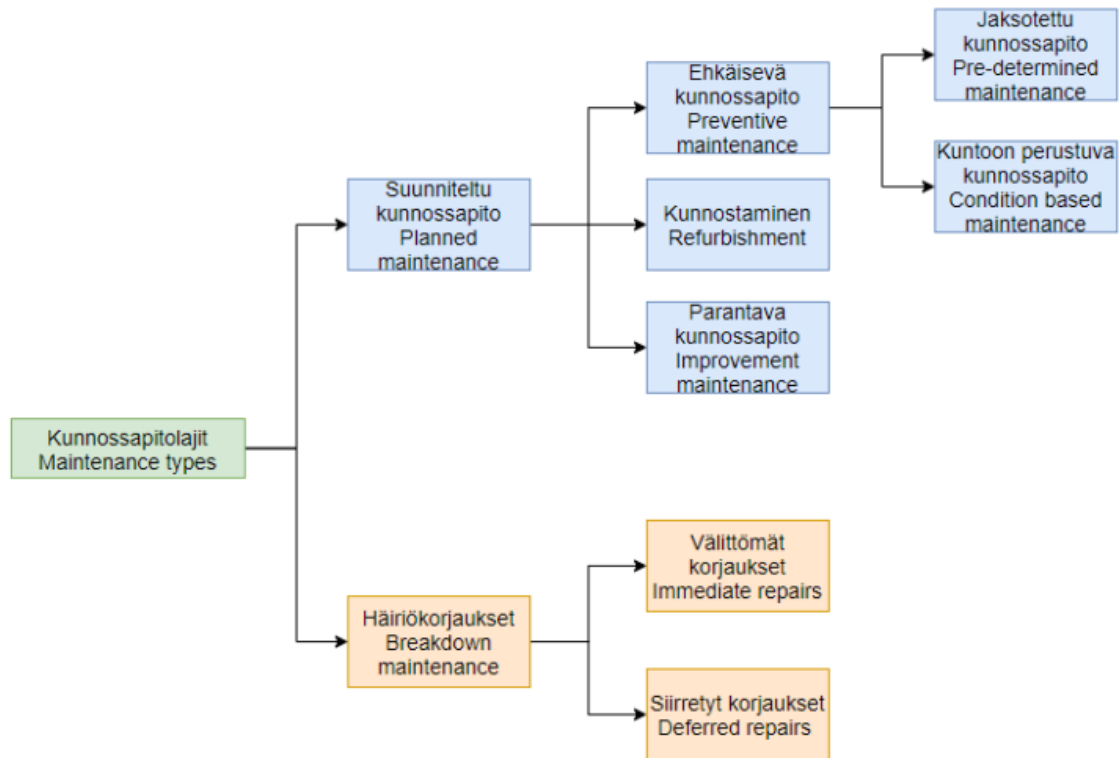
Standardien mukaiset jaottelut kunnossapitolajien osalta on esitetty hieman eri tavoin. SFS-EN 13306 -standardin jaottelua on havainnollistettu vian havaitsemisen mukaan. Kun käyttövarmuudessa havaitaan muutoksia, parantamista tehdään. (SFS-EN 13306:2017, 22.) Euroopan unionin standardista poiketen suomalaisessa PSK 6201 -standardissa kunnossapito on jaoteltu suunniteltuun kunnossapitoon ja häiriökorjaukseen (PSK 6201:2011, 22).

SFS-EN 13306 -standardin kunnossapitolajien päälajeja ovat korjaava kunnossapito, ehkäisevä kunnossapito ja parantaminen. Kuviossa 8 on esitetty SFS-EN 13306 -standardin pää- ja alalajit. (SFS-EN 13306:2017, 22.)



Kuvio 8. SFS-EN 13306 -standardin kunnossapitolajit (SFS-EN 13306:2017, 22)

Suomessa toimiva PSK 6201 -standardi jaottelee kunnossapitolajit kuvion 9 mukaisesti. Suunniteltu kunnossapito on jaoteltu kolmeen eri ryhmään: parantava kunnossapito, ehkäisevä kunnossapito ja kunnostaminen. Näistä kolmesta ehkäisevä kunnossapito jaotellaan vielä kahteen eri osaan: kuntoon perustuva ja jaksotettu kunnossapito. Häiriökorjaukset on jaoteltu kahteen eri osioon: välittömät ja siirretyt korjaukset. (PSK 6201:2011, 22.)



Kuvio 9. PSK 6201 -standardin kunnossapitolajit (PSK 6201:2011, 22)

Arkipäivän kunnossapidossa ja sen toiminnassa on tiedostettu viisi päätekijää tuotantolaitosten kunnossapidossa. Käsitellään seuraavaksi päätekijöinä ehkäisevää kunnossapitoa, korjaavaa kunnossapitoa, parantavaa kunnossapitoa, huoltoa sekä vikaantumisten ja vikojen selvitystä omilla otsikoillaan. (Järviö 2007, 49.)

#### 5.1.1 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevä kunnossapito voi olla säännöllistä, aikataulutettua tai jatkuvaa toimintaa, ja sitä voidaan toteuttaa myös vaadittaessa. Laitteiden ja kokonaisuuksien suorituskykyä ja parametreja seurataan, ja näiden tulosten pohjalta kyetään ai-



katauluttamaan sekä suunnittelemaan kunnossapidontoimia. Ehkäisevän kunnossapidon päätarkoitus on estää laitteen tai sen osan suorituskyvyn heikentymistä ja vähentää vikojen ilmentymisen todennäköisyyttä. Ehkäisevän kunnossapidon tehtäviin lukeutuvat käynninvalvonta, vikaantumisten analysointi, tarkastukset, kuntoon perustuva kunnossapito, toimintakunnon toteaminen ja testaaminen sekä määräystenmukaisuuden toteaminen. Näillä toimilla pyritään havaitsemaan suorituskyvyn heikentymiset ja vikaantumiset. (Järviö & Lehtiö 2017, 50.)

Tehokkain toiminta muodostuu kunnossapito-organisaatioon silloin, kun sen toiminta on systemaattista ja hallittua. Prosessin luotettavuuteen voidaan vaikuttaa positiivisesti ehkäisevän kunnossapidon avulla. Kun kunnossapidon työkuormasta arviolta 80 % on tiedossa kolme viikkoa etukäteen, voidaan todeta ehkäisevän kunnossapidon toteutuneen hyvin, ja silloin työt ja hankinnat kyetään aika-  
tauluttamaan tehokkaasti ja tuotannon haitat on minimoitu. Kun ehkäisevän kunnossapidon kustannukset ovat vähäisemmät kuin siitä koituvat menetykset ja vahingot, on se kannattavaa. (Järviö 2007, 73.)

### 5.1.2 Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito astuu kuvaan, kun ehkäisevällä kunnossapidolla ei syystä tai toisesta ole kyetty ennaltaehkäisemään vikaantumista. Korjaavan kunnossapidon työjärjestys on seuraavanlainen: vian määrittäminen, vian tunnistaminen, vian paikallistaminen, korjaava toimenpide tai väliaikainen korjaus ja toimintakunnon palautus. Korjaava kunnossapito on jaettu suunniteltuihin ja suunnittelemattomiin korjauksiin. (Järviö & Lehtiö 2017, 51.)

Korjaavan kunnossapidon jaot hieman vaihtelevat standardien välillä, niin kuin aiemmista kappaleista voidaan todeta. Suomessa toimiva PSK 6201 -standardi jakaa korjaavan kunnossapidon siirrettyyn ja välittömään häiriökorjaukseen. SFS-EN 13306 -standardissa häiriökorjauksia ei ole määritelty erikseen, vaan ne ovat osa korjaavaa kunnossapitoa. Korjaukset on jaettu välittömään sekä siirrettyyn korjaavaan kunnossapitoon. (PSK 6201:2011, 22–23; SFS-EN 13306:2017, 14–15.)

### 5.1.3 Parantava kunnossapito

Parantavan kunnossapidon tehtävänä on kehittää ja pyrkiä parantamaan kohteiden luotettavuutta ja kunnossapidettävyyttä, kuitenkin aiheuttamatta muutosta niiden toimintaan. Parantava kunnossapito on jaettu kolmeen eri ryhmään. (Järviö & Lehtiö 2017, 51.)

Näistä kolmesta ensimmäisessä ryhmässä käsitellään alkuperäisten osien vaihtoa uudempiin vaikuttamatta laitteen suorituskyykyyn, eli käytännössä vanha alkuperäinen osa uusitaan nykyaikaiseen vastaavaan. Toinen ryhmä käsittää koneelle tehtävän uudelleensuunnittelun ja korjauksen, jonka tarkoituksena on parantaa koneen luotettavuutta. Kolmas ryhmä käsittää suorituskyykyyn muuttamisen modernisaation avulla. Modernisaation tavoitteena on jatkaa koneen elinkaarta. (Järviö & Lehtiö 2017, 51–52.) Esimerkkinä voidaan käyttää vesivoimalaitoksen koneiston peruskorjausta, jossa laitteistoja uusitaan nykyaikaisin ratkaisuin.

Parantavan kunnossapidon rooli kunnonvalvontaprosessissa on merkittävä. Kunnonvalvonnan menetelmät helpottavat vikaantumisten analysointia, ja syyt vaurioon johtamiseen kyetään toteamaan ja poistamaan. Parantavan kunnossapidon merkitys kasvaa, kun mietitään merkittäviä säästöjä, joita saavutetaan suurten investointien sijaan korjauksilla, jotka pidentävät laitteiden käyttöikää. (Mikkonen ym. 2009, 175.)

### 5.1.4 Huolto

Laitteiden ja kohteiden käyttöominaisuuksia ylläpidetään tai heikentynyt toimintakyky pyritään palauttamaan huoltojen avulla ennen vikaantumista tai vaurioitumista. Huolto on toimenpide jaksotetussa kunnossapidossa. Tyypillisesti huolto sisältää puhdistusta, voitelua, kuluvien osien vaihtamista ja säätämistä. Huoltojen avulla pyritään pitämään toimintaympäristöt koneistoilla ja laitteilla hyvänä ja turvataan edellytykset toimia vaaditulla suorituskyykyllä. (Järviö & Lehtiö 2017, 49–50.)

### 5.1.5 Vikaantumisen ja vikojen selvitys

Nykyään koneistoissa on paljon erilaisia sovelluksia, joiden avulla ohjataan toimintoja ja kerätään tietoa koneistojen kuormituksesta, olosuhteista ja käyttöta-voista. Näiden tietojen avulla voidaan päästä käsiksi vikaantumisien juurisyihin ja mahdollistetaan korjaavien toimien suunnittelu ja toteutus. Asiantuntijoiden mielestä kunnossapidon yksi tärkeimmistä ohjaavista toimista on riskianalyyysien ja vikahistorian käyttäminen. Analyytit vaativat tietynlaista erikoisosaamista, joten jokaista vikaa ei välttämättä kannata analysoida. (Järviö & Lehtiö 2017, 52.)

Mikkonen ym. (2009, 297) toteavat, että kun vikoja kyetään tunnistamaan, voidaan mahdollisia korjauksia valmistella ja toteuttaa taloudellisesti järkevästi ja tehokkaasti. Heidän mukaansa vikojen tunnistamisen jälkeen voidaan arvioida, voidaananko laitteen käyttöä vielä jatkaa turvallisesti vai täytyykö se pysäyttää välittömästi. He myös toteavat, että jotkut pienimmät vikatyypit voidaan korjata esimerkiksi säädön tai voitelun avulla, jolloin laitteen käyttö voi jatkua.

Yleensä laitteiden vikaantumisien seurauksia arvioidaan, jolloin tiedetään niiden vaikutukset organisaation toimintaan. Näitä arvioituja seurauksia ovat muun muassa vaikutukset ympäristöön, turvallisuuteen, tulokseen tai laatuun. Osa pienimmistä vikaantumisista ei välttämättä vaikuta mitenkään, mutta vikaantumisen estämisen toimenpiteet riippuvat siitä, kuinka vakavasta seurauksesta on kyse. Kun seuraukset ovat kohtalaisen pieniä, vika pyritään korjaamaan sen ilmaannuttua, eikä ennakoivia toimenpiteitä juurikaan tehdä. (Mikkonen ym. 2009, 158–159.)

## 5.2 Digitalisaatio kunnossapidossa

Digitalisaatio on valtava kilpailuetu, ja tulevaisuuden tehtaas, valmistusprosessit sekä teollisuus kokonaisuudessaan tulevat olemaan riippuvaisia datasta, jota voidaan hyödyntää päätöksenteossa. Esimerkiksi analyytiikkayhtiö IDC:n tutkimuksen mukaan 80 %:n valmistajista on kehitettävä prosessejaan ja tietoja, jotta saadaan nostettua laatua ja nopeutta. Maailmanlaajuisesti tällä hetkellä jää jopa 99 % käyttämättä tietojen arvosta, mikä tarkoittaa, että potentiaalia kehitykseen on valtavasti. Tehokkaamman tiedonkäytön avulla voidaan saavuttaa 2–3 prosentin kasvu yrityksen liikevaihdossa. (Dimecc 2020, 2.)

Kunnossapidon ja tuotannon erikoislehti Promaintissa on kirjoitettu hyvä artikkeli kunnossapidon digitalisaatio- ja ICT-kokonaisarkkitehtuurista. Artikkelissa Niittymaa (2021) kertoo, että digitalisaatioon liittyviä ratkaisuita ja hyötyjä on tuotu jo paljon esille, ja monien laitteiden mukana tuleeekin jo juuri siihen soveltuva kunnonvalvontaratkaisu. Hänen mukaansa laitteiden mukana tulevat ratkaisut ovat toimivia kohteessaan, mutta on epävarmaa, onko näitä ratkaisuja todellisuudessa hyödynnetty kokonaisvaltaisesti. Hänen mielestään kunnonvalvonnan tarpeen määrittely tulee suoraan kunnossapidosta, mutta laajat toteutukset eivät ole mahdollisia pelkän kunnossapidon avulla pieniä ratkaisuja lukuun ottamatta. Havaintojensa mukaan joissain tapauksissa datan laatu on koettu ongelmaksi ja sen parantaminen haastavaksi, ja näiden haasteiden vuoksi ICT-asiantuntijoiden huomiota ja avustusta tarvitaan. Hänen arvionsa mukaan kunnossapidon tarpeiden parempi huomiointi ICT-kokonaisarkkitehtuurissa ja vaatimuksien johtaminen liiketoimintavaatimuksista johtaisi todennäköisesti siihen, että kunnossapidon digitalisaatoratkaisut saavuttaisivat täyden potentiaalinsa.

Digitalisaation ansiosta saadaan hyötyä yrityksen toimintaan, ja se näkyisi suoraan yrityksen tuloksessa. Hyötyjen saavuttamiseksi ideat tulisi esittää liiketoiminnan johdolle, jolta saadaan tarvittava tuki asian edistämiseksi. Viisainta olisi siirtyä kohti digitalisaatiota pienin askelin, jolloin on helpompi validoida datan laatua sekä tehdä korjaavia toimenpiteitä sen sijaan, että muutos tehtäisiin laajassa projektissa, joka sitoo paljon resursseja ja näin ollen on vaikeammin hallittavissa. (Niittymaa 2021.)

Professori Erko Aution (2017, 1) mukaan digitalisaation muutoksia yrityksessä voidaan kuvailla kahdella tavalla. Hänen mukaansa muutos tapahtuu yrityksen taloudessa, ja toisaalta se muuttaa käytäntöjä tai tapoja käyttää hyödyksi digitalisaation tuomia mahdollisuuksia.

### 5.2.1 Digitalisaatiomuutoksen haasteet

Tässä osiossa käydään hieman läpi mahdollisia haasteita, joita voi esiintyä yrityksen muutoksessa kohti digitalisaatiota. Johanssonin, Rothin ja Reimin (2019, 3) mukaan viitaten Legner ym. (2017), Matt ym. (2015) ja Reim ym. (2018) kirjoituksiin yrityksen rakenteen tulee seurata digitaalisen muutoksen kehitystä, koska

sen prosesseja, työmenetelmiä, tuotteita ja palveluita on sopeutettava muutokseen. He myös kirjoittavat, että haasteeksi voi muodostua se, että digitaalisen muutoksen toteuttamiseen ei ole tarvittavaa osaamista. Heidän mukaansa yksi strategisista tekijöistä on päättää, kuka ottaa vastuun digitalisoidun järjestelmän kehittämisestä.

Yhdeksi yleiseksi ongelmaksi Johansson ym. (2019, 3) toteaa tietokoneistettujen järjestelmien käytön, kun valvontaan kerätään suuria tietomääriä, joiden vuoksi järjestelmät voivat olla monimutkaisia ja tiedot hajallaan eri järjestelmissä, viitaten Galarin (2014) kirjoitukseen. He toteavat itse myös, että järjestelmien tulee kyetä käsittelemään monia erilaisia tärkeitä toimintoja.

Johansson ym. (2019, 3) nostavat kirjoituksessaan esille, että organisaation sisäinen koulutus on resurssi-intensiivisin ja monimutkaisia osa, mutta samalla tieto ja kapasiteetti on suurin voimavara organisaatiossa. Kaiko-Mattsson ym. (2011) kirjoitukseen viitaten Johansson ym. (2019, 3) toteaa, että monimutkainen osuus koostuu eMaintenance-töiden aloituksen valmistelusta ja siitä, että oikeat henkilöt saavat oikeanlaiset tiedot ja koulutuksen. Hän toteaa myös, että huomiota kannattaa kiinnittää siihen, kenet kuuluisi kouluttaa mihinkin tarkoitukseen ja missä järjestyksessä. Johansson ym. (2019, 3) nostavat esille Aboelmagediiniin (2015) viitaten, että toteutusten tuomia etuja tulisi nostaa esille, sillä ne voivat innostaa organisaation henkilöstöä kohti muutosta.

### 5.2.2 Digitalisaatiomuutoksen mahdollisuudet ja hyödyt

Yrityksen siirtyminen digitaaliseen maailmaan vaatii digitalisoinnin ja palveluiden lisäksi strategian, liiketoimintamallin ja työmenetelmien digitaalisen muutoksen (Johansson ym. 2019, 2). Tutkimusten (Legner ym. 2017) mukaan myös nykyaikaisten digitaalisten työkalujen saatavuus kasvattaa innovatiivisuutta, tutkimusyhteistyötä ja kilpailukykyä. Johansson ym. (2019, 2) toteavat viitaten Müllerin ym. (2017), Müllerin ym. (2018) sekä Stockin ja Seligerin (2016) kirjoituksiin, että digitaalisen teknologian hyödyntäminen yrityksessä ja muutoksen toteuttaminen vaatii koko organisaation suuren muutoksen, joka koskee strategioita, organisatiorakennetta, IT-arkkitehtuuria, liiketoimintamalleja ja työmenetelmiä.

Johanssonin ym. (2019, 3) mukaan Iansiti ja Lakhani (2014) ovat tunnistanee kolme ominaisuutta, jotka muuttavat liiketoimintamalleja. Ensimmäisenä se, että digitaalisten signaalien kautta on mahdollista lähettää tarkkaa tietoa. Toisena ominaisuutena nähdään, että signaalien kautta saadut tiedot voidaan replikoida niin monta kertaa kuin mahdollista ilman, että ne vahingoittuvat. Kolmantena ja viimeisenä nähdään, että tietojen lähetyskustannukset pienenevät.

Sähköinen ylläpito eli eMaintenance on nousussa ollut käsite, joka on yleisesti määritetty ylläpidon hallintakonseptiksi, jossa yrityksen omaisuutta hallitaan ja seurataan internetin kautta (Levrat, Lung & Crespo 2008).

Monilla toimialoilla, joissa tehdään huoltotöitä, kuten vesivoimassakin, tärkeää on vikojen syiden selvittäminen ja ennakoivien huoltotoimenpiteiden tekeminen. Johanssonin ym. (2019, 3) mukaan Lee ym. (2009) on todennut, että eMaintenance avulla voidaan mahdollistaa parempi ja tehokkaampi huoltotyö sekä vähentää korjaavaa kunnossapitoa, mistä seuraa kustannusten aleneminen vähentyneiden seisokkien ansiosta.

Organisaatioiden, jotka siirtyvät kohti eMaintenancea, on varmistettava teknologian hyödyntäminen oikea-aikaisesti. Jos tätä ei huomioida tai ratkaista, sen edut pienenevät huomattavasti, toteaa Johansson ym. (2019, 3) viitaten Aljumaili ym. (2015) kirjoituksiin. He myös nostavat esille, että tiedonkeruun tulee olla korkealaatuista, jotta saadaan luotettavat lähtöarvot.

Organisaation muuttamiseen tarvitaan pedagogisia toimia, ja ylläpidon digitalisoinnista seuraa, että tarvitaan uutta ajattelutapaa, uusia rooleja ja uusia työtapoja, jolloin muutoksesta voidaan saada maksimaalinen hyöty, ilmenee Johanssonin ym. (2019, 9) tekemästä tutkimuksesta.

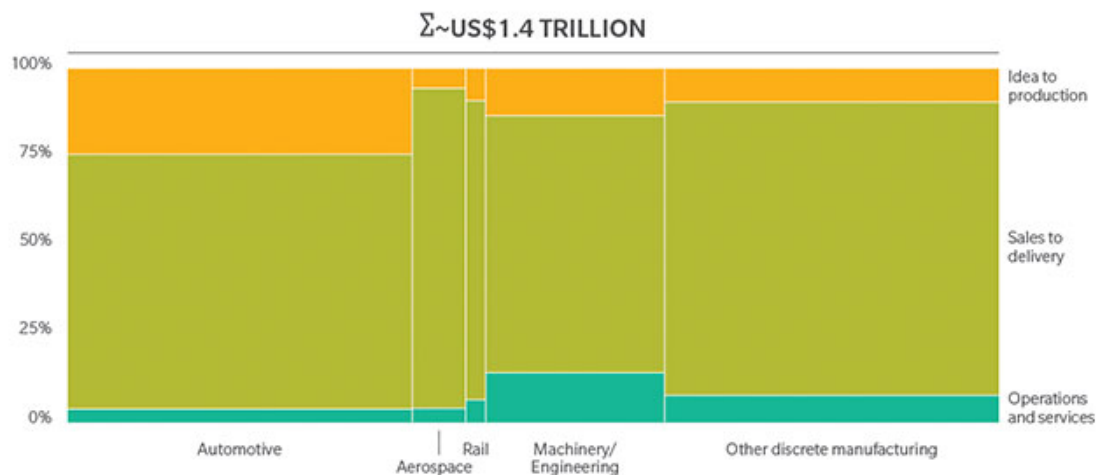
### 5.2.3 Teollisuus 4.0

Käsitteellä teollisuus 4.0 viitataan teollisen vallankumouksen neljänteen vaiheeseen, jossa käsitellään reaaliaikaista dataa, koneoppimista, yhdistettävyyttä ja automaatiota. Toisinaan tätä termiä kutsutaan myös IoT:ksi tai älykkääksi valmistukseksi. Sen tarkoituksena on yhdistää toimintoja ja tuotantoa älykkääseen digitaalitekniikkaan. (Epicor 2023.) Epicorin sivuilla kerrotaan myös, että vaikka

kaikki yritykset ovat erilaisia, kaikilla on yhteinen haaste: tarve reaaliaikaisen näkymän käytölle ja yhteyden muodostaminen ihmisten, kumppanien, prosessien ja tuotteiden välille.

Teollisuus 4.0 on Saksan hallituksen esittämä strateginen aloite, jonka tavoitteena on digitalisaation ja uusien teknologioiden kautta muuttaa ja kehittää teollista tuotantoa (Rojko 2017, 77–90). Teollisuus 4.0 on osa saksalaista High-Tech Strategy 2020 -toimintasuunnitelmaa, jonka päämääränä on miljardien eurojen panostus valmistussektoreihin ja huipputeknologiaan. Aloite tuotiin esille ensimmäisen kerran vuonna 2011. (Liao, Deschamps, Loures, Eduardo de Freitas Rocha & Ramos 2017; Frank, Dalenogare & Ayala 2019.)

Oliver Wymanin tutkimuksen mukaan teollisuus 4.0:n lisäarvon potentiaali globaalisti tulee saavuttamaan 1,4 triljoonaa dollaria vuoteen 2030 mennessä, mikä on esitetty kuviossa 10. Tämän saavutuksen mahdollistaa kustannusten aleneminen sekä voittojen kasvu. (Oliver Wyman 2016, 4.)



Kuvio 10. Teollisuus 4.0:n marginaalivaikutus toimialoittain (Oliver Wyman 2016, 4)

On arvioitu, että suurimmat absoluuttiset voitot kohdistuvat suurimpaan toimialaan, autoteollisuuteen. Autoteollisuuden jälkeen tulevat koneteollisuus, ilmailu ja rautatieteollisuus. (Oliver Wyman 2016, 4.) IoT ja teollisuus 4.0 koostuu sadoista konsepteista ja termeistä. Seuraavaksi on listattuna 12 perustermiä, jotka on hyvä tietää asiaan liittyen.

1. Yrityksen toiminnanohjaus (ERP): Käsittää liiketoimintaprosessin hallintatyökaluja. Näiden työkalujen avulla voidaan hallita informaatiota koko organisaation laajuudella. (Epicor 2023.) Esimerkiksi Caverionin ja Kemijoki Oy:n kumppanuudessa on käytössä Vincit-järjestelmä, jolla voidaan hallinnoida huoltosuunnitelmia, työtilauksia, dokumentointia sekä monia muita asioita.
2. IoT: Internet of Things eli esineiden internet. Käsitteellä viitataan fyysisten esineiden yhteyksiin. (Epicor 2023.) Vesivoimassa IoT on käytössä esimerkiksi pumppuasemien kunnonvalvonnassa, ja sen käyttö laajentuu koko ajan laitoksille. Tähän investoimalla saadaan merkittäviäkin säästöjä, kun voidaan esimerkiksi välimatkojen ollessa pitkiä karsia turhia autolla ajettuja kilometrejä paikan päälle yksinkertaisten asioiden hoitamiseen tai seuraamiseen.
3. Massadata: Viittaa suuriin sarjoihin rakenteetonta tai rakenteellista dataa, jota on mahdollista yhdistää, organisoida, säilyttää ja analysoida eri tavoin (Epicor 2023). Vesivoimassa tällaista dataa löydetään esimerkiksi koneistojen käyttödatasta, ja tässäkin työssä massadata ja sen käyttö esiintyy merkittävästi.
4. Keinoäly (AI): Tunnetaan myös nimellä tekoäly. Käsitteellä viitataan tietokoneen kykyyn suorittaa tai tehdä päätöksiä ilman ihmisälyä. (Epicor 2023.) Tämän hyödyntäminen yleisesti teollisuudessa tai vesivoimassa on tulevaisuutta, ja sen potentiaali on todella merkittävä.
5. M2M: Machine-to-Machine tarkoittaa kommunikaatiota kahden eri koneen välillä verkossa. Verkko voi olla langaton tai langallinen. (Epicor 2023.) Käsitteellä voidaan kuvata mitä tahansa tekniikkaa, jonka avulla verkossa olevat laitteet vaihtavat tai suorittavat toimintoja ilman ihmisen manuaalista apua. Tekoäly ja koneoppiminen nousevat tässäkin esille.
6. Digitalisoiminen: Käsittää erityyppisten informaatioiden keräyksen ja sen muuttamisen digitaaliseen muotoon (Epicor 2023). Tässäkin työssä otetaan askeleita kohti kunnossapidon digitalisaatiota vesivoimaturbiinien kunnonvalvontaan liittyen. Digitalisaation tarkoituksena on nykyaikaista



teknologiaa hyödyntämällä saada esimerkiksi kunnossapidosta helpommin seurattavaa, suunniteltavaa ja toteutettavaa.

7. Älytehdas: Tehdas, jossa investoinnit ovat teollisuus 4.0 -teknologiaa, -ratkaisuita ja -lähestymistapoja sekä niiden hyödyntämistä tehtaassa (Epicor 2023). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tehtaan tuotavuutta pyritään parantamaan digitalisoinnin ja uuden teknologian avulla.
8. Koneoppiminen: Tietokoneiden kyky oppia ja kehittyä itsenäisesti käyttäen tekoälyä apuna, ilman erityistä ohjelmointia tai käskyä tehdä niin (Epicor 2023).
9. Pilvilaskenta: Käytäntö, jossa internetissä ylläpidettävät etäpalvelimet tallentavat, hallitsevat ja käsittelevät informaatiota. Nämä etäpalvelimet ovat yhteyksissä toisiinsa. (Epicor 2023.)
10. Reaaliaikainen tietojenkäsittely: Viittaa koneiden ja tietokonejärjestelmien kykyyn käsitellä automaattisesti ja jatkuvasti tietoja sekä tuottaa niistä tietoa, palautetta tai näkemyksiä (Epicor 2023). Tästä voidaan käyttää esimerkkinä yksinkertaista yrityksen automaattista raportointia tai tätä opinnäytetyötä, jossa ohjelmisto päivittää sinne tulevan datan automaattisesti ja luo kuvaajat, joita on helpompi tarkastella.
11. Ekosysteemi: Käsittää yrityksen yhdistettävyyden, suunnittelun, talouden, varaston, asiakassuhteet, toimitusketjujen hallinnan sekä valmistuksen toteutuksen (Epicor 2023). Käytännössä tämä voidaan ymmärtää niin, että ekosysteemi käsittää yrityksen koko toiminnan.
12. Kyberfyysiset järjestelmät (CPS): Viittaa teollisuus 4.0 -käyttöiseen valmistusympäristöön, jota voidaan kutsua myös kybervalmistukseksi. Tarkoituksena on saada reaaliaikainen tiedonkeräys, analyysit ja läpinäkyvyys jokaiselta osa-alueelta. (Epicor 2023.)

## 6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä opinnäytetyössä sovelletaan toimintatutkimusta. Tutkimuksen menetelmäksi valikoitui kyseessä oleva menetelmä, koska työn tavoitteena on tutkia ja kehittää uusia digitaalisia kunnonvalvonnan menetelmiä sekä kehittää digitaalisia palveluita ja johtaa ne osaksi päivittäistä toimintaa.

### 6.1 Toimintatutkimus

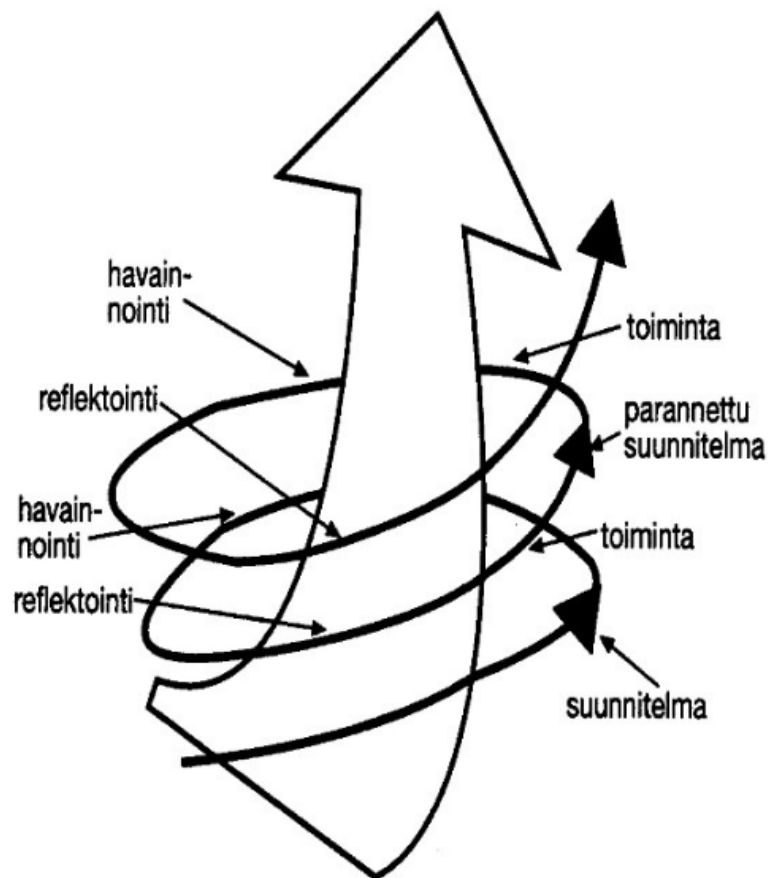
Toimintatutkimus (action research) on yksi useista tutkimusstrategioista, joissa tutkitaan todellisuutta ja pyritään muuttamaan sitä. Jos ajatellaan lähestymistapaa teoreettis-metodologisesti, sitä voidaan luonnehtia käytäntö-, muutos-, toiminta-, prosessi- ja osallisuusorientaationa. Tutkimuksen keskeinen tavoite on saada muutoksiin johtavaa, sosiaaliin käytäntöihin ja ongelmien ratkaisuun kohdistuvaa toimintaa. Toiminnan tulisi edetä prosessinomaisesti, jolloin keskipisteenä on niiden ihmisten osallistuminen ja osallistaminen, jotka ovat mukana käytännöissä. (Jyrkämä 2023. 1.)

Jyrkämän (2023, 1) mukaan toimintatutkimusta sovelletaan yleisesti useilla tutkimus- ja tieteenaloilla. Hänen mukaansa toimintatutkimuksen käyttö painottuu suurimmalta osin kasvatustieteisiin ja työelämäntutkimuksien erilaisiin kehitys- ja muutoshankkeisiin, mutta pieni osa tutkimuksen käytöstä kohdistuu myös sosiaalityöhön, hoitotieteeseen ja yhdyskuntien sekä kansalaisliikkeiden tutkimuksiin. Hän toteaa myös, että toimintatutkimuksen suosiota ovat lisänneet yhteiskunnan eri alueiden vaatimukset osallistumisen ja osallisuuden vahvistamisesta.

Toimintatutkimuksen juuret ulottuvat kohtalaisen kauas historiaan, ja Jyrkämä (2023, 1) siteeraakin Karl Marxin (1845) tunnettua lausumaa, ”*filosofit ovat vain eri tavoin selittäneet maailmaa, kun tehtävänä on sen muuttaminen*”. Lähemmin toimintatutkimus pohjautuu amerikkalaiseen 1920- ja 1930-luvun pedagogiikkaan ja sen filosofiaan sekä amerikkalaiseen nimeen John Dewey (Jyrkämä 2023, 1).

Tutkimuksen varsinainen kehittäjä on saksalais-amerikkalainen sosiaalipsykologi Kurt Lewin, joka joutui muuttamaan Hitleriä pakoön Yhdysvaltoihin (Jyrkämä 2023, 1). Jyrkämä (2023, 1) kertoo, että Lewin (1946) otti toimintatutkimuksen

käyttöön ja määritti sen ”vertailevaksi tutkimukseksi sosiaalisen toiminnan erilais-  
ten muotojen olosuhteista ja vaikutuksista ja tutkimukseksi, joka johtaa sosiaali-  
seen toimintaan”. Jyrkämän (2023, 1) mukaan, Lewin (1946) muun muassa suo-  
ritti ruokailutottumusten muuttamiseen, demokratiaan, vähemmistöryhmien on-  
gelmiin ja työelämän yhteistoiminnallisuuteen liittyviä kenttäkokeiluja. Hänen mu-  
kaansa Lewin kehitti toimintatutkimukseen perusmallin, joka on esitetty kuviossa  
11, ja joka on perusajatukseltaan samankaltainen toimintatutkimuksesta toiseen.



Kuvio 11. Perusmalli toimintatutkimuksesta (Jyrkämä 2023, 1; Heikkinen & Jyr-  
kämä 1999)

Jyrkämän (2023, 1) mukaan Lewinin (1946) perusmallissa lähdetään liikkeelle  
kyseessä olevan ongelman havainnoinnista, tunnistuksesta ja kartoituksesta.  
Hän toteaa, että kun ongelma on tunnistettu, tehdään sen pohjalta tutkimus- ja  
muutossuunnitelma, joka toteutetaan reflektoiden. Prosessia lähdetään toteutta-  
maan, havainnoimaan ja arvioimaan, minkä pohjalta tehdään tarvittavia muutok-

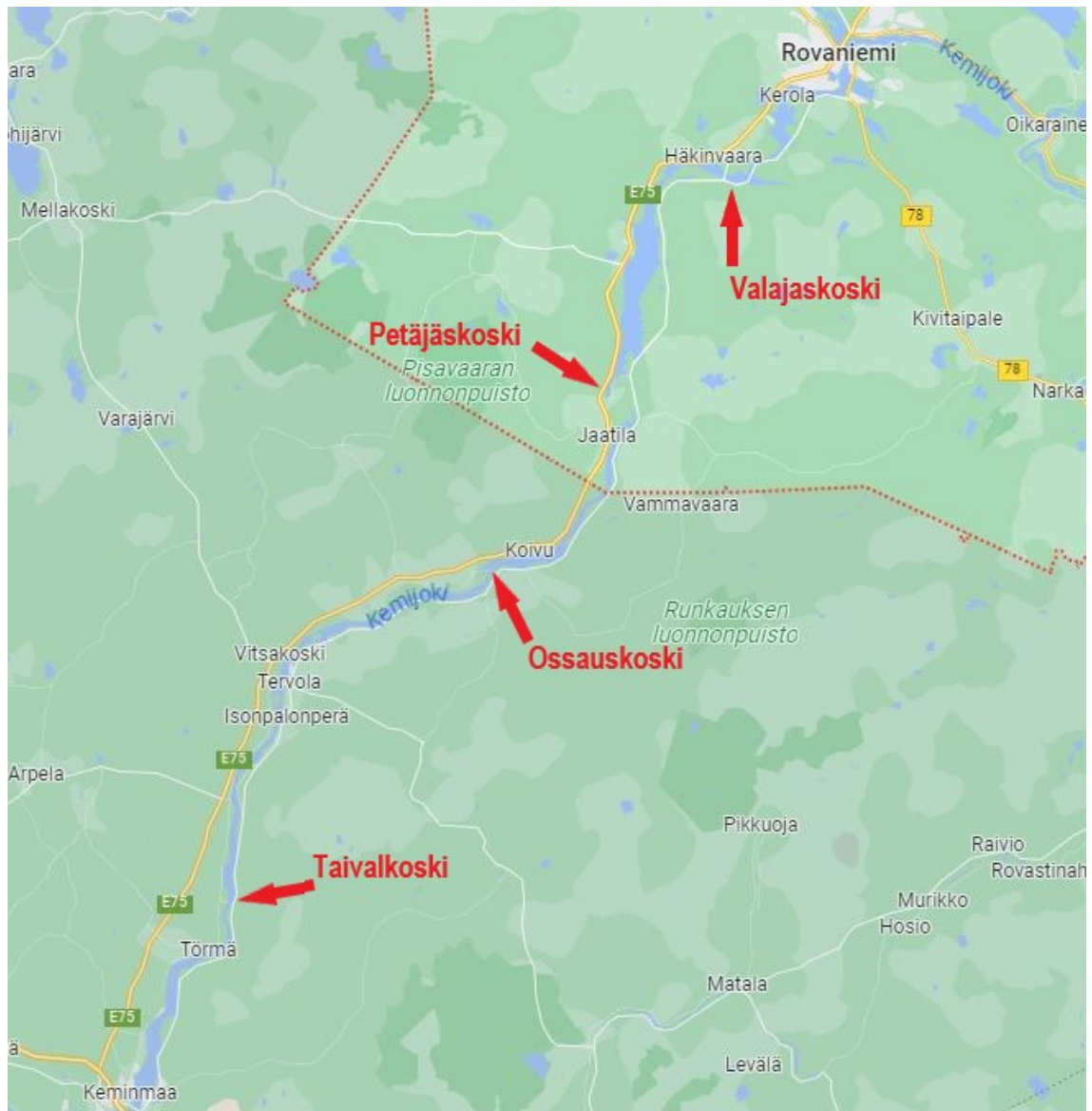
sia. Tämä prosessi jatkuu niin kauan, kunnes tavoitteet on saavutettu tai tavoitteiden todetaan olevan saavuttamattomissa, toteaa Jyrkämä (2023, 1) kirjoituksessaan.

Jyrkämä (2023, 1) on listannut toimintatutkimuksen erilaisia suuntauksia, joita ovat esimerkiksi kommunikatiivinen työelämäntutkimus, kriittinen toimintatutkimus ja kasvatustieteellinen tutkimus. Hän mainitsee myös Paolo Freiren ajatteluun pohjautuvat emansipatorisen toimintatutkimuksen, Action science -suuntauksen, yhteisösuuntautuneen, osallistavan ja yhteistoiminnallisen toimintatutkimuksen kirjoituksessaan.

Toimintatutkimuksen ympärillä on ollut keskustelua ja kritiikkiä koskien todellisuuden muuttamista, koska se poikkeaa perinteisestä akateemisesta tutkimuksesta, toteaa Jyrkämä (2023, 1). Hänen mukaansa kiistaa ovat aiheuttaneet kysymykset liittyen tutkimuksen objektiivisuuteen, tutkijan moniulotteiseen ja ristiriitaiseen rooliin tutkimustilanteissa ja tutkimuksen suhteeseen tavallisiin kehityshankkeisiin sekä interventio- ja evaluaatiotutkimuksiin.

## 7 TUTKIMUSKOHTEET

Työn tutkimuksen kohteina ovat Kemijoen ala-alueen voimalaitokset Valajaskoski, Petäjaskoski, Ossauskoski ja Taivalkoski. Voimalaitokset sijoittuvat Rovaniemen ja Kemijoen väliin (kuvio 12). Voimalaitoksien yleistiedot on esitetty aikaisemmin taulukossa 5.



Kuvio 12. Voimalaitoksien sijainnit

### 7.1 Valajaskoski

Valajaskosken voimalaitos (kuvio 13) sijaitsee noin 15 kilometrin ajomatkan päässä Rovaniemeltä etelään päin. Voimalaitoksen tuotto on keskimäärin noin

365 GWh, ja määrä vastaa noin 52 100 nelihenkisen perheen sähkönkulutusta vuodessa. (Kemijoki Oy 2023k.)



Kuvio 13. Valajaskosken voimalaitos talvella (Kemijoki Oy 2023m)

Voimalaitoksella on kolme koneistoa, joissa kaikissa on Kaplan-turbiinit. Nämä koneistot tuottavat yhteensä 101 MW tehon, ja yksittäisen koneiston teho on 33,7 MW (Kemijoki Oy 2023k). Taulukossa 9 on esitetty laitoksen koneistojen tehot.

Taulukko 9. Valajaskosken koneistojen tehot megawatteina (Kemijoki Oy 2023l)

Valajaskoski	VL1	33,7
	VL2	33,7
	VL3	33,7

Voimalaitoksen koneistot on peruskorjattu vuosien 2001–2003 aikana, jolloin tehonnostolla on saatu 31 MW tehoa lisättyä (Kemijoki Oy 2023k). Koneistojen elinkaari on noin 20–25 vuotta, riippuen käytöstä ja kunnossapidosta, joten laitoksen koneistojen kunnostukset ovat tällä hetkellä ajankohtaisia, myös havaittujen vikojen vuoksi.



## 7.2 Petäjäskoski

Petäjäskosken voimalaitos (kuvio 14) sijaitsee noin 36 kilometrin päässä Rovaniemeltä etelän suuntaan, ja 85 kilometrin päässä Kemijoen suulta. Petäjäskoski on tehoiltaan Suomen toiseksi suurin voimalaitos, ja se tuottaa vuodessa noin 687 GWh. Määrä vastaa noin 98 100 nelihenkisen perheen sähkönkulutusta vuodessa. (Kemijoki Oy 2023i.)



Kuvio 14. Petäjäskosken voimalaitos talvella (Kemijoki Oy 2023m)

Kemijoen ensimmäinen voimalaitos, Petäjäskosken voimalaitos, on rakennettu vuosien 1953–1957 aikana, ja mukana urakassa on parhaimmillaan ollut noin 2 500 henkilöä. Laitoksella on kolme koneistoa, Kaplan-turbiineita, joille on vähintään kertaalleen tehty tehonnosto peruskorjauksen yhteydessä. Ensimmäinen koneisto on peruskorjattu ensimmäisen kerran vuonna 1996 ja toisen kerran vuonna 2011. Toinen ja kolmas koneisto on peruskorjattu vuosien 2005–2006 aikana, jolloin laitoksen tehoa nostettiin 37 MW:a. Laitoksen kokonaisteho on nykyään 182 MW. (Kemijoki Oy 2023i.) Taulukossa 10 on esitetty koneistojen tehot.

Taulukko 10. Petäjäskosken koneistojen tehot megawatteina (Kemijoki Oy 2023l)

Petäjäskoski	PT1	60,7
	PT2	60,7
	PT3	60,7

### 7.3 Ossauskoski

Ossauskosken voimalaitos (kuvio 15) sijaitsee Kemijoen varrella 17 kilometriä Tervolasta Rovaniemen suuntaan, Tervolan kunnassa. Voimalaitoksen vuodessa tuottama teho on noin 501 GWh, ja määrä vastaa noin 71 600 nelihenkisen perheen sähkönkulutusta vuodessa. (Kemijoki Oy 2023h.)



Kuvio 15. Ossauskosken voimalaitos talvella (Kemijoki Oy 2023m)

Voimalaitoksella on kolme koneistoa, Kaplan-turbiineita, joiden tuottama teho on 124 MW. Taulukossa 11 on esitetty koneistojen tehot. Kaikki kolme koneistoa on peruskorjattu vuosien 2007–2008 aikana, jolloin laitoksen teho nousi 31 MW:a. (Kemijoki Oy 2023h.)



Taulukko 11. Ossauskosken koneistojen tehot megawatteina (Kemijoki Oy 2023l)

Ossauskoski	OS1	41,3
	OS2	41,3
	OS3	41,3

Ensimmäinen koneisto vaurioitui joulukuussa 2021, jolloin juoksupyörän säätöluistin leikkasi kiinni. Vian korjauksen suunniteltu aloitus on heinäkuussa 2023, ja korjauksen valmistumisen tavoite on joulukuussa 2023. Peruskunnostus vaatii koneiston purkamisen kokonaan. Nämä tapahtuneet vauriot ovat myös yksi syy tälle opinnäytetyölle ja kunnonvalvonnan parantamiselle, jotta jatkossa voidaan saada kiinni viat ennen kuin suurempia vaurioita tapahtuu.

#### 7.4 Taivalkoski

Taivalkosken voimalaitos (kuvio 16) sijaitsee Keminmaassa, ja se on yksi Suomen suurimmista vesivoimaloista. Voimalaitoksen tuottama teho on noin 540 GWh, ja määrä vastaa noin 76 700:n nelihenkisen perheen sähkönkulutusta vuodessa. Taivalkoski on neljäs ja viimeinen Kemijoki Oy:n omistama voimalaitos Kemijoen varrella. (Kemijoki Oy 2023j.)



Kuvio 16. Taivalkosken voimalaitos talvella (Kemijoki Oy 2023m)

Voimalaitoksella on kolme koneistoa, Kaplan-turbiineita, joiden tuottama teho on noin 134 MW. Taulukossa 12 on esitetty koneistojen tehot. Koneistot on peruskorjattu vuosien 2015–2017 aikana, jolloin myös JUP:n voiteluöljy korvattiin vedellä kaikissa koneistoissa. (Kemijoki Oy 2023j.) Käytännössä tämä tarkoittaa, että öljynavat vaihdettiin vesinapoihin.

Taulukko 12. Taivalkosken koneistojen tehot megawatteina (Kemijoki Oy 2023l)

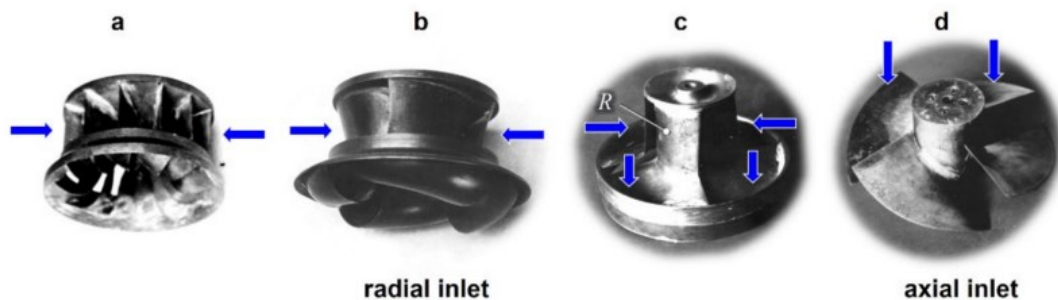
Taivalkoski	TA1	44,7
	TA2	44,7
	TA3	44,7

## 8 KAPLAN-TURBIININ HISTORIA JA KEHITYS

Kaplan-turbiinin keksijä, Viktor Kaplan, syntyi marraskuussa 1876 Itävallassa Mürzzuschlagin kaupungissa itävaltalaisen rautatievirkailijan perheeseen (Polák 2021, 1). Polákin (2021, 1) mukaan koulusta valmistumisen jälkeen Kaplan ilmoittautui yliopistoon kone- ja dieselmootoreiden rakentamisen alalle Wienin yliopistoon, ja suoritti vuoden kestäneen asepalveluksen Itävallan laivastossa vuonna 1900. Asepalveluksen jälkeen Kaplan työskenteli Ganz & Compin suunnittelutehtaalla Löbersdorfissa polttomootoreiden kehityksen parissa, toteaa Polák (2021, 1).

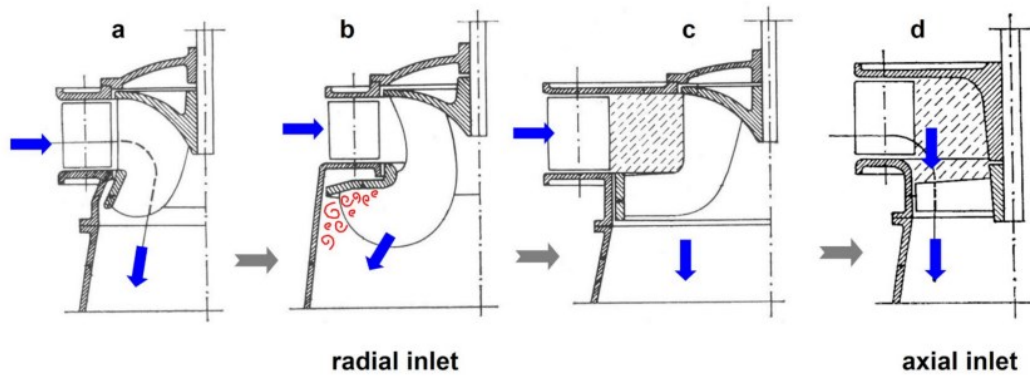
### 8.1 Kehityksen alku

Polák (2021, 1) kertoo, että Kaplanin tavoitteena oli parantaa olemassa olevan Francis-turbiinin tehokkuutta matalilla nopeuksilla ja vaihtelevilla virtausnopeuksilla. Kaplan tuli kuitenkin siihen tulokseen, että Francis-turbiinin rakenne ei täyttänyt tarvittavia vaatimuksia, ja hän päätti kehittää oman ratkaisunsa ja uudisti juoksupyörän muodon käsitteen.



Kuvio 17. Francis-turbiinin kehitys kohti Kaplan-turbiinia (Polák 2021, 3)

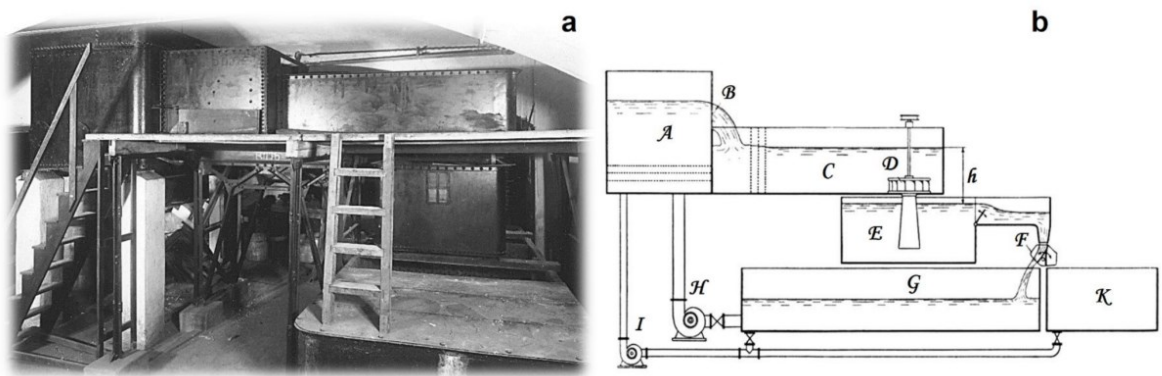
Kaplan-turbiinin suunnittelussa alkuperäinen radiaalinen virtaus muutettiin aksiaaliseksi (Kuvio 17), juoksupyörän siipien määrää vähennettiin ja niistä tehtiin säädettävät. Säädön avulla voidaan säätää siipien kaltevuutta, joka mahdollistaa sopeutumisen muuttuviin olosuhteisiin. Näiden muutoksien ansiosta Kaplan-turbiini sopii vaihteleville virtausnopeuksille ja vaihtelevalle ajolle, ja nopeuden nousu mahdollistaa suoran kytkemisen generaattoriin ilman vaihteistoa. (Polák 2021, 1.) Juoksupyörän muotoa kehitettiin vaiheittain (kuvio 18).



Kuvio 18. Juoksupyörän muotojen kehitys (Polák 2021, 3)

## 8.2 Testiympäristö

Kaplan perusti laboratorionsa koulun kellariin vuonna 1910 ja joutui kustantamaan suurimman osan laitteista itse. Alkuvaiheessa turbiinikuilu koostui yhdestä puisesta säiliöstä, ja sinne johdettu vesi tuli kuilun yläpuolella olevasta puisesta säiliöstä. Myöhemmin Kaplanille lahjoitettiin metalliset säiliöt laboratorioon (Kuvio 19). (Polák 2021, 3.)

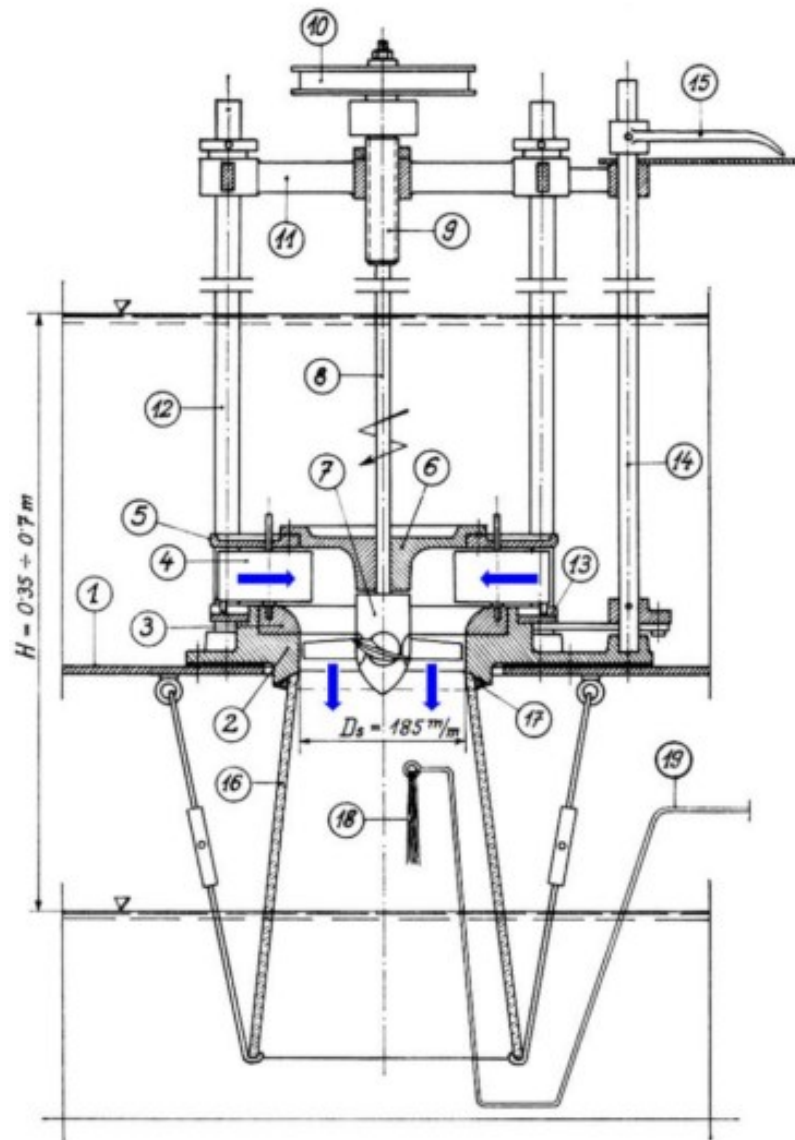


Kuvio 19. Kaplanin laboratorio (a) ja laboratorion testipiirin kaavio (b) (Polák 2021, 4)

Laboratorion testipiirin kaaviosta (kuvio 14) nähdään sen toimintaperiaate. Kaaviossa vasemmalla olevaan vesisäiliöön (A) pumpattiin vettä pumpulla (H). Säiliöstä vesi johdettiin mittauspadon (B) lävitse, jonka avulla voitiin mitata virtausnopeutta. Mittauspadon jälkeen vesi virtasi virtauspellin kautta turbiinin kaivoon (C), jonka pohjalle oli sijoitettu koeturbiini (D). Koeturbiinin kautta vesi virtasi putken

lävitse alempaan säiliöön (E). Viivaimella mitattiin kahden vedenpinnan korkeusero kahdesta vesiputkesta, jolloin voitiin määrittää nostokorkeus ( $h$ ). Turbiinin akselin nopeutta mitattiin perinteisellä kädessä pidettävällä nopeusmittarilla. Alemman säiliön vesi virtasi kiertuventtiilin (F) kautta takaisin säiliöön (G). Mittauspaidon virtausnopeuden kalibrointiin käytettiin pyörivää venttiiliä ja säiliötä (K). Kalibroinnissa venttiilin (F) nopean uudelleenjärjestelyn jälkeen kalibroitissäiliön (K) täyttämiseen tarvittava aika mitattiin sekuntikellolla. Virtausnopeuden tarkka laskenta suoritettiin tunnetun veden tilavuudesta tai painosta ja täyttöajasta. (Polák 2021, 4)

Koko kokoonpanon kaavio (kuvio 20) on todella mielenkiintoinen, ja siitä nähdään veden virtauksien suunnat sekä se, kuinka yksinkertaisesta rakenteesta on pystytty skaalaamaan nykyajan suuret Kaplan-turbiinikoneistot ja -kokoonpanot.

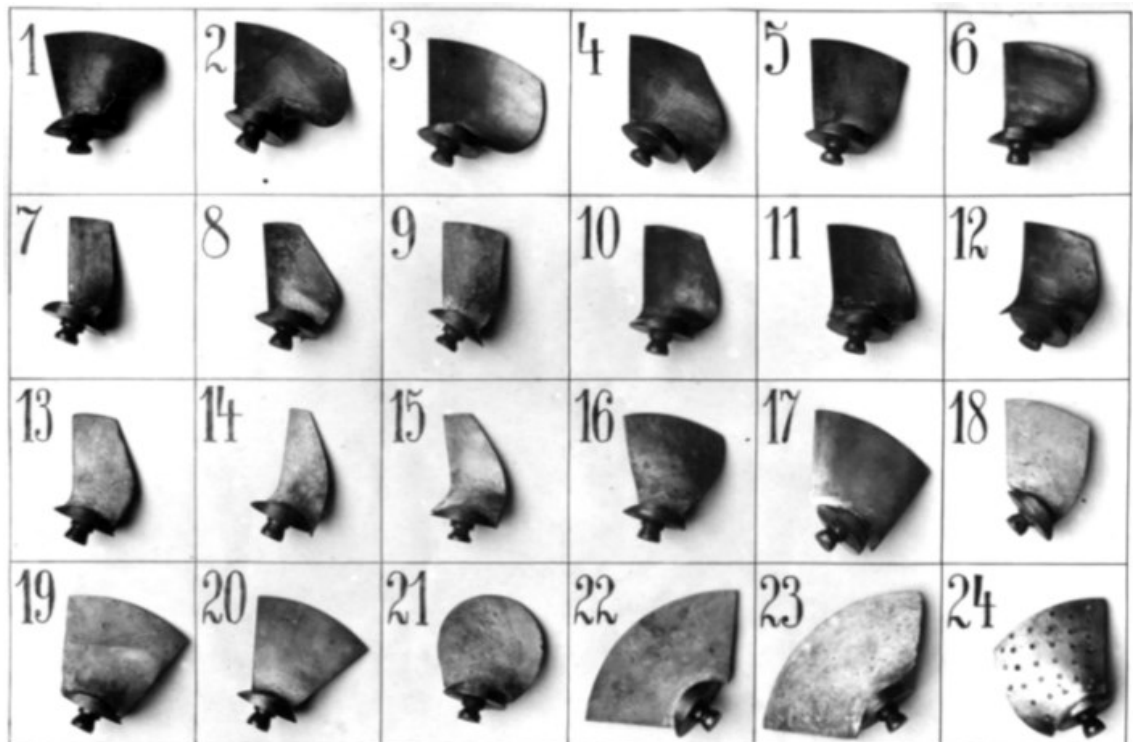


Kuvio 20. Kaplan-turbiinin kokoonpanon kaavio (Polák 2021, 5)

Kokoonpanon numeroidut osat menevät seuraavasti: kuopan pohja (1), pohja-rengas (2), vaihdettava sisäosa (3), vaihdettavat ohjausterät eli solukkeet (4), ohjauspyörän kansi (5), kaksiosainen laakerin kansi (6), juoksupyörä (7), akseli (8), kierreholkki (9), jarrulevy (10), säädettävä tukikehys (11), tukipylväät (12), ohjausrengas (13), ohjausterän asetusakseli (14), säätövarsi (15), vaihdettava vetoputki (16), hamppusinetti (17), hamppukuidut (18) ja ohjausvaijeri (19) (Polák 2021, 5).

### 8.3 Havaitut ongelmat ja ratkaisut

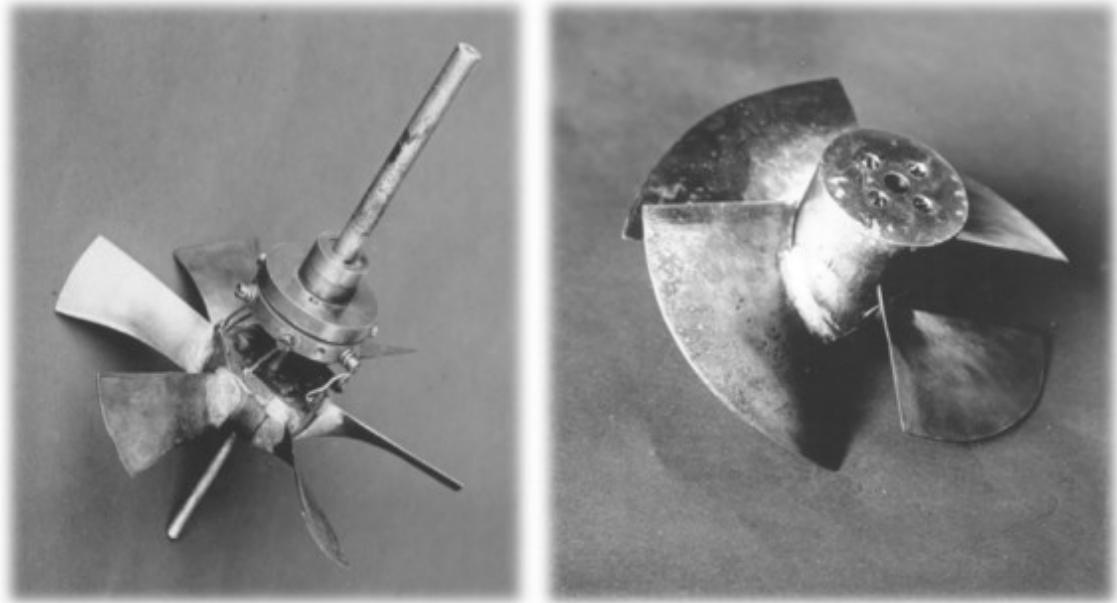
Kiinteiden juoksupyörän siipien ongelmaksi Kaplan huomasi, että ne toimivat korkealla hyötysuhteella vain, jos virtausnopeus oli vakio. Virtausnopeuden muuttuessa turbiinin tehokkuus laski, jolloin hän keksi juoksupyörän siipien kulman säädön. Kuviossa 21 on esitetty 24 kokeellista mallia säädettävästä siivestä. (Polák 2021, 6.)



Kuvio 21. Kaplanin kokeelliset mallit säädettävästä siivestä (Polák 2021, 6)

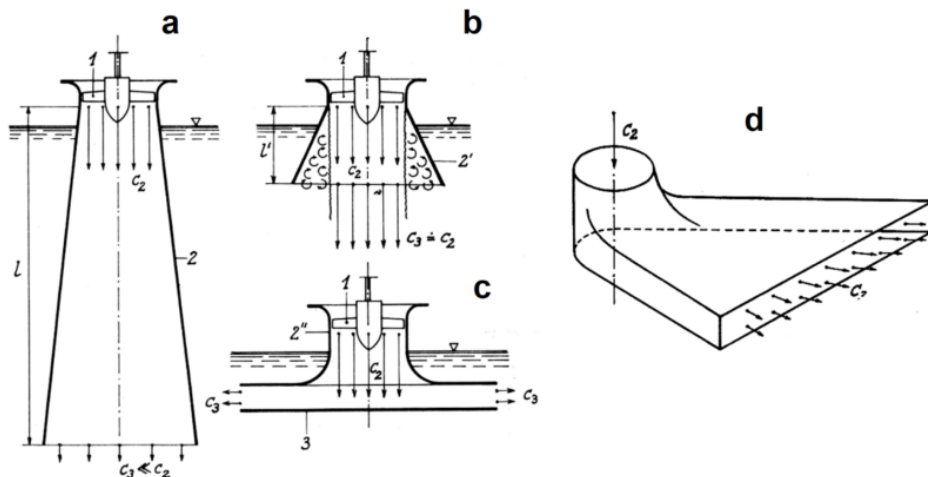
Kaplan kehitti kaksi muunnelmaa (kuvio 22) turbiinin navoista, joissa pyörivät siivet on kiinnitetty eri tavoin. Rakenteet olivat hyvin yksinkertaisia, ja näiden ensimmäisten kokeiden siipiä ei voitu säätää käytön aikana, vaan säätö tapahtui levossa. (Polák 2021, 6.)





Kuvio 22. Kaplanin muunnelmien turbiinin navoista ja siivistä (Polák 2021, 6)

Polákin (2021, 8) mukaan turbiinin suurin ominaisnopeus vaatii sen, että juoksupyörän siivillä täytyy olla suurin mahdollinen kehänopeus pienimmällä mahdollisella siipipyörän säteellä. Tämän vuoksi muodostuu myös yksi ongelma: jos vesi virtaa suurella nopeudella ulos juoksupyörästä, poistuu samalla myös käyttämätön energia. Tämän ilmiön ehkäisyssä käytetään asteittain kasvavaa profiilia eli niin sanottua vetoputkea. Vetoputkessa kineettinen energia muutetaan paineenergiaksi. Kuviossa 23 on esitetty vetoputken kehityksen vaiheita. (Polák 2021, 8.)



Kuvio 23. Kaplan-turbiinin vetoputken kehitys: (a) pitkä suora vetoputki, (b) lyhyt suora vetoputki, (c) levyvetoputki & (d) kyynärpäävetoputki (Polák 2021, 8)



Kaplanin kehittämää siiven säätöä käytetään muun muassa puhaltimissa sekä veneen ja lentokoneen potkureissa. Hydrodynamiikan kehitykseen tästä ideasta saatiin myös uutta potkua koskien siipien rakentamista ja niiden teoriaa. Silloin ja vielä nykyäänkin kavitaatio-ongelmia esiintyy, mutta niitä tutkitaan edelleen fysi-kaalisten ja hydrodynaamisten olosuhteiden näkökannalta. (Polák 2021, 11.)

## 9 KPI-MITTARIT

KPI-mittarit eli keskeiset suoritusindikaattorit ovat tunnetummin taloudellisia ja ei-taloudellisia mittareita, joiden avulla organisaatiossa voidaan arvioida ja vahvistaa menestymistä sekä pyrkiä kohti asetettuja pitkäaikaisia tavoitteita (Velimirović, Velimirović & Stanković 2011, 63).

Käytettävien mittareiden asianmukainen valinta on erittäin tärkeää, ja prosessio-organisaatiossa on oltava ymmärrystä toteuttaa asiaan kuuluvat mittaukset. Asiakaslähtöisyys ja joustavuus nousevat myös esille prosessin organisoinnissa nykyisessä globaalissa kilpailutilanteessa. (Velimirović ym. 2011, 63.)

### 9.1 Käsiteltävät KPI-arvot

Tässä luvussa käsitellään käytettäviä KPI-arvoja ja niiden määrittelyä kyseessä olevassa työssä. Taulukossa 13 on esitetty KPI-arvot ja niiden pisteytykset, joiden pohjalta laskenta on toteutettu. Tarvittavat muutokset ja käytettävyys selkiytyvät, kun työkalu on saatettu käyttöön ja käytännön kokemuksia on saatu kerättyä.

Taulukko 13. KPI-arvot ja pisteytyksen painoarvot

KPI-arvo	Pisteytys
Käynnistyskerrat (kpl)	<b>1kpl = 25 pts</b>
JOP säädönmäärä (m)	<b>1m = 1/10 pts</b>
JUP säädönmäärä (°)	<b>1° = 1/500 pts</b>
JOP rajut säätöliikkeet (kpl)	<b>1kpl = 1/10 pts</b>
JUP rajut säätöliikkeet (kpl)	<b>1kpl = 1/10 pts</b>
JOP suunnanmuutokset (kpl)	<b>1kpl = 1/50 pts</b>
JUP suunnanmuutokset (kpl)	<b>1kpl = 1/50 pts</b>
Epäedullinen tehoalue (h)	<b>1h = 4 pts</b>

Näistä yksittäisistä (taulukko 13) KPI-arvoista lasketaan turbiinin rasituksen kokonaisindikaattori. Arvot on toteutettu siten, että laskennasta saatiin järkevä ja toimiva kokonaisuus, esimerkiksi JUP:n säädön määrän suure on asteina ( $^{\circ}$ ), jolloin sen 1 asteen säätö vastaa 1/500 pistettä laskennassa.

#### 9.1.1 Käynnistyskerrat, käyntiaika ja työtunnit

Turbiineiden käynnistyskerroilla tarkoitetaan ja tarkastellaan sitä lukumäärää, kuinka monta kertaa koneisto on käynnistetty valitulla ajanjaksolla, jota halutaan tarkastella. Käytännössä käynnistyskertaa lasketaan, kun tehomittaus ylittää määrätyn rajan, joka tällä hetkellä kaikilla turbiineilla on 1 MW. Tämä tapahtuma voi tapahtua vain kerran tietyssä ajassa, jonka suuruudeksi on määritetty yksi minuutti. Mittauksessa käytetty suure on kappalemäärä (kpl).

Turbiineiden käyntiajalla tarkoitetaan sitä, kuinka pitkän ajan turbiinin teho on yli käynnistykseen vaaditun tehon. Mittauksessa käytetty suure on tunti (h). Työtunneilla tarkoitetaan kunnossa- ja käynnissäpidon turbiinille kohdistamia työtunteja Vincit EAM -toiminnanohjausjärjestelmässä. Näiden tuntien mukaan saadaan tietoon kustannusten jakauma eri turbiineiden kesken.

Yleisesti ottaen eri koneiden käynnistykset ja pysäytykset rasittavat koneistoa merkittävästi, ja pienenä lisänä vesivoimaturbiinien kohdalla pyörivää massaa on satoja tuhansia tonneja. Tuulivoiman kasvaessa käynnistykset ja pysäytykset vesivoimaturbiineilla ovat lisääntyneet, ja tähänkin vaikuttaa suuresti ulkona vallitseva ilma. Jos on tyynä, tuulivoima ei tuota sähköä, jolloin vesivoimaturbiinit ovat pääosin käynnissä ja päinvastoin.

#### 9.1.2 Johto- ja juoksupyörän säädön määrä

Johto- ja juoksupyörän (JOP ja JUP) säädön määrällä tarkoitetaan niiden asennon kumulatiivista muutosta. JOP:n mittauksen suureena käytetään metriä (m) ja JUP: mittauksen suureena astetta ( $^{\circ}$ ). Mittaus on toteutettu JOP:n säätösylinterin liikkeen mittauksesta ja JUP:n asteet saadaan koneistoautomaatiosta.

### 9.1.3 Johto- ja juoksupyörän rajut säätöliikkeet

JOP:n ja JUP:n rajuilla säätöliikkeillä tarkoitetaan sellaisia asennon muutoksia, joissa kahden peräkkäisen mittausarvon suuruus on vähintään 3 prosenttia koko säätöalueesta. Mittaus on toteutettu JOP:n ja JUP:n säätösylintereiden liikkeiden mittauksesta. Suurena käytetään kappalemäärää (kpl).

### 9.1.4 Johto- ja juoksupyörän suunnanmuutokset

JOP:n ja JUP:n suunnanmuutoksella kuvataan sitä, kuinka monta kertaa johto- tai juoksupyörän säätö on vaihtanut suuntaa. Mittauksessa tarkkaillaan asentojen kolmea peräkkäistä mittausarvoa, joista keskimmäisen täytyy olla muita pienempi tai suurempi vähintään 0,3 prosenttia koko säätöalueesta. Suurena käytetään kappalemäärää (kpl).

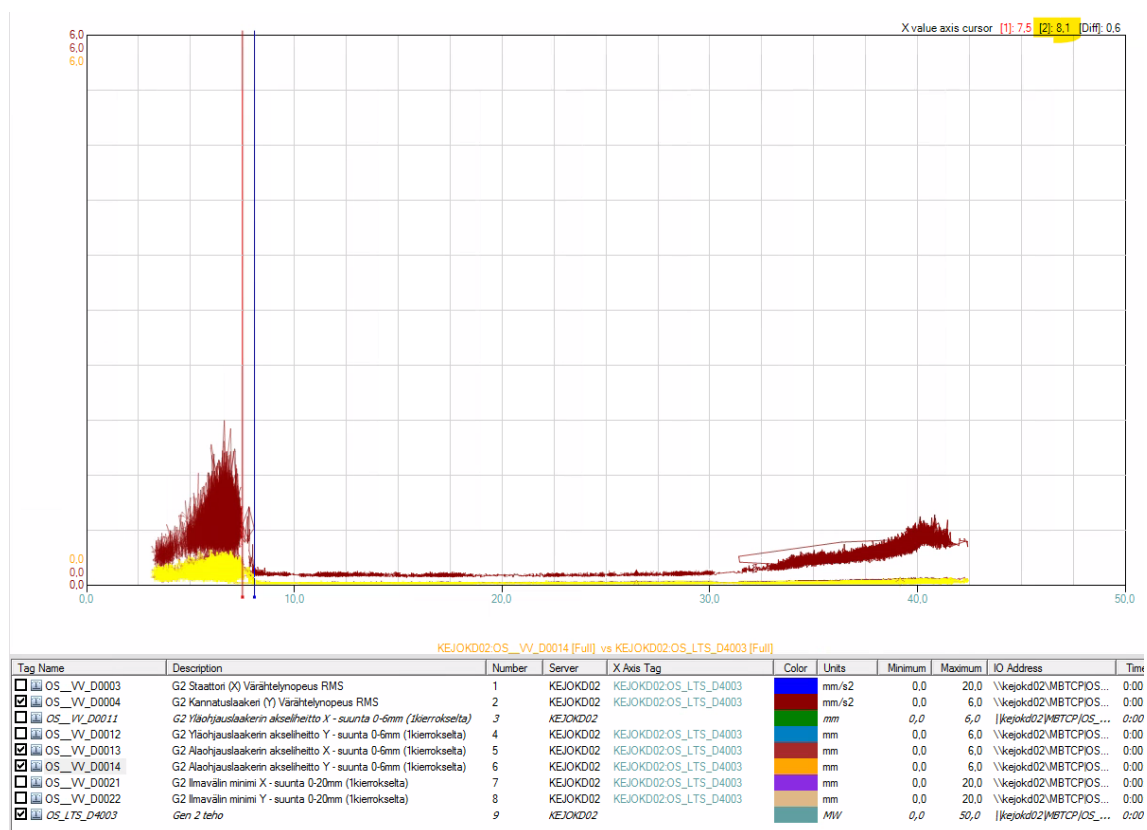
### 9.1.5 Epäedullinen tehoalue ja tuotettu sähköteho

Epäedullisella tehoalueella tarkoitetaan sitä turbiinin ajoaluetta, jolla värähtelyt ovat voimakkaampia. Kyseinen alue kuluttaa turbiinia oletetusti enemmän, ja sitä kutsutaan myös resonanssialueeksi. Näiden alueiden määrittämiseksi on tulkittu käyttödatasta turbiinin kannatus- ja alaohjauslaakerin värähtelyitä. Työssä esillä olevat voimalaitokset ja niiden koneistot ovat pitkälti samankaltaisia, mutta pieniä eroavaisuuksia niiden välillä kuitenkin on.

Asiantuntijoiden, käytyjen keskusteluiden ja käyttödatan tulkinnan pohjalta turbiinien epäedullinen tehoalue sijoittuu 10 MW:sta alaspäin riippuen siitä, mistä koneistosta puhutaan. Esimerkiksi Valajaskosken koneistojen epäedullinen tehoalue sijoittuu alueelle 5–9 MW, kun taas Petäjäskosken koneistojen vastaava alue on 3–10 MW. Pienillä tehoilla ajettaessa turbiinin siivet ovat ääriasennossa, mutta vesimäärä niin sanotulla nollateholla on maltillinen ja koneisto käy kohtalaisen hyvin. Kun vesimäärä lisääntyy pienellä teholla ajettaessa alkavat värähtelyt kasvamaan. Värähtelyt lähtevät laskuun, kun lähestytään aluetta, jolla siipikulman minimi on oikea suhteessa johtorenkaaseen. Käytännössä vesimäärän kasvu ja etäisyys oikeaan kombinointiin ovat silloin kohdillaan. Kombinointikäyrästä on avulla kuvataan siipikulman riippuvuutta avauksesta eri putouskorkeuksilla. Kjølleen (2001, 1) mukaan paras hyötysuhde saavutetaan, kun virtaus,

putouskorkeus ja pyörimisnopeus ovat linjassa. Jokaisella turbiinilla on oma kombinointi ja se määritetään testein.

Seuraavasta esimerkistä (kuvio 24) nähdään Ossauskosken koneiston epäedullinen tehoalue värähtelyiden tarkastelun kautta. Kuviosta nähdään, että epäedullinen tehoalue sijoittuu noin 4–8 MW:n tienoille, mikä puolestaan asettuu noin 10–20 prosentin kohdalle verrattaessa sitä koneiston kokonaistehoon (taulukko 11). Epäedulliseksi tehoalueeksi on mahdollista myös määrittää 40 MW:n tehoalue, jos raja-arvo asetetaan tarpeeksi alas. Tässä tapauksessa täytyy pohtia, mikä on haluttu raja-arvo.

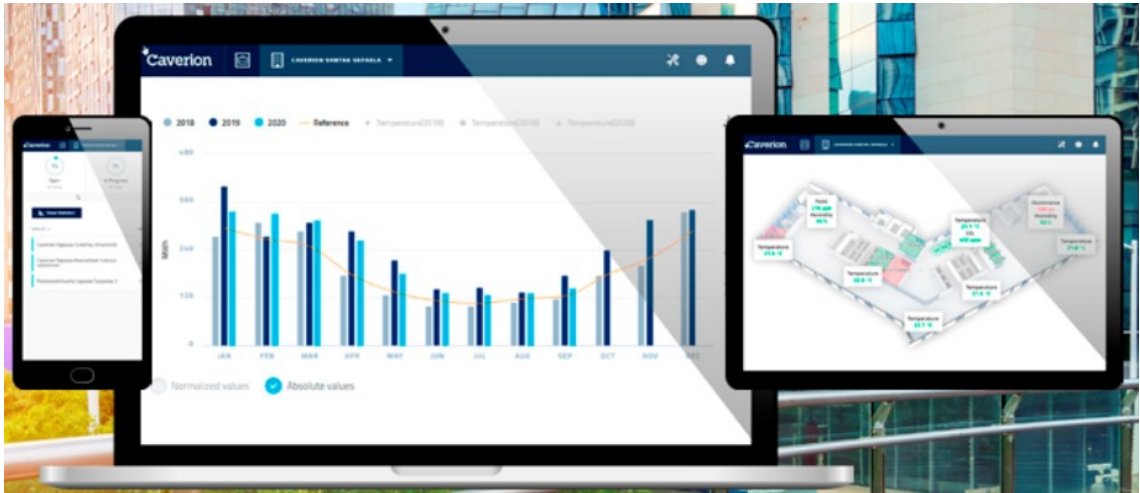


Kuvio 24. Ossauskosken koneiston epäedullinen tehoalue

Tuotettu sähköteho on yksinkertaisesti tehomittauksesta laskettu sähköteho. Suureena käytetään megawattituntia (MWh).

## 10 DATAN KÄYTTÖ JA ANALYSOINTI

Tässä osiossa tarkastellaan hieman Caverionin Smart View -alustaa ja datan käyttöä siinä, sekä vertaillaan KPI-arvoista saatuja näkymiä Smart View:ssä. Alustaa on mahdollista käyttää perinteisellä PC:llä, mobiilisti tai esimerkiksi tabletilla (kuvio 25). (Caverion Corporation 2023b.)



Kuvio 25. Caverion Smart View -visualisointityökalu (Caverion 2023b)

### 10.1 Caverion Smart View

Caverionin Smart View on tietojen visualisointityökalu, joka mahdollistaa esimerkiksi rakennuksen suorituskykytietojen näkemisen yhden työkalun avulla. Työkalu käyttää BMS- ja IoT-tietoja, ja se mahdollistaa rakennuksen tai laitteen energiankulutuksen ja käyttöasteen optimoinnin sekä uuden nykyaikaisen kunnonvalvonnan työkalun luomisen, kuten tässäkin työssä. Smart View -e-kirjassa otsikona sanotaankin osuvasti, että *”Johda datalla: kiinteistöpäätäjien kuuden suurimman huolen ratkaiseminen.”* (Caverion Corporation 2020.)

Asiakkaiden kasvavien odotusten ja ympäristöhuolien sekä tiukentuvien sääntelyiden vuoksi eurooppalaiset liike- ja teollisuusrakennusten omistajat ovat suurten muutosten kynnyksellä. Jotta kiinteistöjen ja koneistojen arvoja voidaan parantaa jatkuvasti muuttuvassa ympäristössä, täytyy investoida uuteen teknologiaan jatkuvasti. Caverion on listannut e-kirjaansa kuusi tyypillistä haastetta (kuvio 26), joita kiinteistöjen johtajat ja päälliköt kohtaavat yleisesti.

- 1 Getting an understandable and simple view of building portfolio performance
- 2 Achieving an excellent tenant and end-user experience
- 3 Meeting sustainability targets
- 4 Crowded and confusing digital ecosystems
- 5 Identifying key action items from large amounts of data
- 6 Taking the right steps towards changes in regulation and the economic climate

Kuvio 26. Kuusi tyypillistä haastetta (Caverion Corporation 2020, 2)

Caverion Smart View on julkaistu vuonna 2019, koska tehtyjen tutkimusten ja asiakashaastatteluiden perusteella palvelulle on nähty kysyntää. Datan keräämiseen ja kokoamiseen asiakkuuksissa kuluu paljon aikaa, mutta Smart View'n avulla kaikki tämä helpottuu, ja datan analysointi on kohtalaisen helppoa työkälässä. (Caverion Corporation 2020, 2.)

## 10.2 KPI-arvot Caverion Smart View:ssä

Turbiineiden mittaroinnin näkymästä pyrittiin muodostamaan selkeä ja yksinkertaisesti tulkittava kokonaisuus. Koneistoilta kerääntyvä data on ajettu Kemijoki Oy:n järjestelmistä Caverion Smart Viewiin, jossa luodaan näkymät ja voidaan suorittaa datan tulkintaa sekä vertailua yksinkertaisista kuvaajista. Kuviossa 27 on esitetty turbiineiden kulumisen mittaroinnin pääsivu.

## VESITURBIININ KULUMISEN MITTAROINTI - ETUSIVU

Toimipaikka	Status	timestamp
<input type="checkbox"/> <b>Ossauskoski</b>	<span style="color: red;">●</span>	Vimeinen 1 Vuotta 17.8.2022 - 16.8.2023
Ossauskoski T1	<span style="color: green;">●</span>	
Ossauskoski T2	<span style="color: red;">●</span>	
Ossauskoski T3	<span style="color: red;">●</span>	
<input type="checkbox"/> <b>Petäjaskoski</b>	<span style="color: red;">●</span>	
Petäjaskoski T1	<span style="color: red;">●</span>	
Petäjaskoski T2	<span style="color: red;">●</span>	
Petäjaskoski T3	<span style="color: red;">●</span>	
<input type="checkbox"/> <b>Taivalkoski</b>	<span style="color: red;">●</span>	
Taivalkoski T1	<span style="color: red;">●</span>	
Taivalkoski T2	<span style="color: red;">●</span>	
Taivalkoski T3	<span style="color: red;">●</span>	
<input type="checkbox"/> <b>Valajaskoski</b>	<span style="color: yellow;">●</span>	
Valajaskoski T1	<span style="color: green;">●</span>	
Valajaskoski T2	<span style="color: yellow;">●</span>	
Valajaskoski T3	<span style="color: yellow;">●</span>	

### PORAUTUMISSIVUT

Valitse yksittäinen rivi taulukosta vasemmalla ja tarkasteltava aikaväli yltä

Kokonais-KPI:n muodostuminen

Käynnistykset, käyntiaika, tuotettu sähkö

Johtopyörän toiminta

Juoksupyörän toiminta

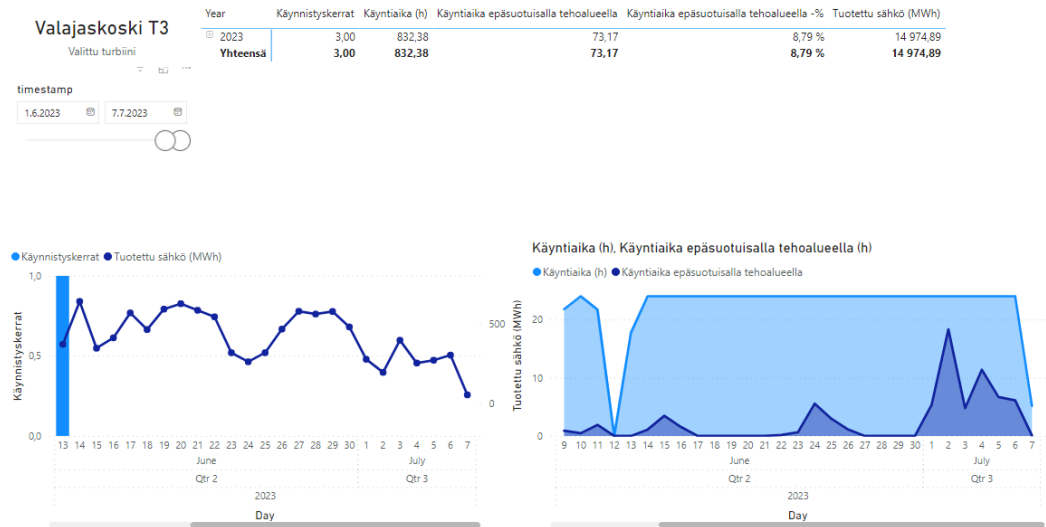
Kuvio 27. Vesiturbiinin kulumisen mittaroinnin etusivu Smart Viewissä

Kuviossa 27 nähdään taulukoidusti mittarointiin määritellyt voimalaitokset ja niiden koneistot. Liikennevaloilla esitetään turbiinin tilaa valitulla ajanjaksolla, ja oikeasta yläkulmasta voidaan määrittää haluttu ajanjakso, jota halutaan tarkastella. Porautumissivujen kautta on mahdollista tarkastella käynnistyskertoja (kuvio 28), käyntiaikaa (kuvio 28), tuotettua sähköä (kuvio 28), johtopyörän (kuvio 29) ja juoksupyörän (kuvio 30) toimintaa sekä kokonais-KPI:n muodostumista (kuvio 31), johon myös liikennevalojen värit pohjautuvat.

Käytetään työkalun havainnollistamiseen Valajaskoski 3:n koneiston tietoja ja näkymiä. Valittu aikaväli käytettävissä näkymissä on 1.6–7.7.2023.



## YKSITTÄISEN TURBIININ KPI:T - KÄYNNISTYKSET, KÄYNTIAIKA, TUOTETTU SÄHKÖ



Kuvio 28. Valajaskoski 3: käynnistykset, käyntiaika ja tuotettu sähkö

Kuten kuviosta 28 nähdään, koneisto on käynnistetty kesäkuun 12.–13. päivänä, ja sen jälkeen se on ollut käynnissä. Tämä voidaan katsoa myös oikeanpuoleisesta kuvaajasta. Oikeassa alakulmassa näkyvästä käyntiaikojen kuvaajasta voidaan tulkita, että koneisto on käynyt epäsuotuisalla tehoalueella muutamien päivien ajan heinäkuun alussa. Kuvion 28 yläosassa olevasta taulukosta voidaan nähdä prosentteina se, kuinka kauan koneisto on käynyt epäsuotuisalla tehoalueella valitulla ajanjaksolla. Tässä tapauksessa koneisto on käynyt epäsuotuisalla tehoalueella 8,79% käyntiajasta valitulla ajanjaksolla.

## YKSITTÄISEN TURBIININ KPI:T - JOHTOPYÖRÄ



Kuvio 29. Valajaskoski 3: JOP:n säädön määrä, suunnanmuutokset ja rajut säätöliikkeet

Kuviosta 29 voidaan nähdä turbiinin johtopyörän (JOP) dataa. Näkymästä voidaan tarkastella kuvaajista johtopyörän säädön määrät, suunnanmuutokset ja rajut säätöliikkeet valitulta ajanjaksolta. Tiedot näkyvät suoraan myös numeerisina. Kuviosta 29 nähdään, että johtopyörä on säätänyt asentoaan yhteensä yli 800 metriä, suunnanmuutoksia on ollut 10 ja rajuja säätöliikkeitä on rekisteröitynyt 20. Näiden periaatteet on selitetty tarkemmin kappaleessa 9.

## YKSITTÄISEN TURBIININ KPI:T - JUOKSUPYÖRÄ

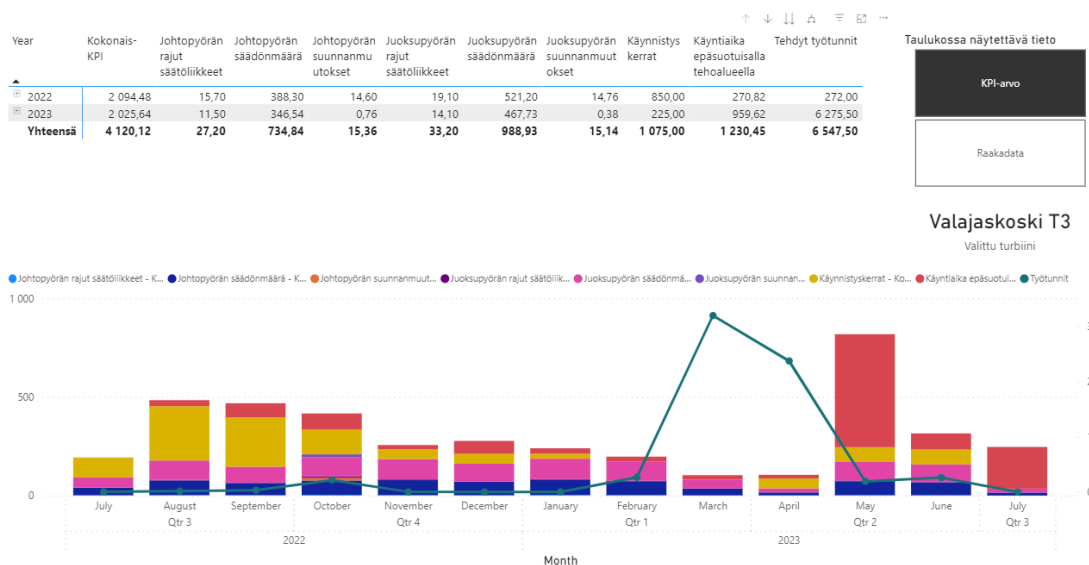


Kuvio 30. Valajaskoski 3: JUP:n säädön määrä, suunnanmuutokset ja rajut säätöliikkeet

Kuviosta 30 nähdään juoksupyörän (JUP) dataa. Näkymästä voidaan tarkastella kuvaajista juoksupyörän säädön määrät, suunnanmuutokset ja rajut säätöliikkeet valitulta ajanjaksolta. Tiedot näkyvät myös numeerisina. Kuviosta 30 nähdään, että suunnanmuutoksia on tapahtunut valitulla ajanjaksolla 8, rajuja säätöliikkeitä 17 ja säädön määrä on ollut 54,83 tuhatta astetta.

Juoksupyörän säädön määrän suuruus johtuu siitä, että koneistot säätävät taajuuden mukaan, eli käytännössä juoksupyörän siivet liikkuvat koko ajan. Siipien jatkuva liike kuluttaa laakerointia: laakereista irtoaa metallia, joka toimii niin sanottuna hiomapaperina. Näiden tietojen avulla voidaan vertailla koneistojen elinkaaren kestävyyttä ja arvioida sitä, kuinka suuri vaikutus säädön määrällä on esimerkiksi laakeroinnin elinkaareen.

## YKSITTÄISEN TURBIININ KPI:T - KOKONAIS-KPI:N MUODOSTUMINEN



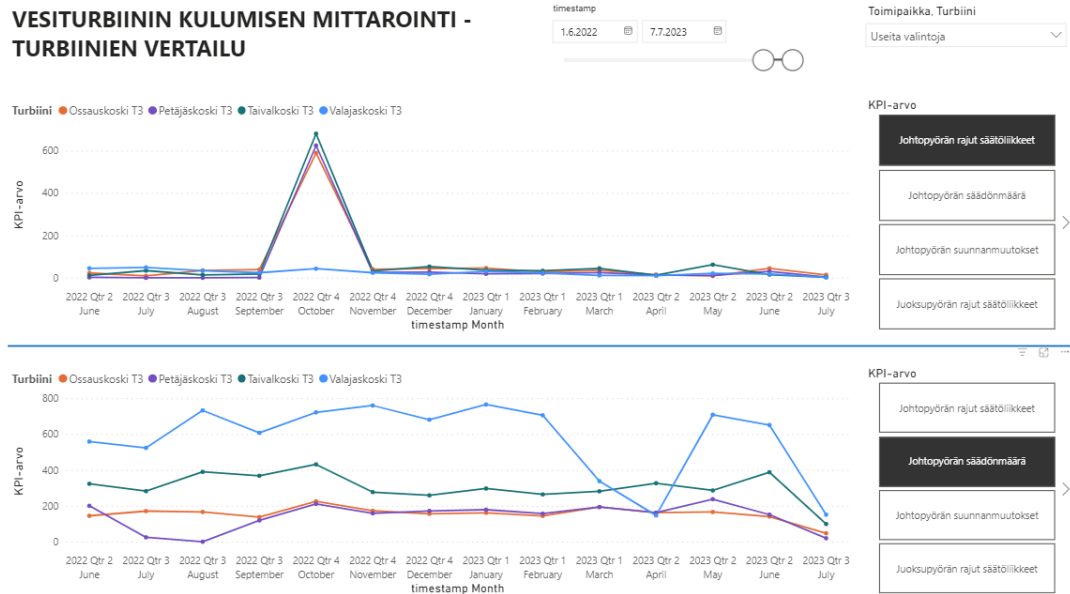
Kuvio 31. Valajaskoski 3: kokonais-KPI:n muodostuminen

Kuviosta 31 voidaan nähdä Valajaskosken 3 -koneiston kokonais-KPI muodostuminen viimeisen vuoden ajalta. Pylväsdiagrammista nähdään heti, että toukokuussa 2023 koneisto on käynyt kohtalaisen paljon epäsuotuisalla tehoalueella (punainen) ja esimerkiksi syksyllä 2022 käynnistyskertoja (keltainen) on ollut paljon. Vihreä viiva osoittaa kunnossa- ja käynnissäpidon työtunteja, jotka on kohdistettu koneistolle. Talven 2023 aikana kohdistetut työtunnit ovat korkealla, koska koneistolla oli käynnissä määräaikaistarkastus ja vuosihuolto.

## 10.3 KPI-arvojen vertailu koneistoilla

Vertaillaan tässä osiossa Valajaskosken (VL), Petäjäskosken (PT), Ossauskosken (OS) ja Taivalkosken (TA) koneistojen näkymiä turbiinin kulumisen mittarointinäkyymässä. Ensimmäisessä kuviossa (kuvio 32) nähdään koneistojen vertailussa JOP:n rajut säätöliikkeet ja säädön määrä.

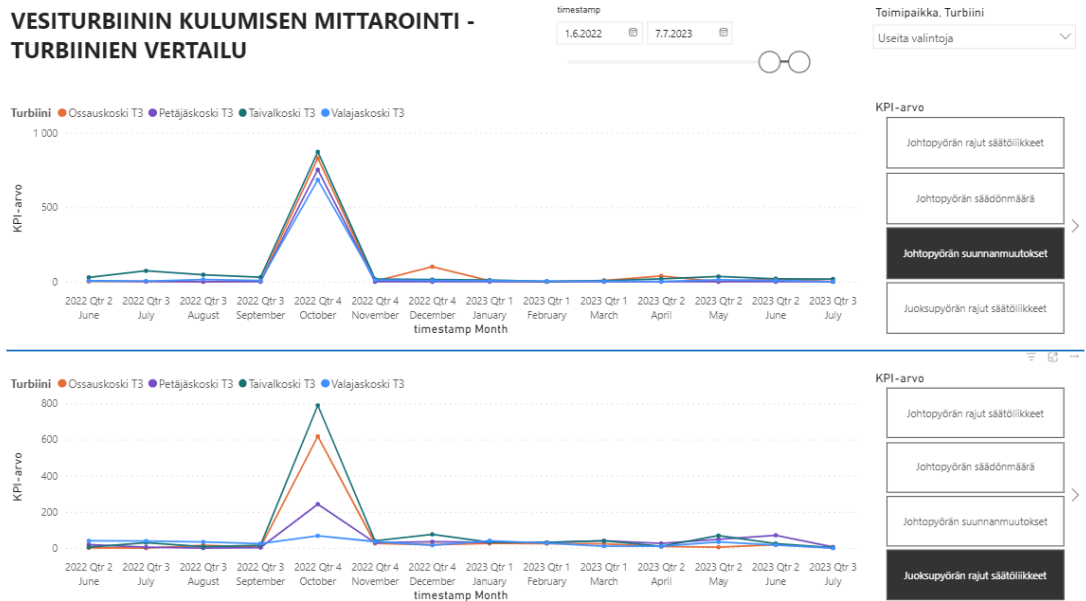
## VESITURBIININ KULUMISEN MITTAROINTI - TURBIINIEN VERTAILU



Kuvio 32. OS3, PT3, TA3 ja VL3 koneistojen vertailu: JOP:n rajut säätöliikkeet ja säädön määrä

Kuviosta 33 voidaan tarkastella koneistojen välisiä eroja JOP:n suunnanmuutoksien ja JUP:n rajujen säätöliikkeiden osalta. Kuviosta nähdään, että JOP:n suunnanmuutokset kulkevat kohtalaisen rinnakkain ja lokakuussa 2022 suunnanmuutoksia on tapahtunut enemmän jokaisella koneistolla. Lokakuussa 2022 JUP:n rajuja säätöliikkeitä on enemmän ollut OS3 ja TA3 koneistoilla, kun tarkastellaan kuviota.

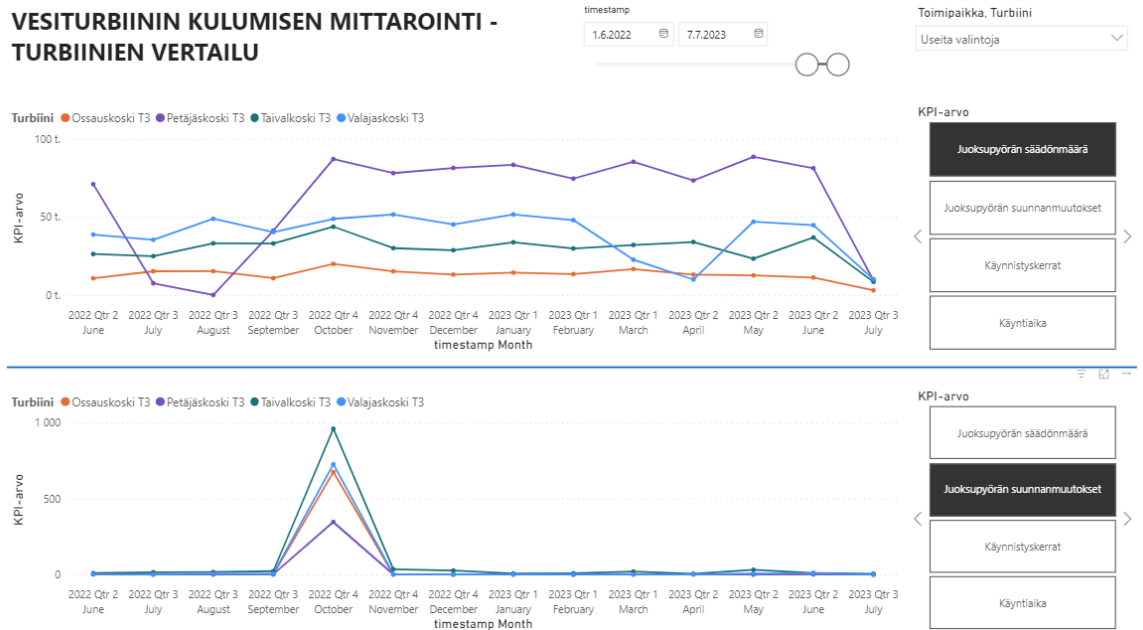
## VESITURBIININ KULUMISEN MITTAROINTI - TURBIININ VERTAILU



Kuvio 33. OS3, PT3, TA3 ja VL3 koneistojen vertailu: JOP:n suunnanmuutokset ja JUP:n rajut säätöliikkeet

Kuviosta 34 nähdään koneistojen JUP:n säädön määrä ja suunnanmuutokset. Säädön määrää tarkastellessa huomio kiinnittyy PT3 koneiston käyrään, joka elokuussa on lähtenyt nousuun ja palautunut noin vuoden kuluttua takaisin alas, eli syksyn 2022 ja talven 2023 aikana JUP:n säätöä on tapahtunut paljon. Suunnanmuutokset kulkevat kohtalaisen linjassa, ja tässäkin lokakuussa 2022 on nousua kaikilla koneistoilla TA3 suunnanmuutosten ollessa korkeimmalla.

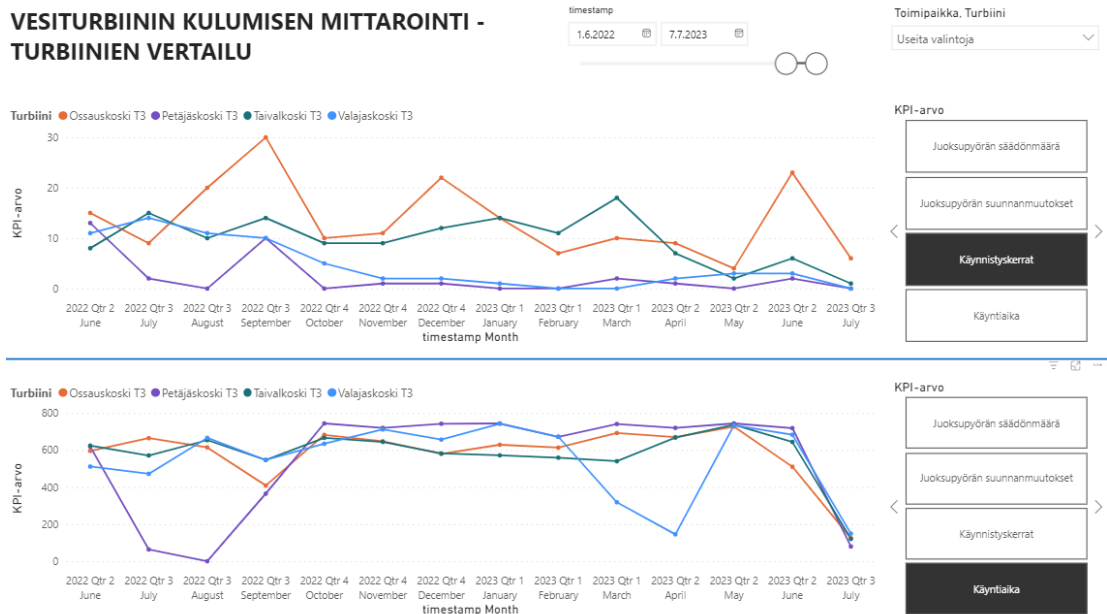
## VESITURBIININ KULUMISEN MITTAROINTI - TURBIINIEN VERTAILU



Kuvio 34. OS3, PT3, TA3 ja VL3 koneistojen vertailu: JUP:n säädön määrä ja suunnanmuutokset

Kuviosta 35 voidaan tarkastella koneistojen käynnistyskertoja ja käyntiaikaa. Käynnistyskertojen käyrästä huomataan, että OS3 koneistolla on mahdollisesti ollut paljon häiriöitä, jotka ovat aiheuttaneet esimerkiksi pikasulun, ja näin ollen käynnistyskertoja on kohtalaisen tasaisesti tällä ajanjaksolla. TA3 koneistolla myös käynnistyskertoja on ollut jonkin verran. Käyntiajat valitulla ajanjaksolla kaikilla koneistoilla ovat kohtalaisen tasaiset, lukuun ottamatta PT3 ja VL3 yksittäisiä piikkejä.

### VESITURBIININ KULUMISEN MITTAROINTI - TURBIINIEN VERTAILU



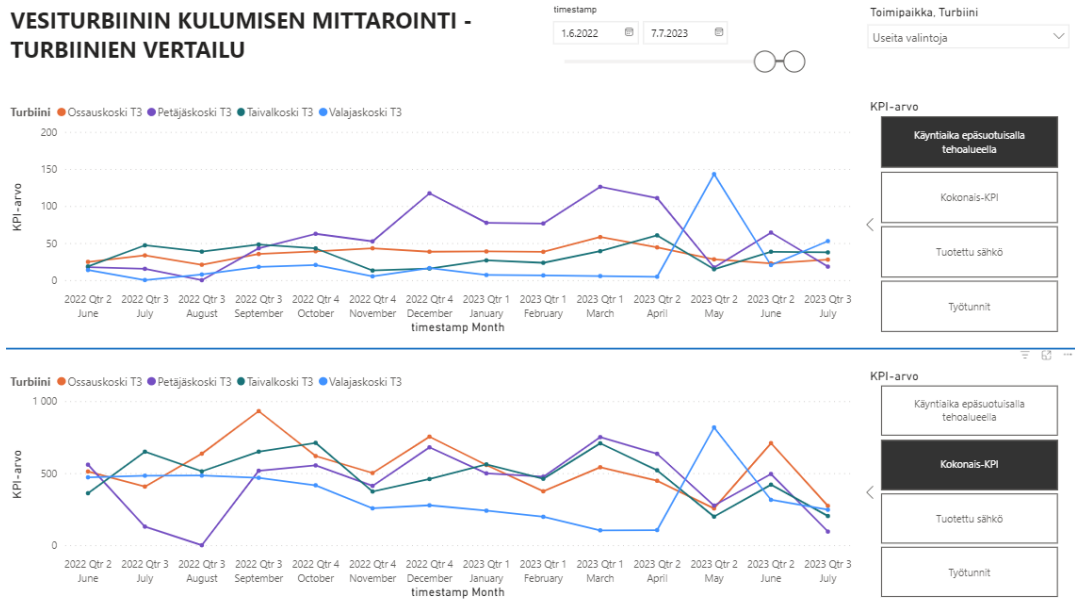
Kuvio 35. OS3, PT3, TA3 ja VL3 koneistojen vertailu: käynnistyskerrat ja käyntiaika

Kuviosta 36 voidaan tarkastella koneistojen epäsuotuisan tehoalueen käyntiaikaa ja kokonais-KPI-arvoa. Epäsuotuisan tehoalueen käyntiä on ollut enemmän PT3:n koneistolla, kun katsotaan esimerkiksi VL3 koneistoa, jolla käyrä kulkee lähellä nollassa lukuun ottamatta toukokuun 2023 piikkiä.

Kokonais-KPI-arvoa tarkastellessa voidaan tulkita, että aiemmin esitettyyn liikennevalonäkymään pohjautuen värit olisivat koneistoilla seuraavat: OS3 punainen, PT3 keltainen, TA3 punainen ja VL3 vihreä. VL3 koneiston kokonais-KPI on hyvällä tasolla, eli siellä voi olla muutama huonompi KPI ja loput hyvällä tasolla, mutta kaikkien osa-alueiden yhteenlaskettu arvo sijoittuu vihreällä värillä määritetylle arvolle.



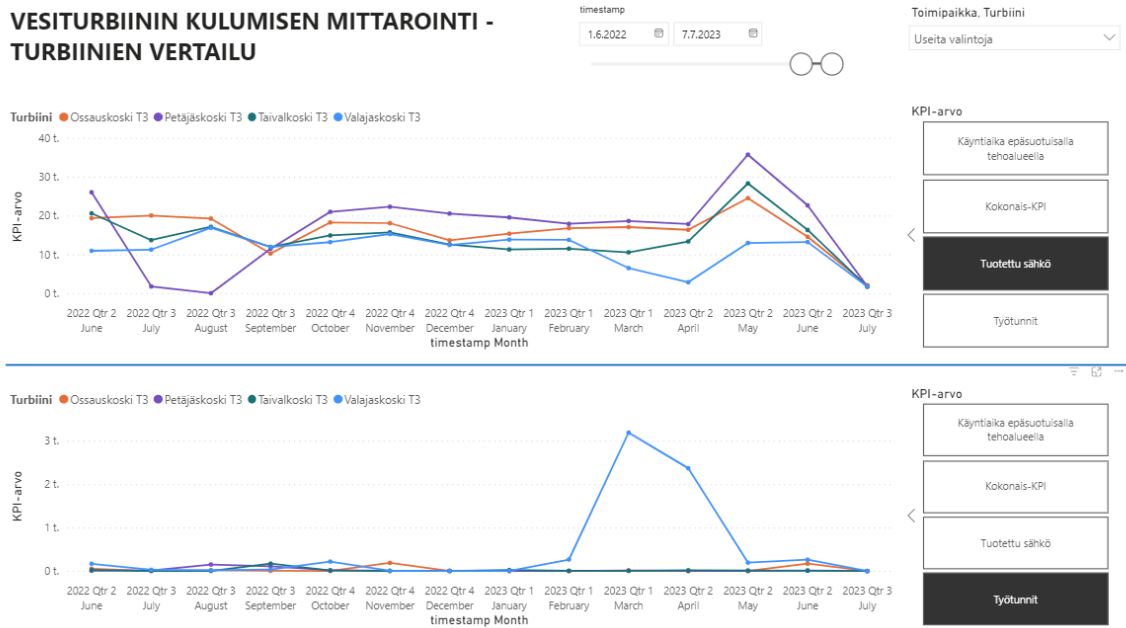
## VESITURBIININ KULUMISEN MITTAROINTI - TURBIININ VERTAILU



Kuvio 36. OS3, PT3, TA3 ja VL3 koneistojen vertailu: käyntiaika epäsuotuisalla tehoalueella ja kokonais-KPI

Viimeisessä kuviossa (kuvio 37) päästään tarkastelemaan koneistojen tuottamaa sähköä ja niille kohdistettuja työtunteja. Kuviosta nähdään, että koneistojen tuottama sähkö kulkee kohtalaisen samannäköistä käyrää. Vasemmassa laidassa näkyy 10t MWh:n välein asteikot, ja sitä tarkastellessa huomataan esimerkiksi, että toukokuussa 2023 PT3 on tuottanut noin 35t MWh sähköä ja vastaavasti VL3 noin 12t MWh.

## VESITURBIININ KULUMISEN MITTAROINTI - TURBIINIEN VERTAILU



Kuvio 37. OS3, PT3, TA3 ja VL3 koneistojen vertailu: tuotettu sähkö ja työtunnit

Työtunteja kaikille koneistoille on kertynyt jonkin verran huoltojen ja pienten häiriöiden vuoksi (kuvio 37). Suurimman poikkeuksen tekee VL3 koneisto, jolle tehtiin talvella 2023 koneiston määräaikaistarkastus, joka kesti useamman viikon.

Näiden neljän voimalaitoksen kaikista koneista saadaan myös niin sanottu yleisnäkymä, mistä voidaan nähdä esimerkiksi pitkän ajan näkymä (kuvio 38) koneistoilta. Tässäkin näkymässä aikaikkunaa voidaan muuttaa helposti päivän tarkkuudella.

## VESITURBIININ KULUMISEN MITTAROINTI - FLEET-YLEISNÄKYMÄ

timestamp

1.1.2015

7.7.2023

Kumulatiiviset KPI:t valitulta aikaväliltä

Toimipaikka	Kokonais-KPI	Tuotettu sähkö (MWh)	Käynnistys kerrat	Käyntiaika	Käyntiaika epäsuotuisalla tehoalueella	Työtunnit	Johtopyörän säädonnäärä	Johtopyörän rajut säästöliikkeet	Johtopyörän suunnanmuutokset	Juoksupyörän säädonnäärä	Juoksupyörän rajut säästöliikkeet	Juoksupyörän suunnanmuutokset
<b>Ossauskoski</b>	<b>98 401,97</b>	<b>3 676 484,72</b>	<b>2 505,00</b>	<b>140 119,27</b>	<b>6 575,30</b>	<b>6 439,50</b>	<b>29 714,12</b>	<b>8 712,00</b>	<b>7 819,00</b>	<b>2 389 113,78</b>	<b>6 188,00</b>	<b>3 987,00</b>
Ossauskoski T1	38 329,06	1 503 666,86	972,00	58 938,25	2 579,83	4 685,50	12 152,89	3 237,00	3 819,00	913 251,57	2 351,00	1 638,00
Ossauskoski T2	15 284,73	521 381,18	394,00	18 886,14	991,30	754,50	4 940,65	780,00	187,00	426 249,24	406,00	31,00
Ossauskoski T3	44 788,17	1 651 436,68	1 139,00	62 294,89	3 004,17	999,50	12 620,59	4 695,00	3 813,00	1 049 612,97	3 431,00	2 318,00
<b>Petäjaskoski</b>	<b>155 997,98</b>	<b>6 671 882,12</b>	<b>3 301,00</b>	<b>184 350,90</b>	<b>9 495,71</b>	<b>3 382,50</b>	<b>79 178,11</b>	<b>9 082,00</b>	<b>25 182,00</b>	<b>12 428 888,75</b>	<b>11 454,00</b>	<b>7 866,00</b>
Petäjaskoski T1	48 052,53	2 079 519,38	1 211,00	57 630,31	2 725,67	820,50	16 365,96	2 886,00	1 359,00	2 281 039,52	3 248,00	1 780,00
Petäjaskoski T2	56 572,94	2 277 172,97	1 331,00	61 232,93	2 527,14	888,50	43 968,74	2 622,00	18 706,00	3 795 900,82	4 780,00	4 320,00
Petäjaskoski T3	51 372,51	2 315 189,77	759,00	65 487,66	4 242,90	1 673,50	18 843,40	3 574,00	5 117,00	6 351 948,40	3 426,00	1 766,00
<b>Taivalkoski</b>	<b>98 006,94</b>	<b>4 030 947,22</b>	<b>2 178,00</b>	<b>148 817,25</b>	<b>6 647,32</b>	<b>1 696,00</b>	<b>52 787,51</b>	<b>6 734,00</b>	<b>6 777,00</b>	<b>4 912 962,97</b>	<b>9 415,00</b>	<b>5 628,00</b>
Taivalkoski T1	33 728,53	1 089 043,78	806,00	41 358,98	2 179,85	629,50	14 369,80	1 636,00	839,00	1 475 238,99	2 724,00	944,00
Taivalkoski T2	30 414,76	1 599 313,42	607,00	58 043,87	2 288,40	478,00	18 990,41	2 235,00	3 137,00	1 738 547,32	3 735,00	2 514,00
Taivalkoski T3	33 863,64	1 342 590,02	765,00	49 414,40	2 179,06	588,50	19 427,31	2 863,00	2 801,00	1 699 176,67	2 956,00	2 170,00
<b>Valajaskoski</b>	<b>110 809,29</b>	<b>3 602 847,95</b>	<b>1 188,00</b>	<b>194 786,38</b>	<b>8 534,88</b>	<b>16 289,50</b>	<b>182 791,97</b>	<b>28 506,00</b>	<b>50 829,00</b>	<b>10 801 775,56</b>	<b>28 963,00</b>	<b>16 177,00</b>
Valajaskoski T1	32 844,43	1 114 152,52	461,00	59 676,36	2 349,81	6 242,00	49 743,40	10 359,00	5 808,00	2 347 275,52	10 033,00	4 797,00
Valajaskoski T2	40 746,98	1 210 761,77	435,00	65 650,00	3 099,12	2 292,00	67 922,05	7 259,00	24 428,00	4 313 439,32	7 653,00	3 832,00
Valajaskoski T3	37 217,88	1 277 933,66	292,00	69 460,02	3 085,95	7 755,50	65 126,51	10 888,00	20 593,00	4 141 060,71	11 277,00	7 548,00
<b>Yhteensä</b>	<b>463 216,18</b>	<b>17 982 162,00</b>	<b>9 172,00</b>	<b>668 073,81</b>	<b>31 253,21</b>	<b>27 807,50</b>	<b>344 471,71</b>	<b>53 034,00</b>	<b>90 607,00</b>	<b>30 532 741,06</b>	<b>56 020,00</b>	<b>33 658,00</b>

Kuvio 38. OS, PT, TA ja VL koneistojen yleisnäkymä

Oikeasta ylä laidasta (kuvio 38) voidaan määrittää haluttu aikaikkuna, ja ohjelmasta on mahdollista saada dataa vuoden 2015 alusta aina nykyhetkeen saakka. Muutamia poikkeuksia kuitenkin on datan saatavuuteen liittyen. Vincit EAM:n työtunnit ja Ossauskosken T2 dataa on saatavilla 1.1.2021 alkaen, Taivalkosken T1 8.11.2017 alkaen, Taivalkosken T2 20.11.2015 alkaen ja Taivalkosken T3 10.11.2016 alkaen.

## 11 TULOKSET

Voimalaitoksien kunnonvalvonnan kehittämisessä on valtavasti potentiaalia ja tämä työ on yksi askel kohti nykyaikaista kunnonvalvontaa, ja se on hyödynnettävissä laajasti. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta selkeä mahdollisuus nostaa esille kunnonvalvonnan merkitystä ja taloudellisten lukujen hallintaa toimihenkilöiden ja työntekijöiden keskuudessa. Tutkimuksen perusteella on myös mahdollista laajentaa samankaltaista kunnonvalvontaa muihinkin laitteistokokonaisuuksiin ja asiakkuuksiin. Työssä läpikäytävää turbiinin kunnonseurannan työkalua ei tiettävästi ole käytössä muualla vesivoimassa.

### 11.1 Arvoelementit

Kohdeyrityksen kunnossapitotoiminnan tiedot ja data-analytiikan hyödyntäminen voidaan nähdä arvoelementteinä, joiden avulla voidaan luoda nykyaikainen toimintamalli. Caverionin tarjoamien palveluiden on nostettava kohdeyrityksen arvoa, kehitettävä sen toimintaa ja perustuttava luottamukseen. Seuraavassa on listattu kaksi yleisesti pätevää arvoelementtiä liittyen kunnossapitoon:

1. Kunnossapitosuunnitelmien jatkuva optimointi, jotta voidaan vastata asiakkaiden tarpeisiin ja kehittää sekä omaa että asiakkaan toimintaa.
2. Kunnossapidollisten toimien jälkeen teknisesti toimivat laitteet, jolloin yrityksen välinen luottamus säilyy ja kasvaa.

Nämä aiemmin mainitut arvoelementit ovat toiminnallisia. Epäonnistuneet toiminnalliset elementit pahimmassa tapauksessa vahingoittavat yrityksen kykyä tuottaa laadukasta palvelua. Kemijoki Oy:n ja Caverionin luottamus perustuu pitkäaikaiseen sopimukseen, ja laadukas jatkuva toiminta antaa vankan pohjan tuleville vuosille ja sopimuksille.

### 11.2 Hyödyt

Tällä hetkellä Kemijoki Oy:llä ja Caverionilla on otettu digitalisaation tuomat mahdollisuudet osaksi strategiaa, ja näitä mahdollisuuksia pyritään kehittämään ja

hyödyntämään laajasti. Visiona on helpottaa ja tehostaa ihmisten työntekoa sekä tehdä taloudellisten lukujen seurannasta entistä helpompaa.

Työn avulla voidaan seurata ja verrata koneistojen eri rasituksen mittaustuloksia, joista on mahdollista arvioida mahdollista elinkaarta ja suurempien investointien tarvetta. Koneistoja on useita, joten työkalua voidaan käyttää apuna suurien koneistoremonttien investoinneissa, aikataulutuksessa ja priorisoinnissa. Mielestäni kyseisellä työkalulla on valtavasti potentiaalia, ja se on käyttäjäystävällinen sekä helposti tulkittavissa. Saadut hyödyt ja kehityksen tarve selkenevät tarkemmin, kun järjestelmää on saatu käytettyä enemmän ja laajennettua muille laitoksille. Paras mahdollinen kehityksen askel saavutetaan, kun asiakkaalta saadaan palautetta ja kehityksiä työkalun käytön pohjalta.

### 11.3 Jatkokehittämisideat

Jatkuvan kehittämisen ja hyödyntämisen mahdollisuuksia on monia nykyaikaisilla järjestelmillä. Kyseistä työkalua voidaan esimerkiksi käyttää ja siitä saatuja tietoja verrata ajettuun sähkötuotteeseen tietyllä ajanjaksolla, ja sen myötä arvioida ajettun tuotteen vaikutuksia koneistojen elinkaareen ja rasitukseen. Tämä vaatii työkaluun sen, että luodaan KPI-mittari taajuuden (hertsi, Hz) mittaukselle, jolloin voidaan verrata kyseistä arvoa koneiston käyttäytymiseen ja sitä kautta arvioida sen vaikutuksia.

Alla on listattuna kolme kysymystä, joita voidaan tutkia ja kehittää työkalun avulla:

1. Miten turbiinin rasitus muuttaa turbiinikoneiston elinkaarta?
2. Miten sähkömarkkinan muutos vaikuttaa turbiinin rasitukseen?
3. Miten turbiinin rasituksen muutos vaikuttaa häiriöihin ja kunnossapidon kustannuksiin?

## 12 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda käyttäjäystävällinen ja selkeä turbiineiden kunnonseurannan työkalu sekä helpottaa siirtymää kohti digitalisaatiota. Tavoitteena oli saada kerättyä näkymiin koneistojen datan avulla sellaisia tietoja, joita voidaan hyödyntää pitkän tähtäimen suunnittelussa ja helpottaa siten investointien kohdistamista oikeille kohteille. Työn tavoite saavutettiin ja työkalusta muodostui toimiva sekä helppokäyttöinen kokonaisuus.

Käytyjen keskustelujen ja palaverien pohjalta voidaan todeta, että myös Kemijoki Oy odottaa työkalun käyttöönottoa ja sen tuomia mahdollisuuksia sekä työkalun käytön mahdollista laajentamisesta muille jokialueille. Työkalu on tarkoitus esitellä ja demonstroida asiakkaalle syksyllä 2023, jonka jälkeen saadaan lisätietoa ja selville työkalun mahdollisia kehityksen askeleita.

Työssä käsiteltävää datan käyttöä ja sen käsittelyä järjestelmissä ei henkilökohtaisesti ole ollut opinnoissa aiemmin, ja yleisesti uutta tietoa tuli itselle paljon työn aikana. Opinnäytetyön aiheeseen ja siihen liittyviin asioihin heräsi työn aikana mielenkiinto, ja aihetta tulikin itse opiskeltua hieman laajemminkin.

Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen ja se antaa työkaluja siirtymässä kohti kunnossapidon digitalisaatiota sekä kehitti lisäksi henkilökohtaista tietämystä. Opinnäytetyöprosessi oli aika paljon laajempi kuin aiemmissa opinnoissa, mutta todella opettavainen. Ennen työn aloittamista laadittiin aikataulu työlle, koska opiskeluaika on kohtalaisen lyhyt ja tiivis rutistus. Aikataulun myötä myös oman ajankäytön hallinta on parantunut, ja on ollut kohtalaisen helppoa sovittaa työt, koulu ja vapaa-aika yhteen tinkimättä mistään. Työssä käsiteltiin itselle niin sanotusti hieman tuntemattomampia asioita ja paljon uutta tuli opittua. Tästä on hyvä jatkaa eteenpäin.

## LÄHTEET

- Autio, E. 2017. Digitalisation, Ecosystems, Entrepreneurship and Policy. Affiliation: Finland Ministry of Trade and Employment Policy Briefs. 10, 1–11. Viitattu 3.7.2023  
[https://www.researchgate.net/publication/321944724\\_Digitalisation\\_ecosystems\\_entrepreneurship\\_and\\_policy](https://www.researchgate.net/publication/321944724_Digitalisation_ecosystems_entrepreneurship_and_policy)
- Caverion Corporation 2020. Lead with data: solving the top six concerns of property decision-makers. E-kirja, 1–27.
- Caverion Corporation 2023a. Avainluvut. Viitattu 16.5.2023  
<https://www.caverion.fi/sijoittajat/tuloskeskus/avainluvut/>
- Caverion Corporation 2023b. Data Visualisation by Caverion SmartView. Viitattu 10.7.2023 <https://www.caverion.com/catalog/services/data-visualisation-by-caverion-smartview/>
- Caverion Corporation 2023c. Hyvän liiketoiminnan periaatteet. Viitattu 16.5.2023 <https://www.caverion.fi/kestava-kehitys/hyvan-liiketoiminnan-periaatteet/>
- Caverion Corporation 2023d. Liiketoimintatyyppit. Viitattu 16.5.2023  
<https://www.caverion.fi/sijoittajat/caverion-sijoituskohteena/liiketoimintatyyppit/>
- Caverion Corporation 2023e. Our future has a history. Viitattu 21.4.2023  
<https://www.caverion.com/about-us/our-future-has-a-history/>
- Caverion Corporation 2023f. Tietoa Caverionista. Viitattu 27.4.2023  
<https://www.caverion.fi/tietoa-meista/>
- Degerman, A. 2006. Sodankylä luontoselvitys. Oulu: AIR-IX Ympäristö Oy. Viitattu 17.5.2023  
<http://www.paikkatieto.airix.fi/tietopankki/sodankyla/tekstit/luontoselvitys.pdf>
- Dimecc 2020. Industrial Data Economy For Finland. Viitattu 3.7.2023  
<https://www.dimecc.com/wp-content/uploads/2020/09/DIMECC-Industrial-data-economy-for-Finland-PositionPaper-2020-2.pdf>
- Epicor 2023. Mikä on Teollisuus 4.0 – Teollinen esineiden Internet (IIoT, Industrial Internet of Things)? Viitattu 4.7.2023 <https://www.epicor.com/fi-fi/resources/articles/what-is-industry-4-0/>
- Frank, AG., Dalenogare, LS. & Ayala, NF. 2019. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*. 210, 15–26.
- Johansson, N., Roth, E. & Reim, W. 2019. Smart and Sustainable eMaintenance: Capabilities for Digitalization of Maintenance. *Sustainability*, 11(13):3553, 1–19. Viitattu 4.7.2023 <https://doi.org/10.3390/su11133553>

Jyrkämä, J. 1999. Toimintatutkimus ja sosiaaliset toimintakäytännöt – giddensiläisiä näkökulmia toimintatutkimukseen. Teoksessa: Hannu Heikkinen, Rauno Huttunen & Pentti Moilanen. Siinä tutkija missä tekijä: toimintatutkimuksen perusteita ja näköaloja. Jyväskylä: Atena Kustannus.

Jyrkämä, J. 2023. Toimintatutkimus. Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Viitattu 5.7.2023  
<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusasetelma/toimintatutkimus/>

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2017. Kunnossapito – tuotanto-omaisuuden hallinta. 6. täydennetty painos. Helsinki: Promaint ry.

Järviö, J. 2007. Kunnossapito. Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 10. 4. uudistettu painos. Helsinki: KP-media Oy.

Kemijoki Oy 2023a. Kemijoki Oy:n historia. Viitattu 10.5.2023  
<https://www.kemijoki.fi/kemijoki-oy/historia.html>

Kemijoki Oy 2023b. Kumppanit. Viitattu 10.5.2023  
<https://www.kemijoki.fi/kemijoki-oy/kumppanit.html>

Kemijoki Oy 2023c. Omistus. Viitattu 10.5.2023  
<https://www.kemijoki.fi/kemijoki-oy/hallinnointi-ja-johtaminen/omistus.html>

Kemijoki Oy 2023d. Sääntely ja velvoitteet. Viitattu 16.6.2023  
<https://www.kemijoki.fi/vesivoima/saantely-ja-velvoitteet.html>

Kemijoki Oy 2023e. Säättövoima. Viitattu 15.6.2023  
<https://www.kemijoki.fi/vesivoima/saatovoima.html>

Kemijoki Oy 2023f. Vaelluskalat. Viitattu 17.5.2023  
<https://www.kemijoki.fi/toimintamme/vaelluskalat.html>

Kemijoki Oy 2023g. Vesivoiman tuotanto. Viitattu 16.6.2023  
<https://www.kemijoki.fi/vesivoima/vesivoiman-tuotanto.html>

Kemijoki Oy 2023h. Voimalaitokset ja tuotanto. Ossauskoski. Viitattu 16.6.2023  
<https://www.kemijoki.fi/toimintamme/voimalaitokset-ja-tuotanto/ossauskoski.html>

Kemijoki Oy 2023i. Voimalaitokset ja tuotanto. Petäjaskoski. Viitattu 16.6.2023  
<https://www.kemijoki.fi/toimintamme/voimalaitokset-ja-tuotanto/petajaskoski.html>

Kemijoki Oy 2023j. Voimalaitokset ja tuotanto. Taivalkoski. Viitattu 16.6.2023  
<https://www.kemijoki.fi/toimintamme/voimalaitokset-ja-tuotanto/taivalkoski.html>

Kemijoki Oy 2023k. Voimalaitokset ja tuotanto. Valajaskoski. Viitattu 16.6.2023  
<https://www.kemijoki.fi/toimintamme/voimalaitokset-ja-tuotanto/valajaskoski.html>

Kemijoki Oy 2023l. Voimalaitokset ja tuotanto. Viitattu 17.5.2023  
<https://www.kemijoki.fi/toimintamme/voimalaitokset-ja-tuotanto.html>



Kemijoki Oy 2023m. Voimalaitokset talvella. Viitattu 11.7.2023  
<https://www.kemijoki.fi/viestinta/kuvat-ja-logot/voimalaitokset-talvella.html>

Kjølle, A. 2001. Hydropower in Norway. Mechanical Equipment. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 1–185.

Kortelainen, H. & Tennilä, J. 2019. Kunnossapidon taloudellinen merkitys ja tunnusluvut. Kunnossapidon vuosikirja. Kunnossapitoyhdistys Promaint, 27–36.

Koskiensuojelulaki 23.1.1987/35. Viitattu 16.6.2023  
<https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1987/19870035>

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 5.5.2017/252. Viitattu 16.6.2023  
<https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2017/20170252>

Legner, C., Eymann, T., Hess, T. Matt, C., Böhmman, T., Drews, P., Mädche, A., Urbach, N. & Ahlemann F. 2017. Digitalization: Opportunity and Challenge for the Business and Information Systems Engineering Community. *Bus Inf Syst Eng* 59, 301–308. <https://doi.org/10.1007/s12599-017-0484-2>

Levrat, E., Lung, B. & Crespo, A. 2008. E-Maintenance: Review and conceptual framework. *Production Planning & Control*, 19:4, 408–429. Viitattu 4.7.2023  
<https://doi.org/10.1080/09537280802062571>

Liao, Y., Deschamps, F., Loures, Eduardo de Freitas Rocha & Ramos LFP. 2017. Past, present and future of industry 4.0 - A systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609–3629.

Luonnonsuojelulaki 5.1.2023/9. Viitattu 16.6.2023  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961096>

Martinsuo, M., Ackerman, E. & Ruusuvuori, P. 2019. Digitalisaatio kunnossapidossa. Kunnossapidon vuosikirja: Elinjakson hallinta ja hyvä tuotanto-omaisuuden hallintatapa. Kunnossapitoyhdistys ProMaint, 48–54.

Mikkonen, H., Miettinen, J., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Sulo, P., Komonen, K., Lumme, V., Kautto, J., Heinonen, K., Lakka, S. & Mäkeläinen, R. 2009. Kuntoon perustuva – Kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy.

Motiva 2021. Vesivoima. Viitattu 14.6.2023  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/vesivoima](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima)

Motiva 2022. Vesivoimateknologia. Viitattu 17.5.2023  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/vesivoima/vesivoimateknologia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima/vesivoimateknologia)

Niittymaa, H. 2021. Kunnossapidon digitalisaatio ja ICT-kokonaisarkkitehtuuri. Promaint – Kunnossapidon ja tuotannon erikoislehti 29.6.2021. Viitattu 4.7.2023  
<https://promaintlehti.fi/Nakokulma/Kunnossapidon-digitalisaatio-ja-ICT-kokonaisarkkitehtuuri>

Oliver Wyman. 2016. Digital Industry. The True Value of Industry 4.0, 1–25.

Polák, M. 2021. A Brief History of the Kaplan Turbine Invention. *Energies*, 14(19), 1–13. <https://doi.org/10.3390/en14196211>

PSK 6201:2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. PSK Standardisointiyhdistys ry.

Rojko, A. 2017. Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 11(5), 77–90. <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>

SFS-EN 13306:2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. 3. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

Suomen vesiputoukset 2023. Vesivoimalan toiminta. Viitattu 17.5.2023 <https://www.suomenvesiputoukset.fi/tietoa-suomen-vesiputouksista/vesiputoukset-ja-vesivoima-suomessa/>

Tilastokeskus 2022. Energian hankinta ja kulutus. Viitattu 14.6.2023 [https://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk\\_energia.html](https://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_energia.html)

Velimirović, D., Velimirović, M. & Stanković, R. 2011. Role and importance of key performance indicators measurement. *Serbian Journal of Management*, 6(1), 63–72.

Vesilaki 27.5.2011/587. Viitattu 16.6.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587>

Weber, A. & Thomas, R. 2005. Key Performance Indicators: Measuring and Managing the Maintenance Function. Ivara Corporation, 1–16.

Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527. Viitattu 16.6.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>