



Jukka Ala-Mutka

# Puheesta raportiksi - Tekoälyn käyttö rakennustyömaan raportoinnissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusalan työnjohto

Opinnäytetyö

27.11.2023

## Tiivistelmä

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Tekijä:                 | TkT Jukka Ala-Mutka  |
| Otsikko:                | Puheesta raportiksi - Tekoälyn käyttö rakennustyömaan raportoinnissa |
| Sivumäärä:              | 79 sivua, 1 liite  |
| Aika:                   | 27.11.2023   |
| Tutkinto:               | Rakennusmestari (AMK)  |
| Tutkinto-ohjelma:       | Rakennusalan työnjohto   |
| Suuntautumisvaihtoehto: | Talonrakennustekniikka   |
| Ohjaaja(t):             | Lehtori Simo Hoikkala  |

---

Opinnäytetyössä, jonka tilaajana toimi Admicom Oyj, keskityttiin työmaan dokumentointiin. Rakentamisessa dokumentoinnin määrä on edelleen kasvussa ja toiseksi rakennusala on jäänyt digitalisaatiossa jälkeen muista teollisuudenaloista, joten alalla on tarvetta kehittää ja ottaa käyttöön uutta dokumentointia tehostavaa teknologiaa. Dokumentoinnin merkitys korostuu edistymisen seurannassa, päätösten selkeyden varmistamisessa ja yhteisymmärryksen saavuttamisessa sekä virheistä oppimisessa. Dokumentointi takaa myös määräysten ja suunnitelmien noudattamisen varmistamisen, mikä johtaa parempaan laatuun ja työturvallisuuteen.

Tutkimuksen keskiössä oli työmaakatselmus, josta tehtiin äänitallenteita Rakennus Grahn Oy:n työmaalta. Tutkimuksessa tehtiin katselmuksesta kaksi erilaista ääninäytettä, yksi työmaalla ja toinen toimistossa. Raportin tuottamisen laatuun vaikuttavia sanavirheitä oli työmaaäänitteessä viisi ja toimistoäänitteessä kaksi prosenttia. Transkription virheiksi laskettiin ne virheet, jotka olivat merkittäviä tekoälyn hyödyntämisen kannalta. Transkriptio käytiin läpi oikoluvulla, joka tunnisti noin 80 prosenttia olennaisista virheistä toimistossa tehdystä äänitteen transkriptiosta. Transkriptio toteutettiin Whisper-mallilla.

Litteroitu ja oikoluettu teksti annettiin OpenAI:n GPT-4 -kielimallille, joka toimi kielenhuoltajana ja muutti puhekielen raportointikieleksi. Kehote suunniteltiin tavoitteen mukaiseen rakenteeseen ja sisältöön, jotta kielimalli pystyi tuottamaan verrokkiraporttia vastaavan dokumentin. Lopputuloksesta voidaan todeta, että tekoälyn avulla dokumentointia voidaan merkittävästi nopeuttaa ja sen laatua parantaa. Parempi työmaan dokumentointi edistää viestintää ja kokonaisuuden hallintaa. Hyvin muodostetusta raportista voidaan tuottaa käännöksiä eri kielille, mikä on tärkeää monikielisellä rakennusosalalla. Yhteenvetona voidaan todeta, että puhumalla ja tekoälyä hyödyntämällä voidaan merkittävästi parantaa dokumentointia ja saada aikaan viestinnällisesti tehokkaita raportteja.

Avainsanat: rakentaminen, tekoäly, kielimalli, transkriptio, litterointi, dokumentointi, raportointi, katselmus

## Abstract

Author: Dr.Sc. Jukka Ala-Mutka  
Title: Speech to Report - Utilizing Artificial Intelligence in Construction Site Reporting  
Number of Pages: 79 pages + 1 appendix  
Date: 27 November 2023

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Construction Site Management  
Specialisation option: House Building  
Instructor(s): Simo Hoikkala, Lecturer

---

In this thesis, commissioned by Admicom Oyj, the focus was on the documentation processes at the construction site. The amount of documentation in construction is on the rise, and the sector has fallen behind other industries in terms of digitalization. Consequently, there is a need to develop and implement new technology in the field. The importance of documentation is emphasized in monitoring progress, ensuring the clarity of decisions, achieving consensus, and learning from mistakes. Documentation also ensures compliance with regulations and plans, leading to improved quality and workplace safety.

The study focused on documentation at the construction site of Rakennus Grahn Oy, using audio recordings. These recordings were utilized to generate reports using AI and then compared to reports manually created through handwriting. Two different audio samples were taken for the study, one on-site and the other in the office, with transcription error rates of five and two percent, respectively. Errors in the transcription were counted as those significant for use of artificial intelligence. The transcription was processed through a spellchecker, which identified about 80% of the essential errors. The transcription was carried out using the Whisper model.

The transcribed and proofread text was given to OpenAI's GPT-4 large language model, which acted as a language editor and converted spoken language into report language. The prompt was designed according to the desired structure and content, enabling the language model to produce a result comparable to the reference report. The findings showed that documentation can be significantly expedited and improved using artificial intelligence. Speaking enhances the documentation at the construction site, which improves communication and understanding. Well-written reports can also be translated into different languages, important in the multilingual construction industry. In conclusion, it can be stated that by speaking and utilizing artificial intelligence, documentation can be significantly improved and communicationally effective reports can be produced.

Keywords: artificial intelligence, language model, documentation, transcription, reporting, inspection, construction

# Sisällys

## Lyhenteet ja käsitteet

|  |    |
|--|----|
| 1 Johdanto   | 1  |
| 1.1 Tavoite ja rajaus  | 1  |
| 1.2 Tutkimusongelma  | 1  |
| 1.3 Tutkimusmenetelmät   | 2  |
| 2 Tekoäly ja dokumentointi   | 3  |
| 2.1 Tekoälyn kehitys ja haasteet   | 3  |
| 2.2 Puheesta tekstiksi teknologia  | 8  |
| 2.3 Puheesta tekstiksi -teknologian tarkkuus                             | 9  |
| 2.4 Laajat kielimallit   | 10 |
| 2.5 Pääteknikat kielimalleihin perustuvissa ratkaisuissa                 | 11 |
| 2.6 Kehotesuunnittelu ja mallin ohjeistus                                | 13 |
| 2.7 Tekoälyn mahdollisuudet rakentamisessa                               | 15 |
| 2.8 Tekoäly työmaan koneissa ja laitteissa                               | 17 |
| 2.9 Ennakoiva analytiikka ja riskienhallinta                             | 19 |
| 2.10 Generatiivinen tekoäly rakentamisessa                               | 21 |
| 2.11 Dokumentointi työmaalla, työmaakatselmus ja työmaapäiväkirja        | 23 |
| 3 Tutkimusasetelma   | 26 |
| 3.1 Esitutkimus ja tutkimuskohteen valinta                               | 26 |
| 3.2 Tutkimuksen osa 1: Ääninäytteiden käsittely tekstiksi                | 28 |
| 3.3 Tutkimuksen osa 2: Kielimallilla puhetekstistä raportiksi            | 29 |
| 4 Toteutus osa 1: Transkriptio Whisper-mallilla                          | 30 |
| 4.1 Työmaaäänitteen transkriptio   | 32 |
| 4.2 Toimistoäänitteen transkriptio                                       | 35 |
| 4.3 Arvio tekoälyavusteisen dokumentoinnin nopeudesta                    | 37 |
| 5 Toteutus osa 2: Transkription käsittely kielimallilla                  | 39 |
| 5.1 Kielimallin käyttö tekstin muokkaamiseen ja kehityksen rajaukset     | 39 |
| 5.2 Tekstin parantaminen kielimallilla alkuperäisellä tekstillä          | 40 |
| 5.3 Tekstin parantaminen kielimallilla oikoluettulla tekstillä           | 42 |
| 5.4 Kielimallin tekemän oikoluvun tutkiminen                             | 43 |
| 5.5 Kehotteen kehitys työmaaäänitteen oikoluettusta transkriptiosta      | 45 |
| 5.6 Kehotteen kehitys toimistomaaäänitteen oikoluettusta transkriptiosta | 48 |
| 5.7 Alkuperäisen ja toimistoäänitteestä tehdyn raportin vertailu         | 50 |
| 5.8 Haku raportista  | 51 |
| 6 Tulokset ja pohdinta   | 54 |
| 6.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin                                       | 54 |
| 6.2 Transkriptio puheesta työmaalla ja toimistolla                       | 56 |
| 6.3 Kielimallin käyttö raportoinnissa                                    | 58 |
| 6.4 Käyttäjän pohdinta tutkimuksesta                                     | 60 |
| 7 Johtopäätökset   | 63 |
| 7.1 Tulevaisuuden sovellukset ja tutkimussuunnat                         | 63 |
| 7.2 Työn rajoitukset   | 64 |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 7.3 Jatkotutkimus              | 65 |
| 8 Yhteenveto                   | 67 |
| Lähteet                        | 69 |
| Liitteet                       |    |
| Tekoälyn hallusinoima raportti |    |

## Lyhenteet ja käsitteet

|              |  |
|--------------|--|
| AGI          | Artificial General Intelligence - vahva tai yleinen tekoäly  |
| AI           | Artificial Intelligence - tekoäly  |
| ASI          | Artificial Superintelligence - tekoäly ylittää merkittävästi ihmisen älykkyyden kaikilla relevanteilla alueilla  |
| BIM          | Building Information Model - rakennuksen tietomalli  |
| GPT          | Generative Pre-trained Transformer - generatiivinen esikoulutettu muunnin  |
| IFC          | Industry Foundation Classes -tiedonsiirtostandardi on kansainvälinen rakennusalan ISO/PAS 16739 standardi oliopohjaisen tiedonsiirtoon.  |
| LLM          | Large Language Model - laaja kielimalli tai suuri kielimalli   |
| NLP          | Natural Language Processing - luonnollisen kielen käsittely  |
| Prompt       | Kehote on ohje tai syöte, joka annetaan tekoälylle käynnistämään tietty prosessi tai vastaamaan tietynlaisella tavalla, toimien lähtökohtana vuorovaikutukselle tai datan käsittelyllä |
| STT          | Speech-to-Text - puheesta tekstiksi teknologiat  |
| RAG          | Retrieval-Augmented Generation eli tiedon hakuun perustuva generointi  |
| Transkriptio | Puhutun sanan kirjaimellinen siirtäminen kirjalliseen muotoon.   |
| TTS          | Text-to-Speech - tekstistä puheeksi teknologiat  |
| UNM          | Uncertainty network modeling - verkostopohjainen epävarmuusmalli   |
| WER          | Word Error Rate - sanavirheaste  |

# 1 Johdanto

## 1.1 Tavoite ja rajaus

Tämän tutkimuksen päätavoitteena on selvittää rakennustyömaiden raportointiprosessien ongelmakohtia ja kontekstia sekä tutkia tekoälyn hyödyntämisen mahdollisuuksia. Tutkimuksen painopiste on työmaakatselmusten raportoinnissa, joka on keskeinen osa työmaan dokumentointia. Tarkoituksena on tunnistaa ja analysoida puheesta tekstiksi -teknologian ja generatiivisen tekoälyn kykyä muokata puhekieltä raportointikieleksi. Tämä voi tarjota ratkaisuja havaittuihin ongelmiin ja parantaa raportoinnin tehokkuutta sekä tarkkuutta.

Tutkimuksen tilaajana toimi Admicom Oyj, joka tarjoaa ohjelmistoratkaisuja rakennusalalle, talotekniikkaan ja teollisuuteen. Konsernin ohjelmistovalikoimaan kuuluvat toiminnanohjausohjelmisto Adminet, Adminet Lite pienyrityksille, liikkuvan työn toiminnanohjaukseen suunnattu Hillava, Tocomanin rakennusalalle suunnatut erikoisohjelmistot kustannuslaskentaan ja tietomallintamiseen sekä Tempo aikataulutukseen ja Kotopron dokumentointi- ja raportointiratkaisut. Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Rakennus Grahn Oy:n kanssa keskittyen työmaakatselmuksen dokumentointiin. Tutkimuksen lähtökohtana on ollut generatiivisen tekoälyn nopea kehitys, mikä on avannut uusia mahdollisuuksia kehittää tekoälypohjaisia ratkaisuja raportointiin.

## 1.2 Tutkimusongelma

Rakennustyömaiden raportoinnin aiheuttamat ongelmat, kuten tiedonkulun heikkeneminen, viivästykset ja kasvavat kustannukset, voivat olla merkittäviä. Tekoälyn ja automaation käyttöönotto tarjoaa potentiaalisia ratkaisuja raportoinnin parantamiseen. Kuitenkin tekoälyn soveltuvuus ja vaikutukset rakennustyömaiden dokumentointiin ovat vielä epäselviä. Tutkimuksen keskeiset ongelmat keskittyvät puheesta tekstiksi -teknologian ja generatiivisen tekoälyn suorituskykyyn, tarkkuuteen ja käytettävyyteen työmaan dokumentoinnissa.

Keskeiset tutkimuskysymykset:

- Mitä haasteita työmaan dokumentoinnissa esiintyy?
- Mitkä ovat tekoälyn hyödyntämisen edellytykset?
- Mitkä ovat tekoälyn käyttöönoton haasteita?
- Mitä hyötyä on tekoälypohjaisesta työmaan dokumentoinnista?

### 1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa käytettiin laadullisia menetelmiä, kuten haastatteluja ja havainnointia, jotta saadaan kattava ymmärrys työmaaraportoinnin haasteista ja tarpeista. Esitutkimuksessa haastateltiin 31 henkilöä kymmenestä eri yrityksestä, mikä mahdollisti monipuolisen näkökulman aiheeseen. Varsinaiseen tutkimukseen sisältyi yksi työmaavierailu, jossa kerättiin tutkimuksen aineisto ja tarkasteltiin työmaaraportointia käytännössä. Työmaavierailun aikana äänitettiin työmaakatselmus, otettiin valokuvia ja laadittiin alkuperäinen käsinkirjoitettu katselmusraportti.

Kerätyn aineiston analysointi suoritettiin käyttäen sekä kvalitatiivisia että kvantitatiivisia analyysimenetelmiä. Tutkimuksessa käytettiin iteratiivista menetelmää, jossa kokeilemalla pyrittiin tuottamaan verrokkiraporttia vastaava dokumentti samalla sisällöllä ja rakenteella. Tekoälyn soveltuvuutta työmaaraportointiin arvioitiin vertaamalla toisiinsa käsinkirjoitettua ja tekoälyn avulla muokattua raporttia, sekä tarkasteltiin tekoälyn kykyä muuntaa puhekieltä raportointikieleksi. Tekoälyn ja puheesta tekstiksi -teknologian hyödyntämisen ja potentiaalın arviointi perustui myös haastatteluissa ja työmaavierailulla havaittuihin raportoinnin haasteisiin ja tarpeisiin.



## 2 Tekoäly ja dokumentointi

### 2.1 Tekoälyn kehitys ja haasteet

Tekoälyn (AI, Artificial Intelligence) juuret ulottuvat kauas historiaan, mutta modernin tekoälyn aikakauden voidaan sanoa alkaneen vasta 1950-luvulla. Tekoäly on tieteen ja teknologian ala, joka pyrkii luomaan järjestelmiä, jotka voivat jäljitellä ja simuloida ihmisen älykkyyttä tai jopa ylittää ihmisen kyvyt. Esimerkiksi tekoäly on läpäissyt vuonna 2023 useimmat kokeet ja testit kuten esimerkiksi Chartered Financial Analyst (CFA) ja asianajajakoe (bar exam) (Kelly 2023, Varanasi 2023).

Alan Turing, brittiläinen matemaatikko ja loogikko, esitti 1950-luvulla kuuluisan "Turingin testin", joka oli ensimmäisiä yrityksiä määritellä ja mitata koneen älykkyyttä (Turing 1950). Vuonna 2023 OpenAI:n GPT-4:n suorituskykyä arvioitiin julkisessa Turingin testissä, jossa se onnistui 41 % peleistä. Tämä tulos ylitti aiemmat järjestelmät, kuten ELIZAn (27 %) ja GPT-3.5:n (14 %), mutta jäi alle ihmisen keskimääräisen 63 %:n suoritustason (Jones & Bergen 2023). Toinen iso virstanpylväs oli Dartmouth-konferenssi vuonna 1956. Se merkitsi tekoälyn syntymistä erillisenä omana tutkimusalana. Konferenssissa esitettiin visio, jonka mukaan koneet voivat jäljitellä ihmisen älykkyyttä ja oppimiskykyä (McCarthy et al. 1955).

Tekoälyn kehitys ei ole ollut suoraviivaista. 1960- ja 1970-luvuilla tekoäly koki ensimmäiset "talvensa", kun alkuperäiset odotukset ja lupaavat alustavat tulokset eivät johtaneet toivottuun kehitykseen. Tekoälyn talvet viittaavat siis ajanjaksoihin, jolloin tekoälyn tutkimukselle ja kehitykselle myönnetty rahoitus, kiinnostus ja optimistiset odotukset vähenivät merkittävästi. Nämä talvikausien jaksot johtuivat usein liiallisista odotuksista, jotka eivät toteutuneet, sekä teknologian ja teorian puutteista.

Ensimmäinen tekoälyn talvi (1974–1980) alkoi vuonna 1974, kun Yhdysvaltojen ja Britannian hallitukset leikkasivat rahoitusta tekoälyn tutkimuksesta. Tämä johtui pettymyksestä, kun aikaisemmat optimistiset ennusteet tekoälyn potentiaalista eivät toteutuneet ja tulokset jäivät vaille konkreettisia sovelluksia. Esimerkiksi Lighthillin raportti (1973) arvosteli tekoälyn tutkimusta ja johti rahoituksen leikkauksiin Britanniassa. Toinen tekoälyn talvi alkoi 1980-luvun lopulla ja jatkui 1990-luvun alkuun. Tänä aikana monet tekoälyprojektit, erityisesti asiantuntijajärjestelmät, osoittautuivat liian kalliiksi ylläpidettäviksi, ja ne eivät kyenneet täyttämään aikaisempia lupauksia. Yksi merkittävä tekijä oli "The Fifth Generation" -projektin epäonnistuminen Japanissa, mikä vaikutti negatiivisesti tekoälyn näkymiin globaalisti (Feigenbaum & McCorduck 1983).

1980-luvulla koneoppiminen ja erityisesti takaisinkytkettyjen neuroverkkojen kehittäminen avasi uuden aikakauden tekoälyn kehitykselle, mutta vasta 2000-luvulla tietotekniikan ja erityisesti laskentatehon kehittyminen sekä suurten tietomäärien saatavuus ovat mahdollistaneet tekoälyn merkittävän edistymisen. 2010-luvulla on saavutettu useita merkittäviä virstanpylväitä, kuten Go-pelin maailmanmestarin voittaminen ja luonnollisen kielen käsittelyn edistysaskeleet. (Russell & Norvig 2020.)

Tekoälyn kehityksessä vuosina 2018-2023 kielimallit ovat olleet keskeisessä roolissa, ja niiden kehitys on ollut todella nopeaa. Erityisesti merkittävässä roolissa on ollut GPT-mallin chat-käyttöliittymä ChatGPT, joka syksyllä 2022 demokratisoi tekoälyn käytön kaikille, ei vain teknisille kehittäjille. Vuonna 2022 julkaistiin useita merkittäviä kielimalleja, kuten GPT-3, ja vuonna 2023 nähtiin monien uusien mallien, kuten LLaMA, Claude, Alpaca, Vicuna, Koala, Pythia ja OpenChatKit, tulo markkinoille (Poudel 2023).

Meta ja Google ovat raportoineet uusista kielimalleistaan, LLaMA ja PaLM-E, joista jälkimmäinen on multimodaalinen versio, joka yhdistää myös robotiikan sensoritiedot (Nature Machine Intelligence 2023). Vuosina 2022-2023 kielimallien tutkimus laajeni merkittävästi, ja usea tutkimus keskittyi parantamaan kielimallien kykyä eri alueilla, kuten tiedonhaussa, matemaattisessa päättelyssä ja

ketjureaktiivisessa kehotuksessa (Castella 2023, Dhuliawala, S. et al. 2023, Wolfe 2023, Wei et al. 2023). Multimodaalisia ominaisuuksia on tullut käyttöön vuoden 2023 aikana. Kuvat tulivat käyttöön OpenAI:n ChatGPT:hen syksyllä 2023 (OpenAI 2023, GPT-4V(ision) system card 25.9.2023).

Suuret kielimallit ovat olleet generatiivisen tekoälyn nopean kasvun takana vuonna 2023, ja ne käyttävät syväoppimista erittäin suurien tietojoukkojen kanssa ymmärtääkseen ja generoidakseen tekstiä. Suuret kielimallit eivät ole täydellisiä vaan yleisesti ottaen kielimallien kehityksen yhteydessä on usein mainittu seuraavia huolenaiheita (Vida et al. 2023, McKee 2023, Gordon 2023):

- **Mustan laatikon ongelma:** Suuret kielimallit ovat monimutkaisia ja niiden toimintaa on vaikea tulkita, mikä voi olla ongelma erityisesti silloin, kun mallien päätöksiä on vaikea selittää (Bathae 2018).
- **Eettiset huolenaiheet:** Kielimallien kyky generoida vakuuttavaa tekstiä voi aiheuttaa huolenaiheita, kuten väärän tiedon levittäminen, polarisaatio ja manipulaatio (Pock et al. 2023, Koivisto et al. 2019, Wu et al. 2023, Sharples 2023). Uudemmat kielimallit ottavat eettiset asiat selvästi paremmin huomioon kuin edeltävät kielimallit (Rodionov et al. 2023).
- **Datan vinoumat:** Kielimallit ovat taipuvaisia omaksumaan ne vinoumat, jotka ovat läsnä niiden koulutusdatassa, mikä voi johtaa syrjiviin tai epätarkkoihin tuloksiin tai väriin diagnooseihin (Babushkina 2022).
- **Hallusinaatio:** Hallusinaatio kielimallien alalla viittaa tilanteisiin, joissa kielimalli luo tai "näkee" tietoja, jotka eivät ole läsnä syötteessä eivätkä perustu tosiasialliseen tietoon. Tämä on yleistä suurissa kielimalleissa. Hallusinaatiot voivat ilmetä monilla tavoilla, kuten väärin tosiseikkojen, olemattomien termien tai tapahtumien, tai perusteettomien yhteyksien luomisessa syötteen ja mallin tuottaman vastauksen välillä (Ziwei et al. 2022, Huang et al. 2023). Kuitenkin on myös ilmeistä, että syväoppimiseen perustuva tekstin generointi on altis hallusinoimaan ei-toivottua tekstiä, mikä heikentää järjestelmän suorituskykyä ja pettää käyttäjien odotukset monissa todellisen maailman tilanteissa (Ziwei et al. 2022).

Laajat kielimallit, kuten GPT (Generative Pre-trained Transformer), koulutetaan suurilla tekstimassoilla, joiden avulla mallit oppivat ymmärtämään ja tuottamaan kieltä, mukaan lukien monimutkaiset rakenteet, kontekstit ja kieliopilliset säännöt. Malli tuottaa vastauksia käyttäen ennustavaa analyysia, jossa arvioidaan seuraavan sanan todennäköisyyttä ottaen huomioon annettu syöte. Tämä mahdollistaa monipuolisen käytön eri sovelluksissa, kuten kielellisessä mallinnuksessa, tekstin ymmärtämisessä ja luonnollisen kielen käsittelyssä (Yenduri et al 2023).

Kielimalleilla on "lämpötila"-parametri, joka vaikuttaa satunnaisuuteen mallin vastauksissa. Korkeampi lämpötila voi lisätä hallusinaatioiden määrää. Kielimallit eivät ole hakukoneita tai tietokantoja, joten hallusinaatiot ovat väistämättömiä. Tämä johtuu osittain siitä, että kielimallit eivät ymmärrä tekstiä samalla tavalla kuin ihmiset, ja niiden toiminta perustuu niiden koulutusdatassa näkemiin malleihin ja yhteyksiin. Yksi hallusinaatioiden kriittinen ominaisuus on "tiedon keksiminen" tai "viittausten hallusinaatio", jossa kielimalli luo perusteettomia artikkeleita ja kirjojen otsikoita, mitkä johtavat haittoihin, käytön esteisiin ja julkiseen vastareaktioon (Agrawal A. et al. 2023).

Hallusinaatioiden torjumiseksi ja mittaamiseksi on esitetty useita tutkimuksia, ja näitä ongelmia käsitellään monissa kielimallien alueen tutkimuksissa, kuten abstraktissa yhteenvedossa, dialogin tuottamisessa, generatiivisessa kysymysten vastaamisessa, datasta tekstiksi -tuottamisessa, konekäännöksissä ja visuaalis-kielisessä tuottamisessa (Ziwei et al. 2022, Huang et al. 2023). Nämä huolenaiheet muistuttavat kehittäjiä ja tutkijoita suhtautumaan varovaisesti suurten kielimallien kehittämiseen ja käyttöön, ja ne korostavat tarvetta jatkuvasti tutkia ja ratkaista näitä ongelmia. Ongelmiin on lähdetty kehittämään uusia ratkaisuja: esimerkiksi malli voisi verifioida vastauksen ennen sen antamista (Dhuliawala, S. et al. 2023) tai kysymys käsitellään osissa ja tehdään päättelyt vaiheittain (Wolfe 2023, Wei et al. 2023).

Nykyiseen kehitykseen on vaikuttanut erityisesti se, että aikaisemmin koneoppimisen projektiin meni aikaa 6-12 kuukautta ja opettaminen vaatii paljon

dataa. Kalliit tekoälyprojektit olivat järkeviä käytännössä vain kuluttajapuolen internet-palveluissa, joissa käyttäjämäärät ovat riittävän isoja eli useita tai kymmeniä ellei satoja miljoonia, samoin ovat hyödyt. Vuoden 2023 aikana markkinoille tulleet uudet työkalut mahdollistavat sovellusten tekemisen jopa päivissä ja vaadittava data tekoälyn jatkokehittämiseen on paljon pienempi. Nämä yhdessä ovat johtaneet siihen, että yhä suppeampia sovelluksia voidaan tehdä yhä pienemmällä omalla datalla. (Ng 2022.)

Tekoälyteknologiat voidaan jaotella muun muassa koneoppimiseen, syväoppimiseen, neuroverkkoihin ja luonnollisen kielen käsittelyyn. Koneoppiminen on algoritmeihin perustuva menetelmä, jossa kone oppii ajan myötä suurista datamääristä. Syväoppiminen, joka on koneoppimisen alakategoria, hyödyntää neuroverkkoja jäljittelemään ihmisen aivojen toimintaa. Luonnollisen kielen käsittely puolestaan mahdollistaa koneiden kyvyn ymmärtää, tulkita ja vastata puheeseen tai tekstiin. (Russell & Norvig 2020.)

Nykyiset sovellukset ovat niin sanottua heikkoa tekoälyä (Weak AI). Heikko tekoäly on suunniteltu suorittamaan tiettyjä, rajattuja tehtäviä. Se on ohjelmoitu käsittelemään spesifisiä ongelmia eikä kykene ylittämään määriteltyjä rajojaan. Esimerkkejä heikosta tekoälystä ovat chatbotit, kuvantunnistusjärjestelmät ja suositusalgoritmit. Vahva tekoäly, tai AGI (Artificial General Intelligence), viittaa tekoälyyn, joka kykenee suorittamaan älyllisiä tehtäviä samalla tasolla kuin ihminen ja ASI (Artificial Superintelligence), joka ylittää merkittävästi ihmisen älykkyyden kaikilla relevanteilla alueilla. Vahva tekoäly pystyy ymmärtämään, oppimaan ja soveltamaan tietoa eri konteksteissa, samoin kuin ihminen. AGI on vielä suurelta osin teoreettinen konsepti, eikä sellaista ole vielä onnistuttu luomaan. On arvioitu, että vahvan tekoälyn kehitys on vasta tasolla yksi, kun tasoja on viisi (Morris et al. 2023).

## 2.2 Puheesta tekstiksi teknologia

Puheesta tekstiksi -teknologia (Speech-to-text, STT) on ollut merkittävässä roolissa digitaalisen viestinnän ja tietoteknologian kentällä, mahdollistaen

ihmisäänen muuttamisen kirjoitetuksi tekstiksi. Teknologian juuret ulottuvat 1950-luvulle, jolloin ensimmäiset puheentunnistusjärjestelmät kehitettiin. Siitä lähtien kehitys on ollut jatkuvaa, ja viime vuosikymmeninä erityisesti tekoälyn ja koneoppimisen myötä STT-teknologia on ottanut harppauksia eteenpäin. Nämä teknologiat ovat auttaneet kehittämään monimutkaisempia ja tarkempia puheentunnistusalgoritmeja, joilla on kyky tunnistaa ja transkriptoida puhetta entistä tarkemmin ja monipuolisemmin. Bell Laboratories ja DARPA ovat olleet keskeisessä asemassa puheesta tekstiksi -teknologian kehittämisessä. Bell Laboratories alkoi kehittää puheentunnistusteknologiaa jo 1950-luvulla ja kehitti "Audrey"-järjestelmän, joka kykeni tunnistamaan numeeriset merkit vuonna 1952. Tämä oli merkittävä askel kohti edistyneempiä puheentunnistusjärjestelmiä. (Pinola 2011.)

DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) on ollut myös merkittävä toimija puheentunnistusteknologian kehityksessä. DARPA:n Speech Understanding Research (SUR) -ohjelma, joka toteutettiin vuosina 1971-1976, oli yksi suurimmista puheentunnistuksen tutkimusohjelmista. Tämän ohjelman myötä kehitettiin Carnegie Mellon -yliopistossa Harpy-järjestelmä, joka kykeni ymmärtämään 1011 sanaa. DARPA:n panos puheentunnistusteknologian kehitykseen on ollut merkittävä, ja se on auttanut viemään teknologiaa eteenpäin kohti nykypäivän älykkäitä puheentunnistusjärjestelmiä. (Juang 2004, Pinola 2011.)

Vuoteen 2001 mennessä tietokoneiden puheentunnistus oli saavuttanut 80 prosentin tarkkuuden, ja vuosikymmenen loppua kohti teknologian edistyminen näytti pysähtyneen. Tunnistusjärjestelmät toimivat hyvin, kun kielen sanasto oli rajoitettu – mutta ne olivat edelleen "arvailemassa" samankaltaisesti kuulostavien sanojen välillä tilastollisten mallien avustuksella. (Pinola 2011.)

Monet puheesta tekstiksi -järjestelmät ovat kärsineet erilaisista tarkkuusongelmista ihan viime vuosiin saakka. Vuonna 2021 julkaistut vertailut osoittivat, että Amazonin puheesta tekstiksi -teknologian virheprosentti oli 18,42, Microsoftin 16,51 ja Google Videon 15,82 % (Statista 2023). Uudemmat tutkimukset ovat taas

osoittaneet, että transkription (esimerkiksi Whisper-mallin) suorituskyky on lähes sama kuin ammattimaisilla puhtaaksikirjoittajilla (Radford et al. 2022), ja kehitys on ollut nopeaa viime vuodet (Reddy et al. 2023). Teknologian kehityksen myötä on tullut mahdolliseksi luoda järjestelmiä, jotka pystyvät tunnistamaan ja transkriptoimaan yli 4000 puhuttua kieltä, mikä on merkittävä parannus aiempiin teknologioihin verrattuna (Meta 2023. Preserving the World's Language Diversity Through AI). Nykyään STT-teknologia tunnistaa ja käsittelee puhuttua kieltä muuntaen sen tekstiksi käyttäen kielen algoritmeja erottamaan äänisignaalit puhutuista sanoista ja kääntämään nämä signaalit tekstiksi (Sood 2022). Globaalin puheen- ja äänentunnistuksen markkina-arvon odotetaan kasvavan viidessä vuodessa 9,4 miljardista dollarista (2022) 28,1 miljardiin dollariin vuoteen 2027 mennessä odotetulla 24,4 % vuosikasvulla (Wigdal 2022).

### 2.3 Puheesta tekstiksi -teknologian tarkkuus

Puheen tunnistamisessa ja tekstimuotoon muuntamisessa jotkut sanat voivat jäädä pois, lisääntyä tai kääntyä väärin. Puheesta tekstiksi -teknologian tarkkuuden mittari on sanavirheaste (WER, Word Error Rate). WER on virheiden määrä jaettuna puhuttujen sanojen kokonaismäärällä. WER:n laskemiseksi lasketaan yhteen tunnistetuissa sanoissa esiintyvät korvaukset, lisäykset ja poistot ja jaetaan tämä luku alun perin puhuttujen sanojen kokonaismäärällä. (Seyfarth & Zhao 2020, Microsoft 2023c, Sood 2022.)

#### Sanavirheluokat

- Korvaus tarkoittaa sanan korvaamista toisella sanalla.
- Lisäyksessä lisätään sana, jota ei ole sanottu.
- Poisto tapahtuu, kun sana jätetään pois transkriptiosta

Alla on esimerkki, jossa verrataan virheellisesti tunnistettuja sanoja ihmisen puhumiin sanoihin.

- Puhuttu: “Tänään on kaunis päivä”
- Transkriptio: “Tänään niin kaunis päivät”

Poistettu sana “on”, lisätty sana “niin” ja korvattu sana “päivä” sanalla “päivät”. Alkuperäisesti puhuttujen sanojen määrä on 4.

Yllä olevan esimerkin tapauksessa sanavirheaste on:  $WER = (1+1+1) / 4 = 0,75$

## 2.4 Laajat kielimallit

Lopulta mikään puheesta tekstiksi -ratkaisu ei ole täysin tarkka ja puhuja myös ääntää sanoja väärin, jolloin transkriptio on oikein, mutta lopputulos on virheellinen. Kaikki järjestelmät kohtaavat rajoituksia, olipa kyse sitten murteiden tai dialogien ymmärtämisen vaikeudesta tai kyvyttömyydestä erottaa hiljaista puhetta taustamelusta. Kun tavoitteena on lopulta kommunikaatio ja viestinnän sisällön ymmärtäminen, täydellistä transkriptiota ei tarvita, vaan puheesta tekstiksi tuotettua sisältöä voidaan käsitellä edelleen käsittelemällä tekstiä laajoilla kielimalleilla (LLM, Large Language Models).

Aikaisemmin perusalgoritmit pystyivät suorittamaan minimaalista tekstianalyysia. Siirtyminen sääntöpohjaisista järjestelmistä tilastollisiin menetelmiin loi perustan koneoppimiseen perustuville lähestymistavoille, siirtäen alaa uuteen aikakauteen. Syväoppimisen tulo kiihdytti edelleen edistystä synnyttäen malleja kuten GPT:t, jotka voivat ymmärtää useita kieliä ja kontekstia. Nämä uudet suuret kielimallit, joita on rikastettu laajoilla tietokannoilla, ovat vahvan laskennallisen tehon ansiosta merkittävästi kaventaneet kuilua tai jopa menneet yli ihmisen kielen ymmärryksen ja tuottamisen. NLP-mallien kasvavat kyvyt pitävät sisällään valtavia mahdollisuuksia eri sovelluksille, samalla kun ne myös esittävät haasteita ja eettisiä pohdintoja, jotka vaativat perusteellista tutkimusta ja keskustelua. (Casey 2023) Laajat kielimallit voidaan jakaa suljettuihin ja avoimiin malleihin. Suljettujen lähteiden mallit ovat yleensä kaupallisten toimijoiden kehittämiä ja niiden lähdekoodi ei ole julkisesti saatavilla. Avoimen lähdekoodin malleissa lähdekoodi



ja mallin rakenteet ovat julkisesti saatavilla, ja ne ovat usein yhteisön kehittämiä ja ylläpitämiä.

## 2.5 Päätekniikat kielimalleihin perustuvissa ratkaisuissa

**Zero-shot-oppiminen** (“nollaesimerkkioppiminen”) on lähestymistapa, jossa malli pyrkii suorittamaan tehtäviä ilman, että se on nähnyt yhtään esimerkkiä kyseisestä tehtävästä aikaisemmin. Tämä saavutetaan yleensä antamalla mallille rikas esikoulutus suurella datamäärällä ja hyödyntämällä sen yleistämiskykyä erilaisiin tehtäviin. Tässä ei kuitenkaan ole kyse siitä, etteikö mallia pyritä ohjaamaan käyttäen erilaisia kehotetekniikoita. Tässä korostuvat erityisesti tekniikat, kuten tarinankerronnan hyödyntäminen ja ongelmien hajottaminen osiin tai metakehote, jotka ohjaavat mallia luomaan omia kehotteitaan eri tehtäviin. (Reynolds & McDonell 2021.)

**Few-shot-oppiminen** (“muutamien esimerkin oppiminen”) on tekniikka, joka mahdollistaa mallien oppimisen annetun tehtävän suorittamiseen vain muutamalla merkityllä esimerkillä. Few-shot-oppiminen on tehokas tekniikka, joka mahdollistaa kielimallin oppivan uusia tehtäviä nopeasti ja tehokkaasti ilman laajoja koulutusaineistoja. Kielimalli käyttää näitä esimerkkejä oppiakseen suorittamaan tehtävän ja tuottaa vastauksen kehotteen perusteella. Kielimallille annetut esimerkit voivat olla tekstin, kuvien tai muiden tietotyyppien muodossa tehtävän mukaan. (Gao et al. 2021)

Reynoldsin ja McDonellin (2021) tutkimuksessa havaittiin, että GPT-3 -kielimallin Zero-shot-kehotteet suoriutuvat jopa paremmin kuin few-shot-kehotteet, mikä viittaa siihen, että näiden kehotteiden rooli on enemmänkin olemassa olevan tiedon paikantamisessa kuin uuden oppimisessa. Tämä johtopäätös herättää kysymyksen siitä, miten kehotteita käytetään kielimallien ohjaamisessa ja arvioinnissa. Tutkimuksessa korostetaan kehotteiden ohjelmoinnin tarkastelua luonnollisen kielen näkökulmasta ja tutkitaan tekniikoita, kuten tarinankerronnan

hyödyntämistä ja ongelmien jakamista osiin. Lisäksi tutkimuksessa esitellään metakehote, joka ohjaa mallia luomaan omia kehoitteitaan eri tehtäviin.

**Tiedon hakuun perustuva generointi** (Retrieval-Augmented Generation eli RAG) on menetelmä, jossa tiedonhaku ja tekstin generointi yhdistyvät. RAG-tekniikka hakee ensin relevanttia tietoa tietokannasta tai dokumenttijoukosta ja syöttää tämän haetun tiedon tekstin generoivalle mallille, joka tuottaa vastauksen. (Chen et al. 2023, Zeichick 2023, Lewis et al. 2021.)

**Hienosäätö** (Fine-tuning) on opetusta, jossa suuren mallin parametreja hienosäädetään pienemmällä, usein tehtävä- tai sovellusaluekohtaisella data-aineistolla. Tämä mahdollistaa mallin suorituskyvyn parantamisen tietyissä tehtävissä sen jälkeen, kun malli on ensin esikoulutettu suurella datamäärällä. (Dickson 2023, Ngoc et al. 2023, Vogt-Lowell et al. 2023.)

**Mallin opettaminen** alusta lähtien tarkoittaa mallin kouluttamista tyhjästä suurella data-aineistolla. Tässä lähestymistavassa mallin parametrit alustetaan satunnaisesti ja päivitetään iteratiivisesti datan avulla, kunnes malli saavuttaa toivotun suorituskyvyn. Tämä prosessi voi olla aikaa vievä, kallis ja erittäin paljon resursseja vaativa, mutta se mahdollistaa mallin räätälöinnin erityisiin tehtäviin. (Smith 2023, Tatarek 2023.)

Näistä perusteknologioista kaikki voivat käyttää Zero-shot-oppimista eli käytännössä tällöin käytetään esimerkiksi isoa kielimallia kuten ChatGPT:tä, jossa voi valita käytettävän mallin GPT-3.5 ja GPT-4 välillä. RAG-tekniikka pystyvät hyödyntämään myös jopa pienemmätkin organisaatiot valmiiden tähän tarkoitukseen tehtyjen työkalujen avulla. Kun siirrytään mallin hienosäätöön tai jopa uuden mallin opettamiseen, tullaan alueelle, jossa pienten yritysten resurssit eivät enää riitä, koska teknologia vaatii osaamista, perehtymistä ja myös taloudellisia resursseja kehittää sekä ylläpitää omia järjestelmiä.

## 2.6 Kehotesuunnittelu ja mallin ohjeistus

Kehotesuunnittelu (Prompt Engineering) on tekniikka, jolla pyritään ohjaamaan tekoälyn toimintaa ja parantamaan sen tuottamia vastauksia. Kehote keskittyy erityisesti siihen, miten kyselyt ja komentosarjat laaditaan, jotta saadaan aikaan haluttu tulos. Hyvin suunnitellut kehotteet voivat auttaa mallia ymmärtämään paremmin kyselyn kontekstin ja tuottamaan tarkempia ja informatiivisempia vastauksia. (Reynolds & McDonell 2021)

Kehotesuunnittelu voi sisältää esimerkiksi kyselyn muotoilun optimointia, erilaisten alkusyötteiden kokeilemistä, esimerkkien antamista tai lisäparametrien käyttöä mallin ohjaamiseksi. Se voi myös tarkoittaa monimutkaisten kehoterakenteiden ja ketjujen luomista, jotta malli pystyy käsittelemään monivaiheisia tehtäviä tai integroitumaan muihin järjestelmiin (Trivedi et al 2022, Zou et al. 2023, Wang et al. 2023). Kehotesuunnittelu on ensimmäinen ja helpoin tapa ohjata kielimallin toimintaa. Toiseksi kielimalleille voidaan antaa omia ohjeita (usein kutsutaan englanninkielisillä termeillä: ChatGPT:ssä Custom Instructions tai Azure AI Studiossa System Message), jotka kielimalli huomioi vastauksen antamisessa.

Kehotteen ulottuvuuksia ovat esimerkiksi rooli (kuka kirjoittaa), kohde (kenelle kirjoitetaan), tavoite tai tarkoitus, tilanne ja konteksti, kirjoitustyyli ja tunnelma, tehtävä (tiivistä, analysoi, kirjoita, ideoi, luo, jne.), vaatimus, formaatti, odotettu tulos, askeleet ja muutamat esimerkit (1-5 kpl). Kontekstin kuvaaminen on tärkeää, jotta malli osaa toimia oikein ja käyttää oikeita käsitteitä ja ymmärtää käsitteet oikein. Seuraavassa on esitetty yksi esimerkki, joka valaisee kehotemäärittelyn tärkeyden. Esimerkki osoittaa, kuinka ChatGPT kuvaa käsitteen korko kahdella erilaisella tavalla esitetystä kysymyksestä riippuen. Kysymyksessä yksi on annettu kontekstiksi rakentaminen ja kysymyksessä kaksi se on jätetty pois, jolloin ChatGPT selittää koron kaikkein todennäköisimmällä käsitteellä eli korko on todennäköisin taloudessa. Vastauksessa yksi todennäköisin selitys on korkeusasema. Kielimalli tuo siten selitykseksi sanan, joka on todennäköisin annetulle kysymykselle.

Kysymys 1: Mitä rakentamisessa käytetty käsite korko tarkoittaa?

Vastaus 1: "Rakentamisessa käsite "korko" viittaa yleensä maanpinnan tai rakenteen korkeusasemaan suhteessa johonkin referenssipisteeseen tai -tasoon. Käytännössä se tarkoittaa sitä, kuinka korkealla jokin piste tai rakenneosa on esimerkiksi merenpinnan tasosta, kiintopisteestä tai jostakin muusta sovitusta referenssitasosta. Esimerkiksi kun puhutaan rakennuksen perustusten "korosta", tarkoitetaan sillä sitä, mihin korkeusasemaan perustukset tehdään suhteessa ympäröivään maastoon tai johonkin muuhun sovittuun referenssipisteeseen. Tämä käsite on erittäin tärkeä rakentamisessa, koska se määrittelee, miten rakennus sijoittuu ympäristöönsä ja varmistaa, että esimerkiksi vesi ei valu rakennuksen sisälle. Korkojen tarkka määrittely on myös keskeistä infrarakentamisessa, kuten teiden, siltojen ja muiden vastaavien rakenteiden yhteydessä." (ChatGPT-4 24.10.2023.)

Kysymys 2: Mitä korko tarkoittaa?

Vastaus 2: "Korko on hinta, jota maksetaan lainatusta rahasta, tai toisessa näkökulmassa, se on tuotto, joka saadaan sijoitetulle rahalle. Korko voidaan ilmaista prosentteina, ja se voi olla kiinteä tai vaihteleva. Esimerkiksi jos lainaat rahaa pankista, sinun on maksettava korkoa pankille sen rahan käyttämisestä. Toisaalta, jos sijoitat rahaa esimerkiksi talletustilille, pankki maksaa sinulle korkoa sille summalle, jonka olet sijoittanut. Korkoa lasketaan yleensä tietyn aikavälin, kuten vuoden, perusteella. Esimerkiksi 5% vuosikorko tarkoittaa, että 100 euron lainasta maksetaan vuoden aikana 5 euroa korkoa. Korkoja on erilaisia, kuten nimelliskorko, efektiivinen korko ja reaalikorko, ja niillä on eri tapoja ottaa huomioon esim. inflaatio tai muut kustannukset lainassa tai sijoituksessa." (ChatGPT-4 24.10.2023.)

## 2.7 Tekoälyn mahdollisuudet rakentamisessa

Rakennusala on tekoälyn käytössä jäljessä muuta teollisuutta. Rakennusteollisuus on myös yksi maailman vähiten digitalisoituja toimialoja, mikä vaikeuttaa nykyisten ongelmien ratkaisemista. Rakennusteollisuuden kasvu on rajoittunutta monimutkaisten haasteiden, kuten kustannusten ja aikataulujen ylitysten, terveyden ja turvallisuuden, tuottavuuden sekä työvoimapulan, vuoksi. Tekoäly on edistynyttä digitaalista teknologiaa, joka mullistaa parhaillaan muita toimialoja, kuten valmistusta, vähittäiskauppaa ja televiestintää. (Abioye et al. 2021, Karjalainen 2022 a ja b.)

Muun muassa "Tekoäly tutuksi" -hankkeen mukaan rakennusalalla tekoälyä käytetään vähemmän kuin teollisuuden muilla alueilla, vaikka potentiaalisia sovelluskohteita on paljon (LAB University of Applied Sciences 2022: Tekoäly tulee rakennustyömaille ja suunnitteluun). Suurin kompastuskivi tekoälyn käyttöönotolle on avoimen datan keräämisen ja saatavuuden haasteet, vaikka yritykset jo keräävätkin dataa. Datan tehokas hyödyntäminen edellyttää huolellista suunnittelua datan keruulle ja sen käsittelylle.

Tekoälyratkaisujen avulla voidaan parantaa tuottavuutta ja asiakastyytyväisyyttä. Tekoälyssä nähdään suuria mahdollisuuksia rakennusteollisuuden kehittämiseen ja tuotannon tehostamiseen. Rakennusalalla on hyödynnetty vain pientä osaa tekoälyn tarjoamista keinoista. Rakennusalalla tekoälyä on pidetty pitkään suurena lupauksena, jonka konkreettiset sovellukset ovat vielä harvassa ja jääneet vielä pilotteihin. On paljon odotuksia ja visioita, mutta käytännön toteutukset eivät ole vastanneet näitä toiveita. Rakentamisessa on käytännössä eletty jatkuvaa tekoälytalvea, mutta tuleeko nyt generatiivinen tekoäly muuttamaan rakennusteollisuutta merkittävästi? Alalla toivotaan nopeita tuloksia, jotta tekoälyn tarjoamat mahdollisuudet eivät jäisi jälleen hyödyntämättä, kuten on käynyt useita kertoja aikaisemmin. (Luukkonen 2023, Ala-Mutka 2023.)

Samoin Liu et al. (2021) toteavat, että rakennusala tuottaa runsaasti tietoa, mutta sen hyödyntäminen on vielä vähäistä ja ala on digitalisaation käytössä jäljessä

muihin teollisuuden aloihin verrattuna. He uskovat tekoälyn hyödyntämisen voivan tarjota merkittävää etua rakentamisen moniulotteisten ongelmien ratkaisussa (Liu et al. 2021, Eber 2019). Hooda, Kuhar, Sharma ja Verma (2021) ovat tutkimuksessaan todenneet, että tekoälyn soveltaminen parantaa työturvallisuutta rakennustyömailla seuraamalla työntekijöiden ja materiaalien liikkeitä ja sijainteja. Tutkimukset korostavat, että tekoälysovellusten käyttöönotto on tehokkain keino lisätä rakennusalailla tuottavuutta ja parantaa yhteistyötä. (Abioye et al. 2021, Xu et al. 2022.)

Tutkimuksissa on havaittu, että iso osa työajasta menee materiaalien ja kaluston etsimiseen. Esimerkiksi putkiasentajien työajasta hukka-aikaa oli 28 %, kirvesmiesten 23 % ja sähköasentajien 16 % (Seppänen et al. 2021). Hukka-aika oli tarpeetonta liikettä, asioiden etsiskelyä, uudelleen tekemistä ja odottamista. Vastaavia tuloksia ovat löytäneet muutkin tutkimukset eri tehtävistä (Seppänen et al. 2020). Tekoälyjärjestelmiä voitaisiin käyttää optimaaliseen resurssien allokointiin, aikataulun hallintaan, riskien arviointiin ja laadunvalvontaan, mikä johtaa lisääntyneeseen tuottavuuteen, parannettuihin turvatoimiin ja parantuneeseen kokonaisprojektin tehokkuuteen. (Abioye et al. 2021.)

Tekoäly, kun se integroidaan rakennuksen tietomalliin, parantaa rakennusten ja infrastruktuurin suunnittelua, rakentamista ja hallintaa luomalla ja hallinnoimalla fyysisten ja toiminnallisten ominaisuuksien digitaalisia esityksiä (Abioye et al. 2021). Kokeiluja on tehty viime vuosina. Esimerkiksi Sweco selvitti, miten koneoppimisen menetelmiä voisi hyödyntää rakennusten suunnittelussa. Kokeilussa ei vielä päästy niin pitkälle, että sovellutuksia olisi voitu ottaa tuotantoon. Kiradigi-hankkeen päättyessä menetelmät olivat pilotointivaiheessa. (Kiradigi 2018, Heiskanen 2018.)

Arkkitehtitoimistot ovat kokeilleet luovia tekoälymalleja muun muassa julkisivujen suunnittelussa ja lausuntojen kirjoittamisessa, mutta laajamittainen läpimurto on vielä saavuttamatta. Kokeilussa on ollut esimerkiksi tekstipohjainen ChatGPT ja kuvapohjaiset Dall-e ja Midjourney. Tekoäly kattaa korkeintaan kolmasosan arkkitehtityöstä. Arkkitehtipalvelun perustajaosakas ja arkkitehti Tero Wéman pitää

kokeiluja lupaavina: ”Tällä hetkellä se [luova tekoälymalli] ratkaisee kauneuteen liittyviä asioita, mutta se ymmärtää hyvin vähän kestävydestä ja käytettävyydestä.” Hyötyä voitaisiin saada, jos ei tarvitsisi käyttää niin paljon aikaa visualisointikuvien tekemiseen tai ohjelmisto antaisi useamman vaihtoehdon. Esimerkiksi nyt Archiganista saa yhden pohjaratkaisun. Lukkaraisen rakennusarkkitehti Lasse Tikkanen näkee kuitenkin tulevaisuuden seuraavasti: ”Joskus aikanaan siirryttiin kynästä, harpista ja viivoittimesta 2D-piirtämiseen, ja sitten 2D-piirtämisestä hypättiin 3D-mallintamiseen. Näkisin, että tekoäly on seuraava työkalujen muutos.”. (Kuokkanen 2023.)

Tekoäly voi automatisoida monimutkaisia prosesseja, tuottaa uusia oivalluksia ja tarjota tukea päätöksenteossa, pitää sisällään potentiaalin vaikuttaa merkittävästi rakentamisen johtamiseen. On kuitenkin elintärkeää varmistaa, että näitä järjestelmiä ruokkiva data on ajan tasalla ja viimeisimpien lakien ja määräysten mukaista, korostaen ihmisten arvioinnin ja panoksen tärkeyttä generatiivisen tekoälyn tehokkaassa hyödyntämisessä rakentamisen johtamisessa. Tekoäly tarjoaa rakennusosalalle huomattavan potentiaalin, joka odottaa vielä täyttä hyödyntämistä. Vaikka tietyt tekoälysovellukset ja robotit ovatkin jo löytäneet tiensä työmaille, ovat ne toistaiseksi harvinaisia. Etenkin generatiivisen tekoälyn kehitys herättää suuria odotuksia, sillä sen uskotaan voivan mullistaa rakennusteollisuuden toimintatapoja ja prosesseja syvästi.

## 2.8 Tekoäly työmaan koneissa ja laitteissa

Rakennusrobotiikka, jonka kehitys alkoi 1970-luvulla Japanissa, on edelleen kehitysvaiheessa rakennustyömaiden jatkuvasti muuttuvien olosuhteiden vuoksi. Vaikka robotit ovat vallanneet teollisuuden monilla haastavilla sektoreilla vuosikymmenten ajan, niiden läsnäolo rakennustyömailla on edelleen varsin harvinaista 2000-luvun teknologiaympäristössä. Robotiikan soveltaminen rakennussektorille kompastuu usein työmaiden dynaamiseen luonteeseen; ne eivät ole vain fyysisesti muuttuvia, mutta niiden olosuhteet – kuten sotku, esteet ja vaihtelevat sääolosuhteet – luovat haasteita ennustettavissa ja vakaisissa

ympäristöissä toimiviksi suunniteltujen robottien käytölle. Nyt kysymys kuuluukin, että tuoko tekoälyn kehitys parannusta robottien käytölle rakentamisessa?

Esimerkkejä rakentamisen robotiikasta:

- Siivousrobotit, kuten Pulurobotics Oy:n kehittämä Pulu M, navigoivat ja toimivat itsenäisesti moninaisten lisälaitteiden kanssa (Heinonen 2019).
- 3D-mallinnukseen perustuvat betonitulostimet, kuten Fimatec Oy:n kehittämä laite, kykenivät tuottamaan rakennuselementtejä työmaalla, mutta sen kehitys on lopetettu (Rissanen 2017, Ylönen 2019).
- Hitsausrobotit suorittavat monimutkaisia liitostöitä (Thomas & Thomas 2016).
- Yhdysvalloissa kehitetty muurausrobotti SAM100 parantaa tuottavuutta huomattavasti, mutta vaatii yhteistyötä muurarin kanssa (Seppänen 2017).
- Dronet ja automaattiset valvontarobotit, kuten SpotWalk, tehostavat työmaan valvontaa etänä, mikä säästää työnjohdon aikaa (HoloBuilder 2019).
- Rakennusrobotiikan kentällä on nähty myös telaketjuilla liikkuvia robottialustoja, jotka muistuttavat kaivukoneita. Nämä robotit pystyvät varastoimaan ja asettamaan raudoitustankoja tarkasti määriteltyihin paikkoihin, tehostaen raudoitustyötä merkittävästi (Thomas & Thomas 2016).
- Julkisivumaalaukseen ja betonitöiden automatisointiin on Japanissa kehitetty erikoistuneita robotteja, jotka nopeuttavat työprosesseja ja vähentävät fyysisen työn kuormittavuutta (Thomas & Thomas 2016).
- Japanissa käytetään myös etäohjattavia maansiirtokoneita turvallisuusriskien hallitsemiseksi, ja suunnitteilla on täysin autonomisia kaivinkoneita, jotka toimisivat suunnittelijan antamien ohjeiden mukaan, lisäten työmaiden tehokkuutta ja turvallisuutta (Heikkilä et al. 2019).
- Rakennustyömailla on otettu käyttöön useita robotiikkajärjestelmiä, jotka tehostavat työprosesseja. Esimerkiksi Leica iCON -järjestelmä mahdollistaa työmaan mallinnuksen ja mittaukset robottilaser-takymetrillä, joka automatisoi ja nopeuttaa mittauksia (Leica Geosystems 2023).



- Trimble Spot the Robot puolestaan mittaa ja kuvaa työmaan itsenäisesti, jopa yön yli, ja siirtää tiedot automaattisesti pilvipalveluun, josta projektiorganisaatio pääsee käsiksi tuloksiin (Trimble 2022, Brandom 2019).

Rakentamisrobotiikan kehitystä on ennakoitu jo pitkään, ja kasvua on odotettavissa tulevaisuudessakin. Toisaalta Valtioneuvoston selvityksen mukaan Suomen rakennusalan tuottavuuden kasvu robotiikan ja automaation ansiosta vuoteen 2030 mennessä on arvioitu olevan 0 prosenttia, mikä heijastaa rakentamisrobotiikan haasteellista tilannetta ja rakennusteollisuuden hitautta (Ventä et al 2018). Kuitenkin teknologian nopean kehityksen myötä on odotettavissa, että rakentamisrobotiikan käyttöönotto ja kehitys kiihtyvät maailmanlaajuisesti (Vaheri 2020). Näissä esimerkeissä tekoälyn osuus on usein siinä, että robotit osaavat liikkua itse ja päätellä reitit ilman ihmisen ohjausta.

## 2.9 Ennakoiva analytiikka ja riskienhallinta

”Jos tekoäly määrittäisi rakennushankkeen tilanteen automaattisesti otettujen valokuvien perusteella, aikatauluvalvonta voisi olla reaaliaikaista” sanoo Aalto-yliopiston rakentamisen tuotantotalouden professori Olli Seppänen (Huusko 2019). Koneoppimisalgoritmit voivat tarjota ennakoivaa analytiikkaa, joka on välttämätöntä mahdollisten ongelmien ennakointiin, turvallisuuden varmistamiseen ja päätöksentekoprosessien parantamiseen rakennusalan hallinnassa. Tekoälyllä tuetun järjestelmän kautta työmaa ja rakentamisen eri osapuolet saavat jatkuvasti ajantasaisista tilannekuvaa ilman työmaakäyntejä. Reaaliaikainen tilannekuva täsmentyy työmaaresurssien paikkatiedoilla, jota kertyy työmailta aika-, paikka- ja tehtäväsidonnaisesti. Tämä tieto on usein hajallaan eri järjestelmissä (Abioye et al 2021). Esimerkiksi Airfosite-järjestelmä parantaa työmaiden tuotannonohjausta ja laadunvalvontaa, kun järjestelmät hyödyntävät anturi- ja videoteknologiaa sekä tekoälyä (Aatsalo 2019).

Koneoppimiseen perustuvat tekoälysovellukset mahdollistavat projektien viivästymisriskien ennustamisen ja määritellyn työvaiheen viivästymisen

ennakoivan havainnoinnin, mikä on ollut tutkimuskohteena muun muassa Hertfordshiren ja Salfordin yliopistoissa Britanniassa (Egwim 2021). Peltokorven et al (2023) tutkimuksen mukaan viivästymisen juurisyyt, kuten työvoiman ja materiaalien saatavuus, ovat keskeisiä riskienhallinnan kohteita. Tietomalleihin integroitu riskianalyysi mahdollistaa vuorovaikutteisen riskien tarkastelun ja tekoälyn avulla voidaan tätä prosessia myös automatisoida, mikä tehostaa ennakoivaa riskienhallintaa rakennusprojekteissa. (Mikkola 2021, Abioye et al. 2021.)

Projektinjohtourakoitsija on vastuussa hankkeen aikataulusta, laadusta, taloudesta ja työturvallisuudesta. Talousjohtamisen osana hän tuottaa ja jakaa taloustietoa, tukee liiketoiminnan johtamista ja tilaajan päätöksentekoa. Tutkimuksessa, joka toteutettiin Fira Oy:n kanssa, havaittiin korjausrakentamisen yksikössä tarve kehittää talousjohtamisen prosesseja. Ongelmia aiheutti kustannustiedon hajautuminen eri järjestelmiin ja hukan syntyminen tietojen käsittelyssä. Tutkimuksessa talousjohtamisen prosessit analysoitiin ja tunnistettiin kehityskohteet, kuten hankintakustannusten ennustaminen ja ostolaskujen käsittely. Haastatteluissa etsittiin ratkaisuja ja tunnistettiin järjestelmien rajoitteita. Koneoppimisen hyödyt eivät olleet selvät, mutta automatisointi nähtiin potentiaalisena parannuskohteena. Tutkimuksen pohjalta luotiin talousjohtamisen tavoitetilä, joka auttaa tunnistamaan prosessien välisiä riippuvuuksia ja kehittämään uusia järjestelmiä. Tulokset tarjoavat pohjan myös yritysjohton ja tilaajan raportoinnin automatisoinnille ja talousjohtamisen tason seurannalle. (Pokki 2023.)

Rakennustyömaiden päivittäiset riskit ja niiden hallinta on olennainen osa työnjohtajien toimintaa. Esimerkiksi Autodeskin BIM 360 IQ -hanke on keskittynyt parantamaan näiden riskien hallintaa tekoälyn avulla, tunnistamalla ongelmien prioriteetit automaattisesti. Tekoäly kykenee analysoimaan rakennusalan kieltä ja ennakoimaan mahdollisia riskejä, kuten vesivahinkoja. Se mahdollistaa ongelmien nopeamman tunnistamisen ja käsittelemisen sekä riskipisteytyksen antamisen alirakoitsijoille, arvioiden heidän aiheuttamaansa riskin määrää projektissa. Turvallisuusongelmien osalta sovellus automatisoi vaaratekijöiden tunnistamisen

ja auttaa turvallisuuspäälliköitä kohdentamaan toimensa tarkemmin. Lisäksi työkalut käyttävät tekoälyä rakennustyömaan kuvien analysointiin, auttaen paremmin hallitsemaan ja hyödyntämään kuvamateriaalia turvallisuuden ja tehokkuuden parantamiseksi. (Rajagopal 2018.)

Tekoäly voi vähentää riskejä tunnistamalla, milloin tietyt tuotteet tai materiaalit ovat yhteensopimattomia tietyissä järjestelmissä suunnittelun alkuvaiheissa. Lisäksi järjestelmät voivat hälyttää suunnittelijoita tuotteen ominaisuuksista tai saatavuudesta, varmistaen, että he ovat ajan tasalla viimeisimmistä tuotetiedoista, mikä on ratkaisevaa toimitusketjun häiriöiden aikana (Haworth. 2023).

Verkostopohjaista epävarmuusverkkomallia eli UNM-menetelmää (Uncertainty network modeling) on kehitetty vastaamaan rakennusalan tarpeita hallita monimutkaisuutta ja riskien verkottumista paremmin, ja se tarjoaa käytännöllisen pohjan riskienhallintamenetelmien jatkuvalle kehittämiselle. Malli visualisoi riskit, epävarmuudet ja niiden keskinäiset yhteydet muuttaen hankkeen sidosryhmien hiljaista tietoa eksplisiittiseksi ja järjestelmälliseksi projektin epävarmuuden ja riskin rakenteeksi. (Nyqvist et al. 2023.)

## 2.10 Generatiivinen tekoäly rakentamisessa

Generatiivinen tekoäly on nousemassa merkittäväksi teknologiaksi rakennusalalla, vaikka se onkin vielä varhaisessa vaiheessa. Tässä on joitakin viimeaikaisia kehityksiä generatiivisen tekoälyn alueella. Etelälahti (2021) mukaan tekoälysovellusten tehokas hyödyntäminen projektin asiakirjojen laadinnassa edellyttää kattavaa viitedataa, josta tekoäly voi muodostaa halutunlaisia asiakirjoja. Rakennushankkeiden tekstiasiakirjat ovat usein rakenteeltaan samankaltaisia, mikä luo vahvan perustan tekoälyn käytölle. Lisäksi, kun asiakirjojen viitteet kuten lainsäädäntö ja ohjeistukset ovat saatavilla verkossa, luodaan hyvät edellytykset asiakirjatyön automatisoinnille, mahdollistaen data-arkkitehtuurin kehittämisen.

Yli 80 vuotta toiminut kiinteistö- ja rakentamisalan RT-kortisto hyödyntää nyt ChatGPT-tekoälyassistenttia tiedonhaussa, mikä on yksi ensimmäisistä suomalaisista liiketoiminnan ydinaloille suunnatuista ChatGPT-sovelluksista. RT-kortisto, joka sisältää laajasti kiinteistö- ja rakentamisalalla käytettävää, ammattilaisten laatimaa tietoa, ottaa käyttöön tekoälyassistentin parantaakseen tiedonhaun nopeutta ja tehokkuutta. Tämä merkitsee merkittävää edistysaskelta RT-kortiston käytössä. Tekoälyassistentin avulla käyttäjät voivat keskustella ja hakea tietoa RT-kortiston sisällöstä lähes samalla tavoin kuin ihmiseltä, mikä nopeuttaa ja tarkentaa tiedon löytämistä. (Tekoäly uudistaa rakentamisen ammattilaisten keskeisen tietolähteen RT-kortiston käyttöä. Rakennustieto 2023.)

Generatiivinen tekoäly merkitsee käännekohtaa rakennusten suunnitteluprosessissa. Se mahdollistaa tehokkuuden lisäämisen, parannetun 3D-mallinnuksen ja parannetut käyttäjäkokemukset. Hyödyntämällä olemassa olevia tietokantoja ja tuotetietoja, generatiivinen tekoäly voi nopeuttaa rakennussuunnitteluprosessia, auttaen arkkitehteja ja suunnittelijoita visualisoimaan suunnitelmia, sisällyttämään kestävämpiä materiaaleja säännösten mukaisesti ja parantamaan rakennusten tehokkuutta niiden elinkaaren aikana. (Haworth 2023.)

Tekoälyn ymmärrys määräyksistä voisi tuoda suunnitteluun lisähyötyä. ChatGPT on auttanut Arkkitehtipalvelussa lausuntojen kirjoittamisessa, mutta ihmisen täytyy vielä tarkistaa ja muokata lopputulosta. Pienimuotoisia tekoälykokeiluja on tehty myös Lukkaroisessa ja esimerkiksi Archigania on nopeuttanut huoneistopohjien suunnittelua, mutta se tuottaa nyt vain yhden ratkaisun kerrallaan. Generatiivinen tekoäly pystyy luomaan uusia tuotoksia, kuten tekstiä ja kuvia, mutta arkkitehdit eivät usko tekoälyn korvaavan arkkitehtien työtä lähitulevaisuudessa. Teknologia voi tukea suunnittelua, mutta suunnittelijan vastuu lopputuloksesta säilyy. (Kuokkanen 2023.)

Abioye et al (2021) tutkimuksen mukaan puheen ymmärtämisen ja suullisten ohjeiden tärkeys korostuu eritoten rakennustyömaiden laadun kannalta. Kun tämä yhdistetään koneoppimiseen, lohkoketjuteknologiaan, IFC-tietoja hyödyntävään rakennustiedon mallinnukseen (BIM) sekä robotiikkaan, voidaan saavuttaa

merkittäviä hyötyjä materiaalitoimitusketjujen hallinnassa ja työturvallisuudessa. Kielityökalut, kuten luonnollisen kielen käsittely (NLP), ovat merkittävässä roolissa tuen ja asiakaspalvelun ratkaisujen ja vasteaikojen parantamisessa. Esimerkiksi generatiivinen tekoäly voi auttaa hankkimaan oikeat tuotteet ja materiaalit projektille. Työkalut voivat vähentää tutkimusaikaa, ehdottaa parhaita tuotevastineita ja vastata kysymyksiin tuotteen suorituskyvystä. Se auttaa myös tunnistamaan yhteensopimattomat tuotteet tai materiaalit tietyille järjestelmille suunnitteluvaiheen alkuvaiheessa, vähentäen kalliin uudelleen tekemisen tarvetta myöhemmin (Haworth 2023). Generatiivinen tekoäly, joka luo malleja datan, kuvien tai tekstin generoimiseksi olemassa olevista datalähteistä, lupaa joukon innovatiivisia ratkaisuja rakennusmarkkinoiden toimintojen tehostamiseksi (Pat 2023).

## 2.11 Dokumentointi työmaalla, työmaakatselmus ja työmaapäiväkirja

Työmaan dokumentointi sisältää kaikki ne alueet, jotka ovat välttämättömiä sopimusten, asiakkaiden, yhteistyökumppaneiden vaatimusten tai lainsäädännön ja asetusten, kuten rakennustyön turvallisuutta koskevien määräysten, noudattamiseksi (Valtioneuvosto 738/2002, Kankkunen 2021). Dokumentointi on keskeisessä roolissa tiedon tallentamisessa ja jakamisessa, ja se on välttämätön väline päätöksenteon selkeyden ja yhteisymmärryksen takaamisessa. Projektit edellyttävät dokumentoinnin tehokasta hyödyntämistä edistymisen seurantaan, oppimiseen aiemmista virheistä ja tulevien hankkeiden suunnittelun parantamiseen. Rakennustyömailla dokumentoinnin merkitys korostuu entisestään, sillä se on olennainen tietojen säilyttämisen, jakamisen ja kollektiivisen muistin kannalta. (Salmi 2016, Lappalainen et al. 2021.) Dokumentointi on rakennustyömaan toiminnan selkäranka, joka mahdollistaa projektin sujuvan etenemisen, turvallisuuden ja laadunvarmistuksen sekä myös paremman tuottavuuden (Kiinteistölehti 2021, Lappalainen et al. 2021).

Työmaapäiväkirja on jokapäiväinen työkalu, joka tallentaa työmaan tapahtumat ja toimii keskeisenä viestintävälineenä eri osapuolten kesken. Yhdessä työmaa-

katselmukset, työmaakokousten pöytäkirjat ja työmaapäiväkirja muodostavat kattavan dokumentointijärjestelmän, joka tukee projektin hallintaa, laadunvarmistusta sekä vastuu- ja turvallisuuskysymysten selvittämistä työmaalla. (RT 16-10660 YSE 1998.)

Yleisten sopimusehtojen mukaan, ellei toisin sovita, työmaan johtovelvollisuuksista vastaavan urakoitsijan on huolehdittava työmaapäiväkirjan pitämisestä. Päiväkirjaan kirjataan päivittäin kaikki työhön liittyvät tiedot ja tapahtumat. Lisäksi päiväkirjaan on pyydettyessä merkittävä kaikki tilaajan, viranomaisen sekä työmaan urakoitsijan, asiantuntijan tai tavarantoimittajan esittämät huomautukset työmaasta. Työmaapäiväkirjan pitäjän on varmistettava, että kaikki päiväkirjassa olevat huomautukset on saatettu asianomaisten osapuolten tietoon. Päiväkirja on myös esitettävä työmaan valvojalle, joka kuittaamalla vahvistaa saaneensa tiedon päiväkirjan sisällöstä. Erikseen sovittaessa myös muut sopijapuolet voivat olla velvollisia pitämään työmaapäiväkirjaa. Tämä järjestely varmistaa, että kaikki työhön liittyvät tärkeät tiedot ja huomautukset dokumentoidaan ja kommunikoidaan asianmukaisesti kaikkien osapuolten kesken, mikä edistää työn sujuvuutta ja laadunhallintaa työmaalla. (RT 16-10660 YSE 1998 75 § Työmaapäiväkirja ja siihen tehtävät huomautukset.)

Työmaapäiväkirja voi toimia myös tarkastusasiakirjana, johon kirjataan olennaiset asiat, jotka varmistavat hankkeen toteutuksen rakentamista koskevien säännösten ja määräysten mukaisesti. Tarkastusasiakirjassa voi olla tarkastusmerkinnät sisältävä työmaapäiväkirja, työmaan tarkistuslista tai erillinen lomakkeisto. (RT 10-11255 (LVI 03-10602, KH 90-00630).)

Työmaakatselmukset ovat välttämättömiä toimenpiteitä työmaan edistymisen seuraamiseksi. Katselmuksilla varmistetaan töiden suorittaminen suunnitelmien ja määräysten mukaisesti. Ne auttavat varmistamaan rakennusprosessin ja lopputuloksen laadun ja turvallisuuden sekä havaitut ongelmat ja puutteet tulee dokumentoitua (RT 103171). Laaduntarkastus urakoitsijoiden, suunnittelijoiden ja viranomaisten välillä suoritetaan usein mallikatselmuksen ja vastaanotto-tarkastuksen yhteydessä. Näissä katselmuksissa sopimusosapuolet tarkastelevat

työn jälkeä ja esittävät näkemyksiään tehdyn työn laadusta. Osakohtaisissa tarkastuksissa arvioidaan tehtyä työtä yksityiskohtaisemmin. Katselmuksissa ja tarkastuksissa dokumentoidaan työn jälki ja kirjataan havaitut ongelmat ja puutteet sekä osallistuvien henkilöiden tiedot, tarkastuksen ajankohta ja puutteiden korjaamisen viimeinen mahdollinen ajankohta. Katselmusdokumentointi mahdollistaa myös erimielisyyksien selvittämisen ja sovitut toimenpiteet, ja se on myös tärkeää urakoitsijan vaihtuessa. (Ympäristöministeriö 2015, Nevala 2015.)

Rakentamisen aikaiset pakolliset katselmuksiset ja tarkastukset on määritelty rakennusluvassa. Katselmuksissa tarkastetaan, onko kaikki työvaiheen vaatimat toimenpiteet, kuten tarkastukset, selvitykset ja mahdolliset korjaukset, suoritettu asianmukaisesti. Viranomaisen voi määrätä tarvittavat toimenpiteet, mikäli puutteita tai virheitä havaitaan. Vaikka rakennusvalvontaviranomainen suorittaa rakennustyön aikaisia viranomaiskatselmuksia, ei katselmusten tarkoituksena ole taata rakentamisen kelvollisuutta yksityiskohdissaan, vaan enemmänkin varmistaa, että määräyksiä ja suunnitelmia on noudatettu (Ympäristöministeriö 2015). Erityisesti seurantakatselmuksissa sovitaan seuraavan seuranta-katselmuksen ajankohta, käydään läpi ja tarkastetaan tulevien ja sen hetkisten työvaiheiden suunnitelmia, ja tehdään tarvittaessa suunnitelmiin muutoksia. Kaikkien vastuuhenkilöiden tulee allekirjoittamalla hyväksyä, että tarkastetut työvaiheet on suoritettu suunnitelmien mukaisesti, ja edellisessä kokouksessa havaitut puutteet on korjattu. Katselmuksien avulla rakennusprojektin hallinta ja seuranta on järjestelmällistä, ja se tukee projektin onnistunutta läpivientiä sekä laatutavoitteiden saavuttamista. (Ympäristöministeriö 2015.)

### **3 Tutkimusasetelma**

#### **3.1 Esitutkimus ja tutkimuskohteen valinta**

Tutkimuksen ensimmäinen osa suoritettiin touko-elokuussa 2023. Ensimmäinen osa käsitti haastattelut ja ryhmäkeskustelut Admicom-konsernissa sekä rakennusurakoitsijoiden ja muiden rakentamisen sidosryhmien kanssa. Yhteensä tähän esitutkimukseen on osallistunut 31 henkilöä seuraavista organisaatioista:

Rakennus Grahn Oy, Admicom Oyj, Fimpec PMO Oy, ESP yhtiöt, Heikkinen Oy, Sähkökamut Oy, Aalto-yliopisto, Result / Pro cio Oy, SRV Oyj, Hillava Oy, Tocoman Oy ja Admicom Finland Oy.

Haastattelujen perusteella nousi esiin monia käyttötapauksia, joissa rakennusprojektien johtamista voidaan kehittää tekoälyn avulla. Nämä mahdollisuudet ulottuvat suunnitteluvaiheesta aina työmaan johtamiseen ja urakan sekä yrityksen tuloksen perusteelliseen analysointiin saakka. Tekoälyn soveltamisen potentiaali on merkittävä koko rakentamisen arvoketjussa ja arvoverkossa, tarjoten useita mahdollisuuksia prosessien ja toiminnan tehostamiseen.

Potentiaalisia tekoälyn kehittämisen kohteita rakentamisessa ovat mm.

- suunnittelu
- laskenta
- tukipalvelut
- viestintä
- kirjanpito
- neuvontapalvelut
- kielenkääntäminen
- dokumentointi
- ennakointi.

Tässä tutkimuksessa päätin keskittyä työmaan johtamiseen työnjohdon näkökulmasta ja tarkemmin sanottuna työmaan raportointiin. Valinta perustui siihen, että aihe oli tutkimuksen puitteissa riittävän rajattu ja data saatavilla sekä kerättävissä suhteellisen helposti. Monet listatuista kehityskohteista olisi edellyttänyt syvällisempää datan määrittelyä ja jalostamista sekä ongelman perusteellisempää ymmärrystä. Tutkimus keskittyi työmaan dokumentointiin, joka on laajalti käytetty eri muodoissa, kuten työmaapäiväkirjoissa, katselmuksissa, pöytäkirjoissa ja kuntotutkimuksissa. Kolmanneksi kohteen valintaan vaikutti laajojen kielimallien nopea kehittyminen ja uuden teknologian mahdollisuus tarjota työkaluja ideoiden nopeaan testaamiseen.



Haastatteluiden kautta tuli idea dokumentoinnin kehittamisestä puhumalla. Samoin tuli ilmi myös se, että tälläkin hetkellä on käytössä puheesta tekstiksi -tekniikkaa, mutta useamman haastatellun mielestä se on huonosti toimivaa, kun puhe muuttuu tekstiksi reaaliaikaisesti ja tekstiin tulee paljon virheitä. Toiseksi suoraan puheesta tekstiksi on ongelmallinen, koska silloin pitää pystyä suoraan puhumaan juurikin se, mitä tekstin haluaa olevan. Työmaalla kesken katselmuskierroksen on vaikea keskittyä puhumaan kirjoitettua raportointitekstiä. Tämä koettiin myös hankalaksi työmaakierroksilla, jolloin dokumentaatio on käytännössä tehtävä ainakin osaksi loppuun työmaatoimistolla. Dokumentoinnissa työllisti erityisesti tekstin kirjoittaminen alusta lähtien ja kuvien käsittely (merkinnät, muokkaus, siirrot ja asettelu dokumenttiin). Haastattelujen perusteella dokumentin tekeminen ja koostaminen lisäsi kokonaisuudessaan tarvittavaa aikaa luokkaa 50 % eli 1 tunnin työmaakierros tarkoittaa 30 minuuttia dokumentointia tai yhden päivän kierros tarkoittaa puolen päivän dokumentointia. Laajemmissa dokumentoinneissa kuten kunto- tai vahinkokartoituksissa dokumentin tekeminen vie yhtä paljon aikaa kuin itse kierroksen tekeminen ja tiedon kerääminen rakennuksesta.

Haastatteluissa tuli esille erilaisia keinoja tehdä dokumentointia, ja uusia teknologioitakin oli jo kokeiltu. Puheissa ja artikkeleissa on vilahdellut dronet ja työmaalla kiertävät robotit, jotka dokumentoivat itsenäisesti työmaan edistymistä. Toisaalta nämä koettiin vaikeaksi hyödyntää erityisesti korjausrakentamisen kohteissa, joissa ovet ja ikkunat ovat pääsääntöisesti kiinni ja remontoitavat tilat on esimerkiksi pölynhallinnan takia osastoitu. Tällöin dronen tai robotin on vaikea liikkua suojausten ja ovien läpi. Toiseksi remontti edistyy jatkuvasti, jolloin taas kiinteästi asennettavia kameroita pitää jatkuvasti siirtää. Yhteenvedettynä tässä tutkimuksessa keskitytään sekä puheesta tekstiksi -teknologian hyödyntämiseen että puhekielestä raportiksi ratkaisuun työmaan raportoinnissa tekoälyn avulla.

### 3.2 Tutkimuksen osa 1: Ääninäytteiden käsittely tekstiksi

Tutkimuksessa tehtiin kaksi erilaista ääninäytettä samasta katselmuksesta, josta pohja-aineistona on alunperin tehty työmaan katselmusraportti Kotopron ohjelmistolla. Työmaakatselmuksen äänite tehtiin Rakennus Grahn Oy:n työmaalla 10.10.2023. Läsä olivat vastaava työnjohtaja, työpäällikkö ja allekirjoittanut tutkimuksen tekijänä. Katselmuksesta oli materiaalina sekä alkuperäinen kirjallinen raportti että äänite, jossa käytiin läpi samat kohdat kuin alkuperäisessä työmaakatselmuksessa pääsuunnittelijan ja Museoviraston edustajan kanssa. Alkuperäinen työmaakerros kesti kaikkiaan 1,5 tuntia, koska suojelukohteessa pohditaan ja keskustellaan tehtävistä ratkaisuista paljon enemmän. Tämä uudelleen toistettu työmaakerros, jossa käytiin kolmessa kerroksessa ja yhteensä katselmoitiin viisi tilaa, kesti noin 11 minuuttia. Tämän lisäksi pöytäkirjan ja työmaakerroksen pohjalta on tehty äänite toimisto-olosuhteissa.

Tutkimuksessa muodostettiin analyysiä varten yhteensä kolme äänitiedostoa.

1. Työmaalla tehdyt äänitteet: Tästä käytetään nimitystä **työmaaäänite**. Äänitteitä tehtiin kaksi. Työmaakerroksen tallentavista laitteista yksi oli vastaavalla työnjohtajalla (työmaaäänite 2) ja toinen oli minulla eli tutkijalla (työmaaäänite 1).
2. Toimistossa tehty äänite: Työmaakerroksen ja katselmusraportin sisällöstä tein tekstin, jonka puhuin toimistossa äänitiedostoon. Tämä kolmas ääninäyte on noin 12 min. Äänite tehtiin toimistossa puhekielellä, ja siinä pyrittiin kuvailemaan ympäristöä tarkemmin kuin työmaalla tehdyssä äänitteessä. Tämä toimistoäänite vastaa sisällöltään alunperin tehtyä ja käsinkirjoitettua katselmusraporttia. Toimistoäänitteeseen tein lisää lisäannotaatiota eli lisäsin sisältöä tarkentavaa jäsentelyä ja kuvailua. Tästä äänitteestä käytetään jatkossa nimitystä **toimistoäänite**.

Taulukko 1. Tutkimuksen ääninäytteiden ominaisuudet

| Ominaisuus            | Työmaaäänite   | Toimistoäänite  |
|-----------------------|--|---|
| Ympäristö             | Äänitetty aidossa ympäristössä työmaalla, jossa ei ollut samaan aikaan menossa äänekkäitä työvaiheita  | Äänitetty toimistossa, jossa oli hiljaista  |
| Puhekielisuus         | Kolmen henkilön keskustelu (puhekieltä).   | Yhden henkilön äänitetty kertomus. Harkittua ja rauhallisesti puhuttua puhekieltä.                      |
| Etäisyys mikrofonista | Mikrofoni oli yhden osallistujan kädessä, jolloin muut olivat yleensä 1-3 m päässä mikrofonista  | Mikrofoni oli pöydällä lähellä puhujaa noin 20-30 cm etäisyydellä                                       |
| Sisällön tarkkuus     | Keskustelu oli normaalia keskustelua, jossa ei erityisesti kuvailtu ympäristöä. Tarkasteltavia kohteita osoitettiin sormella tyyliin "tuolla", joka ei äänitteessä kerro, mitä sillä tarkoitetaan. | Sisällössä pyrittiin tarkempaan sisällön kuvailuun, esim. missä oltiin ja mitä käsiteltiin tai nähtiin. |

### 3.3 Tutkimuksen osa 2: Kielimallilla puhetekstistä raportiksi

Tutkimuksen päätavoitteena oli tutkia, miten puheesta voidaan muodostaa kirjallinen raportti. Tutkimuksen toisessa osassa keskityttiin puhutun tekstin muuntamiseen selkeäksi ja luettavaksi raportiksi kirjoitetussa muodossa. Tämän tekstin muokkauksen toteuttamiseen hyödynnettiin kielimalleja. Tässä tutkimuksen osassa keskitytään kehittämään ja parantamaan kehotteen toimivuutta.

Tavoitteena on muokata puheesta saatava teksti halutunlaiseksi

työmaakatselmusraportiksi, joka vastaa tai ylittää alkuperäisen raportin laadun.

Tutkimuksessa tavoitellaan iteratiivisten kokeilujen kautta parhaita tapoja vaikuttaa raportin sisältöön ja muotoon.

## 4 Toteutus osa 1: Transkriptio Whisper-mallilla

Tutkimuksessa käytettiin OpenAI:n Whisper-mallia (20230915 Whisper Preview) transkription tekemiseen (Microsoft 2023a). Transkriptio tehtiin Microsoftin Azure

AI Studiolla ja Batch speech to text version 3.1:llä (Microsoft 2023b). Audion kieleksi oli asettu Suomi (Finnish).

Model: 20230915 Whisper Preview

Profanity filter mode: Masked

Language: Finnish (Finland)

Punctuation mode: DictatedAndAutomatic

Speaker diarization: No

Word level timestamp: No

Taulukko 2. Tutkimuksen äänitteiden ja transkription kestot ja koot

|                             | Työmaaäänite       | Toimistoäänite     |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|
| Kesto                       | 10 min 53 sekuntia | 12 min 39 sekuntia |
| Sanoja                      | 830                | 911                |
| Merkkejä                    | 5910               | 7320               |
| Merkkejä ilman välilyöntejä | 5083               | 6418               |

Transkription yhteydessä tutkittiin sisällölle ja lopputulokselle merkittäviä virheitä, jotka syntyvät, kun puhe muutetaan tekstiksi virheellisesti. Virheitä arvioitiin niiden merkityksen perusteella lopputulokselle. Lisäksi tarkasteltiin, kuinka yleinen oikolukuohjelma tunnistaa ja korjaa virheitä. On myös mahdollista, että puhuja lausuu sanat virheellisesti, jolloin transkriptio on teknisesti oikein, mutta sana itsessään on väärä. Oikolukutyökaluna käytettiin Google Docsin oikolukua, jota ei ole opetettu tunnistamaan alan erikoissanastoa.

Transkription laatua tutkitaan yleensä laskemalla virheellisten sanojen määrää eli sanavirheaste (Word Error Rate), jossa lasketaan 1) onko jokin sana korvautunut toisella, 2) onko lisätty sana, jota ei ole sanottu tai 3) onko sana poistunut transkriptiossa. Tässä ei nähty tarpeelliseksi tehdä näin tarkkaa sanatason analyysiä transkriptiosta, koska se ei anna kuvaa siitä, miten hyvä transkriptio on lopputuloksen kannalta, kun transkriptio on muokattu kielimallin avulla raportiksi.

Sanavirheaste on toimiva mittari, kun mitataan esimerkiksi eri mallien ja ohjelmistojen paremmuutta. Tässä taas tutkittiin, miten transkriptiosta pitää minimissään korjata, jotta haluttu lopputulos saadaan generoitua.

Tähän tutkimukseen määritettiin sanavirheanalyysiä varten oma luokittelu, jossa analysoitiin virheitä seuraavista asioista:

- Isot merkitykselliset virheet: merkitykselliset sanat ovat niitä, jotka sisällön puolesta ovat oleellisia kuten rakennuksen osat, tehtävät, teonsanat, päivämäärät, mitat ja vastaavat.
- Isot merkitsemättömät virheet: virheet ovat merkittäviä, mutta sisältö ei ole raportin kannalta merkittävää.
- Toistuvat yhden kirjaimen virheet: toistuvat virheet ovat useasti toistuvia samanlaisissa sanoissa. Nämä ovat virheitä, jotka oikoluku löytää lähes varmasti esim. palaisimet => valaisimet tai viämäri => viemäri.
- Sanojen yhdistämiset tai yhdyssanan sanat ovat erillään: Sanojen yhdistämisellä tarkoitetaan sitä, että sanat ovat oikein, mutta ne on liitetty toisiinsa.
- Erisnimien virheet: miten tunnistaa henkilöt, kadunnimet ja paikannimet
- Numeroiden virheet: tunnistaa projektinumerot, kappalemäärät, korkeudet, jne.
- Virheitä yhteensä: lasketaan yllä olevat virheet yhteen

#### 4.1 Työmaaäänitteen transkriptio

Työmaaäänitteessä 1 havaittiin seuraavia virheitä:

- Isot merkitykselliset virheet: 11 kpl. Raportissa väärin olivat seuraavat sanat: 1. ikkunasuojelumiset/ikkunasuojaukset, 2. sävimallit/sävymallit, 3. alakatarakenteita/alakattorakenne, 4. pilahdista/pilarista, 5. roilous/roilotus,

6. kuilui/kuilu, 7. purattu/purettu, 8 ja 9. aseattu/asennettu (kaksi kertaa),  
10. karmet/karmit ja 11. alakata/alakatto

- Isot merkitsemättömät virheet: 21 kpl. Nämä olivat pääosin jutustelua, jossa puhuttiin päällekkäin. Työmaakerros sisälsi jutustelua, josta tuli paljon virheitä, mutta ne eivät olleet merkityksellisiä sisällön kannalta.
- Toistuvat yhden kirjaimen virheet: 8 kpl esim. reike/reikä, suikalle/suikale, ravintolasallissa/ravintolasalissa, palaisimet/valaisimet ja viämäröinti/viemäröinti.
- Sanojen yhdistämiset tai yhdyssanan sanat ovat erillään: virheellisesti yhdistettyjä sanoja ei ollut tai virheellisiä yhdyssanoja.
- Erisnimissä oli virheitä 3 kpl: Joman/Öhman, Alavutka/Ala-Mutka ja museorioistan/museoviraston.
- Virheet numeroissa: 0 kpl

Yhteensä virheellisiä sanoja oli 43 kpl ja virheprosentti noin 5 % (43/830).

Transkriptio käsiteltiin oikoluvun kautta, joka löysi ja ehdotti oikeaa vastausta 14 sanalle (33 % vääristä sanoista) ja väärin 8 sanan kohdalla (19 % vääristä sanoista ehdotettiin korjattavaksi väärällä). Yhteensä virheellisiä sanoja oikoluku löysi 22 kpl (51 % virheellisistä sanoista).

Taulukko 3: Työmaaäänite 1:n virheelliset sanat

|                                    | Virheiden määrä |
|------------------------------------|-----------------|
| Isot merkitykselliset virheet      | 11              |
| Isot merkitsemättömät virheet      | 21              |
| Toistuvat yhden kirjaimen virheet  | 8               |
| Sanojen yhdistämiset ja yhdyssanat | 0               |
| Erisnimet                          | 3               |
| Numerot                            | 0               |
| Yhteensä                           | 43              |

Havaintoja työmaaäänitteen 1 transkriptiosta:

- Työmaaäänite 1 pystyttiin muuttamaan tavoitteen mukaiseksi tekstiksi noin 95 % tarkkuudella, jota voidaan pitää melko hyvänä työmaaolosuhteissa ja huomioiden, että katselmus oli lisäksi keskustelutyyppinen.
- Sisällölle merkityksellisiä isoja virheitä oli 11 kpl (26 % vääristä sanoista). Nämä virheet olivat kaikki sellaisia virheitä, jotka ihminen kuitenkin pystyy ymmärtämään oikein.
- Katselmoinnissa osoitetaan asioita ”tuolla” ja ”tässä”, jolloin kielimallille ei tule tarkkaa kuvailua tilanteesta, joten raportin muodostaminen kyseisestä asiasta on vaikeaa.
- Transkriptio ei osaa tehdä laadukasta tekstiä puheesta, jos puhutaan samaan aikaan. Transkriptiosta tulee aivotonta mössöä.
- Erisnimissä tulee paljon virheitä.
- Transkriptio muodostaa oikean tulkinnan, mutta sana voi olla kieliopillisesti väärin esim. sanoo puheessa viämäri ja oikea sana on viemäri.

Työmaaäänitteet 1 ja 2 tehtiin kahdella eri laitteella, jolloin nämä kaksi eri äänitettä eroavat jonkin verran toisistaan. Työmaaäänitteen 2 transkriptio tehtiin Whisper-mallin 26.10.2023 versiolla. Työmaaäänite 1 tehtiin ensin Whisper-mallin versiolla

15.9.2023. Jotta vertailussa käytettiin samaa versiota, tehtiin myös ensimmäinen transkriptio uudestaan 26.10.2023 mallilla, joka antoi täsmälleen saman transkription kuin 15.9.2023 päivätty malli. Täten kaksi työmaaäänitteen transkriptiot ovat vertailukelpoisia, kun ne on tehty samalla versiolla. Kaksi samaan aikaan otettua työmaaäänitettä (eri laitteet, joista toisen mikrofonin on lähempänä puhujaa ja toisen vähän kauempana, noin 1-2 metriä) tuottaa transkriptiosta jonkin verran eroja.

Havaittuja eroja työmaaäänitteissä 1 (kauempana dokumentoijaa) ja 2 (lähempänä dokumentoijaa):

- Yleisesti transkriptiot ovat melko samantasoisia, mutta eroja on kuitenkin jonkin verran. Isoja virheitä on yllättäen enemmän, kun mikrofonin on lähempänä (16 kpl versus 11 kpl). Yleisesti virheet esiintyvät suurelta osin samoissa sanoissa eli pääosin virheet eivät johdu siitä, kenellä mikrofonin on.
- Pienempiä virheitä on vain vähän vähemmän, kun mikrofonin on lähempänä puhujaa.
- Yhteensä tämän analyysin mukaisia virheitä oli lähempänä olevalla mikrofonilla otetussa ääninäytteessä 41 kpl ja kauempana olevalla 43 kpl.
- Esimerkiksi lähempänä olevan mikrofonin (äänite 2) osalta sana "viemäri" kirjautui oikein, kun kauempana olevan mikrofonin (äänite 1) tapauksessa sana muuttui sanaksi "viämäri". Lähempänä olevan mikrofonin (2) tapauksessa sana "alakattorakennetta" kirjautui oikein, kun kauempana olevan mikrofonin (1) tapauksessa sanaksi kirjautui "alakattorakenne".
- Yhden lauseen merkitys muuttui täysin, kun transkriptiossa lauseeseen syntyi negaatio, jolloin asia kääntyi täysin päinvastaiseksi.

Täten voidaan todeta, että dokumentoijan tulee oikolukea transkriptio tärkeiden sanojen osalta ja varmistaa, että tekstin merkitys ei ole vaihtunut.

Samasta kohdasta on kaksi äänitettä ja transkriptio tekee kaksi täysin eri merkityksellistä lausetta:



- Mikrofoni lähempänä (työmaaäänite 2): *“hommat ei mennä hyvin asianmukaisesti”* (väärin)
- Mikrofoni kauempana (työmaaäänite 1): *“Hommat etenevät hyvin asianmukaisesti”* (oikein)

## 4.2 Toimistoäänitteen transkriptio

Toimistoäänitteessä havaittiin seuraavia virheitä:

- Toimistoäänitteessä virheitä oli vain noin 2 % eli 15 kpl (911 sanasta)
- Isot merkitykselliset virheet: 8 kpl (53 % virheellisistä sanoista)
- Isot merkitsemättömät virheet: näitä virheitä ei ollut kuin kaksi, koska toimistoäänite on puhuttu monologina, jolloin keskustelusta tulevia virheitä ei ole.
- Toistuvia kirjaimen muunnoksia oli yhteensä 2 kpl. Ne eivät olleet merkittäviä.
- Sanojen yhdistämiset tai yhdyssanan sanat ovat erillään: Virhe, jossa sanat ovat oikein, mutta transkriptio oli laittanut ne yhteen esim. valokuvakatosta pitäisi olla valokuva katosta. Näitä virheitä oli kaksi. Yhdyssanoissa ei ollut virheitä.
- Erisnimistä vain yksi oli väärin eli onnistuminen oli selvästi parempaa kuin työmaaäänitteiden transkriptioissa. Toimistoäänitteessä erisnimet lausuttiin rauhallisesti ja hyvin artikuloituen.
- Numeroissa ei ollut virheitä
- Kun transkription teksti käsiteltiin oikoluvulla, oikoluku tunnisti noin 80 % virheistä (12 kpl) ja ehdotti yhteen väärää korjausta.

Taulukko 4: Toimistoäänitteen virheelliset sanat

|                                   | Virheiden määrä |
|-----------------------------------|-----------------|
| Isot merkitykselliset virheet     | 8               |
| Isot merkitsemättömät virheet     | 2               |
| Toistuvat yhden kirjaimen virheet | 2               |
| Sanojen yhdistämiset              | 2               |
| Erisnimet                         | 1               |
| Numerot                           | 0               |
| Yhteensä                          | 15              |

Havaintoja toimistoäänitteen transkriptiosta:

- Transkriptio tunnisti kaikki numerot oikein. Laskentaan otettiin mukaan projektinumerot, osoitteet ja päivämäärät, jotka kaikki menivät oikein.
- Yleinen oikoluku pystyi tunnistamaan lähes kaikki olennaiset virheet ja pystyi ehdottamaan 12/13 tapauksessa oikean korjauksen.

Työmaa- ja toimistoäänitteiden transkriptioissa havaittuja eroja:

- Toimistoäänitteessä virheiden määrä laski noin kolmasosaan (43 => 15 kpl) verrattuna työmaaäänitteeseen (työmaaäänite 1).
- Merkittävien virheiden määrä laski 27% verrattuna työmaaäänite 1:stä toimistoäänitteeseen (11 kpl merkittävää virhettä => 8 kpl).
- Suuri osa työmaaäänitteen transkription virheistä johtui keskusteleavasta tyylistä, päällekkäisestä puheesta, pidemmästä etäisyydestä mikrofoniin, epätäydellisistä kuvailuista ja epäselvästä artikuloinnista.
- Erisnimet ovat oikein toimistoäänitteessä, kun keskittyi ääntämään erisnimet selvästi.

- Toimistoäänitteessä on enemmän tilojen ja nimien toistoa sekä ympäristön kuvausta, joten myös tärkeitä sanoja on paljon enemmän kuin työmaaäänitteessä. Täten tärkeitä sanojen määrä on suurempi ja niitä on toistettu enemmän, jolloin virheiden vaikutus on oleellisesti pienempi. Kun otetaan toisto huomioon, jäi tekstiin vain viisi sanaa, joilla on raportille merkitystä. Nämä sanat ovat kuitenkin kaikki sellaisia, joista ihminen pystyy tunnistamaan tarkoituksen, kun konteksti on tiedossa: suikalle (oikein: suikale), aukaamisen (aukeamisen), lukkuja (luukkuja), katsolmoi (katselmoi) ja putkistusta (putkitusta).

### 4.3 Arvio tekoälyavusteisen dokumentoinnin nopeudesta

Kirjoitusnopeus on yksilöllistä ja tietokoneella kirjoitettaessa toiset kirjoittavat kymmenellä sormella ja toiset kahdella sekä loput siltä väliltä. Tätä tutkimusta varten testasin tietokoneella kirjoittamiseen menevää aikaa, kun kirjoitan kohtuullisesti kymmensormijärjestelmällä. Toimistossa tehty äänite on noin 12 minuuttia ja noin kaksi sivua tekstiä (riviväli 1,15, kirjaintyyppi- ja koko Arial 12, 911 sanaa). Toimistoäänitteestä tehdyn tekstin tarkistamiseen ja tärkeiden sanojen oikolukuun minulla meni noin 6 minuuttia. Yhteensä tässä analysoidun raportin tuottamiseen meni 18 minuuttia ilman pohdintaa siitä, mitä kirjoittaa. Vertailun vuoksi nopea harjaantunut kirjoittaja kirjoittaa jopa 75 sanaa minuutissa ja tekee alle 5 % virheitä (Sievinen 2022). Nopea ja harjaantunut kirjoittaja saisi siten 12 minuutissa tuotettua 900 sanaa. Tämä 12 minuuttia menee myös toimistoäänitteen puhumiseen, kun puhuu selvästi ja artikuloiden.

Kirjoitin normaalilla vauhdilla toimistoäänitteen transkriptiosta 299 sanaa 12 minuutissa käyttäen kymmensormijärjestelmää, mikä tarkoittaa noin 25 sanaa minuutissa. Tämä määrä vastaa 33%:ia toimistoäänitteen pituudesta. Samassa 12 minuutin aikajaksossa puhuin koko raportin äänitiedostoon. Koko tekstin kirjoittamiseen, ilman asetteluja ja oikolukua, kului yhteensä 36 minuuttia. Kun lisäksi 6 minuuttia oikolukua, koko raportin kirjoittamiseen ja oikolukuun kuluu yhteensä 42 minuuttia ilman raportin asetteluja ja kuvien käsittelyä.

Tämän testin perusteella havaitsin, että käsin kirjoittamalla kului yli kaksinkertaisesti enemmän aikaa, tarkalleen 2,3 kertaa enemmän kuin tekoälyllä tuotetun raportin tekemisessä puheesta raportiksi. Tästä voidaan päätellä, että tekoälyavusteinen raportin tuottaminen on luokkaa 2–3 kertaa nopeampaa, jos tekstin siirrot ovat automatisoituja. On kuitenkin huomioitava, että käsin kirjoitettaessa ei käytetä yhtä laajoja selostuksia. Raportoinnissa hyödynnetään lyhenteitä, kuten "PS" pääsuunnittelijaa tarkoittaen. Käsinkirjoitetut katselmukset laaditaan yleensä lyhyin lausein tai muutamalla sanalla, ja niissä käytetään alan omia tai teknisiä lyhenteitä.

## 5 Toteutus osa 2: Transkription käsittely kielimallilla

### 5.1 Kielimallin käyttö tekstin muokkaamiseen ja kehityksen rajaukset

Työmaa- ja toimistoäänitteen käsittelyyn käytettiin OpenAI:n GPT-3.5 ja GPT-4 kielimalleja sekä ChatGPT:tä. Lisäksi ladattu transkriptio tuotiin Microsoft Azure AI Studioon tiedostona. Siellä tekstiä käytettiin chat-toiminnolla, jossa dokumentista voi esittää kysymyksiä. Tässä tutkimuksessa kielimallia ei hienosäädetä eikä sille anneta käytettäväksi yleistä rakentamiseen tai kontekstiin liittyviä dokumentteja tai esimerkkejä. Tässä tutkimuksessa keskitytään kehittämään vain kehotetta eli ohjeita siitä, miten raportti halutaan muodostuvan annetusta tekstistä.

Transkriptiota on muokattu niin vähän kuin mahdollista. Kaikki virheelliset merkittävät sanat, jotka ovat olennaisia raportin sisällön kannalta, on korjattu oikeiksi (tutkimuksen osa 1). Muuten transkription virheitä ei ole korjattu. Korjaus on tehty oikolukemalla teksti ja hyväksymällä ne oikoluvun korjaukset, jotka ovat oikeita, tai tarvittaessa korjaamalla sanat käsin. Näin ollen kielimalli saa käsiteltäväkseen tekstin, joka on peräisin puheesta, mutta sen kaikki merkittävät sanat on tarkistettu ja tarvittaessa korjattu.

Työmaaäänitteisiin jätettiin jutustelut mukaan, esimerkiksi *“Nyt olisi hyvä, kun me saataisiin napsauttaa kuva. Joo. Eiks vaan? Saadaanko sille otettua? Onks näistä otettu jo kuvat? Näistä on otettu jo kuvat. Niin. Me saadaan niistä otettua sitten. No mut jos mä otan tästä valokuvan”* ja *“Tai tämä on kyllä varmaan ihan joku paskaputki, kun se on tuolla muoviiin. No joo, nekin oli kyllä muovi nyt. Oli? Osittain. Okei. No mutta joo.”* Teksti ei sisällä kuitenkaan mitään merkittävää lopputuloksen eli katselmusraportin kannalta.

## 5.2 Tekstin parantaminen kielimallilla alkuperäisellä tekstillä

Tässä tutkitaan, miten kielimalli toimii tekstin parantajana ja mikä merkitys lopputulokselle on tärkeiden sanojen oikoluvulla. Valitaan sopivia tekstejä analyysiin, jossa testataan sitä, miten kielimalli ymmärtää virheitä ja osaa niitä korjata. Seuraavaksi tutkitaan 1) alkuperäistä tekstiä (transkriptio ilman korjausta), 2) kielimallin muokkaamaa alkuperäistä tekstiä (osaako korjata virheet) ja 3) osaako virheistä huolimatta kääntää tekstin. Tutkittavat merkittävät virheelliset sanat on merkitty **punaisella**.

### 1) Alkuperäinen transkriptio ilman oikolukua

*“Sitten todettiin, että tässä kautta, missä meillä on pidempi alue alakattoa, näiden mukaisesti tehdään **roiloukset**. Tehdään yksi **roilous**, mihin saadaan kaikki putkitukset tehtyä, ja sitten tuommoinen pieni **reike**, mikä on tuossa ylhäällä. Sen kaltaiset tehdään niille, saadaan **palaisimet** siitä.” (Whisper 20230915.)*

### 2) Kielimallin muokkaama teksti

*“Totesimme, että pidemmällä alakattoalueella **roiloukset** suoritetaan tietyllä tavalla. Teemme yhden laajemman **roilouksen**, johon kaikki putkitukset mahtuvat, sekä lisäksi pienemmän reiän, joka sijaitsee ylemmässä osassa. Nämä toimenpiteet mahdollistavat **palaisimien** asentamisen kyseisiin kohtiin.” (GPT-4.)*

Kehotteella on pyydetty tekoälyä kirjoittamaan lause uudestaan suomeksi ja korjaamaan kirjoitusvirheet

*“Sitten todettiin, että tässä kohdassa, missä meillä on pidempi alue alakattoa, tehdään **roiloukset** niiden mukaisesti. Tehdään yksi **roilous**, johon saadaan kaikki putkitukset tehtyä, ja sitten tuollainen pieni **reikä**, mikä on tuossa ylhäällä. Sen kaltaiset tehdään niille, saadaan **palotunnistimet** siitä.” (GPT-4.)*

### 3) Kielimallin muokkaama teksti englanniksi käännettynä

*"We have determined that on the longer lower ceiling area, the **cut-outs** will be performed in a specific way. We will make one larger **cut-out**, which can accommodate all the piping, as well as an additional smaller hole located in the upper part. These measures will enable the installation of **fire dampers** in these locations." (GPT-4.)*

#### Kehotteella kysytään, miten kielimalli ymmärtää käsitteen Cut-Outs

*"Ceiling Area Cut-Outs (Alakaton aukotukset): Tämä termi viittaa alakaton osiin, joista on leikattu paloja pois, jotta saadaan aikaan aukkoja. Tällaisia aukkoja voidaan käyttää esimerkiksi valaisimien, ilmanvaihtojärjestelmien, sprinklerijärjestelmien tai muiden teknisten laitteistojen asentamiseen. Aukotukset ovat yleensä tarkkaan mitoitettuja ja niiden paikat suunnitellaan huolellisesti rakennuksen suunnitteluvaiheessa." (GPT-4.)*

#### **Havainnot oikolukemattomasta tekstistä**

Kielimalli muotoili uudestaan lauseet, mutta jätti kirjoitusvirheitä tekstiin, esimerkiksi "palaisimet" (oikein on valaisimet) ja "roiloukset" (oikein on roilotukset). Kuitenkin joissakin sanoissa käännökset voivat olla virheellisiä, kuten sana "palaisimet" kääntyi englanniksi "palopelliksi" ja sama suomeksi korjattiin "palotunnistimeksi". Kuitenkin kielimalli kykeni korjaamaan yhden merkittävän virheen, muuttaen "reike" oikein muotoon "reikä". Vaikka alakaton roilotukset oli kirjoitettu väärin, osasi kielimalli löytää melko hyvän käännöksen (Ceiling Area Cut-Outs), joka tarkoittaa riittävän tarkasti alkuperäistä tarkoitusta. Yhteenvetona voidaan todeta, että kielimalli muodostaa puhekielestä uuden raporttiin sopivan lauserakenteen ja korjaa joitakin kirjoitusvirheitä, mutta toisaalta jättää ison osan virheistä korjaamatta tai korjaa ne väärin. On tärkeää huomata, että kielimallille ei annettu lisää kontekstia tai muita tietoja, jotka olisivat voineet auttaa virheiden korjaamisessa.

### 5.3 Tekstin parantaminen kielimallilla oikoluettulla tekstillä

Seuraavaksi tutkitaan 1) oikoluettua tekstiä, 2) kielimallin muokkaamaa tekstiä ja 3) tekstin käännöstä englanniksi. Oikoluku tässä tarkoittaa vain sisällölle merkittävien sanojen korjaamista. Muuten analyysissä oleva teksti on transkription tuottamaa. Oikoluettut sanat on **lihavoitu**.

#### 1) Alkuperäinen oikoluettu transkriptio

*“Sitten todettiin, että tässä kautta, missä meillä on pidempi alue alakattoa, näiden mukaisesti tehdään **roilotukset**. Tehdään yksi **roilotus**, mihin saadaan kaikki putkitukset tehtyä, ja sitten tuommoinen pieni **reikä**, mikä on tuossa ylhäällä. Sen kaltaiset tehdään niille, saadaan **valaisimet** siitä.” (Whisper 20230915 ja oikoluku Jukka Ala-Mutka.)*

#### 2) Kielimallin muokkaama teksti

*“Päätimme, että pidemmällä alakattoalueella toteutamme **roilotukset** suunnitelman mukaisesti. Teemme yhden isomman **roilotuksen**, johon kaikki putkitustyöt mahtuvat, sekä lisäksi pienen **reiän** yläosassa. Näillä toimenpiteillä varmistamme, että **valaisimet** voidaan asentaa sujuvasti näihin kohtiin.” (GPT-4.)*

#### 3) Kielimallin muokkaaman tekstin kääntäminen englanniksi

*“We have decided that for the longer lower ceiling area, we will carry out the **slotting** as per the plan. We will make one larger **slotting** into which all the piping work can fit, and additionally, a small **hole** in the upper part. With these measures, we ensure that the **lights** can be smoothly installed at these points.” (GPT-4.)*

Kehotteella kysytään, miten kielimalli ymmärtää käsitteen Slotting:

*“Ceiling Area Slotting (Alakaton uritus): Tämä termi viittaa alakattoon tehtyihin urituksiin tai viiltoihin, jotka voivat olla joko koristeellisia tai toiminnallisia.*



*Toiminnalliset uritukset voivat esimerkiksi mahdollistaa ilmanvaihdon tai piilottaa johtoja. Uritukset voivat olla myös esteettisiä, lisäten alakaton visuaalista ilmettä” (GPT-4).*

## **Havainnot oikoluetausta tekstistä**

Transkription laatu tässä tutkimuksessa perustuu siihen, että lopputulokselle tärkeät sanat ovat oikein. Oikoluku tärkeissä sanoissa on edellytys, jotta kielimalli tunnistaa sanat ja osaa tehdä käännökset eri kielille.

### **5.4 Kielimallin tekemän oikoluvun tutkiminen**

Tutkitaan seuraavaksi transkriptiossa löydettyjä virheellisiä sanoja ja selvittäään, osaako kielimalli tunnistaa niitä oikeiksi. Tässä on käytetty ns. zero-shot-tekniikkaa, jossa kielimallille ei ole annettu kehoitteessa mitään kontekstia tai esimerkkiä. Suluissa on kirjoitettu sana oikein.

#### Esimerkki 1 oikein

Kysymys (K): *“Mikä on viämäri?”* (viemäri)

Vastaus (V): *“Viemäri on järjestelmä, joka on suunniteltu keräämään ja kuljettamaan jätevesiä ja muita nestemäisiä jätteitä pois asutusalueilta, teollisuuslaitoksilta ja muilta rakennuksilta.”* (GPT-4.)

#### Esimerkki 2 oikein

K: *“Mikä on putkistusta?”* (putkisto)

V: *“Putkistus viittaa putkien ja muiden vastaavien rakenteiden kokonaisuuteen, jotka on suunniteltu siirtämään nesteitä, kaasuja tai muita aineita paikasta toiseen. Putkistot ovat keskeinen osa monia erilaisia järjestelmiä, kuten vesihuoltoa, lämmitystä, viemäröintiä, teollisuusprosesseja ja öljyn tai kaasun kuljetusta.”* (GPT-4.)

Esimerkki 3 väärin

K: *"Mikä on lukkuja?"* (luukkuja)

V: *"Lukkoseppä" tai "lukkosepän työ" on oikea termi kuvaamaan ammattia, joka keskittyy lukkojen asennukseen, korjaukseen, huoltoon ja avainten valmistukseen.* (GPT-4.)

Esimerkki 4 ei tunnista

K: *"Mitä tarkoittaa katsolmoi?"* (katselmointi)

V: *"Termi "katsolmoi" ei ole tunnistettavissa oleva sana suomen kielessä. Se saattaa olla kirjoitusvirhe tai harvinainen, paikallinen tai slangisana, joka ei ole laajasti tunnettu tai käytetty."* (GPT-4.)

Esimerkki 5 tunnisti

K: *"Mikä on alakatarakenteita?"* (alakattorakenteita)

V: *"Termi "alakatarakenteita" ei ole standardi termi suomen kielessä. Se saattaa olla kirjoitusvirhe tai väärinymmärretty termi. Kuitenkin, jos tarkoitetaan "alakonstruktioita" tai "alapohjarakenteita", nämä viittaavat rakennuksen tai rakenteen alaosiin, kuten perustuksiin, alapohjiin, tai muihin tukirakenteisiin. Alakonstruktioit tai alapohjarakenteet ovat olennainen osa rakennuksen rakenteellista eheyttä, tarjoten tukea yläpuolisille kerroksille ja varmistaen rakennuksen vakauden."* (GPT-4.)

**Havainnot esimerkeistä 1-5**

Kielimalli osaa korjata joitakin sanoja (viämäri/viemäri) tai tulkita oikein (alakatarakenteita/alakonstruktioit). Toisissa sanoissa tulkinta ei ole oikein tai kielimalli ei osaa korjata transkription tuottamaa virhettä. Lopputuloksen kannalta eli katselmusraportin oikeellisuuden kannalta tekstin prosessointi vaatii tärkeiden sanojen oikoluvun.

Esimerkki 6 oikein

K: *"Kirjoita lause uudestaan ja korjaa kirjoitusvirheet: Viitos kerroksessa toisessaan on taukoteittiä, vai onko se edustuskeittiä, taukoteikkiettä."*

V: *“Viidennessä kerroksessa on taukokeittiö, vai onko se edustuskeittiö, taukokeittiö.” (GPT-4.)*

### **Havainto esimerkistä 6**

Kielimalli kykenee tulkitsemaan lauseesta sen, että kyse on tilasta ja pystyy korjaamaan kirjoitusvirheet.

### Esimerkki 7 oikein

K: *“Mitä eroa on matalammalla ja matalemmalla?”*

V: *“Sanat "matalammalla" ja "matalemmalla" ovat molemmat komparatiivimuotoja adjektiivista "matala", mutta niiden käytössä on eroja. Matalammalla: Tämä on yleisesti hyväksytty ja standardin mukainen tapa muodostaa komparatiivimuoto sanasta "matala". Se tarkoittaa jotakin, joka on vähemmän korkea kuin vertailukohteena oleva asia. Esimerkiksi: "Tämä huone on matalammalla kuin toinen huone". Matalemmalla: Vaikka tämä muoto ei ole yleisesti hyväksytty eikä sitä pidetä standardin mukaisena suomen kielessä, sitä voidaan joskus kuulla puhekielessä. Kuitenkin kirjoitetussa ja virallisessa kontekstissa tulisi käyttää muotoa "matalammalla". Yhteenvetona, "matalammalla" on oikeaoppinen ja suositeltava muoto, kun taas "matalemmalla" on epästandardi ja vähemmän suosittu muoto.” (GPT-4.)*

### **Havainto esimerkistä 7**

Kielimalli pystyy erottamaan puhekielisen sanan.

## 5.5 Kehotteen kehitys työmaaäänitteen oikoluetausta transkriptiosta

Kehitetään iteroiden kehote GPT-3.5 kielimallille, jotta saadaan tavoitetta vastaava katselmusraportti muodostettua. Tavoiteraporttina toimii alkuperäinen katselmusraportti, joka on vastaavan työnjohtajan käsin kirjoittama.

## 1) Ensimmäinen iteraatio

Ensimmäinen kehoite sisältää seuraavat asiat:

- Mitä tehdään (tarkoitus: raportti)
- Kuka tekee (rooli: vastaava työnjohtaja)
- Miten raportti muotoillaan (esim. miten väliotsikot tehdään)
- Millaista tekstiä kirjoitetaan (katselmusraportti)
- Kirjoita suomeksi (valitaan: Output in: Suomi)
- Käytetään annettua tekstiä (työmaaäänitteen transkriptio)

## 2) Toinen iteraatio

Kohtia, missä otetaan kuvat, ei tuotu selvästi esille tuotetussa raportissa. Myöskään raportissa ei eroteltu tai kuvattu selvästi sitä, kuka vastaa ja mitä tapahtuu seuraavaksi.

Tarkennetaan kehotetta seuraavasti:

- lisää kuvat omille riveille ja kirjoita kuvatekstit sekä numeroi kuvat
- kirjoita vastuut ("kuka vastaa")
- kirjoita kaikki päivämäärät

Kehotteen lisäyksen jälkeen malli poimii kuvat erilleen esimerkiksi **"KUVA 4: Kuva otettu maalikävyvalikoimasta sekä alakaton mallikohdasta."** Kun kehotteessa ohjeistetaan merkitsemään "kuka vastaa", malli olettaa selvästi tähän tulevan vastuuhenkilön nimen. Tekstissä ei ole vastuuhenkilöiden nimiä vaan vastuut on kuvattu rooleina ja organisaatioina kuten pääsuunnittelija, rakennusurakoitsija tai museoviranomainen. Raporttiin kielimalli antaa vastauksena esimerkiksi **"Vastuuhenkilö: Sähköasentaja Antti, Päivämäärä: 22.10.2023"**. Annetussa tekstissä ei ole Anttia eikä kyseistä päivämäärää. Tässä kohtaa malli siis hallusinoi eli kirjoitti väkisin jotain, kun kerran kehotteessa ohjeistettiin.

### 3) Kolmas iteraatio

Ohjeistetaan mallia siten, että vastuu voi olla henkilö, rooli tai organisaatio. Lisäksi tarkennetaan, että jokaisessa kohdassa ei ole vastuuta nimetty, jolloin ohjeistetaan jättämään ne kohdat tyhjäksi. Mallia pitää siis kieltää keksimästä asioita ja sen tulee käyttää vain annettua tekstiä. Nyt malli osaa antaa tiedot tyhjänä, jos vastuuta ja päivämäärää ei ole määritetty.

***“Toimenpide: Maton asennuksen ja reunalistojen tarkastus.***

***Vastuu: Ei määritetty.***

***Päivämäärä: Ei määritetty.”***

### 4) Neljäs iteraatio

Läsnäolevat henkilöt olivat jääneet pois raportista. Lisätään kehoitteeseen läsnäolevat henkilöt. Neljännessä iteraatiossa malli osaa poimia annetusta tekstistä henkilöt raporttiin. Malli ei ilman kehottamista osannut laittaa läsnäolijoita raporttiin. Tässä tutkimuksessa kielimallille ei ole opetettu, millainen on raportin rakenne tai että läsnäolijat merkitään raporttiin. Kielimallin ei siis voi olettaa ymmärtävän raportointirakenteita ilman opettamista.

Toistetaan raportin luontia useamman kerran. Jokaisella kerralla raportti on vähän erilainen, vaikka annettu kehote on sama ja kehoitteen mukana annettu teksti. Tämä on kielimallin ominaisuus eli täysin samaa lopputulosta ei saa, vaikka kysyy samaa asiaa uudestaan. GPT-3.5 malli unohtaa välillä merkitä kuvat erikseen ja se ei toteuta joka kerta kaikkia kehoitteessa olevia ohjeita.

### **Raportin generointi GPT-4 kielimallilla**

Teen raportin generoinnin seuraavaksi GPT-4 mallilla. Raportti muodostuu kehoitteessa annetun ohjeistuksen mukaisesti. Raportti pysyy halutussa formaatissa, kun toistetaan raportin generointia useita kertoja. Asettelut ja sisällöt ovat ohjeistetussa muodossa eikä raportti ole jättänyt mitään pois kuten

edellisessä testissä GPT-3.5 mallilla. Tämän testin perusteella GPT-4 on selvästi laadukkaampi tuottamaan halutun raportin kuin GPT-3.5, joka välillä unohtelee raportille ohjeistettuja asioita.

### **Huomioita raportin generoimisesta kielimallilla**

- Kielimallille tulee tehdä hyvinkin tarkka kehote, jotta se generoi halutun raportin, kun käytetään zero-shot-opettamista.
- Kielimalli ohittaa jutustelun, joka ei liity raportin sisältöön. Kielimalli siten ymmärtää, mitä halutaan tehdä (katselmusraportti), johon ei kuulu jutustelu eikä myöskään alatyyliset käsitteet kuten "paskaputki". Jutustelu ja alatyyliset käsitteet eivät tulleet yhteenkään raporttiin, kun kehotetta testattiin useita kymmeniä kertoja.
- GPT-4 pitää raportin rakenteen kehotteen mukaisena, kun taas GPT-3.5 unohtelee välillä kehotteessa olevia ohjeita.
- GPT-3.5 hallusinoi herkästi, jos kehotteessa ohjeistat jotain, mutta sitä ei annetussa tekstissä ole lainkaan tai ei ole tarkasti siinä muodossa.
- GPT-3.5 osaa kohtuullisesti muodostaa katselmusraportin, mutta GPT-4 on tarkempi, lauseet ovat pidempiä ja kuvaavaa sisältöä on enemmän.

## **5.6 Kehotteen kehitys toimistoäännitteen oikolueta transkriptiosta**

Tutkimuskohteena on toimistoäänite. Toimistoäänitteen oikolueta transkriptiossa on samat sisällöt kuin alkuperäisessä katselmusraportissa. Tutkitaan, miten tuotetaan tekoälyllä katselmusta vastaava raportti puhekielisestä tekstistä. Käytetään tekstin muokkaamiseen GPT-4 mallia, koska GPT-3.5 malli osoittautui edellisessä vaiheessa epäluotettavaksi.

### **1) Ensimmäinen iteraatio**

Annetaan edellisessä vaiheessa kehitetyn kehotteen toimistoäänitteen tekstille. Nyt tuloksena on parempi raportti, koska tekstiä on enemmän. Paremmuus tässä

tarkoittaa laajempi ja tarkempi kuvaus sekä enemmän kokonaisia lauseita. Varsinaisesti kehotteessa ei ole annettu enempää tekstiä kuin vain noin 10%:ia (911/830 sanaa), mutta toimistoääniteestä tehty teksti on mietitympää ja toimistolla rauhallisesti puhuttua vaikkakin molemmat ovat puhuttua tekstiä.

Raportti muodostuu hyvin, mutta kehotteella annetussa tekstissä on korot kerrottu mittoina, mutta niitä ei tulostu raportille, vaikka kehotteessa on ohjeistettu ottamaan kaikki mitat raporttiin. Raportilla on ohjeistuksen mukaisesti projektinnumero, päivämäärät, tilan numero, kuvat numeroituna, mutta korot eivät generoidu raportille. Yleinen kehote ottaa kaikki numerot ja mitat raporttiin ei tuo niitä kaikkia kuitenkaan raporttiin. Lisäksi lisätään kehotteeseen yhteenvedon loppuun, kuten on alkuperäisessäkin katselmusraportissa, mutta sitä ei oltu edellisessä vaiheessa ohjeistettu.

## 2) Toinen iteraatio

Vieläkään ei saada korkoja mukaan raporttiin, vaikka se lisätään erityisesti kehotteeseen. Kysytään erikseen korkojen lisäämisestä raporttiin. Nyt ChatGPT kirjoittaa raportin uudestaan ja korot ilmestyvät raportille.

## 3) Kolmas iteraatio

Kun tilan korkeusmitat tulivat mukaan raporttiin vain erikseen kysymällä, yritetään vielä kehittää kehotetta, jotta kaikki tarvittavat tiedot tulevat raporttiin kuten vastaavat tiedot ovat verrokkiraportissa. Muutamien kokeilujen jälkeen saadaan ulos raportti, joka sisältää kaikki samat sisällöt kuin verrokkiraportti.

### **Huomioita raportin generoinnista**

- Korkomitat eivät tulostuneet raporttiin, vaikka kaikki muut mainitut numerot löytyivät. Korkomittoja ei ensin ohjeistettu erikseen ohjeissa tai kehotteessa. Kehote tulee olla osaltaan melko tarkka, jotta kielimalli poimii kaiken tiedon raporttiin.

- Iteroinneissa käytettiin ChatGPT:tä ja GPT-4:sta, jossa oli havaittavissa selvää laatueroa eri päivien välillä. Iteraatiot 1 ja 2 tehtiin lauantaina ja sunnuntaina. Kolmas iteraatio tehtiin maanantaina, jolloin ChatGPT alkoi jättämään asioita pois ja myös hallusinoimaan. Palvelu myös antoi useasti virheilmoituksia (“network error” viestejä). Näissä virhetapauksissa ChatGPT ei pystynyt kirjoittamaan raporttia loppuun. Todennäköisesti palvelussa oli liikaa kuormaa, jolloin kielimalli ei enää toiminut halutulla tavalla ja laatu taso putosi oleellisesti.
- Ilman tarkkaa ohjeistusta ja kehoitetta pitäytyä vain annetuissa tiedoissa, kielimalli alkaa helposti hallusinoimaan ja tuottamaan sellaista, jota ei ole olemassa. Tästä kielimallin hallusinoimasta raportista on esimerkki liitteessä 1. Tähän saattoi vaikuttaa myös se, että eri päivinä oli havaittavissa selviä laatueroja, vaikka koko ajan käytettiin samoja työkaluja ja kehoitteita.

## 5.7 Alkuperäisen ja toimistoäänitteestä tehdyn raportin vertailu

Alkuperäisen käsinkirjoitetun katselmusraportin ja äänitteen transkriptiosta generoidun raportin voidaan todeta olevan hyvällä tasolla yhteneviä. Molemmista raporteista löytyy samat asiat ja yksityiskohdat. Raportit analysoin siten, että jokainen asiakokonaisuus ja tärkeä yksityiskohta, joka oli alkuperäisellä raportilla, oli tekoälyllä generoituun (transkription ja oikoluvun kautta) katselmusraporttiin. Tilojen kuvaukset, ongelmat, tehtävät ja seuraava katselusaika oli selvästi ja oikein kirjoitettu. Kaikki kuvatekstit olivat äänitteestä tehdyssä raportissa oikeissa kohdissa. Mitat ja korot oli oikein kuvattu. Toimistoäänitteestä tehdystä raportin yhteenvedossa oli täysin samat asiat kuin alkuperäisessä käsin kirjoitetussa raportissa, johon tekoälyllä muokattua raporttia verrataan. Yhteenvedettynä voidaan todeta, että äänestä transkription ja oikoluvun (korjattu 1,6 % sanoista) kautta tekoälyllä muokattu katselmusraportti vastaa alkuperäistä käsinkirjoitettua katselmusraporttia.

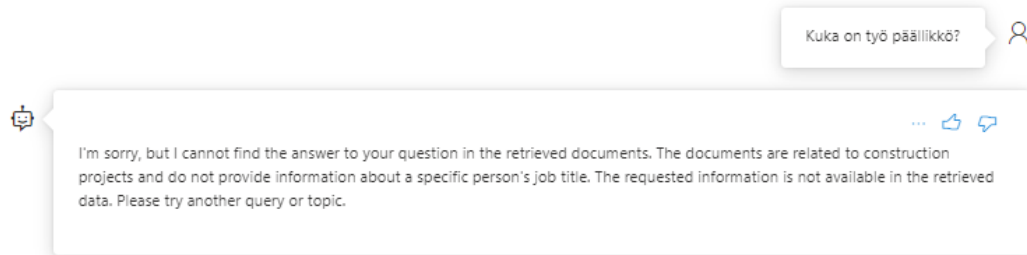


## 5.8 Haku raportista

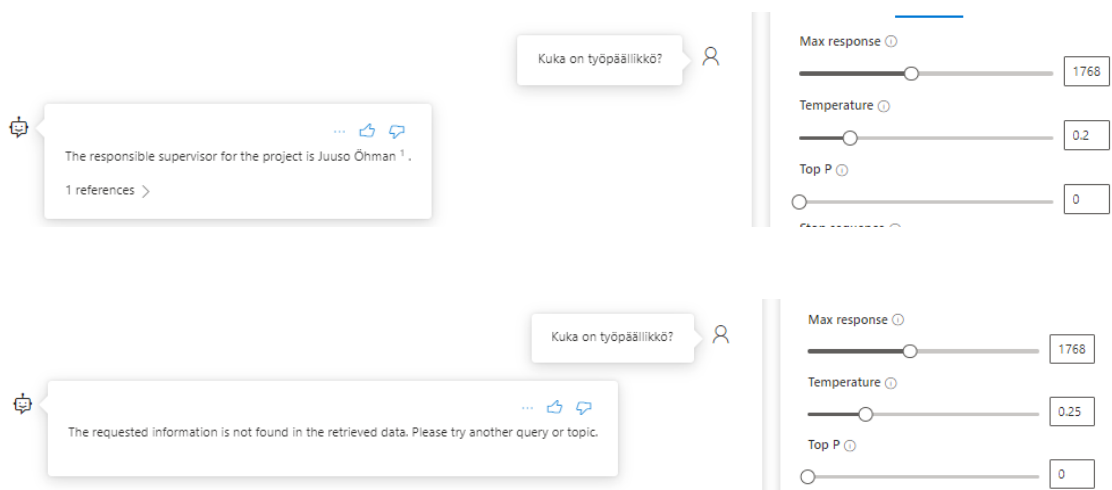
Viimeisessä osuudessa testasin, kuinka tekstistä etsitään yksityiskohtia. Tätä tarkoitusta varten käytin Microsoft Azure AI Studion chat-työkalua, jonne latusin tekstin PDF-tiedostomuodossa (Azure Blob Storage ja hakutyyppi on Hybrid (vector + keyword)). Testasin tekoälyn kyvykkyyttä tiedonhaussa esittämällä sille suomenkielisiä kysymyksiä annetusta tiedostosta. Kysymykset käsittelivät esimerkiksi projektinumeroa, vastaavan työnjohtajan nimeä, havaittuja ongelmia alaslasketussa katossa ja mitä tilassa 416 tutkittiin. Nämä tiedot edustivat dokumentin eri osia. Käyttämäni kielimalli oli GPT 3.5, joka suurimmaksi osaksi pystyi vastaamaan esitettyihin kysymyksiin. On kuitenkin huomattava, että kielimallin kyky ymmärtää kysymyksiä riippuu siitä, miten kysymyksessä olevia sanoja oli kirjoitettu.

Esimerkiksi, kun dokumentissa mainitaan "vastaava työnjohtaja", kielimalli vastasi oikein, kun siltä kysyttiin "Kuka on vastaava työpäällikkö". Täten päällikkö ja johtaja eivät aiheuta ongelmia tiedon hakemisessa. Kun sanat oli kirjoitettu yhteen ilman "vastaava" sanaa eli "Kuka on työpäällikkö", osasi kielimalli vastata oikein. Kun "työpäällikkö" kirjoitettiin kahtena erillisenä sanana (työ päällikkö), kielimalli ei osannut vastata. Kun taas kysyin "kuka on vastaava työ päällikkö", kielimalli kykeni silti tunnistamaan ja vastaamaan oikein, kun sana 'vastaava' oli lisätty kysymykseen, vaikka sanat 'työ' ja 'päällikkö' oli kirjoitettu erilleen. Tämä testi korostaa sitä, kuinka merkittävää kielimallin toiminnalle on se, että onko sana kirjoitettu oikein yhdyssanana vai erillisinä sanoina. Kielimalli näyttää tunnistavan helpommin samaa tarkoittavat sanat kuten päällikkö ja johtaja, koska käsitteet ovat lähellä toisiaan.





Lisäksi tutkin tekoälymallin "lämpötila"-parametria (temperature). Kun lämpötila asetettiin nolaksi, kielimalli käytti vain dokumentissa annettua tietoa vastauksiinsa ilman "luovuutta". Kun taas lämpötila asetettiin arvoon yksi, kielimalli osoitti enemmän luovuutta vastauksissaan. Testasin tätä asetusta käyttäen kysymystä "Kuka on työpäällikkö" ja, kun lämpötila oli yksi, malli ei löytänyt oikeaa vastausta. Kun lämpötila asetettiin nolaksi, se löysi oikean vastauksen. Jatkotestauksessa havaitsin, että 0,2 lämpötila-asetuksella kielimalli tuotti oikean vastauksen, kun taas 0,25 asetuksella saatiin vastaukseksi, että tietoa ei ole. Tämän perusteella voidaan päätellä, että mikäli halutaan hienosäätää kielimallin vastauksia, lämpötila-asetuksen pitäisi olla tässä kysymyksessä maksimissaan 0,2, jolloin se ottaa huomioon ensisijaisesti dokumentista saatavan tiedon, mutta sallii pienen määrän luovuutta.



## Havaintoja

Kielimalli vaikuttaa olevan melko herkkä yhdyssanoille ja sanamuodoille sekä käsitteille, joilla tietoa haetaan. Samoin kielimallin lämpötila-parametrin muuttaminen vaikuttaa vastauksiin.

## 6 Tulokset ja pohdinta

### 6.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tekoälyn tutkiminen ja testaaminen työmaan dokumentoinnissa. Erityisesti tavoitteena oli tutkia, kuinka nykyaikaiset kielimallit voivat tukea dokumentaation laatimisessa. Valitsin tutkimukseen työkaluiksi sellaisia välineitä, jotka eivät vaadi erillistä kehitystyötä, mutta joiden avulla voin silti testata ideoita ja tutkia teknologian toimivuutta. Näin päädyin käyttämään OpenAI:n tarjoamia työkaluja, erityisesti ChatGPT:n maksullista plusversiota ja lisäksi käytin Microsoft Azure AI Studio -palvelun chat-työkalua ja Whisper-mallia, jotka olivat käytössä Admicom Oyj:n kautta.

#### **Mitä haasteita työmaan dokumentoinnissa esiintyy?**

- Työmaan olosuhteet kuten meteli, kylmyys ja pöly
- Katselmuksissa puhutaan päällekkäin
- Puhtaan epäselvästi esimerkiksi puheessa ei kuvata, mitä sormella näytetään
- Keskittyminen katselmuksissa sekä keskusteluun että kirjaamiseen samaan aikaan
- Tekstinkäsittely ja dokumentointi yleisesti työmaalla kännykällä (pieni ruutu ja työmaan olosuhteet kuten meteli, pöly ja kylmyys).
- Ongelmia esiintyy sekä tekstin tuottamisessa että pitkien raportointirakenteiden selaamisessa pienellä ruudulla.
- Käsinkirjoitetussa dokumentissa käytetään suppeaa kieltä ja omia tai alakohtaisia lyhenteitä.

### **Mitkä ovat tekoälyn hyödyntämisen edellytykset?**

- Puhutaan selvästi ja rauhallisesti
- Artikuloidaan sanat selvästi varsinkin erisnimet, numerot ja rakennuksen osat
- Puhutaan selkeillä käsitteillä ja vältetään slangia, vaikka kielimalli sitä jonkin verran osaakin
- Selostetaan kuvatekstit kuvailevasti
- Transkriptiolla tehty teksti oikoluetaan ennen kielimallin tekemää tekstinmuokkausta. Oikoluvussa tulee tarkistaa kaikki sisällölle merkittävät sanat kuten rakennuksen osat, teonsanat, työtehtävät, sijainnit ja erisnimet.
- Yhdyssanat ovat oikein
- Kehote on riittävän tarkasti määritelty (kehotesuunnittelu)
- Mallin soveltuvuus ja laatu on todennettu määritellyn tehtävään, jotta tekoäly osaa muodostaa ja toistaa halutun raportin laadukkaasti (esim. GPT-3 versus GPT-4).
- Mallia kielletään kehotteessa keksimästä asioita eli estetään hallusinoimasta
- Käytetyn tekoälyn laatu on tasainen eikä vaihtelee kuormituksen perusteella

### **Mitkä ovat tekoälyn käyttöönoton haasteita?**

- Yleinen vastustus uutta teknologiaa kohtaan.
- Ei ole totuttu raportoimaan, koska se on liian hankalaa ja aikaavievää
- Pelko siitä, että raportoidaan liikaa. Tulee liian pitkiä raportteja.
- Tekoäly voi hallusinoita, joka voi johtua käytettävän kielimallin kuormituksesta tai huonosti tehdyistä kehotteista.
- Kielimallin ominaisuus tehdä erilainen vastausta samasta kysymyksestä eli et saa täysin samaa vastausta, kun kysyt samaa asiaa. Tämä voi aiheuttaa epäilyksiä järjestelmän luotettavuudesta.

## Mitä hyötyä tekoälypohjaisesta työmaan dokumentoinnista?

- Madaltaa kynnystä dokumentoida jopa pienetkin asiat, kun dokumentoinnin voi tehdä helposti puhumalla.
- Nopeuttaa oleellisesti dokumentointia erityisesti pitkissä teksteissä ja hierarkkisissa sekä laajoissa otsikkorakenteissa.
- Dokumentin generointi puheella ja tekoälyllä on noin 2-3 kertaa nopeampaa kuin käsin kirjoittamalla.
- Oikoluvussa tarvitsee korjata vain ne sanat, joilla on merkitystä. Näitä virheitä on transkriptiossa vain luokkaa 2 % (toimistoäänite) ja 5 % (työmaaäänite).
- Parantaa dokumentoinnin laatua kuten kokonaiset lauseet, vähemmän kirjoitusvirheitä, laajempi ja tarkempi ympäristön sekä kohteen kuvailu
- Voidaan raportoida vaikka kuinka pitkästi, koska tekoälyllä voidaan aina tehdä yhteenvetoja pitkistä teksteistä ja lyhentää raportoitavaa tekstiä.
- Mahdollistaa dokumentin kääntämisen eri kielille, kun teksti on laadullisesti hyvää
- Tekoäly tunnistaa ja osaa ainakin jonkin verran puhekieltä ja slangia.
- Tekoäly generoi vain halutun raportin ja aineistossa oleva jutustelu tai alatyyliset sanat eivät tule raporttiin
- Kaikki voi dokumentoida omalla äidinkielellään
- Tekoäly voi jatkojalostaa kerättyä tietoa ja tehdä siitä analyysjä ja yhteenvetoja.

## 6.2 Transkriptio puheesta työmaalla ja toimistolla

Transkription analyysissä keskityin arvioimaan, kuinka monta sanaa transkription muodostamassa tekstissä on sellaisia, jotka voivat muuttaa tekstin sisältöä tai johtaa siihen, että olennainen sisältö ei tule kielimallilla oikean sisältöisenä raportille ja sitä ei voida edelleen kääntää toiselle kielelle. Tässä ei siis oteta huomioon kaikkia transkription tekemiä virheitä (sanavirheastetta) vaan tarkastellaan erityisesti vain niitä sanavirheitä, jotka vaikuttavat merkittävästi

sisältöön ja kielimallin tuottamaan lopputulokseen eli raporttiin. Lisäksi on huomioitava tilanteet, joissa puhuja lausuu sanat virheellisesti eli transkriptio kirjaa ne teknisesti oikein, mutta lopputuloksen kannalta sana on väärin. Tällaiset tapaukset vaativat sanojen korjausta oikoluvun avulla, jonka tekee ihminen tai tekoäly. Näistä syistä en käyttänyt transkription laadusta yleisesti käytettyä sanavirheastetta (Word Error Rate) vaan käytin tähän tutkimukseen itse kehitettyä ja tähän soveltuvaa **“merkittävien sanojen virheellistä astetta”**, joka ei ole täysin yksiselitteinen, koska arvioijan on punnittava se, mikä on sanan merkitys lopputulokselle tai sana tulee testata kielimallilla. Tälle analyysille määritelmän voi kirjoittaa muotoon: sana on silloin virheellinen, jos kielimalli ei sitä tunnista ja kielimalli ei pysty sitä kääntämään toiselle kielelle sanan kirjoitusvirheen takia tai kielimalli korjaa sana väärin. Analyysissa on tärkeää arvioida sanavirheitä tekstin generoinnin näkökulmasta: **onko teksti sellaisessa muodossa, että tekoäly pystyy muuntamaan puhutun tekstin asianmukaisesti kirjoitetuksi raportointitekstiksi oikealla sisällöllä?**

Laadun analysoinnissa ja kielimallin tuottaman raportointitekstin analyysissä keskityin siihen, että tuottaako tekoäly alkuperäisen puhutun ja kirjoitetun tekstin kanssa vastaavaa tai parempaa raporttia. Tulokset osoittavat, että puheen transkriptio tekstiksi toimii jo varsin tehokkaasti. Virheitä esiintyy vain noin 2-5%, jotka vaikuttavat raportin laatuun. Suurin osa virheistä on helposti korjattavissa jopa ihan tavallisilla oikolukuohjelmilla. Katselmuksissa keskustelun hyödyntäminen muodostuu haastavaksi, kun osallistujat puhuvat päällekkäin ja tärkeät asiat hukkuvat vapaamuotoisen jutustelun sekaan. Tämän vuoksi on tärkeää, että keskustelussa sanotaan merkittävät asiat hyvin selkeästi artikuloiden. Keskustelun ja äänenlaadun ympäristötekijät, kuten meluisa työmaa, voivat vaikuttaa transkription laatuun. Transkriptio on nykyään hyvällä tasolla jopa työmaalla puhutusta keskustelusta. Tämä edellyttää kuitenkin, että:

- puhutaan yksi kerrallaan,
- kuvaillaan ympäristöä, koska tekoälylle pelkkä “tuolla” ei riitä ja
- mikrofonin tulee olla lähellä puhujaa, koska jo kolmen metrin etäisyydeltä ei mikrofoni välttämättä äänitä riittävän hyvin, jotta transkriptio onnistuu.

### 6.3 Kielimallin käyttö raportoinnissa

Tutkimuksen toisessa osiossa keskityttiin kielimallin hyödyntämiseen raportoinnissa. Erityisesti tutkittiin, kuinka kielimalli voi muuttaa puhekielistä tekstiä raportin muotoon, poistaen tarpeettomat täytesanat ja jutustelut sekä muodostaen ymmärrettäviä lauseita. Tutkimuksessa käytettiin sekä GPT-3.5 että 4-versioita. Havaittiin, että GPT-4, ollessaan tehokkaampi ja laajempi, tuotti selkeästi parempi laatuista tekstiä. Versioiden välistä laatueroa ei tarkemmin analysoitu, mutta todettiin ero tekstin laajuudesta ja kyvystä tuottaa samantyylinen lopputulos samalla kehotteella. Isompi malli (GPT-4) tuotti pidempiä lauseita ja tarkempia kuvauksia sekä toisti kehotteen paremmin kuin GPT-3.5. Tutkimuksessa kehitetyn kehotteen avulla saatiin aikaan tekoälyllä tuotettu raportti, joka vastasi vastaavan työnjohtajan käsin laatimaa raporttia. Hyvistä tuloksista huolimatta, tutkimus paljasti sen, kuinka herkästi kielimalli saattaa tuottaa virheellistä tietoa eli alkaa hallusinoida, jolloin se kirjoittaa asioita, joita ei ole annetussa sisällössä ja ne eivät siten vastaa todellisuutta. Tämä korostaa suunnittelun ja testauksen tärkeyttä tekoälyn kehittämisessä.

#### **Johtopäätöksiä kielimallin ominaisuuksista**

- Kielimallille tulee esittää kehotteessa konteksti, muotoilu ja tavoite hyvin tarkasti, kun käytetään Zero-shot-oppimista.
- Kielimalli osaa hyvin samaa tarkoittavat sanat
- Kielimalli osaa korjata osan kirjoitusvirheistä
- Kielimalli on mahdollisesti vaikeuksissa, jos yhdyssanat eivät ole oikein
- Kielimalli voi herkästi hallusinoida, jos sitä ei systemaattisesti estetä ja ihan suoraan kielletä “jos et tiedä, älä kirjoita mitään”
- Mahdollistaa kääntämisen kaikille kielille, kun lähtöteksti on laadukas



Taulukko 5. Dokumentoinnin eroavaisuudet nykytila versus tekoälyavusteinen

|                                     | Nykyinen käsinkirjoitettu raportti   | Tekoälyavusteinen   |
|-------------------------------------|--|---|
| Katselmuksen aikana                 | Tekstinsyöttöä voi tehdä katselmuksen aikana. Lisää käytettyä aikaa katselmuksessa ja ottaa pakollisia taukoja, jotta voi keskittyä dokumentointiin. | Ääntä voi tallettaa katselmuksen aikana sovitusti tai äänittää koko katselmuksen, joka ei häiritse katselmuksen kulkua.   |
| Puheesta tekstiksi (Speech-to-text) | Suoraan sanelusta tehty teksti on altis virheille ja on hankala tehdä korjauksia katselmuksen aikana.  | Toimistoäänitteen transkriptio on erittäin hyvä (2 % merkittäviä virheitä). Työmaaäänite on melko hyvä (5 % merkittäviä virheitä).  |
| Toimenpiteet (tämä käyttötapaus)    | Kuvien ottaminen ja lataus, kirjoitustyö ja raportin asettelu (pohja) ja osallistujien lisäys.   | Kuvien ottaminen ja lataus, 12 min äänite ja tekstin tarkistus. Selvästi nopeampi kuin nykyinen.  |
| Laajuus                             | Lyhyitä lauseita tai muutaman sanan listoja.   | Pidemmät ja kokonaiset lauseet. Kuvataan laajemmin mitä tapahtui ja ketkä olivat mukana.  |
| Kuvatekstit                         | Lyhyet ja vain pääasia yhdellä sanalla.  | Pidemmät lauseet ja kuvia tarkemmin kuvaavat kuvatekstit.   |
| Aikasäästö                          | Aikaa vie kirjoitustyö alusta asti. Käytetään lyhyitä ilmaisuja ja lyhenteitä, jotka eivät aukea ulkopuolisille.                                     | Vähentää aikaa, kun äänitetään katselmuksen aikana. Dokumentin tekeminen on noin 2-3 kertaa nopeampi.   |
| Laatu                               | Kirjoitusvirheitä ja lyhenteiden käyttöä, jotka eivät ole selviä ulkopuolisille, jotka eivät ole olleet läsnä katselmuksessa.                        | Dokumentti on paremmin ulkopuolisen esim. tilaajan luettavissa, kielikäännökset, hakutoiminnot, analyysit ja yleensä se, että dokumentointia voi tehdä laajasti pienistäkin asioista. |

## 6.4 Käyttäjän pohdinta tutkimuksesta

“Raportin laatiminen puheen avulla onnistui reaaliaikaisesti katselmuksen yhteydessä, mikä osoittautui erittäin tehokkaaksi. Prosessi nopeutti huomattavasti työmaahenkilöstömme toimintaa, vapauttaen aikaa keskeisempiin tehtäviin, kuten työn johtamiseen, aikatauluttamiseen ja budjetin seurantaan.

Tekoälyn tuottama teksti erosi käsin kirjoitetusta raportista, sillä se mahdollisti selkeämmät lauserakenteet ja oikeiden asioiden kirjaamisen. Tärkeänä huomiona oli, että puheen tulisi olla normaalia puhekieltä ilman slangisanoja, vaikka tekoälyä voisi potentiaalisesti opettaa ymmärtämään niitä. Kierrosten aikana on tärkeää ilmaista asiat konkreettisesti, kuvaten ympäristöä selkeästi sanallisesti.

Meidän tulisi puhua rauhallisesti ja selkeästi, erityisesti työmaakierrosten aikana. Usein kierroksilla puhutaan päällekkäin ja nopeasti, jotta saadaan oma näkökulma esille. Tekoäly ei kuitenkaan kykene ymmärtämään tällaista päällekkäistä puhetta tai ympäristön tapahtumia. Tämän vuoksi on tärkeää kuvata selkeästi ympäristöä ja tulevia tai tehtyjä työvaiheita. Esimerkiksi, kun otetaan valokuva, on hyvä selostaa tarkasti, mistä kuva on otettu ja mikä on sen järjestysnumero. Tällöin valokuvat voidaan yhdistää helpommin tekstiin. Lisäksi on hyödyllistä kirjata raporttiin erilaisia tehtäviä, kuten kuka vastaa mistäkin toimenpiteestä tai milloin seuraavat katselmuksat järjestetään.

Äänityksen voi suorittaa joko työmaakierroksen aikana tai myöhemmin toimistossa. Tekoälyn tuottama teksti pohjautui 12 minuutin äänitteeseen, jossa oli 15 virheellistä sanaa kahden sivun mittaisessa raportissa. Tämä on kohtuullisen hyvä suoritus, ottaen huomioon, että tekstin oikoluku pystyi tunnistamaan 80-90 prosenttia näistä virheistä. Raportin loppukäyttäjän on kuitenkin tarkistettava teksti itse, sillä tiedostamme, että tekoäly ei vielä kykene tuottamaan täysin virheetöntä raporttia. Jos ajatellaan, että meidän täytyy korjata vain 15 sanaa, ja siihen asti emme ole joutuneet kirjoittamaan yhtään sanaa itse, olemme ehdottomasti edelleen voiton puolella.

Raportin laajuus oli sama kuin käsin laaditussa vertailuraportissa, mutta eroavaisuutena oli erityisesti lauserakenteet – tekoälyn tuottama teksti oli selkeämpää ja paremmin jäsenneiltyä. Tekstin tuottaminen kierroksen aikana ei aina ole yhtä nopeaa ja selkeää. Usein, kuten työmaan insinöörit, jotkut pystyvät kuuntelemaan ja kirjoittamaan samanaikaisesti, mutta monille meistä se on haastavaa. Tämän tekniikan hyviin puoliin kuuluu myös ajan säästö ja kirjoitusasun parantuminen. Lisähyötynä on mahdollisuus tuottaa raportista eri kieliversioita, kuten saksaksi, englanniksi tai ruotsiksi, ulkomaisten päämiesten tarpeisiin. Tämä on suuri apu rakennusalalla. Raporttiin voidaan lisäksi soveltaa erilaisia muotoiluja, jotta teksti olisi ymmärrettävä myös maallikoille. Esimerkiksi isännöitsijöille suunnatut raportit voidaan muotoilla niin selkeiksi, että asiantuntemusta rakennusalalta ei vaadita niiden ymmärtämiseen.

Olemme havainneet, että raportin teksti muuttuu epäselväksi, kun keskustelussa puhutaan päällekkäin, kuten aiemmin mainitsin. Katselmuksissa on usein läsnä suunnittelijoita, tilaajia, urakoitsijan edustajia ja aliorakoitsijoita, joilla kaikilla on omat näkemyksensä, jotka tuodaan nopeasti esiin keskustelussa. On tärkeää huomioida, että mikäli puhuja sijaitsee kaukana mikrofonista, kaikki sanat eivät välttämättä tallennu selvästi. Tämän vuoksi olisi suotavaa varmistaa työmaan hiljaisuus katselmusten aikana, esimerkiksi ajoittamalla ne kahvi- tai lounastaukojen yhteyteen tai pyytämällä työntekijöitä pitämään lyhyen tauon työstään. Kokeilumme työmaaympäristössä osoitti, että epäselvät ilmaisut, kuten "tuolla" tai "tässä", eivät ole hyödyllisiä raportin laatimisessa, sillä ne eivät tarjoa tarkkaa tietoa tapahtumista. Kuvatekstien tulisi olla selkeästi kuvaavia, kertoen mitä kuvassa näkyy, missä se on otettu ja miksi kuva on otettu.

Vaikka tässä projektissa on useita huomioitavia seikkoja, on selvää, että tekniikka otetaan käyttöön yrityksemme toiminnassa. Kokonaisuudessaan tämä kokeilu on ollut erittäin kiinnostava ja hyödyllinen, ja se tulee ehdottomasti jatkumaan osana toimintaamme. Kiitokset kaikille osallistuneille.” (Juuso Öhman, Whisper 20231026 ja ChatGPT-4 äänitetty, litteroitu ja tekstin muotoilu 11.11.2023.)

Tämä teksti on litteroitu kohdeyrityksen Rakennus Grahn Oy:n edustajan Juuso Öhmanin puheesta Whisper 20231026 mallilla ja teksti on oikoluettu sekä kielenhuollon on tehnyt OpenAI:n ChatGPT-4, joka muodosti puhekielestä opinnäytetyöhön sopivaa tekstiä. Teksti on tarkistettu, että se vastaa täysin puhuttua äänitettä ja kertojan näkemystä.

## 7 Johtopäätökset

### 7.1 Tulevaisuuden sovellukset ja tutkimussuunnat

Opinnäytetyössäni olen tutkinut puheen soveltuvuutta työmaan dokumentoinnissa. Tulosten perusteella voidaan todeta, että puheen käyttäminen työmaan dokumentoinnissa on todella lupaavaa. Lisäksi kielimalli kykenee muuntamaan puhekielisen aineiston selkokieliseksi ja jäsennellyksi raportiksi. Tämä paitsi nopeuttaa raportointiprosessia, myös lisää sen yksityiskohtaisuutta, laatua ja ymmärrettävyyttä. Raporttien hyödyntäminen on jatkossa parempaa ja kielikäännökset tekoälyllä onnistuvat paremmin, kun tarkkaa ja kuvailevaa tekstiä on enemmän ja se on laadullisesti parempaa (yksityiskohtaisemmat tiedot, vähemmän kirjoitusvirheitä ja kokonaisia lauseita).

Vaikka tutkimuksen käytössä olleet työkalut osoittautuivat toimiviksi, ne eivät yksinään takaa korkealaatuista lopputulosta. On tärkeää ymmärtää, että erilaiset käyttötapaukset vaativat erilaista lähestymistapaa, ihmisen tekemää oikolukua ja mallien sekä kehoitteiden säätämistä. Hallusinaatio on edelleen riski, vaikka mallia kehoitetaan käyttämään vain annettua tekstiä ja tuottamaan tarkasti ohjeistettu raportti. Hallusinaatio on ehkä suurimpia riskejä kielimallin käytön yleistymiselle työmaan dokumentoinnissa. Raportoijan tulee tarkistaa dokumentoinnin oikeellisuus ennen hyväksymistä.

Jatkokehityksessä olisi hyödyllistä perehtyä kielimallin kouluttamiseen erityisesti rakennusalan sanastolla ja ottaa mukaan myös alakohtainen slangisanasto. Kielimallit osaavat jo käytettyjä käsitteitä, mutta kielimallin kyvykkyyden syvyys on toistaiseksi epäselvää. ChatGPT osaa tunnistaa esimerkiksi: *“Mitä eroa on kulmahiomakoneella ja rälläkällä?”: “Ei ole eroa. ”Rälläkkä” on Suomessa yleisesti käytetty nimitys kulmahiomakoneelle. Siis molemmat viittaavat samaan työkaluun, jota käytetään erilaisten materiaalien hiontaan ja leikkaamiseen.”* (ChatGPT GPT-4 24.10.2023.)

Oikoluvun tehostaminen rakennusalan sanastolla parantaa raporttien laatua entisestään, ja oikoluku on tällä hetkellä pakollinen välivaihe puheesta raportiksi - prosessissa. Oikoluvun ei tule olla täydellistä, koska se vie aikaa ja kielimalli ei tarvitse täydellistä tekstiä. Tärkeintä on se, että tärkeät sisältöä kuvaavat sanat ovat oikein, jolloin generoidun tekstin merkitys ei ole muuttunut. Laadukkaat ja selkeät raportit ovat paitsi helpompia ymmärtää, myös mahdollista kääntää toiselle kielelle kielimallien avulla.

Lisäksi on tärkeää tutkia, miten valokuvat voidaan automaattisesti integroida dokumentointiprosessiin. Multimodaaliset ominaisuudet ovat juuri tulleet yhdistäen äänen, tekstin ja kuvat. Monta mediaa yhdessä rikastuttavat raportointia entisestään. Tekoälyn kyky kuvailla ja ymmärtää kuvissa näkyvää informaatiota tuo raporteihin uuden ulottuvuuden syventäen samalla niiden sisältöä. Samalla kuviin liitetään tarpeellista metatietoa hakuja ja analyysejä varten. Kun otetaan valokuvia, niiden sisältö tulee kuvata yksityiskohtaisesti, jotta kuvat ja niiden kuvatestit voidaan yhdistää. Yhteenvetona voidaan todeta, että tekoälyn soveltaminen rakennusalan dokumentoinnissa tarjoaa monia mahdollisuuksia, mutta samalla se korostaa tarvetta ymmärtää ja säätää malleja sekä menetelmiä sovellusalueen vaatimusten mukaisesti.

## 7.2 Työn rajoitukset

Tässä opinnäytetyössäni keskityin erityisesti työmaadokumentointiin ja valitsin tarkastelun kohteeksi yhden käyttötapauksen – työmaakatselmuksen korjausrakentamisessa, joka osaltaan rajoittaa tutkimustulosten yleistettävyyttä. Tutkimukseni aikana ei ollut meneillään mitään erityisen äänekästä työvaihetta, joten en voinut arvioida häiriöäänten mahdollista vaikutusta äänitteeseen. Käytin opinnäytetyössäni yleisesti saatavilla olevia tekoälytyökaluja nopean testauksen mahdollistamiseksi. En tehnyt vertailua eri laitteiden, työkalujen ja mallien välillä enkä pyrkinyt määrittämään, mikä näistä työkaluista olisi tehokkain tässä

tilanteessa. Lisäksi kuvasta otettavaa metadataa ei tässä käytetty hyväksi tai tekoälyn tekemää tulkintaa kuvasta.

Tavoitteenani oli ymmärtää,

- mikä hyöty puheen käytöstä on työmaan dokumentoinnissa,
- onko sen hyödyntäminen nykyisellään realistista nyt käytössä olevilla työkaluilla ja
- mitkä tekijät tulisi ottaa huomioon, kun yritän ratkaista työmaan dokumentointiin liittyviä haasteita.

Tutkimus rajattiin vain Zero-shot-oppimiseen ja kehotteen kehittämiseen, jolloin tekoäly ei saanut avuksi esimerkkejä eikä tekoälyä ole erityisesti opetettu tuottamaan tarkoituksenmukaisia raportteja.

### 7.3 Jatkotutkimus

Tutkimustulokset ovat lupaavia ratkaisemaan työmaan dokumentoinnin haasteita, mutta tutkittavaa on vielä paljon ja tämän tutkimuksen tulokset myös nostavat uusia kysymyksiä jatkotutkimukselle.

Jatkotutkimusta ja kehittämistä tulisi tehdä esimerkiksi seuraavissa asioissa:

- Dokumentointi erilaisissa olosuhteissa ja erilaisilla laitteilla. Tässä voisi tutkia metelin, pölyn tai kylmyyden vaikutusta ja myös, miten mikrofoni tulisi asettaa optimaaliselle etäisyydelle eli toimiiko esimerkiksi jokin headset tai kaulusmikrofoni paremmin.
- Oikoluvun alakohtaisuudessa otetaan huomioon rakennusalan sanasto, jotta oikoluku parantaisi korjaamisen osuvuutta.
- Oikoluvun paikallinen ja suomalainen sanasto, joka parantaisi oikoluvun toimintaa esimerkiksi paikannimissä, osoitteissa, erisnimissä, jne.

- Kielimallin hienosäädön merkityksen tutkiminen. Kielimallin opettaminen suomalaiseseen kontekstiin ja rakennusalaan sopivalla datalla, jolloin kielimalli osaisi kirjoittaa jo lähtökohtaisesti paremmin alan tekstiä ja osaa generoida raporteja ilman, että niitä tulee ohjeistaa kehoitteilla hyvin tarkasti.
- Erialaisten transkriptio- ja kielimallien testaaminen samoilla aineistoilla
- Hallusinaation estäminen
- Tutkia tarkemmin laajempien ja vaativampien raporttien dokumentointia, jossa on määrättyjä rakenteita kuten on kuntoraporteissa.
- Kuvien tuottaman kontekstin hyödyntäminen tekstin generoinnissa eli malli tulkitsee kuvaa tekstiksi ja käyttää sitä tekstiä hyödyksi kuvan metadatanä.
- Raportin generoinnin tutkiminen antamalla kehoitteessa esimerkkejä raporteista (Few-shot-oppiminen) tai hienosäätämällä kielimallia jo tehdyillä raporteilla.



## 8 Yhteenveto

Opinnäytetyössäni "Puheesta raportiksi - Tekoälyn käyttö rakennustyömaan raportoinnissa" keskityin äänenkäytön potentiaaliin rakentamisen työmaaraportoinnissa. Tavoitteenani oli ymmärtää äänidokumentoinnin haasteet, soveltaa sitä ja selvittää, kuinka tekoäly voi tukea dokumentointiprosessia nykyisten tekoälytyökalujen avulla.

Valitsin tutkimuskohteeksi työmaakatselmuksen dokumentoinnin. Tutkimuksessani havaitsin, että puheesta tekstiksi -teknologian ja generatiivisen tekoälyn avulla voidaan tehokkaasti muokata puhetta raportointikieleksi. Tämä ei vain nopeuta dokumentointia, vaan myös parantaa sen laatua tehostaen viestintää työmaalla. Kun raportointi on korkealaatuista, on mahdollista tuottaa useita kieliversioita, mikä edistää kansainvälisten työryhmien välistä viestintää, sillä ryhmäläiset voivat tarkastella raportteja vaikka omalla äidinkielellään.

Opinnäytetyössäni hyödynsin Whisper-mallia puheen muuttamiseksi tekstiksi ja OpenAI:n GPT-3.5:tä ja GPT-4:ää raportin generointiin. Kohtuullisen pienellä kehotteen kehityksellä tekoäly osoitti kykynsä tuottaa laadukkaita katselmusraportteja. Tämän teknologian etuja ovat mm. dokumentoinnin laadun nousu, tehokkuuden parantuminen ja dokumentoinnin helppouden vuoksi työmaan tapahtumat tulevat tarkemmin dokumentoiduiksi. Vaikka dokumentoinnin tehokkuus säästää aikaa, suurin hyöty on korkealaatuisen dokumentoinnin lisääntyminen.

Kuitenkin, kun hyödynnetään kielimalleja, on oltava tarkkana. Kielimalli saattaa tuottaa virheellistä tietoa, lisätä asioita raporttiin, jotka eivät perustu todellisuuteen, ja erityisesti suomen kielen yhdyssanojen kanssa on oltava huolellinen. Vaikka kielimalli tunnistaa usein alan terminologiaa, on raportin oikoluku olennainen osa

prosessia. Lisäksi kielimallien soveltaminen suomalaisella rakennusalan terminologialla on alue, joka vaatii lisätutkimusta.

Dokumentoinnin tehostamisessa puheella korostuvat seuraavat keskeiset tekijät: 1) raportin tuottamisen nopeus ja 2) muistiinpanojen tekemisen helppous. On tärkeää, että raportin kirjallinen laatu on korkeatasoista, jotta sekä tilaajat että muut sidosryhmät, kuten myös alan ulkopuoliset henkilöt, voivat ymmärtää sen sisällön. Tämä pätee erityisesti henkilöihin, jotka eivät ole perehtyneet alan käsitteistöön tai ammattisanastoon. Kun raportin kieli on selkeää ja ymmärrettävää, se mahdollistaa myös kielimallien käytön tekstin kääntämiseen eri kielille tai muokkaamisen kohderyhmälle sopivaksi versioksi, josta ammattitermit on poistettu. Raportoinnin yksi tärkeimmistä tekijöistä on viestinnän tehokkuus – onko viesti ymmärrettävä ja meneekö se perille. Tärkeintä ei ole korjata kaikki transkription tuottamat virheet, vaan se, vastaako lopputulos eli raportin sisältö todellisuutta eli onko siinä oikeat asiat. Laadukas raportti varmistaa, että sen keskeiset asiat tulevat selkeästi esille.

## Lähteet

- Aatsalo, J. 2019. Suomalaisyhtiö keräsi miljoonarahoituksen rakentamisen tekoälyohjelmiston kansainvälistämiseen – Microsoft jo asiakkaana. Rakennuslehti 10.6.2021.  
<https://www.rakennuslehti.fi/2021/06/suomalaisyhtio-kerasi-miljoonarahoituksen-rakentamisen-tekoalyohjelmiston-kansainvalistamiseen-microsoft-jo-asiakkaana/> (Viitattu 2.10.2023)
- Abioye S.O., Oyedele L.O., Akanbi L., Ajayi A, Delgado J.M.D., Bilal M, Akinade O.O., Ahmed A. 2021. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. Journal of Building Engineering 2021, 44, 1-13.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221011578> (Viitattu 5.9.2023)
- Agrawal A., Suzgun, M., Mackey, L., Kalai A.T. 2023. Do Language Models Know When They're Hallucinating References?  
<https://arxiv.org/abs/2305.18248> (Viitattu 9.15.2023)
- Ala-Mutka, J. 2023. Tekoäly rakennusalalla: ratkaisuja, jotka ylittävät ihmisten kyvyt <https://admicom.fi/asiakaslehti/rakentamisen-talotekniikan-maailma-2-2023/tekoaly-rakennusalalla/> (Viitattu 12.9.2023)
- Babushkina, D. 2022. Are we justified attributing a mistake in diagnosis to an AI diagnostic system?. AI Ethics 3, 567–584 (2023).  
<https://doi.org/10.1007/s43681-022-00189-x> (Viitattu 4.11.2023)
- Bathae, Y. 2018. The Artificial Intelligence Black Box and the Failure of Intent nad Causation. Harvard Journal of Law & Technology Volume 31, Number 2 Spring 2018 <https://jolt.law.harvard.edu/assets/articlePDFs/v31/The-Artificial-Intelligence-Black-Box-and-the-Failure-of-Intent-and-Causation-Yavar-Bathae.pdf> (Viitattu 2.11.2023)
- Brandom, R. 2019. Boston Dynamics Spot hands-on: new dog, new tricks. Verge 24.9.2019. <https://www.theverge.com/2019/9/24/20880511/boston-dynamics-spot-robot-mini-hands-on-lease-buy> (Viitattu 5.10.2023)
- Building 2030 - Hukan mittaaminen suunnittelussa ja tuotannossa loppuraportti <https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2020-06/Hukka-suunnittelussa-ja-tuotannossa-loppuraportti-22-06-2020.pdf> (Viitattu 5.11.2023)
- Varanasi, L. 2023. GPT-4 can ace the bar, but it only has a decent chance of passing the CFA exams. Here's a list of difficult exams the ChatGPT and GPT-4 have passed. Business Insider. Updated 6.11.2023.

<https://www.businessinsider.com/list-here-are-the-exams-chatgpt-has-passed-so-far-2023-1?r=US&IR=T> (Viitattu 7.11.2023)

- Casey, M. 2023. Large language models: their history, capabilities and limitations. <https://snorkel.ai/large-language-models-llms/> (Viitattu 15.9.2023)
- Castella, S. 2023. Trends in AI — 2023 Round-up. <https://pub.towardsai.net/trends-in-ai-2023-round-up-e6c52578fe92> (Viitattu 23.10.2023)
- Dhuliawala, S., Mojtaba Komeili, Jing Xu, Roberta Raileanu, Xian Li, Asli Celikyilmaz, Jason Weston. 2023. Chain-of-Verification Reduces Hallucination in Large Language Models. <https://arxiv.org/abs/2309.11495> (Viitattu 27.9.2023)
- Dickson, B. 2023. The complete guide to LLM fine-tuning. <https://bdtechtalks.com/2023/07/10/llm-fine-tuning/> (Viitattu 12.9.2023)
- Eber W. 2019. Artificial Intelligence in Construction Management – a Perspective. Proceedings of the Creative Construction Conference 2019, 030, 205–212. <https://doi.org/10.3311/CCC2019-030> (Viitattu 5.9.2023)
- Etelälahti S. 2021. Datanhallinta tekoälyn näkökulmasta – opas organisaation kyvykkyyden arviointiin. Osatutkimus, Turun yliopisto, AIGA-hanke. Haaga-Helia ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021111520294> (Viitattu 5.9.2023)
- Egwim C.N., Alaka H., Toriola-Coker L.O., Balogun H., Sunmola F. 2021. Applied artificial intelligence for predicting construction projects delay. Machine Learning with Applications, Volume 6, 2021, Article 100166. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666827021000839/pdf> (Viitattu 15.9.2023)
- Feigenbaum, E. A., & McCorduck, P. 1983. The Fifth Generation: Artificial Intelligence and Japan's Computer Challenge to the World. Addison-Wesley.
- Finlex. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. 205/2009. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205> (Viitattu 12.11.2023)
- Gao, T, Fisch, A.& Chen, D. 2021. Making Pre-trained Language Models Better Few-shot Learners. <https://arxiv.org/abs/2012.15723> (Viitattu 15.10.2023)
- Gordon, R. 2023. Large language models are biased. Can logic help save them? Massachusetts Institute of Technology. Computer Science & Artificial Intelligence Laboratory. <https://www.csail.mit.edu/news/large-language-models-are-biased-can-logic-help-save-them> (Viitattu 11.11.2023)

- Haworth, R. 2023. Generative AI In The Construction Sector: Taking Building Technology To New Heights. <https://www.forbes.com/sites/forbesbooksauthors/2023/05/02/generative-ai-in-the-construction-sector-taking-building-technology-to-new-heights/?sh=3f51c7276ee8> (Viitattu 2.11.2023)
- Heikkilä, R., Makkonen, T., Niskanen, I., Immonen, M., Hiltunen, M., Kolli, T., Tyni, P. 2019. Development of an Earthmoving Machinery Autonomous Excavator Development Platform, University of Oulu. [https://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC\\_2019\\_Paper\\_206.pdf](https://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC_2019_Paper_206.pdf) (Viitattu 25.9.2023)
- Heinonen, H. 2019. Robotiikan hyödyntäminen rakennustuotannossa, Metropolia ammattikorkeakoulu, mestarityö. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/166874/Heinonen\\_Harri.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/166874/Heinonen_Harri.pdf?sequence=2&isAllowed=y) (Viitattu 5.9.2023)
- Heiskanen, A. 2018. Sweco Boosts Construction Productivity and Quality with AI. <https://aec-business.com/sweco-boosts-construction-productivity-and-quality-with-ai/> (Viitattu 18.11.2023)
- HoloBuilder. 2019. The Future Is Now: Meet the Game-Changing Construction Technology That's Already On-Site. Medium. <https://medium.com/holobuilder/meet-spotwalk-the-first-of-its-kind-robotic-360-capturesolution-for-construction-76d84bd27ec9> (Viitattu 22.9.2023)
- Hooda Y., Kuhar P., Sharma K., Verma N.K. 2021. Emerging Applications of Artificial Intelligence in Structural Engineering and Construction Industry. Journal of Physics 2021. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1950/1/012062/pdf> (Viitattu 2.9.2023)
- Huang, L., Yu, W., Ma, W., Zhong, W, Feng, Z., Wang, H., Chen, Q., Peng, W., Feng, X., Qin, B.& Liu, T. 2023. A Survey on Hallucination in Large Language Models: Principles, Taxonomy, Challenges, and Open Questions. <https://arxiv.org/abs/2311.05232> (Viitattu 11.11.2023)
- Huusko, M. 2019. Tekoäly voisi tuoda työmaille reaaliaikaisen tilannekuvan – ”Ei ole temppukaan opettaa ’tukiälyä’ tunnistamaan virheitä”. Rakennuslehti 25.4.2019. <https://www.rakennuslehti.fi/2019/04/tekoaly-voisi-tuoda-tyomaille-reaaliaikaisen-tilannekuvan-ei-ole-temppukaan-opettaa-tukialya-tunnistamaan-virheitä/> (Viitattu 15.9.2023)
- Cameron Jones, C & Bergen, B. Does GPT-4 Pass the Turing Test? <https://arxiv.org/abs/2310.20216> (Viitattu 4.11.2023)
- Chen, H-T., Xu, F., Arora, S., Choi, E. 2023. Understanding Retrieval Augmentation for Long-Form Question Answering. <https://arxiv.org/abs/2310.12150> (Viitattu 4.11.2023)

- Juang, B. H. 2004. Automatic Speech Recognition - A Brief History of the Technology Development.  
[https://web.ece.ucsb.edu/Faculty/Rabiner/ece259/Reprints/354\\_LALI-ASRHistory-final-10-8.pdf](https://web.ece.ucsb.edu/Faculty/Rabiner/ece259/Reprints/354_LALI-ASRHistory-final-10-8.pdf) (Viitattu 5.10.2023)
- Kankkunen, S. 2021. Yrityksen työmailta vaadittava dokumentointi. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus. Rakennustuotanto. Tampereen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202104225448> (Viitattu 11.11.2023)
- Karjalainen, O. 2022a. The Relationship of Leadership and Artificial Intelligence in Construction and Development Industry: A Mixed Methods Research. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/746524/Kirjalainen\\_Otto.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/746524/Kirjalainen_Otto.pdf) (Viitattu 2.11.2023)
- Karjalainen, O. 2022b. Tekoäly muuttaa johtamista ja yritystoimintaa <https://www.rakennuslehti.fi/blogit/tekoaly-muuttaa-johtamista-ja-yritystoimintaa/> (Viitattu 1.11.2023)
- Kelly, S. M. 2023. ChatGPT passes exams from law and business schools. CNN. 26.1.2023. <https://edition.cnn.com/2023/01/26/tech/chatgpt-passes-exams/index.html> (Viitattu 6.11.2023)
- Kiinteistölehti. 2021. Kattavampi rakentamisen dokumentointi voi tuoreen selvityksen mukaan tuoda merkittäviä säästöjä. <https://www.kiinteistolehti.fi/kattavampi-rakentamisen-dokumentointi-voi-tuoreen-selvityksen-mukaan-tuoda-merkittavia-saastoja> (Viitattu 11.11.2023)
- Kiradigi. 2018. Tekoälyä rakennusten suunnitteluun 2017-2018. <https://www.kiradigi.fi/kokeiluhankkeet/kokeiluhankkeet/tekoalya-rakennusten-suunnitteluun.html> (Viitattu 12.10.2023)
- Koivisto, R., Leikas, J., Auvinen, H., Vakkuri, V., Saariluoma, P., Hakkarainen, J. & Koulu, R. 2019. Tekoäly viranomaistoiminnassa - eettiset kysymykset ja yhteiskunnallinen hyväksyttävyys. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 14/2019. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161345> (Viitattu 4.11.2023)
- Kuokkanen, V. 2023. Arkkitehtitoimistoissa luovaa tekoälyä on testattu, mutta läpimurto odottaa vielä tuloaan. Rakennuslehti 12.10.2023. <https://www.rakennuslehti.fi/2023/10/luova-tekoaly-valuu-rakennusalalle-massakappaleen-kuorrutusta-arkkitehtitoimistossa-ja-koodausta-siltasuunnittelussa/> (Viitattu 15.10.2023)
- LAB-ammattikorkeakoulu. 2022. Tekoäly tulee rakennustyömaille ja suunnitteluun <https://blogit.lab.fi/labfocus/tekoaly-tulee-rakennustyomaille-ja-suunnitteluun/> (Viitattu 2.11.2023)

- Leica Geosystems. 2023. Autonominen Leica BLK ARC-laserskannausmoduuli. <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/laser-scanners/autonomous-reality-capture/blk-arc> (Viitattu 2.11.2023)
- Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W., Rocktäschel, T., Riedel, S. & Kiela, D. 2021. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. <https://arxiv.org/abs/2005.11401> (Viitattu 4.11.2023)
- Lighthill, J. 1973. Artificial Intelligence: A General Survey. Artificial Intelligence: a paper symposium, Science Research Council.).
- Liu S., Chang R., Zuo J., Webber R.J., Xiong F., Dong N. 2021. Application of Artificial Neural Networks in Construction Management: Current Status and Future Directions. Applied Sciences 11, 20, 9616, 1–19. <https://doi.org/10.3390/app11209616> (Viitattu 22.9.2023)
- Luukkonen, H. 2023. Tekoäly tulee rakennusalalle. Rakennusteollisuus 7.6.2023. Talonrakennusteollisuus ry. <https://www.rt.fi/Ajankohtaista/Tiedotteet1/2023/tekoaly-tulee-rakennusalalle/> (Viitattu 15.10.2023)
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. 1955. A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence.
- McKee, K. R. 2023. Human participants in AI research: Ethics and transparency in practice. <https://arxiv.org/abs/2311.01254> (Viitattu 4.11.2023)
- Meta. 2023. Preserving the World’s Language Diversity Through AI. <https://about.fb.com/news/2023/05/ai-massively-multilingual-speech-technology/> (Viitattu 27.9.2023)
- Mikkola, V. Rakennushankkeen mallintaminen rakennetussa ympäristössä. 2021. LAB ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202103223652> (Viitattu 5.9.2023)
- Microsoft. 2023a. What is the Whisper model? <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/ai-services/speech-service/whisper-overview> (Viitattu 4.11.2023)
- Microsoft. 2023b. Create a batch transcription. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/ai-services/speech-service/batch-transcription-create?pivots=rest-api> (Viitattu 4.11.2023)
- Microsoft. 2023c. Test accuracy of a Custom Speech model. Article 07/18/2023. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/ai-services/speech-service/how-to-custom-speech-evaluate-data?pivots=speech-studio> (Viitattu 11.11.2023)

- Morris, M. R., Sohl-dickstein, J., N, Fiedel, N., Warkentin, T., Dafoe, A., Faust, A., Farabet, C. & Legg, S. 2023. Levels of AGI: Operationalizing Progress on the Path to AGI. <https://arxiv.org/abs/2311.02462> (Viitattu 9.11.2024)
- Nature Machine Intelligence. 2023. What's the next word in large language models?. Nat Mach Intell 5, 331–332 (2023).  
<https://doi.org/10.1038/s42256-023-00655-z> (Viitattu 10.11.2023)
- Nevala, V. 2015. Sisäpuolisten töiden laadunvarmistus ja todentaminen. Metropolia Ammattikorkeakoulu Insinööri (ylempi AMK) Rakentamisen koulutusohjelma Insinööriyö.  
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/89948/Sisapuolisten%20oiden%20laadunvarmistus%20ja%20todentaminen.pdf> (Viitattu 11.11.2023)
- Ng, A. 2022. Andrew Ng's Intel Innovation Luminary Keynote.  
<https://www.youtube.com/watch?v=G3MaIMrR6Ms> (katsottu 27.9.2023)
- Ngoc T. N., Tran Q. N., Tang, A., Nguyen, B., Nguyen, T. & Pham, T. 2023. Multi-dimensional data refining strategy for effective fine-tuning LLMs.  
<https://arxiv.org/abs/2311.01049> (Viitattu 5.11.2023)
- Nyqvist, R., Peltokorpi, A. & Seppänen, O. 2023. Uncertainty network modeling method for construction risk management. Construction Management and Economics  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01446193.2023.2266760> (Viitattu 4.11.2023)
- OpenAI. 2023.GPT-4V(ision) system card. 25.9.2023.  
<https://openai.com/research/gpt-4v-system-card> (Viitattu 5.10.2023)
- Pat, K. 2023. Building the Future: Generative AI in the Construction Market.<https://www.linkedin.com/pulse/building-future-generative-ai-construction-market-kevin-pat/> (Viitattu 4.11.2023)
- Peltokorpi A., Nyqvist R., Chauhan K. & Ghassemi A. 2023. Teollinen ja digitalisoitu korjausrakentaminen. Aalto-yliopisto.  
[https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2023-01/B2030-Korjausrakentaminen\\_loppuraportti\\_3.1.2023.pdf](https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2023-01/B2030-Korjausrakentaminen_loppuraportti_3.1.2023.pdf) (Viitattu 4.11.2023)
- Pinola, M. 2011. Speech Recognition Through the Decades: How We Ended Up With Siri.  
[https://www.pcworld.com/article/477914/speech\\_recognition\\_through\\_the\\_decades\\_how\\_we\\_ended\\_up\\_with\\_siri.html](https://www.pcworld.com/article/477914/speech_recognition_through_the_decades_how_we_ended_up_with_siri.html) (Viitattu 27.9.2023)
- Pock, M., Ye, A. & Moore, J. 2023. LLMs grasp morality in concept.  
<https://arxiv.org/abs/2311.02294> (Viitattu 5.11.2023)



- Pokki H. 2020. Projektinjohtourakan talousjohtamisprosessin kehittäminen. Tampereen yliopisto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202105034325> (Viitattu 23.10.2023)
- Poudel, A. 2023. Top Open-Sourced Large Language Models Revolutionizing Conversational AI <https://blog.gopenai.com/top-open-sourced-large-language-models-revolutionizing-conversational-ai-dc4a2e35c8e0> (Viitattu 23.10.2023)
- Radford, A., Kim, J. W., Xu, T., Brockman, G., McLeavey, C. & Sutskever, I. 2022. Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision. <https://arxiv.org/abs/2212.04356> (Viitattu 23.10.2023)
- Rajagopal, A. 2018. The Rise of AI and Machine Learning in Construction. <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Rise-AI-and-Machine-Learning-Construction-2018> (Viitattu 23.10.2023)
- Rakennustieto. 2023. Tekoäly uudistaa rakentamisen ammattilaisten keskeisen tietolähteen RT-kortiston käyttöä 31.10.2023. <https://uutiset.rakennustieto.fi/kortistot/tekoaly-uudistaa-rakentamisen-ammattilaisten-keskeisen-tietolahteen-rt-kortiston-kayttoa/> (Viitattu 4.11.2023)
- Reddy, V. M., Vaishnavi, T. & Kumar, K. P. 2023. Speech-to-Text and Text-to-Speech Recognition Using Deep Learning, 2023 2nd International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA), Namakkal, India, 2023, pp. 657-666, doi: 10.1109/ICECAA58104.2023.10212222.
- Reynolds, L. & McDonell, K. 2021. Prompt Programming for Large Language Models: Beyond the Few-Shot Paradigm. <https://arxiv.org/abs/2102.07350> (Viitattu 9.11.2023)
- Rissanen, V. 2017. Imatralla tehtiin maailman suurin 3d-betonitulostin, joka valmistaa kolme metriä korkeita rakennus-elementtejä, Rakennuslehti. <https://www.rakennuslehti.fi/2017/05/imatralla-tehtiin-maailman-suurin-3dbetonitulostin-joka-valmistaa-kolme-metria-korkeita-rakennus%c2%adelementteja/> (Viitattu 23.10.2023)
- Rodionov, S., Goertzel, Z. A. & Goertzel, B. 2023. An Evaluation of GPT-4 on the ETHICS Dataset. <https://arxiv.org/abs/2309.10492> (Viitattu 11.11.2023)
- Russell, S., & Norvig, P. 2020. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson. 4th edition.
- RT 103171. 2019. Talonrakennustyön työmaavalvonnan tehtäväluettelo. Ohjekortti. Rakennustieto Oy.

- RT 16-10660. 2016. Rakennusurakan yleiset sopimusehdot YSE 1998. 75 § Työmaapäiväkirja ja siihen tehtävät huomautukset. Ohjeet. Tarkistettu, muuttumaton, 2. painos joulukuu 2016. Rakennustieto Oy.
- RT 103288. 2020. Urakkaohjelman laatiminen. Maarakennustyö (YSE 1998 asiakirjamalli). Ohjekortti. Rakennustieto Oy.
- RT 103008. 2018. Urakkaohjelman laatiminen. Talonrakennustyö (YSE 1998 asiakirjamalli). Ohjekortti. Rakennustieto Oy.
- RT 10-11255. 2017. (LVI 03-10602, KH 90-00630) Talonrakennushankkeen kulku. Riskien- ja laadunhallinta. Ohjeet. Rakennustieto Oy.
- Salmi, M. 2016. Työmaan aikainen dokumentointi ja arkistointi saneerauskohteessa. Opinnäytetyö (AMK). Rakennustekniikka. Tuotantojohtaminen. Turun ammattikorkeakoulu.  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/120924/Salmi\\_Miikka.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/120924/Salmi_Miikka.pdf) (Viitattu 11.11.2023)
- Seppänen, O., Lehtovaara, J., Uusitalo, P., Lappalainen, E., Ruohomäki, A., Pasila, H., Salerto, S., Koniel, O. & Järvinen, T. 2020. Hukan mittaaminen paljastaa rakentamisen tuottavuuskehityksen pullonkaulat <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/hukan-mittaaminen-paljastaa-rakentamisen-tuottavuuskehityksen-pullonkaulat> (Viitattu 21.10.2023)
- Seppänen, O., Görsch, C., Zhao, J., Kerttula, J., Viitala, L. 2021. Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Hukka LVI- ja sähkötoissa <https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2021-12/Hukka-LVI-ja-sahkotoissa-loppuraportti2021-11-26.pdf> (Viitattu 21.10.2023)
- Seppänen, R. 2017. Sam-robotti muuraa 3000 tiiliskiveä päivässä, Rakennuslehti. <https://www.rakennuslehti.fi/2017/10/sam-robottimuuraa-3000-tiiliskivea-paivassa/> (Viitattu 5.9.2023)
- Seyfarth, S. & Zhao, P. 2020. Evaluating an automatic speech recognition service. AWS Machine Learning Blog. <https://aws.amazon.com/blogs/machine-learning/evaluating-an-automatic-speech-recognition-service/> (Viitattu 12.11.2023)
- Sharples, M. 2023. Towards social generative AI for education: theory, practices and ethics. <https://arxiv.org/abs/2306.10063> (Viitattu 4.11.2023)
- Sievinen, A. 2022. Yksi tekniikka erottaa huippu-nopeat kirjoittajat muista – Tämä testi paljastaa, oletko nopea vai hidas kirjoittaja. Helsingin Sanomat. 18.4.2022. <https://www.hs.fi/hyvinvointi/art-2000008712688.html> (Viitattu 12.11.2023)
- Smith, C. 2023. What Large Models Cost You – There Is No Free AI Lunch. Forbes. 8.9.2023. <https://www.forbes.com/sites/craigsmith/2023/09/08/what-large-models->

- [cost-you--there-is-no-free-ai-lunch/?sh=39cf2bc64af7](https://softwarehut.com/blog/tech/speech-to-text) (Viitattu 11.11.2023)
- Sood, A. 2022. Speech-to-text Technologies. <https://softwarehut.com/blog/tech/speech-to-text> (Viitattu 12.11.2023)
- Statista. 2023. Speech-to-Text transcript accuracy rate among leading companies worldwide in 2021. <https://www.statista.com/statistics/1133833/speech-to-text-transcript-accuracy-rate-among-leading-companies/> (Viitattu 2.10.2023)
- Lappalainen, I., Federley, M., Mikkola, M., Simons, M., Rainio, I., & Suomala, S. 2021. Asumisen tulevaisuus: Uudistuvat palveluratkaisut ja -verkotot datatalouden mahdollistamina. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology No. 391 <https://doi.org/10.32040/2242-122X.2021.T391> (Viitattu 11.11.2023)
- Tatarek, M. 2023. Costs and benefits of your own LLM. <https://medium.com/@maciej.tatarek93/costs-and-benefits-of-your-own-llm-79f58c0eb47f> (Viitattu 11.11.2023)
- Thomas, B. & Thomas, L. 2016. Construction Robots – Elementary Technologies and Single-Task Construction Robots, Cambridge University Press.
- Trimble 2022. Spot the Robot Dog + Trimble Civil Construction. Trimble Civil Construction. <https://www.youtube.com/watch?v=67v5CCurkQY> (katsottu 21.10.2023)
- Trivedi, H., Balasubramanian, N., Khot, T. & Sabharwal, A. 2022. Interleaving Retrieval with Chain-of-Thought Reasoning for Knowledge-Intensive Multi-Step Questions. <https://arxiv.org/abs/2212.10509> (Viitattu 11.11.2023)
- Turing, A. M. 1950. Computing Machinery and Intelligence. Mind, 59(236), 433-460.
- Wang, B., Deng, X & Huan Sun. 2023. Iteratively Prompt Pre-trained Language Models for Chain of Thought. <https://arxiv.org/abs/2203.08383> (Viitattu 11.11.2023)
- Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Ichter, B., Xia, F., Chi, E., Le, Q., Zhou, D. 2023. Chain-of-Thought Prompting Elicits Reasoning in Large Language Models. <https://arxiv.org/abs/2201.11903> (Viitattu 27.9.2023)
- Vaheri, M. 2020. Robotiikan hyödyntäminen rakennustyömaalla. Tampereen yliopisto. <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/119044> (Viitattu 21.10.2023)

- Ventä, O., Honkatukia, J., Häkkinen, K., Kettunen, O., Niemelä, M., Airaksinen, M., Vainio, T. 2018. Robotisaation ja automatisaation vaikutukset Suomen kansantalouteen 2030, Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminta. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161102> (Viitattu 8.11.2023)
- Vida, K., Simon, J & Lauscher, A. 2023. Values, Ethics, Morals? On the Use of Moral Concepts in NLP Research. <https://arxiv.org/abs/2310.13915> (Viitattu 2.11.2023)
- Wigdahl, K. 2022. The Speech-To-Text Industry Is Taking Leaps Toward Digital Transformation That Pervade Other Industries, Too. Forbes. Sep 20, 2022. <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2022/09/20/the-speech-to-text-industry-is-taking-leaps-toward-digital-transformation-that-pervade-other-industries-too/?sh=4822a3bb76ad> (Viitattu 12.11.2023)
- Vogt-Lowell, K., Lee, N., Tsiligkaridis, T & Vaillant, M. 2023. Robust Fine-Tuning of Vision-Language Models for Domain Generalization. <https://arxiv.org/abs/2311.02236> (Viitattu 5.11.2023)
- Wolfe, C. 2023. Chain of Thought Prompting for LLMs. <https://cameronwolfe.substack.com/p/chain-of-thought-prompting-for-llms> (Viitattu 27.9.2023)
- Wu, x., Duan, R. & Ni, J. 2023. Unveiling Security, Privacy, and Ethical Concerns of ChatGPT. <https://arxiv.org/abs/2307.14192> (Viitattu 4.11.2023)
- Xu H., Chang R., Pan M., Li H., Liu S., Webber R.J., Zuo J., Dong, N. 2022. Application of Artificial Neural Networks in Construction Management: A Scientometric Review. Buildings 2022, 12, 952. <https://doi.org/10.3390/buildings12070952> (Viitattu 4.11.2023)
- Yenduri, G., Ramalingam, M., Selvi C. G., Supriya, Y., Srivastava, G., Maddikunta, P., Raj G. D., Jhaveri, R. H., Prabadevi, B., Wang, W., Vasilakos A. V., Gadekallu, T. G. 2023. Generative Pre-trained Transformer: A Comprehensive Review on Enabling Technologies, Potential Applications, Emerging Challenges, and Future Directions. <https://arxiv.org/abs/2305.10435> (Viitattu 4.11.2023)
- Ylönen, U. 2019. Rakennusteollisuuden vallankumous jäi haaveeksi, Yleisradio. <https://yle.fi/uutiset/3-10638320> (Viitattu 4.11.2023)
- Ympäristöministeriö. 2015. Ympäristöministeriön ohje rakennustyön suorituksesta ja valvonnasta. YM5/601/2015. [https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/YM\\_ohje\\_rakennustyon\\_suorituksesta\\_ja\\_valvonnasta.pdf](https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/YM_ohje_rakennustyon_suorituksesta_ja_valvonnasta.pdf) (Viitattu 11.11.2023)
- Ziwei, J., Lee, N., Frieske, R., Yu, T., Su, D., Xu, Y., Ishii, E., Bang, Y., Dai, W., Madotto, A. & Fung, P. 2022. Hong Kong University of Science and

Technology. Survey of Hallucination in Natural Language Generation. <https://arxiv.org/abs/2202.03629> (Viitattu 12.10.2023)

Zeichick, A. 2023. What Is Retrieval-Augmented Generation (RAG)? <https://www.oracle.com/artificial-intelligence/generative-ai/retrieval-augmented-generation-rag/> (Viitattu 15.10.2023)

Zou, A., Zhang, Z., Zhao, H. & Tang, Z. 2023. Meta-CoT: Generalizable Chain-of-Thought Prompting in Mixed-task Scenarios with Large Language Models. <https://arxiv.org/abs/2310.06692> (Viitattu 11.11.2023)

## Liitteet

### 1. Tekoälyn hallusinoima raportti

Tässä raportissa ei ole mitään oikein. Ainoastaan raportilla on joitakin annettuja rakenteita, mutta muuten kaikki tekstit on hallusinoitua sisältöä. ChatGPT (GPT-4) kirjoittaa kuitenkin raportin englanniksi. Pyydän kirjoittamaan raportin uudestaan ja lisäämään puuttuvat kuvat.



Kirjoita raportti edellä annetuilla tiedoilla suomeksi ja lisää puuttuvat kuvat (3,4 ja 9-12) sekä tapahtumat tilasta 416, kiitos.

Please write in Finnish language.

--

Tästä syntyi sitten raportti, jossa ei ole mikään sisältö oikein.

Rakennustyömaan tarkastusraportti

Projektinnumero: 001

Rakennustyömaan nimi: Asuinrakennus A

Rakennustyömaan osoite: Osoitetie 5

Asiakas: Asunto Oy

Vastaava työmaanjohtaja: [Nimi]

Tarkastuspäivämäärä: 23.10.2023

Aloitusaika: 09:00

Läsnä: [Nimet]

---

### 1. kerros, Keittiö (101)

Korkeus: 2,5 metriä

- Kuva 1: Keittiön lattia on asennettu ja näyttää olevan hyvässä kunnossa.
- Kuva 2: Seinämateriaalit ovat pahasti naarmuuntuneet. Vastaava työmaajohtaja tarkistaa tilanteen ja tekee tarvittavat korjaukset.

#### Ongelmat ja huomiot:

- Vaurioituneet seinämateriaalit tulee korjata tai vaihtaa. Vastaava työmaajohtaja vastaa tästä.

#### Tarvittavat luvat:

- Ei tarvita erillisiä lupia.
- 

## 1. kerros, Käytävä (102)

Korkeus: 2,7 metriä

- Kuva 3: Käytävän valaistus toimii kuten pitää.

#### Ongelmat ja huomiot:

- Valaistus on kunnossa eikä huomioita ole.

#### Tarvittavat luvat:

- Ei tarvita erillisiä lupia.
- 

## [Tila 416 puuttuu]

---

## Kuvat puuttuvat (3,4 ja 9-12)

- Kuva 4: [Kuvaus puuttuu]

- Kuva 9: [Kuvaus puuttuu]
  - Kuva 10: [Kuvaus puuttuu]
  - Kuva 11: [Kuvaus puuttuu]
  - Kuva 12: [Kuvaus puuttuu]
- 

#### Yhteenveto:

- Useita korjattavia kohtia on havaittu, erityisesti keittiön seinämateriaaleissa. Vastaava työmaanjohtaja huolehtii korjaustoimenpiteistä.

#### Vastuut:

- Vastaava työmaanjohtaja vastaa seinämateriaalien tarkastuksesta ja korjauksesta keittiössä (101).

#### Seuraava tarkastus: [Päivämäärä puuttuu]

---

Tämä raportti on laadittu huolellisesti tarkastuskäynnin perusteella. Puutteet ja korjaukset tulee tehdä mahdollisimman pian.

[Vastaava työmaanjohtaja, Allekirjoitus]

---

Huom: Tämä on malliraportti ja saattaa vaatia lisätietoja ja korjauksia