



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

TEKOÄLYN HYÖDYNTÄMINEN TALVIKUNNOSSAPIDOSSA

Roope Palomaa

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Diplomityö

Joulukuu 2025

TIIVISTELMÄ

Tekoälyn hyödyntäminen talvikunnossapidossa

Roope Palomaa

Oulun yliopisto, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Diplomityö 2025, 66 s. ja 2 liitettä

Työn ohjaajat yliopistolla: TkT Anne Tuomela ja DI Aleks Wallin

Diplomityön tavoitteena oli selvittää, miten tekoälyä voidaan hyödyntää Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon prosessin optimoinnissa. Talvikunnossapidon prosessi on monivaiheinen kokonaisuus, joka ulottuu strategisesta talouden hallinnasta operatiiviseen toteutukseen. Tutkimus keskittyi tunnistamaan menetelmiä operatiivisten toimenpiteiden optimoimiseksi. Aihe on ajankohtainen, sillä yhä useammat kunnat etsivät keinoja palveluidensa kustannustehokkuuden parantamiseen sekä hiilineutraalisuuden edistämiseen. Tekoälyn integrointi talvikunnossapidon prosessiin voi luoda edellytykset resurssien tarkemmalle kohdentamiselle, mikä tehostaisi kustannusten ja päästöjen hallintaa.

Kirjallisuuskatsauksessa perehdyttiin tekoälyä koskevaan ajankohtaiseen tutkimustietoon ja käytäntöihin liittyen katujen sekä teiden talvikunnossapitoon. Kirjallisuudessa on raportoitu tekoälyn käytöstä esimerkiksi lumitilanteen seurannan automatisoinnissa ja auraustarpeen ennakoinnissa. Raportoidut tapaukset osoittavat tekoälyn tarjoavan potentiaalia talvikunnossapidon prosessin tehostamiseen. Työn kokeellisessa osassa kartoitettiin Jyväskylän talvikunnossapidon prosessin nykytila asiantuntijahaastatteluiden avulla. Tavoitteena oli tunnistaa kehittämistarpeet sekä tekoälyn sovellusmahdollisuudet.

Tutkimuksen tuloksena syntyi tekoälyratkaisun raamit sekä tiekartta, jonka avulla Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon prosessia voidaan kehittää asteittain. Toimilla voidaan saavuttaa hyödyllisiä tuloksia jo tiekartan alkuvaiheessa esitetyillä piloteilla. Tiekartan ensimmäisissä vaiheissa luodaan perusta tekoälyratkaisulle dataan liittyvillä toimenpiteillä. Tämän jälkeen ratkaisun eri osa-alueita voidaan pilotoida vaiheittain, mikä mahdollistaa niiden myöhemmän integroimisen yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

Asiasanat: optimointi, talvikunnossapito, tekoäly

ABSTRACT

Optimization of Winter Maintenance Using Artificial Intelligence

Roope Palomaa

University of Oulu, Master's Programme in Civil Engineering (MSc, Tech)

Master's thesis 2025, 66 pp. and 2 Appendices

Supervisors at the university: PhD (Tech.) Anne Tuomela and MSc (Tech.) Aleksi Wallin

The objective of this master's thesis was to examine how artificial intelligence (AI) can be utilized to optimize the winter maintenance process for the City of Jyväskylä. The process includes several phases from financial management to operational measures. This study focused specifically on optimizing the execution operational measures. The topic is timely, as municipalities increasingly seek ways to improve the cost-effectiveness of their services while striving to achieve carbon neutrality. Integrating AI into the winter maintenance process can enable more precise resource allocation, enabling potential improvements in both cost and emissions efficiency.

The literature review examined current research and practices regarding the utilization of artificial intelligence in winter road maintenance. Reported applications in the literature include, for example, the automated monitoring of snow conditions and forecasting of ploughing needs. These cases indicate that AI offers potential for enhancing the efficiency of the winter maintenance process. In the empirical part of the study, expert interviews were conducted to map the current state of Jyväskylä's winter maintenance process and to identify development needs as well as potential opportunities for AI deployment.

The study resulted in a framework for an AI solution and a roadmap enabling the incremental development of the City of Jyväskylä's winter maintenance process. Beneficial results can be achieved already during the initial phases of the roadmap through the proposed pilots. The first stages of the roadmap focus on establishing a foundation for the AI solution through data-related measures. Subsequently, different components of the solution can be piloted in phases, enabling their later integration into a unified system.

Keywords: Artificial Intelligence, optimization, winter road maintenance

ALKUSANAT

Tämä diplomityö määrittelee Jyväskylän talvikunnossapidon tilannekuvan sekä luo raamit siihen, kuinka Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon prosessissa voitaisiin hyödyntää tekoälyä. Diplomityö liittyy ProDigialin ja Jyväskylän kaupungin Winter Mobility -kehitysalustaan, joka pyrkii kehittämään Jyväskylän talvikunnossapitoa digitalisaation avulla. Tuloksia voidaan hyödyntää Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon prosessin tiedolla johtamisen parantamisessa sekä lopputuloksissa esitellyn tekoälyratkaisun rakentamisessa. Lisäksi tuloksia voivat hyödyntää muut toimijat, jotka haluavat tehostaa vastaavaa prosessia tekoälyn avulla.

Diplomityöprosessi alkoi heinäkuussa 2025 ja työ valmistui joulukuussa 2025. Työn tilaajana toimi Tampereen yliopiston tutkimusohjelma ProDigial ja se toteutettiin työsuhteessa Ramboll Finland Oy:n kanssa. Esitän lämpimät kiitokseni Ramboll Finland Oy:ltä työn ohjaajana toimineelle Sakari Lindholmille asiantuntevasta ja selkeästä ohjauksesta sekä rakentavasta haastamisesta prosessin aikana. Kiitän myös ProDigial-tutkimusohjelmaa työni mahdollistamisesta.

Työn tekijää motivoi halu olla kehityksen eturintamassa tutkimassa ja hyödyntämässä tekoälyn mahdollisuuksia infrasektorilla. Talvikunnossapito on kriittinen peruspalvelu, jossa tekijä näkee merkittävää potentiaalia tekoälyn hyödyntämiselle vähentämään kuluja, päästöjä sekä nostamaan palvelutasoa teiden tai katujen käyttäjien silmissä.

Haluan kiittää työn ohjausryhmää aktiivisesta osallistumisesta ja vaikuttamisesta työhön. Ohjausryhmään osallistui Jyväskylän kaupungin ja Tampereen yliopiston edustajia, Oulun yliopiston ohjaajat sekä Ramboll Finland Oy:ltä työn kirjoittaja ja ohjaaja. Lisäksi haluan kiittää haastatteluihin osallistuneita asiantuntijoita arvokkaista näkemyksistään, joista oli merkittävää hyötyä työn toteuttamisessa.

Lopuksi haluan kiittää vielä Ramboll Finland Oy:stä Aino Saarelaa, Milla Aholaa sekä Kaisu Laitista siitä, että tämä erittäin mielenkiintoinen aihe muodostui diplomityökseni.

Oulu, 09.12.2025

Roope Palomaa

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1	JOHDANTO	8
1.1	Tavoitteet	9
1.2	Tutkimuskysymykset	9
1.3	Tutkimuksen rajaukset	10
1.4	Työn rakenne	11
2	TALVIKUNNOSSAPIDON PROSESSIT JA TOIMINTAYMPÄRISTÖ	12
2.1	Talvikunnossapidon rooli kaupunkien infrastruktuurissa	12
2.2	Talvikunnossapidon toimenpiteet	13
2.3	Talvikunnossapidon prosessit ja vastuut	13
2.4	Käytettävät kalustot	14
2.5	Sidosryhmät	15
2.6	Talvikunnossapidon kustannukset ja suorituskykymittarit	16
3	TEKOÄLY	18
3.1	Neuroverkkopohjaiset tekoälymallit	18
3.2	Protokollat	20
3.3	Tietokannat ja data-arkkitehtuuri	22
3.4	Olemassa olevat tekoälyratkaisut talvikunnossapidossa	23
3.5	Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto	25
4	EMPIIRISEN TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	27
4.1	Tutkimusmenetelmät	27
4.2	Haastateltavien valinta	27
4.3	Haastatteluiden toteutus	28
5	TULOKSET	29
5.1	Jyväskylän talvikunnossapidon tilannekuva	29
5.2	Talvikunnossapidon prosessin haasteet	31
5.3	Mahdolliset kehityspolut	33
5.4	Tekoälyratkaisujen arviointi: hyötypotentiaali ja toteutettavuus	36

6	TOTEUTUKSEN HAASTEET JA RISKIT.....	39
6.1	Teknologiset haasteet.....	39
6.2	Tiedon saatavuus ja laatu.....	40
6.3	Organisatoriset ja inhimilliset tekijät.....	41
6.4	Eettiset ja tietosuojaan liittyvät näkökulmat.....	42
7	TIEKARTTA TEKÖÄLYN KÄYTTÖÖNOTTOON.....	44
7.1	Lyhyen aikavälin kehityspolku.....	44
7.2	Pitkän aikavälin kehityspolku.....	47
7.3	Kokonaiskuva	52
7.4	Mittaristot ja vaikutusten arviointi	59
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	62
8.1	Tutkimuksen keskeiset havainnot.....	62
8.2	Teköälyn rooli tulevaisuuden talvikunnossapidossa.....	63
8.3	Jatkotutkimuksen ja kehityksen suositukset.....	64
8.4	Tutkimuksen luotettavuus ja rajoitteet.....	65
9	YHTEENVETO.....	66

LÄHDELUETTELO

LIITE 1: HAASTATTELUKUTSU JYVÄSKYLÄN KAUPUNGIN ORGANISAATION
ASiantuntijoille

LIITE 2: HAASTATTELUKUTSU TEKÖÄLYN ASiantuntijoille

MERKINNÄT JA LYHENTEET

Merkinnät ja lyhenteet esitetään aakkosjärjestyksessä.

A2A	Agent2Agent, avoin protokolla, joka mahdollistaa usean erillisen agentin yhteistoiminnan ja niiden välisen viestinnän
Agentti	Järjestelmä, joka tekee itsenäisesti päätöksiä ja suorittaa toimia tavoitteensa eteen
AI	Artificial Intelligence, tekoäly
CNN	Convolutional Neural Network, syvä neuroverkko, jota erityisesti hyödynnetään kuvien analysoinnissa
Data	Tieto, jota kerätään analyysia tai visualisointia varten
Datagraafit	Tietomalli, jossa reaaliaikailman kohteet ja niiden väliset yhteydet esitetään verkkomaisena rakenteena
Digitaalinen kaksonen	Kohteen, prosessin tai järjestelmän virtuaalinen vastine, joka hyödyntää reaaliaikaista dataa tilannekuvan ylläpitämiseksi
LLM	Large Language Model, generatiivinen kielimalli
MCP	Model Context Protocol, avoin protokolla, joka yhdistää ulkoiset työkalut, tietolähteet ja kontekstit kielimalliin
Metatieto	Tiedon konteksti, kuten yksikkö tai mittausaika
ML	Machine Learning, koneoppiminen
Musta laatikko	Black box, kuvastaa tapaa, jolla tekoälymallit tuottavat lopputuloksia
Omajohtoinen malli	Talvikunnossapidon malli, jossa talvikunnossapito toteutetaan kaupungin tai kunnan työnjohdon alaisuudessa
Pilottihanke	Pienimuotoinen kokeilu, jolla voidaan nopeasti saada alustavia tuloksia
ROI	Return on Investment, investoinnin tuottama arvo
Syvä neuroverkko	Koostuu useista laskentakerroksista, jotka prosessoivat saamaansa dataa hierarkkisesti
Tiekartta	Suunnitelmallinen etenemispolku
Tuottaja-Tilaaaja malli	Talvikunnossapidon malli, jossa kaupunki tai kunta toimii tilaajana ja operatiivisten toimenpiteiden suorittaminen on ulkoistettu urakoitsijoille tai liikelaitokselle.

1 JOHDANTO

Talvikunnossapidon prosessin keskeisimmät ja näkyvimvät toimenpiteet ovat katujen ja teiden oikea-aikainen auraus sekä tehokas liukkauden torjunta. Toteutus nojaa vahvasti työnjohdon ammattitaitoon ja harkintaan, mutta pohjautuu samalla sopimuksissa määriteltyihin ehtoihin, kuten aurauksen lähtökynnyksiin. Kaupungin tai kunnan tie- ja katuverkon talvikunnossapito on laaja kokonaisuus, johon vaikuttaa useat muuttujat, kuten talvikunnossapitoluokat, muuttuvat sää- ja keliolosuhteet sekä resurssien, esimerkiksi kaluston ja urakoitsijoiden, saatavuus.

Työ tehdään osana Jyväskylän kaupungin Winter Mobility -hanketta. Hanke on yksi useammasta kehitysalustasta Tampereen yliopiston ProDigial-tutkimusohjelmassa (2020–2028). Tutkimusohjelman tavoitteena on parantaa infra-alan tuottavuutta digitalisaatiota hyödyntämällä ja juurruttaa kestäviä toimintamalleja infra-alalle (Tampereen yliopisto, 2024).

Vuonna 2019 tieliikenne muodosti kolmasosan Jyväskylän kaupungin alueella syntyvistä päästöistä. Jyväskylän kaupunki onkin linjannut pyrkivänsä vähentämään liikenteen aiheuttamia päästöjä 40% vuoteen 2030 mennessä (Jyväskylän kaupunki, 2022, s. 25). Talvikunnossapidon toimenpiteet kuten auraus tuottavat suoria päästöjä, minkä vuoksi niiden osuus tieliikenteen kokonaispäästöistä on merkittävä. Tehostamalla operatiivisia toimenpiteitä tekoälyn avulla voidaan vähentää sekä talvikunnossapidon suoria päästöjä että liikennejärjestelmän kokonaispäästöjä. Tämä perustuu siihen, että jalankulun ja pyöräliikenteen väylien laatutason parantaminen lisää kestävien kulkutapojen houkuttelevuutta ja muuttaa kulkutapajakaumaa. Jyväskylän kaupungin omajohtoinen malli luo erinomaiset lähtökohdat talvikunnossapidon kehittämiseksi.

Talvikunnossapito on yhteiskunnallisesti merkittävä peruspalvelu, joka varmistaa turvallisen ja sujuvan liikkumisen talviolosuhteissa. Lisäksi sujuva talvikunnossapito mahdollistaa palveluliikenteen ja elinkeinoelämän toimitusketjut. Onnistunut auraus ja liukkauden torjunta ehkäisevät onnettomuuksia ja tapaturmia (THL, 2024). Vaikka toteutusmallit vaihtelevat, laadukas lopputulos edellyttää kaupungeilta ja kunnilta poikkeuksetta merkittäviä taloudellisia panostuksia. (Yle, 2024). Talvikunnossapidon prosessia tehostamalla voidaan luoda merkittäviä säästöjä ja samalla vapauttaa resursseja muuhun käyttöön. Tekoälyratkaisu pystyy hallitsemaan suuria määriä dataa, minkä

pohjalta se pystyy tekemään päätöksiä nopeasti ja luotettavasti. Potentiaalisesti tällaisella ratkaisulla voisi olla valmiudet tehdä ennakoivia toimenpide-ehdotuksia nykytilanteeseen pohjautuen, mikä parantaa toimenpiteiden oikea-aikaisuutta.

1.1 Tavoitteet

Tässä diplomityössä tutkittiin, miten tekoälyllä voitaisiin edistää talvikunnossapidon prosessia hankintapäätöksestä aina operatiivisiin toimenpiteisiin asti Jyväskylän kaupungissa. Lisäksi kartoitetaan Jyväskylän kaupungin valmiudet tekoälyn omaksumiseen prosessin eri vaiheissa sekä määritellään tarvittavat toimenpiteet prosessin kehittämiseksi, jotta tekoälyn hyödyt saadaan realisoitua täysimääräisesti. Työn tavoitteena on ensin luoda selkeä kuva Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidosta ja sen pohjalta määritellä tiekartta tekoälyratkaisujen käyttöönottoon. Tiekartassa kuvataan kehityspolkuja, jotka edistävät tekoälyn hyödyntämistä prosessin eri osissa sekä mistä on tärkeintä ja tehokkainta aloittaa. Tällä kehityspolulla tavoitellaan talvikunnossapidon tehostamista, joka johtaa kustannusten laskuun, laadun parantumiseen sekä päästöjen vähentymiseen.

Lisäksi työssä pyritään selvittämään Jyväskylän kaupungin organisaation asenteita tekoälyä kohtaan ja minkälaista koulutusta Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon prosessiin osallistuvat työntekijät kaipaavat, jotta tekoälyn käyttö osana omia työtehtäviä olisi mahdollisimman mielekäästä.

1.2 Tutkimuskysymykset

Tutkimusongelma on jaettu yhteen päättutkimuskysymykseen ja kolmeen sitä tukevaan avustavaan tutkimuskysymykseen. Tutkimuskysymysten tehtävä on ohjata tutkimuksen tekoa, niin että lopputuloksena tutkimuskysymyksiin voidaan vastata tämän työn pohjalta (Hirsjärvi et al., 2009).

Päättutkimuskysymys:

- Miten tekoälyä voidaan hyödyntää Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon prosessin optimoinnissa?

Kolme avustavaa tutkimuskysymystä ovat:

1. Mitä Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon prosessissa tulisi kehittää, jotta tekoälyratkaisusta saadaan suurin vaikutus?
2. Mitkä tekoälyratkaisut olisivat tehokkaimpia prosessin eri osissa?
3. Miten talvikunnossapidon tietoarkkitehtuuria tulee kehittää, jotta tekoälyratkaisut pystyvät hyödyntämään ja tulkitsemaan käytettävissä olevaa dataa luotettavasti?

Päätutkimuskysymys tiivistää työn keskeisen tavoitteen ja ohjaa tutkimuksen keskittymään tekoälyn tuomiin mahdollisuuksiin kokonaisuutena Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon kontekstissa. Ensimmäinen avustava tutkimuskysymys syvennyy nykyisen prosessin kehitystarpeisiin. Sen avulla tunnistetaan prosessista ensin ongelmakohtia, joita voidaan ratkaista tekoälyratkaisuilla. Toinen avustava tutkimuskysymys tarkentaa, millaisia tekoälymenetelmiä ja -ratkaisuja eri prosessin vaiheissa voidaan hyödyntää. Se yhdistää kirjallisuuskatsauksen tulokset Jyväskylän kontekstiin ja luo perustan työn lopussa esitettävälle tiekartalle. Kolmas avustava tutkimuskysymys keskittyy datan hallintaan ja data-arkkitehtuuriin. Sen avulla selvitetään, että millaista dataa talvikunnossapidosta kerätään ja miten data-arkkitehtuuria tulisi kehittää, jotta tekoälyratkaisu voisi tehdä laadukkaita tuloksia saamansa datan pohjalta. Yhdessä nämä tarkentavat kysymykset jäsentävät tutkimusasetelman siten, että ne tukevat päätutkimuskysymykseen vastaamista.

1.3 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimus painottuu keinoihin, joilla operatiivisia toimenpiteitä voidaan optimoida ja tehostaa. Työssä käsitellään yleisemmällä tasolla operatiivisia toimenpiteitä edeltäviä prosessinvaiheita, kuten kilpailutusta ja talouden hallintaa.

Painotus on perusteltu, sillä talvikunnossapidon aiheuttamat kustannukset – kuten resurssien käyttö sekä päästöt – syntyvät valtaosin operatiivisten toimenpiteiden toteuttamisessa. Suurin hyöty koko prosessin näkökulmasta saavutetaan tehostamalla juuri tätä vaihetta. Operatiivisen aurauksen prosessin osien ja toimintamallien tarkka määrittely vahvistaa koko talvikunnossapidon prosessin johdonmukaisuutta ja

mahdollistaa prosessin muiden vaiheiden kuten palvelun hankintavaiheen tehostamisen. Kun työnkulut, laatutasot ja suorituskykymittarit ovat määritelty, voidaan kilpailutusasiakirjoihin sisällyttää täsmälliset vaatimukset, joilla voidaan varmistaa talvikunnossapidon haluttu laatutaso katu- tai tieverkolla olosuhteet huomioon ottaen.

1.4 Työn rakenne

Tutkimus on jaettu kahteen osaan: kirjallisuuskatsaukseen ja empiiriseen osaan. Lisäksi ennen tutkimusta on johdantokappale ja tutkimuksen jälkeen on tulosten esittelyosuus sekä johtopäätökset työn tulosten perusteella.

Kirjallisuuskatsaus, joka käsittää luvut kaksi ja kolme, tutustuu talvikunnossapidon prosessiin ja toimintaympäristöön, tekoälyn perusteisiin sekä tietokantoihin. Kolmas luku sisältää myös yhteenvedon kirjallisuuskatsauksen tuloksista sekä kirjallisuuskatsauksen vaikutelman tutkimukseen.

Empiirinen osa koostuu kolmesta luvusta, joista ensimmäisessä, tarkastellaan asiantuntijahaastatteluiden järjestämisen menetelmät ja toteutustavat, joilla tutkimus toteutetaan. Tämän jälkeen kerrotaan haastatteluun osaa ottavien valintaperusteista sekä heidän taustoistaan. Diplomityön viidennessä luvussa haastattelujen tulokset jaetaan Jyväskylän talvikunnossapidon tilannekuvan määrittelyyn, haasteiden tunnistamiseen sekä kehityspolkuihin. Kuudennessa luvussa käsittelee tekoälyratkaisujen toteuttamiseen liittyviä haasteita ja riskejä.

Lopuksi tulosten esittelyosiossa vedetään yhteen sekä kirjallisuuskatsauksen, että empiirisen tutkimuksen tulokset ja pohditaan tulosten merkittävyyttä Jyväskylän kaupungin kontekstissa. Tutkimuksen tulokset sisältävät myös tiekartan, jossa kuvataan suunnitelmallinen etenemispolku tekoälyratkaisujen hyödyntämiseen talvikunnossapidon prosessin eri osissa. Lisäksi arvioidaan tutkimuksen luotettavuutta sekä määritellään jatkotutkimuksen tarpeellisuus.

2 TALVIKUNNOSSAPIDON PROSESSIT JA TOIMINTAYMPÄRISTÖ

Talvikunnossapito on olennainen osa kaupunkien ja kuntien infrastruktuurin ylläpitoa Suomessa. Ilman tehokasta lumenpoistoa ja liukkauden torjuntaa liikenne häiriintyy, mikä hankaloittaa tienkäyttäjien liikkumista ja voi myös heikentää yleistä turvallisuutta. Tienpitäjän tavoitteena onkin varmistaa turvalliset ja toimivat liikkumismahdollisuudet kaikille tienkäyttäjille ympäri vuoden kohtuullisin kustannuksin, huomioiden eri väestöryhmien liikkumistarpeet ja elinkeinoelämän kuljetukset. (Väylävirasto 2023a, s. 7)

Talvikunnossapidon merkitys korostuu erityisesti liikenneturvallisuuden ja kaupunkien saavutettavuuden näkökulmasta. Oikea-aikaisilla toimenpiteillä, kuten aurauksella ja liukkauden torjunnalla, voidaan vähentää onnettomuuksia (Väylävirasto 2023a, s. 16).

2.1 Talvikunnossapidon rooli kaupunkien infrastruktuurissa

Kaupunkien talvikunnossapidon järjestäminen perustuu sekä lainsäädäntöön että organisaatio- ja sopimusmalleihin. Laki kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa- ja puhtaanapidosta (669/1978) määrittelee katujen ja yleisten alueiden kunnossapidosta, että talvikunnossapito kuuluu pääosin kunnalle ja osittain tontin omistajalle (669/1978, 1–3 §) Yleensä kaupunki tai kunta huolehtii ajoratojen aurauksesta ja muista talvikunnossapidon toimenpiteistä, kun taas tonttien omistajat vastaavat tonttiensa edustalla olevien jalkakäytävien lumen ja jään poistosta sekä hiekoituksesta (669/1978, 4 §). Käytännön toteutus kuitenkin vaihtelee, sillä monissa kaupungeissa myös jalkakäytävien kunnossapito keskustan alueella on otettu kokonaan kaupungin vastuulle, jotta laatutaso olisi yhtenäinen (Ympäristöministeriö, 2023, s. 48). Vastuunjaon puitteissa kaupunki toimii talvikunnossapidon tilaajana sekä valvojana, kun taas urakoitsijat tai kaupungin oma yksikkö toimivat työn suorittajina. Urakoitsijoita hyödyntäessä aurattavat alueet usein jaetaan alueurakoihin ja niiden hoitamisesta solmitaan urakointisopimuksia.

2.2 Talvikunnossapidon toimenpiteet

Lumen auraus ja poiskuljetus ovat talvikunnossapidon näkyvin osa, mutta liukkauden torjunta on yhtä tärkeää turvallisen liikkumisympäristön säilyttämiseksi. Liukkauden torjunnan kaksi keinoa ovat suolaus ja hiekoitus, joista suolausta käytetään erityisesti vilkkailla liikenneväylillä suolaliuoksen tai kostutetun suolan muodossa. Suolaus estää tien pinnan jäätymistä ja näin liukkauden syntymistä pakkaskeleillä (Väylävirasto, 2023a, s. 53). Katujen suolaaminen on huomattavasti nopeampaa kuin auraaminen tai hiekoittaminen, sillä suolaus voidaan suorittaa taajama-alueella lähes kadun nopeusrajoitusten mukaisesti (Väylävirasto, 2023a, s. 13). Alemman kunnossapitoluokan kaduilla, jalkakäytävillä sekä pyöräliikenteen väylillä usein suositaan hiekoitusta eli sepelin tai karkean hiekan levitystä liukkaalle pinnalle kitkan kasvattamiseksi (Väylävirasto, 2023a, s. 64). Myös polanteen karhennus voi olla vaihtoehto harvemmin liikennöidyillä teillä, missä auraustraktorin terällä rouhitetaan jäisen polanteen pintaan uraapidon kasvattamiseksi (Väylävirasto, 2023a, s. 64). Valittava liukkauden torjuntamenetelmä ei täysin kuitenkaan määräydy kunnossapitoluokan tai liikennemäärien mukaan vaan valinnassa tulee ottaa huomioon esimerkiksi suolan tehon heikkeneminen erittäin kylmällä säällä, hiekoituksen puhdistuksen kustannukset lumien sulettua sekä suolan aiheuttamat rasitukset ympäristölle.

2.3 Talvikunnossapidon prosessit ja vastuut

Talvikunnossapito toteutetaan usein laatuvastuu-urakoina, joissa kaupunki asettaa palvelutasotavoitteet ja laatuvaatimukset, joiden toteutumisesta urakoitsijat vastaavat (Väylävirasto, 2023a, s. 9). Sopimusasiakirjoissa määritellään tarkasti työnsuorittajan tehtävät, käytettävät menetelmät sekä laadunseurannan keinot. Talvikunnossapidon prosessi alkaa suunnittelusta, joka tapahtuu ennen talvikautta. Suunnitteluvaiheessa sovitetaan hoitoluokitukset, resurssit ja toimintamallit eri säätilanteissa yhtenäiseksi kokonaisuudeksi, jotta talvikauden aikana operatiivisten toimenpiteiden suorittaminen on selkeää (Väylävirasto, 2018, s. 4). Operatiivisessa vaiheessa korostuu jatkuva sään ja kelin seuranta, päivystys sekä nopea reagointi muuttuviin olosuhteisiin. Urakoitsijan tai kaupungin päivystäjät seuraavat tiesääennusteita ja keliolosuhteita, joiden pohjalta he pyrkivät jo ennakoon tekemään päätöksiä, jotka ehkäisevät ajo-olosuhteiden heikkenemistä (Väylävirasto, 2023c, s. 3). Yhteistyö ja viestintä ovat myös tärkeitä

prosessin osia, sillä toimenpiteet pyritään suorittamaan niin, että alueurakoiden rajoille ei synny huomattavia laatueroa vaan verkon taso näyttäytyy yhtenäisenä tien tai kadun käyttäjälle (Väylävirasto, 2018, s. 17).

Operatiivisiin toimenpiteisiin kuuluu myös töiden seuranta ja laadunvarmistus. Urakoitsijat raportoivat toteutetut toimenpiteet nykyään digitaalisiin järjestelmiin. Tällainen järjestelmä on esimerkiksi maantieverkolle suunnattu Väyläviraston HARJA-järjestelmä (Väylävirasto, 2023b, s. 4). Järjestelmien avulla kaupungin kunnossapidon valvonnasta vastaavat voivat tarkkailla reaaliaikaisesti urakan etenemistä ja verrata sitä laatukriteereihin. Mahdollisiin laatupoikkeamiin puututaan sopimusehtojen mukaisesti, jolloin on työn suorittajan etu suorittaa työ ennakoivasti ja nopeasti säämuutoksiin reagoiden. Hyvin organisoitu prosessi takaa kadun tai tien käyttäjälle arjen turvallisen sujuvuuden sääolojen luomista haasteista huolimatta.

2.4 Käytettävät kalustot

Talvikunnossapidossa hyödynnetään monipuolisesti erikoiskalustoa, joka on tarkoitettu lumen, jään tai muiden liikenneturvallisuutta heikentävien tekijöiden tehokkaaseen poistamiseen erilaisilta väyliltä. Keskeisintä kalustoa ovat aurauskuorma-autot sekä työkoneet, joihin voidaan kiinnittää erilaisia aurauslaitteita. Kuorma-autoissa käytetään yleensä etuauraa ja sivuauraa suuremman pinta-alan kattamiseksi sekä monissa on myös alusterä jään ja polanteiden poistamiseksi. Traktoreita puolestaan varustetaan etu- ja takaosaan kiinnitettävillä auraterillä ja lumilingoilla, mitkä tekevät niistä monikäyttöisiä niin leveämmillä kaduilla kuin kapeammilla kävelyn ja pyöräliikenteen väylillä. Tiehöylät ovat hyödyllisiä erityisesti paksun jääpolanteen tasauksessa ja poistossa, sillä niiden raskas terä leikkaa pintaa. Ahtailla kujilla ja jalkakäytävillä käytetään tarpeen mukaan pienempää kalustoa, kuten pyöräkuormaajia ja kevyitä kuorma-autoja. Lisäksi kuormaajia ja traktoreita käytetään lumitilojen hallintaan. On tärkeää huolehtia, että operatiivisiin tehtäviin käytettävät ajoneuvot ovat varustettu lakisääteisillä vilkuilla ja valoilla, sillä talvihoidon toimenpiteitä usein suoritetaan heikossa näkyvyydessä. (Väylävirasto, 2023a, s. 29–45)

2.5 Sidosryhmät

Talvikunnossapidon vaikutus ulottuu laajasti eri sidosryhmiin, joista keskeisimmät ovat asukkaat, yritykset sekä palveluliikenne, joka sisältää alueella toimivan joukkoliikenteen ja muut kaupungin tuottamat liikennepalvelut. Kullakin sidosryhmällä on omat erilaiset tarpeensa ja odotuksensa talvikunnossapitoa kohtaan ja onnistunut talvikunnossapito edellyttääkin näiden kaikkien huomioon ottamista.

Asukkaat ovat talvikunnossapidon suurin käyttäjäryhmä. He odottavat, että ajoväylät, kävelyn ja pyöräilyn väylät sekä muut yleiset alueet pidetään turvallisina ja kulkukelpoisina talvellakin. Tämä merkitsee esimerkiksi sitä, että aamulla töihin tai kouluun lähdettäessä ihmiset voivat luottaa pääväylien olevan aurattuja ja jalkakäytävät hiekoitettuja. Erityisesti jalankulkijoille liukkauden syntyminen on riski, sillä joka vuosi 2500–4000 potilasta hoidetaan erikoissairaanhoidon vuodeosastolla liukastumistapaturman vuoksi (THL, 2024). Tyytyväisyys tämän sidosryhmän osalta vaihtelee riippuen liikkumismuodosta. Pääsääntöisesti ajoväyliin ollaan tyytyväisiä, mutta jalankulkijoille ja pyöräilijöille suunnatut väylät ovat heikommassa kunnossa (Väylävirasto, 2025). Tämä korostaa tarvetta kehittää erityisesti jalankulun ja pyöräilyn väylien talvikunnossapitoa entistä käyttäjälähtöisemmäksi.

Yritykset ja elinkeinoelämä ovat toinen tärkeä sidosryhmä. Kaupungin talvikunnossapidolla on merkittävä mahdollistava vaikutus, sillä liikenneyhteyksien sujuvuus talvella vaikuttaa toimitusvarmuuteen, työmatkaliikenteeseen ja asiakkaiden mahdollisuuteen päästä palvelujen luokse. Poikkeukselliset sääolosuhteet, joita ei pystytä torjumaan tehokkaasti, voivat katkaista toimitusketjuja ja aiheuttaa taloudellisia menetyksiä. Elinkeinoelämä odottaakin, että kaupungin alueella pystyy myös raskas liikenne liikkumaan tehokkaasti ja turvallisesti. Talvikunnossapidossa usein huomioidaankin eri elinkeinoalojen kuljetustarpeet, mikä näkyy korkeampana laatutasona reiteillä, joita raskas liikenne suosii (Väylävirasto, 2018, s. 4).

Palveluliikenne käsittää joukon kriittisiä toimijoita, joiden liikkuminen tulee myös turvata talvellakin. Tähän ryhmään kuuluu muun muassa joukkoliikenne, hätäajoneuvot sekä jätteenkuljetusajoneuvot. Joukkoliikenteen aikataulut ja luotettavuus ovat monen asukkaan arjen kulmakiviä, jolloin on ensiluokkaisena tärkeää, että joukkoliikenne on sujuvaa. Linja-autoreitit ovatkin yleensä määritelty etusijalle niin, että ne aurataan ja

hiekoitetaan ennen muita reittejä (Väylävirasto, 2018, s. 4). Pelastusajoneuvojen tarpeet tarkoittavat, että kadut on pidettävä riittävän leveinä ja esteettöminä (Väylävirasto, 2018, s. 12). Esimerkiksi liian korkeaksi kasvanut lumivalli voi haitata paloautojen kulkua tai hidastaa ensihoitajien pääsyä kohteeseen, minkä takia lumenaurauksessa huomioidaan myös risteysnäkyvyys ja lumivallien madaltaminen kriittisissä kohdissa.

Kaupungit tekevät yhteistyötä sidosryhmien kanssa talvikunnossapidon kehittämiseksi. Esimerkiksi esteettömyysasiantuntijat tai vammaisneuvostot voivat antaa arvokasta palautetta ja näkemystä jalkakäytävien ja suojateiden talvihoidosta, mikä hyödyttää kaikkia käyttäjiä (Ympäristöministeriö, 2023, s. 62). Monissa kaupungeissa on myös lisätty viestintää sidosryhmien suuntiin, sillä osa kaupungeista tarjoaa verkkopalveluja, jotka mahdollistavat reaaliaikaisen seurannan esimerkiksi avaruuden etenemistä tai vaarallisten kohtien raportoinnin.

Yhteenvetona talvikunnossapidon sidosryhmien tarpeiden yhteensovittaminen on tärkeä osa talvikunnossapidon prosessia. Talvikunnossapito onnistuu parhaimmillaan silloin, kun sen tuottama palvelutaso vastaa näiden eri käyttäjäryhmien odotuksia ja kaupungin infrastruktuuri pysyy läpi talven mahdollisimman esteettömänä sekä turvallisena kaikille liikkujille.

2.6 Talvikunnossapidon kustannukset ja suorituskykymittarit

Talvikunnossapito on merkittävä menoerä kaupunkien budjetissa, johon ei vaikuta vain hoidettavan verkon laajuus vaan myös talven sääolot ja tavoiteltu laatutaso. Esimerkiksi talvikaudella 2022–2023 Jyväskylän kaupunki käytti 5,4 miljoonaa euroa talvikunnossapitoon, kun Porissa käytettiin vain 1,3 miljoonaa euroa, vaikka kunnossapidettävän verkon laajuus on suunnilleen sama (Yle, 2024). Summa on siis moninkertainen ja heijastuu suoraan käytettävissä oleviin resursseihin kuten avarus- ja hiekoituskoneisiin sekä tehtyihin toimenpiteisiin. Talvikunnossapidon budjetissa tulee olla joustavuutta, sillä talviolosuhteet kuten poikkeuksellisen luminen talvi, voivat aiheuttaa budjetin ylityksiä. Tällöin budjettia täytyy sopeuttaa esimerkiksi kaupungin tonttimyynnistä saatavilla tuloilla tai tinkiä lain sallimissa puitteissa laatutasosta (Jyväskylän kaupunki, 2024, s. 113).

Talvikunnossapidon suorituskykyä arvioidaan ensisijaisesti määritellyn laatutason toteutumisella. Jokaiselle kadulle tai kadunosalle on määritelty palvelutaso, joka määrää tavoitellun laadun tai toimintavelvoitteen (Väylävirasto, 2018, s. 4). Perinteisesti laatutaso on sidottu lähtökynnykseen eli siihen kuinka paljon lunta saa kertyä ennen kuin aeraus on aloitettava tai minkälaiset vähimmäiskitka-arvot pitää olla. Usein on myös määritelty toiminta-aika eli kuinka nopeasti toimenpiteet ovat saatava valmiiksi lumisateen tauottua sekä minkä verran polannetta tai sohjoa pinnalle saa jäädä (Väylävirasto 2018, s. 29). Jyväskylässä on siirrytty pois tämän tyyppisistä kriteereistä kohti dynaamisia laatukuvausta, joissa kadun tai kadunosan tavoiteltu tila kuvaillaan sanallisesti, joka mahdollistaa paremmin tiedolla johtamisen ja täsmällisen kunnossapidon (Jyväskylän kaupunki, 2024, s. 114). Kaupunkien ja urakoitsijoiden välisissä sopimuksissa on usein määritelty sanktioita tai kannustimia, jotka kannustavat urakoitsijaa suorittamaan toimenpiteet hyvin.

Talvikunnossapidon laatua mitataan myös asiakasnäkökulmasta. Monet kaupungit keräävät palautetta asukkailta talvikunnossapidon onnistumisesta, joko erillisinä tyytyväisyyskyselyinä tai analysoimalla kaupunkilaisten yhteydenottoja. Esimerkiksi Turussa saadun palautteen määrä on moninkertaistunut, sillä talvikaudella 2013–2014 palautetta tuli noin 1000 kappaletta ja 2022–2023 palautteita kirjattiin jo yli 8000 kappaletta (Yle, 2024). Kasvaneet palautemäärät eivät välttämättä tarkoita laatutason laskua, vaan osin selittyvät palautteen antamisen helpottumisella internetin kehittymisen myötä (Yle, 2024). Palautteet antavat arvokasta tietoa toistuvista ongelmakohdista, joita kaupunkien kunnossapitoyksiköt voivat hyödyntää toiminnan kehittämisessä. Laadunvalvontaan kuuluu kaupungin itse suorittama valvonta suoritettujen työn laadusta (Väylävirasto, 2018, s. 33). Kokonaisuudessaan suorituskykyä mitataan sekä teknisin mittarein, että asiakastyytyväisyyden keinoin.

3 TEKOÄLY

Tekoäly ja tekoälyjärjestelmät ovat monimutkaisia käsitteitä, joten niille on olemassa erilaisia määritelmiä, jotka kehittyvät koko ajan (Kaplan & Haenlein, 2019, s. 2). Euroopan Unioni (EU) on määritellyt tekoälyn vuonna 2024 aihetta koskevassa julkaisemassaan asetuksessa seuraavasti ”Tekoälyjärjestelmä on konepohjainen järjestelmä, joka on suunniteltu toimimaan käyttöönoton jälkeen vaihtelevilla autonomian tasoilla ja jossa voi ilmetä mukautuvuutta käyttöönoton jälkeen ja joka päätelee vastaanottamastaan syötteestä eksplisiittisiä tai implisiittisiä tavoitteita varten, miten tuottaa tuotoksia, kuten ennusteita, sisältöä, suosituksia tai päätöksiä, jotka voivat vaikuttaa fyysisiin tai virtuaalisiin ympäristöihin.” (Regulation (EU) 2024/1689, artikla 3).

Usein koneoppimisen ja tekoälyn käsitteet sekoitetaan keskenään, koska koneoppiminen (Machine Learning) on tekoälyn osa-alue. Koneoppimisella tarkoitetaan, että kone opetetaan kirjaimellisesti tunnistamaan esimerkiksi hahmoja, käsittelemään ääniä tai luonnollista kieltä erilaisten algoritmien avulla (Kämäräinen, 2023, s.11).

Tekoäly käsitteenä on saanut alkunsa vuonna 1955 Dartmouthin yliopistossa, kun ensimmäinen aiheeseen liittyvä tutkimus aloitettiin (McCarthy et al., 1955).

3.1 Neuroverkkopohjaiset tekoälymallit

Tekoälymallit viittaavat laskennallisiin malleihin, jotka pystyvät oppimaan ja yleistämään monimutkaisia sääntöjä suuresta määrästä tietoa. Tässä tutkimuksessa keskitytään erityisesti neuroverkkopohjaisiin tekoälymalleihin, sillä nykyään merkittävä osa tekoälymalleista hyödyntää neuroverkkoja, joissa lukuisat laskentakeroiset prosessoivat syötettä hierarkkisesti. Neuroverkot ovat saaneet ideansa ihmisten aivojen hermosolujen verkottuneesta rakenteesta ja erityisesti syvät neuroverkot ovat osoittautuneet tehokkaiksi monissa tehtävissä, kuten kuvantunnistuksessa ja luonnollisen kielen käsittelyssä (Schmidhuber, 2025, s. 98). Tekoälymallien kehitys on mahdollistanut suurten kielimallien (Large Language Model, LLM) yleistymisen, joita on koulutettu suurilla tekstiaineistoilla tuottamaan ja ymmärtämään inhimillistä kieltä (Vaswani et al., 2017, s. 1). Tällaiset generatiiviset kielimallit kuten OpenAI:n GPT kykenevät tuottamaan sujuvaa

tekstiä sekä osallistumaan monivaiheiseen keskusteluun säilyttäen kontekstin (Brown et al., 2020, s. 2, 14–15). Suurten kielimallien integroituminen osaksi järjestelmiä on laajentanut tekoälyn sovellusmahdollisuuksia, sillä on kehitetty erilaisia luonnollisen kielen käyttöliittymiä sekä avoimen päättelyn taitoja, joita on haastava toteuttaa perinteisimmillä menetelmillä (Schick et al., 2023, s. 1). Modernin tekoälyn kehityksessä onkin tapahtunut selkeä muutos, jossa älykkyyden painopiste on siirtynyt yhä enemmän ulkoisista tietokannoista ja säännöistä kohti itse mallin sisällä olevaa neuroverkkoa, joka mahdollistaa aidosti mukautuvien ja skaalautuvien järjestelmien rakentamisen, toisin kuin aiemmissa järjestelmissä, jotka nojasivat ennalta määritettyihin rakenteisiin. (LeCun et al., 2015, s. 1).

Konvoluutioneuroverkko (CNN) on syväoppimiseen perustuva neuroverkkomalli, joka hyödyntää konvoluutiokerroksia ja pooling-kerroksia muotojen tunnistamiseen kuva- tai videomateriaalista. CNN-verkko oppii matalammissa kerroksissa tunnistamaan yksinkertaisia paikallisia piirteitä, jotka ylemmissä kerroksissa yhdistyvät monimutkaisemmiksi kokonaisuuksiksi. Tämän hierarkkisen rakenteen ansiosta CNN-mallit ovat osoittautuneet erittäin tehokkaiksi kuvantunnistustehtävissä vaatien vähemmän esikäsittelyä kuin perinteiset kuva-analyysin keinot. (LeCun et al., 1998, s. 6–7)

Suurten kielimallien toiminta perustuu siihen, että ne yrittävät tekstiä tuottaessaan ennustaa seuraavia sanoja laajojen kielellisten tilastollisten riippuvuuksien pohjalta (Brown et al., 2020, s. 2–3) Miljardien parametrien ansiosta mallin koulutusvaiheessa niihin on ikään kuin upotettu valtavasti tietoa maailmasta, mikä tekee niistä hyödyllisiä ongelmanratkaisijoita yleisissä tilanteissa monilla eri aloilla (Brown et al., 2020, s. 1, 14–16). On kuitenkin huomattava, että näiden suurten kielimallien hyödyntäminen tuo mukanaan haasteita, kuten hallittavuus, selitettävyys ja päivitettävyys. Näitä pyritään ratkomaan tekoälyn tukijärjestelmillä, joista seuraavissa luvuissa käsitellään erityisesti protokollia ja tietokantoja kontekstin hallintaan (Ouyang et al., 2022, s. 1; Schick et al., 2023, s. 1)

3.2 Protokollat

Tekoälysovellusten monimutkaistuesssa on syntynyt tarve kehittää standardeja, joilla tekoälysovellukset eli agentit voivat kommunikoida toistensa kanssa sekä muiden työkalujen ja järjestelmien kanssa hyödyntäen niitä (Schick et al., 2023, s. 1). Ilman yhteisiä protokollia tekoälyagenttien yhteistoiminta on ollut haastavaa yhteensovittaa, sillä kaikkiin tapauksiin on pitänyt työstää omat ratkaisunsa (Schick et al., 2023, s. 1). Tämän takia on esimerkiksi kehitetty Model Context Protocol (MCP) ja Agent-to-Agent (A2A)-protokolla (Model Context Protocol, 2025; A2A Protocol, 2025).

Model Context Protocol nk. MCP on Anthropic-yhtiön marraskuussa 2024 esittelemä avoin protokolla, joka yhtenäistää tavan, jolla tekoälymalli kuten generatiivinen kielimalli pääsee kommunikoimaan ulkoisten työkalujen, tietolähteiden ja kontekstien kanssa. MCP on standardi, joka pohjautuu asiakas-isäntä-palvelin-arkkitehtuuriin. Arkkitehtuurissa isäntäprosessi kokoaa yhteen kontekstin kuten käyttäjän syötteet, keskusteluhistorian, sallittujen työkalujen kuvaukset ja antaa sen vakioidussa muodossa tekoälymallille. MCP:ssä malli ja isäntä aluksi neuvottelevat mallin kyvykkyyksistä, jossa isäntä ilmoittaa mallille, mitä työkaluja kuten tietokantoja tai rajapintoja malli saa käyttää ja millaisia resursseja on saatavilla. Tämän jälkeen malli voi suorittaa työkutsuja isännän välityksellä, kuten hakea tietoa tietokannoista tai kutsua ulkoisia palveluja protokollan puitteissa. MCP pyrkii siis ratkaisemaan perinteisten API-rajapintojen puutteet tarjoamalla dynaamisen vuorovaikutuskerroksen, jossa malli voi pyytää lisätietoja tai kutsua toimintoja lennosta sen sijaan, että kaikki olisi koodattu valmiiksi yksittäisiin kutsuihin. Tämä lisää järjestelmän modulaarisuutta ja vähentää rajapintojen käyttöönottoon tarvittavaa räätälöintiä, kun sama protokolla voi palvella erilaisia työkaluja kuten tietokantahakuja, laskenta-algoritmeja ja web-hakuja vakioidusti. Lisäksi MCP huolehtii tietoturvasta OAuth2.1 -pohjaisella autentikoinnilla ja oikeuksien hallinnalla, mikä on ratkaisevan tärkeää, jos malli operoi arkaluontoisten tietolähteiden parissa. (Model Context Protol, 2025)

Agent-to-Agent nk. A2A on Googlen huhtikuussa 2025 julkaisema avoin protokolla, joka standardoi agenttien välisen viestinnän. Siinä missä MCP yhdisti yhden tekoälyagentin muihin rajapintoihin, A2A luo rakenteet usean erillisen agentin yhteistoiminnalle. A2A:n keskiössä on ajatus tehtäväkeskeisestä viestinnästä: agentit voivat lähettää toisilleen tehtäviä ja niihin liittyviä tietoja muodossa, jonka kaikki osapuolet ymmärtävät.

Protokolla määrittelee agenttikortit (Agent Cards), joilla kukin agentti kuvaa omat osaamisalueensa ja kykynsä koneymmärtävssä muodossa sekä viestiformaatit Parts ja Artifacts, joilla voidaan lähettää sekä rakenteista dataa, että vapaamuotoisempaa sisältöä tehtävien yhteydessä. A2A hyödyntää erilaisia nykyaikaisia web-tekniikoita kuten HTTP:tä varmistaakseen yhteensopivuuden olemassa olevien järjestelmien kanssa. Protokolla tukee lyhytkestoisia pyyntö-vastaus-keskusteluja sekä pitkäkestoisempia prosesseja, joista viestitään tilatietoja reaaliajassa. Lisäksi agentit voivat neuvotella yhteistyöstä ilman ennalta määritettyjä yhteistyöketjuja A2A-protokollan ansiosta. Jokainen agentti voi vuorollaan olla joko pyytäjän tai suorittajan roolissa riippuen tilanteen tarpeista. A2A on suunniteltu alusta alkaen turvalliseksi ja auditoitavaksi, sillä se tukee myös OAuth2-avaimia. (A2A Protocol, 2025)

MCP ja A2A eivät kilpaile keskenään, vaan ne on suunniteltu täydentämään toisiaan. Niiden roolit voi mieltää kerroksina: MCP huolehtii yksittäisen älyagentin ja työkalujen yhteensopivuudesta ja A2A vastaa miten eri agentit jakavat työt keskenään (A2A, 2025). Yhdessä ne muodostavatkin vahvan perustan järjestelmille, jotka hyödyntävät useampaa agenttia. Ensimmäiset kokemukset osoittavat, että tällä yhdistelmällä saadaan aikaiseksi joustavia, skaalatauvia ja yhteistyökykyisiä tekoälyjärjestelmiä monimutkaisiin tehtäviin (Jeong, 2025, s. 142–143).

MCP ja A2A ovat tärkeitä protokollastandardeja, mutta ne eivät vielä ratkaise kaikkia useamman tekoälyagenttijärjestelmien haasteita, kuten keskitetyn koordinaation puutteesta johtuvia ongelmia. Tämän takia standardeja on kehitetty edelleen ja edellä mainittuun haasteeseen on esitetty ratkaisuksi Modular Open Decentralized eXchange-standardia (Mod-X), joka pyrkii luomaan yleisemmän kerroksellisen arkkitehtuurin tekoälyagenttien yhteistoiminnalle (Ioannides et al., 2025, s. 1). Edelleen kehittyvät protokollat kuvastavat sitä, että tekoälyagenttien verkostoituminen on aktiivinen tutkimusalue. Kuitenkin jo nyt MCP ja A2A ovat tuoneet käytännön työkaluja, joilla tekoälyä voidaan entisestään paremmin hyödyntää monimutkaisissa ympäristöissä kuten kaupunkien talvikunnossapidossa.

Protokollien yhteydessä on syytä mainita myös datagraafit, jotka liittyvät tiedon vakioituun esittämiseen ja hyödyntämiseen tekoälyjärjestelmissä. Datagraafi tarkoittaa tietomallia, jossa reaali maailman kohteet (oliot) ja niiden väliset suhteet esitetään verkkomaisena rakenteena. Sillä pyritään siihen, että tekoälymallit kykenevät

mallintamaan tietojen välisiä semanttisia suhteita pelkän syntaksisen käsittelyn sijaan (Hogan et al., 2021, s. 2). Agenteissa, jotka käyttävät suuria kielimalleja, datagraafeja hyödynnetään esimerkiksi muistijärjestelminä, johon se tallentaa tunnistamiaan olioita ja niiden suhteita keskustelun tai datakäsittelyn aikana (Meloni et al., 2023, s. 3–5) Tämän avulla agentti pystyy seuraamaan eri laitteiden tilatietoja tai tapahtumien välisiä suhteita isossa järjestelmässä. Datagraafit täydentävät neuroverkkoihin perustuvaa päättelyä tuomalla mukaan selkeän tietorakenteen. Yhdistämällä datagraafeihin tietopohjan ja oppivat tekoälymallit on mahdollista rakentaa järjestelmä, joka on oppiva sekä selittävä, koska malli voi toisaalta hyödyntää graafin tarjoamaa täsmällistä tietoa ja toisaalta soveltaa neuroverkon mahdollisuuksia uusissa tilanteissa (Lewis, 2020, s. 1).

3.3 Tietokannat ja data-arkkitehtuuri

Tekoälyratkaisujen tehokkuus riippuu olennaisesti siitä, miten ne saavat käyttöönsä tarvittavan kontekstin ja lähtötiedot. Perinteinen lähestymistapa on ollut kouluttaa malli itsessään sisältämään kaikki olennainen ja tarvittava tieto. Tämä on luonut haasteita, sillä mallit ovat voineet oppia uutta vain, kun niitä on uudelleen koulutettu ja kouluttaminen on hidas ja resursseja vievä prosessi. Tämän takia on kehitelty menetelmiä, joissa tekoälymalli kykenee hakemaan tarvittavat tiedot ulkoisesta tietolähteestä ilman, että itse mallia koulutetaan uudelleen. Eräs tällainen menetelmä on Retrieval-Augmented Generation (RAG), jossa kielimallin konteksti-ikkunaa rikastetaan hakemalla ulkoisesta tietokannasta käyttäjän syötettä semanttisesti lähinnä oleva tieto. (Lewis et al., 2020, s. 1, 7–8)

RAG-menetelmässä usein hyödynnetään vektoritietokantoja, jotka ovat suunniteltu tallentamaan dataa vektoriesityksinä eli pitkinä numerojonoina. Saman aiheen tai sisällöltään vastaavat tiedot tallennetaan vektoriavaruudessa lähekkäin. Malli muuttaa käyttäjän kysymyksen vektoreiksi ja etsii tietokannasta matemaattisesti samankaltaisia vastineita. Näiden osumien perusteella malli noutaa relevantin tiedon saaden laajemman konteksti-ikkunan, mikä parantaa tarkkuutta. (Lewis et al., 2020, s. 1, 3)

RAG-menetelmä edellyttää yhtenäisesti indeksoitua ja kattavaa tietokantaa, sillä tekoälymallien tulokset kärsivät, jos se ei pysty hakemaan luotettavasti relevantteja tietoa työskennellessään. Siksi tiedon vakiointi ja indeksointi ennen sen syöttämistä ovat

kriittisiä vaiheita. Tiedot täytyy pilkkoa osiksi ja osille lasketaan niitä edustavat vektorit. Lisäksi hakualgoritmi pitää optimoida palauttamaan niin semanttiselta sisällöltään kuin kontekstin kannalta olennaisia osumia. RAG-tietokannalla tekoälyn vastaukset saadaan sidottua organisaation tietoihin, jolloin vastaukset eivät perustu vanhentuneeseen tai kokonaan väärään tietoon (Lewis et al., 2020, s. 1, 5).

Sensorien mittausdatan jatkuva vektorointi voi olla aikaa vievä prosessi datan nopeasti muuttuvan luonteen takia. Tästä syystä talvikunnossapidon data kannattaisi jakaa erilaisiin tietokantoihin, jotka palvelisivat jokaista datalajia parhaiten. Nopeasti muuttuvaa dataa voisi olla tehokkainta tallentaa ja säilöä aikasarjatietokannassa, joka on optimoitu ajastettujen mittausten tallentamiseen ja säännöllisesti toistuviin kyselyihin (Grezik & Mrozek, 2020, s. 2–3). Myös dokumentti- ja avain-arvo-tyyppiset NoSQL-ratkaisut tulevat kyseeseen sellaisten tietojen tallentamiseen, jotka eivät taivu helposti relaatiomuotoon kuten ajoneuvojen lähettämät lokit, viestit ja kuvat (Khan et al., 2023, s. 3).

Vektori- ja aikasarjatietokantojen lisäksi perusteltua on usein rakentaa keskitetty datavarasto, jonne kootaan pitkän aikavälin historiatiedot analytiikkaa ja mallintamista varten. Tämä voisi olla esimerkiksi pilvipohjainen data-alusta, jonne vektori- ja aikasarjatietokantojen tiedot kopioidaan tai syötetään jatkuvasti. Tämä mahdollistaa erityisesti tekoälymallin parantamisen kouluttamalla ja tuloksien laadun auditoinnin jälkeenpäin. (Armbrust et al., 2021, s. 1–2)

3.4 Olemassa olevat tekoälyratkaisut talvikunnossapidossa

Suomessa on jo kehitetty tekoälyä hyödyntäviä talvikunnossapidon järjestelmiä. Tuore esimerkki on Destian ja teknologiayritys Wapicen yhteistyö, jossa kehitettiin tekoälypohjainen ratkaisu älykkääseen talvikunnossapitoon koko Suomen tieverkolle. Järjestelmä tekee automaattista tieolosuhteiden seurantaa ja antaa sen perusteella tarkan tilannekuvan talvikunnossapidon tarpeista ja vallitsevista olosuhteista. Tämä parantaa päätöksentekoa sekä tehostaa kaluston käyttöä, mikä vähentää kustannuksia ja parantaa liikenneturvallisuutta. Samalla ratkaisu kerää tilastotietoa lumenmäärästä analytiikkaa varten. Olennainen osa järjestelmää on konenäön ja tiesääasemien hyödyntäminen tieolosuhteiden analysoinnissa. (Wapice, 2025)

Myös kansainvälisesti on vastaavia älykkäitä talvikunnossapidon järjestelmiä. Ruotsissa infrayhtiö Svevia otti käyttöön Vaisalan kehittämän Winter Maintenance Decision Support System -järjestelmän (MDSS) optimoidakseen talvikunnossapitoa ja erityisesti operatiivisesta aurausta. MDSS antaa käyttäjälleen visuaalisen näkymän sähän ja tieolosuhteisiin tuottaen ehdotuksia optimaalisista reiteistä sekä toimenpiteistä päätöksenteon tueksi. Svevia yhdisti järjestelmään auraukseen kiinnitettyjä liikkuvia mobiilisensoreita hyödyntääkseen reittikohtaisia tiesääennusteita tehokkaasti. Järjestelmä pystyi tekemään talvikunnossapidosta ennakoivamman ja nopeamman, sillä työntekijät pystyivät valitsemaan oikeat toimenpiteet oikeaan aikaan entistä nopeammin ja tarkemmin. Lisäksi syntyi ympäristöhyötyjä vähentyneen kemikaalien käytön myötä. Automaattinen reittisuunnittelu vähensi esimiesten kuormaa ja antoi mahdollisuuden keskittyä olennaisempiin työtehtäviin. (Vaisala, 2021)

Yhdysvaltain FHWA:n Exploratory Advanced Research (EAR) -ohjelmassa kehitetään dataohjattua huoltotoimien päätöksentekojärjestelmää (Dr. MDSS), joka tuo tekoälyn reaaliaikaisesti talvikunnossapidon ohjaukseen. Hankkeessa yhdistetään neljä keskeistä osa-aluetta suljetuksi palautesilmukaksi, jotka olivat 1. RNN-mallit ennustavat tie- ja keliparametreja (esim. suolapitoisuutta ja tiepinnan lämpötilaa), 2. syvävahvistusoppiminen valitsee kustannus- ja turvallisuustavoitteita vasten parhaimmat talvikunnossapidon toimenpiteet, 3. Convolutional Neural Network (CNN)-pohjainen konenäkö toimii järjestelmän silminä hyödyntäen ajoneuvo- ja valvontakameroiden materiaalia olosuhteiden luokitteluun ja 4. päätösten vaikutusten analyysi syöttää tulokset takaisin mallien oppimiseen. Tavoite on tuottaa avointa lähdekoodia ja julkisesti saatavilla olevaa dataa siltä osin kuin se on mahdollista. (FHWA, 2021, s. 1–2)

Pohjois-Amerikassa on myös pilotoitu järjestelmiä, joissa tekoäly ja koneoppimisalgoritmit säätelevät liikennevalojen ajoitusta siten, että hälytysajoneuvot ja lumiaurat saavat etuajo-oikeuden risteyksissä. Tämä lyhentää kaluston ajomatkojen kestoa ja vähentää pysähdyksiä, mikä nopeuttaa toimenpiteiden suorittamista ja parantaa liikenneturvallisuutta. Järjestelmä analysoi reaaliaikaisesti säätilaa, tiepinnan tilannetta ja liikenteen määrää katuverkolla optimoiden liikennevalojen vaihtumista. Samalla kerätty data tuottaa arvokasta tietoa kaupunkisuunnittelulle pitemmällä aikavälillä (Lau et al., 2024, s. 417). Tämänkaltaiset pilottihankkeet osoittavat, että perinteiset ennalta määrätyt reitit ja lähtöajat voidaan tekoälyn avulla korvata dynaamisilla, tilanteeseen mukautuvilla

vaihtoehtoilla. Esimerkiksi koneoppimismallit voivat analysoida, miten aiemmat lumisateet ja toimenpiteet vaikuttivat liikenteeseen eri kaupunginosissa.

3.5 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto

Tämä kirjallisuuskatsaus tarkasteli, miten tekoälyä voidaan hyödyntää talvikunnossapidossa päätöksenteon tukena. Katsauksessa keskityttiin teknisiin ratkaisuihin sekä talvikunnossapidon ominaispiirteisiin. Keskeisenä kirjallisuuskatsauksen tuloksena on, että tekoälyratkaisuilla on potentiaalia parantaa talvikunnossapidon tehokkuutta ja laatua, mutta niiden onnistunut hyödyntäminen vaatii monien tekijöiden kuten datan ja talvikunnossapidon prosessin osien yhteensovittamista. Kirjallisuudessa toistuu teema, jonka mukaan dataan perustuva, reaaliaikainen päätöksenteko voi tehostaa toimintaa, sillä perinteiset ennalta suunnitellut reitit ja lähtöajat on mahdollista korvata tekoälyratkaisulla, jotka pystyvät reagoimaan dynaamisesti muuttuviin tilanteisiin. Yleinen vahva näkemys on, että tekoälyn vahvuuksia on nopea reagointikyky ja kyky oppia aiemmista toimenpiteistä, mikä parantaa palvelun laatua verrattuna perinteisiin sääntöpohjaisiin päätöksentekomalleihin.

Toinen keskeinen teema on datan ja kontekstin merkitys tekoälyratkaisujen onnistumiselle. Kirjallisuudessa korostuu ajatus, että tekoäly on yhtä hyvä kuin sen käytettävissä oleva tieto. Useat lähteet painottavat monipuolisen, laadukkaan ja ajantasaisen datainfrastruktuurin rakentamista tekoälyratkaisun pohjalle. Erilaisia tietolähteitä, kuten sää-, keli-, sensoridataa, asiakaspalautteita ja historiatietoja tulee yhdistää tilannekuvaksi, jotta tekoälymalli voi saada riittävän laadukkaan kontekstin tuloksen tuottamiselle. Usein paras lopputulos saavutetaan monikerroksisella arkkitehtuurilla, jossa hyödynnetään useampaa erilaista tietokantaa käyttötarkoituksen mukaan vaihdellen.

Lisäksi kirjallisuudesta nousee esiin uusien tekoälymallien ja -menetelmien jatkuva kehitys. Viimeaikaiset edistysaskeleet tekoälyn saralla kuten suurten kielimallien kehitys ja protokollien standardointi (esimerkiksi MCP ja A2A) laajentavat mahdollisuuksia myös talvikunnossapidon kontekstissa. Protokollien avulla tekoälyagentit voivat kommunikoida keskenään ja ulkoisten järjestelmien kanssa tehden tekoälyratkaisusta entistä modulaarisempia ja skaalautuvampia erilaisiin käyttötarpeisiin. Yhteenvetona

vallitseva näkemys on, että teknologian kehitys tarjoaa uusia työkaluja, mutta niiden arvo realisoituu vain, jos ne kytetään oikeaan kontekstiin ja käyttöön.

Kirjallisuuskatsauksen synteesi on merkityksellinen työn tutkimukselle ohjaten sitä oikeaan suuntaan. Synteesi auttaa empiirisen haastattelututkimuksen kohdistamisessa oikeisiin teemoihin, kuten dataan, teknologisiin ratkaisuihin, organisaatioon sekä käyttäjiin. Katsauksen pohjalta odotamme, että haastatteluissa nousee samoja teemoja esille liittyen esimerkiksi datan laatuun ja saatavuuteen.

Kirjallisuuskatsaus tarjoaa keskeiset metodologiset lähtökohdat, sillä aiempi tutkimus on pitkälti kvalitatiivista tai teknologiapainotteista ilman käyttäjien tuomaa näkökulmaa. Keskeiseksi tutkimusaukoksi nousee tekoälyn laajamittainen, käytännön läheinen integrointi talvikunnossapidon prosessiin. Aiemmasta tutkimuksesta puuttuu erityisesti tieto siitä, kuinka tekoälyratkaisut voidaan konkreettisesti viedä osaksi talvikunnossapidon operatiivisia käytäntöjä huomioon ottaen tekniset ja inhimilliset tekijät. Tätä aukkoa paikkamaan tässä työssä suoritettiin empiirinen haastattelututkimus, jonka avulla ilmennyt tutkimusaukko voidaan täydentää. Teemahaastatteluissa pyritään haastattelemaan monipuolisesti Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon prosessin eri osista asiantuntijoita sekä tekoälyn asiantuntijoita, jotta tuloksia saadaan monesta näkökulmasta.

4 EMPIIRISEN TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Empiirinen osuus toteutettiin laadullisena haastattelututkimuksena. Tutkimusstrategiana oli teemahaastatteluihin perustuvat asiantuntijahaastattelut, joiden avulla pyrittiin syventymään Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon nykytilaan ja tekoölyn hyödyntämismahdollisuuksiin. Menetelmällisesti tämä tarkoitti puolistrukturoituja yksilöhaastatteluja, joissa kaikille saman alan asiantuntijoille esitettiin samat keskeiset teemat joustavalla tavalla.

4.1 Tutkimusmenetelmät

Teemahaastattelu valittiin tutkimusmenetelmäksi sen joustavuuden vuoksi. Siinä keskeiset aihepiirit ja pääkysymykset määritellään etukäteen, mutta haastatteliija pystyy haastattelun aikana muotoilemaan kysymyksiä tai esittämään uusia teemaan liittyviä tilanteen mukaan (Hirsjärvi & Hurme, 2001, s. 34–49). Tämä antaa tilaa haastateltavien omalle äänelle ja odottamattomillekin näkökulmille (Alastalo et al., 2017, s. 214–232).

Koska tutkimuksessa haastateltavat olivat alansa asiantuntijoita, menetelmää voidaan myös luonnehtia asiantuntijahaastatteluksi, jossa tavoite on jäsentää organisaatioiden toimintaa (Alastalo et al., 2017, s. 214–216). Tässä yhteydessä tarkoituksena oli selvittää, miten Jyväskylän kaupunki organisoii talvikunnossapidon ja miten tekoölyn mahdollisuudet sen osana nähdään. Haastatteluista saadun aineiston analyysimenetelmänä käytettiin teemoittelua, jossa aineisto jäsenneltiin alkuperäisen haastattelurungon mukaisesti.

4.2 Haastateltavien valinta

Haastateltavaksi valittiin kymmenen henkilöä. Haastateltavien valinta perustui henkilöiden asiantuntijuuteen alalla. Haastateltavien osaaminen liittyi tekoölyyn sekä sen hyödyntämiseen tai Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon prosessien tuntemiseen. Tekoölyyn liittyviä haastatteluja toteutettiin viisi kappaletta ja Jyväskylän talvikunnossapidon prosessiin liittyen viisi kappaletta. Haastateltavia on tarkemmin kuvattu taulukossa 1.

Taulukko 1. Taulukko, jossa on kerrottu haastateltavien rooli, organisaatiotyyppi, asiantuntemus ja haastattelun päivämäärä

<i>Haastateltava</i>	<i>Rooli</i>	<i>Organisaatio-tyyppi</i>	<i>Asiantuntemus</i>	<i>Haastattelu- päivämäärä</i>
1	Vastuuhenkilö	Kohdeorganisaatio	Talvihoidon kokonaisuus	08.08.2025
2	Tietohallinnan asiantuntija	Kohdeorganisaatio	Tiedon hallinta ja tiedolla johtaminen	13.08.2025
3	Talouden asiantuntija	Kohdeorganisaatio	Talouden hallinta	06.08.2025
4	Ulkoinen asiantuntija	Kohdeorganisaatio	Talvikunnossapidon operatiivisen toiminnan kehitystyö	08.08.2025
5	Vastuuhenkilö	Kohdeorganisaatio	Talvikunnossapidon kehitystyö	29.08.2025
6	Professori	Yliopisto	Generatiiviset kielimallit ja niiden soveltaminen	21.08.2025
7	Lehtori	Yliopisto	Neuroverkot, koneoppimis- ja kielimallit	11.08.2025
8	Tutkija	Yliopisto	Tekoälyagentit ja tiedon virtaus	15.08.2025
9	Professori	Yliopisto	Vektoritietokannat ja tiedon vektorointi	13.08.2025
10	Professori	Yliopisto	Generatiiviset kielimallit ja niiden soveltaminen	22.8.2025

4.3 Haastatteluiden toteutus

Asiantuntijahaastattelut järjestettiin henkilökohtaisina yksilöhaastatteluina Teams-alustalla ja ne tallennettiin haastateltavien suostumuksella myöhempää analysointia varten. Haastateltaviin otettiin etukäteen yhteyttä sähköpostitse lähettämällä haastattelukutsu (liitteet 1–2) ja tutustuttavaksi haastattelukysymysten runko. Kutsuilla kartoitettiin halukkuutta haastatteluun ja haettiin yhteistä haastattelu-aikaa. Haastattelut järjestettiin elokuun 2025 aikana.

5 TULOKSET

Luvussa kootaan yhteen Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon tilannekuva eli määritellään prosessin kulkua, datan hallintaa sekä arvioidaan systemaattisesti tekoälyratkaisujen potentiaalia ja toteutettavuutta haastatteluista saatujen tietojen perusteella.

5.1 Jyväskylän talvikunnossapidon tilannekuva

Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidossa on viime vuosina siirrytty asteittain uuteen malliin, jossa kaupunki johtaa talvihoidon prosessia itse alusta loppuun (Haastateltava 1). Aiemmin malli oli eriytetyn tilaaja-tuottaja-malli, mutta nyt kaupunki vastaa kokonaisprosessista itse ja hyödyntää yksityisiä urakoitsijoita joustavasti tarpeen mukaan (Haastateltava 1, 2025). Talvikunnossapidon prosessi sisältää useita eri vaiheita, joista keskeiset tämän työn kannalta ovat kilpailutus- ja sopimushallinta, resurssien suunnittelu, tiedon kerääminen ja hyödyntäminen, operatiiviset toimenpiteet sekä raportointi ja laadunvarmistus.

Jyväskylän kaupungin omajohtoinen malli tarkoittaa, että kaupunki ei kilpailuta perinteisiä alueurakoita vaan urakoitsijoiden palveluita ostetaan tuntityönä ilman takuutunteja. Tämä on ajateltu varmistavan resurssien tehokkaan käytön, sillä kaupunki maksaa vain tehdystä työstä. Palveluiden osto tuntityönä mahdollistaa myös talvikunnossapidon toiminnan jatkuvan kehittämisen. Uusi malli on parantanut kaupungin kontrollia laadusta, sillä toimenpiteet suoritetaan talvikunnossapidon työnjohdon harkinnan perusteella. Aiemmin urakoitsijoiden kanssa tehtyjä sopimuksissa määrättiin tavoiteltu palvelutason teknisten ehtojen suhteen, kuten tietty lumimäärä kadun pinnalla, joka laukaisi operatiiviset toimenpiteet. Kaupunki on siirtynyt pois näistä kynnysehdoista ja määritellyt sanallisesti kaduille tai kadun osille tavoitellun laatutason. Tämä muutos palvelutasomäärittelyssä edellyttää työn johdolta tarkkuutta työn ohjauksen ja valvonnan suhteen. Sanallisten määriteltyjen laatuvaustien lisäksi kerätyn datan perusteella kaduille tai kadunosille on määriteltävä sille sopivin kalusto. Kadut pyritään hoitamaan parhaiten soveltuvilla koneilla joustavasti yli aluerajojen. (Haastateltava 1, 2025)

Talvikunnossapidon resurssien mitoitus Jyväskylän kaupungissa suunnitellaan ennakoon ennen talvikauden alkua. Budjetointi tehdään keväällä, jolloin teknisen puolen ja taloushallinnon edustajat arvioivat yhdessä seuraavan vuoden tarpeet. Arvioinnissa hyödynnetään edellisten vuosien toteutuneita kuluja ja huomioidaan mahdolliset muutokset, kuten katuverkon muutokset tai kustannustason nousu. Kaikkia tekijöitä kuten seuraavan kauden säätä ei voida tietää, jolloin keväällä tehty budjettiarvio perustuu historiatietoon ja trendeihin. Jos budjettiarvio kauden aikana osoittautuu riittämättömäksi, lisätarve katetaan joustavasti muualta kaupungin budjetista, eikä talvikunnossatoimenpiteitä jätetä tekemättä. Tällainen joustavuus varmistaa, että palvelutasosta pidetään kiinni olosuhteista riippumatta. (Haastateltava 3, 2025)

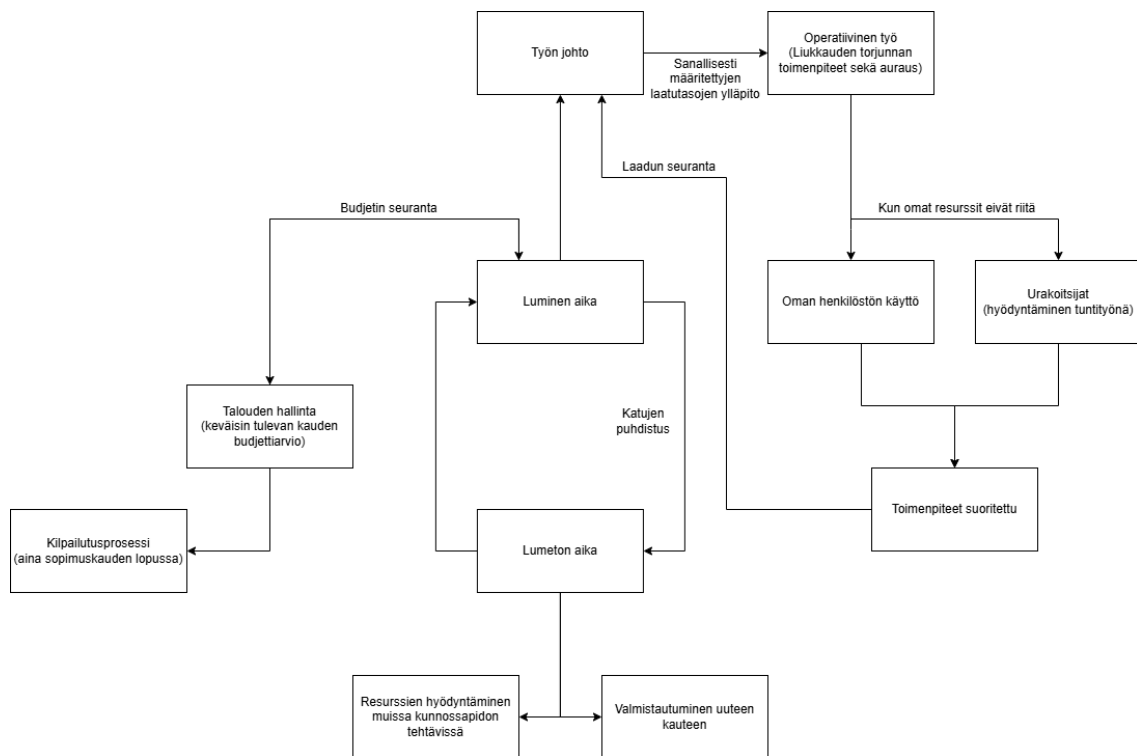
Kaupungin omajohtoisessa mallissa hyödynnetään kaupungin omaa työvoimaa sekä yksityisiä urakoitsijoita tarkoituksenmukaisella tavalla. Kaupungin omat työntekijät ja kalusto pidetään työllistettynä ympäri vuoden: talvikaudella talvikunnossapidon toimenpiteitä ja kesäkaudella kaluston huoltoa sekä muita kunnossapitotehtäviä. Talvikauden perusresurssi tarve pyritään kattamaan näin omalla henkilöstöllä ja kapasiteetin ylittävä tarve katetaan ostamalla urakoitsijoita tuntityönä. Tämä mahdollistaa nopean reagoinnin äkillisesti muuttuviin olosuhteisiin ja resurssien tehokkaan käytön. (Haastateltava 1, 2025).

Tiedolla johtaminen on keskeisessä roolissa Jyväskylän kaupungin talvihoidon prosessissa. Päätöksenteon tukena hyödynnetään laajasti erilaista dataa: kaluston GPS-dataa, paikkatietoaineistoa (katujen sijainti, määrä, luokitukset, topografia), historiadata, resurssitietoa, markkinatietoa saatavilla olevasta kalustosta sekä keli- ja säätietoa. Keli- ja säädataa kerätään erilaisten staattisten kuten sääasemien ja tienpintaan asennettujen sensorien avulla sekä mobiilisensorien kuten ajoneuvoihin asennettujen sensoreiden avulla. Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidosta on jo siis saatavilla monenlaista dataa, joista osa on kerätty kehitettyyn tilannekuvapalveluun. Palvelusta voi tarkastella katuverkon tilannetta sekä työkoneiden sijaintia. Saadun palautteen hyödyntäminen on myös tärkeä osa tiedolla johtamista. Kuntalaiset voivat ilmoittaa auraamattomista teistä tai liukkaista paikoista palautekanavan kautta. (Haastateltava 1, 2025)

Haastattelujen mukaan valvonta ja tiedonkulku toimivat Jyväskylässä hyvin, sillä eri toimijat keskustelevalti tiiviisti keskenään. Tällainen avoin kommunikaatio tukee

laadunvarmistusta, sillä mahdolliset ongelmat nousevat nopeasti esiin ja niihin voidaan puuttua saman tien. (Haastateltava 3, 2025)

Talvikunnossapidon prosessin onnistumisessa korostuu laadukas ennakkosuunnittelu, säätiedon tehokas hyödyntäminen ja selkeä työnjako. Joustava toimintamalli ja reaaliaikainen tilannetieto antavat mahdollisuuden nopeaan reagointiin muuttuvissa olosuhteissa (Haastateltava 1, Haastateltava 4, 2025). Kuvassa 1 on esitetty Jyväskylän talvikunnossapidon prosessi pelkistettynä kaaviorakenteena asiantuntijahaastattelujen perusteella.



Kuva 1. Jyväskylän talvikunnossapidon prosessi perustuen asiantuntijahaastatteluihin

5.2 Talvikunnossapidon prosessin haasteet

Sanallisesti määritellyt laatutavoitteet vaativat tarkempaa olosuhteiden seurantaa entisiin kynnyssehtoihin verrattuna, kun ei riitä esimerkiksi pelkkä lumikerroksen paksuuden tarkkailu kadun pinnalla. Tämä voi aiheuttaa virhearvioita ja palvelutason alituksia tai selkeitä ylityksiä. Kumpikaan ei ole tavoiteltavaa, sillä laatutason alittuessa katujen

käyttö hankaloituu ja ylittyessä budjettia kuluu odotettua nopeammin. (Haastateltava 1, 2025)

Omajohtoinen malli vaikeuttaa kustannusten arviointia etukäteen aiempaan tuottaja-tilaaja -malliin verrattuna, vaikkakin lopulliset kustannukset voivat olla pienemmät kuin vanhassa mallissa. Tämä korostaa talouden raportoinnin kehittämisen tarvetta, jotta raportit ovat ajantasaisia ja heijastavat oikeasti kulunutta summaa. (Haastateltava 3, 2025)

Datan sirpaloituminen ja erilaisten järjestelmien hajanaisuus luo myös haasteita tiedon yhdistelyyn ja sen tehokkaaseen hyödyntämiseen (Haastateltava 2, 2025). Jyväskylän kaupungilla ei ole yhtenäisiä prosesseja järjestelmien ja niiden tiedon hallintaan. Myöskään kaikkea prosessille oleellista tietoa ei ole saatu vielä koneluettavaan muotoon, joka vaikeuttaa tiedon hallintaa ja osassa järjestelmiä on ollut toimintakatkoksia (Haastateltava 1, 2025; Haastateltava 4, 2025). Datan ja tiedon luotettava optimointi edellyttää tiedon vakiointia ja harmonisoimista. Dataa kerätään jo useista eri lähteistä, mikä luo pohjaa tiedolla johtamiselle, jos datan hallinnan puutteet saadaan korjattua.

Resurssien suunnittelu ja hallinta koettiin myös haasteelliseksi, sillä talvikunnossapidon budjettiarvio laaditaan seuraavaa kautta varten edeltävänä keväänä. Tämä arvio saatetaan joutua kuitenkin ylittämään odottamattomien tekijöiden vuoksi, jolloin budjettia paikataan muualta kaupungin budjetista. Tarkemman resurssiarvion tekeminen keväällä mahdollistaisi sujuvamman prosessin. (Haastateltava 3, 2025).

Kilpailutusprosessi koettiin työlääksi, sillä prosessin aikana joudutaan etsimään paljon historiatietoa aiemmilta kausilta, käymään asiakirjoja läpi ja ottamaan huomioon tulevaisuudessa tapahtuvat talvikunnossapitoon vaikuttavat tekijät. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi kustannustason nousu tai katuverkon muutokset. Harkinnassa on ollut myös takuutuntien sisällyttäminen kilpailutussopimuksiin, jotta sopimukset olisivat houkuttelevampia urakoitsijoille. Haasteena on takuutuntien määrittäminen siten, että se vastaa mahdollisimman tarkasti toteutuvaa palvelutarvetta. (Haastateltava 1, 2025)

Taulukossa 2 on esitelty Jyväskylän kaupungin ja ulkopuolisen konsultin vastauksia kysymyksiin liittyen tekoälyyn ja Jyväskylän kaupungin organisaatioon. Vastauksia pyydettiin asteikoilla 1–5, joista 1 oli erittäin negatiivinen ja 5 erittäin positiivinen. Kaikkien haastateltavien arvioiden mukaan Jyväskylän kaupungin organisaatiossa on

halukkuutta ja valmiuksia kokeilla erilaisia ratkaisuja kuten tekoälyä talvikunnossapidon tukena. Haastateltavat pitivät tekoälyn potentiaalia merkittävänä mahdollisuutena prosessin kehittämisessä. Oma motivaatio muuttaa totuttuja työskentelytapoja oli useimmilla myös korkea, mikä kuvastaa valmiutta soveltaa uusia työkaluja totuttuihin työskentelytapoihin. Toisaalta valmiutta heikentäväksi tekijäksi tunnistettiin datan epäyhtenäisyys. Tietoarkkitehti arvioi datan valmiusasteen tekoälyratkaisulle 3/5, mikä viittaa datan laadun vaihtelevuuteen. Esimerkiksi katuverkon tilannetta seuraavat sensorit ja sääasemat tuottavat koneluettavaa dataa, mutta merkittävä osa asiakirjoista ei ole suoraan koneellisesti tulkittavassa muodossa. Haastateltavat olivat yhtä mieltä siitä, että datainfrastruktuuri on yhtenäistettävä ja datan laatua on parannettava, jotta tekoälyratkaisulla on kyky tuottaa siitä hyödyllisiä lopputuloksia. (Haastateltava 1, 2025; Haastateltava 2, 2025; Haastateltava 3, 2025; Haastateltava 4, 2025; Haastateltava 5, 2025)

Taulukko 2. Taulukko, jossa on esitetty haastateltavien 1-4 vastauksia kysymyksiin tekoälystä ja sen hyödyntämisestä (Vastausasteikko 1-5, 1=erittäin negatiivinen...5=erittäin positiivinen)

Kysymys/Haastateltava	1	2	3	4
Kuinka merkittäväksi arvioit tekoälyn potentiaalin talvikunnossapidon kustannustehokkuuden parantamisessa?	5	4	4	5
Kuinka avoimena koet organisaatiosi suhtautumisen uusiin teknologisiin ratkaisuihin ja niiden pilotointiin?	5	4	4	3
Kuinka valmis olet muuttamaan omia työtapojasi, jos tekoälypohjainen työkalu otetaan käyttöön?	5	4	4	5
Kuinka valmista käyttämäänne data on koneluettavaksi?	-	3	5	5

5.3 Mahdolliset kehityspotut

Tekoälyasiantuntijoiden haastattelut (Haastateltavat 6–10) vahvistivat aiempia havaintoja ja toivat lisänäkemyksiä varsinkin tekoälyratkaisujen toteuttamisen teknisiin ja

sosiaalsiin vaatimuksiin. Asiantuntijoiden mukaan tekoälyn käyttöönotto kannattaa tehdä hallitusti ja suunnitelmallisesti keskittyen aluksi rajattuihin käyttötapauksiin, joista saadaan nopeasti hyötyjä realisoitua ja oppia organisaatiolle jatkaa tekoälyn käyttöönottoa pidemmälle (Haastateltava 6, 2025; Haastateltava 7, 2025; Haastateltava 8, 2025; Haastateltava 9, 2025; Haastateltava 10, 2025)

Keskeisenä kehityspolkuna korostuu tekoälyn integrointi olemassa oleviin päätöksentekoprosesseihin. Sen sijaan, että tekoälyä hyödynnettäisiin irrallisina kokeiluina prosessin eri vaiheissa, tulisi siitä tehdä luonnollinen osa työntekijöiden työnkulkua. Asiantuntijat korostivat, että tekoälyratkaisut tuottavat suurimman hyödyn toimiessaan päätöksenteon tukena. Tämä perustuu tekoälyn kykyyn analysoida laajoja tietomassoja sekä muodostaa niiden pohjalta perusteltuja johtopäätöksiä (Haastateltava 6, 2025; Haastateltava 10, 2025).

Toinen tärkeä kehityspolku on datan kehitys, jota syötetään tekoälylle. Datan keräämisen, hallinnan ja laadun tulee olla johdonmukaista ja suunniteltua. Asiantuntijoiden mukaan laadukas ja kattava data on edellytys kaikille tekoälyratkaisuille. ”Huono data johtaa huonoihin tuloksiin,” kiteytti Haastateltava 7 korostaen, että ilman luotettavaa tietopohjaa tekoäly ei tuota käyttökelpoisia ratkaisuja (Haastateltava 7, 2025). Haastatteluissa tuotiin esiin konkreettisia datalähteitä, joita ilman talvikunnossapidon prosessinohjaus ei onnistu. Tällaisia datalähteitä oli esimerkiksi asiakaspalautteet, sää- ja kelitiedot, sensoridata kaluston kuin katujen osalta, reittien tiedot sekä historiatieto tehdyistä toimenpiteistä (Haastateltava 6, 2025; Haastateltava 9, 2025). Haastateltava 8 huomautti, että erityisesti kriittisissä datalähteissä data on valmisteltava huolellisesti varmistaen datalla olevan yhtenäinen formaatti ja metatietojen olevan oikein (Haastateltava 8, 2025). Metatiedoilla tarkoitetaan tietoaaineiston kontekstia, kuten rakennetta (Tieteen termipankki, 2025). Toisaalta tekoälyn vahvuus on, että datan ei tarvitse olla täysin strukturoitua ja yhtenäistä, sillä tekoäly osaa lukea ja suodattaa dataa itsekin, toisinkuin sääntöpohjaisesti toimiva ratkaisu (Haastateltava 10, 2025). Yksittäisiä datalähteitä tulisi rikastaa eli kerätä ja yhdistää muiden yksittäisten datalähteiden kanssa, jolloin tekoälyratkaisu pystyy mallintamaan ilmiöitä luotettavasti ja löytämään trendejä datan pohjalta (Haastateltava 8, 2025; Haastateltava 9, 2025). Yhtä tärkeää on rakentaa mekanismeja kuten palautesilmukoita, joiden avulla tekoälyratkaisu oppii jatkuvasti kertyvästä uudesta datasta (Haastateltava 9, 2025). Tämä tarkoittaa, että organisaation on suunniteltava datan varastointi ja päivitys siten, että tekoälyratkaisut paranevat ajan

myötä seuraamalla missä tilanteissa mallit tuottavat onnistuneita tai epäonnistuneita lopputuloksia (Asetus (EU) 2024/1689, 2024, 9(2)(c) ja 10(2) art.).

Tärkeä kehityspolku on myös organisaation jäsenten osaamisen ja asenteiden kehittäminen. Asiantuntijoiden mukaan uusien tekoälyratkaisujen käyttöönotto vaatii organisaation johdon, että henkilöstön ymmärrystä tekoälyn mahdollisuuksista ja rajoituksista (Haastateltava 6, 2025). Johdon aktiivinen tuki nähdään ratkaisevan tärkeäksi, jotta tekoälyn hyödyntämiselle saadaan asetettua tavoitteet ja osoitettua riittävät resurssit. Tärkeää on erityisesti varata tekoälyratkaisuja työssään hyödyntäville aikaa uuden työkalun käyttöönottoon ja tutustumiseen sekä henkilöstöllä täytyy olla riittävä taitotaso arvioida tekoälyn tuottamia tietoja ja tulkita niitä kriittisesti (Haastateltava 10, 2025). Tämän takia olisi tärkeää, että organisaation johto viestisi tekoälyn roolista työn tukijana eikä korvaajana sekä jakaisi varhaisia onnistumistarinoita kuten ajansäästövinkkejä rohkaistakseen henkilöstöä hyödyntämään uutta ratkaisua (Haastateltava 6, 2025). Tekoälyä tulisi siis ajatella ikään kuin työkaverina sen sijaan, että sitä pidettäisiin kaiken ratkaisevana ihmetyökaluna. Näin mahdolliset yksittäiset virheet tekoälyn toiminnassa ei vie uskoa koko järjestelmään, vaan käyttäjät ymmärtävät tekoälyn tarjoavan apua ja sen tason parantumisen kokemuksen karttuessa. (Haastateltava 6, 2025)

Strategisella tasolla organisaatioiden on pohdittava, kehitetäänkö tekoälyratkaisut itse vai hyödynnetäänkö ulkopuolisia valmiita palveluja (Haastateltava 7, 2025). Valmiiden palveluiden hyödyntäminen mahdollistaisi uusimpien ja tehokkaimpien mallien hyödyntämisen ilman suuria aloitusinvestointikustannuksia, jotka tekoälyn rakentamiseen liittyy. Lisäksi tämä mahdollistaisi helpomman prosessin tekoälymallin vaihtamiselle, jos markkinoille tulisi uusi, parempi tekoäly (Haastateltava 7, 2025).

Mahdollisten kehityspolkujen seuraaminen alkaa perusasioiden varmistamisesta eli oikeiden käyttökohteiden valinnasta, datan laadusta sekä henkilöstön osaamisesta. Näiden perusasioiden päälle organisaatio voi lähteä rakentamaan tekoälyratkaisuja asteittain tähdäten kokonaisvaltaisempaan ratkaisuun, jolla on hallinnassa monia eri osia talvikunnossapidon prosessista. Kehityspolun edetessä tekoälyratkaisusta tulee vähitellen arkipäiväinen osa organisaation toimintaa, mikä on monen asiantuntija mukaan realistinen tavoitetilä jo muutaman vuoden tähtäimellä (Haastateltava 10, 2025; Haastateltava 6, 2025; Haastateltava 8, 2025)

5.4 Tekoälyratkaisujen arviointi: hyötypotentiaali ja toteutettavuus

Tässä osiossa ensin tunnistetaan talvikunnossapidon prosessin nykytilanteeseen soveltuvia tekoälyratkaisuja. Lisäksi tarkastellaan ratkaisujen tarjoamia hyötyjä sekä arvioidaan niiden toteutuskelpoisuutta. Asiantuntijoiden näkemykset korostavat, että suurimman hyötypotentiaalin saavuttaminen edellyttää teknisten ja organisatoristen ehtojen täyttymistä. (Haastateltava 6, 2025; Haastateltava 7; Haastateltava 8, 2025; Haastateltava 9, 2025; Haastateltava 10, 2025)

Jotta tekoälyratkaisuja voidaan arvioida, ensin pitää tunnistaa nykyisen prosessin osat ja tehtävät, joissa tekoälyratkaisusta olisi hyötyä. Tekoälyä kannattaa ensin soveltaa rajattuihin ongelmiin, jotka vievät paljon työaikaa ratkaista ja joista on runsaasti dataa tarjolla (Haastateltava 7, 2025). Talvikunnossapidon kontekstissa tämä voisi tarkoittaa esimerkiksi talouden raportoinnin tukemista tai operatiivisella puolella toimenpidepäättöksen teon tukemista. Lisäksi asiakaspalautteen käsittely sekä kadun käyttäjien kysymyksiin vastaaminen voisivat olla alueita, joilla tekoäly voi tuottaa nopeasti hyötyä ilman puuttumista tärkeisiin talvikunnossapidon ydintoimintoihin (Haastateltava 6, 2025).

Alkuvaiheen painopisteisiin voisi myös kuulua rutiininomaisten asiakirjojen läpikäynti tekoälyn avulla, mikä vapauttaisi asiantuntijoiden aikaa vaativampiin tehtäviin (Haastateltava 6, 2025; Haastateltava 8, 2025). Kielimallit pystyvät käsittelemään luonnollista kieltä ja siten käymään läpi laajoja dokumenttiaineistoja sekä nostamaan esiin olennaisia kohtia, mikä voi tehostaa esimerkiksi tarjouskilpailuprosessia (Haastateltava 6, 2025).

Oleellista on, että pilotointikohteet omaavat edellytykset onnistumiselle eli niistä on olemassa tarpeeksi dataa muodossa, jonka tekoäly ymmärtää sekä tekoälyn tuotokset on helppo validoida ihmisten toimesta (Asetus (EU) 2024/1689, art. 1–4). Onnistuneet pilotointikokeilut helpottavat laajemman käyttöönoton perustelua ja tekoälyratkaisujen jatkokehitystä. On kuitenkin tärkeää arvioida tekoälyn tuoma arvo käyttökohteen ja toteutustavan mukaan, sillä väärään paikka tai väärällä tavalla sovellettuna tekoäly ei tarjoa tavoiteltua lisäarvoa.

Tekoälyratkaisujen onnistunut käyttöönotto edellyttää useiden perusedellytysten täyttymistä. Ilman riittävää ja laadukasta dataa moni teoreettisesti lupaava ratkaisu jää saavuttamatta potentiaaliaan. Dataa on oltava saatavilla sekä määrällisesti, että laadullisesti riittävästi siltä osa-alueelta, johon tekoälyratkaisu kohdistuu, jotta malli voidaan ensin kouluttaa tekemään oikean tyyppisiä ratkaisuja ja käytössä osaa tehdä oikeanlaisia päätöksiä. (Haastateltava 7, 2025; Haastateltava 9, 2025) Dataa on tärkeä myös kerätä ja syöttää reaaliajassa mallille, jotta tekoälyratkaisulla on ajantasainen käsitys tilanteesta, johon se yrittää tuottaa toimenpide-ehdotuksia (Haastateltava 9, 2025). Järjestelmän rakentamista aloittaessa on siis syytä varata merkittävästi aikaa datan kokoamiseen, puhdistamiseen ja yhteensovittamiseen eri lähteistä. Datan alkuperän ja versioiden jäljitettävyyys (engl. Data lineage) on varmistettava, jotta tekoälyn päätöksenteko on läpinäkyvää ja mahdolliset virheet voidaan paikantaa tehokkaasti. Tämä on tärkeää järjestelmän luotettavuuden kannalta (Haastateltava 8, 2025). Järjestelmät saattavat myös tarjota valmiita rajapintoja ja moduuleja, jotka mahdollistavat tekoälyratkaisujen suoraviivaisen integroinnin olemassa olevaan infrastruktuuriin. Lisäksi on kehitetty standardoituja menetelmiä ja protokollia, kuten MCP- ja A2A-protokollat, jotka helpottavat tekoälykomponenttien liittämistä muihin järjestelmiin (Haastateltava 8, 2025).

Teknisessä toteutettavuudessa on huomioitava käytettävien mallien ja menetelmien soveltuvuus kuhunkin ongelmaan. Haastattelujen perusteella olisi järkevää hyödyntää olemassa olevia, kehittyneitä malleja aina kun mahdollista sen sijaan, että organisaatio lähtisi kehittämään omia malleja alusta alkaen (Haastateltava 6, 2025; Haastateltava 10, 2025). Tämä pätee erityisesti kielimallien hyödyntämisessä, joiden kehittäminen vaatii kalliita alkuinvestointeja ja varsinkin pilotointivaiheessa on kustannustehokkaampaa hyödyntää organisaatiokäyttöön tarkoitettuja malleja, joita voidaan sitten räätälöidä asiakkaan organisaation tarpeisiin tietoturva huomioon ottaen (Haastateltava 9, 2025).

Sen sijaan tietyissä talvikunnossapidon prosessin osissa perinteiset koneoppimis- tai optimointimenetelmät voivat saavuttaa parempia tuloksia. Esimerkiksi reittioptimoinnissa klassiset algoritmit saattavat toimia tekoälyä luotettavammin ja selkeämmin. Toisinaan paras lopputulos saavutetaan yhdistelemällä eri lähestymistapoja. Kielimalli ei riitä monissa reaaliaikaista tietoa vaativissa tehtävissä, vaan sen kylkeen on liitettävä erillinen tietokanta, josta malli voi hakea tietoa. Tällaisia tietokantoja ovat

esimerkiksi vektoritietokannat RAG:it (retrieval-augmented-generation), jolla on kyky parantaa mallin kykyä tuottaa ajantasaisia ja luotettavia tuloksia. (Haastateltava 6, 2025)

Teknisen toteutettavuuden ohella on tärkeää arvioida myös, kuinka hyvin tekoälyratkaisu sopii organisaation toimintatapaan ja valmiuksiin. Vaikka ratkaisu olisi teknisesti toimiva, jää sen hyödyt saavuttamatta elleivät ihmiset ota sitä omakseen ja osaksi työtehtäviensä suorittamista (Haastateltava 6, 2025). Tekoälyratkaisun käyttäjille on tarjottava kattavasti tukea uuden työkalun käyttöönotossa sekä viestittävä selkeästi, minkälaisia hyötyjä voidaan saavuttaa kunkin prosessin vaiheessa, jotta käyttäjille ei synny epärealistisia odotuksia tai vääriä luuloja tekoälyratkaisun kyvykkyydestä (Haastateltava , 2025). Tekoälyratkaisuja onkin hyvä kohdella kuin ketä tahansa muuta työkollegaa, joka antaa suosituksia tai ohjeita, miten tehdä tietty työtehtävä käyttäjälle (Haastateltava 7, 2025). Lopullinen vastuu ja päätösvalta on ihmisellä itsellään ja alkuvaiheessa erityisesti kannattaakin tekoälyn antamat ehdotukset arvioida kriittisesti, jotta saadaan käsitys tekoälyn luotettavuudesta (Haastateltava 7, 2025).

Toteutettavuuteen organisaatio tasolla vaikuttavat myös resurssit ja osaaminen. Julkisella sektorilla resurssit kuten aika, budjetti ja asiantuntijahenkilöstö ovat usein rajalliset, mikä voi asettaa haasteita uuden ratkaisun kehittämiseen ja käyttöönottoon (Haastateltava 8, 2025) Realiteetti on otettava huomioon ratkaisujen toteutusta priorisoitaessa: onko organisaatiolla kykyä ja kapasiteettia pyörittää sekä kehittää valittua tekoälyratkaisua omin voimin vai tarvitaanko kumppaneita. Jos omaa asiantuntemusta ei ole riittävästi, voi olla tarkoituksenmukaista aloittaa pienemmällä pilotointikokeilulla tai hyödyntää pilvipohjaisia palveluja, joissa osa ylläpidosta tulee palveluntarjoajan kautta. Pitkällä tähtäimellä kannattaa investoida henkilöstön osaamisen kartuttamiseen tekoälyn saralla, jolloin organisaatio pystyy itse paremmin arvioimaan ja säätämään tekoälyratkaisujen toimintaa (Haastateltava 7, 2025). Voidaan olettaa, että tekoäly jatkaa kehittymistään, jolloin henkilöstön tutustuttaminen nykyisiin ratkaisuihin tukee myös tulevaisuuden työkalujen käyttöönottoa (Haastateltavat 8, 2025; Haastateltava 9, 2025)

6 TOTEUTUKSEN HAASTEET JA RISKIT

Tekoälyratkaisujen käyttöönotolla talvikunnossapidossa on merkittävää potentiaalia, mutta niiden onnistunut soveltaminen vaatii monien haasteiden huomioonottoa. On ratkaistava, miten tekoälymallit, data ja työprosessit yhdistetään todellisen lisäarvon luomiseksi (Schmidt et al., 2020, s. 1–10).

6.1 Teknologiset haasteet

Kehittyneet tekoälymallit toimivat niin sanottuina mustina laatikkoina (engl. black box) eli niiden sisäinen päätöksentekoprosessi on vaikeasti seurattavissa. Esimerkiksi syvät neuroverkot ja laajat kielimallit voivat antaa erittäin tarkkoja ennusteita, mutta niiden antamien suositusten perustelut eivät ole läpinäkyviä. Tämä heikentää käyttäjien luottamusta ja vaikeuttaa mahdollisten virheiden jäljittämistä (Naveed et al., 2024, s. 1–2). Erityisesti generatiiviset tekoälymallit, kuten laajat kielimallit saattavat toisinaan tuottaa uskottavalta kuulostava, mutta virheellistä tietoa ilman todellisuuspohjaa. Tällaisia harhaanjohtavia vastauksia kutsutaan hallusinaatioiksi (Nah et al., 2023, s. 11). Hallusinaatiot ovat tunnettu ongelma, joka voi aiheuttaa riskejä päätöksentekoon. Näiden syiden vuoksi on tärkeää sisällyttää järjestelmiin mekanismeja, jotka varmistavat tuotettujen lopputulosten paikkaansa pitävyyden. Tällaisia mekanismeja ovat esimerkiksi mallin rajoitus vain luotettaviin tietolähteisiin ja ihmisen pitäminen mukana silmukassa tarkistamassa kaikki kriittiset ehdotukset (Nah et al., 2020, s. 12–14).

Teknologinen päätös tekoälyratkaisujen toteutusympäristöstä on keskeinen haaste. Paikallisessa laskennassa omilla palvelimilla järjestelmä on täysin organisaation omassa kontrollissa ja data voidaan käsitellä lähellä tietolähteitä. Tämä voi parantaa tietoturvaa ja vähentää riippuvuutta ulkopuolisista palveluista. Paikallisen laskennan ongelmana on kuitenkin usein laskentatehon ja laitteistoresurssien rajallisuus, sillä uusimmat tekoälymallit vaativat merkittäviä määriä laskentakapasiteettia ja muistia, mikä kasvattaa alkuinvestointi- sekä kunnossapitokustannuksia merkittävästi. (Sze et al., 2017, s. 2296))

Pilvilaskenta puolestaan tarjoaa periaatteessa rajattomasti skaalautuvaa tehoa ja valmiita tekoälypalveluja, mutta sen käyttö tuo omat, uudet riskinsä. Pilvipalveluihin siirryttäessä joudutaan dataa lähettämään organisaation ulkopuolelle, mikä on haaste tietoturvan ja

yksityisyyden näkökulmista. Pilvipalveluita hyödynnettäessä järjestelmä on myös altis palveluntarjoajan hinnoittelulle ja saatavuudelle. Paikallisen ja pilvimallin laskennan välillä joudutaan punnitsemaan resurssien, kustannusten ja riskien suhteita. (Sze et al., 2017, s. 2296)

Tekoälyn tuominen osaksi olemassa olevaa talvikunnossapidon prosessia vaatii integraatiota useiden erilaisten järjestelmien ja laitteiden välillä. Talvikunnossapidon prosessissa hyödynnetään jo monenlaisia järjestelmiä talousjärjestelmistä kaluston seurantajärjestelmiin, jotka kaikki tulisi voida integroida osaksi tekoälyratkaisua. Tämä voi osoittautua haasteeksi, joka tulee ottaa huomioon tekoälyjärjestelmää rakennettaessa. Teknologian tai rajapintojen muutokset järjestelmissä voivat aiheuttaa ennakoimattomia häiriöitä, jonka takia arkkitehtuurissa tulisi suosia modulaarisuutta ja standardoituja rajapintoja, jotta järjestelmän osia voidaan tarvittaessa vaihtaa ja päivittää ilman, että koko ratkaisun toiminta vaarantuu (Bousdekis & Mentzas, 2021, s. 4).

6.2 Tiedon saatavuus ja laatu

Jotta tekoälymalli voi tehdä laadukkaita ennusteita ja suosituksia, sille on syötettävä relevanttia ja laadukasta dataa kaikista tarvittavista lähteistä. Jokaisen uuden integroitavan järjestelmän kohdalla tulee ratkaista teknisiä sekä hallinnollisia ongelmia liittyen tiedon formaattiin ja päivityssykliin. Lisäksi eri järjestelmistä tuleva tieto on vakioitava, jotta tekoälymalli osaa yhdistää tiedot oikein. (Haastateltava 2, 2025)

Katuverkolta reaaliajassa kerättävä data, kuten sensoreista saatava tiepinnan lämpötilat voivat sisältää virheitä tai puutteita sensorin vikaantumisen tai ääriolosuhteiden takia. Myös tietoliikenneyhteyksien katkokset voivat johtaa aukkoihin datassa. Tekoälymallin kannalta virheet voivat johtaa heikkolaatuisiin tuloksiin, jonka takia datan esikäsittely ja laadunvarmistus ovat kriittisen tärkeitä vaiheita. Ennen tiedon syöttämistä tekoälymallille, on datasta tunnistettava ääriarvot ja virrehavainnot, korvaten ne esimerkiksi lähellä olevien sensorien tiedoilla tai tilastollisilla menetelmillä. (Fowler et al., 2010, s. 1)

EU:n tekoälylait painottavat erityisesti korkeariskisten tekoälysovellusten osalta, että koulutus- ja käyttödatassa on pyrittävä vähentämään virheitä, puolueellisuuksia ja harhoja (Asetus (EU) 2024/1689, art. 10(2) – (3)). Tämän työn kannalta se tarkoittaa esimerkiksi,

että koulutusdatan tulee sisältää tarpeeksi erilaisia säätilanteita ja skenaarioita, jottei malli opi liian yksipuolisia toimintamalleja. Samoin on huolehdittava, ettei datassa ole systemaattista vinoumaa eli ettei data sisällä vain tietyiltä alueilta dataa, joka voisi johtaa siihen, että malli suosii ja painottaa virheellisesti tiettyjä piirteitä tai sijainteja lopputuloksissaan.

Jos tekoälyratkaisu rakentuu usean ulkoisen datalähteen, kuten sääpalvelujen ja liikennetietojen, varaan on huomioitava myös jatkuvuuden riskit. Palveluntarjoajat voivat muuttaa rajapintojensa teknisiä määrittelyjä, hinnoittelumalleja tai käyttöehtoja, mikä saattaa rikkoa yhteensopivuuden tekoälyratkaisun kanssa (NIST, 2023, s. 5). Ääritapauksissa jokin olennainen avoin tietolähde voidaan sulkea kokonaan. Tällaisiin muutoksiin varautuminen edellyttää sopimuksellisia ja teknisiä keinoja, sillä sopimuksilla kumppanit voidaan pyrkiä sitouttamaan pitkäjänteisesti tuottamaan palveluaan ja teknisesti järjestelmän tulisi olla joustava, niin että datalähteen vaihtaminen tai päivittäminen on yksinkertaista eikä vaadi koko järjestelmän uudelleenrakentamista. (NIST, 2022, s. 77)

6.3 Organisatoriset ja inhimilliset tekijät

Uuden teknologian käyttöönotto organisaatiossa riippuu viime kädessä siitä, ovatko työntekijät valmiita omaksumaan uudet työkalut osaksi arkeaan ja vakiintuneita työskentelytapojaan. Jyväskylän kaupungin asiantuntijoiden haastatteluissa ilmeni, että organisaatiossa suhtaudutaan myönteisesti tekoälyn kokeiluun ja nähdään sen potentiaali. (Haastateltava 1, 2025; Haastateltava 2, 2025; Haastateltava 3, 2025; Haastateltava 4, 2025) Korkea motivaatio uusien työkalujen kokeiluun ja käyttöönottoon on myönteinen lähtökohta, mutta on myös huomioitava mahdolliset epäluulot ja pelot. Yleisesti työelämän tutkimuksissa on tunnistettu, että tekoälyn ja automaation lisääntyminen voi herättää huolta työntekijöissä esimerkiksi oman roolin muuttumisesta tai työpaikan menettämisestä (Nazareno & Schiff, 2021, s. 7) Jos tekoäly koetaan uhkaksi, halukkuus käyttää tekoälyratkaisua laskee. On tärkeää viestiä selkeästi organisaation johdon tasolta, että tekoälyratkaisun ei ole tarkoitus korvata ihmistä vaan toimia päätöksenteon tukena. Lisäksi käyttäjien on nähtävä konkreettista hyötyä, sillä mikäli tekoälyn suositukset koetaan epärelevantteiksi tai virheellisiksi alkuvaiheessa, voi syntyä kynnys luottaa tai käyttää järjestelmää negatiivisten kokemusten jälkeen. (Hoff & Bashir, 2015, s. 420)

Tekoälyjärjestelmien hyödyntäminen edellyttää uudenlaista osaamista organisaatiossa. Pelkästään järjestelmän operointiin tarvitaan koulutusta, jotta käyttäjät osaavat operoida käyttöliittymää, tulkita tuloksia ja käsitellä mahdolliset virhetilanteet. Syvemmällä tasolla tarvitaan myös ymmärrystä tekoälyn toimintaperiaatteista, jotta käyttäjät osaavat arvioida sen ehdotusten luotettavuutta kriittisesti. Julkisella sektorilla resurssit ovat usein rajalliset ja erityisasiantuntemusta tekoälystä voi olla vähän (Haastateltava 8, 2025). Järjestelmää suunniteltaessa organisaation osaamistaso tulee ottaa huomioon, sillä se vaikuttaa merkittävästi siihen kuinka paljon ulkopuolisiin kumppaneihin tulee tukeutua esimerkiksi järjestelmän ylläpidossa. Pitkällä aikavälillä henkilöstön tekoälyosaamisen kehittäminen on investointi, joka parantaa organisaation kykyä hyödyntää uudenlaisia työkaluja. Koulutuksella voidaan kasvattaa luottamusta tekoälyjärjestelmää kohtaan, kun sen käyttäjät ymmärtävät, mitä siltä voi odottaa ja mitä ei. Helposti saatavilla oleva tuki, opastus ja positiivisten käyttökokemusten esiin tuominen auttavat tässä muutoksessa (NIST, 2023, s. 23)

Tekoälyn integroiminen prosessiin vaatii, että koko talvikunnossapidon prosessi omaksuu dataohjautuvan mallin. Dataohjautuvalla mallissa organisaation tietolähteet ja datan tuottamistavat ovat vakioitu ja tarkasti määritelty. Organisaation digitaalinen kypsyys näkyy siinä, kuinka hyvin prosessit on jo dokumentoitu, miten dataa hyödynnetään päätöksenteossa nykyisellään ja millainen infrastruktuuri on valmiina. Tekoälyn käyttöönotto voi toimia myös katalysaattorina digitaalisen kypsyyden kehittämiseksi, kun joudutaan standardoimaan käytäntöjä ja vakioimaan tiedonlähteitä, mikä hyödyttää prosessia ja organisaatiota laajemminkin. Organisaation kypsyys liittyi myös vallitseva kulttuuri, lähdetäänkö uusia kokeiluja kehittämään vai suhtaudutaanko niihin varauksella. Jyväskylän kaupungissa uusien projektien läpivientiin on kehitetty kehtomalli, joka määrittelee tietyt askeleet projektin läpiviennille. (Haastateltava 2, 2025)

6.4 Eettiset ja tietosuojaan liittyvät näkökulmat

Talvikunnossapidon prosessissa käsitellään arkaluonteisia tietoja, kuten henkilötietoja palautteissa tai salassa pidettäviä sopimuksia, joiden takia on ehdottoman tärkeää varmistaa, että tietoturva on korkealla tasolla. Data on suojattava luvattomalta pääsylvä sekä sen säilytyksessä sekä siirtovaiheessa. Pilvipohjaisten ratkaisujen kannalta tämä tarkoittaa vahvaa salausta ja tiukkoja sopimusehtoja palveluntarjoajan kanssa. Tämän

työn kontekstissa myös dataa voidaan esikäsittää niin, että esimerkiksi liikenneverkon käyttäjien lähettämät palautteet anonymisoidaan ja aggregoidaan ennen kuin data syötetään mallille. Tekoälyjärjestelmä ei saa myöskään olla haavoittuvuus, jonka kautta ulkopuolinen toimija voisi lamauttaa talvikunnossapidon prosesseja tai manipuloida järjestelmän tuottamia suosituksia. (EU 2016/679, Art. 32)

Mikäli talvikunnossapidossa hyödynnetään suoraan kolmannen osapuolen tarjoamia valmiita tekoälymalleja, tulee harkita myös eettiseltä kannalta tekoälyn hyödyntämistä. Suljetun koodin kaupalliseen malliin luottaminen tarkoittaa, että organisaatio ei täysin tiedä, mitä dataa mallin taustalla on käytetty ja miten malli on koulutettu. Tämä voi vaikeuttaa esimerkiksi mallin toiminnan eettistä arviointia ja vastuukysymyksiä. Organisaation onkin arvioitava, onko oikein ja kestävää tukeutua kriittisessä infrastruktuurissa mustaan laatikkoon, jonka ohjaimet ei ole täysin itsellä. Eettisesti kestäväenä ratkaisuna voidaan pitää avoimempien mallien suosimista, jotka takaavat läpinäkyvyyttä ja mahdollistavat järjestelmän toiminnan auditoinnin. (Rudin, 2019, s. 206–215)

Eettisesti ja juridisesti on ennakoitava vastuukysymykset eli kuka on vastuussa loppukädessä toteutetuista toimenpiteistä. Lähtökohtaisesti vastuu on säilytettävä ihmisellä, joten on varmistettava, että tekoälyn rooli pidetään päätöksenteon tukijana, ei päätöksen tekijänä (Asetus (EU) 2024/1689, art. 24). Turvallisuuden varmistamiseksi tekoälylle kannattaa asettaa varovaisuusperiaatteita, joiden alittuessa se pyytää tietoa lisää tilanteesta tai kertoo, että tuotettu lopputulos perustuu vajavaisiin tietoihin. (Madras et al., 2018, s. 1–2)

7 TIEKARTTA TEKOÄLYN KÄYTTÖÖNOTTOON

Tiekartta tarkoittaa suunnitelmallista etenemispolkua, jossa määritellään vaiheittain tekoälyratkaisujen käyttöönotto organisaatiossa. Se on strateginen suunnitelma, joka auttaa jäsentämään toimenpiteet lyhyellä ja pitkällä aikavälillä sekä varmistamaan, että tekoälyn tuomat muutokset voidaan toteuttaa hallitusti. Tiekartan laadinta on tärkeää, koska tekoälyn hyödyntäminen talvikunnossapidon prosessissa vaatii niin teknisiä, organisatorisia kuin kulttuurillisiakin muutoksia, jotka on yhteensovittettava keskenään. Suunnitelmallinen eteneminen vähentää riskejä ja auttaa rakentamaan organisaation valmiutta tekoälyratkaisun potentiaalin täyteen hyödyntämiseen (NIST, 2023, s. 24–28). Tiekartta myös hahmottaa, millaista kokonaisuutta Jyväskylässä talvikunnossapidossa tavoitellaan. Visiona on dataohjautuva, reaaliaikainen talvikunnossapidon hallintajärjestelmä, joka integroi monipuoliset tietolähteet ja hyödyntää tekoälymalleja päätöksenteon tukena. Tarkoituksena on edistää operatiivista tehokkuutta ja ennakoitavuutta kuitenkin korvaamatta ihmistä päätöksenteossa (Asetus (EU) 2024/1689, art. 14). Jyväskylän kaupungin organisaatiossa on käytössä projektien läpivientiin suunniteltu ”kehtomalli”, joka määrittelee tietyt askeleet uusille kehityshankkeille (Haastateltava 2, 2025) Kehtomalli tukee tiekarttaa, jotta tekoälyn käyttöönotto etenee hallitusti pilotoinneista kohti suurempaa kokonaisuutta ja kytkeytyen saumattomasti talvikunnossapidon prosessin eri osiin.

7.1 Lyhyen aikavälin kehityspolku

Lyhyellä aikavälillä keskitytään pienimuotoisiin kokeiluihin, organisaation osaamisen kehittämiseen sekä datan keräämiseen. Keskeistä on aloittaa pilotit, joilla tekoälyn hyötyjä voidaan demonstroida rajatussa mittakaavassa. Pilottihankkeet kannattaa kohdistaa osa-alueille, joissa voidaan saavuttaa nopeasti konkreettisia hyötyjä ilman, että puututaan suoraan kriittisimpiin työnkulkuihin ja ydintoimintoihin (Haastateltava 6, 2025) Erinomaisia pilotointikohteita voisi olla esimerkiksi dokumenttien analysointi, palautteen automaattinen käsittely, tietokantakokeilut ja datan validointi.

Erilaisten dokumenttien kuten ohjeistusten, talousraporttien ja urakka-asiakirjojen analysointi onnistuu pelkällä generatiivisella kielimallilla ilman erillistä tietokantaa. Lisäksi generatiivista kielimallia voisi hyödyntää kilpailutusvaiheessa tarjouspyynnön

muodostamiseen sekä saatujen tarjouksien analysointiin. Dokumenttien arkaluontoisuus huomioiden, ne tulisi ensin anonymisoida tai aggregoida. Pilotti voitaisiin aloittaa syöttämällä sama data useisiin eri kielimalleihin ja tarkastelemalla lopputuloksia objektiivisesti rinnakkain, jotta löydetään pystyvimmät kielimallit. Tarkasteltavia ominaisuuksia tulisi olla ainakin kyky käsitellä laajoja tekstimassoja ja ottaa vastaan dokumentteja eri muodoissa, kontekstin säilytys pitkissä keskusteluissa sekä lopputulosten laatu. Pilotin pohjalta tulisi valita käyttöön sopivin kielimalli, jota voisi hyödyntää välittömästi esimerkiksi talouden raportoinnissa työaikaa säästävänä työkaluna. Jos pilotissa osoittautuu, että useampi generatiivinen kielimalli tuottaa laadukkaita tuloksia, mutta erityyppisissä tehtävätyypeissä, A2A-protokollaa mahdollistaa generatiivisten kielimallien hyödyntämisen. Tällöin voidaan hyödyntää rinnakkain useita generatiivista kielimallia siten, että mallit jakavat tehtävät keskenään vahvuusalueidensa mukaisesti. Pilotti kannattaisi toistaa säännöllisin väliajoin, sillä kielimallit kehittyvät koko ajan eteenpäin.

Generatiivisen kielimallin alustavan valinnan jälkeen myös liikenneverkon käyttäjiltä saatuja palautteita voidaan käsitellä tekoälyn avustuksella. Tekoäly voisi analysoida palautteet, tunnistaa niiden aiheen ja kiireellisyyden. Kokeilun tavoitteena on selvittää, kykeneekö malli esimerkiksi erottamaan talvikunnossapidon prosessin eri osiin liittyvät palautteet toisistaan ja ohjaamaan niitä oikealle henkilölle. Lisäksi voidaan kokeilla vastauspohjan generointia, jonka ihminen tarkistaa ja viimeistelee ennen vastauksen lähettämistä. Vastaavanlaisessa pilottihankkeessa tekoäly luokitteli asukaspalautteet jopa 95 % tarkkuudella, minkä ansiosta arviolta kaksi kolmasosaa asukaspalautteisiin käytetystä ajasta voitiin säästää (Tiera, 2024). Järjestelmä osasi myös priorisoida kiireellistä apua vaativat palautteet, mikä koettiin laatua parantavana tekijänä (Tiera, 2024). Näiden lupaavien tulosten valossa on perusteltua kokeilla, voidaanko samanlaisia aikasäästöjä saada aikaiseksi myös Jyväskylän kaupungissa talvikunnossapidon prosessissa.

Tekninen pilotti, jossa ensin määritellään datalähteet ja jalostetaan niitä koneluettavaan muotoon, on kriittinen alkuvaiheen pilotti. Tietolähteiden yhdistämisessä ja jalostamisessa on kriittistä varmistaa yhtenäiset formaatit ja oikeat metatiedot (Haastateltava 8, 2025). Datan vakionnin jälkeen voidaan kokeilla myös erilaisia tietokantoja ja niiden hyödyntämistä. Tietokantakokeilut kannattaa aloittaa pienillä datamäärillä ja muutamilla tietolähteillä tietokantaa monipuolistaen mitä pidemmälle

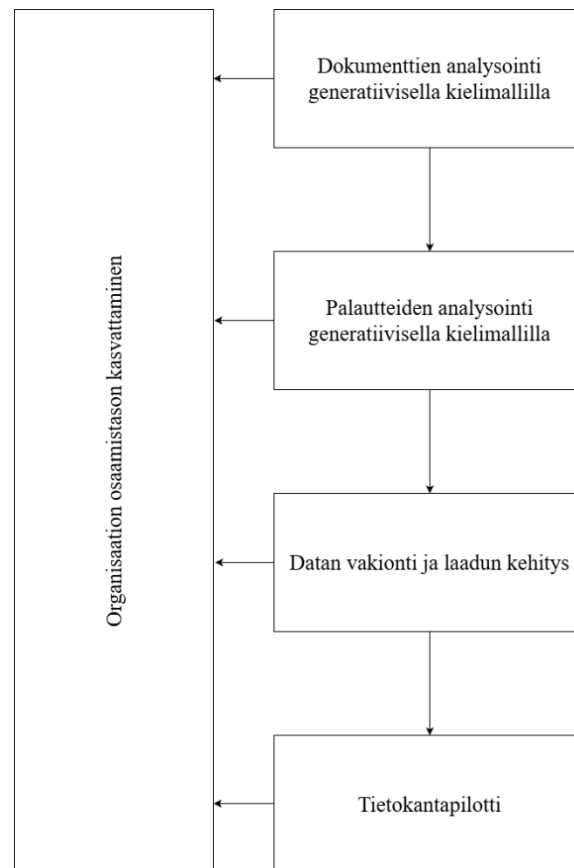
pilotti etenee. Tavoitteena on kokeilla datan reaaliaikaista keräämistä, rikastusta ja hyödyntämistä tietokannasta. Kirjallisuuden ja haastatteluiden perusteella pilotoinnissa olisi mielekästä hyödyntää useamman tietokannan datan luonteeseen perustuen, esimerkiksi nopeasti päivittyvä data tallennetaan aikasarjatietokantaan ja harvemmin päivittyvä data vektoroituun tietokantaan (Lewis et al., 2020, s. 1; Khan et al., 2023, s. 3). Tämä pilotti antaisi arvokasta oppia data-arkkitehtuurin suunnitteluun.

Pilottien ohella organisaation osaamistason kasvattaminen ja luottamuksen lisääminen uusia työkaluja kohtaan ovat olennaisia alkuvaiheen tavoitteita. Pilotissa mukana oleville henkilöille tulisi järjestää koulutusta ja opastusta, sillä osaamisen järjestäminen on investointi, joka parantaa organisaation kykyä hyödyntää uusia työkaluja (NIST, 2023, s. 23). Koulutuksen avulla voidaan hälventää epäluuloja, kun käyttäjät ymmärtävät toimintaperiaatteet sekä rajoitukset paremmin. Positiivisten käyttökokemusten jakaminen organisaation sisällä madalluttaa kynnystä muuttaa totuttuja työskentelytapoja (Hoff & Bashir, 2015, S. 420).

Pilottien ja kehityshankkeiden aikana on panostettava tiiviiseen vuoropuheluun talvikunnossapidon prosessiin liittyvien henkilöiden kanssa. Piloteista on kerättävä käyttäjäpalautetta: miten hyvin työkalu palvelee tarvetta, mitä ongelmia ilmeni käytössä ja mitä toiveita käyttäjillä on. Iteratiivinen ja systemaattinen palaute auttaa räätälöimään ratkaisuja käyttökokemusten perusteella. Pilottivaiheessa voidaan järjestää myös mukana oleville käyttäjille työpajoja, joissa käyttäjät voivat pienellä kynnyksellä kertoa ajatuksistaan. Avoimuus ja vuoropuhelu lisää pilottien käyttäjien luottamusta uusia ratkaisuja kohtaan ja samalla saadaan arvokasta palautetta tekoälyratkaisun jatkokehitykseen.

Resurssien näkökulmasta lyhyen aikavälin pilotit pyritään toteuttamaan rajatuin panostuksin, sillä organisaatioissa aika, budjetti ja henkilöstö ovat usein jo tehokkaasti hyödynnetty. Tämä asettaa selkeät raamit uuden ratkaisun kehittämiseksi (Haastateltava 8, 2025). Realistista on toteuttaa alkuvaiheen pienemmät pilotit osana normaalia työskentelyä tai hankerahoituksen avustuksella. Olennaista on dokumentoida pilotit ja niiden lopputulokset yksityiskohtaisesti, sillä pilottien opit luovat perustan pitemmän aikavälin kehityspolulle, jossa pilottihankkeiden onnistuneita ratkaisuja lähdetään laajentamaan osaksi koko prosessin kattavaa tekoälyratkaisua. Kuvassa 2 on esitetty lyhyen aikavälin kehityspolku pilottien toteutusjärjestyksessä ja kuinka organisaation

osaamistason kasvattaminen kulkee pistemäisempien pilottien rinnalla hyötyen jokaisesta hyötyen.



Kuva 2. Lyhyen aikavälin kehityspolku

7.2 Pitkän aikavälin kehityspolku

Alkuvaiheen pilottien jälkeen tavoitteena on skaalata hyväksi todetut ratkaisut täysimittaisiksi työkaluiksi sekä liittää ne osaksi kokonaisvaltaista tekoälypohjaista talvikunnossapidon hallintajärjestelmää. Tämä kehityspolku rakentuu vaiheittain alkaen pilottien laajentamisesta osaksi olemassa olevia prosesseja, jonka jälkeen laajennetaan tekoälyn hyödyntämistä prosessin uusiin osa-alueisiin ja lopulta saavutetaan tilanne, jossa ratkaisu hyödyntää tekoälyä laajasti ja dynaamisesti mukautuen muuttuviin olosuhteisiin.

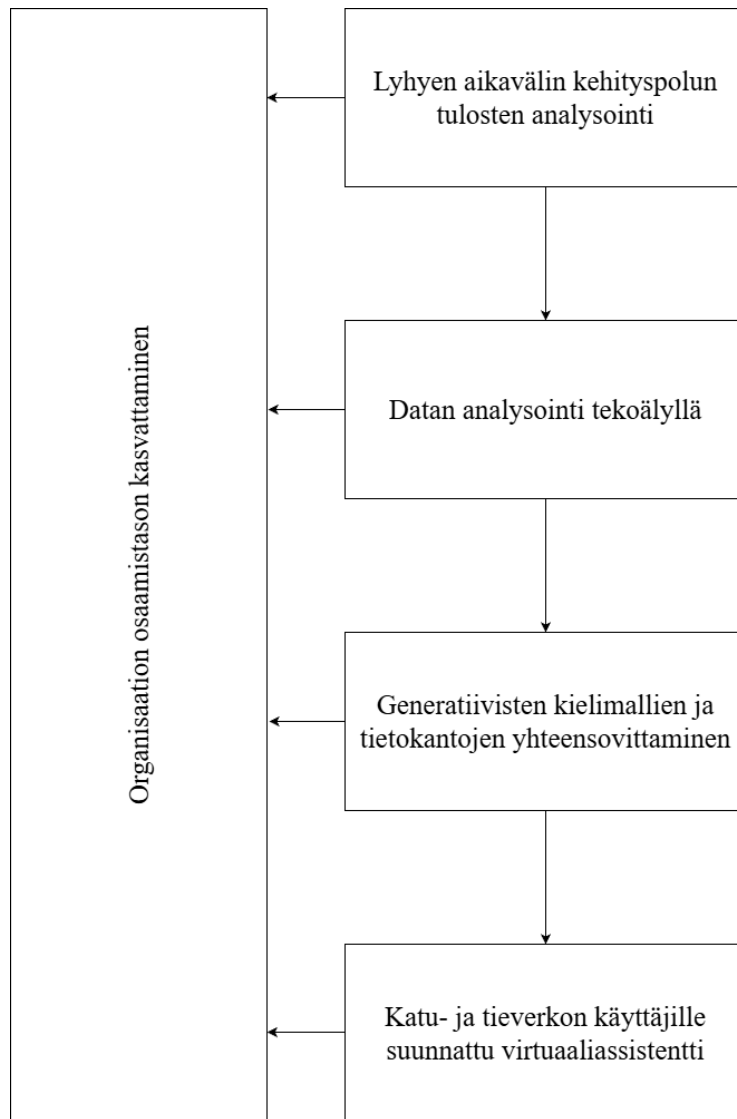
Pilottihankkeiden tulosten skaalaaminen onnistuneesti lopputuotteeksi on pitkä prosessi, joka alkaa pilottien tulosten analysoinnilla. Skaalaaminen ei ole vain tekninen asennus, vaan osaltaan myös prosessia täytyy kehittää. Prosessin osalle täytyy määritellä uudet toimintatavat, jotka ottavat kaiken hyödyn irti uudesta työkalusta ja henkilöstö täytyy

kouluttaa käyttämään uutta työkalua rutiinin omaisesti. Mikäli jokin pilotti ei tuota toivottua lopputulosta, arvioidaan pilotin jatkamisen tulevaisuutta: tehdäänkö muutoksia pilottiin vai jätetäänkö se tauolle toistaiseksi. Pitkän aikavälin onnistumisen kannalta on kriittistä, että resurssit priorisoidaan niihin ratkaisuihin, jotka luovat eniten arvoa ja ovat kysimpiä täysimittaisiksi työkaluiksi.

Yksi keskeisistä pitkän aikavälin tavoitteista on tekoälyn hyödyntäminen entistä vahvemmin päätöksenteon tukena. Kun datainfrastruktuuri on saatu kuntoon, voidaan kertynyttä dataa analysoida: voidaan esimerkiksi verrata eri alueiden aurasnopeuksia ja tutkia yhteyksiä säätilojen ja suurien palautemäärien kanssa. Nämä analyysit syventävät ymmärrystä prosessin nykytilasta ja auttavat suuntaamaan kehitystä oikeisiin ongelmiin. Lisäksi ne luovat pohjan tekoäly- ja koneoppimismallien koulutusdataksi, jolloin mallit oppivat juuri Jyväskylän kaupungin olosuhteista. Esimerkiksi syväoppimismallit voivat oppia ennustamaan kelin kehittymistä tunneiksi eteenpäin ja ehdottaa toimenpiteitä sen pohjalta (FWHA, 2021, s. 1–2). Prosessista kerättävän datan avulla katuverkolla tehdyt toimenpiteet voidaan varmistaa, jolloin palautesilmukan avulla tekoälyratkaisu oppii ajan mittaan, mitkä toimenpiteet johtivat parhaaseen lopputulokseen missäkin olosuhteessa (Haastateltava 9, 2025). Lisäksi on perusteltua tutkia muun liikenneinfrastruktuurin hyödyntämistä. Esimerkiksi Pohjois-Amerikassa toteutetussa hankkeessa tekoäly sääti liikennevaloja siten, että hälytysajoneuvot ja talvikunnossapidon ajoneuvot saivat etuajo-oikeuden, Tämä nopeutti toimenpiteiden suorittamista ja paransi turvallisuutta (Lau et al., 2024, s. 417).

Generatiivisten kielimalli- ja tietokantapilottien tulosten pohjalta voidaan valittu kielimalli yhdistää tietokantaa ja antaa sille pääsy talvikunnossapidon tietoihin. Tämä mahdollistaa työnjohdolle tiedon haun nopeasti ja vaivattomasti yhdestä paikasta luonnollisella kielellä kysymyksiä tehden. Kielimallin ja tietokannan yhdistäminen kannattaa aloittaa pilotoimalla RAG-arkkitehtuuria, jossa käyttäjän kysyessä kysymyksen ratkaisu hakee relevantit tiedot tietokannoista ja syöttää ne osaksi kielimallin kehotetta. Näin varmistetaan, että malli vastaa organisaation tietojen pohjalta eikä hallusinoi tai käytä vanhentunutta dataa (Lewis et al., 2020, s. 1, 5). Pitkän tähtäimen kehitystyössä tulee myös varmistaa, että malli osaa perustella suosituksensa käyttämiensä tietojen pohjalta, mikä kasvattaa luottamusta tekoälyn tuottamiin lopputuloksiin.

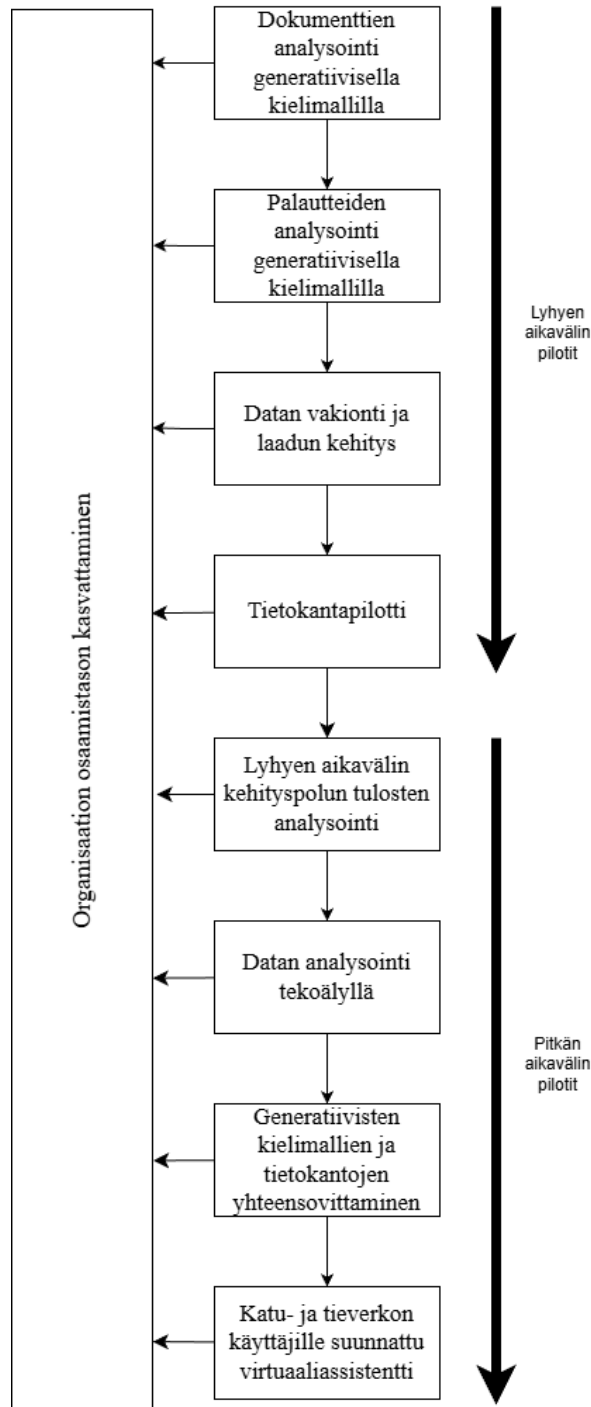
Kun suurin osa sisäiseen käyttöön tarkoitettuun tekoälyratkaisusta on saatu kehitettyä, voidaan pilotoida tie- ja katuverkon käyttäjille tarjottavaa virtuaaliassistenttia, joka toteutetaan generatiiviseen kielimalliin perustuvalla ratkaisulla. Virtuaaliassistentti olisi käyttäjien näkökulmasta vuorokauden ympäri saatavilla oleva tuki, jolta voi kysyä talvikunnossapitoon liittyviä kysymyksiä tai tehdä ilmoituksia ongelmista esimerkiksi kunnan tai kaupungin sivuilla. Generatiiviseen malliin perustuva ratkaisun etuina on joustava, luonnollisen kielen ymmärrys ja monipuolisuus. Aasukkaat voivat kysyä asiansa monella eri tavalla tai eri kielillä ja tekoäly kykenee silti ymmärtämään tarkoitetun asian. Tämä on arvokasta Jyväskylän kaltaisessa opiskelijakaupungissa, jossa on kansainvälisiä opiskelijoita ja matkailijoita. Virtuaaliassistentti kytketään talvikunnossapidon reaaliaikaiseen dataan, jonka perusteella se voi vastata asukkaiden huoliin paikkaansa pitävästi. Kehitystyössä on huolehdittava, että virtuaaliassistentin vastaukset on muotoiltu niin, että se ei anna katteettomia lupauksia käyttäjilleen. Esimerkiksi Riihimäellä on otettu vastaavan tyylinen asiakaspalveluun suunnattu virtuaaliassistentti käyttöön hyvin tuloksin, joka toimii ympäri vuorokauden ja tavoittaa siten myös ne kuntalaiset, jotka eivät virka-aikaan ehdi ottaa yhteyttä (Tiera, 2024). Kuvassa 3 on esitetty pitkän aikavälin kehityspolku. Lyhyen aikavälin piloteista organisaation osaamistason kasvattaminen jatkuu, kun pilottien oppeja jaetaan organisaation sisällä.



Kuva 3. Pitkän aikaväli kehityspolku

Viime kädessä pitkän aikavälin päämääränä on tekoälyratkaisun kyky ohjata omaa käyttöönsä ja mukautuvuus erilaisiin tilanteisiin. Tekoälyratkaisun tulee oppia jatkuvasti suoritettujen toimenpiteiden tuloksista (Haastateltava 9, 2025) ja mukauttaa sekä suosituksiaan, että hälytyskynnysarvoja sen mukaan, mikä osoittautuu tehokkaaksi. Tämän suljetun kierron oppiminen varmistaa, että tekoälyratkaisu paranee ajan kuluessa kalibroiden itse itseään talvikunnossapidon datan kertyessä. Toki ihmiset ovat yhä mukana prosessissa antamassa viimeisen päätöksen suoritettaviin toimenpiteisiin, mutta prosessin automatisointi vapauttaa henkilöstön aikaa vaativampiin asiantuntijatehtäviin. Pitkällä aikavälillä Jyväskylän tavoitteena on saavuttaa talvikunnossapidon hallintajärjestelmä, joka on ennakoiva, oppiva ja luotettava.

Yhdessä lyhyen ja pitkän aikavälin kehityspolut muodostavat tiekartan tekoälyn käyttöönottoon, joka on esitetty kuvassa 4. Tiekartta antaa edellytykset onnistuneelle tekoälyratkaisun sisällyttämiselle osaksi olemassa olevia prosesseja.



Kuva 4. Tiekartta tekoälyn käyttöönottoon

7.3 Kokonaiskuva

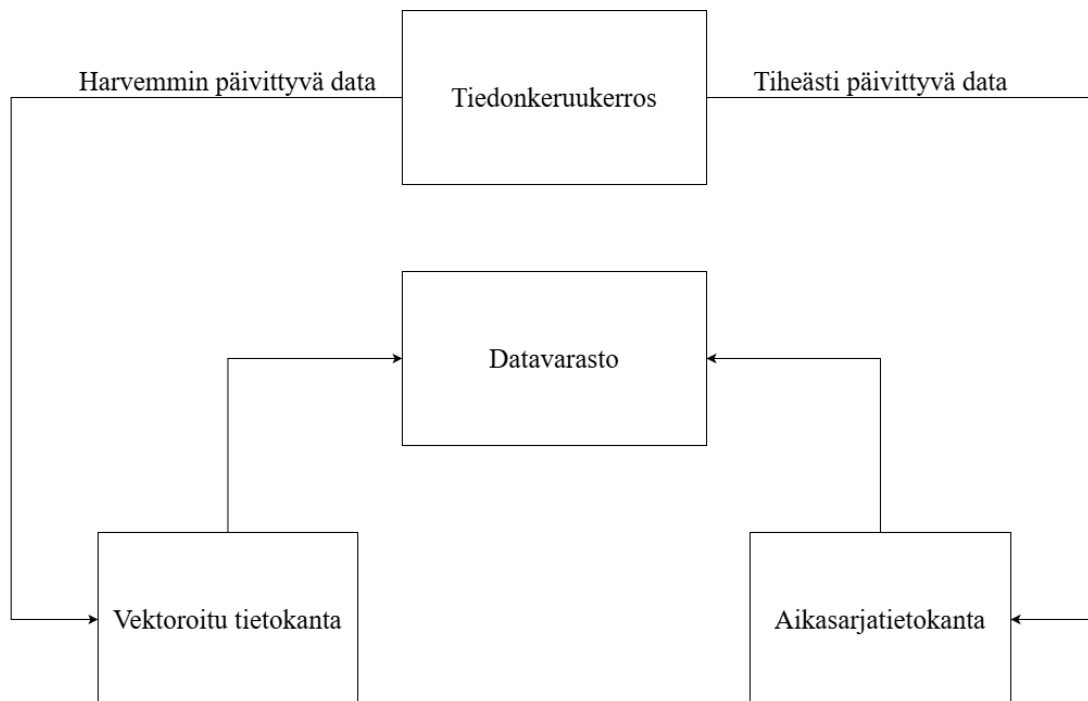
Kun lyhyen ja pitkän aikavälin toimenpiteet on hahmoteltu, on tärkeää muodostaa kokonaiskuva tiekartan mukaisesta talvikunnossapidon ohjausjärjestelmästä ja sen arkkitehtuurista. Kokonaiskuvassa määritellään tekoälyratkaisun keskeiset periaatteet, kuten vikasietoisuus ja skaalautuvuus, sekä hahmotetaan miltä ratkaisu näyttää eri käyttäjäroolien näkökulmasta.

Tekoälyratkaisun arkkitehtuurin tulee tukea talvikunnossapidon kriittisiä vaatimuksia, joka tarkoittaa jatkuvaa käytettävyyttä haastavissa olosuhteissa toimenpiteitä suorittaessa, suurien datamäärien käsittelyä yhtäaikaaisesti piikkikuormitustilanteissa sekä virhetilanteista toipumista. Vikasietoisuus on avainvaatimus, koska talvikunnossapidon tukijärjestelmän tulee olla käytettävissä vuorokauden ympäri kovankin kuormituksen alla. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tekoälyratkaisun keskeiset osat skaalataan usealle palvelimelle siten, että yhden kohdan, kuten yksittäisen sensorin vikaantuessa tekoälyratkaisun toimivuus tai sen tulosten laatu ei heikkene. Pilvipohjaisten ratkaisujen vahvuus on juuri tämän tyyppinen joustavuus, sillä tekoälyratkaisua voidaan skaalata automaattisesti tarpeen mukaan pystysuuntaisesti käyttämällä tehokkaampia virtuaalikoneita tai vaakasuuntaisesti lisäämällä rinnakkaisia prosesseja. (Sze et al., 2017, s. 2296)

Arkkitehtuurissa reaaliaikaisuus on toinen kantava periaate, sillä tieto on saatava liikkumaan ilman merkittävää viivettä datalähteistä kuten sensoreista tietokantaan päätöksenteon tueksi (Väylävirasto, 2023c, s.3). Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi jatkuvan prosessoinnin (stream-processing) -menetelmillä. Reaaliaikaisuuden vaatimus näkyy myös käyttäjille näytettävissä käyttöliittymissä, jotka sisältävät datagraafeja talvikunnossapidon tilasta. Näiden graafien tulee päivittyä ja vaihtua relevantteihin graafeihin automaattisesti ilman manuaalista käyttöliittymän sivun päivitystä.

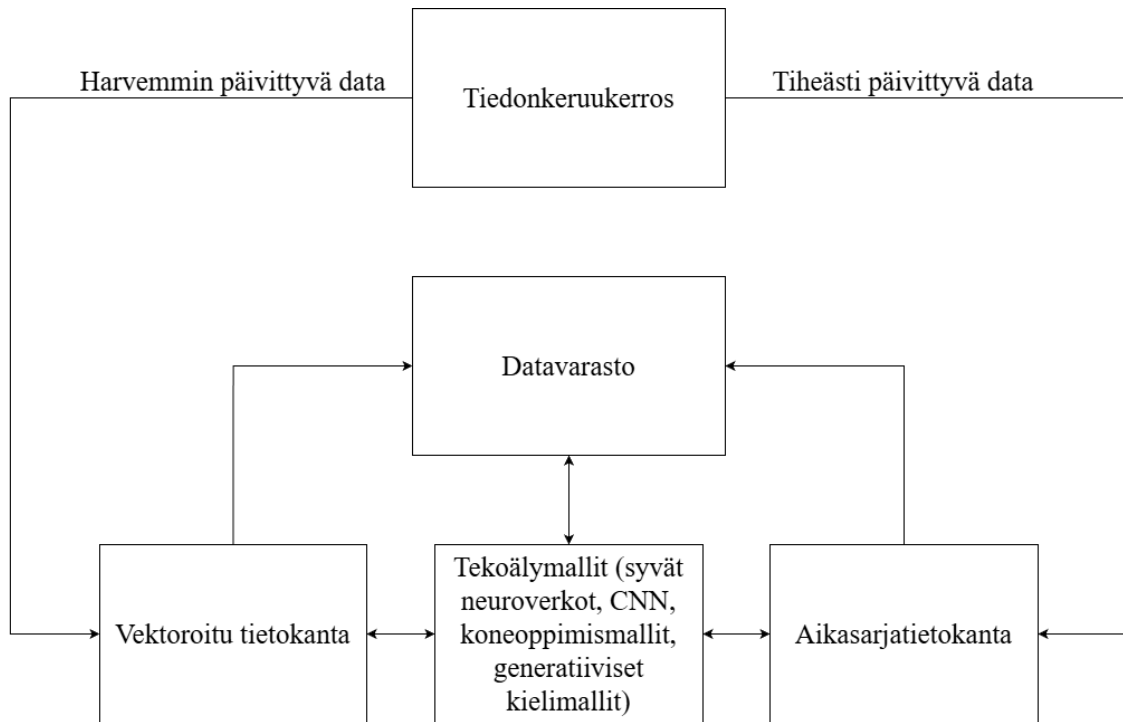
Tekoälyratkaisun tiedonsäilytysrakenne on kolmikerroksinen. Tiedonkeruukerros vastaanottaa dataa eri lähteistä kuten rajapinnoista ja sensoreilta sekä syöttää ne eteenpäin tietokantoihin. Tiedonkeruukerros suorittaa ensimmäisen vaiheen tietojen käsittelyn esimerkiksi muuntamalla tiedot oikeaan formaattiin ja rikastaa sitä metatiedoilla kuten aikaleimalla. Seuraava taso on reaaliaikainen tietokantojen yhdistelmä, johon tuore data tallennetaan välittömästi käyttöä varten. Tämä kerros on suunniteltu tiedon nopeaan

lukemiseen ja kirjoittamiseen. Esimerkiksi aikasarjatietokanta nopeasti päivittyville tiedoille kuten sensoridatalle on luonteva valinta, koska se on optimoitu jatkuvasti päivittyvien ajanjaksoittaisten mittausten tallentamiseen (Grezik & Mrozek, 2020, s. 2–3). Harvemmin päivittyvän datan kuten paikkatiedon tallentamiseen voidaan hyödyntää relaatiotietokantaa. Lisäksi olisi hyödyllistä rakentaa kaikkein kriittisimmälle tiedolle tietokantavälimuisti, joka sisältää tietoa, jota haetaan jatkuvasti. Kolmas taso on analytiikka- ja historiavarasto. Keskitetty tietokanta kokoaa kaiken talvikunnossapidosta kerätyn datan yhteen mahdollistaen syvemmän analyysin, raportoinnin sekä koneoppimismallien tehokkaan koulutuksen (Armbrust et al., 2021, s. 1–2). Tietoja reaaliaikaisesta tietokannasta voidaan siirtää jatkuvasti tai säännöllisissä erissä. Pitkältä ajalta kerätyn historiatiedon perusteella voidaan myös auditoida tekoälymallien lopputuloksia ja kehittää niitä. Tekoälyratkaisua rakentaessa tulee varmistua, että kaikki kolme kerrosta toimivat sujuvasti yhdessä rinnakkain ja kykenevät vaihtamaan tietoa ja antamaan sitä tekoälylle analysoitavaksi (NIST, 2023, s. 5). Lisäksi tietokanta-arkkitehtuurin tulee tukea MCP-protokollaa, jotta myöhemmin tekoälymallit pystyvät tehokkaasti hakemaan ajankohtaista tietoa sieltä. Kuvassa 5 on esitetty kaaviokuvana tietokannat ja niiden yhteys toisiinsa.



Kuva 5. Tekoälyratkaisun tietokantarakenne

Koko ratkaisun keskiössä oleva tekoäly ja sen erilaiset sovellukset ovat keskeinen osa ratkaisun onnistumista. Ratkaisun tulisi sisältää syvä neuroverkko ja CNN-verkko, jotka kykenevät löytämään monimutkaisia riippuvuuksia sille syötetystä datasta sekä kehittämään sitä mukaan, kun dataa talvikunnossapidosta sekä palautetta omasta toiminnasta kertyy (Schmidhuber, 2025, s. 98). Lisäksi generatiiviset kielimallit laajentavat tekoälyn sovellusmahdollisuuksia tuottamalla helposti lähestyttävää tekstiä tavoilla, jotka olisivat perinteisimmillä ratkaisuilla hyvin haastavia (Brown et al., 2020 s. 14–15). Generatiivisia kielimalleja voidaan hyödyntää useita rinnakkain A2A-protokollan avulla. Kun aiemmin mainitut pilotit talvikunnossapidon datasta saadaan onnistuneesti suoritettua, tekoälyä hyödyntäen voidaan rakentaa yhtenäinen ja kattava tilannekuva, joka toimii katuverkon digitaalisena kaksosena. Tilannekuvan rakentaminen on merkittävä saavutus, joka luo pohjaa koko kaupungin tilannekuvan eli kaupunkitietomallin rakentamiselle. Kaupunkitietomalli mahdollistaa tehokkaan tiedolla johtamisen koko kaupungin tasolla. Tekoälyratkaisun lopputulosten laatu riippuu tilannekuvan tarkkuudesta, sillä se luo tarvittavan asiayhteyden yksittäisten tietopisteiden tulkinnalle. Operatiivisella tasolla tekoälyratkaisu kykenee antamaan suosituksia toimenpiteiden ajoitukseen, resurssien käyttöön sekä toimenpidereittien optimointiin muuttuvissa olosuhteissa reaaliaikaisesti. Strategisella tasolla puolestaan voidaan tuottaa ennusteita ja skenaarioita esimerkiksi budjetin toteutumisesta, resurssien riittävyydestä sekä palvelutason kehityksestä, mikä tukee pitkäjänteistä kehitystyötä. Tekoälyn tuomat hyödyt voidaan kääntää sekä kustannussäästöiksi että ympäristöhyödyiksi vähentämällä tarpeettomia toimenpiteitä. Kokonaisuutena tekoäly integroituna Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon prosessiin tekisi toiminnasta entistä ennakoivampaa, tehokkaampaa sekä läpinäkyvämpää. Kuvassa 6 esitetään miten tekoälymallit ovat ratkaisun keskiössä mahdollistaen talvikunnossapidon prosessin optimoinnin.



Kuva 6. Tekoälyratkaisun ydin ja kuinka tekoälymallit ovat yhteydessä tietokantoihin

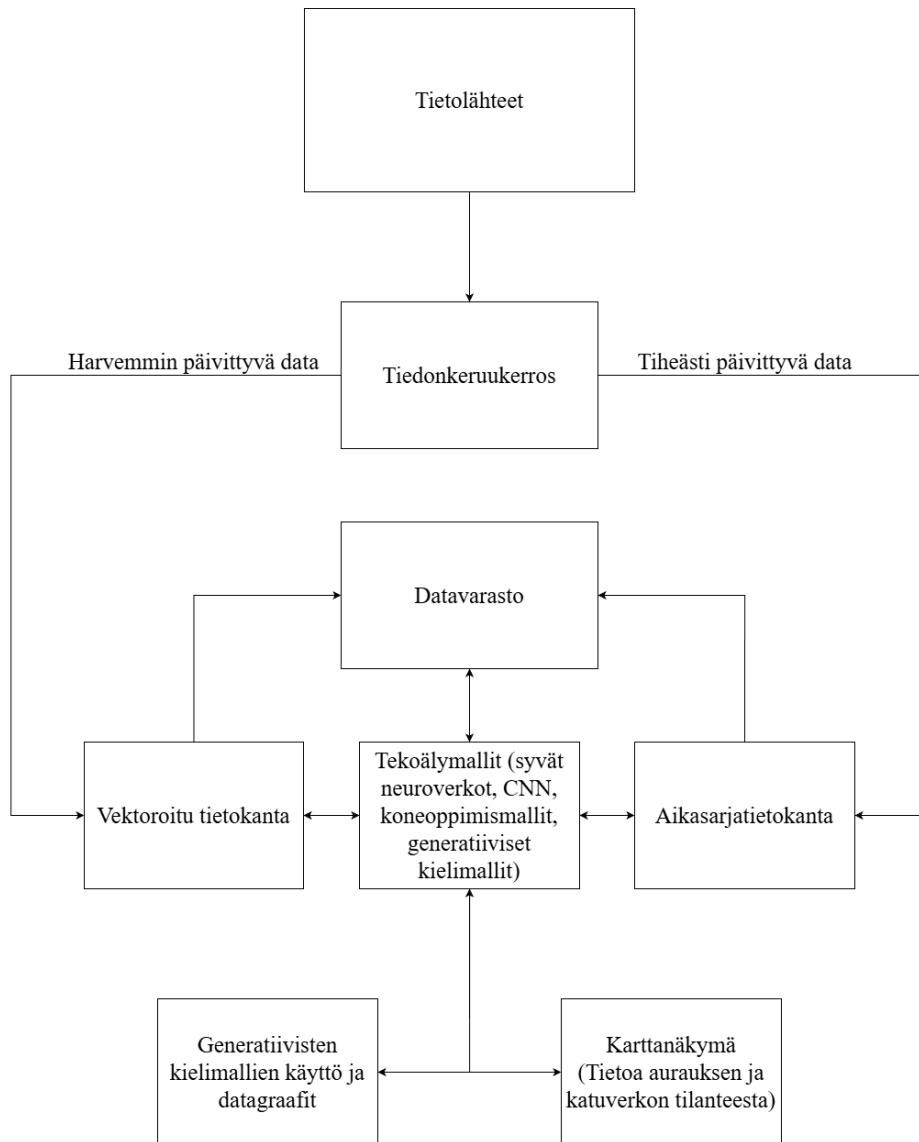
Tekoälyavusteisen talvikunnossapidon hallintajärjestelmällä voi tukea eri käyttäjärooleja, joilla on toisistaan poikkeavat tehtävät ja tiedontarpeet. Tämän vuoksi tekoälyratkaisun suunnittelussa on tärkeää mahdollistaa käyttöliittymien personointi eri käyttäjäryhmille siten, että kullekin esitetään juuri heidän tarpeisiinsa relevantti tieto oikea-aikaisesti. Esimerkiksi operatiivisen työnjohdolle voidaan tehdä tilannekuvanäkymä, jossa esitetään tietoa reaaliaikaista tietoa visuaalisesti karttapohjalla. Tässä näkymässä voidaan esittää esimerkiksi toimenpiteitä suorittavien ajoneuvojen sijainti ja eteneminen, alueiden sää- ja kelitiedot sekä sääennuste. Työnjohtaja tarvitsee myös mahdollisuuden hyväksyä tai muokata tekoälyn suosittelemia toimenpiteitä sekä pääsyn generatiiviseen kielimalliin, jolta voi kysyä talvikunnossapidon tietoja. Lisäksi tekoälyratkaisuun voidaan sisällyttää viestintäkanava toimenpiteiden suorittajille, jotta viestintä on tehokasta. Päätöksenteon tukena voi olla erillinen analyysipaneeli, josta käyttäjä näkee tekoälyn antamat perustelut ja vertailun eri skenaarioiden välillä. Datan visualisointi on erityisen tärkeää, jotta kokonaiskuva on nopeasti ja yksinkertaisesti käsitettävissä. Käyttöliittymä korostaa siis operatiivista tehokkuutta.

Operatiivisen työn tekijöille olisi mielekästä suunnitella käyttöliittymä, joka tukee työn suorittamista. Heille tärkeintä on saada selkeästi tieto omista työtehtävistään sekä

mahdollisuus raportoida työn edistymistä ilman hankalia järjestelmiä. Käyttöliittymä voitaisiin suunnitella tablet- tai mobiililaitteille, jotta sitä on helppo seurata työtä suorittaessa. Käyttöliittymässä voisi näkyä heille osoitetut toimenpiteet alueineen sekä edistyminen. Lisäksi voisi olla navigaationäkymä, jotta kuljettajat voivat seurata optimaalisinta reittiä eri alueiden välillä säästäen aikaa, kustannuksia ja päästöjä. Lisäksi olisi hyödyllistä suunnitella palautenäkymä, jonka avulla käyttäjät voisivat tarkastella suorituksia suhteessa ennalta määritettyihin laatukriteereihin. Tämä lisää läpinäkyvyyttä ja mahdollistaa toimimattomien ongelmakohtien tunnistamisen. Käyttöliittymän tulee olla yksinkertainen, mutta sisältää kaikki tarvittava tieto yhdellä vilkaisulla, sillä toimenpiteitä suoritetaan usein vaikeissa olosuhteissa kuten liikkuvassa ajoneuvossa tai pimeällä näkyvyyden ollessa heikko.

Ylemmille päälliköille ja taloushallintoon voidaan räätälöidä strategisempi näkymä, jossa keskitytään pidemmän aikavälin seurantaan ja yhteenvetoihin. Mielenkiintoisia arvoja voisi olla esimerkiksi kumulatiiviset kustannukset suhteessa budjettiin, kalustolla ajettujen kilometrien määrä viikossa tai asiakastyytyväisyyden kehitys. Päälliköille kyky päästä käsiksi historiatietoihin on tärkeä eli käyttöliittymästä tulisi saada helposti raportteja halutulta aikaväliltä, mikä mahdollistaa tarkemman tarkastelun. Tekoäly myös voi tarjota ennusteita esimerkiksi budjetin riittävyydestä tai vähentyneistä päästöistä säästyneiden ajokilometrien perusteella. Johdon käyttöliittymässä riskien hallinta on keskiössä ja on tärkeä määrittää sekä seurata KPI-mittareita (Key Performance Indicator), jotka antavat selkeän ja nopea kuvan siitä, onko talvikunnossapitoa toteutettu tavoitteiden mukaisesti.

Eri ryhmien käyttöliittymien suunnittelussa on ensisijaisen tärkeää, että tieto esitetään havainnollisesti ja käyttäjäystävällisesti. Käyttöliittymien suunnittelu tulisi tehdä sitä käyttävän käyttöryhmän kanssa, jotta se palvelee mahdollisimman hyvin heitä. Visualisointi on avain asemassa, kun esitetään monimutkaista dataa. Myös historiallisten trendien visualisointi auttaa käyttäjiä ymmärtämään tapahtumien syy-seuraussuhteita. Käyttöliittymän tulee tukea karkean tilannekuvan seuraamista sekä yksityiskohtaisempaa tietojen tarkastelua. Käyttöliittymien roolia osana tekoälyratkaisua on kuvattu kuvassa 7.



Kuva 7. Käyttöliittymän rooli tekoälyratkaisun osana

Tietoturva ja luotettavuus ovat myös tärkeä osa kokonaiskuvaa. Tukijärjestelmään kirjautumisessa tulee suosia vahvoja tunnistautumismenetelmiä, kuten kaksivaiheista kirjautumista ja sisäisessä käytössä organisaation omia tunnuksia. Lisäksi tulee rajata eri roolien käyttöoikeudet niin, että heillä on pääsy vain tietoihin ja näkymiin, jotka ovat relevantteja heille. Datan tallennuksessa tulee myös huomioida henkilötietojen suoja ja noudattaa tietosuojasäännöksiä ja -lakeja. Tukijärjestelmän tulee lisäksi kirjata lokeja omasta toiminnastaan, jotta tekoälyn tekemät suositukset ja niiden perusteet ovat tarkistettavissa jälkeenpäin. Tämä on tärkeää luottamuksen ja vastuukysymysten kannalta. (Asetus (EU) 2024/1689, art. 24; Asetus (EU) 2016/679, art. 32) Edellä mainitut asiat muodostavat kokonaiskuvan, joka on esitelty kuvassa 8. Lisäksi kuvassa on esitetty konkreettisia esimerkkejä, miten tekoälyratkaisusta voi olla hyötyä osana prosessia.

7.4 Mittaristot ja vaikutusten arviointi

Tekoälyratkaisujen onnistumista ja vaikutuksia talvikunnossapidossa on arvioitava systemaattisesti erilaisten mittareiden avulla. Keskeisimmiksi mittareiksi diplomityön pohjalta on määritetty neljä kategoriaa: (1) palvelun laatu ja asiakastyytyväisyys, (2) toiminnan tehokkuus ja laajuus, (3) ympäristövaikutukset sekä (4) budjetin muutokset.

Liikenneverkon käyttäjien tyytyväisyys on keskeinen mittari talvikunnossapidon onnistumisella ja kehittymisellä. Sitä voidaan mitata suorasti esimerkiksi kyselyjä teettämällä tai epäsuorasti seuraamalla saatujen palautteiden määrää. Mikäli tekoälyratkaisun käyttöönoton jälkeen negatiivisten palautteiden määrä laskee tai ne keskittyvät pienempiin ongelmiin, voidaan tulkita palvelun laadun parantuneen. On kuitenkin otettava huomioon kaikki muuttuneet tekijät: palautemäärän kasvu ei välttämättä tarkoita vastaavasti laadun heikkenemistä vaan voi selittyä palautteen antamisen helpottumisena uuden asukkaille suunnatun virtuaaliassistentin kautta. Tämän takia palautteiden laadullinen analyysi on tärkeää, jossa myös voidaan hyödyntää tekoälyä luokittelemaan palautteita teemoittain. Lisäksi voidaan mitata vasteajan muutosta palautteisiin, mihin odotetaan parannuksia tekoälyratkaisun myötä vähentäen tarvetta monivaiheiselle kommunikoinnille. Tärkeä palvelun laadun mittari on kadun käyttäjien kokema turvallisuus ja sujuvuus. Liikenneturvallisuuden kehitystä voidaan seurata erilaisten onnettomuustilastojen avulla. Tavoitteena on vähentää onnettomuuksia ja erityisesti loukkaantumiseen johtaneiden onnettomuuksien määrää.

Talvikunnossapidon suoritusastoa voidaan mitata konkreettisten toimenpiteiden määrällä ja niiden suhteella saavutettuun laatuun. Kuitenkaan pelkkä absoluuttinen toimenpiteiden määrä ei kuvasta niiden tehokkuutta, sillä tavoitteena ei ole kasvattaa toimenpiteiden määrää vaan varmistaa, että oikeat kadut aurataan oikeaan aikaan mahdollisimman vähillä toimenpiteillä tavoiteltu laatu saavuttaen. Tämän takia voi olla hyödyllisempää seurata esimerkiksi, kuinka usein kauden aikana katuverkolla tavoiteltu laatutaso alitettiin. Tekoälyratkaisun optimoidessa toimenpiteitä pitäisi laadun alitusten määrä vähentyä, kun otetaan huomioon vallitsevat sääolosuhteet. Tehokkuuden parantumista voidaan mitata myös vasteajan lyhentymisenä, jolla on potentiaalia parantua tekoälyn tukiessa päätöksentekoa. Lisäksi voidaan seurata resurssien kuten henkilöstön ja kaluston käyttöastetta, polttoaineen kulutusta per aurattu kilometri tai toimenpiteiden kustannusten

laskua per tehty toimenpide, mitkä ovat kaikki tavoiteltavia tuloksia prosessia optimoidessa.

Kaupungin strategisessa ohjelmassa on asetettu hiilineutraalius ja päästöjen vähentämistavoitteet, jotka koskettavat talvikunnossapidon prosessia (Jyväskylän kaupunki, 2022, s. 25). Talvikunnossapidon optimoinnin yhtenä odotettuna hyötynä on ympäristökuormituksen vähentyminen. Keskeinen mittari ovat syntyneet päästöt, erityisesti kaluston polttoainekulutuksesta syntyvät päästöt, joita voidaan laskea optimoimalla reittejä ja vähentämällä turhaa ajamista. Vuosien välisessä vertailussa tulee ottaa huomioon kausien erot kalustossa, toimenpiteissä ja säätiloissa. Toinen seurattava mittari on hiekoitus- ja suolausmateriaalin käyttö. Tavoitteena on käyttää niitä täsmällisemmin, sillä ylimääräinen materiaalien käyttö kuormittaa ympäristöä sekä budjettia. Hiekoitushiekka myös heikentää keväisin ilman laatua. Lisäksi reittien optimoinnilla voidaan vähentää kunnossapitotoimista aiheutuvaa meluhaittaa, erityisesti yöaikaan. Yöllä suoritettavat toimenpiteet voivat häiritä asukkaita, joten melun keskittäminen lyhyemmälle ajanjaksolle voi parantaa asumismukavuutta. Vaikka koettua meluhaittaa on vaikea mitata suoraan, sen tasoa voidaan arvioida saatujen palautteiden perusteella.

Lopulta kaikki edellä mainitut toimintojen tehostamiset ja optimoinnit heijastuvat myös talouteen. Tekoälyn tuoma ennakoivuus voi parantaa resurssien hallintaa ja siten vähentää riskiä budjettiylityksille. Tekoälyä voidaan hyödyntää budjettiarvion tekemisessä, jolloin budjettiarvion teettäminen on nopeampaa ja tarkempaa. Mielenkiintoisia mittareita on esimerkiksi kauden kulujen suhteellinen poikkeama alkuperäisestä budjettiarviosta sekä toteutetun toimenpiteen kustannushinta. Tekoälyn voi odottaa tuovan kustannussäästöjä pitkällä aikavälillä, mutta on kuitenkin otettava huomioon alkuvaiheen investoinnit tukijärjestelmää rakentaessa. Ensimmäisinä vuosina tekoälyratkaisun kehittäminen ja käyttöönotto lisää kustannuksia, jonka takia on erotettava kustannushyöty pitkällä tähtäimellä. Sovitun seurantajakson jälkeen voidaan arvioida säästyneen työajan ja resurssien määrä verrattuna työskentelyyn ilman tukijärjestelmää, minkä pohjalta voidaan laskea investoinnin tuotto (ROI) ottaen huomioon tukijärjestelmän ylläpitokulut. Investoinnin tuotolla kuvataan investoinnin luomaa lisäarvoa, jonka avulla voidaan arvioida kuinka nopeasti investointi maksaa itsensä takaisin.

Muita olennaisia mittareita, joita tekoälyratkaisua kehittäessä tulee seurata ovat esimerkiksi toimintavarmuus ja käyttöaste. Ratkaisun toimintavarmuutta voidaan mitata käyttökatkojen määrällä ja kestolla sekä käyttökatkojen suunnitelmallisuudella. Tavoitteena kriittisinä kuukausina eli ajanjaksolla mihin toimenpiteet painottuvat on lähes jatkuva käytettävyys. Käyttöastetta voidaan tarkastella käyttäjien näkökulmasta eli kuinka moni oikeasti hyödynsi työkalua osana työtehtäviään. Tavoitteena olisi korkea käyttöaste, sillä se merkitsee, että työntekijät kokevat työkalun olevan avuksi heille.

Vaikutusten arviointi ei rajoitu vain numeerisiin mittareihin vaan käyttäjille tulisi toteuttaa laadullisia palautekyselyitä. Näin saadaan selville tärkeitä tekijöitä, kuten kokevatko työntekijät työnsä helpottuneen tekoälyratkaisun myötä tai ovatko asukkaat olleet paremmin perillä talvikunnossapidosta virtuaaliassistentin myötä. Jos jokin tavoiteltu mittari ei parane odotetusti, voidaan asiaa selvittää juuri palautekyselyn avulla.

Tiekartan mukaiseen tekoälyratkaisun käyttöönottoon liittyy monipuolinen mittaristo, jonka avulla Jyväskylän kaupunki voi seurata edistymistä ja vaikuttavuutta. Talvikunnossapidon luonteeseen kuuluu, että jokainen talvi on erilainen, jonka takia mittareita tulee aina tarkastella suhteessa vallitseviin olosuhteisiin ja pitkän aikavälin trendeihin. Alkuvaiheessa mittarit eivät välttämättä parane nopeasti, sillä henkilöstö tarvitsee aikaa uuden työkalun omaksumiseen sekä tekoälyratkaisu myös kehittyy asteittain kertyvän datan myötä. Tärkeää onkin jatkuva vaikutusten arviointi ja reagointi saatujen tulosten mukaan. Tiekarttaa voidaan päivittää ja kohdistaa uudelleen tarpeen mukaan, jos jokin osa-alue ei kehity odotetusti. Näin varmistetaan, että Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon tekoälyratkaisusta kasvaa pysyvä ja arvokas osa kaupungin infrajohtamista tuottaen merkittäviä hyötyjä toiminnan tehokkuudessa, talouden hallinnassa ja kaupunkilaisten arjessa.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Diplomityössä tutkittiin Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon prosessin optimointimahdollisuuksia tekoälyn avulla. Tutkimuksen tavoitteena oli muodostaa tilannekuva prosessin nykytilasta sekä luoda tiekartta tekoälyratkaisujen hallitulle käyttöönotolle. Tutkimus sisälsi laaja-alaisen kirjallisuuskatsauksen sekä asiantuntijahaastatteluja, joissa kartoitettiin Jyväskylän kaupungin nykyistä talvikunnossapidon prosessia ja sen valmiuksia tekoälyn hyödyntämiselle. Lisäksi haasteluissa määriteltiin erilaisten tekoälyratkaisujen mahdollisuuksia talvikunnossapidon kontekstissa. Tutkimuksen tulokset tukevat kansallisia ilmastotavoitteita sekä paikallisia strategioita. Tuloksilla tavoitellaan myös liikenneturvallisuuden edistämistä, sillä oikea-aikainen ja tehokas talvikunnossapito vähentää tapaturmien riskiä (Väylävirasto, 2023a, s. 16).

8.1 Tutkimuksen keskeiset havainnot

Haastatteluiden perusteella Jyväskylän talvikunnossapidon organisaatiossa on vahva valmius ja halu hyödyntää uusia teknologioita. Asiantuntijat arvioivat, että organisaatio on avoin kokeilemaan tekoälyä päätöksenteon tukena, sillä tekoälyllä on merkittävää potentiaalia prosessin tehostamisessa. Monet haastatelluista kokivat motivaationsa korkeaksi muuttaa totuttuja toimintamalleja ja soveltaa uusia työkaluja osana työtehtäviään. (Haastateltava 1, 2025; Haastateltava 2, 2025; Haastateltava 3, 2025; Haastateltava 4, 2025)

Jyväskylässä on myös käytössä kehtomalli, joka on suunnitelmallinen kehitysprojektien läpivientimalli ja määritellee hyväksi koetut käytännöt projektien selkeyttämiseksi (Haastateltava 2, 2025). Tämä luo raamit tekoälypilottien vaiheittaiselle toteutukselle, jotta ratkaisut etenevät hallitusti pilotoinnista kohti laajempaa käyttöönottoa. Kokonaisuutena voitiin todeta, että organisaation asenne tukee innovaatiota ja jatkuvaa kehitystä, mikä on edellytys tekoälyratkaisujen potentiaalin realisoimiseksi.

Tutkimuksen keskeinen havainto on selkeä ristiriita organisaation korkean muutosvalmiuden ja teknisten edellytysten välillä, sillä haastatteluissa nousi tekoälyratkaisun kehittämiseksi keskeiseksi pullonkaulaksi datan laatu ja saatavuus.

Talvikunnossapidon prosessissa kertyy runsaasti dataa esimerkiksi kalustosta, sensoreista, sää- ja kelitietoa sekä palautteita, mutta aineistot ovat vielä hajanaisia ja muodoltaan vaihtelevia. Haastatteluissa nousi esille vahvasti näkemys, että heikkolaatuisen tai sirpaloituneen datan pohjalta tekoäly ei pysty tuottamaan hyödyllisiä lopputuloksia luotettavasti. Nämä havainnot korostavat, että tärkeimpiä alkuvaiheen kehityskohteita on datainfrastruktuurin määrittely, jotta eri lähteistä hankittua dataa voidaan yhdistellä ja syöttää koneluettavassa muodossa tekoälymallille analysoitavaksi. Haastatteluissa myös tuli ilmi, että Jyväskylän kaupunki kerää jo monipuolisesti dataa talvikunnossapidon prosessista, joten potentiaalia kehitystyölle ja tiedolla johtamiseen on. (Haastateltava 1, 2025; Haastateltava 2, 2025; Haastateltava 3, 2025; Haastateltava 4, 2025)

Tällä tutkimuksella on uutuusarvoa sekä tieteellisesti että käytännön tasolla. Tieteellisestä näkökulmasta aiemmin tutkimus on keskittynyt yksittäisiin teknisiin sovelluksiin, eikä talvikunnossapidon prosessin laaja-alaiseen optimointiin. Tämä diplomityö paikkaa tutkimusaukkoa tarkastelemalla tekoälyn käyttömahdollisuuksia laajasti. Työssä esitetty tekoälyratkaisun tiekartta tarjoaa Jyväskylän kaupungille konkreettisen suunnitelman, jonka avulla talvikunnossapidon prosessia voidaan tehostaa vaiheittain.

8.2 Tekoälyn rooli tulevaisuuden talvikunnossapidossa

Tulevaisuuden talvikunnossapitoa ohjaavat laajemmat teknologiset ja yhteiskunnalliset trendit. Infrarakentamisen digitalisaatiota ja tuottavuuden parantamista korostavat tutkimusohjelmat kuten ProDigial avaavat mahdollisuuksia tekoälyn soveltamiseen myös kaupunkien peruspalveluissa (Tampereen yliopisto, 2024). Kehittyvät työkalut mahdollistavat reaaliaikaisen tieolosuhteiden seurannan ja ennustamisen. EU:n hyväksymä tekoälyasetus asettaa tekoälyjärjestelmille läpinäkyvyys- ja turvallisuusvaatimuksia sitouttaen toimijat kehittämään järjestelmiä ihmistä tukeviksi työvälineiksi (Asetus (EU) 2024/1689, art. 1–4). Tulevaisuudessa tekoälyllä on potentiaalia siirtää talvikunnossapidon painopistettä reaktiivisesta toiminnasta ennakoivaan. Tekoälyratkaisut eivät korvaa asiantuntijaa, vaan toimivat päätöksenteon tukena analysoimalla suuria datamassoja, jolloin työntekijät voivat keskittyä strategisempaan harkintaan rutiininomaisen seurannan sijaan.

Yhteiskunnallisella tasolla tekoälyllä odotetaan olevan merkittäviä vaikutuksia. Tehokkaammin toteutetut ja kohdennetut toimenpiteet parantavat liikenneturvallisuutta ja vähentävät liikenneverkon käyttöön liittyviä riskejä. Riskien vähentyessä liikenneverkon käyttäjien tyytyväisyys kasvaa ja terveydenhuoltojärjestelmään kohdistuva kuorma vähenee yhdessä tapaturmien kanssa. Tehostunut talvikunnossapito edistää liikenneverkon toimivuutta haastavissakin olosuhteissa ja mahdollistaa kuljetusten sekä elinkeinoelämän sujuvan toimimisen. Talvikunnossapidon optimointi auttaa saavuttamaan ilmastotavoitteita vähentämällä turhia kalustosta syntyviä päästöjä sekä kemikaalien käyttöä. Kaiken kaikkiaan tekoälyllä on merkittävää potentiaalia tehdä talvikunnossapidosta ennakoivampaa, osallistavampaa ja kestävämpää sekä mahdollistaa resurssien kohdistamisen mielekkäisiin tehtäviin.

8.3 Jatkotutkimuksen ja kehityksen suositukset

Tutkimuksessa tunnistettujen kehityskohteiden perusteella suositellaan etenemään vaiheittain pilotoinnin kautta. Lyhyen aikavälin suosituksissa korostuvat matalan kynnyksen pilottihankkeet datan keräämiseksi sekä tekoälyn hyötyjen demonstroimiseksi rajatulla alueella. Esimerkiksi dokumenttien analysointi tai palautteiden automatisoitu käsittely ovat sellaisia kohteita, joissa voidaan saavuttaa konkreettisia hyötyjä ilman suuria riskejä, mikä on tärkeää ensimmäisissä piloteissa (Haastateltava 6, 2025). Pilotointia voidaan jatkaa erilaisien tietokantaratkaisujen kokeilulla datan validoinnin ja rikastamisen tukemiseksi. Lyhyen aikavälin pilottien tulisi olla selkeästi rajattuja ja toteutettavia suhteellisin vähin resurssein. Pilottien yhteydessä on olennaista kerätä jatkuvaa käyttäjäpalautetta ja dokumentoida tulokset huolellisesti, jotta opit voidaan hyödyntää seuraavissa vaiheissa. Organisaation osaamista tulisi vahvistaa koulutuksella ja ohjauksella piloteissa mukana oleville työntekijöille, jotta luottamus uusiin työkaluihin kasvaa ja uusiin työkaluihin mahdollisesti kohdistuva muutosvastarinta vähenee.

Pitkän aikavälin kehityspolulla suositellaan integroitua lähestymistapaa, jossa pilotit laajennetaan asteittain osaksi talvikunnossapidon prosessia. Alkuvaiheen onnistuneet pilotit voidaan skaalaamalla sisällyttää osaksi työntekijöiden päivittäistä työskentelyä ja työnkulkuja. Laadukkaan datan kertyessä datan analysointi luo pohjan koneoppimismallien koulutukselle, jonka tavoitteena on kyky ennustaa muutoksia talvikunnossapidon prosessissa sekä yhä tarkemmat oikea-aikaiset toimenpide-

ehdotukset. Lisäksi järjestelmiin rakennetaan jatkuvia palautesilmukoita, joissa tekoäly oppii ajan myötä, mitkä aiemmat toimenpiteet ovat tuottaneet parhaita tuloksia tietyissä olosuhteissa. Näin pitkällä aikavälillä syntyy ennakoiva ja itseään kehittävä talvikunnossapidon hallintajärjestelmä. Oppimisen myötä uudet ratkaisut tukevat entistä paremmin resurssien kohdentamista, työsuunnittelua ja asukkaiden tarpeiden sekä odotusten täyttämistä. Kaikki nämä jatkotoimet luovat pohjan tehokkaalle tekoälyn hyödyntämiselle Jyväskylän talvikunnossapidon prosessissa.

8.4 Tutkimuksen luotettavuus ja rajoitteet

Tutkimuksen luotettavuuden ja yleistettävyyden arviointi edellyttää tutkimusmenetelmien ja aineistojen asettamien reunaehtojen huomioimista. Valittu menetelmä soveltui hyvin tutkimuksen luonteeseen, kun tavoitteena oli saada syvä ymmärrys Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon prosessista ja tekoälyn soveltuvuudesta talvikunnossapitoon.

Tutkimukseen haastateltiin kymmenen asiantuntijaa, jotka edustivat tasapuolisesti sekä talvikunnossapidon prosessin substanssiosaamista että tekoälyteknologian asiantuntemusta. Vaikka otoskoko on diplomityölle tyypillinen, haastattelututkimukseen liittyy aina subjektiivisuuden riski. Tulokset edustavat haastateltavien näkemyksiä haastatteluajankohtana (elokuu 2025) ja niihin vaikuttavat heidän omat kokemuksensa sekä roolit organisaatioissaan.

Tutkimuksen validiteettia vahvistaa haastateltavien huolellinen valinta ja haastattelurungon rakentaminen aiemman kirjallisuuden pohjalta. Haastattelut myös tallennettiin ja analysoitiin systemaattisesti, mikä parantaa tutkimuksen luotettavuutta.

Merkittävin rajoite liittyy tulosten yleistettävyyteen. Tutkimuksen kohteena oli Jyväskylän kaupungin omajohtoinen talvikunnossapidon malli. Vaikka tunnistetut tekoälyratkaisut ja tiekartan vaiheet ovat sovellettavissa muihin kuntiin, on jokaisen organisaation data-arkkitehtuuri ja prosessimalli uniikkeja kokonaisuuksia, mikä vaatii tulosten soveltamista tapauskohtaisesti. Lisäksi on huomioitava tekoälyn nopea kehitys, sillä alan nopea muuttuminen voi vaikuttaa suositusten ajantasaisuuteen pitemmällä välillä.

9 YHTEENVETO

Tässä diplomityössä selvitettiin, miten tekoälyä voidaan hyödyntää Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon prosessin optimoinnissa. Tutkimuksen taustalla oli pyrkimys parantaa talvikunnossapidon kustannustehokkuutta ja tukea Jyväskylän kaupungin hiilineutraalisuustavoitteita. Työn tavoitteena oli kartoittaa Jyväskylän kaupungin talvikunnossapidon nykytila sekä selvittää tekoälyä hyödyntämismahdollisuuksia osana prosessia.

Työn kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin talvikunnossapidon toimintaympäristöä, lainsäädäntöä sekä prosesseja. Lisäksi selvitettiin tekoälyn tarjoamia mahdollisuuksia. Kirjallisuuskatsaus osoitti, että tekoälyllä on merkittävää potentiaalia tehostaa toimintaa, mutta sen hyödyntäminen vaatii laadukasta ja yhtenäistä dataa.

Tutkimuksen empiirinen osuus pohjautuu kymmeneen asiantuntijahaastatteluun. Haastattelujen avulla kartoitettiin Jyväskylän talvikunnossapidon nykytila ja kehityskohteet sekä tekoälyn soveltuvuutta talvikunnossapidon prosessiin. Tulokset osoittivat, että vaikka Jyväskylän kaupungin organisaatiossa on vahva tahtotila uusien teknologioiden hyödyntämiseen, suurimmat haasteet liittyvät datan sirpaloitumiseen ja laatuun. Keskeisenä havaintona oli, että tekoälyratkaisut tulee integroida osaksi olemassa olevia prosesseja päätöksenteon tueksi, ei korvaamaan ihmistä.

Tutkimuksen tuloksena laadittiin tiekartta, joka jakaa tekoälyn käyttöönoton lyhyen ja pitkän aikavälin toimenpiteisiin. Lyhyellä aikavälillä keskitytään data-arkkitehtuurin yhtenäistämiseen ja rajattuihin pilotteihin, kuten dokumenttien analysointiin kielimalleilla. Pitkällä aikavälillä tavoitteena on kokonaisvaltainen, dataohjautuva hallintajärjestelmä, jossa tekoälymallit tukevat talvikunnossapidon prosessia eri osaluilla.

Yhteenvetona voidaan todeta, että tekoäly tarjoaa Jyväskylän kaupungille tehokkaan välineen talvikunnossapidon palvelutason, kustannustehokkuuden ja ekologisuuden parantamiseen. Onnistunut käyttöönotto edellyttää kuitenkin panostuksia datan laatuun, henkilöstön osaamiseen ja uudenlaisen toimintakulttuurin omaksumiseen.

LÄHDELUETTELO

A2A Protocol, 2025. Specification. Saatavilla: <https://a2a-protocol.org/latest/specification/> [viitattu 28.9.2025]

Armbrust, M., et al., 2021. Lakehouse: A New Generation of Open Platforms that Unify Data Warehousing and Advanced Analytics. Proceedings of CIDR 2021, 11.-14.1.2021, verkkokonferenssi. Saatavilla: https://www.cidrdb.org/cidr2021/papers/cidr2021_paper17.pdf [viitattu 28.9.2025]

Bousdekis, A. & Mentzas, G., 2021. Enterprise Integration And Interoperability For Big Data -Driven Processes in the Frame of Industry 4.0. Frontiers in Big Data, 4, 644651. Saatavilla: <https://doi.org/10.3389/fdata.2021.644651> [viitattu 28.9.2025]

Brown, T. B., et al., 2020. Language Models are Few-Shot Learners. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020), 33, 1877-1901. Saatavilla: <https://papers.nips.cc/paper/2020/hash/1457c0d6bfc4967418bfb8ac142f64a-Abstract.html> [viitattu 27.9.2025]

Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2024. Asetus (EU) 2024/1689 tekoälyä koskevista yhdenmukaistetuista säännöistä (Artificial Intelligence Act, ”AI Act”). Euroopan Unionin virallinen lehti, L 2024/1689, 12.7.2024 Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj> [viitattu 25.9.2025]

Euroopan parlamentti ja neuvosto, Asetus (EU) 2016/679 luonnollisten henkilöiden suojelusta henkilötietojen käsittelyssä sekä henkilötietojen vapaasta liikkuvuudesta (Yleinen tietosuoja aset, GDPR). Euroopan Unionin virallinen lehti, L 119, 1–88. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/2016-05-04> [viitattu 25.9.2025]

Federal Highway Administration (FHWA), 2021. Implementation of Artificial Intelligence to Improve Winter Maintenance. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, Exploratory Advanced Research Program FWHA-HRT-21-090. Saatavilla: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/ear/21090/index.cfm> [viitattu 28.9.2025]

Fowler, T., et al., 2010. Robust Spatial Quality Control of Road Weather Sensor Measurements. 24th Conference on Interactive Information Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, American Meteorological Society Annual Meeting, 17.-21.01.2010, Atlanta. Saatavilla: <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/164535.pdf> [viitattu 28.9.2025]

Grzesik, P., & Mrozek, D., 2020. Comparative Analysis of Time Series Databases in the Context of Edge Computing for Low-Power Sensor Networks. In: Krzhizhanovskaya, V.V., et al. Computational Science – ICCS 2020 (LNCS 12141, s. 371-383). Cham: Springer Saatavilla: https://doi.org/10.1007/978-3-030-50426-7_28 [viitattu 28.9.2025]

Haastateltava 1, 2025. Koko talvihoidon prosessi Jyväskylässä [haastattelu]. Haastattelija: Palomaa, R. 08.08.2025.

Haastateltava 2, 2025. Tiedon hallinta ja tiedolla johtaminen Jyväskylässä [haastattelu]. Haastattelija: Palomaa, R. 13.08.2025.

Haastateltava 3, 2025. Talouden hallinta kunnallisessa talvihoidossa [haastattelu]. Haastattelija: Palomaa, R. 06.08.2025.

Haastateltava 4, 2025. Talvihoidon operatiivisen aurauksen kehitystyö [haastattelu]. Haastattelija: Palomaa, R. 08.08.2025.

Haastateltava 5, 2025. Talvikunnossapidon kehitystyö [haastattelu]. Haastattelija: Palomaa, R. 22.08.2025.

Haastateltava 6, 2025. Generatiiviset kielimallit ja niiden soveltaminen kunnossapitoon [haastattelu]. Haastattelija: Palomaa, R. 21.08.2025.

Haastateltava 7, 2025. Neuroverkot, koneoppimismallit ja kielimallit [haastattelu]. Haastattelija: Palomaa, R. 11.08.2025.

Haastateltava 8, 2025. Tekoälyagentit ja tiedon virtaus [haastattelu]. Haastattelija: Palomaa, R. 15.08.2025.

Haastateltava 9, 2025. Vektoritietokannat, tiedon vektorointi sekä RAG:t [haastattelu].
Haastattelija: Palomaa, R. 13.08.2025.

Haastateltava 10, 2025. Generatiiviset kielimallit ja niiden soveltaminen kunnossapitoon [haastattelu]. Haastattelija: Palomaa, R. 22.08.2025.

Hirsjärvi, S., & Hurme, H., 2001. Tutkimushaastattelu: Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Yliopistopaino [viitattu 24.9.2025]

Hirsjärvi, S., et al., 2009. Tutki ja kirjoita. 15 uud. p. Helsinki: Tammi [viitattu 24.9.2025]

Hoff, K.A. & Bashir, M., 2015. Trust in Automation: Integrating Empirical Evidence on Factors That Influence Trust, 57(3). Saatavilla: <https://sci.bban.top/pdf/10.1177/0018720814547570.pdf> [viitattu 25.9.2025]

Hogan, A., et al., 2021. Knowledge Graphs. ACM Computing surveys. Saatavilla: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3447772> [viitattu 29.9.2025]

Hyvärinen, M., et al., 2017. Tutkimushaastattelun käsikirja. Tampere: Vastapaino [viitattu 24.9.2025]

Ioannides, G., 2025. MOD-X: A Modular Open Decentralized eXchange Framework proposal for Heterogeneous Interoperable Artificial Intelligence Agents. Saatavilla: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.04376> [viitattu 28.9.2025]

Jeong, C., 2025. A Practical MCPxA2A Integration Framework for Interoperability in LLM-Based Autonomous Multi-Agent Systems. Journal of Intelligence Systems. Saatavilla: https://jiisonline.org/files/DLA/20250930204204_08.pdf?PHPSESSID=7f4625826f4b54abffb1f306ed5ace39&ckattempt=1 [viitattu 28.9.2025]

Jyväskylän kaupunki, 2022. Resurssiviisas Jyväskylä 2040 – Ohjelma. Jyväskylä: Jyväskylän kaupunki. Saatavilla: https://www.jyvaskyla.fi/sites/default/files/2022-11/resurssiviisas_jyvaskyla_2040-ohjelma_kv_31.10_2022.pdf [viitattu: 05.9.2025].

Jyväskylän kaupunki, 2024. Jyväskylän kaupungin arviointikertomus vuodelta 2023. Jyväskylä: Jyväskylän kaupunki. Saatavilla: https://www.jyvaskyla.fi/sites/default/files/2024-05/jyvaskylan_kaupungin_arviointikertomus_vuodelta_2023.pdf [viitattu: 05.9.2025].

Kaplan, A., & Haenlein, M., 2019. Siri, Siri in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Business Horizons*, 62(1), 15–25. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.004> [viitattu 28.9.2025]

Khan, W., et al., 2023. SQL and NoSQL database software architecture performance analysis and assessment- A systematic literature review. *Big Data and Cognitive Computing*, 7(2), 97. Saatavilla: <https://doi.org/10.3390/bdcc7020097> [viitattu: 28.9.2025]

Kämäräinen, J., 2023. Koneoppimisen perusteet. Helsinki: Otatieto [viitattu 27.9.2025]

Lau, S.K., et al., 2024. Evaluating Signal Preemption Requests in Utah Using Vehicle-to-Everything Dedicated Short-Range Communication Equipped Snowplows. *Transportation Research Record*, 2678(8), 1329–1346. Saatavilla: <https://doi.org/10.1177/03611981231216976> [viitattu 29.9.2025]

LeCun, Y., et al., 1998. Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 6(11), 2278–2324. Saatavilla: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=726791&isnumber=15641>

LeCun, Y., et al., 2015. Deep Learning. *Nature*, 521, 436–444. Saatavilla: <https://doi.org/10.1038/nature14539> [viitattu 28.9.2025]

Lewis, P., et al., 2020. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP. In *Advances in Neural Information Systems (NeurIPS 2020)*, 33, 9459–9474. Saatavilla: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.1140> [viitattu 27.9.2025]

Madras, D., et al., 2018. Predict Responsibly: Improving Fairness and Accuracy by Learning to Defer. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2018)*,

33, 6147-6157 Saatavilla:
https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2018/file/09d37c08f7b129e96277388757530c72-Paper.pdf [viitattu 27.9.2025]

McCarthy, J., et al., 1955. A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence. Dartmouth College. Saatavilla: <https://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html> [viitattu 27.9.2025]

Meloni, A., et al., 2023. Integrating Conversational Agents and Knowledge Graphs Within the Scholarly Domain. IEEE Access, 11, 129292–129307. Saatavilla: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10061222>, [viitattu 28.9.2025]

Model Context Protocol, 2025. Specification. Saatavilla: <https://modelcontextprotocol.io/specification/2025-06-18> [viitattu 28.9.2025]

Nah, F., et al., 2023. Generative AI and ChatGPT: Applications, challenges, and AI-human collaboration. Journal of Information Technology Case and Application Research. 25(3). Saatavilla: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15228053.2023.2233814> [viitattu 28.9.2025]

National Institute of Standards and Technology (NIST), 2022. Cybersecurity Supply Chain Risk Management for Systems and Organizations. NIST Special Publication 800-161 Revision 1, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg. Saatavilla: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-161r1> [viitattu 25.9.2025]

National Institute of Standards and Technology (NIST), 2023. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). NIST AI 100-1, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg. Saatavilla: <https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-1> [viitattu 25.9.2025]

Naveed, S. et al., 2024. An overview of the Empirical Evaluation of Explainable AI (XAI): A Comprehensive Guideline for User-Centered Evaluation in XAI. Applied Sciences 14(23), 11288. Saatavilla: <https://doi.org/10.3390/app142311288> [viitattu 28.9.2025]

Nazareno, L., & Schiff, D.S., 2021. The impact of automation and artificial intelligence on worker wellbeing. *Technology in Society*, 67, 101679. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101679> [viitattu 29.9.2025]

Ouyang, L., et al., 2022. Training language models to follow instructions with human feedback. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2022)*, 35, 27730-27744. Saatavilla: https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2022/file/b1efde53be364a73914f58805a001731-Paper-Conference.pdf [viitattu 27.9.2025]

Rudin, C. 2019. Stop explaining black box machine learning models for high-stakes decisions and use interpretable models instead. *Nature Machine Intelligence*, 1(5), 206-215. Saatavilla: <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0048-x> [viitattu 30.9.2025]

Schick, T., et al., 2023. Toolformer: Language Models Can Teach Themselves to Use Tools. *Proceedings of the 37th International Conference on Neural Information Processing Systems*, Curran Associates Inc., Red Hook, New York, Yhdysvallat. Saatavilla: https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2023/hash/d842425e4bf79ba039352da0f658a906-Abstract-Conference.html [viitattu 27.9.2025]

Schmidhuber, J., 2015. Deep learning in neural networks: An Overview. *Neural Networks*, 61, 85–117. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.09.003> [viitattu 28.9.2025]

Schmidt, R., et al., 2020. Value Creation in Connectionist Artificial Intelligence - A Research Agenda. *Americas Conference on Information Systems (AMCIS) 2022*, Minneapolis, Minnesota, Yhdysvallat. Saatavilla: <https://d-nb.info/1234388871/34> [viitattu 28.9.2025]

Suomen laki 669/1978. Laki kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa- ja puhtaanapidosta. § 1 a. Finlex. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/1978/669#chp_1__sec_2__subsec_1v20230803 [viitattu: 05.9.2025].

Sze, V., et al., 2017. Efficient processing on deep neural networks: A tutorial and survey. Proceedings of the IEEE, 105 (12), 2295–2329. Saatavilla: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8114708> [viitattu 29.9.2025]

Tampereen yliopisto, 2024. ProDigial-tutkimusohjelma, Vaihe 2 (2024-2028). Tampere: Tampereen yliopisto. Saatavilla: <https://projects.tuni.fi/prodigial/esittely/vaihe-2-2024%E2%80%922028/> [viitattu: 02.9.2025].

Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (THL), 2024. Liukastumiset (työaikaisten tapaturmien ehkäisy). THL. Saatavilla: <https://thl.fi/aiheet/hyvinvoinnin-ja-terveyden-edistamisen-johtaminen/turvallisuuden-edistaminen/tapaturmien-ehkaisy/tyoikaisten-tapaturmat/liukastumiset> [viitattu: 13.9.2025].

Tiera, 2024. Näin tekoäly parantaa asiakaspalautteiden käsittelyä, Artikkelit, lokakuu 2024. Saatavilla: <https://tiera.fi/artikkelit/nain-tekoaly-parantaa-asiakaspalautteiden-kasittelya/> [viitattu 20.10.2025]

Tieteen termipankki, 2025. Avoin tiede: metatieto. Saatavilla: https://tieteentermipankki.fi/wiki/Avoin_tiede:metatieto [viitattu 15.9.2025]

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022. Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. TEM julkaisuja 2022:53. Saatavilla: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164321> [viitattu: 11.9.2025].

Vaisala, n.d., Winter Road maintenance. Saatavilla: <https://www.vaisala.com/en/digital-and-data-services/winter-road-maintenance> [viitattu 20.9.2025]

Vaswani, A., et al., 2017. Attention is all you need. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2017), 30, 5998-6008. Saatavilla: https://papers.nips.cc/paper_files/paper/2017/hash/3f5ee243547dee91fbd053c1c4a845aa-Abstract.html [viitattu 28.9.2025]

Väylävirasto, 2018. Talvihoidon toimintalinjat. Helsinki: Väylävirasto. Väylän toimintalinjoja 1/2018. Saatavilla: <https://www.doria.fi/handle/10024/160992> [viitattu: 15.9.2025].

Väylävirasto, 2023a. Maanteiden talvihoito – Menetelmätieto VO 35/2023. Helsinki: Väylävirasto. Saatavilla: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-35_maanteiden_talvihoito_web.pdf [viitattu: 16.9.2025].

Väylävirasto, 2023b. Väyläviraston asiakirjajulkisuuskuvaukset [PDF-tiedosto]. Helsinki: Väylävirasto. Saatavilla: <https://vayla.fi/documents/25230764/51874803/V%C3%A4yl%C3%A4viraston+asiakirjajulkisuuskuvaukset.pdf/e7bfdab7-6631-e2ea-fa28-b4007b79af46/V%C3%A4yl%C3%A4viraston+asiakirjajulkisuuskuvaukset.pdf?t=1684166041424> [viitattu: 30.10.2025].

Väylävirasto, 2023c. Kävely- ja pyöräilyväylien talvikunnossapidon digitalisaation hyödyntämismahdollisuuksien selvittäminen VO 75/2023. Helsinki: Väylävirasto. Saatavilla: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/188158/vj_2023-75_978-952-405-117-0.pdf?sequence=1 [viitattu: 30.10.2025].

Väylävirasto, 2025. Tienkäyttäjien tyytyväisyys maanteiden talvihoitoon kääntynyt nousuun. Väylävirasto. Saatavilla: <https://vayla.fi/-/tienkayttajien-tyytyvaisyys-maanteiden-talvihoitoon-kaantyi-nousuun> [viitattu: 12.9.2025].

Wapice, 2025. AI-Powered Snow Management with Destia. Saatavilla: <https://wapice.com/wapice-news/wapice-x-destia-ai-powered-snow-management/> [viitattu 20.9.2025]

Yle, 2024. Näin paljon suurimmat kaupungit käyttävät rahaa liukkaudentorjuntaan: kuntakohtaiset erot suuria. 26.2.2024. Saatavilla: <https://yle.fi/a/74-20075992> [viitattu: 14.9.2025].

Ympäristöministeriö, 2023. Kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa- ja puhtaanapidosta annetun lain (669/1978) toimivuusarviointi. Ympäristöministeriön julkaisuja 2023:43. Saatavilla: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/items/f205c485-54c3-4393-910d-1c83d69af6e4> [viitattu: 14.9.2025].

LIITE 1: HAASTATTELUKUTSU JYVÄSKYLÄN KAUPUNGIN ORGANISAATION ASIAANTUNTIJOILLE

Hei,

Olen alkamassa tekemään Jyväskylän kaupungille diplomityötä aiheesta ”Talvikunnossapidon optimointi tekoälyllä Jyväskylässä” ja sitä varten pyrin haastattelemaan asiantuntijoita liittyen talvikunnossapidon prosessiin ja tekoälyyn, jotta saisin mahdollisimman kattavan kuvan aiheesta kirjallisten tutkimuslähteiden lisäksi.

Haastattelut toteutetaan teams-haastatteluina ja kestävät noin tunnin.

Jos olette kiinnostuneita haastattelusta, niin miten teille sopisi esimerkiksi:

XXX

XXX

XXX

XXX

Pyrin järjestämään haastattelut pääasiassa elokuun aikana, mutta jos se on hankala aika, niin etsitään yhdessä sopiva!

Kiitos ajastanne ja panoksestanne jo etukäteen!

Voitte valmistautua haastatteluun tutustumalla etukäteen avustaviin haastattelukysymyksiin, jotka toimivat myös haastattelun runkona.

1. Lähtökohdat
 - a. Kuinka kauan olet toiminut nykyisessä tehtävässä?
 - b. Minkälaisista työtehtävistä päiväsi koostuu?
2. Talvikunnossapidon prosessi
 - a. Mikä/mitkä vaiheet ovat sinulle tutuimpia?
 - b. Mitkä ovat näiden vahvuudet?
 - c. Entä heikkoudet?
 - d. Miten vaiheen resurssit suunnitellaan ja mitoitetaan?
 - e. Miten hyvin suunnitellut resurssit vastaavat nykyhetken tarpeita tai kuinka mukautuvia ne ovat?
 - f. Mitä tietoa käytätte päätöksenteon tukena prosessissa?
 - g. Mistä lähteistä saatte tietoa?
 - h. Minkälaista tietoa toivoisit saavasi päätöksenteon tueksi?
 - i. Minkälaisia järjestelmiä/digitaalisia työkaluja käytätte hyödyksi?
 - j. Keiden eri toimijoiden kanssa teette yhteistyötä?
 - k. Kuinka ja miten tieto liikkuu toimijoiden välillä ja missä näet parantamisen varaa?
 - l. Minkälaisia kehityskohteita sinulle olisi nykyiseen prosessiin?
3. Tekoälyn hyödyntäminen
 - a. Kuinka tuttuja sinulle on yleisesti tekoäly ja sen hyödyntäminen?
 - b. Miten hyödynnät tekoälyä töissä?
 - c. Missä näette suurimman potentiaalin tekoälyn hyödyntämiselle?
 - d. Mitä haasteita tai riskejä näette tekoälyn hyödyntämisessä/käyttöönnotossa?
 - e. Millaisena näette digitalisaation ja automaation roolin talvikunnossapidon tulevaisuudessa?
 - f. Minkälaista tukea tai osaamista kaipaisit, jos tekoälyratkaisuja tarjottaisiin käyttöön omassa työssäsi?

LIITE 2: HAASTATTELUKUTSU TEKOÄLYN ASiantuntijoille

Hei,

Olen alkamassa tekemään Jyväskylän kaupungille diplomityötä aiheesta ”Talvikunnossapidon optimointi tekoälyllä Jyväskylässä” ja sitä varten pyrin haastattelemaan asiantuntijoita liittyen talvikunnossapidon prosessiin ja tekoälyyn, jotta saisin mahdollisimman kattavan kuvan aiheesta kirjallisten tutkimuslähteiden lisäksi.

Ohjausryhmän kanssa mietimme sopivia asiantuntijoita ja uskomme, että voisitte olla sopiva henkilö haastatteluun tekoälyn asiantuntijana.

Haastattelut toteutetaan teams-haastatteluina ja kestävät noin tunnin.

Jos olette kiinnostuneita haastattelusta, niin miten teille sopisi esimerkiksi:

XXX

XXX

XXX

XXX

Pyrin järjestämään haastattelut pääasiassa elokuun aikana, mutta jos se on hankala aika, niin etsitään yhdessä sopiva!

Kiitos ajastanne ja panoksestanne jo etukäteen!

Voitte valmistautua haastatteluun tutustumalla etukäteen avustaviin haastattelukysymyksiin, jotka toimivat myös haastattelun runkona.

1. Lähtökohdat
 - a. Kuinka kauan olet toiminut nykyisessä tehtävässä?
 - b. Minkälaisista työtehtävistä päiväsi koostuu?
 - c. Mikä on tutkimus-/asiantuntija-alueesi tekoölyyn liittyen?
 - d. Onko sinulla kokemusta tekoölyn hyödyntämisestä kaupunkiympäristöissä tai julkisella sektorilla?
2. Tekoöly osana päätöksentekoa
 - a. Miten näet, että tekoölyä voidaan käyttää päätöksenteon tukena prosessinomaisessa toiminnassa kuten kunnossapidossa?
 - b. Kuinka suuri merkitys on datan laadulla ja saatavuudella tekoölyn päätöksentekoprosessin onnistumiseen?
3. Mallit ja menetelmät
 - a. Millaisia malleja ja menetelmiä olet hyödyntänyt itse aiemmin?
 - b. Minkälaisista malleista näkisit olevan eniten hyötyä tutkittavana olevaan prosessiin?
4. Tiedonkeruu ja järjestelmät
 - a. Minkälaista dataa kunnossapidosta olisi hyödyllistä kerätä?
 - b. Kuinka haasteellisenä näet tekoölyn integroinnin osaksi valmiita järjestelmiä?
 - c. Kuinka tärkeää on varastoida historiadataa ja millä frekvenssillä?
5. Käyttöönotto ja riskit
 - a. Mitkä ovat kokemuksesi mukaan tyypilliset haasteet tekoölyn käyttöönotossa ja hyödyntämisessä julkisella sektorilla tai operatiivisessa työssä?
 - b. Miten voidaan varmistaa tekoölyn luotettavuus ja läpinäkyvyys päätöksenteossa?
 - c. Mitä riskejä hyödyntämiseen liittyy ja miten niitä voidaan ehkäistä?
6. Tulevaisuus ja visiointi
 - a. Miten näet tekoölyn kehittyvän ja minkälaisia muotoja se saa lähitulevaisuudessa? Mikä on seuraava iso askel?
 - b. Millaisena näet tekoölyn roolin osana työtehtäviä ja prosesseja seuraavan 5/10/15 vuoden aikana?
 - c. Onko sinulla esimerkkejä tai kokemuksia muista projekteista, joista voisi ottaa oppia tekoölyn lisäämisessä talvikunnossapitoon?
 - d. Miten kuntien tulisi lähestyä tekoölyn käyttöönottoa resurssi- ja osaamistaso huomioiden?