

Hanna Pyöriä

**DIGITAALINEN KAKSONEN INFRA-
OMAISUUDEN HALLINNASSA**
Strategisen päätöksenteon näkökulma

Diplomityö
Johtamisen ja talouden tiedekunta
Tarkastajat: Viivi Siuko
& Jussi Myllärniemi
Lokakuu 2023

TIIVISTELMÄ

Hanna Pyöriä: Digitaalinen kaksonen infraomaisuuden hallinnassa: Strategisen päätöksenteon näkökulma

Diplomityö

Tampereen yliopisto

Tietojohtamisen diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Lokakuu 2023

Uusien teknologioiden kehittäminen muuttaa organisaatioiden toimintaympäristöä ja luo samalla uusia mahdollisuuksia toiminnan toteuttamiselle. Digitaalinen kaksonen on esimerkki tällaisesta uudesta teknologiasta. Infrarakentamisen alalla digitaalinen kaksonen on vielä uusi käsite, jolle ei löydy vakiintunutta määritelmää. Digitaalisella kaksosella tarkoitetaan virtuaalista, reaaliaikaista kopiota fyysisen maailman järjestelmästä. Digitaalinen kaksonen voi tarjota infra-alalle uusia mahdollisuuksia esimerkiksi infraomaisuuden hallintaan. Omaisuudenhallinta on infra-alan organisaatioissa monimutkainen kokonaisuus erilaisia toimia, joiden tavoitteena on tuottaa infraomaisuudesta mahdollisimman paljon arvoa organisaatiolle ja sen sidosryhmille. Infraomaisuus käsittää usein laajan kokonaisuuden verkostoja ja järjestelmiä, joihin liittyvä päätöksenteko on monimutkaista. Strateginen päätöksenteko on infraomaisuuden hallinnassa keskeistä, sillä se luo raamit kaikelle muulle toiminnalle. Omaisuudenhallinnassa strategista päätöksentekoa tehdään esimerkiksi palvelun laatuun, priorisointiin ja resurssien käyttöön liittyen.

Julkisissa infra-alan organisaatioissa omaisuudenhallintaa ja strategista päätöksentekoa ohjaavat monet organisaation ulkopuoliset tekijät, mikä tekee omaisuudenhallinnan strategisesta päätöksenteosta erittäin monimutkaisen kokonaisuuden. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten digitaalinen kaksonen voi hyödyttää infraomaisuuden hallintaa strategisen päätöksenteon näkökulmasta. Tutkimuksessa perehdytään digitaalisen kaksosen käsitteeseen infra-alalla. Lisäksi tutkitaan infraomaisuuden hallintaa ja strategista päätöksentekoa tiedolla johtamisen perspektiivistä. Tavoitteena on löytää linkejä näiden käsitteiden väliltä ja rakentaa lopulta käsitys siitä, miten digitaalinen kaksonen voi edistää omaisuudenhallintaa ja strategista päätöksentekoa julkisen sektorin organisaatioissa.

Tutkimus toteutettiin tapaustutkimuksena Väylävirastolle, joka vastaa valtion hallinnoimasta väyläverkostosta. Väyläviraston toiminnassa omaisuudenhallinta on hyvin keskeisessä roolissa. Organisaatioissa toteutetaan parhaillaan omaisuudenhallinnan kehitystyötä sekä digitaalisen kaksosen määrittelytyötä, minkä vuoksi Väylävirasto on oiva kohdeorganisaatio tutkimusongelmalle. Tutkimus toteutettiin yhdistettynä kirjallisuus- ja haastattelututkimuksena. Haastatteluiden avulla rakennettiin käsitys kohdeorganisaation näkemyksistä ja nykytilasta tutkimusongelman kannalta ja näitä peilattiin kirjallisuuslähteisiin. Tutkimuksessa laadittiin synteesi kirjallisuuden ja haastattelujen tuloksista. Johtopäätöksissä pohdittiin, mitä on strateginen päätöksenteko ja omaisuudenhallinta infra-alalla, mitä digitaalisella kaksosella tarkoitetaan ja miten digitaalinen kaksonen voi hyödyttää omaisuudenhallinnan strategista päätöksentekoa.

Tutkimuksen keskeisinä tuloksina voidaan todeta, että digitaalisen kaksosen potentiaaliset hyödyt strategisella tasolla ovat hankalasti tunnistettavia. Digitaalisen kaksosen avulla voidaan kehittää joitakin omaisuudenhallinnan tämänhetkisiä ongelmakohtia, kuten ennustemallien ja vaiikutustiedon puutteita. Näillä voi olla tulevaisuudessa suuri hyöty strategisessa päätöksenteossa. Digitaalisen kaksosen laajempaan kehittämiseen ja hyödyntämiseen infra-alalla on vielä pitkä matka, mikä haastaa todellisten hyötyjen tunnistamista. Infra-alan digitaalista kaksosta sekä strategista päätöksentekoa on tarpeen tutkia lisää. Tulevaisuudessa digitaalinen kaksonen voi parhaillaan tarjota merkittäviä hyötyjä alalla kaikille päätöksenteon tasoille.

Avainsanat: Digitaalinen kaksonen, Infrastruktuuri, Omaisuudenhallinta, Infraomaisuuden hallinta, Strateginen päätöksenteko

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Hanna Pyöriä: Digital Twin in Infrastructure Asset Management: A Strategic Decision-making Perspective

Master's Thesis

Tampere University

Master's Degree Programme in Information and Knowledge Management

October 2023

The development of modern technologies changes the operating environment of organizations while allowing new opportunities for operations. Digital twin is an example of this kind of a new technology. In the field of infrastructure construction, the digital twin is still a novel concept which does not have an established definition. Digital twin is a virtual, real-time copy of a real-life system. Digital twin has a possibility to offer new opportunities for the infrastructure sector for example in asset management. Asset management is a complex entity of various operations within infrastructure organizations. The goal of asset management is to manage infrastructure assets in a way that they create as much value as possible for the organization and its stakeholders. Infrastructure assets consist of a vast set of networks and systems that involve complex decision-making processes. Strategic decision-making is in the core of asset management as it creates guidelines for the organization's other activities. Strategic decisions within asset management consider for example the quality of services, prioritization, and the use of resources.

The asset management and strategic decision-making of public infrastructure organizations are affected by various external factors, which challenges the strategic decision-making in asset management. This research aims to identify how digital twin could benefit infrastructure asset management from the perspective of strategic decision-making. In this research we look at the definition of digital twin within the infrastructure sector. In addition, we study the concepts of infrastructure asset management and strategic decision-making from a knowledge management perspective. The goal is to find links between these concepts and to build an idea about how digital twin can improve asset management and strategic decision-making in a public sector organization.

This research is conducted as a case study for Finnish Transport Infrastructure Agency (FTIA), who is responsible for the state-owned road network, railways and waterways. Asset management plays a key role in the operations of FTIA. The organization is currently developing their asset management practices and defining the meaning and use cases for digital twin. Therefore, FTIA is a good organization for this research problem. The research was conducted as a literature and interview study. The interviews built a picture of the organization's perspectives and current state considering the research problem. These were then considered from the view of literature. A synthesis was written based on the literature and interview studies. In the discussion section we draw conclusions of what strategic decision-making and asset management mean in the infrastructure sector, what is a digital twin and how can the digital twin benefit strategic decision-making in asset management.

As a key conclusion it can be stated that the potential strategic benefits of a digital twin are difficult to recognize. Some current problems within asset management, such as the lack of prediction models and information about impacts, could be develop with the help of digital twins. In the future, this could be a great benefit for strategic decision-making. Still, it is a long way until digital twins are developed and utilized in the infrastructure sector in a wider manner. This poses a challenge for recognizing the true potential of digital twin. It is necessary to further study the concepts of digital twin and strategic decision-making within the infrastructure sector. In the future, the digital twin can at its best offer significant benefits for all decision-making levels.

Keywords: Digital Twin, Infrastructure, Asset Management, Infrastructure Management, Strategic Decision-making

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä tutkimus toteutettiin työn tilaajana toimineelle Väylävirastolle. Työ toimi selvityksenä organisaatiossa meneillään olevien kehitystoimenpiteiden tueksi. Digitaalinen kaksosonen on tällä hetkellä pinnalla infra-alalla ja sen kehittämistä tavoitellaan ja suunnitellaan aktiivisesti kohdeorganisaatiossa. Tutkimus tuo teoreettista näkökulmaa kohdeorganisaatiolle tästä uudesta ja alaa toivottavasti mullistavasta teknologiasta.

Tutkimuksen ohjauksessa toimivat yhteistyössä sekä Rambollin, Väyläviraston että yliopiston ohjaajat. Ohjaustapaamiset olivat antoisia ja niitä järjestettiin hyvinkin aktiivisesti, mikä toi valtavan määrän tukea ja apua työn edistämiseen. Tämän vuoksi haluan lämpimästi kiittää ohjausryhmääni koko diplomityöprosessin aikaisesta ohjauksesta.

Lisäksi haluan kiittää puolisoani, perhettäni ja ystäviäni jatkuvasta tsemppaamisesta ja tuesta koko tämän työn ajan. Vaikka ajoittain oli vaikeuksia saada työtä edistettyä ja motivaatio oli kateissa, sain aina valtavan määrän tukea lähipiiriltäni. Ilman tukiverkkoa ja ohjausryhmää ei oltaisi nyt tässä pisteessä. Suuri kiitos tästä kaikille teille.

Tampereella, 06.10.2023

Hanna Pyöriä

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen tausta	1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset	3
1.3 Tutkimuksen rajaus	5
1.4 Tutkimuksen rakenne	6
2. STRATEGINEN PÄÄTÖKSENTEKO, INFRAOMAISUUDEN HALLINTA JA DIGITAALINEN KAKSONEN	7
2.1 Strateginen päätöksenteko	7
2.1.1 Päätöksenteon tasot	7
2.1.2 Strateginen päätöksenteko ja tiedolla johtaminen	8
2.1.3 Strateginen päätöksenteko infra-alalla	10
2.2 Infraomaisuuden hallinta	13
2.2.1 Mitä on omaisuudenhallinta infra-alalla?	13
2.2.2 Omaisuudenhallinta ja strateginen päätöksenteko	15
2.3 Digitaalinen kaksonen	18
2.3.1 Digitaalisen kaksosen määritelmä	18
2.3.2 Digitaalisen kaksosen hyötyjä infraomaisuudenhallinnassa	22
2.4 Miten digitaalinen kaksonen liittyy infraomaisuudenhallintaan ja strategiseen päätöksentekoon?	25
3. TUTKIMUSMETODOLOGIA	26
3.1 Tutkimusmenetelmä	26
3.2 Kohdeorganisaatio	28
3.3 Aineiston kerääminen	31
3.4 Aineiston analysointi	34
4. HAASTATTELUTUTKIMUKSEN TULOKSET	38
4.1 Tiedolla johtamisen nykytilanne organisaatiossa	38
4.2 Strateginen päätöksenteko ja tiedolla johtaminen	41
4.3 Infraomaisuuden hallinta ja strateginen päätöksenteko	44
4.4 Digitaalisen kaksosen määritelmä ja nykytilanne organisaatiossa	47
4.5 Digitaalisen kaksosen hyödyt infraomaisuuden hallinnassa strategisen päätöksenteon apuvälineenä	51
5. JOHTOPÄÄTÖKSET	54
5.1 Strateginen päätöksenteko ja tiedolla johtaminen infraomaisuuden hallinnassa	54
5.2 Digitaalinen kaksonen infra-alalla	61
5.3 Digitaalisen kaksosen hyödyt infraomaisuuden hallinnassa ja strategisessa päätöksenteossa	65

6. YHTEENVETO.....	71
6.1 Keskeiset tulokset.....	71
6.2 Tieteellinen ja käytännön kontribuutio	74
6.3 Tutkimuksen arviointi	76
6.4 Jatkotutkimustarpeet.....	78
LÄHTEET	80

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Viimeisien vuosikymmenien aikana erilaisten teknologioiden kehittyminen on pakottanut organisaatioita muuttumaan ja muuttamaan toimintaansa. Uudet teknologiat luovat uusia mahdollisuuksia, mutta aiheuttavat myös haasteita jatkuvasti muuttuvassa toimintaympäristössä. Ne vaikuttavat kaikkeen organisaatioiden sisällä ja ympärillä tapahtuvaan. (Bailey et al. 2022) Digitaalinen kaksonen on esimerkki tällaisesta uudesta teknologiasta, joka kehittyy vauhdilla ja luo uusia mahdollisuuksia esimerkiksi infrarakentamisen alalle. Digitaalisella kaksoella voi olla merkittävää hyötyä muun muassa infraomaisuudenhallinnassa käytön ja kunnossapidon vaiheissa (Jiang et al. 2021).

Infra-alan organisaatioita voidaan pitää omaisuusvaltaisina organisaatioina, joiden toiminta perustuu pitkälti niiden omaisuuteen eli infrastruktuuriin liittyviin kalliisiin ja monimutkaisiin toimiin. (Almeida et al. 2022) Infraorganisaation omaisuutta on esimerkiksi fyysinen infraomaisuus eli infrastruktuuri. Infrastruktuuri koostuu yhteiskunnan päivittäisen toiminnan mahdollistavista rakenteista, kuten teistä, radoista, vesiväylistä, vesihuolto- ja sähköverkostoista sekä virkistysalueista (Saarnikko 2016). Tällaisissa infra-alan organisaatioissa omaisuudenhallinta on keskeisessä roolissa. Sen päätavoitteena on hallita omaisuutta siten, että omaisuus tuottaisi mahdollisimman paljon arvoa organisaatiolle ja sen sidosryhmille. (Almeida et al. 2022) Infraan liittyvä data ja tieto on olennaista omaisuuden elinkaaren hallinnassa sekä omaisuudenhallinnassa.

Omaisuusvaltaisessa infra-alan organisaatiossa päätöksenteko on usein monimutkaista, sillä infraomaisuus muodostaa monimutkaisen kokonaisuuden verkostoja ja järjestelmiä. Päätöksenteossa tulee usein huomioida näiden kompleksisten kokonaisuuksien lisäksi myös monet sidosryhmät, jotka liittyvät toimintaan (Baker & Mahmood 2012; Meek & Rhodes 2014). Päätöksiä tehdään kolmella tasolla, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. Nämä tasot ovat operatiivinen, taktinen ja strateginen, ja ne määrittyvät sen mukaan, minkä aikavälin toimintaan ne liittyvät (Vuorinen 2013). Strateginen päätöksenteon taso koskee pidemmän aikavälin tavoitteiden asettamista, ja nämä tavoitteet ohjaavat taktista ja operatiivista, lyhyemmän aikavälin, toimintaa (Vuorinen 2013; Huotari 2019). Päätöksenteon tulisi pohjautua tietoon ja olla mahdollisimman rationaalista. Erityisesti strategi-

sessä päätöksenteossa rationaalisuutta on korostettu. (Vesiluoma 2013) Tiedolla johtamisella voi olla merkittävä hyöty päätöksenteossa, jotta päätökset voidaan perustaa oikeaan tietoon (Laihonen et al. 2013). Joidenkin teorioiden mukaan päätöksenteossa tulisi pohtia kaikkien mahdollisten vaihtoehtojen seuraukset ja valita sen perusteella optimaalisin vaihtoehto toteutettavaksi. Usein kuitenkin kaikkea tietoa ei ole saatavilla, ja lisäksi ihmisen mieli rajoittaa vaihtoehtojen määrittämistä, mikä rajoittaa rationaalisuutta päätöksenteossa. (Vesiluoma 2013) Päätöksenteon tukena voi sen vuoksi olla kannattavaa hyödyntää erilaisia malleja tai työkaluja, jotka helpottavat tiedon käsittelyä sekä vaihtoehtojen arviointia. Teknologian kehitys voi tuoda merkittävää hyötyä päätöksenteon tueksi.

Monimutkaisessa infraomaisuuden strategisessa päätöksenteossa uusilla teknologioilla voitaisiin helpottaa päätöksentekoprosessia. Infra-alalla digitaalinen kaksonen on noussut trendiksi viime vuosien aikana, mutta se on vielä uudehko käsite, jonka määritelmä on osittain epäselvä eikä sen tarjoamia mahdollisuuksia ole täysin tunnistettu (Jiang et al. 2021). Digitaalinen kaksonen (engl. *digital twin*) tarkoittaa jonkin systeemin tai järjestelmän elinkaarenaikaista digitaalista vastinetta. Se on eri teknologioiden keräämään ja tuottamaan dataan sekä data-analytiikkaan pohjautuva virtuaalinen kokonaisuus, joka simuloi todellista systeemiä tai järjestelmää huomioiden samalla sen ulkopuoliset tekijät, kuten ympäristön ja työntekijät. Joitakin tunnistettuja digitaalisen kaksosen tavoitteita ovat esimerkiksi parempi ylläpitoon liittyvä päätöksenteko, systeemin elinkaaren kuvaus ja siihen liittyvä päätöksenteko, tietoon perustuva päätöksenteko sekä systeemin optimointi. (Macchi et al. 2018) Digitaalisella kaksosella voi olla merkittävää potentiaalia infra-alan kehittämisessä, mutta sen mahdollisuudet ovat vielä heikosti hyödynnettyjä. Uusien teknologioiden käyttöönoton tulisi lisäksi olla perusteltua, joten digitaalisen kaksosen mahdolliset hyödyt on tärkeä tunnistaa etukäteen.

Uusimmissa teknologioissa korostuu monipuolinen, eri lähteistä saatavan datan yhdistely ja hyödyntäminen, mikä edistää teknologioiden tuomia mahdollisuuksia älykkyyden lisääntyessä. Teknologiat voivat muun muassa täydentää ja korvata ihmisten kognitiivisia toimintoja sekä muita toimia. Älykkäiden teknologioiden kyky yhdistellä informaatiota voi edistää huomattavasti esimerkiksi päätöksentekoprosessia. (Bailey et al. 2022) Omaisuudenhallinnassa päätöksentekoa voidaan tukea yhdistämällä tehokkaasti dataa eri tietolähteistä (Macchi et al. 2018), mitä voidaan edistää teknologioiden avulla. Strategisella johtamisen tasolla korostuu tietoresurssien tehokas hyödyntäminen, johon sisältyy myös olennaisen informaation tunnistaminen (Laihonen et al. 2013). Tiedon merkitys päätöksenteossa on keskeistä. Datan yhdistelyllä ja kognitiolla on siis keskeinen

rooli strategisessa johtamisessa, ja uudet teknologiat voivat edistää näitä toimia. Digitaalinen kaksonen saattaa edistää datan keräämistä ja yhdistelyä, ja sitä myöten myös päätöksentekoa. Tämän vuoksi on kiinnostavaa tarkastella, millaista hyötyä digitaalinen kaksonen voi tuoda infraomaisuuden hallintaan ja strategiseen johtamiseen.

Digitaalinen kaksonen on noussut infra-alalla esiin, mutta siitä on vielä vähän tutkittua tietoa eikä sen mahdollisia hyötyjä ole tunnistettu paljoa. Aiemmin digitaalista kaksosta on hyödynnetty enemmän muilla aloilla, kuten emailu- ja avaruusalailla sekä tuotesuunnittelussa ja se on tarjonnut merkittäviä hyötyjä, kuten rikkoutumisten ennakointia sekä kehittämisen aikaista optimointia (Macchi et al. 2018; Onaji et al. 2022). Infra-alaa käsittelevät tutkimukset keskittyvät usein enemmän operatiivisen ja taktisen päätöksenteon edistämiseen, mutta strategisen johtamisen edistämistä uusien älykkäiden teknologioiden avulla ei ole paljoa tutkittu. Sujuvan työskentelyn takaamiseksi uusien teknologioiden käyttöönotossa on myös tärkeää huomioida, että ne integroidaan huolellisesti osaksi organisaation muita käytössä olevia teknologioita ja menetelmiä (Olawumi & Chan 2019), mikä on aiemmin tunnistettu kohdeorganisaatiossa haasteeksi. Tämän vuoksi digitaalisen kaksosen osalta olisi tärkeää tunnistaa mitä se voi tarjota kohdeorganisaatiolle ennen kuin sen toteuttamiseksi käytetään suuri määrä työtä.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimusongelma liittyy digitaalisen kaksosen hyödyntämiseen infraomaisuudenhallinnassa päätöksenteon näkökulmasta. Päättävänä on tunnistaa, tuoko digitaalinen kaksonen hyötyä omaisuudenhallinnan strategiseen päätöksentekoon. Koska infra-alalla digitaalinen kaksonen on suhteellisen uusi käsite, jota ei ole tutkittu vielä paljoa, on tarpeen selvittää digitaalisen kaksosen määritelmää ja potentiaalisia hyötyjä infra-alalla. Toisaalta omaisuudenhallintaa tarkastellaan tutkimuksissa usein operatiivisesta näkökulmasta, joten on mielekästä selvittää, mitä ylemmän tason hyötyä digitaalinen kaksonen voi tarjota. Strategisella päätöksenteolla on merkittävä rooli organisaation kaikelle toiminnalle (Vuorinen 2013), joten uuden teknologian käyttöönoton on hyvä tukea tämän tason päätöksentekoa. Omaisuudenhallinnassa ja päätöksenteossa tieto on lisäksi hyvin keskeisessä asemassa. Systemaattisella tiedolla johtamisella voi olla merkittävää hyötyä päätöksenteossa (Laihonen et al. 2013), minkä vuoksi tutkimusongelmaa tarkastellaan tiedolla johtamisen näkökulmasta. Digitaalisella kaksosella voi lisäksi olla hyötyä tiedolla johtamisen kehittämisessä, joka on useissa organisaatioissa pinnalla. Tämän tutkimuksen tarkoitus on toimia kartoittavana tutkimuksena, joka lisää ymmärrystä digitaalisesta kaksosesta tutkimusongelman mukaisesti. Tutkimuksen myötä digitaalisen

kaksosen merkitys omaisuudenhallinnan strategisen päätöksenteon apuvälineenä selkenee, jolloin digitaalisen kaksosen käyttöönotolle voi olla aiempaa paremmat perusteet. Uusia teknologioita voidaan ottaa organisaatioissa käyttöön aina resurssien sen sallissa, mutta olennaista on hyödyntää sellaisia teknologioita ja toimintatapoja, jotka tuovat arvoa organisaation toiminnalle. Aiempien tutkimusten, kuten Jiang et al. (2021) mukaan, digitaalisesta kaksosesta voi olla merkittävää hyötyä omaisuudenhallinnassa, joten sen tarjoamien mahdollisuuksien tunnistaminen on tärkeää. Tämän tutkimuksen tavoitteena on osaltaan selvittää, mitä hyötyä digitaalinen kaksonen voi tuoda infra-alan organisaatiolle omaisuudenhallinnan ja strategisen päätöksenteon näkökulmasta.

Tutkimuksen päätutkimuskysymys on:

1. Mitä hyötyä digitaalisesta kaksosesta on infraomaisuuden hallinnassa strategisen päätöksenteon apuvälineenä?

Päätutkimuskysymykseen haetaan vastauksia seuraavien apututkimuskysymysten avulla:

1. Miten tiedolla johtaminen näkyy strategisessa päätöksenteossa?
2. Mitä on strateginen päätöksenteko infraomaisuuden hallinnassa?
3. Mikä on digitaalinen kaksonen infra-alalla?
4. Miten digitaalinen kaksonen liittyy infraomaisuuden hallintaan?
5. Mitä hyötyä digitaalinen kaksonen voi tarjota infraomaisuuden hallinnassa ja strategisessa päätöksenteossa?

Tutkimuskysymysten avulla pyritään rakentamaan kattava käsitys digitaalisen kaksosen hyödyistä infraomaisuudenhallinnassa strategisen päätöksenteon näkökulmasta. Apututkimuskysymykset ohjaavat tutkimusta kohti sen päätavoitettaan. Kysymysten avulla rakennetaan kuva tiedolla johtamisen roolista strategisessa päätöksenteossa, strategisesta päätöksenteosta infraomaisuuden hallinnassa sekä digitaalisen kaksosen määritelmästä. Tavoitteena on luoda käsitys siitä, mitä strateginen päätöksenteko infraomaisuuden hallinnassa käytännössä tarkoittaa. Lisäksi pyritään vastaamaan siihen, miten digitaalinen kaksonen liittyy infraomaisuuden hallintaan. Tarjoaako se esimerkiksi tietoa omaisuudenhallintaan ja hyödyttää sitä kautta strategista päätöksentekoa? Viidennen apukysymyksen avulla pyritään vastaamaan siihen, löytyykö digitaalisen kaksosen, omaisuudenhallinnan sekä strategisen päätöksenteon väliltä yhtymäkohtia ja mahdollisia hyötyjä. Tutkimuksen tarkastelun tavoitteena on siis vastata siihen, mitä hyötyä digitaalinen kaksonen tarjoaa infraomaisuuden hallinnassa päätöksenteon strategisella tasolla.

1.3 Tutkimuksen rajaus

Tutkimus rajataan infra-alalle, sillä se toteutetaan toimeksiantona infra-alan organisaatiolle. Toisaalta digitaalista kaksosta tutkitaan nimenomaan infra-alalla aiheen uutuusarvon vuoksi. Digitaalinen kaksonen on toistaiseksi tunnetumpi muilla aloilla, kuten tuotesuunnittelussa (Onaji et al. 2022), eikä infra-alalta löydy kovinkaan paljoa tutkimusta digitaalisista kaksosista. Tutkimuksen kohdeorganisaatio toimii infrahankkeiden suunnittelun, rakentamisen ja kunnossapidon parissa tilaajaorganisaationa. Kohdeorganisaationa on Väylävirasto, joka vastaa valtion tie- ja rataverkosta ja vesiväylistä. Väylävirasto on julkishallinnon organisaatio, jossa omaisuudenhallinnalla on tärkeä rooli, sillä infraomaisuudesta vastaaminen on viraston päätehtävä. Tämän vuoksi kyseinen organisaatio on sopiva tutkimuskohde tälle tutkimusongelmalle. Digitaalista kaksosta tutkitaan omaisuudenhallinnassa strategisen päätöksenteon näkökulmasta. Kohdeorganisaatiossa on meillä omaisuudenhallinnan kehittämistyö ja lisäksi digitaalista kaksosta ja sen käyttötapauksia määritellään parhaillaan, jotta digitaalista kaksosta voitaisiin hyödyntää toiminnassa. Tämän vuoksi on kiinnostavaa tutkia, mitä hyötyjä digitaalinen kaksonen voi tuoda omaisuudenhallintaan. Digitaalista kaksosta ei myöskään ole juuri tutkittu omaisuudenhallinnan tai strategisen päätöksenteon näkökulmasta infra-alalla.

Koska omaisuudenhallinta on laaja kokonaisuus, tarkastellaan sitä strategisemmasta näkökulmasta sekä tiedolla johtamisen perspektiivistä. Osaltaan tutkimuksen rajauksessa keskitytään tarkastelemaan lähemmin omaisuustiedonhallintaa kuin muita omaisuudenhallinnan kokonaisuuksia. Tiedolla johtaminen on edelleen nouseva johtamisen näkökulma, minkä vuoksi se toimii strategisen päätöksenteon lähtökohtana tässä työssä. Työ on myös toteutettu tiedolla johtamisen opiskelijan toimesta, mikä osaltaan perustelee näkökulman valintaa. Omaisuudenhallinnassa johtamista voidaan toteuttaa monesta eri näkökulmasta ja moneen eri tarkoitukseen, minkä vuoksi aihepiirin rajaaminen on perusteltua. Omaisuudenhallinnassa tiedolla on hyvin keskeinen rooli, joten on mielekästä tutkia, miten päätöksentekoa voidaan edistää tällä osa-alueella digitaalisen kaksosen avulla. Systemaattisella ja toimivalla tiedolla johtamisella voi olla merkittävää hyötyä organisaation päätöksenteossa (Laihonen et al. 2013) ja digitaalinen kaksonen voi tarjota tähän uusia mahdollisuuksia. Johtamisnäkökulmassa keskitytään siihen, mitä hyötyä digitaalisesta kaksosesta on strategisen päätöksenteon tasolla. Tutkimuksessa ei tarkkailla digitaalisen kaksosen tai omaisuudenhallinnan teknisempää näkökulmaa. Teknisen näkökulman poisrajaaminen on perusteltua työn laajuus huomioon ottaen.

1.4 Tutkimuksen rakenne

Tutkimus etenee siten, että ensimmäiseksi perehdytään tutkimusaiheen teoreettiseen taustaan kirjallisuuskatsauksen avulla. Luvussa 2 luodaan katsaus strategiseen päätöksentekoon, infraomaisuuden hallintaan sekä digitaaliseen kaksoseen infra-alalla. Tässä yhteydessä avataan tutkimuksen keskeiset käsitteet ja tarkastellaan niiden välistä yhteyttä. Aiheita tutkitaan tiedolla johtamisen näkökulmasta, tarkastellen, mitä hyötyä ne voivat tarjota strategiseen päätöksentekoon tutkimuksen rajausten mukaisesti. Työn kolmannessa luvussa avataan tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä sekä metodologisia valintoja. Tutkimus toteutetaan kirjallisuuskatsauksena, jonka tueksi tehdään puolistrukturoitu haastattelututkimus kohdeorganisaatiossa. Näiden tarkempi toteutus kuvataan luvussa 3. Haastattelututkimuksen tulokset esitellään luvussa 4, jonka jälkeen viidennessä luvussa vertaillaan kirjallisuuden ja haastattelujen tuloksia ja esitetään pohdinnasta seuranneet johtopäätökset. Työn kuudennessa luvussa laaditaan vielä yhteenveto tutkimuksesta, jossa esitetään tutkimuksen keskeiset kontribuutiot sekä tutkimuksen arviointi.

2. STRATEGINEN PÄÄTÖKSENTEKO, INFRA-OMIAISUUDEN HALLINTA JA DIGITAALINEN KAKSONEN

2.1 Strateginen päätöksenteko

2.1.1 Päätöksenteon tasot

Johtamisen tasot voidaan jakaa kolmeen: strateginen, taktinen ja operatiivinen johtaminen. Nämä tasot eroavat toisistaan esimerkiksi sen perusteella, minkä aikavälin toimintaan ne liittyvät. Vuorinen (2013) kuvaa aikavälejä siten, että operatiivinen johtaminen keskittyy tähän päivään ja lähiviikkoihin, kun taas strateginen johtaminen keskittyy seuraaviin kuukausiin, vuosiin ja vuosikymmeneihin. Taktinen johtaminen sijoittuu näiden väliin. Danielak ja Niewiadomski (2022) määrittelevät johtamisen tasot siten, että strateginen johtaminen on korkeimman tason johtamista, taktinen on keskitason johtamista ja operatiivinen alimman tason johtamista. Päätöksenteko on keskeinen osa johtamista. Kuva 1 on esitetty päätöksenteon tasot ja niiden hierarkia.



Kuva 1 Päätöksenteon tasot

Korkeimmalla johtamisen tasolla (Kuva 1) tehdään strategisia päätöksiä, jotka määrittävät organisaation toimintaa pitkällä aikajänteellä. Tällaiset päätökset koskevat esimerkiksi organisaation strategiaa, resurssien allokointia, sidosryhmiä sekä kehittymisen tavoitteita tulevaisuudessa. (Danielak & Niewiadomski 2022) Strategista päätöksenteon tasoa on avattu laajemmin seuraavissa alaluvuissa.

Taktiseen johtamiseen liittyvät muun muassa operatiivisen toiminnan valvonta, tavoitteiden seuranta sekä muutos- ja parannusehdotusten laadinta. Taktinen taso on myös vastuussa strategisten tavoitteiden sekä itse strategian implementoinnista. (Danielak & Niewiadomski 2022) Toisin sanoen taktinen johtaminen ohjaa operatiivista toimintaa ja kulkee käsi kädessä strategisen johtamisen tavoitteiden kanssa. Taktinen johtaminen usein nojaa budjettiin. Sen tarkoituksena on saavuttaa sekä pitkän että lyhyen aikavälin tavoitteet. (Huotari 2019)

Operatiivisella johtamisen tasolla keskitytään sen sijaan toiminnan suunnitteluun, organisointiin ja seurantaan päivittäisellä tasolla (Huotari 2019). Operatiivisessa johtamisessa päätöksiä tehdään strategian implementoinnin näkökulmasta. Operatiivisen tason johtajat laativat analyyseihin perustuvia suunnitelmia operatiiviselle toiminnalle. Lisäksi tällä tasolla voidaan laatia erilaisia skenaarioita strategisen päätöksenteon tueksi. (Danielak & Niewiadomski 2022)

Päätöksenteon tasoja voidaan käsitellä erillisinä kokonaisuuksinaan, sillä kaikilla niillä on omat toimintonsa ja tavoitteensa, kuten edellä esitellyistä määritelmistä voidaan huomata. Jokainen päätöksenteon taso on kuitenkin yhteydessä toisiinsa. Strategisen tason päätökset viittaavat pidemmän aikavälin tavoitteisiin ja suuntaviivoihin. Taktisen ja operatiivisen tason päätösten tulisi kulkea linjassa näiden korkeamman tason päätösten kanssa ja mahdollistaa esimerkiksi strategian toteutumisen. Kaikki päätöksentekotasot kulkevat käsikädessä toistensa kanssa. (Huotari 2019; Danielak & Niewiadomski 2022)

2.1.2 Strateginen päätöksenteko ja tiedolla johtaminen

Strateginen johtaminen luo organisaation suunnan ja mahdollistaa pitkän aikavälin menestyksen (Vuorinen 2013). Strategisella päätöksenteolla viitataan usein sellaisiin ylimmän johdon tekemiin päätöksiin, joilla on kriittinen vaikutus organisaation kilpailukykyyn ja selviytymiseen (Vesiluoma 2013). Tässä tutkimuksessa tarkastelun kohteena on julkishallinnon organisaatio, jolle kilpailukyky ei ole niinkään olennaista, sillä varsinaista kilpailua vastaavien toimijoiden kanssa ei ole. Sen sijaan julkisissa organisaatioissa strateginen päätöksenteko keskittyy muun muassa toiminnan tehostamisen, vaikuttavuuden sekä tuottavuuden edistämiseen (Höglund et al. 2018). Strategiset päätökset ovat osa organisaation strategian laadintaa ja ne hahmottavat organisaation tulevaisuudenkuvaa pitkällä aikajänteellä (Vesiluoma 2013). Strategiaa voidaan pitää organisaation kaiken toiminnan lähtökohdana, sillä se luo raamit kaikelle muulle johtamistyölle ja sitä myöden työntekijöiden rooleille ja tehtäville (Vuorinen 2013). Toisin sanoen strateginen päätöksenteko viittaa organisaation tärkeisiin päätöksiin sen tulevaisuudesta ja toiminnasta, ohjaten samalla organisaation resurssien käyttöä (Vesiluoma 2013).

Päätöksenteon pitäisi perustua tietoon (Vesiluoma 2013). Käytännössä kuitenkin päätöksiä tehdään rajoittuneen rationaalisuuden puitteissa, sillä tieto ja siitä tehdyt päätelmät ovat aina jossain määrin puutteellisia (Vesiluoma 2013; Giampaoli 2019). Intuutiolla on myös merkittävä roolinsa päätöksenteossa. Intuutiolla ei tarkoiteta arvailua, vaan se on osa faktapohjaista päätöksentekoa ja perustuu päätöksentekijän aiempaan tietoon ja kokemukseen (Giampaoli 2019). Päätelmien tekeminen eri päätöksenteon tasoilla eroaa toisistaan. Operatiivisella tasolla päätöksenteko edellyttää analyyseja jopa hyvin yksityiskohtaisella tasolla. Strategisessa päätöksenteossa sen sijaan on kyettävä tekemään rationaalisia päätöksiä osittain jopa ristiriitaiseen tai puutteelliseen tietoon perustuen. (Karlöf & Lövingsson 2005, s. 372) Karlöf ja Lövingsson (2005, s. 372) puhuvat tässä yhteydessä kvalitatiivisesta synteisistä, joka on strategisessa ajattelussa keskeistä. On tärkeää huomata, että eri tasojen päätöksenteko perustuu erilaiseen tietoon ja päätelmiin. Operatiiviset päätökset voivat perustua hyvin yksityiskohtaiseen, kvantitatiiviseen analyysiin. Sen sijaan strategiset päätökset voivat perustua enemmän laadulliseen, monipuolisista lähteistä koottuun analyysiin ja päätelmiin, jossa myös intuutiolla on roolinsa.

Tietoperusteisessa päätöksenteossa voidaan puhua tiedolla johtamisesta. Tiedolla johtamisella tarkoitetaan toimintatapoja tiedon jalostamiseksi ja hyödyntämiseksi organisaation johtamisessa. Toisin sanoen se tarkoittaa tiedon hyödyntämistä päätöksenteossa. Toinen läheinen termi tiedolla johtamiselle on tiedon johtaminen. Tiedon johtamisella tarkoitetaan esimerkiksi tietovarantojen ja -virtojen hallintaa, sekä uuden tiedon luomista ja organisaation oppimista (Laihonen et al. 2013) Tiedolla johtaminen on olennainen osa päätöksentekoa kaikilla tasoilla, vaikka päätöksenteon tietotarpeet voivat merkittävästi erota toisistaan.

Tiedolla johtaminen on keskiössä, kun tiedosta luodaan arvoa päätöksenteossa (Laihonen et al. 2013; Giampaoli et al. 2019). Tiedolla johtamisen voidaan nähdä olevan osa koko organisaation toimintaa, sillä jokainen työntekijä hyödyntää tietoa työssään ja luo siitä arvoa. Tiedolla johtamisen onnistumisen edellytyksenä on, että siihen liittyvät prosessit ovat linkitettyjä organisaation muuhun toimintaan. Tietoon liittyvät prosessit, kuten tiedon luominen, kerääminen ja säilöminen, tulisi olla yhteisesti koko organisaation vastuulla. Tämä on edellytys sille, että tiedosta voidaan luoda arvoa ja tiedolla johtaminen voi olla systemaattista. Kun tietoprosessit ovat kunnossa, on päätöksentekijällä paremmat edellytykset tiedon hyödyntämiseen päätöksenteossa. Tällöin on mahdollista tunnistaa ja analysoida vaihtoehtoisia ratkaisuja päätöksentekotilanteessa perustuen relevanttiin ja oikea-aikaiseen tietoon. Perustellut päätökset, jotka perustuvat oikeaan tietoon, ovat edellytyksiä organisaation toiminnan kehittämiseksi sekä menestymiselle. (Laihonen

et al. 2013) Tämän vuoksi tiedolla johtamisella on tärkeä rooli myös strategisessa päätöksenteossa.

2.1.3 Strateginen päätöksenteko infra-alalla

Infrastrukturi on monimutkainen kokonaisuus verkostoja ja järjestelmiä, jotka eivät toimi eristyksissä toisistaan vaan vaikuttavat toisiinsa ja ovat eri osien vaikutusten alaisena (Baker & Mahmood 2012). Tällaisissa kompleksisissa julkisen palvelun järjestelmissä päätöksenteko on usein haastavaa, sillä järjestelmän laajuuden lisäksi niihin usein liittyy monia sidosryhmiä. Päätöksenteossa tulee huomioida kompleksisen järjestelmän lisäksi monipuolisesti eri sidosryhmät. (Meek & Rhodes 2014) On tärkeää huomata, että julkisissa infra-alan organisaatioissa toimintaa ja päätöksiä ohjaavat monien muiden sidosryhmien lisäksi myös politiikka ja lainsäädäntö (Störmer et al. 2009; Joyce 2015). Schraven et al. (2011) tunnistivat tutkimuksessaan, että infra-alaa käsittelevät tutkimukset saattavat usein pitää infrastruktuurin tavoitteita itsestään selvinä. Infran tavoitteet viittaavat infrastruktuuriin liittyvän päätöksenteon strategiseen puoleen. Infra-alan päätöksentekoa tutkittaessa tarkastelu rajautuu usein muihin kuin strategiseen tasoon, eli operatiiviseen tai taktiseen päätöksentekoon. Strateginen päätöksenteko on kuitenkin olennainen osa infrastruktuuria, sillä se määrittää toiminnan tavoitteet ja suuntaviivat. Tässä tutkimuksessa keskitytään julkiseen infra-alan organisaatioon, mikä rajaa tarkastelun julkisen sektorin puolelle.

Strateginen päätöksenteko julkisella sektorilla eroaa yksityisen sektorin päätöksenteosta (Joyce 2015; Höglund et al. 2018). Koska infra-alan strategista päätöksentekoa käsitteleviä tutkimuksia on melko niukasti, tarkastellaan tässä lisäksi yleisemmältä tasolta julkisen sektorin strategista päätöksentekoa. Strategista päätöksentekoa on tutkittu vielä suhteellisen vähän myös tällä tasolla, vaikka kyseinen tutkimusala on kasvanut viime vuosien aikana. Vuosien varrella strategista päätöksentekoa on tutkittu enemmän yksityisen sektorin näkökulmasta, jossa korostuvat esimerkiksi kasvu, tuloksellisuus ja kilpailukyky. Nämä tekijät eivät ole julkisella sektorilla samalla tavalla olennaisia kuin yksityisellä. Tämän vuoksi yksityisen sektorin strategisen päätöksenteon oppeja ei voida suoraan hyödyntää julkisella sektorilla. Julkisen sektorin organisaatioissa strategisen päätöksenteon yhtenä kulmakivenä on erityisesti arvon luonti väestölle tai julkisen palvelun käyttäjille, kuten infran käyttäjille. (Höglund et al. 2018)

Infra-alan tutkimuksissa saatetaan keskittyä enemmän muihin kuin strategisen päätöksenteon tasoon. Kuitenkin kaikilla päätöksenteon tasoilla on tärkeä rooli myös strategisesta näkökulmasta. Kuten päätöksenteon tasoja kuvaavassa alaluvussa (2.1.1) todet-

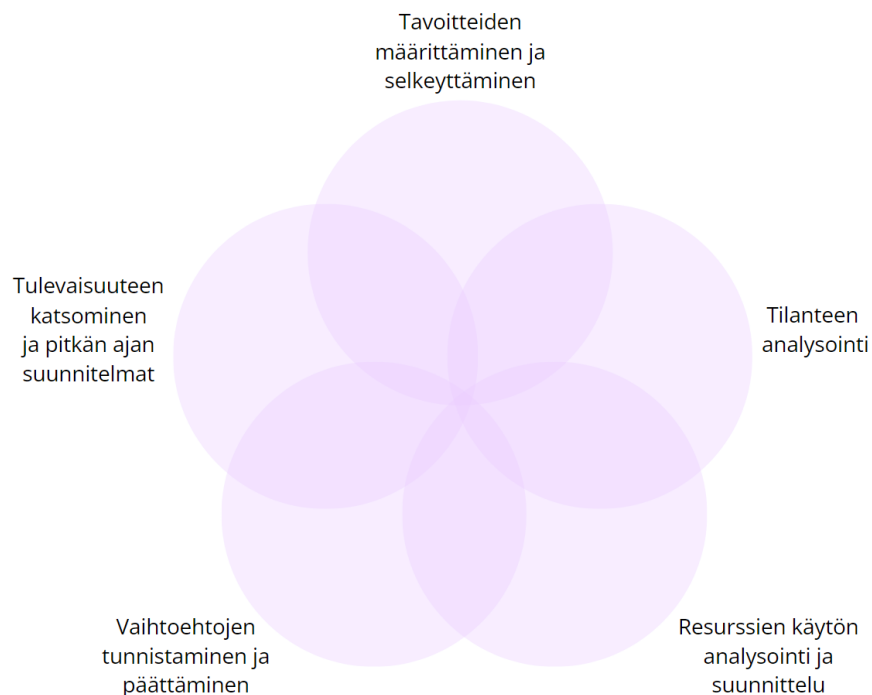
tiin, eri tasoilla tehtävät päätökset liittyvät tiiviisti toisiinsa. Infrastruktuuriin liittyvässä päätöksenteossa keskitytään usein infran suorituskykyyn ja kuntoon sekä näihin liittyviin mittareihin. Suorituskyvyn ja kunnon seuranta on tärkeää, jotta infran nykytilanteesta ja ajan mittaan kehittyvästä tilasta saadaan hyvä käsitys. Infran nykytilanteen ja kehityksen tunnistaminen heijastelee infrastruktuurin tavoitteita, jotka ovat osa strategista päätöksentekoa. (Schraven et al. 2011) Strategisessa päätöksenteossa asetetut tavoitteet infrastruktuurille ovat kaiken muun toiminnan perustana, kuten edellä mainittiin. Esimerkiksi, kun väylien laatuvaatimukset on asetettu, on kunnossapitoa koskevien päätösten tekemiseen paremmat perusteet. Sitä myöden voidaan myös selvittää väylien nykytilannetta ja tarvittavia toimenpiteitä niiden kunnostamiseksi tavoitteita vastaavasti (Schraven et al. 2011).

Strategiset päätökset viittaavat usein pitkän aikavälin tavoitteisiin. Infra-alalla päätöksentekoa on kuitenkin kyettävä tekemään huomioiden jatkuvasti muuttuva toimintaympäristö (Schraven et al. 2011). Toimintaympäristön muutokset haastavat pitkäjänteistä tavoitteenasetantaa, minkä vuoksi organisaation on kyettävä muuttamaan strategiaansa toimintaympäristön mukana (Vesiluoma 2013). Koska strateginen päätöksenteko on tulevaisuusorientoitunutta, on ennakkoinnilla nähty olevan hyötyä tällaisessa päätöksenteossa. Ennakointi tukee nousevien trendien ja muutosten havaitsemista sekä arvioimista ajoissa (Störmer et al. 2009). Ennakoinnissa voidaan hyödyntää esimerkiksi erilaisten skenaarioiden arviointia. Skenaarioiden avulla kyetään arvioimaan mahdollisia tulevaisuudentiloja sekä eri toimien ja tekijöiden vaikutuksia. Näiden arviointi auttaa vaihtoehtoisten ratkaisumallien tarkastelua sekä optimaalisimman ratkaisun löytämistä (Störmer et al. 2009; Vesiluoma 2013). Muun muassa tämän jatkuvasti muuttuvan toimintaympäristön vuoksi strateginen johtaminen ei ole yhtenäinen prosessi. Vaikka strategiset päätökset määrittävät pidemmän aikavälin toimintaa, on strategiaa kehitettävä jatkuvasti.

Julkisen sektorin organisaatiossa on huomioitava tietyt rajoitteet, kuten politiikka, joka voi haastaa pidemmän aikavälin strategista suunnittelua. Esimerkiksi neljän vuoden välein järjestettävät vaalit sekä vuosittain asetettu budjetti voivat muuttaa painotuksia pitkäaikaisten tavoitteiden asettamisessa ja saavuttamisessa. Toisaalta julkisella sektorilla pitkäaikaisten strategisten tavoitteiden asettamista haastaa myös se, mistä kaikesta organisaatiossa on päätäntävaltaa. Lisäksi julkisten organisaatioiden on toisinaan nähty olevan enemmän reaktiivisia kuin proaktiivisia strategisessa työssään. Yksityistä sektoria koskevat strategisen johtamisen kirjallisuuslähteet usein korostavat proaktiivista otetta strategiatyöhön, jolloin toiminta tavoittelee ennakkointia ja ongelmien ennaltaehkäisyä. Reaktiivisessa toiminnassa sen sijaan vastataan käsillä olevaan tilanteeseen ja

toiminta on enemmän operatiivista kuin strategista. Esimerkiksi Ruotsin liikennevirastossa strategisen johtamisen on nähty olevan enemmän reaktiivista kuin proaktiivista, mikä ei vastaa kirjallisuudessa esiintyviä strategisen johtamisen tavoitteita. (Höglund et al. 2018) Julkisella sektorilla monet ulkoiset tekijät saattavat vaikuttaa siihen, että strateginen päätöksenteko on reaktiivisempaa. Siitä huolimatta proaktiivista lähestymistapaa korostetaan tärkeänä osana strategista päätöksentekoa.

Joyce (2015) kuvaa teoksessaan, mitä strateginen päätöksenteko julkisen sektorin organisaatioissa pitää sisällään. Hänen mukaansa strategiseen päätöksentekoon sisältyy tavoitteiden määrittäminen ja selkeyttäminen, tilanteen analysointi, resurssien käytön analysointi ja suunnittelu, vaihtoehtojen ratkaisujen tunnistaminen ja niiden keskuudesta päättäminen toteutettavuuden ja muiden kriteerien mukaan, sekä tulevaisuuteen katsominen ja pitkän aikavälin tulosten suunnittelu. Joyce (2015) on esittänyt nämä strategiset päätökset Kuva 2 mukaisesti.



Kuva 2 Strategiset päätökset julkisen sektorin organisaatioissa yleisellä tasolla (muokailen Joyce 2015)

Joycen (2015) kuvaamat strategiset päätökset Kuva 2 tiivistävät julkisen sektorin organisaatioiden strategisen päätöksenteon. Vaikka julkisten organisaatioiden strategiseen päätöksentekoon sisältyy monia tekijöitä, jotka haastavat sitä eri tavalla kuin yksityisellä sektorilla, on strategisilla päätöksillä erittäin tärkeä rooli. Strategisten päätösten tehtävänä on ohjata kaikkea organisaation toimintaa (Schraven et al. 2011). Infra-alalla stra-

tegiset päätökset ovat erityisesti tulevaisuuden tavoitteita infrastruktuurin suhteen. Strategisessa päätöksenteossa saatetaan tehdä esimerkiksi sellaisia päätöksiä, jotka koskevat infran suorituskykyä, tarkoituksenmukaisuutta sekä kestävyyttä sen elinkaaren aikana. Nämä asettavat suuntaviivat kaikelle muulle toiminnalle. (Störmer et al. 2009)

2.2 Infraomaisuuden hallinta

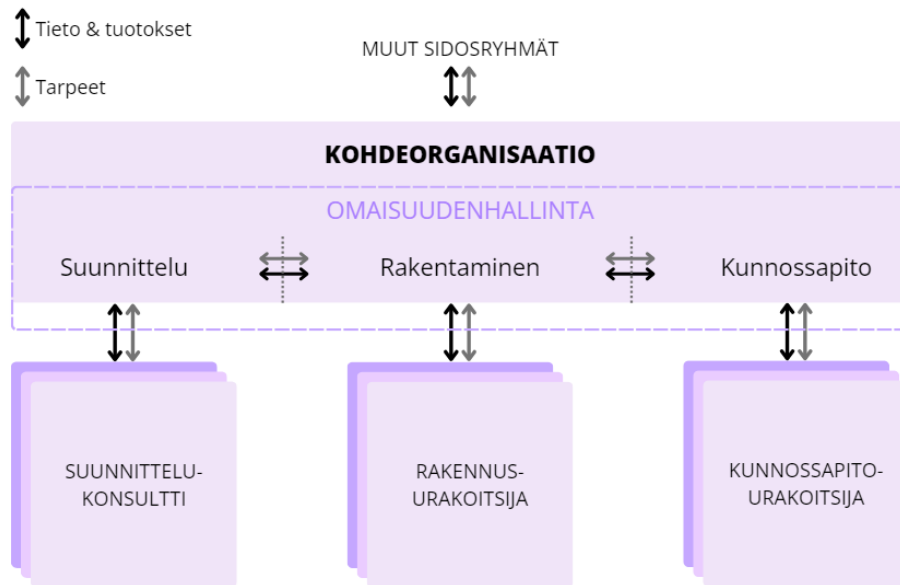
2.2.1 Mitä on omaisuudenhallinta infra-alalla?

Infra-alan organisaatiot ovat omaisuusvaltaisia organisaatioita (Almeida et al. 2022), joiden omaisuus muodostuu esimerkiksi fyysisestä infraomaisuudesta. Kansainvälisen ISO55000-standardin mukaan ”*omaisuudella tarkoitetaan kohteita, asioita tai kokonaisuuksia, joilla on tai voi olla arvoa organisaatiolle*” (SFS-ISO 55000:2014, s. 10). Tämä arvo voi olla aineetonta tai aineellista ja taloudellista tai ei-taloudellista. Lisäksi omaisuuden tuottama arvo voi vaihdella organisaation ja sen sidosryhmien välillä. (SFS-ISO 55000:2014, s. 10) Infra-alan organisaation fyysistä infraomaisuutta on infrastruktuuri, joka koostuu yhteiskunnan päivittäisen toiminnan mahdollistavista rakenteista, kuten tie-, rata- ja vesiväylistä, vesihuolto- ja sähköverkostoista sekä virkistysalueista (Saarnikko 2016). Omaisuusvaltaisen infraorganisaation toiminta perustuu pääasiassa infrastruktuuriin liittyviin kalliisiin ja monimutkaisiin toimiin (Almeida et al. 2022). Omaisuudenhallinnalla on keskeinen rooli näiden toimien toteuttamisessa infra-alan organisaatiossa. Omaisuudenhallinnan päätavoitteena on hallita omaisuutta siten, että se tuottaisi mahdollisimman paljon arvoa organisaatiolle ja sen sidosryhmille (Almeida et al. 2022).

ISO 55000-standardin määritelmän mukaan omaisuudenhallinta on ”*organisaation koordinoitu toiminta, jolla hyödynnetään omaisuuden arvo*” (SFS-ISO 55000:2014, s.36). Hyödynnettävä arvo sekä sen merkitys organisaatiolle ja organisaation sidosryhmille tulisi olla omaisuudenhallintaa toteuttavalle taholle selkeää. Lisäksi omaisuudenhallintajärjestelmän sekä siihen liittyvien toimintojen ja prosessien tulisi kulkea käsi kädessä organisaation muun toiminnan ja järjestelmien kanssa. (SFS-ISO 55002:2018, s.13) Infraomaisuuden hallinnassa olennaista on huomata, että yksittäinen omaisuuskohte harvoin tuottaa arvoa sellaisenaan. Sen sijaan arvo muodostuu esimerkiksi eri kohteiden yhdistelmänä, verkostona tai järjestelmänä. Tämä tarkoittaa, että infrakohteet ovat riippuvaisia toisistaan. (Almeida et al. 2022)

Macchi et al. (2018) kuvaavat omaisuudenhallinnan ensisijaiseksi tavoitteeksi omaisuuden koko elinkaaren aikaisen hallinnan siten, että omaisuus on tämän prosessin keskiössä tuottaen arvoa läpi sen elinkaaren ajan. ISO 55000-standardi määrittelee omaisuuden eliniäksi ajanjakson omaisuuden luomisesta sen käytöstä poistamiseen (SFS-ISO 55000:2014, s. 34). Omaisuudenhallinta kattaa fyysisen omaisuuden koko elinkaaren,

joka sisältää suunnittelun, rakentamisen, käytön, kunnossapidon ja käytöstä poistamisen (Väylävirasto 2022a). Omaisuudenhallintaan liittyvää omaisuuden elinkaarta on esitetty Kuva 3. Kohdeorganisaation omaisuudenhallinta, joka on merkitty kuvaan katkoviivalla, ulottuu osittain keskeisten sidosryhmien välillä jaettuun tietoon ja tuotoksiin. Lisäksi sidosryhmien välisellä yhteistyöllä on vaikutus omaisuudenhallintaan. Myös muilla sidosryhmillä, kuten infran käyttäjillä ja poliittisilla vaikuttajilla on roolinsa prosessissa.



Kuva 3 Kohdeorganisaation ja sen omaisuudenhallinnan toimintaympäristö (perustuu Siuko et al. 2022)

On hyvä huomata, että infra-alan organisaatioita on hyvin erilaisia ja niiden tarpeet ja tavoitteet omaisuudenhallinnan suhteen voivat erota toisistaan. Tämän tutkimuksen kohdeorganisaatio on julkishallinnon toimija, joka vastaa valtion omistamasta väyläverkosta. Kohdeorganisaatiossa omaisuudenhallintaa toteutetaan koko omaisuuden elinkaaren ajan, ja elinkaaren eri vaiheissa tehdään yhteistyötä eri sidosryhmien kanssa. Kuva 3 on esitetty kohdeorganisaation toimintaympäristöä, jossa sidosryhmien välinen yhteistyö omaisuuden elinkaaren aikana on huomioitu. Keskeisten sidosryhmien kohdalla on kuvattu, kuinka tiettyyn elinkaaren vaiheeseen voi liittyä useita saman sidosryhmän edustajia. Esimerkiksi suuremmissa infrahankkeissa voi olla mukana useita konsultteja. Useat sidosryhmät ja omaisuuden elinkaaren vaiheet vaikuttavat kohdeorganisaation omaisuudenhallintaan. Esimerkiksi suunnittelun, rakentamisen ja kunnossapidon vaiheissa tietoa syntyy ja jaetaan eri sidosryhmien välillä (Siuko et al. 2022). Tämä on huomioitava omaisuudenhallinnan toteuttamisessa. Kohdeorganisaatiossa omaisuudenhallinnan tarpeet voivat erota siitä, mitä esimerkiksi pelkkää suunnittelua toteuttavalla infraorganisaatiolla on. Lisäksi omaisuudenhallintaan ja omaisuuden arvoon liittyviä eroja voi olla myös julkisen ja yksityisen sektorin infraorganisaatioiden välillä (Almeida et al. 2022).

Tässä tutkimuksessa keskitytään julkisen sektorin infraomaisuuden hallintaan, joka kattaa omaisuudenhallinnan koko infran elinkaaren ajan.

Arvon tuottamisen lisäksi omaisuudenhallinnan tavoitteena on pyrkiä tasapainoon omaisuuteen liittyvien kustannusten, riskien sekä suorituskyvyn kanssa (Almeida et al. 2022). Kansainvälinen ISO55000-standardi kuvaa omaisuudenhallinnan hyödyiksi esimerkiksi seuraavia: parempi taloudellinen suorituskyky, tietoon perustuvat omaisuussijoituspäätökset, hallinnassa olevat riskit, paremmat palvelut ja tuotokset, sekä parempi tehokkuus ja vaikuttavuus (SFS-ISO 55000:2014, s.10)

2.2.2 Omaisuudenhallinta ja strateginen päätöksenteko

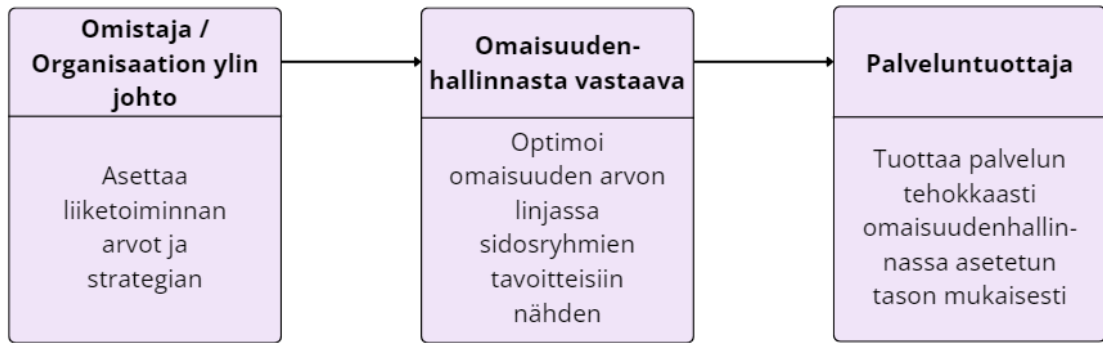
Omaisuudenhallinnassa ensisijaista on korkean tason strategiset tavoitteet, jotka ohjaavat toimintaa. Julkisen sektorin virastoissa strategiset tavoitteet keskittyvät usein esimerkiksi palvelun laatuun, yleiseen saavutettavuuteen sekä alhaiseen hintaan. (Schraven et al. 2011). Näitä strategisia tavoitteita voidaan nimittää myös omaisuudenhallinnan ohjelmiksi tai infran tavoitteiksi. Esimerkki tällaisesta tavoitteesta on päällysteiden kunnon parantaminen. (Schraven et al. 2011). Schraven et al. (2011) toteavat kuitenkin, että nämä korkeamman tason tavoitteet saattavat usein jäädä omaisuudenhallinnan prosesseissa ikään kuin itsestään selviksi olettamiksi, joita ei ole täysin määritelty osana prosessia. Siitä huolimatta omaisuudenhallinnan tavoitteiden tulee olla linjassa organisaation tavoitteiden kanssa. Organisaation tavoitteilla tarkoitetaan strategisella tasolla asetettuja tavoitteita, jotka toimivat viitekehystenä ja suuntaviivoina kaikelle organisaation toiminnalle. (SFS-ISO 55000:2014, s. 30) Nämä ylemmän tason tavoitteet ohjaavat päätöksentekoa omaisuudenhallinnassa. Omaisuudenhallinnan eräs peruseräiteistä on yhdenmukaisuus, jolla tarkoitetaan, että omaisuudenhallinnan tavoitteiden, suunnitelmien ja toimintojen tulee olla linjassa organisaation tavoitteiden kanssa (SFS-ISO 55000:2014, s. 12). Omaisuudenhallinnassa päätöksiä kuitenkin tehdään kaikilla organisaation tasoilla. Päätöksentekoa varten tulisi olla laadittuna viitekehys, joka huomioi kaikki päätöksenteon tasot, eli strategisen, taktisen ja operatiivisen tason. Päätöksenteon viitekehys muodostaa raamit päätöksentekoprosesseille ja -kriteereille, ja sen tarkoitus on helpottaa päätöksentekoa. (SFS-ISO 55002:2018, s. 66)

Monet tutkimukset, jotka käsittelevät omaisuudenhallintaan liittyvää johtamista tai päätöksentekoa tarkastelevat aihetta usein operatiivisen päätöksenteon tasolta. Omaisuudenhallinta on keskeisessä roolissa muun muassa infrastruktuurin kunnossapidossa ja siihen liittyvässä päätöksenteossa (Chen et al. 2015). Kunnossapidossa tehdään usein operatiivista päätöksentekoa, minkä vuoksi omaisuudenhallinta ja siihen liittyvä toiminta

voidaan helposti nähdä operatiivisen tason toimintana. Kuitenkin infran kunnossapitovaiheen omaisuudenhallinnalla on merkittävä vaikutus myös strategisen tason päätöksenteolle. Toimivalla omaisuudenhallinnalla voidaan edistää väylien kunnossapitoon liittyvien, pitkän aikavälin strategioiden kehittämistä. Tämän avulla voidaan taata tehokkaasti ylläpidetty ja toimiva väyläverkosto jatkuvasti kasvavan kysynnän parissa. (Chen et al. 2015) Toisaalta omaisuuden kunnon seuranta, joka on osa omaisuudenhallintaa, kertoo korkeamman tason strategisten tavoitteiden saavuttamisesta ja niiden eteen tehtävien toimenpiteiden tarpeesta (Schraven et al. 2011). Omaisuudenhallinnassa tehdään päätöksiä lisäksi sen suhteen, mitä projekteja toteutetaan ja mihin rahankäyttöä kohdistetaan. Tällaiset päätökset voivat koskea esimerkiksi tiettyjen omaisuuskohteiden korjaustoimenpiteiden tärkeysjärjestyksen määrittämistä. (Schraven et al. 2011) Koska strategisen tason päätökset luovat toiminnan suuntaviivat, myös esimerkiksi kunnossapitoon liittyvissä operatiivisissa päätöksissä voidaan havaita strateginen näkökulma.

Jotta omaisuudenhallinnalla voi olla strateginen rooli, tulisi päätöksenteossa keskittyä proaktiiviseen näkökulmaan reaktiivisen sijasta. Proaktiivisilla toimilla tuetaan organisaation tulevaisuutta esimerkiksi ennusteiden ja suunnitelmien avulla. Strategisella omaisuudenhallinnalla tuetaan lisäksi organisaation pitkäaikaisten tavoitteiden sekä tehokkuuden saavuttamista. Strategisella tulokulmalla edistetään omaisuudenhallinnan toteuttamista siten, että se vastaa paremmin palvelutason tarpeeseen sekä nykyhetkessä että tulevaisuudessa. (Too & Too 2010) Höglund et al. (2018) kuitenkin esittivät joitakin haasteita, joita saattaa esiintyä julkisen sektorin organisaatioissa strategisen johtamisen näkökulmasta. Esimerkiksi monien sidosryhmien sekä lainsäädännön vaikutus pitkäaikaiseen suunnitteluun voivat haastaa proaktiivista strategisen johtamisen lähestymistapaa.

Too ja Too (2010) esittivät omaisuudenhallinnan keskeiset roolit, jotka vaikuttavat omaisuudenhallinnan strategisen näkökulman toteuttamiseen. Nämä on esitetty Kuva 4. Omaisuuden varsinainen omistaja tai organisaation ylin johto (engl. *asset owner*) asettaa strategiset tavoitteet, jotka toimivat suuntaviivoina omaisuudenhallinnalle. Nämä strategiset tavoitteet määrittävät muun muassa omaisuuteen liittyvien kustannusten, riskien sekä suorituskyvyn tason. Varsinaisessa omaisuudenhallinnassa (engl. *asset manager*) keskitytään omaisuuteen liittyviin strategioihin ja päätöksentekoon. Tällä tasolla pyritään optimoimaan omaisuuden arvo sidosryhmien tavoitteiden mukaisesti sekä kohdennetaan rahankäyttöä ja asetetaan omaisuuteen ja sen toteuttamiseen liittyvät tarpeet ja rajoitukset. Palveluntuottaja (engl. *asset provider*), joka tuottaa fyysisen omaisuuden ja siihen liittyvät palvelut, toimii edellisten roolien asettamien tavoitteiden ja rajoitusten mukaisesti. (Too & Too 2010)



Kuva 4 OmaisuuDENhallinnan roolit (mukaillen Too & Too 2010)

OmaisuuDENhallinnassa päätöksenteon tulisi olla tietoperusteista, minkä vuoksi tiedonhallinta on merkittävä osa omaisuuDENhallintaa. (Macchi et al. 2018) OmaisuuDENhallinnassa rakennetusta infraomaisuudesta koottu tieto muodostaa perustan tieto-omaisuudelle. Tieto-omaisuuden avulla voidaan edistää tietoperustaista päätöksentekoa rakennetun omaisuuden tehokkaaseen ja tuottavaan johtamiseen. (Munir et al. 2020). OmaisuuDETiedonhallintaa voidaan siten pitää osana omaisuuDENhallintaa. Se käsittää prosesseja, tekniikoita ja teknologioita, joiden avulla muun muassa kerätään, talletetaan, hallitaan, analysoidaan ja jaetaan omaisuuDETietoa. (Munir et al. 2020) Tehokkaalla ja toimivalla omaisuuDETiedonhallinnalla voidaan edistää omaisuuteen liittyvää tietoperusteista päätöksentekoa, sillä tietoon ja sen hallintaan liittyvät prosessit ovat tärkeässä roolissa päätöksenteon kannalta.

Koska päätöksentekoprosessi on omaisuuDENhallinnan keskiössä, on olennaista tunnistaa omaisuuDENhallinnan tarpeet, joilla päätöksentekoa pystytään tukemaan. Tietoperusteisessa päätöksenteossa tiedolla on merkittävä rooli, mutta tiedon olemassaolon lisäksi on keskeistä kyetä monipuolisesti yhdistelemään tietoa eri lähteistä. Tämän prosessin nopeus on usein myös olennaista, jotta päätöksentekoprosessi voi olla mahdollisimman tehokas. Tiedon keräämisen sekä siihen liittyvien toimien tulisi olla tehokasta. Kaikkea tietoa ei todennäköisesti ole aina saatavilla, mutta päätöksenteon tulisi olla siitä huolimatta mahdollisimman johdonmukaista. Näiden haasteiden vuoksi sujuva tiedonhallinta on keskeistä omaisuuDENhallinnassa. (Macchi et al. 2018) OmaisuuDENhallinnassa päätöksentekoprosessi on kuitenkin monimutkainen, sillä siinä tulee huomioida omaisuuden koko elinkaari ja muun muassa siihen liittyvät kustannukset ja riskit sekä myös sidosryhmät (Chen et al. 2015; Macchi et al. 2018). Päätösten vaikutuksia on siis tarkasteltava omaisuuden koko elinkaaren ajalta (Macchi et al. 2018). Saarnikko (2016) lisää päätöksenteon tavoitteeksi vielä organisaation pitkäaikaisten tavoitteiden huomiointin omaisuuDENhallinnan prosesseissa. OmaisuuDENhallinnan päätöksenteossa on

siis huomioitava organisaation tavoitteiden lisäksi useita eri näkökulmia omaisuuden elinkaareen liittyen ja sen on pohjaututtava kattavaan ja luotettavaan tietoon.

Teknologian kehitys, kuten digitalisaatio, älylaitteet, IoT ja Big data -analytiikka, on aiheuttanut tarpeen tarkastella uudesta näkökulmasta, millainen tieto on relevanttia omaisuudenhallinnassa (Macchi et al. 2018). Erilaisten teknologioiden hyödyntäminen asettaa haasteeksi myös niiden tuottaman monipuolisen tiedon ja erilaisten prosessien yhteensovittamisen omaisuudenhallinnassa (Munir et al. 2020). Usein tiedon puuttuminen ei osoittaudu suureksi haasteeksi, vaan ennemmin tiedon suuri määrä sekä riittämättömät prosessit ja protokollat suurien datamäärien tehokkaaseen hallintaan. Omaisuudenhallinta vaatii siksi selkeän strategian omaisuustiedonhallintaan, jotta tiedolla voidaan tuottaa arvoa organisaatiolle. Omaisuustiedonhallinta pohjautuu laadukkaaseen dataan, joka on täsmällistä, ajantasaista, johdonmukaista ja kattavaa sekä hyödynnettävissä päätöksentekoa varten. (Munir et al. 2020)

Omaisuustiedonhallinnan lisäksi omaisuudenhallintaan sisältyy monia muita kokonaisuuksia. Omaisuudenhallinta on monimutkainen kokoelma erilaisia toimia ja prosesseja, joissa voivat yhdistyä tiedonhallinnan lisäksi muun muassa riskienhallinta, laadunhallinta, kestävä kehitys, henkilöstö, elinkaarikustannuslaskenta sekä järjestelmä- ja ohjelmistosuunnittelu (SFS-ISO 55001:2014, s. 30). Omaisuudenhallintaa haastaa osaltaan sen monipuolisuus. Toisaalta tämän vuoksi omaisuudenhallinnan päätöksenteossa on huomioitava monia eri näkökulmia, jotka ovat osa organisaation strategisia tavoitteita tai vaikuttavat niihin.

2.3 Digitaalinen kaksonen

2.3.1 Digitaalisen kaksosen määritelmä

Digitaalisen kaksosen (engl. *digital twin*) käsite on osittain epäselvä, sillä yksiselitteistä määritelmää ei juurikaan löydy. Tutkittavalla infra-alalla digitaalinen kaksonen on vielä uudehko käsite eikä sen määritelmä ole vielä selkeä (Jiang et al. 2021). Macchi et al. (2018) huomasivat määritelmän puutteellisuuden omassa tutkimuksessaan. Heidän mukaansa selkeän määritelmän puuttuminen saattaa johtua siitä, ettei digitaalista kaksosta usein liitetä tietylle alalle. Sen vuoksi digitaalisen kaksosen määritelmä esiintyy hieman erilaisena eri aloilla. Macchin et al. (2018) mukaan digitaalisen kaksosen tausta on lähtöisin ilmailu- ja avaruusosalta, jossa muun muassa simulaatioiden, historiatietojen, sensoridatan ja ylläpitotietojen avulla pyrittiin peilaamaan todellisen ilma-aluksen elinkaarta. Tavoitteena oli ymmärtää, millaisia kokemuksia alus voi kohdata, sekä ennustaa sen mahdollisia rikkoutumisia ja tarpeita. Digitaalisen kaksosen ensimmäinen virallinen määritelmä on Nasan julkaisema. Robotiikkaan digitaalista kaksosta alettiin hyödyntämään

työkaluna, jonka avulla algoritmeja voidaan optimoida kehitysvaiheessa. Teollisuudessa digitaalisen kaksosen tavoitteena on simuloida tuotantoprosessien monimutkaista käyttäytymistä sisällyttäen siihen myös ulkoiset vaikutteet kuten työntekijät ja tekniset rajoitteet. (Macchi et al. 2018)

Macchi et al. (2018) kuvailivat digitaalisen kaksosen jonkin systeemin tai järjestelmän elinkaaren aikaisena digitaalisena vastineena. Digitaalinen kaksonen on virtuaalinen kokonaisuus, joka pohjautuu eri teknologioiden keräämään ja tuottamaan dataan sekä laadukkaaseen data-analytiikkaan. Koska digitaalinen kaksonen muodostuu suuresta, jatkuvasti päivittyvästä määrästä dataa, puhutaan Big data -analytiikasta. (Macchi et al. 2018; Lu et al. 2020) Tämän virtuaalisen kokonaisuuden tavoitteena on mahdollistaa todellisen järjestelmän optimointi sekä siihen liittyvä päätöksenteko. Kokonaisuudessaan digitaalinen kaksonen voi käsittää kaiken fyysisestä maailmasta. Digitaalisen kaksosen käsite menee osittain päällekkäin edistyneen simulaation kanssa. (Macchi et al. 2018) Lu et al. (2020) laajentavat edeltävää määritelmää siten, että digitaalinen kaksonen yhdistää tekoälyn, koneoppimisen sekä data-analytiikan luodakseen ”*elävän digitaalisen simulaatiomallin*”. Tähän määritelmään sisältyy näkemys siitä, että digitaalinen kaksonen oppii ja päivittyy useista lähteistä saamansa tiedon perusteella ja kykenee siten esittämään sekä ennustamaan fyysisen vastinkappaleensa nykyistä ja tulevaa tilaa (Lu et al. 2020).

Infra-alalle digitaalinen kaksonen on saapunut viime vuosien aikana, mutta sen tarjoamia mahdollisuuksia ei ole vielä täysin tunnistettu (Jiang et al. 2021). Digitaalisen kaksosen yhteydessä puhutaan usein BIM:stä (*Building Information Modelling*) eli tietomallinnuksesta (esim. Lu et al. 2020; Munir et al. 2020; Kaewunruen et al. 2023). Digitaalisen kaksosen käsitettä ja hyötyjä voidaan lähestyä BIM:in kautta. Joissakin määritelmissä BIM:in kypsyystasoissa BIM:iä seuraavalla tasolla on digitaalinen kaksonen (Kaewunruen et al. 2023). Kaewunruen et al. (2023) esittivät tutkimuksessaan UK:n BIM-tasojen mukailevan kypsyystasomallin (kts. BS-ISO 19650-1:2018). Kuva 5 on esitetty näitä kypsyystasojen mukaileva malli. Mallin mukaan BIM sijoittuu kypsyystasojen toiselle tasolle, jota edeltävät CAD-piirroksien sekä 2D- ja 3D-mallit. Ylemmillä tasoilla on digitaalinen kaksonen. Kaewunruenin et al. (2023) mukaan digitaalinen kaksonen voidaan jakaa vielä useammalle tasolle sen perusteella, kuinka monipuolisesti dataa yhdistellään ja hyödynnetään eri käyttötarkoituksiin tai millainen automatisaation taso digitaaliseen kaksoseseen liittyy. BIM:in ja digitaalisen kaksosen ero tasojen kaksi ja kolme välissä jää Kaewunruenin et al. (2023) mallista kuitenkin hieman epäselväksi. Artikkelissa (Kaewunruen et al. 2023) tasolla kolme mainitaan digitaalisen kaksosen lisäksi iBIM, jonka mer-

kitystä ei kuitenkaan ole avattu. Tämän oletetaan tarkoittavan edistyneempää tietomallinnusta, joka ei kuitenkaan vastaa muussa kirjallisuudessa esiintyvää digitaalisen kaksosen määritelmää. Tämän vuoksi Kuva 5 digitaalinen kaksosen on sijoitettu tasojen 3 sekä 4/5 väliin. BIM:in ja digitaalisen kaksosen ero jää tästä kypsyytstasomallista hieman epäselväksi, mutta digitaalisen kaksosen määritelmä usein vastaa tämän kuvan mukaista tasoa 4/5. Siirtymä BIM:stä digitaaliseen kaksoseen sijoittuu siis johonkin kypsyytstasojen 3–5 väliin. Ylimmällä digitaalisen kaksosen tasolla on hyödynnetty automaatiota, kuten koneoppimista ja tekoälyä päätöksenteon tueksi (Kaewunruen et al. 2023).

Tiedon ulottuvuudet:

2D: leveys, pituus

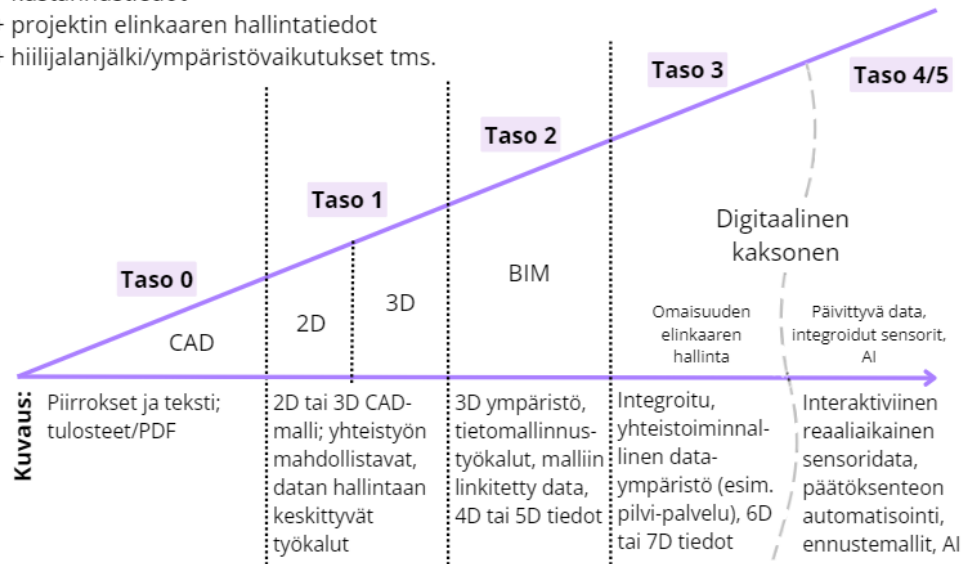
3D: + syvyys

4D: + rakentamisen ajanjaksot

5D: + kustannustiedot

6D: + projektin elinkaaren hallintatiedot

7D: + hiilijalanjälki/ympäristövaikutukset tms.



Kuva 5 BIM-kypsyytstasot Kaewunruen et al. (2023) mukaan

Kaewunruen et al. (2023) puhuvat kypsyytstasojen yhteydessä tiedon ulottuvuuksista tai dimensioista, jotka on esitetty myös Kuva 5. Tiedon dimensiot kasvavat, kun siirrytään kypsyytstasoilla ylemmäs. BIM ja digitaalinen kaksosen sisältävät usein perinteisen 3D-mallin lisäksi rakentamiseen liittyvää tietoa (4D) ja kustannustietoja (5D). Ylemmillä tasoina voi lisäksi olla esimerkiksi projektin elinkaaren hallinnan tietoja (6D) sekä 7D-tietoja, kuten tietoa hiilijalanjäljestä tai ympäristövaikutuksista. Datan monipuolisuus siis kasvaa kypsyytstasoilla edettäessä. Tästä määritelmästä on huomioitavaa, että tiedon dimensiot eivät välttämättä käsitä juuri näitä mainittuja tietosisältöjä. Sen sijaan tiedon dimensiot kuvaavat sitä, että edistyneempään malliin sisältyy enemmän tietoa.

Jiang et al. (2021) määrittivät tutkimuksessaan BIM:in ja digitaalisen kaksosen eron. Heidän mukaansa merkittävin ero on siinä, että digitaalinen kaksosen vaatii fyysisen

vastinparinsa ja se lisäksi korostaa fyysisen ja digitaalisen version yhteyttä toisiinsa. BIM-malli sen sijaan voidaan laatia jostakin, jota ei ole olemassa tai ei ole vielä rakennettu. Digitaalista kaksosta ei voi tällaisessa tilanteessa olla, sillä se vaatii fyysisen kaksosparinsa, johon se on ajantasaisesti linkitetty. Lisäksi Jiang et al. (2021) puhuvat digitaaliseen kaksoseen liittyvästä kaksossuhteesta (engl. *twin relationship*). Tällä he tarkoittavat, että jokaisella fyysisellä osalla tulisi olla virtuaalinen vastine ja toisinpäin. Jiang et al. (2021) kuitenkin huomauttavat, että fyysisessä todellisuudessa tilanteet ja ympäristö muuttuvat ja virtuaalinen kaksonen tai data ja yhteydet voivat yhtä lailla muuttua, joten digitaalisen kaksosen on haastavaa kopioida täydellisesti sen fyysistä kaksostaan, mutta kaksossuhde on silti olemassa. Eli digitaaliseen kaksoseen liittyy aina tietynlainen epävarmuus. BIM:in ja digitaalisen kaksosen eroista huolimatta, on hyvä huomioda, että nämä eivät välttämättä ole toisistaan erillisiä teknologioita, vaan BIM voi esimerkiksi olla osa digitaalista kaksosta (Jiang et al. 2021).

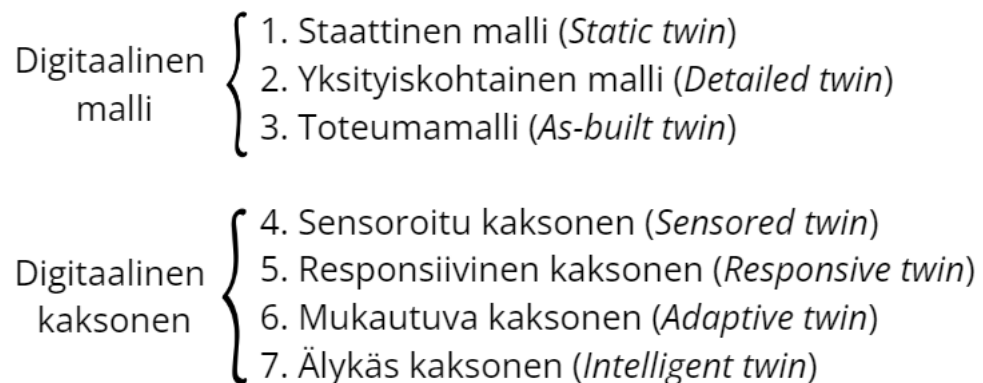


Kuva 6 Digitaalisen kaksosen keskeiset elementit ja periaatteet

Kuva 6 on esitetty yhteenveto digitaalisen kaksosen määritelmästä kirjallisuuslähteiden perusteella. Keskeistä digitaaliselle kaksoselle on eri lähteistä kerätyn ja tuotetun datan yhdistely ja analysointi. Digitaalinen kaksonen on kopio fyysisen todellisuuden järjestelmästä ja se huomioi myös fyysisen vastinparinsa ulkoiset tekijät. Digitaaliselle kaksoselle on ominaista, että se on ajantasaisesti linkitetty fyysiseen vastinpariinsa, mikä usein tarkoittaa reaaliaikaisesti, sensorien avulla kerättyä dataa. Digitaalinen kaksonen kuvaavaa järjestelmän nykytilaa, mutta se kykenee myös ennustamaan järjestelmän tulevaa tilaa. Eri lähteistä kerätyn datan sekä tekoälyn ja koneoppimisen avulla digitaalinen kaksonen ky-

kenee oppimaan ja päivittymään sekä laatimaan ennustemalleja ja simulaatioita järjestelmästä. Digitaaliselle kaksoselle on ennustemallien lisäksi olennaista kyky mahdollistaa todellisen järjestelmän optimointi sekä siihen liittyvä päätöksenteko.

Digitaalista kaksosta on pyritty määrittelemään myös kohdeorganisaatiossa. Kohdeorganisaation määrittelytyössä on käsitelty digitaalisen kaksosen kypsyytasoja sekä niiden käsitystä organisaatiolle. Kypsyytasojen avulla on esitetty myös digitaalisen mallin ja digitaalisen kaksosen ero kohdeorganisaation määrittelytyön näkökulmasta. Kolme alinta kypsyytasoja määriteltiin digitaalisiksi malliksi, ja neljä ylintä tasoa digitaalisiksi kaksosiksi. Määrittelytyössä esitetyt kypsyytasot ovat nähtävillä Kuva 7. Määrittelytyössä esitettiin englanninkieliset termit, joille on tätä tutkimusta varten **Virhe. Viitteen lähdeä ei löytenyt**. laadittu karkeasti suomennetut vastineet.



Kuva 7 Kohdeorganisaatiossa esitetyt digitaalisen kaksosen kypsyytasot (ei viralliset suomennokset)

Merkittävin ero näiden Kuva 7 esiintyvien kypsyytasojen välillä on tiedon keräämiseen ja siirtoon liittyvässä automatisaatiossa sekä mallin älykkyydessä. Kun tiedon keräämiseen liittyy automatisaatiota, voidaan puhua digitaalisesta kaksosesta. Tietoa kerätään automaattisesti esimerkiksi sensoreiden avulla fyysisestä todellisuudesta virtuaaliseen versioon. Korkeammalla kypsyytastolla digitaalinen kaksonen hyödyntää tekoälyä, joka simuloi erilaisia skenaarioita ja suorittaa toimintoja. Ylimmän kypsyytason digitaalinen kaksonen (*intelligent twin*) on itseoppiva systeemi, joka voi toimia täysin automaattisesti. Näitä määritelmiä ja kuvauksia on hyödynnetty kohdeorganisaatiossa digitaalisen kaksosen määrittelytyössä. Termien suomennokset eivät kuitenkaan ole virallisia.

2.3.2 Digitaalisen kaksosen hyötyjä infraomaisuudenhallinnassa

Digitaalisella kaksosella on tunnistettu olevan joitakin keskeisiä tavoitteita, joista voi olla merkittävää hyötyä myös infra-alalla. Digitaalisella kaksosella tavoitellaan esimerkiksi parempaa ylläpitoon liittyvää päätöksentekoa, elinkaaren kuvausta sekä siihen liittyvää

päätöksentekoa, parempaa tietoon perustuvaa päätöksentekoa sekä optimointia. (Machi et al. 2018) Infra-alalla digitaalisella kaksosella voisi olla merkittävää potentiaalia esimerkiksi omaisuudenhallinnassa, mutta nämä mahdollisuudet ovat vielä heikosti hyödynnettyjä. Lu et al. (2020) toteavat tutkimuksessaan, että digitaalisen kaksosen hyödyntäminen infraomaisuuden osalta on hyvin varhaisessa vaiheessa. Heidän mukaansa vielä vähemmän huomiota on saanut käytön ja kunnossapidon vaihe, joka on omaisuuden elinkaaren pisin vaihe.

Koska BIM:llä ja digitaalisella kaksosella on joitakin yhtäläisyyksiä, voi digitaalisella kaksosella olla samankaltaisia hyötyjä kuin tietomallinnuksella. BIM ei itsessään tuota arvoa organisaatiolle tai sen omaisuudenhallinnalle, vaan se on liitännäinen useisiin muihin prosesseihin, joiden avulla BIM:in arvo voidaan realisoida (Munir et al. 2020). BIM tarjoaa merkittävää hyötyä erityisesti suunnittelun ja rakentamisen vaiheisiin, mutta myös omaisuudenhallinnan myöhemmissä vaiheissa se voi tuottaa suurta arvoa liiketoiminnalle (Munir et al. 2020). BIM:in hyötyjä voivat olla esimerkiksi mutkattomampi kommunikointi sidosryhmien kanssa. Tämä mahdollistuu, kun datan keräämisen, analysoinnin ja raportoinnin työkalut ovat kehittyneempiä ja teknologiat edistävät tiedon jakamista. BIM-järjestelmät mahdollistavat datan yhdistämisen ja siten vähentävät eri järjestelmien ja organisaatioiden välisiä tiedonjakamisen haasteita. Muun muassa ylläpitoon liittyvien toimien automatisointi voi olla eräs tietomallinnuksen merkittävä hyöty. Lisäksi BIM:in tarjoaman optimoinnin avulla voidaan saavuttaa entistä enemmän hyötyjä kaikille osapuolille, kun toiminta tehostuu, kulut pienevät ja laatu paranee. BIM mahdollistaa myös helpomman datan visualisoinnin, jonka ansiosta yhteenvetoraporttien ymmärtäminen helpottuu. Sitä myöden tietoon perustuvien päätösten teko onnistuu aiempaa sujuvammin. (Munir et al. 2020)

Mahdollisia hyötyjä, joita digitaalinen kaksonen voi tuoda omaisuudenhallintaan on esimerkiksi poikkeavuuksien havaitseminen reaaliaikaisen sensoridatan avulla, mikä voi edistää kunnossapitoon liittyvää päätöksentekoa (Lu et al. 2020; Jiang et al. 2021). Sensoreiden keräämän datan avulla digitaalinen kaksonen voi tuottaa reaaliaikaisen tilannekuvan fyysisestä infrasta, josta voi olla hyötyä monessa tilanteessa (Jiang et al. 2021). Kaewunruen et al. (2023) tunnistivat rautatiesillan digitaalista kaksosta käsitellessä tutkimuksessaan, että digitaalisen kaksosen avulla omaisuudenhallinnassa voidaan kasvattaa resilienssiä, kestävyyttä ja riskien tunnistamista. Digitaalisen kaksosen avulla voitiin seurata sillan kuntoa ja esimerkiksi paikantaa tarkasti sillalla ilmenneet viat. Lisäksi voitiin tuottaa ja jakaa ajantasaista tietoa sillan kunnosta sensorien keräämän datan avulla. Näiden avulla pystyttiin jakamaan ja visualisoimaan sidosryhmille tärkeää tietoa,

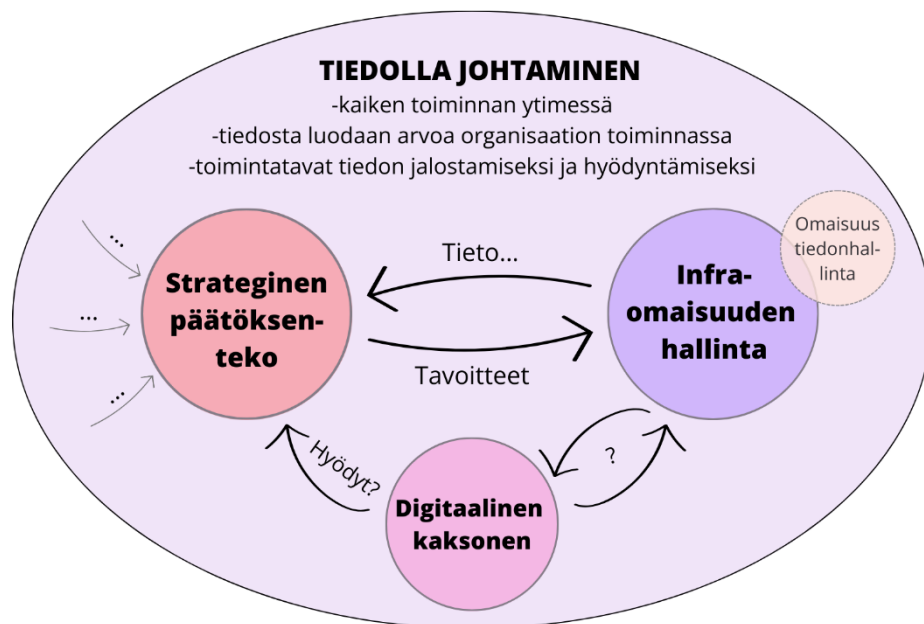
jonka perusteella havaittiin mahdollisia teknisiä ongelmia ja kyettiin tehokkaasti priorisoimaan kunnossapidon toimenpiteitä. Jiang et al. (2021) korostivat myös, että omaisuudenhallinnassa digitaalinen kaksonen voi edistää dataan perustuvaa analyysiä ja sitä kautta diagnooseja ja päätöksentekoa.

Digitaalisen kaksosen mallien ja datan avulla voidaan laatia laskelmia ja analyyskejä esimerkiksi tiettyjen ongelmien tunnistamiseksi ja määrittämiseksi. Digitaalinen kaksonen tarjoaa dataa fyysisestä todellisuudesta, jota voidaan monipuolisesti yhdistellä, analysoida sekä arvioida virtuaalisessa ympäristössä. (Jiang et al. 2021; Kaewunruen et al. 2023) Lisäksi digitaalinen kaksonen voi mahdollistaa uudenlaisen visuaalisen ympäristön omaisuudenhallinnan tueksi esimerkiksi VR- tai AR-tekniikan avulla. Näiden todellisesta käytännön hyödyistä ei vielä ole takeita. (Jiang et al. 2021) Digitaalisen kaksosen ja siihen sisältyvän koneoppimisen avulla voidaan kehittää ennustemalleja. Hyödyntämällä edistyneitä ennustemalleja voidaan optimoida ja priorisoida kunnossapidon toimenpiteitä ja muun muassa kohdistaa resurssienkäyttöä tehokkaammin. (Lu et al. 2020) Digitaalinen kaksonen voi mahdollistaa myös elinkaaren aikaisten kustannusten ja päästöjen seuraamisen sekä määrittämisen. Toisaalta digitaalisen kaksosen avulla voidaan jo suunnitteluvaiheessa huomioida kustannusten ja päästöjen vähentäminen. (Kaewunruen et al. 2023)

Digitaalisen kaksosen mahdollisten hyötyjen ohella on tärkeää huomata, että digitaalisen kaksosen toteuttaminen on haastavaa. Infrasta puhuttaessa esimerkiksi jo tiet, radat, sillat ja tunnelit sisältävät monia erilaisia komponentteja, joiden mallintamisessa on huomioitava useita eri asioita. (Jiang et al. 2021) Infran monimutkaisuus aiheuttaa merkittävän haasteen digitaalisen kaksosen mallintamiselle. Toiseksi digitaalisen kaksosen haasteena on useista lähteistä kerättävän datan yhteensovittaminen sekä digitaalisten kaksosten eri käyttötarkoitukset. Digitaalisia kaksosia sekä niitä varten kerättyä dataa voidaan joutua yhdistelemään eri käyttötarkoituksiin. Tämä voi aiheuttaa ongelmia, jos kerätty data on eri muodoissa. (Lu et al. 2020) Infran digitaaliseen kaksoseen voidaan joutua yhdistelemään dataa esimerkiksi liikenteestä ja rakennuksista. Näiden tulisi olla yhteensovitettavassa muodossa. Lun et al. (2020) tutkimuksessa perehdyttiin kaupunkien digitaaliseen kaksoseen. Tämä voi esimerkiksi tarkoittaa infrastruktuurin, rakennuksien sekä vesihuoltojärjestelmien ja sähköverkkojen datan tai digitaalisten kaksosten yhdistämistä. (Lu et al. 2020) Useiden eri teknologioiden ja monipuolisen datan yhdistelyn vuoksi digitaalisen kaksosen toteuttaminen on haastavaa. Toteutuksen jälkeen digitaalisen kaksosen tulee myös olla hyödynnettävissä monipuolisesti eri käyttötarkoituksissa, jotta se oikeasti toimii. (Jiang et al. 2021)

2.4 Miten digitaalinen kaksonen liittyy infraomaisuudenhallintaan ja strategiseen päätöksentekoon?

Tutkimuksen keskeisten käsitteiden yhteys on esitetty alla olevassa Kuva 8. Tiedolla johtaminen on kaikkien käsitteiden taustalla. Se on organisaatiossa osa kaikkea toimintaa. Kaikki organisaation toiminta perustuu jollain tavoin tietoon ja tietoa hyödynnetään toiminnassa sekä päätöksenteossa. Tiedolla johtamisessa hyödynnetään tietoa esimerkiksi päätöksenteon tukena ja tiedosta luodaan arvoa. Siksi tiedolla johtaminen on strategisen päätöksenteon taustalla. Strateginen päätöksenteko asettaa muun muassa tavoitteet infraomaisuudenhallintaan. Infraomaisuuden hallinnasta sen sijaan tuotetaan tietoa strategisen päätöksenteon tueksi. Strategiseen päätöksentekoon tulee syötettä myös muualta, kuten olennaisilta sidosryhmiltä ja politiikasta. Infraomaisuudenhallinnassa tämän tutkimuksen näkökulmasta on olennaista erityisesti omaisuustiedonhallinta, jolla on vahva yhteys tiedolla johtamiseen ja tietoperusteiseen päätöksentekoon.



Kuva 8 Tutkimuksen keskeisten termien välinen yhteys ja tutkimuksen tavoite

Kuva 8 on lisäksi esitetty digitaalinen kaksonen, joka on tutkimuksen neljäs olennainen käsite. Tutkimuksen tavoitteena on tunnistaa, mikä digitaalisen kaksonen ja infraomaisuuden hallinnan yhteys on sekä mitä hyötyjä digitaalinen kaksonen tarjoaa strategiseen päätöksentekoon. Tutkimuksen johtopäätöksissä esitetään vastauksia näihin avoimiin kysymyksiin.

3. TUTKIMUSMETODOLOGIA

3.1 Tutkimusmenetelmä

Tutkimuksen metodologisilla valinnoilla luodaan raamit, joiden puitteissa pyritään vastaamaan tutkimuskysymyksiin. Tutkimusmenetelmien valintaan liittyy monia eri osia aina tutkimusfilosofiasta datan analysointiin. (Saunders et al. 2019) Saundersin et al. (2019) mukaan tutkimuksen metodologisista valinnoista ensimmäisenä pitäisi päättää lähestytäänkö tutkimusta kvalitatiivisena, kvantitatiivisena vai monimenetelmätutkimuksena. Tämä tutkimus toteutettiin kvalitatiivisena, sillä tutkimus on luonteeltaan kartoittava, mikä tarkoittaa, ettei tavoitteena ole löytää täysin yksiselitteistä vastausta tutkimuskysymykseen. Sen sijaan tutkimuksen tavoitteena on tuottaa parempaa ymmärrystä aiheesta, joka on tutkittavalla alalla vielä uusi ja kehittyvä. Kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus vastaa tämän tyylliseen tarpeeseen paremmin, kuin kvantitatiivinen (Saunders et al. 2019).

Tutkimus toteutettiin tapaustutkimuksena kohdeorganisaatiolle ja siinä yhdistettiin kirjallisuus- ja haastattelututkimusta. Laadulliset tutkimukset ovat monesti tapaustutkimuksen kaltaisia, sillä usein niissä tutkitaan näytettä jostakin laajemmasta ilmiöstä. Varsinaisella tapaustutkimuksella viitataan kuitenkin asetelmaan, jossa tutkitaan ilmiötä edustavaa yksittäistä tapausta tai pientä tapausten joukkoa. Tutkimuksen kohteena voi olla esimerkiksi yksilö, organisaatio, ryhmä tai prosessi. Tapaustutkimuksella ei usein voida tuottaa yleistettävää tietoa, sillä tutkimus toteutetaan tietyssä kontekstissa. (Gillham 2000; Vuori n.d. a) Tässä yhteydessä tapaustutkimus on perusteltu valinta, sillä se mahdollistaa tutkittavan ilmiön tarkastelun tutkimuksen rajauksen mukaisessa kontekstissa. Tutkimusongelma rajautuu infra-alalle julkisen sektorin organisaatioon ja omaisuudenhallintaan, minkä vuoksi tutkimuksessa tarkastellaan kriteerit täyttävää tapausta eli kohdeorganisaatiota. Toisaalta, koska tutkimus on luonteeltaan kartoittava, tapaustutkimus sopii erinomaisesti tutkimusmenetelmäksi tuottamaan näkemyksiä tutkittavasta ilmiöstä tuottamatta kuitenkaan täysin yleistettäviä tuloksia. Tapaustutkimuksen haastatteluihin on yhdistetty kirjallisuuskatsaus, joka lisäksi mahdollistaa tutkittavan ilmiön käsitteiden ymmärtämisen. Kirjallisuuskatsaus toimii tutkimuksen teoreettisena viitekehystenä (Vilkkä 2023). Kirjallisuuden avulla saadaan myös hieman yleistävämpää tietoa digitaalisen kaksosen määritelmästä, strategisesta päätöksenteosta ja omaisuudenhallinnasta sekä näiden yhteydestä. Pelkkä kohdeorganisaatiossa toteutettu tapaustutkimus tuottaisi vas-

tauksia vain kohdeorganisaation omaan kontekstiin, jolloin tutkimuksen tuloksia ei voitaisi hyödyntää esimerkiksi infra-alalla laajemmin. Toisaalta kirjallisuuskatsaus mahdollistaa myös uuden tiedon tuottamisen kohdeorganisaatiolle tutkittavasta aiheesta.

Kirjallisuuskatsaus on sisällöltään narratiivisena kirjallisuuskatsauksen tyylinen. Sen tavoitteena on selvittää, mitä tutkittavasta ilmiöstä tiedetään (Vilka 2023). Kirjallisuuskatsauksen toteuttamisessa hyödynnettiin mukailen Finkin (2019) systemaattisen kirjallisuuskatsauksen ohjeita, joita sovellettiin työhön sopivalla tavalla. Finkin (2019, s. 6–7) systemaattisen kirjallisuuskatsauksen malli muodostuu seitsemästä vaiheesta, joita ovat:

1. tutkimuskysymyksen asettaminen,
2. kirjallisuuden ja tietokantojen valinta,
3. hakusanojen valinta,
4. käytännön seulan asettaminen,
5. metodologisen seulan asettaminen,
6. katsauksen suorittaminen sekä
7. synteessin teko.

Kirjallisuuskatsauksen vaiheita ja niiden toteuttamista on avattu tarkemmin seuraavissa alaluvuissa. Kirjallisuuskatsaus toteutettiin tutkimuksen luvussa 2 eli teoriaosuudessa. Tutkimuksen haastatteluosuus toteutettiin puolistrukturoiduilla haastatteluilla kohdeorganisaatiossa. Kohdeorganisaatiosta on kerrottu tarkemmin seuraavassa alaluvussa. Haastattelut ovat olennainen osa tutkimuksen toteutusta, sillä tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa, miten tutkimusongelma koetaan kohdeorganisaatiossa. Haastattelujen avulla saadaan selvitettyä kohdeorganisaation kokemuksia ja nykytilannetta tutkittavasta aiheesta eli digitaalisesta kaksosesta infraomaisuudenhallinnassa ja strategisessa päätöksenteossa. Haastattelututkimuksen vaiheet on avattu kirjallisuuskatsauksen tavoin seuraavissa alaluvuissa. Työn neljännessä luvussa käsitellään haastatteluiden tuloksia. Kirjallisuuskatsauksen tuloksia on tarkasteltu yhdessä haastattelututkimuksen tulosten kanssa työn viidennessä luvussa. Viides luku on tutkimuksen varsinainen synteesi, jossa kootaan yhteen kirjallisuus- ja haastattelututkimuksen johtopäätöksiä.

Tutkimuksen suunnittelussa pohdittiin mahdollisuutta sisällyttää tutkimukseen useampia infra-alan organisaatioita. Tutkittava aihe on kuitenkin alalla suhteellisen uusi ja erilaisten infra-alan organisaatioiden ottaminen mukaan tutkimukseen olisi voinut tuottaa hyvin erilaisen vastauksen tutkimusongelmaan. Tutkimusongelma on laaja, sillä strateginen pää-

töksenteko, omaisuudenhallinta sekä digitaalinen kaksonen ovat kaikki laajoja kokonaisuuksia, joita on mahdollista tarkastella useista eri näkökulmista. Tässä tutkimuksessa näkökulma rajataan siksi julkisen sektorin infraorganisaatioon, jolla omaisuudenhallinta ja strateginen päätöksenteko voivat erota merkittävästi yksityisestä alan toimijasta. Jos tutkimukseen olisi otettu mukaan esimerkiksi suunnitteluun ja rakentamiseen erikoistuneet yritykset, olisi heidän näkemyksensä digitaalisesta kaksosesta voineet painottua näihin liittyvään tekemiseen. Omaisuudenhallinnan ja strategisen päätöksenteon näkökulma olisi saattanut erota merkittävästi julkisesta toimijasta. Toisaalta monipuolisempi osallistujajoukko olisi voinut mahdollistaa kattavamman määritelmän erityisesti infra-alan digitaalisesta kaksosesta. Erilaisilla infra-alan organisaatioilla voi olla hyvin erilaisia käsitteitä siitä, miten ja mihin digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää. Esimerkiksi suunnittelukonsultin näkemykset digitaalisesta kaksosta saattavat painottua digitaalisen kaksosen teknisempään näkökulmaan sekä sen hyödyntämiseen suunnittelun työkaluna. Tutkimuksen kohteen eli valitun julkisen sektorin organisaation toiminta painottuu laajempaan infraomaisuuden hallintaan. Kohdeorganisaation näkemys digitaalisesta kaksosesta rajautunee sen vuoksi enemmän omaisuudenhallinnan näkökulmaan kuin digitaalisen kaksosen tekniseen näkökulmaan. Omaisuudenhallinta kuten myös strateginen päätöksenteko voivat erota yksityisellä ja julkisella sektorilla huomattavasti toisistaan, minkä vuoksi tutkimuksen tapaus rajattiin yksittäiseen julkisen sektorin toimijaan. Kyseisellä kohdeorganisaatiolla omaisuudenhallinnan ja strategisen päätöksenteon rooli on hyvin tärkeässä asemassa organisaation luonteen vuoksi. Kohdeorganisaatiota on kuvattu tarkemmin seuraavassa alaluvussa. Toisaalta tutkimuksen rajaaminen yksittäiseen organisaatioon on perusteltua huomioiden diplomityön laajuus. Laajemmassa tutkimuksessa useiden organisaatioiden mukaan ottamisella voitaisiin tuottaa kattavampia vastauksia tutkimusongelmaan. Tämän kyseisen tutkimuksen laajuus ei kuitenkaan mahdollista useiden organisaatioiden tutkimista siten, että niistä kustakin saataisiin riittävän laajoja vastauksia tutkittavaan ilmiöön. Siten osa näkökulmista voisi jäädä tutkimuksen laajuuden vuoksi suppeaksi.

3.2 Kohdeorganisaatio

Tutkimus toteutettiin toimeksiantona Väylävirastolle, joka vastaa valtion hallinnoimasta tie-, rata- ja vesiväyläverkosta. Väylävirasto on infrahankkeiden tilaajaorganisaatio, jonka toimintaan kuuluvat muun muassa väyläverkon suunnittelu, kehittäminen ja kunnossapito sekä liikenteen ja maankäytön yhteensovittaminen. Myös liikenteenohjaus, talvimerenkulun järjestäminen ja liikenteen palvelutasosta huolehtiminen ovat osa Väyläviraston toimintaa. Viraston organisaatorakenne koostuu viidestä toimialasta, joita ovat

toiminnanohjaus, suunnittelu, hankkeet, väylänpito sekä väylien käyttö, turvallisuus ja tieto. Toimialat muodostuvat osastoista ja yksiköistä. Lisäksi organisaatioon kuuluvat pääjohtajalle raportoivat toiminnot. Näitä ovat yhteiskuntasuhteet ja henkilöstö, lakiasiat sekä hankintajohtaja. (Väylävirasto 2023a) Väyläviraston toiminta on varsin monipuolista. Infrakohteiden rakennuttamisen ja kehittämisen lisäksi Väylävirasto toteuttaa monenlaisia kehitysprojekteja. Viime aikoina pinnalla ovat olleet esimerkiksi infrahankkeiden tiedonhallintaan sekä kustannus- ja päästölaskentaan liittyvät hankkeet. Monipuolisen toimintansa vuoksi yhteistyö eri toimijoiden kanssa on keskeisessä roolissa Väylävirastossa. Tilaajaorganisaationa Väylävirasto toimii tiiviissä yhteistyössä esimerkiksi suunnittelijoiden ja rakentajien kanssa. Nykypäivänä myös allianssimallilla toteutetut hankkeet ovat olennainen osa Väyläviraston toimintaa. Esimerkiksi kustannuslaskentajärjestelmä Ihku, jossa Väylävirasto on yhtenä tilaajaorganisaatioista, on toteutettu allianssimallilla (Ihku-allianssi 2023). Yhteistyön ja sidosryhmien rooli ovat kyseisellä alalla huomattavan tärkeitä.

Väylävirasto on sopiva kohdeorganisaatio tämän tutkimuksen aiheelle, sillä infra-alan digitaalista kaksosta on tutkittu toistaiseksi vähän ja Väylävirastossa toteutetaan parhailaan digitaalisen kaksosen määrittelytyötä. Määrittelytyön tarkoituksena on tunnistaa muun muassa digitaalisen kaksosen käyttötapauksia ja hyötyjä. Viraston toiminnassa hyvin keskeisessä roolissa on omaisuudenhallinta, jonka kehitystyö on myös käynnissä. Digitaalisen kaksosen määrittelyn ymmärtäminen sekä sen strategisten hyötyjen tunnistaminen voivat osaltaan edistää näiden osa-alueiden kehitystä Väylävirastossa.

Väyläviraston toiminnasta on lisäksi säädetty laissa. Lain mukaan Väyläviraston toiminnan tulee *”edistää väyläverkon toimivuutta, automatisaatiota, liikenteen turvallisuutta, kestävästä kehitystä osana liikennejärjestelmän kokonaisuutta sekä alueiden ja elinkeinon toimintaedellytyksiä ja tasapainoista kehitystä”*. Laissa on myös määritetty, että viraston toiminnan tulee olla *”ennakoivaa sekä tieto- ja riskiperusteista”*. (Laki Väylävirastosta 2018/936 § 1) Väyläviraston toimintasuunnitelmassa on nimetty toiminnan kriittiset menestystekijät eli Väyläviraston strategia. Nämä kriittiset menestystekijät on myös määritelty keskeisiksi kehittämisen kohteiksi tulevina vuosina. Väyläviraston strategia koostuu seuraavista kohdista:

- Väyläomaisuudenhallinta on tehokasta
- Väylien palvelutasoa toteutetaan asiakasta kuunnellen
- Päätöksenteko perustuu yhteiskunnalliseen vaikuttavuuteen
- Toiminta on avointa, asiantuntevaa ja yhteistyöhakuista (Väylävirasto 2023b)

Väyläviraston toimintasuunnitelma ja strategia tuovat tiiviisti esiin tämän tutkimuksen aihepiiriin liittyviä asioita, minkä vuoksi tutkimuksen toteuttaminen kyseisessä organisaatiossa on mielekästä. Digitaalisen kaksosen hyötyjen tunnistaminen voi auttaa kehittämään myös näitä keskeisiä menestyksen osa-alueita, jotka viraston toimintasuunnitelmassa on nimetty.

Väyläviraston toiminnassa pyritään aktiivisesti kehittämään tietoperusteisen päätöksenteon menettelyitä. Virastossa on tavoitteena, että päätöksien taustalla olisi aina mahdollisimman kattavat ja ajantasaiset lähtötiedot sekä ymmärrys päätöksen vaikutuksista. Tiedolla johtaminen korostuu myös viraston tavoitteissa, ja sen yhteydessä painotetaan kattavaan ja oikeaan digitaaliseen tietoon perustuvaa päätöksentekoa kaikilla tasoilla operatiivisesta strategiseen. Tiedolla johtaminen halutaan myös sisällyttää Väylävirastossa kaikkeen tekemiseen. (Väylävirasto 2023b)

Väylävirastossa omaisuudenhallinnan tavoitteena on hallita elinkaartiloudellisesti valtion tie-, rata- ja vesiväyliä. Lisäksi omaisuudenhallinnalla tavoitellaan väyläverkon arvon säilymistä, tehokasta rahan käyttöä sekä palvelutason tarpeeseen vastaamista. Toiminnassa hyödynnetään ISO 55000-standardin periaatteita. Toimiva omaisuudenhallinta mahdollistaa sen, että virastossa tiedetään, mitä omaisuutta on olemassa, missä se sijaitsee ja mikä omaisuuden kunto on. Toisaalta omaisuudenhallinta auttaa tunnistamaan, miten omaisuuden kunto kehittyy sekä lähitulevaisuudessa että seuraavien vuosikymmenien aikana. Omaisuudenhallinnan tärkeänä osana on tietoaineisto, joka mahdollistaa läpinäkyviin ja systemaattisiin menetelmiin perustuvan tietopohjaisen päätöksenteon. Lisäksi omaisuudenhallinta mahdollistaa omaisuuden palvelutason ja suorituskyvyn välisen suhteen tarkkailun sekä omaisuuteen liittyvien kustannusten tunnistamisen. (Väylävirasto 2022b) Toimintasuunnitelmassa on lisäksi mainittu, että omaisuudenhallinnan kehittämisessä keskeistä on tietoperustan vahvistaminen sekä sen entistä parempi hyödyntäminen. Omaisuudenhallinnan kehittämisessä huomioidaan muun muassa analytiikka, digitaalinen kaksonen sekä omaisuustiedon saavutettavuus, kattavuus ja laatu. Omaisuudenhallinnassa digitalisaation tavoitteena on tukea osaltaan päätöksentekoa. (Väylävirasto 2023b)

Tämän tutkimusongelman aiheeseen liittyen muita tärkeitä tavoitteita tai kehittämiskohteita Väylävirastossa ovat muun muassa digitaalinen malli ja kaksonen, ilmastoteemat sekä vaikutusten arviointi. Ilmastoteemat eivät itsessään ole tutkimuksen keskeisenä teemana, mutta kestävä kehitys ja ilmastovaikutusten huomioiminen ovat olennainen osa Väyläviraston toimintaa ja strategista päätöksentekoa. Ilmastonmuutoksen hillintä, infran hiilijalanjäljen pienentäminen, rakentamisen ja väylänpidon energiatehokkuuden sekä kiertotalouden edistäminen ja ilmastokestävyyden huomioiminen ovat tärkeitä

teemoja Väyläviraston toiminnassa. Vuoteen 2030 mennessä Väylävirastossa on tavoitteena rakentaa väyläverkosta digitaalinen malli sekä joistakin infrakohteista digitaalinen kaksonen. Näiden tavoitteena on tukea väylänpitoa mahdollisimman hyvin. Lisäksi virastossa pyritään kehittämään toimenpiteiden vaikuttavuuden sekä vaikutusten arviointia. (Väylävirasto 2023b)

3.3 Aineiston kerääminen

Tutkimuksen alussa on asetettu tutkimuskysymykset, jotka on esitetty työn ensimmäisessä luvussa. Tutkimuskysymyksiin haettiin vastauksia keräämällä ja analysoimalla tutkimusaineistoa, joka tässä tapauksessa koostui kirjallisuuslähteiden lisäksi haastatelluista. Kirjallisuuskatsauksen toteuttamiseksi lähdettiin liikkeelle keskeisten tietokantojen valinnalla, joita tässä tutkimuksessa olivat muun muassa Tampereen yliopiston tarjoamat Andor, EBSCO ja ProQuest -palvelut. Tietokannoista aineistoa haettiin hakusanoilla ja -lausekkeilla, jotka muodostuivat tutkimuksen keskeisten käsitteiden avulla. Joitakin keskeisiä hakulausekkeita on esitelty Taulukko 1.

Taulukko 1 Joitakin kirjallisuusaineiston keskeisiä hakulausekkeita

Hakulausekkeet
strategic management
decision making
strategic infrastructure management
strategic management AND infrastructure
strategic decision making AND infrastructure
“asset management” AND (“decision making” OR “decision-making”)
infrastructure AND “asset management”
“asset management” AND strategic
“digital twin”
“digital twin” AND strategic decision making
“digital twin” AND infrastructure
“digital twin” AND “asset management”

Käytännön seulassa (Fink 2005) kirjallisuusaineisto rajattiin englanninkielisiin artikkeleihin, joista oli koko teksti saatavilla. Erityisesti digitaalista kaksosta koskevilla hakulausekkeilla löytyneet julkaisut olivat suhteellisen uusia. Julkaisujen vuosiluvut saattoivat olla esimerkiksi 2015–2023. Strategista päätöksentekoa koskevat julkaisut saattoivat sen sijaan olla vanhempia. Hakutuloksia tarkasteltiin pääasiassa relevanssin mukaan, mutta tarvittaessa hakusanoja etsittiin tarkemmin otsikosta, aiheesta, tiivistelmästä tai avainsanoista. Metodologisessa seulassa (Fink 2005) hakutulokset pyrittiin rajaamaan

vertaisarvioituihin artikkeleihin. Toisinaan hakutulosten rajallisuus vaikutti siihen, että metodologisella seulalla ei rajattu tuloksia entisestään. Tutkimusaineistoksi valikoitu artikkeleita, joista löytyi relevantteja kirjallisuus- tai tapaustutkimuksia tämän tutkimuksen keskeisistä aiheista. Digitaalisesta kaksosesta infra-alalla, omaisuudenhallinnassa tai strategisessa päätöksenteossa ei löytynyt montaa tutkimusta. Yksikään löydetty tutkimus ei ole käsitellyt näiden kolmen aiheen yhteyttä. Myöskään strategisesta päätöksenteosta infra-alalla ei juuri löydy aineistoa. Tutkimukseen valittu kirjallisuusaineisto käsiteli pääasiassa aina yhtä tai kahta tämän tutkimuksen aiheista. Aineisto käsiteli esimerkiksi digitaalista kaksosta infraomaisuudenhallinnassa, omaisuudenhallintaa ja päätöksentekoa tai pelkkää digitaalista kaksosta yleisesti. Näiden aineistojen analysointia on avattu seuraavassa alaluvussa.

Varsinaisia haastatteluja edelsi esittely Väylävirastossa käynnissä olevasta digitaalisen kaksosen määrittelytyöstä. Kyseisessä esittelyssä kerrottiin, miten organisaatiossa on lähdetty määrittelemään digitaalista kaksosta sekä siihen liittyviä käytötapauksia ja hyötyjä. Digitaalisen kaksosen määrittelytyön esittely antoi hyvän pohjan haastatteluille. Esittelystä sai käsityksen siitä, mikä digitaalisen kaksosen nykytilanne organisaatiossa on ja mitä sillä tavoitellaan. Koska teknologia on uusi ja sen käyttötapauksia vasta määritellään, ei se ole kaikille organisaatiossa vielä tuttu. Tämän vuoksi oli tärkeää ymmärtää digitaalisen kaksosen taustaa ennen kuin haastattelut toteutettiin. Haastattelut sen sijaan toteutettiin puolistrukturoituna, sillä laadullisessa tutkimuksessa tavoitellaan osallistujien omia kokemuksia ja näkemyksiä aihepiiristä (Saunders et al. 2019). Puolistrukturoitu haastattelu takaa sen, että haastatteluiden runko pysyy samankaltaisena, jolloin kaikilta osallistujilta saadaan vastauksia samojen aihepiirien ympäriltä. Haastattelun kysymykset eivät kuitenkaan ohjaa osallistujia vastaamaan tietyllä tavalla, jolloin aineisto pysyy kvalitatiivisena. (Hyvärinen et al. n.d.) Haastatteluissa käytiin läpi tutkimusongelman keskeisiä teemoja eli tiedolla johtamista, strategista päätöksentekoa, omaisuudenhallintaa sekä digitaalista kaksosta. Haastattelut voidaan nähdä myös teemahaastatteluina, sillä haastattelut mukailevat kirjallisuuskatsauksessa tunnistettuja teemoja (Hyvärinen et al. n.d.). Koska aineiston analyysissä hyödynnettiin teemoittelua, puhutaan haastattelujen teemoista selkeyden vuoksi aiheina. Haastattelukysymykset asetettiin näiden aiheiden alle, ja haastattelujen runko oli seuraavanlainen:

Tiedolla johtaminen

1. Miten tiedolla johtaminen näkyy omassa työssäsi?
2. Mikä on tiedolla johtamisen nykytilanne virastossa?

Strateginen päätöksenteko ja tiedolla johtaminen

3. Miten ymmärrät strategisen päätöksenteon? Mitä se Väylävirastossa tarkoittaa?
4. Mitä on tiedolla johtaminen strategisessa päätöksenteossa?

Infraomaisuuden hallinta ja strateginen päätöksenteko

5. Millaisia on strategiset päätökset omaisuudenhallinnassa?
6. Mitä tietoa strategiseen päätöksentekoon tarvitaan?
 - a. Mistä tietoa saadaan?
 - b. Puuttuuko jotain olennaista tietoa päätöksenteosta/omaisuudenhallinnasta?

Digitaalisen kaksonen määritelmä

7. Mikä on digitaalinen kaksonen (omin sanoin)? Mikä on digitaalinen kaksonen Väylävirastossa?
8. Onko digitaalinen kaksonen teknologia/työkalu vai prosessi?

Digitaalisen kaksonen hyödyt

9. Mitä uutta hyötyä digitaalinen kaksonen voi tuoda verrattuna aiempiin työkaluihin/prosesseihin?
10. Mitä uutta tietoa digitaalinen kaksonen voi tuottaa omaisuudenhallinnassa strategiseen päätöksentekoon?

Haastattelut etenivät jotakuinkin kysymysrungon mukaisesti, mutta kysymysten muoto tai järjestys saattoi muuttua haastatteluiden edetessä. Lisäksi esitettiin tarvittaessa tarkentavia lisäkysymyksiä. Saunders et al. (2019) toteavat, että puolistrukturoitu haastattelu mahdollistaa kysymysten muokkaamisen kussakin haastattelussa tarpeelliseksi katsotulla tavalla. Haastattelujen aiheet toimivat lähtökohtana haastattelujen analysoinnille.

Haastattelut toteutettiin Väyläviraston henkilöstölle. Tutkimuksessa haastateltiin viittä eri henkilöä, joilla kaikilla oli hieman erilainen näkökulma tutkimuksen aihepiiriin. Haastateltavat olivat joko strategisen päätöksenteon, omaisuudenhallinnan tai digitaalisen kaksonen asiantuntijoita. Haastateltavat työskentelivät johtoasemassa tai asiantuntijan roolissa. Haastateltavien erilaiset työtehtävät ja roolit mahdollistivat monipuolisen aineiston

keräämisen tutkimuksen tueksi. Haastateltavat on nimetty sen perusteella, millä toimialalla tai osastolla henkilöt työskentelevät sekä minkä tyyppisessä positiossa he ovat:

- Haastateltava 1: asiantuntija, tieto-osasto
- Haastateltava 2: johtaja, tieto-osasto
- Haastateltava 3: asiantuntija, väylänpito
- Haastateltava 4: johtaja, väylänpito
- Haastateltava 5: johtaja, toiminnanohjaus

Haastateltavat valittiin yhdessä tutkimuksen kohdeorganisaation ohjausryhmän kanssa. Kyseiseltä haastateltavien joukolta saatiin monipuolinen näkemys tutkimuksen aiheisiin, kun kaikilla oli hieman erilainen positio ja näkökulma toisiinsa verrattuna. Johtoasemassa olevista haastateltavista oli sekä ylintä että keskijohtoa edustavia henkilöitä. Tämä mahdollisti strategisen päätöksenteon tarkastelun erilaisista näkökulmista. Lisäksi saatiin asiantuntijatason näkemys siihen, miltä strateginen päätöksenteko organisaatiossa koetaan. Monipuolinen, vaikkakin pieni joukko haastateltavia toi kattavan näemyksen tutkimusongelmaan kohdeorganisaatiossa.

Haastattelut toteutettiin kahdenkeskinä Teams-kokouksina, jotka nauhoitettiin litterointia ja tarkempaa analysointia varten. Haastatteluiden aikana tehtiin myös muistiinpanoja tärkeimmistä asioista ja havainnoista. Haastattelujen analysointia on kuvattu seuraavassa alaluvussa. Analysoinnissa kuvataan myös synteessin laatimista haastattelujen ja kirjallisuusaineiston yhdistämisestä.

3.4 Aineiston analysointi

Kvalitatiivisessa tutkimuksessa kerätty data ei ole standardisoitua, minkä vuoksi datan analysointia varten on usein tehtävä luokittelua. Luokittelua varten voi olla tarpeen yksinkertaistaa ja tiivistää dataa, jotta sitä voidaan ymmärtää ja analysoida. (Saunders et al. 2019) Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin temaattista analyysia, jossa dataa aluksi koodataan ja tämän jälkeen teemoitellaan (Braun & Clarke 2022). Vuoren (n.d. b) mukaan teemoittelua käytetään usein vaihtoehtoisena nimityksenä laadulliselle sisällönanalyysille. Kyseinen analyysimenetelmä lähtee liikkeelle aineiston koodauksesta, joka lopulta johtaa varsinaisen analyysin kirjoittamiseen (Vuori n.d. b). Vaikka teemoittelu ja laadullinen sisällönanalyysi ovat hyvin samankaltaisia menetelmiä, käsitellään tässä teemoittelua. Teemoittelun tavoitteena on poimia aineistosta ne aiheet tai teemat, jotka ovat tutkimusongelman kannalta olennaisia (Eskola & Suoranta 1998; Juhila n.d.). Teemoittelu mahdollistaa aineistossa esiintyvien aiheiden vertailun. Onnistuneen teemoittelun

edellytyksenä on teorian ja empirian vuorovaikutus. (Eskola & Suoranta 1998) Tässä tutkimuksessa teoriaa eli kirjallisuuskatsauksen aineistoa vertailtiin haastatteluaineiston sisältöön ja hyödynnettiin osittain myös lopullisten teemojen tunnistamisessa. Työn varsinainen synteesi laadittiin kirjallisuuden ja haastattelujen tuloksia vertaillen.

Haastattelujen aikana tehtiin muistiinpanoja tärkeimmistä haastattelujen aikana nousseista asioista. Jokaisen haastattelun jälkeen muistiinpanot tarkistettiin ja täydennettiin. Muistiinpanoihin täydennettiin myös omia ajatuksia, joita haastatteluista heräsi. Haastatteluja seuraavien päivien aikana nauhoitetut videokokoukset litteroitiin hyödyntäen Wordin automaattista litterointia ajan säästämiseksi. Litterointi käytiin vielä nauhoituksen kanssa läpi ja korjattiin tekstissä ilmenneet puutteet ja virheet. Saundersin et al. (2019) mukaan litteroinnin merkittävin haaste on tekstiin sattuvat virheet sekä niiden löytäminen ja korjaaminen. Tässä tapauksessa litteroinnissa oli paljon virheitä, minkä vuoksi läpikäynti vaati aikaa. Prosessi oli kuitenkin kokonaisuudessaan nopeampi kuin koko tekstin kirjoittaminen itse. Litterointi toteutettiin, jotta analysoinnissa olisi mahdollista palata haastatteluissa nousseisiin asioihin helpommin kuin videoiden selaamisella. Lisäksi litterointi mahdollistaa suorien lainausten hyödyntämisen tutkimuksessa, mikäli sellaiselle tulee tarvetta. Litteroinnin aikana myös tiivistelmien ja muistiinpanojen teko on kannattavaa analysoinnin tueksi, kuten Saunders et al. (2019) toteavat.

Tässä tutkimuksessa temaattinen analyysi ei nojaa valmiiseen teoreettiseen malliin, mikä tarkoittaa osaltaan sitä, että tutkijan subjektiiviset kokemukset ja ajatukset vaikuttavat datan analysointiin. Subjektiivisuus voidaan nähdä tämänkaltaisessa laadullisessa temaattisessa analyysissä olennaisena ja välttämättömänä (Braun & Clarke 2022). On tärkeää huomioida, että vastaava tutkimus ja metodologiset valinnat voivat tuottaa eriäviä johtopäätöksiä toisen tutkijan tekemänä. Vaikka tutkimuksessa pyritään myös tarkastelemaan aineistoa objektiivisesta näkökulmasta, on tutkijan omilla kokemuksilla aina vaikutusta lopullisten johtopäätösten laatimiseen (Eskola & Suoranta 1998).

Braun ja Clarke (2022) esittävät teoksessaan kuusivaiheisen mallin temaattisen analyysin toteuttamiseen. Nämä vaiheet ovat:

1. Dataan tutustuminen
2. Koodaus
3. Alustavien teemojen laatiminen
4. Teemojen kehittäminen ja arviointi
5. Teemojen parantelu, määrittely ja nimeäminen
6. Kirjoittaminen

Tämän tutkimuksen aineiston analysoinnissa hyödynnettiin kyseistä mallia. Dataan tutustuminen toteutettiin litterointien sekä niiden tarkistuksen ja muistiinpanojen kirjoittamisen avulla. Kuten Saunders et al. (2019) myös Braun ja Clarke (2022) korostavat muistiinpanojen ja mahdollisten analyttisten oivallusten kirjaamista ylös tässä vaiheessa. Analyysin toisessa vaiheessa data koodataan. Tämä tarkoittaa, että datasta poimitaan tutkimuksen kannalta olennaisia asioita tiettyjen, dataa kuvaavien koodien alle (Braun & Clarke 2022). Tämän tutkimuksen aineiston koodauksessa nostettiin esimerkiksi tutkimuksen keskeisiin käsitteisiin (omaisuudenhallinta, strateginen päätöksenteko) liittyviä mainintoja. Temaattisen analyysin kolmannessa vaiheessa laaditaan alustavia teemoja, eli tunnistetaan mahdollisia yhteneväisiä merkityksiä datasta. Alustavien teemojen alle kerätään koodatusta aineistosta relevantit aiheet. (Braun & Clarke 2022) Tässä vaiheessa aineistosta tunnistettiin joitakin alustavia teemoja, kuten tiedolla johtamisen kehittäminen, strategisen päätöksenteon ulottuvuus sekä omaisuudenhallinnan strateginen päätöksenteko. Analyysin neljännessä vaiheessa käytiin alkuperäistä dataa läpi ja arvioitiin alustavien teemojen sopivuutta koko aineistoon. Viidennessä vaiheessa yhdisteltiin ja hiottiin teemoja lopulliseen muotoonsa, jossa ne vastaavat parhaiten tutkimuskysymyksiin sekä aineistossa ilmenneisiin keskeisiin asioihin. (Braun & Clarke 2022) Kirjoittamista toteutettiin läpi analyysiprosessin. Jo teemoittelun alkuvaiheissa kirjattiin ajatuksia tulosten analysoinnista. Varsinainen analyysi kirjoitettiin kuitenkin prosessin kuudennessä vaiheessa, jolloin lopulliset teemat oli päätetty ja nimetty.

Braunin ja Clarcken (2022) temaattisen analyysin vaiheet päättyvät kirjoitusvaiheeseen. Kirjoitusvaiheessa kootaan haastattelujen tulokset ja tulkitaan niitä suhteessa tutkimuksen koko aineistoon. Haastattelujen tulokset on avattu seuraavassa luvussa (4) ja ne on jäsennelty haastattelun aiheiden mukaisesti alalukuihin. Haastattelun aiheet esitettiin haastattelurungon yhteydessä alaluvussa 3.3. Tulokset on lisäksi jäsennelty temaattisessa analyysissä tunnistettujen teemojen kautta. Teemat ja niihin liittyvät keskeiset maininnat on esitetty kunkin haastatteluaiheen alussa taulukoissa. Tulosten analysoinnissa olennaista on vertailla haastattelututkimuksen tuloksia kirjallisuudessa esiintyviin teoreettisiin näkökulmiin. Tämän yhteydessä laaditaan tutkimuksen varsinaiset johtopäätökset, jotka vastaavat tutkimuskysymyksiin. (Ruusuvoori et al. 2010) Johtopäätökset on esitetty työn viidennessä luvussa. Johtopäätöksissä vertaillaan kirjallisuudessa ja haastatteluissa nousseita teemoja ja aiheita. Vertailun tavoitteena on laatia vastaukset tutkimuskysymyksiin. Viidennen luvun ensimmäiset kaksi alalukua käsittelevät apututkimuskysymysten vastauksia ja kolmannessa alaluvussa rakennetaan käsitys päätutkimuskysymykseen. Johtopäätöksissä on lisäksi hyödynnetty taulukointia, jossa esitetään kustakin aihepiiristä tunnistettuja olennaisia mainintoja kirjallisuudessa ja haastatteluissa.

Taulukot sisältävät tarkennuksia siitä, miten aiheita on käsitelty eri tavalla kirjallisuuden ja haastatteluiden välillä. Olennaista on huomata, että kaikkia kirjallisuudessa esitettyjä aiheita ei ole voitu tunnistaa haastatteluissa. Haastattelukysymykset ja niiden esittäminen vaikuttavat merkittävästi siihen, mitä ja miten haastateltavat vastaavat. Lisäksi joitakin haastatteluissa mainittuja asioita ei ole tunnistettu kirjallisuudesta, sillä kirjallisuuskatsauksessa ei tutkittu systemaattisesti kaikkia aihetta käsitteleviä tutkimuksia.

4. HAASTATTELUTUTKIMUKSEN TULOKSET

4.1 Tiedolla johtamisen nykytilanne organisaatiossa

Tiedolla johtamisen nykytilannetta organisaatiossa tarkasteltiin haastattelujen ensimmäisenä aiheena. Haastateltavilta kysyttiin, miten tiedolla johtaminen näkyy heidän työssään ja millainen tiedolla johtamisen nykytilanne organisaatiossa on. Tämän tavoitteena oli herätellä haastateltavia tarkastelemaan tulevia aiheita osaltaan myös tiedolla johtamisen näkökulmasta sekä selvittää, miten eri tavoin haastateltavat kokevat tiedolla johtamisen näkyvän heidän organisaatiossaan. Keskeiset haastatteluissa nousseet tiedolla johtamisen nykytilanteeseen liittyvät teemat ja niistä esitetyt maininnat on listattu Taulukko 2. Teemoja ja niiden sisältöä on avattu tarkemmin tekstissä taulukon alapuolella. Kukin teema on pyritty erottamaan tekstistä lihavoinnin avulla.

Taulukko 2 Haastattelujen tulokset tiedolla johtamisen nykytilanteesta

TIEDOLLA JOHTAMISEN NYKYTILANNE ORGANISAATIOSSA

KESKEISET TEEMAT HAASTATTELUISSA	TEEMASTA MAINITTUA HAASTATTELUISSA
Jatkuva tiedolla johtaminen	<ul style="list-style-type: none"> - Tiivis osa organisaation toimintaa - Ei näy suoraan kaikkien työnkuvassa - Sujuvaa - Päätöksenteon tulee olla tietoon perustuvaa
Tiedon johtaminen	<ul style="list-style-type: none"> - Järjestelmät ja sovellukset tiedonhallintaan ja muuhun toimintaan - Tukee tiedolla johtamista
Tiedolla johtamisen kehittäminen	<ul style="list-style-type: none"> - Esillä jatkuvasti tavoitteissa ja toimintasuunnitelmissa - Paljon kehitettävää ja kehitetään jatkuvasti
Tiedolla johtamisen haasteet	<ul style="list-style-type: none"> - Henkilöriippuvuus - Hiljaisen tiedon kertyminen - Tiedon ajantasaisuuden ja laadun puutteet

Tiedolla johtamisesta nousi esiin muutama keskeinen teema (Taulukko 2), joita useat haastateltavat mainitsivat. Kaikki haastateltavat kokivat, että tänä päivänä tiedolla johtaminen on tiiviisti osana organisaation toimintaa ja sitä pyritään kehittämään jatkuvasti. Yhdessä haastattelussa nousi esiin tiedon johtamisen ero tiedolla johtamiseen. Myös tiedolla johtamiseen liittyviä haasteita käsiteltiin monissa haastatteluissa.

Lähes kaikki haastateltavat kokivat tiedolla johtamisen olevan jollain tavalla osa päivittäistä työskentelyään. Esimerkiksi tietyissä asiantuntijaroleissa työnkuvaan kuuluu johtajille tietomateriaalin valmistelemisen päätöksenteon tueksi, jotta päätöksiä voidaan perustaa tietoon. Kaikki olivat samaa mieltä siitä, että **tiedolla johtaminen näkyy vahvasti koko organisaatiossa ja sen toiminnassa**. Tiedolla johtamisen nykytilanne virastossa koettiin hieman erilaisena eri haastateltavien osalta. Osa korosti, että tiedolla johtaminen on sujuvaa, kun taas toiset näkivät siinä enemmän kehitettävää. Yksi haastateltava totesi, että asiantuntijavirastona päätöksenteon tulee olla tietoon perustuvaa. Tämä tarkoittaa, että tiedolla johtamista toteutetaan ja on toteutettu virastossa ”aina”. Erään haastateltavan mukaan tiedolla johtaminen on tärkeä osa organisaation päätöksentekoa:

”Mutta siis ainahan me yritetään jokainen päätös perustaa tietoon --. Me ollaan asiantuntijavirasto, meidän niinku periaatteessa ei pitäisi sekoittaa mielipiteitä.”

Yksi haastateltavista koki, että hänen työnkuvassaan painottuu lisäksi **tiedon johtaminen**. Kyseinen haastateltava kuvaili tieto-osastoa viraston ydintoimintojen tukitoimintana, joka mahdollistaa organisaation toiminnalle esimerkiksi sopivat laitteet ja tietojärjestelmät. Erilaisilla järjestelmillä ja sovelluksilla on kyseisen haastateltavan mukaan tärkeä rooli tiedon johtamisessa, sillä ne mahdollistavat esimerkiksi tiedonhallinnan sekä organisaation muun toiminnan. Haastateltavan mukaan tiedolla johtamisen ja tiedon johtamisen välillä saattaa tulla sekaannuksia esimerkiksi sen suhteen, mitkä asiat ovat kenenkin vastuulla. Varsinaisesta tietosisällöstä pitäisi haastateltavan mukaan vastata koko organisaation yhdessä eikä esimerkiksi pelkän tieto-osaston. Tieto-osaston rooliin kuuluu sen sijaan edellytysten luominen muun muassa tietosisällölle ja tiedolla johtamisen toteuttamiselle.

Kaikki haastateltavat olivat samaa mieltä siitä, että tiedolla johtaminen on viime vuosina ollut virastossa vahvasti pinnalla ja sitä **pyritään jatkuvasti kehittämään**. Monet haastateltavat nostivat esiin, että päätöksiä ja suunnitelmia pyritään enenevässä määrin tekemään tietoperusteisesti. Siten tiedolla johtamista pyritään kehittämään vahvemaksi osaksi Väyläviraston ydintoimintaa. Lisäksi tiedolla johtamisen kehittäminen näkyy haastateltavien mukaan tulostavoitteissa ja toimintasuunnitelmissa. Eräs haastateltava totesi tiedolla johtamisen kehittämisestä, että:

”-- johto nosti sen 2 vuotta vai 1,5 vuotta sitten painopisteeksi meillä, koska kaikkien pitää tehdä tiedolla johtamista nyt. Se on in-juttu.”

Tiedolla johtamisen kehittämiseksi on esitetty organisaatiossa myös seitsemän askeleen prosessi, joka erään haastateltavan mukaan on ”hieman provosoiva” lista. Tiedolla johtamisen kehittämisen vaiheet ovat:

1. Kehittämisen kohteena olevien prosessien valinta
2. Prosessien käyttämien tietojen tunnistaminen ja kuvaaminen
3. Tiedontuotantoprosessien ymmärtäminen ja kuvaaminen
4. Kehityskohteiden ideointi ja tunnistaminen
5. Kehitystoimenpiteiden määrittely ja priorisointi
6. Kehitystoimenpiteiden käynnistäminen
7. Kehittämistoimenpiteet valmistuneet.

Kyseinen malli kuvaa haastateltavan mukaan sitä, miten tiedolla johtamisen kehittämistä pitäisi lähestyä, mutta kyseessä on kuitenkin kokonaisuudessaan hyvin haastava prosessi. Tiivistäen tiedolla johtamisen tilanteesta eräs haastateltava kuvasi, että se on ”--*isossa kuvassa varsin toimivaa, mut tuntuu että kyllä niinku loputtomasti kehittämistä myös*”.

Haastateltavat nostivat myös esiin joitakin asioita, joiden he kokivat **haastavan tiedolla johtamisen** onnistumista tai systemaattisuutta. Yhtenä tiedolla johtamisen haasteena nähtiin tietynlainen henkilöriippuvuus, joka nousi esiin kaikissa haastatteluissa. Tämän yhteydessä viitattiin monesti myös hiljaiseen tietoon. Eräs haastateltava viittasi haastattelussaan siihen, että tehtävät ja osaaminen ovat monesti jollain tavalla sitoutuneet tiettyihin henkilöihin, jotka toimivat ikään kuin ”*sankariasiantuntijoina*”. Haastateltavan mukaan näiden kyvykkyyksien pitäisi olla enemmän organisaatiolla kuin yksittäisillä henkilöillä, jolloin organisaatiossa olisi riittävät tiedot ja kyvykkyydet tehtävien hoitamiseksi. Kaksi muuta haastateltavaa nostivat haastatteluissaan esimerkiksi tilanteen, jossa työntekijä poistuu organisaatiosta, jolloin on tärkeää, etteivät osaaminen ja tiedot lähde hänen mukanaan. Yksi haastateltavista painotti, että tällaisesta henkilöriippuvuudesta pyritään pääsemään eroon organisaatiossa. Sen myötä tiedolla johtamisesta saataisiin systemaattisempaa. Asiantuntijoihin sitoutunut hiljainen tieto nähtiin systemaattisen tiedolla johtamisen haasteena, sillä hiljaisen tiedon vangitseminen tai eksplikointi on haastavaa eikä siihen koettu olevan riittäviä keinoja organisaatiossa. Toisaalta muutamassa haastattelussa korostettiin, että hiljaisella tiedolla on myös todella tärkeä rooli suunnittelussa ja päätöksenteossa, sillä se mahdollistaa esimerkiksi numeroiden, faktojen ja analyysien tulkinnan. Muita tiedolla johtamisen haasteita, joita haastatteluissa nousi esiin, olivat tietojen ajantasaisuuden ja laadun puutteet sekä tiedon puuttuminen kokonaan. Osa haastateltavista ilmaisi olevansa huolissaan tiedon ajantasaisuudesta ja laadusta.

Toisessa haastattelussa taas korostettiin, että vaikka joitakin tietoja omaisuudenhallintaan kerätään vain kerran muutamassa vuodessa, on kyseinen tietojenkeruun sykli määritelty riittäväksi, jolloin tiedon ajantasaisuutta pitäisi myös pitää riittävänä.

4.2 Strateginen päätöksenteko ja tiedolla johtaminen

Tiedolla johtamisen kysymysten jälkeen haastatteluissa käsiteltiin strategista päätöksentekoa. Haastateltavilta kysyttiin, mitä he ymmärtävät Väyläviraston strategisen päätöksenteon tarkoittavan ja millaisia asioita strateginen päätöksenteko kattaa. Lisäksi käsiteltiin strategista päätöksentekoa tarkemmin vielä tiedolla johtamisen näkökulmasta. Tärkeimmät haastatteluissa ilmenneet teemat ja aiheet on esitetty Taulukko 3.

Taulukko 3 Haastattelujen tulokset strategisesta päätöksenteosta ja tiedolla johtamisesta

STRATEGINEN PÄÄTÖKSENTEKO JA TIEDOLLA JOHTAMINEN	
KESKEISET TEEMAT HAASTATTELUISSA	TEEMASTA MAINITTUA HAASTATTELUISSA
Strategiset päätökset käytännössä	<ul style="list-style-type: none"> - Vuosikellot, strategiat, visiot - Tulevaisuuden tavoitteet, linjaukset - Toimintatapojen suuntaviivat - Rahankäytön kohdistaminen - Omaisuuden pitkäjänteinen hallinta
Strategisen päätöksenteon vaikutukset	<ul style="list-style-type: none"> - Ohjaa operatiivista toimintaa - Toimintojen ja sidosryhmien rooli - Henkilöstö ja osaaminen - Strateginen päätöksenteko ulottuu kaikille päätöksenteon tasoille - Päätöksenteon eri tasot yhteydessä toisiinsa
Tiedolla johtaminen strategisessa päätöksenteossa	<ul style="list-style-type: none"> - Päätöksenteko enenevässä määrin tietoon perustuvaa - Tiedolla johtamisessa paljon kehitettävää - Tiedon oltava riittävän hyvää ja kattavaa - Tiedon analysointi ja visualisointi tärkeää - Läpinäkyvä päätöksenteko tietoon perustuen
Strategisen päätöksenteon ja tiedolla johtamisen haasteet	<ul style="list-style-type: none"> - Tiedon ajantasaisuuden ja laadun puutteet - Päätöksenteon reaktiivisuus

Strateginen päätöksenteko organisaatiossa nähtiin eri haastatteluissa hieman eri tavoin, mikä on perusteltavissa haastateltavien erilaisten taustojen ja työtehtävien vuoksi. Haastateltavat toivat esiin, että **strategista päätöksentekoa tehdään** muun muassa vuosikellojen, strategioiden ja visioiden suunnittelussa. Strategisen päätöksenteon nähtiin tar-

koittavan isoihin linjoihin ja suuntiin sekä tulevaisuuden tavoitteisiin liittyvää päätöksentekoa. Haastateltavien mukaan organisaation rahankäytön kohdistaminen sekä toimintatapojen suuntaviivojen määrittäminen ovat olennaisia esimerkkejä strategisesta päätöksenteosta. Lisäksi haastatteluissa mainittiin strategisen päätöksenteon sisältävän myös toiminnan suunnittelua ja kehittämistä sekä toimintaympäristön muutokseen reagoitua. Rahankäytön kohdistamiseen liitettiin keskeisenä asiana priorisointi. Haastatteluissa puhuttiin väyläverkon keskinäisestä priorisoinnista eli minne väyläverkolle, mille liikennemuodolle tai tuotekokonaisuudelle rahoitusta ja toimenpiteitä kohdistetaan. Eräs haastateltava nosti esiin esimerkkeinä seuraavat kysymykset: Priorisoidaanko lyhyen aikavälin toimia, jotka varmistavat liikenteen huomisenpäivän toimivuuden? Korjataanko päällysteitä, jotka varmistavat seuraavan muutaman vuoden? Vai parannetaanko väyläverkkoa pidemmällä, vuosikymmenten tähtäimellä? Toisaalta haastateltavien mukaan strategisessa päätöksenteossa huomioidaan jatkuvasti omaisuuden pitkäjänteisen hallinnan sekä palvelutason eli asiakaspalvelun tarpeet. Asiakaspalvelun näkökulmasta mahdolliset väyläverkon ongelmat tulisi korjata tässä ja nyt, mutta pitkäjänteisessä omaisuudenhallinnassa eri kohteiden priorisoinnilla on erilainen rooli.

Haastateltavat nostivat esiin erilaisia **asioita, joihin strategiset päätökset vaikuttavat**. Useimmissa haastatteluissa mainittiin, että strateginen päätöksenteko ohjaa operatiivista toimintaa, sillä se määrittää toimintatapojen suuntaviivat. Tähän liittyivät myös eri tahojen ja toimintojen roolit organisaatiolle, esimerkiksi omaisuudenhallinnan rooli sekä asiakkaiden ja sidosryhmien roolit:

”Mikä rooli eri asioilla on, esimerkiksi omaisuudenhallinnalla? Mikä rooli asiakkailla on meidän toiminnassa ja mikä rooli sidosryhmillä on? Ketä me kuunnellaan enemmän kuin toisia?”

Haastatteluissa nousi esiin myös, että strateginen päätöksenteko vaikuttaa esimerkiksi henkilöstön mitoittamiseen sekä osaamisen kehittämisen tarpeisiin. Eräs haastatteluissa noussut mielenkiintoinen näkökulma strategisesta päätöksenteosta oli, että strategista päätöksentekoa tehdään kaikilla päätöksenteon tasoilla eli strategisella, taktisella ja operatiivisella tasolla. Tällä viitattiin muun muassa siihen, että kaikki päätöksenteon tasot ovat tiiviisti yhteydessä toisiinsa ja esimerkiksi operatiivisten päätösten tulee olla linjassa strategisen tason tavoitteiden kanssa. Toisaalta eräs haastateltava toi ilmi, että operatiivisen tason päätökset ja toiminta rakentavat sen tulevaisuudenkuvan, jota strateginen taso käsittää.

Strategista päätöksentekoa tarkasteltiin haastatteluissa erikseen tiedolla johtamisen näkökulmasta. Kun haastateltavilta kysyttiin **tiedolla johtamisesta strategisessa päätöksenteossa**, esiin nousi erilaisia teemoja, joista suuri osa ilmeni jo tiedolla johtamisen kysymyksissä, jotka esiteltiin edellisessä alaluvussa. Haastatteluissa korostettiin pyrkimystä perustaa päätökset enenevissä määrin kattavaan ja luotettavaan tietoon. Haastateltavat kuitenkin tunnistivat, että tiedolla johtamisessa on vielä paljon kehitettävää päätöksenteon näkökulmasta. Erään haastateltavan mukaan tiedolla johtaminen tarkoittaa eheää ketjua kaikkien päätöksenteon tasojen läpi. Tämä vaatii sen, että tiedon on oltava riittävän hyvää ja kattavaa päätöksentekoa varten. Strategisen päätöksenteon ja tiedolla johtamisen näkökulmasta olennaiseksi koettiin myös datan analysointi ja visualisointi. Näiden avulla data saadaan ymmärrettävään muotoon, jolloin päätöksiä on helpompi tehdä aidosti tietoon perustuen. Päätöksentekoprosessiin saadaan myös enemmän vuorovaikutteisuutta, kun data on tehty ”näkyväksi ja ymmärrettäväksi”, kuten yhdessä haastattelussa korostettiin. Tiedolla johtamisen teemoja, kuten tietoperusteisuutta sekä datan visualisointia ja ymmärtämistä, korostettiin strategisessa päätöksenteossa myös sen osalta, että julkishallinnon toimijana päätöksenteon on oltava mahdollisimman läpinäkyvää. Tällä tarkoitettiin, että päätösten tulee pohjautua perustellusti mahdollisimman laadukkaaseen ja faktapohjaiseen tietoon, mitä datan visualisointi ja ymmärrettäväksi tekeminen tukevat.

Haastateltavat nostivat esiin joitakin **huolia tai haasteita**, jotka saattavat olla hidasteina systemaattiselle **tiedolla johtamiselle strategisen päätöksenteon näkökulmasta**. Osa haastateltavista koki, että infraomaisuuteen liittyvät tiedot eivät ole riittävän ajantasaisia, sillä joihinkin omaisuususeriin liittyviä tietoja kerätään esimerkiksi viiden vuoden välein. Haastatteluissa kuitenkin nousi esiin, että mikäli organisaatiossa on päätetty, että jokin tieto kerätään viiden vuoden välein, niin silloin tämä on määritelty toiminnan kannalta riittäväksi. Ajantasaisuuteen liittyen korostettiin myös, että päätöksenteon eri tasoilla tiedon ajantasaisuuden tarpeet eroavat toisistaan. Esimerkiksi tulevia vuosia tai vuosikymmeniä koskevassa strategisessa päätöksenteossa ei minuutti- tai tuntitason tiedoilla yleensä ole merkitystä. Yhdessä haastattelussa nostettiin esimerkkinä tarkkuus-taso. Omaisuudenhallinnassa ei haastateltavan mukaan tarkastella infraa millitasolla vaan ennemmin parinkymmenen senttimetrin tarkkuudella. Siten esimerkiksi viiden vuoden välein kerättävät tiedot voivat olla täysin riittäviä strategisen päätöksenteon näkökulmasta. Toisaalta joissakin haastatteluissa korostui myös tiedon laatu puutteet sekä kokonaan puuttuva tieto. Eräs haastateltava totesi, että jos päätökset halutaan aidosti perustaa tietoon, on lähtödatan oltava laadukasta, eheää, luotettavaa ja riittävän ajanta-

saista. Tässä haasteena nähtiin, että kaikki tietoprosessit eivät aina toteudu niin systemaattisesti kuin on tavoiteltu. Tiedon laatu saattaa kärsiä matkan varrella. Haastatteluissa kuitenkin nostettiin esiin, että tiedolla johtamisen kehittämisen kannalta on tärkeää tunnistaa nämä mahdolliset tietopuutteet ja prosessien ongelmakohdat. Tietoon liittyvien haasteiden lisäksi joissain haastatteluissa esitettiin että, organisaation päätöksenteko vaikuttaa usein reaktiiviselta. Tällä tarkoitettiin, että päätöksiä tehdään käsillä olevan tilanteen tarpeeseen eikä niinkään pitkälle aikavälille. Tämän tyyllisen päätöksenteon ei koettu vastaavan strategisen päätöksenteon tavoitteisiin. Toisaalta korostettiin myös tarvetta reagoida muuttuvaan toimintaympäristöön strategisen päätöksenteon osalta. Erään haastateltavan mukaan tällainen reaktiivinen päätöksenteko voidaan nähdä operatiivisena toimintana, vaikka kyseessä olisi strategisen tason päätökset. Tämän näkökulman yhteydessä korostettiin, että strategisen päätöksenteon pitää kulkea kaikkien tasojen läpi ja strategista päätöksentekoa tehdään kaikilla päätöksenteon tasoilla.

4.3 Infraomaisuuden hallinta ja strateginen päätöksenteko

Haastattelujen kolmantena kokonaisuutena käsiteltiin omaisuudenhallintaa. Haastateltavilta kysyttiin muun muassa, miten omaisuudenhallinta liittyy strategiseen päätöksentekoon, millaista tietoa omaisuudenhallinta tarjoaa strategiseen päätöksentekoon ja mitä tietoa vielä puuttuu. Keskeiset teemat haastatteluista on koottu Taulukko 4.

Taulukko 4 Haastattelujen tulokset infraomaisuuden hallinnasta ja strategisesta päätöksenteosta

INFRAOMAISUUDEN HALLINTA JA STRATEGINEN PÄÄTÖKSENTEKO

KESKEISET TEEMAT HAASTATTELUISSA	TEEMASTA MAINITTUA HAASTATTELUISSA
Omaisuudenhallinta yleisesti	<ul style="list-style-type: none"> - Kattaa koko organisaation toiminnan - Rekistereihin kerätyt tiedot infraomaisuudesta, sen määrästä, kunnosta ja liikenteestä - Tarjoaa tietoa väyläverkon kunnosta - Asiakastarpeiden tunnistaminen olennaista - Sidosryhmäyhteistyön merkitys
Strategiset päätökset omaisuudenhallinnassa	<ul style="list-style-type: none"> - Rahankäytön kohdistaminen omaisuuden kunnan perusteella - Sidosryhmien rooli päätöksenteossa - Palvelutason tarpeeseen vastaaminen - Omaisuuden elinkaarihokkuuteen liittyvät päätökset - Kunnossapitoon liittyvät ratkaisut pitkäjänteisten tavoitteiden mukaan

	<ul style="list-style-type: none"> - Toiminnan kestävyys ja ilmastovaikutukset
OmaisuuDENhallinnan strategisen päätöksenteon haasteet	<ul style="list-style-type: none"> - Vaikutustiedon puuttuminen - Toimintaympäristön muutos - Ennustemallien kehittäminen

Väyläviraston omaisuudenhallinnan tavoitteena on hallita elinkaaritaloudellisesti valtion omistamaa väyläverkkoa. Omaisuudenhallinnalla tavoitellaan väyläverkon arvon säilymistä, tehokasta rahan käyttöä sekä palvelutason tarpeeseen vastaamista. (Väylävirasto 2022b) **OmaisuuDENhallinnasta** kysyttäessä haastatteluissa nousi esiin, että omaisuudenhallinta kattaa käytännössä koko organisaation toiminnan aina asiakastarpeesta ja sidosryhmistä omaisuserän elinkaaren loppuun. Haastateltavien mukaan omaisuudenhallinnan tietolähteinä toimivat organisaation omiin rekistereihin kerätyt tiedot infra, sen kunnosta ja määrästä sekä liikenteestä. Lisäksi muun muassa sidosryhmäyhteistyöstä, elinkeinoelämältä ja politiikasta tulee syötettä omaisuuden tarpeisiin ja vaatimukseen liittyen. Omaisuudenhallinnasta mainittiin myös, että siihen liittyy olennaisesti kehittäminen. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi tutkimustyötä yhteistyössä konsulttien tai yliopistojen kanssa. Haastateltavien mukaan infraomaisuuden kunnan ja määrän lisäksi omaisuudenhallinnassa on olennaista tuntea omaisuuden käyttäjät eli väyläverkkoon ja sen osiin liittyvät asiakastarpeet. Lisäksi sidosryhmäyhteistyötä korostettiin omaisuudenhallinnassa.

Strateginen päätöksenteko on tiiviisti yhteydessä omaisuudenhallintaan, sillä omaisuudenhallinnasta saadaan muun muassa ajantasaista tietoa väyläverkon kunnosta. Tämän perusteella voidaan suunnitella ja päättää, mihin tulevana vuosina toiminnassa panostetaan ja mihin rahankäyttöä kohdistetaan. Haastatteluissa nousi ilmi, että omaisuudenhallinnassa strategista päätöksentekoa voidaan tarkastella kahdesta näkökulmasta. Edellä esitetyn lisäksi omaisuudenhallinta hyödyttää myös strategisessa päätöksenteossa asetettujen tavoitteiden saavuttamisessa. Omaisuudenhallinnasta saatavien tietojen pohjalta pystytään esimerkiksi löytämään keinoja sekä kohdistamaan toimintaa strategisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Haastatteluissa nousi esiin yksi hyvin huomionarvoinen asia strategisesta päätöksenteosta tiedolla johtamisen ja omaisuudenhallinnan näkökulmasta. Kaikkea päätöksentekoa ei voida pohjata suoraan esimerkiksi omaisuudenhallinnasta saatavaan dataan. Julkishallinnon organisaationa myös monet sidosryhmät asettavat ehtoja sille, mihin toiminnassa on keskityttävä ja mitä tavoitteita organisaatiolla on tai miten niitä voidaan saavuttaa. Tämän yhteydessä mainittiin infran palvelutason tarpeeseen vastaaminen, joka on yksi Väyläviraston perustehtävistä.

Erlaisia käytännön esimerkkejä omaisuudenhallinnan strategisesta päätöksenteosta nostettiin haastatteluissa esiin. Strategista päätöksentekoa ovat haastateltavien mukaan muun muassa omaisuuden elinkaarihokkuuteen liittyvät ratkaisut, joita voidaan tehdä esimerkiksi määrittämällä suunnitteluohjeisiin päällysteiden paksuuteen liittyviä ohjeita. Omaisuudenhallinnassa tehdään myös kunnossapitoon liittyviä päätöksiä, joilla on haastateltavien mukaan strateginen merkitys omaisuudenhallinnan pitkäaikaisissa tavoitteissa ja muun muassa palvelutasoon vastaamisessa. Toisaalta muutamassa haastattelussa nostettiin esiin, että omaisuudenhallinnassa voidaan myös miettiä strategisesta näkökulmasta toiminnan kestävyttä ja ilmastovaikutuksia. Tällaisia strategisia päätöksiä voidaan tehdä esimerkiksi sen suhteen, mitkä materiaalit ovat kestäviä tai liikenteelle energiatehokkaita. Ilmastovaikutuksia pohtiessa strategisia päätöksiä voidaan tehdä esimerkiksi sen suhteen, miten infran rakentamiseen liittyviä päästöjä voidaan vähentää sekä miten infran kunnossapidolla ja rakentamisella voidaan vaikuttaa liikenteen päästöihin. Toisaalta eräs haastateltava korosti, että näiden päätösten osalta on olennaista pohtia myös kustannuksia ja rahankäytön kohdistamista, vaikka ne ovatkin tärkeitä teemoja nykypäivänä.

Omaisuudenhallinnan strategisesta päätöksenteosta tunnistettiin muutamia haasteita tai puutteita. Muutamassa haastattelussa nostettiin esiin yksi merkittävä tietopuute, joka vaikuttaa myös strategiseen päätöksentekoon omaisuudenhallinnassa. Haastateltavien mukaan vaikutustieto on puutteellista. Vaikutustiedolla viitattiin eri toimien ja päätösten todellisiin vaikutuksiin. Haastatteluissa puhuttiin vaikutustiedosta ja vaikuttavuudesta osittain synonyymeinä. Esimerkkejä päätösten vaikutuksista olivat muun muassa, mitä korjaustoimenpiteen todelliset vaikutukset ovat tai millainen yhteiskunnallinen vaikuttavuus eri kohteiden korjaamisella on. Tai minkä kohteen rakentaminen tai korjaaminen tuottaa parhaimman vaikutuksen. Jossain määrin vaikutustietoa tai vaikuttavuutta voidaan arvioida haastateltavien mukaan esimerkiksi hyötykustannuslaskelmien avulla, mutta näissä laskelmat perustuvat pitkälti teknisiin, mitattaviin tietoihin. Sen sijaan joidenkin päätösten todellista vaikutusta esimerkiksi päätöksen sosiaalisen merkityksen kannalta on hankala arvioida. Vaikutustiedon lisäksi haasteita omaisuudenhallintaan aiheuttaa toimintaympäristön muutos, joka haastaa esimerkiksi asiakastarpeiden tunnistamista tai muuttuvien tarpeiden ennustamista. Haastateltavat mainitsivat lisäksi, että koska strateginen päätöksenteko omaisuudenhallinnassa katsoo tulevaisuuteen, se vaatii usein myös jonkinlaisia ennustemalleja tuekseen. Ennustemallit nousivat useissa haastatteluissa esiin ja niitä pidettiin tärkeinä esimerkiksi omaisuuden kunnon kehittymistä arvioidessa sekä sitä myöden toimenpiteiden ja tavoitteiden suunnittelussa. Haastatteluissa kuitenkin todettiin, että näiden mallintaminen vaatisi todennäköisesti aiempaa

tarkempaa tietoa esimerkiksi liikenteestä. Jotta mallinnusta voitaisiin tehdä, olisi tiedettävä tarkemmin, millaisia ajoneuvoja teillä kulkee ja minkä verran.

4.4 Digitaalisen kaksosen määritelmä ja nykytilanne organisaatiossa

Haastattelujen neljäntenä kokonaisuutena käsiteltiin digitaalista kaksosta. Haastateltavilta kysyttiin, miten he käsittävät digitaalisen kaksosen ja mitä se Väylävirastossa voisi tarkoittaa. Lisäksi kysyttiin näkevätkö haastateltavat digitaalisen kaksosen enemmän työkaluna vai prosessina. Haastattelut antoivat käsityksen siitä, millaisena haastateltavat ymmärtävät digitaalisen kaksosen määritelmän ja millainen digitaalisen kaksosen nykytilanne organisaatiossa on. Keskeiset haastatteluissa nousseet teemat on esitetty Taulukko 5.

Taulukko 5 Haastattelujen tulokset digitaalisesta kaksosesta organisaatiossa

DIGITAALINEN KAKSONEN ORGANISAATIOSSA	
KESKEISET TEEMAT HAASTATTELUISSA	TEEMASTA MAINITTUA HAASTATTELUISSA
Digitaalisen kaksosen nykytilanne organisaatiossa	<ul style="list-style-type: none"> - Taustalla digitalisaatiohanke - Digitaalisen kaksosen määrittelytyö käynnissä - Digitaalinen malli ensimmäinen askel kohti digitaalista kaksosta - Väylätiedonhallinnan visio 2030: digitaalinen kaksonen merkittävistä infrakohteista
Digitaalisen kaksosen määritelmästä	<ul style="list-style-type: none"> - Digitaalisen kaksosen kypsyystasot - Digitaalinen malli vs. digitaalinen kaksonen - Trenditermi - Kuvaa fyysisen omaisuuden digitaalisessa muodossa - Ennustemallit keskeisiä - Keskiössä kattava ja ajantasainen data infraomaisuudesta - Muodostuu eri tasoista (infra, liikenne, säätiedot) - Automatisoidut analyysit - Työkalu, prosessi tai uusi ajattelutapa
Digitaalisen kaksosen haasteet ja huolet	<ul style="list-style-type: none"> - Digitaalinen kaksonen ei ole toteutettavissa suoraan nykyisillä tiedoilla - Digitaalinen kaksonen vaatii automatisoituja tietoprosesseja - Nykyiset prosessit eivät vastaa digitaalisen kaksosen tietotarpeisiin - Yhteistyö sidosryhmien kanssa

Haastatteluja edelsi lyhyt esitys digitaalisen kaksosen määrittelytyöstä, joka organisaatiossa on meneillään. Kyseinen esitys sekä jotkin haastatteluissa nousseet kommentit antoivat kuvan **digitaalisen kaksosen nykytilanteesta organisaatiossa**. Joissain haastatteluissa mainittiin aiempien vuosien digitalisaatiotyön vaikuttavan siihen, että organisaatiossa ollaan tällä hetkellä suunnittelemassa digitaalisen kaksosen toteuttamista. Väylävirastossa on toteutettu digitalisaatiohanke vuosina 2016–2018. Tämän voidaan haastateltavien mukaan nähdä vaikuttavan digitaalisen kaksosen kehitys- ja määrittelytyön taustalla. Kyseinen hanke on kypsyttänyt organisaation valmiuksia ja mahdollisuuksia digitalisoituvassa maailmassa, mikä mahdollistaa uusien teknologioiden käyttöönoton kyvykkyyttä. Määrittelytyön esittelyssä todettiin, että infran digitaalinen malli on ikään kuin ensimmäinen askel kohti digitaalista kaksosta. Digitaalisen mallin ja digitaalisen kaksosen eroa käsiteltiin tarkemmin digitaalisen kaksosen kypsyystasojen kautta, jotka on esitetty teoriaosuudessa Kuva 7 (luku 2.3.1). Organisaatiossa puhutaan tällä hetkellä Väylätiedonhallinnan visiosta 2030, jossa tavoitellaan kattavaa digitaalista mallia väyläverkosta sekä digitaalista kaksosta ainakin merkittävimmistä kohteista (Väylävirasto 2023c). Haastateltavat, jotka mainitsivat tämän vision, kokivat sen toteutumisen mahdolliseksi.

Digitaalisen kaksosen käsitteestä puhuttaessa haastatteluissa mainittiin lähes aina myös digitaalinen malli. Määrittelytyön esittelyssä viitattiin kypsyystasoihin, joissa digitaalisella mallilla tarkoitetaan digitaalista kaksosta edeltävää kypsyystasoa. Tällä tasolla puhutaan esimerkiksi infran tietomallista tai vastaavasta digitaalisesta mallista. Nämä kypsyystasot on esitetty luvussa 2.3.1 ja Kuva 7. Osa haastateltavista koki, että esimerkiksi tietomalli tai muu olemassa oleva data infraomaisuudesta voisi jo tarkoittaa digitaalista kaksosta. Digitaalisen kaksosen määrittelytyön esittelyssä todettiin digitaalisen mallin ja digitaalisen kaksosen ero. Tämä määräytyy sen perusteella, millainen automatisaation taso tiedon keräämiseen ja siirtoon liittyy, ja miten älykäs malli on kyseessä. Määrittelytyön mukaan digitaaliseen kaksoseen tietoa kerätään ja siirretään automatisoiduin menetelmin. Tässä yhteydessä puhuttiin sensorein kerättävästä datasta ja ”sensroidusta” kaksosesta (*sensored twin*). Digitaalinen malli sen sijaan on digitaalinen versio fyysisestä rakennetusta kohteesta, mutta siihen ei sisälly välttämättä automatisaatiota tai älykkyyttä. Määrittelytyön esittelyn perusteella olemassa olevia rekisteritietoja ei voida pitää digitaalisena kaksosena. Erään haastateltavan mukaan Väylätiedonhallinnan visiossa 2030 ei tavoitella ylintä digitaalisen kaksosen kypsyystasoa. Myöskään muiden haastateltavien mukaan tämän tason itseoppiva digitaalinen kaksonen ei kuulosta realistiselta lähitulevaisuudessa etenkin infra-alalla

Osa haastateltavista totesi digitaalisen kaksonen olevan trenditermi, josta puhutaan nyt kaikkialla. Tämä oli joillakin ensimmäinen ajatus, joka digitaalisesta kaksosesta nousi. Kuitenkin haastateltavilla oli myös ajatuksia siitä, mitä digitaalinen kaksonen tosiasias-
assa tarkoittaa. Vastauksissa korostui käsitys, että digitaalinen kaksonen kuvaa fyysisen omaisuuden digitaalisessa muodossa. Digitaalisen kaksonen keskiössä nähtiin olevan kattava ja ajantasainen data infraomaisuudesta. Useat haastateltavat mainitsivat, että olisi hienoa, jos digitaaliseen kaksoseseen pystyttäisiin sisällyttämään ennustemalleja. En-
nustemallien nähtiin tuovan lisäarvoa nykyisiin ratkaisuihin verrattuna. Yhtenä keskei-
senä huomiona useimmissa haastatteluissa nousi, että digitaalinen kaksonen ei välttä-
mättä viittaisi vain edistyneeseen kolmiulotteiseen, digitaaliseen malliin. Keskeistä digi-
taalisessa kaksosessa on haastateltavien mukaan ajantasainen ja koneluettava data, automatisoidut analyysiprosessit sekä mahdollisuus skenaario- ja ennustemalleihin. Haastateltavien mukaan nämä eivät välttämättä tarkoita hienoa kolmiulotteista mallia. Sen sijaan kolmiulotteisen mallin tarpeellisuus pitäisi arvioida käytötapausten mukaan. Esimerkiksi eräässä haastattelussa nostettiin, että vesiväylien osalta kolmiulotteiselle mallille voisi olla huomattavasti enemmän käyttöä kuin vaikkapa tieverkolla. Lisäksi eräs haastateltava toi ilmi, että digitaalisen kaksonen voisi tehdä myös vasta suunnitteilla ole-
vista väylistä tai väylien osista, jolloin voitaisiin havainnollistaa suunnitelmia tai niiden vaihtoehtoja. Kuitenkin toisessa haastattelussa nostettiin esiin, että määritelmän mukai-
sesti digitaalinen kaksonen vaatisi fyysisen kaksosparinsa.

Haastatteluissa nähtiin, että digitaalinen kaksonen muodostuu eri tasoista, jotka pitää sovittaa yhteen. Infraomaisuudesta puhuttaessa todettiin, että digitaalisen kaksonen yti-
messä ovat tiedot fyysisestä infrasta, kuten vaikkapa tien päällysteistä tai radan kiskoista. Näiden alla ovat infran pohjatiedot. Tämän lisäksi digitaaliseen kaksoseseen voitai-
siin haastateltavien mukaan lisätä eri tasoja, jotka ovat fyysisen infran ulkopuolella olevia tekijöitä. Tällaisia ovat esimerkiksi sääolosuhteet, liikennetiedot tai kunnossapidon toi-
menpiteet. Haastatteluissa nähtiin, että Väyläviraston omistama tai hallinnoima digitaali-
nen kaksonen koostuisi nimenomaan staattisesta infrasta. Sen ohella voisi olla muita tasoja, jotka saattaisivat olla sidosryhmien vastuulla. Tässä ajatustavassa olennaisena nähtiin, että nämä eri tahojen digitaaliset kaksoset tai niihin liittyvät tiedot pystytään kyt-
kemään yhteen. Esimerkkinä tällaisesta tapauksesta haastatteluissa nousi liikennetieto-
jen yhdistäminen staattisen infran digitaaliseen kaksoseseen, mikä nähtiin ennustemallien kehittämisen kannalta tärkeäksi. Liikennetiedot eivät kuitenkaan ole Väyläviraston vas-
tuulla, vaan niistä vastaa Fintraffic. Nämä kaksi organisaatiota tarvitsevat haastateltavan

mukaan jonkinlaisen kytköksen digitaalista kaksosta ajatellen. Esimerkiksi toinen organisaatio saattaisi omistaa ja olla vastuussa varsinaisesta digitaalisesta kaksosesta, johon toinen organisaatio mahdollistaisi ennustemalleja varten tarvittavaa dataa.

Haastateltavilta kysyttiin myös, näkevätkö he digitaalisen kaksosen enemmän työkaluna vai prosessina. Vastauksia tuli laidasta laitaan, kun haastateltavat tarkastelivat asiaa oman työnsä näkökulmista. Tietyn työnkuvan näkökulmasta digitaalinen kaksonen nähtiin työkaluna, sillä se mahdollistaa esimerkiksi infraomaisuuden tietojen haun sekä simulaatiot, joita pystytään hyödyntämään omaisuudenhallinnassa ja päätöksenteossa. Tämän näkemyksen mukaan omaisuudenhallinta on prosessi, jossa digitaalinen kaksonen toimii prosessia tukevana ja mahdollistavana työkaluna. Toisesta näkökulmasta katsottuna koettiin, että digitaalista kaksosta ei voida nähdä pelkkänä työkaluna, sillä se vaikuttaa merkittävästi kaikkeen tekemiseen ja vaatii muutoksia moniin prosesseihin. Erään haastateltavan mukaan digitaalinen kaksonen sekä sen toteuttaminen ja hyödyntäminen vaativat merkittäviä muutoksia erityisesti organisaation tiedonhallinnan osa-alueisiin. Haastateltava totesi, että digitaalinen kaksonen ”*haastaa meidän kaiken tekemisen*”. Tietyllä tavalla se voidaan nähdä myös työkaluna, mutta ei samassa mielessä kuin jokin tietty järjestelmä, joita on totuttu ottamaan käyttöön. Jotta digitaalista kaksosta voidaan lähteä toteuttamaan, on esimerkiksi monia tietoprosesseja haastateltavan mukaan uusittava. Toisaalta digitaalista kaksosta kuvattiin myös ”*uutena maailmana*” sekä uutena ajattelutapana, joka muuttaa toimintaa ja ajattelua laajasti.

Digitaalisen kaksosen kehittämiseen liittyy myös joitakin haasteita ja huolia, jotka nousivat haastatteluissa esiin. Määrittelytyön esittelyssä todettiin, että digitaalinen malli voisi olla jo mahdollista toteuttaa olemassa olevilla tiedoilla, mutta digitaalinen kaksonen vaatisi laajemmin automatisoitua tiedonsiirtoa. Haastatteluissa nousi ilmi ajatus, voitaisiinko nykyiset rekisterit ja niiden sisältämä data nähdä digitaalisena kaksosena. Kuitenkin digitaalisen kaksosen määrittelytyössä koettiin, että olemassa olevia rekisteritietoja ei voida pitää digitaalisena kaksosena, sillä ne toimivat vain omina kokonaisuuksinaan tai omissa järjestelmissään. Esimerkiksi rataverkon tiedot ovat omassa järjestelmässään omassa muodossaan ja tieverkon tiedot vastaavasti omissaan. Toisaalta määrittelytyön esittelyssä huomautettiin, että digitaalisen kaksosen toteuttaminen saattaa vaatia tietoa uudenaikaisessa muodossa. Nykyiset prosessit eivät todennäköisesti vastaa tätä tietotarvetta, jolloin manuaaliryöntejä määrää kasvaa. Tämä taas voi hidastaa digitaalisen kaksosen kehitystyötä sekä samalla mahdollisesti muita prosesseja. Digitaalisen kaksosen kehittämiseen liittyy vielä monia avonaisia kysymyksiä muun muassa tiedon laadun, automa-

tisoinnin, tekoälyn ja ennustemallien osalta. Kehitystyössä on huomioitava myös sidosryhmien tiedot ja kyvykkyys sekä tärkeiden tahojen tietojen tai mallien kytkeytyminen yhteen.

4.5 Digitaalisen kaksosen hyödyt infraomaisuuden hallinnassa strategisen päätöksenteon apuvälineenä

Haastattelujen lopussa keskusteltiin siitä, mitä hyötyjä digitaalinen kaksonen voisi tarjota verrattuna aiempiin työkaluihin tai toimintatapoihin. Asiaa tarkasteltiin lisäksi omaisuudenhallinnan strategisen päätöksenteon näkökulmasta. Keskeisimmät hyödyt, joita haastatteluissa ilmeni, on esitetty Taulukko 6 ja näitä on avattu tekstissä alempana.

Taulukko 6 Haastattelujen tulokset digitaalisen kaksosen hyödyistä

DIGITAALISEN KAKSOSEN HYÖDYT

KESKEISET TEEMAT HAASTATTELUISSA	TEEMASTA MAINITTUA HAASTATTELUISSA
Tietoprosessit päätöksenteon tukena	<ul style="list-style-type: none"> - Tiedonhallinnan prosessien kehittyminen - Parempi, kattavampi, ajantasaisempi data - Monipuolisempi, automatisoidumpi datan yhdistely ja analysointi
Kehittyneempi mallintaminen päätöksenteon tukena	<ul style="list-style-type: none"> - Ennustemallien kehittäminen - Vaikutustiedon kehittäminen
Strategiset vaikutukset	<ul style="list-style-type: none"> - Rahan ja resurssien parempi kohdistaminen - Palvelutason turvaaminen - Parempi kyky reagoida muutuvaan toimintaympäristöön
Avoimet kysymykset ja huolet	<ul style="list-style-type: none"> - Soveltuu paremmin operatiiviseen toimintaan - Ei ratkaise kaikkia tietopuutteita/ongelmia

Yksi konkreettinen hyöty, joka digitaalisen kaksosen nähtiin mahdollistavan, oli uudenlaiset **toimintatavat ja tiedonhallinnan prosessit, jotka voisivat tukea päätöksentekoa**. Uudenlaiset toimintatavat edesauttaisivat vanhanaikaisista tavoista irtaantumista. Eräessä haastattelussa nähtiin, että digitalisaatiosta huolimatta osa organisaation prosesseista tai toimintatavoista on edelleen jämähtänyt vanhanaikaiseen. Tämä saattaa haastateltavan mukaan aiheuttaa esimerkiksi hiljaisen tiedon kerääntymistä tai tiedonhallinnan prosessien heikkoutta esimerkiksi tiedon laadun tai ajantasaisuuden kannalta. Haastateltavat nostivat esiin, että digitaalisen kaksosen tuomat automatisoidut prosessit edesauttaisivat tiedon ajantasaisuutta, jolla voi olla merkittävä hyöty päätöksenteossa.

Tiedon ajantasaisuudella viitattiin myös siihen, että tieto ei jäisi muhimaan asiantuntijoiden sähköposteihin tai päihin, vaan siirtyisi automaattisesti järjestelmiin ja osaksi digitaalista kaksosta. Toisaalta haastateltavien mukaan digitaalinen kaksonen mahdollistaisi myös parempien lähtötietojen avulla paremmat ja kattavammat analyysit. Nämä taas mahdollistavat paremman päätöksentekoprosessin. Yksi haastateltavista korosti, että tiedonhallinnan ja sen kehittämisen on kuljettava käsikädessä digitaalisen kaksosen ja sen vaatimusten kanssa. Haastatteluissa mainittujen hyötyjen lisäksi määrittelytyön esitelyssä käytiin läpi joitakin digitaalisen kaksosen hyötyjä. Nämä määrittelytyössä esitetyt hyödyt ovat seuraavanlaisia:

- väylän koko elinkaaren ajan luotettava kopio todellisuudesta
- mahdollistaa reaaliaikaisen tilannekuvan ja raportoinnin väylien palvelutasosta, kunnosta ja liikenteestä
- mahdollistaa oikea-aikaisen kunnossapidon
- mahdollistaa häiriöiden ja poikkeamien ennakkoinnin ja niihin varautumisen.

OmaisuuDENhallinnan kannalta digitaalisen kaksosen hyötyjä nähtiin muun muassa kunnossapidon edistämisessä. Tätä hyödyttäisi erityisesti **kehittyneemmät mallinnusmahdollisuudet, jotka voisivat edistää päätöksentekoa**. Digitaalinen kaksonen toisi mukanaan paremmat ennustemallit, joilla esimerkiksi rappeutumista voitaisiin ennustaa paremmin. Tämä edesauttaisi kunnossapidon toimenpiteiden kohdentamista. Haastateltavien mukaan ennustemallien toteuttaminen vaatisi automatisoidusti ja ajantasaisesti kerättyä dataa infrasta. Lisäksi haastatteluissa esitettiin, että vaikutustieto, joka nähtiin omaisuudenhallinnan puutteena, voisi kehittyä digitaalisen kaksosen ja sen tuomien mallinnusmahdollisuuksien myötä. Parempi vaikutustieto olisi haastateltavien mukaan mahdollista saavuttaa, mikäli infran digitaalinen kaksonen pystyisi huomioimaan sen ympäristön ja ympäristössä tapahtuvat muutokset. Vaikutustiedon kehittyminen voisi edistää kunnossapidon lisäksi rahoituksen kohdistamista.

Osa haastateltavista koki, että digitaalisen kaksosen hyötyjä on helpompi tunnistaa operatiivisemmalta tasolta, mutta haastatteluista oli tunnistettavissa myös potentiaalisia **strategisen tason hyötyjä** omaisuudenhallintaan. Haastateltavat nostivat strategisen tason hyödyistä esiin rahan ja muiden resurssien entistä paremman kohdistamisen esimerkiksi vaikutustietoon ja ennustemalleihin perustuen. Lisäksi nämä tekijät liittyivät tiiviisti palvelutason turvaamiseen, joka mainittiin muutamassa haastattelussa. Kehittyneemmät teknologiat ja mallinnukset voisivat haastateltavien mukaan myös edesauttaa toimintaympäristön muutoksiin reagoinnissa. Toimintaympäristön muutokseen reagointi mainittiin ainakin yhdessä haastattelussa tärkeäksi osaksi strategista päätöksentekoa.

Digitaalisen kaksonen hyödyistä keskustellessa nousi esiin myös joitakin **asioita, joihin digitaalinen kaksonen ei välttämättä kykenisi vastaamaan**. Osa haastateltavista koki, että digitaalinen kaksonen palvelee paremmin lyhyen aikavälin operatiivista toimintaa. Sen sijaan pidemmän aikavälin toiminnassa, kuten strategisessa päätöksenteossa, digitaalinen kaksonen ei välttämättä voisi olla hyödyksi. Erään haastateltavan mukaan pidemmän aikavälin päätöksiin sisältyy enemmän laadullista päättelyä, mitä digitaalinen kaksonen tuskin tarjoaisi. Lisäksi yhdessä haastattelussa mainittiin, että digitaalinen kaksonen ei mahdollisista hyödyistään huolimatta ratkaise kaikkia ongelmia. Esimerkiksi toimintaympäristöön liittyvät yllättävät muutokset, kuten sodat ja pandemiat, saattavat vaikuttaa organisaation toimintaan ja strategiseen päätöksentekoon merkittävästi. Näitä on kuitenkin hankala huomioida edistyneemmässäkin mallinnuksessa, jolloin digitaalinen kaksonen ei ratkaisi tämänkaltaisia ongelmia.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Strateginen päätöksenteko ja tiedolla johtaminen infraomaisuuden hallinnassa

Infra-alan strategisesta päätöksenteosta löytyy melko vähän tutkimuksia. Omaisuudenhallinnan strategista näkökulmaa on tutkittu jonkin verran, mutta monista tutkimuksista puuttuu konkreettinen strategisen päätöksenteon näkökulma. Sen sijaan yleisesti julkisten organisaatioiden strategisesta päätöksenteosta tai johtamisesta on enemmän tutkimuksia saatavilla. Näistä tutkimuksista ja kirjallisuuslähteistä selviää joitakin konkreettisia esimerkkejä siitä, mitä julkisen organisaation strateginen päätöksenteko voi pitää sisällään, ja mitä strategiset päätökset ovat. Kuitenkin myös näiden tutkimusten väliltä löytyy eroavaisuuksia siitä, millaisia asioita luetaan sisältyväksi strategiseen päätöksentekoon ja mitkä kuuluvat muille tasoille. Tässä alaluvussa pohditaan, mitä kirjallisuus- ja haastattelututkimuksen perusteella voidaan käsittää kuuluvaksi strategiseen päätöksentekoon infraomaisuuden hallinnassa. Myös strategisen päätöksenteon ja tiedolla johtamisen yhteyttä pohditaan. Tämä alaluku tarkastelee tutkimuksen tuloksia ensimmäiseen kahteen apututkimuskysymykseen, jotka olivat:

1. Miten tiedolla johtaminen näkyy strategisessa päätöksenteossa?
2. Mitä on strateginen päätöksenteko infraomaisuuden hallinnassa?

Tiedolla johtaminen

Haastattelujen perusteella tiedolla johtaminen on olennainen osa strategista päätöksentekoa, sillä päätöksenteko perustuu tietoon. Lisäksi tietoperusteisen päätöksenteon tärkeyttä sekä sen kehittämistä pyritään korostamaan organisaation toiminnassa jatkuvasti. Tiedolla johtamisessa nähtiin olevan edelleen paljon kehitettävää, vaikka se on jo useamman vuoden ollut pinnalla organisaation toiminnassa. Tiedolla johtaminen on päätöksenteon ytimessä. Se viittaa toimintatapoihin, joilla tietoa muun muassa jalostetaan ja hyödynnetään arvon luomiseksi (Laihonen et al. 2013). Toisin sanoen tiedolla johtamisella viitataan tiedon hyödyntämiseen päätöksenteossa. Tietoon liittyvät prosessit ja toimintatavat ovat osa koko organisaation toimintaa. Ne ovat linkitettyinä kaikkeen muuhun tekemiseen. (Laihonen et al. 2013) Tämän vuoksi, jos organisaation toimintatavoissa tapahtuu muutoksia, myös tiedolla johtamista on usein tarpeen kehittää. Esimerkiksi tiedonhallintaan liittyvät prosessit voivat olla jatkuvan tarkastelun alla, kun toimintaympäristö muuttuu ja pakottaa organisaatiota muuttumaan mukanaan. Tiedolla johtamisen jatkuva kehittäminen Väylävirastossa voidaan nähdä hyvinkin positiivisena asiana, sillä

infra-ala elää jatkuvan muutoksen keskellä. Tämän tutkimuksen aihepiirin kannalta tiedolla johtaminen liittyy vahvasti kaikkiin tutkittaviin osa-alueisiin, joita käsitellään seuraavissa alaluvuissa. Tiedolla johtamisella on tärkeä rooli omaisuudenhallinnassa ja päätöksenteossa, jossa tieto on keskiössä. Tiedolla johtaminen niin ikään vaikuttaa näiden taustalla aktiivisesti koko ajan. Tiedolla johtaminen on myös läsnä digitaalisen kaksosen maailmassa. Digitaalinen kaksonen voi vaikuttaa tiedolla johtamisen toteuttamiseen luoden uusia mahdollisuuksia tietoprosesseihin. Toisaalta tiedolla johtamisen osa-alueita, kuten tiedonhallintaa, voidaan joutua kehittämään jo ennen digitaalisen kaksosen käyttöönottoa.

Strategiset päätökset yleisesti

Haastateltavien mukaan Väylävirastossa strategisia päätöksiä tehdään muun muassa vuosikellojen, strategioiden ja visioiden suunnittelussa. Lisäksi tulevaisuuden tavoitteiden sekä toimintatapojen suuntaviivojen määrittäminen ovat tärkeä osa strategista päätöksentekoa yhdessä resurssien suunnittelun ja kohdistamisen kanssa. Yhtenä strategisen päätöksenteon tärkeänä kulmakivenä nähtiin palvelutason tarpeeseen vastaaminen, joka nostettiin esiin lähinnä omaisuudenhallinnan näkökulmasta. Vastaavia strategisen päätöksenteon määritelmiä on tunnistettavissa myös kirjallisuudesta. Julkisen sektorin organisaatioissa arvon luonti väestölle tai palvelun käyttäjille on olennainen osa strategista päätöksentekoa (Höglund et al. 2018). Väylävirastossa tämä näkyy erityisesti tavoitteena vastata palvelutason tarpeeseen ja huomioida se strategisessa suunnittelussa. Useimmat haastateltavat mainitsivat lisäksi tulevaisuuden tavoitteiden sekä toiminnan suuntaviivojen määrittämisen, minkä myös monet tutkimukset tunnistavat strategisen tason päätöksentekoon kuuluvaksi. Esimerkiksi Joyce (2015) ja Störmer et al. (2009) mainitsivat tulevaisuuden tavoitteet ja pitkän aikavälin suunnitelmat merkittäväksi osaksi strategista päätöksentekoa. Lisäksi Schraven et al. (2011) määrittivät tutkimuksessaan, että strategiset päätökset ohjaavat organisaation toimintaa. Kirjallisuuden ja haastattelujen perusteella nämä korkeamman tason strategiset päätökset käsittävät siis muun muassa pitkän aikavälin tavoitteet, strategiat ja visiot, arvon luonnin varmistamisen, tulevaisuuden tavoitteet sekä toiminnan suuntaviivojen määrittämisen.

Omaisuudenhallinta ja strategiset päätökset

Haastateltavien mukaan omaisuudenhallinnalla on tärkeä rooli strategisessa päätöksenteossa, sillä se tarjoaa tietoa strategisen päätöksenteon tarpeisiin. Esimerkiksi infraomaisuuden kunnon ja tilan seuranta sekä arviointi ovat erittäin keskeisessä roolissa strategisten päätösten tekemisessä sekä tavoitteiden saavuttamisen seurannassa. Myös kirjallisuudessa on tunnistettu vastaava. Omaisuuden kunnon seuraaminen on olennainen

osa strategisten tavoitteiden saavuttamisen seurantaan sekä tavoitteiden eteen tehtävien toimien määrittämisestä (Schraven et al. 2011; Chen et al. 2015). Kuitenkin esimerkiksi Danielak ja Niewiadomski (2022) määrittävät tavoitteiden seurannan kuuluvan taktiselle johtamisen tasolle. Joten, vaikka omaisuuden kunnan seurannalla on tärkeä rooli strategian toteutumisessa sekä strategisten päätösten tekemisessä, ei se suoraan ole osa strategisen tason päätöksentekoa. Omaisuudenhallinnassa osaltaan siis tuetaan strategisten tavoitteiden saavuttamista ja toisaalta mahdollistetaan tietoa strategiseen päätöksentekoon.

Haastatteluissa käytiin lisäksi läpi, mitä strategiset päätökset omaisuudenhallinnassa käsittelevät. Haastateltavien mukaan omaisuudenhallinnan strategiset päätökset liittyvät esimerkiksi siihen, mihin rahankäyttöä kohdistetaan, miten omaisuuden elinkaari tehokkuutta kehitetään ja mitä kunnossapitoon liittyviä ratkaisuja tehdään. Toisaalta eräs tärkeä teema nykypäivänä on myös toiminnan kestävyys ja ilmastokysymyksiin liittyvä päätöksenteko. Kirjallisuudessa strategisen päätöksenteon ja infraomaisuuden hallinnan yhteydestä nostetaan samankaltaisia teemoja. Omaisuudenhallinta on olennainen osa esimerkiksi rahankäytön kohdistamista, kun priorisoidaan toteutettavia korjaustoimenpiteitä tai rakennushankkeita (Schraven et al. 2011). Joycen (2015) teoksessa resurssien käytön analysointi ja suunnittelu oli myös määritelty osaksi strategisia päätöksiä. Sen sijaan esimerkiksi Huotarin (2019) tutkimuksessa taktisen johtamisen nähtiin nojaavan budjettiin. Myös Vesiluoman (2013) mukaan strateginen päätöksenteko ohjaa resurssien käyttöä. Väylävirastossakin pohdittiin, onko resurssien kohdistaminen varsinaista strategista päätöksentekoa vai ennemmin taktista tasoa, vaikka monet haastateltavista sen mainitsivat strategisen tason päätökseksi. Tämä antaa viitteitä siitä, että resurssien allokointi sijoittuisi johonkin päätöksentekotasojen välille. Mahdollisesti ylemmällä tasolla suunnitellaan resurssien kohdistamisen linjaukset, mutta varsinainen budjetin mukainen päätös tehdään taktisella tasolla.

Kunnossapitoon liittyvät ratkaisut ja elinkaari tehokkuuden kehittäminen, joita haastateltavat mainitsivat, ovat myös osittain eri päätöksentekotasojen osa-alueilla. ISO-standardin mukaan omaisuudenhallinnan eräänä keskeisenä tavoitteena on hyödyntää omaisuuden arvo (SFS-ISO 55000:2014, s.36). Myös Macchi et al. (2018) korostivat omaisuudenhallinnan keskeisenä tavoitteena omaisuuden koko elinkaaren aikaista arvonaluontia. Tämä omaisuuden arvon hyödyntäminen voidaan nähdä esimerkiksi infran palvelutason tarpeeseen vastaamisena, jonka haastateltavat nostivat useaan otteeseen esille eräänä omaisuudenhallinnan tärkeänä strategisena näkökulmana. Palvelutason turvaamisella varmistetaan muun muassa, että infrastruktuuri palvelee sen käyttäjiä riit-

tävällä tasolla. Kunnossapidon ratkaisut ja elinkaaritehokkuuden kehittäminen vaikuttavat merkittävästi palvelutasoon ja infran elinkaaren aikaiseen arvonluontiin. Ylemmällä tasolla nämä voidaan nähdä osana strategista päätöksentekoa, mutta näihin liittyen tehdään myös operatiivisen ja taktisen tason päätöksiä. Erityisesti toiminnan suuntaviivojen ja pidemmän aikavälin päätösten tekeminen ovat omaisuudenhallinnan strategisia päätöksiä. Haastatteluissa mainittu suunnitteluohjeiden päivitys voi olla esimerkki tällaisesta strategisesta päätöksestä.

Strategisen päätöksenteon haasteet

Strategiseen päätöksentekoon usein liittyy tarve tarkastella erilaisia skenaarioita mahdollisista tulevaisuudentiloista sekä pohtia ratkaisuja näille skenaarioille (Vesiluoma 2013). Haastatteluissa puhuttiin ennustemalleista, jotka ovat olennainen osa omaisuudenhallinnan strategista päätöksentekoa, sillä niiden avulla voidaan arvioida omaisuuden kunnan kehittymistä ja suunnitella tarvittavia toimenpiteitä. Haastateltavat kokivat, että ennustemalleja täytyy kehittää paremman päätöksenteon tueksi. Edistyneiden ennustemallien avulla on mahdollista tarkastella aiempaa paremmin myös erilaisia tulevaisuusskenaarioita sekä optimoida omaisuuden kunnossapidon toimenpiteitä ja rahan käyttöä. Ennustemallien kehittämällä voi olla merkittävä hyöty strategisen päätöksenteon tukemiseksi.

Osa haastateltavista nosti esiin joitakin huolia tiedolla johtamisesta sekä omaisuudenhallinnasta ja strategisesta päätöksenteosta. Tietojen ajantasaisuudesta ja laadusta oli tiin joissakin haastatteluissa huolissaan. Osa koki, että ajantasaisuudessa ja laadussa on merkittäviä puutteita. Laadukas ja ajantasainen tieto on tiedolla johtamisen sekä päätöksenteon kannalta olennaista (Laihonen et al. 2013). Tietoon sekä tietoprosesseihin liittyvät puutteet haastavat systemaattista ja toimivaa tiedolla johtamista. Ne voivat esimerkiksi heikentää analytiikan laatua ja mahdollisuuksia. Sitä kautta myös päätöksenteko voi hankaloitua. Pahimmillaan puutteellinen tieto johtaa vääristöyksiin ratkaisuihin. Tiedolla johtamisen sekä tietoprosessien kehittäminen on ensisijaisen tärkeää, jotta tietoon perustuvaa päätöksentekoa voidaan toteuttaa systemaattisesti ja tehokkaasti. Tiedon ajantasaisuuteen liittyen yhdessä haastattelussa korostettiin, että jos jokin tieto on määritelty kerättäväksi viiden vuoden välein, on kyseinen aikaväli silloin myös määritelty toiminnan kannalta riittäväksi. Tämä on tärkeä huomio eri päätöksenteon tasojen kannalta. Strateginen päätöksenteko ei usein nojaudu yhtä yksityiskohtaiseen tietoon kuin esimerkiksi operatiivinen päätöksenteko (Karlöf & Lövingsson 2005). Vaikka tiedon on oltava laadukasta ja riittävän ajantasaista päätöksenteon tueksi, on tietoon ja tietoprosesseihin liittyvät todelliset tarpeet huomioitava. Tässä on lisäksi syytä huomioida eri päätöksentekotasojen tietotarpeet.

Osa haastateltavista koki, että organisaation päätöksenteko vaikuttaa usein enemmän reaktiiviselta kuin proaktiiviselta pitkän aikavälin päätöksenteolta. Reaktiivisia toimia tehdään enemmän operatiivisella tasolla kuin strategisella (Höglund et al. 2018). Haastateltavilla oli huoli, että organisaatiossa ei tehdä riittävän proaktiivista tai strategista päätöksentekoa. Toisaalta on tärkeää huomioida, että kaikki päätöksenteon tasot liittyvät vahvasti toisiinsa. Operatiivisten ja taktisten päätösten tulee olla linjassa strategisten päätösten kanssa ja tukea strategisten tavoitteiden saavuttamista (Huotari 2019). Toisaalta taas strategisen päätöksenteon tulee olla joustavaa, siten että strategisia tavoitteita päivitetään jatkuvasti muuttuvan toimintaympäristön muokkaamiin tarpeisiin (Vesiluoma 2013). Höglund et al. (2018) mainitsivat tämän osaksi julkisen sektorin strategisen suunnittelun haasteita, sillä monet ulkoiset tekijät vaikuttavat siihen, että strategiatyötä ei voida tehdä täysin proaktiivisesta näkökulmasta. Muutuvaan toimintaympäristöön ja esimerkiksi valtion budjettiin tulee sopeutua nopeallakin aikataululla. Joten vaikka päätöksenteko vaikuttaisi enemmän operatiiviselta, voi strateginen päätöksenteko olla samalla toimivaa. Operatiivisen ja strategisen päätöksenteon eroja voidaan tarkastella myös esimerkin kautta. Haastattelussa esitetty suunnitteluohjeisiin tehtävä muutos päällystepak-suuksista voi olla omaisuudenhallinnan tuloksena tehtävänä päätös. Erään keskustelun perusteella, tällaisen päätöksen voi ymmärtää myös operatiivisen tason päätöksenä sillä se ohjaa suoraan operatiivista toimintaa. Tosiasiassa sillä kuitenkin tavoitellaan pitkäjänteistä strategista hyötyä esimerkiksi rakenteiden kestävyuden tai tehokkuuden kannalta.

Strategisen päätöksenteon yhteenveto

Taulukossa 7 on esitetty vertailua kirjallisuuslähteissä sekä haastatteluissa esiintyneistä strategisen päätöksenteon osa-alueista. Strategista päätöksentekoa tarkasteltiin sekä yleiseltä että omaisuudenhallinnan näkökulmasta. Taulukkoon on kirjattu lähteitä, joissa kyseinen aihe on mainittu kuuluvan strategiseen päätöksentekoon. Haastatteluista on merkitty *kyllä* tai *ei* sen mukaan mainittiinko aihe haastatteluissa. Lisäksi on esitetty mahdollinen tarkennus aiheeseen, mikäli kirjallisuudessa tai haastatteluissa on ollut eriäviä näkökulmia tai muuta tarkennettavaa.

Taulukko 7 Vertailu strategisista päätöksistä kirjallisuuslähteissä sekä kohdeorganisaation haastatteluissa yleisestä ja omaisuudenhallinnan näkökulmasta

STRATEGISET PÄÄ-TÖKSET	Kirjallisuuslähteissä	Haastatteluissa	Tarkennus
STRATEGISET PÄÄTÖKSET YLEISESTI			
Vuosikellot	Ei mainintaa	Kyllä	
Strategiat ja visiot	Kyllä	Kyllä	

	<i>(Too & Too 2010; Schraven et al. 2011; Huotari 2009)</i>		
Tulevaisuuden tavoitteet	Kyllä <i>(Störmer et al. 2009; Vesiluoma 2013; Joyce 2015)</i>	Kyllä	
Toimintatapojen suuntaviivat	Kyllä <i>(Schraven et al. 2011; Vuorinen 2013)</i>	Kyllä	
Resurssien suunnittelu ja kohdistaminen	Kyllä <i>(Joyce 2015; Danielak & Niewiadomski 2022)</i> Ei, taktinen päätös <i>(Huotari 2019)</i>	Kyllä	Kirjallisuudessa sijoittuu strategiselle tai taktiselle tasolle. Haastatteluissa usein mainittiin strategisena päätöksenä.
Arvon luonti	Kyllä <i>(Höglund et al. 2018)</i>	Kyllä/Ei	Arvonluontia ei mainittu suoraan strategisen päätöksenteon osa-alueena. Ilmeni epäsuorasti muiden asioiden, kuten palvelutason tarpeeseen vastaamisen kautta (omaisuudenhallinnassa).
Vaihtoehtojen määrittäminen ja ratkaisun valinta	Kyllä <i>(Vesiluoma 2013; Joyce 2015)</i>	Ei	Ei mainittu haastatteluissa suoraan. Esim. ennustemallit viittasivat tähän.
Sidosryhmien huomiointi	Kyllä <i>(Meek & Rhodes 2014)</i>	Kyllä	
Tilanteen analysointi	Kyllä <i>(Joyce 2015)</i>	Kyllä/Ei	Haastatteluissa liitettiin esimerkiksi omaisuudenhallinnasta saatavaan tietoon, jota hyödynnetään strategisessa päätöksenteossa.
OMAISUUDENHALLINNAN STRATEGISET PÄÄTÖKSET			
Rahankäytön kohdistaminen omaisuuden kunnon perusteella	Strategisten tavoitteiden ohjaamaa <i>(Schraven et al. 2011)</i>	Kyllä	
Omaisuuuden elinkaaritehokkuuden päätökset	Kyllä <i>(Störmer et al. 2009; Macchi et al. 2018)</i>	Kyllä	

Arvon luonti	Kyllä (<i>Too & Too 2010;</i> <i>SFS-ISO</i> <i>55000:2014;</i> <i>Almeida et al. 2022</i>)	Kyllä	Ilmeni epäsuorasti mm. sidosryhmien ja palvelutason tarpeeseen vastaamisen kautta.
Kunnossapito pitkäjänteisten tavoitteiden mukaan	Kyllä (<i>Schraven et al. 2011;</i> <i>Chen et al. 2015</i>)	Kyllä	
Toiminnan kestävyys ja ilmastovaiikutukset	Kyllä/Ei: kestävyys & elinkaaren hallinta (<i>Kaewunruen et al. 2023</i>)	Kyllä	Kirjallisuudessa puhuttiin mm. kestävydestä elinkaaren hallinnassa.
Palvelutason tarpeeseen vastaaminen	Kyllä (<i>Too & Too 2010</i>)	Kyllä	

Keskeisenä johtopäätöksenä infra-alan ja omaisuudenhallinnan strategisesta päätöksenteosta voidaan todeta, että päätöksentekotasojen välillä on jonkinlaista epäselvyyttä siitä mitkä päätökset kuuluvat millekin tasolle. Tämä on olennaista, sillä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, mitä on strateginen päätöksenteko infraomaisuuden hallinnassa (apututkimuskysymys 2). Jotta voidaan ymmärtää omaisuudenhallinnan strategisia päätöksiä, on ymmärrettävä, mitä strategiset päätökset ovat. Joitakin selkeitä määritelmiä strategisista päätöksistä voidaan taulukon perusteella esittää. Esimerkiksi tulevaisuuden tavoitteet ja toimintatapojen suuntaviivat, sidosryhmien huomiointi ja palvelutason vastaaminen, vaihtoehtojen määrittäminen sekä optimaalisen ratkaisun löytäminen esiintyivät useimmiten kirjallisuudessa sekä haastatteluissa. Sidoryhmien huomiointi tarkoittaa tässä yhteydessä esimerkiksi infran käyttäjien tarpeiden huomioimista sekä poliittisten tekijöiden asettamia raameja ja rajoitteita. Omaisuudenhallinnan strateginen päätöksenteko vaatii tuekseen laadukasta ja ajantasaista tietoa ja analyseja. Pitkän aikavälin tavoitteet ja suunnitelmat eivät yleensä nojaudu hyvin yksityiskohtaiseen ja reaaliaikaiseen tietoon, vaan laajemmalla kerättyyn tietoon sekä laadulliseen päättelyyn, jossa myös intuitiolla on roolinsa. Erilaisten skenaarioiden tai ennustemallien tarkastelu ja analysointi ovat tärkeä osa infrastruktuuriin liittyvää strategista päätöksentekoa, jotta tulevaisuuteen suuntaavia tavoitteita ja suunnitelmia voidaan laatia parhaan mahdollisen ratkaisun taakamiseksi. Jotta infraan liittyviä strategisia päätöksiä pystytään tekemään, on omaisuudenhallinnan oltava toimivaa ja omaisuustiedon laadukasta. Tässä korostuu siis tiedolla johtamisen rooli strategisessa päätöksenteossa, mikä vastaa ensimmäiseen apututkimuskysymykseen.

Väyläviraston strategiset tavoitteet, jotka löytyvät esimerkiksi organisaation nettisivuilta, eivät kovin konkreettisesti nousseet esiin haastatteluissa. Joitakin mainintoja oli esimerkiksi palvelutasosta, joka on varsin keskeinen osa strategiaa, mutta keskustelut näistä jäivät melko pintapuolisiksi. Monissa tilanteissa infra-alan strategiaa ja strategisia päätöksiä käsitellään ohimenevästi ylätasolta ilman varsinaista konkretiaa. Strategia vaikuttaa olevan Schravenin et al. (2011) kuvaileman mukaisesti itsestään selvä, toiminnan taustalla vaikuttava asia, jota ei juuri käsitellä arjessa. Tämä saattaa osittain johtua myös päätöksenteon tasojen välisestä epäselvyydestä. Minkä tyyppiset asiat kuuluvat millekin päätöksentekotasolle? Operatiiviset päätökset vaikuttivat haastatteluissa olevan selkeimmin ymmärrettyjä, ja niihin haastateltavien oli helpompi tarttua. Myös tutkimukset vaikuttavat saman suuntaisilta. Strategisen päätöksenteon taso infra-alalla ja julkisissa organisaatioissa on edelleen epäselvää.

5.2 Digitaalinen kaksonen infra-alalla

Digitaalisen kaksonen uutuuden vuoksi sen määritelmä infra-alalla on vielä osittain epäselvä. Digitaalista kaksosta käsittelevän kirjallisuuden sekä tämän haastattelututkimuksen perusteella on koottu yhteen joitakin keskeisiä asioita, jotka määrittävät digitaalista kaksosta ja kuvaavat, mitä digitaalinen kaksonen infra-alalla ja infraomaisuuden hallinnassa voisi käsittää. Tässä alaluvussa vastataan erityisesti apututkimuskysymykseen 3 sekä sivutaan vastausta kysymykseen 4:

3. Mikä on digitaalinen kaksonen infra-alalla?
4. Miten digitaalinen kaksonen liittyy infraomaisuuden hallintaan?

Digitaalisen kaksonen määritelmät

Digitaalinen kaksonen on virtuaalinen kuvaus todellisuudesta. Se kuvaa digitaalisessa muodossa fyysisen todellisuuden systeemin tai järjestelmän. Digitaalinen kaksonen eroaa muista digitaalisista malleista siten, että se huomioi myös järjestelmän ulkopuoliset tekijät, kuten ympäristön tai työntekijät (Macchi et al. 2018; Jiang et al. 2021). Digitaalinen kaksonen kerää ja kokoaa yhteen dataa useiden teknologioiden avulla ja analysoi dataa simuloidakseen todellisen järjestelmän toimintaa (Macchi et al. 2018). Useissa määritelmässä digitaaliseen kaksoseen liitetään sensorein kerätty data, joka on merkittävä ero muiden mallinnustekniikoiden ja digitaalisen kaksonen välillä (Jiang et al. 2021). Monipuolinen data sekä big data -analytiikka ovat olennainen osa digitaalista kaksosta ja ne mahdollistavat edistyneet simulaatiomallit, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi järjestelmän optimoinnissa (Macchi et al. 2018; Lu et al. 2020; Jiang et al. 2021).

Big datan lisäksi digitaalinen kaksonen perustuu osaltaan myös tekoälyyn ja koneoppimiseen, jotka mahdollistavat esimerkiksi ennustemallien aiempaa paremman kehittämisen (Lu et al. 2020).

BIM eli tietomallinnus on läheinen termi digitaaliselle kaksoselle, mutta nämä eivät kuitenkaan tarkoita samaa asiaa. BIM viittaa digitaaliseen malliin, joka voidaan laatia olemassa olevasta tai vasta suunnitteilla olevasta kohteesta. Digitaalinen kaksonen sen sijaan vaatii fyysisen kaksosparinsa, joten esimerkiksi suunnitteilla olevasta infrakohteesta ei voida rakentaa digitaalista kaksosta, kuten joissain haastatteluissa pohdittiin. Joidenkin määritelmien mukaan BIM:iä pidetään digitaalista kaksosta alemmalla kypsyytasolla (kuva 3; Kaewunruen et al. 2023). BIM voi kuitenkin olla osa digitaalista kaksosta. Myös Väylävirastossa digitaalisesta mallista ja digitaalisesta kaksosesta puhutaan osittain samassa yhteydessä. Digitaalisen kaksosen määrittelytyössä nämä kuitenkin erotetaan toisistaan esimerkiksi kypsyytasojen avulla, jossa digitaalinen malli on digitaalista kaksosta edeltävä askel. Näiden termien ero on tärkeää pitää selkeänä. Kaewunruenin et al. (2023) kypsyytasojen mukaan Väylävirasto voisi olla tällä hetkellä tasolla kaksi, jossa BIM:stä ei ole vielä siirrytty digitaalisen kaksosen maailmaan. Haastatteluissa nähtiin, että digitaalisen kaksosen kehittämiseen on vielä matkaa.

Digitaalisen kaksosen määritelmään sisällytetään usein reaaliaikaisuus, mikä tarkoittaa, että esimerkiksi sensorien avulla kerätään reaaliaikaista dataa todellisesta järjestelmästä, ja digitaalinen kaksonen päivittyy tämän perusteella reaaliaikaisesti (Jiang et al. 2021). Tämä tarkoittaa, että digitaalinen kaksonen antaa tarkan tilannekuvan fyysisen järjestelmän nykytilasta. Haastatteluissa infran digitaalisen kaksosen reaaliaikaisuus herätti ehkä enemmän huolta tai epävarmuutta kuin innostusta, sillä tällaisen toteuttaminen on vielä kaukana nykypäivästä. Reaaliaikaisuudesta voisi kuitenkin olla hyötyä erityisesti omaisuudenhallinnassa monissa tilanteissa, kuten vikojen havaitsemisessa ja paikantamisessa (Lu et al. 2020; Kaewunruen et al. 2023). Nämä ovat erityisesti operatiivisen tason päätöksentekoa tukevia tekijöitä, eikä niinkään strategista tasoa. On kuitenkin huomattavaa, että pitkällä aikavälillä reaaliaikaisesti kerätyllä datalla saattaa olla myös strategista hyötyä.

Eräässä haastattelussa pohdittiin nykyisten rekisterien ja niiden sisältämän datan käsittämistä digitaalisena kaksosena. Kuitenkin toinen haastateltava mainitsi, että Väyläviraston digitaalisen kaksosen määrittelytyön mukaan olemassa olevia rekisteritietoja ei voida pitää digitaalisena kaksosena. Haastateltavan mukaan nykyiset rekisterit toimivat vain omina kokonaisuuksinaan tai omissa järjestelmissään, mikä ei täytä digitaalisen kaksosen määritelmää. Muun muassa Jiang et al. (2021) sekä Lu et al. (2020) mainitsivat

tutkimuksissaan, että digitaalisen kaksosen toteuttamisessa on huomioitava monet erilaiset käyttötarkoitukset sekä eri lähteistä kerättävän datan yhdistelyn ja analysoinnin tarve. Myös tarve yhdistää digitaalisia kaksosia keskenään voi olla olennaista. Tämän vuoksi digitaalinen kaksonen todennäköisesti vaatisi kohdeorganisaation nykyisiä rekisteritietoja yleisemmän muodon, josta tieto on paremmin saatavilla ja hyödynnettävissä. Esimerkiksi, jos alan organisaatiot hyödyntävät digitaalisia kaksosia keskenään toistensa kanssa tai tuottavat dataa toisen omistamalle digitaaliselle kaksoselle, on universaalille muodolle tarvetta.

Koska nykyiset rekisteritiedot eivät vastaa digitaalista kaksosta ja digitaaliseen kaksoseseen lisäksi liitetään usein reaaliaikaisesti kerätty, monipuolinen sensoridata, vaatii digitaalinen kaksonen uudella tavalla kerättyä tai tuotettua dataa infrasta ja sen ympäristöstä. On huomioitavaa, että digitaalista kaksosta tuskin tullaan lähtökohtaisesti tekemään heti koko Suomen infrasta, vaan pääpaino on myös haastateltavien mukaan merkittävimmissä infrakohteissa. Kuitenkin näistä merkittävistä kohteista joudutaan todennäköisesti hankkimaan uutta tietoa, jotta niille voidaan kehittää digitaalinen kaksonen. Tämä vaatii laajasti muutoksia esimerkiksi tiedonhallinnan prosesseihin, joita toisaalta voi olla isossa organisaatiossa haastava muuttaa hetkessä, joten digitaalisen kaksosen kehittämisen tiellä on vielä merkittäviä haasteita.

Monilla ensimmäinen ajatus digitaalisesta kaksosesta tuntui olevan entistä tarkempi digitaalinen versio fyysisestä omaisuudesta. Kuitenkin digitaalisessa kaksosessa korostuu myös varsinaisen fyysisen kappaleen lisäksi sen ympäristön ja ympäröivien tekijöiden vaikutukset. Tällainen edistyneempi digitaalinen versio todellisesta infraomaisuudesta voisi tuoda enemmän strategista hyötyä kuin pelkkä digitaalinen 3D-malli. Myös tiedolla johtamisen edistäminen digitaalisen kaksosen avulla voi olla merkittävä hyöty, sillä digitaalinen kaksonen perustuu ajantasaiseen ja kattavaan dataan sekä automatisoituihin prosesseihin. Näiden avulla voidaan tuottaa aiempaa parempia dataan perustuvia analyysijä päätöksenteon tueksi. Tiedolla johtamisen näkökulmasta kattavat, dataan perustuvat analyysit tukevat kaikkia päätöksenteon tasoja.

Yhteenveto digitaalisen kaksosen määritelmästä

Taulukossa 8 esitetään vertailu digitaalisen kaksosen määritelmästä kirjallisuuden ja haastattelujen välillä. Kyseinen taulukko kokoaa yhteen kirjallisuudesta kerätyt määritelmät ja näiden esiintyminen haastatteluissa on selitetty viimeisessä sarakkeessa. Suurin osa digitaalista kaksosta määrittävistä tekijöistä esiintyi haastatteluissa jollain tasolla. Haastatteluissa ei kuitenkaan kysytty suoraan määrittävätkö nämä tekijät digitaalista kaksosta, joten ei voida olettaa haastateltavien tunnistavan kaikkia osa-alueita. Useat

haastateltavien maininnoista olivat pohtivia, voisiko tällainen olla mahdollista. Haastattelujen maininnat eivät suoraan luoneet määritelmää digitaaliselle kaksoselle. Sen sijaan niissä nostettiin joitakin asioita, joita nähtiin mahdollisesti hyödylliseksi osaksi digitaalista kaksosta. Taulukon vasen sarake asettaa kuitenkin hyvät raamit digitaalisen kaksosen määritelmälle, joten se vastaa tutkimuskysymykseen digitaalisen kaksosen määritelmästä.

Taulukko 8 Vertailu digitaalista kaksosta määrittävistä tekijöistä kirjallisuuslähteissä sekä kohdeorganisaation haastatteluissa

DIGITAALISEN KAKSOSEN MÄÄRITELMÄ	Kirjallisuuslähteissä	Haastatteluissa	Tarkennus
Fyysisen järjestelmän elinkaaren aikainen virtuaalinen kopio	Kyllä (<i>Macchi et al. 2018</i> ; <i>Jiang et al. 2021</i>)	Kyllä/Ei	Mainittiin fyysisen infran virtuaalinen kopio. Elinkaarta ei mainittu.
Eri teknologioiden keräämä ja tuottama data	Kyllä (<i>Macchi et al. 2018</i> ; <i>Lu et al. 2020</i> ; <i>Jiang et al. 2021</i>)	Kyllä/Ei	Painotettiin, että digitaalinen kaksonen perustuu kattavaan ja ajantasaiseen dataan.
Big data -analytiikka	Kyllä (<i>Macchi et al. 2018</i> ; <i>Lu et al. 2020</i>)	Kyllä/Ei	Puhuttiin monipuolisista ja automatisoiduista analyyseistä. Big data -termiä ei mainittu suoraan.
Huomioi fyysisen vastinparinsa ulkoiset tekijät (ympäristö, työntekijät, jne.)	Kyllä (<i>Macchi et al. 2018</i> ; <i>Jiang et al. 2021</i>)	Kyllä/Ei	Pohdittiin esim. liikennetietojen yhdistämistä fyysisen infran digitaaliseen kaksoseen.
Kuvaa todellisen järjestelmän nykytilaa (ajantasainen)	Kyllä (<i>Lu et al. 2020</i> ; <i>Jiang et al. 2021</i>)	Kyllä/Ei	Kyllä: kuvaa todellisen järjestelmän. Ei: reaaliaikaisuutta ei nähty tarpeellisena.
Tekoäly, koneoppiminen ja data-analytiikka (mm. ennustemallit)	Kyllä (<i>Lu et al. 2020</i>)	Kyllä/Ei	Tekoälystä ja koneoppimisesta ei juuri puhuttu. Ennustemallit mainittiin usein.
Fyysisen järjestelmän optimointi ja siihen liittyvä päätöksenteko	Kyllä (<i>Macchi et al. 2018</i>)	Kyllä/Ei	Kunnossapidon optimointi ja päätökset mainittiin.

Kuten taulukossa 8 on esitetty, haastatteluissa kyettiin tunnistamaan monia kirjallisuudessa mainittuja tekijöitä, jotka määrittävät digitaalista kaksosta. Näiden voidaan nähdä

vastaavan tutkimuskysymykseen siitä, mikä on digitaalinen kaksonen infra-alalla. Erityisesti taulukon kaksi viimeistä riviä kuvaavat digitaalisen kaksonen yhteyttä infraomaisuuden hallintaan eli vastaavat apututkimuskysymykseen 4. Ennustemallit sekä kunnossapidon optimointi ja päätöksenteko ovat osa omaisuudenhallintaa ja ne tunnistettiin myös edellisessä alaluvussa. Tärkeänä nostona taulukosta on kuitenkin huomattava, että haastateltavat eivät nähneet reaaliaikaisesti kerättyä sensoridataa olennaisena osana infran digitaalista kaksosta. Kirjallisuudessa digitaalisen kaksonen määritelmästä tulee lähes poikkeuksetta vastaan reaaliaikaisuus, joten se on huomioitava osa digitaalista kaksosta. Jatkossa on tarpeen määrittää, tarkoittaako infran digitaalinen kaksonen eri asiaa kuin muiden alojen digitaalinen kaksonen. Vai puhutaanko kenties jostain alemman tason digitaalisesta mallista, jossa reaaliaikaisuus ei ole olennaista?

5.3 Digitaalisen kaksonen hyödyt infraomaisuuden hallinnassa ja strategisessa päätöksenteossa

Tutkimuksen päätavoitteena oli tunnistaa digitaalisen kaksonen hyötyjä infraomaisuudenhallinnassa strategisen päätöksenteon näkökulmasta. Tässä alaluvussa perehdytään siihen, millaisia hyötyjä kirjallisuuden ja haastatteluiden perusteella voidaan tunnistaa digitaalisen kaksonen tarjoavan näille osa-alueille. Tässä laajennetaan edellisen alaluvun vastausta apututkimuskysymykseen 4 sekä esitetään vastauksia kysymykseen 5:

5. Mitä hyötyä digitaalinen kaksonen voi tarjota infraomaisuuden hallinnassa ja strategisessa päätöksenteossa?

Lisäksi luvun lopussa tarkastellaan vielä päätutkimuskysymyksen vastausta eli tarkempaa rajausta strategiseen päätöksentekoon infraomaisuuden hallinnassa:

1. Mitä hyötyä digitaalisesta kaksosesta on infraomaisuuden hallinnassa strategisen päätöksenteon apuvälineenä?

Digitaalisen kaksonen hyödyt infraomaisuuden hallinnassa

Macchin et al. (2018) mukaan digitaalinen kaksonen on jonkin systeemin tai järjestelmän elinkaaren aikainen digitaalinen vastine. Digitaalinen kaksonen huomioi fyysisen vastinkappaleensa lisäksi myös sen ympärillä vaikuttavat tekijät, kuten työntekijät tai ympäristön (Macchi et al. 2018). Haastatteluissa pohdittiin, että jos digitaalinen kaksonen on vain digitaalinen versio olemassa olevasta infrasta, ei se todennäköisesti tuo merkittävästi lisää tietoa tai arvoa päätöksentekoon. Digitaalinen kaksonen kuitenkin huomioi infran lisäksi sen ympäristön ja muita ulkoisia tekijöitä, joten se on edistyneempi mallinnus todellisuudesta kuin pelkkä digitaalinen malli. Tämän vuoksi, kuten haastatteluissa mainittiin, digitaalinen kaksonen voi edistää muun muassa mallinnusta, ennustemalleja sekä

vaikutustietoa. Esimerkiksi näiden avulla omaisuudenhallintaan ja päätöksentekoon saadaan aiempaa parempaa ja luotettavampaa lähtöaineistoa, joilla voi olla merkittävää hyötyä.

Haastatteluissa pohdittiin digitaalisen kaksosen tuomia hyötyjä. Haastateltavat nostivat esiin muutamia tietoprosesseihin liittyviä hyötyjä, jotka voisivat edistää päätöksentekoprosesseja. Tiedonhallinnan prosessien nähtiin kehittyvän digitaalisen kaksosen myötä. Digitaalisen kaksosen kehittäminen ja käyttöönotto toisi joidenkin haastateltavien mukaan organisaatiolle parempaa, kattavampaa ja ajantasaisempaa dataa. Lisäksi se mahdollistaisi haastateltavien mukaan monipuolisemman ja automatisoidumman datan yhdistelyn ja analysoinnin. Tällaiset hyödyt voivat liittyä digitaaliseen kaksoseen, mutta ne ovat toisaalta myös edellytyksiä digitaalisen kaksosen kehittämiseksi. Tietoprosesseja täytyy kehittää jo ennen kuin digitaalista kaksosta voidaan toteuttaa. Tämä nousi ilmi myös digitaalisen kaksosen määrittelytyön esittelystä. Väyläviraston nykyiset tietoprosessit eivät vastaa digitaalisen kaksosen tarpeita. Tämä tarkoittaa, että tietoprosesseja ja tiedonhallintaa täytyy kehittää ennen kuin digitaalista kaksosta voidaan toteuttaa. Tällainen kehitystyö on tulevaisuuden kannalta hyödyllistä, vaikkei se suoraan tähtäisikään digitaaliseen kaksoseen. Kuitenkin digitaaliseen kaksoseen liittyvässä tietoprosessien kehittämisessä nähtiin joitakin huolta herättäviä aiheita. Tiedonhallinnan prosessien kehittäminen digitaalista kaksosta varten voi olla erittäin työläs prosessi. Erään haastateltavan mukaan tämä voi hidastaa digitaalisen kaksosen kehittämistä. Lisäksi se voi häiritä organisaation muiden prosessien toteuttamista, jos esimerkiksi manuaaliryönnän määrä kasvaa hetkellisesti. Sen sijaan digitaaliseen kaksoseen liittyvä datan yhdistelyn ja analysoinnin mahdollisuus on merkittävä hyöty. Tämä liittyy osaltaan edellä mainittuun tietoprosessien kehittämiseen, sillä toimivat tietoprosessit luovat edellytykset laadukkaille analyyseille. Digitaalisen kaksosen hyödyntämä Big data -analytiikka voi kuitenkin tarjota aiempaa edistyneemmät mahdollisuudet yhdistellä ja analysoida dataa eri lähteistä. (Macchi et al. 2018; Lu et al. 2020; Jiang et al. 2021). Tämä taas voi edistää tietoperusteista päätöksentekoa merkittävästi (Macchi et al. 2018). Tiedolla johtamisen ja tietoperusteisen päätöksenteon näkökulmasta tiedonhallinnan prosessien kehittäminen on merkittävä hyöty.

Monet digitaalisen kaksosen hyödyt liittyvät esimerkiksi edistyneempään datan keruuseen, yhdistelyyn ja analysointiin. Näiden avulla voidaan kehittää esimerkiksi omaisuudenhallintaa ja siihen liittyviä toimintoja muun muassa simulaatiomahdollisuuksien kautta. (Jiang et al. 2021) Useat näistä hyödyistä voivat tukea erityisesti omaisuudenhallintaan liittyvää operatiivista päätöksentekoa ja toimintaa. Esimerkiksi sensorein kerätty

reaaliaikainen data voi olla hyödyksi operatiivisessa päätöksenteossa, joka nojaa yksityiskohtaisempaan ja ajantasaisempaan dataan (Karlöf & Lövingsson 2005). Sen sijaan strategista hyötyä ei ole yhtä helppo tunnistaa. Kunnossapitoon liittyviä toimia sekä resurssien kohdistamista voidaan optimoida, kun ongelmakohdat havaitaan reaaliaikaisesti ja mahdollisia rappeumia voidaan ennustaa. Nämä edistävät strategisten tavoitteiden toteutumista, mutta eivät ole varsinaista strategista päätöksentekoa.

Haastatteluissa korostettiin useaan otteeseen ennustemallien kehittämisen tarvetta sekä vaikutustiedon puutteita. Osa haastateltavista uskoi, että digitaalinen kaksosen voi olla ratkaisu näiden kehittämiseen. Lu et al. (2020) tunnistivat tutkimuksessaan, että digitaalisen kaksosen ja siihen sisältyvän koneoppimisen avulla voidaan kehittää ennustemalleja. Ennustemallit auttavat optimoimaan ja priorisoimaan kunnossapidon toimenpiteitä ja kohdistamaan resurssienkäyttöä tehokkaammin (Lu et al. 2020). Nämä ovat tärkeitä osa-alueita infraomaisuuden hallinnassa. Digitaalinen kaksosen voi tarjota merkittävää hyötyä ennustemallien ja vaikutustiedon kehittämisen kautta. Ennustemallien ja paremman vaikutustiedon avulla resursseja voidaan kohdistaa tehokkaammin oikeisiin paikkoihin. Edistyneempi mallinnus sekä resurssien tehokkaampi kohdistaminen voivat mahdollistaa aiempaa paremman palvelutason tarpeeseen vastaamisen. Lisäksi omaisuudenhallintaa voidaan tehostaa. Vaikutustiedon kehittämällä voidaan vastata siihen, että päätöksentekoa tehdään yhteiskunnallisen vaikuttavuuden näkökulmasta. Nämä kolme osa-aluetta: palvelutason toteuttaminen asiakastarpeiden mukaisesti, tehokas omaisuudenhallinta sekä yhteiskunnalliseen vaikuttavuuteen perustuva päätöksenteko ovat osa Väyläviraston strategiaa (Väylävirasto 2023b). Digitaalinen kaksosen voi siten edistää Väyläviraston strategisiin tavoitteisiin vastaamista. Lisäksi ennustemallit ja parempi vaikutustieto voivat edistää omaisuudenhallinnan strategista päätöksentekoa.

Taulukossa 9 on koottu yhteen digitaalisen kaksosen tarjoamia mahdollisia hyötyjä. Näitä on tarkasteltu erityisesti infraomaisuuden hallinnan näkökulmasta. Taulukon sisältö vastaa apututkimuskysymykseen 5 tiivistäen digitaalisen kaksosen hyötyjä sekä omaisuudenhallinnassa että strategisessa päätöksenteossa. Taulukko ei kuitenkaan ota kantaa siihen, ovatko kaikki hyödyt strategisesta päätöksenteon hyötyjä. Tätä aihetta on käsitelty tarkemmin seuraavissa kappaleissa, joissa vastataan päätutkimuskysymykseen.

Taulukko 9 Vertailu digitaalisen kaksosen mahdollisista hyödyistä kirjallisuuslähteissä sekä kohdeorganisaation haastatteluissa

DIGITAALISEN KAKSOSEN HYÖDYT	Kirjallisuuslähteissä	Haastatteluissa	Tarkennus
Tietoprosessien ja tiedonhallinnan kehittäminen	Ei mainittu	Kyllä	Haastatteluissa mainittiin hyötynä, mutta on ennemmin edellytys digitaaliselle kaksoselle.
Monipuolinen, automatisoitu datan yhdistely	Kyllä (<i>Macchi et al. 2018</i> ; <i>Lu et al. 2020</i> ; <i>Jiang et al. 2021</i>)	Kyllä	
Monipuolinen, automatisoitu datan analysointi	Kyllä (Big data -analytiikka) (<i>Macchi et al. 2018</i> ; <i>Jiang et al. 2021</i> ; <i>Kaewunruen et al. 2023</i>)	Kyllä	
Tietoperusteinen päätöksenteko	Kyllä (<i>Macchi et al. 2018</i>)	Kyllä/Ei	Mainittiin mm., että data ja analyysit paranevat, jolloin päätöksentekoprosessi paranee.
Ennustemallien kehittäminen	Kyllä (<i>Lu et al. 2020</i>)	Kyllä	
Vaikutustiedon kehittäminen	Ajatus sisältyy muihin teemoihin	Kyllä	
Fyysisen järjestelmän optimointi	Kyllä (<i>Macchi et al. 2018</i>)	Kyllä/Ei	Ei mainittu haastatteluissa suoraan.
Rahan ja resurssien kohdistaminen paremmin	Kyllä (<i>Lu et al. 2020</i>) Elinkaaren aikaisten kustannusten suunnittelu ja määrittäminen: (<i>Kaewunruen et al. 2023</i>)	Kyllä	
Palvelutason tarpeeseen vastaaminen paremmin	Ei mainittu	Kyllä	Kirjallisuudessa ei mainittu suoraan.
Parempi kyky reagoida toimintaympäristön muutoksiin	Ennustemallit: (<i>Lu et al. 2020</i>)	Kyllä	
Kunnossapitoon liittyvä päätöksenteko, poikkeavuuksien havaitseminen	Kyllä (<i>Macchi et al. 2018</i> ; <i>Lu et al. 2020</i> ; <i>Jiang et al. 2021</i> ; <i>Kaewunruen et al. 2023</i>)	Kyllä/Ei	Eryteisesti ennustemalleista mainittiin.

Elinkaaren kuvaus	Kyllä (Macchi et al. 2018)	Ei	Ei mainittu haastatteluissa suoraan.
Hyödyt pääasiassa operatiivisia	Ei mainittu	Kyllä	Monet tunnistetut digitaalisen kaksosen hyödyt realisoituvat operatiivisen päätöksenteon tasolla. Tähän ei kuitenkaan oteta kirjallisuuslähteissä kantaa.

Taulukossa 9 digitaalisen kaksosen hyötyjä tarkastellaan yleisemmältä omaisuudenhallinnan tasolta. Kaikki näistä eivät kuitenkaan ole strategisen päätöksenteon hyötyjä. Myös haastateltavat pohtivat, että digitaalisen kaksosen hyötyjä on helpompi tunnistaa operatiiviselta toiminnan tasolta. Muun muassa kunnossapitoon liittyviä hyötyjä mainittiin operatiivisesta näkökulmasta. Seuraavaksi tarkastellaan, mitkä näistä hyödyistä ovat omaisuudenhallinnan strategisen päätöksenteon hyötyjä ja vastaavat päätutkimuskysymykseen.

Digitaalisen kaksosen hyödyt infraomaisuudenhallinnan strategisessa päätöksenteossa

Tiedonhallinnan prosessien kehittämisellä ja monipuolisemmalla data-analytiikalla voidaan tukea tietoperusteista päätöksentekoa. Monipuolisempi data ja analyysit mahdollistavat sen, että data voidaan saada aiempaa paremmin näkyväksi ja ymmärrettäväksi. Tämä oli erään haastateltavan mukaan tärkeä osa strategista päätöksentekoprosessia. Tiedonhallinnan ja data-analytiikan kehittäminen hyödyttävät omaisuudenhallinnan strategista päätöksentekoa. Myös ennustemallien ja vaikutustiedon kehittäminen tukee strategista päätöksentekoa. Ennustemallien ja vaikutustiedon avulla voidaan tarkastella ja priorisoida tulevaisuuden toiminnan suuntaviivoja. Ne auttavat vastaamaan kysymykseen, mihin tulevaisuudessa keskitytään. Lisäksi ne mahdollistavat skenaarioiden arvioinnin ja esimerkiksi toimintaympäristön muutoksien ennakoinnin. Siten toimintaympäristön muutoksiin voidaan reagoida aiempaa tehokkaammin myös strategisella tasolla ja proaktiivisesta näkökulmasta. Reaaliaikaisella datalla ei ehkä nähdä suoraan strategista hyötyä, sillä yksityiskohtaisella datalla on tärkeämpi rooli operatiivisessa päätöksenteossa. Pidemmällä aikavälillä reaaliaikaisen datan kerääminen voi kuitenkin toimia pohjana edistyneemmille ennustemalleille, mikä mahdollistaa monia strategisen päätöksenteon hyötyjä. Reaaliaikaisen datan keruun tarjoama strateginen hyöty realisoituu vasta pidemmällä aikavälillä.

Haastatteluissa pohdittiin lisäksi useaan otteeseen strategista päätöksentekoa ja ilmastokysymyksiä, jotka ovat tärkeitä teemoja infra-alalla tänä päivänä. Myös esimerkiksi Lu et al. (2020) huomasivat tutkimuksessaan, että digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää

suunnitellessa ympäristöystävällisempää energiankäyttöä rakennuksissa. Tutkimukseen valitut kirjallisuuslähteet eivät juurikaan infra-alan ilmastokysymyksiä, mutta digitaalisesta kaksosesta voisi olla hyötyä myös tällä saralla. Digitaalisen kaksosen mahdollisuudet voivat tarjota ratkaisuja ilmastoystävällisempien ratkaisujen kehittämiseen infran suhteen. Edistyneemmän mallinnuksen avulla voidaan tarkastella, mitkä infrakohteet ovat esimerkiksi merkittävimpiä liikenteen päästöjen aiheuttajia. Tämän kautta voidaan pohtia energiatehokkaampia ratkaisuja näiden kohteiden kunnossapitoon tai rakentamiseen sekä liikenteen kestävyys edistämiseen. Myös kunnossapidon toimenpiteiden priorisoinnilla ja optimoinnilla voi olla merkittäviä hyötyjä tämän aiheen kannalta. Tehokkaammalla priorisoinnilla ja optimoinnilla voidaan välttyä turhalta, ilmastoa kuormittavalta työltä.

Päätutkimuskysymyksenä oli digitaalisen kaksosen hyötyjen tunnistaminen omaisuudenhallinnassa strategisen päätöksenteon apuvälineenä. Yhteenvetona digitaalisen kaksosen tarjoamista hyödyistä infraomaisuudenhallinnan strategisesta päätöksenteosta voidaan todeta, ettei niiden tunnistaminen ole yhtä helppoa kuin operatiivisen tason hyötyjen. Strategiseen päätöksentekoon digitaalisen kaksosen hyödyt voivat realisoitua pidemmällä aikavälillä, kun digitaalista kaksosta on jo hyödynnetty omaisuudenhallinnassa muuhun toimintaan. Esimerkiksi yhdestä infrakohteesta toteutettu digitaalinen kaksosen ei välttämättä tuo hyötyä ennustemallien tai vaikutustiedon kehittämiseen. Sen sijaan laajempi digitaalisen kaksosen hyödyntäminen useissa infrakohteissa ja omaisuudenhallinnassa voi tarjota monipuolisempaa analyysia päätöksenteon tueksi. Tällöin esimerkiksi mallinnuksesta voi olla merkittävää hyötyä resurssien kohdistamisessa, joka on tärkeä osa strategista päätöksentekoa. Myös elinkaaren hallintaan, omaisuuden ja toiminnan kestävyys sekä palvelutason tarpeeseen voidaan vastata aiempaa paremmin, kun dataa on kerätty ja analysoitu monipuolisesti useista kohteista ja pidemmältä aikaväliltä. Siten strateginen päätöksenteko voi nojautua aiempaa paremmin luotettavaan data-analytiikkaan. Digitaalisen kaksosen toteuttamisen lähtökohtana voi kuitenkin olla sen hyödyntäminen aluksi operatiivisen tason toiminnassa. Strategisen tason hyödyt saattavat realisoitua vasta myöhemmässä vaiheessa.

6. YHTEENVETO

6.1 Keskeiset tulokset

Tutkimuksen keskeiset tulokset on koottu yhteen johtopäätösten perusteella tähän alalukuun. Tulokset käydään läpi tutkimuskysymyksittäin alkaen ensimmäisestä apututkimuskysymyksestä. Viimeisenä kootaan yhteen vastaus päätutkimuskysymykseen. Ensimmäinen apututkimuskysymys oli:

1. Miten tiedolla johtaminen näkyy strategisessa päätöksenteossa?

Tiedolla johtaminen on strategisen päätöksenteon ytimessä. Väylävirastossa pyritään perustamaan päätökset aina mahdollisimman kattavaan ja ajantasaiseen lähtötietoon. Lisäksi taustalla pitäisi olla ymmärrys päätöksen vaikutuksista. (Väylävirasto 2023b) Tiedolla johtamista korostetaan tässä yhteydessä ja se on haastatteluiden perusteella jatkuvasti kehityksen kohteena organisaatiossa. Tiedolla johtamisen keinoin tietoa jalostetaan ja hyödynnetään arvon luomiseksi päätöksenteossa (Laihonen et al. 2013). Pitkäaikaisiin tavoitteisiin ja toiminnan suuntaviivoihin tähtäävissä strategisissa päätöksissä on olennaista, että tiedolla johtaminen on toimivaa. Siten päätökset voidaan perustaa oikeaan tietoon ja esimerkiksi ymmärrys päätösten vaikutuksista kasvaa.

2. Mitä on strateginen päätöksenteko infraomaisuuden hallinnassa?

Tutkimuksessa käsiteltiin strategista päätöksentekoa julkisessa infra-alan organisaatiossa ja tarkemmin infraomaisuuden hallinnassa. Strateginen päätöksenteko julkisella sektorilla eroaa yksityisen sektorin päätöksenteosta, sillä monet organisaation ulkopuoliset tekijät vaikuttavat strategioiden suunnitteluun ja toteutukseen (Joyce 2015; Höglund et al. 2018). Yksityisen sektorin strategisen päätöksenteon teorioita ja oppeja ei voida aina suoraan soveltaa julkisella sektorilla. Julkisen sektorin strategisesta päätöksenteosta on lisäksi joitakin eriäviä näkökulmia sen suhteen, mitä asioita luetaan kuuluvaksi strategisen tason johtamiseen. Esimerkiksi budjetointi ja resurssien kohdistaminen määritellään toisinaan strategiselle tasolle ja toisinaan taktiselle tasolle (kts. Joyce 2015; Huotari 2019). Tähän saattaa vaikuttaa julkisella sektorilla esimerkiksi valtion vuosittainen budjetti, joka ohjaa resursseja. Vuosittaiset suunnitelmat saatetaan mieltää taktisen tason päätöksentekoon, sillä ne eivät vaikuta niin pitkällä aikavälillä kuin strategiset päätökset yleisesti.

Infraomaisuuden hallinnan strategisesta päätöksenteosta löytyy hyvin vähän tutkimuksia ennestään. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että omaisuudenhallinnan

strategisia päätöksiä ovat muun muassa omaisuuden elinkaarihokkuuden päätökset sekä siihen liittyvät kunnossapidon päätökset, toiminnan kestävyteen liittyvät päätökset ja esimerkiksi ilmasto vaikutusten kysymykset. Lisäksi tärkeitä strategisen tason päätöksiä tehdään omaisuudenhallinnassa arvon luonnin sekä palvelutason tarpeeseen vastaamisen näkökulmasta. Nämä strategiset omaisuudenhallinnan päätökset nousivat esiin sekä haastatteluissa että esimerkiksi Störmerin et al. (2009), Toon ja Toon (2010), Macchin et al. (2018) ja Kaewunruenin et al. (2023) tutkimuksissa.

3. Mikä on digitaalinen kaksonen infra-alalla?

Digitaalisen kaksonen määritelmä ei ole täysin vakiintunut eikä siitä ole tehty infra-alalla kattavaa tutkimusta. Se, miten digitaalisen kaksonen käsite eroaa eri aloilla, on vielä epäselvää. Tutkimuksessa hyödynnetyistä kirjallisuuslähteistä sekä haastatteluista oli kuitenkin koottavissa alustava määritelmä infra-alan digitaaliselle kaksoelle. Digitaalinen kaksonen on fyysisen järjestelmän elinkaaren aikainen virtuaalinen kuvaus, joka muodostuu eri teknologioiden keräämän ja tuottaman datan perusteella (Macchi et al. 2018; Lu et al. 2020; Jiang et al. 2021). Digitaalinen kaksonen huomioi myös varsinaisen fyysisen järjestelmän ulkopuoliset tekijät, jotka siihen vaikuttavat (Macchi et al. 2018; Jiang et al. 2021). Digitaalisessa kaksoessa korostuu monipuolinen data ja data-analytiikka sekä lisäksi koneoppiminen ja tekoäly, jotka mahdollistavat edistyneen mallinnuksen (Lu et al 2020). Digitaalinen kaksonen mahdollistaa ajantasaisen tilannekuvan fyysisestä järjestelmästä, sillä se perustuu reaaliaikaisesti kerättyyn dataan (Lu et al. 2020; Jiang et al. 2021). Tämä näkemys sai kuitenkin pientä kritiikkiä kohdeorganisaatiossa, sillä reaaliaikaista dataa ei koettu tarpeelliseksi osaksi infran digitaalista kaksosta. Tutkimuksesta jäi vielä epäselväksi, eroaako infran digitaalinen kaksonen muiden alojen digitaalisesta kaksoesta reaaliaikaisuuden osalta. Vaihtoehtoisesti infra-alan kypsyys ei vielä nykyisellään riitä digitaalisen kaksonen tasolle tai kohdeorganisaatiossa puhutaan digitaalisesta mallista, jossa reaaliaikaisuus ei ole olennaista. Reaaliaikaisuus on kuitenkin määritelmien mukaan tärkeä osa digitaalista kaksosta, ja parhaimmillaan se voi tarjota jopa saumattoman yhteyden digitaalisesta maailmasta fyysiseen maailmaan.

4. Miten digitaalinen kaksonen liittyy infraomaisuuden hallintaan?

5. Mitä hyötyä digitaalinen kaksonen voi tarjota infraomaisuuden hallinnassa ja strategisessa päätöksenteossa?

Apututkimuskysymykset 4 ja 5 liittyvät vahvasti toisiinsa infraomaisuuden hallinnan näkökulmasta, joten nämä kysymykset käsitellään yhdessä. Omaisuudenhallinnassa digitaalinen kaksonen voi tarjota infra-alalle aiempaa edistyneempiä simulaatiomahdollisuuksia, ennustemalleja ja elinkaarenhallintaa (Lu et al. 2020; Kaewunruenin et al. 2023).

Monipuolinen datan keruu sekä analysointi voi olla hyödyksi poikkeamien tunnistamisessa, optimoinnissa ja päätöksenteossa sekä toimintaympäristön muutoksiin reagoinnissa. Lisäksi digitaalisesta kaksosesta voi olla hyötyä ajankohtaisten teemojen, kuten kestävän kehityksen edistämiseksi, kun rakenteiden kestävyttä ja esimerkiksi kunnossapidon optimointia voidaan arvioida ja kehittää aiempaa paremmin. (Macchi et al. 2018; Lu et al. 2020; Jiang et al. 2021; Kaewunruen et al. 2023) Monet digitaalisen kaksosen hyödyistä voivat olla omaisuudenhallinnan kannalta operatiivisen tason hyötyjä.

Strategisen päätöksenteon näkökulmasta digitaalisen kaksosen hyödyt rajautuvat erityisesti tietoprosesseihin sekä niihin liittyviin mahdollisuuksiin. Myös tiedolla johtamisen rooli korostuu tässä yhteydessä. Väylävirastossa pyritään kehittämään tietoperusteista päätöksentekoa. Digitaalinen kaksonen voi Macchin et al. (2018) mukaan edistää tätä, minkä vuoksi digitaalinen kaksonen voi hyödyttää organisaation strategista päätöksentekoa. Myös haastatteluissa tunnistettiin, että digitaalisen kaksosen tarjoamat data-analytiikan mahdollisuudet voivat edistää päätöksentekoprosessia. Toisaalta digitaalisen kaksosen monet muut mahdollisuudet, kuten ennustemallien kehittäminen, voivat tuottaa uutta tietoa strategisen päätöksenteon tueksi. Strategisen tason hyötyjen tunnistaminen on kuitenkin haastavaa, sillä niistä ei juurikaan löydy tutkimusta. Myöskään kohdeorganisaatioissa ei ole konkreettista käsitystä siitä, miten digitaalinen kaksonen hyödyttää strategista päätöksentekoa.

Päätutkimuskysymys: Mitä hyötyä digitaalisesta kaksosesta on infraomaisuuden hallinnassa strategisen päätöksenteon apuvälineenä?

Vastauksena tutkimuksen varsinaiseen tavoitteeseen voidaan todeta, että digitaalisen kaksosen todellisten hyötyjen tunnistaminen omaisuudenhallinnan strategisessa päätöksenteossa on haastavaa. Väylävirastossa digitaalisen kaksosen kehittämiseen on vielä matkaa, sillä nykyiset järjestelmät ja prosessit eivät suoraan toimi digitaalisessa kaksosessa, vaan prosesseihin on tehtävä muutoksia. Esimerkiksi haastatteluissa nousi tietoprosessien kehittäminen. Teoreettisella tasolla voidaan kuitenkin todeta, että digitaalisen kaksosen monipuoliset datan yhdistelyn ja analysoinnin sekä koneoppimisen mahdollisuudet voivat edistää omaisuudenhallintaa ja siihen liittyvää strategista päätöksentekoa. Erityisesti tiedolla johtamisen ja tietoprosessien kehittämisen näkökulmasta strategiseen päätöksentekoon voidaan tuottaa digitaalisen kaksosen avulla aiempaa parempaa lähtötietoa.

Monet digitaalisen kaksosen hyödyt omaisuudenhallinnalle voivat olla operatiivisia, mutta myös taktisen ja strategisen tason hyödyt ovat realistisia. Kuten aiemmista tulok-

sista kävi ilmi, digitaalisen kaksosen avulla voidaan kehittää ennustemalleja ja vaikutustietoa aiempaa edistyneemmin. Nämä tarjoavat uudenlaista tietoa sekä omaisuudenhallinnan operatiiviselle tasolle että strategisen tason päätöksiin. Strategisella tasolla pyritään muun muassa vastaamaan palvelutason tarpeeseen (Too & Too 2010), kohdistamaan resursseja omaisuuden kunnon perusteella (Schraven et al. 2011), tekemään elin-kaaritehokkuuden kannalta sopivia ratkaisuja (Störmer et al. 2009) ja luomaan arvoa omaisuudesta (SFS-ISO 55000:2014). Digitaalisen kaksosen mahdollistamat ennustemallit, vaikutustieto sekä muut data-analytiikan ja koneoppimisen keinot voivat tuoda uutta tietoa juuri näiden osa-alueiden kehittämiseen. Näiden avulla strategiseen päätöksentekoon voidaan myös saada kattavaa tietoa aiempaa nopeammin. On kuitenkin huomioitavaa, että esimerkiksi ennustemallien kehittäminen voi tuoda suurempia hyötyjä vasta pidemmällä aikajänteellä. Myös muut strategisen tason hyödyt saattavat toteutua vasta, kun digitaalinen kaksosen on toteutettu useammista infrakohteista.

Omaisuudenhallinnan strategisesta näkökulmasta yksittäinen infrakohte, ja tässä tapauksessa siitä toteutettu digitaalinen kaksosen, ei tuo päätöksentekoon verkostotason tietoa. Infraomaisuuden hallinnassa usein tulee tarkastella laajempia kokonaisuuksia, minkä vuoksi nämä strategisen tason omaisuudenhallinnan hyödyt saattavat toteutua vasta pidemmällä aikavälillä, kun digitaalinen kaksosen on toteutettu useammista kohteista. Infra-alalla digitaalisen kaksosen laaja toteuttaminen ja käyttöönotto ovat kuitenkin vielä melko kaukaisia haaveita, mikä hidastaa etenkin strategisten hyötyjen tunnistamista ja toteutumista. Digitaalisen kaksosen toteuttaminen vaatii monien prosessien ja erityisesti tiedonhallinnan kehittämistä. Lisäksi alalla on todennäköisesti hyödynnettävä uusia teknologioita, kuten sensoreita datan keräämiseen infraomaisuudesta ja sen ympäristöstä, jotta digitaalisen kaksosen hyödyt voidaan toteuttaa.

6.2 Tieteellinen ja käytännön kontribuutio

Tutkimusyhteisön näkökulmasta tämä tutkimus kokoaa yhteen digitaalisen kaksosen määritelmää infra-alalla. Koska tutkimus on luonteeltaan kartoittava ja tutkimusaihe uudehko, ei määritelmä ole täysin yksiselitteinen. Tähän tutkimukseen poimittiin aiheen kannalta relevantteja kirjallisuuslähteitä. Näistä oli rakennettavissa hyvä käsitys digitaalisen kaksosen määritelmästä, mitä se voisi infra-alalla tarkoittaa sekä mitä hyötyjä se mahdollisesti tarjoaa. Digitaalisen kaksosen määritelmän keskeiset elementit on esitetty edellisessä alaluvussa, jossa on koottu yhteen tutkimuksen tulokset. Tämä digitaalisen kaksosen määritelmä tarjoaa hyvän pohjan infra-alan digitaalisen kaksosen määritelmälle, jota ei aiemmin ole yksiselitteisesti esitetty. Systemaattisella kirjallisuuskatsauk-

sella on mahdollista laatia kattava käsitys digitaalisesta kaksosesta ainakin yleisellä tasolla. Se, miten digitaalisen kaksosen käsite eroaa eri aloilla, on kuitenkin vielä epäselvää. Tutkimus ei täysin onnistunut tuottamaan vastausta tutkimusongelmaan digitaalisen kaksosen hyödyistä infraomaisuuden hallinnan strategisessa päätöksenteossa. Se kuitenkin tarjoaa tieteellisestä näkökulmasta arvokasta tietoa siitä, mitä nämä potentiaaliset hyödyt voisivat olla ja mitä aukkoja tutkimuksen aihepiireissä vielä on.

Käytännön tasolta tämä tutkimus tarjoaa näkökulmia ja suuntaviivoja siihen, miten ja miksi digitaalista kaksosta tulisi kehittää tai lähestyä organisaatioissa. Tutkimus rajautui julkisen sektorin infraorganisaatioon, joten käytännön kontribuutiot ovat erityisesti tätä kuvausta vastaaville organisaatioille. Kuitenkin joitakin näkökulmia on hyödynnettävissä myös muille infra-alan organisaatioille. Esimerkiksi tilaajaorganisaation kanssa työskenteleville sidosryhmille digitaalisen kaksosen sekä sen hyötyjen ymmärtäminen voi olla ensisijaisen tärkeää.

Väyläviraston digitaalisen kaksosen määrittelytyössä on tärkeää ottaa kantaa siihen, mitä digitaalisella kaksosella tarkoitetaan ja mitä käyttötapauksia sille on. Näiden määritelmien selvittäminen myös muulle organisaatiolle on olennaista, jotta asioista puhutaan oikeilla termeillä. Digitaalisen kaksosen toteuttamiseen on todennäköisesti pitkä matka, sillä tietomallinnuksen taso ei ole organisaatiossa vielä kovin korkea. Loikkaus digitaaliseen kaksoseseen tästä tasosta on valtava. Organisaatiossa tulisi määrittää, miten digitaalista kaksosta lähdetään lähestymään vai tavoitellaanko vasta alemman tason digitaalista mallia. Digitalisaation kehittämisessä on joka tapauksessa huomioitava monien muiden prosessien toimivuus ja yhteensopivuus uusien teknologioiden kanssa. Kuten haastatteluissa nousi ilmi, tiedolla johtamista ja tiedonhallintaa pyritään kehittämään. Näiden kehittäminen on olennaista huomioida matkalla kohti digitaalista mallia ja kaksosta. Tällä hetkellä Väylävirastossa ei välttämättä ole kannattavaa tähdätä suoraan kohti edistynyttä digitaalista kaksosta ja sen tarjoamia hyötyjä strategiselle päätöksenteolle omaisuudenhallinnassa. Sen sijaan tiedonhallinnan prosessien ja digitalisaation kehittäminen tähdäten esimerkiksi edistyneempään tietomallinnukseen on ensisijaista, jotta digitaalista kaksosta voidaan tulevaisuudessa toteuttaa. Lisäksi on huomioitavaa, että esimerkiksi digitaalisen kaksosen strategiset hyödyt saattavat realisoitua vasta, kun kyseistä teknologiaa on hyödynnetty jonkin aikaa. Digitaalisen kaksosen toteuttamisessa voi olla kannattavaa tähdätä aluksi operatiivisen tason hyötyihin, sillä strategisen tason hyödyt voivat realisoitua vasta myöhemmin.

6.3 Tutkimuksen arviointi

Tutkimus toteutettiin tapaustutkimuksena Väylävirastolle. Menetelmissä hyödynnettiin kirjallisuus- ja haastattelututkimusta, joiden tavoitteena oli laatia käsitys uudesta tutkimusongelmasta. Tässä alaluvussa arvioidaan tutkimuksen toteutusta sekä sen reliabiliteettia ja validiteettia. Reliabiliteetilla, eli uskottavuudella, viitataan tutkimuksen toistettavuuteen ja johdonmukaisuuteen. Uskottava tutkimus on sellainen, joka voidaan toistaa saaden samat tulokset. Validiteetin, eli luotettavuuden, osalta arvioidaan usein tutkimuksen metodologisten päätösten sopivuutta sekä analyysin tarkkuutta ja yleistettävyyttä. (Saunders et al. 2019) Koska kyseessä oli laadullinen tutkimus, ei luotettavuutta voi tarkastella suoraan siltä kannalta, miten yleistettäviä tuloksia tutkimus onnistui tuottamaan. Sen sijaan tarkastelu rajautuu käytettyjen menetelmien hyödyntämiseen ja niiden perusteluun. Reliabiliteettia arvioidessa on tärkeää huomata, että täysin samoja tutkimustuloksia on käytännössä mahdotonta saada, sillä ihmisten käyttäytyminen on kontekstisidonnaista. (Puusa & Juuti 2020) Tämä tarkoittaa esimerkiksi, että kaksi eri tutkijaa havainnoivat asioita eri tavalla. Tutkimuksen luotettavuutta lisää se, että tutkimuksessa hyödynnetyt menetelmät on avattu mahdollisimman yksityiskohtaisesti (Puusa & Juuti 2020). Tämän avulla tutkimus voitaisiin toteuttaa toisessa tutkimusympäristössä.

Kirjallisuuskatsauksen toteuttamisessa osoittautui useita haasteita, sillä tutkittava aihe oli laaja ja melko heikosti tunnettu. Tutkimuksessa jouduttiin hyödyntämään paljon yleisen tason teoreettisia lähteitä, joiden sopivuutta kyseiselle alalle jouduttiin arvioimaan ja soveltamaan. Esimerkiksi infra-alan strategisesta johtamisesta ja päätöksenteosta sekä omaisuudenhallinnan strategisesta näkökulmasta löytyi hyvin vähän tutkimuksia. Lisäksi näistä löydetyt tutkimukset käsitelivät aiheita melko löyhästi. Myös infra-alan digitaalista kaksosta käsitteleviä tutkimuksia oli vain vähän löydettävissä. Tutkimuksessa jouduttiin rakentamaan käsitys aiheesta hyvin yleiseltä ja karkealta tasolta. Täysin yksiselitteisiä vastauksia tutkimuskysymyksiin oli tutkimuksen aihepiirin ja toisaalta tutkimuksen laajuuden vuoksi hankala tuottaa. Tutkimuksen arvioinnin näkökulmasta kirjallisuuskatsauksen kattava kuvaus tutkimusmetodologiassa lisää tutkimuksen luotettavuutta. Kuitenkin, koska aihe oli varsin laaja, ei kaikkia näkökulmia voida sisällyttää diplomityön laajuuteen. Tämän vuoksi on mahdollista myös vastaavilla tutkimusmetodologisilla valinnoilla tuottaa jossain määrin eriäviä tuloksia. Tutkimuksessa on sen laajuuden vuoksi käsitelty kirjallisuudesta esimerkiksi relevanssin mukaan osuvimpia lähteitä. Tämän sekä aikarajoitteen vuoksi on mahdollista, ettei tutkimus ole onnistunut huomioimaan kaikkia aihepiiriin sopivimpia lähteitä. Tietokantojen, niiden saavutettavuuden sekä hakusanojen ja -lausekkeiden valinnalla voi olla suuri vaikutus löydettäviin lähteisiin. Nämä valinnat on kuitenkin

kuvattu tutkimuksessa avoimesti, mikä edistää tutkimuksen luotettavuutta ja toistettavuutta (Puusa & Juuti 2020).

Haastattelututkimuksessa saatiin hyviä näkökulmia tutkimuksen aiheeseen monipuoliselta haastateltavien joukolta. Haastateltavien valinta oli onnistunut, sillä haastateltavat työskentelivät eri positioissa ja tarkastelivat tutkimuksen aiheita eriävistä näkökulmista. Tämä mahdollisti monipuolisen tutkimusaineiston kohdeorganisaation taholta. Haastateltavien määrä oli kuitenkin melko pieni. Isommalla otannalla aineisto olisi voinut olla vielä laadukkaampaa. Kuitenkin tutkimusongelma oli varsin monimutkainen sen uutuu-den vuoksi, joten kyseinen haastateltavien joukko mahdollisti suhteellisen hyvän kuvan aihepiiristä kohdeorganisaatiossa. Haastateltavien kesken järjestetty työpaja olisi voinut rikastuttaa tutkimuksen tuloksia entisestään erityisesti digitaalisen kaksosen määritelmän sekä sen strategisten hyötyjen tunnistamisesta. Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen sekä tutkimus infra-alalla on vielä hyvin alkutekijöissään, minkä vuoksi sen tarjoamien strategisen päätöksenteon hyötyjen tunnistaminen on hankalaa. Haastateltavien oli mahdollisesti myös hankala tunnistaa digitaalisen kaksosen strategisia hyötyjä, kun käsite itsessään on osittain epäselvä. Toisaalta myös haastateltavien käsitykset strategisesta päätöksenteosta ja infraomaisuuden hallinnasta hieman erosivat toisistaan. Tämä aiheutti osaltaan tulkinnanvaraa sekä haastattelujen analysointiin että näiden vertailuun kirjallisuuslähteiden kanssa. Tässä yhteydessä tutkijan omilla käsityksillä sekä tulkinnalla on vaikutusta tutkimuksen lopputulokseen, mikä heikentää reliabiliteettia. Täysin samojen tulosten saamiseksi eri tutkimusympäristössä, pitäisi tutkijoiden sekä tutkitavien havainnoida asioita samalla tavalla.

Tutkimuksen tavoitteena oli laatia ymmärrys digitaalisesta kaksosesta infra-alalla sekä tunnistaa millaisia hyötyjä digitaalinen kaksonen voisi tarjota infraomaisuuden hallintaan strategisen päätöksenteon apuvälineenä. Tutkimuksessa onnistuttiin laatimaan määritelmä digitaaliselle kaksoselle, mutta varsinainen käsitys digitaalisesta kaksosesta infra-alalla on vielä epäselvä. Digitaalisen kaksosen määritelmään sisältyvä reaaliaikaisuus oli erityisesti tutkimuksen kohdeorganisaation näkemyksestä epärealistinen tavoite, joten digitaalisen kaksosen tarpeita tulisi tarkastella vielä tarkemmin. Lisäksi olisi selvitettävä, onko infra-alan digitaalisen kaksosen määritelmä erilainen kuin muilla aloilla vai puhutaanko alalla jostain muusta termistä kuin digitaalisesta kaksosesta.

Tutkimuksessa tunnistettiin mahdollisia digitaalisen kaksosen strategisen päätöksenteon hyötyjä jonkin verran. Osa tunnistetuista hyödyistä oli kuitenkin niin sanotusti potentiaalisia hyötyjä, joiden toteutumisesta ei ole varmuutta, sillä asiaa ei ole tutkittu käytännössä. Digitaalisen kaksosen todelliset strategiset hyödyt infraomaisuuden hallinnassa saattavat realisoitua vasta pidemmällä aikavälillä, kun digitaalinen kaksonen on

toteutettu useammista infrakohteista. Tällöin digitaalinen kaksosen voi kuvata varsinaista väyläverkostoa, josta voidaan saada enemmän hyötyjä kuin yksittäisten infrakohdeiden digitaalisista kaksosista. Todellisten strategisten hyötyjen tunnistaminen tässä vaiheessa on haastavaa. Aihe vaatii lisätutkimusta ja erityisesti käytännön kokemusta, jotta tutkimuskysymyksiin voidaan laatia kattavampia ja yleistettävämpiä vastauksia.

Tutkimus ei onnistunut tuottamaan täysin yleistettävää määritelmää infra-alan digitaaliselle kaksoselle tai sen hyödyille omaisuudenhallinnan strategisessa päätöksenteossa. Tähän vaikuttivat erityisesti edellä mainitut epäselvyydet digitaalisen kaksosen reaaliaikaisuudesta sekä strategisen tason hyötyjen tunnistamisesta. Tämä epäselvyys osaltaan heikentää tutkimuksen validiteettia. Toisaalta laadulliselle tutkimukselle on tyypillistä, etteivät tutkimustulokset ole täysin yleistettäviä (Saunders et al. 2019; Puusa & Juuti 2020). Tutkimusmenetelmänä tapaustutkimus myös heikentää tulosten yleistettävyyttä, sillä tutkimus on toteutettu tarkkaan rajatussa ympäristössä. Tapaustutkimus oli kuitenkin perusteltu valinta tutkimuksen rajaus sekä tavoitteet huomioon ottaen. Perustellut tutkimusmenetelmät puolestaan vahvistavat tutkimuksen luotettavuutta, kun ne vastaavat tutkimuksen tavoitteisiin.

Tutkimukseen liittyi monia haasteita, mutta se loi hyvää pohjaa aiheelle, jota ei ole aiemmin tutkittu. Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa digitaalisen kaksosen määritelmää ja hyötyjä strategisessa päätöksenteossa infraomaisuuden hallinnassa. Tämä tavoite tutkimuksessa saavutettiin, ja tutkimus luo pohjan näiden aihealueiden jatkotutkimukselle. Lisäksi tutkimus tuo kohdeorganisaatiolle joitakin uusia näkökulmia, joita digitaalisen kaksosen määrittelyssä ja suunnittelussa voidaan ottaa huomioon. Tutkimuksen tuloksista tärkeänä teemana voi nostaa pitkäjänteisyyden, joka olennaisesti liittyy digitaalisen kaksosen kehitystyöhön.

6.4 Jatkotutkimustarpeet

Koska tutkimus oli luonteeltaan kartoittava ja tutkimusongelma uusi, ei tutkimus tuottanut yksiselitteisiä vastauksia tutkimuskysymyksiin. Digitaalista kaksosta infra-alalla on tutkittava lisää. Digitaaliselle kaksoselle on laadittava selkeämpi määritelmä sekä yleisesti että infra-alalla. Tämä helpottaa esimerkiksi organisaatioissa digitaalisen kaksosen toteuttamisen suunnittelua ja käyttötapausten tunnistamista. Digitaalisen kaksosen konkreettisia hyötyjä on myös tutkittava lisää. Tutkimusta on tehtävä käytännön tasolla, jotta hyödyt voidaan aidosti tunnistaa. Tämä tarkoittaa myös, että digitaalista kaksosta on hyödynnettävä infra-alalla, jotta sitä voidaan tutkia. Tällä hetkellä todellisten hyötyjen kattava tunnistaminen on haastavaa ilman konkretiaa. Infra-alan digitaalisen kaksosen

tutkimusta voi olla kannattavaa lähestyä esimerkiksi merkittävien infrakohteiden näkökulmasta. Digitaalisen kaksosen toteuttaminen suuremmista kohteista ja tämän tuomien hyötyjen tutkiminen voi tuoda merkittäviä tutkimustuloksia.

Lisäksi infraomaisuuden hallinnan strateginen päätöksenteko vaatii lisätutkimusta. Tällä hetkellä kirjallisuudesta ei juurikaan löydy määritelmää sille, mitä strategisia päätöksiä infraomaisuuden hallinnassa tehdään ja mitä sillä tarkoitetaan. Toisaalta myös julkisten organisaatioiden strategisen johtamisen käsitys on osaltaan ristiriitaista toisistaan eroavien määritelmien puolesta. Näiden selkeyttäminen on edellytys sille, että strategisen päätöksenteon tason hyötyjä voidaan tunnistaa minkä tahansa teknologian tai prosessin näkökulmasta.

LÄHTEET

Almeida, N., Trindade, M., Komljenovic, D. and Finger, M. (2022). A conceptual construct on value for infrastructure asset management. *Utilities Policy*, Vol. 75, pp. 1-12.

Bailey, D.E., Faraj, S., Hinds, P.J., Leonard, P.M. and von Krogh, G. (2022). We Are All Theorists of Technology Now: A Relational Perspective on Emerging Technology and Organizing. *Organization Science*, Vol. 33(1), pp. 1-18.

Baker, D., and Mahmood, M.N. (2012). Developing tools to support complex infrastructure decision-making. *Smart and Sustainable Built Environment*, Vol. 1(1), pp. 59-72.

Braun, V. & Clarke, V. (2022). *Thematic Analysis: a Practical Guide*. Los Angeles: SAGE Publications, 376 p.

BS-ISO 19650-1:2018. (2018). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles. British Standards Institute: London, UK. Saatavilla rajoitetusti: <https://www.iso.org/standard/68078.html>

Chen, L., Henning, T.F.P., Raith, A. and Shamseldin, A.Y. (2015). Multiobjective Optimization for Maintenance Decision Making in Infrastructure Asset Management. *Journal of Management in Engineering*, Vol. 31(6), pp. 1-9.

Danielak, W. and Niewiadomski, P. (2022). Managerial Competences In Relation To Management Level - A Survey Among Manufacturers In The Sector Of Agricultural Machinery. *Scientific Papers of Silesian University of Technology Organization and Management Series*, No. 164, pp. 37-53.

Eskola, J. ja Suoranta, J. (1998). *Johdatus laadulliseen tutkimukseen*. [e-kirja] Tampere: Vastapaino.

Fink, A. (2019). *Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper*. Fifth edition. Los Angeles: Sage.

Giampaoli, D., Aureli, S., and Ciambotti, M. (2019). Knowledge Management, Strategic Decision-Making, Intuition and Planning Effectiveness. *Proceedings of the European Conference on Knowledge Management*, Vol. 1, pp. 371-380.

Gillham, B. (2000). *Case Study Research Methods*. London: Continuum.

Huotari, J. (2019). Strategisen ja operatiivisen toiminnan mittariston kehittäminen. [Opinnäytetyö ylempi AMK]. Kajaanin ammattikorkeakoulu, yrittäjyyden ja liiketoimintaosaamisen koulutus. Saatavilla: <https://www.theseus.fi/handle/10024/262591>

Hyvärinen, M., Suoninen, E. ja Vuori, J. (n.d.). Haastattelut. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) *Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja*. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/laadullisen-tutkimuksen-aineistot/haastattelut/> (Viitattu 9.9.2023)

Höglund, L., Holmgren Caicedo, M., Mårtensson, M., and Svärdesten, F. (2018). Strategic Management in the Public Sector: How Tools Enable and Constrain Strategy Making. *International Public Management Journal*, Vol. 21(5), pp. 822-849.

- Ihku-allianssi (2023). Organisaatio. Saatavilla: <https://ihkuallianssi.fi/organisaatio/> (Viitattu 28.9.2023)
- Jiang, F., Ma, L., Broyd, T. and Chen, K. (2021). Digital twin and its implementations in the civil engineering sector. *Automation in Construction*, Vol. 130, pp. 1–16.
- Joyce, P. (2015). *Strategic Management in the Public Sector*. London: Routledge.
- Juhila, K. (n.d.) Teemoittelu. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavan-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/teemoittelu/> (Viitattu 9.9.2023)
- Kaewunruen, S., AbdelHadi, M., Kongpuang, M., Pansuk, W., and Remennikov, A.M. (2023). Digital Twins for Managing Railway Bridge Maintenance, Resilience, and Climate Change Adaptation. *Sensors*, Vol. 23(1).
- Karlöf, B. & Lövingsson, F.H. (2005) *The A-Z of management concepts and models*. London: Thorogood Publishing.
- Laihonen, H., Hannula, M., Helander, N., Ilvonen, I., Jussila, J., Kukko, M., Kärkkäinen, H., Lönnqvist, A., Myllärniemi, J., Pekkola, S., Virtanen, P., Vuori, V. ja Yliniemi, T. (2013). *Tietojohdaminen*. Tampereen teknillinen yliopisto, Tietojohdamisen tutkimuskeskus Novi.
- Laki Väylävirastosta 2018/936. Annettu Helsingissä 23.11.2018. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20090862>
- Lu, Q., Parlikad, A.K., Woodall, P., Ranasinghe, G.D., Xie, X., Liang, Z., Konstantinou, E., Heaton, J., and Schooling, J. (2020). Developing a Digital Twin at Building and City Levels: Case Study of West Cambridge Campus. *Journal of Management in Engineering*, Vol. 36(3).
- Macchi, M., Roda, I., Negri, E. and Fumagalli, L. (2018). Exploring the Role of Digital Twin for Asset Lifecycle Management. *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 51(11), pp. 790-795.
- Meek, J., and Rhodes, M.L. (2014). Decision making in complex public service systems: Features and dynamics. *E:CO*, Vol. 16(1), pp. 24-41.
- Munir, M., Kiviniemi, A., Finnegan, S. and Jones, S. W. (2020). BIM business value for asset owners through effective asset information management. *Facilities*, Vol. 38(3/4), pp. 181–200.
- Olawumi, T.O. & Chan, D.W.M. (2019). Building information modelling and project information management framework for construction projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. 25(1), pp. 53–75.
- Onaji, I., Tiwari, D., Soulatiantork, P., Song, B. and Tiwari, A. (2022). Digital twin in manufacturing: conceptual framework and case studies. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 35(8), pp. 831-858.
- Puusa, A. & Juuti, P. (toim.) (2020). Laadullisen tutkimuksen näkökulmat ja menetelmät. *Gaudeamus*.
- Ruusuvuori, J., Nikander, P. ja Hyvärinen, M. (2010). *Haastattelun analyysi*. Tampere: Vastapaino.
- Saarnikko, J. (2016). Infraomaisuuden hallinnan nimikkeistö. Liikennevirasto. [Opinnäytetyö] Saatavilla: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/125335/opin_2016-14_978-952-317-313-2.pdf?sequence=2 (Viitattu 27.2.2023)

Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). *Research Methods for Business Students*, 8th Edition. [e-kirja] Harlow UK: Pearson Education Limited.

Schraven, D., Hartmann, A., and Dewulf, G. (2011). Effectiveness of infrastructure asset management: challenges for public agencies. *Built Environment Project and Asset Management*, Vol. 1(1), pp. 61-74.

SFS-ISO 55000:2014. (2014). *Omaisuu denhallinta. Yleisku vaus, periaatteet ja termit*. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-ISO 55001:2014. (2014). *Omaisuu denhallinta. Hallintajärjestelmät. Vaatimukset*. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-ISO 55002:2018. (2018). *Omaisuu denhallinta. Hallintajärjestelmät. Ohjeita standardin ISO 55001:2014 soveltamisesta*. 2. painos. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Siuko, V., Myllärniemi, J. and Hellsten, P. (2022). Knowledge-Based Management Challenges in the Asset Life Cycle. *Proceedings of the European Conference on Knowledge Management*, Vol. 2, pp. 1079-1087.

Störmer, E., Truffer, B., Dominguez, D., Gujer, W., Herlyn, A., Hiessl, H., Kastenholz, H., Klinke, A., Markard, J., Maurer, M., and Ruef, A. (2009). The exploratory analysis of trade-offs in strategic planning: Lessons from Regional Infrastructure Foresight. *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 76, pp. 1150-1162.

Too, E. and Too, L. (2010). Strategic infrastructure asset management: a conceptual framework to identify capabilities. *Journal of Corporate Real Estate*, Vol. 12(3), pp. 196–208.

Vesiluoma, S. (2013). *Strateginen päätöksenteko muuttuvassa toimintaympäristössä*. [Pro gradu tutkielma] Vaasan yliopisto, kauppatieteellinen tiedekunta, johtamisen laitos. Saatavilla: <https://osuva.uwasa.fi/handle/10024/6379>

Vilkkä, H. (2023). *Kirjallisuuskatsaus metodina, opinnäytetyön osana ja tekstilajina*. Helsinki: Art House.

Vuori, J. (n.d. a) *Tapaustutkimus*. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) *Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja*. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusasetelma/tapaustutkimus/> (Viitattu 28.9.2023)

Vuori, J. (n.d. b) *Laadullinen sisällönanalyysi*. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) *Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja*. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavan-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/laadullinen-sisallonanalyysi/> (Viitattu 9.9.2023)

Vuorinen, T. (2013). *Strategiakirja: 20 työkalua*. Helsinki: Talentum.

Väylävirasto (2022a). *Väyläviraston inframallivaatimukset. Väyläviraston ohjeita 32/2022*. Saatavilla: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-32_inframallivaatimukset.pdf

Väylävirasto (2022b). *Omaisuu denhallinnan kehittäminen*. Saatavilla: <https://vayla.fi/tietoa-meista/tutkimus/omaisuudenhallinta> (Viitattu 26.6.2023)

Väylävirasto (2023a). *Tietoa meistä*. Saatavilla: <https://vayla.fi/tietoa-meista> (Viitattu 28.9.2023)

Väylävirasto (2023b). *Toimintasuunnitelma – Väylävirasto 2023*.

Väylävirasto (2023c). Suomi kulkee liikenneverkkojen digitaalisen mallintamisen kärkijoukoissa. Saatavilla: <https://vayla.fi/-/suomi-kulkee-liikenneverkkojen-digitaalisen-mallintamisen-karkijoukoissa> (Viitattu 26.6.2023)