



Työturvallisuuden kehittäminen

Tekninen havainnoimisjärjestelmä ratatyökoneeseen

Iida Salminen

Opinnäytetyö AMK

06/2026

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma

Salminen, Iida

Työturvallisuuden kehittäminen. Tekninen havainnoimisjärjestelmä ratatyökoneeseen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2026, 48 sivua.

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Rautatiealueella jalkaisin liikkuvat työntekijät ovat vaarassa jäädä erilaisten ratatyökoneiden alle, kun samalla alueella liikkuu myös erilaisia ratatyökoneita. Erilaiset työtehtävät saattoivat vaatia tai huonosti suunniteltuna aiheuttaa työalueiden risteämisen, mikä altisti vakaville onnettomuus- ja vaaratilanteille. Kun kiskopyöräkaivinkoneisiin lisättiin tekninen havainnointijärjestelmä tukemaan nykyisiä toimintamalleja, halutaan sillä ehkäistä näiden tilanteiden syntymistä, joissa henkilöiden oma toiminta ei riittänyt ehkäisemään vaaratilanteita.

Työn aiheena oli työturvallisuuden kehittäminen jalkaisin liikkuvien työntekijöiden osalta Destia Oy:n Rataliiketoiminnassa, kun he liikkuvat ratatyökoneiden lähellä. Tavoitteena oli vertailla eri havainnointijärjestelmien teknisiä ominaisuuksia ja soveltuvuutta Suomen rautatiealueen radanpidon työtehtäviin. Lisäksi arvioitiin kuinka työntekijöiden turvallisuuskäyttäytyminen saattoi muuttua uuden järjestelmän käyttöönoton myötä ja miten järjestelmiä voitiin hyödyntää turvallisuuden parantamisessa.

Tutkimus toteutettiin tutkimuksellisenä kehittämistyönä, jossa hyödynnettiin eri järjestelmä valmistajien tarjoamia aineistoja sekä haastatteluiden avulla kerättyä tietoa. Aineistoa käsiteltiin sisältöanalyysin avulla, jossa analysoitiin materiaalin soveltuvuutta asetettuihin tutkimuskysymyksiin niin teoreettisesta kuin käytännön näkökulmasta.

Tuloksissa havaittiin, että tutkimuksen aikaiset turvallisen työskentelyn varmistavat toimintamallit tarvitsivat lisäksi teknisen järjestelmä ratkaisun, jonka toiminta ei ollut riippuvainen yksilön omasta toiminnasta. Lisäksi tuotiin esille, että järjestelmän käyttöönoton avulla voitiin vaikuttaa kehittävästi työntekijöiden turvallisuuskäyttäytymiseen, joka on keskeisessä asemassa järjestelmän onnistuneen käyttöönoton osalta.

Johtopäätöksenä tuotiin esille, että todellinen järjestelmän soveltuvuus Suomen rautatiealueelle käyttöön voidaan todeta järjestelmän testausvaiheen jälkeen. Teoria-aineisto antoi kuitenkin vahvan näkemyksen siitä, että järjestelmät soveltuivat Suomessa käytettäväksi ja toimeksiantajan valitseman järjestelmän kanssa voitiin edetä testausvaiheeseen.

Avainsanat (asiasanat)

Työturvallisuus, rautatiet, onnettomuudet, tekniset järjestelmät

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Liitteet 1–12 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on Julkisuuslain 621/1999 24§, 17 ja 20, yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika on kolme (3) vuotta, salassapito päättyy 19.1.2029.

Salminen, Iida

Improving occupational safety. Technical observation system for track maintenance machine

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2026, 48 pages.

Degree Programme in construction and civil engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Workers moving on foot in railway areas are at risk of being run over by various track maintenance machines, as they operate in the same area. Different tasks might require or, if poorly planned, cause the crossing of work zones, which exposed workers to serious accidents and hazard situations. When a technical observation system was added to rail-wheel excavators to support current operating models, the aim was to prevent situations where individuals' own actions were insufficient to avoid hazardous situations.

The subject of the work was the development of occupational safety for workers moving on foot in Destia Oy's Railway Services when they are near track maintenance machines. The goal was to compare the technical features and suitability of different observation systems for track maintenance tasks on the Finnish railway area. Additionally, the study evaluated how workers' safety behavior might change with the introduction of the new system and how the systems could be utilized to improve safety.

The research was conducted as an investigative development project, utilizing materials provided by different system manufacturers as well as information gathered through interviews. The data was processed using content analysis, analyzing the material's suitability for the set research questions from both theoretical and practical perspectives.

The results showed that the safe working models in place during the study required an additional technical system solution whose operation was not dependent on the individual's own actions. It was also highlighted that the introduction of the system could positively influence workers' safety behavior, which is central to the successful implementation of the system.

The conclusion was that the true suitability of the system for use in the Finnish railway area can be determined after the system's testing phase. However, the theoretical material provided a strong view that the systems were suitable for use in Finland, and with the system chosen by the client, it was possible to proceed to the testing phase.

Keywords/tags (subjects)

Occupational safety, railways, accidents, technical systems

Miscellaneous (Confidential information)

Appendices 1-12 are confidential and have been removed from the public version of the thesis. The basis for confidentiality is the Act on the Openness of Government Activities 621/1999 24§, 17 and 20, concerning the company's business or professional secrets. The confidentiality period is three (3) years and ends on 19.1.2029.

Sisältö

Määritelmät ja lyhenteet	3
1 Rautatieturvallisuuden kehittämisen lähtökohdat.....	6
1.1 Kestävä kehitys.....	8
2 Kehittämistyön tavoitteet ja kehittämistehtävät	9
3 Menetelmät	11
4 Rautatieympäristön erityispiirteet ja riskitekijät	13
4.1 Lainsäädäntö ja työturvallisuusvaatimukset.....	14
4.2 Sattuneiden onnettomuuksien ja vaaratilanteiden tilastot.....	16
5 Työntekijät ja teknologia	17
6 Taustatietoa ja projektin pohja	20
7 Tarvekartoitus ja nykytilan analyysi	22
8 Tekninen kuvaus.....	24
8.1 Zonr-Proximity warning system	25
8.1.1 Tekniset tiedot	26
8.1.2 Käyttäjien kommentit järjestelmään liittyen.....	26
8.1.3 Soveltuvuus ja skaalautuvuus.....	27
8.2 2DKIT Pedestrian detection.....	27
8.2.1 Tekniset tiedot	28
8.2.2 Käyttäjien kommentit järjestelmään liittyen.....	29
8.2.3 Soveltuvuus ja skaalautuvuus.....	29
9 Testaussuunnitelma.....	30
10 Pohdinta.....	31
10.1 Tutkimuskysymykset	32
10.2 Jatkokehitys.....	33
Lähteet	35
Liitteet	37
Liite 1. Toimintamallit ja niiden tehokkuuden arviointi.....	37
Liite 2. Zonr proximity warning system.....	38
Liite 3. Zonr – järjestelmän teknisten tietojen taulukko.....	39
Liite 4. Käyttäjien kommentit järjestelmään liittyen.....	40
Liite 5. Soveltuvuus ja skaalautuvuus - Zonr	41
Liite 6. Zonr – järjestelmän vertailutaulukko	42
Liite 7. 2DKIT Pedestrian detection.....	43

Liite 8. 2DKIT – järjestelmän teknisten tietojen taulukko	44
Liite 9. Soveltuvuus ja skaalautuvuus – 2DKIT	45
Liite 10. 2DKIT – järjestelmän vertailutaulukko	46
Liite 11. Tutkimuskysymyksien analyysi	47
Liite 12. Jatkokehitys projektille	48

Kuviot

Kuvio 1. Rautatiealueen lainsäädännön, määräysten ja ohjeiden hierarkia	15
Kuvio 2. Merkittävien rautatieonnettomuuksien lukumäärä onnettomuustyypeittäin vuosien 2014-2024 aikana (Traficom, 2022/2025)	17
Kuvio 3. Kehittämistyön eteneminen vuoden 2025 heinäkuusta alkaen	21
Kuvio 4. Työkoneen puomin ulottuma ja työkoneen kuljettajan estyneen näkymän alueet (Copilot-tekoälytyökalu)	24
Kuvio 5. Zonr-järjestelmän komponentit (Zonr, 2016)	25
Kuvio 6. 2DKIT järjestelmän näyttö ja kamerat	28

Määritelmät ja lyhenteet

Määritelmät ovat Radanpidon turvallisuusohjeen (TURO) version 32/2025 mukaisia (Väylävirasto, 2025a).

Junaliikenteellä	tarkoitetaan liikennöintimuotoa, jossa noudatetaan junaliikenteestä annettuja määräyksiä ja ohjeita. Yksikkö muuttuu junaksi, kun lähtövalmiusilmoitus on vastaanotettu.
Liikennöinti	on junaliikennettä tai vaihtotyötä.
Liikennöity raide	on raide, jolla ei ole ratatyölupaa.
Radanpidolla	tarkoitetaan rautatien ja siihen liittyvän kiinteän omaisuuden suunnittelua, hankintaa, rakentamista, hallintaa ja kunnossapitoa.
Radanpidon urakoitsijalla	tarkoitetaan tässä ohjeessa yrityksiä, yhteisöjä ja niiden alihankkijoita, jotka työskentelevät rautatiealueella Väyläviraston tilauksen, sopimuksen tai luvan perusteella. Radanpidon urakoitsijoita ovat myös yritykset, joka tekevät rata- verkolla radan rakennus- ja kunnossapitotöitä ja harjoittavat siten liikennöintiä rataverkolla. Radanpidon urakoitsijoita eivät kuitenkaan ole muut rautatieliikenteen harjoittajat eikä liikenteenohjauspalveluita tarjoava yhtiö.
Raide	koostuu ratapölkkyistä, ratakiskoista, ratakiskojen kiinnitys- ja jatkososista sekä vaihteista ym. raiteen erikoisrakenteista.
Rata	käsittää yhden tai useamman raiteen, raiteiden tukikerroksen, kaikki maaston pinnanmuodostuksen tasaamiseksi tarvittavat rakenteet, kuten penkereet ja leikkaukset, veden poisjohtamiseksi tarvittavat ojat, roudan torjumiseksi, radan vakavoittamiseksi ja raiteen kannattamiseksi tarvittavat rakenteet sekä kaikki radan rakenteeseen

kuuluvat ja liikenteen hoitamiseen tarvittavat erikoisra- kenteet ja - laitteet, kuten sillat, rummut, turvalaitteet ja sähköistyksen vaati- mat laitteet. Rata jakaantuu ratalinjaan ja liikennepaikkoihin.

Ratatyö	on rataverkolla tehtävää työtä, joka edellyttää liikennöinnin keskeyttämisen. Ensimmäisen luokan liikenteenohjauksen alueella ratatyöhön tulee olla liikenteenohjauksen antama ratatyöluja. Ratatyölujan aikana liikennöinti on keskeytetty ratatyöalueella. Toisen luokan liikenteenohjauksen alueella liikenteenoh- jaus ei anna ratatyölupaa, vaan ratatyövastaava vastaa itsenäisesti ratatyöstä ja sen turvaamisesta.
Ratatyöalue	on alue, jolla on ratatyöluja
Ratatyön suojaamisella	tarkoitetaan liikenteenohjauksen toimenpiteitä, joilla varmistetaan, ettei rata- työalueelle ohjata tai ohjaudu liikennöintiä.
Ratatyön turvaamisella	tarkoitetaan ratatyövastaavan maastossa tekemiä toimenpiteitä, joilla varmistetaan, etteivät ratatyöalueella liikkuvat työkonet ja työntekijät ajaudu ratatyöalueen ulkopuolelle sekä muita maastossa tehtäviä toimenpiteitä liikennöinnin ja ratatyön erottamiseksi.
Ratatyökoneella	tarkoitetaan sellaista työkonetta ja ajoneuvoa, joka voi kulkea joko pelkästään kiskoilla tai sekä kiskoilla että maalla. Ratatyökone koostuu peruskoneesta ja siihen liitetystä ratavarustuksesta. Ratatyökone voi liikkua myös muutoin kuin omalla konevoimallaan.
Ratatyön suojaulottuma (RSU) on pitkin raidetta ulottuva tila, jonka sisäpuolella työskentely edellyttää rata- työlujan tai voidaan tehdä tietyin edellytyksin turvamiestoiminnalla tai RATSUa käyttäen.	

Rautatiellä	tarkoitetaan yksi- tai useampiraiteista rataa sekä rautatiealuetta ja sillä olevia rakennuksia, rakennelmia ja laitteita, joita tarvitaan liikenteen hoitamiseksi ja turvaamiseksi sekä kaikkea näihin liittyvää toimintaa varten.
Rautatiealueella	tarkoitetaan aluetta, joka tarvitaan rataa, rata-aluetta, rakennuksia ja laitteita sekä liikenteen hoitamista sekä kaikkea näihin liittyvää toimintaa varten, ja tarpeellisia rautatieliikenteen palvelualueita.
Turvallinen työskentelyetäisyys	tarkoittaa työturvallisuuden kannalta tarvittavaa etäisyyttä työkohteen ja työ- koneen välillä. Turvallinen työskentelyetäisyys on määritettävä kohde- ja työ- konekohtaisesti.
Työkoneella	tarkoitetaan konetta tai ajoneuvoa, jonka ohjaimia käyttää tai jota ohjaa erillinen kuljettaja tai koneen käyttäjä. Työkoneita ovat ratatyökoneet ja maalla liikkuvat työkoneet.
Työkoneen tai liikkuvan kaluston työskentelyulottuma	määrittää, kuinka kauas työkone tai liikkuva kalusto, niiden osa tai taakka saattaa missä tahansa tilanteessa enimmillään ulottua työskentelyn aikana, suunnitellusti tai suunnittelematta työskentely- tai toimintovirheen takia. Työkoneen tai liikkuvan kaluston työskentelyulottuma riippuu työkoneesta tai liikkuvasta kalustosta, niiden lisälaitteista ja taakasta kohde-, työkone- ja kalusto- kohtaisesti.
Yksiköllä	tarkoitetaan junaa, vaihtotyöyksikköä tai raiteilla liikkuvaa muuta liikkuvaa kalustoa, esim. ratatyökoneita

1 Rautatieturvallisuuden kehittämisen lähtökohdat

Rautatiealue on turvallisuuskriittinen työympäristö, jossa toimiminen perustuu lainsäädäntöön, asetuksiin, määräyksiin, ohjeisiin, voimassa oleviin työpätevyyksiin ja erilaisiin työlupuihin (Traficom, N.d) Näiden lisäksi työympäristössä tulee noudattaa erityistä työturvallisuuden ja yleisen turvallisuuden tasoa, sillä pienetkin virheet voivat johtaa merkittäviin onnettomuuksiin.

Rautatiealueella turvallisuutta vaarantavia tekijöitä on junien ja vaihtotyöyksiköiden liikennöinti sekä erilaiset työkoneet. Tyypillisiä vaaranpaikkoja on ratatyöntekijöiden alle jäännin vaaratilanteet ja onnettomuudet sekä eri liikkuvien yksiköiden väliset törmäykset. (Traficom, 2022/2025). Radanpidon työtehtävissä, joissa työkoneiden ja työntekijöiden työskentelyalueita ei olla pystytty erottamaan toisistaan ja työskentely on joko edellyttänyt työskentelyalueiden risteämistä tai työntekijä on huomaamattaan siirtynyt työkoneen työskentelyalueen sisälle aiheuttaa se merkittäviä vaaratilanteita. Myös vaaratilanteita syntyy silloin, kun työkoneella liikutaan työntekijöiden työskentelyalueelle ja riski kyseisille vaaratilanteille kasvaa huomattavasti, kun työkoneella liikutaan peruuttaen.

Kiskopyöräkaivinkoneisiin asennettavan teknisen havainnointijärjestelmän avulla halutaan estää edellä mainittujen vaara- ja onnettomuustilanteiden syntyminen ja parantaa jalkaisin työskentelevien työntekijöiden työturvallisuutta ehkäisemällä vaara- ja onnettomuustilanteet. Ehkäiseminen perustuu kaikkien osapuolien oikea-aikaiseen hälyttämiseen, jolloin osapuolet ehtivät reagoida hälytykseen ja pysäyttää toimintansa ennen onnettomuuden syntymistä. Havainnointijärjestelmällä tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan teknistä työkoneenkuljettajan näkyvyyttä parantavaa järjestelmää, joka auttaa työkoneenkuljettajaa havainnoimaan hänen työkoneensa käyttämää ympäröivää aluetta.

Opinnäytetyön aihe on rajattu koskemaan työkoneiden osalta ratatyökoneisiin kuuluviin kiskopyöräkaivinkoneisiin ja työskentely-ympäristöjen osalta koskemaan radanpidon työtehtäviä. Tämän rajauksen avulla työ voidaan toteuttaa opinnäytetyölle annetussa aikataulussa tarjoten mahdollisimman kattavaa tietoa juuri kyseiseen toimeksiantajalta nousseeseen tarpeeseen.

Opinnäytetyössä esitellään kaksi erilaista teknistä havainnointijärjestelmää, jotka täyttävät toimeksiantajan asettamat kriteerit järjestelmän osalta. Järjestelmiä vertaillaan teknisten ominaisuuksien, kyvystä soveltua rautatiealueella käytettäväksi ja työntekijöiltä saatujen käyttökokemusten perusteella.

Opinnäytetyön aiheen rajauksessa on huomioitu myös tutkimuskysymykset, joiden avulla pyritään vastaamaan kehittämistyön keskeisimpiin ongelmakohtiin ja tarjoamaan toimeksiantajalle relevanttia sekä ajankohtaista tietoa aiheeseen liittyen. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Destia Oy:n Rataliiketoiminta. Destia Oy on Suomessa toimiva yksi johtavista infra-alan yrityksistä, ja Rataliiketoiminta eräs Destian eri toimialoista. (Destia, n.d). Opinnäytetyön aihe on valittu yhdessä toimeksiantajan kanssa, jossa on tunnistettu kehittämiskohta turvallisuuden saralta.

Opinnäytetyö on tutkimuksellinen kehittämistyö, jonka avulla halutaan parantaa rautatiealueella toteuttavien työtehtävien työturvallisuutta, kun työntekijät joutuvat työskentelemään ratatyökojeiden läheisyydessä.

Näkökulmia opinnäytetyöhön on valittu kaksi. Ensimmäinen on tekninen ja suorituskyvyn arviointiin perustuva näkökulma, jonka avulla vertaillaan havainnointijärjestelmiä niiden ominaisuuksien ja suorituskyvyn perusteella. Kyseisen näkökulman avulla saadaan tärkeää vertailukelpoista tietoa liittyen järjestelmien ominaisuuksiin.

Toinen näkökulma on käyttäjäkeskeinen ja inhimillinen näkökulma. Näkökulmassa halutaan keskittyä työntekijöiden kokemuksiin järjestelmästä sekä heidän turvallisuutensa parantumiseen järjestelmän käyttöönoton myötä heidän omien kokemusten perusteella sekä saatavilla olevaa onnettomuus- ja vaaratilanedataa tutkiessa. Tärkeitä painopisteitä tässä näkökulmassa on järjestelmän vaikutus heidän kykyynsä suoriutua työtehtävistä eli onko kyseisen järjestelmän käyttö sujuvaa työn toteutuksen kannalta vai luoko järjestelmän käyttö ylimääräisiä haasteita työhön. Pohdinnassa huomioidaan myös yleisen turvallisuuden tason kehitys ja muuttuminen järjestelmän käytön myötä.

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena on tuottaa toimeksiantajalle teoriatietoa havainnointijärjestelmistä, jotka soveltuvat parhaiten radanpidon työtehtäviin sekä Suomen rautatiealueelle. Järjestelmän käyttöönoton avulla jalkaisin työskentelevien työntekijöiden työturvallisuuden olisi tarkoitus konkreettisesti parantua ratatyökoneiden läheisyydessä työskennellessä.

Opinnäytetyön jatkokehityksenä tullaan myöhemmin toteuttamaan Destia Oy:n valituille projekteille pilotointivaihe järjestelmän laajempaan käyttöönottoon liittyen. Tämän takia laaditaan erillisenä tuotoksena toimeksiantajalle myös opinnäytetyöstä erillinen testaussuunnitelma ja -ohjeistus myöhempää pilotointia varten. Opinnäytetyön tehtävänä on tuottaa toimeksiantajalle luotettavaa ja vertailukelpoista tietoa järjestelmiin liittyen pohjautuen niiden teknisiin ominaisuuksiin sekä käyttäjäkokemuksiin.

1.1 Kestävä kehitys

Aihe on tärkeä kestävän kehityksen kannalta, sillä sen avulla halutaan parantaa yleisesti sosiaalista ja taloudellista kestävyyttä. Työntekijöiden työturvallisuuden parantaminen on suorasti heidän terveytensä vaikuttaja tekijä ja näin ollen myös osa sosiaalista kestävästä kehityksestä. Sosiaalisen kestävän kehityksen yhtenä pohjana toimii työntekijöiden työkykyisyyden varmistaminen niin, että he voivat toteuttaa omaa työtänsä terveenä koko työikänsä ajan ja näin edistää yhteiskunnan toimintaa. (Kestävän kehityksen edistäminen, 2026)

Taloudellisesta näkökulmasta tällä teknisellä havainnointijärjestelmällä ratkaisulla pyritään minimoimaan vahinkokustannuksia, joita voi syntyä erilaisten onnettomuus- ja vaaratilanteiden seurauksena. Taloudellisen kestävän kehityksen tausta huomioiden tällä kehittämistyöllä pyritään estämään tilanteet, joissa voisi syntyä materiaali- ja kalustovaurioita, kun materiaali on valmistettu uusiutumattomista luonnonvaroista, joiden valmistaminen ja ylläpitäminen on kestävän kehityksen kannalta vahingollista. Taloudellinen kestävä kehitys pohjautuu ajatukseen siitä, että käytetään näitä uusiutumattomia luonnonvaroja mahdollisimman vähän ja hyödynnetään uusiutuvia luonnonvaroja kestävästi niin, että vältytään ylikulutukselta. (Kestävän kehityksen edistäminen, 2026)

Kun ehkäistään työntekijöiden ja työkoneiden väliset onnettomuus- ja vaaratilanteet ehkäistään samalla myös niistä aiheutuvien ympäristövahinkojen syntyminen. Pahimmillaan nämä onnettomuus- ja vaaratilanteet voivat aiheuttaa ympäristövahinkoja, joita on esimerkiksi polttoainevahingot, tulipalot ja hydraulioöljyjen vuotaminen luontoon. (Ympäristöministeriö, 2011) Ekologisen kestävyyden näkökulmasta halutaan ennaltaehkäistä kaikki työskentelystä ympäristölle mahdollisesti syntyvät vahingot. Ekologinen kestävä kehitys nimenomaan varmistaa, että ihmisen toiminta ei vaurioita ympäröivää luontoa ja sen eliöitä. (Kestävän kehityksen edistäminen, 2026)

Kyseinen aihe on myös ajankohtainen sekä merkityksellinen sen ollessa fyysinen kehityskeino rautatieturvallisuuden näkökulmasta. Tällä kehittämistyöllä tarjotaan toimeksiantajalle uutta tietoa liittyen eri havainnointijärjestelmiin sekä miten käytännössä uuden havainnointijärjestelmän käyttöönotto vaikuttaa nykyisiin työskentelytapoihin ja toimintamalleihin Suomen rautatiealueella. Työturvallisuus on monimuotoista sekä myös jatkuvasti kehittyvää. Turvallisuuskriittisessä työympäristössä kehitettäviä kohtia turvallisuuden osalta on aina, eikä vastaavaa opinnäytetyötä, jolla tarjotaan tietoa teknisistä havainnointijärjestelmistä ja niiden soveltuvuudesta rautatiealueelle ole toteutettu aikaisemmin.

2 Kehittämistyön tavoitteet ja kehittämistehtävät

Opinnäytetyön tarkoituksena on tarjota tietoa saatavilla olevista teknisistä havainnointijärjestelmistä, joiden avulla voidaan parantaa rautatiealueella työskentelevien työntekijöiden työturvallisuutta, kun he työskentelevät radanpidon työtehtävissä rautatiealueella, missä liikkuu työskentelylle tyypillisiä ratatyökoneita. Tavoitteisiin pääseminen edellyttää uuden teknisen havainnointijärjestelmän integrointia nykyisiin toimintamalleihin sekä työntekijöiltä kykyä sopeutua järjestelmän käyttöön osana työntekoa. Taustana tälle opinnäytetyölle on toimialalla aikaisemmin tapahtuneet onnettomuus- ja vaaratilanteet, joiden myötä on tunnistettu tarve kehittää työntekijöiden työturvallisuutta. Tämän lisäksi tavoitteena on tuottaa toimeksiantajalle tietoa uuden järjestelmän vaikutuksista nykyisiin työskentelytapoihin. Näiden tavoitteiden avulla voidaan tarjota toimeksiantajalle relevanttia ja puolueetonta tietoa aiheeseen liittyen.

Ratatyökoneen kuljettajan näkemä ja kyky havainnoida ympäristössä liikkuvia henkilöitä on vaihteleva rata- ja työkoneen mukaan, mutta kuitenkin aina rajoittunut eikä kuljettajan pelkkä oma ha-

vainnointi riittää kattamaan koko työkoneen työskentelyalueen näkyvyyttä. Näkyvyyttä heikentävässä ovat työkoneiden omat rakenteet sekä niiden asento suhteessa niiden toteuttamaan työtehtävään.

Työturvallisuuslaki (738/2002) velvoittaa työnantajan huolehtimaan siitä, että työntekijä saa riittävän perehdytyksen työhönsä, työolosuhteisiin ja turvallisiin työtapoihin (Suomen säädöskokoelma, 2002). Rakennusalan työskentelyssä tämä tarkoittaa myös, että työnantajan tulee ohjeistaa kuinka työntekijä saa lähestyä työkoneita niin, että se on turvallista, ja toisaalta myös pysymään kaukana työkoneen työskentelyalueen sisältä.

Eri radanpidon työvaiheet voivat kuitenkin sisältää tai huonosti toteutettuna aiheuttaa jalkaisin työskentelevien työntekijöiden liikkumista työkoneen työskentelyalueen sisäpuolelle niin, että työkoneen kuljettaja on tai huonossa tapauksessa ei ole tietoinen kyseisistä liikkeistä. Näin syntyy riski, että jalkaisin työskentelevä työntekijä voi joutua onnettomuuteen tai vaaratilanteeseen rata-työkoneiden kanssa, kun työskentelyalueen sisäpuolelle liikutaan ilman molemminpuolista varmistusta ja tiedostamista. Työkoneen kuljettajien näkyvyyttä ja työntekijöiden tietoisuutta työkoneiden liikkeisiin liittyen pyritään parantamaan teknisen havainnointijärjestelmän avulla, joka antaisi työntekijöille oikea-aikaisen hälytyksen ennen vaara- ja onnettomuustilanteiden syntymistä.

Opinnäytetyön kehittämistehtävät ja tutkimuskysymykset on valittu vastaamaan toimeksiantajan tarpeeseen opinnäytetyön osalta sekä ne pyrkivät kiteyttämään opinnäytetyön pääkohdat. Tutkimuskysymyksenä käsitellään havainnointijärjestelmien kykyä tunnistaa työntekijät ja arvioidaan sen kykyä ehkäistä vaaratilanteiden syntymistä rautatiealueella. Tämän avulla pyritään arvioimaan järjestelmän soveltuvuutta nimenomaisesti rautatiealueella suoritettaviin työtehtäviin. Tämän lisäksi vertaillaan järjestelmien teknisiä ominaisuuksia. Tärkeää tavoitteiden sekä erityisesti työturvallisuuden kehityksen kannalta on lisänä huomata, että yksinään tekninen havainnointijärjestelmä ei varmista työntekijöiden turvallisuutta, vaan se tulee toimimaan nykyisten toimintamallien tukena tuoden toimintamalleihin mukaan myös teknisen näkökulman ja laajentaen nykyisiä riskienhallinnantoimenpiteitä.

Tutkimuskysymyksenä on myös miten automaattisesti toimiva havainnointijärjestelmä vaikuttaa työntekijöiden turvallisuuskäyttäytymiseen ja tilannetietoisuuteen työmaa-alueella. Tässä keskitytään nimenomaan turvallisuuden käsitteen merkitykseen työntekijöille ennen ja jälkeen havainnointijärjestelmän käyttöönoton. Lähtökohtaisesti voidaan olettaa työntekijöillä olevan työtehtäviä suorittaessa turvallinen olo niin pitkään kunnes jokin tilanne tai asia antaa toisin olettaa ja vaikuttaa turvallisuuden tunteeseen. Olennaista on myös pohtia virheellisen turvallisuuden tunteen ilmentymistä ja merkitystä.

Näiden lisäksi halutaan tutkimuskysymykseksi nostaa havainnointijärjestelmien kyky soveltua laajempaan pilotointiin ja integrointiin. Kysymyksen avulla halutaan nostaa esille mahdolliset haasteet ja ongelmat, mutta toisaalta myös tutkia ne toimivat tekijät, jotka edesauttavat laajemman käytön onnistumista.

Työ edellyttää sekä teoreettista perehtymistä havainnointijärjestelmiin että käytännön analyysia liittyen työntekijöiltä, valmistajilta sekä muilta toimijoilta saatuihin tietoihin liittyen. Työn vaativuus vastaa käytettävissä olevia resursseja, jotka on voitu mahdollistaa jo meneillään olleen kehittämistyön avulla. Lisäksi aiheeseen liittyvää aineistoa on saatavilla vaadittava määrä sekä työ on mahdollista toteuttaa tehtävänannon mukaisesti opinnäytetyölle annetussa aikataulussa.

Valittu aihe on opinnäytetyöhön sopiva, koska se liittyy työn tavoitteisiin ja vastaa toimialan ajan-kohtaiseen tarpeeseen. Aiheesta on ollut mahdollista saada luotettavaa tausta-aineistoa, mikä mahdollistaa aiheen tarkastelun teoreettisesta näkökulmasta, jota voidaan soveltaa käytäntöön. Työkoneiden, työympäristön sekä järjestelmä vaihtoehtojen avulla on voitu varmistaa, että aihe on käsiteltävissä työn laajuuden puitteissa.

3 Menetelmät

Opinnäytetyö toteutetaan tutkimuksellisenä kehittämistyönä, jonka tavoitteena on nykyisten toimintatapojen kehittäminen ja siitä seuraava työturvallisuuden parantuminen. Opinnäytetyö on laadullinen tutkimus ja opinnäytetyössä hyödynnetään pääsääntöisesti kvalitatiivisia aineistoja. Kuten Tietoarkiston (Tietoarkisto, n.d.) tutkimusmenetelmien verkkokäsikirjassa todetaan ”*Kvalitatiivisen aineiston suosiminen tarkoittaa ensinnäkin yksinkertaisesti sitä, että tutkimuksen aineis-*

toina käytetään empiirisiä aineistoja, joita voivat olla tekstejä, keskusteluja, haastatteluja, havainnointipäiväkirjoja, kuvia tai tiloja, joissa jokin toiminta tapahtuu.” Tässä opinnäytetyössä on hyödynnetty muun muassa haastatteluita, keskusteluita sekä eri toimijoilta saatuja aineistoja havainnointijärjestelmiin liittyen.

Opinnäytetyötä varten on työntekijöiltä kuultu kokemuksia havainnointijärjestelmiin liittyen. Tiedonkeruumenetelmänä on hyödynnetty myös observointia, jonka avulla kartoitettiin järjestelmän suoriutumiskykyä sekä työntekijöiden käyttäytymistä työkoneiden läheisyydessä. Observointi eli havainnointi tarkoittaa tutkittavan kohteen ja ilmiön toiminnan seuraamista ja havainnointia (Jyväskylän yliopisto, n.d.). Kehittämistyön kohderyhmänä on Destian Rataliiketoiminta sekä rautatiealueella työskentelevät Destian sekä Destialle sopimussuhteessa olevat työntekijät.

Aineiston analysointimenetelmänä on käytetty sisältöanalyysiä, jossa on arvioitu saadun materiaalin sisältöä suhteessa opinnäytetyön tavoitteisiin sekä kykyyn soveltua rautatiealueelle. Aineiston analysointi on aloitettu perehtymällä eri toimijoiden ja valmistajien tarjoamiin materiaaleihin, jotta on voitu muodostaa käsitys materiaalin kattavuudesta sekä laajuudesta. Tämän jälkeen saatavilla ollutta aineistoa on vertailtu keskenään sekä muodostettu näkemys sen soveltuvuudesta rautatiealueelle. Tulkintoja muodostaessa analyysin tulokset on perustettu aineistoihin sekä dokumentoituihin lähteisiin ja tarvittaessa tietoja on varmistettu eri osapuolilta.

Opinnäytetyö on toteutettu noudattaen hyvää tieteellistä käytäntöä sekä sen ilmenneet tulokset on kerrottu rehellisesti ja avoimesti, niin kuin ne ovat ilmaantuneet. Jyväskylän ammattikorkeakoulu on sitoutunut noudattamaan Tutkimuseettisen neuvottelukunnan (Tutkimuseettinen neuvottelukunta, 2023) hyvän tieteellisen käytännön arvoja ja näitä samoja arvoja on myös noudatettu tässä työssä. (Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 2024) Työn eettisyys on varmistettu sillä, että esimerkiksi pidetyt haastattelut on toteutettu anonymisti, eikä jälkepäin ole mahdollista todeta kuka henkilö on tiedonantoon osallistunut.

Työn luotettavuus on varmistettu kertomalla laajasti ja monipuolisesti kaikista ilmenneistä tuloksista sellaisena kuin ne ovat. Aineiston riittävydellä ja monipuolisuudella halutaan tarjota uskottavaa tietoa, joka parantaa tutkimuksen siirrettävyyttä sekä sovellettavuutta. Lisäksi niiden aineistojen kohdalla, jotka saatiin ei-puolueettomista lähteistä, on niiden sisältöanalyysin kohdalla

nostettu myös esille, että aineisto ei ole tarjottu puolueettomasta lähteestä tai tieto on suoraan valmistajan tarjoamaa tietoa työn luotettavuuden säilyttämiseksi.

4 Rautatieympäristön erityispiirteet ja riskitekijät

Rautatiealue on turvallisuuskriittinen ympäristö, jossa toimiminen perustuu lainsäädäntöön, määräyksiin, asetuksiin ja edellytyksenä ovat voimassa olevat erilaiset työpätevydet ja työluvut (Väylävirasto, n.d). Väyläviraston Radanpidon turvallisuusohjeessa TURO on määritelty rautatiealueen tarkoittavan aluetta, joka tarvitaan rataa, rata-aluetta, rakennuksia ja laitteita sekä liikenteen hoitamista sekä kaikkea näihin liittyvää toimintaa varten sekä muut tarpeelliset rautatieliikenteen palvelualueet (Väylävirasto, 2025a).

Rautatiealueella työturvallisuutta vaarantavat tekijät ja tunnistetut riskitekijät perustuvat rautatieympäristössä tapahtuvien toimintojen aiheuttamiin vaara- ja onnettomuustilanteisiin. Näitä rautatiealueella tehtäviä toimintoja eli työskentelyä voidaan toteuttaa muun muassa liikennöintinä, vaihtotyönä tai radanpitona, joka kattaa rautatien ja siihen liittyvän omaisuuden rakentamisen, suunnittelun, hankinnan, hallinnan ja kunnossapidon (Väylävirasto, 2025a).

Kun rautatiealueella liikutaan ratatyökoneiden ja liikennöityjen raiteiden läheisyydessä on olemassa riski erilaisille törmäyksille ja alle jäännin vaaratilanteille työkoneiden, henkilöiden ja muun liikenteen välillä. Rautatiealueella ja rautatiellä liikkuvia yksiköitä ovat muun muassa veturit ja junat sekä erilaiset ratatyökoneet, kuten kiskopyöräkaivinkoneet, kurottajat ja tukemiskoneet (Väylävirasto, 2025a). Rautatiealueella toteutetaan kuitenkin edelleen merkittävä määrä erilaisia työtehtäviä käsin työntekijöiden toimesta, avustaen työkoneita, jolloin riski vaaratilanteille ja onnettomuuksille on edelleen olemassa.

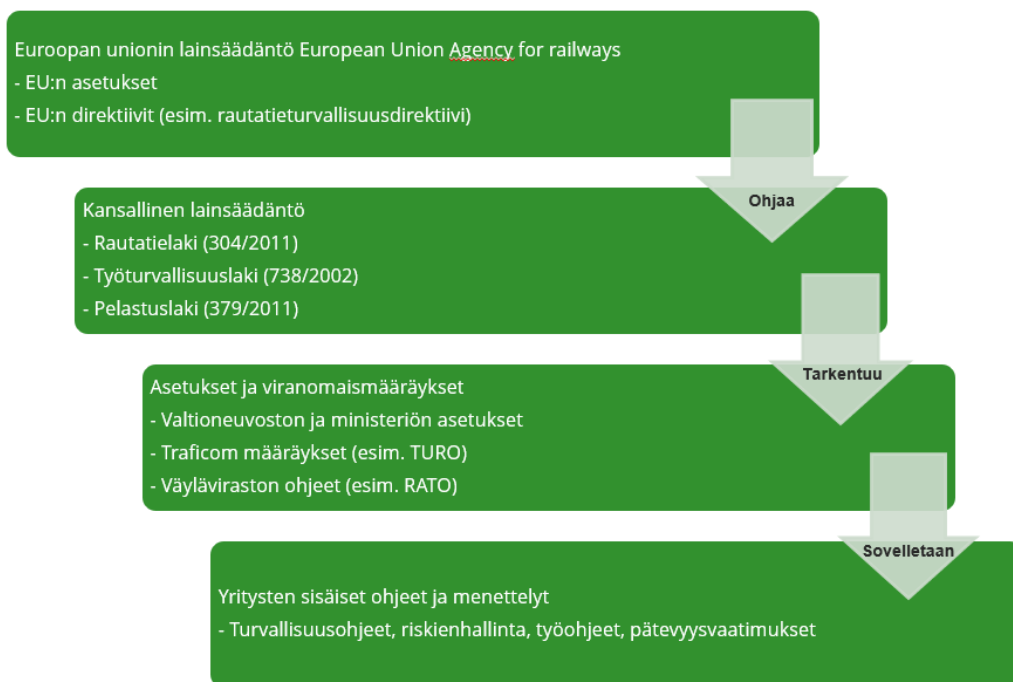
Työskentely pyritään aina toteuttamaan turvallisimmalla mahdollisella tavalla, mutta osa toteutettavista työtehtävistä voi joko edellyttää tai huonosti toteutettuna aiheuttaa jalkaisin työskentelevän työntekijän ja työkoneen työskentelyalueiden risteämistä ja näin ollen vaaratilanteiden muodostumista. Myös ratatyökoneen käytössä oleva työskentelyalue rautatiealueella on yleisesti

tarkkaan määrätty, eikä työkoneella välttämättä aina ole mahdollisuutta kääntyä liikuttuun suuntaan. Tämän takia työkoneilla voidaan liikkua myös tarpeen tullen takaperin peruuttaen, joka lisää huomattavasti riskiä törmäyksille ja alle jäännin vaaratilanteille.

4.1 Lainsäädäntö ja työturvallisuusvaatimukset

Suomen rataverkolla noudatettava ohjeistus ja kansallisen tason lainsäädäntö perustuu Suomen valtion lainsäädäntöön, Väylävirasto antamiin ohjeisiin ja liikenne- ja viestintävirasto Traficomin antamiin määräyksiin ja asetuksiin. Suomessa ohjaavat lainsäädännöt rautatiealueen radanpitoon sekä rakentamiseen ovat raideliikennelaki 1302/2018 (Suomen säädöskokoelma, 2018) ja työturvallisuuslaki 738/2002 (Suomen säädöskokoelma, 2002).

Suomessa annettua lainsäädäntöä ohjaa taas Euroopan tasolla toimiva ERA eli European Union Agency for railways. Rautateiden turvallisuuteen liittyen on annettu EU:n toimesta rautateiden turvallisuusdirektiivi 2016/798 (Euroopan unioni, 2016) ja yhtenäisestä rautatiealueesta on annettu direktiivi 2012/34/EU (Euroopan unioni, 2012). Nämä yhdessä muodostavat yrityksiä ohjaavat toimintamallit, joita jokainen yritys toteuttaa omien toimintaohjeiden ja menettelyiden mukaan.



Kuvio 1. Rautatiealueen lainsäädännön, määräysten ja ohjeiden hierarkia

Traficom (2019) antama määräys TRAFICOM/138582/03.04.02.00/2019 Rautatiejärjestelmän turvallisuus määrittelee, että jokaisella rautatieliikenteen harjoittajalla ja rataverkon haltijalla tulee olla oma turvallisuusjohtamisjärjestelmä dokumentoituna ja jonka avulla tulee ennalta ehkäistä erilaisten vaaratilanteiden ja onnettomuuksien syntymistä. Organisaation tulee myös asettaa laadulliset ja määrälliset tavoitteet liittyen turvallisuuden ylläpitämiseen, parantamiseen sekä lisäksi suunnitelmat ja menettelyt näiden tavoitteiden saavuttamiseksi (Traficom, 2019).

Rautatiealueen työturvallisuutta on ohjaamassa erilaiset pätevydet liittyen työturvallisuuteen sekä erilaisiin työtehtäviin rautatiealueella. Jokaisella rautatiealueella liikkuvalla tulee olla suoritettuna työturvallisuuskoulutus sekä niiltä osin, kun työtehtävät vaativat, tulee liikkumista ja työskentelyä varten olla myös suoritettuna ratatyöturvallisuuspätevyys (Turva). Jokaisella rautatiealueella liikkuvalla tulee myös työnantajan puolesta antaa perehdytys työhön, työmaahan ja sen olosuhteisiin. Näiden koulutuksien ja pätevyyksien lisäksi voivat työtehtävät edellyttää myös esimerkiksi muita pätevyksiä kuten turvamiespätevyyttä, Tieturva 1 ja/tai 2 koulutuksia, ratatyövastaavan

pätevyyttä, ratatyökoneen kuljettajan pätevyyttä tai kuljettajan lupakirjaa ja päällysrakennepätevyyttä. (Väylävirasto, 2025a)

Työturvallisuuslain (2002, 15§) vaatimuksina on myös, että jokaisella henkilöllä tulee olla työskentelyn edellyttämä vaatetus ja suojarusteet, jotka ovat soveltuvia työskentelyyn. Toimeksiantajan määrittelemät vaatetus ja suojarusteet ovat leukaremmillinen kypärä, sivusta suojaavat suojarahsit, pitkähihainen paita tai takki huomiovärissä, viiltosuoja hansikkaat, pitkä lahkeiset housut sekä korkeavartiset turvakengät. Näiden avulla pyritään varmistamaan ja parantamaan työntekijöiden henkilökohtaista turvallisuutta sekä heidän näkyvyyttänsä heidän työskennellessä rautatiealueella.

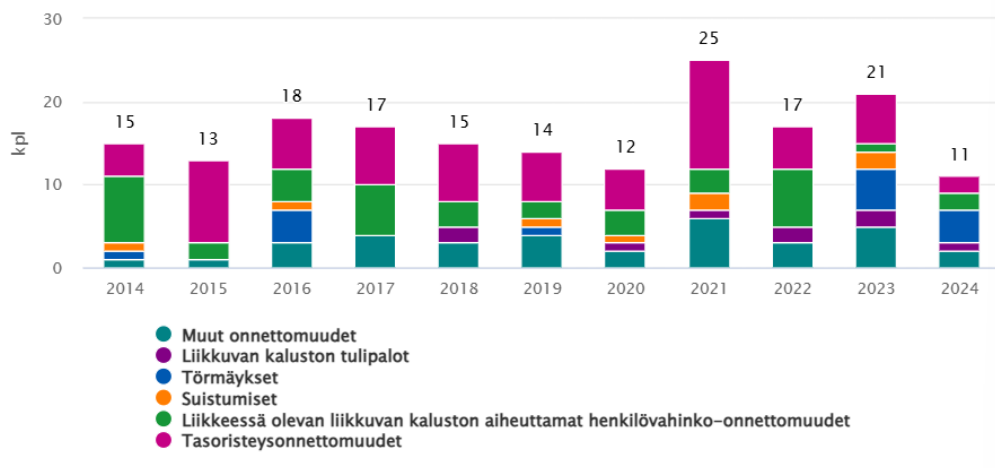
4.2 Sattuneiden onnettomuuksien ja vaaratilanteiden tilastot

Joka vuosi Suomen rataverkolla tapahtuu useampia merkittäviä onnettomuuksia ja vaaratilanteita alan toimijoille, jotka liittyvät niin liikennöintiin kuin radanpitoon. Jokaisella alalla toimivalla rautatieliikenteen harjoittajalla ja rataverkon haltijalla on Traficom (2019) antaman määräysten TRAFICOM/138582/03.04.02.00/2019 Rautatiejärjestelmän turvallisuus mukaisesti velvollisuus ilmoittaa kirjallisesti vaihtoehtoina olevilla tavoilla Liikenne- ja viestintävirastoon sattuneen tapauksen tiedot. Lopullinen ilmoitus, sisältäen tarkemman kuvauksen tapahtuneesta tulee lähettää viimeistään viiden päivän sisällä, kun tieto tapahtuneesta tilanteesta on saatu. (Traficom, 2019)

Näiden toimijoiden tekemien ilmoitusten perusteella Liikenne- ja viestintävirasto on tehnyt julkaisun liittyen rautatieliikenteen turvallisuuden tilaan, jonka osana on nähtävillä alla näkyvä yhteenvedotaulukko kuvaamassa vuodesta 2014 lähtien jokaista vuoden aikana sattunutta ja EU:n määritelmän mukaista merkittävää onnettomuudet eri onnettomuustyypeittäin. EU:n määrittelemiä merkittäviä rautatieonnettomuus tyyppisiä on liikkuvan kaluston tulipalot, törmäykset, suistumiset, liikkeessä olevan kaluston aiheuttamat henkilövahinko-onnettomuudet, tasoristeysonnettomuudet ja muut onnettomuudet (Traficom, 2022/2025). Taulukon viimeisin ilmoitettu vuosi on 2024.

Kuviosta 2. voidaan huomata onnettomuuksien määrän olevan yleisesti olleen laskussa, mutta vuosien välillä on kuitenkin hajontaa. Jokainen tapahtunut vaaratilanne ja onnettomuus ovat yksi liikaa ja näiden syntymistä tulee ennaltaehkäistä jokaisen toimijan toimesta.

Merkittävien rautatieonnettomuuksien lukumäärä onnettomuustyypeittäin 2014–2024



Kuvio 2. Merkittävien rautatieonnettomuuksien lukumäärä onnettomuustyypeittäin vuosien 2014–2024 aikana (Traficom, 2022/2025)

Vaikka suurin osa kyseisistä onnettomuustyypeistä ovat liitännäisiä liikennöintiin ja onnettomuuksissa osallisia henkilöitä ovat olleet siviilit, tapahtuu onnettomuuksia ja taulukosta ulkopuolelle jääviä vaaratilanteita edelleen liikaa rautatiealueella työskenteleville työntekijöille suhteessa toteutettuun työn määrään. Traficom (2022) toteaa, että kategoria ”muut onnettomuudet” pitää sisällään ne onnettomuudet, jotka ovat sattuneet radanpidon työntekijöille sekä muilla rautatiealueella työskenteleville työntekijöille.

Olenaisesti radanpidon työtehtävissä turvallisuuteen vaikuttavat toteutettavassa työssä sattuvat virheet, joista tietyt tapahtumat määritellään Väyläviraston toimesta rautatieliikenteen turvallisuuden vakavaksi vaarantamiseksi eli poikkeamaksi (Väylävirasto, 2026). Huomion arvoista on myös, että poikkeaman syntymisestä voi seurata eri onnettomuus- ja vaaratilanteita. Näin ollen myös toimenpiteet poikkeamien syntymisen vähentämiseksi ovat olennaisessa osassa työturvallisuuden kehityksen kannalta.

5 Työntekijät ja teknologia

Turvallisuus ja erityisesti työturvallisuus perustuvat siihen, että omaa työtänsä pystyy toteuttamaan niin, että se ei aiheuta vaara- tai onnettomuustilanteita itselle, muille työntekijöille, kalustolle tai materiaaleille. (Suomen säädöskokoelma, 2002)

Valtioneuvosto määrittelee Sisäisen turvallisuuden sanastossansa, että turvallisuus on *”tila, jossa uhkat ja riskit ovat hallittavissa. Turvallisuudella voidaan tarkoittaa myös toimintaa tai toimintojen kokonaisuutta, jolla pyritään siihen, että uhkat ja riskit ovat hallinnassa, tai tunnetta siitä, että uhkat ja riskit ovat hallinnassa.”* (Valtioneuvosto, 2023, 10). Turvallisuuden ja sen tunteen voidaan näin ollen olettaa Valtioneuvoston mukaan perustuvan hallintaan ja hallinnan tunteeseen eri tilanteissa. Toisaalta on tärkeää huomioida, että tunne hallinnasta voi olla virheellinen ja riski vaara- ja onnettomuustilanteiden tapahtumiselle voi edelleen olla olemassa tunteesta huolimatta. Tätä virheellisen turvallisuuden tunteen muodostumista puolustaa myös ihmisen toiminnan rutinoituminen, jolloin kyky nähdä vaaranpaikkoja ei ole enää samanlainen, eikä työn todellista vaaraa tunnisteta enää. (Riskien arviointi ja hallinta työpaikalla, 2023, 74)

Työturvallisuuden kehittäminen perustuu tunnistettujen riskien ja uhkien hallintaan ja mahdollisesti poistamiseen sekä riskienarviointiin. Näiden pohjalta voidaan luoda toimenpiteet, joiden avulla tunnistetut riskit ja uhkat minimoidaan. Ne riskit, joita ei pystytä tunnistamaan tai jäävät vaille toimenpiteitä, ovat toisaalta ne tekijät, jotka vaara- ja onnettomuustilanteita aiheuttavat. (Riskien arviointi ja hallinta työpaikalla, 2023, 9)

Teknisen havainnoimisjärjestelmän käytön avulla pyritään poistamaan riski inhimillisistä tekijöistä johtuville virheille, jotka syntyvät esimerkiksi keskittymisen herpaantumisen tai tilannetietoisuuden pettämisestä työtehtävien aikana ja jolloin voidaan ajautua ratatyökoneiden työskentelyalueen sisäpuolelle. Jotta tämä hyöty järjestelmästä voidaan saavuttaa tulisi järjestelmän tukea työntekijöiden työn toteuttamista sekä työskentelyä työmaa-alueella ilman, että se hankaloittaa tai hidastaa työssä suoriutumista ja pystyy ennakoivasti ilmaisemaan vaaranpaikoista. Toisaalta myös työskentelytapoja tulisi pystyä muuttamaan järjestelmän käytön myötä, jotta järjestelmästä voitaisiin saada tarvittava suorituskyky, jos järjestelmän toiminta ja nykyiset työskentelytavat ovat ristiriidassa keskenään.

Osana rautatiealueella työskentelyä ja turvallisuuden kehittämistä on otettu käyttöön käsite *”inhimilliset ja organisatoriset tekijät eli human and organisational factors”*. Työterveyslaitoksen julkaisussa Turvallisesti raiteilla, opas inhimillisten ja organisatoristen tekijöiden huomiointiin työssä Teperi kuvailee sitä, että *”Inhimilliset tekijät ovat yksilön toiminnassa, työn piirteissä sekä ryhmän ja organisaation toiminnassa vaikuttavia tekijöitä, jotka voivat joko tukea tai heikentää järjestelmän*

toimintaa, ja siten palveluiden turvallisuutta” (Teperi, 2012). Niin kauan kuin työtä toteutetaan ihmisten toimesta ei inhimillisiä tekijöitä voida täysin poistaa. On kuitenkin tärkeää, että toimijat tunnistavat nämä tekijät ja niiden vaikutukset riskitekijänä, mutta myös mahdollisuutena ja positiivisena asiana osana työskentelyä.

VTT:n artikkelissa *IoT-based safety monitoring from the perspective of construction site workers* Häikiö, Kallio, Mäkelä ja Keränen tuovat esille, kuinka erilaisten puettavien seurantalaitteiden sekä erilaisten ympäristöön asennettavien sensoreiden avulla voidaan pidemmällä aikavälillä parantaa työntekijöiden työturvallisuutta ja päätöksentekokykyä ennakoivampaan suuntaan (Häikiö, Kallio, Mäkelä, Keränen, 6–8). Artikkelin tarjoamat lopputulokset perustuvat työntekijöille laadittuun kyselyyn, jossa kartoitettiin työntekijöiden suhtautumista ja halukkuutta kehittää työturvallisuutta erilaisten teknologia ratkaisujen avulla, jotka keräävät työntekijöiltä erilaista dataa, liittyen esimerkiksi heidän liikkumiseensa, sydämen sykkeeseen ja stressitasoon (Häikiö, Kallio, Mäkelä, Keränen, 2020, 3).

Häikiö ja muut (2020) eivät suoraan artikkelissa totea työturvallisuuden parantuneen, mutta ilmaisevat sen potentiaalin ja, että se on mahdollista, kun vastaavia järjestelmiä käytetään työmaalla yhtäjaksoisesti. Tämän lisäksi IoT-pohjaisten teknologian tarjoaman datan avulla on tulevaisuudessa myös mahdollisuus parantaa työntekijöiden tuottavuutta ja työn sujuvuutta, jatkaa Häikiö, Kallio, Mäkelä ja Keränen. (2020, 10). IoT-teknologialla tarkoitetaan erilaisia teknisiä laitteita, jotka mittaavat sekä keräävät työntekijöiden henkilökohtaista dataa liittyen heihin sekä heidän työskentelyynsä. (Häikiö, Kallio, Mäkelä, Keränen, 2020, 3)

Tärkeänä asiana Häikiö ja muut (2020) huomauttavat, että ratkaisevassa asemassa työturvallisuuden kehittymisen kannalta näiden IoT-pohjaisten teknologiaratkaisujen avulla on työntekijöiden suhtautuminen järjestelmiä kohtaan. Olennaisena nostona tuodaan esille myös se, että ne tilanteet, joissa järjestelmin tuottama data tulee hyödyttämään omaa työpaikkaa ja työyhteisöä oli halukkuus järjestelmin käyttöön suurempi, kuin tilanteessa, jossa tuotettu data päättyisi muiden toimijoiden hyödynnettäväksi tai tietoisuuteen. (Häikiö, Kallio, Mäkelä, Keränen, 2020, 8–10.)

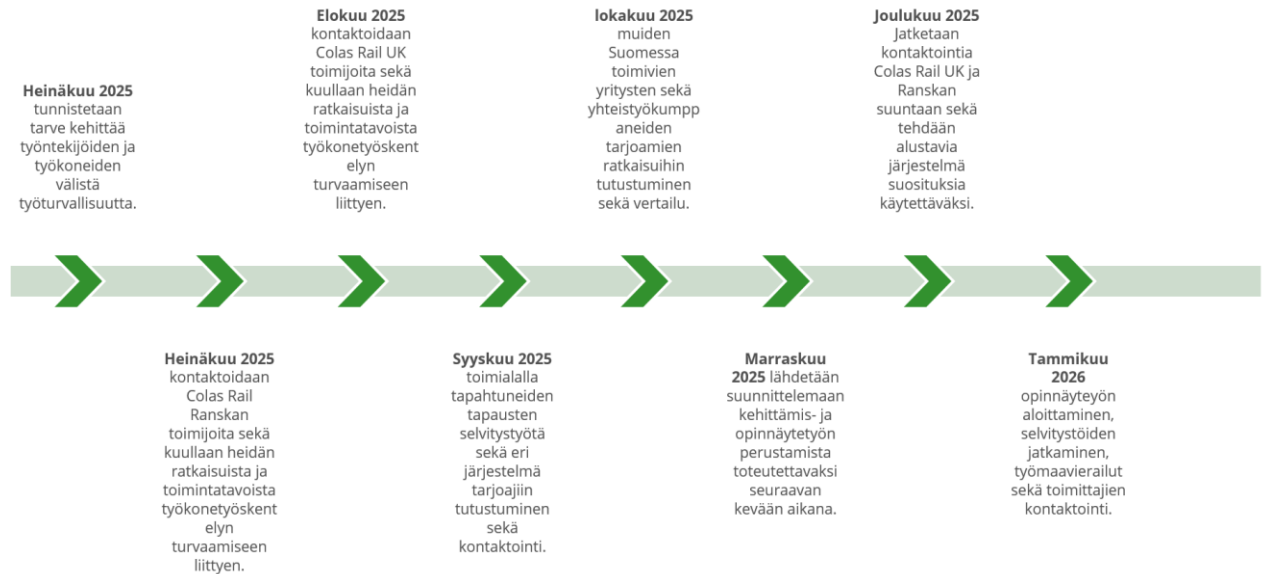
Oletuksena voitaisiin tehdä, että kun työntekijät ovat tietoisia siitä, että minkä tahansa käyttöön tulevan uuden järjestelmän tuottama data hyödyttää suoraan heidän työntekoansa ja työturvallisuutta, parantaisi tämä myös todennäköisesti järjestelmän käyttöönoton sujuvuutta ja integrointia osaksi työntekoa sekä laajempaa käyttöä koko organisaatiossa.

6 Taustatietoa ja projektin pohja

Rautatiejärjestelmän turvallisuuden kehittäminen on jatkuvaa työtä ja pysyvät parannukset alalla syntyvät pitkäjänteisen työn tuloksena. Toimialalla ilmenneiden onnettomuus ja vaaratilanne tapauksen pohjalta on nyt tunnistettu tarve kehittää jalkaisin työskentelevien työntekijöiden turvallisuutta toimeksiantajan suunnalta ja erityisesti, kun työskennellään eri ratatyökoneiden läheisyydessä niin, että ratatyökone toteuttaa myös omaa työtä ja riski törmäyksille on olemassa. Tämän opinnäytetyön taustana toimivaa ja aiheeseen liittyvää kehitystyötä on toteutettu vuoden 2025 syksystä alkaen.

Jo toteutetun kehittämistyön aikana on tutkittu tällä hetkellä saatavilla ja muilla toimijoilla käytössä olevia teknisiä havainnoimisjärjestelmiä. Tilannetta on tutkittu muiden toimialalla toimivien yritysten osalta, kontaktoitu toimeksiantajan nykyisiä yhteistyökumppaneita ja tutustuttu heidän tarjoamiin ratkaisuihin. Lisäksi on myös analysoitu Destian omistajan Colas Companyn käytössä olevia ratkaisuja muualla maailmalla. Colas Company toimii maailmalla yhteensä 50 eri maassa ja on maailmanlaajuisesti johtava yritys, joka on erikoistunut erityisesti infrarakentamiseen sekä -kunnossapitoon (Colas Company, N.d.).

Alla oleva kaavio kuvaa menneen kehitystyön etenemistä ajallisesti vuoden 2025 heinäkuusta lähtien, vuoden 2026 tammikuuhun asti.



Kuvio 3. Kehittämistyön eteneminen vuoden 2025 heinäkuusta alkaen

Osana tätä tutkimustyötä on pidetty haastatteluita ja tuote-esittelyitä eri toimijoiden ja yhteistyökumppaneiden kanssa, joiden avulla on kartoitettu heidän tarjoamia järjestelmäratkaisuja sekä heidän käyttämiä toimintatapoja liittyen työkoneiden läheisyydessä työskentelyyn. Suomessa muiden alalla toimivien yritysten osalta on osalla heistä käytössään teknisiä näkyvyyttä parantavia järjestelmiä. Kyseisillä yrityksillä on heidän toimintonsa kuitenkin erilaisia verrattaen toimeksiantajan toimintoihin, jonka takia heidän käytössängä olevat järjestelmät olivat suunniteltu näkyvyyden parantamiseen, mutta ne eivät sisältäneet toimintoa antaa varoitusta eri osapuolille ja näin estää törmäysten tapahtumista. (Alalla toimivan yrityksen edustaja, henkilökohtainen tiedonanto, 16.9.2025) Näin ollen nämä järjestelmät eivät vastaa toimeksiantajan tarpeeseen, eikä näiden järjestelmien osalta jatkettu tutkimustyötä.

Toimeksiantajan nykyisten yhteistyökumppaneiden pitämien järjestelmien esittelyiden jälkeen voitiin todeta, että järjestelmät eivät sellaisenaan vastanneet nykyistä ilmennyttä tarvetta, vaan ne olisivat vaatineet edistyneempää jatkokehitystä, joka ei ole mahdollista toteuttaa tämän projektin ja opinnäytetyön vaatimassa aikataulussa. Näin ollen on lähdetty tutkimaan ja etsimään muita vaihtoehtoisia markkinoilla olevia ratkaisuja, jotka vastaavat toimeksiantajan tarpeeseen.

Keväällä 2026 tehdyn tutkimustyön aikana on enemmän myös tutkittu uuden havainnointijärjestelmän käyttöönoton vaikutuksia nykyisiin työskentelytapoihin. Aiheeseen liittyen on haastateltu

toimeksiantajan työnjohtajia, jotka työskentelevät Destian Rataliiketoiminnan radanpidon yksikössä. Näiden avulla on voitu kartoittaa ja pyrityt ennakoimaan järjestelmän tuomia muutoksia työskentelyn toteuttamiseen. Tämän lisäksi on järjestetty myös työmaakäynti, jossa päästiin näkemään Zonr – Proximity warning järjestelmän toiminta käytännössä työmaaolosuhteissa.

7 Tarvekartoitus ja nykytilan analyysi

Tarve teknisen havainnoimisjärjestelmän käyttöönotolle ja rautatiealueen turvallisuuden parantamiselle toimeksiantajalla on syntynyt todellisten toimialalla tapahtuneiden vaara- ja onnettomuustilanteiden pohjalta, joita tarkemmin käsiteltiin kappaleessa 4.2. Tämän takia on olennaista pohtia nykyisin käytössä olevat toimintamallit, niiden tehokkuus ja toimivuus sekä toisaalta puutteellisuus ja heikkoudet. Näin voidaan todeta tarve turvallisuuden tason kehittämiseksi sekä, että nimenomaan teknisen havainnointi- ja varoitusjärjestelmän käyttöönotto nykyisten toimintamallien rinnalle on oikea ja tarvittu ratkaisu tämänhetkiseen tilanteeseen.

Nykyisiä toimintamalleja ja -tapoja toimeksiantajalla ohjaa rautatiealueella vaikuttava lainsäädäntö sekä toimintaohjeet, joita on käsitelty tarkemmin kappaleessa 4. Näiden lisäksi jokaiselle työhön tulevalle työntekijälle tulee antaa työhön perehdytys, jotka ohjeistavat työntekijöitä työskentelemään ja liikkumaan työmaalla turvallisesti (Suomen säädöskokoelma, 2002).

Salaisena liitteenä olevaan taulukkoon 1 on listattu tunnistettuja keinoja ja toimintamalleja, joiden avulla on aikaisemmin toimeksiantajan toimesta ehkäisty jalkaisin työskentelevien työntekijöiden ja työkoneiden välisiä törmäyksiä, onnettomuus- ja vaaratilanteita.

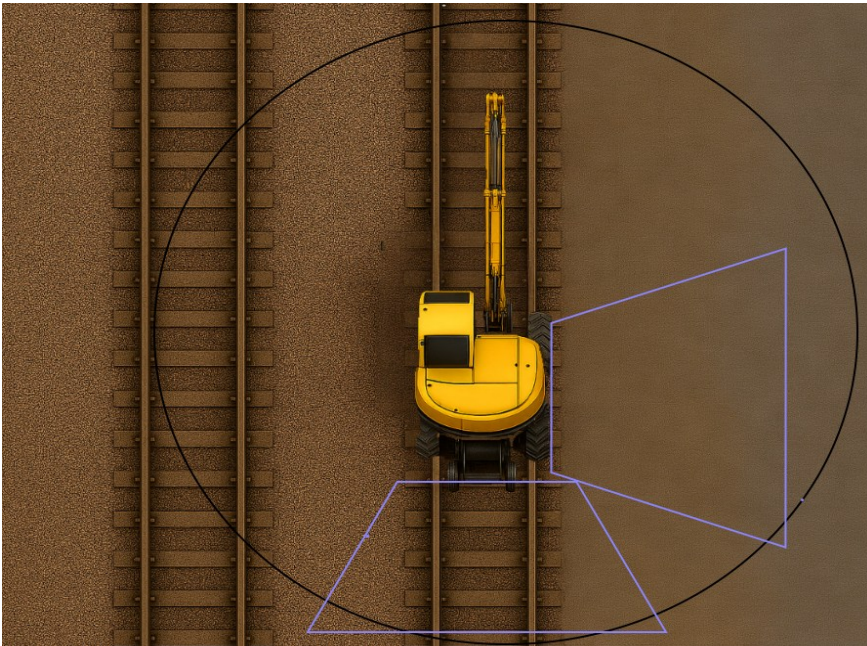
Salaisena liitteenä olevassa taulukossa 1 esitetyistä ratkaisuista voidaan huomata niiden painottuvan henkilökohtaisiin suojauksiin. Nämä keinot painottuvat yksilön käyttämiin tai omaaviin suojauskeinoihin ja niiden tehokkuus on hyvin pitkälle riippuvainen yksilön tavasta toimia. Nämä keinot edistävät työturvallisuutta huomattavasti, mutta eivät kokonaisvaltaisesti ota kantaa tämän hetken tunnistettuihin riskeihin. Olemassa olevissa suojauskeinoissa ei ole otettu kantaa teknisiin ja rakenteellisiin suojauskeinoihin, joiden toiminta perustuisi järjestelmiin tai muihin teknisiin ratkaisuihin, joiden tehokkuus ja luotettavuus ei olisi riippuvainen yksilöistä.

Toimeksiantajan työkoneen kuljettajalle (Toimeksiantajan kiskopyöräkaivinkoneen kuljettaja, henkilökohtainen tiedonanto, 10.4.2026) pidetyssä haastattelussa nousi esille, kuinka erityisesti useasti vaihtuva työryhmä sekä työkohteet aiheuttavat eniten vaaratilanteita. Usein näiden tilanteiden syntymisen taustalla haastateltavan (2026) mukaan on uusien työntekijöiden kokemattomuus työmaatyöskentelyssä. Kuljettajan (2026) mukaansa työntekijät eivät tällöin ole tottuneet liikkumaan työkoneiden läheisyydessä oikeaoppisesti, eivätkä he välttämättä osaa tunnistaa siihen liittyviä vaaranpaikkoja. Toisaalta myös tilanteet, joissa työryhmät muuttuvat eikä keskinäinen kommunikointi ole selkeää tai täysin sovittua, aiheuttaa se tilanteita, joissa työntekijöiden riski jäädä työskentelevän työkoneen alle on suurempi. Alalle tulleilla uusilla työntekijöillä ei ole vielä työkokemuksen tuomaa osaamista, joka lisäisi kykyä huomata vaaranpaikkoja työskentelyssä. (Toimeksiantajan kiskopyöräkaivinkoneen kuljettaja, henkilökohtainen tiedonanto, 10.4.2026)

Toimeksiantajan työnjohtajalle pidetyssä haastattelussa (Toimeksiantajan työnjohtaja, henkilökohtainen tiedonanto, 20.3.2026) keskusteltiin radanpidon työtehtävistä, jotka vaativat nykyisin työntekijöiltä liikkumista sekä työskentelyä kiskopyöräkaivinkoneiden läheisyydessä ja ympärillä. Haastattelussa kävi nopeasti ilmi, että nykyisin on useampia työtehtäviä, jotka tätä edellyttävät. Keskeisenä aiheena haastattelussa oli myös eri järjestelmä vaihtoehtojen tuomat vaikutukset nykyisten työtehtävien suoritustapoihin. Työnjohtaja (2026) totesi, että, koska nykyisin on useita työvaiheita, jotka edellyttävät työntekijöitä liikkumaan työkoneen läheisyydessä ei järjestelmä voi myöskään kokonaan estää sitä tulevaisuudessakaan. Työnjohtajan (2026) mukaan on niitä työtehtäviä, jolloin työntekijät työskentelevät kiskopyöräkaivinkoneen puomin sekä edessä sijaitsevan kiskopyörän välissä. Tätä työnjohtaja (2026) ei kokenut niinkään ongelmaksi tai vaaralliseksi, koska työkoneen kuljettaja näkee tällöin työntekijät koko ajan. Ongelmana hänen mukaansa enemmän ovat ne työtehtävät, jolloin työntekijät liikkuvat työkoneen takana sekä oikealla sivulla, jolloin työkoneen kuljettajan näkyvyys näille alueille on olematon. Työnjohtaja (2026) toivoikin, että järjestelmä varoittaisi niissä tilanteissa, kun henkilö on kyseisillä katvealueilla. Varoitus ei kuitenkaan saisi olla niin, että se ilmenee myös tarpeettomissa tilanteissa, joka altistaisi järjestelmän väärinkäytölle sekä, siten sen tehokkuuden laskulle. (Toimeksiantajan työnjohtaja, henkilökohtainen tiedonanto, 20.3.2026)

Kuva 4 havainnollistaa kiskopyöräkaivinkoneen puomin ulottumaa työkoneen ympärille sekä miten työkoneen oikeapuoli sekä takaosa ovat ne alueet, jotka ovat kuljettajan näkemän ulkopuolella,

eikä kuljettaja pysty havainnoimaan siellä liikkuvien henkilöiden liikkeitä esteettömästi tai ollenkaan ilman koneen kääntämistä.



Kuvio 4. Työkoneen puomin ulottuma ja työkoneen kuljettajan estyneen näkymän alueet (Copilot-tekoälytyökalu)

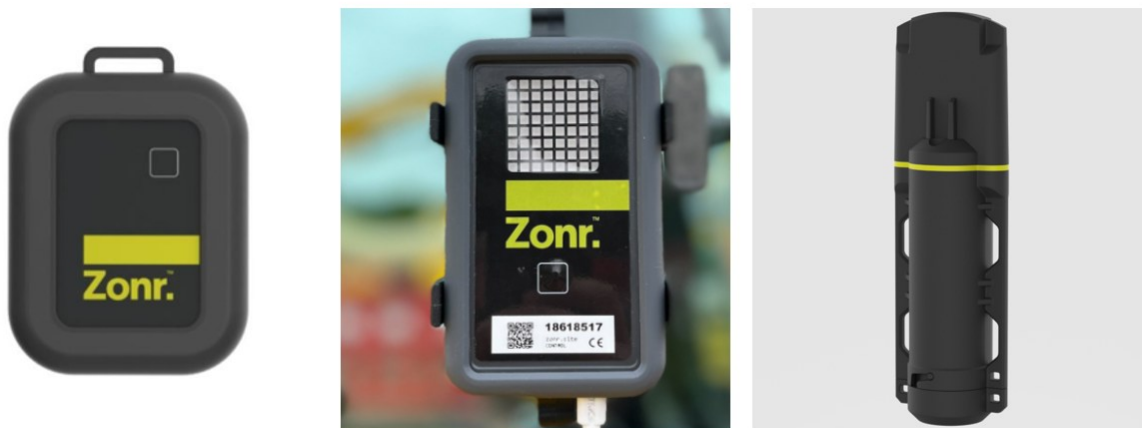
8 Tekninen kuvaus

Tässä työssä esitellään kaksi järjestelmää, joita on arvioitu ja analysoitu menneen kehittämistyön aikana. Kyseiset järjestelmät on valittu esiteltäväksi sillä perusteella, että ne olisivat sopivia vaihtoehtoja lopulliseen pilotointiin, sillä ne sisältävät lopulliselta järjestelmältä toivotut piirteet. Järjestelmien toimintaperiaatteet ovat keskenään erilaiset, jonka avulla voidaan paremmin pohtia järjestelmien soveltuvuuksia rautatiealueelle ja radanpidon työtehtäviin. Jokaisesta järjestelmästä esitellään sen rakenne, siihen kuuluvat komponentit sekä sen toimintaperiaate. Lopuksi arvioidaan sen soveltuvuutta rautatiealueen työtehtäviin, kerrotaan työntekijöiltä saatuja käyttökokemuksia järjestelmästä sekä arvioidaan lyhyesti järjestelmän skaalautuvuutta isompaan mittakaavaan ja käyttöön.

8.1 Zonr-Proximity warning system

Zonr vaara-alue varoitusjärjestelmä on Englannissa kehitetty järjestelmä, jonka toiminta perustuu työkoneen hyttiin asennettavaan hälytyspääteeseen, työkoneen runkoon asennettaviin sensoreihin ja työntekijöiden kädessä pitämään tunnisteisiin. (Zonr, 2016)

Työkoneen runkoon asennetut sensorit muodostavat työkoneen ympärille useasta ympyrästä koostuvan virtuaalisen vaara-alueen, jonka sisäpuolelle työntekijän liikkuessa, kun hänellä on tunnistekäsi kädessään varoittaa koneen hytissä oleva hälytyspääte koneen kuljettajaa sekä jalkaisin olevaa työntekijää ääni ja valomerkein. Jalkaisin olevan työntekijän kädessä pitämä tunnistekäsi alkaa myös värisemään, kun työntekijä astuu työkoneen virtuaalisen turva-alueen sisäpuolelle. (Zonr, 2016)



Kuvio 5. Zonr-järjestelmän komponentit (Zonr, 2016)

Järjestelmä on suunniteltu käytettäväksi rakennustyömaalla tapahtuvaan työskentelyyn ja se voidaan asentaa useisiin erilaisiin työkoneisiin. Järjestelmän komponentit toimivat langattomasti, eivätkä näin ollen ole kytkettyinä toisiinsa. Ne saavat virtansa AA-paristoista sekä USB-C kaapelin avulla suoraan työkoneen virtalähteestä. (Zonr, 2016) Järjestelmän asennus voidaan toteuttaa kenen tahansa henkilön toimesta, sekä järjestelmän osat ovat jälkeinpäin myös liikuteltavissa eri työvaiheiden tai todetun tarpeen mukaan.

Järjestelmän muodostamaa virtuaalisen alueen suuruutta, sekä hälytyksien muodostamaa dataa voidaan hallinnoida järjestelmään kuuluvan hallintaohjelman avulla. Hallintaohjelman avulla voidaan päättää jokaisen sensorin muodostamaan ympyrän mallisen vaara-alueen säde kolmesta metristä alkaen aina 20 metriin asti. Hallintaohjelman avulla valitaan myös mitkä työkoneeseen asennettavat sensorit kuuluvat osaksi mitä hälytyspäättettä. (Zonr, 2016)

Hallintaohjelma tuottaa tapahtumista dataa, jonka avulla on mahdollista tarkastella järjestelmän komponentteihin liittyviä tekijöitä ja tukea järjestelmän edistyneempää käyttöä. Tarkempi kuvaus datan sisällöstä, sen analysoinnista sekä havaituista ilmiöistä on esitetty salaisessa liitteessä 2.

8.1.1 Tekniset tiedot

Teknisten tietojen taulukko on esitetty salassa pidettävänä liitteenä 3.

8.1.2 Käyttäjien kommentit järjestelmään liittyen

Järjestelmän käytöstä ja sen soveltuvuudesta työmaakäyttöön on saatu kokemuksia ja kommentteja työntekijöille pidettyjen haastatteluiden sekä Google Forms – kyselyn tarjoamien tulosten avulla. Google Forms – kyselyn tulokset on saatu Destia Oyn omistajan Colas Companyn puolelta Englannista ja haastattelun on pidetty Suomessa Destian Oy:n työmaalla.

Kyselytutkimus toteutettiin sähköisenä Google Forms – lomakkeena ja kyselyyn vastasivat järjestelmän aktiiviset käyttäjät. Kyselyssä kartoitettiin esimerkiksi:

- Miten helppona järjestelmän käyttöönotto ja käyttö koetaan
- Kuinka luotettavana ja johdonmukaisena järjestelmän toiminta koetaan
- Kokevatko työntekijät, että järjestelmää on miellyttävä ja turvallista käyttää
- Kuinka työntekijät voivat luottaa kriittisessä tilanteessa järjestelmään.

Kyselyn lisäksi järjestettiin haastatteluita valituille työntekijöille, jotka pääsivät työskentelemään järjestelmän kanssa. Haastattelu oli kasvokkain järjestetty puolistrukturoitu haastattelu. Haastatteluissa syvennyttiin kyselyssä esiin nousseisiin teemoihin, kuten järjestelmän käytännön toimi-

vuuteen, sen hyötyihin ja mahdollisiin kehitystarpeisiin. Haastatteluissa keskusteltiin myös työntekijöiden omista kokemuksista järjestelmän vaikutuksesta työskentelyn turvallisuuteen ja yhteistyöhön työmaalla. Haastatteluaineiston avulla saatiin laadullista tietoa siitä, miten järjestelmä toimii erilaisissa työtilanteissa ja millaisia käytännön havaintoja työntekijöillä on sen käytöstä.

Kyselyn ja haastatteluiden perusteella muodostettiin kokonaiskuva järjestelmän käytettävyydestä, luotettavuudesta ja työntekijöiden kokemista hyödyistä. Kyselyn ja haastatteluiden keskeiset tulokset ja havainnot on esitetty salaisena pidettävässä liitteessä 4.

8.1.3 Soveltuvuus ja skaalautuvuus

Zonr – Proximity warning system on suunniteltu käytettäväksi työmaa-alueilla toimivissa työkooneissa. Järjestelmä koostuu siirreltävistä komponenteista, joten järjestelmän voi asentaa kaikkiin työmaakoneisiin, niiden mallista riippumatta. Komponentit on suunniteltu myös kestäämään vaihtuvia sääolosuhteita. (Zonr, 2016)

Järjestelmän luoma varoitusalue on työkoneen jokaisella sivulla eli työkoneen rungossa olevat sensorit muodostavat työkoneen ympärille ympyrän muotoisia virtuaalisia vaara-alueiden rajoja ja tällöin raja on työkoneen jokaisella sivulla. (Zonr, 2016)

Järjestelmän tarkempi soveltuvuus ja skaalautuvuus suurempaan pilotointiin käsitellään salaisena pidettävässä liitteessä 5. Liitteessä 5 arvioidaan erilaisten tunnistus- ja paikannusratkaisujen toimivuutta sekä tarkastellaan järjestelmän soveltuvuutta rautatiealueen työtehtäviin. Lisäksi liitteessä analysoitiin, miten järjestelmät asetukset ja komponenttien sijoittelulla voidaan vaikuttaa työalueiden turvallisuuteen ja työn sujuvuuteen. Salassa pidettävä liite 6 sisältää yhteenvetotaulukon järjestelmän eri piirteistä, jotka ovat nousseet esille toteutetun tutkimustyön aikana.

8.2 2DKIT Pedestrian detection

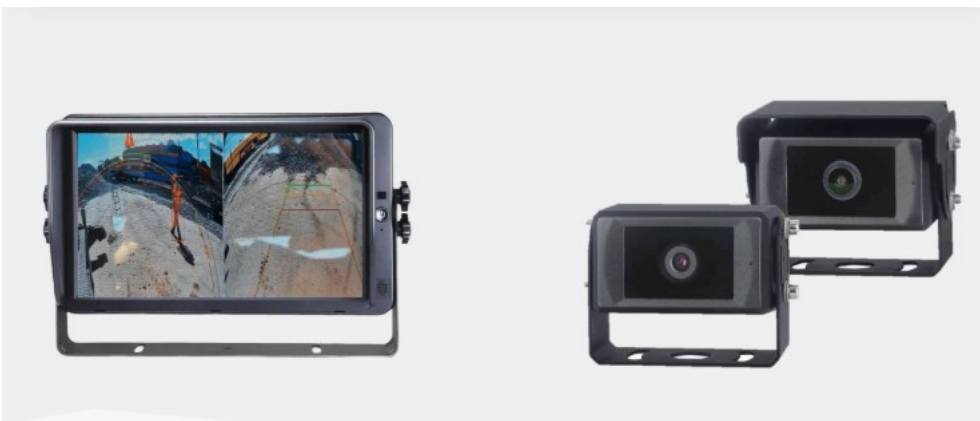
2DKIT Pedestrian Detection on Efan suunnittelema ja valmistama törmäyksen esto järjestelmä. Sen toiminta perustuu työkoneen hyttiin asennettavaan näyttöön ja työkoneen ulkopuolelle asennettaviin kameroihin, jotka tekoälypohjaisen 2D kuvantunnistuksen avulla havainnoivat ympäröivää aluetta ja hälyttävät koneen kuljettajaa, jos ihminen on vaara-alueen sisäpuolella. Järjestelmän

antama varoitus on äänimerkki koneen kuljettajalle, jonka kovuus ja hälytysääni vaihtuvat riippuen, miten lähellä työkonetta henkilö tai havaittu este on. (Efa Industrial parts & equipment, N.d.) Järjestelmän antama varoitusäänen tyyli on verrattavissa autoissa oleviin peruutuskamera järjestelmiin, joiden äänen kovuus ja taajuus muuttuvat kohteen etäisyyden mukaan.

Salaisessa liitteessä 7 käsitellään järjestelmän tarkemmat tekniset kuvaukset järjestelmän komponenteista, joiden avulla työkonetta kuljettajalle välitetään tietoa työalueesta ja sen läheisyydessä liikkuvista henkilöistä.

Arvioinnissa kiinnitettiin huomiota siihen, miten järjestelmä tunnistaa ihmisiä työalueella ja miten sen asetuksia voidaan säätää vastaamaan eri työkonetta ja työtehtävien vaatimuksia. Lisäksi tarkasteltiin järjestelmän asennus- ja kalibrointiprosessia.

Tarkastelun perusteella muodostettiin kokonaiskuva järjestelmän toiminnallisista ominaisuuksista ja sen soveltuvuudesta työympäristöihin. Yksityiskohtaiset tekniset tiedot, komponenttien kuvaukset ja valmistajakohtaiset ratkaisut on esitetty salaisessa liitteessä 7.



Kuvio 6. 2DKIT järjestelmän näyttö ja kamerat

8.2.1 Tekniset tiedot

Järjestelmän tekniset tiedot sisältävä taulukko on salassa pidettävä liite 8.

8.2.2 Käyttäjien kommentit järjestelmään liittyen

Järjestelmästä ei ole saatavilla muiden toimijoiden tarjoamia käyttäjäkokemuksia, mikä johtuu ensisijaisesti siitä, että järjestelmä ei ole nykyisten tietojen mukaan käytössä vielä Suomessa ollenkaan. Järjestelmä on myös saatavilla rajatulle asiakaskunnalle, jonka takia valmistaja ei ole tarjonut julkisia käyttökokemuksia muiden toimijoiden osalta. Järjestelmästä ei ole myöskään julkaistu kirjallisuutta tai muita avoimia lähteitä.

Kattavien käyttökokemusten puuttuminen rajoittaa tietyiltä osin järjestelmän soveltuvuuden arviointia todelliseen toimintaympäristöön. Arviointi joudutaan perustamaan tässä kohtaa valmistajan tarjoamiin dokumentteihin ja materiaaleihin sekä järjestelmän teknisiin tietoihin.

8.2.3 Soveltuvuus ja skaalautuvuus

Järjestelmän soveltuvuuden osalta salaisessa liitteessä 9 otetaan kantaa järjestelmän kykyyn toimia eri sääolosuhteissa sekä sen kykyyn toimia osana rautatiealueen työtehtäviä. Arvioinnissa otetaan kantaa myös järjestelmän asennettavuuteen, käyttöönoton edellytyksiin sekä sen vaikutuksiin nykyisiin työskentelytapoihin. Erityistä huomiota kiinnitettiin siihen, miten järjestelmä tunnistaa henkilön liikkeen määritellyllä alueella ja miten havainnointijärjestelmä tukee turvallista työskentelyä.

Lisäksi pohdittiin millaisia muutoksia työmenetelmiin saattaa olla tarpeen tehdä, jotta järjestelmä toimisi tehokkaasti ja hälytykset pysyisivät tarkoituksenmukaisina.

Yksityiskohtaiset tekniset tiedot, asennusratkaisut ja järjestelmän toiminnalliset kuvaukset on esitetty salaisessa liitteessä 9. Salaisena pidettävässä liitteessä 10 on yhteenvetotaulukko järjestelmän eri piirteistä, jotka ovat nousseet esille toteutetun tutkimustyön aikana

9 Testaussuunnitelma

Opinnäytetyön pohjalta tuotetaan toimeksiantajan työmaiden käyttöön erillinen testaussuunnitelma, jonka avulla voidaan toteuttaa valitun havainnointijärjestelmän testaus sekä tuottaa haluttua dataa testauksesta projektiorganisaatiolle. Varsinainen suunnitelma on salassa pidettävä tiedosto, joka toimitetaan erikseen toimeksiantajalle.

Suunnitelmassa tuodaan esille järjestelmän testauksen tarkoitus ja tavoitteet. Tarkoituksena on saada työmaalta kommentteja järjestelmän soveltuvuuteen radanpidon työtehtäviin sekä kuinka se saadaan integroitua osaksi nykyisiä toimintatapoja sekä toisaalta, kuinka järjestelmän käyttöönotto muuttaa työn toteutustapoja. Järjestelmän testauksen tavoitteena tuoda järjestelmä osaksi nykyisiä työskentelymalleja niin, että se onnistuu huomauttamaan työntekijöitä vaara-alueelle siirtymisestä ja onnistuu ennaltaehkäisemään vaaratilanteita. Tavoitteena on myös, että järjestelmän käyttöönotto ei hankaloittaisi nykyisten työskentelytapojen toteuttamista.

Valittu havainnointijärjestelmä esitellään suunnitelmassa sen komponenttien osalta ja toimintavan osalta. Tässä kuvataan myös mihin kohtiin kiskopyöräkaivinkonetta järjestelmän komponentit on asennettu sekä kuinka asennus tapahtuu. Toimintavan osalta esitellään sen toimintaperiaate sekä mihin asiaan turvaamisperiaate perustuu. Tämän lisäksi esitetään myös, kuinka vaara-alueen rajat on muodostettu sekä minkälainen annettu hälytys on eri osapuolille, kun vaara-alueen sisälle siirytään.

Suunnitelmassa tuodaan esille myös testaukseen tarvittavat resurssit, jotka vaaditaan työmaalta, jotta testaus voidaan suorittaa onnistuneesti. Työmaalta nimetään testauksesta vastuussa oleva henkilö, joka toimii linkkinä työmaan ja projektiorganisaation välillä. Suunnitelmassa tuodaan esille myös mitkä kiskopyöräkaivinkoneet on valittu testaukseen mukaan sekä kuinka monta niitä on.

Suunnitelmassa otetaan kantaa työnjohdon sekä työntekijöiden perehdyttämiseen sekä tuodaan esille, kuinka ja milloin heidät perehdytetään järjestelmän käyttöön. Työmaalla testauksessa vastuussa olevalle työnohtajalle ja työntekijöille järjestetään omat erilliset perehdytystilaisuudet. Suunnitelmassa tuodaan esille mitä työmaalla testauksesta vastaavalta henkilöltä odotetaan testaukseen liittyen sekä mitkä ovat hänen velvoitteensa testaukseen liittyen.

Testaussuunnitelmassa otetaan kantaa myös testausolosuhteisiin. Nämä tarkoittavat fyysisiä olosuhteita sekä ympäristöä. Tämän avulla kartoitetaan mahdollisten testaukseen vaikuttavien muutosten määrää, jotka voivat heikentää tai parantaa testauksesta saatavia tuloksia ja jotka voivat vaikuttaa järjestelmän toimintaan.

Järjestelmän testauksen aikana testaukseen osallistuvilla henkilöillä on mahdollisuus antaa kommentteja ja palautetta järjestelmän toimintaan liittyen. Palaute kerätään anonymisti ja sen pohjalta toteutetaan testauksen aikana tehtävät muutokset testaukseen ja järjestelmään liittyen. Testauksen päätyttyä osallistuneilta henkilöiltä kerätään loppupalautetta strukturoidun kyselyn avulla, jolla pyritään kartoittamaan testaukseen ja järjestelmään liittyvät ongelmat, kehityskohdat ja onnistumiset. Suunnitelmaan on nimetty ne yhteyshenkilöt, joihin tulee olla yhteydessä ongelmatilanteissa, jos ongelmaa ei pystytä ratkaisemaan työmaalla testauksesta vastuussa olevan henkilön toimesta.

Testaussuunnitelmaan muotoillaan yleinen suuntaa antava aikataulukko testauksen eri vaiheille sekä kuinka vaiheet etenevät. Lisäksi testaussuunnitelmaan lisätään liitteeksi jokaiselle kohteelle suunniteltu tarkempi aikataulu, joka sisältää tarkat tiedot asennuksista, perehdytyksistä, testauksen kestosta sekä loppupalautteen antamisesta. Aikataulukko suunnitellaan yhdessä kohteen työnjohtajan kanssa, jotta voidaan varmistaa, että suunniteltu ajankohta testaukselle on kohteelle sovellova ja toimiva.

10 Pohdinta

Kuten kappaleessa 7 tuodaan esille nykyisten toimintamallien laajuutta ja kattavuutta voidaan sen perusteella todeta, että niiden rinnalle tulisi lisätä teknisen järjestelmän tuki. Nykyisissä toimintamalleissa yksilön vastuu riittävän turvallisuuden tason toteutumisessa on suuri, jolloin riski inhimillisen toiminnan kautta syntyville onnettomuus- ja vaaratilanteille on merkittävä. Inhimillisiin tekojen perustuvia virheitä ei täysin voida koskaan poistaa niin kauan kuin ihmiset toteuttavat kyseistä työskentelyä, ja siksi toimintaa tulisi saada tukemaan tekninen ratkaisu, joka ei ole riippuvainen henkilöistä itsestä.

Tutkimusmenetelmiksi oli valittu haastattelut, observointi ja sisältöanalyysi. Tämän lisäksi saatavilla olevina aineistona oli kyselytutkimus. Nämä menetelmät antoivat ajankohtaista ja relevanttia

tietoa liittyen työturvallisuuden nykytilaan, nykyisiin toimintamalleihin sekä järjestelmän toimintoihin liittyen. Jatkokehityksen kannalta sekä miten menetelmiä voisi kehittää tulevaisuudessa olisi toteuttaa enemmän haastatteluita erilaisiin työkohteisiin. Rajallisten aikatauluresurssien takia päädyttiin ratkaisuihin, jotka oli mahdollista toteuttaa annetussa aikataulussa.

Aineiston hankintavaiheessa ilmeni haasteita, jotka liittyivät sekä kielimuuriin että yhteydenpitoon valmistajien ja toimijoiden kanssa. Osa valmistajista ja toimijoista vastasi yhteydenottoihin viiveellä tai ei lainkaan, mikä rajoitti saatavilla olevan tiedon määrää ja vaikutti osaltaan tutkimuksen aikatauluun. Näistä haasteista huolimatta melkein kaikkea aineistoa saatiin vaadittava määrä, jotta voitiin toteuttaa haluttu vertailu aineistoille. Vastaavan tutkimuksen suunnitteluvaiheessa on tärkeää varata riittävästi aikaa mahdollisiin viivästyksiin, mikäli valmistajilta ei saada vastauksia toivotussa aikataulussa. Valmistajilta saatu tieto ja aineisto on keskeisessä asemassa tutkimuksen onnistumisen ja aineiston kattavuuden kannalta.

Tutkimusprosessissa onnistui hyvin yhteistyö haastateltavien kanssa. Onnistuneesti järjestetyt haastattelut tarjosivat tärkeää ja kattavaa tietoa järjestelmän soveltuvuuden osalta. Vastaavaa tutkimusprosessia järjestäessä tulisi kuitenkin huomioida vielä laajempi otanta haastatteluihin, jotta saatuja tuloksia voidaan vertailla sekä tuottaa luotettavia johtopäätöksiä.

Toteutettujen haastatteluiden perusteella voitiin nopeasti todeta, että teknisen havainnointijärjestelmän lisääminen työkoneisiin on toivottu kehitysratkaisu niin työskentelyä toteutettavien työntekijöiden, työnjohdon ja työkoneen kuljettajien toimesta. Näin ollen vaikka lopullisen pilotoinnin jälkeen todettaisiin, että kumpikaan esitelty järjestelmä ei ole käyttöön soveltuva ratkaisu tulisi tilalle löytää vielä paremmin soveltuva ratkaisu, jonka toiminta perustuu myös teknisiin toimintoihin eikä sen toiminta olisi riippuvainen yksilön toiminnasta.

10.1 Tutkimuskysymykset

Salassa pidettävänä liitteessä 11 käsitellään työn keskeiset tutkimuskysymykset, jotka liittyivät teknisen havainnointijärjestelmien toimintaan ja soveltuvuuteen rautatiealueella. Liitteessä kuvataan miten järjestelmien toimintaa ja havainnointikykyä on arvioitu eri menetelmien avulla, sekä millaisia näkökulmia aineistot ovat tuoneet esiin.

Tämän lisäksi käsitellään työntekijöiden turvallisuuskäyttäytymisen ja tilannetietoisuuden muutoksia järjestelmien käyttöönoton yhteydessä. Näitä teemoja lähestytään sekä teoreettisesta näkökulmasta että käytännön havaintojen kautta ja pohditaan millaisia vaikutuksia järjestelmien pitkäaikaisella käytöllä voi olla työskentelytapoihin.

Lopuksi osiossa kuvataan järjestelmien soveltuvuuden arviointia laajempaan käyttöön ja niiden integrointia osaksi olemassa olevia työtehtäviä. Tarkastelu sisältää näkökulmia järjestelmien käyttöönoton mahdollisista vaikutuksista, pilotoinnin tarpeesta sekä siitä, miten järjestelmien toimivuutta voidaan arvioida jatkossa.

Kaikki tässä osiossa käsitellyt yksityiskohtaiset tulokset, vertailut ja arvioinnit ovat liitetty salassa pidettävään liitteeseen 11.

10.2 Jatkokehitys

Saatuja tuloksia voidaan hyödyntää jatkokehityksen kannalta toimeksiantajan organisaation päätöksenteossa. Tulokset ja huomiot aineistoon liittyen auttavat toimeksiantajaa muodostamaan näkemyksen vallitsevasta työturvallisuuden nykytilasta, sen piirteistä sekä ongelmakohtista. Tutkimustuloksia hyödyntäen voidaan niiden avulla pohjata ja perustella lopullinen järjestelmä valinta sekä lähteä edistämään järjestelmän lopullista pilotointia erikseen toteutetun testaussuunnitelman avulla. Tämä mahdollistaa kustannustehokkaan päätöksenteon ja käyttöönoton. Toteutettu työ tarjoaa nopean katsauksen siitä mitä potentiaalisia turvallisuushyötyjä havainnointijärjestelmällä voidaan saavuttaa rautatiealueella toteutettavaan työskentelyyn.

Salassa pidettävässä liitteessä 12 käsitellään tutkimuksen aikana esiin nousseita jatkokehityksen teemoja, jotka liittyvät työntekijöiden turvallisuuskäyttäytymiseen ja teknisen havainnointijärjestelmän integrointiin osaksi olemassa olevia toimintamalleja. Liitteessä käsitellään yleisellä tasolla työn kehittämiseen, toimintamallien arviointiin ja turvallisuuteen liittyviä näkökulmia sekä niiden merkitystä kokonaisuuden kannalta.

Salassa pidettävässä liitteessä 12 esitellään myös millaisia aihealueita tutkimuksen aikana on pohdittu ja miten ne liittyvät työn kokonaisuuteen ja sen tavoitteisiin. Tarkastelu perustuu tutkimuksen aikana tehtyihin havaintoihin ja teoreettisiin lähtökohtiin. Yksityiskohtaiset tulokset ja kehitysehdotukset on esitetty salassa pidettävässä liitteessä 12.

Lähteet

Colas Company. N.d. Colas Company – nettisivut. Viitattu 19.4.2026. <https://www.colas.com/en>

Destia. N.d. Destia Oy – nettisivut. Viitattu 8.4.2026. <https://destia.fi/>

Efa, Industrial parts & equipment. 2026. 2DKIT Collision Avoidance system – järjestelmä esittely. Saatu 6.2.2026. Salassa pidettävä.

Efa, Industrial parts & equipment. N.d. 2DKIT Collision Avoidance system. Viitattu 17.4.2026. <https://efa-controls.com/en/our-solutions/detection-navigation/anti-collision/2dkit-anti-collision-camera/>

Euroopan unioni. 2012. Direktiivi 2012/34/EU yhtenäisestä eurooppalaisesta rautatiealueesta. Euroopan parlamentti ja neuvosto. Annettu 21.11.2012. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0034>

Euroopan unioni. 2016. Direktiivi (EU) 2016/798 rautateiden turvallisuudesta. Euroopan parlamentti ja neuvosto, annettu 11.5.2016. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32016L0798>

Haastatteluaineisto. 2026. Useiden anonymien haastateltavien haastattelut. Salassa pidettävä.

Häikiö, Kallio, Mäkelä ja Keränen. 2020. IoT-based safety monitoring from the perspective of construction site workers. VTT. Viitattu 9.2.2026. https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/33712267/2184_0954_004.001_0001.pdf

Jyväskylän ammattikorkeakoulu. 2024. Eettiset periaatteet. <https://www.jamk.fi/fi/opiskelijalle/tutkinto-opiskelija/saannot-ja-periaatteet>

Jyväskylän yliopisto. Aineistonhankintamenetelmät, havainnointi eli observointi. N.d. Viitattu 6.4.2026. <https://sites.apptest.jyu.fi/mehu/fi/menetelmapolku/aineistonhankintamenetelmat/havainnointi-eli-observointi>

Kestävän kehityksen edistäminen. 2026. Kestävän kehityksen verkkokurssi 1 op. Viitattu 3.4.2026 <https://keke.bc.fi/Kestava-kehitys/suomi/sosiaalinen/>

Kyselyaineisto. 2025. Google Forms – kysely. Salassa pidettävä.

Riskien arviointi ja hallinta työpaikalla. 2023. Sosiaali- ja terveysministeriö, työsuojeluosasto ja Työturvallisuuskeskus. Työkirja. Viitattu 11.4.2026. <https://ttk.fi/tyoturvallisuus/vastuut-ja-velvoitteet/tyonantajan-yleiset-velvollisuudet/vaarojen-tunnistaminen-ja-riskien-arviointi/#riskien-arvioinnin-toteutus>

Sisäinen turvallisuuden sanasto. 2023. Valtioneuvosto. Viitattu 6.2.2026 https://valtioneuvosto.fi/documents/1410869/4024872/Sisaisen_turvallisuuden_sanasto.pdf/

Suomen säädöskokoelma. 2002. Työturvallisuuslaki 738/2002. Annettu 23.8.2002.

<https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2002/738>

Suomen säädöskokoelma. 2018. Raideliikennelaki 1302/2018. Annettu 28.12.2018.

<https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2018/1302>

Teperi A-M, Ruotsala R, Asikainen I, Ala-Laurinaho A, Lantto E, Paajanen T. 2020. Turvallisesti rai-teilla, opas inhimillisten ja organisatoristen tekijöiden huomiointiin työssä. Työterveyslaitos. Viitattu 11.2.2026. <https://www.julkari.fi/server/api/core/bitstreams/71dcd221-432a-4077-b319-99371652648f/content>

Tietoarkisto. (n.d.). Tutkimusmenetelmien verkkokäsikirja. Verkkoaineisto. Viitattu 11.3.2026.

<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/metelmaopetus/kvali/>

Traficom. 2019. Rautatiejärjestelmän turvallisuus TRAFICOM/138582/03.04.02.00/2019. Voimassa toistaiseksi. Viitattu 14.1.2026 [https://www.traficom.fi/sites/default/files/me-dia/file/TRAFICOM_138582_03.04.02.00_2019_FI_Rautatiejarjestelman_turvallisuus.pdf](https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/TRAFICOM_138582_03.04.02.00_2019_FI_Rautatiejarjestelman_turvallisuus.pdf)

Traficom. 2022, päivitetty 2025. Rautatieliikenteen turvallisuuden tila. Viitattu 14.1.2026

<https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/rautatieliikenteen-turvallisuuden-tila#53715-0>

Traficom. N.d. Raideliikenteen säädökset. Päivitetty 11.4.2026. Viitattu 8.4.2026. <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/raideliikenne/raideliikenteen-saadokset?toggle=Kansalliset%20turvalli-suuss%C3%A4%C3%A4nn%C3%B6t%20NSR>

Tutkimuseettinen neuvottelukunta. 2023. Hyvä tieteellinen käytäntö. HTK-ohje.

<https://tenk.fi/fi/hyva-tieteellinen-kaytanto-htk>

Väylävirasto. 2025a. Radanpidon turvallisuusohje (TURO). Väyläviraston ohjeita 32/2025. Viitattu 14.1.2026

<https://vayla.fi/palveluntuottajat/ohjeluetelo>

Väylävirasto. 2025b. Rautateiden turvallisuuskertomus 2024. Väyläviraston julkaisuja 88/2025. Viitattu 14.1.2026

https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/193199/vj_2025-88_978-952-405-320-4.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Väylävirasto. 2026. Turvallisuuspoikkeamien ja -havaintojen ilmoittaminen ja käsittely. Väyläviraston ohjeita 2/2026. https://aineistot.vayla.fi/api/file/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2026-02_turvallisuuspoikkeamien_ilmoittaminen_web.pdf

Väylävirasto. N.d. Turvallisuus rautatieliikenteessä. Päivitetty 20.12.2023. Viitattu 6.5.2026.

<https://vayla.fi/vaylista/rataverkko/turvallisuus>

Ympäristöministeriö. 2011. Ympäristövahinkojen ehkäiseminen. Ympäristön pilaantumisen ehkäiseminen verkkoaineisto. Viitattu 8.4.2026. <https://ym.fi/ymparistovahinkojen-ehkaiseminen>

Zonr. 2016, päivitetty 2026. Viitattu 20.2.2026. <https://zonr.com/>

Liitteet

Liite 1. Toimintamallit ja niiden tehokkuuden arviointi

Liite 2. Zonr proximity warning system

Liite 3. Zonr – järjestelmän teknisten tietojen taulukko

Liite 4. Käyttäjien kommentit järjestelmään liittyen

Liite 5. Soveltuvuus ja skaalautuvuus - Zonr

Liite 6. Zonr – järjestelmän vertailutaulukko

Liite 7. 2DKIT Pedestrian detection

Liite 8. 2DKIT – järjestelmän teknisten tietojen taulukko

Liite 9. Soveltuvuus ja skaalautuvuus – 2DKIT

Liite 10. 2DKIT – järjestelmän vertailutaulukko

Liite 11. Tutkimuskysymyksien analyysi

Liite 12. Jatkokehitys projektille