



**KOHTI OMAISUUDENHALLINTAKESKEISTÄ TOIMINTATAPAA
VERKOSTOSANEERAUSINVESTOINTIEN KOHDENTAMISESSA**

Tapaustutkimus suomalaisessa energiayhtiössä

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Diplomityö

2022

Tero Ponkkala

Tarkastaja(t): Professori Samuli Honkapuro

TkT Juha Haakana

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Sähkötekniikka

Tero Ponkkala

Kohti omaisuudenhallintakeskeistä toimintatapaa verkostosaneerausinvestointien kohdistamisessa - tapaustutkimus suomalaisessa energiayhtiössä

Sähkötekniikan diplomityö

2022

75 sivua, 16 kuvaa ja 2 taulukkoa

Tarkastaja(t): Professori Samuli Honkapuro ja TkT Juha Haakana

Avainsanat: Saneerausinvestointi, optimointi, omaisuudenhallinta

Tutkimus käsittelee vesihuoltoverkoston saneerauskohteiden valintaa ja uuden toimintamallin hyödyllisyyttä kohdevalinnassa case-tapauksena olevassa energiayhtiössä. Aiemmassa toimintamallissa kunnossapitoasiantuntijat määrittivät verkkojen saneerausinvestointitarpeet kokemukseen perustuen. Uusi omaisuudenhallintakeskeinen toimintamalli käyttää monitavoiteoptimointiin perustuvaa ohjelmistotyökalua, joka sisältää kohdeyhtiön dataan pohjautuvat mallit verkoston suorituskyvylle ja erilaisille kustannuksille. Saneerauksien kohdentamisen haasteet ovat tunnetusti ristiriitaisia ja optimointi löytää ne kohteet, joilla täytetään optimaalisesti verkostoille asetetut tavoitteet annetuilla rajoitteilla.

Tutkimusongelmana on kohdeyhtiön käytössä olleen saneerausinvestointien valintamenetelyn puute vastata kasvaviin investointitarpeisiin, kohdeyhtiölle hiljattain myönnetyn ISO 55001 omaisuudenhallinnan sertifiointivaatimusten mukaisesti. Keskeinen tutkimuskysymys on ”Onko uusi omaisuudenhallintakeskeinen toimintamalli vesiliiketoiminnan verkostosaneerausinvestointien kohdentamisessa hyödyllinen kohdeyhtiölle?”

Tutkimuksessa selvitetään ISO 55001 standardin vaatimukset investointien kohdentamiselle ja peilataan vaatimuksia uuteen toimintamalliin. Kustannusvaikutuksia tutkitaan tekemällä takaisinmaksuaikalaskelmia erilaisilla skenaarioilla käyttäen referenssinä aiempaa toimintamallia investointisummien, -määrien ja saavutettavan suorituskyvyn osalta. Toimintamallin välisiä eroja arvioidaan saneeraustarpeiden ennustamisen näkökulmasta ja lisäksi läpikäydään uuteen toimintamalliin siirtymisessä tunnistettavia haasteita. Tutkimuksen lopuksi saadaan vastaus keskeiseen tutkimuskysymykseen sekä siitä johdettuihin apukysymyksiin.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Electrical Engineering

Tero Ponkkala

Toward an Asset Management-Centric Approach in Network Renewal Investments – A Case Study in a Finnish Energy Utility

Master's thesis

2022

75 pages, 16 figures and 2 tables

Examiners: Professor Samuli Honkapuro and D.Sc. Juha Haakana

Keywords: Renewal investments, optimisation, asset management

Research deals with the selection of renewal investments for water supply networks and the benefits of new operating model in the selection process at the case utility. In previous operating model, the maintenance experts decided the network's renewal investment needs based on their subject-matter experience. The new asset management centric operating model uses a software tool based on multi-objective optimisation, which includes models for network performance and various costs calibrated against data from the case utility. Challenges related to selection of renewal investments are contradictory. Optimisation finds the renewal investments that fulfill the goals set for the networks with the given constraints.

The research problem is the lack of renewal investment selection procedure used in the case utility to respond to the growing investment needs, in accordance with the requirements of ISO 55001 asset management certificate recently granted to the case utility. The central research question is "Is the new asset management centric operating model in selecting the renewal investments for water supply networks useful for the case utility?"

Research examines the requirements of ISO 55001 standard for the allocation of renewal investments and mirrors the requirements to the new operating model. Cost implications are studied by calculating payback time with different scenarios, using the previous operating model as a reference in terms of investment expenses, volumes, and achievable performance. The differences between the operating models are evaluated from their capability to forecast the renewal needs. In addition, the challenges identified in the transition to the new operating model are reviewed. At the end an answer both to the central research question and to the subsidiary questions derived from it is proposed.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Symbolit

x_{ij}	binaarimuuttuja: $x_{ij} \in \{0,1\}$
c_{ij}^d	hyöty, jonka saneerausinvestointi i vuonna j tuottaa tavoitteelle d
\mathbb{N}	luonnollisten lukujen joukko: $\mathbb{N} = \{1, 2, 3, \dots\}$
\in	kuuluu joukkoon
\forall	jokaisella
m	tarkasteluvuosien lukumäärä (äärellinen): $m \in \mathbb{N}$
n	saneerausinvestointien kokonaismäärä (äärellinen): $n \in \mathbb{N}$
k	tavoitteiden kokonaismäärä (äärellinen): $k \in \mathbb{N}$
$w_{i,j}$	saneerausinvestoinnin i kustannus vuonna j
W_j	saneerausinvestointien kokonaisbudjetti vuonna j
$\{1, \dots, k\}$	joukon alkiot lueteltuina
ϕ_i [€]	nettonykyarvo euroissa
H_{it} [€]	investoinnin tuomat vuosittaiset hyödyt euroissa
K_{it} [€]	investoinnin aiheuttamat vuosittaiset kustannukset euroissa
$T[a]$	investoinnin takaisinmaksuaika vuosissa
$t[a]$	tarkasteluajankohta vuosissa
r [%]	laskentakorkokanta prosentteissa

Lyhenteet

ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristö
GPS	Satelliittipaikannusjärjestelmä (Global Positioning System)
ISO	Kansainvälinen standardisoimisjärjestö (International Organization for Standardization)
PE	Polyeteeni (Polyethylene)
PVC	Polyvinyylikloridi (Polyvinyl chloride)
RIL	Suomen rakennusinsinöörien liitto
SFS	Suomi standardisoimisliitto
SQL	Standardoitu kyselykieli (Structured Query Language)
SYKE	Suomen ympäristökeskus
VEETI	Vesihuollon tietojärjestelmä

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Symboli- ja lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	5
1.1	Tutkimuksen tausta	5
1.2	Tutkimusongelma, kysymykset ja tavoite.....	7
1.3	Tutkimuksen kulku.....	8
2	Verkosto-omaisuudenhallinta.....	10
2.1	Taustaa	10
2.2	Verkko-omaisuus	11
2.2.1	Vesijohtoverkko.....	11
2.2.2	Jätevesijohtoverkko	16
2.2.3	Hulevesijohtoverkko.....	20
2.3	Verkosto-omaisuuden rekisteröinti	23
2.4	Kuntotiedot.....	24
2.5	Verkosto-omaisuuden hallinnan keskeiset haasteet	24
3	Kuntotietokeskeinen toimintamalli	26
3.1	Toiminnan organisointi – roolit ja vastuut.....	26
3.2	Saneerausinvestoinnit.....	28
3.2.1	Kohteiden valinta.....	29
3.2.2	Kohteiden priorisointi	30
3.3	Tunnistetut puutteet.....	31
4	OmaisuuDENhallintakeskeinen toimintamalli	33
4.1	OmaisuuDENhallinnasta ISO 550XX -standardisarjan näkökulmasta	33
4.1.1	OmaisuuDENhallinnan määritelmä	35
4.1.2	OmaisuuDENhallinnan tarkoitus	35
4.1.3	Vaatimukset saneerausinvestointien kohdentamiselle.....	36
4.2	Monikriteerinen optimointi ja omaisuuDENhallinta	37
4.3	OmaisuuDENhallintakeskeiseen toimintamalliin siirtyminen	44
5	Toimintamallien vertailu	47

5.1	Arviointikriteerit	47
5.2	Suorituskykymittarit toimintamallien vertailuun	48
5.3	Vertailutulokset	49
5.4	Takaisinmaksuaika	54
5.5	Vertailutulosten yhteenveto	58
5.6	Huomioita.....	59
6	Johtopäätökset	62
	Lähteet	67

Kuvaluettelo

Kuva 1: Ylhäällä kohdeyhtiön runkovesijohtoverkosto kokonaisuudessaan ja alemmassa kuvassa rajattu alue verkostoa, jossa erottuvat tarkemmin alueen vedentuotantolaitos, laiteaset, painepiirirajat ja sulkuventtiilit. Verkostossa on sulkuventtiileitä keskimäärin 100 m välein.

Kuva 2: Runkovesijohtojen materiaali- ja halkaisijajakaumat

Kuva 3: Jätevesiverkosto kokonaisuudessaan ja lähikuva valitulta alueelta.

Kuva 4: Runkoviemäreiden materiaali- ja halkaisijajakaumat.

Kuva 5: Hulevesijohtoverkko kokonaisuudessaan ja lähikuva valitulta alueelta. Huleveden hallinnassa erottavia tekijöitä jäteveden hallintaan ovat useat purkupaikat ja avoimet rakenteet, jonka vuoksi hulevesijohtoverkkokokonaisuus koostuu toisistaan irrallisista, alueellisista, verkoista.

Kuva 6: Huleveden runkoviemäreiden materiaali- ja halkaisijajakaumat.

Kuva 7: Kuntokeskeinen toimintamalli, saneerausinvestointien valinta ja priorisointi

Kuva 8: Saneerauspäätökseen vaikuttavia tekijöitä yksittäisen vesijohdon näkökulmasta

Kuva 9: Kohdeyhtiön käyttämän saneerausinvestointien valintatyökalun perisaate

Kuva 10: Verkostojen suorituskyky (alaluku 5.2) molemmilla toimintamalleilla vuosina 2022 - 2041. Kuntokeskeisellä toimintamallilla suunniteltujen saneerausinvestointien tuottama suorituskyky on sinisellä värillä ja omaisuudenhallintakeskeisellä toimintamallilla optimoinnin valitsemien investointien tuottama suorituskyky on punaisella värillä - optimoinnin tavoitteeksi asetettiin sama suorituskyky kuin kuntokeskeisellä mallilla saadaan.

Kuva 11: Verkostojen suorituskyky ja kustannukset molemmilla toimintamalleilla. Punainen väri viittaa omaisuudenhallintakeskeiseen toimintamalliin ja sininen väri kuntokeskeiseen toimintamalliin. Yhtenäiset viivat kuvaavat kuvassa 10 esitettyä suorituskykyä – luetaan vasemmalta pystyakselilta. Katkoviivat kuvaavat investointikustannuksia – luetaan oikealta pystyakselilta.

Kuva 12: Investointimäärät molemmilla toimintamalleilla vuosina 2022 - 2033.

Kuva 13: Verkostojen suorituskyky ja kustannukset. Punainen väri viittaa omaisuudenhallintakeskeiseen toimintamalliin, sininen väri kuntokeskeiseen toimintamalliin. Yhtenäiset viivat kuvaavat suorituskykyä – vasen pysty akseli. Katkoviivat kuvaavat investointikustannuksia – oikea pysty akseli. Suorituskykytavoitteeksi on asetettu nykytilan ylläpito.

Kuva 14: Esimerkki optimointiohjelman maksimikustannuksista, kun omaisuudenhallintakeskeisen toimintamallin käyttöönoton takaisinmaksuajaksi on kiinnitetty viisi vuotta

Kuva 15: Takaisinmaksuajat eri skenaarioilla, taulukon 1 tiedoilla

Kuva 16: Projektinäkökulman huomiointi optimoinnissa

Taulukkoluetelo

Taulukko 1: Optimointiohjelman takaisinmaksuaika eri tapauksissa

Taulukko 2: Toimintamallien vertailutulokset

1 Johdanto

Luvussa esitellään tutkimus ja sen konteksti. Luvun tarkoitus on tutustuttaa lukija aiheeseen ja auttaa ymmärtämään tutkimuksen kokonaiskuva. Luku on jaettu alalukuihin, joista ensimmäisessä alaluvussa esitellään taustat tutkimuksessa käsiteltävälle asialle sekä case-tapauksen kohdeyhtiötä suppeasti tutkimuksen taustan ymmärtämisen kannalta olennaisessa laajuudessa. Toinen alaluku käy läpi tutkimusongelmaa, ongelman ratkaisemiseksi asetettuja tutkimuskysymyksiä ja tutkimuksen tavoitetta. Kolmas ja viimeinen alaluku perehdyttää tutkimuksen rakenteeseen.

1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennettu ympäristö ikääntyy ja sen korjausvaje kasvaa kovaa vauhtia niin Suomessa kuin muualla maailmassa (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2021; Global Infrastructure Hub et. al. 2017). Korjausvaje lasketaan yleisesti saneeraus- tai korjausvelkana, joka tarkoittaa sitä käyttöomaisuusmäärää, joka on ylittänyt pitoaikaan perustuvan käyttöikänsä. Esimerkiksi rakennetun omaisuuden tila selvityksessä vuodelta 2017 (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2017) korjausvelan määräksi Suomessa haarukoitiin 36 - 56 miljardia euroa, josta rakennettuun ympäristöön kuuluvien yhdyskuntateknisten järjestelmien velkaosuarvio oli lähes miljardi euroa. Tuoreemmassa selvityksessä (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2021, 5) yksistään yhdyskuntateknisiin järjestelmiin lukeutuvan vesihuollon kokonaisinvestointeja pitäisi lähes kaksinkertaistaa - 770 miljoonaa euroon vuodessa - ja vesihuoltoverkostojen saneerausinvestointeja nelinkertaistaa nykytasosta, jotta vuosien saatossa kumuloitunut korjausvaje saadaan hallintaan ja vesihuollon toimintavarmuus turvattua.

Saneerausvelasta ja sen kasvusta ollaan infra-alan asiantuntijoiden parissa kiinnostuneita, mutta julkisessa keskustelussa velka ja velan maksu on menettänyt merkitystään sitovana tavoitteena tai edes ohjaavana tavoitteena viime vuosina (Hahtela 2020). Saneerausvelan lisäksi tarvitaankin konkreettisempia mittareita kertomaan infran tilasta, ja siitä miten

saneerausinvestoinneilla vaikutetaan infran tilaan, jotta myös ne kunnallisomisteisten yhtiöiden päätöksentekoon vaikuttavat henkilöt, joilla ei ole infra-alan asiantuntemusta, ymmärtävät paremmin saneerausinvestoinnin todellisen tarpeen ja vaikutuksen, eikä jatkossakaan annettaisi mahdollisuutta rinnastaa esimerkiksi saneerausvelkaa ja valtion velkaa toisiinsa, vaan tarve perusteltaisiin konkreettisemmin. Vesihuollon osalta suunniteltujen saneerausinvestointien tekemisen ja tekemättä jättämisen seuraukset verkostojen suorituskykyyn ja toimintavarmuuteen pitää saada kytkettyä entistä läpinäkyvämmiin toisiinsa.

Esitetty saneerausinvestointipaine koskee myös tutkimuksen kohteena olevaa suomalaista energiayhtiötä. Kohdeyhtiö tarjoaa asiakkailleen kaukolämmön, sähkön ja vesihuollon palveluja, joista erityisesti vesihuollossa ja vesihuoltoon kuuluvissa jakeluverkostoissa on paitsi vesihuollon merkittävin omaisuus myös isoin saneerausvelka. Yhtiöllä on vesihuoltoverkostoja yhteensä 2500 km, kun mukaan luetaan hulevesiverkostot. Verkostojen tämänhetkinen saneerausvelan määrä on 370 km, joka vastaa euromääräisesti 100 miljoonaa euroa. Verkostoihin kohdistuvan saneerausvelan suunta on kasvamaan päin, sillä yhtiön vesihuoltoalueelle asennettujen johtoverkostojen massarakentamisen ensimmäinen aalto (60-luvun loppu ja 70-luku) on vasta osittain saneerausvelan puolella yhtiön määrittelemillä materiaalien pitoajoilla. Massarakentamisen merkittävämpi vaikutus verkostoihin kohdistuvan velan kasvuun on vielä edesspäin ja nykyistä suurempi saneerausvelkataso on pysyvä muutos. Koska samaan aikaan resurssit - aineelliset ja aineettomat - ovat rajallisia, on saneeraustarpeen laajentuessa entistä tärkeämpää, että resursseja hyödynnetään oikein. Tämä tarkoittaa esimerkiksi ikääntyvien verkostojen kriittisimpien johto-osuuksien tunnistamista, johtojen kunnon entistä parempaa tietoa ja ennustamista ja sitä kautta saneeraustoimien oikeanlaista kohdentamista. Aineellisista resursseista mainittakoon tulorahoitus, jolla saneerausinvestoinnit katetaan ja joka samalla asettaa rajoitteen saneerausinvestointien määrälle. Yhtäaikaisesti kasvavan saneeraustarpeen ja rajallisen saneerausinvestointeihin allokoitun rahoituksen kanssa pitää huolehtia alaa koskevan lainsäädännön velvoitteiden täyttämisestä (Renko et. al. 2021), toimintaan liittyvien riskien hallinnasta ja ympäristö- sekä asiakasvaatimuksista, joilla kaikilla on tapana kehittyä ajan myötä elintason noustessa. Kohdeyhtiössä on tehty vuosien ajan tavoitteellista työtä omaisuudenhallinnan eteen. Viime vuodet toimintaa on kehitetty vastamaan kansainvälistä ISO 55000 standardia ja merkittävä etappi kehitystyössä saavutettiin hiljattain, kun vesihuollon omaisuudenhallinta sertifioitiin ISO 55001 standardin

vaatimuksia vasten. Standardiin perehtyminen haastoi miettimään tarkemmin, millaista perusteita saneerausinvestointien valinnassa käytetään ja määrittämään, mitkä asiat ovat oikeasti olennaisia ja omaisuudenhallinnan standardin hengen mukaisia perusteita investointien valinnassa.

1.2 Tutkimusongelma, kysymykset ja tavoite

Tutkimuksen tavoite on selvittää uuden omaisuudenhallintakeskeisen toimintatavan käyttöönoton hyötyä verkostosaneerausinvestointien kohdentamisessa case-tapauksena olevassa kohdeyhtiössä. Verkostosaneerauskohteiden valinta on luonteeltaan monitavoitteinen ja monirajoitteinen tehtävä, kuten tutkimuksen taustasta edellä käy ilmi. Uuden omaisuudenhallintakeskeisen toimintamallin keskiössä on optimointiohjelman hyödyntäminen kohteiden valinnassa. Optimointi huomioi verkostoille asetetut suorituskykytavoitteet yhdessä käytössä olevan rahoituksen ja muiden rajoitteiden kanssa. Vertailukohtana tutkimuksessa on tutkimusta aloitettaessa kohdeyhtiössä käytössä oleva toimintamalli, jota kutsutaan tutkimuksessa jäljempänä nimellä kuntokeskeinen toimintamalli ja jossa kohdeyhtiön asiantuntijat määrittelevät vesihuoltoverkostojen kunto- ja riskiperusteiset saneerausinvestointitarpeet perustuen roolin ja kokemuksen tuomaan asiantuntijanäkemykseen verkostojen tilasta. Tutkimuksen taustan kanssa linjassa, tutkimusongelma on tutkinnan kohteena olevan energiayhtiön vesiliiketoiminnassa tutkimuksen aikana myönnetty ISO 55001 sertifikaatti omaisuudenhallinnassa ja nykyisen kuntokeskeisen saneerausinvestointien valintamenettelyn tunnustettu puute vastata kasvaviin saneerausinvestointitarpeisiin ISO 550XX -omaisuudenhallintastandardisarjan vaatimusten mukaisesti. Tutkimuksen keskeinen kysymys voidaan tiivistää seuraavasti:

1. Onko uusi omaisuudenhallintakeskeinen toimintamalli vesiliiketoiminnan verkostosaneerausinvestointien kohdentamisessa hyödyllinen kohdeyhtiölle?

Keskeiseen kysymykseen haetaan vastausta neljän apukysymyksen avulla:

- a. Miten uusi toimintamalli vastaa ISO 55001 -omaisuudenhallintastandardin asettamiin vaatimuksiin saneerausinvestointien valinnalle?
- b. Mikä on ennuste uuden toimintamallin takaisinmaksuajalle?
- c. Miten uusi toimintamalli parantaa tulevaisuuden saneeraustarpeiden ennustamista?
- d. Millaisia haasteita uuteen toimintamalliin siirtymiseen liittyy?

Apukysymyksiä ratkaistaan yhdistäen laadullisia ja määrällisiä tutkimusmenetelmiä. Ensimmäistä kysymystä selvitetään käymällä läpi ensin standardin vaatimukset ja peilaamalla sen jälkeen vaatimuksia uuteen toimintamalliin. Toiseen kysymykseen saadaan selkoa tekemällä takaisinmaksuaikalaskelmia erilaisilla skenaarioilla käyttäen referenssinä nykyistä toimintamallia investointisummien, -määrien ja saavutettavan suorituskyvyn osalta, jolloin tuloksena saadaan konkreettisia lukuarvoja. Kolmanteen kysymykseen vastataan arvioimalla uuden ja nykyisen toimintamallin välisiä eroja. Neljännessä kysymyksessä läpikäydään uuteen toimintamalliin siirtymisessä tunnistettavia haasteita, jotka edellyttävät kehittämistyötä myös jatkossa. Neljännen kysymyksen osalta tutkija on kerännyt aineistoa sekä aktiivisena havainnoijana että passiivisena havainnoijana: tutkija on vaikuttanut tilanteiden kulkuun uuden toimintamallin käyttöönotossa kohdeyhtiön työntekijänä ja tehnyt havaintoja muiden käyttäytymistä käyttöönoton aikana. Apukysymyksiin vastaamalla pyritään kerryttämään riittävä ymmärrys eri näkökulmista keskeiseen tutkimuskysymykseen vastaamiseksi.

1.3 Tutkimuksen kulku

Tämä tutkimus on tapaustutkimus, jossa yritetään ymmärtää paremmin uuden omaisuudenhallintakeskeisen toimintamallin hyötyjä vesihuoltoverkostojen saneerausinvestointikohteiden valinnassa case-tapauksena toimivassa kohdeyhtiössä. Tutkimus etenee niin, että ensimmäinen sisältöluku, luku 2, keskittyy kohdeyhtiön vesihuoltoliiketoiminnan verkosto-

omaisuuteen, sen hallintaan ja siihen liittyvien haasteiden kuvaamiseen. Luvussa 3 kuvailaan kohdeyhtiössä käytössä olevaa investointiprosessin hallintaa, siihen kuuluvia rooleja ja vastuita, sekä tarkemmin nykyistä verkostosaneerauskohteiden valintaa, priorisointia ja nykyisessä menetelmässä tunnistettuja puutteita. Luku 4 tutustuttaa ISO 55 0XX omaisuudenhallintastandardisarjaan, määrittelee omaisuudenhallinnan, käy läpi omaisuudenhallinnan tarkoituksen ja saneerausinvestoinneille johdetut vaatimukset standardin näkökulmasta. Edelleen luvussa 4 esitellään uudessa omaisuudenhallintakeskeisessä toimintamallissa ytimenä toimiva monikriteerinen optimointimenetelmä periaatetasolla ja viitataan myös kohdeyhtiön hankkiman optimointityökalun toimintaan ja arvioidaan kategorisesti optimointimenetelmän kykyä vastata omaisuudenhallinnan asettamiin vaatimuksiin. Luvun 4 lopussa käydään läpi toimenpiteitä, joita siirtyminen uuteen toimintamalliin on edellyttänyt kohdeyhtiön tapauksessa. Luku 5 keskittyy kuntokeskeisen toimintamallin ja omaisuudenhallintakeskeisen toimintamallin välisiin eroihin. Luvussa selostetaan alkuun toimintamallien vertailussa käytettävät arviointikriteerit ja suorituskykymittarit, jonka jälkeen esitellään vertailutulokset investointikustannusten, investointien ajoitusten ja määrien osalta sekä käydään läpi investointikohteiden ominaisuuseroja. Luvussa esitetään takaisinmaksulaskelma uuden omaisuudenhallintakeskeisen toimintamallin käyttöönotolle ja lopuksi kootaan yhteen luvussa esitetyt vertailutulokset ja tehdään huomioita tuloksiin vaikuttaviin epävarmuuksiin. Luvussa 6 pohditaan tutkimuksen tavoitteiden saavuttamista vastaamalla luvussa 1.2 esitettyihin tutkimuskysymyksiin.

2 Verkosto-omaisuudenhallinta

Tässä pääluvussa esitellään vesihuoltoliiketoiminnan verkosto-omaisuutta, sen hallintaa ja siihen liittyviä haasteita kohdeyhtiössä. Aihetta käydään läpi ainoastaan sillä laajuudella, kun se on tutkimuksen aihepiirin taustoittamisen kannalta tarpeellista. Luku ei vastaa suoraan yhteenkään tutkimuskysymykseen vaan luvun tarkoituksena on avata lukijalle kohdeyrityksen verkko-omaisuuden laajuutta ja omaisuudenhallintaa tutkimushetken tilanteessa, mikä auttaa lukijaa hahmottamaan paremmin verkko-omaisuudenhallinnan tilannekuvaa ja jäljempänä käsiteltäviä asioita muun muassa saneerausinvestointien valintaan liittyen. Luvun empiirisenä aineistona on käytetty pääasiassa kohdeyrityksen asiakirjoja ja tietojärjestelmiä sekä tutkijan aiemmin tekemiä analyyseja kohdeyrityksen omaisuusdatasta.

2.1 Taustaa

Kohdeyhtiö on suomalainen kaupunkiomisteinen energiayhtiö, jonka vesiliiketoiminta hoitaa toiminta-alueellaan 140 000 asukkaan vesihuoltoa sisältäen talousveden tuotannon ja jakelun sekä jäte- ja hulevesien poisjohtamisen. Vesihuoltopalveluihin liittyneitä kiinteistöjä on toiminta-alueella 19 000 kpl ja toiminta-alue on levittäytynyt laajalle, yli 100 km² alueelle käsittäen yhdyskuntarakenteeltaan ja asukastiheydeltään selvästi toisistaan erottuvia alueita. Vedenkulutus toiminta-alueella on vuositasolla 9 Mm³, joka katetaan pääosin omien vedenottamoiden tuotolla eri puolilla toiminta-aluetta. Jätevettä syntyy toiminta-alueella vuositasolla 13 Mm³ ja se johdetaan jätevesiviemäriverkostoa pitkin puhdistettavaksi keskitetyksi kahdelle jätevedenpuhdistamolle. Se toiminta-alueella syntyvä hulevesi, joka on yhdistetty hulevesiviemäriverkostoon, johdetaan syntypaikaltaan joko maastoon imeytettäväksi tai vesistöihin niin, että purkaminen tapahtuu hajautetusti useasta eri kohdasta hulevesiviemäriverkostoa. Hulevesiviemäriverkostossa johdettavaa vesimäärää ei mitata samalla tavalla kuin puhdistamoille johdettua jätevettä tai talousveden kulutusta mitataan.

Hulevesihuollon kokonaisuus sisällytettiin 2010-luvulla maankäyttö- ja rakennuslakiin (Maankäyttö- ja rakennuslaki, 682/2014), jonka mukaisesti huleveden kokonaishallinnasta

vastaa kunta, jonka alueella kohdeyhtiö toimii. Koska kohdeyhtiö huolehtii kunnan puolesta hulevesihuoltoon sisältyvän hulevesijohtoverkoston omaisuudenhallinnasta (operoinnista, kunnossapidosta ja investoinneista), niin hulevesiverkosta käsitellään tässä samoin kuin kohdeyhtiön hallinnassa olevia talous- ja jätevesiverkostoja, joihin sovelletaan vesihuoltolaki (Vesihuoltolaki, 119/2001) maankäyttö- ja rakennuslain sijasta. Hulevesijohtoverkoston omaisuudenhallinnan budjetti on kiinnitetty kunnan puolesta ja sen vaikutus näkyy verkoston omaisuudenhallinnassa.

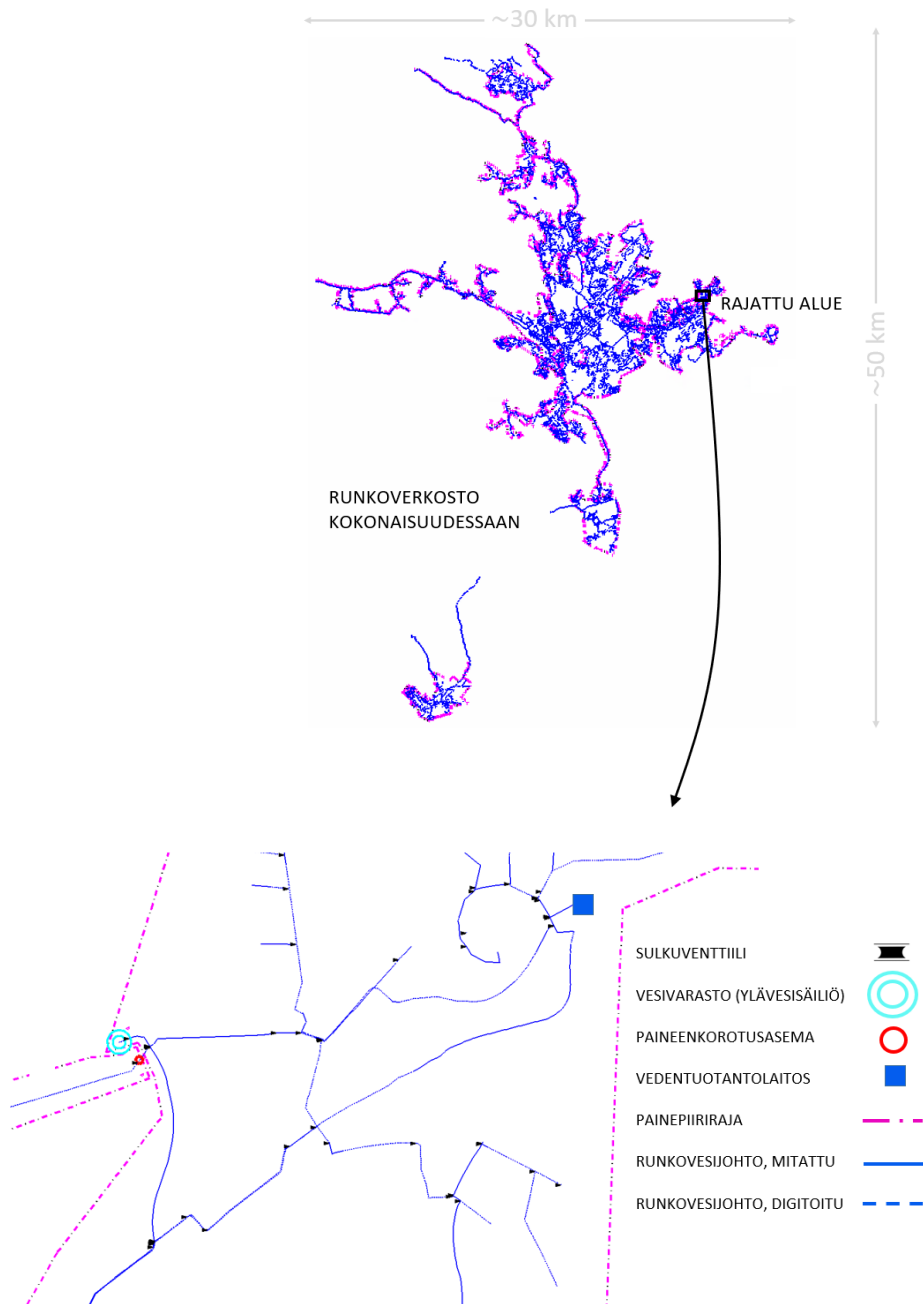
2.2 Verkko-omaisuus

Verkko-omaisuutta on käsitelty seuraavassa verkkotyypeittäin nimetyissä alaluvuissa. Verkot koostuvat johdoista varusteineen, joita ovat venttiilit ja kaivot sekä palopostit vesijohtoverkossa. Verkostot sisältävät verkkojen lisäksi laiteasemat. Verkostojen rakennetta, toimintaa ja ominaisuuksia on esitelty keskeisiltä osilta aihepiirin ja nykytilan riittävän yleiskuvan muodostamiseksi.

2.2.1 Vesijohtoverkko

Maaston korkeusvaihtelu toiminta-alueella on paikoin huomattavan suurta. Tästä johtuen vedenjakeluverkosto on jaettu lukuisiin toiminallisiin paineenkorotus- tai alennusalueisiin, joita kutsutaan painepiireiksi. Painepiiri- ja alennusalueiden toteutuksessa on käytetty verkostoon liitettyjä paineenkorotus- ja alennusasemia sekä sulkuventtiileitä. Painepiirijako on tehty, jotta vedenjakelun verkostopainetaso saadaan pidettyä sopivana kaikissa vedenkäyttöpisteissä maaston korkeusvaihtelusta huolimatta. Lisäksi vedenjakelun kulutushuippuihin ja verkoston käyttöhäiriötilanteisiin on varauduttu vesivarastoilla (ylävesisäiliöillä), joita löytyy toiminta-alueen kaikista keskeisistä painepiireistä. Edelleen verkoston toimintavarmuutta lisäämään verkostoon on rakennettu mahdollisuuksien mukaan silmukoita etenkin merkittävässä kulutuskeskityksissä. Silmukat mahdollistavat veden syötön useammasta suunnasta ja silmukoiden sekä sulkuventtiilien avulla jakelukeskeytyksien haittavaikutus saadaan rajattua koskemaan mahdollisimman pientä aluetta kerrallaan. Haja-asutusalueella on vähemmän silmukoita ja verkko on siellä tyypillisesti säteittäinen niin, että vettä syötetään pelkästään yhdestä

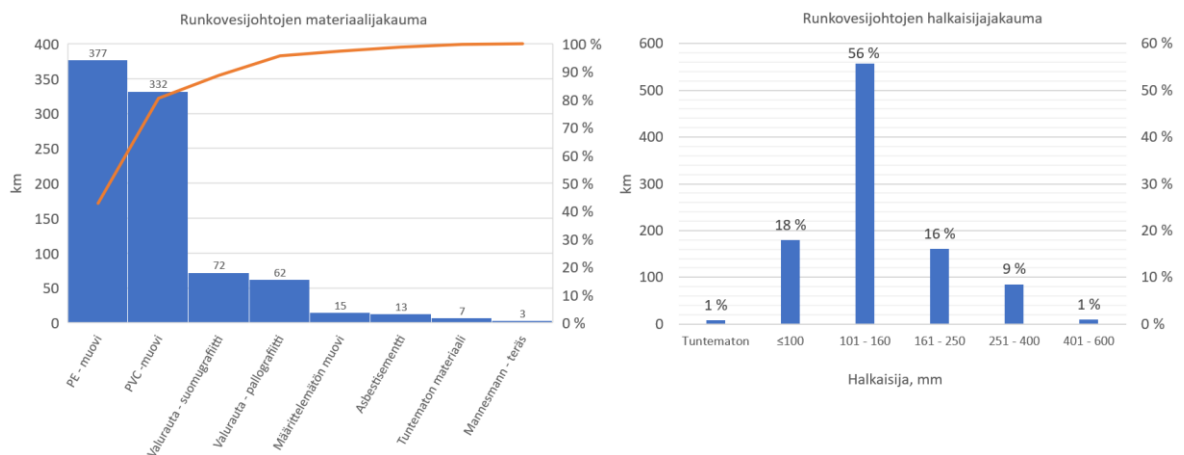
suunnasta. Runkovesijohtoverkosto kokonaisuudessaan ja tarkempi lähikuva, jossa erottuu edellä käsitellyjä keskeisiä asioita, on esitetty kuvassa 1. Lähtökohtaisesti vesijohtoverkossa pyritään ylläpitämään ympäristöä suurempi painetaso kaikissa mahdollisissa tilanteissa veden laadun turvaamiseksi.



Kuva 1. Ylhäällä kohdeyhtiön runkovesijohtoverkosto kokonaisuudessaan ja alemmassa kuvassa rajattu alue verkostoa, jossa erottuvat tarkemmin alueen vedentuotantolaitos, laiteaset, painepiirirajat ja sulkuventtiilit. Verkostossa on sulkuventtiileitä keskimäärin 100 m välein.

Toiminta-alueen vesijohtoverkon kokonaispituus on noin 930 km, josta vedenjakelun runkoverkon osuus on 880 km. Vesijohtoverkon kokonaispituus sisältää myös raakavesijohdot vedenottamoilta vedenkäsittelylaitoksille. Raakavesijohtoja ei lueta puhtaan veden jakeluun tarkoitettuun runkoverkkoon (Suomen ympäristökeskus, 2021). Runkovesijohtoverkko jaetaan kahteen lajiin, päävesijohtoihin ja jakelujohtoihin. Jakelujohdoista haarautuvat edelleen tonttijohdot, joista kohdeyhtiön omistuksessa olevan osan yhteispituus on noin 120 km. Tonttijohtojen pituudella ei ole käytännön merkitystä saneerausinvestointipäätöksiin ja sen vuoksi niitä ei käydä läpi tarkemmin. Jatkossa keskitytään runkoverkkoon.

Runkoverkon rakentamisessa on käytetty kohdeyhtiössä neljää johtomateriaalia: muovia, valurautaa, asbestisementtiä ja terästä rakentamisajankohdasta riippuen. Erilaisia muoveja on vesijohtomateriaaleista valtaosa, 82 % (723 km) ja muoveista eniten on käytetty PE-muovia (52 %, 376 km) sekä PVC-muovia (46 %, 332 km). PVC-muovin käytöstä vesijohtomateriaalina on sittemmin luovuttu ja nykyään vesijohtoverkon laajennus- ja korvausinvestoinneissa käytetään ainoastaan PE-muovia. Muovin jälkeen yleisin vesijohtomateriaali on valurauta, jota on 15 % (134 km) kaikista runkoverkoston vesijohtomateriaaleista. Käytössä on kahdenlaista valurautaa: suomugrafiittivalurautaa (8 %, 72 km) ja pallografiittivalurautaa (7 %, 62 km), joista ainoastaan jälkimmäistä käytetään nykyään laajennus- ja korvausinvestoinneissa. Suomugrafiittivalurautajohtojen asentaminen lopetettiin 1970-luvulla materiaalista valmistettujen johtojen lujuusominaisuuksissa olevien puutteiden ja korroosioalttiuden vuoksi (Makar 2000). Vesijohtomateriaaleista loput 3 % (23 km) ovat asbestisementtiä (13 km), mannesmann-terästä (3 km) ja tuntematonta materiaalia (7 km). Viimeksi mainituista tunnetuista materiaaleista mannesmann-teräksen asennus vesijohtoverkoston lopetettiin 1960-luvulla ja asbestisementin 1970-luvulla. Ensisijainen syy käytön lopettamiseen oli mannesmann-teräksen kohdalla korroosio-ongelmat (AWWA 2004, 137 - 150) ja asbestin kohdalla muoviputkien yleistymisen, jota mahdollisesti vielä edesauttoi tietoisuuden kasvaminen asbestin käyttöön liittyvistä terveyshaitoista (Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu, asbesti 2018). Kohdeyhtiön runkovesijohtojen materiaali- ja halkaisijajakaumia vuoden 2021 tiedoilla on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Runkovesijohtojen materiaali- ja halkaisijajakaumat

Runkoverkoston vesijohtojen halkaisija vaihtelee välillä 32 - 600 mm ja eniten verkostossa on halkaisijakokoa 110 mm olevia johtoja (31 %). Yli puolet runkovesijohdoista (56 %) on halkaisijaltaan 101 - 160 mm. Tätä pienempiä on 18 % ja suurempia 26 % runkovesijohdoista. Runkovesijohtoverkon pituuden, materiaalien ja johtojen halkaisijakokojen lisäksi oleellista omaisuustietoa on verkon ikärakenne.

Kohdeyhtiön vesijohtoverkon pituuspainotettu keski-ikä on varsin alhainen, 28 vuotta. Saneeraus päätösten kannalta keskiarvoa kiinnostavampaa on kuitenkin ikäjakauman ylempi häntä. Vesijohtoverkoston vanhimmat vielä käytössä olevat johdot ovat päälle 80 vuotta vanhoja ja 50 vuotta tai sitä vanhempia johtoja on yli 80 km kaikista runkovesijohdoista. Iäkäiden vesijohtojen määrä on merkittävä, kun sitä vertaa vesijohtojen tekniseen käyttöikään, jonka on arvioitu olevan 40 - 60 vuotta aihetta käsittelevissä selvityksissä (Kekki et al. 2008, 134; Kuulas et al. 2020, 42). Kohdeyhtiö on myös itse määritellyt vesijohtojensa tekniset käyttöiät johtomateriaalin ja valmistusajankohdan perusteella. Yhtiön runkovesijohdoilleen määrittelemällä teknisellä käyttöiällä arvioituna 130 km käytössä olevista vesijohdoista on jo ylittänyt teknisen käyttöikänsä. Kun vuotuinen vesijohtojen saneeraus määrä on tällä hetkellä keskimäärin 6 km per vuosi, nykyvauhdilla teknisen nykykäyttöarvon jo ylittäneiden vesijohtojen uusiminen kestäisi yli 20 vuotta ja maksaisi noin 36 miljoonaa euroa, kohdeyhtiön vesijohtoverkoston keskimääräisillä rakennuskustannuksilla arvioituna.

Vesijohtojen keskimääräinen saneerausikä kohdeyhtiössä on tällä hetkellä 44 vuotta, mikä käy yksiin vesijohdoille edellä mainitussa selvityksessä (Kekki et al. 2008, 134) arvioidun teknisen käyttöikähaarukan kanssa. Vesijohdon ikä ei ole kuitenkaan ainut syy vesijohtojen saneeraamiseen vaan muun muassa johtojen kunto on vaikuttanut saneerauspäätöksiin, joka osaltaan selittää huomattavasti keskimääräistä saneerausikää vanhempien vesijohtojen olemassaolon verkossa.

Vedenjakeluverkon kuntoa kuvataan johtorikoilla ja vuotavuudella, jotka toimivat verkon suorituskykyindikaattoreina. Nämä suorituskykyindikaattorit kertovat sen, miten johto-omaisuus suoriutuu sille asetetusta tehtävästä ja näin ollen antavat konkreettisen vastauksen ydinkysymykseen, mistä viime kädessä ollaan kiinnostuneita omaisuudenhallinnan kontekstissa.

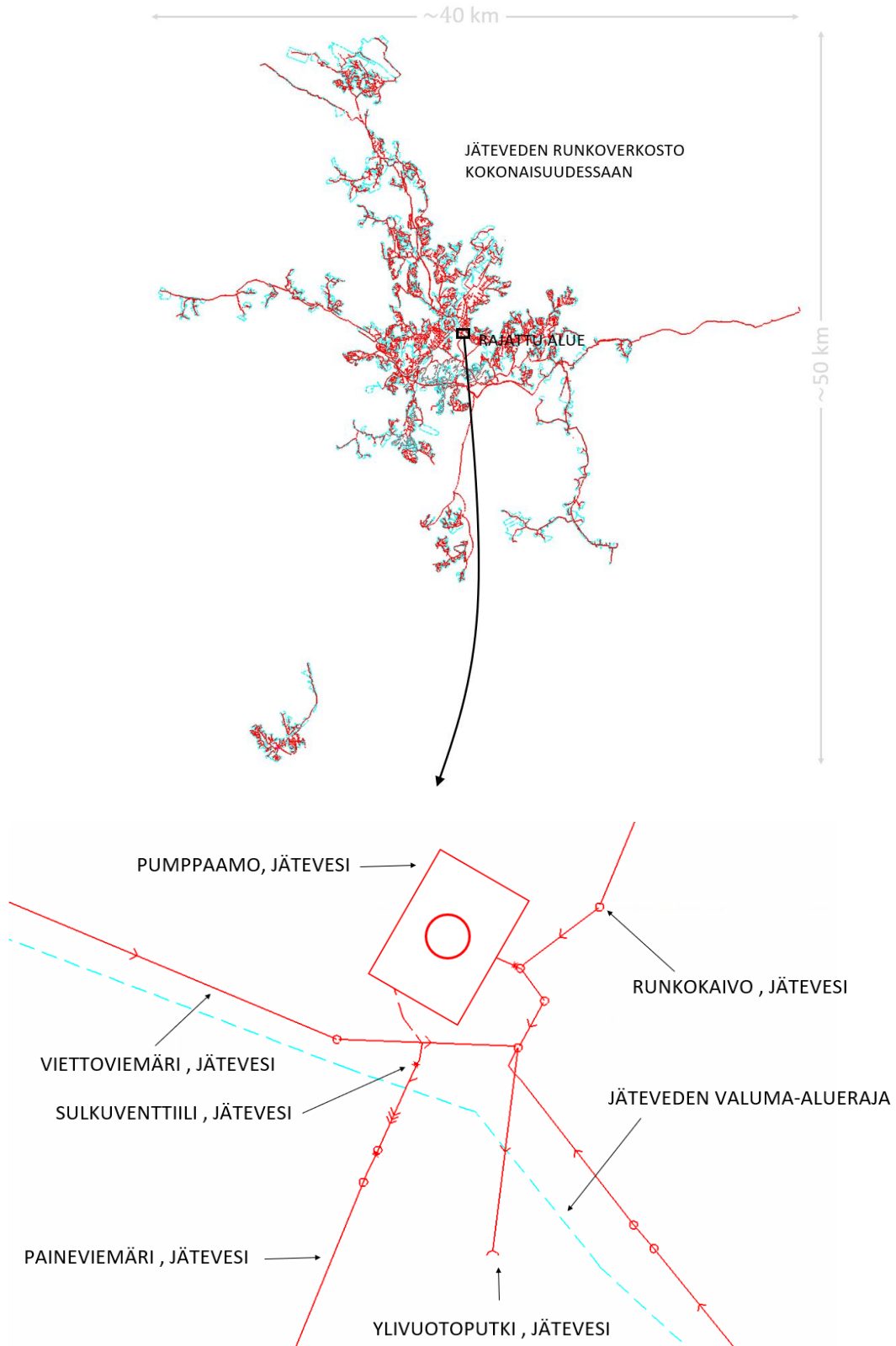
Kohdeyhtiön vesijohtorikot ovat tasolla 3,1 rikkoo 100 km kohti vuodessa (keskiarvo vuosilta 2018 - 2020). Kun vesijohtorikkotasoa verrataan kansalliseen tasoon saman kokoluokan laitoksissa, kohdeyhtiön tulos on kuuden parhaan vesihuoltolaitoksen joukossa Suomessa. Vedenjakeluverkon laskuttamaton vesi (vuotovesiprosentti) samalta ajanjaksolta on 14 % (tai 190 litraa liittymää kohti vuorokaudessa), jolla kohdeyhtiö sijoittuu niin ikään kuuden parhaan vesihuoltolaitoksen joukkoon Suomessa. Vertailu tehtiin käyttäen 14 isoimman laitoksen tietoja ja tietolähteenä oli vesihuollon tietojärjestelmä VEETI (Suomen ympäristökeskus 2021). Tehdyn vertailun perusteella kohdeyhtiön vesihuoltoverkoston kuntoa kuvaavat tunnusluvut ovat pysyneet toistaiseksi hyväksyttävällä tasolla, vaikka saneerausvelkaa on kertynyt jo lähes 15 % (130 km) runkovesijohtoverkon kokonaismäärästä. On perusteltua odottaa, että kertynyt saneerausvelka, tai ainakin iso osa siitä, tulee ennen pitkää näkymään myös verkon heikentyneenä suorituskyynä. Saneerausvelka nykymuodossaan ei ole kuitenkaan oikea mittari todellisen saneeraustarpeen arvioimiseen ja ajoittamiseen, jos päällimmäisenä tavoitteena on johto-omaisuuden suorituskyvyn ylläpitäminen kustannustehokkaasti. Tähän problematiikkaan palataan lähemmin alaluvussa 2.5, jossa käsitellään verkko-omaisuuden hallinnan haasteita.

Runkovesijohtoverkosta esitetyissä tiedoissa edellä ei ole huomioitu niitä vesijohtoja, joiden rakentamisvuosi tai halkaisija ei ole tiedossa tai on selkeästi virheellinen. Rakentamisvuosi-, halkaisija- tai materiaalitietoa ei ole noin 2 % (20 km) niistä runkovesijohdoista, jotka on tallennettu kohdeyhtiön omaisuusrekisteriin (verkkotietojärjestelmään). Tiedon täyttöpuutteiden lisäksi epävarmuutta arvioihin lisää vesijohdoille, sekä yhtä lailla jäljempänä käsiteltäville jäte- ja hulevesijohdoille, omaisuusrekisteriin täytetyn tiedon oikeellisuus ja laatu. Johtotietoa on kerätty pitkän ajan kuluessa ja käytännöt ovat matkan varrella muuttuneet. On siirrytty paperisesta rekisteristä sähköiseen rekisteriin (verkkotietojärjestelmään), jonka jälkeen dokumentointi on ollut yhdenmukaisempaa. Tosin, sähköisenkin rekisterin olemassaolon aikana, kohdeyhtiön toiminta-alueeseen on liitetty runkovesijohtoverkkoa merkittävä määrä kuntaliitoksien ja vesiosuuskuntien liitoksien myötä ja usein verkkotiedon dokumentointikäytännöt liitettävillä alueilla ovat poikenneet merkittävästi kohdeyhtiön vastaavista. Muun muassa näistä syistä johtuen johto-omaisuudesta kerätty tieto ei ole tasalaatuisia tai -määräistä.

2.2.2 Jätevesijohtoverkko

Kohdeyhtiön hallinnoima jätevesiverkosto jakautuu kahteen erilliseen viemäröintialueeseen, joilta jätevesi kerätään ja johdetaan keskitetysti viemäröintialueen jätevedenpuhdistamoon käsiteltäväksi. Jätevesiverkko on rakennettu yksinomaan säteittäiseksi, toisin kuin vesijohtoverkko. Jätevedet johdetaan kiinteistöjen tonttiviljelmästä kokoojaviemäreiden kautta pääviemäriin. Pääosa jätevesiverkosta on viettoviemäriä, jossa jätevesi johtuu painovoiman vaikutuksesta. Siellä missä jäteveden johtaminen viettoviemäriä ei ole mahdollista, pumpataan jätevedet jätevedenpumppaamoilla paineviemäriin. Yksittäisellä jätevedenpumppaamolla on oma valuma-alueensa, jolta jätevesi kerääntyy pumppaamolle. Valuma-alue on jätevesiverkossa toiminnallinen kokonaisuus, kuten painepiiri vesijohtoverkostossa. Verkoston jätevesipumppaamot muodostavat pumppaamoketjuja, joilla jätevesi siirretään viemäröintialueen puhdistamolle. Pumppaamoketjussa alajuoksun pumppaamon valuma-alueeseen kuuluvat yläjuoksun pumppaamoiden valuma-alueet, jolloin pumppaamoiden virtaamat kasvavat alajuoksulle päin siirryttäessä. Pumppaamoketjut yhdistyvät viemäröintialueen purkupisteessä, jätevedenpuhdistamolla. Kohdeyhtiön toiminta-alueella on käytössä sekaviemärointi- ja erillisviemärointimenetelmä. Sekaviemäroinnissä hule- ja jätevedet johdetaan

samassa jätevesiverkostossa puhdistamolle, kun taas erillisviemäröinnissä hulevedet ja jätevedet johdetaan erillisissä verkostoissa.

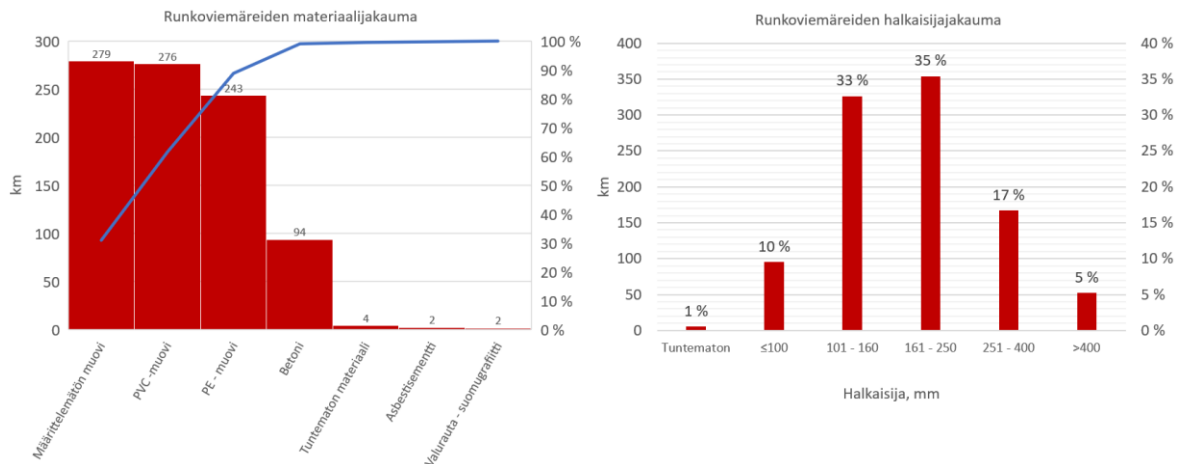


Kuva 3. Jätevesiverkosto kokonaisuudessaan ja lähikuva valitulta alueelta.

Pitkällä aikavälillä sekaviemäröinnistä pyritään eroon, koska hulevedet kuormittavat turhaan pumpppaamoja ja jätevedenpuhdistamoa sekä kasvattavat haitallisen ylivuodon riskiä jätevesiverkostossa ja puhdistamolla. Riski kasvaa poikkeuksellisissa sääolosuhteissa, sateisina aikoina ja sulamiskaudella. Kuvassa 3 on kohdeyhtiön jätevesijohtoverkoston yleiskuva ja lähikuva, jossa erottuu tarkemmin verkoston rakennetta lähikuvaan valitulta alueelta.

Kohdeyhtiöllä on jätevesiverkostoa yhteensä 900 km, josta viettoviemäreiden osuus on 660 km ja paineviemäreiden 240 km vastaavasti. Pituudessa on huomioitu jäteveden runkoviemärit, jotka sisältävät puhtaat jätevesiviemärit ja sekaviemärit. Jäteveden runkoviemäriin lukeutuvat pääviiemärit ja kokoojaviemärit, joiden lisäksi yhtiöllä on runkoviemäreistä haarautuvia tonttiviliiemäreitä 125 km. Kuten vesijohtoverkoston tapauksessa aiemmin, tonttiviliiemäreillä ei ole merkittävää vaikutusta jätevesijohtoverkoston saneerauspäätöksiin, jonka vuoksi jatkossa keskitytään ainoastaan runkoviemäriin.

Jätevesijohtoverkoston runkoviemäreistä 89 % (799 km) on rakennettu erilaisista muoveista. Tilastoiduista runkoviemäreistä PVC-muovia on 31 % (277 km), PE-muovia 27 % (243 km) ja muita muoveja 31 % (279 km). Muovien ohella runkoviemäreiden johtomateriaaleina on vähemmässä määrin betonia 10 % (94 km), asbestisementtiä 0,3 % (2,4 km) ja valurautaa 0,2 % (1,5 km). Materiaalitieto puuttuu 0,5 % (4,3 km) runkoviemäreistä. Runkoviemäreistä on menetelmäsaneerattu 7,3 % (66 km), mikä tarkoittaa sitä, että olemassa olevan vanhan viemärimateriaalin sisään on asennettu uusi materiaali maata auki kaivamattomalla tekniikalla. Toistaiseksi ei ole tiedossa, miten menetelmäsaneeratut viemärit kestävät aikaa suhteessa kaivamalla saneerattuihin viemäriin. Jätevesijohtoverkoston johtomateriaalit uus-asennuksessa ovat samoja mitä käytetään vesijohtoverkostossa, mutta paineelliset viemärit ja vesijohdot eroavat rakenteeltaan viettoviemäreistä, joilla ei ole vastaavaa paineluokitusta. Kohdeyhtiön runkoviemäreiden materiaali- ja halkaisijajakaumia vuoden 2021 tiedoilla on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Runkoviemäreiden materiaali- ja halkaisijajakaumat.

Runkoviemäreiden halkaisijat vaihtelevat välillä 63 - 1400 mm. Eniten on 160 mm halkaisijaisia viemäreitä (27 %) ja 200 mm halkaisijaisia viemäreitä (23 %), jotka muodostavat puolet kaikista runkoviemäreistä. Alle 160 mm halkaisijaisia viemäreitä on 16 % ja yli 200 mm halkaisijaisia viemäreitä on 34 % kaikista runkoviemäreistä. Halkaisijatieta puuttuu 0,6 % (5 km) runkoviemäreistä.

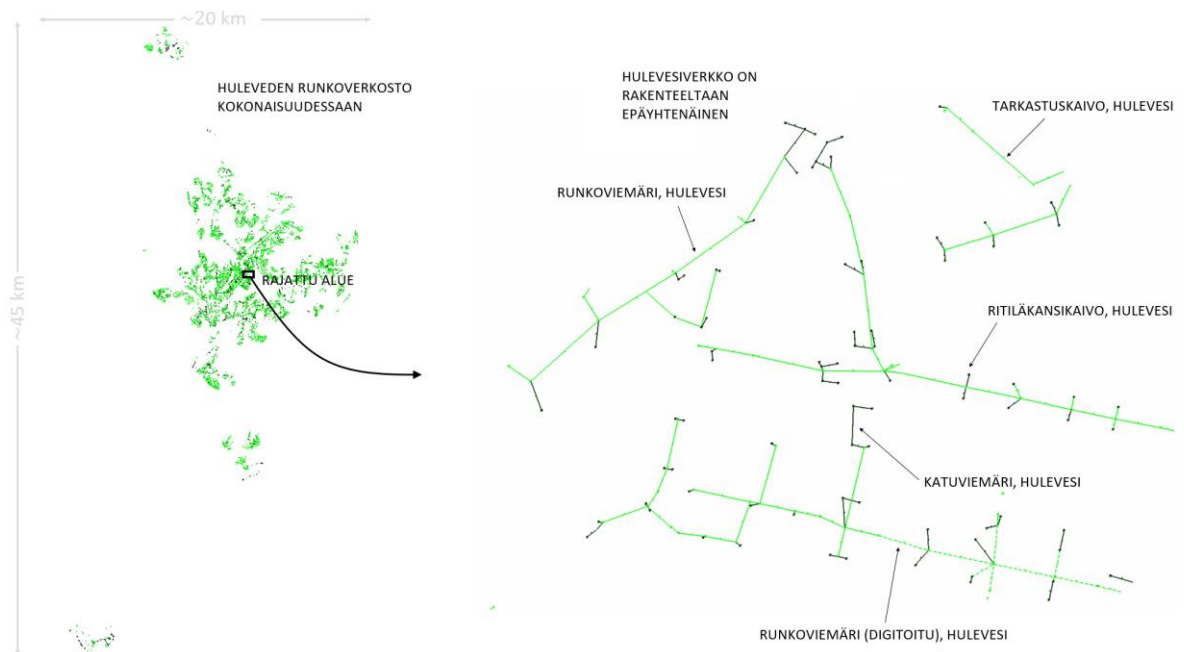
Jätevesijohtoverkon pituuspainotettu keski-ikä on 25 vuotta, joten jätevesiverkko on hieman nuorempi kuin vesijohtoverkko. Jätevesijohtoverkon vanhimmat vielä käytössä olevat viemärit ovat päälle 80 vuotta vanhoja kuten vesijohtoverkon johdot. Tasan 50-vuotiaita tai vanhempia viemäreitä on yli 50 km kaikista runkoviemäreistä, mikä on vähemmän kuin vastaavasti runkoviesijohdoilla. Kohdeyhtiön itse määrittelemillä viemärimateriaalien teknisillä käyttöiillä arvioituna 120 km viemäriverkostosta on ylittänyt teknisen käyttöikänsä ja on siten saneerausvelan puolella. Runkoviemäriverkoston saneerausvelaksi on viemäreiden keskimääräisten saneerauskustannusten perusteella arvioitu 29 M€. Runkoviemäreiden nykyisellä saneeraustahdilla, 5 km per vuosi, saneerausvelan kuolettaminen veisi 24 vuotta. Runkoviemäreitä on saneerattu tähän mennessä noin 190 km ja keskimääräinen runkoviemärin saneerausikä on ollut 40 vuotta.

Rakentamisvuosi-, halkaisija- tai materiaalitietoa ei ole noin 3 % (27 km) niistä runkojätevesiviemäreistä, jotka on tallennettu kohdeyhtiön omaisuusrekisteriin (verkkotietojärjestelmään).

2.2.3 Hulevesijohtoverkko

Kohdeyhtiön operoima ja ylläpitämä hulevesijohtoverkko koostuu useista alueellisista johtoverkoista, jotka johtavat hulevedet syntypaikaltaan purettavaksi alueesta riippuen joko suoraan vesistöihin, imeytyskelpoiseen maastoon tai hulevettä varten rakennettuihin viivytysaltaisiin. Alueelliset hulevesijohtoverkot ovat toisistaan irrallisia ja hulevesien purkupaikkoja on useita, mikä on selkeä ero yhtenäiseen jätevesiverkkoon verrattuna. Alueellisten hulevesiverkkojen topologiassa on erotettavissa paikkakohtaisesti sekä säteittäistä (puumaista) rakennetta että verkottunutta (silmukoitua) rakennetta. Pääosa hulevesiverkosta on painovoimatoimista viettoviemäriä, kuten on tilanne edellä käsitellyssä jätevesiverkostossa. Niillä alueilla, joilla huleveden johtaminen ei onnistu painovoimalla, pumpataan hulevesi huleveden pumppaamalla paineviemäriin kuten jätevesiverkostossa edellä. Huleveden toiminnallisia kokonaisuuksia kutsutaan huleveden valuma-alueiksi ja ne ovat määritelty toiminta-alueen pintavesien valuntaa ohjaavien maaston korkeussuhteiden ja alueen hulevesijohto- ja avouomaverkoston perusteella. Hulevesijohtoverkoston yleiskuva ja tarkempaa rakennetta valitulta alueelta on havainnollistettu kuvassa 5.

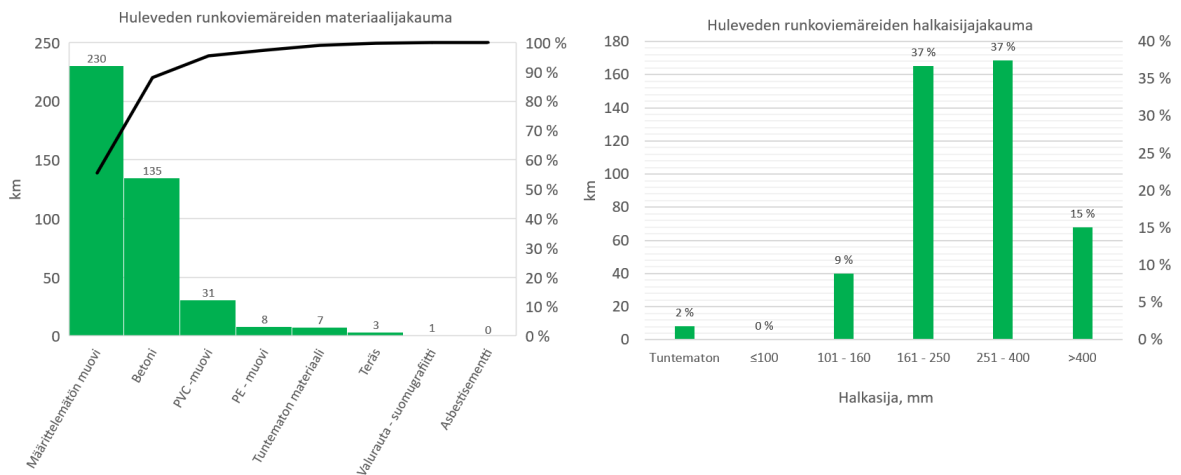
Kohdeyhtiöllä on hulevesijohtoverkkoa yhteensä 415 km, joka on käytännössä viettoviemäriä, sillä huleveden paineviemäreiden pituus on kaiken kaikkiaan alle kilometrin. Hulevesijohtoverkon pituudessa on huomioitu huleveden runkoverkko sisältäen runkoviemärit ja katuviemärit, joiden lisäksi yhtiöllä on runkoverkosta haarautuvia huleveden tonttioviemäreitä noin 50 km. Tonttioviemäreiden käsittely rajataan tutkimuksesta pois tästä eteenpäin syystä, että niillä ei ole merkitystä hulevesijohtoverkoston saneerauspäätöksissä, kuten oli tilanne edellä talousveden ja jäteveden tonttiliittymien kanssa.



Kuva 5. Hulevesijohtoverkko kokonaisuudessaan ja lähikuva valitulta alueelta. Huleveden hallinnassa erottavia tekijöitä jäteveden hallintaan ovat useat purkupaikat ja avoimet rakenteet, jonka vuoksi hulevesijohtoverkkokokonaisuus koostuu toisistaan irrallisista, alueellisista, verkoista.

Hulevesijohtoverkoston tilastoiduista runkoviemäreistä lähes kaksikolmasosaa (65 %, 269 km) on rakennettu erilaisista muoveista ja noin yksi kolmasosa betonista (32 %, 135 km). Näiden lisäksi on vähäinen määrä (1 %, 3,7 km) valurautaa, asbestisementtiä ja terästä. Materiaalitieto puuttuu 1,8 % (7,3 km) runkoviemäreistä. Kuten jätevesiviemäreissä edellä, myös hulevesijohtoja menetelmäsaneerataan aina kuin mahdollista ja toistaiseksi menetelmäsaneerauksia on tehty 0,4 % (1,7 km). Kohdeyhtiön huleveden runkoviemäreiden tarkempi materiaali- ja halkaisijajakaumia vuoden 2021 tiedoilla on esitetty kuvassa 6.

Huleveden runkoviemäreiden halkaisijat vaihtelevat välillä 100 - 1800 mm. Kaksikolmasosaa runkoviemäreistä (66 %) on välillä 200 - 315 mm. Tätä halkaisijaväliä pienempiä viemäreitä on 9 % ja suurempia viemäreitä on 23 % kaikista runkoviemäreistä. Halkaisijatieto puuttuu 2 % (8 km) runkoviemäreistä.



Kuva 6. Huleveden runkoviemäreiden materiaali- ja halkaisijajakaumat.

Hulevesijohtoverkon pituuspainotettu keski-ikä on 25 vuotta, joten hulevesiverkko on saman ikäistä kuin jätevesijohtoverkko. Vanhimmat käytössä olevat hulevesiviemärit ovat päälle 70 vuotta vanhoja, joten ne ovat nuorempia kuin jäte- ja vesijohtoverkkojen johdot. Tasan 50-vuotiaita tai vanhempia viemäreitä on vajaa 30 km kaikista runkoviemäreistä, mikä on suhteellisesti samaa suuruusluokkaa jätevesiviemäreiden kanssa. Huleveden viemäriverkostosta 65 km on ylittänyt teknisen käyttöikänsä ollen saneerausvelan puolella, kohdeyhtiön itse määrittelemillä viemärimateriaalien teknisillä käyttöiällä arvioituna. Huleveden runkoviemäriverkoston saneerausvelaksi on viemäreiden keskimääräisten saneerauskustannusten perusteella arvioitu 25 M€. Huleveden runkoviemäreiden nykyisellä saneeraustahdilla, alle 1 km per vuosi, saneerausvelan kuolettaminen veisi yli 100 vuotta, mikä on selvästi enemmän kuin jäte- ja talousvesiverkkojen vastaavat kuoletusajat. Huleveden runkoviemäreitä on saneerattu tähän mennessä noin 28 km ja keskimääräinen runkoviemärin saneerausikä on ollut 33 vuotta. Vastaavalla tavalla kuin vesijohtojen ja jätevesiviemäreiden osalta on todettu edellä, rakentamisvuosi-, halkaisija- tai materiaalitietoa ei ole noin 8 % (32 km) niistä runkohulevesiviemäreistä, jotka on tallennettu kohdeyhtiön omaisuusrekisteriin. Hulevesijohdoissa on huomattavasti enemmän tietopuutteita kuin talous- ja jätevesijohdoissa.

2.3 Verkosto-omaisuuden rekisteröinti

Kohdeyhtiön johtotietoja ylläpidetään kartta- ja tietokantapohjaisessa verkkotietojärjestelmässä, jossa jokainen verkko – vesijohtoverkko, jätevesijohtoverkko ja hulevesijohtoverkko – on käsiteltävissä erillisenä kokonaisuutena. Kaikkien verkkojen johdot ovat tietokannan samassa putkitaulussa, ja erottelu verkkojen välillä tapahtuu johtotyypille dokumentoinnissa annetun lajityypin perusteella. Johtojen karttasymboli verkkotietojärjestelmässä on viiva ja verkkotyypit ovat värikoodattu, mikä helpottaa verkkojen tunnistamista ja erottamista toisistaan kartalla, kun verkkoaineistoja tarkastellaan päällekkäin joko suunnittelun, rakentamisen tai käytön tarpeesta. Verkkotietojärjestelmässä oleville johdoille on dokumentoitu sijaintitieto (taso- ja korkeuskoordinaatit) ja erilaisia ominaisuustietoja, kuten materiaali, asennusvuosi, halkaisija ja pituus. Lisäksi verkkotietojärjestelmään on dokumentoitu johtojen vika- ja kunnossapitotiedot sekä mm. asiakas-, liittymä- ja kulutustietoja. Verkkotietojärjestelmässä on tallennettu myös viivamaisina mallinnettujen johtojen lisäksi pistemäisiä verkostokohteita, kuten erilaiset kaivot, venttiilit ja palopostit sekä laiteasemat ja veden tuotantolaitokset kukin omalla karttasymbolilla. Pistemäisillä verkostokohteilla on niin ikään sijaintitieto, ominaisuustiedot ja kohteesta riippuen myös kunnossapitotietoja. Verkkojen toiminnalliset alueet esitetään kartalla polygoneilla, joilla voidaan tarvittaessa erottaa tiettyyn toiminnalliseen alueeseen kuuluvat johdot muista johdoista. Verkostoaineistot ovat dokumentoitu vakioidussa koordinaattijärjestelmässä ja aineistoja voidaan tarkastella erilaisilla koordinaatistoon asemoiduilla taustakartoilla käyttökohteen mukaan. Uutta verkostoa rakennettaessa tai vanhaa verkostoa saneerattaessa johdot sijaintikartoitetaan, lajikoodataan ja niiden ominaisuustiedot kirjataan maastossa kartoitustallentimelle, ja myöhemmin – jälkikäsitelyn valmistuttua – verkkotietojärjestelmään. Viettoviemärit ja viettöhulevesilinjat sijaintikartoitetaan takymetrilla ja paineelliset johdot mitataan GPS-paikantimella. Mitattu johtotieto on karttaesityksessä yhtenäisellä viivalla ja vanhasta sekä oletetusti epätarkasta dokumentaatiosta digitoitu johtotieto on katkoviivalla.

Verkkotietojärjestelmän tietokanta on rakennettu relaatiotietomallin mukaan. Tarkemmin tämä tarkoittaa, että tietokannan sisältämät tiedot on järjestelty kaksiulotteisiin tietotauluihin, joilla on yhteys toisiinsa määrätyn tunnistetiedon kautta. Tietokannan tiedoista saadaan räätälöityjä raportteja määrittämällä tarvittavat hakuehdot SQL-kyselykielellä (structured

query language) ja tätä mahdollisuutta käytetäänkin laajasti verkkotietoa analysoitaessa. Myös verkkotietojärjestelmän käyttöliittymässä on haku- ja analyysityökaluja, joilla käyttäjä voi rajatusti määritellä millä tavalla hakutulokset haluaa korostaa kartalla ja minkälaisen raportin hakutuloksista haluaa. Verkkotietojärjestelmä on johtotiedon master-tietokanta, josta johtotiedot siirtyvät – manuaalisesti tai automaattisesti – muiden tietoa hyödyntävien järjestelmien käyttöön. Master-tietokannassa päivittyvää johtotietoa tarvitaan esimerkiksi järjestelmän ulkopuolella tehtävässä hydraulisessa mallinnuksessa, jossa analysoidaan verkoston toimintaa erilaisilla suunnittelu- ja käyttöskenaarioilla. Verkostojen arvonmääritys tehdään niin ikään verkkotietojärjestelmän ulkopuolella järjestelmän johtotietoa hyödyntäen.

2.4 Kuntotiedot

Verkkotietojärjestelmän kautta hoidetaan myös verkkokohteiden kunnossapitotöiden tilaus ja raportointi. Esimerkiksi jäte- ja hulevesiviettoviemärien kuntoa on tutkittu ja dokumentoitu verkkotietojärjestelmään TV-kuvauksien avulla, kuvauksissa havaittuja vaurioita pisteyttämällä, vuodesta 2008 eteenpäin (Vesi- ja viemäri- ja viemäriyhdistys 2005). TV-kuvaukset ovat keskittyneet pääosin jätevesiviemäriin, joiden kuntoa on etukäteen epäilty huonoksi korkean iän tai muun syyn vuoksi tai viemäreiden kunnosta on haluttu saada tietoa esimerkiksi alueella tapahtuvan muun yhdyskuntatekniikan investoinnin vuoksi, jolloin mahdollisesti huonokuntoisen viemäriin saneeraus voidaan ajoittaa yhteen yhdyskuntatekniikan investoinnin kanssa ja on mahdollisuus säästää investointikustannuksissa. Jäteveden viettoviemäriin (ja kaivoille) tallennetaan kuntotietona myös tukokset, ylivuotomäärät ja huuhdetutiedot. Paineellisten viemäreiden ja vesijohtojen osalta pidetään kirjaa lähinnä putkiriikoista, joita on vesijohdoille dokumentoitu 1990-luvun alkupuolelta lähtien.

2.5 Verkosto-omaisuuden hallinnan keskeiset haasteet

Kohdeyhtiön vesihuoltoalueelle asennetun johtoverkoston massarakentamisen ensimmäinen aalto (60-luvun loppu ja 70-luku) lähestyy saneerausikää ja on osittain jo saneerausvelan puolella kohdeyhtiön käyttämällä verkoston pitoajoilla, kuten edellä alaluvussa 2.2. on todettu. Toistaiseksi yhtiön vesihuoltoverkoston tilaa kuvaavat tunnusluvut ovat olleet

hyväksyttävällä tasolla ja tähän peilattuna saneerausvelka nykymuodossa ei ole oikea mittari varsinaiselle saneeraustarpeelle. Tietynä vuonna asennettujen putkien saneeraustarve ei realisoidu saneerausvelan tapaan välittömästi määrättyä päivänä vaan pikemminkin saneeraustarve jakautuu usealle vuosikymmenelle monesta asiaan vaikuttavasta tekijästä johtuen. Saneeraustarpeen tarkasta jakautumisesta riippumatta on selvää, että itse tarve kasvaa asteittain, kun 60-luvun lopulta eteenpäin asennetun putkimassan saneeraus tulee viimein heikenevän kunnon puolesta välttämättömäksi.

Verkostodatan perusteella on selvää, että nykyistä suurempi saneeraustarve on pysyvä muutos ja saman aikaisesti vesihuollossa on tarve vähintään totuttuun ja mielellään nykyistä parempaan vaatimustasoon ympäröivän yhteiskunnan vaatimusten kehittyessä. Lisäksi ympäristövaatimukset kiristyvät, mikä asettaa vaatimuksia etenkin jäte- ja hulevesien infrastruktuurien toimivuudelle. Toimintaan liittyvät riskit on hallittava jatkossakin raakavesilähteestä jätevesien vaikutuksiin saakka. Viimeksi mainitussa vaatimuksessa huomio kiinnittyy erityisesti talousveden laadun säilymiseen vesijohtoverkoston ikääntyessä. Vesihuoltoliiketoiminnan positiivinen kassavirtavaatimus asettaa puolestaan rajoitteita tarvittavalle investointirahoitukselle etenkin, kun saneerausvelan asettamaan tarpeeseen ei ole nykyisellään mahdollista vastata veden hintaa korottamalla yksi yhteen periaatteella. Keskeisiä ratkaistavia kysymyksiä on, kuinka rajalliset resurssit saadaan vastaamaan odotuksiin parhaalla mahdollisella tavalla ja - ennen kaikkea - tehdäänkö tällä hetkellä oikeita asioita?

3 Kuntotietokeskeinen toimintamalli

Tässä luvussa perehdytään kohdeyhtiön nykyiseen kuntokeskeiseen toimintamalliin saneerausinvestointien valinnassa. Alkuun esitellään toiminnan organisointia vastuineen ja rooleineen kohdeyhtiön toiminnan kannalta tärkeässä investointiprosessissa, jonka kaavaa kaikki investointilajit, mukaan lukien luvussa tarkemmin läpikäytävät saneerausinvestoinnit, noudattavat. Tämän jälkeen esitellään saneerausinvestoinnit investointilajina kohdeyhtiön määrittelyn mukaisesti sekä käydään läpi saneerausinvestointikohteiden valinta ja priorisointi kuntokeskeisessä toimintamallissa. Luvun lopussa on lueteltu toimintamallin tunnistettuja puutteita, joihin jäljempänä luvussa 4 käsiteltävällä omaisuudenhallintakeskeisellä toimintamallilla pyritään vastaamaan.

3.1 Toiminnan organisointi – roolit ja vastuut

Kohdeyhtiön vesihuollon verkkojen investointiprosessi on jaettu vaiheisiin. Prosessi alkaa yleissuunnitteluvaiheella, jossa määritellään ensin investointitarpeet ja laaditaan niiden pohjalta yleissuunnitelmat. Investointitarpeita syntyy kohdeyhtiön omista lähtökohdista, ulkopuolisista vaatimuksista (kuten pakollisista johtosiirroista) ja kunnan investointiohjelmasta uusien kaava-alueiden sekä täydennysrakentamisen myötä. Investointitarpeiden pohjalta tehtävät yleissuunnitelmat sisältävät muun muassa verkostojen mitoitus, mallinnukset, toteutuksen vaihtoehtovertailut, alustavat kustannusarviot ja toteutuksen vaiheistukset. Yleissuunnitteluvaihe jatkuu edelleen aikataulun ja hankintatavan suunnittelemisella. Hankkeiden toteutus synkronoidaan yhtiön muiden tuotealueiden ja kohdekunnan kunnallistekniikan investointikohteiden kanssa yhteisrakennuttamisessa odotettavissa olevien synergiaetujen vuoksi.

Yleissuunnitteluvaiheessa investointitarpeiden määrittelyyn osallistuvat yhtiön vesihuollon suunnittelutiimi ja vesihuoltoverkkojen käyttö- ja kunnossapitotiimi, jonka vastuulla on verkkojen käyttö- ja kunnossapitotehtävät. Yleissuunnitelmien laadintaa vetää suunnittelutiimi, mutta työhön osallistuvat käyttö- ja kunnossapitotiimi, suunnitelmien toteutusta

aikanaan valvova rakennuttamistiimi ja tarpeen mukaan sijaintipalvelutiimi, jos esimerkiksi tarvitaan apua kohteen rakennuslupaneuvotteluissa maanomistajien kanssa tai kohteen kartoitustiedot ovat puutteellisia ja vaativat täydennystä. Yleissuunnitteluvaiheen viimeiseen osioon - aikataulun ja hankinnan suunnittelemiseen – osallistuvat kaikki edellä mainitut tahot. Suunnittelutiimin ensisijaisella vastuulla viimeisessä osiossa on kohteiden budjetointi ja aikataulutus sekä kohteiden priorisointi, joista viimeksi mainittua tehdään yhteistyössä käyttö- ja kunnossapitotiimin kanssa. Rakennuttamistiimi osallistuu kohteiden aikataulutukseen ja sijaintipalvelutiimi avustaa suunnitelmien dokumentoinnissa eri tietojärjestelmiin.

Yleissuunnitteluvaihetta seuraa toteutussuunnitteluvaihe, jonka lähtötietoina ovat edellisessä vaiheessa tuotetut yleissuunnitelmat. Toteutussuunnittelussa yleissuunnitelmista tehdään yksityiskohtaiset suunnitelmat niin, että niiden perusteella voidaan kilpailuttaa rakennusurakka, laatia vaadittavat lupahakemukset (ELY-keskukseen ja Aluehallintovirastoon), urakkasopimukset, työselostukset ja muut asiakirjat toteutusta varten. Toteutussuunnittelussa tarkennetaan myös yleissuunnitteluvaiheen kustannusarvioita. Toteutussuunnitteluvaiheessa päävastuu on suunnittelutiimillä silloin kun suunnittelu tehdään omana työnä. Käyttö- ja kunnossapitotiimi kommentoi toteutussuunnitelmia verkon käytettävyyden osalta ja varmistaa, että verkko saadaan rajattua suunnitelma-alueelta sekä teettää tarvittaessa korjaustyöt, jos rajaus ei sulkuventtiilien koestuskokeessa onnistu. Sijaintipalvelutiimi hakee tarvittavat luvat kunnalta ja yksityisiltä maanomistajilta sekä tekee sopimukset yksityisten maanomistajien kanssa ja lopuksi arkistoi saapuneet luvat. Vaihtoehtoisesti toteutussuunnitelmat voidaan tilata puitesopimuskonsulteilta, jolloin rakennuttamistiimi ottaa hankkeen haltuun jo toteutussuunnitteluvaiheessa, tilaa toteutussuunnittelun sekä pyytää tarkemmat lähtötiedot suunnittelua varten yhtiön suunnittelutiimiltä sekä käyttö- ja kunnossapitotiimiltä.

Toteutussuunnitteluvaiheen jälkeen on hankintavaihe, jossa päävastuu on rakennuttamistiimillä. Rakennuttamistiimi laatii kaupalliset asiakirjat, kilpailuttaa urakan, käy urakkaneuvottelut, valikoi urakoitsijan ja allekirjoittaa urakkasopimuksen sekä toimittaa suunnitteluaineiston urakoitsijalle. Suunnittelutiimi tarvittaessa myös kommentoi hankintavaiheen tarjouksia ja tarkastelee mahdollisia budjettipoikkeamia.

Hankintavaiheen perään on toteutusvaihe, joka koostuu projektin hallinnasta ja urakan valvonnasta, dokumentoinnista ja urakan vastaanotosta. Projektin hallintaan ja urakan valvontaan kuuluvat kohteen rakennuttaminen, urakkakokoukset, laskujen hyväksyntä, budjetin seuranta, työmaakartan päivitys sekä katko- ja käyttötoimenpiteiden suunnittelun ja toteutuksen varmistaminen. Projektin hallintaa ja urakan valvontaa johtaa rakennuttamistiimi ja suunnittelutiimi seuraa urakan edistymistä sekä ottaa kantaa mahdollisiin budjetin ylityksiin. Dokumentoinnin osalta rakennuttamistiimi valvoo kartoituksen, dokumentoinnin ja verkkotiedon kertymistä rakennuttamisen aikana. Sijaintipalvelutiimi vastaa rakennushankkeessa tiedon dokumentoinnista verkkotietojärjestelmään. Toteutusvaiheen päättää urakan vastaanotto, jossa kohde tarkistetaan, toimitetaan huomautukset ja reklamaatiot urakoitsijalle, jos on tarpeen, tarkastetaan sisäinen luovutusvalmius mm. tarvittavien testien ja kartoitusten suorittamisen osalta ja tehdään kohteen sisäinen luovutus rakennuttamistiimiltä käyttö- ja kunnossapitotiimille osaksi jakeluverkostoa. Urakan vastaanottoon osallistuvat rakennuttamistiimi, sijaintipalvelutiimi sekä käyttö- ja kunnossapitotiimi.

Viimeinen vaihe investointiprosessissa on takuuajan hallinta, jossa seurataan rakennetun kohteen toimintaa ja jätetään huomautuksia tai reklamaatioita urakoitsijalle, jos kohteen toiminnassa esiintyy häiriötä. Takuuajan hallintaan osallistuvat rakennuttamistiimi sekä käyttö- ja kunnossapitotiimi. Osana investointiprosessia, suunnittelutiimi tekee yhteistyössä rakennuttamistiimin kanssa jälkilaskentaa toteutetuista kohteista, jolla laskennalla pyritään parantamaan investointikustannusten ennustamista tulevissa yleis- ja toteutussuunnitelmissa. Kohteiden jälkilaskenta pyritään tekemään takuuajan kuluessa, jolloin kohde on vielä tuoreessa muistissa.

3.2 Saneerausinvestoinnit

Saneerausinvestointi on investointi, joka kohdistuu rakennettuun infrastruktuuriin korvaten olemassa olevan infrastruktuurin ajanmukaisella infrastruktuurilla. Kohdeyhtiön saneerausinvestointien perusteena on infrastruktuurin huono kunto, kriittisyys, synergiaedut tai ulkopuoliset vaatimukset kuten johtosiirrot. Saneerausinvestointi on olemassa olevan infrastruktuurin ennalta suunniteltua uusimista nykyisille asiakkaille, nykyvaatimusten

mukaiselle tasolle. Saneerausinvestointi turvaa nykytoiminnan jatkuvuuden ja lähtökohtaisesti saneerausinvestointi ei kasvata alkuperäistä kapasiteettia merkittävästi. Saneerausinvestoinnit voidaan jakaa edellä kuvattuihin ennakoituihin saneerausinvestointeihin ja ennakoinnattomiin saneerausinvestointeihin. Kohdeyhtiössä ennakoinnattomaksi saneerausinvestoinniksi on määritelty kustannuksiltaan merkittävä ja yllättävä infrastruktuurin korjaus, jota ei ole huomioitu tarkasteluvuoden investointibudjetissa. Näin myös kohde, josta tehty hankekortti (esisuunnitelma) ajoittuu tarkasteluvuotta myöhempään aikaan, kuuluu kustannuksiltaan merkittävän vaurion sattuessa ennakoinnattomiin saneerausinvestointeihin. Ennakoinnattomat saneerausinvestoinnit katetaan saneerausinvestointibudjetista, mutta niille ei tehdä budjettia etukäteen vaan investoinnit kirjataan toteuman mukaan. Ennakoinnattomat saneerausinvestoinnit ovat yksi mitta verkkojen kunnolle ja perustelu lisämäärärahojen tarpeelle, jonka vuoksi investointeja seurataan.

3.2.1 Kohteiden valinta

Saneerausinvestointien valinnan tekevät kuntokeskeisessä toimintamallissa vesihuoltoverkkojen käyttö- ja kunnossapitotiimi ja suunnittelutiimi. Käyttö- ja kunnossapitotiimin vastuulla on yleisesti verkkojen käyttö- ja kunnossapitotehtävät. Näistä ensimmäisessä on kyse mm. jakelukeskeytysten ja kytkentämuutoksien hallinnasta verkostoissa ja jälkimmäisenä mainitut kunnossapitotehtävät sisältävät verkkojen kunnonvalvonnan, ennakkohuollot ja korjaukset. Kunnossapitotoimien toteutus on ulkoistettu ulkopuolisille palvelun toimittajille palvelusopimuksilla ja käyttö- ja kunnossapitotiimin vastuulla on töiden tilaus ja valvonta käsittäen sekä töiden tekemisen että dokumentoinnin. Käyttö- ja kunnossapitotiimi määrittelee vesihuoltoverkostojen kunto- ja riskiperusteiset saneerausinvestointitarpeet perustuen roolin ja kokemuksen tuomaan asiantuntijanäkemykseen verkostojen tilasta. Tarvemäärittelyn perusteena on verkostoista olevat kuntotiedot (viemärikuvaukset, putkirikkohistoria, asiakaspalautteet), johtomateriaalit ja niiden ikä, säännöllisten kunnossapitotoimenpiteiden tarve (kuten johtojen huuhtelut ja tukosten avaus) sekä puutteet verkostojen rakentamisen laadussa, jos sellaisesta on tietoa tai epäilystä. Käyttö- ja kunnossapitotiimin saneeraustarvemäärittelyssä ei käytetä laskennallisia menetelmiä, vaan tarvearviot perustuvat kokemukseen ja asiantuntijatulkintoihin olemassa olevasta tiedosta. Suunnittelutiimin kautta tulevat rakennettujen verkostojen investointitarpeet liittyvät esimerkiksi johtosiirtoihin tai

verkostojen kapasiteettimallinnuksissa ilmenevään kapasiteetin kasvattamistarpeeseen, jolloin kyseessä on usein pikemminkin kehittämisinvestointi kuin puhdas saneerausinvestointi. Suunnittelutiimin kautta tulevien investointitarpeiden peruste on muu kuin verkostojen heikko kunto ja esimerkiksi ulkopuolisista tarpeista tehtävistä johtosiirroista kohdeyhtiö saa myös korvauksia työn tilaajalta aiheuttamisperiaatteen mukaan.

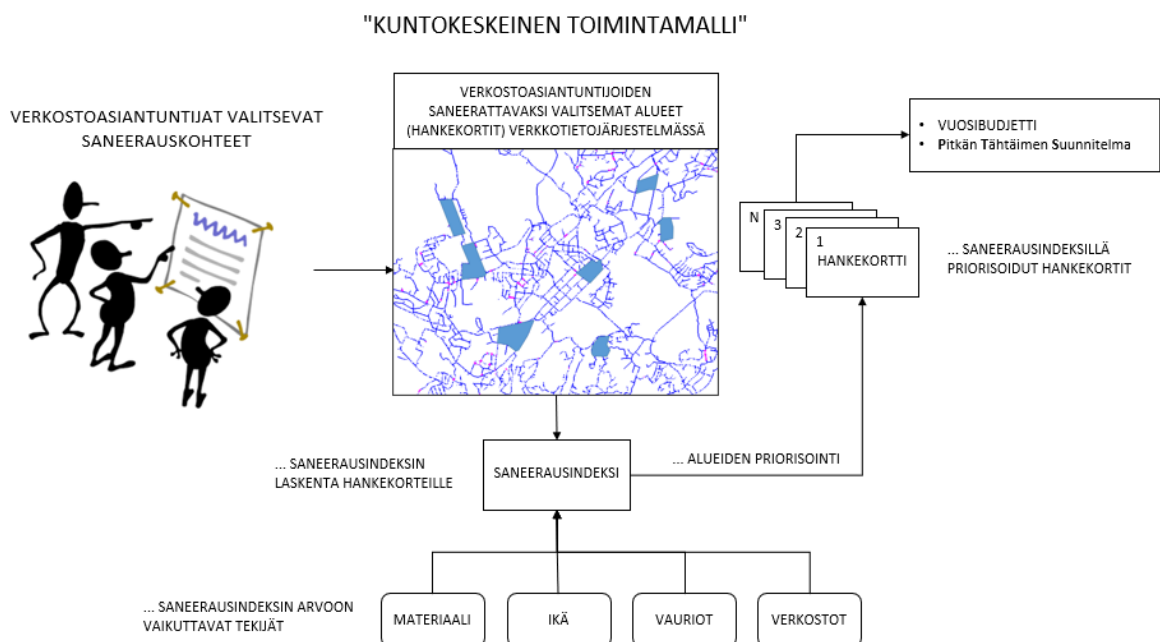
3.2.2 Kohteiden priorisointi

Käyttö- ja kunnossapitotiimin määrittelemien saneerausinvestointikohteiden asettaminen toteutusjärjestykseen perustuu alueellisen saneerausindeksin laskemiseen saneerauskohteista tehdyistä hankekorteista. Laskennalliseen saneerausindeksiin vaikuttavat tarkasteltavalla alueella olevat verkkotyypit (talousvesi, jätevesi ja hulevesi), johtomateriaalit, johtomateriaalien asennusvuodet, johtojen pitoajat ja kuntotiedot (verkkotietojärjestelmään tallennettu vikahistoria).

Verkkotyypeittäin laskettava saneerausindeksi koostuu materiaali- ja vaurioindekseistä. Näistä materiaali-indeksi sisältää johtomateriaalista riippuvan materiaalikertoimen, joka aktivoituu, kun johdon ikä (laskettuna tarkastelu- ja asennusvuosien perusteella) on saavuttanut sille taulukoidun pitoajan. Materiaalikerroin on määritelty kohdeyhtiön verkoissa olevien johtomateriaalien vikatiетоjen ja niistä laskettujen vikatiheyksien perusteella. Materiaalikerroin on nolla ennen pitoajan täyttymistä ja materiaalin määrämällä tasolla pitoajan täyttymisen jälkeen. Materiaalikertoimen ja kyseistä materiaalia olevan johto-osuuden pituuden perusteella lasketaan varsinainen materiaali-indeksi laskenta-alueelle, joka sisältää usein erikäisiä ja eri materiaaleista tehtyjä johtoja. Johtojen kuntotiedot ilmaistaan puolestaan vaurioindeksillä, joka lasketaan laskenta-alueella havaittujen vikojen perusteella. Vaurioindeksi kasvaa suoraan vikojen lukumäärän funktiona ja indeksi päivittyy johtorikoissa ja kuntomittauksissa havaittujen vikojen kirjaamisen tuloksena.

Materiaali- ja vaurioindeksit (per verkkotyyppi) lasketaan yhteen ja jaetaan valitulla alueella olevan verkkotyypin kokonaispituudella, jolloin laskennan tulos on verkkotyypin

saneerausindeksi. Kun laskenta-alueella olevien kaikkien verkkotyypin (talousvesi, jätevesi ja hulevesi) saneerausindeksit lasketaan yhteen, on lopputulos aluesaneerausindeksi, jota käytetään saneerausalueiden (hankekorttien) priorisoinnissa, joka mahdollistaa myös erikokoisten alueiden vertailun ja priorisoinnin keskenään. Saneerausalueiden (hankekortti-alueiden) valinta ja indeksien laskenta toteutetaan verkkotietojärjestelmään rakennetulla analyysillä. Kohdeyhtiön kuntokeskeistä toimintamallia luvuissa 3.2.1 ja 3.2.2 käsiteltyjen saneerausinvestointien valinnan ja priorisoinnin osalta on havainnollistettu Kuvassa 7.



Kuva 7. Kuntokeskeinen toimintamalli, saneerausinvestointien valinta ja priorisointi

3.3 Tunnistetut puutteet

Kuntokeskeisessä toimintamallissa saneerausinvestointien hallinnan keskiössä ja päätöksentekijänä ovat verkostojen kunnossapitäjät, joille on muodostunut asiantuntemus olemassa olevien kuntotietojen käsittelyyn ja tulkitsemiseen pitkäaikaisen aiheen parissa työskentelyn kautta. Kuntokeskeisessä toimintamallissa lähestymistapa on puhtaasti tekninen ja nykyisellä toteutustavalla myös subjektiivinen, koska päätöksenteossa, saneerauskohteiden valinnan osalta, ei käytetä laskennallisia menetelmiä, vaan verkostojen kunnossapitäjien

omakohtaista tulkintaa. Koska saneerauskohteiden valintakriteerit eivät ole yleisesti tiedossa, niin päätöksenteko ei ole myöskään läpinäkyvää muille kuin itse kunnossapitäjille.

Luvussa 2.5 käsitellyn verkosto-omaisuuden hallinnan keskeisten haasteiden osalta, toimintaympäristön muuttuminen tuo ilmi myös muita kuntokeskeisen toimintamallin puutteita. Toimintamalli ei huomioi investointien rahoituksen asettamaa rajoitetta kohteiden valinnassa ja toisaalta saneerausinvestointien vaikuttavuus verkosto-omaisuuden suorituskykyyn, johon investoinneilla on tarkoitus vaikuttaa, ei ole suoraan pääteltävissä valituista saneerausinvestointikohteista. Toimintamallin heikkous on myös korkea henkilöriippuvuus käyttö- ja kunnossapitotiimin asiantuntijoista.

4 Omaisuudenhallintakeskeinen toimintamalli

Luvussa tarkastellaan kuntokeskeiselle toimintamallille vaihtoehtoista mallia verkostojen saneerausinvestointien valintaan. Vaihtoehtoinen malli keskittyy omaisuudenhallinta -termin ympärille, joka on terminä yleisesti monitulkintainen ja -määritteinen jo alasta, yhteydestä ja organisaatiosta riippuen. Esimerkkinä rahoitusosalalla omaisuudenhallinta ymmärretään muun muassa rahoitustuotteisiin ja -palveluihin liittyvänä liiketoimintana (Chorafas, 2006, luku 5), kun taas teollisuudessa omaisuudenhallinnasta on saatettu puhua pelkästään synonyymina kunnossapidolle (Woodhouse, 2009, s. 1). Tässä yhteydessä omaisuudenhallintaa käydään läpi ISO 550XX -omaisuudenhallintastandardisarjan näkökulmasta. Luvussa esitellään aluksi ISO 550XX -omaisuudenhallintastandardisarjan keskeisiä otteita riittävän yleiskuvan luomiseksi kohdeyhtiölle tärkeästä omaisuudenhallinnasta, jonka jälkeen lukijan on helpompi ymmärtää omaisuudenhallinnan standardin asettamia vaatimuksia saneerausinvestointien valinnalle. Omaisuudenhallintakeskeisessä toimintamallissa oleellinen monikriteerinen optimointimenetelmä käydään läpi periaatetasolla ja peilataan menetelmän kykyä vastata omaisuudenhallinnan asettamiin vaatimuksiin. Viimeisessä alaluvussa käsitellään toimenpiteitä, joita on edellytetty siirtymisessä kuntokeskeisestä toimintamallista omaisuudenhallintakeskeiseen toimintamalliin kohdeyhtiön tapauksessa.

4.1 Omaisuudenhallinnasta ISO 550XX -standardisarjan näkökulmasta

Yleisesti organisaatiolla on hyvä olla viitekehys, johon tukeutua omaisuudenhallinnan edistämistyössä. ISO 550XX -omaisuudenhallintastandardisarja tarjoaa tällaisen, kansainvälisesti tunnetun, viitekehysten omaisuudenhallinnan kehittämiseen. Standardisarja kuvaa ja määrittelee vaatimukset omaisuudenhallinnan toteuttamiseksi yleismaailmallisella katsannolla. Sarja on tehty yhteistyössä useiden eri toimialoilla toimivien organisaatioiden kanssa (Technical Committee, ISO/TC 251). Kaikkiin organisaatioihin ja toimialoihin sovellettavasta yleismaailmallisesta lähestymistavasta johtuen standardisarja ei anna yksityiskohtaisia askel askeleelta ohjeita yksittäiselle organisaatiolle siitä, kuinka omaisuudenhallinta toteutetaan, vaan pikemminkin se kertoo mitä edellytetään standardikelpoisen omaisuudenhallinnan saavuttamiseksi ja kehittämiseksi. Omaisuudenhallintajärjestelmän käyttöönotto on

yrityskohtainen tehtävä ja toteutukset voivat poiketa toisistaan merkittävästikin yrityksen kypsyudesta ja strategiasta riippuen.

ISO 550XX -Standardisarja on moniosainen. Ensimmäinen osa, ISO 55000 -standardi, sisältää yleiskatsauksen omaisuudenhallinnasta, tarjoten lukijalle peruskäsityksen aihepiiristä ja sen keskeisistä termeistä. Perusteista selvitetään yhdenmukaisuutta organisaation tavoitteiden sekä omaisuudenhallinnan välillä, omaisuuden elinkaarivaikutuksia, sidosryhmien tarpeita, riskipohjaista päätöksentekoa sekä omaisuudenhallintaprosessien liittämistä yhtiön muihin toimintoihin kuten talous- ja henkilöstöhallintoon, logistiikkaan ja tietojärjestelmiin. Omaisuudenhallintaa käsittelevän omaisuudenhallintajärjestelmän osalta standardissa korostetaan erityisesti johtamista sekä roolien ja vastuiden määrittelyä. Muita keskeisiä aiheita ovat suunnittelu, tukitoiminnot, toiminta, suorituskyvyn arviointi sekä jatkuva parantaminen. (SFS-ISO 55000, 2014).

ISO 550XX -standardisarjan toinen osa, ISO 55001, määrittelee vaatimukset omaisuudenhallintajärjestelmän rakentamiseen, ylläpitoon ja kehittämiseen. (SFS-ISO 55001, 2014). Standardisarjan kolmas osa, ISO 55002, sisältää ohjeita ISO 55001 -standardissa määritellyn omaisuudenhallintajärjestelmän vaatimuksien toteuttamiseen, ylläpitoon ja valvontaan. (SFS-ISO 55002, 2018). Standardisarjan neljäs ja toistaiseksi viimeinen osa, ISO 55010, keskittyy yhdenmukaisuuden hyötyihin organisaation eri toimintojen välillä ja sisältää ohjeita toimintojen yhdenmukaistamiseen. (SFS-ISO 55010, 2019).

Organisaation, kuten tutkimuksen kohdeyhtiön, omaisuudenhallintajärjestelmä sertifioidaan ISO 55001 -standardissa määriteltyjä vaatimuksia vasten ja muut ISO 550XX -standardit toimivat lähinnä tukistandardeina, jotka opastavat ISO 55001 -standardin vaatimuksien tulkittamisessa ja toteuttamisessa. Omaisuudenhallinta ja ISO 550XX -standardisarjan luoman viitekehyksen mukainen omaisuudenhallinta koetaan hyödylliseksi erityisesti pääomavaltaisessa organisaatiossa, kuten tutkimuksen case-tapauksena toimivassa energiayhtiössä, jossa palvelun tuottamiseen tarkoitettu käyttöomaisuus on pitkäikäistä ja siihen on sitoutunut paljon rahaa pitkäksi aikaa (Balzer et al. 2022, s. 2).

4.1.1 Omaisuudenhallinnan määritelmä

”SFS-ISO 55000 (2014, s. 36) standardin mukaan omaisuudenhallinta on organisaation koordinoitu toiminta, jolla hyödynnetään omaisuuden arvo”. Edelleen ”SFS-ISO 55000 (2014, s. 34) standardin mukaan omaisuus on kohteet, asiat tai kokonaisuudet, joilla on tai voi olla arvoa organisaatiolle”. Standardin mukainen teoreettinen määritelmä omaisuudenhallinnasta on kuitenkin standardiin perehtymättömälle helposti mitäänsanomaton tai vähintäänkin epämääräinen. Omaisuudenhallinta -termiä voidaan lähteä avaamaan organisaation tavoitteista, jotka ovat määritelty sidosryhmien tarpeista. Kun organisaatiolle asetetut tavoitteet ovat tiedossa, pitää tunnistaa omaisuus, jolla tavoitteet saavutetaan ja jolla tuotetaan arvoa sidosryhmille. Ja kun arvoa tuottava omaisuus on tunnistettu, on huolehdittava siitä, että omaisuus pysyy riittävässä kunnossa koko elinkaaren ajan, jotta tavoitteet täytetään, hallinnassa olevilla riskeillä ja kustannuksilla. Käytännössä omaisuudenhallintaa toteutetaan omaisuudenhallintajärjestelmällä, jolla varmistetaan, että kaikki tekeminen vie yhdessä kohti tavoitteita optimaalisella tavalla. Vielä konkreettisemmin organisaation tavoitteet muunnetaan omaisuuseriin liittyviksi suunnitelmiksi, päätöksiksi ja toiminnoiksi (SFS-ISO 55000, 2014, s. 8). Koordinoidussa toiminnassa keskeistä on yhteinen punainen lanka asioiden välillä. Tavoitteiden saavuttamiseksi tehdyt hallintasuunnitelmat, päivittäisen tekemisen prosessit, joilla käytäntö hoidetaan, johtaminen, seuranta ja mittaaminen pitää kaikki liittyä toisiinsa ja keskustella keskenään. ISO 55001 -standardin mukaisella omaisuudenhallintajärjestelmällä linkitetään kaikki edellä mainittu tekeminen toisiinsa ja suunnataan ne samaan tavoitteeseen.

4.1.2 Omaisuudenhallinnan tarkoitus

Omaisuudenhallinnan tarkoitus on varmistaa, että organisaatiolla on omaisuutta, joka on asianmukaista sen liiketoiminnan tarpeisiin. Omaisuudenhallinnan tarkoitus on pitää huolta tästä kriittisestä omaisuudesta, jotta omaisuus toimii tehokkaasti koko sen suunnitellun elinkaaren ajan. Edellisessä luvussa käsiteltyyn omaisuudenhallinnan abstraktiin määritelmään liittyen omaisuudenhallinnan tarkoitus on tarjota organisaatiolle mahdollisuus saada arvoa omaisuudestaan, kun organisaatio pyrkii saavuttamaan sille asetetut tavoitteet. Omaisuudenhallinta tukee arvontoteutumista punnitsemalla keskenään (optimoimalla) erilaisia

kustannuksia, riskejä, palvelutasoa ja omaisuuden suorituskykyä. Omaisuudenhallinnan tarkoitus on myös tehdä päätöksenteko läpinäkyväksi ja dokumentoiduksi niin, että kaikki organisaatiossa tietävät miten asioita päätetään ja miksi päätetään eli kriteerit ovat selvillä kaikille.

ISO 550XX -standardisarjan mukainen omaisuudenhallinta on siten paljon muuta kuin pelkästään kunnossapitotoimia (omaisuuden ylläpitoon liittyviä menoja), jonka synonyymina omaisuudenhallinta on toisinaan ymmärretty (Woodhouse, 2009, s. 1). Omaisuudenhallintaa ohjaa koko liiketoiminnan näkökulma, ylimpänä yhtiön tavoitteet, jotka kumpuavat sidosryhmien tarpeista. Omaisuudenhallinta linjaa kunnossapitotoimet yhtiön strategiaan tavoitteisiin sopivaksi ja tästä näkökulmasta kunnossapito ymmärretään osaksi omaisuudenhallintaa.

4.1.3 Vaatimukset saneerausinvestointien kohdentamiselle

ISO 550XX -standardisarjan määrittelemän omaisuudenhallinnan mukaan omaisuuden olemassaolo ja ylläpito voidaan ymmärtää sen organisaatiolle ja sidosryhmille tuottaman arvon kautta. Kuten edellä omaisuudenhallinnan määritelmän yhteydessä todettiin, kaikki tekeminen, myös omaisuudenhallinnan tavoitteet, pitää olla linjassa organisaation tavoitteiden kanssa. Niinpä organisaation tavoitteiden ja omaisuudenhallinnan tavoitteiden kautta polveutuvat myös vaatimukset saneerausinvestointien kohdentamiselle. Standardinmukainen saneerausinvestointien kohdentaminen edellyttää, että omaisuuden arvo sidosryhmille ja liittyntä organisaation tavoitteisiin ovat tiedossa. Käytännössä jokaisen omaisuuserän kohdalla pitää pystyä arvioimaan sen vaikutus organisaation tavoitteisiin siten, että vaikutuksen arviointi on kaikille osapuolille läpinäkyvää ja ymmärrettävää standardin hengen mukaisesti. Omaisuudenhallintaan ja saneerausinvestointien kohdentamiseen liittyy tavoitteiden lisäksi rajoitteita tai ilmaisutavasta riippuen keskenään ristiriitaisia tavoitteita. Saneerausinvestointien kohdentamisen kohdalla tämä näkyy erityisesti tarpeena tasapainoilla tavoitellun palvelutason (omaisuuden suorituskyvyn), kustannuksien ja riskien välillä.

4.2 Monikriteerinen optimointi ja omaisuudenhallinta

ISO 550XX -standardisarjan mukaista omaisuudenhallintaa tukemaan on viime vuosina yleistynyt erilaisten analytiikka- ja optimointityökalujen hyödyntäminen (Duncan, 2021). Erityisesti tarkoitukseen kehitetyt optimointityökalut helpottavat päätöksentekijää edellisessä luvussa käsiteltyjen saneerausinvestointien kohdentamisessa, mitä tulee päätösten perustelemiseen läpinäkyvyyden, riskien ja omaisuuden tuottaman arvon kannalta.

Optimointi tarkoittaa puhkielessä usein jonkin asian parantamista tai kehittämistä, mutta matematiikassa optimoinnilla tarkoitetaan yksitulkintaisesti parhaan mahdollisen ratkaisun etsimistä asetettuun tehtävään sallituissa olosuhteissa. Tehtävälle parhaita ratkaisuja voi olla yksi tai useampia riippuen määritellyistä tavoitteista ja mahdollisista rajoitteista. Yhden tavoitteen optimoinnissa on yksi tavoite (objektifunktio), jolle usein löytyy vain yksi optimiratkaisu. Monen tavoitteen yhtäaikaaisessa optimoinnissa tilanne on mutkikkaampi, koska tavoitteet voivat olla ristiriitaisia ja keskenään vertailukelvottomia. Vaikka monitavoiteoptimoinnissakin optimoidaan kaikkia tavoitteita (objektifunktioita) samanaikaisesti, niin ongelman luonteen vuoksi (ristiriitaiset tavoitteet) ei välttämättä löydy yhtä pistettä, jossa kaikki tavoitteet saavat optimaalisen ratkaisun vaan tuloksena on joukko vaihtoehtoisia kompromissiratkaisuja. Ratkaisujoukko on tällöin Pareto-optimaalisten ratkaisujen joukko tarkoittaen, että joukon ulkopuolelta ei ole löydettävissä sellaista pistettä, jossa yhden tavoitteen paraneminen ei huonontaisi yhtä tai useampaa muuta tavoitetta. Pareto-optimaalisessa tilanteessa korostuu päätöksentekijän asiantuntemus ja mieltymykset päättää tavoitteiden välisestä paremmuusjärjestyksestä siten, että käytännössä vain yksi kompromissiratkaisu valitaan Pareto-optimaalisesta ratkaisujoukosta. Monitavoiteoptimoinnissa tarvitaan siis optimoinnin lisäksi usein (mutta ei aina) päätöksentekijä, joka valitsee toteutettavan ratkaisun. (Miettinen, 1998).

Optimointitehtäviä luokitellaan niiden ominaisuuksien mukaan. Jakoperusteita on useita erilaisia, mutta karkealla jaolla optimointitehtävä on joko lineaarinen tai epälineaarinen riippuen tehtävässä esiintyvien objektifunktioiden (tavoitefunktioiden) ja rajoitefunktioiden ominaisuuksista. Toinen karkea jakoperuste on edellä käsitelty yhden tavoitteen optimointi

ja monen yhtäaikaisen tavoitteen optimointi. Optimointitehtävien ratkaisemiseen on kehitetty - ja kehitetään edelleen - lukuisia optimointimenetelmiä (algoritmeja) ja käytettävä menetelmä valitaan aina tapauskohtaisesti optimointitehtävän tyyppin perusteella. (Miettinen, 1998).

Optimoinnilla ratkaistava käytännön optimointitehtävä pitää ensin mallintaa. Mallinnuksessa esitetään optimointitehtävään liittyvä reaali maailma matemaattisilla funktioilla niin, että mallit kuvaavat todellisuutta riittävän yksityiskohtaisesti. Esimerkiksi vesihuoltoverkostojen saneerausinvestointien optimointiin liittyvässä kontekstissa ollaan ensisijaisesti kiinnostuneita verkostojen suorituskykyyn liittyvistä tekijöistä sekä erilaisista kustannuksista.

Vesihuoltojohtojen suorituskyvyn mallinnuksessa lähdettiin kohdeyhtiössä liikkeelle luvussa 3 esitellyistä ominaisuustiedoista (johtolaji, materiaali, halkaisija, valmistusvuosi, sijainti) ja vikahistoriatiedoista (vesijohtojen ja paineviemärien putkirikot, viettoviemärien TV-kuvaustiedot, tukokset, ylivuotomäärät sekä huuhtelutiedot). Kustannusmallinnuksessa hyödynnettiin puolestaan kohdeyhtiön keräämää jälkilaskentatietoa toteutuneista rakennuttamishankkeista sekä talouden seurantajärjestelmistä löytyvää tietoa korjauskustannuksista, joita vaurioituneiden johtojen korjauksista on aiheutunut. Seuraavassa vaiheessa vesihuoltojohtojen tietojen kanssa yhdistettiin ulkopuolisten tahojen ylläpitämiä paikkatietoaineistoja, jolloin saatiin vesihuoltojohtojen sijaintiin liittyvää ja mallinnuksessa käyttökelpoista lisätietoa. Esimerkkeinä mallinnusta tukevista ulkopuolisista paikkatietoaineistoista ovat Väyläviraston Digiroad (Digiroad), Suomen ympäristökeskus SYKEn aineistot (Suomen ympäristökeskus, 2018) ja erityisesti tutkimuksen kohdeyhtiön tapauksessa kohdekunnan omasta infrastruktuuristaan ylläpitämät paikkatietoaineistot (tiet, kadut, kiinteistöt, jne.).

Kohdeyhtiön tapauksessa ulkopuolisista aineistoista otettiin vesihuoltojohdoille lisäattribuuteiksi muun muassa tieto niiden sijainnista suhteessa vesistöihin ja merkittävästi liikennöityihin teihin. Lisäksi hyödynnettiin tietoa rakennetusta ympäristöstä vesihuoltojohtojen ympärillä. Vesihuoltojohdoille tehtiin myös erillinen yhteiskaivantoanalyysi, jonka avulla vesi-, jätevesi- ja hulevesiverkostot tehtiin tietoiseksi toisistaan lisäämällä kaikille johdoille kaivanto -attribuutti. Analyysillä saatiin selville niin ikään kaivantokohtaiset liittymätiheydet

(johtohaarojen lukumäärät per pituusyksikkö) eri verkostoille. Yhteiskaivantoanalyysi yhdessä ulkopuolisten aineistojen hyödyntämisen kanssa jalosti merkittävästi hyödynnettävissä olevaa dataa optimointitehtävään.

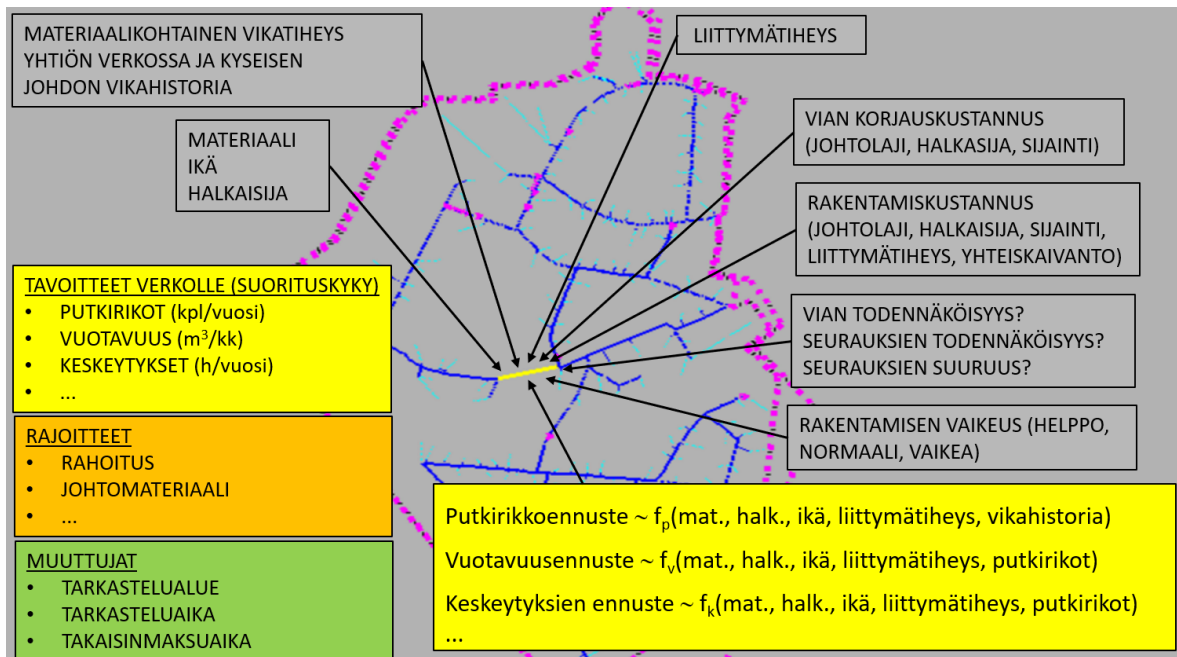
Suorituskykymalleja on tähän mennessä mallinnettu talousvesijohdoille 7 kpl, jätevesijohdoille 10 kpl ja hulevesijohdoille 2 kpl. Näistä talousvesijohdoilla seurataan lähinnä kahta suorituskykytunnuslukua, vesijohtorikkojen lukumäärää (kpl/a) ja vuotojen määrää (m^3/kk). Viettoviemäreillä seurataan sortumien lukumäärää (kpl/a) ja paineviemäreillä viemäririkkojen lukumäärää (kpl/a). Suorituskykymallien taustalla on kohdeyhtiön käyttämän optimointityökalun standardimallit, jotka on kalibroitu ja validoitu kohdeyhtiön dataa vasten. Optimointityökalun standardimallien pohjalla on julkinen kansallinen vesihuollon aineistotietokanta ja sen tietojen analysointi sekä ohjelmistotoimittajan asiakasyritysten data vesihuoltojohtojen vikaantumisesta eri olosuhteissa. Syy miksi kohdeyhtiö käyttää tällä hetkellä vain muutamia tunnuslukuja johtuu siitä, että dataa ei ole riittävästi tai sen keruussa nyky muodossaan on datan hyödynnettävyyden kannalta ongelmia, jonka vuoksi datan pohjalle rakennetut suorituskykytunnusluvut eivät ole luotettavia.

Vesijohtojen kunnon ja suorituskyvyn heikentyminen iän myötä tunnetaan ilmiönä hyvin. Vikaantumistaajuuden perusmalli on vesijohtojen tapauksessa ns. ammekäyrä, jossa vikaantumistaajuus (vikojen lukumäärä aikayksikköä kohden) on koholla heti asennuksen jälkeen ja laskee myöhemmin alemmalle vakiotasolle vuosikymmeniksi, kunnes kasvaa taas jyrkästi elinkaaren lähestyessä loppuaan. (Barton et. al., 2019, s. 8). Vesijohtojen suorituskykyyn ja pitoaikaan vaikuttavista tekijöistä on alan kirjallisuudessa raportoitu muun muassa johtojen ominaisuustiedot, asennuspaikan maaperä (korrosoiva / korrosoimaton) ja johtoihin asennuspaikassaan kohdistuvat staattiset ja dynaamiset kuormat, jotka voivat olla sekä sisäisiä että ulkoisia. Näistä esimerkkeinä veden korkea painetaso ja paineenvaihtelu verkostossa tai raskas liikenne vesijohdon yläpuolella. Lisäksi muun muassa kausittaiset säävaihtelut ja yleisesti asennuksen laatu sisältäen sekä materiaalit että kaivantojen täytöt on todettu vaikuttavan vesijohtojen suorituskykyyn ja pitoaikaan. (Wood et al., 2009). Monesta asiaan vaikuttavasta tekijästä johtuen yksittäisen vesijohdon heikentymistä ei pysty tarkkaan ennustamaan, mutta kohtuullisia ennusteita saadaan esimerkiksi

määrättyjä ominaisuuksia sisältävän johtoryhmän keskimääräiselle heikentymiselle. Keskimääräisistä heikentymismalleista saadaan parempia ennusteita myös yksittäisille putkille huomioimalla vikaantumiseen vaikuttava spatiotemporaalinen yhteys, mikä tarkoittaa paikallisesti ja ajallisesti läheisten vikaantumisten korostumista. Viimeksi mainittu on ilmiönä tuttu myös vesilaitosten käyttöhenkilökunnalle (Clark et al., 1982).

Kohdeyhtiön käyttämät, toimittajan standardimalleihin pohjautuvat suorituskykymallit ovat aikariippuvia ja huomioivat soveltuvasti suorituskyvyssä myös vikaantumisen spatiotemporaalisen yhteyden. Kustannusmallit ovat puolestaan kohdeyhtiön itse paikallisiin olosuhteisiin konfiguroimia. Kaikissa rakennuttamis- ja korjauskustannusmalleissa huomioidaan johtolaji, johdon halkaisija ja sijainti. Lisäksi rakennuttamiskustannusmalleissa hyödynnetään liittymätiheys- ja yhteiskaivantotietoja. Erona suorituskykymalleihin on, että yksikään kustannusmalli ei ole aikariippuva.

Vesihuoltoverkostojen saneerausinvestointien optimoinnissa tavoitteena on saada verkostoille tietty ennalta määrätty suorituskyky ja ylläpitää sitä minimikustannuksin. Ikääntyneiden verkostojen tapauksessa vähimmäisvaatimus on esimerkiksi suorituskyvyn nykytilan ylläpito tai jos suorituskyky on heikentynyt liikaa ja nykytilan ylläpitäminen ei täytä organisaation ja sidosryhmien tavoitteita, pitää suorituskykyä parantaa tavoitteiden mukaiselle tasolle sovitussa aikaikkunassa. Suorituskykyä parannetaan korvaamalla olemassa olevia vesihuoltojohtoja uusilla johdoilla. Se mitä johtoja korvataan, riippuu siitä millaisen hyödyn tietyn johdon korvaaminen antaa suorituskykytavoitteiden kannalta suhteessa kustannuksiin, joita johdon korvaaminen aiheuttaa valitulla tarkasteluajanjaksolla. Käytännössä korvaustarvetarkastelua saavutettavan suorituskykyparannuksen ja kustannuksien osalta pitää käydä läpi jokaisen johdon kohdalla koko tarkasteluajanjaksolla, jotta korvattavien johtojen optimijoukko löydetään. Edelleen riippuen suorituskyvyn nykytilasta suhteessa tavoitearvoihin on mahdollista esimerkiksi painottaa voimakkaammin kauimpana tavoitearvoista olevia suorituskykyarvoja suosivia korvausinvestointeja kuin muita korvausinvestointeja, jolla edelleen parannetaan kustannusoptimin löytymistä. Optimoinnin problematiikkaa on havainnollistettu kuvassa 8 yhden vesijohdon näkökulmasta selvyuden vuoksi.



Kuva 8. Saneeraus päätöksen vaikuttavia tekijöitä yksittäisen vesijohdon näkökulmasta

Operaatiotutkimuksen (engl. Operations Research) puolella edellä kuvattu saneerausinvestointien valintahaaste mallinnetaan ns. repuntäyttötehtävänä (engl. Knapsack Problem) (Kellerer et al., 2004). Repuntäyttötehtävässä reppuun pakataan arvokkain mahdollinen sisältö rajatusta joukosta tarvikkeita. Pakattavilla tarvikkeilla on jokaisella tietty arvo ja paino ja pakattavien tarvikkeiden yhteispaino ei saa ylittää repulle asetettua painorajaa. Repuntäyttötehtävälle on olemassa lukuisia variaatioita (Kellerer et al., 2004), mutta kaikki täyttötehtävät ovat luonteeltaan kombinatorisia optimointiongelmia, tarkoittaen, että tehtävillä on sallittuja ratkaisuja äärellinen määrä (Miettinen, 1998).

Repuntäyttöongelman olennaiset periaatteet voidaan esittää matemaattisesti saneerausinvestointien valintahaasteen osalta seuraavalla tavalla: olkoon x_{ij} binaarimuuttuja, jolla on yksi kahdesta arvosta riippuen siitä, toteutetaanko saneerausinvestointi i ($x_{ij} = 1$) vuonna j vai ei ($x_{ij} = 0$). Merkitkään symboli c_{ij}^d puolestaan hyötyä, jonka tietty saneerausinvestointi i tuottaa tavoitteelle d , kun investointi tehdään vuonna j . Kun hyöty c_{ij}^d ilmaistaan korvausinvestoinnin i tehokkuutena pienentää eroa päätöksentekijän asettaman tavoitellun suorituskyvyn ja nykyisen suorituskyvyn välillä, saadaan repuntäyttöongelma esitettyä yhtälöillä

$$\text{maksimoi } z_d = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}^d x_{ij} \quad \forall d = 1, \dots, k \quad (1)$$

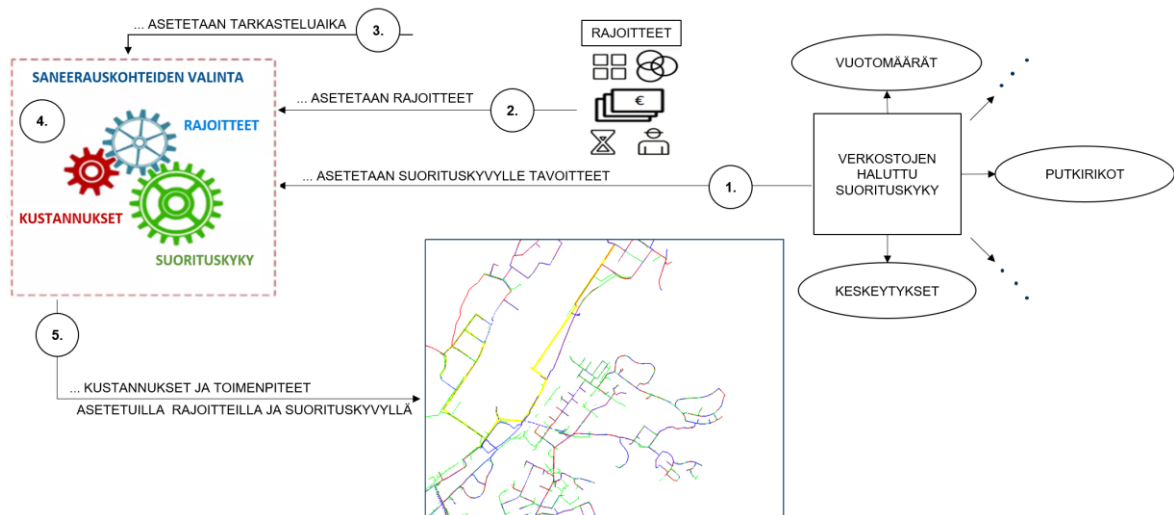
$$\sum_{i=1}^n w_{ij} x_{ij} \leq W_j \quad \forall j = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, m \quad (4)$$

Yhtälössä (1) indeksi $d \in \{1, \dots, k\}$ viittaa tavoitteeseen, jonka päätöksentekijä on asettanut ja $k \in \mathbb{N}$ on asetettujen tavoitteiden kokonaismäärä. Indeksillä i voi saada arvoja väliltä $1 \leq i \leq n$, missä $n \in \mathbb{N}$ on tehtävien korvausinvestointien kokonaismäärä. Indeksillä j voi saada puolestaan arvoja väliltä $1 \leq j \leq m$, missä $m \in \mathbb{N}$ on tarkasteluvuosien lukumäärä. Yhtälössä (1) maksimoidaan (optimoidaan) edellä kuvattu hyöty jokaisen tavoitteen d suhteen jokaisena tarkasteluvuonna j . Yhtälössä (2) $w_{i,j}$ on korvausinvestoinnin i kustannus vuonna j (analogia reppuun pakattavan tarvikkeen painon kanssa) ja W_j on saneerausinvestointien kokonaisbudjetti vuonna j (analogia repun sallitun kokonaispainon kanssa). Yhtälö (2) kuvaa vuosittaista budjetirajoitetta (repun sallittua kokonaispainoa), joka vaikuttaa yhtälössä (1) tehtäviin valintoihin. Yhtälö (3) on rajoite, joka tarvitaan estämään optimoinnin valitsemasta samaa saneerausta useana eri vuonna. Hyödyn $c_{i,j}^d$ yksityiskohtaiseen esitykseen on erilaisia mahdollisuuksia, joihin ei tässä mennä muutamaa kommenttia perusteellisemmin. Kaikissa hyödyn esityksissä on riippuvuus yksittäisistä vesihuoltojohdoista, joita joko valitaan saneerattavaksi tai jätetään valitsematta saatavan hyödyn ja aiheutuvien kustannuksien vertailun perusteella. Lisäksi hyödyn $c_{i,j}^d$ esityksessä on hyvä pyrkiä painottamaan niitä suorituskykyä parantavia investointeja, jotka edesauttavat suhteellisesti eniten asetetusta tavoitteesta poikkeavan suorituskyvyn parantumista. Esitettyä repuntäyttötehtävää kutsutaan monitavoitteiseksi monirepputehtäväksi (engl. multiobjective and multidimensional knapsack problem), joka on yksi lukuisista repputehtävästä kehitetyistä variaatioista.

Repuntäyttötehtävän ratkaisemiseksi on kehitetty myös useita algoritmeja (mm. Mononen, 2012), joihin ei tämän tutkimuksen yhteydessä kuitenkaan syvällisemmin perehdytä.



Kuva 9. Kohdeyhtiön käyttämän saneerausinvestointien valintatyökalun perisaate

Kohdeyhtiössä on käyttöönotettu optimointiohjelma, jonka toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuvassa 9. Ohjelmalla voidaan optimoida vesihuoltoverkostojen saneerausinvestointeja ohjelmaan asetetuilla tavoitteilla ja rajoitteilla. Tavoitteet asetetaan luvussa edellä kuvatuilla verkkojen kuntoa kuvaavilla ja johtojen ominaisuuksiin sidonnaisilla suorituskykytunnusluvuilla, joille annetaan vuosittaiset tavoitearvot absoluuttisina tai suhteellisina nykytasoon verrattuna. Rajoitteena on käytetty toistaiseksi vuosittaista rahoitusta, mutta ohjelmassa on mahdollista asettaa rajoituksia myös koskien esimerkiksi resursseja, rahoituksen alueellista jakautumista, riippuvuutta saneerausinvestointien välillä, saneerausinvestointien laajuutta tai vaikka investointeihin liittyvää hiilijalanjälkeä. Muuttujina ovat lisäksi tarkastelualueen koko (omaisuuden määrä), tarkasteluaika ja takaisinmaksuaika.

Viimeksi mainituista muuttujista tarkastelualueen kokoa rajataan kohdekunnan käyttämien maantieteellisten suur- ja pienalueiden mukaan, verkostojen toiminnallisten alueiden mukaan, koko vesihuoltoalueen mukaan tai omavalintaisen alueen (projektialue,

projektisalkku) mukaan. Tarkasteluajanjakso voidaan myös valita eri pituiseksi, erilaisilla aika-askelilla, vuosista kymmeneen vuosiin. Tarkasteluajanjakson määrittelyssä uusi ulottuvuus on se, miten tunnuslukujen halutaan ajan suhteen kehittyvän. Suorituskykytunnusluvuissa oleva aikariippuvuus mahdollistaa etenkin erilaisten skenaariotarkastelujen tekemisen, mikä on päätöksenteon kannalta mielenkiintoista. Ohjelmalta voidaan esimerkiksi kysyä, miten suorituskyky muuttuu, jos jatkossa ei saneerata ollenkaan tai vaihtoehtoisesti, mitä pitää saneerata, jos nykytila halutaan ylläpitää tulevaisuudessa tai jos suorituskykyä halutaan parantaa tulevaisuudessa ja ennen kaikkea, mitkä ovat kokonaiskustannukset ja vuosittaiset kustannukset eri tapauksissa. Tarkastelualueen- ja ajanjakson ohella on mahdollista tutkia myös takaisinmaksuajan vaikutusta lopputuloksiin. Takaisinmaksuajalla verrataan tietyllä ajanhetkellä tehtävän saneerausinvestoinnin kannattavuutta diskonttaamalla hyödyt ja kustannukset asetetulta takaisinmaksuajalta tarkasteluhetkeen tarkasteluhetkellä tehdyn saneerauksen kanssa ja ilman saneerausta. Hyötyjen ja kustannusten erotus saneerauksen kanssa ja ilman saneerausta määrittelee tällöin saneerausinvestoinnin kannattavuuden tarkasteluhetkellä. Rahan aika-arvon huomioon ottaen diskonttauskorosta riippuen kaukana tulevaisuudessa tapahtuvien kustannusten ja tulojen arvo tänä päivänä vaihtelee, mutta lähtökohtaisesti takaisinmaksuaika 20–40 vuotta on nähty järkevänä valintana. Jos takaisinmaksuaikaa ei valita ohjelmassa, saneerauksien kannattavuutta vertaillaan tarkasteluhetkellä ainoastaan niiden sen hetkisillä hyödyillä ja kustannuksilla asetettuihin tavoitteisiin nähden.

4.3 OmaisuuDENhallintakeskeiseen toimintamalliin siirtyminen

Kohdeyhtiö teki strategisen linjauksen muutama vuosi sitten ottamalla yhdeksi painopisteekseen omaisuudenhallinnan kehittämisen ISO 55000 standardin mukaiseksi. Merkittävä etappi kehitystyössä saavutettiin hiljattain, kun vesihuollon omaisuudenhallinta sertifioitiin ISO 55001 standardin vaatimuksia vasten. Standardiin perehtyminen haastoi myös miettimään tarkemmin, millaista perusteita saneerausinvestointien valinnassa käytetään ja määrittämään, mitkä asiat ovat oikeasti olennaisia ja omaisuudenhallinnan standardin hengen mukaisia perusteita investointien valinnassa. Perehtymisen yhteydessä kävi selväksi, että kohdeyhtiön vesiliiketoiminnassa tarvitaan kokonaisvaltaisempi näkemys kuin mitä saadaan pelkästään johtojen vikatietoon tai ikään keskittyen. Syynä se, että raha nähtiin jatkossakin niukkuushyödykkeenä niin, että saneerausvelkaa ei pystyttäisi kuolettamaan ja tarkemmin

ajateltuna sitä ei oikein pidetty enää tavoitteenakaan järkevänä. Arvioituihin pitoaikoihin perustuvaa laskennallista saneerausvelkaa tärkeämmäksi mittariksi ymmärrettiin verkolle asetettu suorituskyky – putkirikot, keskeytykset, vuotoprosentti, jne. Saneeraukset tulisi valikoida siten, että käytetyllä investointieurolla vaikutetaan mahdollisimman tehokkaasti ja jäljitettävästi juuri tähän asiakkaalle näkyvään suorituskykyyn. Lisäksi erilaiset rajoitteet, kuten rahoitus, resurssit ja jatkossa mahdollisesti ilmastoneutraalisuus huomioiden ymmärrettiin oikeiden saneerauskohteiden valinnan olevan kompromissiratkaisu, johon tarvitaan optimointia niin, että jokaisen mukana olevan tekijän ohjausvaikutus tulee systemaattisesti huomioiduksi. Lähtökohtana verkolle asetetun suorituskyvyn ylläpito käytössä olevalla budjetilla, mutta toisaalta pystyä myös perustelemaan nykyistä paremmin tarve lisärahoitukselle eli mallintaa miten verkkojen suorituskyvyn käy ja minkälainen on vaihtokauppa, jos verkkojen suorituskyvyn ylläpitämiseksi tarvittavia saneerausinvestointeja ei tehdäkään. Nähtiin siis tarve viestiä myös verkostojen kunnosta konkreettisemmin päätöksentekijöille, eikä jatkaa pelkästään saneerausvelan kehityksen raportointia.

Kohdeyhtiössä on kehitetty aiemmin vesi- ja jätevesijohtojen vikamallinnussovellus. Keskusteluja käytiin yhteistyökumppanin kanssa mahdollisuudesta laajentaa kohdeyhtiölle aiemmin kehitettyä vikamallinnussovellusta huomioimaan erilaiset kustannustekijät, jotta vikadata kyettäisiin eurottamaan ja edelleen vertailemaan vikakustannuksia saneeraus kustannuksiin ja saada selville missä päin verkkoa ovat ”matalalla roikkuvat hedelmät”, jotka kannattaa poimia ensin tekniset ja taloudelliset näkökulmat yhtä aikaa huomioiden. Tähän lisättyä luonnollisesti verkon asiakkaalle näkyvä suorituskyky, jota tavoitellaan ja erilaiset rajoitteet, joita optimoinnille asetetaan. Yhteistyökumppanin kanssa keskusteluissa todettiin, että vikamallinnussovelluksen päivittäminen optimointiohjelmaksi tarkoittaisi väistämättä laajempaa ohjelmistokehitystä. Yhteistyökumppani ei ollut halukas ryhtymään laajaan ohjelmistokehitystyöhön ja kohdeyhtiö totesi myös itse melko nopeasti, että mieluummin kannattaa keskittyä ymmärtämään paremmin jonkin jo valmiin kaupallisen ohjelman toiminta ja miettiä aihepiiriin hyviä kysymyksiä tiedon lisäämiseksi kuin lähteä ratkomaan ohjelmistokehitykseen liittyviä kysymyksiä, jotka ovat joka tapauksessa ohi kohdeyhtiön ydinteke- misen ja osaamisen.

Aiheeseen sopivia ja kustannuksiltaan käyviä kaupallisia optimointiohjelmaa löydettiin muutamia. Sopivien ohjelmistotoimittajien ja heidän referenssiasiakkaiden kanssa käytiin lukuisia keskusteluja. Keskustelujen ja selvityksen tuloksena yhden – kohdeyhtiöstä asiakkaana eniten kiinnostuneen – toimittajan kanssa solmittiin sopimus pilottiprojektista toteutettavaksi optimointiohjelman riisutulla versiolla. Pilottiprojektin tarkoituksena oli ensisijaisesti selvittää, onko kohdeyhtiön data ja kyvykyys yleisesti ohjelman vaatimalla tasolla. Pilottitestaus toteutettiin kohdeyhtiön vesijohtoverkon muutamalla painepiirillä. Testaus onnistui ja kaiken kaikkiaan positiiviset puolet näyttivät suuremmilta kuin ohjelman käyttöön liittyvät riskit. Niinpä ohjelmistotoimittajan kanssa aloitettiin sopimusneuvottelut ohjelman täysversion hankinnasta ja neuvottelujen päätteeksi sopimus solmittiin ohjelmasta kattaen kohdeyhtiön kaikki vesihuoltoverkot. Tämän jälkeen käynnistettiin datan ja ohjelmistoympäristön valmistelu, viritettiin ohjelmisto ja sen sisältämät mallit sekä pidettiin ohjelmiston käyttökoulutukset. Viimeisessä vaiheessa olivat ohjelmiston testaus sekä bugikorjaukset. Sittenkin kohdeyhtiössä on tehty päätös ohjelmiston käytöstä vesihuoltojohtojen saneerausinvestointien valintaan. Aikaa ensimmäisestä ohjelmistotoimittajan kanssa käydystä keskustelusta valitun ohjelman käyttöpäätökseen saneerausinvestointien valinnassa kului kolme vuotta.

Optimointiohjelman testeissä on opittu, että ohjelma ei tee itsessään autuaaksi eli käyttäjältä tarvitaan kokemusta aihepiiristä ja ennen kaikkea sopivaa kysymyksen asettelua ja iteraatioita, että päästään parhaaseen toteutuskelpoiseen lopputulokseen. Optimointiohjelma näkee verkoston erilaisten mallien kautta ja tähän mennessä tehdyn testauksen aikana on havaittu, että kaikki ohjelman tekemät ehdotukset eivät ole välttämättä käytännössä järkeviä. Niinpä asiantuntijoiden tulee käydä tulokset läpi, jotta myös käytännön toteutuksen kannalta oleelliset asiat tulevat riittävästi huomioitua. Mallien matematiikka ei siis yksistään nykyisellään riitä vaan ohjelma tarvitsee rinnalleen verkosto-osajaa ja rakennuttamisen osajaa, jotta hyödyt saadaan realisoitua. Optimointiohjelmistosta on nyt käytössä ensimmäinen versio, jossa on tarpeeksi ominaisuuksia saneerausehdotusten tekemiseen, mutta joka vaatii vielä käyttäjäpalautetta ja kehittämistä sekä mallien että datan osalta, jotta optimoinnista saadaan ulosmitattua paras mahdollinen hyötypotentiali.

5 Toimintamallien vertailu

Tutkimuksessa, luvuissa 3 ja 4, on tähän mennessä tullut esille lähinnä kategorisia (kvalitatiivisia) eroja kuntokeskeisen ja omaisuudenhallintakeskeisen toimintamallin välillä. Tässä luvussa keskitytään toimintamallien välisiin kvantitatiivisiin eroihin. Alkuun käydään läpi evaluointikriteerejä, joiden avulla toimintamalleja verrataan keskenään. Niin ikään esitellään suorituskykymittarit, jotka vertailussa vakioidaan kuntokeskeisen mallin tasoon kummallakin toimintamallilla. Tämän jälkeen esitellään vertailutulokset investointikustannusten, investointien ajoitusten ja määrien osalta. Jonkin verran käydään läpi myös investointikohteiden ominaisuuseroja sekä esitetään tuloksia simuloinnista, jossa suorituskykytavoitteeksi asetetaan verkostojen nykytilan ylläpitäminen. Edelleen käydään läpi takaisinmaksuaikaan vaikuttavia tekijöitä omaisuudenhallintakeskeisessä toimintamallissa hyödynnettävälle optimointityökalulle sekä arvioidaan hintaa, jonka optimointityökalu voisi maksaa niin, että kohdeyhtiön kannattaa siihen investoida. Luvun lopuksi kootaan yhteen luvussa esitetyt vertailutulokset ja tehdään huomioita tuloksiin vaikuttaviin epävarmuuksiin.

5.1 Arviointikriteerit

Toimintamallien luonnollinen vertailukohta ovat kustannukset, joilla vesihuoltoverkostoille aikaansaadaan tietty suorituskyky. Vertailuaineisena on kohdeyhtiön vesihuoltoverkostot ja kuntokeskeisellä toimintamallilla tehdyt saneeraussuunnitelmat. Kuntokeskeisellä toimintamallilla on suunniteltu saneerausinvestointeja kauas tulevaisuuteen, aina vuoteen 2033 saakka. Vaikka kuntokeskeisessä toimintamallissa ei ole pystytty osoittamaan saneerausinvestointien vaikuttavuutta suoraan verkosto-omaisuuden suorituskykyyn, kuten luvussa 3.3. todettiin, niin suunnitellut saneerausinvestoinnit voidaan syöttää pakkoinvestointeina luvussa 4.2 esiteltyyn saneerausten valintatyökaluun, joka antaa ennusteen verkostojen suorituskyvylle ja kustannuksille saneeraustyökalun sisältämien mallien avulla. Näin saadaan referenssi, jota vasten uutta toimintatapaa voi verrata. Niinpä suunnitelluilla saneerausinvestoinneilla saatu verkostojen suorituskyky asetetaan seuraavassa vaiheessa tavoitteeksi saneerausten valintatyökalulla toteutettavaan optimointiin ja annetaan valintatyökalun hakea vapaasti ne investointikohteet, joilla saavutetaan vähintään asetettu verkostojen suorituskyky.

Vertailun lopputuloksena on kustannusero nykyisen kuntokeskeisen toimintamallin ja uuden omaisuudenhallintakeskeisen toimintamallin välillä samalla verkostojen suorituskyvyllä. Vertailussa ei oteta kantaa siihen, onko kuntokeskeisellä toimintamallilla suunnitelluilla saneerausinvestoinneilla saatu verkostojen suorituskyky sellainen, jota jatkossa tulisi tavoitella.

Tietyn suorituskyvyn aikaansaamiseksi tarvittavien saneerausinvestointien ja niistä seuraavien kustannuksien vertailun lisäksi, omaisuudenhallintakeskeiseen toimintamalliin siirtyminen on edellyttänyt uuden saneerausten valintatyökalun (optimointiohjelmiston) hankintaa ja käyttöönottoa sekä monenlaista kehittämistä ja resurssointia, joista kaikista on syntynyt ja syntyy kustannuksia aiempaan toimintamalliin verrattuna. Koska uuteen toimintamalliin siirtyminen synnyttää itsessään kustannuksia, niin vertailussa käytetään myös takaisinmaksuaikaa, jolla arvioidaan, kuinka pitkän pitoajan kuluttua uuteen malliin sijoitettu raha on ansaittu takaisin ja jonka jälkeen investointi muuttuu kannattavaksi.

5.2 Suorituskykymittarit toimintamallien vertailuun

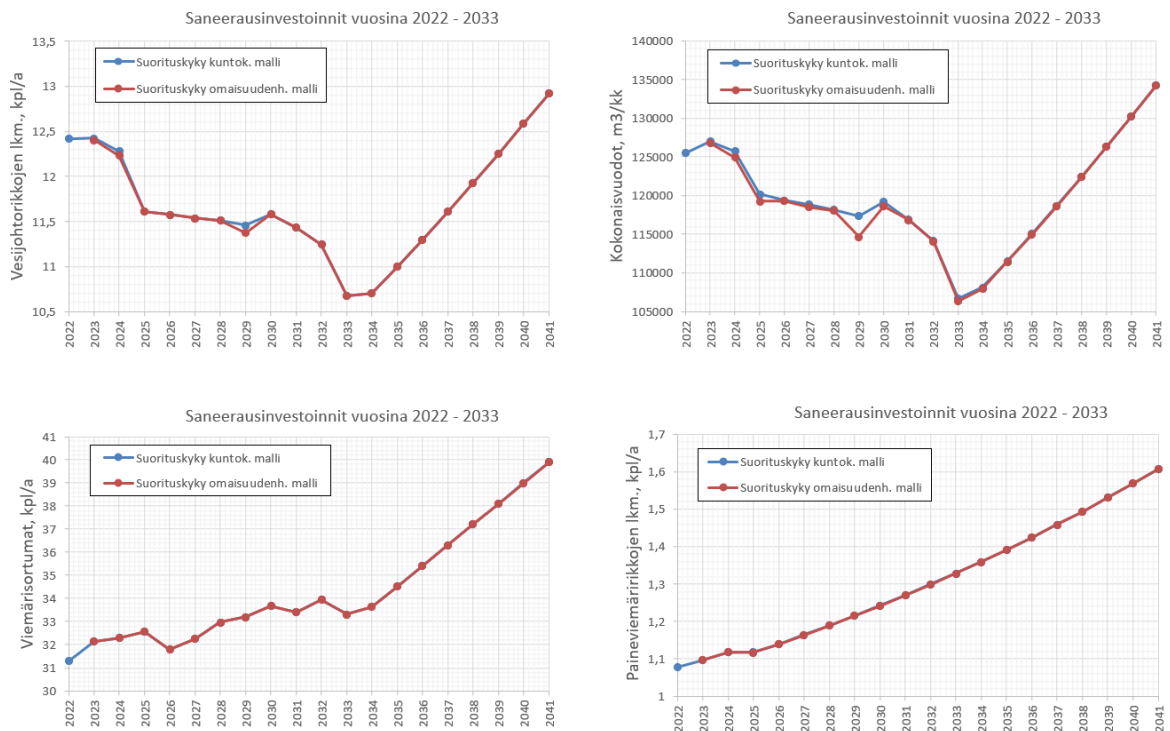
Kohdeyhtiön vesihuollon ylätasoin tavoitteena on tuottaa ja jakaa asiakkaille puhdasta vettä ja järjestää toimiva sanitaatio riittävän edullisesti. Tätä ylätasoin tavoitetta tukemaan vesihuoltoverkosto-omaisuuden suorituskykyvaatimukset pitää valita ja asettaa sellaiselle tasolle, jolla voidaan perustella ylätasoin tavoitteiden toteutuminen. Kun ajatellaan puhdasta vettä ja vedenjakelua, niin sopivia suorituskykyvaatimuksia, joilla ylätasoin tavoitteisiin voidaan vesijohdoilla vaikuttaa, ovat esimerkiksi vesijohtorikojen lukumäärä vesijohtoverkostossa aikayksikköä kohden sekä vesijohtoverkoston vuotavuus aikayksikköä kohden. Toimivan sanitaation turvaaminen voidaan puolestaan varmistaa esimerkiksi asettamalla tavoitteita viettoviemärien romahduksille aikayksikköä kohden sekä paineviemäri-rikkoille aikayksikköä kohden. Toimintamallien vertailuun valitut suorituskykytunnusluvut ovat tiivistettynä seuraavat:

- Kokonaisvuodot, m³/kk
- Vesijohtorikkojen lkm., kpl/a
- Viemärisortumat, kpl/a
- Paineviemäririkkojen lkm., kpl/a

Esitetyistä tunnusluvuista vesijohtorikkojen lukumäärä vaikuttaa keskeytyksiin vedenjake- lussa ja jos putkirikkomäärä ei ole hallinnassa vesihuoltolaitoksen käytössä oleviin resurs- seihin nähden, niin sillä voi olla vaikutusta myös veden laatuun. Vuotavuus taas indikoi yleisesti vesijohtoverkoston kunnosta ja jos ollaan sillä rajalla, että vedestä on pulaa käytössä olevalla tuotantokapasiteetilla, niin suuri vuotavuus voi vaatia myös lisäinvestointeja veden- tuotantoon ja nostaa siten kustannuksia tarpeettomasti. Viemärisortumat ja paineviemäri- vuodot viittaavat puolestaan kummatkin viemäreiden rakenteelliseen kuntoon.

5.3 Vertailutulokset

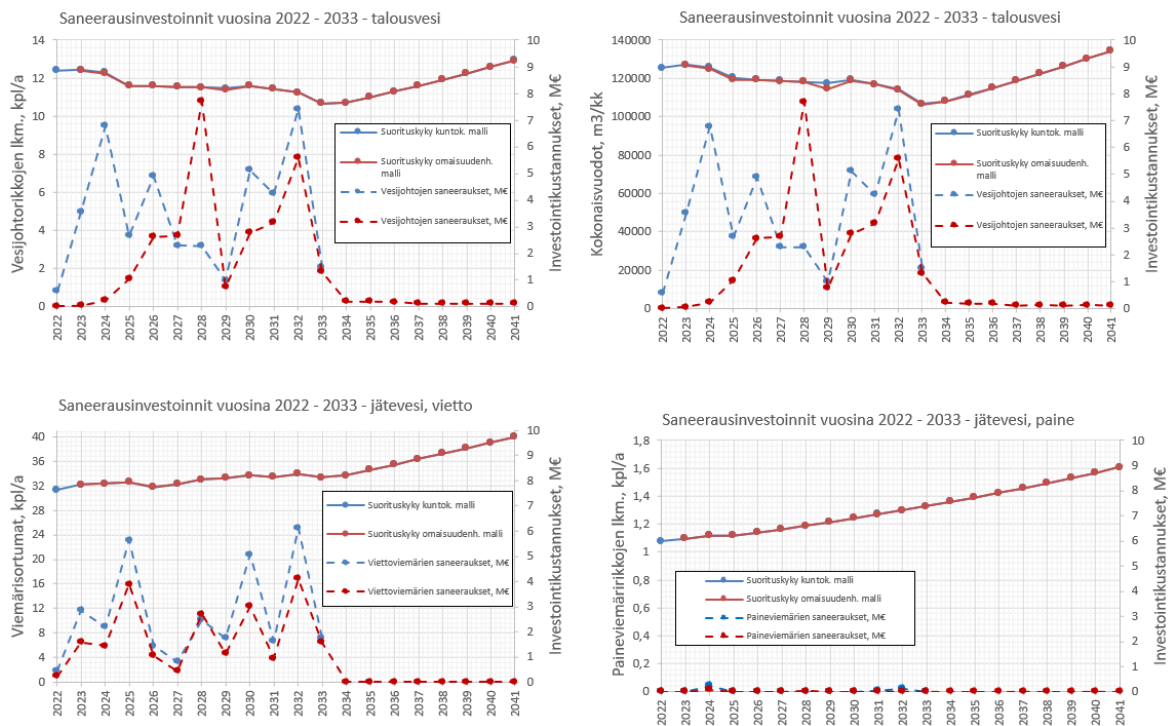
Kohdeyhtiön kuntokeskeisellä toimintamallilla suunniteltujen saneerausinvestointien tuot- tama verkostojen suorituskyky vuosina 2022 - 2041 on esitetty kuvassa 10 sinisellä värillä. Suorituskykytunnusluvut ovat ennustettu kohdeyhtiöllä käytössä olevalla optimointityöka- lulla ja sen sisältämällä suorituskykymalleilla. Suunnitellut saneerausinvestoinnit on puoles- taan syötetty optimointityökaluun ns. pakkoinvestointeina ja niitä ei ole siis optimoitu. Sa- maisessa kuvassa 10 on esitetty punaisella värillä vastaavalla ajanjaksolla suorituskykytun- nusluvut, jotka on saatu omaisuudenhallintakeskeisellä toimintamallilla eli optimoimalla sa- neerausinvestoinnit suunniteltujen saneerausinvestointien tuottamaa suorituskykyä vasten. Omaisuudenhallintakeskeisessä toimintamallissa optimointi on valinnut saneerausinvestoin- tikohteita vapaasti kohdeyhtiön vesihuoltoverkostojen toiminta-alueelta.



Kuva 10. Verkostojen suorituskyky (alaluku 5.2) molemmilla toimintamalleilla vuosina 2022 - 2041. Kuntokeskeisellä toimintamallilla suunniteltujen saneerausinvestointien tuottama suorituskyky on sinisellä värillä ja omaisuudenhallintakeskeisellä toimintamallilla optimoinnin valitsemien investointien tuottama suorituskyky on punaisella värillä - optimoinnin tavoitteeksi asetettiin sama suorituskyky kuin kuntokeskeisellä mallilla saadaan.

Suorituskykytunnuslukujen ajallisesta käytöksestä nähdään, että tietyt tunnusluvut paranevat (arvot laskevat) ja toiset heikkenevät (arvot nousevat) joko maltillisesti tai jyrkemmin vuoteen 2033 saakka, jonka jälkeen kaikki tunnusluvut heikkenevät selvästi. Käytös johtuu siitä, että investointeja on suunniteltu ainoastaan vuoteen 2033 asti. Toimintamallien välisen vertailun kannalta tärkeä viesti kuvassa 10 on se, että optimointityökalu pystyy valitsemaan saneerausinvestoinnit niin, että verkostojen suorituskyky - tutkitut neljä tunnuslukua - saadaan käytännössä samalle tasolle kuin mitä kuntokeskeisellä toimintamallilla suunnitelluilla saneerausinvestoinneilla saadaan. Viemärisortumien ja paineviemäririkkojen osalta suorituskykytunnuslukukäyrät ovat täysin päällekkäin käytetyillä asteikoilla. Koska tavoite suorituskyvyn samankaltaisuudesta toteutuu, toimintamallien välistä vertailua on perusteltua jatkaa.

Kuvassa 11 on esitetty kuvan 10 suorituskykytunnusluvut yhdessä saneerausinvestointien kustannuksien kanssa kummallekin toimintamallille eri vuosina. Esityksessä on yhtenäisellä viivalla suorituskykytunnusluvut ja katkoviivoilla kustannukset vuosittain. Sininen väri kuvaa kuntokeskeisellä mallilla suunniteltuja saneerauksia ja punainen väri kuvaa optimoimalla valittujen investointien kustannuksia. Kuvia tulkitessa tulee huomata, että kustannuskäyrät ovat samoja kuvan 11 kahdessa ylimmässä kuvassa, koska kummatkin kuvissa esitetyt suorituskykytunnusluvut - vesijohtorikkojen lkm. ja kokonaisvuodot - liittyvät talousvesijohtoihin ja niihin tehtäviin investointeihin. Lisäksi kuvassa 11 käytetty asteikko suorituskykytunnusluville on eri kuin kuvassa 10, suorituskyky- ja kustannuskuvaajien paremman erottuvuuden vuoksi.

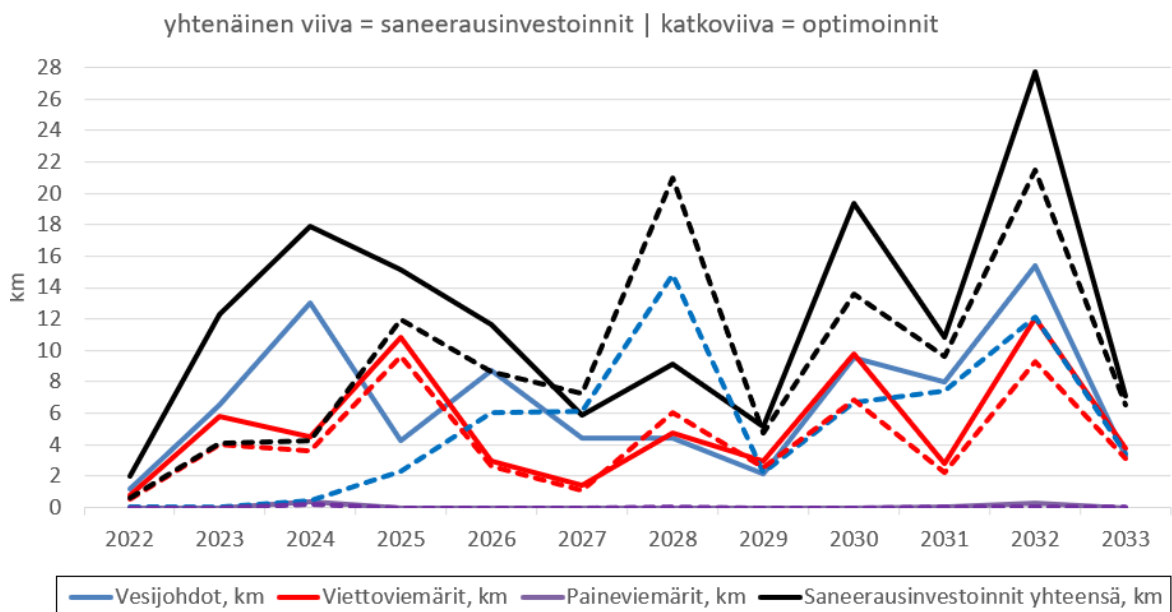


Kuva 11. Verkostojen suorituskyky ja kustannukset molemmilla toimintamalleilla. Punainen väri viittaa omaisuudenhallintakeskeiseen toimintamalliin ja sininen väri kuntokeskeiseen toimintamalliin. Yhtenäiset viivat kuvaavat kuvassa 10 esitettyä suorituskykyä – luetaan vasemmalta pystyakselilta. Katkoviivat kuvaavat investointikustannuksia – luetaan oikealta pystyakselilta.

Suunnitellut investoinnit painottuvat vesijohtoihin ja viettoviemäriin, mutta ei juurikaan paineviemäriin, mikä näkyy myös tunnuslukujen ajallisessa käyttäytymisessä.

Vesijohtojen kohdalla investoinnit painottuvat optimoinnilla vuoden 2024 jälkeiseen aikaan ja varsinkin vuonna 2028 investoidaan paljon. Joitakin pieniä investointeja optimointivaihtoehdossa tehdään vesijohdoilla myös vuoden 2033 jälkeen johtuen siitä, että suorituskyvyn tarkastelu-aika on vuoteen 2041 saakka ja optimoinnin tavoitteeksi asetettiin sama suorituskyky vertailtavan toimintamallin kanssa koko tarkasteluajalle. Viettoviemäreillä investointikuvaajat ovat käytännössä samanmuotoisia. Paineviiemäreihin investoidaan vähäinen summa kokonaisuuden kannalta ja nämä vähäiset investoinnit eivät käytännössä vaikuta paineviemäri-rikkojen lukumäärään. Kaiken kaikkiaan kuvan 11 kustannuskäyrien pinta-alat sekä vesijohtojen että viemäreiden osalta ovat silmämääräisesti ja laskennallisesti pienempiä optimoinnilla valituissa investointikohteissa verrattuna suunniteltuihin saneerausinvestointikohteisiin. Kustannuseroja on käsitelty tarkemmin jäljempänä vertailutulosten yhteenvetoa käsittelevässä alaluvussa.

Kustannusten ohella kiinnostavat investointimäärät. Kuvassa 12 on esitetty investointien jakautuminen kilometreissä eri johtolajeille – yhtenäiset viivat tarkoittavat suunniteltuja saneerausinvestointeja ja katkoviivat optimoinnin valitsemia kohteita. Saneerausmäärien erot noudattelevat samaa käytöstä kuin mitä nähdään kustannusten osalta. Viettoviemäreiden investointimäärät ovat samanmuotoisia kuvaajia kummallakin mallilla, kun taas vesijohtoihin investoidaan selvästi erilaisessa tahdissa toimintamallista riippuen.



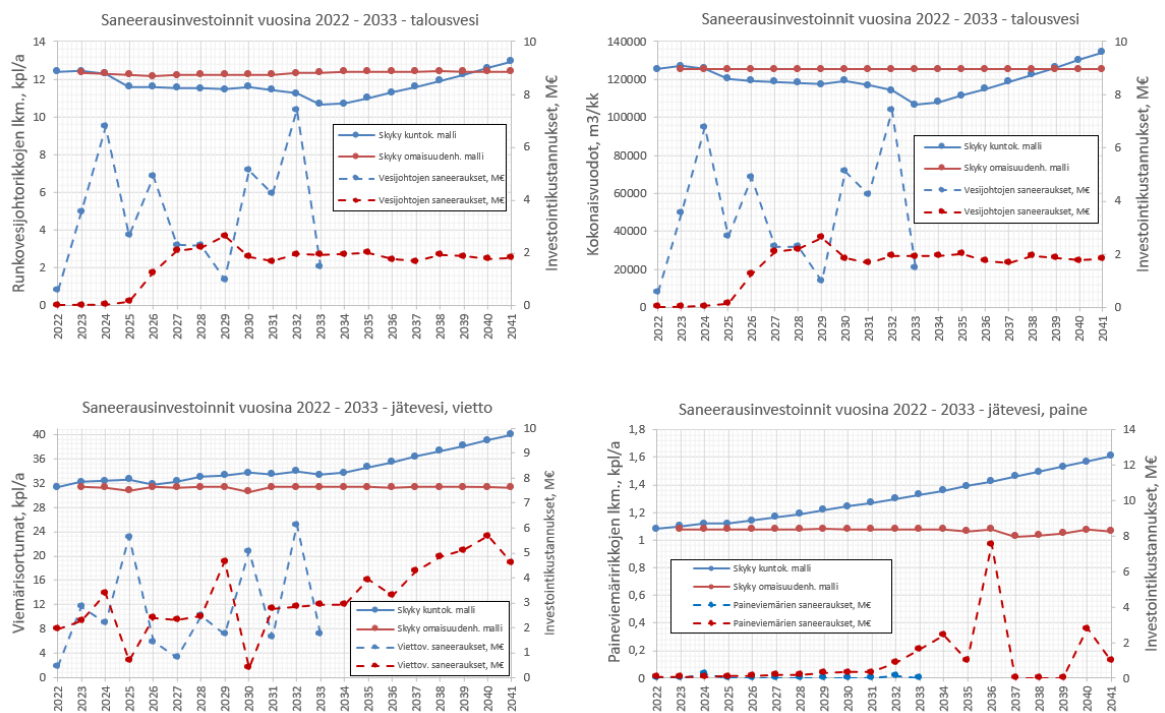
Kuva 12. Investointimäärät molemmilla toimintamalleilla vuosina 2022 - 2033.

Kaiken kaikkiaan suunnitelluissa saneerauksissa aikavälillä 2022 - 2033 korvataan 144 km johtoja ja optimoinnissa korvataan 114 km johtoja vastaavassa ajassa. Optimoinnilla on lisäksi investointeja 2 km vuosina 2034 – 2041, joilla investoinneilla varmistetaan aiemmin mainittu suorituskyvyn pysyminen samalla tasolla suunniteltujen saneerausinvestointien tuottaman suorituskyvyn kanssa. Vertailudataa tarkemmin tutkimalla havaitaan, että suunnitelluista saneerauksista on kaikkiaan 43 % (62 km / 144 km) täsmälleen samoja johtoja optimoinnin valikoimien johtojen kanssa. Toisin sanoen optimoinnin valitsemista johdoista 54 % (62 km / 116 km) on täsmälleen samoja suunniteltujen saneerausinvestointien kanssa.

Viettoviemäreiden tapauksessa kummallakin mallilla saneeraukset painottuvat betoni- ja muoviviemäriin. Paineviemärien tapauksessa suunnitelluissa saneerausinvestoinneissa painottuvat muovi ja valurauta, optimoinnissa taas muovi ja tuntematon materiaali. Erot paineviemärien tapauksessa eivät ole merkittäviä, sillä paineviemärisaneerauksia on kaiken kaikkiaan erittäin vähän - optimoinnin tapauksessa ainoastaan 0,3 km ja suunnitelluissa saneerauksissa 0,8 km. Vesijohdoilla kummallakin mallilla investoinnit painottuvat valurauta- ja muoviputkiin. Edelleen tulosten tarkemmassa läpikäynnissä selviää, että optimointi valikoi keskimäärin pienempiä putkia kuin mitä on suunnitelluissa saneerauksissa (230 mm vs. 250 mm). Vesijohdoilla kummallakin mallilla painottuvat samaa suuruusluokkaa olevat putket (195 mm vs. 189 mm), mutta vietto- ja paineviemäreissä on keskimäärin selkeästi isompia putkia suunnitelluissa saneerauksissa kuin optimoinnissa (326 mm vs. 271 mm ja 254 mm vs. 113 mm). Optimointi myös saneeraisi keskimäärin hieman vanhempia putkia kuin mitä on suunnitelluissa saneerauksissa (60-v vs. 58-v).

Kohdeyhtiössä on keskusteltu paljon vesihuoltoverkostojen nykyisen suorituskyvyn ylläpitämisestä. Kuvassa 13 on esitetty vertailun vuoksi optimointitulokset tapauksesta, jossa suorituskykytunnusluvut on asetettu vakioksi vertailututkimuksessa käytetyllä tarkasteluajanjaksolla. Optimoinnin tulokset ovat kuvassa 13 punaisella värillä ja vertailukohtana käytetyt suunnitellut saneerausinvestoinnit ovat sinisellä värillä kuten edellä. Tuloksista nähdään mitä verkostojen nykyisen suorituskyvyn ylläpitäminen maksaa pidemmän päälle. Esimerkiksi vesijohdoilla investointirahan tarve kasvaa tasoon 2 M€/a vuoden 2027 jälkeen. Viettoviemäreillä rahantarve on keskimäärin 2,4 M€/a vuoteen 2033 asti ja kasvaa sen jälkeen

keskimäärin tasolle 4,3 M€/a vuosille 2034 - 2041. Paineviemäreille nykytason ylläpitäminen tarkoittaa alle 1 M€ investointeja vuosittain vuoteen 2032 asti ja keskimäärin 2 M€/a investointeja vuodesta 2033 eteenpäin. Vesihuoltoverkostojen nykytilan ylläpito vaatii 111 km investointeja vuosina 2022 - 2033 ja 159 km investointeja vuosina 2034 - 2041. Suunnitelluista saneerauksista on kaikkiaan 66 % (95 km / 144 km) täsmälleen samoja johtoja optimoinnin valikoimien johtojen kanssa, kun tavoitteena on verkostojen nykytilan ylläpito ja aikaskaala on koko tarkastelujakso 2022 - 2041.



Kuva 13. Verkostojen suorituskyky ja kustannukset. Punainen väri viittaa omaisuudenhallintakeskeiseen toimintamalliin, sininen väri kuntokeskeiseen toimintamalliin. Yhtenäiset viivat kuvaavat suorituskykyä – vasen pysty akseli. Katkoviivat kuvaavat investointikustannuksia – oikea pysty akseli. Suorituskykytavoitteeksi on asetettu nykytilan ylläpito.

5.4 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika on aika, jona investoinnin tuoma säästö kattaa investointikulut. Takaisinmaksuaikalaskelmaa käytetään yleisesti päätöksenteon tukena investointivaihtoehtoja arvioitaessa ja vertailtaessa. Takaisinmaksuaajan laskennassa huomioidaan investoinnin tuomat vuosittaiset hyödyt H_{it} [€] ja kustannukset K_{it} [€], jotka molemmat muutetaan

tarkasteluhetkeen yhteismitalliseksi ns. diskonttaustekijän avulla. Kun investoinnilla saavutettavan säästön netto nykyarvoa merkitään ϕ_i [€], niin investoinnin takaisinmaksuaika $T[a]$ saadaan ratkaisemalla yhtälö (5)

$$\phi_i = \sum_{t=0}^T \frac{(H_{it} - K_{it})}{(1+r)^t} = 0. \quad (5)$$

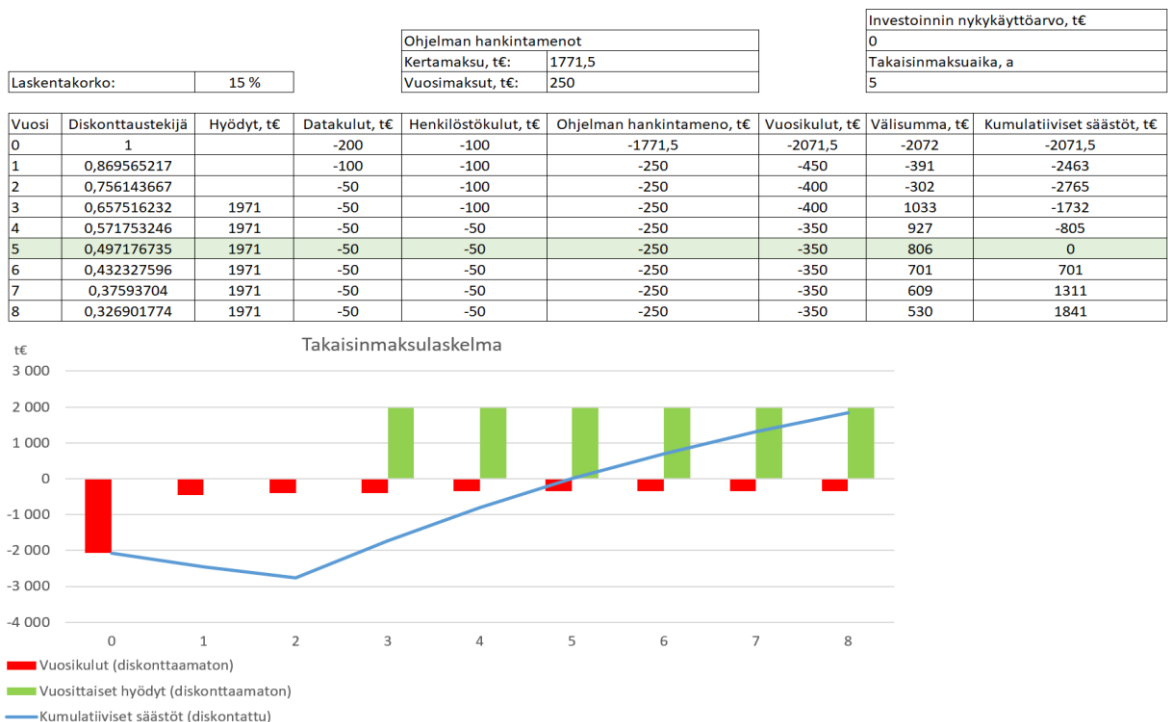
Yhtälössä (5) $t[a]$ on aika vuosissa, $r[\%]$ on laskentakorkokanta ja $\frac{1}{(1+r)^t}$ on (yksikötön) diskonttaustekijä, jolla huomioidaan rahan aika-arvo ja saadaan eri vuosina syntyvät säästöt yhteismitalliseksi tarkasteluhetken kanssa. Peukalosääntönä on, että mitä epävarmemmiksi investoinnilla saatavat säästöt arvioidaan, sitä suurempaa laskentakorkokantaa käytetään.

OmaisuuDENhallintakeskeiseen toimintamalliin tehdyn investoinnin tuomaa vuosittaista hyötyä voidaan arvioida luvussa 5.3 investointikustannussäästöillä, jota optimoinnin valitsemilla investointikohteilla saadaan suhteessa kuntokeskeisellä toimintamallilla valikoituihin saneerausinvestointeihin, kun lopputuloksena kummaltakin mallilta vaaditaan samaa verkostojen suorituskykyä. Kuvan 11 mallien kustannuskuvaajien eron perusteella keskimääräinen vuosihyöty aikavälillä 2022 - 2033 on 1971 t€ omaisuudenhallintakeskeisen toimintamallin eduksi. Vuosihyödyn oletetaan laskennassa toteutuvan kolmannelta vuodelta eteenpäin ohjelman hankintapäätöksestä. Vuosihyödyn perusteella pystyy arvioimaan esimerkiksi kuluja, mitä omaisuudenhallintakeskeisessä toimintamallissa keskeisen optimointiohjelmiston käyttöönotto- ja vuosikulut voivat yhteensä olla, jotta se kannattaa hankkia.

Siirtyminen kuntokeskeisestä toimintamallista omaisuudenhallintakeskeiseen toimintamalliin tuo mukanaan myös muita kuin suoraan ohjelmiston hankintaan- ja ylläpitoon liittyviä kuluja. Optimointiohjelman opettelu, käyttö ja mallinnus itsessään edellyttää henkilöresursseja, joita voi joutua hankkimaan ulkopuolelta tai vaihtoehtoisesti uudelleen suuntaamaan olemassa olevia henkilöresursseja. Tässä laskelmassa henkilöresursseihin tarvittava lisäpanostus katsotaan olevan 100 t€ vuosittain ensimmäiset neljä vuotta, minkä on arvioitu vastaavan yhtä asiantuntijahenkilötyövuotta vuositasolla sivukuluineen. Viidennestä vuodesta eteenpäin optimointiohjelman käytössä ja kehittämisessä arvioidaan pärjättävän 50 t€

vuosittaisella lisäpanostuksella henkilöresursseihin. Henkilöresurssien lisäksi huomiota on kiinnitettävä datatarpeisiin, mitä liittyy muun muassa verkostojen suorituskyvyn ja kustannusten entistä parempaan mallintamiseen. Tässä tulevat esiin erityisesti kysymykset ja toimenpiteet – ohjeistukset ja järjestelmäpäivitykset – liittyen siihen mitä dataa kerätään, miten sitä kerätään ja minne sitä kerätään, jotta dataa voidaan hyödyntää paremmin mallinnuksessa. Laskelmassa arvioidaan ensimmäisen ja toisen vuoden datapanostusten olevan 200 t€ ja 100 t€, jonka jälkeen 20 t€ vuosittaisen panostuksen dataan arvioidaan riittävän.

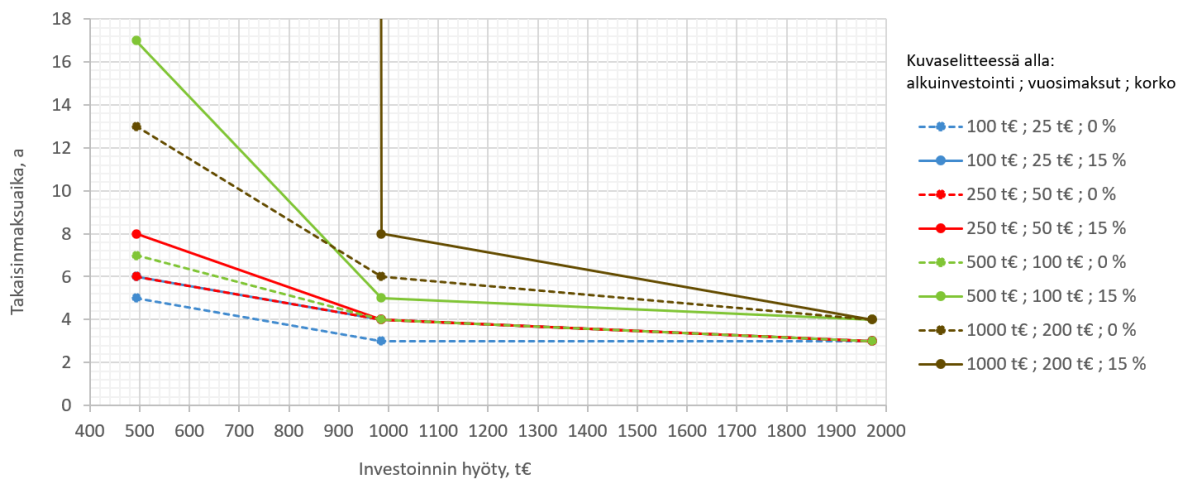
Kuvassa 14 on tehty esimerkkilaskelma, jossa on arvioitu omaisuudenhallintakeskeisessä toimintamallissa tarvittavan optimointiohjelman maksimikustannusta, kun takaisinmaksuajaksi on asetettu viisi vuotta ja laskentakorko on 15 %. Esimerkissä ohjelman alkuinvestointikustannuksen on oltava alle 1772 t€ ja vuosimaksujen maksimissaan 250 t€, jotta ohjelman investointi maksaa itsensä takaisin viidessä vuodessa ja ohjelma kannattaa laskelman perusteella hankkia. On hyvä huomata, että vaikka ohjelman alkuinvestointi ja vuosimaksu olisivat kummatkin 0 t€, niin takaisinmaksuaika olisi siinäkin tapauksessa kolme vuotta. Takaisinmaksuajalle on koottu erilaisia skenaarioita taulukkoon 1 ja taulukon 1 tiedoilla tehtyyn kuvaan 15.



Kuva 14. Esimerkki optimointiohjelman maksimikustannuksista, kun omaisuudenhallintakeskeisen toimintamallin käyttöönoton takaisinmaksuajaksi on kiinnitetty viisi vuotta

Taulukko 1. Optimointiohjelman takaisinmaksuaika eri tapauksissa

Ohjelman hankintamenot		Hyödyt, t€	Laskentakorko, %	Takaisinmaksuaika, a
Alkuinvestointi, t€	Vuosimaksut, t€			
0	0	493	0	4
0	0	986	0	3
0	0	1971	0	3
0	0	493	15	5
0	0	986	15	4
0	0	1971	15	3
100	25	493	0	5
100	25	986	0	3
100	25	1971	0	3
100	25	493	15	6
100	25	986	15	4
100	25	1971	15	3
250	50	493	0	6
250	50	986	0	4
250	50	1971	0	3
250	50	493	15	8
250	50	986	15	4
250	50	1971	15	3
500	100	493	0	7
500	100	986	0	4
500	100	1971	0	3
500	100	493	15	17
500	100	986	15	5
500	100	1971	15	4
1000	200	493	0	13
1000	200	986	0	6
1000	200	1971	0	4
1000	200	493	15	-
1000	200	986	15	8
1000	200	1971	15	4



Kuva 15. Takaisinmaksuajat eri skenaarioilla, taulukon 1 tiedoilla

Taulukossa 1 on laskettu takaisinmaksuaikoja kolmella erilaisella vuosihyödyllä, kahdella korkotasolla ja viidellä erilaisella ohjelman alkuinvestointi- ja vuosikuluyhdistelmällä. Muut kulut mitä tulee henkilöstömenoihin ja dataan on pidetty vakiona, kuten kuvassa 14 ja tekstissä aiemmin on kerrottu. Omaisuudenhallintakeskeisellä toimintamallilla saatava vuosihyöty on laskennallisesti 1971 t€, jota on taulukon 1 tarkastelussa puolitettu (986 t€) ja neljäsovitettu (493 t€). Hyödyn osituksella on avattu hyödyn isoa merkitystä takaisinmaksuajaksi. Koron vaikutusta takaisinmaksuajaksi on tarkasteltu kahdella ääripäällä, nollakorolla ja 15 % korolla. Nollakorolla rahan arvo pysyy samana, kun taas 15 % korolla takaisinmaksuajassa alkuvuosien hyödyt ja kustannukset saavat isomman painoarvon. Esimerkiksi kymmenen vuoden päästä investoinnista saatavat säästöt arvioidaan tämän päivän rahassa alle neljäsoosan painoarvolla, kun laskentakorkokanta on 15 %. Optimointiohjelman alkuinvestointikulua on muutettu välillä 0 - 1000 t€ ja vuosikulua on muutettu välillä 0 - 200 t€. Tuloksista (kuva 15) nähdään, että hyödyn ollessa vähintään 50 % (986 t€) toimintamallien välisestä vertailusta saadusta laskennallisesta vuosihyödystä (1971 t€), takaisinmaksuajat ovat kaikissa tapauksissa alle kymmenen vuotta ja omaisuudenhallintakeskeinen toimintamalli maksaisi itsensä takaisin järjellisessä ajassa. Sen sijaan jos hyödyistä realisoituu vain 25 % (493 t€), kallein ohjelmavaihtoehto ei ole enää taloudellisesti perusteltu, sillä takaisinmaksuajaksi kasvaa yli kymmenen vuoden myös nollakorolla. Kahden edullisimman vaihtoehdon osalta ohjelman hankinta on kannattava myös 25 % hyödyllä, sillä takaisinmaksuajat ovat alle kymmenen vuotta tutkituilla korkotasolla. Laskelmassa olevista henkilöstöressurssi- ja datakuluista johtuen optimointiohjelman hankkiminen ei ole taloudellisesti kannattavaa millään tutkituista hintavaihtoehdoista, jos edellä mainituista laskennallisista hyödyistä toteutuu alle 18 % (355 t€). Vaikka optimointiohjelma olisi täysin ilmainen, niin hyödystä on realisoiduttava vähintään 15 % (296 t€), jotta omaisuudenhallintakeskeisen toimintamallin käyttöönotosta aiheutuvat muut kulut tulevat katettua alle kymmenessä vuodessa.

5.5 Vertailutulosten yhteenveto

Luvussa vertailtujen toimintamallien keskinäisestä eroista saadut vertailutulokset on koottu taulukkoon 2. Optimoinnin laskennallinen rahamääräinen hyötypotentiali saneerausinvestointibudjetissa on luokkaa 30 % verrattuna kuntokeskeiseen toimintamalliin. Ottamatta kantaa siihen, mitä kaupalliset optimointiohjelmat maksavat, kohdeyhtiön investointimäärillä,

ohjelman tuottamalla hyötypotentiaalilla ja toisaalta hyötypotentiaalin realisoitumiseen liittyvillä epävarmuuksilla, optimointiohjelma saisi maksaa enintään alle 500 t€ ja ohjelman vuosikulut saisivat olla korkeintaan 100 t€, kun huomioidaan lisäksi muut ohjelman käyttöönottoon liittyvät kulut. Näillä rajauksilla optimointiohjelman hankkiminen on taloudellisesti kannattavaa niin, että investoinnin takaisinmaksuaika on kohtuullinen ja investointi sietää myös merkittävää epävarmuutta hyötypotentiaalin realisoitumisessa. Arvio pätee kohdeyhtiön investointimäärillä, mutta tuloksista voi vetää johtopäätöksen, että mitä isommat saneerausinvestoinnit, sitä suurempi absoluuttinen hyötypotentiaali ja sen enemmän optimointiohjelmasta voi maksaa. Edelleen taulukon 2 vertailutuloksista nähdään, että optimoinnissa saneerausmäärät ovat luokkaa 19 % vähemmän kuin kuntokeskeisellä mallilla. Optimointi myös saneeraa keskimäärin hieman vanhempia johtoja kuin kuntokeskeinen malli ja saneerattavaksi valittujen johtojen keskimääräiset halkaisijat eroavat jonkin verran mallien kesken. Kaiken kaikkiaan optimoinnin valikoimista kohteista on 54 % täsmälleen identtisiä kuntokeskeisellä mallilla valittujen kohteiden kanssa.

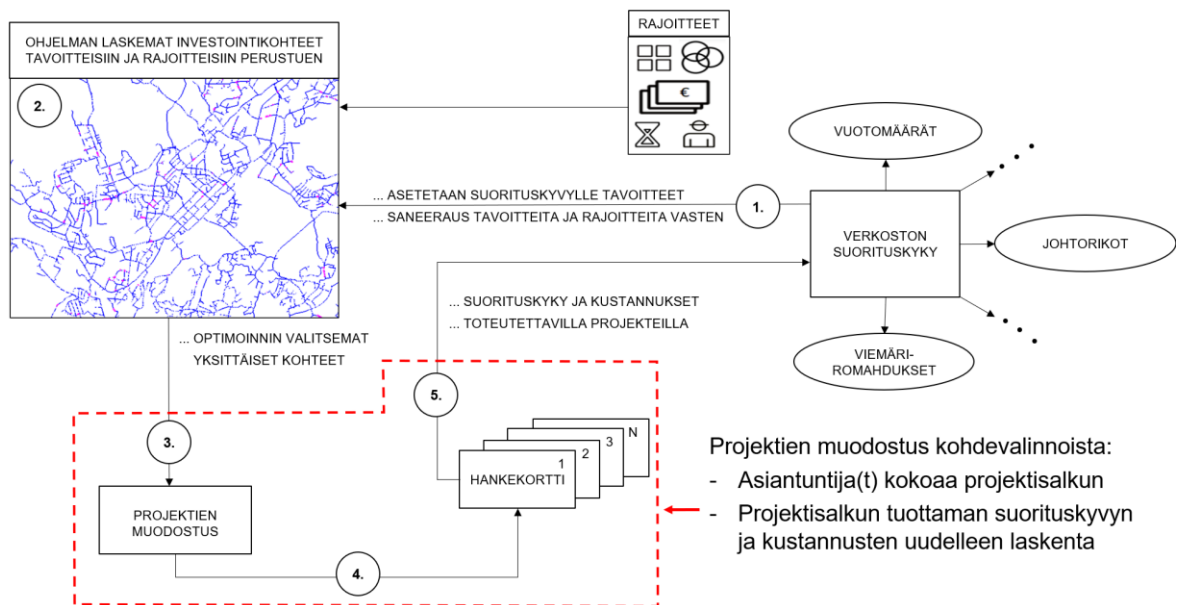
Taulukko 2. Toimintamallien vertailutulokset

Ominaisuus	Optimoinneissa verkostojen suorituskyky ...		Kuntokeskeisellä mallilla suunnitellut saneeraukset	Kommentti
	sama kuin suunnitelluilla saneerauksilla	sama kuin verkostoissa nykyään		
Laskennallinen hyöty, t€ / a (%)	1971 (32)	2136 (34)	-	Kuvat 11 ja 13
Optimointiohjelman alkuiinvestointi (vuosimaksu), t€	< 500 (≤ 100)	-	-	Investointi maksaa itsensä ≤ 10 vuodessa ja sietää epävarmuutta hyödyssä
Saneerausmäärät vuosina 2022-2033, km (%)	116 (81)	111 (77)	144 (100)	
Samoja johtoja suunniteltujen saneerausten kanssa, % (km)	54 (62)	35 (95/270) ^{*)}	100 (144)	*) määrät käsittävät koko tarkasteluajan, vuodet 2022 - 2041
Saneerattavat vesijohdot: määrät km; halkaisijat mm ; iät a	64; 195; 61	70; 183; 64 ^{*)}	81; 189; 58	Luvut ovat pituuspainotettuja keskiarvoja
Saneerattavat viettoviemärit: määrät km; halkaisijat mm ; iät a	50; 271; 59	143; 300; 59 ^{*)}	59; 326; 58	Luvut ovat pituuspainotettuja keskiarvoja
Saneerattavat paineviemärit: määrät km; halkaisijat mm ; iät a	0,3; 113; 34	56; 160; 50 ^{*)}	0,7; 254; 57	Luvut ovat pituuspainotettuja keskiarvoja

5.6 Huomioita

Optimointiohjelma tekee päätökset ”laitetasolla”, alhaalta-ylöspäin, perustuen kunkin vesihuoltojohdon kykyyn vastata saneerauksille asetettuihin tavoitteisiin suorituskyvyn ja kustannusten suhteen, kuten edellä on todettu. Seuraus tästä on, että saneerauskohteiden valinta ”laitetaso” -päätöksillä voi johtaa saneerausten sirpaloitumiseen lukuisiin yksittäisiin

kohteisiin, kun taas yleisesti vallitsevan asiantuntijakäsityksen mukaan saneerauksia tulisi tehdä alueittain, isompina projekteina ja mieluummin välttää yksittäisten johtojen saneerausta. Optimointiohjelman saneerauspäätöksen orjallinen noudattaminen sellaisenaan ei välttämättä ole toteutuskelpoinen vaihtoehto. Nykynäkemyksen mukaan saneerausten toteuttamisessa on huomioitava projektinäkökulma, jolla tarkoitetaan rakennuttamisen tunnettujen käytännön rajoitteiden huomioonottamista. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi iteratiivista toimintatapaa: optimointi tehdään ensin valitulle alueelle, valitaan sen jälkeen alueelta järkevät projektit optimoinnin valitsemista yksittäisistä johdoista, syötetään muodostetut projektit ohjelmaan uudestaan ns. pakkoinvestointeina ja saadaan lopputuloksena käytännössä toteutuskelpoinen ennuste tunnuslukujen kehittymiselle. Iterointikierron jatketaan niin kauan kunnes löydetään tavoitteet ja rajoitteet tyydyttävästi toteuttava ratkaisu (kuva 16).



Kuva 16. Projektinäkökulman huomiointi optimoinnissa

Edelleen kooltaan sopivan kokoisten projektien lisäksi tärkeä tekijä liittyy saneerausten ajoittamiseen. Jotta kohdeyhtiölle kriittiset sidosryhmät, kuten urakoitsijamarkkina, säilyvät toimialueella vakaana ammattitaidon ja tekijöiden puolesta, on kohdeyhtiön huolehdittava

investoinneissaan riittävän tasaisesta projektimäärästä vuosittain huolimatta siitä mitä optimointiohjelma esittää saneerausten ajoituksesta.

Projektinäkökulma ja tasainen projektikuorma vuosittain lienee mahdollista huomioida jo optimoinnissa rajoitteiden avulla, mutta tekijöiden huomioimista pitää vielä tutkia tarkemmin ja niitä ei ole huomioitu edellä esitetyssä optimoinnin taloudellisen hyödyn laskennassa. Onkin todennäköistä, että taloudellinen hyöty optimoinnin käyttöönotosta suhteessa kunto-keskeiseen toimintamalliin ei tule realisoitumaan täydessä mitassa. Tämä vaihtoehto on jo huomioitu takaisinmaksuajan laskennassa, kun tarkasteltiin erisuuruisten hyötyjen vaikutusta lopputulokseen laajalla skaalalla ja siinä mielessä taulukon 2 tuloksia esimerkiksi optimointiohjelman kustannusten osalta ei ole syytä muuttaa, vaikka projektinäkökulman ja tasaisen projektikuorman vaikutuksia optimoinnin tuomaan taloudelliseen hyötyyn ei ole toistaiseksi tarkasti tiedossa.

6 Johtopäätökset

Tutkimuksen tavoite oli selvittää uuden omaisuudenhallintakeskeisen toimintatavan käyttöönoton hyötyä verkostosaneerausinvestointien kohdentamisessa case-tapauksena olevassa kohdeyhtiössä. Verkostosaneerauskohteiden valinta on hoidettu kohdeyhtiössä kuntokeskeisellä toimintamallilla, jossa kohdeyhtiön asiantuntijat määrittelevät vesihuoltoverkostojen kunto- ja riskiperusteiset saneerausinvestointitarpeet perustuen roolin ja kokemuksen tuomaan asiantuntijanäkemykseen verkostojen tilasta. Kuntokeskeinen toimintamalli on tutkimuksessa vertailukohtana vaihtoehtoiselle omaisuudenhallintakeskeiselle toimintamallille, jossa saneerausinvestointikohteiden valinnassa hyödynnetään optimointiohjelmaa, erilaisia rajoitteita ja dataan perustuvia malleja verkostojen suorituskyvylle (heikkenemiselle) ja kustannuksille. Tutkimusongelma oli tutkinnan kohteena olevan energiayhtiön vesiliiketoiminnassa tutkimuksen aikana myönnetty ISO 55001 sertifikaatti omaisuudenhallinnassa ja kuntokeskeisen saneerausinvestointien valintamenettelyn tunnistettu puute vastata kasvaviin saneerausinvestointitarpeisiin ISO 550XX -omaisuudenhallintastandardisarjan vaatimusten mukaisesti. Tutkimuksen keskeinen kysymys oli ”Onko uusi omaisuudenhallintakeskeinen toimintamalli vesiliiketoiminnan verkostosaneerausinvestointien kohdentamisessa hyödyllinen kohdeyhtiölle?” ja apukysymyksinä ”Miten uusi toimintamalli vastaa ISO 55001 -omaisuudenhallintastandardin asettamiin vaatimuksiin saneerausinvestointien valinnalle?”, ”Mikä on ennuste uuden toimintamallin takaisinmaksuajalle?”, ”Miten uusi toimintamalli parantaa tulevaisuuden saneeraustarpeiden ennustamista?” ja ”Millaisia haasteita uuteen toimintamalliin siirtymiseen liittyy?”. Seuraavassa käydään läpi ensin apukysymykset, jonka jälkeen vastataan tutkimuksen keskeiseen kysymykseen.

Ensimmäisen apukysymyksen osalta luvussa 4.1.3 todettiin, että ISO 550XX -standardisarjan mukainen saneerausinvestointien kohdentaminen edellyttää, että jokaisen omaisuuserän kohdalla pitää pystyä arvioimaan sen vaikutus organisaation tavoitteisiin siten, että vaikutuksen arviointi on kaikille osapuolille läpinäkyvää ja ymmärrettävää standardin hengen mukaisesti. Edelleen omaisuudenhallintaan ja saneerausinvestointien kohdentamiseen liittyy tavoitteiden lisäksi rajoitteita, mikä näkyy saneerausinvestointien kohdentamisen kohdalla erityisesti tasapainoiluna tavoitellun palvelutason, kustannuksien ja riskien kesken.

OmaisuuDENhallintakeskeinen toimintamalli rakentuu puolestaan optimointityökalun käytön ympärille. Työkalussa on kohdeyhtiön dataan ja olosuhteisiin kalibroidut suorituskyky- ja kustannusmallit, kuten luvussa 4.2 esitettiin. Kohdeorganisaation vesihuollon ylätasoa tavoitteena on puolestaan tuottaa ja jakaa asiakkaille puhdasta vettä ja järjestää toimiva sanitaatio riittävän edullisesti. Tätä ylätasoa tavoitetta tukee vesihuoltoverkosto-omaisuuden suorituskykyvaatimukset, jotka pitää valita ja asettaa sellaiselle tasolle, jolla voidaan perustella ylätasoa tavoitteiden toteutuminen, kuten luvussa 5.2 mainittiin. Kun vesijohtoverkoston tapauksessa asetetaan vaatimus suorituskyvyille, asetetaan myös vaatimus riskille, joka aiheutuu johto-omaisuuden toiminnasta, sillä parempi suorituskykyvaatimus pienentää johdovaurioista aiheutuvaa riskiä ja päinvastoin. Lisäksi riskit, jotka todetaan kohdeyhtiön erillisen riskienhallintaprosessin kautta, ja jotka aiheuttavat saneerausinvestointeja, voidaan syöttää optimointiohjelmaan niin sanottuina pakkoinvestointeina. Optimointityökalulla haetaan suorituskykytavoitteet toteuttavat investointikohteet minimikustannuksin ja jos esimerkiksi erillisen riskienhallintaprosessin kautta on todettu tarvittavan pakkoinvestointeja, niin priorisointijärjestys on ensin pakkoinvestoinnit ja siten optimoinnin kautta muut investoinnit. Optimointityökalun mallit sekä suorituskyvyille asetetut tavoitteet ja optimoinnille asetetut rajoitteet ovat avoimia, joten päätöksenteko on läpinäkyvää. Investoinnit voidaan yhdistää mitattavaan suorituskykyyn. Lisäksi mallit ja tieto pysyvät järjestelmässä, vaikka asiantuntijat vaihtuvat. Yhteenvedona voidaan todeta, että omaisuudenhallintakeskeinen malli vastaa halutulla tavalla ISO 55001 -omaisuudenhallintastandardin asettamia vaatimuksia saneerausinvestointien valinnalle.

Toinen apukysymys koski omaisuudenhallintakeskeisen toimintamallin ennustetta takaisinmaksuajalle. Luvussa 5.4 esitetyn takaisinmaksuajatarkastelun perusteella omaisuudenhallintakeskeisen toimintamallin laskennallinen rahamääräinen hyötypotentiaali saneerausinvestointibudjetissa on luokkaa 30 % verrattuna kuntokeskeiseen toimintamalliin. Takaisinmaksuajaksi vaikuttavat hyötyjen lisäksi muut kulut ja investoinnit, joita vaaditaan uuteen toimintamallin siirryttäessä. Tutkimuksessa esitetystä laskelmasta huomioitiin henkilöresurssit, datatarpeet, optimointiohjelman kulut sekä epävarmuudet hyötypotentiaalissa toteutumisessa. Laskelmassa päädyttiin lopputulemaan, että omaisuudenhallintakeskeisessä toimintamallissa tarvittavan optimointiohjelman maksaessa enintään alle 500 t€ ja ohjelman vuosikulujen ollessa korkeintaan 100 t€, omaisuudenhallintakeskeinen toimintamalliin

siirtymisen takaisinmaksuaika on alle kymmenen vuotta. Lopputulemaa voidaan pitää kohtuullisena, toimialan historiallinen tuottoturvamus huomioiden.

Kolmas apukysymys liittyi omaisuudenhallintakeskeisen toimintamallin kykyyn parantaa tulevaisuuden saneeraustarpeiden ennustamista. Kohdeyhtiön kuntokeskeisessä toimintamallissa saneeraustarpeiden ennustamista on tehty tähän mennessä saneerausvelan kasvun ennustamisen kautta ja toisaalta jonossa olevien saneerausinvestointisuunnitelmien avulla. Näistä saneerausvelan kasvun ennustaminen perustuu materiaalien valmistusvuosi- ja pitoaikatietoihin. Saneerausinvestointikohteiden valintaan on vaikuttanut historiallinen vika-tieto, jota on käytetty myös saneerausinvestointiprojektien priorisoinnissa (luku 3.2.2). Vikatietoa ei ole kuitenkaan hyödynnetty vikaantumisen ajallisen kehittymisen ennustamisessa kuntokeskeisessä mallissa. Omaisuudenhallintakeskeisessä toimintamallissa optimointiohjelma näkee verkostot erilaisten mallien kautta ja suorituskyvyn tarkasteluajanjakson voi valita eri pituiseksi, erilaisilla aika-askelilla, vuosista kymmeneen vuosiin, kuten luvussa 4.2 todettiin. Edelleen ohjelman suorituskykytunnusluvussa oleva aikariippuvuus mahdollistaa erilaisten skenaariotarkastelujen tekemisen. Ohjelmalle voi asettaa erilaisia suorituskykyta-voitteita tulevaisuuteen, joita vasten ohjelma ennustaa kokonaiskustannukset ja vuosittaiset kustannukset eri tapauksissa. Näin ollen omaisuudenhallintakeskeinen toimintamalli parantaa oleellisesti tulevaisuuden saneeraustarpeiden ennustamista kuntokeskeiseen toimintamalliin verrattuna.

Neljäs apukysymys keskittyi uuteen toimintamalliin siirtymiseen liittyviin haasteisiin. Tutkimuksessa esitetty omaisuudenhallintakeskeinen toimintamalli on tähän mennessä tehdyn tarkastelun perusteella askel auditointikelpoiseen tiedolla johtamiseen ja toimintamallilla on kiistaton säästöpotentiaali kuntokeskeiseen toimintamalliin verrattuna, kuten luvussa 5 on esitetty. Yhtenä haasteena uudessa toimintamallissa on tiedon määrä, oikeellisuus ja hyödynnettävyys, josta tiedon määrän ja oikeellisuuden haasteita sivuttiin aiemmin luvussa 2. Jotta uudesta toimintamallista saadaan realisoitua paras mahdollinen hyötypotentiaali, jatkossa pitää panostaa siihen mitä tietoa tallennetaan sekä miten ja mihin tietoa tallennetaan, jotta tallennettua tietoa voidaan täysimääräisesti hyödyntää optimointiohjelman suorituskyky- ja kustannusmalleissa. Puute, joka ymmärrettiin konkreettisesti vasta dataa

valmisteltaessa optimointiohjelman käyttöönotossa, mutta jota toisaalta tuskin olisi vieläkään ymmärretty ilman ohjelman käyttöönottoa. Asian korjaamiseksi pitää miettiä uudelleen kohdeyhtiön eri järjestelmissä olevan tiedon yhdistettävyyden ja tiedon siirto tietoa tuottavien ja sitä hyödyntävien osapuolien välillä. Tarkastelu edellyttää verkkotietojärjestelmään käyttö- ja kunnossapitotoiminnassa sekä investointiprojekteissa (rakennuttamisessa) tallennettavan tiedon kirjaamisen läpikäymistä ja yhdistettävyyttä kustannusten seurantajärjestelmiin ja projektin seurantajärjestelmään tallennettavien tietojen kanssa. Asian läpikäyminen ja kuntoon saattaminen edellyttää kohdeyhtiössä uudenlaista tiimirajat ylittävää yhteistyötä, joka ei aiemman kokemuksen perusteella hoidu pelkästään omalla painollaan, itseohjautuvasti, vaan asialle tarvitaan aidosti myös johdon ja esihenkilöiden tuki yli perinteisten tiimirajojen. Tarpeen vaatiessa edellytetään myös parempaa yhteistyötä tukevat taloudelliset in-sentiivit. Toinen merkittävä muutos liittyy saneerausinvestointikohteiden valintaan. Kohdeyhtiön organisaatiokulttuuri on tähän asti tukenut vahvasti verkkojen kunnossapitäjien itsenäisiä päätöksiä saneerausinvestointikohteiden valinnasta perustuen kunnossapitäjien asiantuntemukseen aihepiiristä, kuten luvussa 3.3 todettiin. Omaisuudenhallintakeskeinen toimintamalli suorituskyky- ja kustannusmalleineen sekä optimointineen haastaa kunnossapitäjien yksinoikeiden saneerausinvestointikohteiden valintaan. Tämä on merkittävä muutos vanhaan toimintamalliin, jonka hyväksyminen ja juurruttaminen vie varmasti aikaa sekä edellyttää myönteistä mieltä ja johtajuutta yli tiimirajojen. Koska uuden toimintamallin myötä tuleva muutos koskee kunnossapidon asiantuntijoiden ydinosaamisaluetta, uuden toimintamallin kritiikitöntä hyväksyntää ei pidä pitää itsestään selvänä. Edessä on vielä paljon työtä optimointituloksien ja tuloksien takana olevien mallien mahdollisuuksien ja rajoitteiden läpikäynnissä kunnossapitäjien, suunnittelun ja rakennuttamisen kanssa osana uuden toimintatavan hyväksyttämistä, mutta myös osana mallien tarpeellista jatkokehittämistä erityisesti toistaiseksi puuttuvan hiljaisen tiedon osalta. Kolmas haaste liittyy edellisessä luvussa 5.6 käsitellyn projektinäkökulman huomioimiseen ja siitä aiheutuvaan iteratiiviseen toimintatapaan, joka tuli kattavasti esille jo luvussa 5.6. ja jota on siten tarpeetonta toistaa. Edellä tunnistetut haasteet omaisuudenhallintakeskeisen toimintamallin käytössä ovat kaikki mahdollista ratkaista. Mitään luetelluista haasteista ei ratkaista yhdessä yössä, mutta kun näkemys, tahto ja tuki on takana, ja pala kerrallaan tehdään, niin haasteet kyllä ratkeavat.

Tutkimuksen keskeistä kysymystä ”Onko uusi omaisuudenhallintakeskeinen toimintamalli vesiliiketoiminnan verkostosaneerausinvestointien kohdentamisessa hyödyllinen kohdeyhtiölle?” on selvitetty edellä apukysymysten avulla. Selvityksen pohjalta vastaukseksi tutkimuksen keskeiseen kysymykseen voidaan lyhyesti todeta, että uusi omaisuudenhallintakeskeinen toimintamalli vesiliiketoiminnan verkostosaneerausinvestointien kohdentamisessa on kohdeyhtiölle hyödyllinen. Tutkimuksen tulosten ja edellä apukysymyksiin annettujen kattavien vastauksien avulla on voitu osoittaa, että tilanne uudella omaisuudenhallintakeskeisellä toimintamallilla on parempi kuin kuntokeskeisellä toimintamallilla ja tästä voidaan vetää johtopäätös, että uusi toimintamalli on kohdeyhtiölle hyödyllinen.

Lähteet

- American Water Works Association (AWWA). 2004. Steel Pipe - A Guide for Design and Installation - Manual of Water Supply Practices, M11 (4th Edition), s. 137-150. [online-tietokanta]. [viitattu 3.4.2022]. Saatavissa: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpSPAG-DIM1/steel-pipe-guide-design/steel-pipe-guide-design>
- Balzer, G., Schorn, C. 2022. Asset management for infrastructure systems: energy and water. 2nd ed. Cham, Switzerland: Springer.
- Barton, N.A., Farewell, T.S., Hallett, S.H., Acland, T.F. 2019. Improving pipe failure predictions: Factors affecting pipe failure in drinking water networks. Water research (Oxford), 2019, Vol.164, p.114926.
- Chorafas, D.N. 2006. Wealth Management. Private Banking, Investment Decisions and Structured Financial Products. Elsevier. Oxford.
- Clark, R.M., Stafford, C.L., Goodrich, J.A., 1982. Water distribution systems: a spatial and cost evaluation. J. Water Resour. Plan. Manag. 108, 243-256.
- Digiroad. Väyläviraston kansallinen tie- ja katutietojärjestelmä. [verkkoaineisto]. [viitattu 9.11.2022]. Saatavissa: <https://vayla.fi/vaylista/aineistot/digiroad>
- Duncan, A. D. 2021. 100 Data and Analytics Predictions Through 2025. Gartner Inc., USA. [verkkoaineisto]. [viitattu 7.11.2022]. Saatavissa: <https://emtemp.gcom.cloud/ngw/globalassets/en/doc/documents/744238-100-data-analytics-predictions-2025.pdf>
- Global Infrastructure Hub, Oxford Economics. 2017. Global Infrastructure Outlook: infrastructure investment needs 50 countries, 7 sectors to 2040. Oxford: Global Infrastructure Hub. [verkkodokumentti]. [viitattu 24.11.2022]. Saatavissa: <https://outlook.gihub.org/>
- Hahtela, J. 2020. "Valtion ei tarvitse maksaa lainojaan takaisin" – pitääkö väite paikkansa ja mitä se oikeasti tarkoittaa? Maaseudun Tulevaisuus. [verkkodokumentti]. [viitattu 25.11.2022]. Saatavissa: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/uutiset/9e0a3447-6f91-55bf-af4c-fc37a09a949b>

Kekki, T. K., Kaunisto, T., Keinänen-Toivola, M. M., Luntamo, M. 2008. Vesijohtomateriaalien vauriot ja käyttöikä Suomessa. Vesi-Instituutin julkaisuja 3. [verkkodokumentti]. [viitattu 24.3.2022]. Saatavissa: <https://www.samk.fi/wp-content/uploads/2016/06/Vesijohtomateriaalien-vauriot-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6ik%C3%A4-Suomessa.pdf>

Kellerer, H., Pferschy, U., Pisinger, D. 2004. Knapsack Problems. Springer, Heidelberg

Kuulas, A., Renko, T., Kuivamäki, R. 2020. Vesihuollon investointitarpeet vuoteen 2040. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 63. [verkkodokumentti]. [viitattu 21.8.2022]. Saatavissa: https://www.vvy.fi/site/assets/files/5239/vesihuollon_investointitarpeet_vvy_10092020_final.pdf

Maankäyttö- ja rakennuslaki, 22.8.2014/682, 13 a luku

Makar, J.M. 2000. A Preliminary Analysis of Failures in Grey Cast Iron Water Pipes. Engineering failure analysis 7.1, s. 43–53.

Miettinen, K. 1998: Optimointi, Luentomoniste / Jyväskylän yliopisto, matematiikan laitos, ISSN 0781-6510; 33.

Mononen, M. 2012. Kuinka pakata matkatavarat ennen kuin aurinko sammuu eli 0/1-reppuongelman ratkaisumenetelmät teoriassa ja käytännössä. Pro gradu -tutkielma, Itä-Suomen yliopisto, Tietojenkäsittelytieteen laitos. [verkkodokumentti]. [viitattu 15.11.2022]. Saatavissa: https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/10602/urn_nbn_fi_uef-20120146.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Nortio, J. 2018. Vesihuoltoverkostot ovat jo niin huonossa kunnossa, että kuntalaisten terveys on uhattuna. Kuntatekniikka-lehti. [verkkodokumentti]. [viitattu 24.11.2022]. Saatavissa: <https://kuntalehti.fi/uutiset/vesihuoltoverkostot-ovat-jo-niin-huonossa-kunnossa-etta-uhkaavat-kansanterveytta/>

Renko, T., Sahlstedt, J., Aurola, A., Vilpanen, M., Härkki, H. 2021. Hyvän vesihuollon kriteerit. Suomen Vesilaitosyhdistys ry, Helsinki. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 65. [verkkodokumentti]. [viitattu 26.11.2022]. Saatavissa: https://www.vvy.fi/site/assets/files/5496/hyvan_vesihuollon_kriteerit.pdf

SFS-ISO 55000. 2014. Omaisuudenhallinta. Yleiskuvaus, periaatteet ja termit. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-ISO 55001. 2014. Omaisuudenhallinta. hallintajärjestelmät, vaatimukset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-ISO 55002. 2018. Omaisuudenhallinta. hallintajärjestelmät. Ohjeita standardin ISO 55001:2014 soveltamisesta. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-ISO 55010. 2019. Omaisuudenhallinta. Ohjeistusta omaisuudenhallinnan taloudellisten ja ei-taloudellisten toimintojen yhdenmukaistamiseen. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2021. Rakennetun omaisuuden tila 2021. [verkkodokumentti]. [Viitattu 24.11.2022]. Saatavissa: https://www.ril.fi/media/2021/vaikuttaminen/roti2021_low.pdf

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2017. Rakennetun omaisuuden tila 2017. [verkkodokumentti]. [Viitattu 24.11.2022]. Saatavissa: https://www.ril.fi/media/2017/2017-vai-kuttaminen/roti-2017/taustat/roti-2017_painettu-raportti.pdf

Suomen ympäristökeskus SYKE. 2021. Vesihuoltolaitosten raportteja, Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Viimeksi muokattu 6.5.2021. [verkkoaineisto]. [viitattu 2.4.2022]. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/vesihuoltolaitokset>

Suomen ympäristökeskus SYKE. 2018. Corine maanpeite. Suomen maankäyttöä ja maanpeitettä kuvaavat tiedot. [verkkoaineisto]. [viitattu 9.11.2022]. Saatavissa: https://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Paikkatietoaineistot

Technical Committee: ISO/TC 251, Asset Management, International Organization for Standardization.

Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu. 2018. Asbesti. [verkkoaineisto]. [viitattu 3.4.2022] Saatavissa: <http://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/rakennusala/asbesti>

Vesijohtomateriaalien vauriot ja käyttöikä Suomessa. Vesi-Instituutin julkaisuja 3. [verkkodokumentti]. [viitattu 24.3.2022]. Saatavissa: <https://www.samk.fi/wp-content/uploads/2016/06/Vesijohtomateriaalien-vauriot-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6ik%C3%A4-Suomessa.pdf>

Vesi- ja viemäriulaitosyhdistys. 2005. Viemäreiden TV-kuvauksen tulkintaohje. Helsinki. 55 sivua. ISBN 952-5000-50-8

Woodhouse, J. 2009. Making the most of your assets. *Process Engineering*. Berkhamsted (Jan 22, 2009): 8.

Wood, A. and Lence, B. J. 2009. Using Water Main Break Data to Improve Asset Management for Small and Medium Utilities: District of Maple Ridge, B.C. *Journal of Infrastructure Systems*, 15(2): 111–119.