

Sami Huhtakangas

**VEDENPUHDISTUSLAITOSTEN KOKONAISTEHOKKUUDEN PARANTAMINEN
TUOTANNON TASAPAINOTTAMISEN AVULLA**

VEDENPUHDISTUSLAITOSTEN KOKONAISTEHOKKUUDEN PARANTAMINEN
TUOTANNON TASAPAINOTTAMISEN AVULLA

Sami Huhtakangas
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Teknologialiiketoiminnan koulutusoh-
jelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Teknologia liiketoiminnan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Sami Huhtakangas

Opinnäytetyön nimi: Vedenpuhdistuslaitosten kokonaistehokkuuden parantaminen tuotannon tasapainottamisen avulla

Työn ohjaaja: Hannu Päätaalo

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017

Sivumäärä: 88 + 4

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, pystytäänkö vedenpuhdistuslaitosten päivittäisissä tuotantoprosesseissa aikaansaamaan laadun ja tehokkuuden parantumista tuotannon tasapainottamisen avulla ja kytkemällä kahden erillisen vedenpuhdistuslaitoksen toimintaa paremmin toisiinsa siirtämällä enemmän tarvittavaa tuotantokapasiteettia valmistusmäärältään suuremmalle vedenpuhdistuslaitokselle.

Opinnäytetyössä sovellettiin tuotannon mittakaavaedun tuomia mahdollisuuksia ja Lean-tuotannonohjauksen ja kehittämisen menetelmiä mukauttamalla niitä yrityksen olemassa oleviin toimintoihin. Varastojen hallinnan osalta menetelmiä sovellettiin käänteisesti. Toimintavarmuuden parantamiseksi varastoja pyrittiin pitämään mahdollisimman suurina niiden minimoinnin sijaan. Varastojen tehokkaammassa käytössä hyödynnettiin vain olemassa olevaa infrastruktuuria. Opinnäytetyössä käytettiin hyödyksi aiemmin vedenpuhdistuslaitosten toiminnasta kerättyjä prosessien mittaustietoja sekä aineistoja, joiden perusteella teoriaan pohjautuen suoritettiin käytännön koeajo sovelletun teorian tiedon testaamiseksi.

Koeajojakson tuloksina saavutettiin laadullista tuotteen parantumista puhdistuskemikaalien käytön vähentymisenä sekä samalla aikaan saatiin tuotannollista ja taloudellista tehokkuutta tuotantoprosessin toiminnan parantumisena, sisäisen hävikin vähenemisenä ja toimintavarmuuden paranemisena varastojen tehokkaamman käytön ansiosta.

Asiasanat: Lean, Heijunka, standardisoitu työ, tuotanto, tuotannon tasapainottaminen, mittakaavaetu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Master's degree. Technology Business.

Author: Sami Huhtakangas

Title of thesis: Improving the overall efficiency of water purification plants through production balancing

Supervisor: Hannu Päätaalo

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2017 Number of pages: 88 + 4

The aim of this master thesis was to determine if it is possible to achieve quality and efficiency improvements through production balancing and by connecting two separate water purification plants more firmly to the same entity by transferring more production capacity to the larger water purification plant.

The work is based on theory of the benefits of large scale production and Lean manufacturing methods by adapting them to the existing operating functions. Regarding the stock management methods they were inversely applied. Instead of trying to minimize them, they were kept as full as possible by using the existing infrastructure to improve operating safety. Previously collected data and information of the operation of water purification plants was used to make this master thesis. In this master thesis, theoretical knowledge of manufacturing and also previously collected data and information from the water purification operations were tested in the practical test to test the applied theoretical knowledge.

During the test period qualitative improvement of the product was achieved by reducing purification chemicals and production and economic efficiency were also achieved by better operation of the production process which resulted in reduced internal production losses and improvement of the operational reliability thanks to the more efficient use of reservoirs.

Keywords: Lean, Heijunka, standardized work, production, production balancing, mass production

ALKULAUSE

Suurimmat kiitokset haluan osoittaa vaimolleni, joka on jaksanut tukea minua koko opiskeluni ajan, huolehtinut kodistamme ja ihanista lapsistamme, minun ollessani pitkiä päiviä poissa kotoa, niin arkena kuin viikonloppunakin. Ilman sinua minulla ei olisi ollut mahdollisuutta tehdä tätä opin-
näytetyötä.

Erityiskiitoksen ansaitsevat myös Kurkelanrannan vastaava käyttömestari Reima Otamo, käytön-
valvojat Arto, Heikki, Jarkko, Jorma, Jukka, Kristian, Marko, Matti, Mikko ja Taneli ennakkoluulot-
tomasta asenteesta ja osallistumisestanne kukin omalta osaltanne käytännön koeajoon ja vihjeis-
tä sekä neuvoista laitosten toiminnasta ja Oulun vedelle kiitos mahdollisuudesta toteuttaa tämä
opinnäytetyö. Lisäksi haluan osoittaa kiitokset Jarmo Vahtervuolle Lean-työkaluihin ja -
menetelmiin liittyvistä neuvoista ja ohjeista.

Sami Huhtakangas

Oulussa 1.6.2017

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
ALKULAUSE.....	5
SISÄLLYS.....	6
SANASTO.....	8
1 JOHDANTO.....	10
2 TUTKIMUKSEN TAVOITE JA TUTKIMUSMENETELMÄT.....	12
3 TUOTANTO.....	14
3.1 Tuotantomuodot.....	16
3.2 Tuotannon mittakaavaetu.....	16
3.3 Tuotannon kustannukset.....	17
3.4 Tuotannonohjaus.....	18
4 LEAN.....	20
4.1 Lean-toimintatavat ja -perustyökalut.....	24
4.2 Kaizen.....	27
4.2.1 Standardisoitu työ.....	28
4.2.2 5S ja 6S.....	28
4.2.3 Heijunka.....	31
4.2.4 Kapasiteetti.....	33
4.3 Just in time.....	35
4.3.1 Työntö- ja imuohjaus.....	36
4.3.2 Kanban.....	37
4.3.3 Läpäisy aika.....	38
4.3.4 Arvovirtauskaavio.....	39
4.3.5 Jatkuva virtaus.....	40
4.4 Jidoka.....	40
4.4.1 Andon.....	41
4.4.2 Poka Yoke.....	42
4.4.3 Key performance indicators.....	42
4.4.4 5 miksiä.....	43
5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA TULOKSET.....	44

5.1	Hintan vedenpuhdistuslaitoksen tuotantoprosessi.....	44
5.2	Kurkelanrannan vedenpuhdistuslaitoksen tuotantoprosessi.....	46
5.3	Ylävesisäiliöt.....	49
5.4	Tutkimuksen toteutus	49
5.5	Lähtötietojen selvittäminen.....	51
5.6	Koeajo	59
5.6.1	Koeajoaineiston kerääminen ja käytännön testaukset	59
5.6.2	Koeajon vaikutukset Hintan vedenpuhdistamolla	63
5.6.3	Koeajon vaikutukset Kurkelanrannan vedenpuhdistamolla	67
5.6.4	Koeajon vaikutukset molemmilla vedenpuhdistamoilla	69
5.6.5	Koeajon vaikutukset varastoaltaiden käyttöön	70
5.6.6	Koeajon vaikutukset vesitornien käyttöön	73
5.7	Validiteetti.....	77
6	LOPPUANALYYSI.....	78
	LÄHTEET.....	81
	LIITTEET	89

SANASTO

5S	Työkalu ja menetelmä työn ja toiminnan tehostamiseen siisteyden ja järjestelmällisyyden avulla
ANDON	Signaali, ääni- tai valomerkki tuotannossa tapahtuvan poikkeaman ilmoittamiseksi
HEIJUNKA	Menetelmä tuotannon ja työmäärän tasaamiseen tuotannon ja tuotevalikoiman suhteen
JIDOKA	Inhimillisen älyn liittäminen koneeseen, jotta kone saadaan pysähtymään ongelman tai poikkeaman esiintyessä, jolloin estetään virheellisen suorituksen pääseminen eteenpäin prosessissa
JIT	Just In Time, tarkoittaa tuotannonohjaamista valmistamalla vain juuri oikea määrä, juuri oikeaan aikaan ja juuri oikeaa laatua
KAIZEN	Jatkuva parantamisen menetelmä, muodostuu kahdesta sanasta ”Kai” joka tarkoittaa muutosta ja ”Zen” joka tarkoittaa hyvää
KANBAN	Imuohjatun tuotannon signaalin anto menetelmä sille, milloin tuotannon pitäisi alkaa, mitä pitäisi valmistaa ja kuinka paljon pitäisi valmistaa
KPI	Key Performance Indicator, päivittäisen toiminnan- tai tuotannonjohtamiseen ja seuraamiseen tarkoitettuja mittareita ja tunnuslukuja kuvaava termi
LEAN	Tuotanto- ja johtamisfilosofia
NTU	Nephelometric turbidity unit, sameuden yksikkö
PDCA	Plan – Do – Check – Act, Demmingin ympyränä tunnettu ongelmanratkaisun työkalu ja menetelmä
pH	Pondus hydrogenii, ts. happamuustaso eli vedyn potentiaali
POKA YOKE	Virheiden etsimiseen ja poistamiseen tarkoitettu menetelmä, jonka tarkoituksena on estää virheellisten tuotosten syntyminen
SEIKETSU	5S menetelmän osa, standardisointi, vakiointi
SEIRI	5S menetelmän osa, sortteeraus, erottelu
SEISO	5S menetelmän osa, siivoaminen
SEITON	5S menetelmän osa, sijoittelu, järjestely
SHITSUKE	5S menetelmän osa, sitoutuminen, ylläpito
TPS	Toyota Production System, Toyotan kehittämä tuotantofilosofia

UVAS	Ultravioletti absorptio veden sameuden määrittämiseksi
VSM	Value Stream Mapping
VT901	Puolivälinkankaan vesitorni
VT902	Maikkulan vesitorni

1 JOHDANTO

Oulun Vesi valmistaa talousvettä noin 190 000 asiakkaalle. Oulun Vedellä on kaksi pintavedestä talousvettä valmistavaa vedenpuhdistamoita, jotka sijaitsevat Hintassa ja Kurkelanrannassa. Kanta Oulun ulkopuolella toimii lisäksi myös useita kuntaliitoksen myötä Oulun kaupunkiin liittyneitä pohjavedenottoja ja niiden käsittelylaitoksia.

Kanta Oulun vedenpuhdistamoiden yhteistuotanto on noin 1700 m³/h, josta Hintan vedenpuhdistamon osuus on noin 60 % ja Kurkelanrannan vedenpuhdistamon osuus noin 40 %. Molemmat vedenpuhdistamot ovat ns. pintavesilaitoksia, jotka saavat raakavesensä Oulujoesta. Talousveden valmistamiseksi Oulujoesta pumpattu raakavesi käsitellään tuotantoprosesseissa kemiallisesti.

Kurkelanrannassa veden pumppaamisen suunnittelu ja toteuttaminen aloitettiin jo vuonna 1889 ja ensimmäinen puurakenteinen, höyrykoneella toimiva pumppaamo aloitti toimintansa 1902 maaliskuussa. Vuonna 1914 rakennettiin Kurkelanrantaan betoninen painesuodattimilla toimiva suodatinlaitos veden laadun parantamiseksi.

Oulun kaupungin jatkaessa kasvuaan kaupunginhallitus päätti rakennuttaa uuden vedenpuhdistamon, Kurkelanrannan vedenpuhdistamon kapasiteetin ja tontin käydessä pieneksi kasvavan kaupungin tarpeisiin. Rakennuttamalla toinen vedenpuhdistamo turvattiin myös veden saantia jakamalla valmistusta kahdelle eri vedenpuhdistuslaitokselle. Hintan vedenpuhdistuslaitos valmistuikin vuoden 1976 syksyllä Oulujoen toiselle puolelle Kurkelanrannan vedenpuhdistuslaitosta vastapäätä.

Molempiin vedenpuhdistamoihin on tehty runsaasti laitoskohtaisia tutkimuksia, selvityksiä sekä peruseräparannuksia yliopiston, ammattikorkeakoulun, konsulttien sekä yrityksen omasta toimesta, mutta aiemmin ei ole tutkittu laitosten käyttämistä yhtenä yksikkönä ja Lean-menetelmien soveltuvuutta toiminnan tehostamisessa. Tämän ongelman tutkimiseen pureudutaan tämän opinnäytetyön sisällössä.

Lean-menetelmien ja -toimintatapojen perusajatuksiin kuuluu sekä laadun että tehokkuuden jatkuva parantaminen, jossa asiakasta palvellaan mahdollisimman hyvin, jonka seurauksena saavu-

tetaan taloudellista hyötyä myöhemmässä vaiheessa. Kyseinen ajatusmalli soveltuu periaatetasolla erinomaisesti vesilaitosten toimintaa ja tuotantoa ohjaavaksi toimintamalliksi sekä vastaa jo osittain olemassa olevaa ajattelu- ja toimintatapaa.

Lean-tuotannonohjausjärjestelmän ajatuksena on palvella asiakasta parhaalla mahdollisella tavalla, aikaansaada sisäänrakennettua laatua ja parantaa sitä kautta toiminnan kustannustehokkuutta. Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, Lean-ajattelun peruspilarit soveltuvat erinomaisesti yhteiskunnallisesti merkittävien vesilaitosten liiketoimintaan, jossa toiminnalta vaaditaan luotettavuutta, laatua, kustannustehokkuutta ja vedensaannin katkeamatonta toimitusvarmuutta asiakkaille, juuri silloin kun he sitä tarvitsevat.

2 TUTKIMUKSEN TAVOITE JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, pystytäänkö tuotannon tasapainottamisen kautta vedenpuhdistuslaitoksilla valmistettavan veden laadun parantamista, kustannusten alentumista ja voidaanko vedenpuhdistuslaitosten välistä toimintaa tehostaa. Tuotannon tasapainottamisen avulla pyritään tuotantomäärien tasapainottamiseen, laitosten tasaisempaan käyttöasteeseen ja näiden toimien avulla valmistettavan veden laadun parantamiseen, laitosten tehokkuuden ja toimintavarmuuden parantamiseen sekä mahdollisten vedenpuhdistuslaitosten yhteiskäytön parantamisen esteiden ja ongelmien esilletuomiseen.

Tutkittaessa kahden vedenpuhdistamon yhteistoimintaa kokonaisuutena käytettäväksi tutkimusmenetelmäksi valittiin laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä. Kvalitatiivisen tutkimusmenetelmän avulla kohteen ominaisuuksia, laatua ja merkitystä tutkitaan kokonaisvaltaisesti. (Jyväskylän yliopisto 2015, viitattu 2.11.2016.) Opinnäytetyössä suoritettiin henkilökohtainen suullinen haastattelu jokaiselle vedenpuhdistuslaitoksilla työskentelevälle käyttöhenkilökunnan jäsenelle aiempien kokemusten ja historian selvittämiseksi sekä mahdollisten riskitekijöiden huomioimiseksi ja välttämiseksi käytännön koeajon aikana.

Kvalitatiivisen tutkimuksen apuna käytettiin tilastoihin ja mittauksiin perustuvaa kvantitatiivista tutkimusmenetelmää (Heikkilä 2014, viitattu 2.11.2016). Kvantitatiivisen tutkimusmenetelmän avulla täydennettiin molempien vedenpuhdistuslaitosten toiminnan aikana kerättyjä tilastotietoja ja aineistoa, joiden avulla saatiin lähtökohdat opinnäytetyön tekemiseen. Käytetyn aineiston avulla selvitettiin mm. molempien vedenpuhdistuslaitosten virtausmäärät, mittaustulokset, puhdasvesialtaiden tilavuusmuutokset sekä myös vesitornien tilavuus ja virtausmuutokset.

Tuotantomäärien tasapainottumista mitataan lähtevän veden virtaaman muutoksien avulla, jonka seurauksena vedenpuhdistuslaitosten käyttöasteet tasoittuvat ja tuotantotehokkuudet kasvavat. Tuotantotehokkuuden ja toimintavarmuuden parantaminen edellyttää vedenpuhdistuslaitoksilla sijaitsevien varastoaltaiden ja vesitornien aiempaa tehokkaampaa hyödyntämistä tuotannon ja kulutuksen puskurivarastoina.

Veden laadun varmistamiseksi opinnäytetyön tekemisen ja koeajon aikana ei saa poiketa laissa määritellyistä kemiallisista ja biologisista raja-arvoista, eikä myöskään yrityksen käyttämistä omiin sisäisiin vaatimuksiin perustuvista lainsäädäntöä tiukemmista raja-arvoista.

Tuotannon tasapainottamisen lähtökohdaksi otettiin mittakaavaedun tuomien teoreettisten mahdollisuuksien hyödyntäminen ja lisäksi tuotannon tasapainottamisen teoretietona käytettiin Lean-tuotantofilosofian pohjalle rakentunutta tuotannon tasapainottamiseen tarkoitettua Heijunka menetelmää sekä standardisoidun työn metodeja.

Lean-tuotantofilosofia ja siinä käytettävät menetelmät on alun perin kehitetty autoteollisuuden vaatimuksien pohjalta, toisin sanoen kappalevarateollisuuden tarpeisiin, joten osa sen sisältämistä työkaluista ei sovellu prosessiteollisuuden tarpeisiin. Mutta ajatusmallin mukaan jokaisen yrityksen tulee rakentaa omat Lean-menetelmänsä ja -toimintatapansa olemassa olevia käytäntöjä soveltaen, kuitenkin tiettyjä peruseriaatteita noudattaen tulosten ja parannusten aikaan saamiseksi.

Tutkimuksen tulokset nojaavat aiemmin kerättyihin laitosten historiatietoihin sekä mittaustuloksiin, sekä myös käytännön testaukseen laitoksilla ja testauksessa saatujen tulosten vertaamiseen aiempien vuosien vastaaviin tuloksiin.

3 TUOTANTO

Nykyisin tuotanto on käsitteenä laajempi ja moniulotteisempi kokonaisuus kuin menneisyydessä, jolloin tuotannolla tarkoitettiin ainoastaan yrityksen tuotetta tai tuotteita valmistavaa toimintoa. Nykyään tuotannon osaksi katsotaan kuuluvan kaikki toiminnot, joiden avulla tuote tai palvelu saadaan toimitettua markkinoille. Haverilan, Uusi-Rauvan, Kourin ja Miettisen (2009, 351) mukaan tuotantoon kuuluvaksi voidaan lukea

- tuotteen tai tuotteiden valmistus kokonaisuudessaan
- markkinoinnista se osa-alue, joka tekee tuotteelle teknisen määrittelyn ja tilauksen
- jakelu mukaan lukien suunnittelu ja toteutus
- tilaukseen perustuva asiakaskohtainen suunnittelu
- raaka-aineiden ja alihankinnan käyttäminen koko tuotantoprosessissa.

Tuotanto on yhtä tai useampaa tuotetta valmistavan yrityksen keskeisimpiä toimintoja. Korkeaan tuottavuuteen ja tehokkuuteen pyrittäessä yrityksen johtamisen merkittävimmät päätökset ja ongelmat liittyvät yleensä tuotannon hallintaan ja sen kehittämiseen. (Haverila ym. 2009, 350 – 352; Martinsuo, Mäkinen, Suomala & Lyly-Yrjänäinen. 2016, 268 – 269.)

Tuotannon tehtävä on valmistaa yrityksen myymät tuotteet mahdollisimman taloudellisesti, mutta kuitenkin sille asetetuista laatu- ja muista kriteereistä tinkimättä. Yleisesti tuotannolle on asetettu seuraavat vaatimukset:

- mahdollisimman alhaiset valmistuskustannukset
- virheettömyys eli laatu jonka tuotesuunnittelu on asettanut
- toimituskyky eli mahdollisimman nopea toimitusaika ja sovittujen toimitusaikojen pitäminen
- joustavuus eli kyky mukautua kysynnän aiheuttamiin muutoksiin.

Haverila ym. (2009, 357 – 358) on asettanut taloudellisten vaatimusten lisäksi myös yhteiskunnallisia vaatimuksia:

- työturvallisuus
- ympäristönsuojelu
- työympäristö
- tuoteturvallisuus
- sosiaalinen vastuu.

Usein edellä mainitut vaatimukset ovatkin ristiriidassa keskenään ja niiden kanssa joudutaan tekemään kompromisseja ja valintoja, miten tuotantoa ohjataan ja kehitetään. Näiden valintojen tulisi pohjautua yrityksen strategiaan sekä asiakkaiden asettamiin tarpeisiin ja vaatimuksiin, tätä toimintoa kutsutaankin yleisesti tuotantostrategiaksi. Tuotantostrategian määrittämiseksi joudutaan tekemään keskeisiä päätöksiä, joista tärkeimmät ovat:

- tuotantoprosessin valinta
- oman valmistuksen ja ulkoistamisen välinen jako
- merkittävimmät tuotantokapasiteettia koskevat päätökset mm. kapasiteetin määrä, ajoitus ja sijainti.

Tuotantokapasiteetin ajoitus ja määrä määrittellään myynnin kehitysarvon mukaan, vaikka itse päätökset koskevatkin suoraan vain tuotantoa.

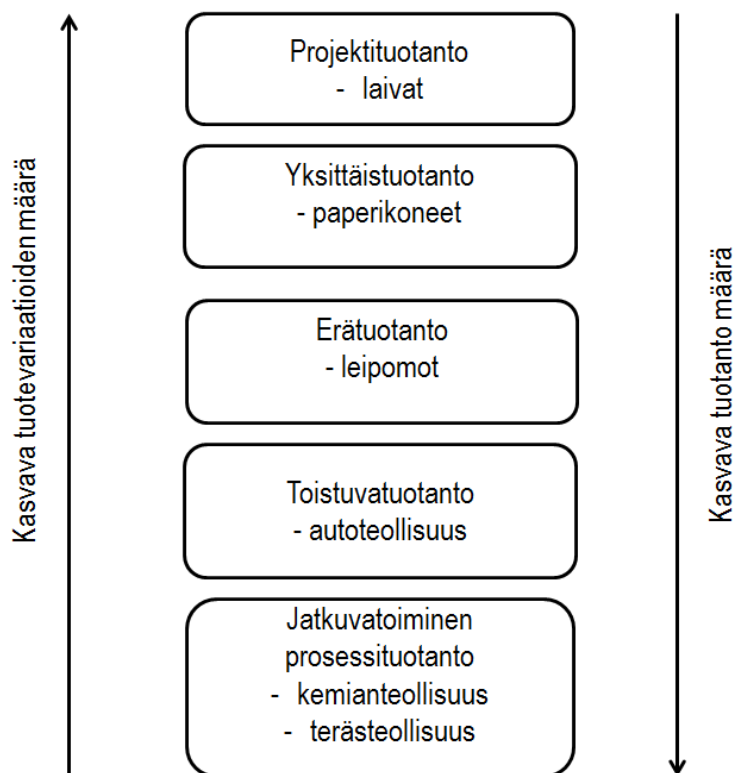
Tuotannon sijoituspäätökseen vaikuttavat useat tekijät. Sijoittamiseen vaikuttavien tekijöiden vaikutus on jokaisella teollisuudenalalla erilainen. Osaavan työvoiman saatavuus ja työvoimakustannukset ovat merkittävimpiä tekijöitä useimmilla teollisuudenaloilla. Sijoituspäätökseen liittyy myös päätös siitä, kuinka monelle paikkakunnalle tuotantoa sijoitetaan ja kuinka monta yksikköä ja mikä näiden yksiköiden koko kullakin sijoituspaikkakunnalla on.

Sijoituspaikan määrittelyä, yksikönkokoa ja yksiköiden määrää koskevaa päätöksentekoa kutsutaan fokuoimiseksi, eli yhdessä tuotantolaitoksessa tai tehtaassa valmistetaan vain yhtä tuotetta tai tuoteperhettä eikä yrityksen koko tuotevalikoimaa, toisin sanoen laitos tai tehdas on erikoistunut valmistamaan tätä tuotetta saavuttaakseen parhaan mahdollisen kustannus- ja laatutason. (Lehtonen 2004, 61 – 64; Haverila 2009, 357 – 358; Martinsuo ym. 2016, 270.)

3.1 Tuotantomuodot

Tuotantomuodon valinnalla määritellään tuotantojärjestelmän ominaisuudet sekä tuotannon johtamisen ja ohjauksen periaatteet. Tuotantomuoto määrittyy aina tarvittavan kapasiteetin, tuotteen rakenteen, valmistettavan tuotevalikoiman sekä jakeluteiden perusteella.

Yleisesti tuotantomuodot voidaan jaotella kahteen pääryhmään: prosessituotanto ja kappaletavara tuotanto, joilla molemmilla on omat erityispiirteensä. Tuotantomuotoja voidaan kuitenkin tarkentaa Hayesin ja Wheelwrightin tekemän luokituksen mukaisesti tuotantomäärien ja tuotevariaatioiden mukaan, kuviossa 1 esitetyn tarkennetun kategorisoinnin avulla. (Haverila ym. 2009, 353 – 354; Martinsuo ym. 2016, 270 – 271; Maharani 2016, viitattu 19.3.2017; Logistiikan maailma 2017a, viitattu 19.3.2017.)



KUVIO 1. Tuotantomuotojen kategorisointi

3.2 Tuotannon mittakaavaetu

Tuotantostrategian keskeisimpiä lähtökohtia on mittakaavaetu eli suuren valmistusmäärän taloudellisuus. Suurien valmistuserien taloudellisuus onkin massatuotannon keskeisin periaate, jossa

pyritään suuriin laitosten ja tehtaiden kokoluokkiin sekä suuriin valmistusmääriin, jolloin tuotteen yksikkökustannuksia saadaan pienennettyä.

Suurten valmistuserien taloudellisuus perustuu pääosin kahteen eri tekijään. Kiinteiden yksikkökustannusten laskemiseen niiden jakoutuessa suuremmalle tuotantomäärälle ja kapasiteetin hankkimiseen suuremmissa kokonaisuuksissa, jolloin sen hankkiminen on edullisempaa. (Haverila ym. 2009, 368; Martinsuo ym. 2016, 270 – 271.)

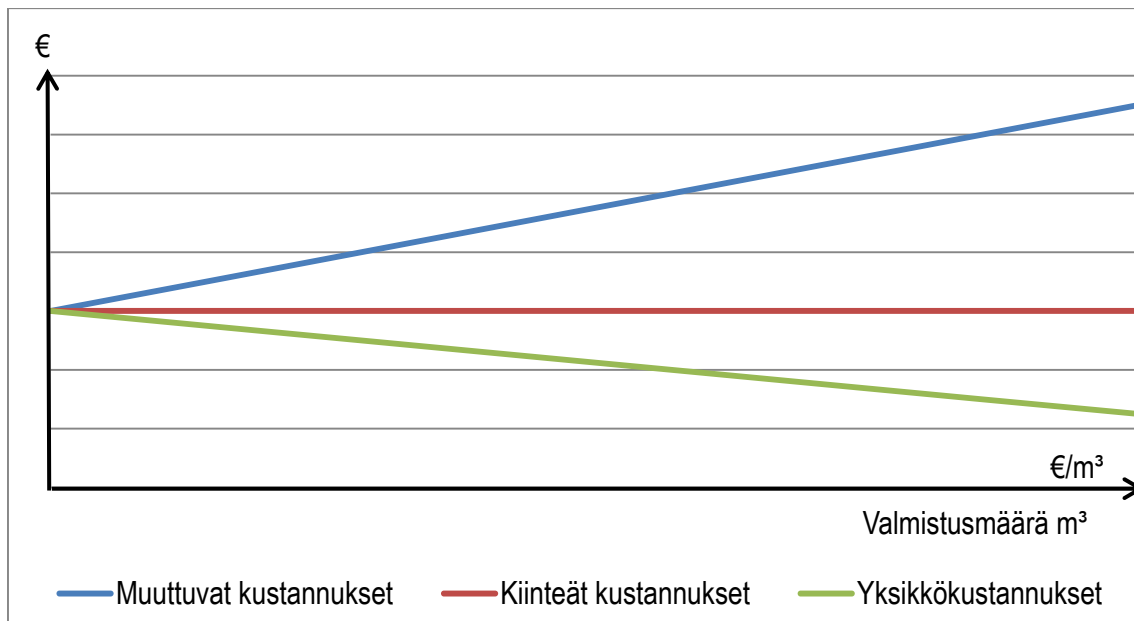
3.3 Tuotannon kustannukset

Kuviossa 2 on esitetty massatuotannon vaikutus yksikkökustannusten muodostumiseen. Suurien sarjakokojen ansiosta kiinteät kustannukset pysyvät samana, muuttuvat kustannukset jatkavat suhteellista kasvuaan, mutta tuotteelle kohdistuvat yksikkökustannukset laskevat. Näin massa-tuotannon avulla saavutetaan yksikkökustannuksiltaan kustannustehokkain tuotanto. (Haverila ym. 2009, 145 – 146.)

Yksikkökustannus saadaan laskemalla yhteen tuotannon muuttuvat ja kiinteät kustannukset ja jakamalla saatu summa tuotannon valmistemäärällä. Yksikkökustannus on yksi keskeisimmistä mittareista tuotekustannuksia seurattaessa. (Haverila ym. 2009, 150.)

Muuttuviin kustannuksiin kuuluvat kaikki tuotteen tai palvelun valmistamiseen suoraan sidotut kustannukset. Muuttuvat kustannukset ovatkin suoraan sidoksissa kapasiteetin kokoon ja seuraavat suoraan toiminta-asteen muutosta. Yleisesti muuttuviin kustannuksiin kuuluvat materiaalit, ostettavat osat, puolivalmisteet, tuotantoa varten hankitut palvelut, jne. (Haverila ym. 2009, 147 – 148.)

Kiinteisiin kustannuksiin kuuluvat kaikki kulut, jotka toteutuisivat vaikka tuotetta tai palvelua ei tuotettaisi ollenkaan ja ne eivät ole sidoksissa toiminta-asteeseen missään muodossa. Kiinteisiin kustannuksiin kuuluvat yleisesti vuokrat, lämmitys, perusmaksut, jne. Todellisuudessa kaikki kiinteät kustannukset eivät kuitenkaan ole täysin kiinteitä. (Haverila ym. 2009, 148 – 149.)



KUVIO 2. Yksikkökustannusten muodostuminen (Uusi-Rauva ym. 2009, 368)

Tuotannon menetyksiin voidaan laskea kaikki tuotannon aikana valmistetut vialliset tuotteet, tuotannon sisäisissä prosesseissa käytetyt valmiit tai puolivalmiit tuotteet sekä huoltoseisokkien ja laitevikojen aiheuttamat menetykset normaalista tai suunnitellusta tuotantokapasiteetista. (OEE.com 2016, viitattu 29.12.2016)

3.4 Tuotannonohjaus

Tuotannonohjausta on tehty jo kauan, mutta nykyaikainen tuotannonohjaus on toteutettu automaatio- ja tietojärjestelmiä hyväksikäyttäen. Aikoinaan tuotannonohjaus perustui tuotteiden pitkiin elinkaariin ja asiakaskysynnän ennustettavuuteen, tämän ansiosta tuotanto määriä pystyttiin puskuroimaan varastoimalla tuotteita. Nykyisin tuotannonohjauksen avulla varastoista, mukaan lukien tuotannon välivarastot, pyritään pääsemään kokonaan eroon tai ainakin minimoimaan niiden koko. (Wikipedia 2016a, viitattu 6.8.2016; QDC Business Engineering Oy 2008, viitattu 12.2.2017.)

Nykyisellään tuotannonohjauksen tarkoitus on ohjata yrityksen tuotantoa siten, että yrityksen päämäärät ja strategiset tavoitteet saavutetaan niiltä osin kuin se tuotannon puolesta on mahdollista. Tämän vuoksi tuotannonohjauksen tavoitteet ovatkin riippuvaisia yrityksen tavoitteista ja strategiasta. (Roos 1982, 31 – 32; Martinsuo ym. 2016, 138 – 139.)

Yleensä yritys on asettanut tuotannolle tavoitteet, joita tuotannonohjauksella pyritään hallitsemaan ja parantamaan. Yleisesti tuotannolle on asetettu tavoitteita ja vaatimuksia, joiden pohjalta tuotannonohjausta suunnitellaan, ohjataan, kehitetään ja toteutetaan. Näitä vaatimuksia ovat mm.

- kustannustehokkuus
- laatu
- valmistus- eli läpimenoaika
- joustavuus
- sidotun pääoman minimointi
- ennustettavuus, tarkat mittarit ja tunnusluvut.

Tuotannonsuunnittelulla pyritään ohjaamaan materiaalien, resurssien ja tuotannon suorituskykyä, jotta saavutetaan kysynnän tarpeita tyydyttävä ratkaisu mahdollisimman tehokkaasti, laadukkaasti ja mahdollisesti kaikki muut tuotannolle asetut tavoitteet täyttäen. (Haverila ym. 2009, 357; Roos 1982, 31, 38; Logistiikan maailma 2016, viitattu 28.10.2016.)

4 LEAN

Yksi nykyaikaisimmista ja tunnetuimmista tuotannon johtamisjärjestelmistä on 1800- ja 1900-lukujen vaihteessa toiminansa aloittanut Toyoda Automatic Loom Works:n perustaja Sakichi Toyoda aatteiden ja ajatusten pohjalle rakentunut ”Toyota Production System” (TPS).

Sakichi Toyoda aloitti valmistamalla koneistettuja kangaspuita, joiden valmistamiseen ja kehittämiseen hän päätyi turhauduttuaan siihen, kuinka kauan aikaa hänen äidillään ja isoäidillään kului vaatteiden valmistukseen.

Aluksi Sakichi valmisti hyvin yksinkertaisia puusta valmistettuja automatisoituja kangaspuita, mutta jatkoi niiden kehittämistä niin pitkälle, että lopuksi kangaspuut toimivat suurella nopeudella automaattisesti.

Kutomakoneiden kangasvalmistuksessa ilmenneiden laatuongelmien vuoksi hän joutui kehittämään ja parantamaan niiden laatua jatkuvasti. Kutomakoneiden hyvän laadun ja suorituskyvyn ansioista niistä tuli niin hyviä ja kysytyjä, että hän myi keksintönsä merkittävällä summalla pois ja käytti saamansa rahat Toyota Motor Companyn perustamiseen. (Liker & Convis 2012, 4 – 5; Lean Enterprise Institute 2016, viitattu 16.11.2016.)

Alkujaan Lean tunnettiin nimellä Toyota Production System eli TPS, mutta vuonna 1977 kun yhdysvaltalainen tutkija John Krafcik tutki eri autotehtaiden tuottavuutta, huomasi hän että Toyotan tuottavuus oli ”järkyttävästi” parempi kuin muilla autonvalmistajilla. Hän keksikin nimen kyseiselle Toyotan käyttämälle tuotantojärjestelmälle, joka parhaiten kuvasi hänen mielestään Toyotan käyttämää järjestelmää. John Krafcik nimesikin Toyotan käyttämän järjestelmän Leaniksi (laihaksi), koska se käytti vähemmän kaikkea luodessaan saman määrän arvoa. (Sixsigma 2016a, viitattu 2.9.2016.)

Maailmanmaineeseen Lean käsitteenä nousi vasta vuonna 1990 ilmestyneen tutkijoiden Womack ja Jonesin menestysteoksen ”The Machine that Changed the World” mukana. Teoksessaan Womack ja Jones jakavat Lean-ajattelun viiteen peruseriaatteeseen:

- arvon määrittäminen asiakkaan näkökulmasta
- arvovirtauksen tunnistaminen
- virtauksen toteutus
- imun järjestäminen
- täydellisyys tavoittelu.

Lean-tuotannonohjauksen ajattelun perustat ovat syntyneet Japanissa toisen maailmansodan jälkeisiin tarpeisiin, kun Toyota Motor Corporationin päätuotantoinisööri Taiichi Ohno sai tehtäväkseen nostaa yhtiön tuottavuutta. Ongelmia tuottavuuden nostamisessa aiheutti tuotannon vanhentunut konekanta ja lähes täydellinen pääoman sekä materiaalien ja raaka-aineiden puuttuminen.

Nykyisin Lean on maailmanlaajuisesti tuhansien yritysten käyttämä tuotanto- ja johtamisjärjestelmä. Leania pidetäänkin tällä hetkellä tehokkaimpana olemassa olevista tuotanto- ja johtamisjärjestelmistä. (Huhtala & Pulkkinen 2009, 183; Liker & Hoseus 2008, 22 – 24.)

Toyotan oppien mukainen Lean-toiminnan ydin on erinomaisuuden tavoittelu kaikilla yritystoiminnan osa-alueilla. Viimeisenä päämääränä ”pohjantähden” tavoittelu, vaikka tiedetäänkin, että kyseistä päämäärää ei tulla koskaan saavuttamaan. Pitkänajan tavoitteen asettaminen koko yrityksessä erittäin korkealle pakottaa aina mukauttamaan yrityksen toimintoja muuttuviin tilanteisiin ja näin saa aikaan jatkuvaa muutosta, kehitystä ja jatkuvaa parantamista.

Yksi Lean-ajattelun hienouksista on se, että se ei suoraan sovellu kopioimalla mihinkään yritykseen, vaan peruseriaatteiden avulla jokaisen yrityksen tulee rakentaa ja luoda oma järjestelmänsä, mutta tästä huolimatta Lean-toimintaa voidaan soveltaa ja muokata sopimaan kaikille yrityksille kappaletavaruustuotannosta aina prosessiteollisuuteen ja palveluliiketoimintaan sekä yksityiseltä sektorilta julkiselle sektorille. Toiminnassa tulee vain noudattaa peruseriaatteita ja toimintatapoja. (Liker & Convis 2004.)

Lean-tuotannonohjaus perustuu seitsemän ”hukan” poistamiseen toiminnasta, joista kaikessa toiminnassa pyritään pääsemään kokonaan eroon. Nämä seitsemän ”hukkaa” aiheuttavaa tekijää ovat

- ylituotanto
- odottelu
- tarpeeton kuljettelu
- yliprosessointi tai virheellinen käsittely
- tarpeettomat varastot, vaikka Lean-periaatteiden mukaan varastoista tulisikin pyrkiä eroon, poikkeuksena ovat tapaukset, joissa varastoilla estetään toimitus epävarmuudet asiakkaiden tilauksista johtuvien vaihteluiden vuoksi.
- tarpeeton liikuttelu
- viat.

Jeffrey K. Liker on lisännyt omassa tutkimuksessaan alkuperäisten seitsemän hukan lisäksi kahdeksannen ”hukan”, työntekijän luovuuden käyttämättä jättämisen, joka ymmärrettävästi nykyai- kana nopeasti muuttuvissa ympäristöissä onkin arvokas resurssi yritykselle (Liker & Convis 2012, 28 – 29).

Edellä mainittujen hukatekijöiden poistamiseen pyritään paneutumalla niiden juurisyihin. Juu- risyiden poistamisen ansiosta toiminnasta saadaan aikaiseksi tavoiteltavaa ”erinomaisuutta”. Juurisyiden poistamisen ansiosta saavutetaan myös parempaa tuottavuutta, kustannustehokkuut- ta sekä tuotteen tai palvelun laadun parantumista. Huomattavaa kuitenkin on, että toiminnan tar- koitus ei ole aikaan saada suoraan säästöjä, mutta poistamalla kaikki ”hukka” toiminnasta saa- daan sen seurauksena aikaiseksi rahallista hyötyä yritykselle myöhemmässä vaiheessa. (Liker & Convis 2012; Liker & Convis 2004, 8; Tuominen 2016, 86; Lean process 2016, viitattu 12.2.2017.)

Kun hukkaa poistetaan toiminnasta, vähentää se toiminnan lisäarvoa tuottamattoman työn osuut- ta. Yleensä yritykset pyrkivät lisäämään lisäarvoa tuottavaa toimintaansa kiinnittämättä huomiota ollenkaan lisäarvoa tuottamattomaan toimintaan, joka on suhteellisesti huomattavasti suurempi kuin lisäarvoa tuottava toiminta. Yleisesti lisäarvoa tuottamaton toiminta vastaa n. 95 % kokonais- toiminnasta ja vastaavasti lisäarvoa tuottavat toiminnat vain n. 5 %. (Gerhard 2012, 7 – 8; Fiore 2016, 8; Ung 2013; Ward 2009, 19 – 21; Tuominen 2010, 86.)

Lisäarvoa tuottavaksi toiminnaksi katsotaan kaikki se toiminta, josta loppuasiakas on valmis mak- samaan tuotteen tai palvelun hinnassa. Vastaavasti lisäarvoa tuottamaton toiminta on sitä työtä tai toimintaa, joka ei tuo arvon lisäystä lopputuotteelle. Lisäarvoa tuottavan ja tuottamattoman

toiminnan lisäksi on olemassa niiden välimuoto, pakollinen lisäarvoa tuottamaton toiminta, josta asiakas ei ole valmis maksamaan lopputuotteen hinnassa, mutta joka on pakko tehdä lopputuotteen aikaan saamiseksi. (Womack & Jones 2003, 15 – 21; Liker & Hoseus 2008, 44 – 47.)

Edellä mainittujen hukkatekijöiden poistamiseksi ja lisäarvoa tuottavan toiminnan lisäämiseksi Toyota onkin luonut monia omia työkaluja ja toimintatapoja yrityksen ja erehdyksen kautta, mutta he ovat myös ottaneet käyttöönsä muiden keksimät hyvät menetelmät ja työkalut, jos niiden on todettu edesauttavan toiminnan laadun ja tehokkuuden parantamisessa ja liittäneet ne osaksi omaa toimintaansa.

Toimintatavat ja työkalut, jotka on saatu sulautettua toimivaksi osaksi Toyotan järjestelmää, joskin niitä kaikkia on paranneltu tai sovitettu Toyotan toimintatavan ja tarpeiden mukaisiksi, on tuotu pysyväksi osaksi toimintamallia ja jatkuvan parantamisen sykliä. Esimerkkinä muiden keksimistä toimintatavoista voidaan käyttää Demmingin ympyränä tunnettua PDCA (Plan-Do-Check-Act) ongelmanratkaisun työkalua, josta on muodostunut jatkuvan parantamisen yksi tärkeimmistä työkaluista, minkä Toyota on liittänyt kiinteäksi ja pysyväksi osaksi omaa toimintaansa. (Liker & Convis 2004, 23; Shingo 1984, 46 – 47.)

Noudatettaessa ajattelutapaa, jossa olemassa olevaa tuotantojärjestelmää parannetaan ja muutetaan tarvittaessa, joudutaan tilanteeseen, jossa ei olekaan olemassa ”yhtä” ainoaa oikeaa Lean-työkalupakkia tai –toimintamallia, joiden avulla yritykset saavat toimintansa muutettua, vaan jokaisen yrityksen täytyykin sovittaa Lean-toimintatavat, -työkalut ja toiminnan mittarit omaan toimintaansa sopiviksi ja sitä palveleviksi. Kuitenkaan ei saa unohtaa tärkeimpiä periaatteita ja metodeja, joilla järjestelmää rakennetaan kestäväälle ja kehittyvälle pohjalle. (Liker 2012, 51, 83).

Lean-toimintatapoja noudattamalla yritysten on todettu saavan aikaan merkittäviä säästöjä ja kustannusten alentumista laadun parantuessa. Kuitenkaan kaikki yritykset eivät saavuta huipputuloksia Lean-metodeja käyttämällä. Siltikin niiden on tutkittu saavuttavan keskeisiä hyötytekijöitä toiminnalleen mm.

- pienentyneet varastot
- parantunut laatu
- alentuneet kustannukset
- tilatarpeen pieneneminen

- lyhentyneet läpimenoajat
- kasvanut tuottavuus
- parantunut toiminnan joustavuus
- parantuneet suhteet yhteistyökumppaneiden ja tavaran toimittajien kanssa
- yksinkertaistunut aikataulutus ja hallinta
- kohonnut kapasiteetti
- henkilöresurssien parempi käytettävyys
- kasvanut tuotevalikoima.

Lean-toiminnalla pyritäänkin jatkuvaan tehokkuuden parantamiseen, mutta sen ei ole silti tarkoitus korvata ihmistä korkealla automaatioasteella, vaan parantamalla kaikkia yrityksen toimintaprosesseja mm.:

- poistamalla resurssien ja ajan haaskauksen
- tekemällä laatua yrityksen järjestelmiin ja toimintoihin
- etsimällä luotettavia ja edullisia vaihtoehtoja uudelle ja kalliille tekniikalle
- parantamalla ja tehostamalla yrityksen prosesseja
- rakentamalla oppimisen ja kehittymisen kulttuuria yritykseen.

Yleensä Lean-toimintatavat ja -työkalut mielletään osaksi kappaletavaratuotantoa, jossa on suuremmat määrät erilaisia tuotevariaatioita kuin perinteisessä prosessiteollisuudessa tai palveluliiketoiminnassa, jossa tuotteiden variaatioiden ja vaihteluiden määrä on pieni. Silti Lean-metodien toimivuutta prosessiteollisuudessa ja palveluliiketoiminnassa on testattu onnistunein tuloksin, vaikka kaikki Lean-työkalut eivät soveltuisikaan suoraan tai parhaalla mahdollisella tavalla prosessi- ja palveluliiketoiminnan tarpeisiin. (Liker & Convis 2004, 14; Russell & Taylor 2011, 740 – 741; Fawaz 2003, 154; Floyd 2010, 23 – 25.)

4.1 Lean-toimintatavat ja -perustyökalut

Käytäntöjen ja kokemusten mukainen Lean-filosofia sisältää monia toimintatapoja, joilla pyritään saavuttamaan erinomaisuus ja viimeisenä päämääränä ”pohjantähti”. Lean-ajattelussa odotetaan että haasteisiin tartutaan rohkeasti ja ongelmia pyritään tuomaan esiin tarkoituksella, jotta niiden juurisyyt voidaan korjata.

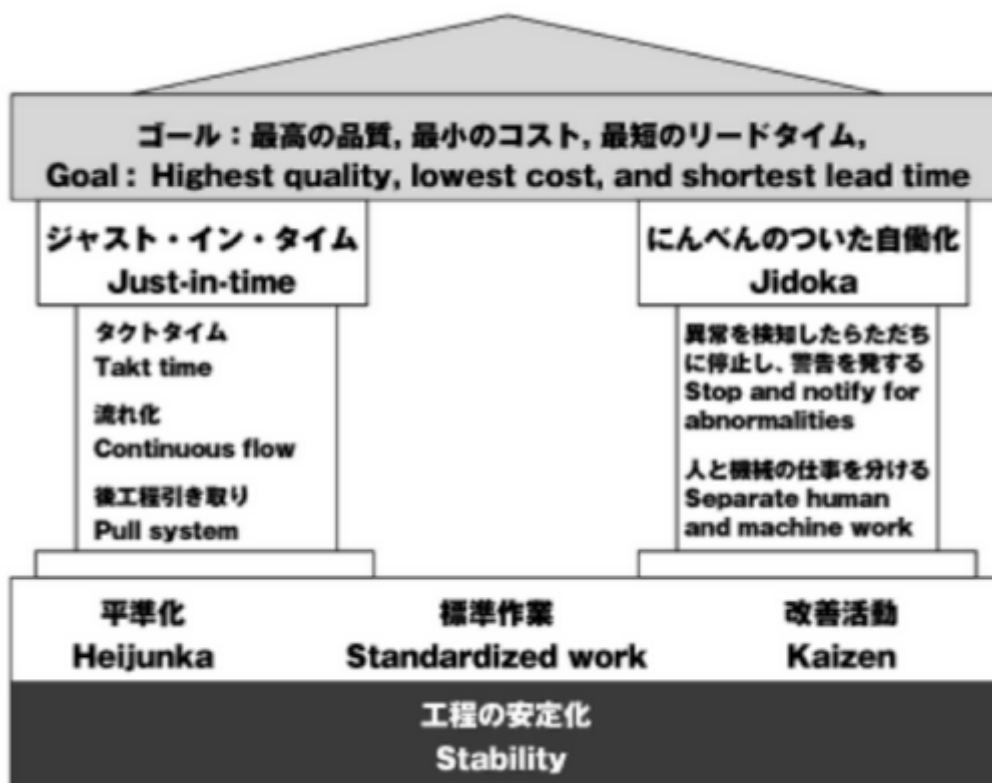
Juurisyiden korjaaminen onkin yksi Lean-filosofian keskeisimpiä ajatuksia, tällöin ei tyydytä vain korjaamaan rikkoutunutta asiaa tai laitetta vaan poistetaan koko rikkoutumisen aiheuttaja ongelman alkulähteeltä saakka. Näin vältytään siltä, että yritys ajautuu tekemään jatkuvaa tulipalojen sammuttamisia toimintansa ylläpitämiseksi. Juurisyiden poistaminen ja haasteisiin tarttuminen ja niiden ratkaiseminen vahvistavat yritystä ja auttavat saavuttamaan suuremmat tavoitteet sekä tehostavat ja parantavat toimintaa. (Liker & Convis 2012.)

Lean ei ole ainoastaan kasa erilaisia työkaluja, joita käytetään tarvittaessa vaan pitkälle jalostettu ja hienostunut tuotanto- ja toiminnanohjausjärjestelmä, jossa kaikki toiminnot vaikuttavat kaikkeen kokonaisuutena ja joka pakottaa yrityksen seuraamaan tilannetta, muuttumaan ja kehittymään jatkuvasti muuttuvan ympäristön mukana (Liker & Convis 2004, 34).

Lean-ajattelua pyritään yleensä kuvaamaan talona, joka rakentuu stabiilin perustuksen päälle. Perustukset kuvaavat toiminnan vakautta ja mitä vakaampaa toiminta on, sitä vähemmän siinä ilmenee ongelmia ja virheitä. Virheiden ja ongelmien vähentymisen ansiosta tuotanto toimii tasaisemmin ilman keskeytyksiä, minkä seurauksena saavutetaan laadun ja asiakastytyvyyden kasvamista alenevilla kustannuksilla.

Alkuperäisessä Toyotan käyttämässä kuvion 3 mukaisessa Lean-talon mallissa oikean puoleisella pilarilla kuvataan aikaan liittyviä tuotannon ja toiminnan määritteitä, eli millä tavalla tuotanto on organisoitu ja mitkä tekijät vaikuttavat tuotannossa ja toiminnassa käytettävään aikaan. Vasemman puoleisella pilarilla kuvataan laatuun ja kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä. Talon katolla kuvataan päämäärää, eli mitä halutaan tavoitella.

Talon pystyssä pysymisen edellytys onkin perustusten ja pilareiden kestävyys, niiden oikea suhde toiminnassa sekä jatkuva parantaminen ja kehittäminen. Kaikkien toimintojen tasapainottaminen ja jatkuva parantaminen on ainoa keino saavuttaa kaikessa toiminnassa sisäänrakennettua laatua.

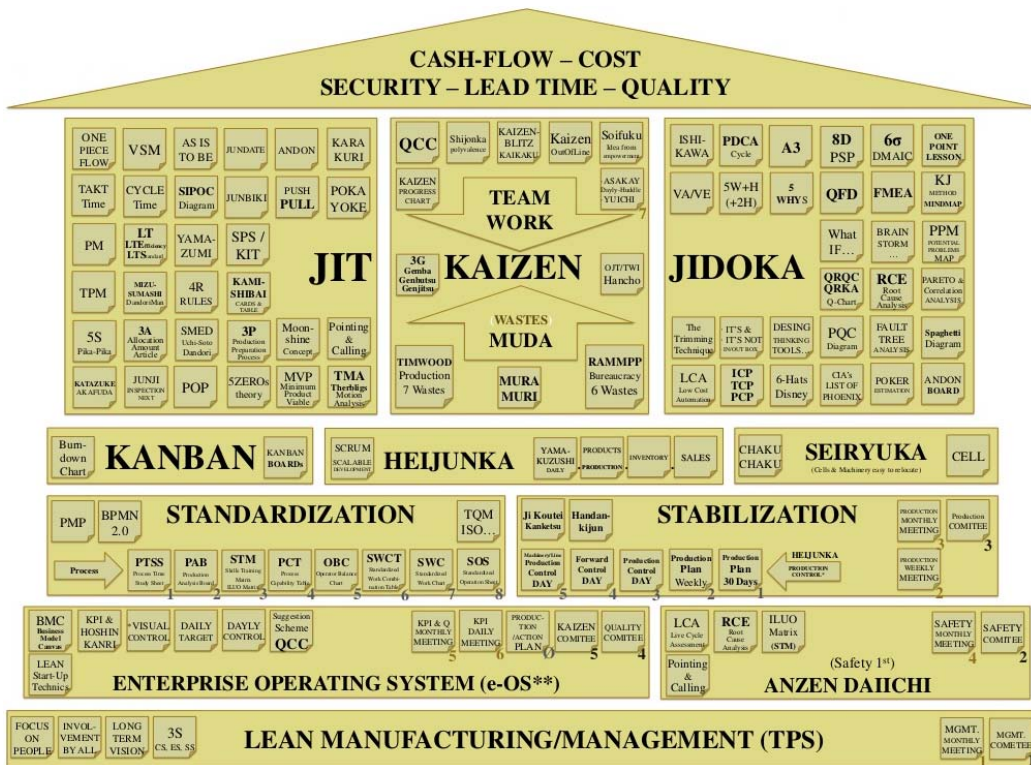


KUVIO 3. Alkuperäinen Toyotan Lean-talo

Alkuperäisen TPS-tuotannonohjausjärjestelmän mukautuessa koskemaan koko yrityksen toimintaa on siihen sulautettu lisää uusia toimiviksi havaittuja työkaluja ja menetelmiä, mutta perusajatus on edelleen pysynyt samana.

Vertaamalla kuvioita 3 ja 4 nähdään, kuinka laajasti Lean-toiminta on laajentunut alkuperäisten muutaman toimintatavan ja työkalun mallista kokonaiseksi johtamisen ja jatkuvan parantamisen menetelmä- ja työkalupakiksi. TPS-menetelmän laajeneminen ohjaamaan koko yrityksen toimintaa olikin Taiichi Ohnon haave hänen vielä luodessaan alkuperäistä tuotannonohjausjärjestelmää.

Kuvion 4 Lean-talo on kuitenkin vain erään toimijan näkemys nykypäivän tilanteesta ja kuten aiemmin on mainittu, jokainen yritys luo oman Lean-talonsa tarpeellisten menetelmien pohjalta, kuitenkin unohtamatta alkuperäistä ajatusta jatkuvasta parantamisesta ja sisään rakennetusta laadusta. (Ohno 1988; Fekete & Hulvej 2014; Koichi Kimura Institute 2016, viitattu 7.4.2017, Lean Experience 2017, viitattu 4.4.2017.)



KUVIO 4. Nykyaikainen Lean-talo

Osana Lean-tuotannonohjauksen ja kehittämisen tärkeimpiä työkaluja ja toimintatapoja voidaan kuitenkin pitää seuraavissa luvuissa esitetyjä menetelmiä ja työkaluja. (Ohno 1988; Lean production 2016, viitattu 28.3.2017; Process excellence network 2013, viitattu 28.3.2017.)

4.2 Kaizen

Kaizen on jatkuvan parantamisen menetelmä. Kaizenin avulla pyritään poistamaan hukkaa tuotannosta ja toiminnoista. Hukan poistamisen kautta pyritään parantamaan yrityksen kaikkea toimintaa. Kaizen toiminta voidaan jakaa kahteen osaan: Virtaus Kaizen joka keskittyy arvovirtauksen kasvattamiseen materiaalin ja informaation kulkua parantamalla. Prosessi Kaizen puolestaan pyrkii eliminoimaan hukka tekijöitä tuotannosta ja toiminnasta. Molemmat ovat tärkeitä yrityksen toiminnan kannalta. Riippumatta siitä kumpaa Kaizenia käytetään, niiden toteuttaminen tukee myös toisen toimintaa. (Rother & Shook 2009, 6.)

Kaizen onkin ongelman ratkaisuun ja jatkuvaan parantamiseen tarkoitettu menetelmä, jossa ongelman ratkaisu ja jatkuva parantaminen on koko organisaation tehtävä. Kolme tärkeintä tekijää jatkuvan parantamisen mahdollistamiseksi ja ongelmien poistamiseksi ovat

- ongelmien löytäminen
- ongelmien selkeyttäminen
- juurisyiden löytäminen ja poistaminen.

Kaizeniin perustuvassa ongelman ratkaisussa on tärkeää päästä eroon valitsevan nykytilan hyväksymisestä ja on ymmärrettävä ja sisäistettävä, että tuotannon ja toimintojen kehittämisen esteenä on ongelmia jatkuvasti, havaitsimmepa niitä tai emme. Ongelmia tuleekin aktiivisesti ja määrätietoisesti etsiä sekä tuoda esiin, jotta ne voidaan poistaa ja estää ennen niiden todellista ilmaantumista, näin toimimalla niiden aiheuttamat vahingot ja haittatekijät voidaan minimoida ja estää. (Shingo 2007, 13 – 16; Tuominen 2010, 106 – 107; Kaizen insitute 2016, viitattu 20.12.2016.)

4.2.1 Standardisoitu työ

Työn standardisoinnin avulla on tarkoitus määritellä suoritettavan työn toimintatavat siten, että jokainen työnsuorittaja tekee kyseiset tehtävät aina samalla tavalla. Näin varmistetaan, että suorittajasta riippumatta laatu pysyy aina samanlaisena. Standardisoidun työn merkitys kasvaa sen myötä mitä monimutkaisempi työtehtävä on kyseessä, yksinkertaisessa työtehtävässä ei tarvita yhtä paljon standardisointia kuin monimutkaisessa työssä.

Vakiinnuttamalla parhaat toimintatavat sekä työjärjestys pystytään niissä piileviin ongelmiin ja virheisiin puuttumaan helpommin ja aiemmin kun poikkeama standardista herättää heti huomiota. Standardisoidun työn tarkoitus ei ole pelkästään vakiinnuttaa työtapoja vaan kehittää niitä jatkuvasti paremmiksi. Aina kun työn suorittamiseen löytyy parempi tai tehokkaampi tapa, jolla haluttu lopputulos saadaan aikaiseksi, muodostetaan siitä uusi standardi. Standardisoitu työ onkin yksi jatkuvan parantamisen ja oppimisen keskeisimmistä tekijöistä. (Shingo 1984, 62 – 65; Lean.org 2017, viitattu 5.4.2017.)

4.2.2 5S ja 6S

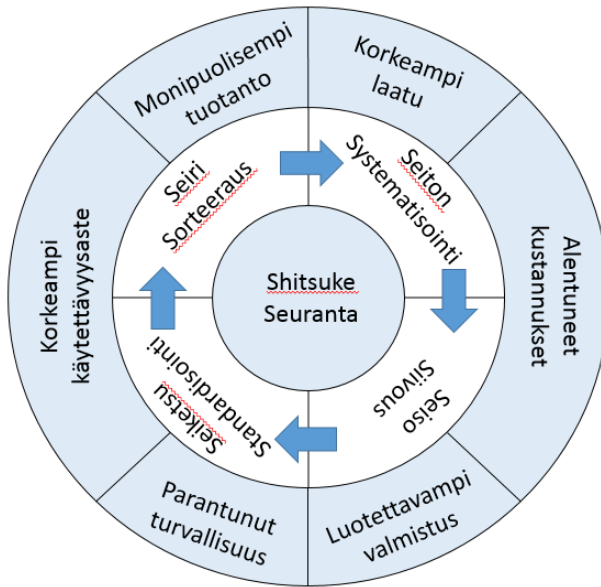
Japanissa kehitetty 5S järjestelmä on myös tuotu osaksi Lean-toimintaa ja se on työympäristön ja työtapojen organisointiin ja standardisointiin tarkoitettu menetelmä. 5S menetelmän tarkoitus on

kasvattaa työn tuottavuutta poistamalla työtavoista ja työpaikoilta kaikki arvoa tuottamattomat toiminnot ja tavarat. Menetelmän avulla saadaan lisättyä myös laatua, turvallisuutta ja työviihtyvyyttä. 5S menetelmä on nykyisin oleellinen osa Lean-periaatetta ja yksi sen perustyökaluista (Wikipedia 2016b, viitattu 9.10.2016.)

5S nimitys tulee viidestä s-kirjaimella alkavasta japaninkielisestä sanasta, joiden avulla 5S-järjestelmää kuvataan ja joiden avulla pyritään saavuttamaan järjestelmälle ja toiminnalle asetut tavoitteet

- Seiri = Sortteeraus, jonka tehtävä on poistaa kaikki tarpeeton työpaikalta
- Seiton = Systematisointi, jolla kehitetään hyviä varastointitapoja ja visuaalisia merkitsemistapoja tavaroille
- Seiso = Siivous, jonka tehtävä on määrittää työpaikan järjestelmällinen siivous
- Seiketsu = Standardisointi, jonka avulla vakioidaan parhaat mahdolliset työ- ja toimintatavat yhteistyössä koko henkilöstön kanssa
- Shitsuke = Seuranta, jonka avulla edellä mainittujen kohtien toteuttamisen jälkeen sovietaan ja sitoudutaan siihen, että menetelmiä noudatetaan ja kehitetään edelleen. (Sixsigma 2016b, viitattu 9.10.2016.)

Kuviossa 5 on esitetty 5S-järjestelmän toiminnot, niiden kierto ja järjestelmällä saavutettavat hyödyt toiminnoittain.



KUVIO 5. 5S järjestelmän kierto ja toimintojen vaikutukset (Power solutions international 2012, viitattu 9.10.2016)

5S menetelmä yksi parhaista työkaluista, jolla voidaan aloittaa Lean-menetelmiin nojaava toiminta, koska sen avulla saavutetaan nopeasti näkyviä ja mitattavissa olevia tuloksia. Mutta kuten Lean-ajattelu itsessäänkin niin myös 5S menetelmä on jatkuva prosessi, jonka avulla löydetään aina parannettavaa ja kehitettävää. (Lean lion 2016, viitattu 13.10.2016.)

6S menetelmä on pidemmälle jalostettu versio 5S menetelmästä, johon on lisätty yksi ”ässä” – Safety. Vaikka 5S menetelmä tuottaa lisäarvona lisääntyntä turvallisuutta niin 6S menetelmässä turvallisuudelle on annettu korostettua ja näkyvää lisä painoarvoa menetelmän toteutuksen yhteydessä. Yhdistämällä muut Lean-toimintatavat 5S- tai 6S- järjestelmään saavutetaan tutkitusti

- korkeampi tuottavuus
- vähemmän tuote- ja valmistusvirheitä
- aikataulujen ja tuotannon parempi hallinta
- turvallisempi työympäristö
- tuotteiden ja tuotannon laadun kohoaminen
- ongelmien nopeampi paikantaminen ja poistaminen
- henkilökunnan keskinäisen viestinnän parantuminen
- työntekijöiden parantunut vastuunkanto työpisteiden sekä laitosten kunnon ja käytettävyyden ylläpitämisestä

- hukan ja kulujen vähentyminen ja laadun parantuminen järjestelmällisemmän työpaikan ansiosta
- miellyttävämpi ja turvallisempi työympäristö
- muuttunut henkilöstön ajattelutapa, joka kannustaa jatkuvaan kehittämiseen ja parantamiseen. (McMahon 2008; Lean manufacturing tools 2017, viitattu 9.2.2017.)

4.2.3 Heijunka

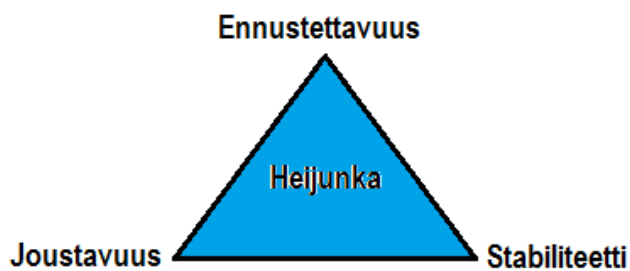
Heijunka eli tuotannon tasapainottaminen on Lean-työkalu, jonka avulla pyritään saamaan tuotannon välivaiheet tasapainoon siten, että tuotannon jatkokäsittely voidaan suorittaa tasaisella ja ennakoivalla tavalla. (Tuominen 2010, 78 – 79; Shingo 1984, 57 – 59; Wikipedia 2016c, viitattu 11.12.2016)

Tuotantokapasiteetin vaihteluiden muutokset tuotannossa muodostavat aina hukkaa, koska laitteiden, ihmisten, välikvarastojen ja muiden tuotantoon liittyvien tekijöiden täytyy aina sopeutua muutoksiin sekä valmistautua tuotantopiikkeihin tai tuotannon alenemiseen. Jokainen vaihtelu tuotannon eri vaiheissa aiheuttaa aina kasvavaa vaihtelumäärää muihin tuotantoprosessin vaiheisiin. (Ohno 1988, 126.)

Tuotannon tasapainon saavuttamiseksi tuotantokapasiteetti täytyy tasapainottaa siten, että kaikki tuotantoprosessin eri vaiheet kaikkien tuotevariaatioiden kanssa palvelevat asiakkaiden kysyntää parhaalla mahdollisella tavalla, ilman pitkiä toimitus- tai odotusaikoja tuotteen tai palvelun saamiseksi. Tuotannon tasapainottamisella saavutetaan tuotannon tehokkuuden ja laadun parantamista pienentyneillä varastoilla, pääomilla ja henkilöresurssien käytöllä. (Ohno 1988, 12 – 13; Tuominen 2010, 79; Wikipedia 2016c, viitattu 11.12.2016; iSixSigma 2014, viitattu 11.12.2016.)

Tuotannon tasapainottaminen on helppoa tuotteilla, joiden kysynnässä on vähäistä vaihtelua ja tuotevariaatioiden määrä on pieni. Mutta tuotteilla, joiden kysyntä vaihtelee ja tuotevariaatioiden määrä on suuri, tuotannon tasapainottaminen on monimutkaisempaa. Tässä tilanteessa on hyväksyttävää käyttää kahta lähestymistapaa tuotannon tasapainottamiseksi: kysynnän tasapainottaminen ja tuotannon tasapainottaminen joustavan valmistuksen kautta. (Wikipedia 2016c, viitattu 11.12.2016; iSixSigma 2014, viitattu 11.12.2016.)

Heijunkan avulla tehtävä tuotannon tasapainottaminen on tasapainottelua tuotannon joustavuuden, kysynnän ennustettavuuden ja kysynnän stabiliteetin välillä. Kuviossa 6 on esitetty edellä mainittujen tekijöiden välinen riippuvuus toisistaan. Asiakkaista lähtöisin oleva epätasainen ja vaihteleva kysyntä pyritäänkin muuttamaan Heijunkan avulla ennustettavaksi tuotantoprosessiksi. Heijunkan avulla pyritäänkin määrittämään ja pitämään keskimääräinen tuotantokapasiteetti käytössä. (Tuominen 2010, 79; Reyner & Fleming 2004, viitattu 11.12.2016; iSixSigma 2014, viitattu 11.12.2016; Toyota 2013, viitattu 11.12.2016.)



KUVIO 6. Joustavuuden, ennustettavuuden ja stabiliteetin keskinäinen riippuvuus

Tuotantomäärien tasapainottaminen kysyntää vastaavaksi voidaan suorittaa kolmella eri tavalla: Kapasiteetin tasoittamisella, tällöin ei valmisteta yhtään enempää tuotteita kun tuotanto pystyy käsittelemään ja joka päivä pyritään valmistamaan täsmälleen sama tuotemäärä. Kapasiteetin tasoittaminen on yksinkertaisin keino tuotannon tasapainottamiseksi. Erävalmistus on toinen tapa, jossa tuotteita valmistetaan tiettyjä eriä määrääjain, tämä on yleisin käsitys Heijunkan avulla suoritetusta tuotannon tasapainottamisesta. Kolmantena tapana on yksiosainen virtaus, jossa tuotetaan sama kokonaismäärä päivittäin ja pyritään samalla tyydyttämään asiakkaiden vaihtelevaa kysyntää jakamalla tuotteiden valmistus tasaiseksi virraksi koko päivän ajalle. Tuotannon tasapainottamisen kannalta tämä on hankalin ja vaativin tapa toimia, mutta silti saavutettavien tuloksien suhteen kaikkein tehokkain.

Yksiosaisen virtauksen saavuttamiseksi imuohjauksen toteuttaminen tuotantoprosessin ohjaamiseksi on lähes välttämätöntä, jotta on mahdollista saavuttaa tilanne, jossa asiakas määrää tuotannon tahdin. (Hirano & Furuya 2006, 115 - 117; Ohno 1988, 38 – 40; AllAboutLean 2014, viitattu 6.2.2017; Lean-Manufacturing-Japan 2008, viitattu 7.2.2017.)

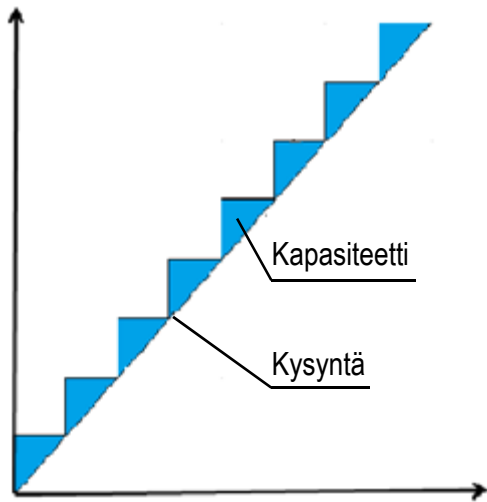
4.2.4 Kapasiteetti

Kapasiteetilla mitataan maksimissaan saavutettavaa suoritustasoa jonkin aikayksikön sisällä esim. m³/h. Kapasiteetin mittausta tapahtuu yleensä yrityskohtaisesti jokaisen yrityksen parhaaksi katsomallaan mittarilla. (Haverila ym. 2009, 399; Martinsuo ym. 2016, 272.)

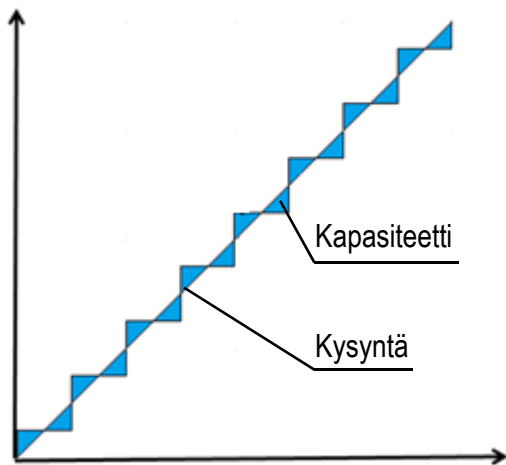
Kapasiteetin käyttöön vaikuttava tekijä on menekinvaihtelujen hallinta. Yleensä kapasiteetin muunnettavuus on pienempi kuin menekinvaihtelu. Menekinvaihteluihin voidaan varautua varastoimalla tuotteita, jos se on mahdollista. Tosin varastointi aiheuttaa aina lisäkustannuksia. (Haverila ym. 2009, 414; Martinsuo ym. 2016, 272 – 273.)

Yrityksen täytyy päättää, millaista tuotantostrategiaa se tulee käyttämään ja miten se mitoittaa oman tuotantokapasiteettinsa suhteessa kysyntään. Näitä valintoja tehdessä yrityksen tulee miettiä miten se vastaa valinnoillaan kysynnän aiheuttamiin muutoksiin ja millaisilla tiedostetuilla riskeillä valinnat tehdään.

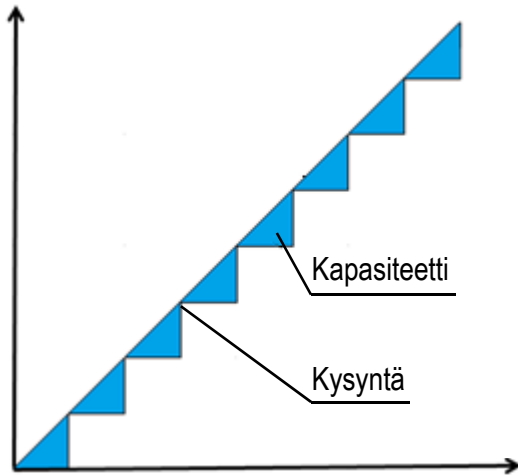
Valinta yrityksen tuotantostrategian ja tuotantokapasiteetin mitoituksesta voidaan tehdä pääsääntöisesti kolmesta eri näkökulmasta katsoen, joiden perusteella tuotantokapasiteetti voidaan mitoittaa: Kuviossa 7 esitettyä aggressiivista tuotantostrategiaa käyttämällä, jossa tuotantokapasiteetti mitoitetetaan suuremmaksi kuin kysyntä. Tällöin voidaan vastata nopeasti kasvavaan kysyntään ja palvella asiakkaita. Aggressiivisen tuotantostrategian valinta on hyvä vaihtoehto silloin, kun kilpailijat ovat valinneet toisenlaisen tuotantostrategian. Maltillisen tuotantostrategian valinta on toinen tapa mitoitukseen, jossa tuotantokapasiteetti mitoitetetaan vastamaan keskimääräistä kysyntää. Maltillisessa tuotantostrategiassa ylituotannon aiheuttamia varastoja pienennetään vähentämällä tuotantoa ja aiheuttamalla vajetta asiakkaille. Tuotantokapasiteetin vaihtelut kysynnän suhteen on esitetty kuviossa 8. Kolmas tapa tuotantokapasiteetin mitoitukseen on kuviossa 9 esitetty varovainen tuotantostrategia. Varovaisen tuotantostrategian valinnalla tuotantoa ei koskaan kasvateta vastaamaan asiakkaiden kysyntää, vaan tuotetaan jatkuvasti vähemmän kuin asiakkaat olisivat valmiit ostamaan.



KUVIO 7. Aggressiivisen tuotantokapasiteetin mitoitus



KUVIO 8. Maltillisen tuotantokapasiteetin mitoitus



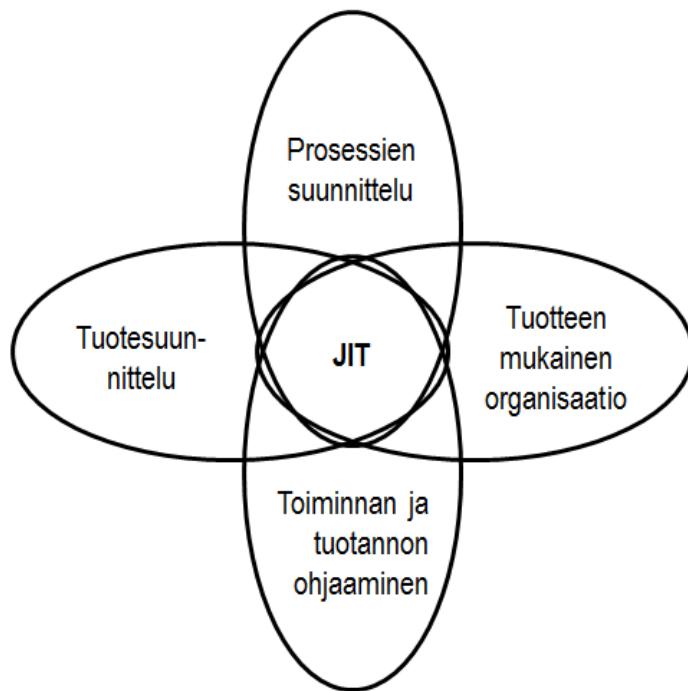
KUVIO 9. Varovaisen tuotantokapasiteetin mitoitus

Kapasiteetin mitoituksen valintaan vaikuttavat myös alihankinnan saatavuus ja kustannukset, varastointimahdollisuudet ja asiakkaiden vaatimat toimitusajat. (Haverila ym. 2009, 366; Russel & Taylor 2011, 258 – 259.)

4.3 Just in time

Just in time eli JIT- tuotantoperiaatteen tarkoitus on koko yrityksen kannattavuuden parantaminen työn tuottavuuden lisäämisellä sekä turhan työn vähentämisellä niin tehtaissa kuin toimistoissa-kin. Suurin huomio kiinnitetään kuitenkin sidottuun pääomaan ja kaikki ylimääräiset varastot pyritään poistamaan.

Keskeisiä keinoja JIT- tuotantoperiaatteen toiminnassa on henkilöstön osallistumisen ja aktivoinnin lisääminen, tuotteen kehittäminen, tuotteen mukaisen organisaation luominen sekä toiminnan ohjaamisen keinot. Kuviossa 10 on esitetty toimintatapojen periaatteiden kytkeytymien toisiinsa JIT-tuotannossa. (Kajaste & Liukko 1994, 11; Yamashina 1982, 8.)



KUVIO 10. JIT- toiminnan periaatteiden keskinäinen riippuvuus

Tuotannossa JIT -periaate tarkoittaa sitä, että jokaisen prosessin ja prosessivaiheen on tuotettava tai toimitettava juuri oikea määrä, juuri oikeaan aikaan ja juuri oikeaa laatua. (Shingo 1984, 40.)

4.3.1 Työntö- ja imuohjaus

Yleisin massatuotannossa käytettävä ohjausmenetelmä on nk. työntöohjaus, jossa tuotetta tai tuotteita valmistetaan kysynnästä huolimatta varastoon odottamaan asiakasta. Nimensä mukaisesti työntöohjauksessa tuotantoprosessin edellinen vaihe työntää tuotetta tuotantolinjastoa pitkin eteenpäin seuraaville prosessivaiheille. Työntöohjauksessa kysyntä ei määrää tarvittavaa kapasiteettia vaan valmistusmäärät perustuvat ennalta päätettyihin tuotantomääriin.

Imuohjauksessa asiakkaan kysyntä käynnistää tuotantoprosessin, joka toimii työntöohjaukseen nähden ”väärin päin” ja siinä edellinen tuotantovaihe tilaa tarvittavat materiaalit ja raaka-aineet edelliseltä tuotantovaiheelta. Imuohjauksen etuna verrattuna työntöohjaukseen voidaan pitää pienentyneitä varastokokoja, laadun parantumista ja alentuneita kustannuksia, koska imuohjauksessa tuotantomäärät perustuvat suoraan asiakkaiden kysyntään.

Työntö- ja imuohjausta esiintyy todellisuudessa todella harvoin sen todellisessa merkityksessä, sillä usein tuotannonohjaus on sekoitus työntö- ja imuohjausta, joiden avulla on saatu aikaiseksi paras mahdollinen lopputulos. (Shingo 1984, 57; Logistiikan maailma 2017b, viitattu 15.3.2017; Shmula.com, viitattu 15.3.2017.)

4.3.2 Kanban

Kanban on olennainen osa imuohjatusta. Kanbaneja on toiminnassa yleensä kahdenlaisia, kutsu- ja tilaus- Kanbaneja. Molemmat Kanbanit ovat yleensä paperisia tai pahvisia kortteja. Kanbaneja käytettäessä tuotannon viimeinen vaihe antaa aina tuotteen valmistusmääräyksen ja tilaa edelliseltä tuotantovaiheelta tarvittavat materiaalit.

Kutsu- Kanban kortilla määritellään materiaalmäärä, jonka myöhempi tuotantovaihe tarvitsee edelliseltä tuotantovaiheelta saavuttaakseen omat tavoitteensa. Tilaus- Kanban puolestaan määrittää aiemmalle tuotantovaiheelle tuotemäärän, jonka sen täytyy toimittaa seuraavalle tuotantovaiheelle.

Kanbanien käytölle on asetettu tiettyjä rajoituksia, jotta niiden toiminta ja tehokkuus voidaan varmistaa. Poikkeaminen rajoituksista johtaa Kanban- järjestelmän toimimattomuuteen. Edellä mainittuja rajoituksia ovat:

- seuraavan prosessin on tilattava vain sen, mitä se tarvitsee ja kutsut ilman Kanban korttia tulee estää
- toimitetaan vain se minkä seuraava prosessivaihe on tilannut
- Kanban tulee aina kiinnittää fyysiseen osaan
- aiemman prosessivaiheen tulee valmistaa vain se määrä tuotetta, minkä seuraava prosessivaihe on tilannut ja ylituotanto tulee estää
- kaikkien aiempien prosessivaiheiden tulee seurata seuraavan prosessivaiheen tekemää tilausta
- huonolaatuista tai viallista materiaalia ei saa toimittaa eteenpäin prosessissa
- Kanbanien lukumäärä tulee pitää mahdollisimman pienenä ja niiden määrää tulee pyrkiä jatkuvasti vähentämään

- Kanban on hienosäätötyökalu, joka ei voi korvata tuotannonohjausta, eikä sillä saa tilata koko tuotteen tarvitsemia tarvikkeita yhdellä kerralla
- tuotantomääriä täytyy kyetä tasoittamaan määrätietoisesti.

Pidemmälle viedyissä järjestelmissä myös tavarantoimittajat ja alihankkijat ovat kytkettynä samaan Kanban- korttien kiertokulkuun. Näin pystytään varmistamaan varastojen pienin mahdollinen koko ja oikean materiaalin saapuminen oikeaan aikaan tuotannon tarpeisiin. (Monden 1983, 14 – 34.)

4.3.3 Lämpäisy aika

Toisen maailmansodan jälkeen kun Toyotan täytyi täyttää monen asiakkaan vaatimukset he tekivät heti tärkeän huomion tehokkuuteensa ja laatuunsa liittyen. Lämpimenoaikojen lyhentämisen ja tuotantolinjojen joustavuuden ansiosta he saivat aikaan joustavia prosesseja, joiden ansiosta asiakkaat saivat mitä halusivat, silloin kun he halusivat ja vieläpä paremmalla laadulla ja edullisemmalla hinnalla kuin mitä kilpailijat pystyivät toimittamaan. (Liker & Convis 2012, 8.)

Lämpäisyajalla tai läpimenoajalla kuvataan kokonaisaikaa, jonka tuotteen tai palvelun toteuttaminen alusta loppuun asti kuluttaa. Lämpäisyaikaa mitataan aikasuureilla tapauskohtaisesti, jokaisen yrityksen omien tarpeiden mukaan. Jos tuotteen valmistaminen kestää minuutteja on lämpäisyaikaa turhaa ilmoittaa tunteina tai päivinä. (Haverila ym. 2009, 401; Tuominen 2010, 28 – 30.)

Lämpäisyajan lyhentämisen on todettu parantavan yrityksen toimintaa, laatua sekä kilpailukykyä vähentämällä tarvetta varastoida tuotteita. Tämän ansiosta lämpäisyajan lyhentämisestä on tullutkin yksi keskeisimmistä tekijöistä ja keinoista tuotannon kehittämisessä.

Lämpäisyajan lyhentäminen mahdollistaa nopeammat toimitusajat sekä pienentyneet varastot etenkin keskeneräisillä tuotteilla. Lämpäisyajan lyhentäminen helpottaa myös tuotannonohjausta ja vähentää myynninmenetyksiä sekä viallisten tuotteiden valmistusta. Mitä enemmän toiminta on asiakastilauksperustainen sitä tärkeämmäksi lämpäisyajan lyhentäminen ja tuotannon joustavuus tulevat. (Haverila ym. 2009, 401; Tuominen 2010, 28 – 30; Väänänen 1983, 4 – 6, 140; Teknologia teollisuus 2014, 8; Quality America inc. 2013, viitattu 19.2.2017.)

4.3.4 Arvovirtauskaavio

Arvovirtauskaavio eli Value Stream Mapping (VSM) on yksi Lean-toiminnan tärkeimmistä työkaluista. Tämän työkalun avulla voidaan tunnistaa materiaalien ja informaation arvovirtojen kulku sekä ongelmakohdat visuaalisesti ja saadaan luotua parannustoimenpiteet ko. epäkohdille.

VSM:n avulla saadaan myös määriteltyä lisäarvoa tuottavan ja lisäarvoa tuottamattoman työn virtauksen suhde toiminnassa ja tuotannossa, joiden avulla luodaan suunnitelma tulevia kehityskohteita varten. VSM:n avulla saadaan selkeästi selvitettyä tuotannon tai toimintojen ohjaaminen, eli ovatko kyseiset toiminnot Lean-metodien mukaisesti imuohjattuja ja tarpeellisia vai aiheutuuko niistä hukkaa toimintaan ja tuotantoon.

Arvovirtauskaaviota voidaan myös käyttää tiedon välittämisen työkaluna, liiketoiminnan suunnittelun työkaluna ja prosessimuutosten hallinnan työkaluna. Arvovirtauskaavio ei ole pelkästään tuotannon tutkimiseen ja suunniteluun tarkoitettu työkalu. (Rother & Shook 2009.) Arvovirtauskaavioiden määrittäminen on olennainen osa Lean-työkalupakkia, jonka avulla saadaan aikaiseksi seuraavat asiat:

- yksikköprosesseja suurempi visuaalinen kuva tuotannosta
- arvovirtauskaavio auttaa näkemään hukkaa aiheuttavat tekijät virtauksessa
- saadaan yhteinen käsitys tuotantoprosessin tilasta
- saadaan virtaukseen liittyvät päätöksenteot näkyviksi, muutoin yksityiskohtia koskevia päätöksiä tehdään oletusarvoisesti
- se kerää yhteen Lean-ajattelun ja -työkalut ja näin ollen estää pelkän ”kerman” kuorimisen päältä
- arvovirtauskaavio luo perustan päätöksenteolle siitä, miten tuotantoprosessin tulisi toimia
- se esittää, miten materiaali- ja informaatiovirtaus liittyvät toisiinsa tuotannossa
- se on laadullinen työkalu, joka kertoo, miten laitoksen tuotannon tulisi toimia, jotta aikaansaadaan yksiosainen virtaus (Rother & Shook 2009, 2).

Arvovirtauskaavion avulla laaditaan ensin nykytilanteen mukainen arvovirtakaavio kulkemalla tuotantoprosessia läpi loppupäästä alkuun ja piirtämällä prosessin materiaali- ja informaatiokulku ylös paperille. Seuraavaksi piirretään haluttu tulevaisuuden suunnitelma siitä, miten prosessin

tulisi toimia ja mihin lopputulokseen kaikilla tehtävillä toimilla tähdätään. Tämän jälkeen luodaan suunnitelma kuinka saadaan aikaiseksi haluttu muutos prosessiin. Kun haluttu muutos on saavutettu, laaditaan uusi tulevaisuuden arvovirtauskaavio seuraavia muutoksia varten. Tärkeintä on, että aina on olemassa uusi tulevaisuuden suunnitelma jatkuvan kehittämisen ja parantamisen ylläpitämiseksi. (Rother & Shook 2007; Russell & Taylor 2011, 746 – 747.)

4.3.5 Jatkuva virtaus

Jatkuva virtaus tarkoittaa kaiken arvoa tuottamattoman toiminnan poistamista toiminnoista. Näin toiminnan tai tuotannon virtaus toimii ilman rajoitteita ja hukkaa. Jatkuvan virtauksen saavuttamiseksi puskurivarastoiden käyttämisestä pitää pyrkiä eroon, varastoihin varastoitavat tuotteet aiheuttavat laatu- ja virhevalmisteiden piiloutumista.

Jatkuvaa virtausta tavoiteltaessa eräkoon tavoitteeksi tulee asettaa yksi, jolloin kaikkeen yhden tuotteen tuottamisesta aiheutuvaan hukkaan päästään puuttumaan. Jatkuvan virtauksen avulla toiminnassa saavutetaan

- sisäänrakennettua laatua
- joustavuutta
- tuottavuuden parantumista
- varasto- ja lattiapinta-alan vapautumista
- työntekijöiden parantunutta turvallisuutta ja moraalialia.

Jatkuvalla virtauksella saavutettavat hyödyt ovat selkeitä, kun toiminnassa säästetään aikaa ja materiaaleja, jolloin lopputuloksena saavutetaan kevyempi ja kustannustehokkaampi toimintamalli. (Liker & Hoseus 2008; General kinematics 2014, viitattu 9.4.2017.)

4.4 Jidoka

Jidoka eli autonomaatio on toimintamalli, jolla pyritään yhdistämään inhimillinen äly koneeseen, jonka avulla saadaan kone pysähtymään ongelman, toimintahäiriön, laatuvirheen tai jokin muun normaalista poikkeavan tilanteen ilmentyessä toiminnassa.

Jidoka nimityksellä on kaksi eri merkitystä. Ensimmäinen on ihmistyövoimasta siirtyminen koneelliseen tuotantoon, jolloin kone toimii itsenäisesti mutta ei osaa reagoida laatu- tai tuotantovirheisiin. Toinen merkitys on automaattinen virheiden tunnistaminen, joka yleisimmin tunnetaan termillä ”ihmisläheinen automaatio”.

Toimintatavan ajatus on, että edellä mainittujen poikkeamien ilmettyä käyttäjä pystyy puuttumaan niihin mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ja estämään virheellisen tai viallisen suoritteiden pääseminen eteenpäin toimintaketjussa.

Virheiden ja poikkeamien poistamisen ja ehkäisemisen lisäksi autonomaatiolla on muitakin yhtä merkittäviä vaikutuksia. Autonomaation avulla myös parannetaan laatutasoa ja vähennetään kustannuksia estämällä poikkeavien tai virheellisten osien eteneminen prosessissa. Edellä mainitut laatutason parantumiset ja kustannusten alenemiset saavutetaan vähentämällä työvoiman tarvetta autonomaation avulla ja siirtämällä ihminen tekemään sellaisia tehtäviä, joita kone ei pysty tekemään.

Autonomaation avulla voidaan myös mukauttaa tuotantoa vastaamaan asiakkaiden vaatimuksia. Vaikka nimitys autonomaatio viittaa usein selkeästi automaatioon, ei se rajoitu pelkästään koskemaan koneiden toimintaa, vaan sen periaatteita voidaan laajentaa koskemaan myös ihmisten tekemää työtä. (Monden 1983, 140 – 142.)

4.4.1 Andon

Andon terminä tarkoittaa merkkiä tai signaalia, jolla ilmaistaan jonkin olevan vialla. Andon onkin yksi Jidokan laadunvarmistamisen tehokkaimmista ja yksikertaisimmista keinoista. Andonin periaate on, että se pysäyttää koko tuotantolinjan, jos siellä ilmenee poikkeamia tai ongelmia. Linjasto pysyy pysähdyksissä niin kauan, että pysäyttämisen aiheuttanut poikkeama tai ongelma saadaan poistettua. Linjaston pysäyttämisen velvollisuus on määritetty kaikille työntekijöille.

Toiminnaltaan Andon on yksinkertainen käyttää, siinä työntekijän pysäyttäessä linjaston syttyy merkkivalo tai annetaan jokin muu visuaalinen merkki linjaston sille kohdalle, jossa pysäytys on tehty ja henkilöt, joiden vastuulla kyseisen alueen toiminnot ovat, rientävät paikalle poistamaan ja

ratkaisemaan ongelman välittömästi. Andon järjestelmä on erittäin tehokas visuaalinen keino ongelmien ratkaisemiseksi ja niiden poistamiseksi. (Toyota 2016, viitattu 8.4.2017.)

4.4.2 Poka Yoke

Poka Yoke on Shiego Shingon luoma toimintatapa tuotannonlaadun pienimmän mahdollisen virhetason saavuttamiseksi ja siitä onkin tullut yksi tunnetuimmista virheen tai poikkeaman paljastamiseen käytettävistä menetelmistä. Se pystyy 100 %:sesti tutkimaan tuotteen ja ilmoittamaan välittömästi kun poikkeava tai viallinen tuote ilmaantuu. Järjestelmä perustuu ihmisen ja koneen yhteistyöhön, jonka tarkoitus on virheiden alkuperän täydellinen tutkiminen ja poistaminen. Virheen paljastamisen ja poistamisen tehokkuuden vuoksi Poka Yokesta on tullut Jidoka toimintatavan tärkeimpiä laadun varmistamisen työkaluja.

Poka Yoke menetelmä sisältää kaksi erilaista tapaa virheiden ehkäisemiseksi. Ensimmäinen on kontrollointiin perustuva menetelmä, jossa laitteet ja toiminnot valmistetaan tai muutetaan fyysisiltä ominaisuuksiltaan sellaisiksi, että virheiden ja poikkeamien syntyminen on mahdotonta. Varoituksen perustuva menetelmä on toinen tapa luoda järjestelmä, joka on tarkoitettu käytettäväksi vain sellaisissa tilanteissa, joissa kontrollointiin perustuva menetelmä ei ole mahdollinen. Varoituksen perustuva menetelmä ilmoittaa käyttäjälle mahdollisesta poikkeamasta tai virheestä ääni- tai värimerkkien avulla kun käyttäjät ovat tekemässä virhettä. (Shingo 1985, 99 – 101; Velaction 2017, viitattu 8.4.2017.)

4.4.3 Key performance indicators

Key performance indicators (KPI) tarkoittaa tunnuslukuja ja mittareita, joita käytetään tuotannon ja yrityksen toiminnan sekä tavoitteiden toteutumisen seurantaan. Tunnuslukujen käytetään myös toiminnan ja tavoitteiden kehitystarpeiden tunnistamiseen. Tunnuslukujen avulla pyritään normaalisti tarkkailemaan keskeisten tavoitteiden toteutumista. Yleensä yritykset mittaavat tuotannossa ja toiminnassaan tuottavuutta, kustannustehokkuutta, laatua sekä toimitusvarmuutta.

Taloudellisten tunnuslukujen lisäksi yritykset tarvitsevat aina omien resurssien käytön ja toimintatuloksien mittaamiseen tarkoitettuja tunnusluvut ja mittarit. Oikeiden ja vertailukelpoisten tunnuslukujen hankkiminen prosessista on yleensä vaivalloista ja hankalaa, joten monet yritykset

käyttävätkin eriäviä tunnuslukuja toimintansa mittaamiseen. Oikeiden, selkeiden ja yksinkertaisten tunnuslukujen käyttäminen onkin välttämätöntä toiminnan ja tuottavuuden parantamisen kannalta. (Haverila ym. 2009, 398; Leanmanufacture.net 2009, viitattu 7.2.2017.)

4.4.4 5 miksiä

Osana Kaizen toimintaa on juurisyiden löytäminen ja niiden korjaaminen. Yksi tehokkaimmista ja yksinkertaisimmista työkaluista on viiden ”miksi” kysymyksen esittäminen ongelmaa tutkittaessa. Ongelman ilmetessä kysytään, miksi kyseinen ongelma ilmeni, tämän kysymyksen vastauksesta kysytään jälleen miksi se ilmeni ja suorittamalla ”miksi” kysymys jokaisen vastauksen kohdalla yhteensä viisi kertaa peräkkäin päästään huomattavasti syvemmälle ongelman todelliseen juurisyihin kuin pelkästään ilmenneeseen ongelmaan.

Menetelmän on tarkoitus antaa viiden ”miksi” kysymyksen jälkeen vastaukseksi ”kuinka”. Saadun vastauksen avulla pystytään pureutumaan todellisen juurisyyn poistamiseen, pelkän vian korjauksen sijasta. (Ohno 1988, 17–18, 77–78, 123.)

5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA TULOKSET

5.1 Hintan vedenpuhdistuslaitoksen tuotantoprosessi

Hintan vedonpuhdistuslaitos on ns. pintavesilaitos, joka saa vetensä Oulujoen pohjasta. Laitoksen tuotantoprosessia ohjaavana automaatiojärjestelmänä toimii Valmet DNA- automaatiojärjestelmä. Vedenpuhdistuslaitos on tekniseltä toimintamalliltaan flotaatio- periaatteella toimiva vedenpuhdistuslaitos, jonka tuotantoprosessi voidaan jakaa kuviossa 11 esitettyihin prosessin osatoimintoihin, jossa puhdistusprosessi alkaa raakaveden ottamisella Oulujoesta.

Oulujoesta raakavesi kulkee rantakaivoon välppäykseen. Välppäyksen tarkoituksena on poistaa raakavedestä suurimmat epäpuhtaudet ja roskat. Raakaveden välppäyksen jälkeen raakavesi kulkee raakavesialtaaseen harjavälppien lävitse. Harjavälppien tehtävänä on poistaa raakavedestä siivilöimällä rantakaivon välppäyksen lävitse päässeitä pienempiä epäpuhtauksia. Harjavälppiä on Hintan vedenpuhdistamolla kaksi kappaletta.

Raakavesialtaasta raakavesi pumpataan puhdistusprosessissa eteenpäin. Heti raakaveden pumppauksen jälkeen veteen sekoitetaan alkukalkkia reaktio pH- arvon nostamiseksi optimaaliseen arvoon epäpuhtauksien saostamiseksi. Alkukalkin lisäämisen jälkeen veteen sekoitetaan ferrisulfaattia saostuskemikaaliksi. Ferrisulfaattia annostellaan raakaveden UVAS- arvon mukaan. Saostuskemikaalin lisäämisen jälkeen vesi johdetaan pikasekoitusaltaaseen, jossa saostuskemikaali pikasekoitetaan veteen saostusprosessin käynnistämiseksi.

Pikasekoitusaltaasta vesi jaetaan neljään flokkausallasarjaan, joissa jokaisessa on kaksi flokkausallasta peräkkäin. Flokkausaltaissa saostuskemikaalin kanssa reagoiva vesi ryhtyy muodostamaan flokkeja. Flokkien muodostumisen tehostamiseksi flokkausaltaissa on vaakahämmentimiä, joiden avulla saostuskemikaalin toimintaa nopeutetaan.

Vesi kulkeutuu flokkausaltaiden alareunan kautta flotaatioaltaisiin. Veden siirtyessä flokkausaltaista flotaatioaltaisiin veteen sekoitetaan flotaatioaltaan pohjalla olevan suutintukin avulla dispersioveettä. Dispersiovesi on paineilmalla kyllästettyä vettä, joka muodostaa pientä ilmakuplaa suutintukin läpi purkautuessaan. Flokkausaltaissa muodostuneet flokit kiinnittyvät dispersiovedessä

oleviin ilmakupliin ja nousevat niiden avulla altaan pinnalle muodostaen tiheän flokkikerroksen. Altaan pinnalle muodostuneen flokkikerroksen ollessa riittävän paksu, huuhdellaan se viemäriin. Huuhtelu tehdään nostamalla altaan vedenpintaa, jolloin saadaan aikaiseksi ylivuoto, jonka mukana flokkikerros huuhtoutuu pois. Huuhtelu tehdään raakaveden laadusta riippuen 2 tunnin välein ja huuhtelu kestää 4 – 5 minuuttia.

Flotaatioprosessin jälkeen vesi jaetaan kahdeksalle hiekkasuodattimelle jakokourun avulla. Hiekkasuodattimien pinta-ala on 22 m² per hiekkasuodatin. Jokaisessa hiekkasuodattimessa on n. 0,5 m vahvuinen hiekkakerros, raekooltaan 1,0 – 2,5 mm. Hiekkakerroksen päällä on n. 0,5 m vahvuinen antrasiittikerros raekooltaan 1,5 – 2,4 mm. Jokaisen hiekkasuodattimen pohjalla on n. 1200 kappaletta suuttimia, joiden kautta vesi poistuu hiekkasuodattimilta. Hiekkasuodattimien puhdistusnopeus on n. 6,1 m/h, eli 134,2 m³/h yhteisnopeudeltaan 1073,6 m³/h.

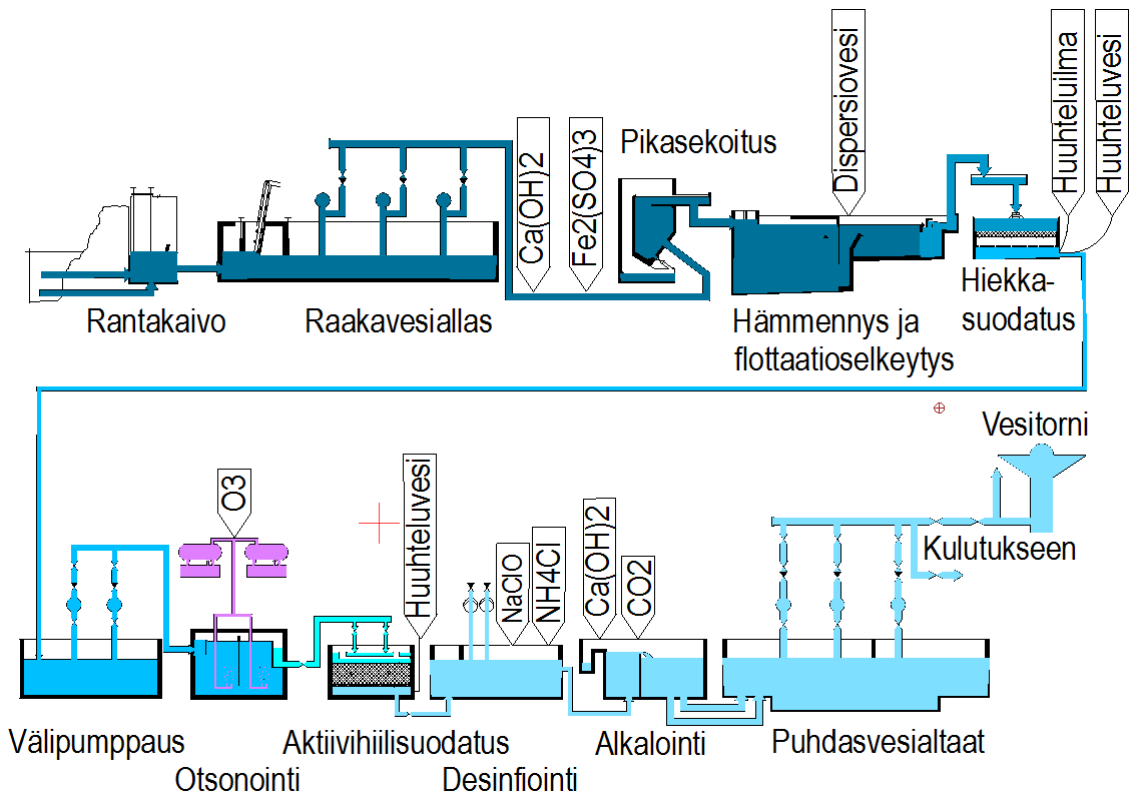
Vesi virtaa hiekkasuodattimien jälkeen välipumppaamon altaaseen. Välipumppaamon altaasta vesi pumpataan prosessissa eteenpäin kohti otsonointiallasta. Otsonointialtaassa veteen johdetaan vastavirtasyöttönä otsonikaasua. Otsonia käytetään veden desinfiointiin sekä mahdollisten hajujen ja makujen poistamiseksi vedestä.

Otsonoinnin jälkeen vesi kulkeutuu aktiivihiihluodattimille, joita on yhteensä neljä kappaletta. Jokaisen aktiivihiihluodattimen pinta-ala on 38 m² ja jokaisessa suodattimessa on n. 2 m vahvuinen aktiivihiihi kerros. Yhteensä aktiivihiihluodattimissa on aktiivihiihtä n. 300 m³. Aktiivihiihluodattimien tehtävänä on poistaa vedessä vielä mahdollisesti jäljellä olevia desinfioituja orgaanisia materiaaleja ja varmistaa, että vedessä ei ole jäljellä hajuja tai makuja

Aktiivihiihluodatusta seuraava prosessivaihe on desinfiointi, jossa veteen sekoitetaan aluksi natriumhypokloriittia veden desinfiointia varten. Kun natriumhypokloriitti saanut vaikuttaa n. 15 minuuttia, sekoitetaan veteen vielä ammoniumkloridia. Ammoniumkloridin tehtävä on estää ns. vapaankloorin syntyminen ja näin säilyttää vesi juomakelpoisena vesijohtoverkostossa sekä estää verkostossa tapahtuvaa bakteerien kasvu.

Desinfioinnin jälkeen vedelle suoritetaan vielä alkalointi. Alkaloinnin tehtävä on vähentää veden syövyttävyyttä. Syövyttävyyden vähentäminen tehdään nostamalla pH- arvo vaaditulle tasolle, joka on 8,3 – 8,5 pH. Alkaloinnissa veteen lisätään myös hiilidioksidia pH- arvon muutoksen pus-

kurikyvyn lisäämiseksi. Alkaloinnin jälkeen vesi on valmis pumpattavaksi vesijohtoverkoston.
(Oulun Vesi liikelaitos 2016a.)



KUVIO 11. Hintan pelkistetty prosessikaavio (Hintan esittelymateriaali)

5.2 Kurkelanrannan vedenpuhdistuslaitoksen tuotantoprosessi

Kurkelanrannan vedenpuhdistuslaitos on myös pintavesilaitos, joka saa raakavetensä Oulujoesta. Kurkelanrannan vedenpuhdistamo on tekniseltä toiminnaltaan flotaatio- periaatteella toimiva vedenpuhdistamo. Kurkelanrannan vedenpuhdistamon tuotantoprosessin ohjausjärjestelmänä toimii Honeywell total plant- automaatiojärjestelmä. Kurkelanrannan vedenpuhdistuslaitoksen tuotantoprosessi voidaan jakaa kuviossa 12 esitettyihin osaprosesseihin.

Oulujoesta raakavesi kulkee Välppäkaivoon, jossa vedestä poistetaan välppäyksen avulla suurimmat epäpuhtaudet ja roskat. Raakaveden välppäyksen jälkeen raakavesi kulkee raakavesialtaaseen harjavälppän lävitse. Harjavälppän tehtävänä on poistaa raakavedestä siivilöimällä välppäkaivon lävitse päässeitä pienempiä epäpuhtauksia.

Raakavesialtaasta raakavesi pumpataan puhdistusprosessissa eteenpäin. Heti raakaveden pumppauksen jälkeen veteen sekoitetaan alkukalkkia reaktio pH- arvon nostamiseksi optimaaliseen arvoon epäpuhtauksien saostamiseksi. Alkukalkin lisäämisen jälkeen veteen sekoitetaan ferrisulfaattia saostuskemikaaliksi. Ferrisulfaattia annostellaan raakaveden UVAS- arvon mukaan. Saostuskemikaalin lisäämisen jälkeen vesi johdetaan pikasekoitusaltaaseen, jossa saostuskemikaali pikasekoitetaan veteen saostusprosessin käynnistämiseksi.

Pikasekoitusaltaasta vesi jaetaan kolmeen kaksiosaiseen flokkausaltaaseen. Flokkausaltaissa saostuskemikaalin kanssa reagoiva vesi ryhtyy muodostamaan flokkeja. Flokkien muodostumisen tehostamiseksi flokkausaltaissa on vaakahämmennimet, joiden avulla saostuskemikaalin toimintaa nopeutetaan.

Vesi kulkeutuu flokkausaltaiden yläreunan kautta yläpuolella oleviin flotaatioaltaisiin. Veteen sekoitetaan flotaatioaltaan pohjalla olevan suutintukin avulla dispersiovetä veden siirtyessä flokkausaltaista flotaatioaltaisiin. Dispersiovesi on paineilmalla kyllästettyä vettä, joka muodostaa pientä ilmakuplaa suutintukin läpi purkautuessaan. Muodostuneet flokit kiinnittyvät dispersiovedessä oleviin ilmakupliin ja nousevat niiden avulla altaan pinnalle muodostaen tiheän flokkikerroksen. Altaan pinnalle muodostuneen flokkikerroksen ollessa riittävän paksu, poistetaan flokkikerros altaiden pinnalla olevien kaapimien avulla viemäriin.

Flotaatioprosessin jälkeen vesi johdetaan kuudelle hiekkasuodattimelle jakokourun avulla. Hiekkasuodattimien pinta-ala on 30 m² per hiekkasuodatin. Jokaisessa hiekkasuodattimessa on n. 1,25 m vahvuinen hiekkakerros, raekooltaan 1,0 – 2,5 mm. Hiekkakerroksen päällä on n. 0,2 m vahvuinen kalkkivirouhekerros. Kurkelanrannan hiekkasuodattimien pohjalle on asennettu ns. Triton- pohjat, joiden kautta vesi poistuu hiekkasuodattimilta. Hiekkasuodattimien puhdistusnopeus on n. 5,0 m/h, eli 150 m³/h yhteisnopeudeltaan 900 m³/h.

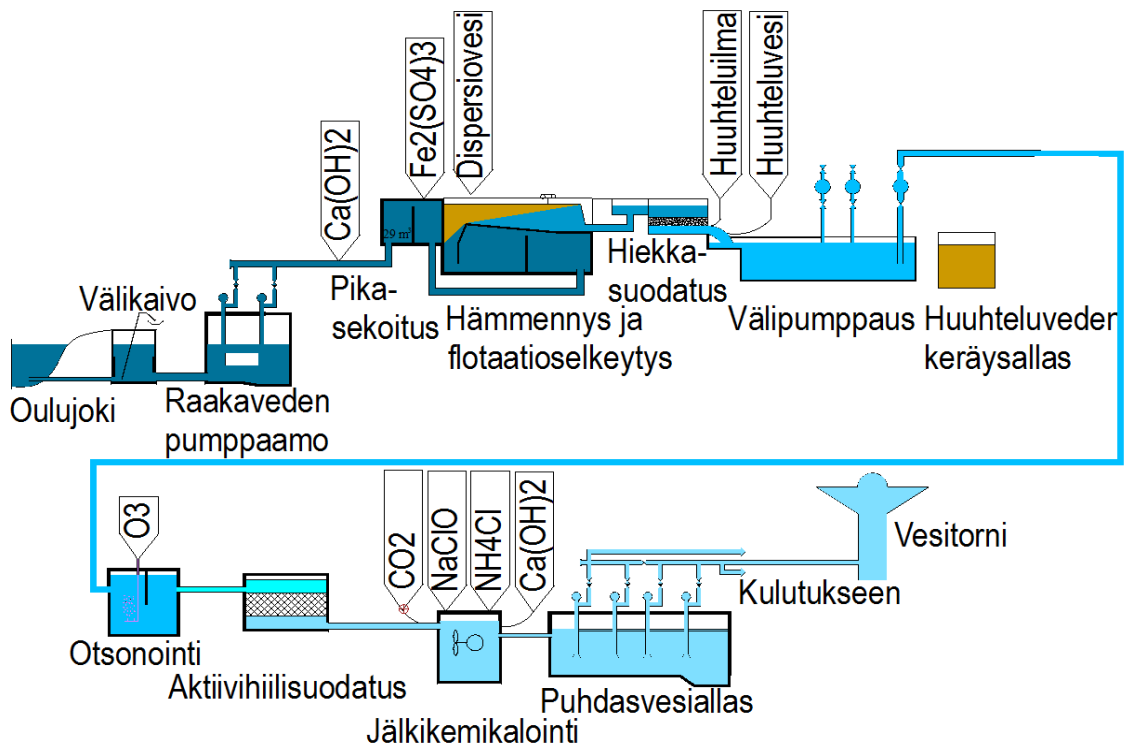
Vesi virtaa hiekkasuodattimien jälkeen välipumppaamon altaaseen. Välipumppaamon altaasta vesi pumpataan prosessissa eteenpäin kohti otsonointiallasta. Otsonoinnissa veteen johdetaan vastavirtasyöttönä otsonikaasua. Otsonia käytetään veden desinfiointiin sekä mahdollisten hajujen ja makujen poistamiseksi vedestä.

Otsonoinnin jälkeen vesi kulkeutuu aktiivihiilisuodattimille. Aktiivihiilisuodatin pareja on kaksi kappaletta, jotka toimivat sarjasuodattimina. Jokaisen aktiivihiilisuodatinparin pinta-ala on 2 x 50 m²

ja jokaisessa suodattimessa on n. 0,8 m vahvuinen aktiivihiilikerros. Yhteensä aktiivihiilisuodattimissa on aktiivihiiltä n. 160 m³. Aktiivihiilisuodattimien tehtävänä on poistaa vedessä vielä mahdollisesti jäljellä olevia desinfioituja orgaanisia materiaaleja ja varmistaa, että vedessä ei ole jäljellä hajuja tai makuja.

Aktiivihiilisuodatusta seuraava prosessivaihe on desinfiointi, jossa veteen sekoitetaan aluksi natriumhypokloriittia veden desinfiointia varten. Kun natriumhypokloriitti saanut vaikuttaa n. 15 minuuttia, sekoitetaan veteen vielä ammoniumkloridia. Ammoniumkloridin tehtävä on estää ns. vapaankloorin syntyminen ja näin säilyttää vesi juomakelpoisena vesijohtoverkostossa sekä estää verkostossa tapahtuvaa bakteerien kasvu.

Desinfiointin jälkeen vedelle suoritetaan alkalointi. Alkaloinnin tehtävä on vähentää veden syövyttävyyttä. Syövyttävyyden vähentäminen tehdään nostamalla pH- arvo vaaditulle tasolle, joka on 8,3 – 8,5 pH. Alkaloinnissa veteen myös lisätään hiilidioksidia pH- arvon muutoksen puskurikyvyn lisäämiseksi. Alkaloinnin jälkeen vesi johdetaan vielä ultraviolettivalon läpi, jonka tehtävänä on toimia desinfiointin varmuusjärjestelmänä. Ultraviolettivalon avulla suoritetaan veden sterilisointi. Tämän jälkeen vesi on valmista pumpattavaksi vesijohtoverkoston ja kulutukseen. (Oulun Vesi liikelaitos 2016b.)



KUVIO 12. Kurkelanrannan pelkistetty prosessikaavio (Kurkelanrannan esittelymateriaali)

5.3 Ylävesisäiliöt

Puolivälinkankaalla sijaitseva ylävesisäiliö eli vesitorni (VT901) on kanta-Oulun käytössä olevista torneista vanhin. Vesitornin rakentaminen on aloitettu vuonna 1967 ja vesitorni valmistui vuonna 1969. Puolivälinkankaan vesitornin vesitilavuus on 6000 m³ ja ylimmän kohdan korkeus 77 m merenpinnan yläpuolella. Puolivälinkankaan vesitorni toimii kaupungin pohjoisosan ylävesisäiliönä ja sen toimintaa ohjataan Hintan vedenpuhdistamolta Cromi- järjestelmän avulla. (Oulun Vesi liikelaitos 2004a.)

Maikkulan vesitorni (VT902) on kanta-Oulun torneista uudempi, joka on valmistunut vuonna 1993. Vesitornin vesitilavuus on 4000 m³ ja korkein kohta merenpinnasta 75,5 m. Maikkulan vesitorni toimii kaupungin eteläisen osan ylävesisäiliönä, jonka toimintaa ohjataan Cromi- järjestelmän avulla Kurkelanrannan vedenpuhdistamolta. (Oulun Vesi liikelaitos 2004b.)

5.4 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutettiin keväällä 2017 aluksi määrittämällä ja selvittämällä raja-arvot, rajoitteet sekä tavoitteet tutkimustyölle ja keräämällä riittävän laajat otokset lähtötietoja. Koeajo toteutettiin kokonaisuudessaan 27.2.2017 – 3.3.2017.

Opinnäytetyö aloitettiin keräämällä eri automaatiojärjestelmistä tarvittavat tiedot kahden vuoden ajalta. Kyseinen historia tietokanta täytyi käsitellä manuaalisesti rivi- ja solutietokenttä kerrallaan, jotta siitä saatiin poistettua kaikki selkeästi havaittavat ja tiedossa olevat mittausvirhetiedot sekä huolto- ja kalibrointitöistä johtuvat virheelliset tiedot, jotka olisivat vääristäneet vanhojen tulosten vertailukelpoisuutta uusiin tuloksiin nähden.

Tilastotietojen keräämisen yhteydessä haastateltiin vedenpuhdistuslaitoksen käyttöhenkilökuntaa lisätiedon ja kokemusten huomioimiseksi ja mahdollisten koeajon aikaisten riskien välttämiseksi. Haastattelujen tarkoituksena oli samalla selvittää erilaisten vedenpuhdistuslaitosten ohjausmallien soveltuvuus tulevaa työn standardointia silmällä pitäen ja valmistaa käyttöhenkilökuntaa koeajoa varten.

Molemmilla laitoksilla merkittävimmät veden laatuun ja tuotannon kustannuksiin vaikuttavat tekijät ovat energian ja saostuskemikaalien kulutus, joten opinnäytetyössä mitattaviksi suureiksi valittiin

- energiankulutus [kW/puhdas vesi m³]
- ferrisulfaatin kulutus, joka toimii saostuskemikaalina molemmilla laitoksilla [g/puhdas vesi m³]
- kalsiumhydroksidin kokonaiskulutus [g/puhdas vesi m³]
- raakaveden sameuden ultraviolettia absorboivan arvo, jolla määritetään liuenneen orgaaniseen aineeseen kokonaismäärä raakavedessä. Mitä korkeampi orgaanisen aineen kokonaismäärä raakavedessä on, sitä enemmän joudutaan käyttämään ferrisulfaattia ja kalsiumhydroksidia veden puhdistuksessa [1/m]
- puhdistettavan veden määrä [puhdas vesi m³/h].

Tutkimuksen aikana pakollisiksi laadullisiksi muuttujiksi määrittyivät (liite 1 ja 2) Sosiaali- ja terveysministeriön talousvesiasetuksen mukaiset laatusuositukset ja -vaatimukset, joista ei missään tilanteessa saanut poiketa, sekä talousvesiasetuksessa määritellyt jatkuvaan valvontaan liittyvät muuttujat (liite 3). (Sosiaali- ja terveysministeriön talousvesiasetus 1352/2015).

Aineiston kerääminen aloitettiin suunnitelman mukaisten suureiden mittaamisesta molemmilla laitoksilla samanaikaisesti ja vanhan olemassa olevan aineiston seulonnalla ja läpikäynnillä. Kerätyn ja läpikäydyn aineiston pohjalta pystyttiin tekemään alustavat kulutus- ja tilavuuslaskelmat vedenpuhdistuslaitosten tulevaa koeajoa varten.

Koska koeajo suoritetaan molemmilla vedenpuhdistuslaitoksilla normaalista poikkeavilla tuotantokapasiteeteilla sekä mahdollisesti raakaveden UVAS- arvon muuttuessa ja mahdollisimman pitkän yhtäjaksoisen koeajojakson aikaansaamiseksi, jouduttiin koeajoja suorittamaan yhtäjaksoisesti vuorokausien ajan. Näin oli mahdollista kerätä riittävästi tietoa suureiden muuttumisen aiheuttamista muutoksista ja huomioimaan tuloksia mahdollisesti vääristävät tekijät. Tämän seurauksena ohjeistettiin kaikki laitosten käytönvalvojat toimimaan suunnitelman mukaan ja kirjaamaan ylös kaikki mahdolliset poikkeamat, jotka saattoivat vaikuttaa koeajon tuloksiin.

Saatuja tuloksia verrattiin molempien laitosten osalta niiden aikaisempiin tietoihin, jotta niiden validiteettiä pystyttiin luottamaan. Opinnäytetyön tietojen keräämisen aikana huomattiin seuraavat puutteet:

- laitosten virtausmittareiden huolto- ja kalibrointitietoja ei ollut olemassa
- vesitornien virtausmittareiden huolto- ja kalibrointitietoja ei ollut olemassa
- Kurkelanrannan vedenpuhdistamolta puuttui energiankulutusmittari, minkä avulla pystyttäisiin seuraamaan energiankulutusta reaaliajassa kW/m³. Energian kulutustiedot täytyi analysoida energiayhtiön laskutukseen perustuvasta mittaustiedosta tuntikulutukseen perustuen
- vesijohtoverkoston vuotovesimäärien muutoksia ja niiden vaikutusta laitoksilla valmistettavaan vesimäärään
- vedenpuhdistuslaitosten automaatiojärjestelmät eivät toimineet vaaditulla ja oletetulla tavalla.

Kaikkien virtausmittareiden huolto- ja kalibrointitietojen puuttuminen ei vaikuttanut oleellisesti tuloksiin, koska kyseessä olevien mittareiden avulla on kerätty aiemmin historiatietoa ja mittareiden toiminnassa ei ole havaittu suuria poikkeamia. Lisäksi Kurkelanrannassa lähtevän veden virtausmittareita on kaksi kappaletta, joiden tulosten luotettavuutta verrataan säännöllisesti toisiinsa. Myös muita virtausmittareita on tarkastettu muutamia kertoja kannettavan ultraäänivirtausmittarin avulla, jos on ollut epäilyksiä, että virtausmittarit eivät toimi oikein tai riittävän luotettavasti.

Lisäksi kyseisten virtausmittareiden avulla ohjataan muutoinkin laitosten ja vesitornien päivittäistä toimintaa, joten virtausmittareiden kalibrointi ja huolto voisivat vaikuttaa myös koeajon tulosten historiatietojen keskinäiseen vertailukelpoisuuteen.

Vesijohtoverkostojen vuotovesimäärien on todettu olevan suhteessa sama valmistettuun ja laskutettuun vesimäärään verrattuna jo vuosikymmenten ajan, joten sen vaikutus laitosten toimintaa tutkiessa on mitätön. Toisin vuotovesimäärä hieman vaikuttaa yrityksen kokonaistaloudelliseen tehokkuuteen.

5.5 Lähtötietojen selvittäminen

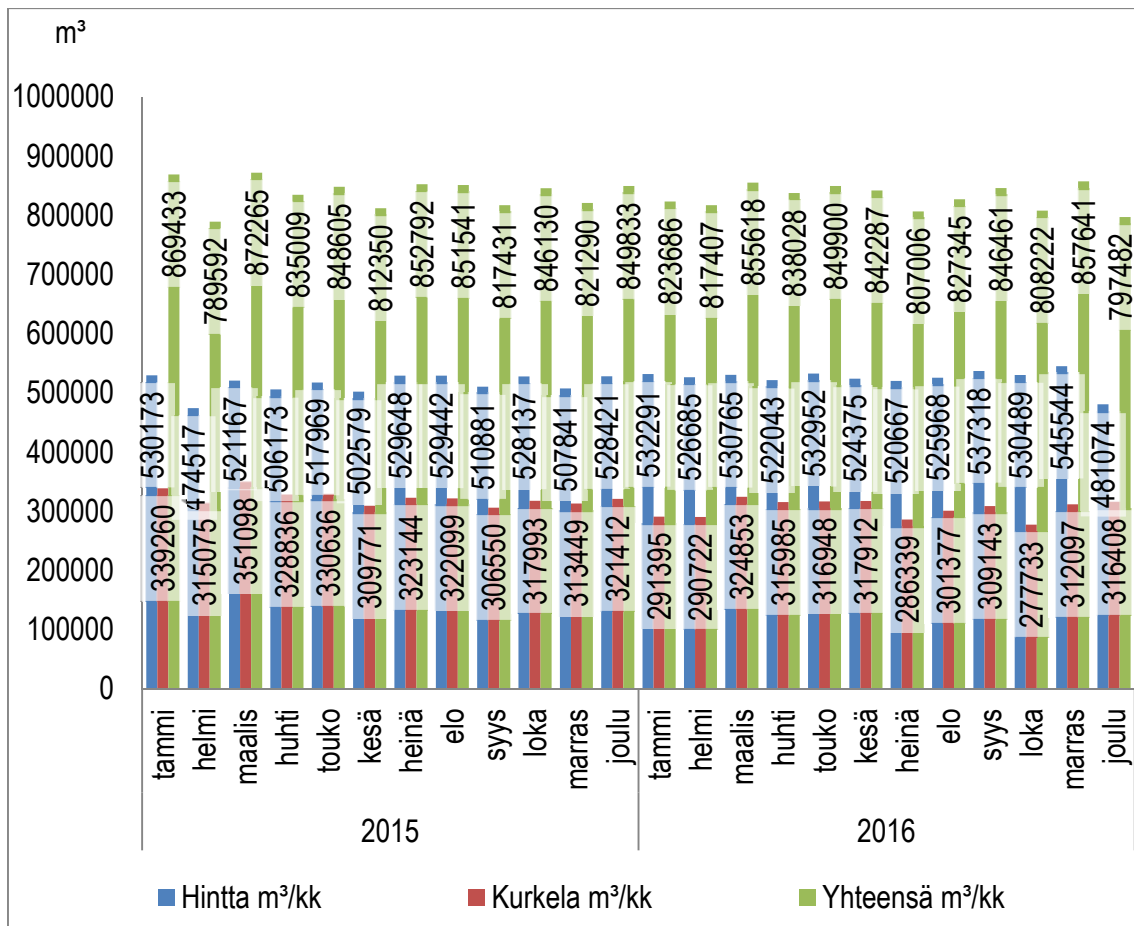
Teoriatietoon perehdyttäessä kävi selväksi, että tuotannon tasapainottamiseen tähtäävien toimien aloitus tulee tehdä varastoaltaiden ja vesitornien käytettävyyden parantamisella ja ulospumpatta-

vien vesimäärien tasapainottamisella. Asiakastyytyvyyden, toimintavarmuuden ja tuotteen saatavuuden turvaamiseksi kapasiteetin mitoituksessa pystyttiin käyttämään ainoastaan maltillis- ta kapasiteettimitoitusta, jonka pohjalta aloitettiin historiatiedon analysointi ja veden kulutuksen laskeminen eri ajankohdille.

Opinnäytetyön ensimmäisenä vaiheena tuli selvittää, oliko laitoksilta lähtevissä vesimäärissä kuukausittaisia eroja, jotka voisivat vaikuttaa tuotannon tasapainottamiseen tai asettaa tasapai- nottamiselle ennalta arvaamattomia raja-arvoja. Käytettävät tiedot kerättiin molempien veden- puhdistuslaitosten sekä vesitornien automaatiojärjestelmiin kerätyistä historiatiedoista, jotka ryh- miteltiin sekä laitoskohtaisesti että summattiin molempien laitosten vesimäärät kokonaistuotanto- määrän selvittämiseksi.

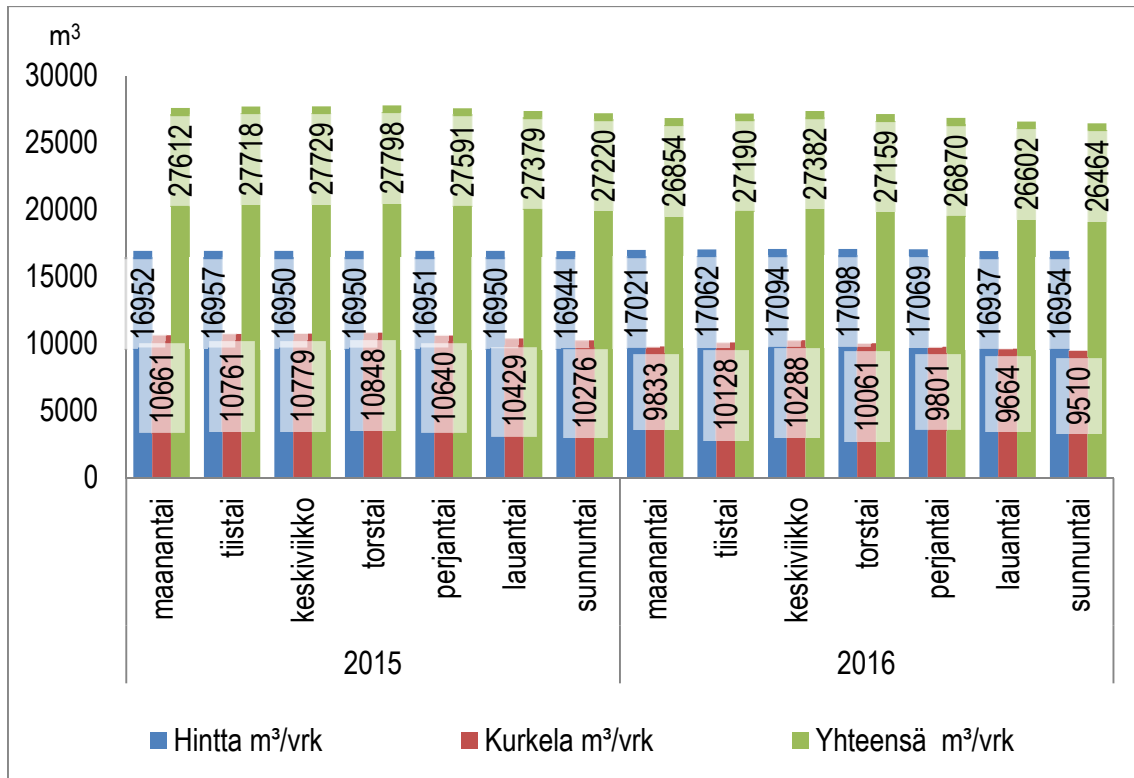
Tiedot luetteloitiin ja jaoteltiin ensin kahden vuoden ajalta kuukausitasolla, jonka jälkeen tiedot jaettiin päiväkohtaisiin keskiarvoihin ja tämän jälkeen tarkennettiin tietojen lajittelua vielä vuoro- kausi- ja tuntikeskiarvoiksi. Kaikki lajittelut tehtiin molemmille vedenpuhdistuslaitoksille erikseen sekä niiden yhteismäärille ja molemmille vesitorneille erikseen. Näin tiedoista saatiin poistettua selkeät virheelliset mittaukset ja huolto-, kunnostus- tai vedenpuhdistuslaitosten alasajoista johtu- vista syistä vääristyneet tulokset. Samalla pystyttiin laskemaan molemmille vedenpuhdistuslaitok- sille kohdistuneet laskennalliset kulutusmäärät eri ajankohtina. Vuosien 2015 ja 2016 kuukausikoh- taiset vedenpuhdistuslaitoksilta ulospumpatut kokonaisvesimäärät on esitetty kuviossa 13.

Kuviosta 13 nähdään, että laitoksilta lähtevät vesimäärät ovat kuukausittain hyvin samansuuruisia ja pienet vaihtelut voidaan selittää mittausantureiden tarkkuudella tai niiden virheillä ja keskinäi- sen käyttöasteen muutoksilla, sekä kuukausien pituudella.



KUVIO 13. Laitosten kuukausikohtaiset vesimäärät 2015 - 2016

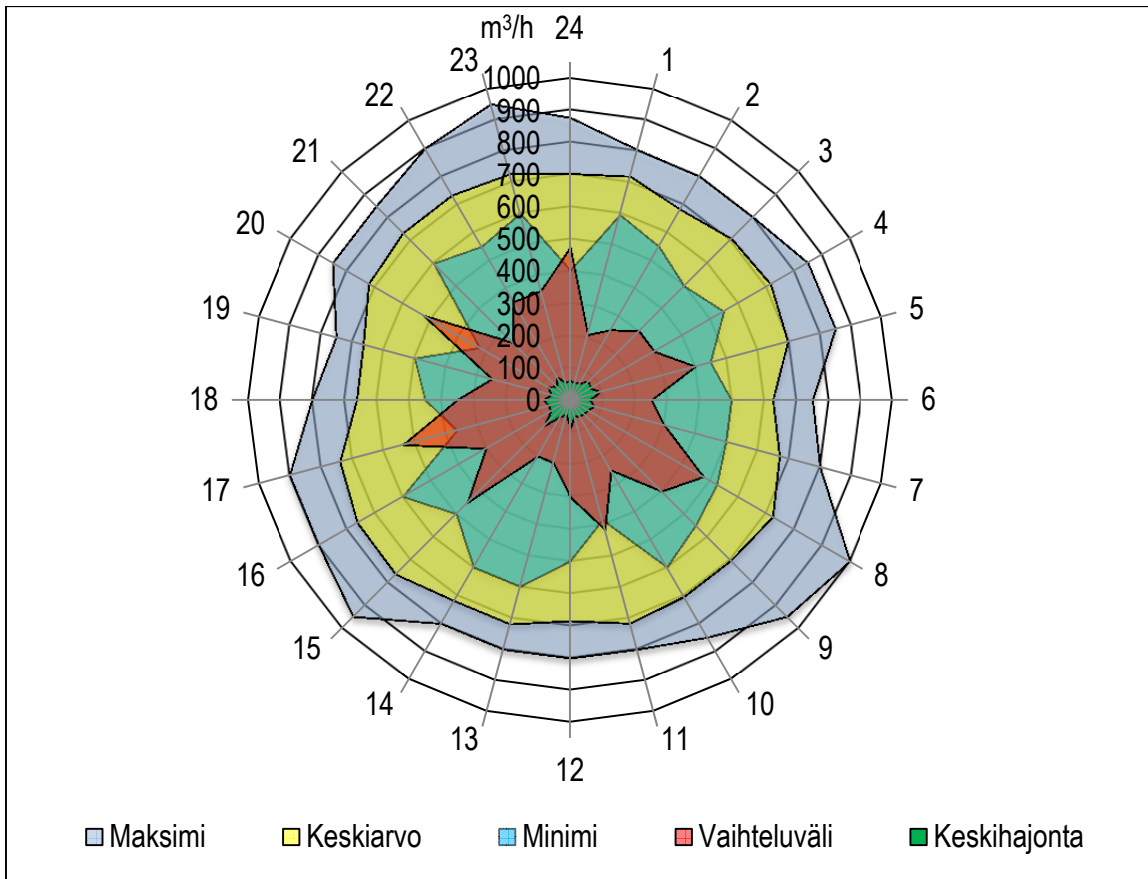
Vuosien 2015 ja 2016 kuukausikohtaiset vesimäärät jaettiin viikonpäivien mukaan tuntikeskiarvoiksi, joiden avulla pystyttiin selvittämään normaaliviikkojen aikana tapahtuvat kulutusmuutokset päivittäin sekä valmistuksen jakautuminen eri viikonpäiville. Vuosien 2015 – 2016 välillä eri viikonpäivien keskimääräiset ulospumppaukset on esitetty kuviossa 14 päiväkohtaisina kokonaisuutena molemmille vedenpuhdistuslaitokselle erikseen että yhdessä.



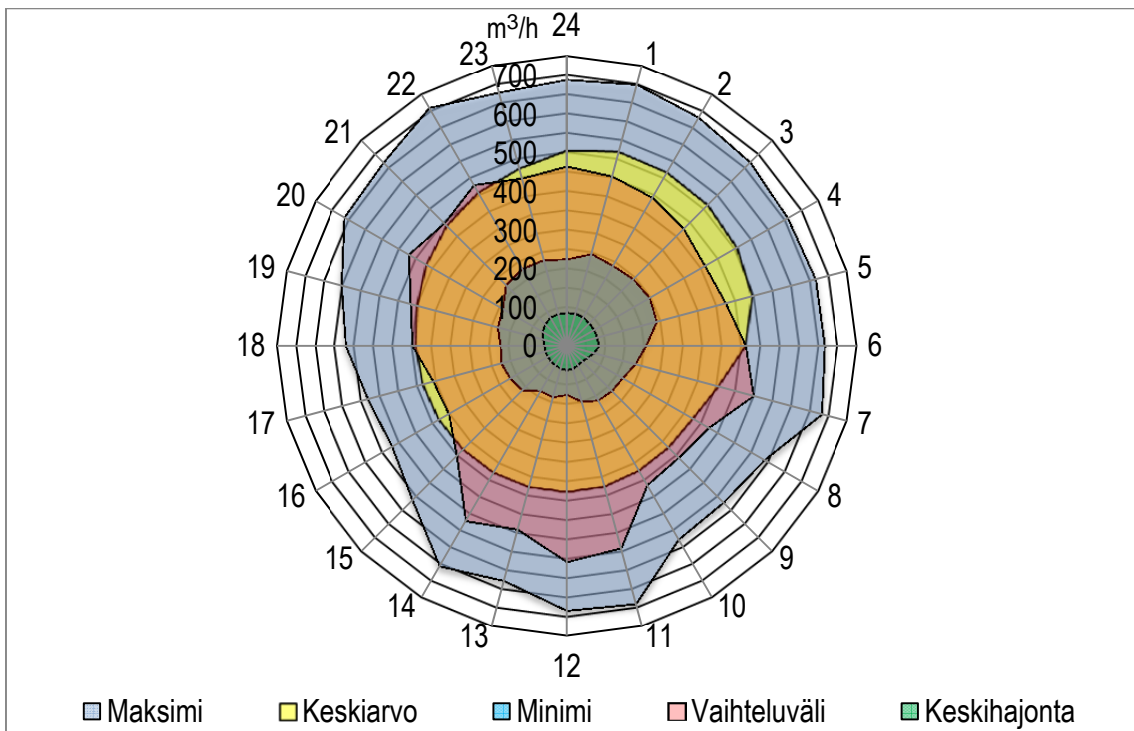
KUVIO 14. Vedenpuhdistuslaitosten keskimääräiset viikonpäiväkohtaiset ulospumppaukset vuosien 2015 ja 2016 aikana

Kuvion 14 ja sen tietojen avulla voidaan todeta, että laitosten keskimääräinen kulutus eri viikonpäivinä on suhteellisen tasainen, toisin viikonloppuisin ulospumppaus on hieman alhaisempi kuin arkipäivinä.

Vedenpuhdistuslaitosten tuotannon tarkkuuden mittaamiseksi ja tutkimiseksi vuosien 2015 – 2016 mittaustiedot lajiteltiin vielä tuntikeskiarvojen mukaan tuntikohtaisesti ja tutkittiin, miten kulutus jakautuu eri vuorokauden aikoina. Kuvioissa 15 ja 16 on esitetty Hintan ja Kurkelanrannan vedenpuhdistamoiden keskimääräiset ulospumppausmäärät eri vuorokauden aikoina vuosien 2015 ja 2016 aikana.



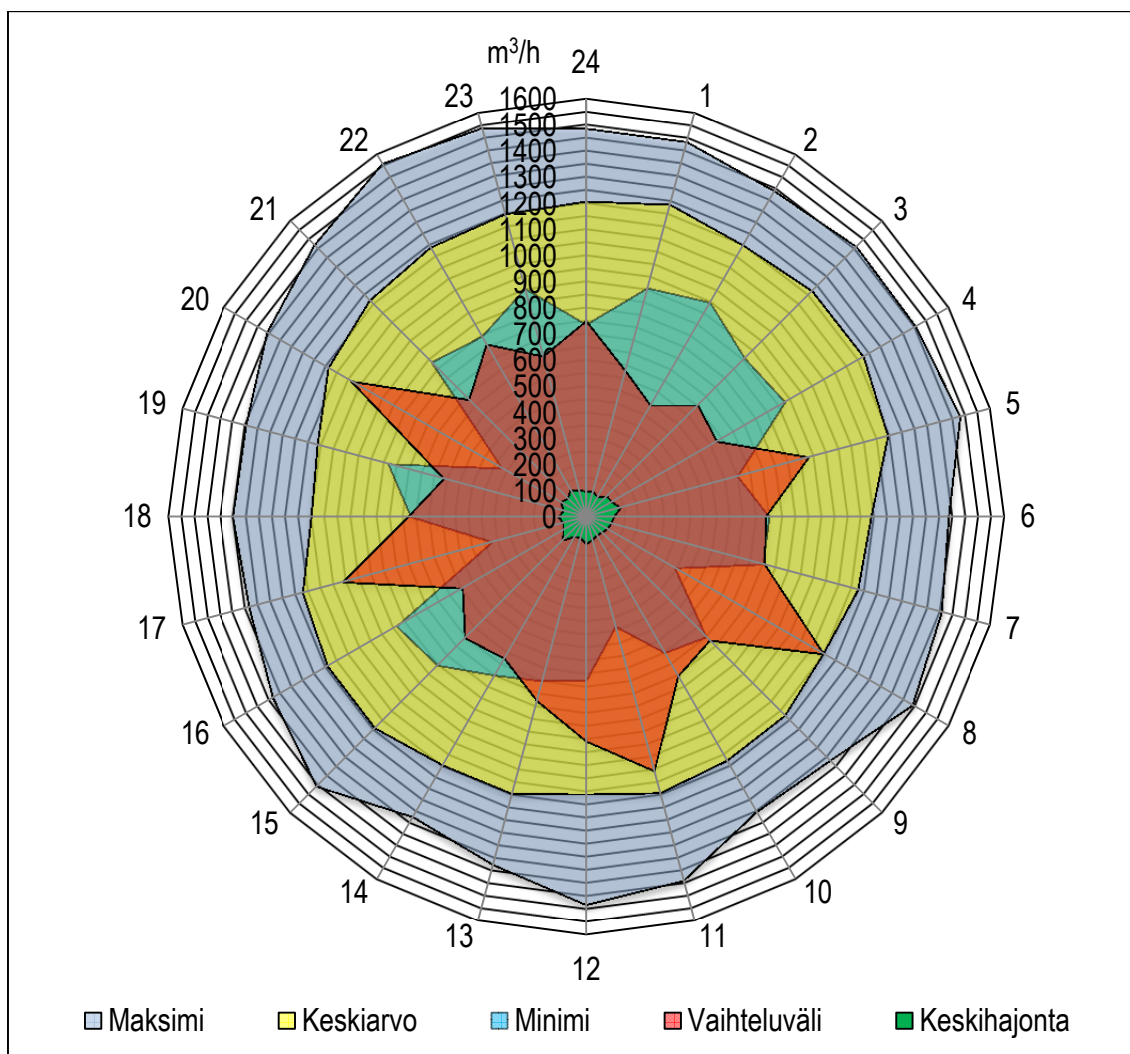
KUVIO 15. Hintaan vedenpuhdistuslaitokselta ulospumpattava vesimäärä m³/h eri vuorokauden aikoina vuosien 2015 ja 2016 aikana



KUVIO 16. Kurkelanrannan vedenpuhdistuslaitokselta ulospumpattava vesimäärä m³/h eri vuorokauden aikoina vuosien 2015 ja 2016 aikana

Kuvioiden 15 ja 16 avulla nähdään, että Hintaan vedenpuhdistamon ulospumppauksen vesimäärä vaihtelee vuorokauden aikojen mukaan selkeästi enemmän kuin Kurkelanrannan vedenpuhdistamolla. Osittain vaihtelua selittää Hintasta suoritettava vesijohtoverkoston ja vesitornien paineensäätely sekä eri käytönvalvojen toimintatapa vesitornien ja vedenpuhdistuslaitosten prosessin ohjaamisessa ja tavassa ennakoida tulevaa kulutuksen muutosta.

Kuviossa 17 on esitetty molempien vedenpuhdistuslaitosten ulospumppausmäärät kokonaisuutena. Kaaviosta ja sen tuloksista voidaan tulkita, että vuorokautinen kokonaisulospumppaus jakautuu nykyisellään hieman epätasaisesti erivuorokauden aikojen mukaan.



KUVIO 17. Vedenpuhdistuslaitoksilta lähtevä vesimäärä yhteensä eri vuorokauden aikoina vuosina 2015 ja 2016

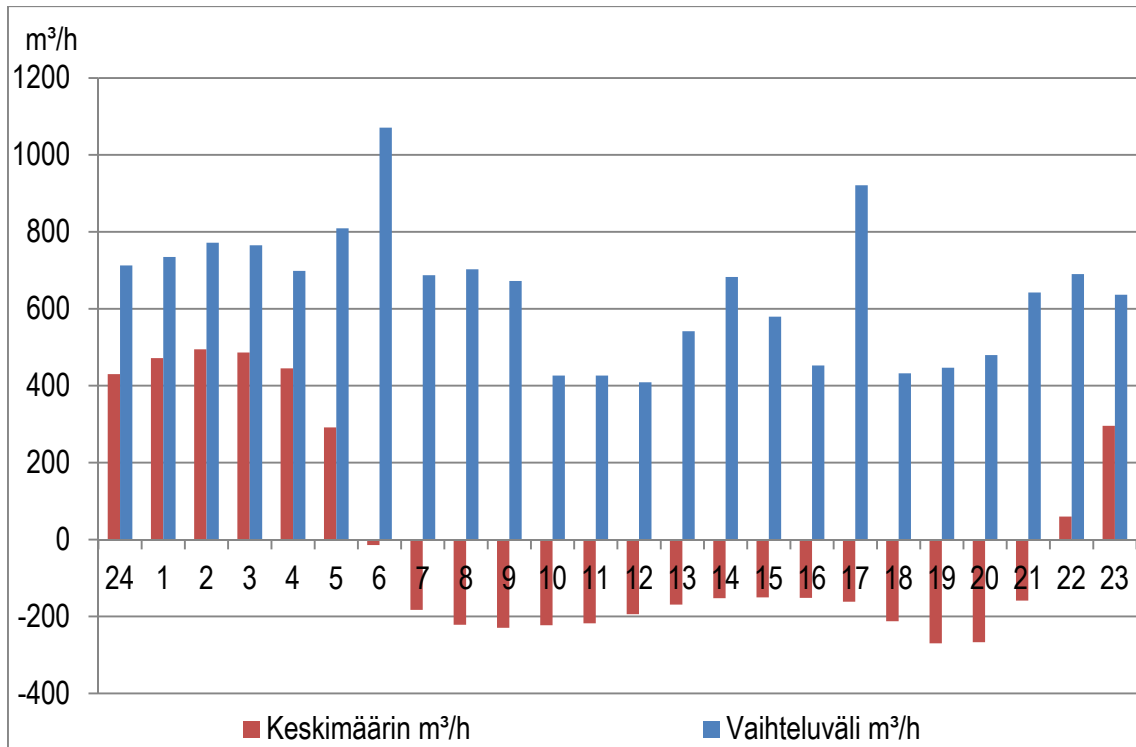
Syyt ulospumppauksen tuntikohtaiseen vaihteluun ovat puhdasvesialtaiden ja vesitornien tilavuudet, koska vedenpuhdistuslaitosten yhteenlaskettu kapasiteetti ei riitä tyydyttämään asiakkaiden asettamaa kysyntää tiettyinä vuorokauden aikoina, joudutaan vettä varastoimaan matalamman kysynnän aikana puhdasvesialtasiin ja vesitorneihin korkeamman kysynnän tyydyttämiseksi. Ulospumppauksen tasapainottamiseksi tuleekin tarkastella laitosten varastoaltaiden parempaa käytettävyyttä.

Kuvioiden 15 – 17 tulosten pohjalta pystytään laskemaan keskimääräiset ulospumpattavat vesimäärät erikseen ja yhteensä molemmille vedenpuhdistuslaitoksille. Pumppausmääriä rajoittaviksi tekijöiksi tuli myös puhdasvesialtaiden ja vesitornien tilavuus, joiden täyttö- ja käyttöaste pitää myös pystyä tasaamaan kulutuksen ja tuotannon mukaisiksi.

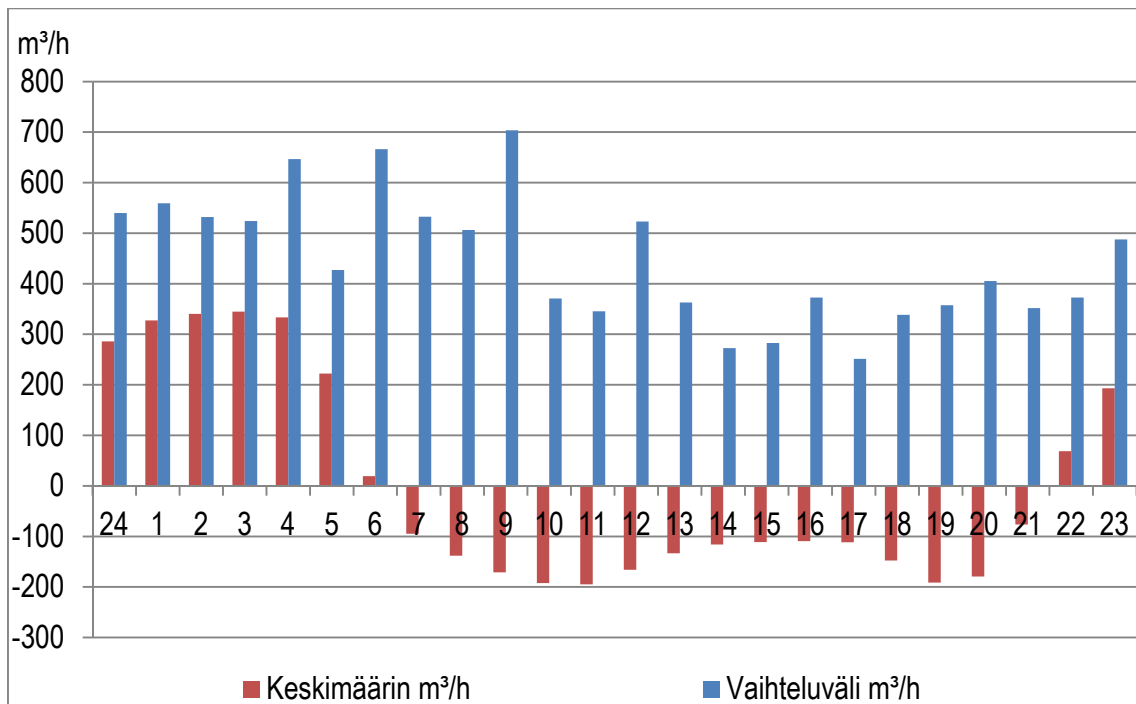
Kuvioissa 18 ja 19 on esitetty vuosien 2015 – 2016 aikana kerättyjen mittaustietojen pohjalta kyseisen kellonajan tuntikeskiarvojen mukaan mitatut vesitorneihin menevät ja niistä poistuvat vesimäärät, sekä virtausmäärien vaihteluvälit. Näin ollen jokaiselle tunnille tulee 730 tuntikohtaista mittausta, joiden avulla voidaan laskea vesitorneista lähtevät tai niihin menevät vesimäärät eri vuorokauden aikojen mukaan. Negatiivinen virtaussuunta tarkoittaa vesitorniin tyhjenemistä ja positiivinen virtaussuunta niiden täyttymistä. Vaihteluväli tarkoittaa kyseisen kellonajan kohdalla tapahtuneita virtausmäärien muutoksia pienimmän ja suurimman virtausmäärän välillä. Eli mitä suurempia vaihteluvälit ovat, sitä epätasaisemmin torneja on eri kellonaikoina käytetty.

Reaaliaikaisen veden kulutuksen seurannan puuttumisen vuoksi jouduttiin kuvioiden 13 – 19 tietojen avulla määrittämään vuorokauden eri ajoille jakautuvat laskennalliset kulutusmäärät yhdistämällä vedenpuhdistuslaitoksilta lähtevät vesimäärät ja vesitorneihin menevät tai niistä poistuvat vesimäärät. Näillä tiedoilla pystyttiin laskemaan keskimääräiset kulutukseen tai vuotovesiin päätyvät vesimäärät.

Laskettujen vesimäärien perusteella pystyttiin ennustamaan tulevaa kulutusta tarkemmin. Laskettujen kulutustietojen avulla pystyttiin laskemaan myös puhdasvesialtaiden ja vesitorniin käytön teoreettiset mahdollisuudet tuotannonpuskurivarastoina sekä välivarastoina asiakkaiden kysynnän tyydyttämiseksi.



KUVIO 18. Vesitorni VT901 virtausmäärät m³/h eri vuorokauden aikoina vuosien 2015 ja 2016 aikana



KUVIO 19. Vesitorni VT902 virtausmäärät m³/h eri vuorokauden aikoina vuosien 2015 ja 2016 aikana

5.6 Koeajo

Ennen koeajon aloittamista laadittiin molemmille vedenpuhdistuslaitoksille yhteinen koeajosuunnitelma (liite 4), johon kerättyjen lähtötietojen pohjalta laskettiin teoreettiset arvot koeajon mahdollistamiseksi ja pyrittiin ennustamaan tulevaa kysynnän muutosta, jotta laitoksilla pystyttiin ennakkoimaan niitä ja käytönvalvojilla oli riittävästi ohjearvoja ja ennakointiaikaa koeajon aikana mahdollisesti tapahtuvien poikkeamien huomaamiseen ja niihin reagointiin.

Koeajon onnistumisen varmistamiseksi koeajon tarkoitus ja muutokset aiempaan ohjaustapaan käytiin henkilökohtaisesti läpi kaikkien vedenpuhdistuslaitoksilla työskentelevien käytönvalvojien kanssa. Samalla saatiin nostettua esille mahdollisia poikkeus- ja epäkohtatilanteita, joita koeajon aikana saattaisi ilmetä ja joihin olisi hyvä varautua. Näin toimimalla saatiin alustavat *yhteiset* ohjaus- ja ohjearvot, joiden avulla pyrittiin huomioimaan epävarmuustekijät ja mahdolliset yllättävät muuttujat, joiden epäiltiin huonoimmassa tapauksessa vaikuttavan tuloksiin tai estävän koeajon toteuttamisen.

5.6.1 Koeajoaineiston kerääminen ja käytännön testaukset

Koeajon aikana tulokset kerättiin talteen automaatiojärjestelmien tietokantaan. Koeajojakson tuloksia verrattiin vedenpuhdistuslaitosten vastaaviin tuloksiin ennen ja jälkeen koeajojakson, jolloin raakaveden laadusta aiheutuvat muutokset eivät vaikuttaisi tulosten vertailukelpoisuuteen.

Automaatiojärjestelmät eivät todellisuudessa toimineetkaan siten kuin niiden olisi pitänyt toimia ja automaattinen virtaussäätö Hintan vedenpuhdistuslaitoksella jouduttiinkin suorittamaan siten, että vain yksi puhdasvesipumppu asetettiin manuaalisesti syöttämään haluttua virtausmäärää vesijohtoverkostoon ilman automaatiojärjestelmän tekemää säätöä.

Ongelmia oli myös Kurkelanrannan vedenpuhdistuslaitoksen vesijohtoverkoston paineen säätämisen kanssa, koska se ei toiminut riittävän nopeasti. Tosin koeajon alkuvaiheessa säätöä saatiin nopeutettua hieman, mutta ei riittävästi. Näiden syiden vuoksi koeajot jouduttiinkin tekemään lähes täysin manuaaliohjauksessa, mikä puolestaan rajoitti koeajon pituutta ja säätötarkkuutta.

Aiemmin vedenpuhdistuslaitosten varastoaltaat ja vesitornit ovat toimineet ainoastaan kulutuksen varastoina ja niistä on siirretty valmistettua talousvettä asiakkaiden tarpeisiin, joko pumpaamalla tai vapauttamalla vettä vesitorneista asiakkaiden aiheuttamaan kysyntään vastaamiseksi. Ennen koeajoa vedenpuhdistuslaitoksilla pumpausta on lisätty tai vähennetty kulutuksen mukaan ja vesitornien täyttymistä ja tyhjentymistä on säädetty kellonajan tai käytönvalvojen kokemuksen mukaan.

Aikaisemmin molemmat vedenpuhdistuslaitokset ovat säätäneet valmistettavaa ja verkostoon sekä vesitorneihin pumpattavaa vesimäärää vedenpuhdistuslaitoksittain. Hintan vedenpuhdistuslaitoksella säädön ja vaihtelun väli on ollut suurempi kuin Kurkelanrannan vedenpuhdistuslaitoksella, koska vesijohtoverkoston ja vesitornien täyttämisen paineensäätö on aiemmin suoritettu käyttämällä siihen Hintan puhtasvesipumppuja.

Vedenpuhdistuslaitosten varastoaltaiden ja vesitornien käyttämistä tuotannon ja kulutuksen puskureina jouduttiin miettimään uudelta näkökannalta. Uudessa ajattelu- ja toimintamallissa vedenpuhdistuslaitoksilla sijaitsevat vesialtaat mukautettiin toimimaan ainoastaan tuotannonpuskureina, jolloin niiden tehtävä oli tasata valmistuvaa vesimäärää, jolloin saatiin aikaiseksi osittainen imuohjaus ja tuotantomäärien tasapainottaminen.

Vesitornien toimintamallia muunnettiin puolestaan vastaamaan ainoastaan asiakaskysynnän tarpeita ja toimimaan valmiin talousveden kulutuspuskureina, jotka täytettiin vanhan toimintamallin mukaan ilta- ja yöaikaan täyteen ja aamu- ja päiväaikaan niistä vapautettiin vettä asiakkaiden kysynnän mukaan.

Myös vesijohtoverkoston ja vesitornien paineensäätö siirrettiin Kurkelanrannan vedenpuhdistuslaitokselle, jolloin Hintan vedenpuhdistuslaitoksen suurempi tuotantokapasiteetti saatiin määritettyä vakio tasolle ja tuotannon mittakaavaetu pystyttiin ottamaan paremmin käyttöön. Tästä seurasi Hintan vedenpuhdistuslaitoksen osalta tuotantomäärien vaihteluvälien pienentyminen ja tuotannon tasapainottuminen.

Koska veden kulutus ei ole koskaan täsmälleen aivan sama päivistä ja kellonajoista riippumatta, jouduttiin sen vuoksi tekemään virtausmäärien säätöä kysynnän tarpeiden aiheuttamien vaihteluiden tasaamiseksi. Tämä tasaamistoiminnon suorittaminen vaihdettiin kahden vedenpuhdistuslaitoksen ajattelumallista yhden laitoksen ajattelumalliin, jolloin Kurkelanrannan vedenpuhdistamo

sopeutti tarvittaessa omaa ulospumppaustaan kysynnän mukaisesti, kun vesitornien määrät alkoivat poiketa halutulta alueelta ja Hintan vedenpuhdistamo pyrki pitämään ulospumppauksen mahdollisimman tasaisena ja samansuuruisena.

Tasapainottamisen mahdollistamiseksi kaikilla osa-alueilla oli välttämätöntä kyetä ennustamaan tulevaa kulutuksen määrää, jotta kulutuksen muutoksiin kyettiin ennakoimaan ja mahdollisiin muutoksiin ja poikkeamiin ennusteesta pystyttiin vastaamaan.

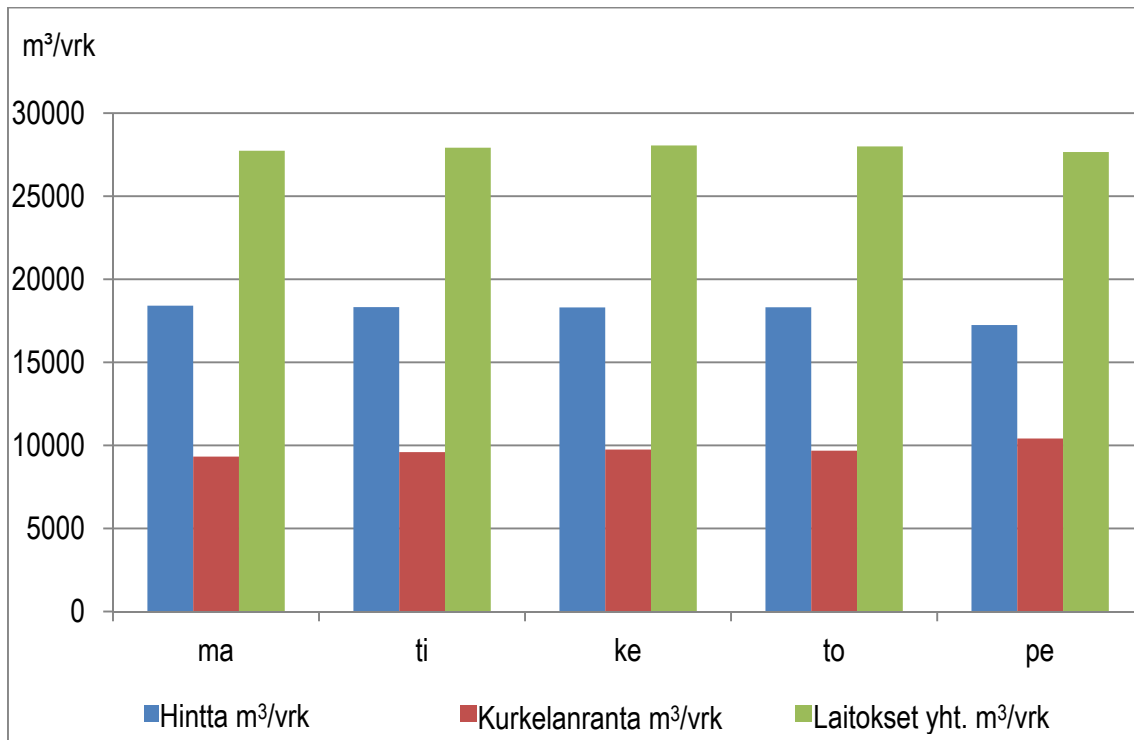
Kuten aiemmin on jo todettu alustavat kulutus- ja tuotantomäärät sekä kulutuksen jakautuminen vuorokauden ja viikonpäivien mukaan saatiin vanhoista historiatiedoista ja käytönvalvojen kokemuksista. Ennakointi perustuu aina aiempiin kokemuksiin ja tilastoihin, mutta kasvavassa kauspungissa ei voida koskaan ennakoida tulevaa kulutusmäärää täysin oikein, siksi jouduttiinkin koeajon aikana tekemään valmistus- ja ulospumppausmääriin sopeuttamista.

Koska jokaisella käytönvalvojalla oli aiemmin ollut oma tapansa käyttää vesitorneja ja vedenpuhdistuslaitosten puhdasvesialtaita, tuli työn standardisoinnista tärkeä osatekijä tasapainottamisen saavuttamiseksi. Käytönvalvojen toimintatavat poikkesivat vain hieman toisistaan, vaikka heitä oli 11 henkilöä ja jokaisella oli oma tapansa ja aikataulunsa. Tämän vuoksi ei tuotannon tasapainottaminen onnistu ilman yhteneviä toiminta- ja ohjaustapoja. Huomioitavaa on kuitenkin, että yksikään aiemmin käytetyistä ohjaus- ja toimintatavoista ei ollut väärä tai huono, vedenpuhdistuslaitosten toiminta ja tuotannonohjaukset vain mahdollistivat tuotannonohjaamisen ja puhdasvesialtaiden sekä vesitornien käyttämisen usealla eri tavalla.

Tämän seurauksena vedenpuhdistuslaitoksille täytyikin tehdä yhtenevät ohjaustapaohjeet, jotta kaikki käyttäjät ajaisivat prosessia hallitusti ja samalla tyylillä. Esimerkiksi hiekka- ja hiilisuodattimien pesumäärät ja aikataulut oli otettava huomioon koeajosuunnitelmassa, koska näillä oli suurta vaikutusta vedenpuhdistuslaitosten toimintaan ja puskurialtaiden tilavuuden muutoksiin ja prosessien toimintaan yleisesti.

Koeajo suoritettiin molemmilla vedenpuhdistuslaitoksilla yhtäaikaisesti 27.2.2017 – 3.3.2017. Koeajon aikaan molempien vedenpuhdistuslaitoksen ulospumppaus pysyi suhteellisen tasaisena. Ulospumpatut vesimäärät vedenpuhdistuslaitoskohtaisesti sekä vedenpuhdistuslaitosten yhdistetty vesimäärä on esitetty kuviossa 20, josta voidaan havaita, että vesimäärät olivat pysyneet suhteellisen tasaisina koko koeajojakson ajan. Perjantaina alkanut kulutuksen lasku johtui aiempien

vuosien kokemusten ja mitattujen tulosten perusteella alkavasta hiihtolomaviikosta, jonka aikana veden kulutus putoaa muutoinkin huomattavasti normaalia alemmalle tasolle.



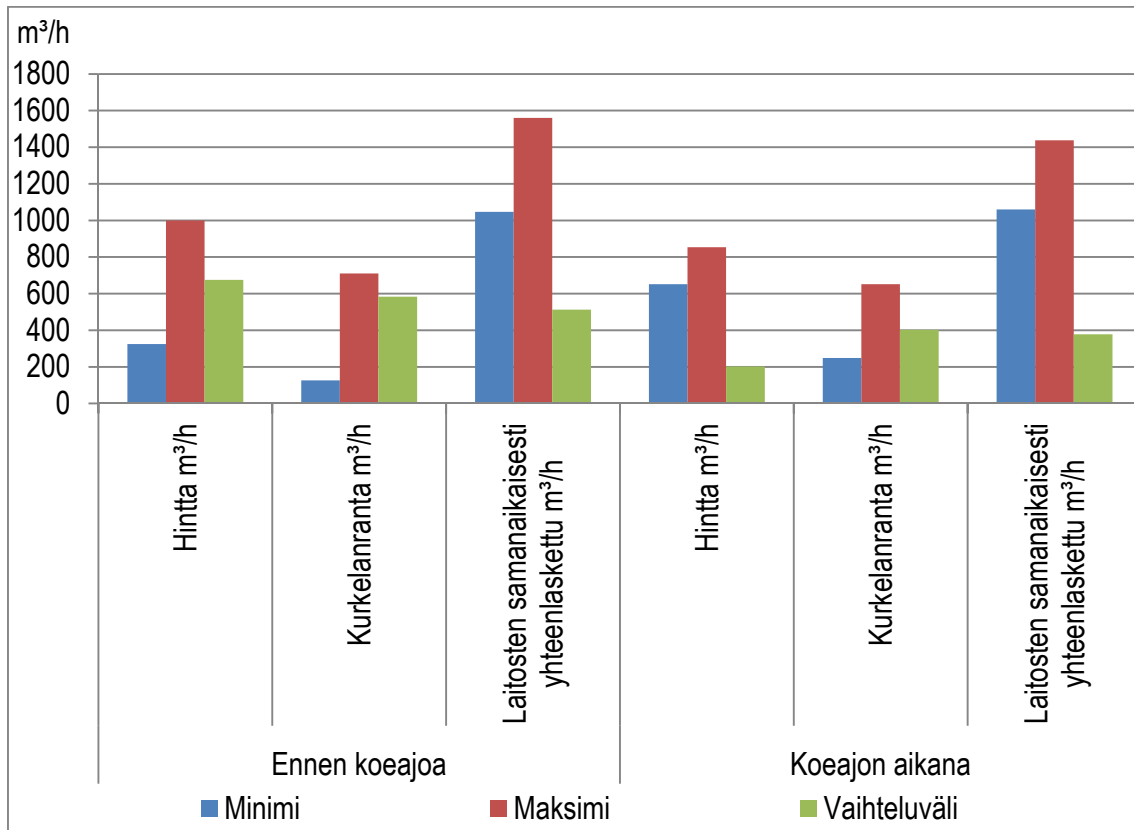
KUVIO 20. Keskimääräiset koeajon aikaiset ulospumppaukset eri viikonpäivinä

Ennen koeajon aloittamista Hintan vedenpuhdistamon ulospumpattavan vesimäärän vaihteluväli oli tuntikohtaisesti vuorokauden sisällä 675 m³/h. Pienemmillään ulospumppauksen määrä oli 325 m³/h ja suurimmillaan se oli 1000 m³/h.

Kurkelanrannan vedenpuhdistamon vastaavat ulospumppauksen vesimäärät olivat 584 m³/h, 126 m³/h ja 710 m³/h ja vedenpuhdistuslaitosten samanaikaisen yhteispumppauksen lukemat olivat 513 m³/h, 1047 m³/h ja 1560 m³/h. Vedenpuhdistuslaitosten yhteispumppauksella tarkoitetaan tilannetta, jolloin laitosten samanaikaisesti mitattu ulospumppausmäärä on ollut pienemmillään tai suurimmillaan. Ja vastaavasti laitoskohtainen ulospumppausmäärä on ainoastaan yksittäistä laitosta koskeva tulos, jolloin toisella vedenpuhdistuslaitoksella on voinut olla huomattavasti korkeampi tai matalampi ulospumppausmäärä.

Kuviossa 21 on esitetty historiatiedoista sekä koeajon aikana kerätyt ulospumppauksen vesimäärät molemmille vedenpuhdistuslaitoksille tuntikohtaisina keskiarvoina. Hintan ja Kurkelanrannan vedenpuhdistuslaitosten ulospumppauksen vesimäärien vaihteluvälien pienentyminen huomatta-

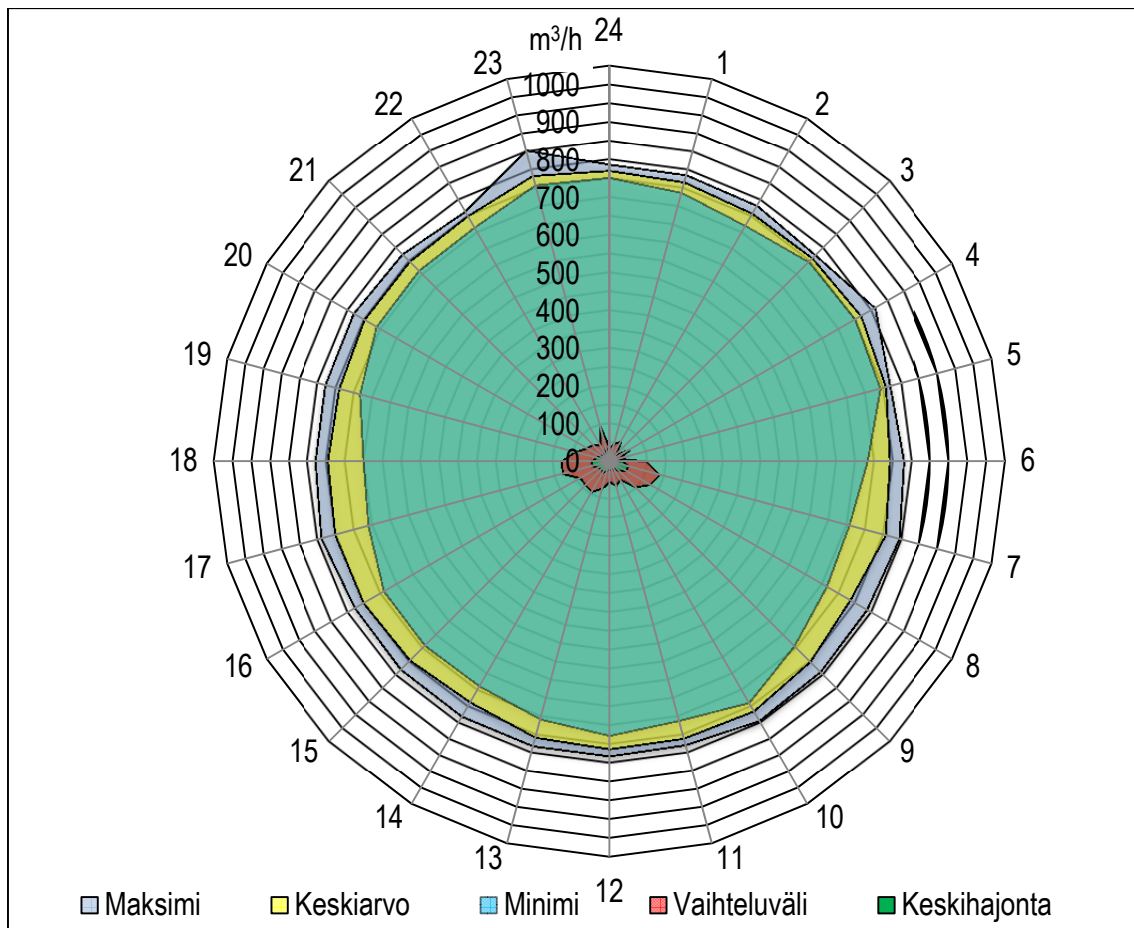
vasti tarkoittaa tasapainottumisen hyvää onnistumista. Molempien vedenpuhdistuslaitoksen ulospumppauksessa, verrattuna ennen koeajoa sekä koeajon aikana kerättyihin tuloksiin, nähdään selkeä parantuminen lähtötilanteeseen, vedenpuhdistuslaitosten yhdistetty kokonaisvesimäärien vaihteluvälin keskiarvo laski 595 m³/h pienemmäksi kuin normaalitilanteessa ennen ja jälkeen koeajon.



KUVIO 21. Tasapainotuksen vaikutus ulospumppauksen vesimääriin

5.6.2 Koeajon vaikutukset Hintan vedenpuhdistamolla

Vertaamalla keskenään kuvioita 15 ja 22 ja niiden tuloksia, voidaan todeta, että Hintan vedenpuhdistamon ulospumppattavan veden vaihteluväli vuorokauden ajoittain tasoittui koeajon aikana huomattavasti lähtötilanteeseen verrattuna. Tämän seurauksena myös laitoksen muiden prosessivaiheiden kuormitus ja käyttö tasapainoutuivat.



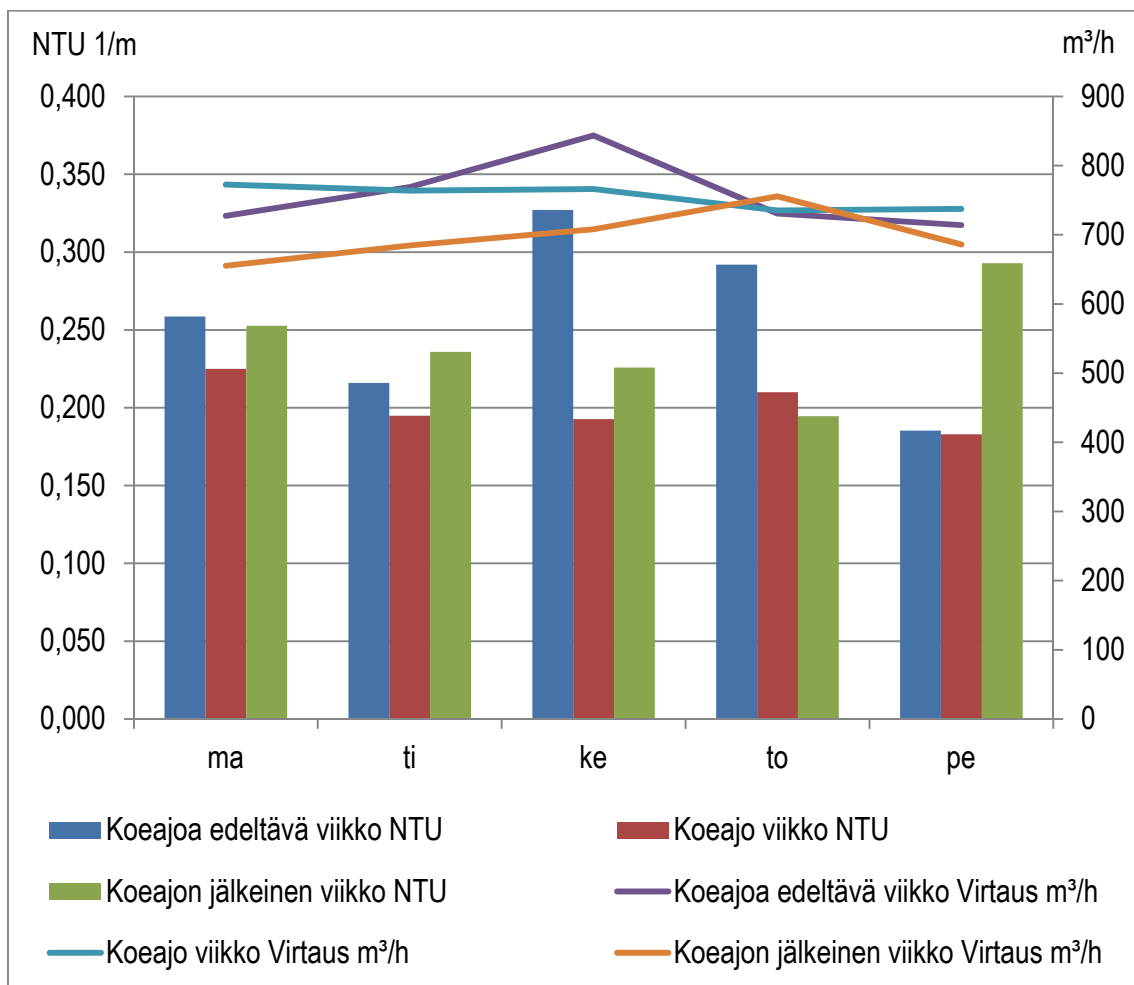
KUVIO 22. Hintan vedenpuhdistamon lähtevän veden vaihteluväli, m³/h koeajojakson aikana

Selkeimmin tasapainottamisen vaikutus ulospumpattavaa vettä edeltäviin prosessivaiheisiin on nähtävissä hiekkasuodattimien jälkeisen kokoamaveden sameudesta, joka tasapainottamisen jälkeen aleni hieman, vaikka raakaveden laadussa ei tapahtunut muutoksia. Näin ollen raakaveden laatumuutokset eivät voineet vaikuttaa puhdistusprosessin toimintaan. Koeajojakson kokoamaveden sameuden tuloksia verrattiin koeajoa edeltäneeseen viikkoon, koeajojaksoon ja kaksi viikkoa koeajon jälkeen, koska heti koeajojakson jälkeinen viikko oli hiihtolomaviikko ja kyseisellä viikolla veden kulutus laskee oleellisesti, joten hiihtolomaviikon tulosten vertaaminen ei anna oikeaa kuvaa prosessin normaalista toiminnasta tai tuloksista.

Kuviossa 23 on esitetty kokoamaveden tuntikeskiarvoista lasketut vuorokautiset keskiarvot kokoamaveden sameudelle sekä veden virtausmäärät vertailuviikoille ja koeajojaksolle. Tuloksista on poistettu sameusmittarin kalibroinnin ja huollon aiheuttamat hetkelliset poikkeamat.

Alentuneen hiekkasuodattimilta lähtevän veden sameuden vuoksi koeajon aikana uskallettiin kokeilla saostuskemikaalin määrän vähentämistä 5 % lähtötilanteesta. Saostuskemikaalin vähentämisellä on suora vaikutus saostusreaktio pH- arvon säätämiseen, joten saostuskemikaalin vähentymisen myötä myös pH- arvon säätämiseen käytettävän kalsiumhydroksidin määrä aleni. Saostuskemikaalin määrän vähentäminen toteutettiin keskiviikkona, jolloin torstaina sameuspitoisuudessa näkyi kohoamista, mutta perjantaille sameuspitoisuus laski jälleen alemmalle tasolle, tämä johtuu puhdistusprosessin toiminnasta, koska prosessi tasoittuu vasta pidemmän ajan kuluttua muutoksesta, eikä välittömästi muutosten jälkeen.

Kuviossa 23 on esitetty sameuspitoisuuden muutokset kokoamavedessä. Torstaita lukuun ottamatta vedenpuhdistuslaitosten ajotavan muutosten vuoksi sameuspitoisuus kohosi korkeammalle tasolle kuin missä sameuspitoisuus oli koeajojakson aikana, vaikka veden virtaamamäärät olivat pienempiä kuin koeajojakson aikana, jolloin suhteellisesti pienemmän vesimäärän aiheuttama rasitus hiekkasuodattimiin on myös pienempi.



KUVIO 23. Hintan vedenpuhdistamon kokoamaveden sameuspitoisuus ja veden virtaama

Saostuskemikaalin vähentämisellä ei koeajon aikana ollut vaikutusta veden laatuun tai puhdistusprosessin toimintaan yleisesti, mutta koeajon jälkeen vedenpuhdistuslaitosten palautuessa vanhaan prosessinohjausmalliin, hiekkasuodattimien kokoamaveden sameuspitoisuus kohosi ja saostuskemikaaliin annostusmäärä jouduttiin palauttamaan takaisin aiempaan annostelumäärään, jolloin kokoamaveden sameus aleni normaalille tasolle. Tästä voidaankin päätellä, että tasaisemmalla ajolla puhdistusprosessi toimii pienemmällä saostuskemikaalimäärällä yhtä laadukkaasti kuin suuremmalla vaihteluvälillä tehtävässä prosessinohjausmallissa. Oletettavasti vedenpuhdistuslaitoksen hiekkasuodattimien mekaaninen puhdistuskyky toimii tasaisemmassa käytössä tehokkaammin.

Tasaisempi prosessinohjaus vaikutti hiekkasuodattimien toimintaan alentuneen sameuspitoisuuden lisäksi myös hiekkasuodattimien huuhtelutarpeen vähenemisenä. Kun prosessin toiminta oli muuttunut tasaisemmaksi, ei hiekkasuodattimilla tapahtunut hiekkasuodattimien tukkeutumista yhtä nopeasti kuin aiemmalla prosessinohjaustavalla. Lisäksi hiekkasuodattimien huuhteluun käytettävää huuhteluvesimäärä pystyttiin alentamaan 50 m³/pesukerta.

Hintan vedenpuhdistuslaitoksen energiankulutuksessa saavutettiin pieni kulutuksen aleneminen tuotettua puhdas vesi m³ kohden verrattuna vuosien 2015 ja 2016 kulutusten keskiarvoihin. Mittakaavaedun vaikutus näkyy myös lievästi vedenpuhdistuslaitosten yhdistetyssä energiankulutuksessa, mutta koska molemmilla vedenpuhdistuslaitoksilla energiankulutukseen lasketaan mukaan tuotantotoimintojen lisäksi myös kaikki muu vedenpuhdistuslaitoksilla tapahtuva toiminta ja energiankulutus, niin osa energiankulutuksen vähentymisestä voidaan selittää muun kulutuksen muuttumisella, vaikkakin molemmilla vedenpuhdistuslaitoksilla tuotannon energiankulutus on selkeästi suurin yksittäinen kuluttaja. Koeajojakson energiankulutus on esitetty taulukossa 1 vertailuvuosi-en kanssa.

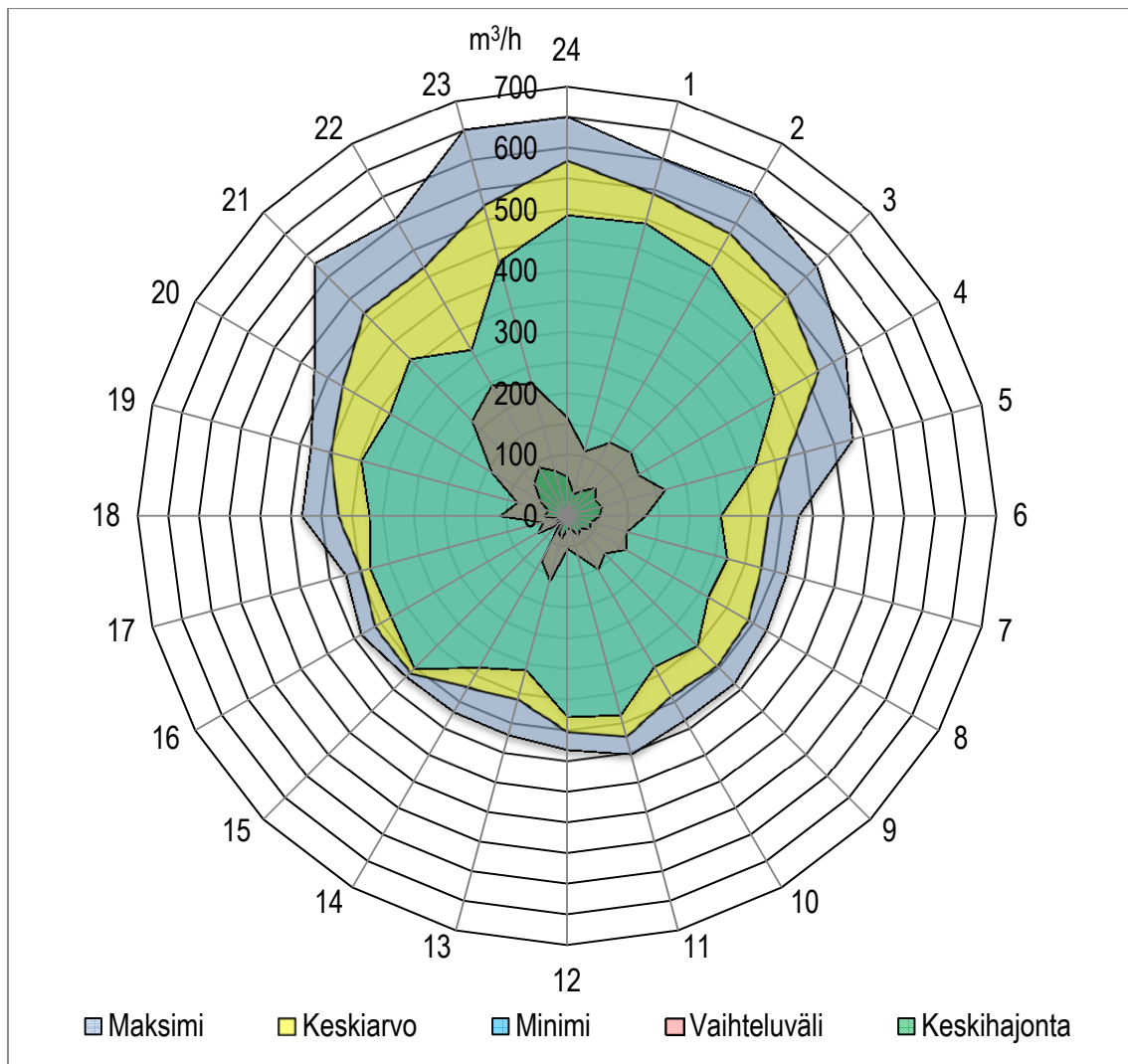
Energian kulutuslukemat on haettu energiaa myyvän yhtiön toteutuneista mittauksista ja puhdasvesimäärät vuosille 2015 ja 2016 Oulun Veden omista toimintaa seuraavista sisäisistä kuukausi- ja vuosiraporteista.

TAULUKKO 1. Energiankulutus

	Hintta	Kurkelanranta	Laitokset yhteensä
Energiankulutus 2015	3 334 828	2 415 424	5 750 252
Puhdas vesi määrä	5 689 314	3 959 437	9 648 751
kWh/ m ³	0,59	0,61	0,60
Energiankulutus 2016	3 443 894	2 375 962	5 819 856
Puhdas vesi määrä	5 832 451	3 913 956	9 746 407
kWh/ m ³	0,59	0,61	0,60
Energiankulutus koeajo- jakson aikana	50 318	29 890	80 208
Puhdas vesi määrä koeajojakson aikana	89 921	48 785	138 706
kWh/ m ³	0,56	0,61	0,58

5.6.3 Koeajon vaikutukset Kurkelanrannan vedenpuhdistamolla

Kuvioista 16 ja 24 ja niiden tuloksista voidaan todeta Kurkelanrannan lähtevän vedenpumppauksen muuttuminen lähtötilanteeseen verrattuna. Myös Kurkelanrannan ulospumppauksessa näkyy parantumista, tosin ei aivan yhtä merkittävää kuin Hintan vedenpuhdistuslaitoksen osalta.



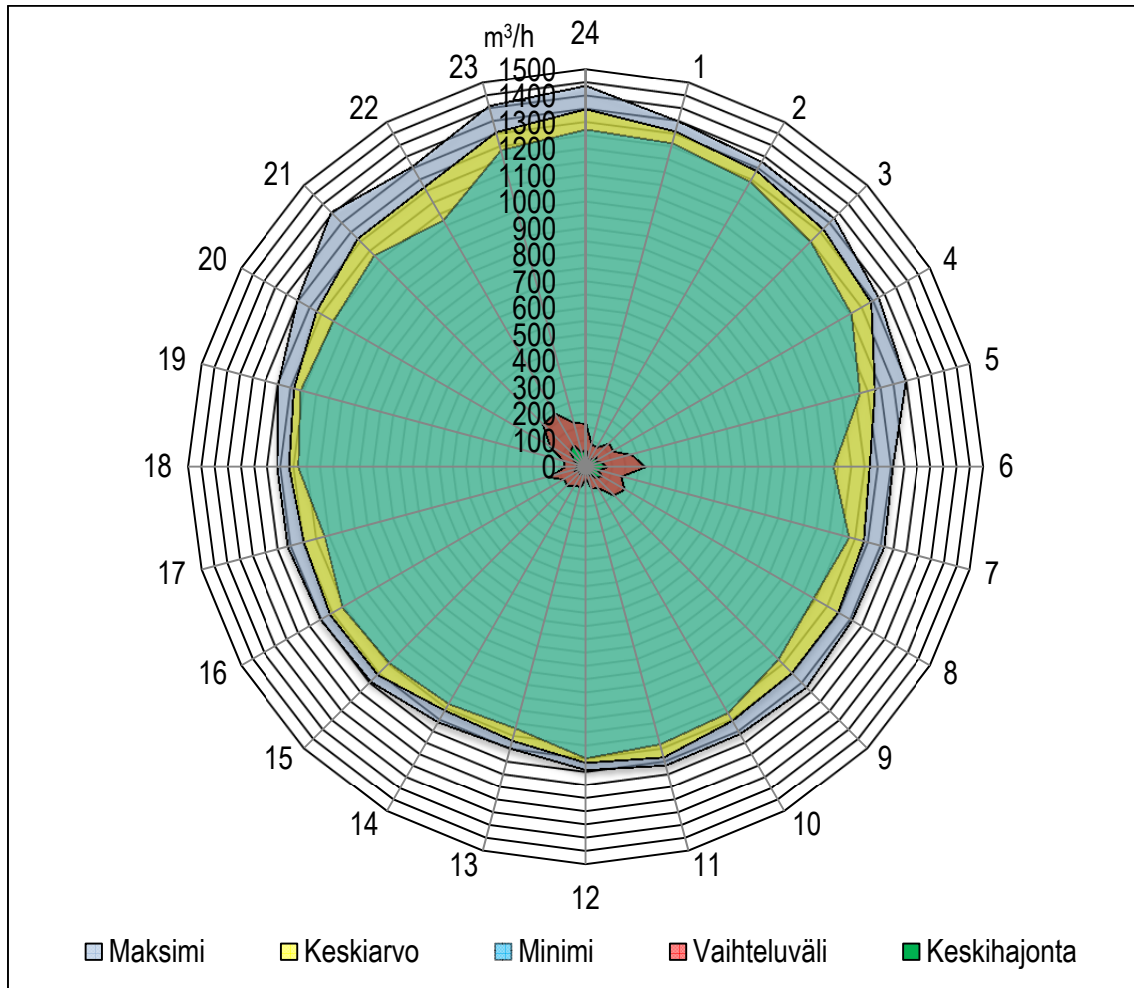
KUVIO 24. Kurkelanrannan vedenpuhdistamon lähtevän veden vaihteluväli m³/h koeajojakson aikana

Kurkelanrannan hieman Hintasta poikkeavan prosessin ja prosessissa olevien mittapisteiden puuttumisen vuoksi prosessin sisällä tapahtuvista muutoksista ei saatu tuloksia, mutta laboratorion suorittamien normaalien veden laatua tarkkailevien päivittäisten analyysien perusteella, veden laadussa ei tapahtunut muutoksia, joiden voidaan katsoa johtuvan tuotannon tasapainottamisesta tai ohjaustavan muutoksista.

Taulukossa 1 esitetty energiankulutus pysyi Kurkelanrannan vedenpuhdistamolla muuttumattomana tai muutokset olivat niin vähäisiä, ettei niitä edes kyetty havaitsemaan vuosien 2015 ja 2016 keskimääräisiin kulutuksiin verrattaessa, joten koeajolla ei ollut suoraan Kurkelanrannan vedenpuhdistamoon kohdistuvaa energiaa säästävää tai kulutusta lisäävää vaikutusta.

5.6.4 Koeajon vaikutukset molemmilla vedenpuhdistamoilla

Vesilaitosten yhdistetty ulospumppauksen vaihtelun väheneminen näkyy vertaamalla kuvioita 17 ja 25 sekä niiden tietoja. Huomataan, että koeajon aikana vaihtelut ulospumpattavan veden määrässä ovat olleet selkeästi pienempiä kuin ennen koeajoa.



KUVIO 25. Vedenpuhdistuslaitosten yhteenlaskettu lähtevän veden vaihteluväli m^3/h koeajojakson aikana

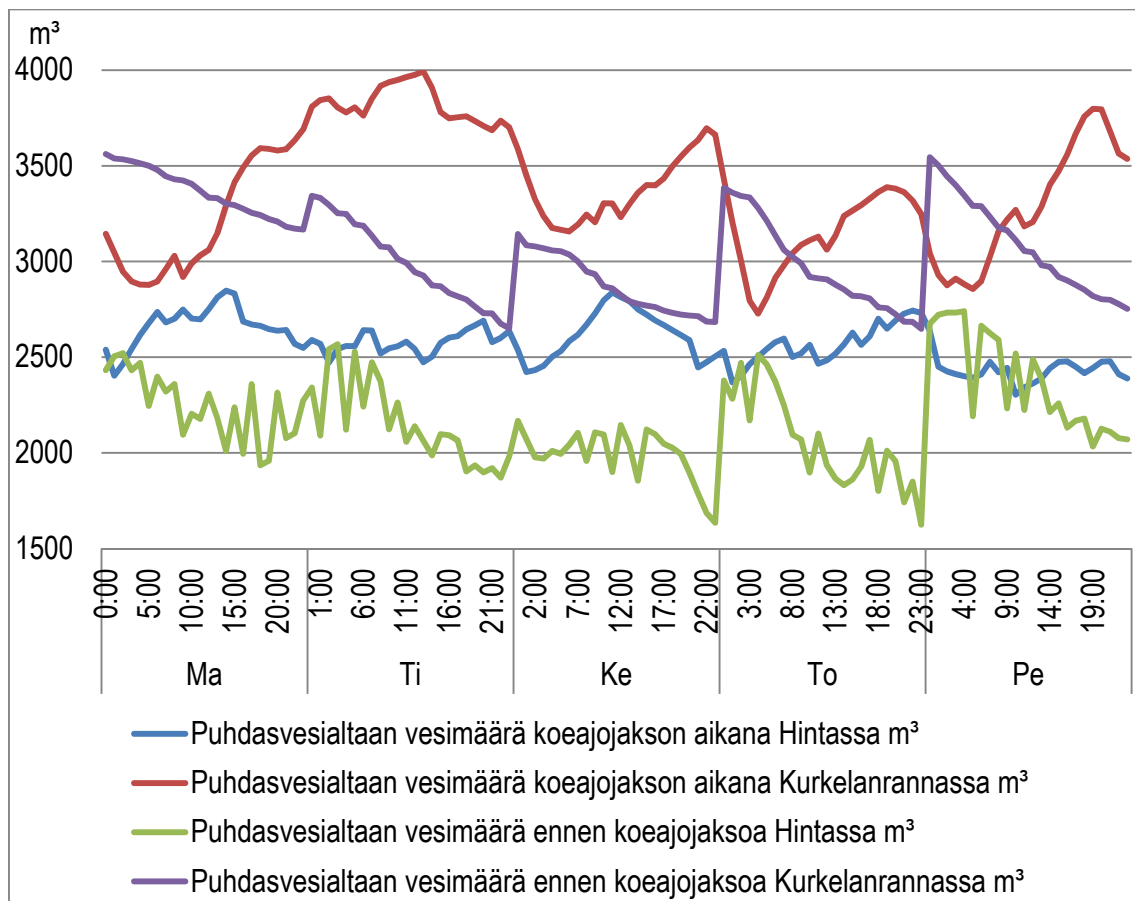
Taulukossa 1 esitettyjen tulosten mukaan vedenpuhdistuslaitosten yhdistetty energiankulutus aleni hieman tuotettua puhdas vesi kuutiometriä kohden, mutta kuten aiemmin on jo todettu, tämä muutos saattaa selittyä muilla samanaikaisesti vedenpuhdistuslaitoksilla tapahtuneilla energiankulutus muutoksilla. Jos muussa energiankulutuksessa ei ole tapahtunut muutosta, tuotannon

tasapainottamisen ja mittakaava edun ansiosta laitosten yhteinen energiankulutus aleni noin 3,2 % vertailutilanteesta.

5.6.5 Koeajon vaikutukset varastoaltaiden käyttöön

Molemmilla vedenpuhdistuslaitoksilla puhtaan veden varastoaltaiden käyttö tehostui koeajon aikana. Altaisiin varastoidun vesimäärän vaihteluväli pieneni koeajoa edeltäneestä tilanteesta ja altaissa pystyttiin varastoimaan kulutukseen suhteutettuna enemmän vettä varastoaltaiden käytön tehostumisen ansiosta kuin ennen koeajojaksoa.

Kuviosta 26 ja sen tiedoista nähdään viikonpäivittäinen altaiden tilavuuden käytön muutos koeajon eri kellonaikoina molemmilla laitoksilla, sekä vertailun vuoksi koeajojaksoa edeltäneen viikon altaiden tilavuuden käyttäytyminen.



KUVIO 26. Vedenpuhdistuslaitosten puhdasvesialtaiden tilavuuden käyttö

Kuviosta 26 nähdään tasapainottamisella ja työn standardisoinnilla aikaansaatu puhdasvesialtaiden tilavuuden käytön tehostuminen lähtötilanteeseen verrattuna. Puhdasvesialtasiin varastoitu vesimäärä oli keskimäärin 14 % suurempi kuin ennen koeajoa.

Puhdasvesialtaiden tehokkaampi käyttö mahdollistaa laitosten tasaisemman tuotannon pienemmällä allastilavuuden muutoksella, jolloin ylimääräinen allastilavuus toimii varmuusvarastona äkillisiä tuotanto- tai muita ongelmia vastaan.

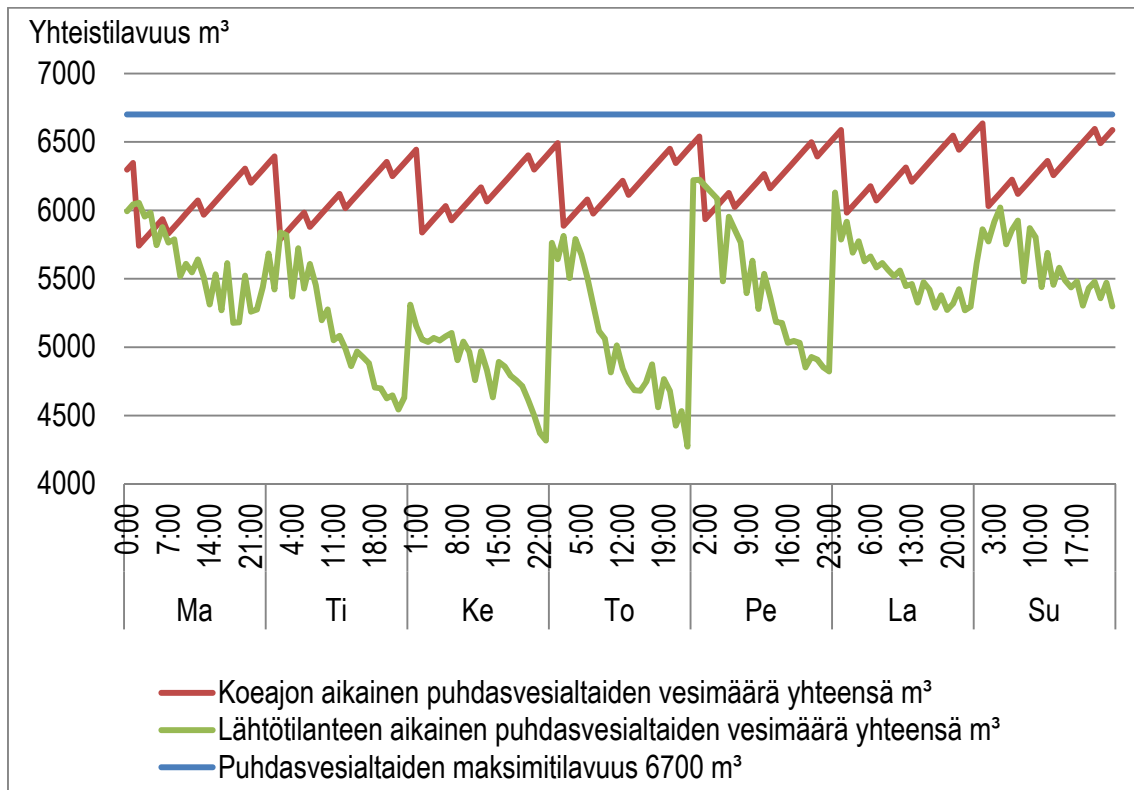
Hintan vedenpuhdistuslaitoksella puhdasvesialtaan vesimäärän vaihteluväli laski keskimääräisestä 1116 m³ tilavuusvaihtelusta 544 m³, mutta Kurkelanrannassa vaihteluväli kasvoi 913 m³:stä 1265 m³:iin. Puhdasvesialtasiin varastoitu vesimäärä pysyi kuitenkin molemmilla vedenpuhdistuslaitoksilla suurempana kuin lähtötilanteessa. Vaihteluvälin kasvamista selittää osittain koko koeajon suorittaminen manuaaliohjauksessa, jolloin inhimillisen virheen mahdollisuus säädöissä on suuri.

Puhdasvesialtaiden vesimäärien minimien, maksimien ja keskiarvojen tulokset on esitetty taulukossa 2. Laitosten yhteismäärillä tarkoitetaan tilannetta, jolloin vesimäärät ovat olleet samanaikaisesti mitattuna pienimmillään tai suurimmillaan vedenpuhdistuslaitoksilla. Yksittäisen vedenpuhdistuslaitoksen mittaus tulokset ovat ainoastaan vedenpuhdistuslaitoskohtaisia lukemia, eikä toisen vedenpuhdistuslaitoksen mittauksilla ole mitään vaikutusta niihin.

TAULUKKO 2. Vedenpuhdistuslaitosten puhdasvesialtaiden tilavuuden käyttö koeajon aikana ja ennen koeajoa

	Tilanne ennen koeajoa			Koeajon aikana		
	Hinta m ³	Kurkelanranta m ³	Laitokset yhteensä m ³	Hinta m ³	Kurkelanranta m ³	Laitokset yhteensä m ³
Minimi	1625	2649	4273	2304	2728	5230
Maksimi	2740	3561	6224	2848	3993	6546
Keskiarvo	2165	3057	5222	2571	3373	5943

Kuviossa 27 on esitetty molempien vedenpuhdistuslaitoksen puhdasvesialtaiden yhteistilavuusmuutoksen käyttäytyminen, joka on huomattavasti vähäisempää ja toimii selkeästi ennustettavammalla tavalla. Altaiden tilavuuden vaihteluväli on myös huomattavasti pienempää lähtötilanteeseen verrattuna, samalla kun altaisiin varastoitu vesimäärä on suurempi.

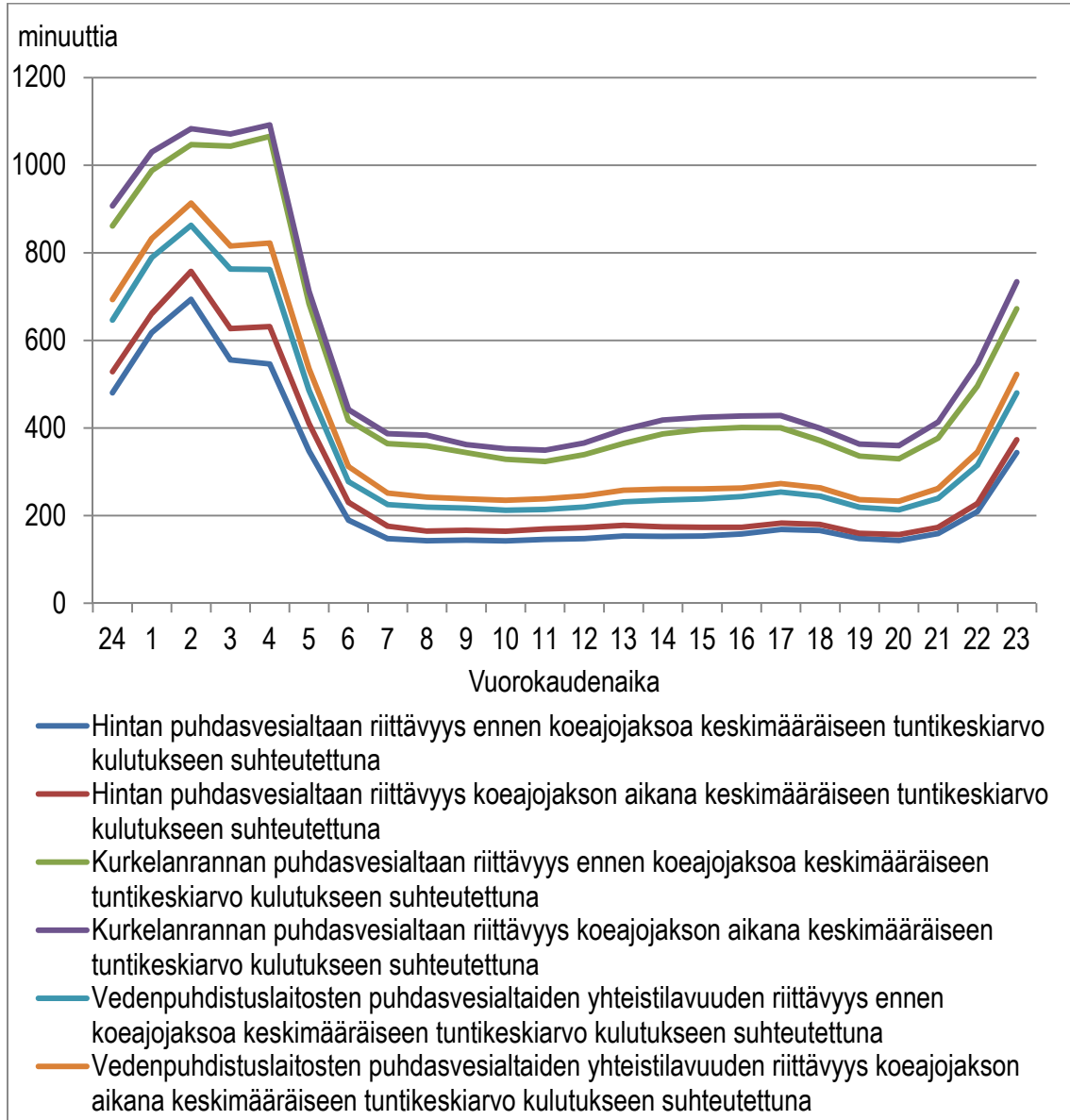


KUVIO 27. Molempien vedenpuhdistuslaitosten puhdasvesialtaiden käyttäytyminen koeajon aikana ja ennen koeajoa

Puhdasvesialtaisiin varastoituneen vesimäärän kasvun ansiosta vedenpuhdistuslaitoksilla oli koeajon aikana käytettävissä enemmän varastoitua vettä yllättäviin muutoksiin kuin ennen ja jälkeen koeajon. Kuviossa 28 on esitetty kuinka monta minuuttia pidempää puhdasvesialtaisiin varastoitu vesimäärä riittää, kun varastoissa olevan vesimäärän suhteuttaa päivä- ja tuntikohtaisiin keskimääriin toteutuneisiin vedenkulutusmääriin.

Hintan vedenpuhdistuslaitoksella puhdasvesialtaassa käytettävissä olevan vesimäärän riittävyys kasvoi parhaimmillaan 62 minuuttia lähtötilanteeseen verrattuna, pienimmillään 18 minuuttia ja keskimäärin 31 minuuttia. Kurkelanrannan vedenpuhdistuslaitoksella puhdasvesialtaaseen varastoidun vesimäärän riittävyys kasvoi suurimmillaan 85 minuuttia, pienimmillään 12 minuuttia ja keskimäärin 31 minuuttia.

Vedenpuhdistuslaitosten puhdasvesialtaiden vesimäärän yhteenlaskettu riittävyys suhteutettuna tuntikohtaiseen kokonaiskulutukseen puolestaan kasvoi suurimmillaan 61 minuuttia, pienimmillään 17 minuuttia ja keskimäärin 31 minuuttia.



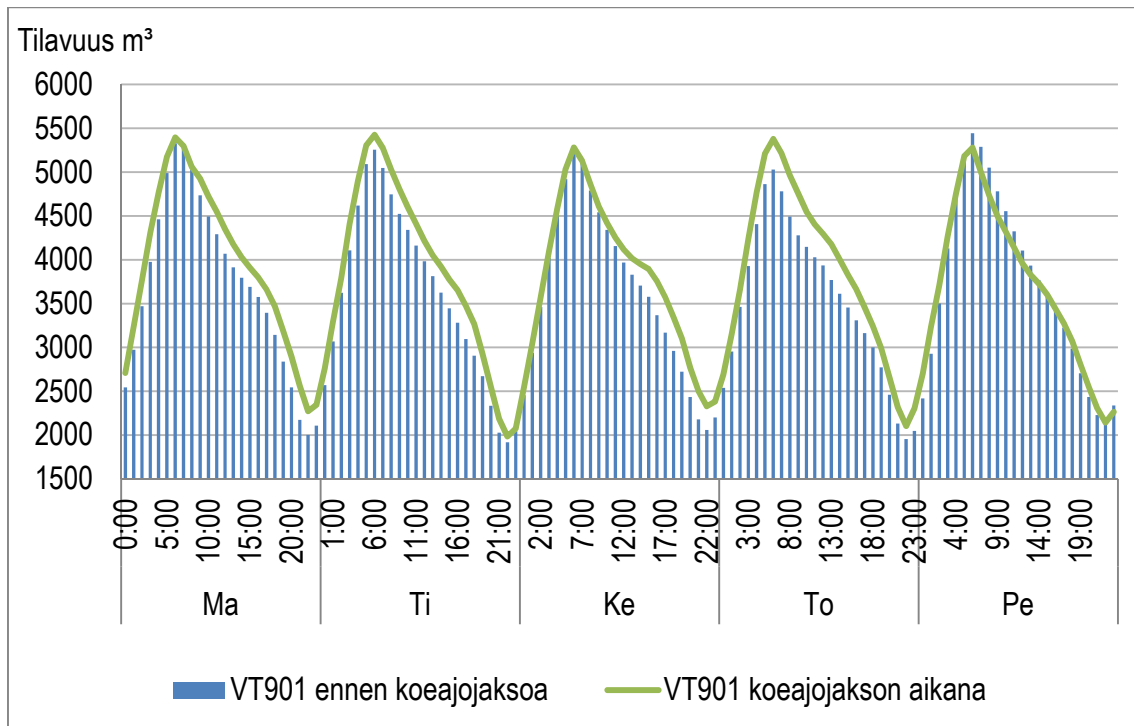
KUVIO 28. Hinta ja Kurkelanrannan vedenpuhdistuslaitosten puhdasvesialtaksiin varastoidun veden riittävyys tuntikohtaiseen kulutukseen suhteutettuna

5.6.6 Koeajon vaikutukset vesitornien käyttöön

Vesitornien käyttämistä asiakaskulutuksen puskurina koeajon aikana hankaloitti vesitorneissa käytössä oleva automaatiojärjestelmä, johon ei ole tehty lainkaan kulutuksen mukaan itsestään säätyvää automatiikkaa, vaan koeajoon osallistuneiden henkilöiden tulikin seurata vesitornien

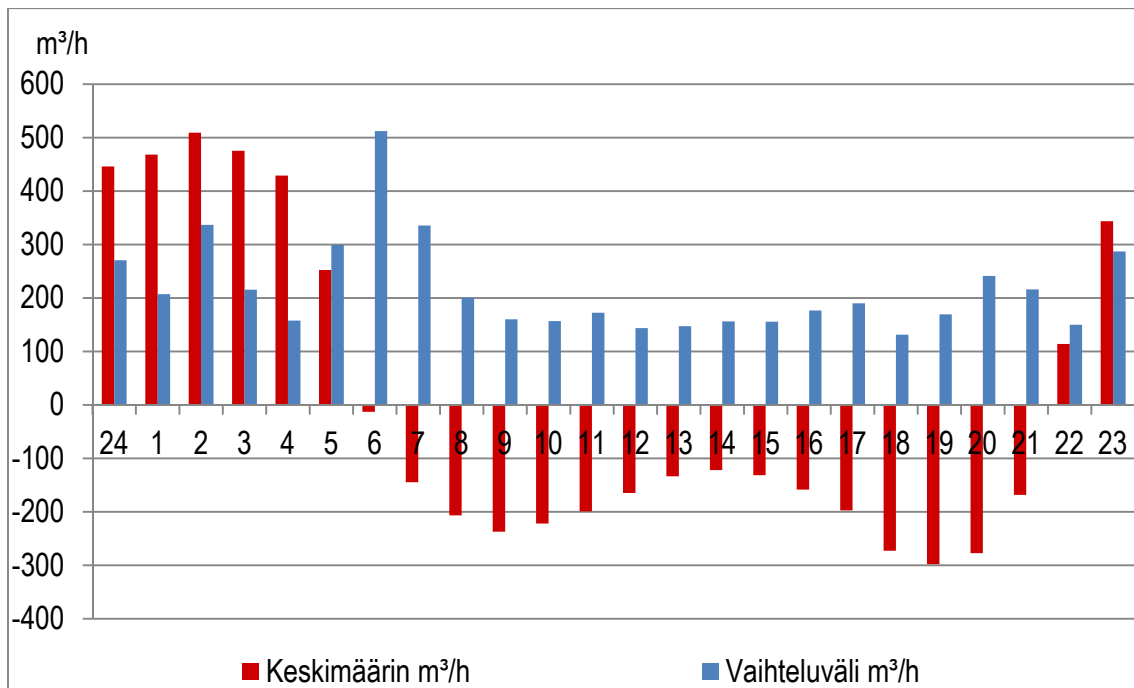
veden virtausmääriä herkeämättä ja suorittaa tarvittavat säätötoimet manuaalisesti. Kuitenkin kuten kuvioiden 29 ja 31 tiedoista nähdään, koeajojakson keskiviikkona vesitorneja onnistuttiin käyttämään tehokkaammin kulutuksen puskurina, jolloin vähentyneeseen kulutukseen vastattiin säätämällä vesitornien virtausta pienemmälle, jonka ansiosta vedenpuhdistuslaitoksilla ei ollut tarvetta suorittaa säätötoimenpiteitä.

Verrattaessa koeajojakson aikana kerättyjä vesitornien vesimäärien tilavuuksissa tapahtuneita muutoksia aiempiin vesitornien tilavuusmuutoksiin, kuvion 29 tietojen pohjalta voidaan havaita VT901 kyynteen varastoimaan tilavuudellisesti enemmän vettä kuin aiemmin. Sama havainto voidaan tehdä myös kuvion 30 tietoihin perustuen VT902 vesitornin käyttäytymisestä.



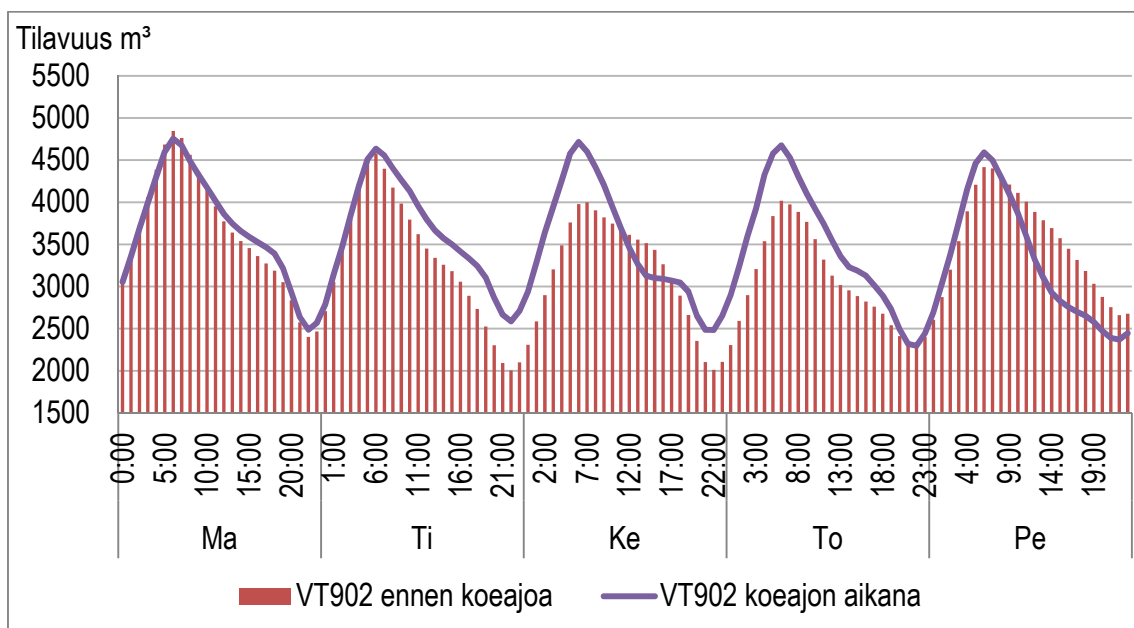
KUVIO 29. VT901 vesimäärän tilavuuden muutokset koeajojakson aikana ja ennen koeajojaksoa

Vesitornin VT901 keskimääräinen virtausmäärä ja vaihteluväli pienenevät koeajon aikana. Vaihteluvälin ja virtausmäärän pieneminen kuvastaa vesitornin parempaa käytettävyyttä asiakas-kysynnän puskurivarastona sekä siihen vastaamiseen. Vaihteluvälin ja virtauksen muutokset koeajon aikana on esitetty kuviossa 30.

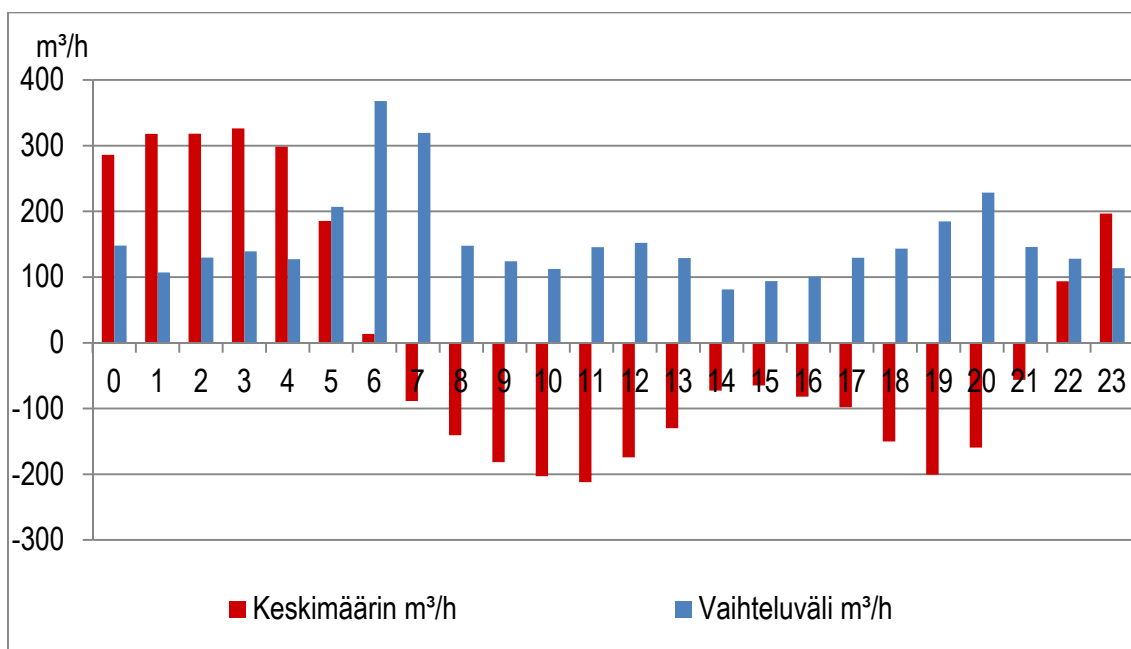


KUVIO 30. VT901 keskimääräiset vuorokautiset virtausmäärät ja niiden vaihteluvälien muutos koeajojakson aikana

Myös vesitornin VT902 vaihteluväli ja virtausmäärät pienenevät lähtötilanteeseen verrattaessa. Kuten vesitorni VT901 kohdallakin tämä kuvastaa parempaa asiakaskysyntään vastaamista vesitorniin varastoidun veden avulla. Kuviossa 32 on esitetty koeajon aikana kerättyjen tietojen pohjalta vaihteluvälin ja virtauksen muutokset vuorokauden eri aikoina.



KUVIO 31. VT902 vesimäärän tilavuuden muutokset koeajojakson aikana ja ennen koeajojaksoa



KUVIO 32. VT902 keskimääräiset vuorokautiset virtausmäärät ja niiden vaihteluvälien muutos koeajon aikana

Koeajon aikana molempien vesitornien keskimääräiset virtaukset ja virtausten vaihteluvälien muutokset on esitetty koeajojakson ajalta taulukossa 3, jossa on myös verrattu koeajon aikana saatuja tuloksia vuosien 2015 ja 2016 aikana mitattuihin tuloksiin. Ja kuten taulukosta voidaan todeta virtausmäärien minimi, maksimi ja vaihteluvälin virtausmäärät laskivat koeajon aikana verrattuna tilanteeseen ennen koeajoa. Aikaan saatu muutos kuvastaa vesitornien tehokkaampaa käyttämistä kulutuksen puskurivarastona, sekä standardisoidun työn aikaan saamaa muutosta käyttäjien toimintatavassa vesitornien ohjaamisessa.

TAULUKKO 3. Vesitornien VT901 ja VT902 virtausmäärien muutokset ennen ja jälkeen koeajojakson

	Ennen koeajojaksoa		Koeajojakson aikana		Muutos	
	VT901	VT902	VT901	VT902	VT901	VT902
Keskimäärin m³/h	248	178	249	169	1	-9
Minimi m³/h	-861	-475	-375	-292	-486	-183
Maksimi m³/h	693	592	618	404	-75	-188
Vaihteluväli m³/h	1554	1067	993	696	-561	-371

5.7 Validiteetti

Automaatiojärjestelmien aiheuttamien ongelmien vuoksi koeajoa ei voitu suorittaa täysin automaatiojärjestelmien säätöjen varassa, vaan tuloksiin jäi inhimillisen virheen mahdollisuuksia. Inhimillisen virheen suuruutta ei voitu mitata tai arvioida koeajojakson aikana.

Puhdasvesialtaiden ja vesitornien tilavuuden tehokkaampaa käyttöä voidaan pitää luotettavana tuloksena, koska aikaan saatu muutos näkyi normaalissa toiminnassa ja saadut tulokset olivat vertailukelpoisia aiempiin tuloksiin.

Kemikaalien kulutuksen muutosta Hintan vedenpuhdistamolla voidaan pitää luotettavana tuloksena, koska kulutuksen aleneminen kohdistui suoraan tuotantoprosessiin ja sen vaikutusta pystyttiin luotettavasti seuraamaan mittalaitteiden avulla ja laitosten palautuessa normaaliin tuotannonohjaamisen malliin saavutettu kemikaalien kulutuksen väheneminen menetettiin.

Suodattimien pesuvesien määrän ja pesukertojen vähenemistä voidaan myös pitää luotettavana tuloksena, koska pesuvesimäärien väheneminen ja tarve pystyttiin toteamaan käytännössä koeajojen aikana ja laitosten palattua normaaliin tuotannonohjaamisen malliin saatu tulos poistui.

Energiankulutuksen osalta kulutus kohdistui mittareiden mukaan myös muuhun laitoksilla tapahtuvaan toimintaan eikä pelkästään vedenpuhdistuslaitosten tuotantolaitteiden tai tuotannon kulutukseen, siksi niiden muutoksiin kannattaakin suhtautua varauksella ja pitää tuloksia suuntaa antavina mahdollisuuksina, jotka vaativat lisää tutkimista ja varmistamista.

6 LOPPUANALYYSI

Opinnäytetyön ajatuksena oli tutkia vedenpuhdistuslaitosten tehokkuuden parantamisen edellytyksiä tuotannon tasapainottamisen avulla ja sitä kautta vaikuttaa vedenpuhdistuslaitosten laadun parantumiseen ja kustannusten vähentymiseen, sekä parantaa kahden erillisen vedenpuhdistuslaitoksen yhteiskäytön mahdollisuuksia ja tuoda yhteiskäytön mahdollisuuksien parantamisen esteitä esille.

Tuotannon tasapainottamisen kannalta ei ole merkitystä sillä, onko tasapainottamisen työkaluina Heijunka, imuohjaus, läpäisyajan lyhentäminen tai vain terveen järjenkäyttö. Tärkeintä on tasapainon saavuttaminen, jonka avulla pystytään saamaan aikaan sekä laadullista tuotteen paranemista että kustannustehokkuuden kasvua. Toisin edellä mainitut työkalut ja toimintatavat ovat selkeästi toimivia menetelmiä, joilla on mahdollista aikaan saada hallitusti edellä mainittuja laadun ja kustannustehokkuuden parantumista. Tuotannon tasapainottaminen on toimintatapa, jolla todennäköisesti saavutetaan oikein käytettynä laadun parantumista ja kustannusten vähentymistä kaikissa tuotantomuodoissa.

Käytännössä koeajoa varten tehdyt kulutuksen ja varastoaltaiden tilavuuden muutoslaskelmat poikkesivat hieman todellisuudesta, mutta olivat silti riittävän lähellä todellista tilannetta, jotta niiden avulla pystyttiin suorittamaan koeajo. Puhdasvesialtaissa pystyttiin varastoimaan määrällisesti enemmän vettä kuin ennen koeajon aloittamista, tämä kuvastaa olemassa olevan infrastruktuurin parempaa käyttämistä ja vaikuttaa suoraan toimintavarmuuden kasvamiseen.

Veden laadun paranemista saavutettiin Hintan vedenpuhdistuslaitoksen osalta saostuskemikaalin vähentämisen myötä, jolloin talousveden mukaan päätyy vähemmän veteen liuenneita suola- ja rautaioneja, ts. vesi on tällöin hieman puhtaampaa ja sisältää vähemmän lisättyjä kemikaaleja.

Lean-työkalujen toimivuus vedenpuhdistuslaitosten toiminnassa ja toiminnankehittämisessä on mahdollista, joskin jokaiseen työkaluun tai menetelmään kannattaa tutustua aiemmin. Ennen työkalujen käytön aloittamista pitää myös pohtia niiden soveltuvuutta sekä kokeilla työkalujen ja menetelmien toimivuutta aluksi teoriassa ja tämän jälkeen testata niiden soveltuvuutta pienimuotoisesti ennen täyttä käyttöönottoa. Vertaamalla saatuja tuloksia olemassa olevaan tilanteeseen pystytään päättämään niiden soveltuvuutta ja toimivuutta kyseiseen toimintaan. Vertailu tulee

tehdä kuitenkin rehellisesti ja vertailukelpoisilla tuloksilla. Kuitenkin esimerkiksi toiminnan kannalta 5S menetelmien ja standardoidun työn mukaisten toimintatapojen soveltuminen laitosten toimintaan on ilmiselvää. Kyseiset työkalut ja menetelmät ovat yleismaailmallisia tuotantotoimintoja tukevia menetelmiä, jotka todennäköisesti soveltuvat kaikkeen tuotanto- ja valmistustoimintaan.

Standardisoidun työn merkitys toiminnassa hieman yllätti. Koska koeajojakson aikana kuten myös sen jälkeen vedenpuhdistuslaitosten toiminnassa yksinkertaisilla ennakkoon määritetyillä suoritteilla, saatiin näkyvää laadun parantumisia ja kustannusten alentumisia aivan teoriaoppien mukaisesti. Tulokset saatiin aikaiseksi pelkästään muuttamalla jo olemassa olevia toimintatapoja. Näihin toimintoihin kannattaakin kiinnittää enemmän huomioita, sillä niiden toteuttaminen on melkein ilmaista ja kuten edellä on mainittu ne tuottavat sekä tuotteen laadullista paranemista ja myös kustannussäästöä. Hyödyt ovat yksinkertaisesti saavutettavissa, koska standardoimalla tehtäviä joudutaan ennakkoon miettimään, miten kyseiset tehtävät ja toiminnot ovat parhaiten ja tehokkaimmin suoritettavissa.

Tuotannon laadun ja toiminnan tehostamiseksi sekä parantamiseksi nykyisten varastoaltaiden käyttö nousee merkittävään asemaan. Varastoaltaiden käytön tehostamisen merkitys korostuu vedenpuhdistuslaitosten yhteistoiminnan ja kustannustehokkuuden parantamisen kannalta. Tämän vuoksi kannattaakin tutkia eri vaihtoehtoja laitosten varastoaltaiden käytön tehostamiseksi ja kapasiteettien tasaamiseksi ja luoda uusien tutkimusten perusteella edellisessä kappaleessa mainittu yhteinen tuotantostrategia, jonka pohjalta vedenpuhdistuslaitosten tulevaisuuden suunnitelmia muodostetaan.

Varastoaltaiden käytön tehokkuus heijastuu suoraan laitosten kokonaiskäytön tehokkuuteen ja taloudellisuuteen, kun kaksi erillistä laitosta muodostavatkin yhden aiempaa suuremman kokonaisuuden ennen vesijohtoverkoston ja loppuasiakasta. Suuremmalla kokonaisuudella on väistämättä vaikutusta myös tuotannon ja tuotteen laatuun, kustannustehokkuuteen sekä osittain myös toimintavarmuuteen.

Automaatiojärjestelmien toimintojen parantamiseen vedenpuhdistuslaitosten ja vesitornien toiminnassa sekä niiden prosessien ohjaamisessa kannattaa pyrkiä automaatiojärjestelmien keskinäisen kommunikaation parantamisen kautta. Tällöin järjestelmien avulla pystytään säätämään vedenpuhdistuslaitosten ja mahdollisesti jopa vesitornien toimintaa ja käyttöä tehokkaammin.

Automaatiojärjestelmien avulla elektronisen Kanban järjestelmän luominen on tutkimisen arvoisen ajatus vedenpuhdistuslaitosten tehokkuuden sekä laadun kasvattamiseksi ja turhien toimintojen pois karsimiseksi. Järjestelmän tulisi ehdottomasti koskea molempien vedenpuhdistuslaitosten toimintaa ja jopa ehkä vesitornien tiiviimpää kytkemistä tuotannon tarpeisiin ja vesitornien ohjaamista tehokkaammin, koska koeajon aikana ilmeni mahdollisuus vesitornien tehokkaammasta käytöstä kulutukseen vastaavina puskurivarastoina.

Lyhyen koeajojakson takia on suositeltavaa korjata automaatiojärjestelmistä säätöjen puutteet ja ongelmat, sekä toistaa koeajo pidemmällä aikavälillä, jolloin laitosten eri raaka- ja puhdasvesipumppujen käyttäminen sekä eri vuodenaikojen aiheuttamat raakaveden muutokset, joita tämän opinnäytetyön yhteydessä ei pystytty toteamaan, näkyisivät tuloksissa. Myös mahdollinen vesitornien parempi hyödyntäminen pystyttäisiin todentamaan samalla.

Automaatiojärjestelmien puutteiden korjaaminen kannattaa toteuttaa, vaikka vastaavaa koeajoa ei suoritettaisikaan enää uudelleen, koska järjestelmien toimivuus on olennainen osa vedenpuhdistuslaitosten toimintaa, varsinkin poikkeustilanteiden aikana.

Opinnäytetyötä ohjannut ajatus laitosten yhteiskäytön tehostamisesta ja tutkimisesta vain vahvistui tuloksia tutkiessa. Yhteiskäytön tehostamisella on selkeästi nähtävää potentiaalia sekä laadun parantamiseksi että kustannusten alentamiseksi.

LÄHTEET

AllAboutLean.com. 2014. Why leveling (Heijunka) is important. Viitattu 2.6.2017,
<http://www.allaboutlean.com/why-leveling/>

Fawaz, A. 2003. Lean manufacturing tools and techniques in the process industry with a focus on steel. University of Pittsburgh.

Fekete, M. & Hulvej, J. 2014. Lean management as a house from the past to the present. Viitattu 4.4.2017,
https://www.fm.uniba.sk/fileadmin/fm/Veda/Archive_CMR/vol8_2014_no2_1_fekete_hulvej.pdf

Fiore, G. 2016. Lean execution: The basic implementation guide for maximizing process performance. Boca Raton: CRC press.

Floyd, R.C. 2010. Liquid Lean developing lean culture in the process industries. Boca Raton: CRC Press.

General kinematics. 2014. Batch processing vs. continuous flow. Viitattu 9.4.2017,
<https://www.generalkinematics.com/blog/batch-processing-vs-continuous-flow/>

Gerhard, J.P. 2012. Lean management principles for information management. Boca Raton: CRC press.

Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. 6. painos. Tampere: Infacs Oy.

Heikkilä, T. 2014. Kvantitatiivinen tutkimus. Viitattu 2.11.2016,
<http://www.tilastollinentutkimus.fi/1.TUTKIMUSTUKI/KvantitatiivinenTutkimus.pdf>.

Hirano, H. & Furuya, F. 2006. Jit is flow; practice and principles of lean manufacturing. Vancouver: PCS Inc.

Huhtala, P. & Pulkkinen, A. (toim.). 2009. Tuotettavuuden kehittäminen. Helsinki : Teknologia-teollisuus ry.

iSixSigma. 2014. Heijunka: The art of leveling production. Viitattu 11.12.2016,
<https://www.isixsigma.com/methodology/lean-methodology/heijunka-the-art-of-leveling-production/>

Jyväskylän yliopisto 2015. Laadullinen tutkimus. Viitattu 2.11.2016,
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/laadullinen-tutkimus>.

Kaizen institute. Definition of kaizen. 2016. Viitattu 20.12.2016, <https://www.kaizen.com/about-us/definition-of-kaizen.html>

Kajaste, V. & Liukko, T. 1994. Lean –toiminta suomalaisten yritysten kokemuksia. Helsinki: Metalliteollisuuden keskusliitto.

Koichi Kimura institute, 2016. The house of lean v3.4. Viitattu 7.4.2017,
<https://www.slideshare.net/enateduardo/the-house-of-lean-v34-koichi-kimura-institute>

Lean Enterprise Institute. 2017. A brief history of lean. Viitattu 16.11.2016,
<https://www.lean.org/WhatsLean/History.cfm>

Lean Experience. 2017. Lean thinking. Viitattu 4.4.2017,
http://www.leanexperience.com.au/about_lean_principles/

Lean lion. 2016. Miksi 5S?. Viitattu 13.10.2016, <http://www.leanlion.com/miksi-5s/>

Lean manufacturing tools. 2017. Implementing 5S process. Viitattu 9.2.2017,
<http://leanmanufacturingtools.org/194/benefits-of-implementing-the-5s-process/>

Lean process. 2016. 7 wastes of Lean manufacturing. Viitattu 12.2.2017.
<http://www.leanprocess.net/7-wastes-of-lean-manufacturing/>

Lean production 2016. Top 25 Lean tools. Viitattu 28.3.2017, <http://www.leanproduction.com/top-25-lean-tools.html>

Lean.org. 2017. Standardized work: the foundation for kaizen. Viitattu 5.4.2017, <https://www.lean.org/Workshops/WorkshopDescription.cfm?WorkshopId=20>

Leanmanufacture.net. 2009. Lean KPI's – key performance indicators and performance metrics. Viitattu 7.2.2017, <http://www.leanmanufacture.net/kpi.aspxml>

Lean-Manufacturing-Japan. 2008. Push-Pull Manufacturing. Viitattu 7.2.2017, <http://www.lean-manufacturing-japan.com/scm-terminology/push-pull-manufacturing.html>

Lehtonen, J-M. 2004. Tuotantotalous. 1.painos. Helsinki: WSOY.

Liker, J.K. & Convis, G.L. 2004. Toyotan tapaan. 1. painos. Helsinki : Readme.fi.

Liker, J.K. & Convis, G.L. 2012. Toyotan tapa Lean- johtamiseen. Hämeenlinna: Readme.fi (A Bonnier Group Company).

Liker, J.K. & Hoseus, M. 2008. Toyota culture the heart and soul of the Toyota way. New York: McGraw-Hill.

Logistiikan maailma. 2016. Tuotannosuunnittelu- ja ohjaus. Viitattu 28.10.2016, http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Tuotannosuunnittelu_ja_ohjaus.

Logistiikan maailma. 2017a. Tuotantomuodot. Viitattu 13.5.2017, <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/tuotanto/tuotantomuodot/>

Logistiikan maailma. 2017b. JIT (Just-in-time) ja imuohjaus. Viitattu 15.3.2017, [http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/JIT_\(Just-in-time\)_ja_imuohjaus](http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/JIT_(Just-in-time)_ja_imuohjaus).

Maharani, D.P. 2016. Process choice & layout decisions in manufacturing & services. Viitattu 19.3.2017. <https://www.slideshare.net/DHANISPUSPAMAHARANI/process-choice-and-layout-decisions-in-manufacturing-and-services-58744362>.

Martinsuo, M., Mäkinen, S., Suomala, P. & Lyly-Yrjänäinen, J. 2016. Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa. 1. painos. Edita Publishing Oy.

McMahon, T. 2008. An introduction to 6S. Viitattu 15.10.2016,
<http://www.slideshare.net/ALeanJourney/introduction-to-6s>

Mit esd. Heijunka – product & production leveling. 2004. Viitattu 11.12.2016,
https://ocw.mit.edu/courses/engineering-systems-division/esd-60-lean-six-sigma-processes-summer-2004/lecture-notes/9_3product_level.pdf.

Monden, Y. 1983. Toyota production system. Atlanta: Industrial engineering and management press. Institute of industrial engineers.

OEE.com. 2016. Six big losses.. Viitattu 29.12.2016, <http://www.oeec.com/oeec-six-big-losses.html>.

Ohno, T. 1988. Toyota production system beyond large scale production. Boca Raton: CRC Press.

Oulun vesi liikelaitos. 2004a. Puolivälinkankaan vesitorni tekniset tiedot. Sisäinen lähde. Viitattu 20.4.2017.

Oulun vesi liikelaitos. 2004b. Maikkulan vesitorni tekniset tiedot. Sisäinen lähde. Viitattu 20.4.2017.

Oulun vesi liikelaitos. 2016a. Hintan vedenpuhdistamon tekniset tiedot. Sisäinen lähde. Viitattu 26.1.2017.

Oulun vesi liikelaitos. 2016b. Kurkelanrannan vedenpuhdistamon tekniset tiedot. Sisäinen lähde. Viitattu 26.1.2017.

Power solutions international, inc. 2016. The five pillars of 5S. Viitattu 10.10.2016,
<http://www.psiengines.com/about/quality/psi-5s>

Process excellence network. 2013. 12 essential Lean concepts and tools. Viitattu 28.3.2017, <https://www.processexcellencenetwork.com/lean-six-sigma-business-transformation/articles/12-essential-lean-concepts-and-tools>

QDC Business Engineering Oy. 2008. Lean-tuotannon periaatteet. Viitattu 12.2.2017, <http://www.qdc.fi/fin/LeanProduction.php>

Quality America Inc. 2013. Level load balancing. Viitattu 19.2.2017, http://qualityamerica.com/LSS-Knowledge-Center/leansixsigma/level_load_balancing.php

Reyner, A. & Fleming, K. 2004. Heijunka product & production leveling. Viitattu 11.12.2016, https://ocw.mit.edu/courses/engineering-systems-division/esd-60-lean-six-sigma-processes-summer-2004/lecture-notes/9_3product_level.pdf

Roos, Y. Tuotannonohjauksen yleiskuva. 1982. Insinööritieto Oy.

Rother, M. & Shook, J. 2009. Learning to see. versio 1.4. Cambridge: Lean Enterprise Institute, Inc.

Russell, R.S. & Taylor, B.W. 2011. Operations management international student version. Asia:John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.

Shingo, S. 1984. Japanilainen tuotantoajattelu. 1. painos. Suomen metalliteollisuuden keskusliitto, MET. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

Shingo, S. 1985. Zero quality control. Portland: Productivity, Inc.

Shingo, S. 2007. Kaizen and the art of creative thinking. Enna products corporation.

Shmula.com. 2017. What is push vs pull strategy?. Viitattu 15.3.2017, <http://www.shmula.com/aboutpeter-abilla/what-is-push-vs-pull-strategy/>

SixSigma. 2016a. Leanin historiaa. Viitattu 2.9.2016, <http://www.sixsigma.fi/fin/lean/leanin-historiaa/>

SixSigma. 2016b. 5S. Viitattu 10.10.2016,
<http://www.sixsigma.fi/fi/artikkelit/viidenaesnaenkehitystyoekalu/>

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista
17.11.2015/1352.

Teknologia teollisuus. 2014. Tulosta ja palkkaa Näkökohtia teknologiateollisuuden palkkausta-
voista ja niitä täydentävistä tulos- ja voittopalkkioista. Viitattu 13.12.2016,
http://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/tulosta_ja_palkkaa_-julkaisu.pdf

Toyota. 2013. Heijunka – Toyota production system guide. Viitattu 11.12.2016,
<http://blog.toyota.co.uk/heijunka-toyota-production-system>

Toyota. 2016. Andon – Toyota production system guide. Viitattu 8.4.2017,
<http://blog.toyota.co.uk/andon-toyota-production-system>

Tuominen, K. 2010. Lean - kohti täydellisyyttä: Mitä Toyota ja Lean- yritykset tekevät eri tavalla
kuin muut. 1.painos. Helsinki: Readme.fi.

Ung, A. 2013. Eliminate non-value added activities in your organization. Viitattu 13.11.2016,
<https://flevy.com/blog/eliminate-non-value-added-activities-in-your-organization/>

Ward, A.C. 2007. Lean production and process development. Cambridge: Lean Enterprise Insti-
tute, Inc.

Velaction. 2010. Poka yoke. Viitattu 8.4.2017, <http://www.velaction.com/definition-poka-yoke/>

Wikipedia. 2016a. Tuotannonohjaus. Viitattu 6.8.2016,
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Tuotannonohjaus>

Wikipedia. 2016b. 5S. Viitattu 9.10.2016, <https://fi.wikipedia.org/wiki/5S>

Wikipedia. 2016c. Production leveling. 2016. Viitattu 11.12.2016,
https://en.wikipedia.org/wiki/Production_leveling

Womack, J.P & Jones D.T. 2003. Lean thinking banish waste and create wealth in your corporation. London: Simon & Schusteter UK Ltd.

Väänänen, M. 1983. Kapasiteetin lisääminen ja läpäisyajan lyhentäminen. Suomen metalliteollisuuden keskusliitto, MET. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

Yamashina, H. 1982. Japanilainen valmistusfilosofia ja Kanban järjestelmä. Kyoto university. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

TAULUKKO 1. Mikrobiologiset laatuvaatimukset (enimmäistiheys)

Escherichia coli	
Enterokokit	0 pmy/100 ml

TAULUKKO 2. Kemiaalliset laatuvaatimukset (enimmäispitoisuus)

		Huomautus
Akryyliamidi	0,10 µg/l	-1
Antimoni	5,0 µg/l	
Arseeni	10 µg/l	
Bentseeni	1,0 µg/l	
Bentso(a)pyreeni	0,010 µg/l	
Boori	1,0 mg/l	
Bromaatti	10 µg/l	-2
Kadmium	5,0 µg/l	
Kromi	50 µg/l	
Kupari	2,0 mg/l	-3
Syanidit	50 µg/l	
1,2-dikloorietaani	3,0 µg/l	
Epikloorihydrini	0,10 µg/l	-1
Fluoridi	1,5 mg/l	
Lyijy	10 µg/l	-3
Elohopea	1,0 µg/l	
Nikkeli	20 µg/l	-3
Nitraatti (NO ₃ ⁻)	50 mg/l	-4
Nitraattityppi (NO ₃ -N)	11,0 mg/l	

Nitriitti (NO ₂ ⁻)	0,5 mg/l	-4
Nitriittityppi (NO ₂ -N)	0,15 mg/l	
Torjunta-aineet	0,10 µg/l	(5 ja 6)
Torjunta-aineet yhteensä	0,50 µg/l	-5
Polysykliset aromaattiset		
hiilivedyt	0,10 µg/l	-7
Seleeni	10 µg/l	
Tetrakloorieteeni ja		
trikloorieteeni yhteensä	10 µg/l	
Trihalometaanit		
yhteensä	100 µg/l	(2 ja 8)
Vinyylikloridi	0,50 µg/l	-1
Kloorifenolit yhteensä	10 µg/l	-9

Huomautukset

- 1) pitoisuus lasketaan käytetystä polymeeristä tuoteselosteen mukaan enimmillään irtoavasta tai liukenevasta määrästä; vedessä todetun aineen raja-arvona sovelletaan havaitsemisrajaa
- 2) desinfiointitehoa vaarantamatta on pyrittävä mahdollisuuksien mukaan tätä alempaan pitoisuuteen
- 3) näyte otetaan käyttäjän vesihanasta siten, että pitoisuus vastaa viikoittaista keskiarvoa
- 4) nitriitin enimmäispitoisuus vesilaitokselta lähtevässä vedessä on 0,10 mg/l; nitraattipitoisuus/50 + nitriittipitoisuus/3 ei saa ylittää arvoa 1
- 5) tarkoitetut yhdisteet orgaanisia hyönteis-, rikkaruoho-, sieni-, ankerois-, punkki-, levä- ja jyrsijämyrkkijä, orgaanisia limantorjunta-aineita sekä muita vastaavia tuotteita sekä yhdisteiden metabolia-, hajoamis- ja reaktiotuotteita
- 6) aldiinin, dieldriinin, heptakloorin ja heptaklooriepoksidin raja-arvo on 0,030 µg/l
- 7) tarkoitetut yhdisteet bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, bentso(ghi)peryleeni, indaani-(1,2,3-cd)-pyreeni
- 8) tarkoitetut yhdisteet kloroformi, bromoformi, dibromikloorimetaani, bromidikloorimetaani
- 9) tarkoitetut yhdisteet tri-, tetra- ja pentakloorifenoli

TAULUKKO 3. Laatusuositukset (osoitinmuuttujien tavoitteelliset enimmäisarvot)

		Huomautus
Alumiini	200 µg/l	
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,50 mg/l	
Ammonium (NH ₄ -N)	0,40 mg/l	
Kloridi	250 mg/l	-1,2
Mangaani	50 µg/l	
Rauta	200 µg/l	
Sulfaatti	250 mg/l	-1,3
Natrium	200 mg/l	
Hapettuvuus (COD _{Mn} -O ₂)	5,0 mg/l	-4
	Tavoitetaso	
Clostridium perfringens (mukaanlukien itiöt)	0 pmy/100 ml	-5
Koliformiset bakteerit	0 pmy/100 ml	
Pesäkkeiden lukumäärä (22 °C)	ei epätavallisia muutoksia	
pH	6,5 - 9,5	-1
Sähkönjohtavuus	alle 2 500 µS/cm	-1
Sameus	käyttäjien hyväksyttävissä eikä epätavallisia muutoksia	-6
Väri	eikä epätavallisia muutoksia	
Haju ja maku	eikä epätavallisia muutoksia	
Orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC)	ei epätavallisia muutoksia	-7
RADIOAKTIIVISUUS		-8
Tritium	100 bequerel/l	
Viitteellinen kokonaisannos	0,10 mSv/vuosi	

Huomautukset

- 1) vesi ei saa olla syövyttävää
- 2) vesijohtomateriaalien syöpymisen ehkäisemiseksi kloridipitoisuuden tulisi olla alle 25 mg/l
- 3) vesijohtomateriaalien syöpymisen ehkäisemiseksi sulfaattipitoisuuden tulisi olla alle 150 mg/l
- 4) jos mitataan TOC, ei tarvitse välttämättä mitata
- 5) mitataan, jos raakavesi on pintavettä
- 6) pintavesilaitokselta lähtevän veden sameudessa tulisi pyrkiä arvoon alle 1 NTU
- 7) jos on määritetty hapettavuus ja veden jakelumäärä on alle 10 000 m³/d, ei tarvitse mitata
- 8) tritiumia ja radioaktiivisuuden viitteellistä kokonaisuudesta ei tarvitse mitata, jos aikaisempien tutkimusten (Säteilyturvakeskus) perusteella tiedetään, että näiden arvot ovat selvästi alle muutujan arvon; mittauksista ja niiden tiheydestä annetaan erilliset määräykset; viitteelliseen kokonaisuuteen ei lasketa radonia eikä radonin hajoamistuotteita, tritiumia eikä kalium 40.

TAULUKKO 1. Jatkuva valvonnassa määritettävät muuttujat vähintään:

Haju	
Maku	
Sameus	
Väri	
pH	
Sähkönjohtavuus	
Rauta	
Mangaani	
Nitriitti	jos veden desinfioinnissa käytetään kloori-amiinia
Alumiini	jos veden käsittelyssä käytetään alumiiniyhdisteitä taikka raakavesi sisältää runsaasti alumiinia
Ammonium	
Clostridium perfringens (mukaanlukien itiöt)	jos raakavesi on pintavettä
Escherichia coli	
Koliformiset bakteerit	
Pesäkkeiden lukumäärä 22 °C ja 37 °C	pulloissa tai säiliöissä myytävälle vedelle
Pseudomonas aeruginosa	pulloissa tai säiliöissä myytävälle vedelle
Valvontatutkimusohjelmaan sisällytetyt lisämääritykset	

Jaksottaiseen seurantaan sisältyvät kaikki liitteen I taulukoissa 1, 2 ja 3 sekä liitteen I A taulukoissa 1 ja 2 esitettyjen muuttujien määrittelyt sekä valvontatutkimusohjelmaan sisällytetyt lisämääritykset. Radioaktiivisuuden määrittelyistä annetaan erillinen määräys.

Seuraavat määrittelyt voidaan jättää pois, jos:

Akryyliamidi	veden käsittelyssä ei käytetä polyakryyliamideja
Epikloorihydriini	veden käsittelyssä tai laitemateriaaleissa ei ole käytetty epoksihartseja

Vinyylikloridi	vedessä ei ole todettu tri- tai tetrakloorieteeniä eikä materiaaleissa käytetystä PVC:stä liukene vinyylikloridia
Bromaatti	jos vesi ei ole desinfioitua pintavettä tai otsonikäsiteltyä pohjavettä
Trihalometaanit	jos vettä ei desinfioida kloorikemikaalein
Torjunta-aineet	jos raakaveden muodostumisalueella ei ole käytetty torjunta-aineita

Seuraavat aineet määritetään vähintään kerran, ja jos pitoisuudet ovat alle 50 % raja-arvo-pitoisuudesta eikä ole ilmeistä syytä niiden nousemiseen, määritykset tehdään myöhemmin 5 vuoden välein: Antimoni, bentseeni, bentso(a)pyreeni, boori, bromaatti pintavedestä, jota ei ole otsonoitu, syanidit, seleeni, 1,2-dikloorietaani, tetrakloorieteeni, trikloorieteeni, polysykliset aromaattiset hiilivedyt, kloorifenolit.

