



**TURUN  
YLIOPISTO**  
UNIVERSITY  
OF TURKU

# **XR-pohjaisen palvelukonseptin mahdollisuuksia teollisuuden kunnossapidon, perehdytyksen ja turvallisuuden tukena**

Vilhelmiina Koivumäki, Anne Erkkilä-Välimäki,  
Saku-Matti Syrjä ja Essi Aalto

Turun yliopiston kauppakorkeakoulun Porin yksikön julkaisu A59:2026  
Turun yliopisto, Suomi



**TURUN  
YLIOPISTO**  
UNIVERSITY  
OF TURKU

Kansikuva: Magnific  
Taitto: Moods Oy

ISBN 978-952-02-0765-6 (Sähköinen)  
ISSN 1799-7070  
Pori, kesäkuu 2026



Euroopan unionin  
osarahoittama



**SATAKUNTALIITTO**  
Regional Council of Satakunta

**PORI**

**innokaupungit**

**Prizztech**

**ROBOCOAST**  
**EDIH** European  
Digital Innovation  
Hubs Network



**TURUN  
YLIOPISTO**  
Kauppakorkeakoulu

Satakunta Metaversum for Business (SaMBa) on Euroopan unionin (EU) osarahoittama ryhmähanke (R-01396), jonka toteutusaika on 1.8.2024–31.7.2026. Hankkeen päätoteuttaja on Prizztech Oy (päähanke A81028) ja osatoteuttaja Turun yliopiston kauppakorkeakoulun Porin yksikkö (TSE Pori, osahanke A81029). SaMBa-hanke saa rahoitusta Satakuntaliiton kautta Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027 -ohjelmasta ja Porin kaupungilta kuntarahoitusta osana Porin kaupungin ekosysteemisopimuksen mukaista kestävästä kaupunkikehittämisestä rahoitusta. Hanke kuuluu toimintalinjaan 1 Innovatiivinen Suomi ja erityistavoitteeseen 1.2 Digitalisaation etujen hyödyntäminen kansalaisten, yritysten ja julkishallinnon hyväksi.

Raportissa esitetyt hankkeen tulokset, niihin perustuvat näkemykset ja johtopäätökset edustavat kirjoittamiseen osallistuneiden tutkijoiden ja asiantuntijoiden näkemyksiä. Ne eivät edusta hankkeen toteuttajaorganisaatioiden tai rahoittajien virallista kantaa.

# Esipuhe

Teollisuuden digitalisaatiossa otetaan yhä laajemmin käyttöön ratkaisuja, joissa fyysinen ja digitaalinen toimintaympäristö kytkeytyvät tiiviimmin toisiinsa. Laajennetun todellisuuden teknologiat ja muut immersiiiviset ratkaisut tarjoavat uusia mahdollisuuksia muun muassa monitoimijaisen teollisen työn suunnitteluun, perehdytykseen ja turvallisuuden kehittämiseen. Uusien teknologioiden käyttöönotto edellyttää systemaattista ja kriittistä arviointia: teknologian liiketoiminnallinen arvo realisoituu vasta, kun ratkaisu kohdentuu selkeästi tunnistettuun tarpeeseen ja tuottaa yrityksille konkreettista hyötyä.

Prizztech Oy:n ja Turun yliopiston kauppakorkeakoulun Porin yksikön toteuttaman Satakunta Metaversum for Business (SaMBa) -hankkeen tavoitteena on ollut muun muassa lisätä ymmärrystä siitä, mitä metaversumi ja siihen liittyvät teknologiat konkreettisesti tarkoittavat yritysten liiketoiminnan näkökulmasta. Hankkeessa on muun muassa kartoitettu metaversumiin liittyviä mahdollisia käyttötapauksia ja arvioitu alustavasti niiden liiketoiminnallisia mahdollisuuksia.

Tämä raportti muodostaa osan SaMBa-hankkeen toteutusta, mutta se ei kata hanketta kokonaisuudessaan. Raportissa tarkastellaan esimerkkitapauksena XR-pohjaisen palvelukonseptin mahdollisuuksia teollisuuden kunnossapidon tukena. Raportissa näkökulma on liiketoiminnallinen, koska uusien teknologioiden arvo yrityksille ei synny itse teknologiasta, vaan siitä, miten ratkaisu tukee ja tehostaa liiketoimintaa. Kiitän lämpimästi hyvästä yhteistyöstä hankkeen toteutukseen osallistuneita yrityksiä ja asiantuntijoita, Prizztech Oy:tä ja Robocoast EDIH -toimijoita, hankkeen ohjausryhmää sekä Satakuntaliittoa ja Porin kaupunkia.

Porissa, 9.6.2026

## **Päivikki Kuoppakangas**

Tutkimuspäällikkö, Turun yliopiston osahankkeen vastuullinen johtaja  
Turun yliopiston kauppakorkeakoulun Porin yksikkö (TSE Pori)

# TURUN YLIOPISTO

Tekijät: Vilhelmiina Koivumäki, Anne Erkkilä-Välimäki, Saku-Matti Syrjä ja Essi Aalto  
Otsikko: XR-pohjaisen palvelukonseptin mahdollisuuksia teollisuuden kunnossapidon, perehdytyksen ja turvallisuuden tukena

Julkaisun tiedot: Turun yliopiston kauppakorkeakoulun Porin yksikön julkaisu A59:2026

## TIIVISTELMÄ

Selvityksessä tarkasteltiin esimerkkitapauksena laajennetun todellisuuden teknologioiden (XR) sovellettavuutta valmistavan teollisuuden kunnossapidon ja siihen liittyvän perehdytyksen, turvallisuuden ja yhteistyön kontekstissa. Taustalla on tarve arvioida, milloin uudet digitaaliset ratkaisut tuottavat yrityksille osoitettavaa hyötyä suhteessa nykyisiin toimintatapoihin.

Selvityksen keskeinen kysymys oli, millaisin edellytyksin XR-ratkaisut voivat tuottaa valmistavan teollisuuden yrityksille ja niiden kunnossapitokumppaneille osoitettavissa olevaa hyötyä kunnossapidon suunnittelussa ja valmistelussa, perehdytyksessä, turvallisuudessa ja yhteistyössä erityisesti monitoimijaympäristössä. Tavoitteena oli arvioida XR-pohjaisen kunnossapitopalvelun teknistä ja toiminnallista toteutettavuutta sekä sen liiketoiminnallisia edellytyksiä. Aineisto perustui kirjallisuuskatsaukseen, verkkolähteisiin, asiantuntija- ja yrityshaastatteluihin, kirjallisiin vastauksiin sekä vapaamuotoisiin keskusteluihin.

Tulosten perusteella XR-ratkaisut voivat tuottaa lisäarvoa erityisesti kunnossapidon ennakovalmistelussa, perehdytyksessä, turvallisuusharjoittelussa, etätuessa ja yhteistyössä, jos käytettävissä on oikeaa ja ajantasaista teknistä aineistoa, ratkaisut ovat helppokäyttöisiä ja hyöty voidaan osoittaa kustannusten, ajansäästön tai turvallisuuden näkökulmasta.

Laaja yhteiskäyttöinen XR-kunnossapitopalvelu on mahdollinen mutta ehdollinen malli: se edellyttää riittävää käyttäjävolyyymiä, toistuvia käyttötapauksia, koordinoivaa pääasiakasta, yhteisiä moduuleja sekä selkeitä vastuu-, sopimus- ja ylläpitokäytäntöjä. XR-avusteinen simulaatiopalvelu näyttäytyy alkuvaiheessa kaupallisesti helpommin toteutettavana, koska sen asiakas, käyttötapaus ja ostoperuste ovat rajatumpia. Laajemmin selvitys osoittaa, että digitaalinen transformaatio etenee teollisuudessa varovaisesti: teknologinen mahdollisuus ei riitä, vaan käyttöönotto edellyttää liiketoiminnallisesti perusteltua, rajattua ja käyttäjälähtöistä ratkaisua.

Selvitys toteutettiin osana EU-osarahoitteista Satakunta Metaversum for Business (SaMBa) -hanketta Satakuntaliiton ja Porin kaupungin tuella.

Avainsanat: XR-teknologia; kunnossapito; valmistava teollisuus; teollinen metaversumi; yhteiskäyttöisyys; palvelukonsepti; simulaatiopalvelu; digitaalinen transformaatio

# UNIVERSITY OF TURKU

Authors: Vilhelmiina Koivumäki, Anne Erkkilä-Välimäki, Saku-Matti Syrjä and Essi Aalto

Title: Exploring the Potential of an XR-Based Service Concept in Supporting Industrial Maintenance, Onboarding, and Safety

Publication: Publications of Turku School of Economics, Pori Unit A59:2026

## ABSTRACT

The study examined, as an illustrative case, the applicability of extended reality (XR) technologies in the context of maintenance in the manufacturing industry, including related practices of induction, safety, and collaboration. The study was motivated by the need to assess when emerging digital solutions can generate demonstrable value for companies compared with existing practices.

The key question of the study was to determine under what conditions XR solutions can generate demonstrable value for manufacturing companies and their maintenance partners in maintenance planning and preparation, workforce induction, safety, and collaboration, particularly in multi-actor industrial environments. The aim was to evaluate the technical and functional feasibility of an XR-based maintenance service, as well as its business-related preconditions. The material consisted of a literature review, web-based sources, expert and company interviews, written responses, and informal discussions.

The findings indicate that XR solutions can create added value particularly in maintenance preparation, workplace induction, safety training, remote support, and collaboration, provided that accurate and up-to-date technical data are available, the solutions are easy to use, and their benefits can be demonstrated in terms of cost, time savings, or safety.

A broad shared XR maintenance service is a possible but conditional model: it requires sufficient user volume, recurring use cases, a coordinating lead customer, shared modules, and clearly defined practices for responsibilities, contracts, and maintenance. An XR-assisted simulation service appears more commercially feasible in the initial phase, because its customer, use case, and purchasing rationale are more clearly delimited. More broadly, the study shows that digital transformation in industry proceeds cautiously: technological potential alone is insufficient, as adoption requires a business-justified, clearly bounded, and user-oriented solution.

The study was conducted as part of the Satakunta Metaversum for Business (SaMBa) project, co-funded by the European Union, with support from the Regional Council of Satakunta and the City of Pori.

Keywords: XR technology; maintenance; manufacturing industry; industrial metaverse; shared-use model; service concept; simulation service; digital transformation

# Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Metaversumi ja XR-tekniologiat teollisessa toimintaympäristössä</b> .....	<b>10</b>
	2.1 Metaversumin käsite.....	10
	2.2 Teollinen metaversumi.....	11
	2.2.1 Käsitteet ja kehitys.....	11
	2.2.2 Teknologinen perusta.....	12
	2.2.3 Data, kyberturvallisuus ja sisällön yhteentoimivuus.....	12
	2.3 XR-tekniologiat.....	13
	2.3.1 Määritelmät.....	13
	2.3.2 XR työelämässä ja teollisessa käytössä.....	13
<b>3</b>	<b>Aineisto ja menetelmät</b> .....	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>Yhteiskäyttöisen XR-kunnossapitopalvelun kuvaus</b> .....	<b>17</b>
	4.1 Yhteiskäyttöisen XR-kunnossapitopalvelun idea ja lisäarvo.....	17
	4.2 Kevyt toteutusmalli.....	18
	4.3 Kohderyhmä ja palvelumallit.....	20
<b>5</b>	<b>Arvio liiketoimintamahdollisuuksista</b> .....	<b>21</b>
	5.1 Teollisen kunnossapidon lähtökohdat ja toimintaympäristö.....	21
	5.1.1 Kunnossapidon haasteita.....	22
	5.2 Palvelukonseptin laadullinen kohdemarkkinatarkastelu.....	23
	5.2.1 Yritysten näkemykset palvelukonseptin mahdollisuuksista.....	24
	5.2.1.1 Tiedon laatu ja saatavuus.....	25
	5.2.1.2 Yritysnäkökulmasta rajaus XR-avusteiseen simulaatiopalveluun.....	26
	XR-avusteinen simulaatiopalvelu kunnossapidon suunnitteluun.....	27
	5.2.2 Asiantuntijoiden näkemyksiä palvelukonseptista.....	28
	5.2.2.1 XR-ympäristön tekninen toteutettavuus ja käytettävyys.....	28
	5.2.2.2 Yhteiskäyttöisen palvelukonseptin mahdollisuudet.....	29
	Alueellinen potentiaali yhteiskäyttöiselle palvelukonseptille, esimerkinä Satakunta.....	30
	5.3 Riskit ja keskeiset toteutusedellytykset.....	31
	5.3.1 XR-laitteistojen käytettävyys teollisuusympäristössä.....	31
	5.3.2 Yhteiskäyttöisen palvelun hallinta- ja vastuuriskit.....	33
	5.3.3 Teknologia-, alustariippuvuus- ja räätälöintiriskit.....	33
	5.3.4 Datan saatavuus, käyttöoikeudet ja tietoturva yhteiskäyttömallissa.....	34
	5.3.5 XR-avusteisen simulaatiopalvelun markkina- ja ansaintamalliriskit.....	34
	5.4 Potentiaaliset asiakkaat, käyttäjät ja koordinoivat toimijat.....	35
	5.4.1 Yhteiskäyttöinen XR-kunnossapitopalvelu.....	35
	5.4.2 XR-avusteinen simulaatiopalvelu.....	36
	5.5 Laadulliset kannattavuusarviot.....	37
	5.5.1 Yhteiskäyttöisen palvelukonseptin ehdollinen kannattavuus.....	37
	5.5.2 Palveluntarjoajan kannattavuusedellytykset yhteiskäyttöisessä mallissa.....	37
	5.5.3 XR-avusteisen simulaatiopalvelun kannattavuusedellytykset.....	40
	Robocoast EDIH – vauhtia yritysten digitaaliseen kasvuun ja kilpailukykyyn.....	42
<b>6</b>	<b>Johtopäätökset</b> .....	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>Lähdeluettelo</b> .....	<b>47</b>

# 1 Johdanto

Yritysten digitalisaatiota koskevassa politiikka-, tutkimus- ja kehittämiskeskustelussa on viime aikoina esitetty odotuksia siitä, että yritysten tulisi ottaa digitaalisia teknologioita käyttöön nykyistä tahtia laajemmin ja nopeammin. Tämä perustuu siihen, että digitaalisen transformaation nähdään yleisesti parantavan yritysten tuottavuutta, kilpailu- ja innovaatiokykyä (Euroopan komissio, 2025a; Gal ym., 2019; OECD, 2021). Liiketoiminnan näkökulmasta digitaalinen transformatio on uuden teknologian käyttöönottoa syvällisempi muutos, jossa digitaalinen teknologia voi muuttaa liiketoimintamallia, organisaation rakenteita ja prosesseja, arvонуontia sekä suorituskyvyn mittaamista (Bharadwaj ym., 2013; Matt ym., 2015; Vial, 2019; Verhoef ym., 2021). Euroopan unionin (EU) tavoitteet korostavat yritysten digitaalista kyvykkyyttä ja edistyneiden teknologioiden hyödyntämistä (Euroopan komissio, 2025b, 2025c; Eurostat, 2025).

Yritysten näkökulmasta teknologian käyttöönottopäätökset perustuvat niiden omiin arvioihin siitä, onko investointi perusteltu suhteessa yrityksen tavoitteisiin, resursseihin ja toimintaympäristöön (EIB, 2023; Sagala & Öri, 2024). Erityisesti pienissä ja keskisuurissa eli pk-yrityksissä digitaaliset investoinnit kilpailevat rajallisista resursseista muun liiketoiminnan kanssa. Digitalisaation hitaus voi johtua epävarmasta kustannus–hyötysuhteesta, puutteellisista käyttöönottoon liittyvistä kyvykkyyksistä ja vaikeudesta osoittaa investoinnin tuottoa ennakolta. Näistä syistä digitaalisten ratkaisujen onnistunut käyttöönotto voi tukea vaiheittainen eteneminen, joka on sovitettu yrityksen lähtötasoon, resursseihin ja tunnistettuihin hyötyihin (OECD, 2021; EIB, 2023; Maretto ym., 2023; Sagala & Öri, 2024).

Selvityksessä yritysten digitalisaation tarkastelussa käytetään esimerkkinä metaversumiratkaisujen ja erityisesti XR-teknologioiden käyttöönottoa teollisen kunnossapidon kontekstissa. Metaversumiratkaisut voivat yhdistää fyysisiä ja digitaalisia ympäristöjä hyödyntämällä esimerkiksi lisättyä ja virtuaalitodellisuutta (esim. Dwivedi ym., 2022). Liiketoimintamallien näkökulmasta metaversumi on mahdollinen uusi arvонуonnin ja arvon haltuunoton ympäristö, jossa fyysisen ja digitaalisen maailman yhdistyminen voi muuttaa yritysten prosesseja, asiakassuhteita sekä tuotteiden ja palvelujen tuottamisen tapoja (Mancuso ym., 2023; Kostelić & Etinger, 2025; Kantas ym., 2026). Kunnossapito on teollisissa ympäristöissä keskeisen tärkeä tuottavuutta ja kannattavuutta tukeva toiminto, joka nojaa edelleen merkittävästi ihmisten kokemusperäiseen tietoon ja kykyyn toimia häiriö- ja poikkeamatilanteissa ja jota siksi on vaikea automatisoida kokonaan (Alsyough, 2007; HSE, ei pvm.-a; HSE, ei pvm.-b). Siksi valmistavan teollisuuden kunnossapito on kiinnostava konteksti, jonka avulla voidaan tarkastella XR-ratkaisujen hyötyjä, käyttöönoton edellytyksiä, riskejä ja liiketoiminnallisia mahdollisuuksia teollisissa ympäristöissä.

Tämän selvityksen toteutusta varten esimerkkitapaukseksi on laadittu palvelukonsepti ”Yhteiskäyttöinen XR-kunnossapitopalvelu valmistavan teollisuuden ja alihank-

kijoiden käyttöön” (jäljempänä yhteiskäyttöinen XR-kunnossapitopalvelu). Raportissa ”kunnossapito”-käsitteellä viitataan sekä huolto- ja korjaustoimenpiteisiin että niitä tukeviin suunnittelu-, dokumentointi-, perehdytys- ja turvallisuustoimintoihin, ellei toimintoja erikseen mainita. Alihankkijoilla tarkoitetaan tässä yhteydessä laajasti ulkopuolisia kunnossapidon palveluntuottajia, urakoitsijoita ja teknisiä palvelukumppaneita, jotka osallistuvat valmistavan teollisuuden huolto-, korjaus-, asennus-, tarkastus-, kunnonvalvonta-, turvallisuus- tai muihin kunnossapitoa tukeviin tehtäviin, mukaan lukien vaativat erikoistyöt.

Tämä palvelukonsepti tukee valmistavan teollisuuden kunnossapitoa erityisesti monitoimijaympäristöissä. Monitoimijaympäristöllä tarkoitetaan tässä yhteydessä teollisia toimintaympäristöjä, joissa useat yritykset, ulkopuoliset kunnossapidon palveluntuottajat, urakoitsijat ja muut toimijat työskentelevät saman tuotantokokonaisuuden piirissä, usein myös yhteisen työpaikan kaltaisissa tilanteissa. Näitä ovat esimerkiksi ankkuriyritysten ympärille syntyvät tai useiden yritysten muodostamat teolliset klusterit. EU:n määritelmän mukaan klusterit ovat toisiaan lähellä sijaitsevien yritysten, niihin liittyvien taloudellisten toimijoiden ja instituutioiden muodostamia kokonaisuuksia, joissa syntyy riittävä mittakaava erikoistuneen osaamisen, palvelujen, resurssien, toimittajien ja taitojen kehittämiseen (Euroopan komissio, ei pvm.-a). Teollisuuspuistot voivat olla klusterimaisia ja maantieteellisesti rajattuja monitoimijaympäristöjä, joskaan ne eivät aina ole Euroopan komission klusterimääritelmän mukaisia erikoistuneita osaamis- ja toimijakeskittyymiä.

Selvityksessä tarkastellaan, millaisin edellytyksin XR-ratkaisut voivat tuottaa valmistavan teollisuuden yrityksille ja niiden kunnossapitokumppaneille osoitettavissa olevaa hyötyä kunnossapidon suunnittelussa ja valmistelussa, perehdytyksessä, turvallisuudessa ja yhteistyössä erityisesti monitoimijaympäristössä. Selvityksen laajempänä tavoitteena on arvioida XR-ratkaisujen käyttöönoton potentiaalista lisäarvoa suhteessa nykyisiin toimintatapoihin sekä valaista rajatun esimerkin kautta digitaaliseen transformaatioon liittyviä jännitteitä valmistavan teollisuuden kunnossapidon toimintaympäristöissä. Koska kyseessä on konseptitason selvitys liiketoimintamahdollisuuksista, selvityksessä arvioidaan ainoastaan laadullisesti palvelukonseptin hyötyjä, käyttöönoton edellytyksiä, riskejä ja liiketoiminnallista kiinnostavuutta.



## 2 Metaversumi ja XR-teknologiat teollisessa toimintaympäristössä

### 2.1 Metaversumin käsite

Metaversumille ei ole yhtä yleisesti hyväksyttyä määritelmää, mutta tutkimuskirjallisuus selkeyttää sen peruspiirteitä: metaversumi on pysyvä, jaettu, reaaliaikainen, immersiivinen eli käyttäjän kokemuksellisesti ympäristöön upottava ja usean käyttäjän samanaikaisen toiminnan mahdollistava digitaalinen ympäristö tai ympäristöjen ekosysteemi, jossa virtuaalinen ja fyysinen todellisuus limittyvät ja jossa identiteetti, sisältö, data, vuorovaikutus ja toiminnallinen arvo siirtyvät ympäristöjen välillä (esim. Dionisio ym., 2013; Lee ym., 2021; Mystakidis, 2022; Ritterbusch & Teichmann, 2023). Kansainvälisissä politiikka- ja hallintolähteissä käsitteistö on myös hajanaista. Esimerkiksi OECD käsittelee metaversumiin liittyviä ilmiöitä laajempänä immersiiivisten teknologioiden kokonaisuutena, johon kuuluvat muun muassa lisätty todellisuus, virtuaalitodellisuus, yhdistetty todellisuus, digitaaliset kaksoset ja virtuaalimaailmat (OECD, 2025). Yrityksille metaversumi on kuitenkin monilta osin vielä melko vieras ja käytännön soveltamisen näkökulmasta epäselvä käsite (muun muassa Butt ym., 2025; Kari, 2025; Shahzad & Zhang, 2025).

Metaversumi on monimutkainen tietojärjestelmien, datavirtojen, käyttöliittymien, osaamisen ja liiketoimintaprosessien kokonaisuus, jossa teknologiainfrastruktuuri, skaalautuvuus, luottamus, yksityisyys, sääntely ja yhteentoimivuus ovat keskeisiä

käyttöön otossa hallittavia kysymyksiä (Dwivedi ym., 2022; Tukur ym., 2023; WEF, 2024). Yritystasolla metaversumiratkaisujen käyttöönottoon liittyy epävarmuuksia muun muassa kustannuksista, teknisestä monimutkaisuudesta ja tietoturvasta (Butt ym., 2025; Tukur ym., 2023). Siten metaversumin hyötyjen saavuttaminen riippuu muun muassa organisaation toteutuskyvykkyydestä ja halukkuudesta muutokseen (Bekos ym., 2025).

Metaversumin siirtyminen käsitteestä täysimittaiseksi ja laajasti käyttöön otetuksi liiketoiminnalliseksi todellisuudeksi on osoittautunut haastavaksi. Kuluttaja- ja mediakontekstissa esimerkiksi Disneyn vuonna 2023 tekemä päätös sulkea oma metaversumiin keskittynyt yksikkönsä havainnollistaa metaversumistrategioihin liittyvää epävarmuutta (Barnes & Flint, 2023; Li, 2023). Laajemmin tapaus korostaa sitä, että metaversumiratkaisujen käyttöönotto edellyttää teknologian kytkemistä selkeään käyttötapaukseen, liiketoimintamalliin ja osoitettavissa olevaan hyötyyn (Bekos ym., 2025; WEF, 2024).

## 2.2 Teollinen metaversumi

### 2.2.1 Käsitteet ja kehitys

Teollisella metaversumilla tarkoitetaan metaversumin teollista soveltamista, jossa fyysisiä tuotanto- ja toimintaympäristöjä yhdistetään virtuaalisiin, dataohjattuihin ja usein XR-pohjaisiin ympäristöihin (Fernández-Caramés & Fraga-Lamas, 2024; WEF, 2024; Zhang ym., 2024). Sen tavoitteena on tukea esimerkiksi suunnittelua, simulointia, tuotantoa, kunnossapitoa, koulutusta ja päätöksentekoa (Guo ym., 2024; Kour ym., 2025; Xiao ym., 2025). Teollisessa kontekstissa keskeisiä näkökulmia ovat tuottavuus, laatu, turvallisuus, päätöksenteko sekä liiketoimintahyödyn ja sijoitetun pääoman tuoton arviointi (Guo ym., 2024; Kour ym., 2025).

Teollinen metaversumi voidaan nähdä Teollisuus 4.0 ja 5.0 -kehityskulkuihin liittyvänä teknologisena ja toiminnallisena kokonaisuutena (Fernández-Caramés & Fraga-Lamas, 2024; WEF, 2024). Teollisuus 4.0 tarkoittaa teollisuuden digitaalista murrosta, jossa korostuvat kyberfyysiset järjestelmät, teollinen esineiden internet (Industrial Internet of Things, IIoT), dataohjautuvuus ja verkottunut tuotanto (Kagermann ym., 2013; Xu ym., 2018). Sitä täydentää ihmiskeskeistä, kestäväää ja resilienttiä teollista kehitystä korostava Teollisuus 5.0 -näkökulma (Breque ym., 2021).

Teollinen metaversumi on suhteellisen uusi tutkimus- ja sovellusala, jota koskeva tutkimus on kasvanut muutaman viimeisen vuoden aikana, mutta jonka käsitteistö, menetelmät ja soveltamiskäytännöt ovat edelleen kehittymässä (Kour ym., 2025; Xiao ym., 2025; Zhang ym., 2024). Tämän vuoksi teollista metaversumia kannattaa tarkastella useiden teknologioiden ja toimintatapojen yhdistelmänä, joka muotoutuu eri tavoin erilaisissa käyttökohteissa (Fernández-Caramés & Fraga-Lamas, 2024; Zhang ym., 2025).

## 2.2.2 Teknologinen perusta

Teollinen metaversumi rakentuu useiden jo olemassa olevien digitaalisten teknologioiden yhdistämisestä teollisiin järjestelmiin. Se muodostuu muun muassa digitaalisista kaksosista, XR-käyttöliittymistä, teollisesta esineiden internetistä, pilvi- ja reunalaskennasta, data-analytiikasta, simulointi- ja visualisointiratkaisuista sekä tekoälystä (Guo ym., 2024; Lyu & Fridenfalk, 2024; Xiao ym., 2025; Zhang ym., 2024). Näiden teknologioiden yhdistyminen mahdollistaa reaaliaikaisempia, skaalautuvampia ja tekoälyavusteisia simulointi-, vuorovaikutus- ja päätöksentekoympäristöjä, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi tuotannon, kunnossapidon, koulutuksen ja suunnittelun tukena (Guo ym., 2024; Kour ym., 2025; Lyu & Fridenfalk, 2024).

Teollisen metaversumin sovelluksissa voidaan yhdistää esimerkiksi tuotantolaitteita, koneita, prosesseja, materiaaleja, työntekijöitä, suunnittelijoita ja asiakkaita yhteiseen digitaaliseen toimintaympäristöön. Tällainen ympäristö voi hyödyntää reaaliaikaista tai lähes reaaliaikaista dataa, jolloin fyysisestä tuotantoympäristöstä kerättävää tietoa voidaan käyttää virtuaalisten mallien, simulaatioiden ja päätöksenteon tukena (Lyu & Fridenfalk, 2024; Plattform Industrie 4.0, 2023; WEF, 2024).

## 2.2.3 Data, kyberturvallisuus ja sisällön yhteentoimivuus

Teollisessa ympäristössä metaversumiratkaisujen käyttöönotto edellyttää erityistä huomiota dataan, tietoturvaan ja tuotannon jatkuvuuteen, koska metaversumiratkaisut kytkevät digitaalisia järjestelmiä fyysisiin tuotanto- ja toimintaympäristöihin (NIST, 2023; WEF, 2024). Operatiiviset teknologiat (operational technology, OT) valvovat tai ohjaavat fyysisiä laitteita, prosesseja ja tapahtumia, minkä vuoksi niiden suojaamisessa on huomioitava suorituskyvyn, luotettavuuden ja turvallisuuden erityisvaatimukset (NIST, 2023). Datan jakamiseen, avaamiseen ja hyödyntämiseen teollisessa metaversumissa kytkeytyvät tuotannon jatkuvuus, järjestelmien turvallisuus, liikesalaisuudet, käyttöoikeudet ja vastuut. Datan saatavuuteen kohdistuvat uhat ovat yksi keskeisistä kyberuhkista (ENISA, 2024).

Metaversumin sisällöntuotanto on laajempi kokonaisuus kuin yksittäisten 3D-mallien tekeminen. Virtuaalimaailmoja ja metaversumiympäristöjä kuvataan tiloiksi, joissa voidaan työskennellä, opiskella, suunnitella, kouluttaa, simuloida ja olla vuorovaikutuksessa digitaalisten objektien ja muiden käyttäjien kanssa (Hwang & Chien, 2022; Mystakidis, 2022). Tämä korostuu teollisessa metaversumissa, jossa digitaalisen sisällön on tuettava todellisia työprosesseja.

Teollisen metaversumin sisällöntuotannossa 3D-sisällön tulisi olla teknisesti muokattavaa, siirrettävää ja uudelleenkäytettävää eri käyttöympäristöissä. Tätä tukevat avoimet 3D-sisältöjen formaatit, kuten Khronos Groupin ja OpenUSD/Pixarin kehittämät ratkaisut (Khronos Group, ei pvm.; Pixar Animation Studios, ei pvm.). Sisältöjen yhteentoimivuus on metaversumin toimivuuden kannalta keskeinen edellytys, koska sisältöjen, identiteettien, laitteiden, datan ja sovellusten tulisi voida toimia yhteen

myös eri järjestelmätoimittajien ympäristöissä (Dionisio ym., 2013; Metaverse Standards Forum, ei pvm.; WEF, 2023a). Lisäksi on varmistettava, että sisältöjä ja dataa voidaan hyödyntää turvallisesti ja hallitusti (WEF, 2023b).

## 2.3 XR-teknologiat

### 2.3.1 Määritelmät

XR-teknologia (extended reality, XR) eli laajennettu todellisuus on kattokäsite, jolla viitataan virtuaalitodellisuuteen (virtual reality, VR), lisättyyn todellisuuteen (augmented reality, AR) ja yhdistettyyn todellisuuteen (mixed reality, MR). XR-käsitettä käytetään kokoamaan yhteen teknologioita, joissa käyttäjän fyysistä, virtuaalista tai näitä yhdistävää ympäristökokemusta laajennetaan digitaalisilla sisällöillä tai simuloituilla ympäristöillä (Vasarainen ym., 2021). Käyttäjän immersiiivinen kokemus esimerkiksi virtuaalitodellisuudessa toteutetaan usein päähän puettavien näyttölaitteiden avulla (head-mounted display, HMD), joiden kautta käyttäjä näkee ja kokee digitaalisesti tuotetun ympäristön (esim. Slater & Sanchez-Vives, 2016).

Virtuaalitodellisuudessa käyttäjä toimii synteettisessä, digitaalisesti tuotetussa ympäristössä, joka luo kokemuksen läsnäolosta fyysisen ympäristön sijaan digitaalisessa ympäristössä (Slater & Sanchez-Vives, 2016; Vasarainen ym., 2021). VR-teknologiaa käytetään tavallisesti päähän puettavien näyttölaitteiden avulla, ja immersiivisyyttä voidaan vahvistaa esimerkiksi liikkeenseurannan, tilaäänen ja haptisen palautteen avulla (Slater & Sanchez-Vives, 2016).

Lisätyssä todellisuudessa fyysistä ympäristöä täydennetään digitaalisella sisällöllä, esimerkiksi tekstillä, kuvilla, visuaalisilla ohjeilla, animaatioilla, 3D-objekteilla, videoilla tai muulla tilannekohtaisella datalla (Dargan ym., 2023). AR ei korvaa todellista ympäristöä, vaan lisää siihen käyttäjän toiminnan kannalta merkityksellisen digitaalisen informaation kerroksia (Dargan ym., 2023; Morales Méndez & del Cerro Velázquez, 2024).

Yhdistetty todellisuus sijoittuu reaalisen ja virtuaalisen ympäristön väliselle jatkumolle. Milgramin ja Kishinin (1994) klassisen MR-jatkumon mukaan reaalimaailman ja täysin virtuaalisen ympäristön väliin sijoittuu erilaisia todellisuutta ja virtuaalisuutta yhdistäviä ratkaisuja. Käytännön sovelluksissa AR:n ja MR:n käsitteet voivat osittain mennä päällekkäin, koska molemmissa digitaalista sisältöä yhdistetään käyttäjän havaitsemaan fyysiseen ympäristöön (Mann ym., 2018; Microsoft, ei pvm.; Speicher ym., 2019). Tässä raportissa AR-käsitettä käytetään nimityksenä ratkaisuille, joissa digitaalista sisältöä lisätään fyysisen ympäristön tueksi.

### 2.3.2 XR työelämässä ja teollisessa käytössä

Työelämän kontekstissa XR-teknologioiden keskeisimpiä sovellusalueita ovat suunnittelu, etäyhteistyö ja koulutus, sillä ne voivat auttaa ylittämään aikaan, paikkaan,

turvallisuuteen ja resursseihin liittyviä rajoitteita (Vasarainen ym., 2021). Teollisessa ympäristössä XR-teknologioiden merkitys liittyy erityisesti siihen, että ne voivat tehdä monimutkaisista laitteista, prosesseista ja työvaiheista havainnollisempia sekä tukea asiantuntijoiden ja työntekijöiden toimintaa. XR-teknologioita voidaan hyödyntää esimerkiksi tuotekehityksessä ja suunnittelussa, niiden avulla voidaan tarkastella 3D-malleja, harjoitella työtilanteita, tukea eri paikoissa sijaitsevien asiantuntijoiden yhteistyötä sekä tuoda työntekijän käyttöön kontekstisidonnaista tietoa työn suoritushetkellä (Alam ym., 2025; Burova ym., 2022; Lyu & Fridenfalk, 2024; Saha ym., 2025).

Virtuaaliodellisuus soveltuu erityisesti tilanteisiin, joissa todellisen ympäristön käyttäminen harjoitteluun olisi kallista, vaarallista, vaikeasti saavutettavaa tai ajallisesti rajoitettua. Tämä on erityisen hyödyllistä turvallisuuskriittisissä koulutuksissa, joissa vaarallisia tai harvoin toistuvia tilanteita voidaan käsitellä ilman todellisen toiminnan riskejä (Cordeiro ym., 2025; Scorgie ym., 2024; Stefan ym., 2023).

Virtuaaliodellisuuden vahvuus on immerstiivinen läsnäolon kokemus: käyttäjä voi kokea toimivansa digitaalisessa ympäristössä ikään kuin olisi fyysisesti paikalla (Slater & Sanchez-Vives, 2016). VR ei kuitenkaan korvaa fyysistä työympäristöä kaikilta osin, sillä esimerkiksi kosketuksen, voiman, painon ja materiaalituntuman realistinen välittäminen käyttäjälle on edelleen teknisesti haastavaa (Frisoli & Leonardis, 2024). Siksi VR soveltuu parhaiten käyttötapauksiin, joissa tavoitteena on visuaalinen hahmottaminen, tilallinen ymmärrys, työvaiheiden harjoittelu, yhteistyö tai päätöksenteon valmistelu (Cordeiro ym., 2025; Saha ym., 2025).

XR-ratkaisujen toteutus voi edellyttää suurta laskentatehoa, 3D-sisältöjen hallintaa, nopeaa tiedonsiirtoa ja sitä, että useat käyttäjät voivat toimia samassa ympäristössä yhtäaikaaisesti (Krishna & Rahman, 2024; Yeregui ym., 2024). Siksi pilvi-, verkko- ja reunalaskentaratkaisut voivat olla tärkeitä erityisesti silloin, kun käsitellään raskaita 3D-malleja, näytetään käyttäjille ajantasaista tietoa, tehdään etäyhteistyötä tai jaetaan samaa sisältöä erilaisille päätelaitteille (Lyu & Fridenfalk, 2024; Tan ym., 2024; WEF, 2024).

### 3 Aineisto ja menetelmät

Selvitys toteutettiin valitsemalla esimerkkitapaukseksi palvelukonsepti, jonka liiketoimintamahdollisuuksia arvioitiin. Esimerkin kaltaista palvelukonseptia ei selvityksen tekohetkellä keväällä 2026 vaikuttanut olevan käytössä Suomessa avoimista lähteistä saatavien tietojen perusteella. Valinta tehtiin hanketoteuttajien Prizztech Oy:n ja TSE Porin yhteistyönä. Prizztech Oy teki toteutettavuusselvityksen, jonka pohjalta laadittiin palvelukuvaus. TSE Porin henkilöstö teki suuntaa antavan arvion palvelukonseptin liiketoimintamahdollisuuksista.

Palvelukonseptin toteutettavuusselvitys laadittiin tekoälyavusteisesti. Lähtöaineistona käytettiin SaMBA-hankesuunnitelmaa, Robocoast EDIH:n palveluvalikoimaa (ks. [Robocoast EDIH -esittely](#); Robocoast EDIH, 2026) sekä julkisia tutkimusraportteja XR-koulutuksen ja teollisten digitaalisten mallinnus- ja simulointiympäristöjen vaikuttavuudesta. Tekoälyn tuottama luonnos käytiin asiantuntijatyönä läpi: termit täsmennettiin suomalaiseen toimintakontekstiin, lähteet tarkistettiin alkuperäisistä julkaisuista ja Robocoast EDIH:n rooli lisättiin manuaalisesti. Tekoälyä hyödynnettiin kirjoitustyön nopeuttajana, ei korvaajana; lopullisen sisällön validointi ja vastuu pysyivät asiantuntijalla. Toteutettavuusselvityksen pohjalta laadittiin selvitystä varten yhteiskäyttöisen XR-kunnossapitopalvelun palvelukuvaus ([ks. luku 4.1](#)). Lisäksi selvityksen aikana laadittiin erillinen XR-avusteisen simulaatiopalvelun kuvaus saatujen tulosten pohjalta (ks. luku [5.2.1.2](#) ja [XR-avusteinen simulaatiopalvelu kunnossapidon suunnitteluun](#)).

Haastattelut tukivat palvelukonseptin liiketoiminnallisen kiinnostavuuden arviointia. Kevään 2026 aikana tehtiin puolistrukturoidut yritys- ja asiantuntijahaastattelut etäyhteyksien avulla. Tavoitteena oli kartoittaa valmistavan teollisuuden ja sen kunnossapitoon liittyvien yritysten sekä oppilaitoksissa toimivien asiantuntijoiden näkemyksiä palvelukonseptista: sen tarpeesta, mahdollisuuksista ja haasteista. Osa vastasi kirjallisesti sähköpostilla.

Asiantuntijoilta kysyttiin mahdollisia kokemuksia vastaavista palvelukonsepteista, yhteiskäyttöisen palvelukonseptin hyödyistä yrityksille, näkemyksiä sen käyttöönottoon liittyvistä tekijöistä, haasteista ja esteistä sekä haasteista yritysten operatiivisessa toiminnassa. Valmistavan teollisuuden kunnossapidon palveluja tarjoavilta yrityksiltä kysyttiin, onko vastaavia ratkaisuja jo käytössä yrityksellä tai sen kumppaneilla tai kokemuksia XR-ratkaisujen käytöstä; arvioita palvelukonseptin hyödyistä ja siitä miten hyvin palvelukonsepti sopisi yritykselle sekä näkemyksiä palvelukonseptin käyttöönottoon liittyvistä tekijöistä, haasteista ja esteistä.

Haastatteluja tehtiin neljä ja kirjallisia vastauksia saatiin kolme. Neljä oli asiantuntijoilta. Näiden lisäksi puhelimitse keskusteltiin vapaamuotoisemmin kolmen yrittäjäedustajan kanssa. Haastattelut, keskustelut ja sähköpostitse saadut vastaukset ovat luottamuksellisia. Haastattelunauhoitteiden transkriptiot ja sähköpostivastaukset anonymisoitiin ja samalla tarkistettiin kirjoitusvirheiden varalta. Puhelinkeskusteluista

tehdyt anonymisoidut muistiinpanot otettiin myös mukaan analyysiin. Tutkijat analysoivat aineiston ryhmittelemällä vastaukset teemoihin ja vertaamalla asiantuntijoiden sekä yritysten näkemyksiä toisiinsa.

Kirjallisuuskatsauksen tehtävänä oli hakea XR-tekniologioiden käyttöön ja liiketoimintamalleihin liittyvää tietoa palvelukonseptin liiketoimintamahdollisuuksien arvioinnin tueksi. Vertaisarvioitua tutkimuskirjallisuutta haettiin Elsevierin Scopus-tietokannasta (Elsevier, ei pvm.). Internetin avoimista lähteistä etsittiin lisätietoa, muun muassa kaupallisten sivustojen avulla tarkasteltiin markkinoilla jo olevia XR-ratkaisuja.

Kirjallisuuskatsauksen ja tiedonhankinnan tukena käytettiin ChatGPT Business -ympäristöä avustavana työkaluna (OpenAI, 2026). ChatGPT Business -ympäristöön syötettyä tai siellä tuotettua aineistoa ei oletusarvoisesti käytetä OpenAI:n kielimallien kouluttamiseen tai suorituskyvyn parantamiseen. Tekoälyä käytettiin apuna hakusanojen muodostamisessa sekä tiedon kokoamisessa ja jäsentelyssä. Lisäksi tekoälyä hyödynnettiin kootun aineiston alustavan ja vertailevan jäsentelyn tukena. Tekoäly oli avustavassa roolissa eikä sitä käytetty itsenäisenä lähteenä tai analyysin tekijänä. Raporttiin sisällytetyt tulokset ja johtopäätökset perustuvat kirjoittajien tekemään analyysiin, tarkistukseen ja hyväksyntään.



## 4 Yhteiskäyttöisen XR-kunnossapitopalvelun kuvaus

Luvussa kuvataan selvitystä varten laadittu yhteiskäyttöinen XR-kunnossapitopalvelu. Tätä palvelukonseptia on käytetty selvityksen haastatteluiden ja tiedonhankinnan pohjana.

Yrityshaastatteluiden perusteella laadittiin myös XR-avusteisen simulaatiopalvelun kuvaus erikoisurakoinnin suunnitteluun yksittäisille yrityksille. Tämä malli perustuu yksittäisten yritysten rajatumpaan XR-palveluiden hankintaan. Palvelu on kuvattu lyhyesti kappaleessa ["XR-avusteinen simulaatiopalvelu kunnossapidon suunnitteluun"](#) ja siihen liittyviä näkökohtia on tarkasteltu erikseen niiltä osin kuin se selvästi eroaa yhteiskäyttöisestä palvelukonseptista.

### 4.1 Yhteiskäyttöisen XR-kunnossapitopalvelun idea ja lisäarvo

Selvityksen lähtökohtana olleen yhteiskäyttöisen XR-kunnossapitopalvelun keskeinen idea on, että teollisuusyritykset ja niiden alihankkijat voivat suunnitella ja harjoitella kunnossapitoon liittyviä töitä etukäteen virtuaaliympäristössä (esim. VR-lasien avulla) sekä käyttää työn aikana tukena AR-pohjaisia työohjeita tai saada etätukea mobiililaitteilla (puhelin tai tabletti). Ajatuksena on mahdollistaa erityisesti vaativien tai monitoimijaympäristössä tapahtuvien kunnossapitotöiden ennakkoharjoittelu ja perehdytys, turvallisuusvalmiuksien lisääminen sekä kokemuseräisen hiljaisen tiedon ja usein

dokumentoimattoman osaamisen siirtäminen osaksi digitaalista harjoitteluympäristöä.

Palvelukonseptin ydin on jaettu XR-palvelu, joka tarjoaa yrityksille ja alihankkijoille pääsyn yhteisiin VR-harjoitteluympäristöihin ja AR-etätukeen. Sisällöllinen ydin koostuu muun muassa yhteisestä turvallisuussimulaatiosta, tehtäväkohtaisesta VR-harjoituksesta, seisokkitilanteiden harjoittelusta sekä AR-etätuesta. AR-etätuki hyödyntää kentällä toimivan työntekijän kameranäkymää esimerkiksi puhelimen tai tabletin avulla.

Palvelukonseptin arvo on liiketoimintamallissa ja kohderajauksessa. XR-tekniologiassa on selkeä potentiaali teollisuuden kunnossapidossa, tiedon visualisoinnissa ja koulutussimulaatioissa (esim. Singhaphandu ym., 2024). Palvelukonsepti perustuu jo olemassa olevan VR- ja AR-tekniologian soveltamiseen tarkemmin rajattuun teolliseen tarpeeseen eli valmistavassa teollisuudessa eri toimijoiden yhteistyötä edellyttävien kunnossapidon ja huollon, turvallisuuden ja monitoimijaympäristön yhteisten käytäntöjen edistämiseen.

Palvelukonseptin lisäarvon arvioitiin muodostuvan muun muassa seuraavista tekijöistä: turvallisuuden parantaminen, perehdytyksen nopeuttaminen, toimintatapojen yhdenmukaistaminen, suunniteltujen seisokkien keston lyhentäminen ja suunnitelmattomien tuotantokatkosten vähentäminen, kriittisiin huoltoihin liittyvän epävarmuuden vähentäminen sekä kokeneiden työntekijöiden osaamisen siirto uusille tekijöille. Teollisissa työympäristöissä riskit liittyvät muun muassa sähkötyöturvallisuuteen ja LOTO-menettelyihin (Lockout/Tagout, eli energian eristämiseen ja merkitsemiseen ennen huoltotyötä), suljetuissa tiloissa tapahtuviin toimenpiteisiin (esimerkiksi säiliöt, kaivot ja putkistot), tulitöihin sekä vaativiin nostoihin ja siirtoihin. Tällaisissa tilanteissa virheet, viivästyksiset ja vaaratilanteet syntyvät helposti, erityisesti jos työ kohdataan ensimmäistä kertaa vasta kentällä.

Palvelukonseptin ajatuksena on auttaa tilanteissa, joissa huollon ja kunnossapidon toimenpiteiden valmistelu edellyttää tarkkaa ennakkosuunnittelua tai kriittisiä työvaiheita ei voida turvallisesti harjoitella varsinaisessa tuotantoympäristössä. Tällaisia tilanteita ovat muun muassa seisokit eli tuotannon tai laitoksen suunnitellut huolto- ja korjaustauot. Palvelua voidaan tarjota jatkuvana, usean toimijan yhteisenä palveluna kunnossapidon, alihankkijayhteistyön ja monitoimijaympäristön turvallisuuden tueksi.

## 4.2 Kevyt toteutusmalli

Lähtökohtana oli käytännönläheinen ja kevyt toteutus, joka ei edellyttänyt koko tuotantoympäristön kattavaa, jatkuvasti päivittyvää ja useisiin datalähteisiin integroitua alustaa. Palvelun perusajatuksena on rakentaa harjoitukset olemassa olevien aineistojen ja palveluntarjoajan ylläpitämän toteutusmallin varaan. Yrityksillä jo olevia digitaalisia aineistoja, kuten tietokoneavusteisen suunnittelun ja rakennetun ympäristön malleja (computer-aided design, CAD ja building information model/modeling, BIM), putki- ja instrumentointikaavioita (piping and instrumentation diagram, P&ID), valokuvia, videoita tai pistepilviaineistoa, voidaan muuntaa XR-tekniologialla toteutettaviksi harjoitus- ja havainnollistamiskokonaisuuksiksi. Konseptin tavoitteena on palvella

useita yrityksiä ja niiden alihankkijoita jatkuvana palveluna, ei vain asiakaskohtaisina projekteina. Kevyen toteutuksen tarkoitus on vähentää kustannuksia, nopeuttaa käyttöönottoa ja rajata integraatiotarve niihin aineistoihin, jotka ovat kyseisen työvaiheen kannalta välttämättömiä.

Näin myös palvelun käynnistys voitaisiin toteuttaa pienimmän toimivan palveluversion pohjalta (Minimum Viable Product, MVP), jossa rakennetaan käyttökelpoinen ja testattava palvelukokonaisuus olemassa olevista aineistoista. Näitä täydennetään asiantuntijahaastattelulla, joissa kerätään kokeneiden työntekijöiden osaamista ja käytännön tietämystä. Näin työntekijöiden kokemusperäinen ja usein dokumentoimaton osaaminen voidaan sisällyttää harjoitusmoduuleihin. Kevyt käynnistys sisältäisi yhden tai kaksi kriittistä harjoitusmoduulia, yhteisen turvallisuussimulaation sekä kevyen AR-etätuen, joka voidaan toteuttaa tabletin tai puhelimen kaltaisilla päätelaitteilla. Kokonaisuuden rakentaminen sijoittuisi arviolta muutamien kuukausien mittaluokkaan.

Palvelun soveltamista voidaan havainnollistaa kriittisen säätöventtiilin vaihtoon liittyvällä huoltotyöllä kemianteollisuuden laitoksen vuosihuollossa (Kuva 1). Työympäristönä on ahtaassa ja korkealla sijaitseva kohde, jossa tehtävä edellyttää LO-TO-prosessia, nosturin käyttöä sekä usean alihankkijan samanaikaista koordinoitua. XR-harjoitus mahdollistaa tiiviin turvallisuusohjeistuksen VR-ympäristössä, energian eristyksen vaiheiden simuloinnin, nostotyön vaaravyöhykkeiden ja taakan liikkeiden visualisoinnin, venttiilin irrotuksen ja uuden venttiilin asennuksen vaiheittaisen harjoittelun sekä poikkeustilanteiden, kuten vuodon, loukkaantumisen tai tulipalohälytyksen, käsittelyn.

Kuva 1. Tekoälyavusteisesti laadittu havainnollistava esimerkki yhteiskäyttöisen palvelukonseptin soveltamismahdollisuudesta.



### 4.3 Kohderyhmä ja palvelumallit

Palvelun kohderyhmä muodostui ensisijaisesti valmistavan teollisuuden yrityksistä ja niiden alihankkijoista, muun muassa kunnossapidon palveluntuottajista, urakoitsijoista ja teknisistä palvelukumppaneista. Yrityksille palvelun arvioitiin tarjoavan kustannustehokkaamman ja turvallisemman perehdytyksen, vahvistavan osaamisen siirtoa sekä tukevan turvallisempaa työskentelyä, kun kunnossapidon toimenpiteitä tekevät yritykset osallistuvat sisällön tuottamiseen ja hyödyntävät palvelua koulutuksessa sekä hiljaisen tiedon dokumentoinnissa.

Palvelukonseptin kysyntää voi vahvistaa monitoimijaympäristössä tarve yhdenmukaistaa ulkopuolisten työntekijöiden ja alihankkijoiden perehdytystä siten, että kaikki alueella tai kohteessa työskentelevät saavat riittävät tiedot turvallisuuskäytännöistä, vaara- ja haittatekijöistä ja toimintaohjeista, myös poikkeustilanteiden ohjeista (Työsuojeluhallinto, 2022; Työterveyslaitos, ei pvm.-a, ei pvm.-b). Tähän tarpeeseen XR-pohjaiset simulaatiot ja harjoittelu voivat vastata tarjoamalla toistettavan ja havainnollisen tavan perehdyttää työntekijöitä muun muassa kohteen riskeihin, työvaiheisiin ja turvallisiin toimintatapoihin ja ohjeisiin. Palvelukonseptin vahvuus on siinä, että XR-tekniikoita voidaan hyödyntää rajatuissa tilanteissa ja kohteissa [luvussa 4.2](#) kuvatus kevyen toteutuslogiikan mukaisesti, ilman koko tuotantoympäristön kattavaa alustaa tai pysyvää järjestelmäintegraatiota.

Ulkoistettua palvelumallia (managed service) mukailevaa palvelumallia käytettiin ensisijaisena esimerkkinä haastatteluissa. Siinä asiakassuhde rakentuu yksittäisen toimituksen sijaan jatkuvan palvelun varaan (Baines ym., 2009; Tukker, 2004; Venkatesh & Singhal, 2017). XR-kunnossapitopalveluun sovelletussa mallissa ulkopuolinen palveluntarjoaja operoi palvelua ja yritykset ostavat käyttöoikeuden esimerkiksi kuukausimaksulla, käyttöperusteisella hinnoittelulla tai ostamalla moduuleja. Tässä mallissa keskeinen kohdeasiakas ei ole välttämättä yksittäinen loppukäyttäjä, vaan koordinoiva organisaatio, kuten teollisuuspuiston operaattori, suurin ankkuriyritys, kunnossapidon päätilaaja tai alueellinen kehitystoimija. Palveluntarjoajan tehtävä on koota laitteet ja sisällöt sekä vastata toteutuksesta ja päivityksistä. Palveluntarjoaja laatii yritysten aineistoista XR-harjoitteluun sopivan palvelukerroksen, jossa ydinmoduuleja voisivat olla muun muassa yhteinen turvallisuussimulaatio, tehtäväkohtaiset huoltoharjoitukset, vuosihuollon tai seisokin läpikäynnit (walkthrough) sekä kevyt AR-tuki kentälle.

Sisältöstudio- ja pop-up-malli mahdollistaa XR-palvelun tarjoamisen rajattuna, helposti kokeiltavana kokonaisuutena erityisesti pk-yrityksille ja yksittäisiin kunnossapitotoimenpiteisiin. Sisältöstudio-mallissa palveluntarjoaja tuottaa asiakkaan tarpeeseen rajatun XR-sisällön, esimerkiksi simulaation tai visualisoinnin projektimaisena asiantuntija- ja sisällöntuotantopalveluna (Grabher, 2002; Hobday, 2000). Pop-up-malli on tilapäisesti asiakkaan käyttöön tuotava XR-palvelutoteutus, jossa laitteet, sisältö ja käyttötuki tuodaan asiakkaan käyttöön tiettyyn rajattuun käyttötarpeeseen (Niehm ym., 2006).



## 5 Arvio liiketoimintamahdollisuuksista

Liiketoimintamahdollisuuksien arvioinnissa tarkasteltiin, millä edellytyksillä yhteiskäyttöinen XR-kunnossapitopalvelu voisi muodostua toteuttamiskelpoiseksi, hankittavaksi ja skaalattavaksi palveluksi valmistavan teollisuuden yrityksille sekä niiden kunnossapitokumppaneille. Samalla arvioitiin palvelukonseptin rajoitteita ja riskejä.

Selvityksen haastatteluiden sekä kirjallisuus- ja verkkolähteiden perusteella teolliseen kunnossapitoon, perehdytykseen ja turvallisuuteen liittyviä XR-pohjaisia ratkaisuja on kaupallisina koulutusratkaisuinä sekä TKI- ja oppimisympäristöissä (Alam ym., 2025; Luminous, ei pvm.; Turku AMK, ei pvm.). Sen sijaan teollisille klustereille tai teollisuuspuistoille suunnattua yhteiskäyttöistä ja moniasiakasmalliin perustuvaa, XR-ratkaisuja hyödyntävää kunnossapidon simulaatiopalvelua ei sellaisenaan tunnistettu. Tämä havainto vahvistui selvityksen tiedonhankinnan aikana keväällä 2026. XR-tekniologioiden sovellukset ja markkinat kuitenkin kehittyvät nopeasti ja esimerkiksi räätälöityjä asiakasratkaisuja voi olla käytössä ilman, että ne esiintyvät kirjallisuudessa tai julkisissa lähteissä (esim. Alam ym., 2025; Shahzad & Zhang, 2025).

### 5.1 Teollisen kunnossapidon lähtökohdat ja toimintaympäristö

Raportissa teollisuuden kunnossapidolla viitataan laajasti teknisiin, hallinnollisiin ja johtamiseen liittyviin toimenpiteisiin, joiden tarkoitus on pitää laitteet ja järjestelmät

toimintakuntoisina. Kunnossapitoon sisältyvät vikojen korjausten lisäksi muun muassa ehkäisevä kunnossapito, kunnonvalvonta, tarkastukset ja testaukset, kunnossapitotyön suunnittelu, kunnossapitodokumentaatio, luotettavuus- ja kunnossapitotietojen keruu ja hyödyntäminen sekä varaosien hallinta (Crespo Márquez & Gupta, 2006; Crespo Márquez ym., 2009; Jardine ym., 2006; Scarf ym., 2024).

Käytännössä kunnossapidon huolto- ja korjaustoimenpiteet voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: korjaava kunnossapito vian havaitsemisen jälkeen, aikaperusteinen tai käyttöperusteinen ehkäisevä kunnossapito ennalta määrätyn välein sekä ennakkoiva ja kunnonvalvontaan perustuva kunnossapito, jossa toimenpiteet käynnistetään mittaustietojen, kunnon tai poikkeamien perusteella (Ahmad & Kamaruddin, 2012; Jardine ym., 2006; Teixeira ym., 2020). Näiden lisäksi myös esimerkiksi kunnossapidon tukitoiminnot, dokumentointi sekä kehittäminen ja parantaminen sisältyvät kunnossapitoon.

Teollisuusyrityksissä korjaustilanteiden käytännöt vaihtelevat. Suositeltava toimintamalli on hoitaa korjaustilanteet osana työnhallintaprosessia, jossa vika tai kunnossapitotarve tunnistetaan, työ luokitellaan kiireellisyyden mukaan, suunnitellaan, resursoidaan ja dokumentoidaan analyysiä ja parantamista varten (Crespo Márquez & Gupta, 2006; Crespo Márquez ym., 2009). Monet yritykset käyttävät kunnossapito- ja korjaustöissä yrityksen ulkopuolisia alihankkijoita, etenkin erikoisosaamista, erityislaitteita tai joustavaa kapasiteettia vaativissa töissä (Summers & Visser, 2021; Söderberg ym., 2017).

### **5.1.1 Kunnossapidon haasteita**

Kunnossapitotyön käytännön haaste on se, että teollisuusyritykset yrittävät samaan aikaan pitää tuotannon käynnissä, vähentää seisokkeja, hallita kustannuksia ja parantaa turvallisuutta, koska tuotantohäiriöt ja laiteviat voivat heikentää tuottavuutta, nostaa kustannuksia ja aiheuttaa turvallisuus- ja ympäristöriskejä (Alsayouf, 2007; HSE, ei pvm.-a). Toinen haaste on kunnossapidon suunnittelun ja suorituskyvyn mittaamisen laatu. Mittarien tulee olla sellaisia, että niiden avulla voidaan arvioida ja kehittää kunnossapitoa ja kytkeä se organisaation tavoitteisiin (Muchiri ym., 2011; Scarf ym., 2024).

Tehdasseisokit ovat erityisen riskialttiita, koska niiden aikana tehdään erilaisia ja mahdollisesti toisistaan riippuvia toimenpiteitä samanaikaisesti (Malmén ym., 2010; Malmén ym., 2011; Kwon ym., 2024). Turvallisuusriskejä lisää myös se, että kunnossapitotyö tapahtuu usein vaarallisissa ympäristöissä tai tilanteissa, joissa on kiirettä, ulkopuolisia alihankkijoita tai puutteellista viestintää (EU-OSHA, 2010a; HSE, ei pvm.-a; HSE, ei pvm.-b). Siksi ennen huoltoa on varmistettava, että laitos tai sen osa tehdään turvallisesti ja määriteltävä, miten turvallinen tila pidetään yllä koko seisokin ja uudelleenkäynnistyksen ajan (EU-OSHA, 2010b; HSE, ei pvm.-a; OSHA, ei pvm.; Tukes, ei pvm.).

Hyvin toimiva kunnossapito-ohjelma edellyttää keskeisten suorituskykymittarien seuranta, jatkuvaa kunnossapitoprosessin hienosäätöä sekä varaosien hallintaa

(Crespo Márquez & Gupta, 2006; Muchiri ym., 2011; Scarf ym., 2024). Jos tätä ei tehdä, organisaatio voi ajautua reaktiiviseen kunnossapitoon, jossa tuotantokatkokset, kiiretyöt ja ylitöiden tarve, puuttuvat varaosat ja epäselvä kunnossapitohistoria alkavat ruokkia toisiaan lisäten kustannuksia ja turvallisuuspoikkeamien riskiä (Alsyouf, 2007; HSE, 2024; Scarf ym., 2024).

Suunnittelemattomat seisokit ovat keskeinen ongelma. Näissä tapauksissa korjausaikaan vaikuttavat muun muassa varaosien saatavuus ja toimitusketjuviiveet sekä resurssien, osaamisen ja työnhallinnan vajeet (Alsyouf, 2007; HSE, 2024; Scarf ym., 2024; Shiver, 2024; Summers & Visser, 2021). Keskeiset työturvallisuusriskit liittyvät teollisuuden kunnossapidossa yleensä siihen, että työtä tehdään poikkeustilanteissa, jolloin työntekijät altistuvat teknisille, organisatorisille ja inhimillisille vaaratekijöille (EU-OSHA, 2010b; HSE, ei pvm.-a).

Valmistavan teollisuuden yrityksissä pyritään siirtymään reaktiivisesta ja aikaperusteisesta kunnossapidosta kohti ennakoivaa kunnossapitoa (Benhanifia ym., 2025; Hoffmann & Lasch, 2025). Tämä ajatusmalli kytkeytyy elinkaariajatteluun, eli laitteen tai järjestelmän koko käyttöiän huomioimiseen, mikä Suomessa näkyy kunnossapidon lisäksi sitä tukevilla teollisuuden käytännöissä (Sepponen ym., 2025; European Environment Agency, 2024; Motiva, ei pvm.; Sarlin, 2025; Tukes, ei pvm.).

## 5.2 Palvelukonseptin laadullinen kohdemarkkinatarkastelu

Euromääräistä kokonaismarkkinaa ei tässä selvityksessä laskettu, sillä konseptitason selvitys ei tuottanut riittäviä tietoja esimerkiksi potentiaalisten asiakkaiden lukumäärästä, vuosittaisesta ostobudjetista, käyttöasteesta tai hinnoittelun toteutumisesta. Kohdemarkkinatarkastelu perustui sen sijaan laadulliseen analyysiin, jossa tarkasteltiin palvelun sopivuutta eri asiakassegmenteille, toimialoille ja käyttötapauksille. Yleisesti ottaen selvityksessä asiantuntijat arvioivat konseptia mahdollisuutena ja kehityskohteena, kun taas yritykset arvioivat sitä hankintaratkaisuna, jonka on tuotettava selkeää hyötyä käytännön kunnossapitotyössä.

XR-ratkaisuihin nojaava palvelumalli sijoittuu teollisuuden digitalisaation ja Teollisuus 4.0 -ratkaisujen markkinaan ja siksi mahdollisessa jatkokehityksessä sen kilpailutekijöitä tulisi arvioida suhteessa sekä suuriin, useita toimintoja ja datalähteitä yhdistäviin teollisiin alustaratkaisuihin että rajatumpiin XR-palveluihin (Alam ym., 2025; Lyu & Fridenfalk, 2024; Maretto ym., 2023). Markkina koostuu toisaalta suurista teollisuus- ja ohjelmistotoimittajista, jotka tarjoavat kokonaisvaltaisia, eri toimintoja yhdistäviä alustoja teollisuuden tuotantoympäristöille (esimerkiksi AVEVA, ei pvm.; NVIDIA, ei pvm.; Siemens, ei pvm.). Samalla markkinaan kuuluu myös hyvin erikoistuneita toimijoita, jotka tarjoavat rajatumppia XR-pohjaisia ratkaisuja (Alam ym., 2025; Luminous, ei pvm.). Koska tämän selvityksen esimerkkipalvelu on konseptitasoinen, sen omia kilpailutekijöitä, kilpailijoita tai verrokkeja ei tarkemmin arvioitu.

Palvelukonseptin kohdemarkkina on etenkin valmistavan teollisuuden yritysten välinen (B2B) palvelumarkkina. Palvelun toteutus edellyttää XR-sisällöntuotantoa, mut-

ta asiakkaan näkökulmasta sen arvo liittyy ensisijaisesti kunnossapidon prosessien tukemiseen: muun muassa töiden valmisteluun, perehdytykseen ja turvallisuuteen. Konseptin markkina-asemoinnin kannalta olennainen piirre on [luvussa 4.2](#) kuvattu kevyempi käyttöönotto suhteessa laajoihin, monijärjestelmäisiin ja paljon dataa vaativiin teollisiin alustaratkaisuihin. Ensisijainen kohdemarkkina muodostuu toimijoista, jotka toimivat teollisissa kohteissa, hyödyntävät kunnossapidon dokumentaatiota, tekevät yhteistyötä ulkopuolisten alihankkijoiden kanssa ja kohtaavat toistuvia turvallisuuskriittisiä työvaiheita. Palvelun arvo asiakkaalle syntyy siitä, että XR-teknologia kytketään todellisiin työturvallisuus-, kunnossapito- ja seisokkivalmisteluprosesseihin.

### 5.2.1 Yritysten näkemykset palvelukonseptin mahdollisuuksista

Selvityksessä nousi esiin haastateltujen yritysten käytännönläheinen näkökulma uuden teknologian käyttöönottoon. XR-palvelu ei ole kiinnostava yleisenä kunnossapidon digitalisaatoratkaisuna, vaan silloin, kun se ratkaisee tietyn työvaiheen nykyisiä toimintatapoja paremmin. Yritysten mukaan palvelun hyödyn pitäisi näkyä kunnossapidon ja huoltojen kustannusten alenemisena, ajansäästönä tai turvallisuuden parantumisena. Hankintakelpoisuus riippuu siitä, voidaanko hyöty osoittaa etukäteen. Yritykset tunnistivat myös palvelukonseptin koulutushyötyjä, esimerkiksi uusien huoltotuotteiden haltuunotossa.

Yritysten mukaan kunnossapidossa uusien teknologioiden käyttöönotto etenee varovaisesti ja nojautuu osaajien asiantuntemukseen sekä vakiintuneisiin ratkaisuihin, kuten kuvaamiseen droneilla ja tarkastuskameroilla sekä tilan ja kohteen hahmottamiseen 3D-mallien, esimerkiksi pistepilvien avulla. Tämä havainto on pääosin linjassa teknologian käyttöönottoa koskevan kirjallisuuden kanssa. Käyttöönottopäätöksiin vaikuttavat muun muassa uuden teknologian koetut hyödyt, kustannukset ja riskit, yhteensopivuus olemassa olevien järjestelmien ja toimintatapojen kanssa, henkilöstön osaaminen, organisaation resurssit sekä epävarmuus investoinnin tuotosta (Jibril & Roper, 2025; OECD, 2021; Palmarini ym., 2018). Erityisesti pk-yrityksissä digitaaliset investoinnit kilpailevat rajallisista pääoma-, aika- ja osaamisresursseista muun liiketoiminnan kanssa, minkä vuoksi käyttöönotto etenee usein vaiheittain ja konkreettisiin hyötyihin sidottuna (Jibril & Roper, 2025; EIB, 2023; OECD, 2021).

XR-ratkaisujen käyttöönotto edellyttää, että niiden lisäarvo voidaan osoittaa suhteessa jo käytössä oleviin menetelmiin. Siksi yritysten vastauksissa liiketoiminnallinen kynnys oli korkea: ennen laajempaa investointia palvelun hyöty olisi osoitettava esimerkiksi konseptitodistuksen, pilotoinnin tai ”testaa ennen investointia” -vaiheen avulla (ks. [Robocoast EDIH -esittely](#), myös Jibril & Roper, 2025; Euroopan komissio, ei pvm.-b; Maretto ym., 2023). Hyödyt olisi määriteltävä niin, että niitä voidaan arvioida käytännön toiminnassa esimerkiksi ajansäästönä, kustannusten vähenemisenä, seisokkien lyhenemisenä, laadun paranemisenä, riskien pienemisenä, paremman tilannekuvan muodostumisena tai työturvallisuuden vahvistumisena (Maretto ym., 2023; Palmarini ym., 2018).

Digitalisaation hyödyt eivät synny vain teknologian hankinnasta, vaan ne riippuvat myös yritysten digitaalisista valmiuksista, täydentävistä investoinneista, henkilöstön osaamisesta sekä kyvystä muuttaa toimintatapoja teknologian mukana (Euroopan komissio, 2025a, 2025b; Gal ym., 2019; OECD, 2021; Vial, 2019; Verhoef ym., 2021). Siksi XR-ratkaisujen käyttöönottoa ei tulisi arvioida ensisijaisesti teknologisenä hankintana, vaan muutoksena, jossa uusi väline kytketään kunnossapidon, turvallisuuden, perehdytyksen ja työn suunnittelun todellisiin prosesseihin. Käyttöönotossa on huomioitava käyttäjähyväksyntä ja muutosjohtaminen. Teollisen metaversumin ja XR-teknologian käyttöönotossa kyse on myös työnkulkujen, turvallisuuskäytäntöjen, osaamisen, vastuiden ja datan hyödyntämisen muutoksesta.

Käyttäjävastarinnan ja organisaation kokeman arvon merkitys korostaa käyttäjien osallistamista, koulutusta, tukea ja selkeää hyötyperustelua, kun uutta teknologiaa aiotaan ottaa käyttöön (Jalo & Pirkkalainen, 2024; Palmarini ym., 2018; Quandt & Freitag, 2021). Digitaalisen transformaation tutkimuksessa samaa korostaa havainto siitä, että teknologian arvo realisoituu vasta, kun organisaation rakenteet, kyvykkyydet, prosessit ja suorituskykymittarit muuttuvat teknologian mukana (Vial, 2019; Verhoef ym., 2021). Näin ollen palvelukonseptin jatkokehityksessä keskeistä ei ole vain teknisen ratkaisun toteuttaminen, vaan sen osoittaminen, millaisessa rajatussa käytötapauksessa XR tuottaa nykyisiä toimintatapoja parempaa, mitattavaa ja käyttäjien hyväksymää arvoa (Bekos ym., 2025; Maretto ym., 2023).

#### *5.2.1.1 Tiedon laatu ja saatavuus*

XR-kunnossapitopalvelun keskeinen edellytys on lähtötiedon laatu ja saatavuus. XR-ratkaisu tuottaa lisäarvoa vain, jos kohteesta on käytettävissä oikeaa, riittävän ajantasaista ja käytännön työskentelyyn liitettävissä olevaa kone-, laite-, sijainti-, työohje- ja kunnossapitotietoa sekä tarvittaessa esimerkiksi malleja, kuvia, videoita tai pistepilviaineistoa (ks. myös Burova ym., 2022; Caverion, ei pvm.; Palmarini ym., 2018; Toyota ym., 2022). Jos tällaista aineistoa ei ole tai sitä ei saada käyttökelpoiseen muotoon, virtuaalinen harjoittelu ja digitaalinen työnaikainen tuki jäävät helposti irrallisiksi eivätkä paranna nykyistä toimintatapaa. Yritysten mukaan dokumentaation pullonkaulat liittyvät usein konekohtaisiin tunnistetietoihin, valmistaja- ja mallikohtaisiin eroihin sekä alkuperäisen tai ajantasaisen laitedokumentaation saatavuuteen. Kunnossapidon näkökulmasta keskeistä on, että oikea tieto on saatavilla, luotettavaa ja se saadaan tuotua työntekijän käyttöön oikeassa muodossa ja oikeassa tilanteessa.

Yritykset nostivat esiin palvelukonseptin käytön rajoitteena tarpeen mukaan tapahtuvan ad hoc -kunnossapidon kohteissa, joista ei ole saatavilla etukäteistietoa. Kenttätyössä ongelman luonne, kohteen todellinen tila ja tarvittavat toimenpiteet selviävät usein vasta paikan päällä. Tämä on tilanne silloin, kun on tehtävä esimerkiksi rakenteiden avaamista, purku- tai maansiirtotöitä ennen kohteen saavuttamista. XR-palvelu ei siten korvaa asentajan kokemusta, mekaanista osaamista, konekohtaista dokumentaatiota tai kohteessa tehtävää tarkastusta. Sen arvo on täydentävä:

se tukee ennakkosuunnittelua, perehdytystä, riskien havainnollistamista ja yhteistä valmistautumista tilanteissa, joissa kohde, työvaiheet ja lähtötiedot ovat riittävän hyvin tunnettuja ja mallinnettavissa (Burova ym., 2022; Gavish ym., 2015; Palmarini ym., 2018; Toyoda ym., 2022).

Yritysten mukaan kunnossapito monin osin perustuu tilanteen selvittämiseen paikan päällä sekä muun muassa asentajan kokemukseen ja käytettävissä olevaan dokumentaatioon. Tämä havainto on linjassa kunnossapidon tutkimuksen kanssa, jossa merkittävässä roolissa ovat sekä tekninen dokumentaatio ja kunnossapitodata että henkilöstön kokemusperäinen ja hiljainen tieto vianetsinnässä ja ongelmanratkaisussa (Burova ym., 2022; Jardine ym., 2006; Palmarini ym., 2018; Runji ym., 2023; Scarf ym., 2024).

#### *5.2.1.2 Yritysnäkökulmasta rajaus XR-avusteiseen simulaatiopalveluun*

Yritykset näkivät yhteiskäyttöiselle XR-kunnossapitopalvelulle vain rajallisia käyttömahdollisuuksia, mutta löysivät enemmän potentiaalia kohdennetuista simulaatio- ja suunnittelukäytöistä. Yritysten näkökulmasta palvelukonseptin ensimmäinen markkina ei olisi yleinen yhteiskäyttöinen palvelu, vaan erikoistuneen alihankkijan palvelutarjoaman täydentävä osa, joka voisi vahvistaa yrityksen tarjouskilpailukykyä.

XR-palvelukonsepti voisi tukea esimerkiksi asiakkaalle esitettävää ennakkosimulointia ja riskien visualisointia. Asiakkaalle esitettävä havainnollinen suunnitelma voisi tukea työn suunnittelua sekä vähentää työskentelyn epävarmuutta, työn keskeytyksiä ja työmaalla ilmeneviä yllätyksiä.

Sisältöstudio- tai pop-up-tyyppinen palvelu voisi olla yhteiskäyttöistä palvelua helpommin ostettava alkuvaiheen vaihtoehto. Näin alihankkija voi hyödyntää XR-harjoittelua ilman sitoutumista laajaan jatkuvaan palveluun ja madaltaa kokeilun ja käyttöönoton kynnystä (ks. myös [luku 5.5.3](#)).

## **XR-avusteinen simulaatiopalvelu kunnossapidon suunnitteluun**

Selvityksen tulosten pohjalta muokattiin toinen mahdollinen palvelukonsepti ”XR-avusteinen simulaatiopalvelu kunnossapidon suunnitteluun” (jäljempänä XR-avusteinen simulaatiopalvelu), jota tarjotaan ensisijaisesti kunnossapidon alihankkijoille, esimerkiksi vaativia erikoistöitä tekeville kunnossapidon palveluntuottajille. Palvelun ydin on tilaajan teknisen aineiston, kuten CAD-/BIM-mallien, pistepilvien, dokumenttien ja kuvamateriaalin, muuntaminen kevyiksi ja käytettäviksi 3D-/XR-sisällöiksi. Näiden avulla alihankkija voi suunnitella, simuloida ja havainnollistaa työnsä asiakkaalle ennen varsinaista toteutusta.

Palvelu koostuu kolmesta pääosasta: datakonversiosta, selainpohjaisesta simulaatio- ja yhteistyöalustasta sekä asiantuntijapalveluna tuotettavista tarjous- ja suunnitelmaliitteistä. Käytännössä alihankkija voi hyödyntää palvelua esimerkiksi riskialttiiden tai vaikeiden työvaiheiden ennakkosuunnitteluun sekä tarjouksen visuaaliseen vahvistamiseen.

Liiketoiminnallinen hyöty syntyy ennen kaikkea siitä, että alihankkija pystyy erottautumaan tarjoukilpailuissa, perustelevaan työnsä paremmin asiakkaalle ja vähentämään toteutusvaiheen epävarmuuksia. Palvelu voi parantaa tarjousten laatua, lisätä asiakkaan luottamusta, vähentää työmaalla syntyviä yllätyksiä sekä tukea turvallisempaa ja dokumentoidumpaa toteutusta. Lisäksi se voi auttaa kokeneiden työntekijöiden hiljaisen tiedon siirtämisessä nuoremmille työntekijöille.

Kustannusten näkökulmasta malli on vaiheittainen: kevyin taso on yksittäinen datakonversio, laajempi taso sisältää yhteistyöalustan ja vaativin taso asiantuntijapalveluna tuotetut suunnitelmat ja visualisoinnit. Kustannukset kasvavat palvelutason mukana, mutta samalla myös palvelun arvo kasvaa alihankkijan myynnille, suunnittelulle ja riskienhallinnalle.

XR-avusteista simulaatiopalvelua vastaavaa valmista palvelukonseptia ei selvityksen tekohetkellä avoimista lähteistä löytynyt, mikä ei tarkoita, etteikö vastaava palvelu voisi olla jo käytössä. Markkinoilla on samankaltaisia hyvin lähelle meneviä ratkaisuja, mutta ne kattavat yleensä vain osan mallista eli esimerkiksi pistepilvi- ja laserkeilausaineiston hyödyntämisen, XR-/virtuaalimallinnuksen, seisokkien 3D-suunnittelun tai nostosuunnittelun tarjousvaiheen tukena.

Suomessa kirjoitushetkellä lähimmät käytössä olevat ratkaisut painottuvat teknisiin osakomponentteihin: muun muassa Caverion hyödyntää laserkeilausella tuotettua pistepilveä teollisuuden kunnossapidon ja investointien suunnittelun lähtötietona, ja FCG tarjoaa XR- ja virtuaalimallinnuspalveluja suunnitelmien esittämiseen, arviointiin ja yhteiseen kehittämiseen (Caverion, ei pvm.; FCG, ei pvm.). Kansainvälisesti läheinen verrokki on 3D Lift Planin nostosuunnitteluratkaisu, jota käytetään myös tarjousten, kriittisten nostojen ja nostosimulaatioiden tuottamiseen (A1A Software, ei pvm.). Konseptin uutuusarvo syntyy siitä, että teknologiaa hyödynnetään kunnossapidon suunnittelu- ja tarjousprosessia palvelevaksi kokonaisuudeksi.

## 5.2.2 Asiantuntijoiden näkemyksiä palvelukonseptista

Asiantuntijoiden vastauksissa palvelukonseptiin suhtauduttiin lähtökohtaisesti myönteisemmin kuin yritysten vastauksissa. He käsittelivät palvelukonseptia kehityskelpoisena alustana, kun yrityksille se näyttäytyi investointina, jonka hyöty pitää näyttää toteen ennen käyttöönottoa. Asiantuntijat tarkastelivat konseptia teknisenä ja palvelumuotoiltuna ratkaisuna sekä toteutettavuuden kautta. Keskeinen kysymys ei ollut niinkään se, tarvitaanko teollisuudessa XR-ratkaisuja, vaan miten VR- ja AR-teknologia voidaan toteuttaa niin, että se tukee perehdytystä, koulutusta, etäopastusta, työvaiheiden läpikäyntiä ja monitoimijaympäristöjen koordinoitua. Haastatteluissa painotettiin, että palvelukonsepti voisi tukea etenkin kunnossapidon turvallisuusnäkökulmien kehittämistä.

### 5.2.2.1 XR-ympäristön tekninen toteutettavuus ja käytettävyys

Asiantuntijat pitivät monen käyttäjän XR-ympäristöä teknisesti toteuttamiskelpoisena ja näkivät reaaliaikaisen yhteistyön, äänilyhteyden, objektien käsittelyn ja yhteisen virtuaalisen tarkastelun teknologisesti mahdollisina asioina. Vastauksissa painottuivat myös käytännön toteutukseen liittyvät seikat: XR-ympäristön kehittämisessä selaintai PC-käyttöliittymän tarve VR-lasien rinnalle, selkeät käyttöoikeusrajaukset sekä olemassa olevan materiaalin konversio kevyeksi mutta käyttökelpoiseksi XR-sisälöksi, jotta esimerkiksi raskasta mallinnusta ei tarvittaisi.

Hyödynnettävän XR-teknologian tulisi olla riittävän helppokäyttöistä myös sellaisille toimijoille, joilla ei ole aiempaa syvällistä teknistä osaamista. Tämä on linjassa teollisen XR:n ja AR:n käyttöönottoa koskevan tutkimuksen kanssa, jossa käyttäjähyväksyntään vaikuttavat muun muassa koettu hyöty, käytön helppous, käyttäjien osaminen, sisäinen tuki ja organisaation kokemus arvo (Jalo & Pirkkalainen, 2024; Quandt & Freitag, 2021; Palmarini ym., 2018). Laajemmin metaversumin käyttöönottoa koskeva kirjallisuus tukee samaa havaintoa: käyttöönottoa voivat hidastaa esimerkiksi puutteellinen koulutus ja tietoisuus, osaamisvajeet, tekninen monimutkaisuus sekä organisaation rajallinen valmius muuttaa toimintatapojaan (Butt ym., 2025).

Asiantuntijat nostivat vahvasti esiin myös XR-laitteiston käytettävyyden, käyttäjätuen ja koko palvelumallin merkityksen. Eryteisesti nousivat esiin laitteiden paino, kypärä- ja kuulonsuojainyhteensopivuus, kameran asemointi, päivitysten toimivuus, tekninen tuki ja se, ettei käyttäjää saa jättää yksin teknologian kanssa. Vastausten mukaan palvelu ei voisi perustua vain XR-laitteiden käyttöön, koska päähän puettavat laitteet eivät sovi kaikille käyttäjille eivätkä kaikkiin työtilanteisiin. Kirjallisuudessa on HMD-laitteiden, esimerkiksi VR-lasien käyttäjillä raportoitu erilaisia oireita ja käytettävyyteen liittyviä rajoitteita, esimerkiksi pahoinvointia, silmien rasitusta, päänsärkyä, fyysistä kuormitusta ja työympäristöön liittyviä turvallisuus- tai tilannetietoisuus- haasteita (Kourtesis ym., 2023; Souchet ym., 2023). Tämän vuoksi palvelun tulisi olla monikanavainen siten, että laseja voidaan hyödyntää rajatuissa käyttökäytöksissä,

mutta suunnittelijoiden, työnjohdon, kouluttajien ja turvallisuusasiantuntijoiden tulee voida osallistua myös PC- tai selainkäyttöliittymän kautta.

Asiantuntijat toivat esille esimerkiksi HoloLens- ja Varjo-kokemuksia, joissa XR-/AR-teknologia näyttäytyy teollisessa kunnossapidossa, etätuessa ja työohjeistuksessa lupaavana, mutta käytännön käyttöä rajoittavat edelleen laitekohtaiset ergonomia-, käytettävyys- ja tekniset ylläpitohaasteet, kuten laitteiden koko ja paino, näkökentän ja vuorovaikutuksen rajoitteet sekä muun muassa ohjelmisto- ja yhteensopivuuspäivitysten hallinta (ks. myös Leins ym., 2024; Palmarini ym., 2018; Vorraber ym., 2020). Tästä syystä palvelukonsepti on perusteltua asemoida ennen kaikkea perehdytyksen, suunnittelun, etätuen ja käyttäjien tukemisen palveluksi.

### *5.2.2.2 Yhteiskäyttöisen palvelukonseptin mahdollisuudet*

Palvelukonseptin nähtiin sisältävän teknologisten ratkaisujen lisäksi myös koulutusta, teknistä tukea, sisällöntuotantoa ja ylläpitoa. Asiantuntijoiden näkemyksissä korostuivat perehdytys, etäoppiminen, osaamisen siirto ja matkustamisen vähentäminen. He näkivät XR-ratkaisujen mahdollisuutena tehdä tehdasalueita, työvaiheita ja huolto-oseikkoja tutuksi jo ennen fyysistä työtilannetta. Erikseen nousivat esiin myös monikielisten työmaiden tarpeet, joille ohjeistusten eri kieliversiot voivat olla tärkeitä.

Palvelukonseptin tekniset osat ovat olemassa. Suomessa XR- ja VR-pohjaista harjoittelua on muun muassa korkeakoulujen tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminnassa (TKI) ja oppimisympäristöissä sekä erillisissä yrityskohtaisissa piloteissa ja kaupallisissa ratkaisuissa (esimerkiksi 3D Talo, ei pvm.; CTRL Reality, ei pvm.; FCG, ei pvm.; Luminous, ei pvm.; Metropolia, ei pvm.; RoboAI, 2026; Savonia, ei pvm.; Turku AMK, ei pvm.). Myös kaupallisia ratkaisuja on tarjolla, esimerkiksi virtuaalisia oppimisympäristöjä, visualisointeja ja virtuaaliavusteista suunnittelua (muun muassa 3D Talo, ei pvm.; CTRL Reality, ei pvm.; FCG, ei pvm.).

Asiantuntijat näkivät yhteiskäyttöisen ja ulkoistetun palvelukonseptin mahdollisena ratkaisuna. Moniasiakas- ja ulkoistettu palvelumalli saivat asiantuntijoilta varoista tukea, koska kaikilla kunnossapitoa tarvitsevilla asiakasyrityksillä tai palveluja tuottavilla alihankkijoilla ei ole jatkuvaa käyttötarvetta, omaa osaamista tai resursseja ylläpitää laitteita, sisältöjä ja tukea itse. Yritysnäkökulmasta malli herätti kuitenkin kysymyksiä siihen liittyvistä riskeistä, muun muassa salassapidosta, aineistojen jakamisesta sekä päätoimijan roolista ([ks. myös luku 5.3.4](#)). Siksi palvelu olisi ensisijaisesti selkeästi vastuutettu palvelukokonaisuus, ei vain jaettu teknologia. Palvelukokonaisuuden puitteissa olisi määriteltävä, mikä sisältö on yhteistä, mikä yrityskohtaista ja kuka vastaa ylläpidosta, lisensseistä, päivityksistä, koulutuksen seurannasta ja tietojen oikeellisuudesta.

Vastausten perusteella jatkokehitys kannattaisi aloittaa kapeasta pilotista, kuten nosto- tai haalaustyöstä tai ahtaan tilan kriittisestä työvaiheesta. Pilotissa tulisi ensin varmistaa [luvussa 5.2.1.1](#) kuvatut aineistoodellytykset ja arvioida vaikutuksia ajan, kustannusten ja turvallisuuden kautta. Se vastaa myös esimerkiksi kansallisen Ro-

bocoast EDIH-toiminnan “testaa ennen investointia” -logiikkaa, jossa yrityksille tarjotaan asiantuntijatukea, testausmahdollisuuksia, koulutusta ja neuvontaa ennen laajempia digitaalisia investointeja (ks. myös Robocoast EDIH -esittely).

### **Alueellinen potentiaali yhteiskäyttöiselle palvelukonseptille, esimerkkinä Satakunta**

Satakunta näyttäytyy mahdollisena ensimarkkinana valmistavan teollisuuden yhteiskäyttöiselle XR-kunnossapitopalvelulle. Vahvasti teollistuneessa maakunnassa yhdistyvät monipuolinen teollinen toimialarakenne, teknologia-, metalli-, energia-, meri-, kemian- ja elintarviketeollisuuden vahvuudet, automaatio- ja robotiikkaklusteri sekä useat teollisuuspuistoihin, satamiin ja logistiisiin solmukohtiin sijoittuvat monitoimijaympäristöt (Harjavan Suurteollisuuspuisto, ei pvm.; Porin kaupunki, ei pvm.-a, ei pvm.-b; Rauman kaupunki, ei pvm.-a, ei pvm.-b; Satakuntaliitto, 2023, 2025a, 2025b).

Satakunnan teollisuuden kärkiä ovat teknologiateollisuus, metallien jalostus, koneiden ja laitteiden valmistus, meriteollisuus, metsä-, kemian- ja elintarviketeollisuus sekä automaatio ja robotiikka. Satakunnan teollisuuden kasvuohjelma ja vihreän siirtymän teollisuusaluekartoitus painottavat teollisuusalueiden, energia- ja vihreän siirtymän investointien, TKI-toiminnan sekä yritysten yhteiskehittämisen merkitystä maakunnan uudistumiselle (Satakuntaliitto, 2025a, 2025b). Tämän vuoksi maakunnassa on useita potentiaalisia käyttökohteita teollisuuden digitaalisiin koulutus-, simulointi- ja etätukiratkaisuihin. Edellä mainitun perusteella potentiaalinen kohdemarkkina on maakunnan teollisuuspuistojen, satama- ja logistiikka-alueiden, prosessiteollisuuden, metallinjalostuksen, energia-alan ja näitä palvelevien kunnossapitoverkostojen kokonaisuus.

XR-palvelun alueellinen arvo syntyisi ennen kaikkea siinä, että se voisi täydentää nykyisiä perehdytys-, turvallisuus- ja kunnossapitokäytäntöjä. Satakunnan alueella teollisuuspuistoissa, satama-alueilla ja teollisissa klustereissa, joissa on yhteistä infrastruktuuria ja yritysverkostoja, voisi olla palvelun potentiaalisia käyttöympäristöjä.



## 5.3 Riskit ja keskeiset toteutusedellytykset

### 5.3.1 XR-laitteistojen käytettävyys teollisuusympäristössä

Aidon teollisuusympäristön olosuhteet vaikuttavat XR-laitteisiin ja asettavat niille vaatimuksia, joita toimistossa tai koulutustiloissa tapahtuva käyttö ei sisällä. Esimerkiksi pöly, kosteus, lämpötila, likaantuminen, melu, vaihtelevat valaistusolosuhteet, ahtaat tilat ja suojavarusteiden samanaikainen käyttö voivat heikentää laitteiden käytettävyyttä, toimintavarmuutta ja työturvallista käyttöä (muun muassa Blanco-Novoa ym., 2018; Camacho-Fidalgo ym., 2025; Rosilius ym., 2024). Palvelukonseptissa AR-etätuki on määritelty mobiililaitte pohjaiseksi, mikä helpottaa käyttöönottoa, mutta ei poista laitteiden suojaukseen, käytettävyyteen tai teollisuusolosuhteisiin liittyviä riskejä (vrt. Alam ym., 2025; Palmarini ym., 2018).

Eryteisesti päähän puettavaan HMD-laitteisiin, esimerkiksi VR-laseihin liittyy käyttäjien hyväksynnän, ergonomian, käyttömukavuuden ja turvallisen havainnoinnin riskejä. Asiantuntijahaastatteluiden perusteella HMD-laitteet voidaan kokea pitkäaikaisessa käytössä kömpelöiksi tai kuormittaviksi. Teollisen AR:n käyttöönotossa edellisten lisäksi myös käyttöliittymän käytettävyys tai esimerkiksi ääni- tai eleohjauksen toimivuus tehdasympäristössä ovat laitteistojen toimivuuden kannalta merkittäviä (Ariansyah ym., 2022; Masood & Egger, 2019). Lisäksi HMD-laitteisiin voi liittyä kyberpahoivointia, silmien kuormittumista, havainnoinnin häiriöitä ja tilannetietoisuuden heikentymistä, jotka ovat merkittäviä riskejä turvallisuuskriittisissä työympäristöissä (Camacho-Fidalgo ym., 2025; Kourtesis ym., 2024). Käytön epämukavuus rajaa HMD-laitteiden käyttökelpoisuutta lyhyisiin, ennakkoon suunniteltuihin ja konkreettis-

ta hyötyä tuottaviin harjoituksiin, koska muutoin käyttäjät voivat kokea HMD-laitteistot kuormittaviksi eivätkä työn tekemistä tukevaksi välineiksi (Kourtesis ym., 2023). SWOT-analyysin avulla on havainnollistettu keskeisimpiä XR-ratkaisujen käytettävyyteen liittyviä näkökohtia (Taulukko 1).

Taulukko 1. XR-ratkaisujen käytettävyys teollisen kunnossapidon tukena.

<p><b>Vahvuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kunnossapidon ennakkovalmistelu ja -harjoittelu virtuaaliympäristössä ennen varsinaista työtä</li> <li>• Työvaiheiden tilallinen hahmotaminen ja haastavien kohteiden visuaalinen selkeytyks</li> <li>• Turvallisuussimulaatiot ilman todellisen toiminnan riskejä</li> <li>• AR-etätuki ja työn aikainen kontekstisidonnainen ohjeistus mobiililaitteilla</li> <li>• Kokemuseräisen ja dokumentoitaman osaamisen siirto</li> </ul>	<p><b>Heikkoudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lisäarvo riippuu oikeasta, riittävän ajantasaisesta ja käyttökelpoisesta datasta</li> <li>• Heikko soveltuvuus ad hoc -vika-hakuun, jossa ongelman luonne ja kohteen todellinen tila selviävät usein vasta paikan päällä</li> <li>• XR ei korvaa fyysistä työskentelykokemusta</li> <li>• XR ei korvaa ammattitaitoa ja käytännön kokemusta</li> <li>• HMD-laitteiden ergonomia ja käyttö eivät sovi kaikille ja kaikkiin ympäristöihin</li> <li>• HMD-laitteita käytettäessä tilannetietoisuuden mahdollinen heikkeneminen</li> <li>• Teollisuusolosuhteet, suojarusteet ja käyttöliittymien oppimiskynnys voivat heikentää käytettävyyttä ja toimintavarmuutta</li> </ul>
<p><b>Mahdollisuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kevyt MVP-vaihe</li> <li>• Kapeat pilotit, joissa varmistetaan aineistoedellytykset ja arvioidaan hyödyt ajan, kustannusten ja turvallisuuden näkökulmista</li> <li>• Mobiili-AR:n matalampi käyttökynnys sekä selain- tai PC-käyttöliittymä VR-lasien rinnalle</li> <li>• Työohjeiden vaihteellinen visualisointi</li> <li>• Pehdytyksen yhdenmukaistaminen monitoimijaympäristöissä ja monikielillä työmailla</li> </ul>	<p><b>Uhat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Käyttäjähäväksynnän puute ja käyttäjävastarinta, jos koulutus, tekninen tuki ja selkeä hyötyperustelu puuttuvat</li> <li>• Epäluotettava tai vanhentunut sisältö voi johtaa väärään toimintaan</li> <li>• Liiallinen teknologialuottamus voi heikentää paikan päällä tehtävää arviointia ja työntekijän kokemuksen hyödyntämistä</li> <li>• Verkkoyhteyksien häiriöherkkyys sekä päivitysten ja yhteensopivuuden häiriöt kentällä</li> <li>• Käyttäjätietojen, näkymän jakamisen, käyttöoikeuksien ja teollisen datan tietoturvariskit</li> </ul>

### 5.3.2 Yhteiskäyttöisen palvelun hallinta- ja vastuuriskit

Yhteiskäyttöisen ja moniasiakasmallilla toteutetun palvelukonseptin kilpailuetu perustuu varsinaisen XR-toteutuksen sijasta palvelun kokonaisuuteen: useiden toimijoiden tarpeiden yhteensovittamiseen ja yhteisen palvelun koordinointiin, jatkuvaan ylläpitoon sekä yhteisiin turvallisuus- ja perehdytysprosesseihin, jotka on kytketty teollisuuslaitoksen todellisiin prosesseihin. Monitoimijaisessa palveluympäristössä arvo syntyy eri toimijoiden yhteisestä panoksesta, mutta samalla toimijoiden keskinäisriippuvuus lisää koordinoinnin, päätöksenteon ja vastuunjaon tarvetta (Adner, 2017; Jacobides ym., 2018; Vargo & Lusch, 2016). Yhteiskäyttöisyys on palvelukonseptin hallinta- ja vastuuriskien keskeinen tekijä. Kun usea organisaatio käyttää samaa palvelua, on tärkeää määritellä selkeä hallintamalli (Adner, 2017; Bernal, 2024; Jacobides ym., 2018; Euroopan komissio, 2025b; OECD, 2022; NIST, 2024).

Yritysvastauksissa korostui myös riski siitä, että yhteiskäyttöisen XR-palvelun toteutus ja ylläpito muodostuvat niin kalliiksi, että palvelun hinnan ja hyödyn välinen suhde heikkenee nopeasti. Tämä havainto on linjassa valmistavan teollisuuden digitalisaatiota koskevan kirjallisuuden kanssa: digitaalisten teknologioiden käyttöönotossa kustannusten, hyötyjen ja suorituskykyvaikutusten arviointi on usein vaikeaa, ja erityisesti pk-yrityksillä korkeat alkuinvestoinnit, rajalliset rahoitus- ja osaamisresurssit sekä järjestelmien yhteentoimivuuden ongelmat voivat hidastaa käyttöönottoa (Maretto ym., 2023; OECD, 2021). Yhteiskäyttöisessä mallissa riski korostuu, koska palvelun arvo edellyttää usean toimijan samanaikaista sitoutumista: jos käyttäjäjoukko jää liian pieneksi, yhteisen palvelun kehitys-, ylläpito- ja koordinoitinkustannukset voivat jäädä liian harvojen toimijoiden kannettaviksi.

### 5.3.3 Teknologia-, alustariippuvuus- ja räätälöintiriskit

XR-teknologioiden nopea kehitys on konseptin kannalta kaksijakoinen ilmiö. Se voi vahvistaa palvelukonseptin käytettävyyttä, laatua ja kustannustehokkuutta teknologian kehittyessä, mutta toisaalta sitoutuminen yhteen laitteistoon, ohjelmistoon tai alustaan voi aiheuttaa vanhentumis- ja alustariippuvuusrisikin (Alam ym., 2025; Palmarini ym., 2018). Siksi käyttöönottoa suunniteltaessa olisi arvioitava VR- ja AR-laitteiden elinkaarta, ohjelmistojen yhteensopivuutta, 3D-mallien ja harjoitussisältöjen päivitettävyyttä sekä mahdollisuutta siirtää sisältöjä uusiin teknisiin ympäristöihin (Alam ym., 2025; Microsoft, ei pvm.; Varjo, 2025a, 2025b). Teknologian elinkaareen liittyvät riskit korostuvat yhteiskäyttöisessä palvelussa, koska sen päivittäminen, yhteensopivuuden varmistaminen ja käyttäjien tarpeiden sovittaminen yhteen voivat muodostua raskaiksi ja kalliiksi toimenpiteiksi.

Yhteiskäyttöisten laitteiden ja yhteisten sisältöjen näkökulmasta riski on sekä tekninen että organisatorinen. Eri yrityksillä on käytössä erilaisia järjestelmiä, prosesseja ja toimintamalleja, jolloin yhden yhteisen XR-palvelun kehittäminen, ylläpito ja päivittäminen voi olla työlästä (Maretto ym., 2023; Müller ym., 2023; NIST, 2023, 2024;

Oumaima ym., 2026; Palmarini ym., 2018; Runji ym., 2023). AR- ja XR-tekniologioiden onnistunut käyttöönotto edellyttää teknologisten, organisatoristen ja ympäristöön liittyvien tekijöiden yhteensovittamista (Müller ym., 2023; Oumaima ym., 2026; Palmarini ym., 2018; Runji ym., 2023).

Yhteiskäyttöinen XR-kunnossapitopalvelu edellyttää myös kohdekohtaista räätälöintiä, jotta palvelu vastaa todellisia työympäristöjä. Palveluntarjoajan näkökulmasta räätälöinti on skaalautumisriski, koska se voi heikentää palvelun käyttöönottoa muissa kohteissa (Alam ym., 2025; Maretto ym., 2023; Palmarini ym., 2018). Jos kohdekohtaisen räätälöinnin määrä kasvaa liian suureksi, palvelun kustannukset nousevat, ylläpito vaikeutuu ja liiketoimintamallin skaalautuvuus heikkenee. Kilpailuedun säilyttäminen edellyttää tasapainoa yhteisten, uudelleenkäytettävien palvelun moduulien ja räätälöinnin välillä (vrt. Maretto ym., 2023; Teece, 2010).

### **5.3.4 Datan saatavuus, käyttöoikeudet ja tietoturva yhteiskäyttömallissa**

Yhteiskäyttöisen XR-kunnossapitopalvelun malli muistuttaa data- ja palvelualueita, joissa arvo pohjautuu eri toimijoiden tietojen, dokumentaation tai muun aineiston jakamiseen sekä niiden yhteentoimivuuteen ja hyödyntämiseen (Koutroumpis ym., 2020; Vargo & Lusch, 2016). Yhteensopivuuteen ja tietoturvaan liittyvät riskit ovat merkittäviä, koska yrityksillä on usein erilaiset järjestelmät, dokumenttiformaatit, käyttöoikeusmallit ja tietoturvakäytännöt (NIST, 2023, 2024).

Yritykset ovat usein varovaisia luovuttamaan omia tietojaan, aineistojaan tai muuta dataansa yhteiskäyttötarkoituksiin, koska niiden jakamiseen liittyy huolia muun muassa tietoturvasta, liikesalaisuuksien paljastumisesta tai kilpailunäkökulmasta arvokkaan tiedon päätymisestä muille toimijoille (Bernal, 2024; Koutroumpis ym., 2020; OECD, 2022). Palvelukonseptin toteutus edellyttää siksi asiakkaan omistaman tai hallitseman datan erottamista palveluntarjoajan tuottamista XR-sisällöistä. Lisäksi on sovittava, kuka saa käyttää, muokata, yhdistellä, näyttää tai jakaa aineistoa muille käyttäjäorganisaatioille. Tämä edellyttää selkeitä rajoituksia datan käyttöoikeuksiin, käyttöoikeusrooleihin, aineistojen eriyttämiseen, salassapitoon, päivitysvastuisiin sekä siihen, mitä sisältöä voidaan hyödyntää yhteisesti ja mitä vain asiakaskohtaisesti (Bernal, 2024; Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto, 2023; Koutroumpis ym., 2020; OECD, 2022).

Datan luovuttamiseen ja yhteiskäyttöön liittyvät epävarmuudet sekä tarve sopia kattavasti tekijän-, omistus- ja käyttöoikeuksista monen yrityksen kesken muodostavat palvelukonseptille markkinoille pääsyn ja skaalautuvuuden rajoitteen. Tämä voi hidastaa yritysten sitoutumista yhteiseen palveluun, pienentää siihen osallistuvien yritysten määrää ja vaikeuttaa mallin monistamista usean toimijan ympäristöihin.

### **5.3.5 XR-avusteisen simulaatiopalvelun markkina- ja ansaintamalliriskit**

XR-avusteisessa simulaatiopalvelussa alihankkija tai muu yksittäinen tilaaja ostaa XR-palvelua ulkopuoliselta palveluntarjoajalta esimerkiksi sisältöstudio- tai

pop-up-mallilla (ks. Grabher, 2002; Niehm ym., 2006). Palvelumallin keskeinen kokonaisriski on projektiluonteiseen palveluliiketoimintaan liittyvä markkina-, kilpailu- ja ansaintamalliriski. Asiakkaalle projektimalli voi olla joustava ja kustannuksiltaan hallittava ja siten madaltaa ostokynnystä. Palveluntarjoajan näkökulmasta riski on kuitenkin se, että palvelu jää yksittäisiksi toteutuksiksi.

Riskiä vahvistaa se, että konseptin tekninen perusidea ei ole yksinoikeudellinen. Myös muut VR- ja XR-toimijat voivat tuottaa samankaltaisia sisältöjä asiakaskohtaisina projekteina. Jos palvelu näyttyy asiakkaalle vain yksittäisenä simulaationa, kilpailu voi painottua hintaan, toteutusnopeuteen ja visuaaliseen laatuun. Pelkkä yksittäisen simulaation tekninen toteutus ei siten vielä muodosta selvää kilpailuetua palveluntarjoajalle. Kestävämpi kilpailuetu edellyttää, että XR-sisällöt kytketään asiakkaan todellisiin prosesseihin, toistuviin käytötapauksiin ja mitattaviin hyötyihin (Baines ym., 2009; Mareto ym., 2023; Palmarini ym., 2018; Teece, 2010).

Tämän vuoksi palvelumallia olisi pyrittävä tuotteistamaan toistettavaksi palveluprosessiksi. Käytännössä tämä tarkoittaisi esimerkiksi vakioituja sisältöpohjia, moduulikirjastoja tai puitesopimuksia. Näin projektiluonteisen kysynnän riskiä voidaan pienentää ja yksittäisistä toimituksista rakentaa jatkuvampaa palveluliiketoimintaa (Baines ym., 2009; Tukker, 2004).

## 5.4 Potentiaaliset asiakkaat, käyttäjät ja koordinoivat toimijat

### 5.4.1 Yhteiskäyttöinen XR-kunnossapitopalvelu

Yhteiskäyttöisen XR-kunnossapitopalvelun priorisoitavaksi asiakassegmentiksi selvietyksessä nousevat suuret teolliset ankkuriyritykset, valmistavan teollisuuden klusterit ja teollisuuspuistot. Näissä ympäristöissä toimii ulkopuolisia alihankkijoita sekä tehdään säännöllisesti turvallisuuskriittisiä kunnossapitoon liittyviä töitä. Tämä asiakassegmentti pystyisi todennäköisimmin tarjoamaan riittävän käyttäjävolyymin, ja [luvussa 5.2.1.1](#) kuvatun tarvittavan lähtöaineiston sekä mitattavia käytötapauksia, joiden avulla palvelun hyötyä voidaan arvioida esimerkiksi ajan, kustannusten ja turvallisuuden näkökulmista (HSE, 2024; Mareto ym., 2023; Työsuojeluhallinto, 2022; Työturvallisuuskeskus, ei pvm.-a, ei pvm.-b).

Toinen priorisoitava asiakassegmentti olisivat teollisten klustereiden operaattorit, alueelliset kehitysyhtiöt ja yhteisiä palveluita koordinoivat toimijat, erityisesti mikäli palvelukonsepti nojaa moniasiakasratkaisuun. Klusteri- ja innovaatioekosysteemien näkökulmasta edellä mainitut toimijat voivat olla keskeisiä yhteisten palvelujen, yritysten välisen yhteistyön, pilotoinnin ja käyttöönoton koordinoijia (Adner, 2017; European Cluster Collaboration Platform, ei pvm.; Euroopan komissio, ei pvm.-a; Jacobides ym., 2018).

Kolmas yhteiskäyttöisen palvelukonseptin asiakassegmentti olisivat teollisuuden kunnossapitoon ja sitä tukeviin palveluihin erikoistuneet yritykset, jotka eivät todennäköisimmin ole palvelun pääasiallisia maksajia. Sen sijaan ne ovat keskeisiä käyttäjiä ja hyödynsajia, koska ne toteuttavat käytännön huolto-, asennus- ja muita kunnossapitoon liittyviä erikoistöitä (vrt. HSE, 2024; Työsuojeluhallinto, 2022; Työturvallisuuskeskus, ei pvm.-a, ei pvm.-b). Hyötyjä voivat olla nopeampi kohdeperehdytys, turvallisempi työskentely monitoimijaympäristössä ja parempi valmistautuminen kohdekohtaisiin riskeihin. Kunnossapitoon liittyviä palveluja tarjoavat organisaatiot voivat hyötyä työnopastuksen, hiljaisen tiedon dokumentoinnin ja tehtäväkohtaisen koulutuksen vahvistumisesta (vrt. Palmarini ym., 2018; Työsuojeluhallinto, 2022).

Neljännän segmentin muodostavat pk-yritykset, joille palvelu kannattaisi tarjota ensisijaisesti jaettuna palveluna tai osana ankkuriyrityksen, klusteritoimijan tai vastaavan tahon koordinoimaa kokonaisuutta. Tämä johtuu siitä, että pk-yritysten investointihalukkuus on sekä haastatteluiden että kirjallisuuden perusteella varovaisempaa kuin suuremmissa yrityksissä ja siksi jaettu palvelumalli, pilotointi ja ”testaa ennen investointia” -tyyppinen eteneminen voivat madaltaa käyttöönoton kynnystä (ks. [luku 5.2.1.2](#) sekä Baines ym., 2009; Jibril & Roper, 2025; Eurofound & Cedefop, 2025; Euroopan komissio, ei pvm.-a; OECD, 2021).

#### **5.4.2 XR-avusteinen simulaatiopalvelu**

Mallissa, jossa alihankkija ostaa XR-palvelua erilliseltä palveluntarjoajalta, palvelun ensisijaiset asiakkaat olisivat teollisuuden kunnossapidon huolto- ja korjaustoimenpiteisiin sekä niitä tukeviin palveluihin erikoistuneet yritykset. Keskeisin asiakassegmentti olisivat vaativia erikoistöitä tekevät kunnossapidon palveluntuottajat, joiden työ liittyy turvallisuuskriittisiin tai korkean riskin työvaiheisiin. Palvelun ostoperuste olisi silloin konkreettinen hyöty, muun muassa mahdollisuus havainnollistaa tilaajalle vaativien tehtävien suunnittelua ja valmistautumista sekä tukea työntekijöiden perehdytystä kohteeseen ja parantaa turvallisuusvalmiuksia (ks. myös [luku 5.2.2.1](#)).

Toinen segmentti ovat pk-sektorin yritykset, joille oman XR-palvelun ylläpito on liian suuri investointi. Sen sijaan erillisen palveluntarjoajan sisältöstudio- tai pop-up-malli voi olla käytännöllinen, koska yritys voi ostaa palvelua vain tiettyyn projektiin tai työvaiheeseen (ks. myös [luku 5.5.3](#)).

Kolmas potentiaalinen asiakassegmentti ovat suuremmat kunnossapitoon liittyviä palveluja tarjoavat yritykset, esimerkiksi pääurakoitsijat tai alihankkijaverkostoja koordinoivat palveluyritykset, jotka vastaavat työntekijöiden tai alihankkijoiden koordinoinnista. Näille XR-palvelukonsepti voisi olla keino esimerkiksi yhdenmukaistaa työntekijöiden perehdytystä, dokumentoida hiljaista tietoa ja osoittaa tilaajaorganisaatiolle, että kohteessa työskentelevä henkilöstö on perehdytetty kohteen työvaiheisiin, riskeihin ja turvallisuuskäytäntöihin järjestelmällisesti (vrt. HSE, 2011; Maretto ym., 2023; Työsuojeluhallinto, 2022).

## 5.5 Laadulliset kannattavuusarviot

### 5.5.1 Yhteiskäyttöisen palvelukonseptin ehdollinen kannattavuus

Yhteiskäyttöisen XR-palvelukonseptin kannattavuus olisi selvityksen aineiston perusteella laadullisesti arvioiden mahdollinen mutta selvästi ehdollinen. Sen arvo ei ole teknologisessa uutuusarvossa, vaan siinä, että se kohdistaa XR-teknologiat rajatusti ja konkreettisesti teollisiin kunnossapitotöihin, perehdytykseen, turvallisuuteen ja eri toimijoiden yhteistyöhön. Kannattavuuden kannalta konseptin keskeinen vahvuus on se, että se pyrkii ratkaisemaan kunnossapidon toistuvia tilanteita ja useille toimijoille yhteisiä toimia: muun muassa kunnossapidon toimenpiteiden valmistelua, perehdytystä ja kokemusperäisen tiedon siirtämistä ja säilyttämistä. XR-teknologian käytön taloudellinen perustelu on vahvimmissaan ennakkosuunnittelussa, -valmistautumisessa ja -harjoittelussa, joissa virheiden, epäselvyyksien ja viivästysten vähentäminen voi tuottaa asiakkaalle osoitettavissa olevaa hyötyä.

Palvelukonseptin kaupallinen potentiaali voisi olla suurin sellaisissa teollisuusklustereissa, joissa on toistuvia korkean riskin huoltotöitä, useita ulkopuolisia alihankkijoita, merkittäviä kunnossapidon kustannuksia ja riittävästi olemassa olevaa digitaalista lähtöaineistoa. Kannattavuuden kannalta yhteiskäyttöisen mallin vahvin asiakassegmentti olisi todennäköisesti teollisuusklusterin koordinoiva toimija, joka pystyy kokoamaan useita käyttäjäorganisaatioita saman palvelun piiriin. Yksittäisen pk-yrityksen osallistumisen näkökulmasta kynnys voi olla korkea, joskin yhteiskäyttöisyys voi madaltaa kynnystä, erityisesti jos palvelun kustannustenjako, käyttöoikeudet, vastuut ja hyödyt ovat selkeitä. Mikäli nämä ehdot eivät täyty, palvelu voi jäädä koulutukselliseksi lisäpalveluksi, jonka suoria taloudellisia hyötyjä on vaikeampi osoittaa.

Asiakkaan liiketoimintahyöty liittyy kunnossapidon, perehdytyksen ja turvallisuuden kustannusvaikutuksiin. Asiakkaan näkökulmasta konseptin kannattavuus perustuu ennen kaikkea siihen, että huolto- ja seisokkityön virheet, viivästykset ja perehdytyksen puutteet voivat teollisuusympäristössä aiheuttaa merkittäviä kustannuksia ja vaikuttaa teollisen tuotannon kannattavuuteen (muun muassa Alsyouf, 2007). Tämän vuoksi palvelun hyötyoletuksia voidaan tarkastella investoinnin tuoton näkökulmasta, vaikka tässä selvityksessä ei laadita euromääräistä kannattavuuslaskelmaa. Määrällisesti seurattavia vaikutuksia voivat olla esimerkiksi perehdytykseen käytetty aika, kunnossapitotyöhön käytetty aika sekä työturvallisuuteen liittyvät poikkeama-, vaaratilanne- tai tapaturmatiedot. Laadullisina hyötyinä palvelu voi vahvistaa turvallisuuskulttuuria, tukea hiljaisen tiedon siirtoa ja säilymistä, sujuvoittaa yhteistyötä alihankkijoiden välillä sekä vahvistaa työnantajamielikuvaa.

### 5.5.2 Palveluntarjoajan kannattavuusedellytykset yhteiskäyttöisessä mallissa

Tämän selvityksen yhteiskäyttöisen konseptin kannattavuutta ei voida määritellä

täsmällisesti palveluntarjoajan näkökulmasta. Konseptin suurin kustannus ei todennäköisimmin ole XR-tekniologiassa, vaan sisällöntuotannossa, aineistojen integraatioissa ja palvelun päivityksessä, tietoturvan ylläpidossa, testauksessa sekä käyttäjäkoulutuksessa. Tätä tukee XR-tekniologian käyttäjähyväksynnän merkitys kannattavuuden näkökulmasta. Käyttäjävastarinta heikentää XR-tekniologian koettua arvoa ja organisaation aikomusta ottaa tekniologia käyttöön, kun taas kokeiltavuus, sisäinen tuki ja käyttäjien osaaminen voivat vähentää vastarintaa (Jalo & Pirkkalainen, 2024). Kannattavuuden näkökulmasta palvelukonseptin pitää siten sisältää käyttäjätuki, koulutus, helppo selain- tai PC-käyttöliittymä sekä rajatut, nopeasti arvoa tuottavat harjoitukset.

Palveluntarjoajan näkökulmasta kannattavuus on todennäköisin silloin, kun palvelulla on koordinoiva pääasiakas, riittävä käyttäjävolyymi, toistuvia käyttötapauksia, yhteisiä moduuleja sekä selkeät sopimus- ja ylläpitomallit. Lähtöaineiston tarkemmat edellytykset on kuvattu [luvussa 5.2.1.1](#), ja yhteiskäyttöön liittyvät vastuu- ja datariskit [luvussa 5.3.4](#). Palveluntarjoajan kannattavuuden kannalta keskeinen kysymys on, pystytäänkö kohdekohtainen räätälöinti, sisällön päivitys, tietoturvan ylläpito ja käyttäjätuki suhteuttamaan toistuvaan liikevaihtoon. Yhteiskäyttöisen palvelukonseptin liiketoimintalogiikka edellyttää, että palvelu ei jää yksittäisiksi asiakaskohtaisiksi projekteiksi, vaan siitä muodostuu jatkuvaa palveluliiketoimintaa.

XR-palvelukonseptin toteutus hyötyy modulaarisesta rakenteesta, jossa kaikkea sisältöä ei tarvitse rakentaa alusta asti eri asiakkaille. Tämä erottaa palvelukonseptin yksittäisistä XR-simulaatioprojekteista, joissa skaalautuvuus ja toistuva liikevaihto jäävät heikommiksi. Mikäli samaa XR-sisältöä voidaan hyödyntää useissa yrityksissä, on palvelun kustannuksia mahdollista palvelukonseptin logiikan mukaisesti jakaa usean maksajan kesken.

Kannattavuuden näkökulmasta päähän puettava tekniologia ja mobiililaitteepohjainen AR-tekniologia palvelevat eri vaiheita samassa arvoketjussa. VR-tekniologian arvo syntyy ennen varsinaista työtä ennakkovalmistelussa ja -harjoittelussa, kun AR-tekniologian arvo syntyy työn aikaisen tuen välineenä. VR-koulutuksen tutkimus tukee ajatusta siitä, että vaarallisia tai vaikeasti saavutettavia tilanteita voidaan harjoitella turvallisesti simuloitua ympäristössä, vaikka vaikutuksia todellisiin turvallisuustuloksiin on arvioitava tapauskohtaisesti (Scorgie ym., 2024; Stefan ym., 2023). AR:n arvo puolestaan syntyy erityisesti työn aikaisessa ohjeistuksessa, etätuessa ja kontekstisidonnaisen tiedon tuomisessa käyttäjän saataville kunnossapitotilanteissa (Palmarini ym., 2018). Kevyissä käyttötapauksissa AR-etätuki voidaan toteuttaa mobiililaitteilla, mikä pienentää laitehankintoihin ja käyttöönottoon liittyvää kynnystä verrattuna erillisiin päähän puettaviin AR-laitteisiin. Tämä sopii konseptin kevyen MVP-vaiheen logiikkaan, jossa tavoitteena ei ole suuri alustainvestointi vaan nopeasti testattava kunnossapidon tukipalvelu. SWOT-analyysin avulla on havainnollistettu keskeisimpiä yhteiskäyttöisen XR-palvelumallin liiketoimintamalliin liittyviä näkökohtia (Taulukko 2).

Taulukko 2.

Yhteiskäyttöisen XR-kunnossapitol palvelun konseptin liiketoiminnallisen tarkastelun SWOT

<p><b>Vahvuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Palvelukonseptin arvo perustuu liiketoimintamalliin ja kohderajaukseen, ei yksittäiseen teknologiaan</li> <li>• Monitoimijaympäristöjen yhteiset harjoittelu ympäristöt, turvallisuusmullaatiot, tehtäväkohtaiset harjoitukset ja AR-etätuki</li> <li>• Lisäarvo: turvallisuuden paraneminen, perehdytyksen nopeutuminen, toimintatapojen yhdenmukaistaminen, kunnossapitotöiden nopeutuminen</li> <li>• Ulkoistetussa palvelumallissa palveluntarjoaja kokoaa laitteet, sisällöt, toteutuksen, päivitykset, koulutuksen ja teknisen tuen</li> <li>• Moniasiakasmallin kustannusten jako</li> <li>• Moniasiakasmallin yhteisten sisältömoduulien monistettavuus ja uudelleen käytön skaalahyödyt</li> </ul>	<p><b>Heikkoudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laaja yhteiskäyttöinen XR-kunnossapitol palvelu on haastava palvelulupaus</li> <li>• Toteutettavuus edellyttää riittävää käyttäjävolyymiä, toistuvia käyttötapauksia, koordinoivaa pääasiakasta ja yhteisiä moduuleja</li> <li>• Hyödyn osoittamisen vaatimus on korkea: hyötyjen on näytävä kustannuksissa, ajansäästössä tai turvallisuudessa</li> <li>• Usean organisaation hallintamalli edellyttää selkeitä vastuu-, sopimus- ja ylläpito käytäntöjä</li> <li>• Sisällöntuotanto, aineistojen integraatiot, päivitykset, tietoturva, testaus ja käyttäjäkoulutus muodostavat suuren kustannuspainon</li> <li>• Kohdekohtainen räätälöinti, järjestelmä- ja formaattikirjavyys sekä maksajan ja käyttäjän eriytyminen heikentävät ostettavuutta ja skaalautuvuutta</li> </ul>
<p><b>Mahdollisuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teollisuusklusterien, teollisuuspuistojen ja monitoimijaympäristöjen yhteinen digipalvelu</li> <li>• Ankkurirytyksen, kunnossapidon päätilaajan tai teollisuuspuiston operaattorin kautta koottava käyttäjävolyymi</li> <li>• Yhteisen työpaikan turvallisuusvastuut ja alihankkijaperehdytyksen yhdenmukaistaminen luovat toistuvia käyttötarpeita</li> <li>• Kevyt käyttöönotto ja MVP-vaihe ilman koko tuotantoympäristön kattavaa alustaa tai pysyvää järjestelmäintegraatiota</li> <li>• Yhteiskäyttöinen ja ulkoistettu palvelumalli sopii yrityksille, joilla ei ole jatkuvaa käyttötarvetta, osaamista tai resursseja ylläpitää XR-laitteita, sisältöjä ja tukea itse</li> </ul>	<p><b>Uhat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Liian pieni maksava käyttäjäjoukko jättää kehitys-, ylläpito- ja koordinaatikustannukset liian harvojen toimijoiden kannettaviksi</li> <li>• Datanhallinnan, käyttöoikeuksien, käyttöoikeusroolien, aineistojen eriyttämisen ja salassapidon epäselvyydet</li> <li>• Liikesalaisuuksiin ja asiakkaan omistaman tai hallitseman datan jakamiseen liittyvät luottamushuolet</li> <li>• Räätälöinnin kasvu skaalautuvuuden esteenä; yhteentoimivuuden ja päivitettävyyden ylläpito kustannukset</li> <li>• Kilpailijoiden valmiit alustaratkaisut ja piilossa olevat räätälöidyt kilpailuratkaisut</li> <li>• Palvelu jää koulutukselliseksi lisäpalveluksi tai yksittäisiksi asiakaskohtaisiksi projekteiksi, jos jatkuvaa palveluliiketoimintaa ei synny</li> </ul>

### 5.5.3 XR-avusteisen simulaatiopalvelun kannattavuusedellytykset

Laadullisesti arvioiden XR-avusteinen simulaatiopalvelu vaikuttaa alkuvaiheessa kaupallisesti helpommalta kuin laajempi yhteiskäyttöinen XR-kunnossapitopalvelu. Kannattavuuden kannalta tämän konseptin etu on selkeämpi ostotilanne. Sen asiakas, käyttötapaus ja ostoperuste ovat rajatumpia, ja palvelu voidaan myydä yksittäiseen tarpeeseen ilman monen organisaation yhteistä hallintamallia. Asiakkaan ei tarvitse sitoutua laajaan tai pitkäkestoiseen palveluun, mikä madaltanee ostokynnystä etenkin pk-yrityksille.

XR-avusteisen simulaatiopalvelun skaalautuvuus on kuitenkin yhteiskäyttöistä mallia rajallisempi, ellei palveluntarjoaja pysty tuotteistamaan sisältöpohjia, rakentamaan toistuvia asiakkuuksia ja kehittämään projektitoimituksista jatkuvaa palvelua. Tämän palvelukonseptin liikevaihto syntyisi todennäköisesti projektikohtaisesta datakonversiosta, simulaation rakentamisesta, selainpohjaisesta tarkastelu- tai yhteistyöympäristöstä sekä asiantuntijan tuottamista suunnitelma- ja tarjousliitteistä.

Asiakkaalle hyöty syntyy ennen kaikkea myynnin, suunnittelun ja riskienhallinnan vahvistumisesta. Alihankkija voi erottautua tarjouskilpailussa esittämällä tilaajalle havainnollisen suunnitelman, jossa työ on kuvattu ennen toteutusta. Se voi vähentää epävarmuutta, parantaa tilaajan luottamusta, tukea turvallisuussuunnittelua ja pienentää työmaalla syntyvien yllätysten riskiä.

XR-avusteisen simulaatiopalvelun kannattavuus riippuu siitä, pystyykö palveluntarjoaja muuttamaan projektikohtaiset toimitukset toistettavaksi palveluprosessiksi. Palvelu voisi olla kannattava, jos sen tuotantoprosessi on riittävän vakioitu: esimerkiksi pistepilven tai CAD-mallin käsittely, työvaiheiden mallinnus, riskipisteiden merkitseminen ja visuaalisen suunnitelman tuottaminen pitäisi pystyä toteuttamaan toistettavalla prosessilla.

Verrattaessa yhteiskäyttöistä ja XR-avusteista palvelukonseptia, jälkimmäinen voisi olla alkuvaiheen markkinoille helpommin vietävä palvelukonsepti. Se voisi sopia markkinoillepääsyn ja referenssien rakentamisen malliksi, kun taas yhteiskäyttöinen XR-kunnossapitopalvelu voisi olla myöhempi skaalautumisvaihe ympäristöissä, joissa yhteisiä käyttötarpeita, luottamusta, datanhallintaa ja koordinaatiokykyä on riittävästi. SWOT-analyysin avulla on havainnollistettu keskeisimpiä XR-avusteisen simulaatiopalvelun liiketoiminnallisia näkökohtia (Taulukko 3).

Taulukko 3. XR-avusteisen simulaatiopalvelun liiketoiminnallisen tarkastelun SWOT.

<p><b>Vahvuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asiakas, käyttötapaus ja ostoperuste ovat rajatumpia kuin laajassa yhteiskäyttöisessä palvelumallissa</li> <li>• Palvelu kohdistuu kunnossapidon alihankkijoille, joiden tekninen aineisto voidaan muuntaa kevyiksi 3D-/XR-sisällöiksi</li> <li>• Palvelu koostuu datakonversiosta, selainpohjaisesta simulaatio- ja yhteistyöalustasta sekä asiantuntijapalveluna tuotettavista tarjous- ja suunnitelmaliitteistä</li> <li>• Liiketoiminnallinen hyöty syntyy urakoitsijan mahdollisuudesta erottautua tarjouskilpailuissa, perustella työtään paremmin, vähentää epävarmuuksia ja tukea turvallisempaa toteutusta</li> <li>• Vaiheittainen kustannusmalli ja projekti-kohtainen matala sitoutuminen madaltavat ostokynnystä etenkin pk-yrityksille</li> <li>• Alkuvaiheessa kaupallisesti helpommin toteutettava markkinoillepääsyn ja referenssien rakentamisen malli</li> </ul>	<p><b>Heikkoudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Skaalautuvuus on yhteiskäyttöistä mallia rajallisempi ilman tuotteistettuja sisältöpohjia, moduulikirjastoja ja toistuvia asiakkuuksia</li> <li>• Liikevaihto syntyy todennäköisesti projektikohtaisesta datakonversiosta, simulaation rakentamisesta, selainpohjaisesta ympäristöstä ja asiantuntijaliitteistä</li> <li>• Palvelumallin sisältöjen tuottamisen vakiointi on haastavaa</li> <li>• Datakonversion työmäärän vaihtelu ja manuaalisen mallinnuksen kateeriski</li> <li>• Asiakasarvon tapauskohtainen todentaminen ja toistuvan palvelusopimuksen epävarmuus</li> <li>• Teknisten osakomponenttien yhteensovitus voi jäädä palveluntarjoajan vastuulle</li> </ul>
<p><b>Mahdollisuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arvo syntyy osaratkaisujen yhdistämisestä kunnossapidon suunnittelu- ja tarjousprosessia tukevaksi kokonaisuudeksi</li> <li>• Suuremmat kunnossapitopalveluyritykset, erikoistöitä tekevät alihankkijat potentiaalisia asiakkaita</li> <li>• Vaativat ja korkean riskin työvaiheet toistuvia asiakaskohteita</li> <li>• Sisältöstudio- tai pop-up-malli mahdollistaa rajatun, helposti kokeiltavan palvelun yksittäiseen projektiin tai työvaiheeseen</li> <li>• Vakiodut sisältöpohjat, moduulikirjastot ja puitesopimukset voivat muuttaa projekti-toimituksia jatkuvammaksi palveluliiketoiminnaksi</li> <li>• Selainpohjainen tarkastelu- tai yhteistyöympäristö tukee suunnittelua, asiakasviestintää ja tarjousliitteiden uutta palvelukategoriaa</li> <li>• Myöhempi kasvupolku yhteiskäyttöiseen XR-kunnossapitopalveluun, kun yhteisiä käyttötarpeita, luottamusta, datanhallintaa ja koordinaatiokykyä on riittävästi</li> </ul>	<p><b>Uhat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jos palvelu näyttäytyy vain yksittäisenä simulaationa, kilpailu painottuu hintaan, toteutusnopeuteen ja visuaaliseen laatuun</li> <li>• Pelkkä visualisointi muuttuu bulkkipalveluksi; palvelurakenne on helposti jäljiteltävä</li> <li>• Muut VR- ja XR-toimijat tai osaratkaisujen toimittajat voivat laajentua vastaavaksi kokonaispalveluksi</li> <li>• Toistuvan asiakkuuden rakentaminen epäonnistuu ja referenssien kertyminen on hidasta</li> <li>• Asiakaskohtaisen datan saatauvuusongelmat, epäluotettava lähtöaineisto ja laadun vaihtelu toimitusprojekteissa</li> <li>• Hyötymittareiden puutteellinen näkyttö estää palvelun kytkemisen asiakkaan todellisiin prosesseihin ja mitattaviin hyötyihin</li> </ul>

## **Robocoast EDIH – vauhtia yritysten digitaaliseen kasvuun ja kilpailukykyyn**

Tekoäly, kyberturvallisuus, robotiikka ja muut kehittyneet digitaaliset teknologiat muuttavat yritysten toimintaympäristöä ennennäkemättömällä nopeudella. Samalla yrityksiltä edellytetään kykyä tehdä strategisesti oikeita teknologiavalintoja nopeasti ja liiketoimintalähtöisesti.

European Digital Innovation Hubs (EDIHs) -verkosto on Euroopan komission strateginen toimenpide, jonka tavoitteena on vahvistaa Euroopan teollista kilpailukykyä, teknologista suorituskykyä ja strategista autonomiaa suhteessa Yhdysvaltoihin ja Aasiaan. EDIH-verkoston tehtävänä on nopeuttaa kilpailukyvyyn ja resilienssin kannalta kriittisten teknologioiden, kuten tekoälyn, kyberturvallisuuden ja robotiikan käyttöönnottoa eurooppalaisissa pk- ja mid-cap-yrityksissä sekä julkisella sektorilla.

EDIH-verkosto koostuu 170:stä Euroopan komission valitsemasta EDIH-konsortioista, jotka toimivat alueellisina one-stop-shop-tyyppisinä osaamiskeskittyminä tarjoten yrityksille korkeakoulujen, EU:n AI-ekosysteemin ja teknologiayritysten huippuosaamisen ja resurssit yhden palvelukanavan kautta. Suomessa toimii kolme EDIH-konsortiota: Robocoast EDIH, FAIR (Finnish AI Region) ja LIH (Location Innovation Hub). Robocoast EDIH -konsortioon kuuluu 14 suomalaista korkeakoulua ja sitä koordinoi Satakunnassa toimiva kehitysyhtiö, Prizztech Oy.

### **Konkreettisia tuloksia yrityksille**

Robocoast EDIH:n vaikuttavuus näkyy suoraan yritysten tuloksissa. Lähes 1 700 yritystä on jo hyödyntänyt palveluita, ja niitä on toteutettu yli 3 500 kappaletta. Toteutetun vaikuttavuusselvityksen mukaan vuosien 2021–2024 aikana palveluja käyttäneiden pk-yritysten yhteenlaskettu liikevaihto kasvoi jopa 40 %, ja henkilöstömäärä 27 %. Samaan aikaan suomalaisten pk-yritysten keskimääräinen kasvu oli huomattavasti maltillisempaa: Tilastokeskuksen tilastotietokantojen mukaan vuosina 2021–2024 suomalaisten pk-yritysten liikevaihto kasvoi 7,8 prosenttia ja henkilöstömäärä 4,4 %.

Tämä kertoo yhdestä asiasta: oikein hyödynnettynä digitalisaatio ei ole kustannus – vaan selkeä kasvun moottori.

## Palvelut, jotka muuttavat ideat tuloksiksi

Robocoast EDIH tarjoaa yrityksille laajan palvelukokonaisuuden, joka perustuu neljään keskeiseen osa-alueeseen (ks. myös Robocoast EDIH, 2026):

- **Testaa ennen investointia (Test Before Invest)**  
Yritykset voivat kokeilla uusia teknologioita riskittömästi. Käytössä on yli 40 tutkimus- ja kehitysympäristöä, joissa voidaan pilotoida esimerkiksi tekoälyä, robotiikkaa, kyberturvallisuutta tai energiaratkaisuja ilman suuria investointeja.
- **Osaamisen kehittäminen**  
Digitaalinen oppimisolusta, koulutukset ja räätälöidyt valmennukset auttavat henkilöstöä ottamaan uudet teknologiat tehokkaasti käyttöön. Painopisteenä ovat erityisesti tekoäly ja uudet digitaaliset työkalut.
- **Rahoituksen ja investointien tuki**  
Asiantuntijat auttavat löytämään sopivat rahoituskanavat ja tukimuodot niin kansallisella kuin EU-tasolla digitaalisiin investointeihin.
- **Verkostot ja ekosysteemit**  
Robocoast yhdistää yritykset, tutkijat, kehittäjät, rahoittajat ja EU:n TKI-resurssit. Yhteistyö avaa ovia uusiin kumppanuuksiin ja markkinoihin – paikallisesti ja kansainvälisesti.

## Turvallisesti kohti tekoälyaikaa

Tekoälyn käyttöönotto tuo mukanaan myös haasteita: tietoturva, sääntely, datan hallinta ja osaamisen puute voivat hidastaa kehitystä. Robocoast EDIH auttaa yrityksiä navigoimaan näissä kysymyksissä – esimerkiksi EU:n AI Act -tekoälysääntelyn, kyberturvallisuuden ja digitaalisen riskienhallinnan osalta.

Yritykset voivat testata uusia ratkaisuja turvallisesti, kouluttaa henkilöstöään ilman liiketoiminnan häiriöitä ja ottaa käyttöön teknologioita hallitusti. Robocoast EDIH tarjoaa muun muassa maksuttoman yritysten käyttöön suunnatun AI Seal -nettipohjaisen tekoälypalvelun, joka auttaa tekoälyn hyödyntämisessä ja käyttöönotossa.

## Enemmän kuin pelkkä palvelu – kumppani kasvuun

Robocoast EDIH:n toiminnan ytimessä on yksinkertainen ajatus: teknologian pitää tuottaa konkreettista liiketoimintahyötyä. Siksi kaikki palvelut lähtevät yritysten todellisista tarpeista. Kun digitalisaatio tehdään oikein, se näkyy uusina tuotteina, tehokkaampina prosesseina, kasvavana liikevaihtona – ja uusina työpaikkoina.

Nykyhetki on aina oikea aika tarttua mahdollisuuksiin. Robocoast EDIH auttaa yrityksiä ottamaan seuraavan askeleen kohti kilpailukykyistä ja kestävästä tulevaisuudesta.



## 6 Johtopäätökset

Selvityksessä tarkasteltiin, millaisin edellytyksin XR-ratkaisut voivat tuottaa valmistavan teollisuuden yrityksille ja niiden kunnossapitoon liittyville alihankkijoille sekä muille monitoimijaympäristöissä toimiville organisaatioille osoitettavissa olevaa hyötyä kunnossapitoon liittyvässä suunnittelussa ja valmistelussa, perehdytyksessä, turvallisuudessa ja yhteistyössä.

Johtopäätöksiä on tulkittava suhteessa selvityksen aineistoon. Haastatteluaineisto oli määrällisesti pieni, eikä sen perusteella voida tehdä koko valmistavan teollisuuden, kunnossapitomarkkinan tai XR-palvelumarkkinan kattavia yleistyksiä. Yhdessä kirjallisuuskatsauksen kanssa aineisto antaa kuitenkin johdonmukaisen konseptitason kuvan siitä, millaiset tekijät vaikuttavat XR-pohjaisen palvelun kiinnostavuuteen, ostettavuuteen, käytettävyyteen ja skaalautuvuuteen.

### **XR-palvelukonseptin käytettävyys teollisessa kunnossapidossa**

XR-ratkaisut voivat tuottaa osoitettavissa olevaa hyötyä erityisesti silloin, kun käyttötapaus on rajattu, etukäteen tunnettu, riittävän toistuva ja kunnossapitotyön kannalta merkityksellinen. Tällaisia ovat tilanteet, joissa työvaiheiden ennakkohahmottaminen, tilallinen ymmärrys, toimijoiden välinen yhteinen valmistautuminen, perehdytyksen yhdenmukaistaminen tai riskien visuaalinen esittäminen voi vähentää epävarmuutta ennen varsinaista työtä.

Teollisessa kunnossapidossa XR-teknioiden tarkoituksenmukainen rooli ja lisäarvo suhteessa nykyisiin menetelmiin on täydentävä. Ne voivat olla käytännönläheisiä etukäteissuunnittelun, perehdytyksen, havainnollistamisen ja yhteistyön välineitä, mutta eivät kuitenkaan korvaa henkilöstön ammattitaitoa ja kokemusta tai kunnossapidossa tarvittavaa ongelmanratkaisukykyä. Erityisesti ennakoimattomissa ad hoc -tilanteissa työn luonne ja kohteen tila selviävät usein vasta paikan päällä.

XR-ratkaisujen käytettävyyden keskeinen edellytys on lähtöaineiston saatavuus ja laatu. XR-palvelu voi tuottaa lisäarvoa vain, jos kohteesta, työvaiheista, ympäristöstä ja tarvittavista teknisistä aineistoista on käytettävissä riittävän ajantasaista, luotettavaa ja käyttökelpoista tietoa. Lisäksi käytettävyyden edellytys on soveltuvuus teollisen kunnossapidon todelliseen toimintaympäristöön, joka on fyysisesti, organisatorisesti ja turvallisuuden kannalta vaativa työympäristö. Jos ratkaisu kuormittaa käyttäjää tai ei muuten sovi työympäristön olosuhteisiin, sen arvo jää vähäiseksi riippumatta teknologian periaatteellisista mahdollisuuksista.

### **Yhteiskäyttöinen XR-kunnossapitalvelu**

Yhteiskäyttöinen ja moniasiakasmalliin perustuva liiketoimintamalli on mahdollinen mutta ehdollinen palvelumalli, jonka arvo perustuu teknologian rajattuun kohdistamiseen toistuviin, turvallisuuskriittisiin kunnossapitotöihin. Malli soveltuu teollisiin klustereihin, teollisuuspuistoihin ja monitoimijaympäristöihin, joissa on useita toimijoita, yhteisiä perehdytys- ja turvallisuusvastuita sekä riittävästi digitaalista lähtöaineistoa.

Mallin toteutettavuus edellyttää koordinoivaa pääasiakasta, riittävää käyttäjävoimaa, toistuvia käyttötapauksia, yhteisiä moduuleja, selkeitä sopimus- ja ylläpitomalleja sekä hallittuja vastuita, käyttöoikeuksia, salassapitoa ja päivityskäytäntöjä.

### **XR-avusteinen simulaatiopalvelu kunnossapidon suunnitteluun**

Liiketoimintamallina XR-avusteinen simulaatiopalvelu vaikuttaa alkuvaiheessa kaupallisesti lupaavammalta etenemismallilta kuin yhteiskäyttöinen XR-kunnossapitalvelu, koska asiakas, käyttötapa ja ostoperuste ovat rajatumpia. Tämä tekee palvelusta helpommin kokeiltavan ja ostettavan erityisesti sellaisille yrityksille, joilla ei ole tarvetta tai resursseja rakentaa omaa XR-infrastruktuuria. Palvelun potentiaalinen lisäarvo syntyy erityisesti kunnossapitoa ja erikoisurakoita tekeville alihankkijoille, joiden tekninen aineisto voidaan muuntaa kevyiksi 3D-/XR-sisällöiksi suunnittelua, asiakasviestintää, tarjousprosessia ja riskienhallintaa varten.

Palvelu voi vahvistaa alihankkijan kykyä erottautua tarjouskilpailuissa, perustella työn toteutusta, vähentää epävarmuuksia ja esittää tilaajalle havainnollinen suunnitelma ennen työn toteutusta. Sen rajoitteena on projektiluonteisuus: ilman tuotteistettuja sisältöpohjia, moduulikirjastoja, toistuvia asiakkuuksia ja puitesopimuksia skaalautuvuus, ennustettava liikevaihto ja asiakassuhteen jatkuvuus jäävät rajallisiksi. Palveluntarjoajan näkökulmasta kestävämpi liiketoimintamalli edellyttää, että yksittäiset to-

teutukset muutetaan toistettavaksi palveluprosessiksi. Rajattu simulaatiopalvelu voisi toimia paitsi omana liiketoimintamahdollisuutenaan myös väylänä yhteiskäyttöisen XR-kunnossapitopalvelun asiakasreferenssien, palveluprosessin ja markkinaymmärryksen rakentamiseen.

### **Digitaalisen transformaation käyttöönottojännitteet teollisessa kunnossapidossa**

Selvitys havainnollistaa teollisen digitaalisen transformaation keskeistä jännitettä. Yritysten odotetaan hyödyntävän edistyneitä digitaalisia teknologioita aiempaa laajemmin, mutta teollisuuden arjessa käyttöönottoa ohjaavat muun muassa resurssien rajallisuus sekä investointien kustannus–hyötysuhde ja tarve määrittää investoinnin hyöty ennen hankintaa. XR-teknologioiden kohdalla tämä tarkoittaa, että teknologinen toteutettavuus ei riitä liiketoiminnalliseksi perusteluksi, vaan sen arvo realisoituu vasta, kun ratkaisu on kytketty konkreettiseen työprosessiin ja sellaisiin hyötyihin, jotka potentiaalinen asiakasyritys tunnistaa omien tavoitteidensa kannalta merkityksellisiksi.

Tulokset indikoivat myös, että digitaalinen transformatio etenee teollisessa kunnossapidossa todennäköisesti vaiheittain, käyttötapauslähtöisesti ja kokeillen. Tämä on pk-yrityksille ja erikoistuneille alihankkijoille hyvä toimintamalli, koska niillä on usein rajalliset mahdollisuudet sitoutua laajoihin teknologiahankintoihin ennen selvän hyödyn osoittamista. Kevyet pilotit, rajatut simulaatiopalvelut sekä sisältöstudio- tai pop-up-tyyppiset toteutukset voivat madaltaa kokeilun kynnyistä ja auttaa yrityksiä arvioimaan, millaisissa tilanteissa XR todella parantaa niiden toimintaa tai kilpailukykyä.

XR-ratkaisut voivat tukea teollisen kunnossapidon ennakkovalmistelua, perehdytystä, turvallisuutta ja monitoimijaista yhteistyötä, mutta niiden käyttöönoton edellytys on, että teknologinen mahdollisuus onnistutaan jalostamaan selkeästi rajatuksi, helpokäyttöiseksi ja yritysten näkökulmasta hankintakelpoiseksi palveluksi. Tässä suhteessa selvitys tukee näkemyksiä siitä, että digitaalisen transformaation arvo ei synny uuden teknologian käyttöönotosta, vaan siitä, miten teknologia muuttaa ja vahvistaa yrityksen konkreettisia työprosesseja, päätöksentekoa ja arvonluontia.

## 7 Lähdeluettelo

- 3D Talo. (ei pvm.). Toiminnallinen VR-koulutus. Haettu 9. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://3dtalo.fi/toiminnallinen-vr-koulutus/>
- A1A Software. (ei pvm.). 3D Lift Plan. Haettu 9. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.a1asoftware.com/3d-lift-plan.html>
- Adner, R. (2017). Ecosystem as structure: An actionable construct for strategy. *Journal of Management*, 43(1), 39-58. <https://doi.org/10.1177/0149206316678451>
- Ahmad, R., & Kamaruddin, S. (2012). An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. *Computers & Industrial Engineering*, 63(1), 135-149. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.02.002>
- Alam, N., Saha, N., Gadow, V., Harik, R., & Ryu, J. (2025). Role of extended reality (XR) technologies in maintenance operations: Trends, challenges, and integration in Industry 4.0. *Manufacturing Letters*, 44, 1545-1557. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2025.06.174>
- Alsyouf, I. (2007). The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability. *International Journal of Production Economics*, 105(1), 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.06.057>
- Ariansyah, D., Erkoyuncu, J. A., Eimontaite, I., Johnson, T., Oostveen, A. M., Fletcher, S., & Sharples, S. (2022). A head mounted augmented reality design practice for maintenance assembly: Toward meeting perceptual and cognitive needs of AR users. *Applied Ergonomics*, 98, artikkeli 103597. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103597>
- AVEVA. (ei pvm.). Manufacturing. Haettu 9. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.aveva.com/en/industries/manufacturing/>
- Baines, T. S., Lightfoot, H. W., Benedettini, O., & Kay, J. M. (2009). The servitization of manufacturing: A review of literature and reflection on future challenges. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(5), 547-567. <https://doi.org/10.1108/17410380910960984>
- Barnes, B., & Flint, J. (2023, 28. maaliskuuta). Disney eliminates its metaverse division as part of company's layoffs plan. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/disney-eliminates-its-metaverse-division-as-part-of-companys-layoffs-plan-94b03650>
- Bekos, G., Chari, S., Marikyan, D., & Papagiannidis, S. (2025). Metaverse adoption for competitive edge: The role of implementation capability & willingness to change. *Decision Support Systems*, 189, artikkeli 114385. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2024.114385>
- Benhanifia, A., Ben Cheikh, Z., Moura Oliveira, P., Valente, A., & Lima, J. (2025). Systematic review of predictive maintenance practices in the manufacturing sector. *Intelligent Systems with Applications*, 26, artikkeli 200501. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2025.200501>
- Bernal, J. (2024). Private sector trust in data sharing: Enablers in the European Union. *Data & Policy*, 6, artikkeli e30. <https://doi.org/10.1017/dap.2024.20>
- Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A., & Venkatraman, N. V. (2013). Digital business strategy: Toward a next generation of insights. *MIS Quarterly*, 37(2), 471-482. <https://ssrn.com/abstract=2742300>

- Blanco-Novoa, O., Fernández-Caramés, T. M., Fraga-Lamas, P., & Vilar-Montesinos, M. A. (2018). A practical evaluation of commercial industrial augmented reality systems in an Industry 4.0 shipyard. *IEEE Access*, 6, 8201-8218.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2802699>
- Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/industry-50-towards-sustainable-human-centric-and-resilient-european-industry\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/industry-50-towards-sustainable-human-centric-and-resilient-european-industry_en)
- Burova, A., Mäkelä, J., Heinonen, H., Palma, P. B., Hakulinen, J., Opas, V., Siltanen, S., Raisamo, R., & Turunen, M. (2022). Asynchronous industrial collaboration: How virtual reality and virtual tools aid the process of maintenance method development and documentation creation. *Computers in Industry*, 140, artikkeli 103663.  
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103663>
- Butt, A. S., Alghababsheh, M., & Awan, U. (2025). Barriers to the adoption of the metaverse in digital supply chains. *Journal of Enterprise Information Management*, 38(6), 1803-1830.  
<https://doi.org/10.1108/JEIM-09-2024-0500>
- Camacho-Fidalgo, G., Judkins, B., Friederichs, K., Soberanis, L., Hernandez, V., McSweeney, K., Witherden, F., & Rojas-Muñoz, E. (2025). Analyzing the impact of augmented reality head-mounted displays on workers' safety and situational awareness in hazardous industrial settings. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.04075>
- Caverion. (ei pvm.). A point cloud helps you plan your industrial maintenance and investment. Haettu 11. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.caverion.com/catalog/services/point-cloud-mapping-and-laser-scanning/>
- Cordeiro, A., Ferreira, Y., Leite, R., Almeida, L. A. L., Catapan, M. C., Siqueira, A., Silva, T., & Winkler, I. (2025). Immersive technologies for evaluating industrial safety training in high-risk environments: A review on opportunities and challenges. *Frontiers in Virtual Reality*, 6, artikkeli 1726058. <https://doi.org/10.3389/frvir.2025.1726058>
- Crespo Márquez, A., & Gupta, J. N. D. (2006). Contemporary maintenance management: Process, framework and supporting pillars. *Omega*, 34(3), 313-326.  
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.11.003>
- Crespo Márquez, A., Moreu de León, P., Gómez Fernández, J. F., Parra Márquez, C., & López Campos, M. (2009). The maintenance management framework: A practical view to maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 15(2), 167-178.  
<https://doi.org/10.1108/13552510910961110>
- CTRL Reality. (ei pvm.). CTRL Reality: XR, VR, AR, Web 3D & Metaverse content creation. Haettu 9. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://ctrlreality.fi/>
- Dargan, S., Bansal, S., Kumar, M., Mittal, A., & Kumar, K. (2023). Augmented reality: A comprehensive review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30, 1057-1080.  
<https://doi.org/10.1007/s11831-022-09831-7>
- Dionisio, J. D. N., Burns, W. G., III, & Gilbert, R. (2013). 3D virtual worlds and the metaverse: Current status and future possibilities. *ACM Computing Surveys*, 45(3), artikkeli 34.  
<https://doi.org/10.1145/2480741.2480751>

Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Baabdullah, A. M., Ribeiro-Navarrete, S., Giannakis, M., Al-Debei, M. M., Dennehy, D., Metri, B., Buhalis, D., Cheung, C. M. K., Conboy, K., Doyle, R., Dubey, R., Dutot, V., Felix, R., Goyal, D. P., Gustafsson, A., Hinsch, C., Jebabli, I., Janssen, M., Kim, Y., Kim, J., Koos, S., Kreps, D., Kshetri, N., Kumar, V., Ooi, K.-B., Papagiannidis, S., Pappas, I. O., Polyviou, A., Park, S.-M., Pandey, N., Queiroz, M. M., Raman, R., Rauschnabel, P. A., Shirish, A., Sigala, M., Spanaki, K., Tan, G. W.-H., Tiwari, M. K., Viglia, G., & Wamba, S. F. (2022). Metaverse beyond the hype: Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 66, artikkeli 102542. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102542>

Euroopan komissio. (2025a). EU:n kilpailukykykompassi (COM(2025) 30 final). <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM%3A2025%3A0030%3AFIN%3Afi%3APDF>

Euroopan komissio. (2025b). Study on digitalisation of business in the EU Member States: Finland 2024 report: Initiatives, impacts and contribution to the Digital Decade. <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/117061>

Euroopan komissio. (2025c). State of the Digital Decade 2025: Keep building the EU's sovereignty and digital future (COM(2025) 290 final). <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/116741>

Euroopan komissio. (ei pvm.-a). Industry: Cluster policy. Haettu 12. toukokuuta 2026 osoitteesta [https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/cluster-policy\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/cluster-policy_en)

Euroopan komissio. (ei pvm.-b). European Digital Innovation Hubs. Haettu 3. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/edihs>

EIB. (2023). Digitalisation in Europe 2022-2023: Evidence from the EIB Investment Survey. European Investment Bank. <https://www.eib.org/en/publications/20230112-digitalisation-in-europe-2022-2023>

Elsevier. (ei pvm.). Scopus. Haettu 11. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.scopus.com/>, <https://www.elsevier.com/products/scopus>

ENISA. (2024). ENISA Threat Landscape 2024. European Union Agency for Cybersecurity. [https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/2024-11/ENISA%20Threat%20Landscape%202024\\_0.pdf](https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/2024-11/ENISA%20Threat%20Landscape%202024_0.pdf)

EU-OSHA. (2010a). Maintenance and occupational safety and health: A statistical picture. European Agency for Safety and Health at Work. <https://osha.europa.eu/en/publications/maintenance-and-occupational-safety-and-health-statistical-picture>

EU-OSHA. (2010b). Safe maintenance in practice. European Agency for Safety and Health at Work. <https://osha.europa.eu/en/publications/safe-maintenance-practice>

Eurofound & Cedefop. (2025). SME digitalisation in the EU: Trends, policies and impacts. Publications Office of the European Union. <https://www.eurofound.europa.eu/en/publications/all/sme-digitalisation-eu-trends-policies-and-impacts>

European Cluster Collaboration Platform. (ei pvm.). European Cluster Collaboration Platform. Haettu 9. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://clustercollaboration.eu/>

European Environment Agency. (2024). Circular economy country profile 2024 - Finland. European Environment Agency / European Topic Centre on Circular Economy and Resource Use. [https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/circular-economy/country-profiles-on-circular-economy/circular-economy-country-profiles-2024/finland\\_2024-ce-country-profile\\_final.pdf](https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/circular-economy/country-profiles-on-circular-economy/circular-economy-country-profiles-2024/finland_2024-ce-country-profile_final.pdf)

Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto. (2023). Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/2854, annettu 13 päivänä joulukuuta 2023, datan oikeudenmukaista saatavuutta ja käyttöä koskevista yhdenmukaisista säännöistä ja asetuksen (EU) 2017/2394 ja direktiivin (EU) 2020/1828 muuttamisesta (datasäädös). Euroopan unionin virallinen lehti, L-sarja 22.12.2023. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/2854/oj>

Eurostat. (2025). Digitalisation in Europe - 2025 edition. Eurostat. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/digitalisation-2025>

FCG. (ei pvm.). XR-palvelut. Finnish Consulting Group. Haettu 9. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.fcg.fi/palvelut-vanha/kiinteistot-ja-rakentaminen-vanha/tietomallinnus-bim-ja-xr-palvelut/xr-palvelut/>

Fernández-Caramés, T. M., & Fraga-Lamas, P. (2024). Forging the industrial metaverse for Industry 5.0: Where extended reality, IIoT, opportunistic edge computing, and digital twins meet. *IEEE Access*, 12, 95778-95819. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3422109>

Frisoli, A., & Leonardis, D. (2024). Wearable haptics for virtual reality and beyond. *Nature Reviews Electrical Engineering*, 1, 666-679. <https://doi.org/10.1038/s44287-024-00089-8>

Gal, P., Nicoletti, G., Renault, T., Sorbe, S., & Timiliotis, C. (2019). Digitalisation and productivity: In search of the holy grail - Firm-level empirical evidence from EU countries (OECD Economics Department Working Papers nro 1533). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5080f4b6-en>

Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U., & Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 778-798. <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.815221>

Grabher, G. (2002). The project ecology of advertising: Tasks, talents and teams. *Regional Studies*, 36(3), 245-262. <https://doi.org/10.1080/00343400220122052>

Guo, J., Leng, J., Zhao, J. L., Zhou, X., Yuan, Y., Lu, Y., Mourtzis, D., Qi, Q., Huang, S., Song, X., Liu, Q., & Wang, L. (2024). Industrial metaverse towards Industry 5.0: Connotation, architecture, enablers, and challenges. *Journal of Manufacturing Systems*, 76, 25-42. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2024.07.007>

Harjavallan Suurteollisuuspuisto. (ei pvm.). Yleistä. Haettu 11. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.suurteollisuuspuisto.com/yleista/>

Hobday, M. (2000). The project-based organisation: An ideal form for managing complex products and systems? *Research Policy*, 29(7-8), 871-893. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(00\)00110-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00110-4)

Hoffmann, M. A., & Lasch, R. (2025). Unlocking the potential of predictive maintenance for intelligent manufacturing: A case study on potentials, barriers, and critical success factors. *Schmalenbach Journal of Business Research*, 77, 27-55. <https://doi.org/10.1007/s41471-024-00204-3>

HSE. (2011). Managing contractors: A guide for employers (HSG159, 2. painos). Health and Safety Executive. <https://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg159.htm>

HSE. (2024). Maintenance of work equipment. Health and Safety Executive. <https://www.hse.gov.uk/work-equipment-machinery/maintenance.htm>

- HSE. (ei pvm.-a). Maintenance procedures. Health and Safety Executive. Haettu 7. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/techmeasmaintena.htm>
- HSE. (ei pvm.-b). Control of work: Confined spaces. Health and Safety Executive. Haettu 7. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.hse.gov.uk/confinedspace/>
- Hwang, G.-J., & Chien, S.-Y. (2022). Definition, roles, and potential research issues of the metaverse in education: An artificial intelligence perspective. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, artikkeli 100082. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100082>
- Jacobides, M. G., Cennamo, C., & Gawer, A. (2018). Towards a theory of ecosystems. *Strategic Management Journal*, 39(8), 2255-2276. <https://doi.org/10.1002/smj.2904>
- Jalo, H., & Pirkkalainen, H. (2024). Effect of user resistance on the organizational adoption of extended reality technologies: A mixed methods study. *International Journal of Information Management*, 75, artikkeli 102731. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102731>
- Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483-1510. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>
- Jibril, H., & Roper, S. (2025). Factors influencing firms' adoption of advanced technologies: A rapid evidence review. GOV.UK: Department for Science, Innovation and Technology / Department for Culture, Media & Sport. Updated 22 August 2025. <https://www.gov.uk/government/publications/barriers-and-enablers-to-advanced-technology-adoption-for-uk-businesses/factors-influencing-firms-adoption-of-advanced-technologies-a-rapid-evidence-review>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. acatech - National Academy of Science and Engineering. <https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/>
- Kantas, N., Alsatom, Y., & Schlegel, D. (2026). Capturing value in the metaverse: A systematic literature review of business models in AR and VR. Teoksessa S. Akter, M. A. Hossain, H. Yildiz, D. Vrontis & A. Thrassou (toim.), *Advanced technologies in business*, volume II (s. 249-273). Palgrave Macmillan. [https://doi.org/10.1007/978-3-032-03492-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-032-03492-2_9)
- Kari, K. (2025, 5. maaliskuuta). Siis mikä ja millainen metaversumi? Leads-blogi. Turun yliopisto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202601216493>
- Khronos Group. (ei pvm.). glTF: Runtime 3D asset delivery. Haettu 8. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.khronos.org/glTF/>
- Kostelić, K., & Etinger, D. (2025). Metaverse business models and framework: A systematic search with narrative synthesis. *Systems*, 13(11), artikkeli 968. <https://doi.org/10.3390/systems13110968>
- Kour, R., Karim, R., Venkatesh, S. N. & Kumar, U. (2025). Metaverse in industrial contexts: A comprehensive review. *Frontiers in Virtual Reality*, 6, artikkeli 1488926. <https://doi.org/10.3389/frvir.2025.1488926>
- Kourtesis, P., Linnell, J., Amir, R., Argelaguet, F., & MacPherson, S. E. (2023). Cybersickness in Virtual Reality Questionnaire (CSQ-VR): A validation and comparison against SSQ and VRSQ. *Virtual Worlds*, 2(1), 16-35. <https://doi.org/10.3390/virtualworlds2010002>

- Kourtesis, P., Papadopoulou, A., & Roussos, P. (2024). Cybersickness in virtual reality: The role of individual differences, its effects on cognitive functions and motor skills, and intensity differences during and after immersion. *Virtual Worlds*, 3(1), 62-93. <https://doi.org/10.3390/virtualworlds3010004>
- Koutroumpis, P., Leiponen, A., & Thomas, L. D. W. (2020). Markets for data. *Industrial and Corporate Change*, 29(3), 645-660. <https://doi.org/10.1093/icc/dtaa002>
- Krishna, R., & Rahman, A. (2024). Use case for an extended reality application on edge computing infrastructure (RFC 9699). RFC Editor. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9699.html>
- Kwon, S.-J., Choi, S.-W., & Lee, E.-B. (2024). Hazard identification and risk assessment during simultaneous operations in industrial plant maintenance based on job safety analysis. *Sustainability*, 16(21), artikkeli 9277. <https://doi.org/10.3390/su16219277>
- Lee, L.-H., Braud, T., Zhou, P., Wang, L., Xu, D., Lin, Z., Kumar, A., Bermejo, C., & Hui, P. (2021). All one needs to know about metaverse: A complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.05352>
- Leins, N., Gonnermann-Müller, J., & Teichmann, M. (2024). Comparing head-mounted and handheld augmented reality for guided assembly. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 18(4), 313–328. <https://doi.org/10.1007/s12193-024-00440-1>
- Li, C. (2023, 12. huhtikuuta). Disney drops metaverse division, EU seeks rules for virtual worlds, and other metaverse stories you need to read this month. *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/stories/2023/04/disney-shuts-metaverse-division-and-other-metaverse-stories-april-2023/>
- Luminous. (ei pvm.). Virtual Reality Safety Simulations. Haettu 9. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.luminousxr.com/safety-skills-vr/>
- Lyu, Z., & Fridenfalk, M. (2024). Digital twins for building industrial metaverse. *Journal of Advanced Research*, 66, 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2023.11.019>
- Malmén, Y., Nissilä, M., & Virolainen, K. (2011). Shutdowns and management of change. *Institution of Chemical Engineers Symposium Series*, 156. <https://www.icheme.org/media/9210/xxii-paper-30.pdf>
- Malmén, Y., Nissilä, M., Virolainen, K., & Repola, P. (2010). Process chemicals: An ever present concern during plant shutdowns. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23(2), 249-252. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2009.10.002>
- Mancuso, I., Messeni Petruzzelli, A., & Panniello, U. (2023). Digital business model innovation in metaverse: How to approach virtual economy opportunities. *Information Processing & Management*, 60(5), artikkeli 103457. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2023.103457>
- Mann, S., Furness, T., Yuan, Y., Iorio, J., & Wang, Z. (2018). All reality: Virtual, augmented, mixed (X), mediated (X,Y), and multimediated reality. arXiv. <https://arxiv.org/abs/1804.08386>
- Maretto, L., Faccio, M., & Battini, D. (2023). The adoption of digital technologies in the manufacturing world and their evaluation: A systematic review of real-life case studies and future research agenda. *Journal of Manufacturing Systems*, 68, 576-600. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.05.009>

Masood, T., & Egger, J. (2019). Augmented reality in support of Industry 4.0: Implementation challenges and success factors. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 58, 181-195. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.02.003>

Matt, C., Hess, T., & Benlian, A. (2015). Digital transformation strategies. *Business & Information Systems Engineering*, 57, 339-343. <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0401-5>

Metaverse Standards Forum. (ei pvm.). The Metaverse Standards Forum: Building an open metaverse. Haettu 8. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://metaverse-standards.org/>

Metropolia. (ei pvm.). Helsinki XR Center. Haettu 11. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.metropolia.fi/en/rdi/innovation-hubs/functional-city-for-people/xr-center>

Microsoft. (ei pvm.). What is mixed reality? Microsoft Learn. Haettu 8. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality>

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D(12), 1321-1329. [https://globals.ieice.org/en\\_transactions/information/10.1587/e77-d\\_12\\_1321/p](https://globals.ieice.org/en_transactions/information/10.1587/e77-d_12_1321/p)

Morales Méndez, G., & del Cerro Velázquez, F. (2024). Augmented Reality in Industry 4.0 assistance and training areas: A systematic literature review and bibliometric analysis. *Electronics* 13, artikkeli 1147. <https://doi.org/10.3390/electronics13061147>

Motiva. (ei pvm.). Kiertotalouden kehittäminen. Haettu 8. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.motiva.fi/kiertotalous-kunnissa-ja-alueilla/>

Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., & Martin, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 295-302. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.039>

Mystakidis, S. (2022). Metaverse. *Encyclopedia*, 2(1), 486-497. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010031>

Müller, M., Stegelmeyer, D., & Mishra, R. (2023). Development of an augmented reality remote maintenance adoption model through qualitative analysis of success factors. *Operations Management Research*, 16, 1490-1519. <https://doi.org/10.1007/s12063-023-00356-1>

Niehm, L. S., Fiore, A. M., Jeong, M., & Kim, H.-J. (2006). Pop-up retail's acceptability as an innovative business strategy and enhancer of the consumer shopping experience. *Journal of Shopping Center Research*, 13(2), 1-30. <https://dr.lib.iastate.edu/entities/publication/8f03ade2-d943-48e8-8d36-10e3c34041be> / [https://jrdelisle.com/JSCR/2006\\_07\\_Articles/JSCR13\\_2A1\\_PopUpRetail.pdf](https://jrdelisle.com/JSCR/2006_07_Articles/JSCR13_2A1_PopUpRetail.pdf)

NIST. (2023). Guide to operational technology (OT) security (NIST Special Publication 800-82 Rev. 3). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r3>

NIST. (2024). The NIST Cybersecurity Framework 2.0. National Institute of Standards and Technology. <https://www.nist.gov/publications/nist-cybersecurity-framework-csf-20>

NVIDIA. (ei pvm.). NVIDIA Omniverse. Haettu 9. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.nvidia.com/en-us/omniverse/>

OSHA. (ei pvm.). Control of hazardous energy (lockout/tagout). Occupational Safety and Health Administration Haettu 7. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.osha.gov/control-hazardous-energy/>

- OECD. (2021). The digital transformation of SMEs. OECD Studies on SMEs and Entrepreneurship. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/bdb9256a-en>
- OECD. (2022). Data stewardship, access, sharing and control: A Going Digital III module synthesis report. DSTI/CDEP(2022)6/FINAL, 19 January 2023. OECD Publishing. [https://one.oecd.org/document/DSTI/CDEP\(2022\)6/FINAL/en/pdf](https://one.oecd.org/document/DSTI/CDEP(2022)6/FINAL/en/pdf)
- OECD. (2025). An immersive technologies policy primer. OECD Digital Economy Papers nro 373. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/cf39863d-en>
- OpenAI. (2026). What is ChatGPT Business? OpenAI Help Center. Haettu 7. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://help.openai.com/en/articles/8792828-what-is-chatgpt-business>
- Oumaima, T., Abdeslam, A., Mohamed, S., & Hicham, E. K. (2026). A systematic review of different adoption strategies for augmented reality in maintenance: Bridging theory and practice. Discover Applied Sciences, 8, artikkeli 18. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07968-1>
- Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., & Torabmostaedi, H. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 49, 215-228. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>
- Pixar Animation Studios. (ei pvm.). USD home. OpenUSD. Haettu 8. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://openusd.org/release/index.html>
- Plattform Industrie 4.0. (2023). Manufacturing-X: Data space for Industry 4.0. Plattform Industrie 4.0. Haettu 8. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/EN/Manufacturing-X/Manufacturing-X.html>
- Porin kaupunki. (ei pvm.-a). Satamat ja yritysalueet. Haettu 11. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.pori.fi/asuminen-ja-ymparisto/kaupunkikehitys/satamat-ja-yritysalueet/>
- Porin kaupunki. (ei pvm.-b). Porin sataman alueet. Haettu 11. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.pori.fi/asuminen-ja-ymparisto/kaupunkikehitys/satamat-ja-yritysalueet/porin-sataman-alueet/>
- Quandt, M., & Freitag, M. (2021). A systematic review of user acceptance in industrial augmented reality. Frontiers in Education, 6, artikkeli 700760. <https://doi.org/10.3389/educ.2021.700760>
- Rauman kaupunki. (ei pvm.-a). Seaside Industry Park -teollisuuspuisto. Haettu 11. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.rauma.fi/tyo-ja-yrittaminen/business-rauma/yritysten-sijoittuminen/invest-in-yritysalueet/seaside-industry-park-teollisuuspuisto/>
- Rauman kaupunki. (ei pvm.-b). Invest in/Yritysalueet. Haettu 11. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.rauma.fi/tyo-ja-yrittaminen/business-rauma/yritysten-sijoittuminen/invest-in-yritysalueet/>
- Ritterbusch, G. D., & Teichmann, M. R. (2023). Defining the metaverse: A systematic literature review. IEEE Access, 11, 12368-12377. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3241809>
- RoboAI. (2026). RoboAI. Haettu 9. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.roboai.fi/>
- Robocoast EDIH. (2026). Robocoast EDIH – Asiantuntemusta teollisuuden uudistamiseen. Haettu 11. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://robocoast.eu/>
- Rosilius, M., Spiertz, M., Wirsing, B., Geuen, M., Bräutigam, V., & Ludwig, B. (2024). Impact of industrial noise on speech interaction performance and user acceptance when using the MS HoloLens 2. Multimodal Technologies and Interaction, 8(2), artikkeli 8. <https://doi.org/10.3390/mti8020008>

- Runji, J. M., Lee, Y.-J., & Chu, C.-H. (2023). Systematic literature review on augmented reality-based maintenance applications in manufacturing centered on operator needs. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 10, 567-585. <https://doi.org/10.1007/s40684-022-00444-w>
- Sagala, G. H., & Öri, D. (2024). Toward SMEs digital transformation success: A systematic literature review. *Information Systems and e-Business Management*, 22, 667-719. <https://doi.org/10.1007/s10257-024-00682-2>
- Saha, N., Gadow, V., & Harik, R. (2025). Emerging technologies in augmented reality (AR) and virtual reality (VR) for manufacturing applications: A comprehensive review. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 9(9), artikkeli 297. <https://doi.org/10.3390/jmmp9090297>
- Sarlin. (2025). Teollisuuden elinkaaripalvelut kehittyvät ennakoinnin, energiatehokkuuden & digitalisaation kautta. Sarlin Oy Ab. <https://www.sarlin.com/ajankohtaista/teollisuuden-elinkaaripalvelut-trendit>
- Satakuntaliitto. (2023). Vihreän siirtymän hankkeet Satakunnan maakuntakaavassa 2050. [https://satakunta.fi/wp-content/uploads/2023/10/Vihrean-siirtymän-hankkeet-Satakunnan-maakuntakaavassa-2050\\_Satli\\_julk\\_.pdf](https://satakunta.fi/wp-content/uploads/2023/10/Vihrean-siirtymän-hankkeet-Satakunnan-maakuntakaavassa-2050_Satli_julk_.pdf)
- Satakuntaliitto. (2025a). Teollisuuden kasvuohjelma. <https://satakunta.fi/aluekehitys/strategiat-ja-ohjelmat/muita-keskeisia-strategioita-ja-ohjelmia/teollisuuden-kasvuohjelma/>
- Satakuntaliitto. (2025b). Vihreän siirtymän hankkeet Satakunnan maakuntakaavassa 2050 -selvitys. Tiedote. <https://satakunta.fi/vihrean-siirtymän-hankkeet-satakunnan-maakuntakaavassa-2050-selvitys/>
- Savonia. (ei pvm.). Savonian XR Center. Haettu 9. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://xrcenter.savonia.fi/>
- Scarf, P., Syntetos, A., & Teunter, R. (2024). Joint maintenance and spare-parts inventory models: A review and discussion of practical stock-keeping rules. *IMA Journal of Management Mathematics*, 35(1), 83-109. <https://doi.org/10.1093/imaman/dpad020>
- Scorgie, D., Feng, Z., Paes, D., Parisi, F., Yiu, T. W., & Lovreglio, R. (2024). Virtual reality for safety training: A systematic literature review and meta-analysis. *Safety Science*, 171, artikkeli 106372. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106372>
- Sepponen, S., Hjelt, M., Jansson, T. & Virtanen, J. (2025). Programmes driving the sustainable future: Finland - Social Responsibility Report 2024. Business Finland. Report 6/2025. <https://www.businessfinland.fi/globalassets/julkaisut/programs-driving-the-sustainable-future-6-2025.pdf>
- Shahzad, F., & Zhang, Q. (2025). Leveraging the metaverse ecosystem: How institutional factors, adoption of metaverse-related technologies, and absorptive capacity drive performance in high-tech small and medium-sized enterprises. *Information & Management*, 62, artikkeli 104080. <https://doi.org/10.1016/j.im.2024.104080>
- Shiver, J. (2024). Steps to address the critical skills shortage in industrial maintenance. *Plant Services*. <https://www.plantservices.com/workforce/workforce-development/article/33016801/steps-to-address-the-critical-skills-shortage-in-industrial-maintenance>
- Siemens. (ei pvm.). Industrial metaverse. Haettu 9. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.siemens.com/global/en/company/topic-areas/industrial-metaverse.html>

- Singhaphandu, R., & Pannakkong, W. (2024). A review on enabling technologies of industrial virtual training systems. *International Journal of Knowledge and Systems Science*, 15(1), 1-33. <https://doi.org/10.4018/IJKSS.352515>
- Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 3, artikkeli 74. <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074>
- Souchet, A. D., Lourdeaux, D., Burkhardt, J.-M., & Hancock, P. A. (2023). Design guidelines for limiting and eliminating virtual reality-induced symptoms and effects at work: A comprehensive, factor-oriented review. *Frontiers in Psychology*, 14, artikkeli 1161932. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1161932>
- Speicher, M., Hall, B. D., & Nebeling, M. (2019). What is mixed reality? Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300767>
- Stefan, H., Mortimer, M., & Horan, B. (2023). Evaluating the effectiveness of virtual reality for safety-relevant training: A systematic review. *Virtual Reality*, 27, 2839-2869. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00843-7>
- Summers, D. J., & Visser, J. K. (2021). Factors that influence the decision to outsource maintenance in the processing industry. *The South African Journal of Industrial Engineering*, 32(1), 24-36. <https://doi.org/10.7166/32-1-2127>
- Söderberg, L., Bengtsson, L., & Kaulio, M. (2017). A model for outsourcing and governing of maintenance within the process industry. *Operations Management Research*, 10, 20-32. <https://doi.org/10.1007/s12063-016-0121-0>
- Tan, Y. W., Low, S. E., Chow, J., Teo, J., & Bhojan, A. (2024). DHR+S: Distributed hybrid rendering with realistic real-time shadows for interactive thin client metaverse and game applications. *The Visual Computer* (2024) 40:4981–4991. <https://doi.org/10.1007/s00371-024-03501-4>
- Teece, D. J. (2010). Business models, business strategy and innovation. *Long Range Planning*, 43(2-3), 172-194. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.003>
- Teixeira, H. N., Lopes, I., & Braga, A. C. (2020). Condition-based maintenance implementation: A literature review. *Procedia Manufacturing*, 51, 228-235. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.033>
- Toyoda, R., Russo-Abegão, F. & Glassey, J. VR-based health and safety training in various high-risk engineering industries: a literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19, artikkeli 42. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00349-3>
- Tukes. (ei pvm.). Käyttö & kunnossapito. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Haettu 7. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://tukes.fi/prosessiturvallisuusjarjestelma/kaytto-ja-kunnossapito>
- Tukker, A. (2004). Eight types of product-service system: Eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet. *Business Strategy and the Environment*, 13(4), 246-260. <https://doi.org/10.1002/bse.414>
- Tukur, M., Schneider, J., Househ, M., Dokoro, A. H., Ismail, U. I., Dawaki, M., & Agus, M. (2023). The metaverse digital environments: A scoping review of the challenges, privacy and security issues. *Frontiers in Big Data*, 6, artikkeli 1301812. <https://doi.org/10.3389/fdata.2023.1301812>

- Turku AMK. (ei pvm.). FIT Turku -osaamiskeskus / Futuristic Interactive Technologies. Haettu 9. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.turkuamk.fi/palvelu/fit-turku-osaamiskeskus/>
- Työsuojeluhallinto. (2022). Työpaikkatiedote 2/2022: Yhteinen työpaikka. Työsuojeluhallinto. [https://tyosuojelu.fi/documents/154017715/168016659/Tyopaikkatiedote\\_02\\_2022.pdf/e368eb65-12a4-eb84-ea40-3dde0b002521/Tyopaikkatiedote\\_02\\_2022.pdf?t=1712831878814](https://tyosuojelu.fi/documents/154017715/168016659/Tyopaikkatiedote_02_2022.pdf/e368eb65-12a4-eb84-ea40-3dde0b002521/Tyopaikkatiedote_02_2022.pdf?t=1712831878814)
- Työterveyslaitos. (ei pvm.-a). 14 § Työntekijälle annettava opetus ja ohjaus. Haettu 2. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvaluus/tyoturvaluuslain-sov-eltamisopas/tyonantajan-yleiset-velvollisuudet/14-ss-tyontekijalle-annettava-opetus-ja-ohjaus>
- Työterveyslaitos. (ei pvm.-b). 50 § Tiedottaminen ja yhteistoiminta yhteisellä työpaikalla. Haettu 3. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvaluus/tyoturvaluuslain-soveltamisopas/erityiset-tyon-teettamisen-tilanteet/50-ss-tiedottaminen-ja-yhteistoiminta-yhteisella-tyopaikalla>
- Työturvallisuuskeskus. (ei pvm.-a). Perehdyttäminen ja työnopastus – Ennakoivaa työsuojelua. Haettu 17. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://ttk.fi/julkaisu/perehdyttaminen-ja-tyonopastus-ennakoivaa-tyosuojelua/>
- Työturvallisuuskeskus. (ei pvm.-b). Esihenkilön rooli ja vastuut yhteisellä työpaikalla. Haettu 2. kesäkuuta 2026 osoitteesta <https://tyoturvaluuskeskus.fi/esihenkilon-rooli-ja-vastuut-yhteisella-tyopaikalla/>
- Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2016). Institutions and axioms: An extension and update of service-dominant logic. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 44, 5-23. <https://doi.org/10.1007/s11747-015-0456-3>
- Varjo. (2025a). Release notes - Varjo Base 4.10.2. Varjo Support. <https://support.varjo.com/hc/en-us/release-notes-varjo-base-4.10.2>
- Varjo. (2025b). Release notes - Varjo Base 4.14. Varjo Support. <https://support.varjo.com/hc/en-us/release-notes-varjo-base-4.14>
- Vasarainen, M., Paavola, S., & Vetoshkina, L. (2021). A systematic literature review on extended reality: Virtual, augmented and mixed reality in working life. *International Journal of Virtual Reality*, 21(2), 1-28. <https://doi.org/10.20870/IJVR.2021.21.2.4620>
- Venkatesh, R., & Singhal, T. K. (2017). Innovating managed services business models. *Indian Journal of Science and Technology*, 10(29), 1-10. <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i29/117205>
- Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889-901. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118-144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
- Vorraber, W., Gasser, J., Webb, H., Neubacher, D., & Url, P. (2020). Assessing augmented reality in production: Remote-assisted maintenance with HoloLens. *Procedia CIRP*, 88, 139-144. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.025>

- WEF. (2023a). Interoperability in the metaverse. Briefing paper, January 2023. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/publications/interoperability-in-the-metaverse/>
- WEF. (2023b). Privacy and safety in the metaverse. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/publications/privacy-and-safety-in-the-metaverse/>
- WEF. (2024). Navigating the industrial metaverse: A blueprint for future innovations. Insight report, March 2024. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/publications/navigating-the-industrial-metaverse-a-blueprint-for-future-innovations/>
- Xiao, X., Roy, R., Omidyeganeh, M., & Eimontaite, I. (2025). Industrial metaverse design methodologies: A comprehensive literature review. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2025.2544545>
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Yeregui, I., Mejías, D., Pacho, G., Viola, R., Astorga, J., & Montagud, M. (2024). Edge rendering architecture for multiuser XR experiences and E2E performance assessment. 2024 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, 1-7. <https://doi.org/10.1109/BMSB62888.2024.10608249>
- Zhang, S., Li, J., Shi, L., Ding, M., Nguyen, D. C., Chen, W., & Han, Z. (2024). Industrial metaverse: Enabling technologies, open problems, and future trends. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2405.08542>



**TURUN  
YLIOPISTO**  
UNIVERSITY  
OF TURKU

**Turun yliopiston kauppakorkeakoulun Porin yksikkö**

[www.utu.fi](http://www.utu.fi)